



VOIMAJOHTO- JA MAAKAAPELIPROJEKTtien KUSTANNUSTEHOKKUUS

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan diplomityö

2022

Sang Dinh

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori Jukka Lassila

Työn ohjaaja: DI Tommi Härkönen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT Energiajärjestelmät
Sähkötekniikka

Sang Dinh

Voimajohto- ja maakaapeliprojektien kustannustehokkuus

Diplomityö
2022

62 sivua, 18 kuvaa, 2 taulukkoa.

Tarkastaja: Apulaisprofessori Jukka Lassila

Ohjaaja: DI Tommi Härkönen

Avainsanat: suurjännitteinen jakeluverkko, voimajohto, maakaapeli, kustannustehokkuus, sähköverkkorakentaminen

Työ tehtiin Caruna Oy:n Suurjännitteiset Jakeluverkkoprojektit –työryhmälle. Työssä tutkittiin voimajohto- ja maakaapeliprojektien kustannusrakennetta ja mahdollisia vaikutusmahdollisuuksia kilpailukyysisempien projektien saavuttamiseksi.

Työ tehtiin pääosin haastattelututkimuksena, jossa hankkeiden sisäisiä ja ulkoisia sidosryhmiä haastateltiin heidän kokemuksistaan projektin kustannuksista, nykyisistä käytännöistä, puutteista ja parannusmahdollisuuksista. Kerätyn tiedon perusteella voimajohto- ja maakaapeliprojektit vastaavat kustannusrakenteeltaan muita tyyppillisiä infrastruktuurihankkeita, joissa projektin hinta muodostuu suurimmaksi osaksi rakentamisen hinnasta. Suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut määräävät olennaisesti rakentamisen kustannukset ja siten myös hankkeen lopullisen hinnan.

Rakentamisen aikana suuria muutoksia ei enää tehdä, vaan ne toteutetaan suunnitelmien mukaan. Vaikutuspotentiaali kohdistuu siis hankkeen suunnitteluvaiheeseen ja hankintaprosessiin. Suurimpana vaikuttajina suunnittelun aikana olivat tehty reitti ja sinne rakennettava maaperä. Reitti, jossa on suuria kulmia tai vaikeaa maastoa, vaatii enemmän materiaaleja ja rakentamista, mikä lisää kustannuksia. Huolellisella reittivalinnalla, perusteellisilla maaperätutkimuksilla, järkevällä pylvässijoittelulla ja pylväsvalinnoilla voidaan vähentää rakentamisen kustannuksia.

Hankintavaiheessa urakoitsijoiden havaitsemien riskien vähentäminen pienentää tarjoushinnassa sisältyvää riskivarausta. Riskejä voidaan pienentää yksiselitteisillä tarjouspyyntöasiakirjoilla, hankinnan järkevällä ajoittamisella ja järkevällä aikataulutuksella.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Sang Dinh

Cost-efficiency of overhead power line and underground power cable projects

Master's Thesis
2022

62 pages, 18 figures, 2 tables.

Examiner: Assoc. Prof. Jukka Lassila

Supervisor: M.Sc. (Tech.) Tommi Härkönen

Keywords: high-voltage distribution network, overhead power line, underground cable, cost-efficiency, power line construction

The work was done for Caruna Oy's High Voltage Distribution Network team. The cost structure of power line and underground cable projects and the potential impact during the project life cycle were studied in order to make project costs more competitively priced.

The work was mainly conducted as an interview study, in which internal and external stakeholders of the projects were interviewed about their experiences of project costs, current practices, their shortcomings and opportunities for improvement. Based on the collected data, the transmission line and underground cable projects correspond in cost structure to other typical infrastructure projects, where the price of the project consists mostly of the price of construction. The solutions made during the design phase essentially determine the cost of construction and thus also the final price of the project.

During construction, major changes will no longer be made, but will be carried out according to plan. The potential for impact therefore focuses on the planning phase of the project and the procurement of contracting. The most important considerations during planning are the chosen route and quality of the soil for construction. A route with steep angles or difficult terrain demands more materials and construction, raising costs. By careful selection of the route, thorough soil quality tests and smart tower placements cost reductions can be achieved.

During procurement phase, lessening the contractors perceived risks lessens risk reserves in their offer price. Risks can be lessened by having offer request documents that are not subject to ambiguous interpretation, timing when to submit offer request and having a reasonable schedule for making offers.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	8
1.1	Työn tausta, tavoitteet ja rajaus	8
1.2	Työn rakenne	11
2	Infrahankkeet sähköverkkoliiketoiminnassa	12
2.1	Infrahankkeiden vaiheistus	12
2.2	Urakkamallit	14
3	Suurjännitteisen voimajohto- ja maakaapeliverkon rakenne	19
3.1	Johtimet	19
3.2	Maadoitukset	21
3.3	Voimajohtoverkon rakenteet	22
3.3.1	Pylväsrakenteet	22
3.3.2	Perustukset	24
3.3.3	Eristinvarusteet	24
4	Voimajohto- ja maakaapeliprojektien vaiheet	26
4.1	Hankinta	27
4.2	Esisuunnittelu	28
4.3	Yleissuunnittelu	29
4.4	Lunastusmenettely	30
4.4.1	Alkukokous	31
4.4.2	Rakentaminen	31
4.4.3	Jatkokokous	32
4.4.4	Maastokatselmus	32
4.4.5	Loppukokous	32
4.5	Rakentaminen	32
4.5.1	Voimajohdot	33
4.5.2	Maakaapelit	35
4.6	Dokumentointi ja käyttöönotto	37
5	Haastattelututkimus ja vanhat projektit	38
5.1	Voimajohto- ja maakaapeliprojektin kustannusrakenne	39
5.1.1	Projektin aloitus	41
5.1.2	Suunnittelu	41
5.1.3	Rakentaminen	42
5.1.4	Projektin päätös	42
5.1.5	Referenssikohteet	42
5.2	Vaikutusmahdollisuudet	48
5.2.1	Hankinta	51
5.2.2	Suunnittelu	52
5.2.3	Rakentaminen	53

6 Johtopäätökset	55
7 Yhteenveto	58
8 Pohdinnat ja jatkokehitykset	59
Lähteet	60

Kuvaluettelo

1.1	Kustannusten määräytyminen ja kertyminen infrahankkeessa (Lindholm & Junnonen, 2012)	9
1.2	Toteutuneet kustannukset ja vaikutusmahdollisuudet kustannuksiin projektin elinkaarella (Artto et al., 2008)	9
2.1	Infrahankkeiden yleinen vaihejaottelu yllä sekä voimajohto- ja maakaapelihankkeita vastaava prosessikaavio alla (mukailtu lähteestä Lindholm & Junnonen, 2012)	13
2.2	Voimajohto- ja maakaapeliprojektien eri toimintamalleja (mukaillen Villanen, 2018)	15
2.3	Tilaaajan, pääurakoitsijan ja suunnittelijoiden väliset sopimussuhteet kokonais- ja KVR-urakoissa. (mukaillen Liuksiala & Stoor (2014))	16
2.4	Tilaaajan ja urakoitsijan riskien jakautuminen eri urakkamuodoissa. ”Design and build” tarkoittaa suomeksi KVR-urakkaa, ”Traditional pre-planned (lump sum fixed price)” kokonaisurakkaa kokonaishinnalla ja ”Traditional pre-planned (re-measured Bo (Bill of Quantity))” kokonaisurakkaa yksikköhinnoina (Lowe & Withworth, 1996)	18
3.1	Harustetun pylvään pääosat, vapaasti seisovat pylväsrakenteet ovat vastaavat osiltaan haruksia lukuunottamatta (Fingrid, 2022b)	22
4.1	Voimajohto- ja maakaapelihankkeen vaiheet	26
4.2	Johtoalue ja siihen liittyvät termit (Fingrid, 2022a)	31
4.3	Poikkileikkaukset kaapelien asennustavoista: a) kolmioon asennus b) tasoon asennus (Harker, 2018)	36
4.4	Tyypillisen kaapelikaivannon poikkileikkaus (Caruna, 2019)	36
5.1	Sidosryhmien työtehtävien ajoitus projektin elinkaaren aikana	39
5.2	Referenssikohde 1:n budjetin jakauma	43
5.3	Referenssikohde 1:n suunnitteluvaiheen kustannusten erittely	44
5.4	Referenssikohde 2:n budjetin jakauma	45
5.5	Referenssikohde 3:n budjetin jakauma	46
5.6	Referenssikohde 3:n suunnittelukustannusten jakauma	47
5.7	Referenssikohde 3:n materiaalikustannusten jakauma	48

Taulukkoluetelo

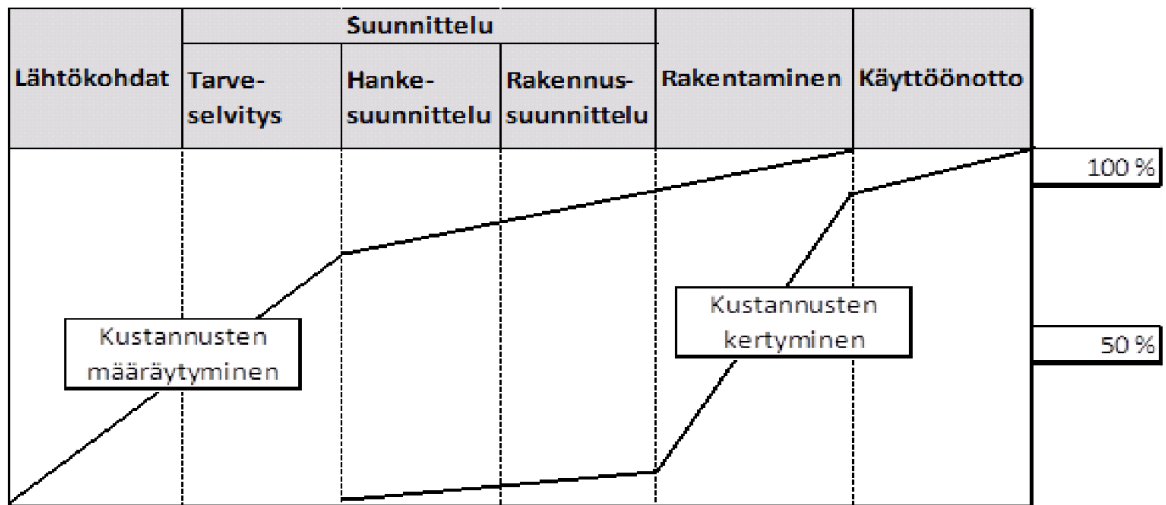
5.1	Haastattelututkimuksen vastauksia projektien kustannusrakenteesta	40
5.2	Haastattelututkimuksen vastauksia projektien vaikutusmahdollisuuksista . .	49

1 Johdanto

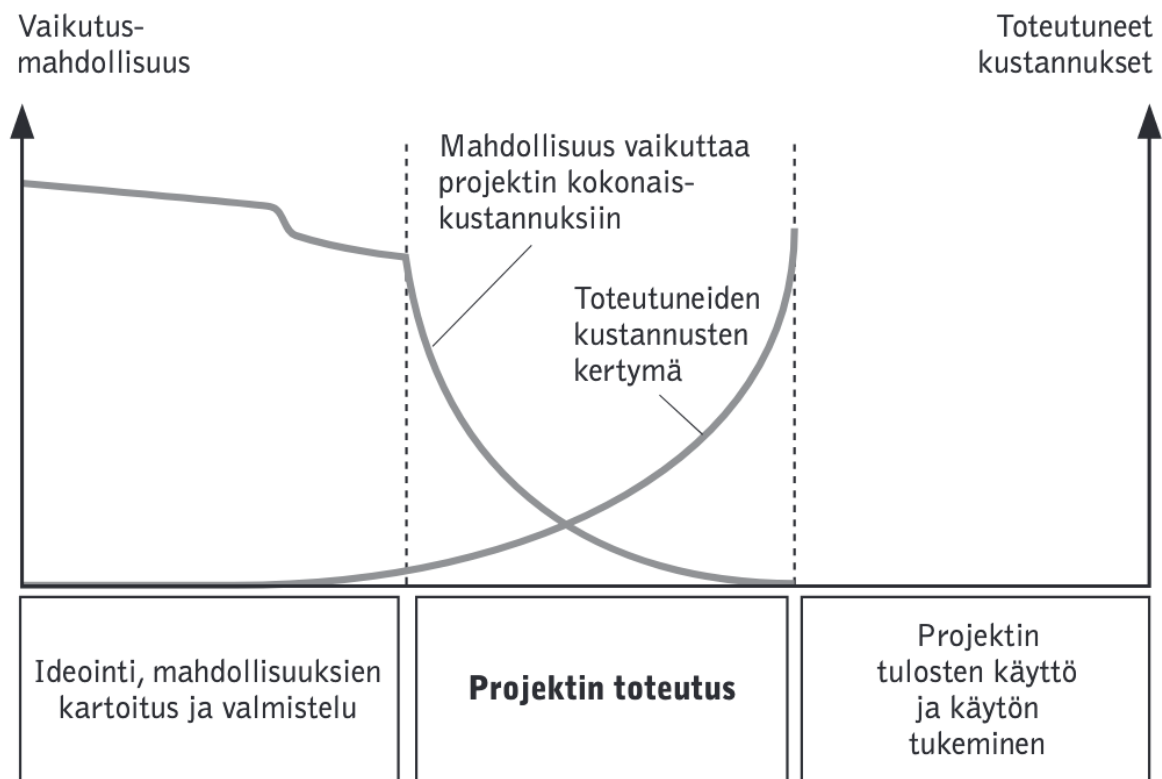
Energiamurroksen myötä uusiutuvaa energiaa liittyy yhä enemmän sähköverkkoon, liikenne sähköistyy ja fossiilisten polttoaineiden sijaan käytetään sähköä käyttäviä lämmitysmuotoja. Sähköverkkoon täytyy tehdä enemmän investointeja pystytäkseen vastaamaan kasvavaan sähkön tarpeeseen. Tämä näkyy energia-alalla sekä materiaali- että urakoitsijamarkkinoilla kysynnän kasvuna, joka vaikuttaa luonnollisesti projektien erinäisten kustannusten kasvuun, kun markkinoilla on enemmän kysyntää kuin mitä tarjonta pystyy vastaamaan. Näiden syiden takia on tullut yhä ajankohtaisemmaksi kustannusten hallitsemiseksi tarkastella millaisia kustannuksia voimajohto- ja maakaapeliprojekteilla on sekä mitkä tekijät vaikuttavat näiden kustannusten syntyyn.

1.1 Työn tausta, tavoitteet ja rajaus

Sähköverkkorakentaminen on infrahanke, ja infrahankkeiden tavoin myös sähköverkkoa rakennetaan projektimuotoisesti. Infrahankkeiden vaiheet vaihtelevat eri alojen mukaan, mutta jokaisesta infrahankkeesta voidaan tunnistaa tietyt työvaiheet ja järjestys, jotka ovat vakintuneet jokaisessa infrahankkeessa, joskin eri nimillä ja jaottelulla. (Lindholm & Junnonen, 2012) Lindholmin & Junnoson kirjassa (2012) infrahankkeet ovat ositettu viiteen eri vaiheeseen: tarveselvittelyyn, ohjelmointiin, suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöönottoon. Kirjallisuuden mukaan suurin osa tavanomaisen infrahankkeen kustannuksista määräytyvät sen suunnittelun aikana, jotka kertyvät sitten hankkeen rakentamisen aikana. (Lindholm & Junnonen, 2012) Kuvassa 1.1 on esitetty missä vaiheissa infrahankkeen elinkaarta hankkeen kustannukset määräytyvät sekä missä vaiheissa kustannukset kertyvät. Lisäksi Artto et al. (2008) on avannut kuinka projektin vaikutusmahdollisuudet muuttuvat projektin elinkaaren aikana, joka on esitetty kuvassa 1.2. Kuvassa 1.1 hankesuunnittelu vastaa edellä mainittua ohjelmointivaihetta ja rakennussuunnittelu vastaa taas suunnitteluvaihetta.



Kuva 1.1. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen infrahankkeessa (Lindholm & Junnonen, 2012).



Kuva 1.2. Toteutuneet kustannukset ja vaikutusmahdollisuudet kustannuksiin projektin elinkaarella (Arto et al., 2008).

Sähkönjakeluverkon voimajohto- ja maakaapeliin rakennushankkeissa projektin vaiheet ovat jaettuna hankesuunnitteluun, esisuunnitteluun, yleissuunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöönottoon. Muita vaiheita, joita voidaan laskea sähkönjakeluverkon rakennushankkeisiin

ovat hankinta, dokumentointi ja ylläpito. Voimajohto- ja maakaapeliprojektien hankesuunnitteluvaihe kattaa kuvassa 1.1 näkyvän hankesuunnitteluvaiheen sekä sitä edeltävät vaiheet, kun taas esi- ja yleissuunnittelu vastaavat kuvan rakennussuunnittelua. Sähkönjakeluverkkoalalla hankesuunnittelua seuraa toinen suunnitteluvaihe, jota kutsutaan myös yleissuunnitteluksi. Hankesuunnittelu-termi kattaa työssä jatkossa tarkoitukseltaan sekä hankesuunnittelun että yleissuunnittelun, joka seuraa heti hankesuunnittelun jälkeen. Yleissuunnittelu taas tarkoittaa jatkossa rakennussuunnittelun aikana tapahtuvaa osuutta, joka tapahtuu esisuunnittelun jälkeen.

Tämä diplomityö on tehty Caruna Oy:n Suurjännitteiset jakeluverkkoprojektit –tiimille, joka on osana yhtiön Sähköverkon hallinta ja operointi –yksikköä. Suurjännitteinen jakeluverkko –työryhmän vastuulla on Carunan suurjännitteisten rakentamisprojektien projektinhallinta. Kun projektin hankesuunnittelu on tehty ja hyväksytty toteutettavaksi, projekti etenee tiimin vastuulle. Näihin projekteihin lukeutuu muuan muassa kaikki 110 kV:n voimajohto- ja maakaapeliprojektit sekä 110/20 kV sähköasemaprojektit. Projekti alkaa hankintavaiheella, jossa kilpailutetaan projektin sekä projektin suunnittelu että rakentaminen. Projektin luonteesta riippuen suunnittelu ja rakentaminen voidaan kilpailuttaa yhdessä tai erikseen. Tässä työssä tarkastellaan kuvien 1.1 ja 1.2 tavoin millaisia kustannuksia kertyy voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa ja mihin voidaan vaikuttaa sähkönjakeluverkkohaltijan näkökulmasta. Työn tavoitteena on selvittää millaisia mahdollisuuksia on saada nämä investointiprojektit kokonaiskustannuksiltaan kilpailukykyisemmäksi.

Työ on rajattu alkamaan rakennussuunnittelun eli esi- ja yleissuunnittelun hankinnasta ja päättymään käyttööntovaiheeseen. Työn tutkimuksen ulkopuolelle jää siis projektin hankesuunnittelu sekä käyttööntovaiheen jälkeinen ylläpitovaihe. Projektit ovat myös rajattu pelkästään Caruna-lähtöisiin uusiin ja saneerattaviin projekteihin, ulkoisten asiakkaiden tilaamia projekteja ei siis sisällytetä tehtävään tutkimukseen.

Työn tavoitteiden saavuttamiseksi tutkimusta avustavina kysymyksinä käytettiin seuraavia kysymyksiä, joihin pyritään vastaamaan:

1. *Millainen on suurjännitteisen jakeluverkon voimajohto- ja maakaapelirakennusprojektien kustannusrakenne?*

2. *Miten projektin työvaiheet ja kustannuskomponentit jakautuvat projektien eri vaiheille?*
3. *Missä vaiheissa projektin kustannuskomponentit lukitaan ja mihin voidaan vaikuttaa?*
4. *Millä kustannuskomponenteilla on suurin vaikuttavuus projektin kokonaiskustannukseen?*

Työssä käytettävä aineisto kerätään haastatteleamalla tyypillisen projektin eri sidosryhmiä Caruna-organisaation sisä- ja ulkopuolelta, jonka lisäksi tarkastellaan vanhojen voimajohto- ja maakaapeliprojektien kustannustietoja.

Haastattelujen pohjalta koostetaan sidosryhmien kokemuksia ja näkemyksiä projektien kustannusrakenteesta, projektin vaiheista ja tilaaja-urakoitsija välisen yhteistyön mahdollisista parannusmahdollisuuksista. Vanhojen projektien kustannustietoja käytetään arvioimaan kuinka suurina ovat eri vaiheiden kustannukset suhteuttuna koko projektin hintaan.

Haastattelut suoritettiin strukturoituna diskurssina, jossa haastateltavan kanssa keskusteltiin projektin vaihe kerrallaan heidän sen hetkisestä roolista ja työtehtävistä sekä heidän havainnoimista mahdollisista vaikutusmahdollisuuksista ja epäkohdista projektin aikana.

1.2 Työn rakenne

Työ alkaa teoriaosuudella, joka koostuu luvuista 2, 3 ja 4. Luvussa 2 käydään teoriaa infrahankeiden projektinhallinnasta. Luvussa 3 käydään läpi voimajohto- ja maakaapeliverkon rakennetta ja niiden tärkeimpiä komponentteja. Luvussa 4 käydään läpi millaisia vaiheita voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa on sekä mitä niihin sisältyy käytännön tasolla. Teoriaosuuden jälkeen luvussa 5 käydään läpi kuinka haastattelut suoritettiin ja mitä sidosryhmiä haastateltiin. Kerätyn aineiston pohjalta nähdään missä projektin vaiheissa projektin kustannukset kertyvät ja millaisissa suhteissa ne ovat verrattuna projektin kokonaishintaan. Haastatteluista saaduilla vastauksilla saadaan parempi ymmärrys siitä mihin urakoinnin tilaaja pystyy infrahankeessa vaikuttamaan vaikuttakseen projektin kokonaishintaan. Lopuksi työstä tehdyistä selvityksistä tehdään yhteenveto luvussa 6.

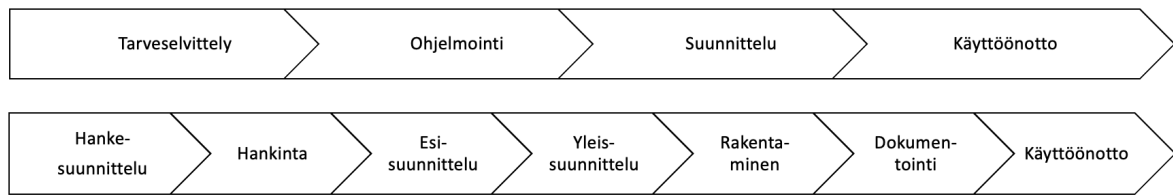
2 Infrahankkeet sähköverkkoliiketoiminnassa

Tässä osiossa käydään läpi infrarakentamisen käsitteistöä ja vaiheistusta, jotka pätevät myös voimajohto- ja maakaapelirakentamiseen. Sähköverkkorakentaminen on infrahanketta ja kuten muut infrahankkeet sähköverkkoa rakennetaan projektimuotoisesti. Luku käy aluksi infrahankkeille tyypillisen vaiheiden kulun, jonka jälkeen käydään yleisimpiä rakentamisurakoiden toteutusmalleja sähköverkkoalalla. Teoria luo pohjustuksen ymmärtämään millaisia asioita pitää olla tiedossa sähköverkon rakentamisprojektien hallinnassa. Infrahankkeiden vaiheistuksen teoriaosuutta vahvistetaan luvussa 4, kun voimajohto- ja maakaapelirakentamisprojektien vaiheisiin syvennyttään niiden toteutustasolla.

2.1 Infrahankkeiden vaiheistus

Sähköverkkoa rakennettaessa tarvitaan osaamista ja resursseja eri tahoilta, jonka takia rakentamisen toteuttamistapana suositaan projektimuotoa. Projekti on yksi työn toteuttamistapa, jossa kootaan joukko ihmisiä ja muita resursseja tilapäisesti yhteen suorittamaan tiettyä tehtävää. Projekti on kertaluonteinen työ, joka tehdään ainutkertaisen tuotteen, palvelun tai tuloksen aikaansaamiseksi. Projektilla on selkeä alku ja loppu, sekä projektille on määritetty aikataulu, laajuus ja budjetti. (Artto et al., 2008)

Sähköverkon rakentamisprojektit ovat infrahankkeita. Infrahankkeet jakautuvat useisiin eri vaiheisiin, joiden nimeämiset ja jakautuminen vaihtelevat eri alojen mukaan. (Lindholm & Junnonen, 2012) Infrahankkeilta voidaan kuitenkin alasta riippumatta tunnistaa tietyt vaikiintuneet vaiheet ja järjestys, jotka Lindholm & Junnonen (2012) ovat jakaneet kirjassaan kuvassa 2.1 esitetyllä tavalla. Infrahankkeet jakautuvat tyypillisesti viiteen eri vaiheeseen, joiden nimet ovat tarveselvittely, ohjelmointi tai hankesuunnittelu, suunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. (Lindholm & Junnonen, 2012) Kuvaa on mukailtu esittämään myös voimajohto- ja maakaapeliprojektia vastaavat vaiheet, joita käytetään jatkossa tutkimuksen kontekstissa.



Kuva 2.1. Infrahankkeiden yleinen vaihejaottelu yllä sekä voimajohto- ja maakaapelihankkeita vastaava prosessikaavio alla (mukailtu lähteestä Lindholm & Junnonen, 2012).

Infrahankkeet alkavat tyypillisesti tarveselvittelystä, jossa todetaan tarve lähteä muuttamaan tai luomaan uutta infrakohdetta jonkin syyn takia. Tarveselvittelystä voi syntyä monta ratkaisuvaihtoehtoa, joiden hankeohjelmat ja tarveselvitykset toimivat alustavana pohjana ohjelmointi- ja suunnitteluvaiheelle. (Lindholm & Junnonen, 2012)

Ohjelmointivaiheeseen siirryttäessä tarveselvittelystä muodostuneita hankeohjelmia tarkennetaan sekä vaihtoehtoja karsitaan. Ohjelmointivaihe on yksi hankkeen tärkeimmistä vaiheista, sillä tässä vaiheessa tehdään hankkeen kannalta merkittävimmät päätökset ja selvitykset. Tässä vaiheessa päätetään mitkä vaihtoehdoista otetaan lähtökohdaksi rakennesuunnitteluun sekä koko hankkeen toteutukseen. Päätöksen pohjalta luodaan hankkeelle yleissuunnitelma ja hankeohjelma, joihin sisältyy hankkeen tavoitteet, toteutusmuoto, laajuus ja ositus. Tehokkaan projektijohtamisen kannalta, on tärkeää että hanke on ositettu hyvin. (Lindholm & Junnonen, 2012)

Suunnitteluvaiheessa laaditaan toteutussuunnitelma, joka täyttää ohjelmointivaiheessa asetetut tavoitteet. Edellisistä päätöksistä ei poiketa ilman perusteltua syytä, sillä on tärkeää, että päätöksentekijä on aina tietoinen hankkeen tilasta, eikä sitoudu tavoitteiden vastaisiin suunnitelmiin. Tavoitteet sekä päätösprosessi käydään uudestaan läpi jonkinasteisesti, jos poikkeamisia joudutaan tekemään. (Lindholm & Junnonen, 2012; Kankainen & Junnonen, 2015)

Rakennusvaiheessa toteutetaan suunnitteluvaiheessa laadittu suunnitelma. Rakentamisen pääurakoitsija pitää huolen siitä, että hanke toteutuu ajallaan ja vastaa sille asetettuja tavoitteita ja laatuvaatimuksia, sekä omalta osaltaan, että aliurakoitsijoiden osalta. Urakoitsija ei ole velvoitettu tekemään mitään rakentamisvaiheessa ilmenneitä lisätöitä tai tilaajan lisävaatimuksia joita ei ole merkitty sopimusasiakirjoissa. (Lindholm & Junnonen, 2012)

Viimeisessä vaiheessa eli käyttöönottovaiheessa hanke luovutetaan tilaajan ja loppukäyttäjien käyttöön sekä kohteen ylläpito alkaa. Ennen kuin urakoitsija luovuttaa hankkeen tilaajalle, urakoitsija suorittaa sopimusehtojen mukaisen vastaanottotarkastuksen, joka on iso osa luovutusprosessia ja hankkeen laadunvarmistusta. Vastaanottotarkastus koostuu itselleluovutuksesta, järjestelmien ja laitteistojen toimintakokeista ja säädöistä sekä muun luovutusaineistojen ja dokumentaation kokoamisesta. Itseluovutus tarkoittaa tarkastusprosessia, jossa urakoitsija käy läpi hyväksyisikö urakoitsija hankkeen luovuttamisen itselle käyttöön. (Lindholm & Junnonen, 2012; Kankainen & Junnonen, 2015)

Vastaanottotarkastuksen jälkeen siirrytään hankkeen vastaanottoprosessiin, jossa tarkastetaan ja todetaan, että urakan kumpikin osapuoli on täyttänyt sopimusasiakirjoissa määritellyt velvoitteet. Tämän jälkeen urakoitsijan suoritusvelvollisuus päättyy takuuajaksi ja mahdollisia takuutöitä lukuun ottamatta. (Kankainen & Junnonen, 2015)

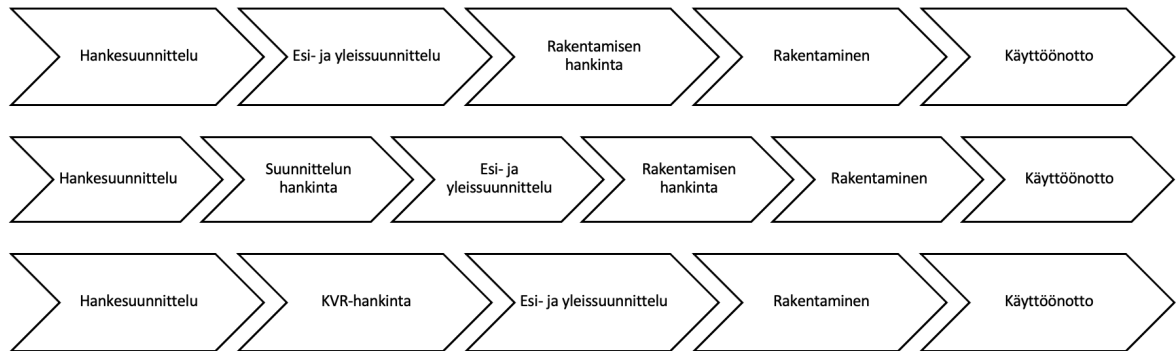
Voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa hankesuunnittelu sisällyttää edellä mainitujen infrahankkeen yleissuunnitteluvaiheen ja osan ohjelmointivaiheesta Voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa osa ohjelmointivaiheesta jakautuu toteutussuunnitteluun. Toteutussuunnittelua kutsutaan toimialalla yleisemmin esi- ja yleissuunnitteluksi, jossa tehdään projektin toteuttamiseen liittyvät lopulliset ratkaisut kuten reittisuunnittelu ja sähköinen suunnittelu.

Loput infrahankkeiden vaiheista eli rakentaminen ja käyttöönotto vastaavat voimajohto- ja maakaapeliprojektien samannimisiä vaiheita.

2.2 Urakkamallit

Voimajohto- ja maakaapeliverkkojen suunnitteleminen ja rakentaminen voivat olla pitkiä, usein monivuotisia projekteja. Esi- ja yleissuunnittelu vaatii erilaista osaamista kuin rakentaminen ja voi kestää monta vuotta muun muassa erinäisten lupahakemusten ja viranomaislausuntojen takia. Edellä mainituista syistä suunnittelutyö ja rakentaminen toteutetaan usein erillisinä projekteina. Koska sähköverkkorakentamisen projekteja on monen tyyppisiä, voidaan projektin eri vaiheet osittaa sen mukaan halutaanko projektin toteutussuunnittelu teettää ulkoisella osapuolella vai itsellään. Projektin toimintamalleja on pääpiirteittäin kolme

erilaista muotoa, jotka ovat esitettyinä prosessikaavioina kuvassa 2.2.

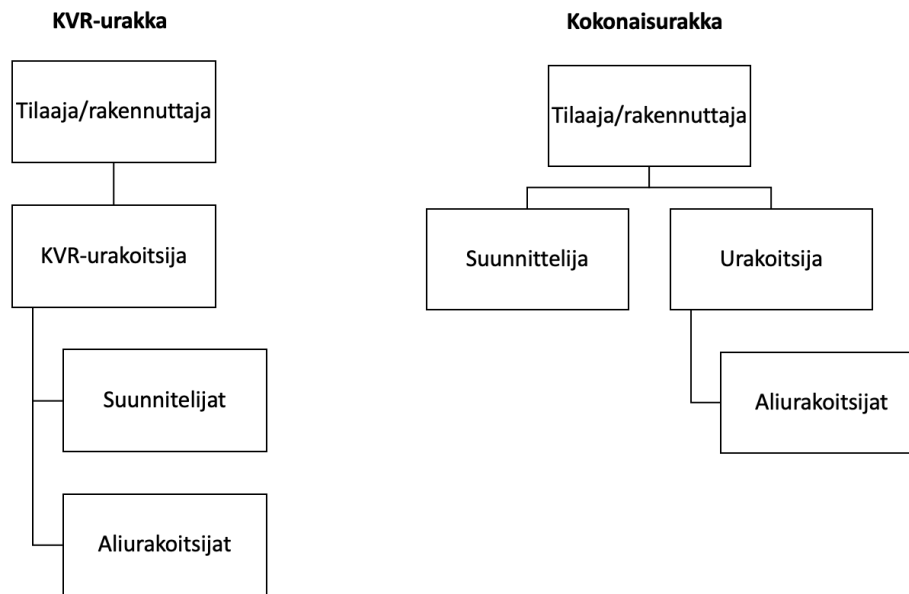


Kuva 2.2. Voimajohto- ja maakaapeliprojektien eri toimintamalleja (mukaillen Villanen, 2018).

Kuvan jaottelussa toimintamalleja on kolme muotoa:

- projektin esi- ja yleissuunnittelu teetätetään omassa organisaatiossa, jolloin vain rakentaminen jää urakoitsijan vastuulle
- projektin esi- ja yleissuunnittelu sekä rakentaminen teetätetään erikseen ulkopuolisilla toimijoilla
- projektin esi- ja yleissuunnittelun sekä rakentamisen teettää sama urakoitsija

Kahta ensimmäistä toimintamallia kutsutaan yleisemmin kokonaisurakaksi ja viimeistä taas KVR-urakaksi. Sähköverkkoprojekteissa käytetään yleisesti urakkamuotoina joko kokonaisurakkaa tai KVR-urakkaa. Kuvassa 2.3 on esitettyä tilaajan, pääurakoitsijan ja suunnittelijoiden väliset sopimussuhteet kokonais- ja KVR-urakoissa.



Kuva 2.3. Tilaajan, pääurakoitsijan ja suunnittelijoiden väliset sopimussuhteet kokonais- ja KVR-urakoissa. (mukaillen Liuksiala & Stoor (2014)).

KVR-urakka eli kokonaisvastuurakentaminen tai kokonaisvastuu-urakka on rakennushankkeissa käytettävä urakkamuoto, jossa urakoitsija huolehtii ”avaimet käteen”-periaatteella hankkeen toimittamisen urakoinnin tilaajalle. Urakoitsija toteuttaa tilaajan määrittämin reunaehdoin koko hankkeen alusta loppuun: projektin toteutussuunnittelusta, sen rakentamiseen. Urakoitsijalla itsellään voi olla omia tilaajan hyväksymiä aliurakoitsijoita esimerkiksi erikoistöihin, joihin pääurakoitsijalla itsellä ei ole resursseja. (Liuksiala & Stoor, 2014) Urakan voi myös toteuttaa KVR-mallilla, vaikka suunnittelu olisi jo valmiiksi tehty toisen tahon toimesta. Urakoitsija ottaa silloin sopimuksessa vastuun suunnitelmien läpikäynnistä ja vastaa niistä kuin omistaan. (Caruna, 2022c)

KVR-urakan etuna on sen yksinkertaisuus, kun tilaajalla on vain yksi sopimussuhde pääurakoitsijan välillä. Muuna etuna on suunnittelun ja toteutuksen keskittäminen samalle organisaatiolle. KVR:ssä tuotannon läheinen suunnittelu yleensä johtaa kokonaiskustannusten säästöön ja toteutumisaajan lyhentymiseen sillä KVR:ssä toteutus ja suunnittelu voivat edetä osittain samanaikaisesti saman organisaation alla. (Liuksiala & Stoor, 2014)

Kokonaisurakassa hankkeen suunnittelu ja rakentaminen ovat erillisiä projekteja, jotka kilpailutetaan erikseen. Suunnittelun voi toteuttaa pääurakoitsijasta erillinen osapuoli, tilaaja itse tai pääurakoitsija on voinut voittaa suunnittelun kilpailutuksen itselleen. Pääurakoitsijan

vastuulle jää projektin toteuttaminen aikataulussa tehtyjen suunnitelmien mukaan. (Liuksiala & Stoor, 2014)

Koska uuden reitin suunnittelu on itsessään pitkä prosessi, uusien voimajohto- ja maakaapelihankkeiden suunnittelu ja rakentaminen toteutetaan erillisinä projekteina. Reitin suunnittelu voidaan hankkia konsultilta tai teetättää omassa organisaatiossa.

Sähköverkkorakentamisessa urakan hinnoittelumallina käytetään joko kokonaishintamallia tai yksikköhinnoittelumallia. Kokonaishintaurakassa tarjouksen antaja sitoutuu tekemään rakennustyön urakka-asiakirjojen mukaisesti valmiiksi laskemallaan kiinteällä kokonaishinnalla (Liuksiala & Stoor, 2014). Rakentamisen tilaaja saa tietää kokonaishintaurakassa jo alussa melko tarkan arvion urakan loppukustannuksista. Kokonaishintaurakkaa pyydettyessä hankekuvauksen suunnitelmien on syytä siis olla melko tarkkoja, jotta urakoitsijan on mahdollista antaa kiinteä urakkahinta. Kokonaishintaurakassa rakentamiseen liittyvät riskit jäävät urakoitsijalle, sillä epätarkat suunnitelmat ja riski työn todellisista kustannuksista jää urakoitsijalle. Epävarmuustekijät lisäävät tarjoushintaan riskivaroja, jotka näkyvät tilaajalle epäedullisena hintana. (Liuksiala & Stoor, 2014)

Yksikköhinnoittelumallissa urakan eri työsuoritteet ositetaan tiettyihin kiinteisiin yksikköihin, joille määritetään tietyt kiinteät hinnat. Urakka toteutetaan muuten tavanomaisen urakan tavoin, mutta urakan hinta koostuu yksikkömäärien ja yksikköhintojen tulojen mukaan. (Liuksiala & Stoor, 2014)

Yksikköhintamallissa urakoitsijalle tulevaa korvausta ei ole ennalta täsmällisesti arvioitavissa, vaan kokonaiskorvaus lasketaan kuinka mainittuja yksiköitä todetaan lopulta tehdyiksi. Yksikköhintamallin tavoitteena on yksikköhinnoilla parantaa kustannustietoisuutta ja kustannustehokkuutta kun tarkkaa arviota työmäärästä ei ole tiedossa. Yksikköhintaperusteisesti hinnoitellut tarjoukset lisäävät myös niiden välistä vertailua. (Liuksiala & Stoor, 2014)

Yksikköhintamallissa rakentamisen yksikkömäärien arvioimisen riski jää tilaajan vastuulle. Urakoitsijan riskiksi taas jää yksiköiden hinnoittelu siten, että urakoitsijan määrittämät yksikköhinnat pärjäävät tarjouskilpailussa sisällyttäen kuitenkin urakoitsijan tuottokatteen. Tilaaja ja urakoitsija voivat vähentää laskentariskiä tekemällä määrälaskennan yhdessä ennen sopimuksen allekirjoittamista sekä määräluettelon hyväksyttämistä. (Liuksiala & Stoor,

2014) Kuvassa 2.4 on esitettyä malli miten projektin riskit jakautuvat tilaajan ja urakoitsijan välille eri urakkamalleissa, sekä hinnoittelumalleissa.

Procurement strategy	Allocation of risk	
	Client	Contractor
Design and build		██
Develop and build		██
Traditional pre-planned (lump sum fixed price)	██	
Traditional pre-planned (re-measured Bo)	██	
Management contracting	██	
Construction management	██	

Kuva 2.4. Tilaajan ja urakoitsijan riskien jakautuminen eri urakkamuodoissa. ”Design and build” tarkoittaa suomeksi KVR–urakkaa, ”Traditional pre–planned (lump sum fixed price)” kokonaisurakkaa kokonaishinnalla ja ”Traditional pre–planned (re–measured Bo (Bill of Quantity))” kokonaisurakkaa yksikköhinnalla (Lowe & Withworth, 1996).

Kuvassa 2.4 näkyy kuinka urakkamallin ja sen hinnoittelun valinta vaikuttavat sopimussuhteissa olevien toimijoiden väliseen riskien jakoon. KVR–urakassa lähestulkoon kaikki riski on urakoitsijalla, sillä urakoitsijan vastuulle jää koko projektin suunnittelu ja toteutus. Kokonaishintaisessa kokonaisurakassa osa riskistä siirtyy tilaajalle, ja yksikköhintamallissa riskiä jakautuu tilaajalle päin vielä enemmän. Urakkasopimus voi myös olla kokonaishinta– ja yksikköhintamallin yhdistelmää, jossa urakoitsija toteuttaa osan urakasta kokonaishinnalla ja yksikköhintaperusteella ne osat, joiden työmäärää ei voida ennalta arvioida. (Liuksiala & Stoor, 2014)

3 Suurjännitteisen voimajohto- ja maakaapeliverkon rakenne

Tässä osiossa käydään läpi mitä sähkötekniisiä sekä rakenteellisia komponentteja suurjännitteiseen jakeluverkon voimajohto- ja maakaapeliverkko-osuuksiin kuuluu. Suurjännitteiset jakeluverkot, tai vanhalta nimitykseltään alueverkot, ovat määritelmältään 110 kV:n nimellisjännitteiset sähköverkot, jotka eivät kuulu kantaverkkoon.

Sähköverkossa käytettävät johdot voivat olla voimajohtoja tai kaapeleita. Tavanomaisessa tulkinnassa voimajohdot ovat sellaisia johtoratkaisuja, jossa jännitteelliset osat ovat eristetty ilmalla ja ripustettuna pylväiden varaan. Kaapelit taas tulkitaan sellaisiksi johtoratkaisuuksi, jossa eristämiseen on käytetty jotain muuta kuin ilmaa. Määräysteknisesti kaapeleita ei kuitenkaan määritetä eristysmateriaalin vaan asennustavan mukaan; kaapelit sijoitetaan pylväiden sijasta kaapelikanaviin. Sisätiloissa kaapelit asennetaan hyllyihin tai vastaaviin ja ulkotiloissa ne upotetaan maahan tai veteen. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Asentamistapojensa takia voimajohto- ja maakaapeliverkot eroavat toisistaan komponenttien ja rakentamisen puolesta: voimajohtorakentamisessa sisältyy pylväsrakenteidensa takia perustustöitä, pylväiden kasausta ja nostoa kun taas maakaapelirakentamisessa kaapelireitin teossa joko kaivetaan reitti auki tai käytetään jotain muuta kaivamatonta asennustekniikkaa kuten poraamista. Maakaapeli- ja voimajohtoverkoille yhteisiä varusteita ovat johtimet, valokuitukaapelit, jatkokset ja päätteet sekä maadoitukset. Maakaapeli- ja voimajohtoverkoille yhteisistä osista kerrotaan aliluvuissa 3.1 ja 3.2, ja pelkästään voimajohtoverkoille kuuluvista osista kerrotaan enemmän aliluvussa 3.3.

3.1 Johtimet

Johtimen tehtävänä on kuljettaa sähkövirtaa. Tavallisimpia johdinmetalleja ovat kupari, alumiini, alumiiniseokset sekä teräs, mutta kuparin hinnan nousu on johtanut sen käytön vähenemiseen. Yleisin johdinmalli suurjänniteverkoissa on teräsvahvisteinen alumiinijohdin. Maakaapeliverkoissa käytettävät kaapelit ovat yhden tai useamman eristetyn johtimen muo-

dostama kokonaisuus, jotka sijaitset mekaanista vahingoittumista, kosteutta ja korroosiota estävän vaipan sisällä. Suurjännitteisissä voimajohtoverkoissa käytettävät johdot ovat joko päällystämättömiä avojohdoja. Avojohdot tai yleisemmin johdot ovat ilmajohtoja, jotka ripustetaan pylväisiin erilleen toisistaan. Päällystömättömät avojohdot ovat nimensä mukaisesti paljaita johtoja. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Yleisin 110 kV:n voimajohtoverkoissa käytettävä voimajohto on 305/39 Duck. Johtimien merkintätapana käytetään muotoa ”1x3x2–Duck” (virtapiirien määrä, vaihejohtimien määrä, osajohtimien määrä ja johdon nimi). (Caruna, 2022e)

Voimajohto- ja maakaapeliverkot eivät muodostu pelkästään voimajohdoista tai kaapeleista, vaan myös johto-/kaapelivarusteista kuten jatkoksista, joiden tehtävä on mahdollistaa kahden eri johdon/kaapelin yhdistämiseen toisiinsa. Johdon/kaapelin loppupäissä ovat päätteet, jotka mahdollistavat esimerkiksi kaapelin yhdistämisen ilmaeristeiseen voimajohtoverkkoon tai kojeistoon. Jatkokset ja päätteet ovat olennainen osa kaapeliasennuksia, niiden suunnittelua ja vaativat erityistä huomiota rakennettaessa. Suurin osa kaapelivioista liittyvät jatkoksiin ja kaapelipäätteisiin, joten niiden suunnittelulla ja asentamisella on kriittistä painoarvoa. (Harker, 2018; Caruna, 2022e)

Voimajohtoverkot koostuvat virtajohtimien lisäksi myös ukkosjohtimista, joiden tarkoituksena on estää suoraan vaihejohtimiin osuvat salamankiskut. Maasulkutilanteessa ukkosjohtimet johtavat osan maasulkuvirrasta, jolloin maan kautta palaava virta ja sen vaara- ja häiriövaikutukset pienenevät. Tämän lisäksi ukkosjohtimet pienentävät eli parantavat maadoitusvastusta kytkemällä eri pylväiden maadoitukset rinnakkain. Ukkosjohtimet myös parantavat maasulkusuojauksessa käytettävän suojaruleistyksen toimintaa. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Vakioitu konfiguraatio 110 kV:n voimajohtorakentamisessa on käyttää kahta ukkosjohdinta: Sustrong- ja OPGW-ukkosjohtimia yhdessä, joista OPGW (Optical Ground Wire) toimii myös tietoliikenneyhteytenä. Valokuituyhteyksiä rakennetaan sekä voimajohto- että maakaapeliverkkoihin samaan yhteyteen. Sähköasemille asennettavien multiplekserilaitteiden ja valokuitukaapelien tehtävänä on toimia tietoliikenneyhteytenä verkossa käytettävien suojauslaitteiden välillä. Yleensä kuituyhteydet tulee verkonhaltijan omaan käyttöön suojausta varten, mutta verkonhaltija voi myös yhteisrakentaa ja käyttää kuituyhteydet toisen tietoliik-

kenneverkonhaltijan kanssa oikeudenmukaisuuden ja kohtuullisuuden rajoissa. (Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä, 2016) Sähköisten johtimien tavoin valokuitujen rakentaminen sisällyttää jatkokset– ja päätteet ja niihin kuuluvat työt. Kuituja täytty rakentamisen ja käyttöönoton aikana koestaa ja testata, että ne eivät ole rakentamisen aikana rikkoutuneet ja tiedon liikkuminen toimi. (Caruna, 2022e)

3.2 Maadoitukset

Maadoituksen tarkoituksena on yhdistää jokin laite tai virtapiiriin jokin kohta maahan mahdollisimman tehokkaasti maassa olevan metallisen kappaleen eli maadoituselektrodin välityksellä (Elovaara & Haarla, 2011b).

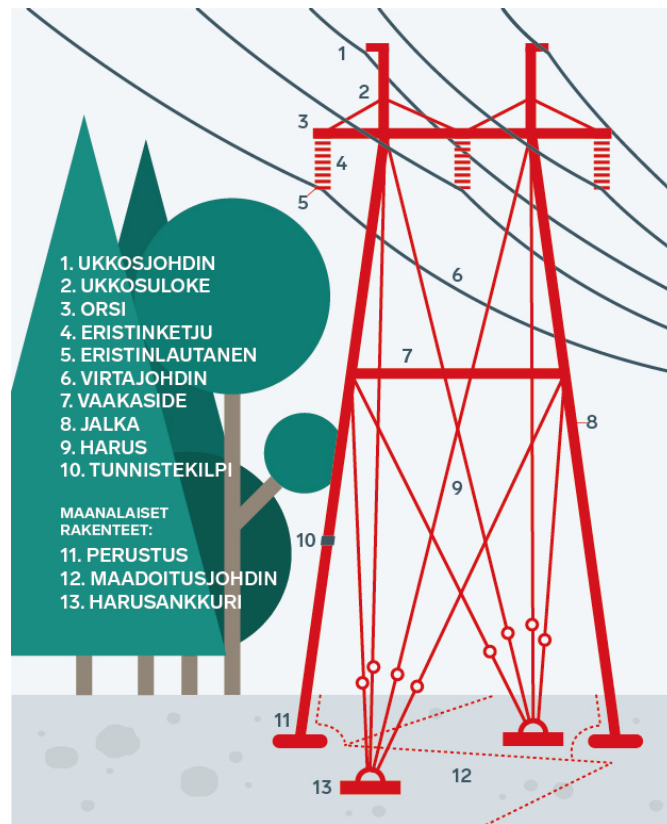
Maadoitukset jaetaan käyttö– ja suojamaadoituksiin. Käyttömaadoittamisessa virtapiiriin osa yhdistetään maahan suoraan tai pienen impedanssin välityksellä. Käyttömaadoituksen tehtävänä on pitää virtajohtimien jännite maan suhteen sellaisena, ettei se aiheuta vaaratilanteita tai vaurioita. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Suojamaadoittamisessa maadoitukseen yhdistetään jännitteelle altis, virtapiiriin kuulumaton osa, kuten sähkölaitteen metallinen runko. Suojamaadoituksen tehtävänä on estää vaarallisen kosketusjännitteen syntyminen kosketeltavaan, eristysvian tai muun syyn vuoksi jännitteelliseksi muuttuvaan osaan. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Pylväsmaadoitus koostuu pylvään perusmaadoituksesta ja mahdollisista lisämaadoituksista. Perusmaadoituksen muodostavat pylvään perustukset, niiden alle sijoitetut J-lenkit, harukset harusankkureineen sekä pylvään jalat yhdistävä kupariköysi. Pylväsmaadoitusten tehtävänä on vähentää ukkoshäiriöitä pienentämällä pylvään potentiaalia ja parantaa maasulkusuojauksen toimintaa johdoilla, joilla on ukkosjohdin sekä mahdollistaa sen toiminta myös niillä joissa ukkosjohdinta ei ole. Lisäksi pylväsmaadoitus parantaa turvallisuutta pienentämällä pylvään maadoitus– ja kosketusjännitettä. Pylväsmaadoitusten suunnittelu perustuu pylvään ominaismaadoitusresistanssiin ja sen ympäröivän maaperän ominaisresistanssin mittaamiseen. (Elovaara & Haarla, 2011b)

3.3 Voimajohtoverkon rakenteet

Tässä kohdassa kerrotaan tarkemmin rakenteista ja varusteista, jotka kuuluvat pelkästään voimajohtoverkoille. Johtimien sekä johdinvarusteiden lisäksi voimajohtoverkkoihin sisältyy myös pylväsrakenteet ja niiden perustukset, joiden tehtävänä kannatella johtimia ilmassa. Kuvassa 3.1 on esitettyä tavanomaiseen pylväsrakenteeseen kuuluvia osia sekä siihen kiinnittyviä varusteita.



Kuva 3.1. Harustetun pylvään pääosat, vapaasti seisovat pylväsrakenteet ovat vastaavat osiltaan haruksia lukuunottamatta (Fingrid, 2022b).

3.3.1 Pylväsrakenteet

Voimajohdon pylviä käytetään voimajohtojen ripustamiseen. Johdot ripustetaan pylväisiin tarpeeksi korkealle tahattoman kosketuksen välttämiseksi. Pylvästyyppejä on erilaisia, ja voimajohtoreitin eri johto-osuuksilla käytetään eri tyyppisiä riippuen pylvään käyttötarkoituksesta ja erityisesti niihin kohdistuvien voimien suunnasta. Pylvää jaotellaan yleensä

kolmeen eri tyyppiin: kannattajapylvää, kulmapylvää ja kiristäjäpylvää.

Suorilla johto-osuuksilla käytetään kannattajapylviä. Kannattajapylväissä johdot pystyvät kulkemaan vapaasti johdon suuntaisesti, joten kannattajapylväisiin ei kohdistu merkittäviä veto- tai sivuttaissuuntaisia voimia. Johdon suunnan muuttuessa pylväeseen kohdistuu johdon kulkusuuntaan nähden suuria poikittaisia voimia, joten kannattajapylväiden sijasta käytetään kulmapylviä. Kiristyspylviä käytetään kun johdon kulkusuunnassa vaikuttavat voimat poikkeavat pylvään eri puolilla olennaisesti toisistaan. Välillä voidaan myös puhua päätepylväistä, jotka ovat kiristyspylviä, joissa johtimen suuntaiset voimat kohdistuvat vain pylvään toiselle puolelle. Päätepylväitä voidaan harkita käytettäväksi tietyillä kriittisillä paikoilla helpottamaan rakentamista tai myöhempää käyttöä. (Elovaara & Haarla, 2011b; Caruna, 2022e; Caruna, 2022c)

Suurjännitteisissä 110 kV:n verkoissa pylvää ovat teräsrakenteisia ja yleisimmin käytetyt pylväsrakenteet ovat harustetut teräspuikipylvää sekä vapaasti seisovat teräspylvää. Ensimmäisistä harustettuja pylviä pyritään suosimaan niiden ollen kevytrakenteisempia ja edullisempia verrattuna vapaasti seisoviin pylväisiin. Harustettu pylväs on stabiili harusten ansiosta, jotka lisäävät pylvään jäykkyyttä pitkittäis- ja poikittaissuunnissa. Tämän rakenteen ansiosta pylväs on luontaisesti matala, jolloin pylväs on ympäristöystävällisempi ja vähemmän altis salamahäiriöille. Harustettu pylväs ja sen harukset vaativat myös vähän maa-alaa, joka vähentää ympäristöhaittoja. Harustetun pylvään haittapuolena on sen harusten takia vaatimattavasta leveämpi johtoaukea. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Vapaasti seisovia pylviä käytetään yleensä kulmapylväinä, mutta niitä voi olla aiheellista käyttää myös silloin, kun erinäisten määräysten tai vallitsevan ympäristön takia johtoalue täytyy pitää kapeana. Vaikeakulkuisissa maastoissa tai teknis-taloudellisista syistä vapaasti seisovia pylviä voidaan käyttää nostamaan johtimet normaalia korkeammalle. (Caruna, 2022c)

Reitti- ja pylväiden sijoitussuunnittelussa täytyy ottaa huomioon myös sijoitettavien pylväiden maasto-olosuhteet. Pylvään asennuspaikan maastolla on paljon merkitystä pylväiden maadoistusten teossa sekä pylväiden perustusten rakentamisessa. Huonolaatuinen maaperä vaatii enemmän perustustöitä. (Caruna, 2022c)

3.3.2 Perustukset

Pylväiden perustusten tehtävänä on siirtää pylväsrakenteeseen kohdistuvat voimat maahan. Pylväiden perustustapoja voivat esimerkiksi olla pylvään alaosan upottaminen tarpeeksi syvälle maahan tai erillisen perustusrakenteen käyttö. 110 kV:n ja sitä suuremmissa verkoissa käytetään yleisesti erillisiä perustusrakenteita. Perustukset ovat tyypillisesti valmistettu teräsbetonista, ja ne voivat olla joko valmiita tehdasvalmisteisia elementtiperustuksia tai paikan päällä valettuja. Harustetuille pylväille käytetään yleensä erillisiä perustuksia kun taas vapaasti seisovien pylväiden perustukset ovat yleensä aina valettuja. (Elovaara & Haarla, 2011b)

Perustuksen perustamistapa riippuu siihen rakennettavan maaperän laadusta, hyvällä maaperällä riittää maanvarainen perustus kun taas huonommilla osuuksilla voidaan joutua tekemään paalutusta tai massan vaihtoa, jos pylväspaikan siirto ei ole mahdollista. Kalliolle rakennettaessa voidaan perustukset porata kallioon, jos kallio on tarpeeksi hyvälaatuista. (Caruna, 2022e)

Maaperän olosuhteet vaikuttavat myös harusten asennustapaan, koska hyvin johtava maaperä voi aiheuttaa haruksissa korroosiovirtaa, joka voi lopulta katkaista haruksen. Tavanomaisesti harukset asennetaan haruslaatoilla ja kaksoisilmukalla, mutta haruskorroosion estämiseksi harukset asennetaan joko eristettynä tai pilariharusankkureilla. Pääperiaatteena on, että betonin ominaisvastus estää haitallisen suuren korroosiovirran synnyn. (Elovaara & Haarla, 2011b; Caruna, 2022e)

3.3.3 Eristinvarusteet

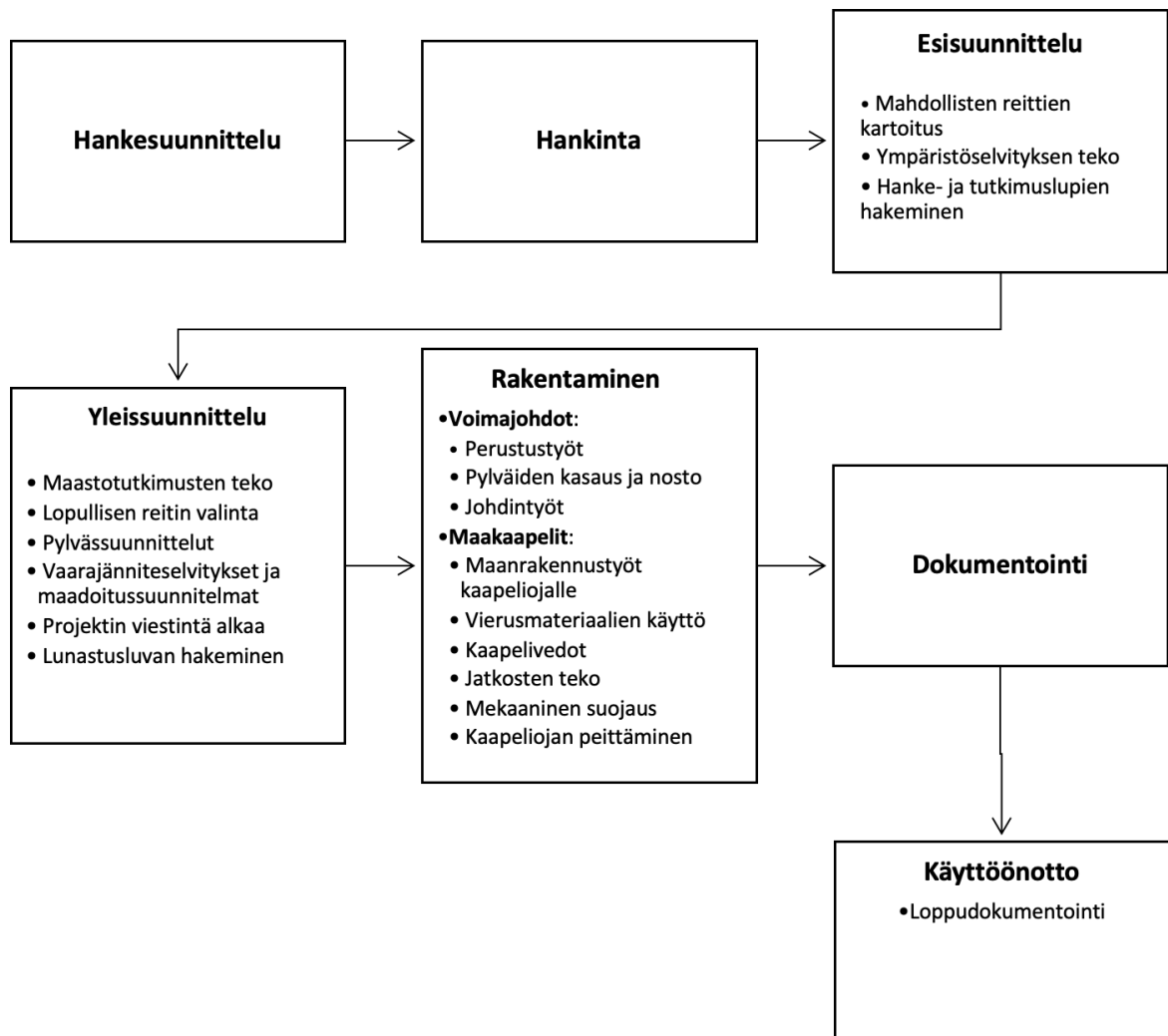
Eristimien tehtävänä on eristää voimajohto verkon muista osista sekä kiinnittää voimajohto pylvääseen. Eristimien rakennemateriaalina voi olla joko posliinia, lasia tai jotain komposiittimateriaalia. Nykyisin uusilla voimajohdoilla ei käytetä posliinieristimiä, vaan eristimet ovat joko lasia tai komposiittia parempien teknisten ominaisuuksien ja alhaisempien kustannuksien takia. (Caruna, 2022e)

Lasi- ja komposiittieristimien välisten suurimpia eroja on niiden paino sekä vaurioitumisen

tarkasteltavuus. Lasieristimet ovat erittäin painavia komposiittieristimiin verrattuna, etenkin suuremmilla jännitetasoille siirtyessä. Komposiittieristimistä taas ei pysty näkemään ulkoisesti, jos ne ovat vahingoittuneet läpilyönnin takia, kun taas lasieristin voi pirstoutua kokonaan tämän sattuessa. Eristimet voivat rakenteellisesti olla joko tukieristimiä tai riippu- eli kannatuseristimiä. Kannatuseristimet koostuvat eristinketjusta ja lautasmallisista eristimistä. Eristimiin kuuluu eristinlautasten ja eristinketjujen lisäksi muita eristinvarusteita, joiden tehtävänä on kiinnittää eristin johtimeen kiinni sekä suojata eristintä. (Elovaara & Haarla, 2011b)

4 Voimajohto- ja maakaapeliprojektien vaiheet

Tässä osiossa käydään läpi mitä voimajohto- ja maakaapelien rakennusprojekteissa tapahtuu. Tarkemmin kuvailtuna mitä tehtäviä suunnittelu- ja rakentamisprosessissa tapahtuu. Projekteihin kuuluvat myös hankinta- ja käyttöönottovaiheet sekä koko projektin aikana tapahtuva dokumentointi, joita ei käsitellä sen tarkemmin tässä luvussa. Projektien pääpiirteittäiset vaiheet, ovat esitettyinä prosessikaaviona kuvassa 4.1.



Kuva 4.1. Voimajohto- ja maakaapelihankkeen vaiheet.

Kuvassa 4.1 nähdään pääpiirteinen voimajohto- ja maakaapeliprojektin elinkaari. Projekti alkaa hanksuunnittelusta, jonka pohjalta on tehty projektin tärkeimmät linjaavat päätökset, kuten muun muassa mikä on projektin aikataulu, budjetti, liittymäpisteet, johtimien poikkipinta-ala sekä virtapiirien määrä. Hanksuunnittelun pohjalta tehdään hankekuvaus

ja muut kilpailutusasiakirjat, joita käytetään hankintavaiheessa kilpailuttamaan projektin toteuttava pääurakoitsija.

Kun kilpailutus on tehty ja urakoitsija hankittu, projekti etenee esi- ja yleissuunnitteluun sekä sen jälkeen rakentamiseen. Esi- ja yleissuunnittelusta kerrotaan tarkemmin aliluvuissa 4.2 ja 4.3 ja rakentamisesta aliluvussa 4.5. Rakentamisen jälkeen rakennettu verkko-omaisuus ja muut asiakirjat dokumentoidaan ja päivitetään verkonhaltijan verkko- ja käytöntukijärjestelmiin, jonka jälkeen käyttöönottovaiheessa vastaanottotarkastusten jälkeen hanke luovutetaan tilaajalle.

Suunnittelujen ja rakentamisen lomassa alkaa samaan aikaan reitissä käytettävän maa-alan lunastus, joka alkaa yleissuunnitteluvaiheessa ja päättyy käyttöönottovaiheeseen. Lunastusmenettelystä kerrotaan lisää luvussa 4.4.

4.1 Hankinta

Sähköverkkoliiketoiminnassa toimitaan julkisen hankintalain alla, jonka mukaan laissa kansalliset kynnysarvot ylittävien hankintojen valintaperusteet täytyvät olla etukäteen avoimesti ja selkeästi tiedossa. Kynnysarvoja alittavissa hankinnoissa taas on pyrittävä huomioimaan hankinnan kokoon ja laajuuteen nähden riittävä avoimuus ja syrjimättömyys. (Laki vesija energiahuollon, liikenteen ja postipalvelujen alalla toimivien yksiköiden hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista, 2016)

Hankintavaiheessa joko hankesuunnittelussa tai esi- ja yleissuunnittelussa luodusta suunnitelmasta tehdään kilpailutusasiakirjat, joita käytetään kilpailutukseen. Urakoitsijoille lähetetään tarjouspyyntö, ja tarjouskilpailuun halukkaat urakoitsijat laativat kilpailutusmateriaalin pohjalta projektille tarjoushinnan sekä muut vaadittavat dokumentit, joiden avulla voidaan arvioida tilaajan asettamia laatu- tai ympäristövaatimuksia.

Urakoitsijoiden tarjouslaskenta muodostuu urakan kustannusarviosta, katevarauksesta sekä riskivaruudesta. Urakoitsija varautuu urakkaan liittyviin riskeihin lisäämällä kustannusarvion ja katevarauksen päälle riskivarausta. Tavanomaisia riskejä ovat esimerkiksi aikataulukäsitteet ja sopimustekniset asiat. Mitä suurempia ja todennäköisempiä riskit ovat, sitä suurem-

maksi kasvaa tarjoushintaan kuuluva riskivaraus. (Asiantuntijat, 2022)

4.2 Esisuunnittelu

Voimajohto- ja maakaapeliprojektin suunnittelu alkaa esisuunnittelulla, jonka tavoitteena on kartoittaa mahdollisia vaihtoehtoja voimajohto- tai maakaapelireiteille sekä arvioida näiden ympäristövaikutuksia ja maankäytön edellytyksiä. Esisuunnittelun yhteydessä haetaan myös hanke- ja tutkimusluvut rakentamista ja maastotutkimuksia varten sekä aloitetaan viiranomaisneuvottelut. (Caruna, 2022e; Asiantuntijat, 2022)

Sähkömarkkinalain (2013/588 § 14) velvoittamana yli 110 kV:n sähköjohdon rakentaminen edellyttää hankeluvan hakemista Energiavirastolta. Hankeluvan täytyy sisältää riittävä selvitys hankkeen ympäristövaikutuksista (Energiavirasto, 2022).

Ympäristövaikutusten arviointi tehdään joko ympäristöselvityksellä tai kattavammalla YVA-menettelyllä (ympäristövaikutusten arviointimenettely). Pääsääntöisesti 110 kV:n hankkeille riittää suppeampi ympäristöselvitys. Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 2017 edellyttää YVA-menettelyn soveltamista vähintään 220 kV:n maanpäällisille johdoille, joiden pituus on vähintään 15 km. (Elovaara & Haarla, 2011a)

Ympäristöselvityksen tarkoituksena on selvittää hankkeen soveltuvuutta alueen maankäyttöön kaavoitukset ja asutukset huomioiden, hankkeen vaikutukset ympäristön- ja luonnon-suojeluun sekä maisemalliset vaikutukset. Voimajohdon toteutettavuutta arvioidaan ja reitin optimointiehdotuksia pyritään etsimään perustuen teknis-taloudellisiin ja ympäristöllisiin reunaehtoihin. Kohteesta riippuen voidaan joutua tekemään vielä muinaisjäänneinventointi Museoviraston lausuntojen ja liitekarttojen mukaisilla määritteillä ja alueilla. (Caruna, 2022c; Asiantuntijat, 2022; Fingrid, 2018)

Saneerausprojekteissa esisuunnittelu tehdään suppeampana, koska luvitusten ja kustannusten takia ei yleensä ole järkevää suunnitella kokonaan uutta reittiä vanhan reitin tilalle, mutta vanhoille johdoille olisi hyvä tehdä ympäristöselvitys etenkin jos niille ei ole aikoinaan tehty. (Caruna, 2022c)

4.3 Yleissuunnittelu

Esisuunnittelun valmistuttua voidaan siirtyä yleissuunnitteluun. Yleissuunnittelussa aloitetaan maastotutkimukset, joiden perusteella valitaan lopullinen reitti voimajohtolle tai maakaapelille (Fingrid, 2018). Voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa tehdään risteämien selvitystä, jotka ovat olennainen osa kaapelien ja voimajohtojen pylväiden sijoitussuunnittelua. (Asiantuntijat, 2022)

Voimajohtoprojekteissa tehdään pylväiden teknistä suunnittelua, jossa mietitään pylvästyypit, pylväspaikat ja niiden korkeudet. Sijoitussuunnittelulla pyritään optimoimaan pylväiden paikkoja ja määrää maastotutkimusten ja ympäristöselvityksen pohjalta. (Asiantuntijat, 2022)

Olennainen osa yleissuunnittelua on myös vaarajänniteselvityksen ja maadoitussuunnitelman laatiminen. (Caruna, 2022c) Kaikilla pylväspaikoilla tehdään maaperätutkimukset, jossa tehdään maaperän ominaisresistanssimittauksia sekä laaditaan maaperän laadun mukaan perustamistapasuosituksia. Maakaapeleita rakentaessa on tärkeää selvittää reitistä etukäteen mahdolliset haitat ja olemassa olevat sekä mahdollisesti myös tulevat tekniikat rakennettavassa maaperässä. (Asiantuntijat, 2022) Tavoitteena on minimoida maanomistajille ja ympäristölle koitua haittaa huomioiden kuitenkin tekniset reunaehdot sekä taloudellinen kannattavuus. (Caruna, 2022c)

Vaarajänniteselvityksen tehtävänä on selvittää voimajohtoon tai kaapelin vaikutukset sitä ympäröivään alueeseen ja viestintäverkkoon henkilöturvallisuuden sekä ympäröivän omaisuuden turvaamiseksi. Vaarajänniteselvityksessä sisältyy maapotentiaalitarkastelu sekä induktiovaarajännitetarkastelu. Laskettuja maadoitusjännitteitä ja maapotentiaaleja verrataan standardien ja määräysten asettamiin raja-arvoihin. Vaarajänniteselvityksen pohjalta laaditaan pylväskohtaiset maadoitussuunnitelmat, jotta standardit täyttyvät sekä tarvittaessa määritetään suojaustoimenpiteet henkilöturvallisuuden ja muun ympäristön turvaamiseksi. (Caruna, 2018; Luukkainen, 2020)

Yleissuunnittelun aikana alkaa myös projektin viestintä sekä käytettävän maa-alan lunastusmenettely. Maanomistajia, joiden maiden läpi reitti menee, informoidaan säännöllisin vä-

liajoin projektin etenemisestä ja heidän kanssaan aloitetaan sopimusneuvottelut rakennettavan tontin ennakkohaltuunottosopimuksista. Ennakkohaltuunottosopimusten tarkoituksena on edesauttaa rakentamisen aloitusta, ennen kuin lunastustoimitus antaa rakentamiseen luvan. (Caruna, 2022c; Maanmittauslaitos, 2014)

Yleissuunnittelumateriaalin pohjalta luodaan rakentamisen kilpailutusmateriaali, jos projektin suunnittelu oli rakentamisesta erillinen projekti. Lunastusprosessi jatkuu sen jälkeen rakentamisurakoitsijan toimesta.

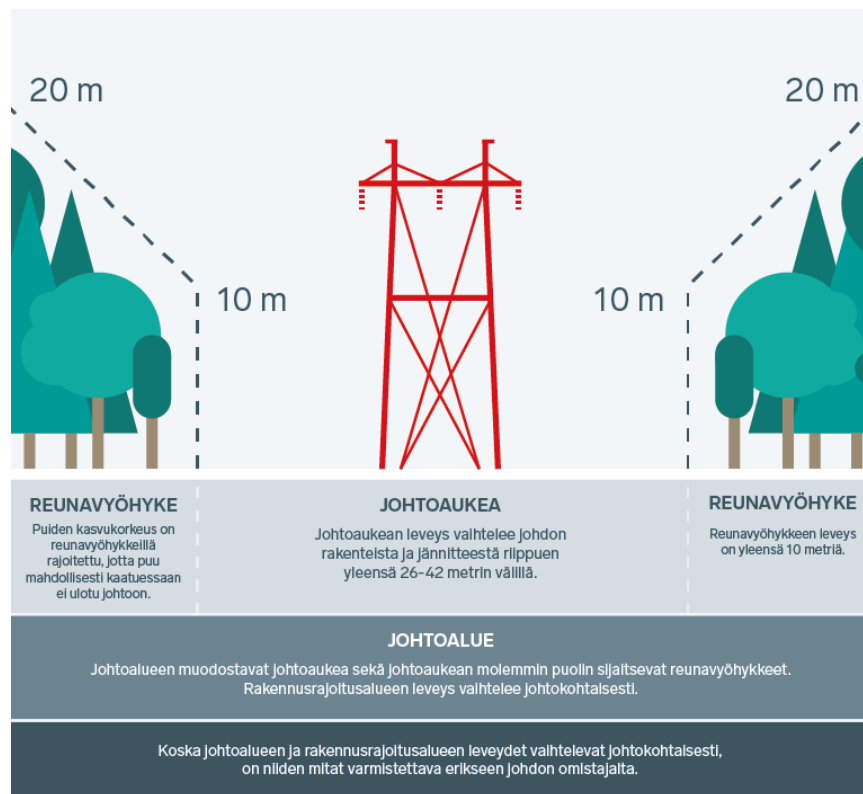
4.4 Lunastusmenettely

Koska sähköverkko voi kulkea pitkiä matkoja monien eri tahojen maa-alueiden läpi, täytyy näiltä maanomistajilta lunastaa korvausta vastaan alue, josta sähköverkko menee läpi. Tätä prosessia kutsutaan lunastusmenettelyksi. Lunastusmenettely alkaa lunastusluvan hakemisella jonka myöntää joko valtioneuvosto tai Maanmittauslaitos riippuen lunastuksen tärkeydestä. Ennen lunastusluvan käsittelemistä lunastuksen hakijan tulee kuulla asianosaisia joko kirjallisesti tai erityisissä kuulemiskokouksissa. (Maanmittauslaitos, 2020)

Sähköverkon lunastusmenettely jaetaan yleensä seuraaviin vaiheisiin:

1. Alkukokous
2. Rakentaminen
3. Jatkokokous
4. Maastokatselmus
5. Loppukokous

Lunastusmenettelyn jälkeen saadaan lunastetuksi johtoalue, johon voimajohto- tai maakaapelireitti voidaan rakentaa. Kuvassa 4.2 on esitettyä johtoalueen määritelmä, sekä siihen liittyvät termit.



Kuva 4.2. Johtoalue ja siihen liittyvät termit (Fingrid, 2022a).

4.4.1 Alkukokous

Lunastustoimitus alkaa alkukokouksella, jossa maanomistajat kutsutaan henkilökohtaisella kutsulla kuulemaan lunastuksesta. Maanomistajille kerrotaan kokouksessa lunastuksen syy, lunastustoimituksen kulku ja korvauskäytänteet. Kokouksessa esitetään myös projektin kokonaisuus ja aikataulu, ja maanomistajat voivat vastaavasti esittää toiveensa sähköverkon pylvässijoittelusta. Tässä vaiheessa tapahtuu myös ennakkohaltuunotto ja ennakkokorvausten käsittely, jos projekti edellyttää sen kiireellisyyden tai muun tärkeän syyn takia ennakkohaltuunottoa. (Maanmittauslaitos, 2020; Fingrid, 2020).

4.4.2 Rakentaminen

Rakentamisvaiheessa lunastustoimitus hiljentyy rakennustöiden ajaksi ja maanomistajille pidetään aktiivista viestintää rakentamisen kulusta. Asianomaisten maanomistajien kanssa sovitaan johtoalueelta hakattavan puuston poistosta ja myynnistä, rakentamisen aikana käytet-

tävistä yksityisteistä sekä rakentamisen aikana aiheutuvat vahingot korjataan tai korvataan. Erimielisyyksien sattuessa lunastustoimikunta ratkaisee edellämainitut käytänteet. (Maanmittauslaitos, 2014).

4.4.3 Jatkokokous

Verkon rakentamisen päätyttyä pidetään jatkokokous, jossa maanomistajille esitetään toimituskartta, pinta–alaselitelvät ja määräaika lopullisten korvausvaatimusten jättämiselle. Maanomistajien korvausvaatimukset kuullaan, arvioidaan ja tarvittaessa maastokatselmusten ajankohdista sovitaan. Välillä jatkokousta ei ole tarpeen pitää, vaan asiakirjojen ja korvausvaatimusten määrääjat ja katselmusajankohdat toimitetaan kirjeitse. (Maanmittauslaitos, 2014; Maanmittauslaitos, 2020; Fingrid, 2020)

4.4.4 Maastokatselmus

Maastokatselmuksessa selvitetään sähköverkon vaikutusta lunastuksen kohteeseen ja sen läheisyydessä oleviin kiinteistöihin. Lunastaja antaa maastokatselmuksen jälkeen vastineensa esitetyistä korvausvaatimuksista. (Maanmittauslaitos, 2014; Fingrid, 2020)

4.4.5 Loppukokous

Lunastustoimikunta laatii korvausvaatimusten, maastokatselmusten ja vastineiden perusteella lopulliset korvauspäätökset, jotka määrittelevät lunastettavan omaisuuden ja korvauksen määrän. Lopuksi maanomistajille selostetaan valitusmenettely. (Maanmittauslaitos, 2014)

4.5 Rakentaminen

Rakentamisvaihe voidaan aloittaa, kun yleissuunnittelu on tehty ja lunastuslupa haettu. Rakentamista aloittaessa rakennettava reitti täytyy olla vähintään ennakkohaltuunotettu. Voimajohdon tai kaapelin koko reittiä ei yleensä rakenneta koko mitaltaan työvaihe kerrallaan,

vaan eri työvaiheet yleensä aikataulutetaan tapahtumaan limittäin reitin eri kohtia pitkin.

Voimajohdot ja maakaapelit eroavat tässä vaiheessa merkittävästi toisistaan. Voimajohtojen ja maakaapelien rakentamisen vaiheet ovat tässä osiossa jaettu tarkemmin omiin alalukuihinsa: voimajohtojen rakentamisesta kerrotaan luvussa 4.5.1 ja maakaapelien rakentamisesta luvussa 4.5.2.

4.5.1 Voimajohdot

Voimajohdon rakentaminen voidaan jakaa karkeasti kolmeen työvaiheeseen: perustustyöt, pylväiden kasaus ja nosto sekä johdintyöt.

Ennen varsinaisia rakennustöitä tehdään ensin rakentamisen reittisuunnittelua, eli suunnitellaan miten jokaiselle pylvälle kuljetaan: pylväspaikkoja käydään katsomassa paikan päällä ja arvioidaan talvi- tai mursketeiden tarvetta kuhunkin sijaintiin. Elementtien ja pylväsosien jakopaikat määritetään, jolloin jokaisella reittipätkällä on tietty paikka mistä niitä jaetaan. (Caruna, 2022e)

Perustustyöt alkavat perustuspaikan kaivamisella, jonka jälkeen voidaan asentaa perustukset. Maapohjatutkimukset eivät aina välttämättä pidä paikkansa, jolloin voi olla tarvetta tehdä muutostöitä: huonolle perustuspaikalle voidaan joutua tekemään lisää paalutusta tai massanvaihtoa, tai perustamispaikkaa joudutaan siirtämään, jolloin on tarvetta suunnitella maadoitukset uudestaan sekä perustaminen. Perustustöiden yhteydessä tehdään aina niiden lisäksi perusmaadoitukset sekä mahdolliset potentiaalimaadoitukset. Lisämaadoitukset voidaan myös tehdä perustustöiden aikana tai loppusiivouksen yhteydessä. (Caruna, 2022e)

Perustusten asentamisen jälkeen voidaan aloittaa pylväiden kasaus. Pylväiden kasaus tehdään perustusten vieressä jollain koneella kuten esimerkiksi metsätyökoneella. Kasausta ennen pylvään nostotapa pitäisi olla jo valmiiksi tiedossa oikeantyyppisen nostokoneen sekä kasaustavan varmistamiseksi. Vapaasti seisovat pylvät ovat monesti niin isoja, että ne joudutaan kasaamaan ja nostamaan pystyyn osissa. Vapaasti seisovien pylväiden nostoissa käytetään yleensä kahta konetta. Pylväs voi alkaa heilumaan nostaessa sitä ilmaan, jolloin toisen koneen tehtävänä on estää pylvään sivuttaista liikettä. Kasauksen yhteydessä pylvääseen

yleensä kiinnitetään eristinvarusteet sekä johdinpyörät ja niiden läpi roikkuvat piippanarut, jos se on näiden painojensa puolesta mahdollista. Muussa tapauksessa eristinvarusteet ja johdinpyörät nostetaan pylvään noston jälkeen. Johdinpyöriä käytetään johdinvetojen aikana vetämään johtimet niiden läpi pylväisiin. Piippanaruja käytetään, jotta johdinvetojen aikana pylväisiin ei tarvitse uudestaan kiivetä pujottamaan johdin tai pilottiköysi johdinpyörästä läpi. (Caruna, 2022e)

Pylvään kasaamisen jälkeen olisi suotavaa nostaa se heti pystyyn rakentamisen virtaviivaistamiseksi ja siten kustannustehokkuuden edistämiseksi, mutta esimerkiksi saneeraustilanteissa olemassa oleva johdin on vielä jännitteinen, jolloin pylvään nosto täytyy tehdä keskeytysjärjestelyiden sanelemana. Pylväät jätetään silloin paikoilleensa, niin että ne eivät päädy vahingoittuneiksi tai väännöksiin. (Caruna, 2022e)

Kun pylväät ovat nostettu ja eristinvarusteet ja johdinpyörät asennettu, katsotaan reitistä vetovälit missä vaihe- ja ukkosjohtimet sekä kuidut vedetään. Johtimia ei voida vetää kulmapylväiden lävitse johtimen vaurioitumisvaaran vuoksi, vaan vetäminen pitää joko alkaa tai päättyä kulmapylväisiin. Johtimet vedetään joko perinteisellä menetelmällä tai kireänä veto –menetelmällä. Perinteisessä menetelmässä johdinta vedetään jollain työkoneella kuten kaivinkoneella pylväiden välissä. Johdin kiinnitetään vetoliinaan kiinni, joka vedetään piippanarulla pylväässä olevan johdinpyörän läpi. Vetoliina kiinnitetään leikarilla kaivinkoneen perään kiinni ja vedettävä johdin laahaa maassa perässä. (Caruna, 2022e)

Kireänä veto –menetelmässä pilottiköydet ja vetovaijerit vedetään ensin perinteisellä menetelmällä pylväisiin kireäksi. Kelojen puolella on toinen kone, joka pitää johtimet kireänä vetojen ajan. Näin pyritään välttämään johtimille ja ympäristölle tapahtuvia vahinkoja, jotka voisivat muuten aiheutua johtimien laahatessa maata. Yleisesti kireänä veto –menetelmää käytetään kaupunkiympäristössä ja perinteistä menetelmää syrjemmillä alueilla, mutta käytännöt voivat vaihdella eri sähköverkkoyhtiöiden välillä. (Caruna, 2022e)

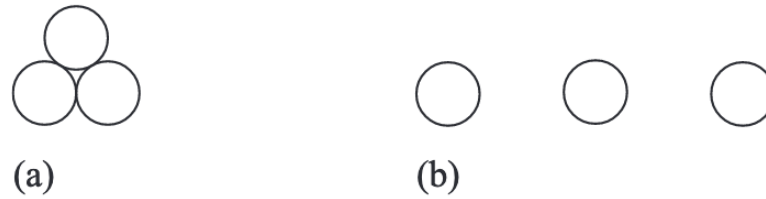
Johdinvedon jälkeen johdin asetetaan sen teknisten vaatimusten määräämään riippumaan kiristämällä se oikeaan kireyteensä. Johdin kiristetään joko päätte- tai kiristyspylväälle. Kiristyspaikalla johtimen kiinnitetään kiristyspäätte, jotta johtimen kiristys säilyy ja johdin kiinnitetään päätteineen pylvääseen kiinni. Kiristysvedot tehdään joko vetokoneella tai kaivin-

koneella, jossa on mittalaite välissä. Kiristysten jälkeen johdinpyörät irroitetaan pylväistä ja johtimet sidotaan pylväisiin kiinni kannatuspidikkeillä. Kannatuspidikkeet laitetaan eristinketjujen päälle ja johtimet kannatuspidikkeisiin kiinni. Harusten kiristysten jälkeen verkko on lopullisessa muodossaan. (Caruna, 2022e)

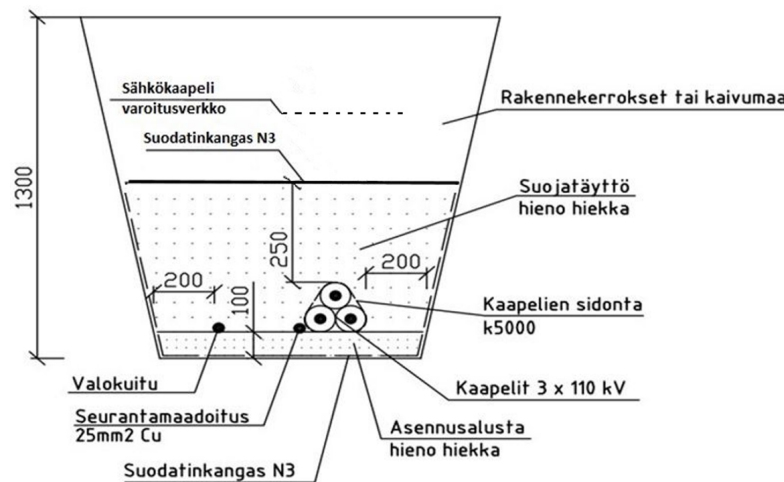
4.5.2 Maakaapelit

Rakentamissuunnittelun aikana suunnitellaan missä jatkokset tehdään ja muu jatkostöiden logistiikka kuten rakentamisen aikaiset kulkureitit vähentääkseen rakentamisen aikaista haittaa ulkopuolisille. Jatkospaikka kaivetaan usein normaalia kaapelikaivantoa leveämmäksi. Jatkokset ovat suhteellisen suuria ja ne vaativat niitä asentaessa puhtaan ja kuivan ympäristön, jotta kosteutta ei pääsisi niiden sisälle. Jatkostöiden ajaksi laitetaan jatkospaikalle joko sen ylle telttä tai betonilattia ja sivuja pitävät seinät sekä lämmitys poistaakseen ympäröivää kosteutta. Jatkospaikalta voidaan usein myös pumpata vettä pois koneellisesti. (Harker, 2018; Caruna, 2022c)

Yleisin tapa rakentaa maakaapeliverkkoa on kaivaa maa auki kaapelikaivantoa varten, jonka jälkeen maakaapeli asetetaan sen pohjalle joko kolmioon tai rinnakkain riippuen kaapelin kuormitustavasta. Kolmioon asennuksessa kaapelikaivantoa ei tarvitse kaivaa tasoon verrattuna yhtä leveäksi, koska kaapelit ovat läheisyydessä toisiinsa. Kolmiossa kaapelien vaippoihin indusoituvat jännitteet pienenevät, koska symmetrisesti asetettujen kaapelien magneettikentät kumoavat toisensa. Toisaalta lähekkäiset kaapelit heikentävät kaapelien lämpöjohtavuutta, jolloin kaapelin kuormitettavuus heikkenee. Tasoon asennuksen hyödyt ja haitat ovat vastakkain kolmioon asennuksesta: koska tasoon asennuksessa kaapelit ovat kauempana toisistaan, kaapelikaivanto joudutaan kaivamaan leveämmin mutta kaapelien lämpöhäviöt ovat pienemmät. Leveämmät kaapelivälit myös helpottavat kaapelivetoja sekä jatkostöitä. Kuvassa 4.3 on esitettyinä kaapelien poikkileikkaus kolmioon ja tasoon asennuksessa sekä kuvassa 4.4 poikkileikkaus tyypillisestä kolmioon asennuksesta kaapelikaivantoon. (Harker, 2018)



Kuva 4.3. Poikkileikkaukset kaapelien asennustavoista: a) kolmioon asennus b) tasoon asennus (Harker, 2018).



Kuva 4.4. Tyypillisen kaapelikaivannon poikkileikkaus (Caruna, 2019).

Kaapelin kuormitettavuuteen vaikuttaa kaapelin poikkipinta, rakenne, asennustapa ja asennusolosuhteet kuten asennussyvyys sekä maaperän lämpötila ja lämpöresistiivisyys. Myös muun muassa kosketuspiirin maadoitustapa vaikuttaa kaapelin kuormitettavuuteen. (Caruna, 2022e; Hämäläinen, 2013)

Kaapelin kuormitettavuus heikkenee lämpöhäviöiden takia, kun sitä ympäröivän vierusmateriaalin lämmönjohtavuus on heikkoa. Kuormitettavuutta voidaan parantaa vaihtamalla sitä ympäröivä vierusmateriaali täytemateriaalilla, jolla on parempi lämmönjohtavuus. Yleisimmät käytettävät täytemateriaalit ovat hiekka, betoni ja weak-mix. Luetelluista materiaaleista hiekka on yleisin vierusmateriaali sen edullisuuden ja hyvän saatavuuden takia. Betonilla taas on paras lämmönjohtavuus, joka takia sitä suositetaan erikoiskohteissa, joissa kaapelin kuormitettavuus on kriittistä ja lämmönaiheuttajia on useita. Weak-mix on sekoitus sementtiä, hiekkaa ja vettä, joiden suhteita muuttamalla voidaan muodostaa halutunlaista massaa. (Hämäläinen, 2013) Asentamisen yhteydessä sekä kaapelikaivannon täyttämässä käytettä-

vää hiekkaa on myös tärkeää tarkistaa, että se on tarpeeksi hyvälaatuista, jotta maakaapeli ei vaurioituisi. (Caruna, 2022e)

Maakaapelin asentamista kaapelikaivantoon on kaksi eri tapaa: kaapelin vetämistä varten kaapelikaivantoon laitetaan säännöllisin välimatkoin rullia, jonka jälkeen kaapelia vedetään vinssillä rullien päällä. Toisessa tavassa kaapeli vedetään pitkäksi maan päällä, jonka jälkeen se lasketaan liinoilla kaapelikaivantoon. Erikoistapauksissa kuten tien alituksissa, jossa auki-kaivaminen ei ole mahdollista, voidaan käyttää kaivamattomia tekniikoita, kuten poraamista, jolloin maakaapeli pujotetaan poratun reiän läpi muovi- tai rautaputkeen. (Caruna, 2022e)

Riippuen asennettavan kaapelikaivannon ympäristöstä ja määräyksistä, voidaan asennuksen yhteydessä laittaa kaapeleille mekaaninen suoja, kuten esimerkiksi suojaputkea tai betonikantta, joiden tehtävänä on parantaa käyttövarmuutta tai suojata kaapelia maanpinnalla tapahtuvilta vaikutuksilta. Yleisesti mekaanista suojausta ei käytetä muulloin kuin teiden tai vesistöjen alituksissa, jolloin käytetään suojaputkea. (Caruna, 2022e)

4.6 Dokumentointi ja käyttöönotto

Rakentamisen jälkeen rakennettu verkko dokumentoidaan verkko- ja käytöntukijärjestelmiin. Verkko on suunniteltu toimimaan kymmeniksi vuosiksi, joten on tärkeää, että verkon tiedot on dokumentoitu mahdollisimman virheettömästi ja kattavasti.

Käyttöönottoprosessin aikana tehdään käyttöönottotarkastukset ja -koestukset. Saneeratuissa voimajohdoissa käyttöönotossa täytyy ottaa huomioon keskeytysjärjestelyt, joita on suunniteltu jo hankesuunnittelun aikana. Korvattava voimajohto ja siihen kytketyt sähköasemat kytketään hetkeksi jännitteettömäksi ja uusi voimajohto liitetään kaapelipäätteillä tai muulla ratkaisulla sähköasemiin kiinni. Vanha voimajohto puretaan sen jälkeen pois, jotta se ei olisi tiellä. Urakoitsija luovuttaa projektin tilaajalle vastaanottotarkastuksen läpäisemisen sekä mahdollisten puutteiden ja virheiden korjausten jälkeen. Lunastustoimituksen loppukokous pidetään rakentamisen jälkeen ja maanomistajille maksetaan heille kuuluvat korvaukset. Lopuksi projektin dokumentaatiot masteroidaan ja uudet muutokset päivitetään ajan tasalle, jonka jälkeen projekti voidaan sulkea ja siirtyä projektin takuuajalle.

5 Haastattelututkimus ja vanhat projektit

Tässä luvussa käydään läpi kuinka tutkimuksen aineisto kerättiin ja millaisia tuloksia niistä saatiin. Tutkimus tehtiin pääasiassa haastattelututkimuksena, jossa voimajohto- ja maakaapeliprojektien sidosryhmiltä kysyttiin heidän kokemuksiaan ja näkemyksiään projektien toteutumisesta. Projektien vaiheistukset vaihtelevat eri toimijoiden mukaan, joten vertailtavuuden vuoksi kaikissa haastatteluissa projektin elinkaari jaettiin neljään osaan: projektin aloitukseen, suunnitteluun, rakentamiseen ja projektin päätökseen. Haastattelu sisälsi ennalta laadittuja kysymyksiä sekä mahdollisia jatkokysymyksiä aihepiirin jatkamiseksi, riippuen diskurssin luonteesta. Haastattelu toteutettiin strukturoidusti, jossa haastateltavalta kysyttiin projektin vaihe kerrallaan millaisia vastuita ja työtehtäviä heillä on, ja mitä kustannuksia ja vaikutusmahdollisuuksia jokaisessa vaiheessa on. Haastattelut tehtiin joko kahdenkeskisesti tai koko haastateltava ryhmä kerrallaan. Haastatteluja tehtiin myös sellaisilta sidosryhmiltä, joiden tehtävät ajoittuvat rajatun elinkaaren ulkopuolelta, mutta pystyivät kuitenkin oman näkemyksensä voimajohto- ja maakaapeliprojektin kustannustehokkuudesta. Aliluvussa 5.1 käydään mitä vastauksia saatiin projektin aikana syntyvistä kustannuksista ja niiden ajoittumisesta. Aliluvussa 5.2 käydään läpi millä keinoilla vaikuttaa kustannuksiin, ennen kuin ne lukittuvat projektiin.

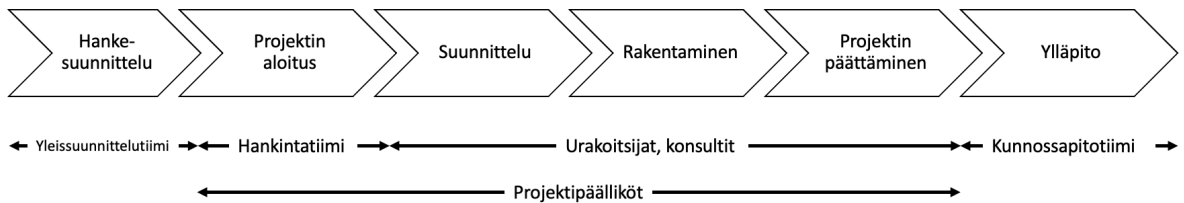
Carunan sisäisistä sidosryhmistä haastateltavat tiimit olivat:

- Suurjännitteinen jakeluverkko –tiimin projektipäälliköt (3 hlö)
- Hankintatiimi (2 hlö)
- Yleissuunnittelutiimi (hankesuunnittelu) (2 hlö)
- Kunnossapitotiimi (2 hlö)

Ulkoisista sidosryhmistä haastateltiin rakentamisen pääurakoinnin sekä suunnittelukonsultointiyriyten edustajia, jotka edustivat kyseisiä yrityksiä:

- Eltel Networks Oy

- Infratek Finland Oy
- Despro Engineering Oy



Kuva 5.1. Sidosryhmien työtehtävien ajoitus projektin elinkaaren aikana.

Kuvassa 5.1 on esitettyä missä vaiheissa projektia kukin sidosryhmä on mukana projektissa. Yleissuunnittelutiimi toimii pääasiassa ennen projektin aloitusta projektin hankesuunnittelun laatimisessa, mutta välillä myös projektin esisuunnittelu voi olla tiimin vastuulla. Hankesuunnittelun jälkeen projekti luovutetaan aloitusvaiheeseen suurjännitteisten jakeluverkkojen projektien projektipäälliköille, jotka ovat vastuussa projektin toteutumisesta kunnes projekti on käyttöönotettu ja siirtynyt ylläpitovaiheeseen. Hankesuunnitelman pohjalta luodun kilpailutusmateriaalin avulla projektipäälliköt yhdessä hankintatiimin kanssa kilpailuttavat ja hankkivat projektin suunnittelun ja/tai rakentamisen urakoitsijan. Jos rakentaminen hankitaan erikseen suunnittelusta, laadittu suunnitelma toimii hankinnan kilpailutusmateriaalina. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa kilpailutuksen voittanut ulkopuolinen toimija laatii suunnittelun ja toteuttaa projektin laadittujen suunnitelmien ja tilaajan laatuvaatimusten mukaisesti. Projektin päättämisvaiheessa projekti luovutetaan tilaajalle, kun projektin vastaanotto prosessi on käyty hyväksytyksi läpi, sekä projektin dokumentointi on tehty. Kun projekti on käyttöönotettu ja luovutettu takaisin tilaajalle, projekti siirtyy ylläpitovaiheeseen. Ylläpitövaiheen aikana kunnossapitotiimin vastuulla on koko projektin loppuelinkaaren aikainen ylläpito ja huolto, jotta rakennettu verkko toimisi mahdollisimman pitkään.

5.1 Voimajohto- ja maakaapeliprojektin kustannusrakenne

Tässä aliluvussa käydään läpi mitä saatiin haastattelututkimuksessa vastaukseksi projektin aikana syntyvistä kustannuksista, niihin vaikuttavista tekijöistä ja milloin nämä kustannukset määräytyvät. Haastatteluun käytettiin seuraavia kysymyksiä:

1. *Mitä kustannuksia tässä vaiheessa on?*
2. *Mitkä tekijät vaikuttavat näihin kustannuksiin?*
3. *Mitkä kustannukset lukittuvat tässä vaiheessa?*
4. *Missä vaiheessa näihin kustannuksiin voidaan vielä vaikuttaa?*

Haastattelujen vastaukset painottuvat suurimmaksi osaksi urakoitsijoihin sekä projektipäällikköihin, koska muiden sidosryhmien työtehtävät painottuvat rajoittuvat tutkielman rajauksen ulkopuolella. Haastattelujen vastaukset ovat koottuna taulukkoon 5.1.

Taulukko 5.1. Haastattelututkimuksen vastauksia projektien kustannusrakenteesta.

	Kertyvät kustannukset	Vaikuttavat tekijät	Lukitut kustannukset	Vaikutusvaiheet
Projektin aloitus	Suunnittelukustannukset, jos projektin suunnittelu tehty etukäteen. (Caruna, 2022c)	Hankesuunnittelussa asetettu projektin laajuus ja tekniset määritykset (Caruna, 2022d)	Suunnittelun hinta. Rakentamisen hinta. - Materiaalit (Caruna, 2022c; Asiantuntijat, 2022)	Ennen suunnittelua hankesuunnittelu-vaihe Ennen rakentamista suunnittelu-vaihe (Caruna, 2022c)
Suunnittelu	Esisuunnittelukustannukset - Ympäristöselvitys - Lunastusmenettely Yleissuunnittelukustannukset - Maaperätutkimukset - Vaarajänniteselvitykset - Pylvässuunnittelut	Hankinta-asiakirjojen huolellisuus, tulkinnanvaraisuus ja lausemuodot (Asiantuntijat, 2022) Hankesuunnittelun aika määritetty tekninen ratkaisu (Caruna, 2022d)	Rakentamisen hinta, suunnittelumateriaalin perusteella kilpailutetaan rakentamisen hinta (Caruna, 2022c; Asiantuntijat, 2022)	Hankesuunnittelu-vaihe
Rakentaminen	Rakentamisen kustannukset - Maanrakennustyöt - Perustustyöt - Pylväiden kasaus - Pylväiden nosto - Johdin-/kaapelivedot - Jatkos- ja päätetyöt - Mahdolliset lisätyöt	Suunnittelu - Reittivalinta - Pylvässijoitukset - Pylvästyypit - Maaperätutkimukset - Rakennettavan maaperän laatu - Aikataulus Hankinta-asiakirjojen tulkinnanvaraisuus, lausemuodot ja teknisten spesifikaatien tulkinnanvaraisuus Kilpailutuksen aikataulu (Asiantuntijat, 2022)	Lisä- ja muutostyöt	Suunnittelu- sekä hankintavaihe projektin aloituksessa.
Projektin päätös	Viranomaisten päättämät lunastusmaksut			

Haastattelujen vastausten perusteella projektin suunnittelu määrittää olennaisesti rakennettavan verkon rakenteen ja siten miten verkkoa rakennetaan ja hinnan. Hankesuunnittelu linjaa laajuksiltaan ja teknisiltä määrityksiltään millaista lopullista verkkoa suunnitellaan. Suunnittelun pohjalta tehdään kilpailutusmateriaali, jonka avulla rakentamisen toteuttaja hankitaan. Tilaajan näkökulmasta aikataulussa pysymisen tai lisätöiden välttämisen lisäksi vaikutusmahdollisuuksia ei hirveästi ole rakentamisen hinnan lukittua. Tilaaja on sitoutunut urakoitsijan antamaan tarjoushintaan.

5.1.1 Projektin aloitus

Projektin aloituksessa kustannuksia ei ole vielä syntynyt, vaan riippuen projektista aloitetaan joko projektin suunnittelun tai rakentamisen hankinta. Usein suunnittelun ja rakentamisen kilpailutus on myös niputettu yhdessä. Jos projekti alkaa suoraan rakentamisen hankinnasta ja projektin suunnittelu on jo tehty, kertyneitä kustannuksia voivat olla suunnittelukonsultin veloittamat suunnittelukustannukset. (Caruna, 2022c)

Tässä vaiheessa lukittuu kilpailutuksen kautta joko suunnittelun tai rakentamisen hinta. Kilpailutuksen voittanut tarjoushinta on se hinta, jonka tilaaja on sitoutunut maksamaan projektista. Suunnittelumateriaalin perusteella tehdään rakentamisen kilpailutus, joka periaatteessa määrittää tarjousten hinnan ja siten rakentamisen hinnan. (Caruna, 2022c; Asiantuntijat, 2022)

5.1.2 Suunnittelu

Suunnittelussa kertyvät suunnittelukustannukset, joihin lukeutuu muun muassa ympäristö- ja maastotutkimukset, lupa-asioiden hoito, tarjousasiakirjojen laatiminen sekä voimajohtoprojekteissa pylväiden sijoitussuunnittelut. Tässä vaiheessa uusilla projekteilla tehdään reitivalinta, joka vaikuttaa merkittävästi projektin hintaan. Mitä enemmän kulmia reitti sisältää, sitä enemmän järeämpiä kulmapylväitä joudutaan käyttämään tai tekemään lyhyempiä kaapelivetoja. Lisäksi suunnitteluun kuuluvan maaperätutkimusten pohjalta tehdään pylväiden sijoitussuunnittelu, jos rakennettava maaperä on liian kovaa tai pehmeää tarkoittaa tämä työllämpiä ja kalliimpia maanrakennustöitä. Sama pätee myös maakaapeliprojekteihin.

Suunnittelu määrää periaatteessa koko rakentamisen hinnan, joka sitten lukittuu kilpailutuksen aikana. (Caruna, 2022c) Lunastusluvan hakeminen alkaa myöskin tässä vaiheessa, jolloin lunastustoimitukseen liittyviä maksuja kuten ennakkokorvauksia alkaa kertyä.

5.1.3 Rakentaminen

Projektin kokonaishinta koostuu suurimmaksi osaksi rakentamisesta. Rakentamisvaiheessa uusia kustannuksia ei määräydy enää, vaan projekti toteutetaan edellisessä vaiheessa tehtyjen suunnitelmien mukaan. Yllättäviä lisäkustannuksia voi kertyä lisä- ja muutostöiden muodossa esimerkiksi kun suunnittelun aikana jollekin pylväspaikalle tehty maaperätutkimus ei pidäkään paikkansa. Silloin joudutaan tekemään odotettua enemmän perustustöitä kuten paalutusta tai massanvaihtoa, jotka tuovat lisätöitä ja lisäkustannuksia. (Caruna, 2022c)

Rakentamisen aikana ei ole enää hirveästi mahdollisuuksia vaikuttaa projektin loppukustannuksiin muulla kuin rakentamisen hyvällä aikataulutuksella ja suunnittelulla. Liian pitkään auki oleva projekti kerryttää kustannuksia ja heikentää kustannustehokkuutta. (Caruna, 2022c; Asiantuntijat, 2022)

5.1.4 Projektin päätös

Kun rakentaminen on päättynyt ja käyttöönotto tehty, voidaan siirtyä projektin päätösvaiheeseen. Projektin päätöksessä lähes kaikki kustannukset ovat kertyneet ja uusia kustannuksia kustannuksia ei luku. Jäljelle jää maanomistajilta lunastettujen tonttien lunastuskorvausten maksaminen, joiden suuruudet viranomaiset päättävät. (Caruna, 2022c)

5.1.5 Referenssikohteet

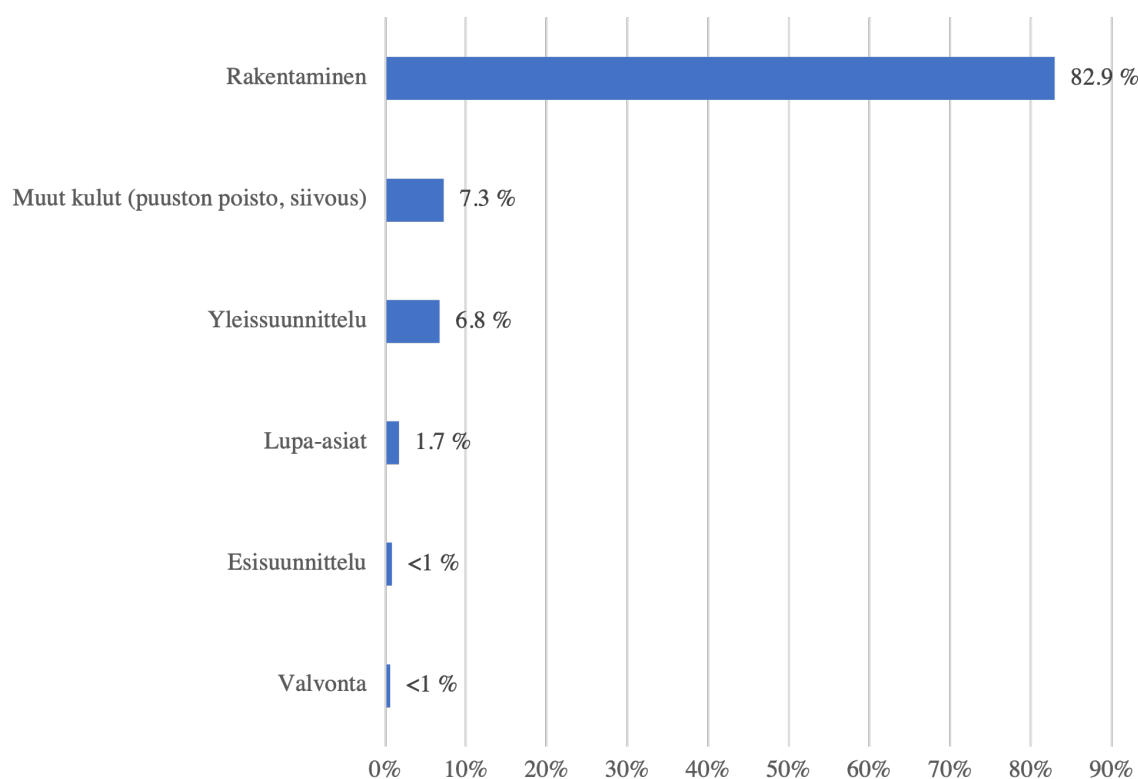
Investointiprojektien kustannusrakenteen tutkintaa varten valittiin Carunan vanhoista toteutuneista projekteista kolme kohdetta eri tyyppisistä projekteista referenssiksi. Tarkastelemalla toteutuneiden projektien kustannuksia, saadaan tietoa siitä miten kustannukset ovat todellisuudessa jakautuneet projektin eri vaiheiden välillä.

Referenssikohdeiden rakentamisen maksuperiaate oli suoriteperusteisia, jossa urakoinnin hintaa maksettiin sitä mukaan kun tiettyjä rakentamisen aikaisia merkkipisteitä oli saavutettu. Rakentamisvaiheiden kustannusten erittelyä ei ole siis mahdollista tehdä.

Projekteiksi valittiin kolme eri tyyppistä projektia:

1. Referenssikohde 1: uusi voimajohto
2. Referenssikohde 2 saneerattava voimajohto
3. Referenssikohde 3: uusi maakaapeli

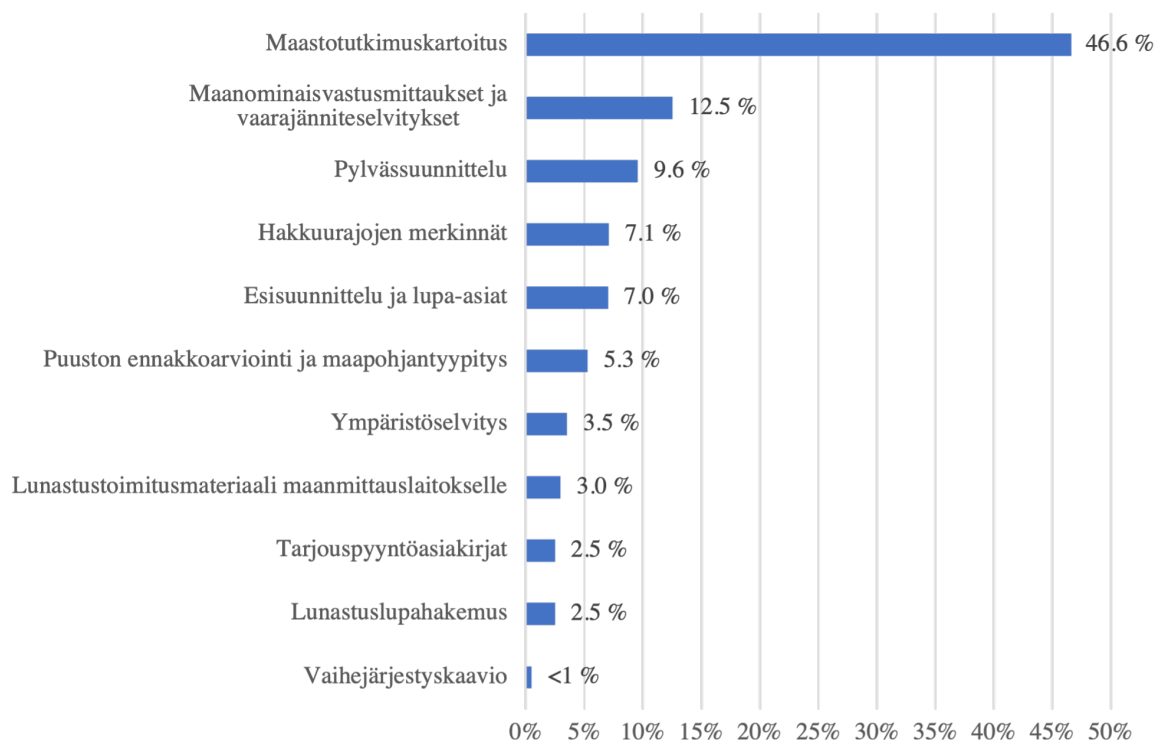
Referenssikohde 1 on Kainuun alueella sijaitseva noin 15 km pituinen voimajohto. Kohteen teknisenä ratkaisuna käytettiin pääasiassa harustettuja pylviäitä ja 2x3x2–Duck johdinta. Kohteen budjetin jakauma on esitettyä kuvassa 5.2 ja sen suunnitteluvaiheen kustannusten erittely on esitettyä kuvassa 5.3.



Kuva 5.2. Referenssikohde 1:n budjetin jakauma.

Kuvasta 5.2 nähdään, että 83 % projektin kokonaishinnasta koostuu rakentamisesta, esi-

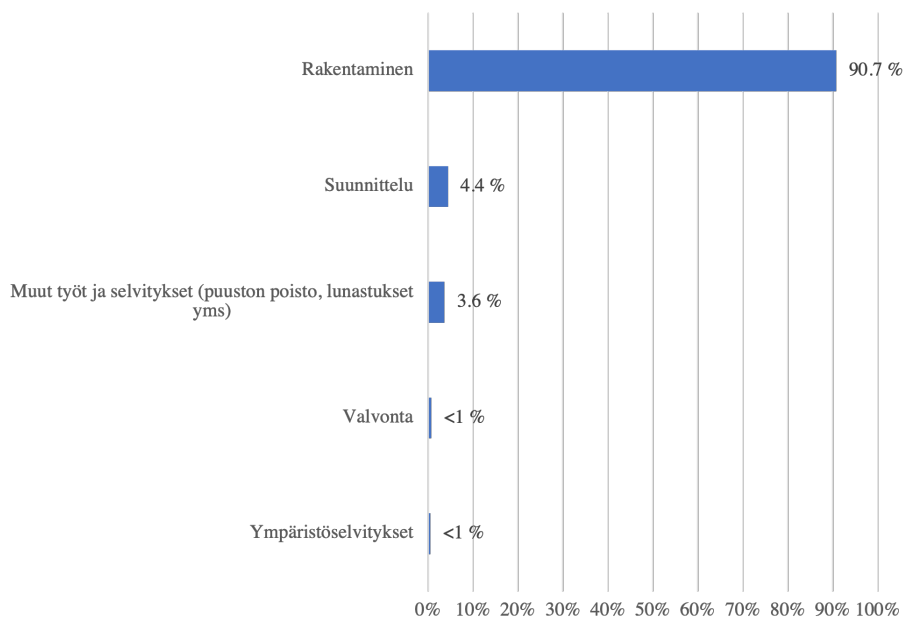
ja yleissuunnittelu yhteensä noin 8 % ja muut kulut kuten puuston poisto, linjan siivous sekä lupa-asiat vievät noin 9 %. Rakentamisen kustannukset ovat tässä referenssikohteessa huomattavasti muita kustannuksia suurempi.



Kuva 5.3. Referenssikohte 1:n suunnitteluvaiheen kustannusten erittely.

Kuvasta 5.3 nähdään, että noin 47 % koostuu maastotutkimuksista, jonka jälkeen seuraavaksi suurimmat kustannukset ovat 13 % maanominaisvastusmittausten tekoa ja vaarajänniteselvityksiä sekä 10 % pylvässuunnittelua, joihin sisältyy pylväspaikkojen maastoon merkkäamista, pylväspaikkojen maapohjatutkimuksia sekä sijoitussuunnittelua.

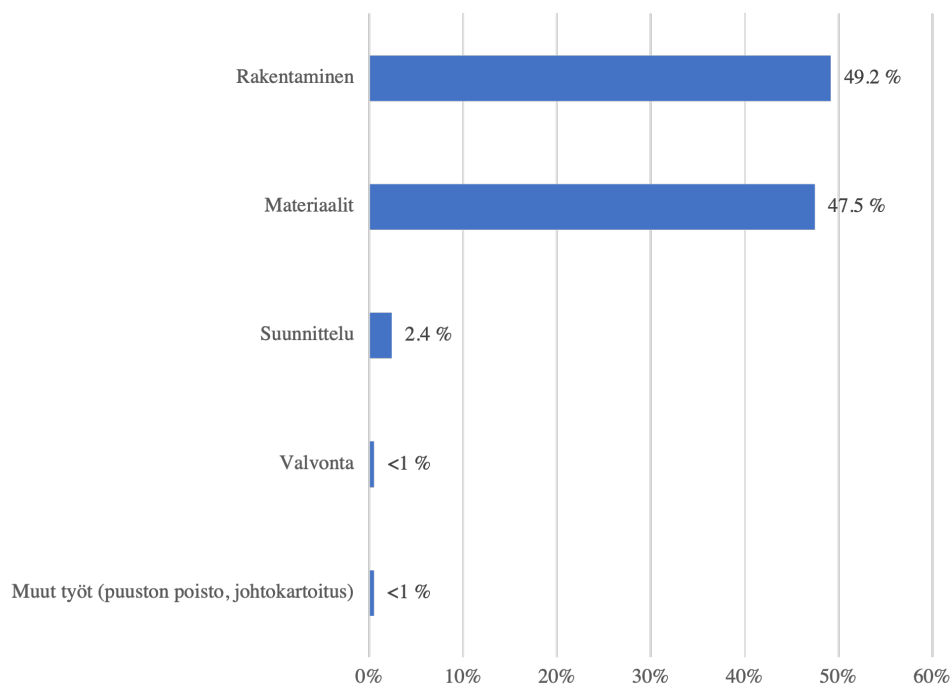
Referenssikohte 2 on Pirkanmaan alueella sijaitseva noin 18 km pituinen 1950–1960-luvun välissä rakennettu voimajohto, jolle on hiljattain tehty saneeraustyöt. Saneerattava johtoosuus päivitettiin käyttämään 1x3x2-Duck johdinta sekä teräksisiä harustettuja pylväitä. Kohteen budjetin jakauma on esitettyä kuvassa 5.4. Saneerausprojekteissa suunnittelu tehdään suppeampana, joten suunnittelukustannusten erittelyä ei ole saatavilla ympäristöselvitysten kustannuksia lukuunottamatta.



Kuva 5.4. Referenssikohde 2:n budjetin jakauma.

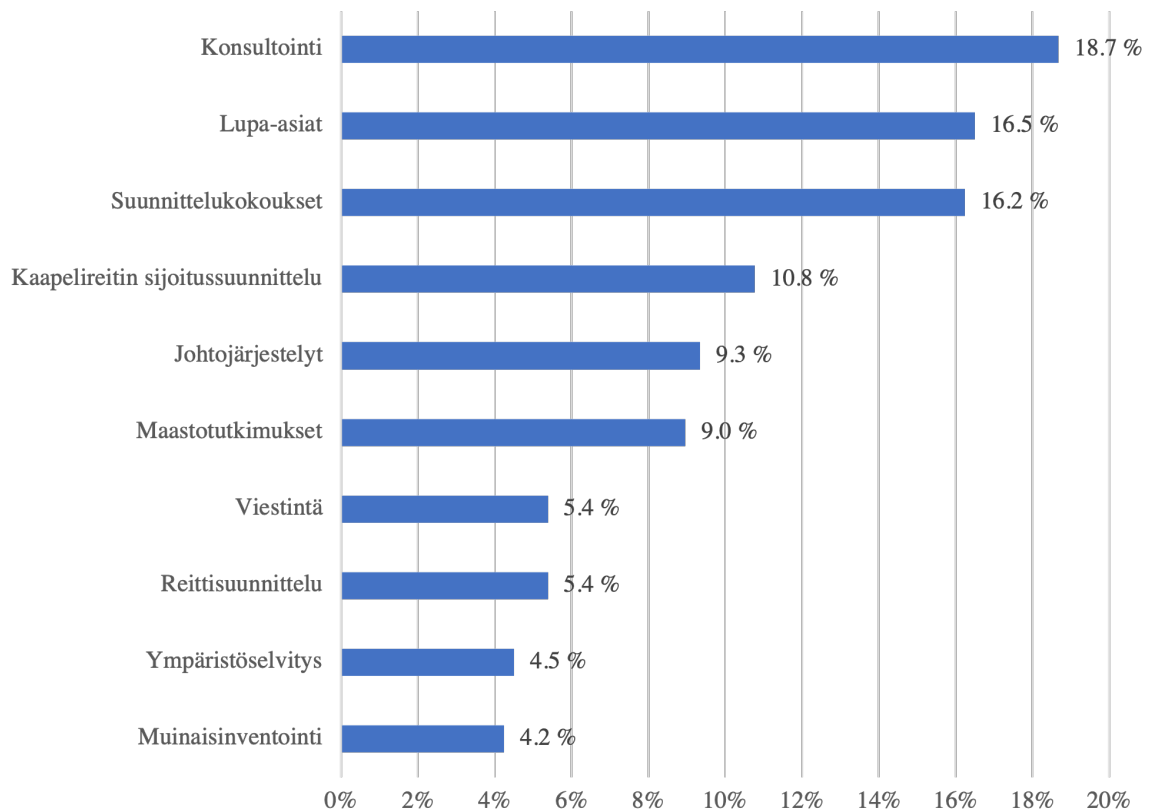
Kuvasta nähdään, että rakennuskustannukset ovat noin 91 % projektin kustannuksista.

Referenssikohde 3 on Uudenmaan alueella sijaitseva noin 6 km pituinen 2 x 110 maakaapeliprojekti KVR–urakkamallilla toteutettuna. Kohteen budjetin jakauma on esitettyä kuvassa 5.5 ja sen suunnitteluvaiheen kustannusten erittely on esitettyä kuvassa 5.7. Carunalla maakaapelien hankinta tehdään itse, joten materiaalihintojen jakautuminen näkyy budjetin jakaumassa, materiaalikustannusten erittely on esitetty kuvassa 5.6.



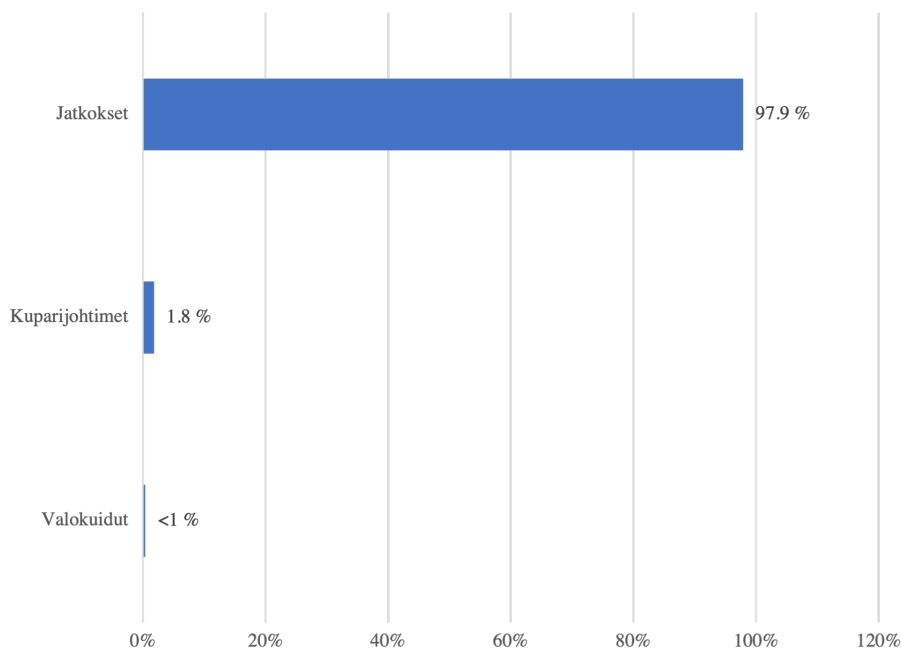
Kuva 5.5. Referenssikohde 3:n budjetin jakauma.

Kuvasta huomataan, että lähestulkoon puolet projektin hinnasta koostuu rakentamisesta ja toinen puolisko materiaaleista. Suunnittelun osuus projektista on vain noin 2 %, maakaapelointi on moninverroin voimajohtorakentamista kalliimpaa osaksi kaivuutöiden ja materiaalien takia.



Kuva 5.6. Referenssikohte 3:n suunnittelukustannusten jakauma.

Kuvasta nähdään, että suurimmat kustannukset koostuivat ulkopuolisen konsultoinnin lisäksi suunnittelukokouksista, reitti- ja sijoitussuunnittelusta.



Kuva 5.7. Referenssikohde 3:n materiaalikustannusten jakauma.

Kuvasta nähdään, että noin 98 % materiaalikustannuksista koostuu jatkoksista. Jatkokset ovat siis suuri kustannuskomponentti maakaapeloinnissa ja niiden turhaa käyttöä tulisi välttämään.

5.2 Vaikutusmahdollisuudet

Luvussa 5.1 selvitettiin, että suurin osa projektin vaikutusmahdollisuuksista painottuu sen hankinta- ja suunnitteluvaiheeseen sekä osittain sen rakentamisvaiheeseen. Tilaajan näkökulmasta suurimmat vaikuttavuudet näkyvät suunnitteluun ja kilpailutukseen panostamisessa, koska tilaaja on sitoutunut maksamaan sen hinnan minkä urakoitsija on määrittänyt tarjouskilpailussa. Tässä aliluvussa käydään läpi mitä haastattelututkimuksessa on saatu vastauksiksi siitä millaisia vaikutusmahdollisuuksista voimajohto- ja maakaapeliprojektien kustannustehokkuuteen. Haastattelun osion pääkysymyksenä toimi ”*Miten tässä vaiheessa voidaan vaikuttaa kustannuksiin?*”, jonka jälkeen haastattelua jatkettiin riippuen keskustelun kontekstista vapaamuotoisimmilla jatkokysymyksillä haastateltavan näkökulmista energia-alan nykyisistä toimintavoista ja käytänteistä. Haastattelun vastaukset ovat koottuna taulukkoon 5.2.

Taulukko 5.2. Haastattelututkimuksen vastauksia projektien vaikutusmahdollisuuksista.

Projektin aloitus	<p>Projektipäälliköt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pitkän tähtäimen suunnittelu: suunnitellaan pitkällä aikavälillä mitä projekteja tehdään, ajoitetaan kilpailutuksia ja signaloidaan tulevia projekteja urakoitsijoille - Kilpailutusmateriaalien tarkka laatiminen <p>Urakoitsijat ja konsultit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mahdollisimman tarkat ja selkeät hankekuvaukset ja suunnitelmat: laaja ja epäselkeä hankekuvaus kasvattaa riskivarausta - Kilpailutuksen ajoitus ja aikataulutus: materiaalikilpailutus tärkeää urakoitsijalle - Urakkamalli ja hinnoittelumalli vaikuttaa tarjouslaskentaan ja riskivarausten arviointiin: voimajohto- ja maakaapelit yksilöllisiä ja hankalia laatia yksikköhinnat. Urakkasopimukseen sisältyisi indeksisidonnaisuutta tai sovitaan helposti arvioitavat työmäärät kokonaishinnalla ja vaikeat yksikköhinnoilla <p>Hankintatiimi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kilpailutuksen aikataulutus - Pitkän tähtäimen suunnittelu: uskalletaan kilpailuttaa suuremmilla materiaalivolyyymeillä materiaalitoimittajia, kun tiedetään tulevista projekteista. Projektien kilpailutus voidaan pyrkiä ajoittamaan paremmin kun projektit eivät lähde kiirellisesti suoraan suunnittelusta. <p>Urakoitsijoiden suuntaan pystytään signaloimaan tulevista projekteista</p> <ul style="list-style-type: none"> - Markkinatilanteen tietoisuus: ollaan tietoisia kuinka houkuttelevana nähdään urakoitsijoille, tietoisuus millaisia projekteja käynnissä markkinoilla, realistisen budjetin asetus, ollaan tietoisia mitkä sopimusehdot kasvattavat turhaa riskivarausta urakoitsijalle - Tarpeeksi tarkka hankekuvaus <p>Yleissuunnittelutiimi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projektipäälliköiden kanssa hankesuunnittelun arviointi - Pienten projektien kokoaminen suuremmiksi kokonaisuuksiksi
-------------------	---

Suunnittelu	<p>Projektipäälliköt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reittivalinnalla suuri merkitys: mitä suurempi reitti sitä enemmän voidaan käyttää harustettuja pylviäitä. Kaapeliprojekteissa taas voidaan tehdä pitempiä kaapelivetoja ja vähemmän jatkoksia. - Harustettujen putkipylväiden suosiminen - Tarkat maaperätutkimukset, käydään tutkimassa paikan päällä: reitin maasto–olosuhteet vaikuttavat maarakennustöihin töihin, huonolaatuisessa maaperä kuten suossa rakentaminen maksaa enemmän. - Pylväervalinna ja sijoitukset: järeämmät pylvääit vaikean maaston yli voi olla halvempaa kuin maarakentaminen reitin läpi <p>Urakoitsijat ja konsultit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reittivalinnan merkitys: suuremmassa reitissä voimajohtoverkoissa vähemmän kalliita kulmapylviäitä ja kaapeliverkoissa pitempiä kaapelivetoja - Tarkasti laadittu ja toteuttamiskelpoinen suunnitelma: realistiset suojaus– ja laatuvaatimukset, tarkoituksenmukaiset suojaukset maaston mukaan, reittivalinta ja maasto–olosuhteet - Maan sisäisten haittojen sekä olemassa olevan ja tulevan tekniikan selvitys maaperässä ja ympäristössä
Rakentaminen	<p>Projektipäälliköt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rakentamisen suunnittelu ja aikataulut: ei tarvitse rakentaa mursketeitä, jos rakennetaan talviaikaan soisissa maastoissa. <p>Rakentamisen aikaisia riskejä pyritään välttämään hyvällä projektin hallinnalla</p> <p>Urakoitsijat ja konsultit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hyvä rakentamisen suunnittelu, aikataulut ja hallinta

Seuraavissa aliluvuissa käydään läpi tarkemmin läpi eri vaiheissa olevista vaikutusmahdollisuuksista.

5.2.1 Hankinta

Urakoitsijan hankinnan jälkeen lähestulkoon kaikki projektin kustannuksista on tiedossa. Tilaaja sitoutuu siihen tarjoushintaan, joka voittaa kilpailutuksen. Kilpailutuksessa käytettävää kilpailutusmateriaalia on siis syytä laatia mahdollisimman huolellisesti. Kilpailutusta tehdessä on hyvä olla tietoinen nykyisestä markkinatilanteesta sekä urakoitsija- että materiaalitoimittajien puolella. Infrahankkeet ovat monien osapuolien summaa, jossa hyödynnetään eri sidosryhmien osaamista ja vahvuuksia. Siksi on tärkeää luoda hyvä verkosto toimialalla olevien toimijoiden kanssa. Parantamalla tilaaja–urakoitsija–välistä yhteistyötä, voidaan saada laadukkaampaa lopputulosta ja kustannussäästöjä.

Tarjouskilpailuun yleensä halutaan mahdollisimman monta tarjoajaa, joka kannustaa kilpailukykyisimpiin tarjouksiin. Urakoitsijat tai materiaalitoimittajat voivat olla osallistumatta tarjouskilpailuun, jos he arvioivat tilauksen olevan liian epähoukutteleva, etenkin jos heillä on jo tarpeeksi tilauksia tilauskannassaan. (Caruna, 2022a)

Tarjouskilpailuun osallistumisen houkuttelevuus riippuu monesta eri tekijästä kuten projektin tai materiaalitalauksen laajuudesta, projektiin liittyvistä riskeistä, sopimusehdoista, kilpailutuksen ajoituksesta ja aikatauluista. Samat tekijät vaikuttavat myös tarjoushinnan laatimiseen: mitä enemmän riskejä urakoitsija havaitsee projektissa, sitä enemmän riskivarausta lisätään tarjouslaskentaan, joka kasvattaa tarjoushintaa. Pyrkimällä vähentämään urakoitsijan havaitsemaa riskiä tai jakamaan sitä voitaisiin vähentää urakoitsijan riskivarausta ja siten heidän antamaa tarjoushintaa. Tilaaja pystyy ottamaan riskiä itselleen esimerkiksi tekemällä tiettyjä materiaalihankintoja itse tai sisällyttämällä urakkasopimukseen indeksisidonnaisuutta (Asiantuntijat, 2022).

Projektien kilpailutuksia voidaan pyrkiä ajoittamaan suunnittelemalla toteutettavia projekteja pitkällä tähtäimellä. Kun tiedetään millaisia projekteja on tulossa voidaan signaloida markkinoille tulevista projekteista sekä arvioida tulevien materiaaliatarpeiden volyymi. Urakoitsijat ja muut toimijat pystyvät ennakoimaan kilpailutukseen tulevia projekteja paremmin sekä varautumaan heitä mahdollisesti kiinnostaviin projekteihin. (Caruna, 2022a; Caruna, 2022c)

Nykytilanteessa yleissuunnittelun jälkeen projekti lähtee melko suoraan hankintavaiheeseen.

Urakoitsijan hankintaa kannattaa ajoittaa sellaisiin ajankohtiin, kun heidän resurssit ovat paremmin saatavilla. Kilpailutuksen aikataulu vaikuttaa urakoitsijan tarjouslaskentaan. Pidempi tai aikaisempi kilpailutuksen aikataulu mahdollistaa urakoitsijan kilpailuttamaan enemmän materiaalitoimittajia, joilla on pidemmät toimitusajat (Asiantuntijat, 2022). Liian täysi tilauskanta tai jopa urakoitsijan loma-ajat voivat aiheuttaa epäsuotuisan ajankohdan urakoitsijan kilpailuttamiselle.

Pitkän tähtäimen suunnittelulla voidaan niin sanottuna pitää vähemmän kriittiset projektit pankissa, jossa projektien ei tarvitsisi aivan heti lähteä kilpailutukseen vaan voidaan yrittää ajoittaa markkinatilanteen mukaan. Kun tiedetään tarkemmin tulevien materiaalitarpeiden volyyymi voidaan uskaltaa sitoutua kilpailuttamaan suurempia materiaalityyppisiä. Suuremmat kilpailutus volyymit voivat houkuttaa enemmän tarjoajia, jolloin saataisiin kilpailukykyisempiä tarjoushintoja sekä määrälennuksia.

Kilpailutuksen hankekuvauksen ja suunnitelmien pitäisi olla mahdollisimman selkeitä ja tarkkoja. Tarjouslaskentaa on helpompi tehdä, kun urakoitsija tietää tarkkaan mitä työsuoritteita projektiin sisältyy ja mitä laatuvaatimuksia projektissa on. Epäselvä tai turhan laaja hankekuvaus lisäävät tarjoushintaan riskivaroja. Kuitenkin erityistä huomiota pitää kiinnittää käytettäviin sanavalintoihin sekä lausemuotoihin, sillä sopimuksen solmittuaan tilaaja sitoutuu maksamaan sopimuksessa mainittuihin asioihin. (Asiantuntijat, 2022)

5.2.2 Suunnittelu

Voimajohto- ja maakaapelireitin valinnalla on iso merkitys projektin kustannuksiin. Suunnittelukustannukset ovat pieni osa koko projektin kokonaiskustannuksista, mutta määrittävät periaatteessa lähestulkoon loput projektin kustannuksista. On siis tärkeää valita mahdollisimman suora reitti ja suunnitella se tarkasti. Maaperätutkimukset ovat myös iso osa yleissuunnittelua, koska maanrakennus merkittävä kustannuskomponentti molemmissa projektityypeissä. Pehmeämpi maaperä tarkoittaa voimajohtoprojekteissa enemmän perustustöitä kuten paalutuksia tai massanvaihtoa, jotka vievät enemmän aikaa ja rahaa. Kallioissa joudaan taas tekemään louhintaa. Maaperätutkimukset ja paikan päällä tehtävä reittisuunnittelu ovat vain pieni osa projektin kokonaiskustannuksista, joten niihin panostaminen ei kasvata

merkittävästi loppukustannuksia. Tarkasti tehty suunnittelu helpottaa urakoitsijoiden tarjouslaskentaa ja varmistaa, että tilaaja saa mitä haluaa,

Voimajohtojen kohdalla suuria kulmia sisältävä reitti tarkoittaa enemmän kulmapylväitä, jotka ovat tavanomaisia kannattajapylväitä kalliimpia. Harustettuja pylväitä pitäisi pyrkiä käyttämään mahdollisimman paljon, koska vapaasti seisovat pylväät sekä kiristyspylväät ovat kannattajapylväitä paljon kalliimpia. Suora maakaapelireitti tarkoittaa pidempiä kaapelivetoja ilman hintavien jatkosten käyttöä, joka tuo kustannustehokkuutta. Vaikea reitti tarkoittaa työläämpiä vetoja ja enemmän jatkoksia joka tarkoittaa enemmän kustannuksia. (Asiantuntijat, 2022)

Rakennettavan maaperän laatu sekä sitä ympäröivä tai sisältävä tekniikka vaikuttaa rakentamisen hintaan. Ympäröivä sekä maanalainen tekniikka ja risteämät määrittävät minkälaista mekaanista suojausta maakaapelit tarvitsevat. Suunniteltaessa kaapelien suojausta kannattaa pitää mielessä maaston mukaisen suojaksen tarkoituksenmukaisuutta: pellon läpi kulkevaa kaapelia ei tarvitse suojata samalla tasolla kuin kaupunkiympäristössä kulkevaa kaapelia. Turhan liiallinen suojaus kerryttää lisää kustannuksia. (Asiantuntijat, 2022)

Sijoitussuunnittelun aikana pitäisi käydä katsomassa paikan päällä saadakseen parhaimman käsityksen maasto-olosuhteista ja rakentamisen logistiikasta. Sijoituspaikan lisäksi pitäisi harkita esimerkiksi kuinka paikalle kuljetaan ja mihin vuodenaikaan rakentaminen tehdään. (Asiantuntijat, 2022) Voimajohtoprojekteissa voi joissain tapauksissa olla edullisempaa kalliiden perustustöiden sijasta käyttää järeämpiä pylväitä jättämään vaikea pylväspaikka välistä. (Caruna, 2022c)

5.2.3 Rakentaminen

Rakentamisen hinta määräytyy suunnittelun aikana ja lukittuu kilpailutuksen jälkeen, joten suuria vaikutusmahdollisuuksia rakentamisvaiheessa ei enää ole. Rakentamisen logistiset järjestelyt ovat olennainen osa rakentamista. Hyvällä rakentamisen suunnittelulla ja aikataulutamisella voidaan ehkäistä viime hetken yllätyksiä sekä pitää huoli siitä, että rakentaminen sujuu aikataulussa ja laadukkaasti. Aikataulusta lipsuminen on rakentamisesta pois, ja kii-reellisesti tehty työ voi vaikuttaa laatuun.

Saneeraustöissä keskeytysajat sekä niiden ajoitus täytyy ottaa huomioon. Pylväiden kasaus ja nostaminen voidaan joutua tekemään eri aikoina, joka ei ole kustannustehokasta jos samalla paikalle joudutaan palaamaan moneen kertaan. Pehmeällä maaperällä rakentaminen kannattaa ajoittaa talvelle, jolloin perustamispaikalle ei tarvitse rakentaa mursketeitä, jotka aiheuttavat lisää kustannuksia. (Caruna, 2022e)

6 Johtopäätökset

Sähköverkkorakentaminen on monen eri osajan summaa ja onkin tärkeää ylläpitää hyviä verkostoja alalla toimijoiden kanssa. Työssä selvitettiin millaisia kustannuksia voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa on, miten ne jakautuvat projektin eri vaiheille sekä milloin ja miten niihin voidaan vaikuttaa.

Selvityksessä tehtyjen haastattelujen ja vanhojen projektitietojen perusteella suurin osa voimajohto- ja maakaapeliprojektien kustannuksista ovat rakentamisen kustannukset. Projektin suunnittelu taas vaikuttaa oleellisesti verkon rakenteeseen ja siten sen rakentamiseen ja loppuhintaan. Projektin tilaaja on sitoutunut kilpailutuksen voittaneen urakoitsijan tarjoushintaan, joten rakentamisen aikana suuria vaikutusmahdollisuuksia ei enää ole. Projektin elinkaaren aikaiset vaikuttumismahdollisuudet painottuvat siis pääasiassa projektin suunnitteluvaiheeseen ja hankintavaiheeseen ennen kuin rakentamisen hinta on kilpailutuksessa lukittu. Suunnitteluvaiheessa vaikutusmahdollisuudet painottuivat tekijöihin, jotka vaikuttavat jatkossa rakentamiseen kun taas hankinnassa asiakirjojen laadinnalla, ajoittamisella ja sopimusehdoilla oli eniten merkittävyyttä.

Suunnittelua tehdessä merkittävimmät tekijät, jotka vaikuttavat rakennettavaan verkkoon ovat suunnittelun aikana tehty reittivalinta sekä maaperätutkimukset. Reittiä suunniteltaessa pitäisi pyrkiä suosimaan mahdollisimman suoraa reittiä, jotta vähennettäisiin maakaapeliverkoissa kaapelijatkosten tai voimajohtoverkoissa järeämpien kulmapylväiden käyttöä. Raskaammat pylväät ja ylimääräiset maanrakentamistarpeet lisäävät materiaalitarpeita ja rakentamista, jotka nostattavat projektin hintaa. Lisäksi pylväitä perustettaessa erilaiset paalutus- ja massanvaihtotyöt kerryttävät lisäkustannuksia, jos maaperä on huonolaatuista tavanomaiselle perustamiselle. Reittivalintaan ja maastoolosuhteisiin ei kuitenkaan voida aina vaikuttamaan. Maaperän todellisen laadun pystyy näkemään vasta, kun siitä on alettu kaivamaan, joten maaperätutkimukset eivät voi antaa sataprosenttista varmuutta maaperän laadusta vaikka niiden tutkimuksiin kuinka panostettaisiinkin. Haastatteluista kävi kuitenkin ilmi, että maaperätutkimuksien panostamiseen olisi silti aiheellista kiinnittää enemmän huomiota. Suunnittelukustannukset ja niihin sisältyvät maaperätutkimukset ovat rakennuskustannuksiin verrattuna suhteellisen pieni osa projektin kokonaiskustannuksista. Suunnittelun aikana

sijoitussuunnittelua tehdessä olisi suotavaa käydä paikan päällä katsomassa

Projektin kilpailutuksessa pyritään saamaan kilpailukykyisempiä tarjoushintoja urakoitsijoilta. Tarjoushintaa voidaan pyrkiä saamaan alas vähentämällä urakoitsijan havaitsemia projektiin liittyviä riskejä sekä houkuttelemalla mahdollisimman monta tarjoajaa tarjouskilpailuun mukaan. Suuremmat ja todennäköisemmät kasvattavat riskivarausta, jonka urakoitsija lisää tarjoushinnassa olevan kustannusarvion ja katevarauksen päälle. Voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa riskivarausta kasvattavat epäselvät ja liian laajat hankekuvaukset ja suunnitelmat. Urakoitsijan on vaikeaa hinnoitella epäselviä vaatimuksia, jotka sitten kasvattavat riskivarausta. Projektin hankekuvaus ja suunnittelu olisi siis syytä tehdä mahdollisimman tarkasti. Kun urakoitsija tietää mitä halutaan, on projektin hinnoittelu helpompaa. Näin myös tilaaja saa varmasti sen mitä halutaan. Sopimuksen ja teknisten vaatimuksen lausemuotojen käytöllä täytyy kuitenkin olla tarkkana, sillä niillä voi olla hintavia seurauksia, jos vaadittavat kohdat ovat kohtuuttomia tai eivät välttämättä ole tarkoituksenmukaisia.

Yksikköhintamalli on koettu urakoitsijoiden toimesta hankalaksi ja raskaaksi laskea sekä painottuvan liikaa työsuoritteiden jakamiseen yksiköihin. Voimajohto- ja maakaapeliprojektit ovat aina yksilöllisiä ja esimerkiksi pienellä pätkällä rakentaminen voi olla yksiköittäin kallista, kun taas suuremmilla osuuksilla halvempaa, joka tekee nimikkeiden hinnoittelun hankalaksi. Urakoitsijalle voi koitua nimikkeiden alihinnoittelu tappiolliseksi, jos urakan työsuoritteiden yksikkömäärät laskevat arvioidusta määrästä. Vastaavasti tilaajalle voi koitua kalliiksi, jos arvioidut yksikkömäärät kasvavat. Tämä lisää urakoitsijoiden puolella riskivarausta tarjouslaskentaan, jolloin yksikköhintoja arvioidaan varmuuden vuoksi ylöspäin sen varalta jos arvioidut yksikkömäärät laskevat.

Tietoisuus markkinoiden sen hetkisestä tilanteesta ja kilpailutuksen oikealla ajoittamisella voitaisiin saada mahdollisia hyötyjä tarjousmäärien ja tarjoushintojen saannissa. Jos urakoitsijoiden tilauskanta on jo valmiiksi hyvällä mallilla, voi tämä näkyä urakoitsijan antamassa tarjoushinnassa tai tarjouskilpailun pois jättäytymisellä, koska urakoitsijalla ei ole tarvetta kilpailla projektista. Lisäksi kilpailutuksen aikataulu näkyy myös urakoitsijoiden antamassa tarjoushinnassa: pidemmällä kilpailutusaikataululla urakoitsija ehtisi kilpailuttamaan omia materiaalitoimittajiaan perusteellisemmin ja resurssoitumaan paremmin. Markkinoita on kuitenkin mahdotonta ennustaa, mutta kilpailutusta voidaan yrittää ajoittaa projektien pi-

demmän tähtäimen suunnitellulla. Pidemmän tähtäimen suunnittelussa sen sijaan, että projekti kilpailutettaisiin heti hankesuunnittelun jälkeen, vähemmän kiireelliset projektit voitaisiin pitää työpankissa odottamaan otollisempaa ajankohtaa kilpailutukselle. Kun tulevat projektit ovat pidemmällä tähtäimellä tiedossa, voidaan niistä signaloida urakoitsijoihin päin. Tämä lisää ennakoitavuutta ja urakoitsijat pystyvät varautumaan heitä mahdollisesti kiinnostaviin projekteihin. Pidemmän tähtäimen suunnitellulla saadaan lisäksi hyötyä materiaalien kilpailutuksessa: koska materiaalit tarpeet ovat paremmin tiedossa, voidaan materiaalitoimitajia kilpailuttaa suuremmilla määrillä, joka voisi houkutella enemmän tarjouksia sekä parempia tarjoushintoja.

Riskivarausta lisäävät myös aikataululliset riskit, jos projektin rakentamisaikataulu on liian kiireellinen tai huonosti suunniteltu. Projektin rakentamista aikatauluttaessa vaikeakulkuiset rakentamispaikat kuten soiset alueet kannattaa ajoittaa talvelle, jolloin rakentamispaikalle ei tarvitse tehdä mursketeitä.

7 Yhteenveto

Työssä tutkittiin voimajohto- ja maakaapeliprojektien kustannusrakennetta ja mahdollisia vaikutusmahdollisuuksia kilpailukykyisempien projektien saavuttamiseksi. Työ tehtiin pääosin haastattelututkimuksena, jossa hankkeiden sisäisiä ja ulkoisia sidosryhmiä haastateltiin heidän kokemuksistaan projektin kustannuksista, nykyisistä käytännöistä, puutteista ja parannusmahdollisuuksista. Työ eteni ensin infrahankkeiden vaiheistuksen teoriaan sekä infrahankkeiden urakkamallien ja niiden hinnoittelujen riskien hallintaan. Sen jälkeen käytiin läpi suurjännitteisten voimajohto- ja maakaapeliverkkojen rakennetta ja komponentteja. Työn teoriaosuus jatkui selostamalla läpi mitä voimajohto- ja maakaapeliprojektien vaiheissa sähköverkonhaltijan näkökulmasta. Lopuksi käytiin haastattelututkimuksen tuloksia sekä vanhojen projektien kustannustietoja.

Kerätyn tiedon perusteella voimajohto- ja maakaapeliprojektit vastaavat kustannusrakenteeltaan muita tyypillisiä infrastruktuurihankkeita: projektin hinta muodostuu suurimmaksi osaksi rakentamisen hinnasta ja suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut määräävät olennaisesti rakentamisen kustannukset ja siten myös hankkeen lopullisen hinnan.

Rakentamisen aikana suuria muutoksia ei enää tehdä, vaan ne toteutetaan suunnitelmien mukaan. Vaikutuspotentiaali kohdistuu siis hankkeen suunnitteluvaiheeseen ja urakoinnin ja suunnittelun hankintaan. Merkittävimmät päätökset suunnittelussa, jotka määrittävät rakentamisen hintaa ovat rakennettavan verkon reitin valinta sekä sen maaperän laatu. Reitti, jossa on suuria kulmia tai vaikeaa maastoa, vaatii enemmän materiaaleja ja rakentamista, mikä lisää kustannuksia. Huolellisella reittivalinnalla, perusteellisilla maaperätutkimuksilla, voimajohtoprojekteilla järkevällä pylvässiioittelulla ja pylväsvalinnoilla sekä maakaapeliprojekteissa jatkosten suunnittelulla voidaan vähentää rakentamisen kustannuksia.

Hankintavaiheessa urakoitsijoiden havaitsemien riskien vähentäminen pienentää tarjoushinnassa sisältyvää riskivarausta. Riskejä voidaan pienentää yksiselitteisillä tarjouspyyntöasiakirjoilla, erilaisilla hinnoittelumalleilla, hankinnan järkevällä ajoittamisella ja järkevällä aikataulutuksella sekä hankinta- että rakentamisvaiheessa.

8 Pohdinnat ja jatkokehitykset

Tutkimuksen aikana urakoitsijoilta ilmennyt varaus yksikköhintamalliin tuli yllätyksenä. Urakoitsijat kokivat yksikköhintaisen hinnoitteluperiaatteen enemmän riskejä kasvattavana sekä alan normaaleja malleja poikkeavana ja suosivat mieluummin kokonaishintaurakkaa. Kuitenkin Liuksiala & Stoorin (2014) mukaan kokonaishintaurakassa kaikki rakentamisen riskiä välittyy enemmän urakoitsijalle, kun taas yksikköhintamallissa osa määräriskistä siirtyy tilaajalle. Yksikköhintamalli sopeutuu urakoille joiden tarkkoja työsuoritteiden määrää kuten maankaivuu-, louhinta- tai paalutustöitä ei pystytä ennalta arvioimaan. Yksikköhintamalli soveltuu edellämainittujen töiden takia voimajohto- ja maakaapeliprojekteihin. Urakoitsijoiden kanta voi johtua projektien ollen kaikki yksilöllisiä, joka hankaloittaa yksiköiden hinnoittelun tai siitä että heidän mukaan kovin moni alan toimija ei käytä puhdasta yksikköhintamallia. Toki tiedon tullessa urakoitsijoilta, vastaukset pitää tarkastella pienellä lähdekriittisyydellä. Kuitenkin voimajohto- ja maakaapeliprojekteissa voidaan kokeilla kokonaishinta- ja yksikköhintamallin välimaastoa, jossa sovittu osuus veloitetaan kokonaishinnalla ja vaikeasti arvioitavat työt yksikköhintaperusteisesti.

Tämä työ keskittyi rajauksensa takia pääasiassa voimajohto- ja maakaapeliprojektien rakentamisen kustannuksiin eikä juurikaan sen jatkuvan elinkaaren kustannuksiin eli operatiivisiin kustannuksiin. Sähköverkot suunnitellaan kuitenkin kestäväksi kymmeniä vuosia. Jatkotutkimuksen aiheena voi seuraavaksi olla tutkia millaisilla hankesuunnittelun, toteutus- ja rakentamisen aikaisilla ratkaisulla merkittävyyttä hankkeen käytön aikaisiin kunnossapitokustannuksiin. Suunnittelun ja rakentamisen aikana tehdyt ratkaisut määrittävät 70–80 % kyseisen rakenteen lopullisesta elinkaarikustannuksista. (Caruna, 2022b) Kunnossapitoa helpottavilla ratkaisuilla voi olla säästöä kerryttäviä vaikutuksia, jotka realisoituisivat vasta hankkeen käyttöajan aikana. Verkkoon liitettävien uusiutuvien sähköntuotantolaitosten määrä jatkaa kasvamistaan. Tuulivoimaloiden seisauttaminen verkon huoltotoimia varten maksaa merkittäviä määriä ja jatkossa huoltotoimenpiteisiin kuuluvien keskeytykset täytyy suunnitella vuosia etukäteen. (Caruna, 2022b)

Lähteet

- Artto, K., Martinsuo, M. & Kujala, J. (2008). *Projektiliiketoiminta*. 2. painos. URL: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-92-8534-1>.
- Asiantuntijat (2022). *Asiantuntijahaastattelut - urakoitsijat ja konsultit*. Ulkoiset haastattelut 2.2.2022–7.3.2022.
- Caruna (2018). *110 kV voimajohto esi- ja yleissuunnitteluvaatimukset*. Sisäinen materiaali.
- Caruna (2019). *110 kV voimakaaupelin asennut - tekniset vaatimukset*. Sisäinen materiaali.
- Caruna (2022a). *Carunan hankintatiimi*. Sisäinen haastattelu 14.1.2022.
- Caruna (2022b). *Carunan kunnossapitotiimi*. Sisäinen haastattelu 20.1.2022.
- Caruna (2022c). *Carunan projektipäälliköt - suurjännitteinen jakeluverkko*. Sisäiset haastattelut 4.11.2021–11.1.2022.
- Caruna (2022d). *Carunan yleissuunnittelutiimi*. Sisäinen haastattelu 25.1.2022.
- Caruna (2022e). *Voimajohto- ja maakaapelirakentaminen*. Sisäinen haastattelu 20.1.2022.
- Elovaara, J. & Haarla, L. (2011a). *Sähköverkot. 1, Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta*. Otatieto.
- Elovaara, J. & Haarla, L. (2011b). *Sähköverkot. 2, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet*. Otatieto.
- Energiavirasto (2022). *Asiointi – Hae sähköjohdon rakentamiseen hankelupaa*. Verkkomateriaali. [Viitattu 26.3.2022]. URL: https://energiavirasto.fi/asiointi#hae_sahkojohdon_rakentamiseen_hankelupaa.
- Fingrid (2018). *Miten voimajohtoreitti valitaan*. [Viitattu 30.12.2021]. URL: <https://www.fingridlehti.fi/miten-voimajohtoreitti-valitaan/>.
- Fingrid (2020). *Näin etenee voimajohtohanke*. [Viitattu 16.12.2021]. URL: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fingrid_nain_etenee_voimajohtohanke_2020.pdf.
- Fingrid (2022a). *Johtoalue*. [Viitattu 15.1.2022]. URL: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/voimajohdot/johtoalue/>.
- Fingrid (2022b). *Pylvään osat*. [Viitattu 15.1.2022]. URL: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/voimajohdot/pylvaan-osat/>.

- Harker, K. (2018). *High Voltage Power Network Construction*. Institution of Engineering and Technology.; IET power and energy series. Institution of Engineering & Technology.
- Hämäläinen, I. (2013). ”110 kV kaapeleiden asennusratkaisut katurakenteessa”. Tutkielma. URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58293/Hamalainen_Iira.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Kankainen, J. & Junnonen, J. (2015). *Rakennuttaminen*. Hansaprint Oy.
- Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä (2016). *Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 576/2016*. [Viitattu 15.5.2022]. URL: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20160276>.
- Laki vesi- ja energiahuollon, liikenteen ja postipalvelujen alalla toimivien yksiköiden hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (2016). *Laki vesi- ja energiahuollon, liikenteen ja postipalvelujen alalla toimivien yksiköiden hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1398/2016*. [Viitattu 15.5.2022]. URL: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161398>.
- Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (2017). *Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017*. [Viitattu 10.2.2022]. URL: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>.
- Lindholm, M. & Junnonen, J. (2012). *Infrahankkeen tuotannonhallinta*. Rakennusmedia Oy.
- Liuksiala, A. & Stoor, P. (2014). *Rakennussopimukset : käytännön käsikirja*. 7. uud. painos. Rakennustieto.
- Lowe, J. & Withworth, T. (1996). ”Risk management and major construction projects”. *International Symposium for the Organization and Management of Construction : Volume 2, Managing the Construction Project and Managing Risk : Shaping Theory and Practice*, s. 891–896.
- Luukkainen, J. (2020). ”Voimajohtojen maadoitusmittaukset”. Tutkielma. Tampereen yliopisto. URL: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/121652/LuukkainenJussi.pdf?sequence=2>.
- Maanmittauslaitos (2014). *Voimajohtoalueen lunastus*. [Viitattu 30.12.2021]. URL: https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/e1061_voimajohtoalueen_lunastus_0114.pdf.
- Maanmittauslaitos (2020). *Lunastustoimitus*. [Viitattu 16.12.2021]. URL: <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/09/Lunastustoimitus.pdf>.
- Sähkömarkkinalaki (2013). *Sähkömarkkinalaki 588/2013*. [Viitattu 30.12.2021]. URL: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>.

Villanen, S. (2018). ”Maakaapelointiprosessin kartoittaminen sekä keskeisimpien haasteiden tunnistaminen ja kehityskohteiden määrittäminen”. Tutkielma. URL: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/155148>.