



Voimajohtoprojektin laadun parantaminen

Simo Härmä

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2023

Insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikka

Härmä, Simo

Voimajohtoprojektin laadun parantaminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2023**, 31 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Suomessa on voimakkaasti kasvava siirtoverkon rakentamisen ja saneerauksen markkina, jonka kasvu johtuu alati kasvavasta energian tarpeesta ja tuulivoimaloiden rakentamisesta. Nykyinen sähkönsiirtoverkko on kapasiteettinsa ääri rajoilla, joten verkon vahvistamisen tarve on valtava. Tämän vuoksi kilpailu siirtoverkkomarkkinoilla on lisääntynyt uusien toimijoiden aloittaessa toiminnan. Jotta pärjää kilpailussa, on projektit voitava suorittaa kustannustehokkaasti ja toiminnan oltava kaikin puolin taloudellisesti kannattavaa. Laadun parantaminen ja projektien läpiviennin optimoiminen ovat jatkuvaa prosessia, jossa opitaan koko ajan uutta sekä kehitetään toimintoja projektista toiseen.

Voimatel Oy:n siirtoverkkoliiketoiminnan kasvamisen ja projektien kehittämisen edellytyksenä oli, että työn laatua projekteissa kehitetään. Työmaan valvonta on merkittävässä roolissa hankkeiden onnistumisessa ja laadun toteutumisessa. Valvontaa helpottamaan pyrittiin luomaan eri työvaiheille pöytäkirjat.

Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimusmenetelmällä. Tutkimustyö suoritettiin työmaapäällikön tehtävässä tutkittavassa voimajohtoprojektissa, jossa hyödynnettiin opinnäytetyössä valvontaa varten luotuja apuvälineitä. Hanke toteutettiin vuonna 2022. Lähteinä tutkimustyössä käytettiin yhtiön asiantuntijoiden haastatteluja sekä yhtiön omia, sisäisiä ohjeita.

Tutkimustyön aikana luotiin työvaiheille pöytäkirjat, joita hyödynnettiin projektin aikana valvonnassa ja joiden kehittäminen edelleen jatkuu tulevaisuudessa. Tutkimustyössä kuvattiin yleisesti voimajohtoprojektin eri työvaiheet pääpiirteittäin. Valmistuneen projektin laatua verrattiin edellisiin hankkeisiin ja näin luotiin kuvaa valvonnan tukitoimien toimivuudesta.

Opinnäytetyön tavoitteet pääosin saavutettiin. Voimajohtoprojektin työvaiheet avattiin yleisluontoisesti. Tutkimuksessa saatiin uusia tuloksia yhden hankkeen osalta, joka tarkoittaa, että luotettavien tuloksien saaminen edellyttäisi useampia hankkeita tutkimuksessa luotuja apuvälineitä hyödyntäen. Toimeksiantaja sai opinnäytetyön myötä käyttöönsä valvontaa avustavan työkalun, jota voi kehittää eteenpäin.

Avainsanat (asiasanat)

Voimajohto, siirtoverkko, suurjännite, sähkönsiirto, projekti

Härmä, Simo

Improving quality in power line project

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 31 pages.

Degree Programme in electrical engineering and automation technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Finland has a rapidly growing market for the construction and renovation of the transmission network. Because of the increasing need for energy and the construction of wind turbines. The current electricity transmission network has reached the limit of its capacity, so need to strengthen the network is huge. As a result, there has started new companies that are going to competition in the transmission system market. When there are many bidders in the competition, success in the competition requires that the project can be carried out cost-effectively and economically profitably. Improving quality and optimizing the completion of projects is a continuous process in which new things are learned and brought from one previous project to the next and it is never ready.

Because the growth of Voimatel Oy's transmission network business and the development of projects was that the quality of work in the projects was developed. Site supervision plays a significant role in the success and quality of projects. In order to facilitate supervision, the aim was to create protocols for the different work phases to improve and to help supervision.

The study was carried out using the development research method. The research work was carried out in the position of site manager in the power line project under study, which utilized the tools made for supervision in the thesis. The project was implemented in 2022. In the research, interviews with the company's experts were used as sources, as well as the company's own internal guides.

During the research work, protocols were created for the work phases, which were utilized during the project for monitoring and whose development will continue in the future. In the research work, the different stages of the transmission line project were described in general terms. The quality of the completed project was compared with previous projects and then watched if changes and tools to help supervision were supporting the project.

The objectives of the thesis were partially achieved. The work phases of the power line project were opened in a general manner rather than thoroughly, so the work phases of the power line project remained at a general level in this regard. The study yielded new results for only one project and obtaining reliable results would require more than one project with these tools. The client received from the thesis a tool to assist in supervision, which can be developed further.

Keywords/tags (subjects)

Power line, transmission line, high voltage, transmission of electricity, project

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset	3
1.2	Voimatel Oy	4
2	Sähköverkko Suomessa	5
3	Voimajohtoprojekti	5
3.1	Projektipäällikkö	6
3.2	Työmaapäällikkö	7
4	Voimajohtorakenteet	7
4.1	Pylvästyypit	8
5	Voimajohtoprojektin laadullinen toteuttaminen	9
5.1	Laadun mittaus	10
5.2	Laadun tärkeys	10
6	Voimajohtoprojektin päävaiheet	11
6.1	Perustustyöt	11
6.2	Paikallaan valettavat perustukset	12
6.3	Elementtiperustukset	13
6.4	Pylväskasaus ja -nosto	14
6.5	Johdintyöt	17
6.6	”Johtimet laahaten”-menetelmä	18
6.7	Kireänäveto-menetelmä	18
6.8	Johtimien kiristys ja sidonta	19
7	Loppudokumentaatio	22
8	Oman työn pöytäkirjat	23
8.1	Perustustyö	24
8.2	Pylväskasaus ja -nosto	24
8.3	Johdintyöt	24
9	Pohdinta	25
	Lähteet	27
	Liitteet	28
	Liite 1. Paikallaan valettavan perustuksen pöytäkirja	28
	Liite 2. Elementtiperustuksien pöytäkirja	29
	Liite 3. Pylvään kasauksen ja noston pöytäkirja	30
	Liite 4. Johdintöiden pöytäkirja	31

Kuviot

Kuvio 1 Kehittämistutkimuksen syklinen eteneminen (Pernaa, 2013.).....	4
Kuvio 2. Harustetun pylvään rakenne (Voimajohdot 2022)	8
Kuvio 3 OPGW-johtimen rakenne (OPGW Typical design of central AL-covered stainless steel tube 2022)	9
Kuvio 4 Paikallaan valettavan perustus jossa anturamuotit ja raudoitukset asennettuna (Härmä 2022)	12
Kuvio 5 Pylväs- ja haruspilari-elementtejä (Härmä 2022).....	13
Kuvio 6 Vapaasti seisova pylväs kasattuna (Härmä 2022).....	15
Kuvio 7 Pylvään nosto (Härmä 2022).....	16
Kuvio 8 Esimerkki nostosuunnitelmasta (Työmaasuunnitelma, Keltakallio. 2022).....	17
Kuvio 9 Ote kiristyspöytäkirjasta josta selviää kiristykset eri johtimille (Loppudokumentit, Keltakallio. 2022).....	20
Kuvio 10 Kokoonpanokuva kiristyssetistä 2xACSR Duck-johtimelle. 1) Sakkeli 2) Kolmiorauta 3) Tappisilmu 4) Eristin 5) Kipinäsarvi 6) Kuppisilmu 7) Pääterauta 8) Sakkeli 9) Kiristyspidikkeet 10) Kipinäsarvi (Loppudokumentit, Keltakallio. 2022).....	21

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

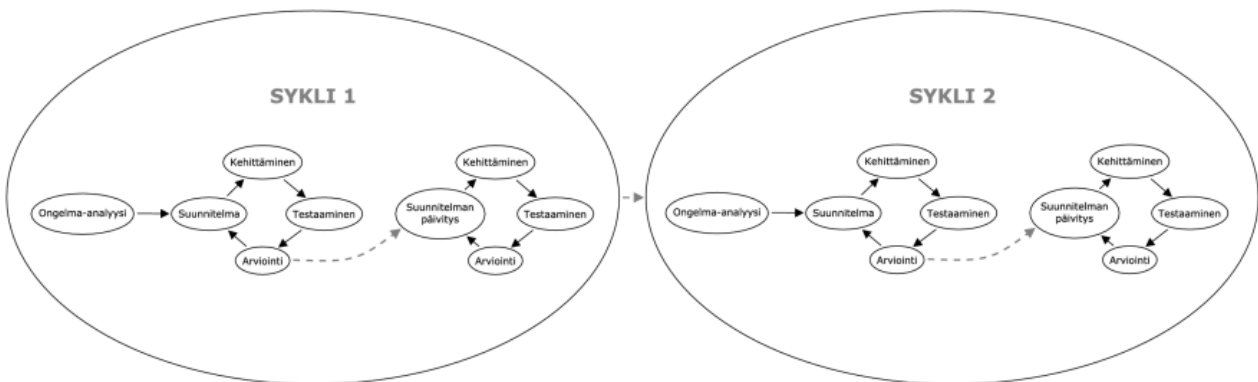
Voimajohtoprojektien tarjouksien voittaminen on tullut yhä haastavammaksi kiristyneen kilpailutilanteen myötä. Tästä johtuen projektin kustannuksien laskeminen on ensiarvoisen tärkeää.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Voimatel Oy, ja tavoitteena työssä oli laadun parantaminen voimajohtoprojekteissa. Laadun parantaminen ja sen pitäminen korkealla tasolla lisäävät merkittävästi uusien projektien todennäköisyyttä, sillä kun projektissa ei ilmene vikoja tai puutteita, jotka lisääisivät kustannuksia, toimeksiantajan imago luotettavana toimijana markkinoilla vahvistuu. Työn laadukkuus vahvistaa myös urakoitsijan laatupisteitä työn tilaajalle. Tässä opinnäytetyössä keskitytään parantamaan työn laatua etsimällä keinoja eri työvaiheiden valvontaan ja tarkastukseen.

Tutkimuksen laadullisiin epäkohtiin voidaan lukea käyttöönotto- ja varmennustarkastuksessa ilmentyvät viat ja puutteet. Näiden vikojen ja puutteiden korjaaminen on ns. "turhaa" työtä ja lisää kustannuksia. Kyseisten vikojen ja puutteiden poistaminen vaatii lisää valvontaa työnjohdolta.

Opinnäytetyö tehdään kehittämistutkimuksena. Kyseinen tutkimusmenetelmä sopii tähän työhön siihen liittyvän syklin ansiosta, jolloin voidaan vertailla tuloksia edellisiin projekteihin. Tämän tutkimusmenetelmän vahvuudet tulevat esille useampien syklien jälkeen. Yhden syklin jälkeen ei voida vetää aukottomia johtopäätöksiä, vaan tutkimuksen luotettavuus kasvaa useampien syklien jälkeen. Tässä opinnäytetyössä aikaisempia syklejä olivat edelliset projektit ja uusi sykli toteutettiin tässä opinnäytetyössä tehtyjä apuvälineitä hyödyntäen. Tässä tutkimusmenetelmässä tarkastellaan kehitettävää asiaa tai ilmiötä todellisissa olosuhteissa ja kehittämisprosessiin hyödynnetään

tutkimukseen osallistujia. (Pernaa, 2013.) Kehittämistutkimuksen syklisyys on kuvattu kuviossa 1.



Kuvio 1 Kehittämistutkimuksen syklinen eteneminen (Pernaa, 2013.)

Opinnäytetyössä tuli selvittää seuraavat asiat:

- Kuinka saadaan nostettua voimajohtoprojektin työnlaatua ja siten nostettua projektin taloudellista kannattavuutta?
- Voidaanko oman työn tarkastuspöytäkirjaa hyödyntämällä laskea vikojen ja puutteiden määrää?

Opinnäytetyössä lähteenä käytettiin muun muassa kokeneiden asiantuntijoiden, projektipäällikön ja työmaapäällikön haastatteluja. Haasteltavilla on molemmilla pitkä työura voimajohtoprojektien vetämisestä. Tarkasteltaessa edellisten voimajohtoprojektien vikoja ja puutteita, lähteenä käytettiin käyttöönottopöytäkirjojen liitteitä, joihin oli kirjattu viat ja puutteet, jotka tuli korjata ennen luovutusta. Opinnäytetyössä tehtyjä oman työn pöytäkirjoja käytettiin voimajohtoprojektissa, jonka valmistumisen jälkeen verrattiin saatuja tuloksia aikaisempiin projekteihin ja näin tarkasteltiin työn laadun kehittymistä.

1.2 Voimatel Oy

Voimatel Oy on suomalainen yritys, joka toimii Suomessa ja Virossa. Vuonna 2001 Savon Voima Oy ja silloinen Kuopion Puhelin Oy perustivat tele- ja sähköverkon rakentamiseen keskittyvän Voimatel-yhtiön. Vuonna 2014 Osuuskunta KPY osti Savon Voima Oyj:n omistamat 18 prosenttia Voimatel Oy:n osakekannasta ja omistaa nykyään yhtiön kokonaan. Voimatel Oy:ssä on töissä noin 1000 työntekijää ja liikevaihto vuonna 2021 oli 133.1M€. Yrityksellä on käytössään laatu järjestelmät ISO 9001, ISO 14001 ja ISO 45001. (Palvelut 2022.)

Voimatel Oy tarjoaa seuraavia palveluja:

- Tietoverkkopalvelut
- Jakeluverkkopalvelut
- Siirtoverkot, sähköasemat ja teollisuuspalvelut
- Energiapalvelut
- Managed services (Palvelut 2022)

Tietoverkkopalvelut kattavat johtoverkot, kaapelitelevisioverkot, mobiili- ja langattomat tekniikat sekä runko- ja liityntäverkot. Voimatel Oy toteuttaa tietoverkkojen suunnittelun, rakentamisen ja verkkojen ja laitteiden ylläpitopalvelut. Jakeluverkkopalvelut kattavat keski- ja pienjänniteverkkojen suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon. Siirtoverkot, sähköasemat ja teollisuuspalvelut käsittelee kyseisten alojen suunnittelun, rakentamisen, käyttöönoton, dokumentoinnin ja koulutuksen. Energiapalvelut toimittavat asiakkaille toimintaympäristöön soveltuvat ja mitoitettut energiajärjestelmät. Managed services on palvelukonsepti, jossa huolehditaan asiakkaan verkkojen ja järjestelmien optimaalisesta toiminnasta. (Palvelut 2022.)

2 Sähköverkko Suomessa

Valtakunnallinen sähkövoimajärjestelmä kuuluu yhteiskunnan tärkeimpiin infrastruktuureihin. Sähköverkko Suomessa muodostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmät ovat samaa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää. Venäjältä ja Virossa on Suomeen tasasähköyhteydet, joilla pohjoismainen järjestelmä on yhdistetty Venäjän ja Baltian voimajärjestelmään. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon suuret voimalaitokset ja tehtaot sekä alueelliset jakeluverkot on liitetty. Suurjännitteiset jakeluverkot liittyvät kantaverkkoon ja siirtävät sähköä alueellisesti yleensä yhdellä tai useammalla 110kV johdolla. (Suomen sähköjärjestelmä 2022.)

3 Voimajohtoprojekti

Arton, Martinsuon ja Kujalan (2008) mukaan projekti on määriteltyä ainutlaatuinen tehtäväkokoisuus, jollaista ei ole aikaisemmin tehty. Jos toteuttamisessa, päämäärässä tai lopputuloksessa on eroavaisuuksia aikaisempiin hankkeisiin, on kyseessä projekti. Projektien ainutlaatuisuuteen vaikuttavat myös olosuhteet, alihankkijat ja asiakkaiden erityistarpeet. Eroavaisuuksia syntyy myös

silloin, kun kuunnellaan projektin aikana asiakkaiden erityistarpeita ja muutetaan näiden johdosta suunnitelmia, toteutusta tai lopputulosta. Projektilla on myös ennalta määritellyt aikataulut, kustannukset ja kokonaisuus. (Artto, Martinsuo & Kujala 2008.) Edellä mainittujen syiden takia Voimatel Oy:n projektikäsikirjassa (2021) määritellään erikseen projekti ja tuotantoprojekti tai hanke. Voimajohtoprojektit kuuluvat tuotantoprojekteihin tai hankkeisiin toistuvuuden ja samankaltaisuuksien vuoksi. Voimajohtoprojektit tulevat kilpailutuksien kautta ja Voimatel Oy:ssä niissä on johdonmukaisesti aina sama organisaatio ja toteuttava porras. Projektien hoitoon osallistuu organisaatiossa salkkupäällikkö, kehityspäällikkö, controller, projektipäällikkö, projektivastaava ja pääsuunnittelija/suunnittelija. (Projektikäsikirja 2021.)

Voimatel Oy:ssä käytetään organisaationa voimajohtoprojekteissa projektivastaavan tilalla työmaapäällikköä. Pääsuunnittelija tai suunnittelija ovat voimajohtoprojekteissa käytännössä aliura-koitsijoita, koska Voimatel Oy ei tällä hetkellä tuota voimajohtolinjojen suunnittelua. Tässä opinäytetyössä keskitytään pääasiassa projektipäällikön ja työmaapäällikön näkökulmaan ja etsitään keinoja parantaa työmaavalvontaa ja työn laatua. Projektipäällikön ja työmaapäällikön tehtäviä ja vastuita on kuvattu muita projektiin osallistuvia tahoja tarkemmin kappaleissa 3.1 ja 3.2.

Salkkupäällikön tehtäviin kuuluvat projektien asetus, priorisointi ja resurssien allokointi, kuten myös raportointi tulosityksikön johtoryhmälle. Salkkupäällikkö vastaa myös jälkilaskennan tai projektin aikaisten havaintojen välityksestä tarjouslaskentaan. Kehityspäällikkö vastaa projektiprosessista ja on mukana tukitoiminnoissa projektin kaikissa vaiheissa tarvittaessa. Controller antaa tukea projektin kaikissa vaiheissa talouden näkökulmasta ja hän tukee myös talousnäkökuvan seurannassa ja opastaa siinä. (Projektikäsikirja 2018.)

3.1 Projektipäällikkö

Projektipäällikkö on vastuussa projektin kokonaisuudesta. Arton, Martinsuon ja Kujalan (2008) mukaan on havaittu käytännössä, että mitä vaativampia projekteja hoidetaan, sitä vähemmän projektipäällikön tarvitsee osoittaa asiantuntijaosaamista. Vaativissa projekteissa projektipäällikkö keskittyy yleiseen johtamiseen, joka on liiketoiminnallista, vuorovaikutuksellista ja käsitteellistä osaamista. Projektipäällikön tehtävä on löytää eri tasoille ja projektin eri vaiheisiin spesifiä osaamista joko projektiryhmästä tai muilta sidosryhmiltä. Ryhmän yhteenlaskettu osaaminen on tuloksen kannalta tärkeämpää kuin henkilökohtainen osaamistaso. (Artto, Martinsuo & Kujala 2008.)

Voimatelin projektikäsikirja (2021) antaa ymmärtää, että projektipäälliköllä tulee olla asiantuntija-osaamista, sillä yrityksen organisaatio on jaettu siten että jakeluverkkoon erikoistuneille projektipäälliköille ei tule voimajohtoprojekteja ja päinvastoin. (Projektikäsikirja 2018.)

Projektipäällikön tehtävät projektin aikana ovat monipuolisia ja niitä on laajalti, joten ajankäytön tulee olla suunniteltua ja hallittua. Projektipäällikön tehtäviin kuuluu muun muassa projektisalkun päivittäminen projektin edetessä, jotta talouden luvut saadaan pidettyä hallinnassa. Lisäksi projektipäällikkö hoitaa myös projektissa tarvittavat aliurakointisopimukset aliurakoitsijoiden kanssa ja osallistuu projektin materiaali-, dokumentointi-, työvaihe- ja kustannussuunnitteluun sekä tekee myös riskikartoituksen.

Projektin aikana projektipäällikön tehtäviin kuuluvat materiaalihallinta, laskutus, laadun valvonta, muutosten ja riskien hallinta sekä suoritteiden yhteenveto ja raportointi. Raportointi suoritetaan salkkupäällikölle ja tarvittaessa suoraan liiketoiminnan tulosityksikön johtoryhmälle. Projektin päättyttyä projektipäällikkö tekee loppukatselmukset asiakkaan kanssa, käy läpi mahdolliset reklamaatiot, tekee taloudellisen loppuselvityksen ja lopuksi laskuttaa projektin. Projektipäällikkö tekee myös jälkilaskennan projektista controllerin tukemana. (Projektikäsikirja 2021.)

3.2 Työmaapäällikkö

Työmaapäällikön vastuulla on projektin työnjohtotehtävät työkohteessa. Työmaapäällikkö johtaa ja organisoii työmaalla olevien asentajien ja aliurakoitsijoiden työtä. Työmaapäällikön esihenkilönä toimii projektipäällikkö. Kaikki tapahtumat työmaalla menevät työmaapäällikön kautta ja hänen vastuullaan on myös työ- ja sähkötyöturvallisuus. Työmaapäällikkö raportoi projektipäällikölle työmaan aikataulussa pysymisestä ja kokonaisuudessaan kaikista työmaalla tehtävistä töistä. (Sikanen 2023.)

4 Voimajohtorakenteet

Voimajohtojen rakenteina käytetään tyypillisesti harustettuja teräspylviä. Nykyään puu on jäänyt materiaalina pois mutta vielä on paljon alue- ja kantaverkkoa, joka on puupylväsrakenteella. Ristikorakenteisia eli vapaasti seisovia pylviä käytetään kaupunkialueilla. Voimajohtojen tarkastukset

tehdään 1-3 vuoden välein. Tarkastuksissa tarkastetaan johtoalue, pylväiden ja orsien kunto mukaan lukien mahdolliset lahotarkastukset sekä johtimien ja eristimien mahdolliset vauriot. Tarkastukset suoritetaan lentäen tai kävellen. (Voimajohdot 2022.)

4.1 Pylvästyypit

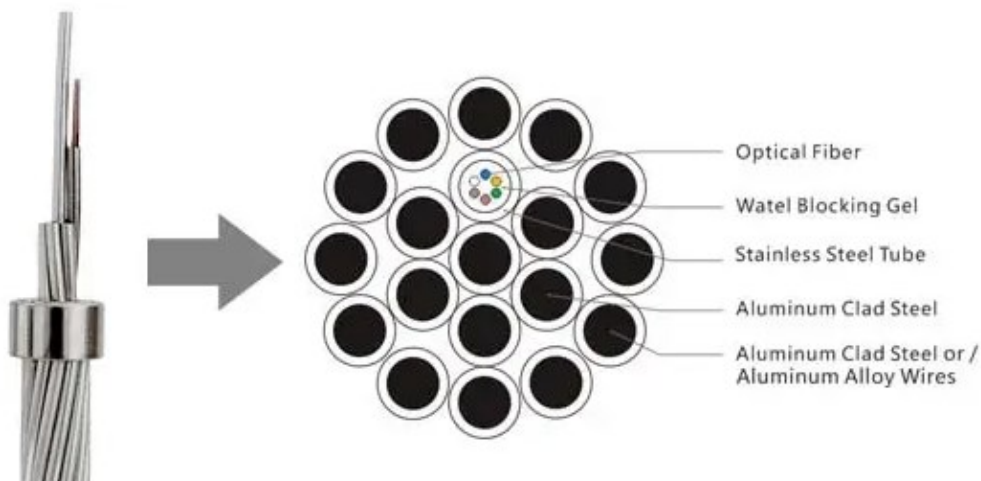
Riippuen johdon reitistä, käytetään eri tilanteissa erityyppisiä pylviä: ripustuspylväitä, kulmapylväitä, kiristyspylväitä sekä päätepylväitä ja ripustuspylväitä. Kuviossa 2 on havainnollistettu harustettu ripustuspylväs, jota käytetään suorilla johto-osuuksilla. Jos pylvääseen kohdistuu suurta, poikittaista voimaa eli kun johdon suunta muuttuu, käytetään kulmapylväitä. Kiristyspylväitä käytetään kahden peräkkäisen kiristysvälin rajapylväinä, jolloin ne muodostavat johtimille jäykän ripustuspisteen. Jos johdolla on kulkusuuntaan nähden poikkeavat voimat, käytetään kiristyspylvästä. Päätepylväissä johtimen suuntaiset voimat kohdistuvat vain toiselle puolelle pylvästä. Ripustuspylväitä voidaan käyttää johdon osassa, johon ei kohdistu merkittävää rasi- tai sivuttaisuunnassa. (Elovaara & Haarla 2011, 264.)



Kuvio 2. Harustetun pylvään rakenne (Voimajohdot 2022.)

Johtimina voimajohdoissa käytetään teräsvahvisteisia ACSR-alumiinijohtimia ja teräsvahvisteisia AACSR-alumiiniseosjohtimia. ACSR-johtimessa on yksi tai muutama sinkitty terässydänlanka, jonka päällä on yksi tai useampia kerroksia alumiinilankoja. AACSR-johtimessa on seitsemänlankainen terässydän, jonka päällä kaksi kerrosta alumiiniseoslankoja. (ACSR ja AACSR Teräsvahvisteinen alumiinijohdin 2013.)

Virtajohtimina 110kV-johdoilla käytetään tavallisesti ACSR 305/39 Duck-johdinta. Ukkosjohtimia käytetään yleensä kaikkialla suurjänniteilmajohdoilla ja niissä johtimina käytetään AACSR 106/25 Sustrong-johdinta. Yleensä ukkosjohtimina käytetään kahta johdinta joista toinen on OPGW-kuitujohdin. OPGW-johdin koostuu alumiinista, teräksestä ja valokuiduista. Kuviossa 3 nähdään OPGW-johtimen rakenne ja miten kuidut sijoittuvat johtimessa. Johdin toimii ukkosjohtimena ja myös tiedonsiirrossa. (OPGW Typical design of central AL-covered stainless steel tube 2022.)



Kuvio 3 OPGW-johtimen rakenne (OPGW Typical design of central AL-covered stainless steel tube 2022.)

5 Voimajohtoprojektin laadullinen toteuttaminen

Voimajohtoprojektin toteuttaminen laadullisesti hyvin vaatii työnjohdolta paljon valvontaa projektin eri työvaiheissa. Laadullisten poikkeamien korjaaminen jälkikäteen ei ole taloudellisesti kannattavaa ja huonontaa urakoitsijan mainetta ja laatupisteitä tilaajan puoleen. (Kivelä 2022.) Laadukas

sähköverkon rakentaminen on myös edellytys, jotta saadaan voimajohto rakennettua sähköstandardin vaatimaan käyttökuntoon. Standardi SFS/ICS 29.240.01 määrittelee millaisilla tarkastuksilla ja testauksilla voidaan varmistua siitä, että asennukset täyttävät standardin ja laitestandardien vaatimukset. Vaatimustenmukaisuus voidaan näyttää toteen silmämääräisillä tarkastuksilla sekä käyttökokeilla ja mittauksilla. Kyseiset tarkastukset ja testit voi suorittaa, kun asennukset ovat täysin valmiit tai toimituksen jälkeen. (SFS/ICS 29.240.01; 29.290:2018)

5.1 Laadun mittaus

Laadun mittauksessa käytin käyttöönottotarkastuksen silmämääräisessä tarkastuksessa kirjattuja virheitä. Tarkastukset on tehty useilla voimajohtotyömailla vuosien 2020 ja 2022 välillä. Vertailussa olleet projektit olivat kaikki suurjänniteilmajohdon rakennusprojekteja. Rakennettavan ilmajohdon pituus vaihteli eri projektien välillä.

Keräsin yhteen pöytäkirjojen liitteisiin kirjatut virheet ja korjattavat viat. Viat jaottelin vikoihin ja keskeytyksen vaativiin vikoihin. Virrehavainnot jaoin rakennettavan ilmajohdon pituudella. Laskeamalla vikahavainnot yhtä rakennettua kilometriä kohden, sain vertailukelpoisen arvon. Projekti-kohtaisista vikahavainnoista/kilometri -arvoista laskin keskiarvon. Keskimääräisesti ilmeni 2,99 vikaa ja 0,32 keskeytystä vaativaa vikaa yhtä rakennettavaa ilmajohtokilometriä kohden. (Käyttöönottopöytäkirjan liitteet. 2020-2022) Tämän perusteella voidaan todeta, että suurjänniteilmajohtoa rakennettaessa ilmenee jokaisella kilometrillä vähintään kaksi vikaa, jotka vaativat asentajan korjaustyötä sekä neljän kilometrin pituisella linjalla yksi vika, joka vaatii keskeytystä. Liitteistä voidaan myös todeta mitkä osa-alueet vaativat parannusta, jotta virheet saadaan karsittua pois. Virheistä nousee esille haruskiristäjien ja harusköysien asennukset sekä tunnistekilpien puuttuminen. Keskeytyksiä vaativissa virheissä korostuvat lentotarkastusmerkkien puuttuminen. Näihin asioihin oli kiinnitettävä huomiota oman työn pöytäkirjojen laadinnassa.

5.2 Laadun tärkeys

Laadunvarmistaminen on tärkeässä asemassa voimajohtoprojektin taloudellisen ja sujuvan onnistumisen kannalta. Hyvällä laadunvalvonnalla nostetaan kannattavuutta ja pysytään aikataulussa. Laadulla saavutetaan säästöjä, kun vastaanottotarkastuksessa ei ilmene vikoja tai puutteita, joita jouduttaisiin korjaamaan jälkikäteen. Työnjohto on tärkeässä asemassa valvonnan suhteen, jotta

mahdolliset virheasennukset tai inhimilliset virheet saataisiin karsittua mahdollisimman tarkasti pois. Hyvällä laadulla saavutetaan myös etuja työn tilaajaan nähden. Projektien kilpailutus- ja tarjouslaskentavaiheessa nousee esiin myös laadulliset asiat, joihin kuuluu myös hyvä työturvallisuus ja työnjälki. Tällä tavalla voidaan saavuttaa kilpailuetua muihin nähden uusista projekteista kilpailtaessa. (Kivelä 2022)

6 Voimajohtoprojektin päävaiheet

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan voimajohtoprojektin rakentamista, jolloin selvityksen ulkopuolelle jää tarjouslaskenta, jonka onnistuminen on edellytys saada projekteja suoritettavaksi. Voimajohtoprojektin rakentamisen päävaiheisiin kuuluvat perustustyöt, pylväskasaus ja -nosto, johdintyöt ja loppudokumentaatio. Tämän opinnäytetyön projektissa oli pääsääntöisesti vapaasti seisovia ristikkopylväitä.

6.1 Perustustyöt

Voimajohtoprojekteissa tehtäviä perustustöitä on erilaisia. Perustustyöt voidaan jakaa kolmeen eri tyyppin perustuksiin: paikallaan valettavaan perustukseen, elementtiperustukseen ja kallioperustukseen. Paikallaan valettavat perustukset muotitetaan, raudoitetaan ja valetaan työmaalla. Perustuksien tyyppi määritellään perustussuunnitelmassa. Perustussuunnitelmassa ovat raudoituskuvat perustuksesta ja myös betonityyppi ja -laatu mitä käytetään. Perustussuunnitelma tehdään maaperätutkimuksen ja tilaajan toimittaman teknisen määrittelyn perusteella. Teknisessä määrittelyssä selviää johtimien tyypit ja lukumäärä kuten myös alustavat pylväsrakenteet. Perustuksien on kestettävä erilaisia mekaanisia vaatimuksia, jotka on otettava huomioon perustuksien suunnittelussa ja asennuksessa. Nämä määrittää SFS/ICS 29.240.01-standardi. Näitä vaatimuksia ovat esimerkiksi oman painon aiheuttama kuorma, vetokuorma, asennuskuorma, jääkuorma ja tuulikuorma. Poikkeuksellisissa kuormitustapauksissa on otettava huomioon myös kuormat, jotka vaikuttavat samanaikaisesti yhdessä suurimman tilapäisen kuormituksen kanssa. Tilapäisiä kuormituksia aiheuttavia kuormia ovat kytkentävoimat, oikosulkuvoimat, johtimien katkeamiset ja seismiset kuormitukset. (SFS/ICS 29.240.01; 29.290:2018)

6.2 Paikallaan valettavat perustukset

Paikallaan valettavat perustukset tehdään silloin kun kyseiseen elementtiin kohdistuu suuria kuormia ja rasitusta. Tällaisia perustuksia käytetään pylväillä ja rakenteilla, jotka ovat ns. vapaasti seisovia eli ristikkorakenteisia. Tästä syystä perustuksen koko ja paino kasvaa liian isoksi elementtiperustukselle. Paikallaan valettavat perustukset rakennetaan työkohteessa alusta asti. Työvaiheista ensimmäiset ovat anturan muotitus, raudoituksen asennus sekä anturan valaminen. Tämän jälkeen seuraa pilareiden muotitus, raudoitus ja pilareiden valaminen.

Kuviossa 4 olevasta perustuksesta voidaan todeta, että kyseistä perustusta ei voida toteuttaa elementtiperustuksena, sillä perustuksen paino ja koko kasvavat liian suuriksi. Kuviossa 4 olevan perustuksen anturan koko on 10,5 m x 9,5 m, korkeus 0,8 m ja pilareiden koko 0,6 m x 0,6 m ja korkeus 2,5 m. Painoa kyseiselle perustukselle tulee valamisen jälkeen 213 tn.



Kuvio 4 Paikallaan valettavan perustus jossa anturamuotit ja raudoitukset asennettuna (Härmä 2022)

6.3 Elementtiperustukset

Elementtiperustuksella tarkoitetaan tehtaalla tehtyä betonielementtiä, joka tuodaan työmaalle valmiina ja asennetaan paikalleen. Elementtiperustuksia käytetään portaalien, harustettujen pylväiden, erottimien, mittamuuntajien ja tukieristimien perustuksina. Elementtiperustuksia on eri kokoluokkia pylväille, haruksille, portaaleille ja sähköasemaelementeille, joissa muuttuvat pilareiden korkeudet, anturan koko ja peruspulttijako. Kuviossa 5 kuvattuna elementtiperustuksia työmaalla.



Kuvio 5 Pylväs- ja haruspilarelementtejä (Härmä 2022)

Perustustyötä tehdessä asennetaan kohteen maadoitus ja mahdollinen potentiaalintasaus. Potentiaalintasaus ja maadoitus toteutetaan kuparijohtimella, jonka poikkipinta-ala selviää maadoitus suunnitelmasta. Maadoitus asennetaan perustukseen maadoitussuunnitelman osoittamalla tavalla, jonka jälkeen maadoitusjohtimen päät nostetaan pilarin viereen ylös odottamaan kytkentää

pylväsalkaan. Maadoituskuparin päähän puristetaan kaapelikenkä valmiiksi. Maadoituksen ja mahdollisen potentiaalirenkaan eheys tarkistetaan perustuksen maataytön jälkeen. Maadoituksen on oltava maan sisällä ja se ei saa koskea perustuksen raudoitukseen tai olla betonin sisällä. Raudoitus ja peruspultit yhdistetään hitsaamalla tai sitomalla, jolloin raudoitus on yhteydessä maadoitukseen pylvään ja peruspulttien kautta. Perustuksien asentamisen jälkeen asennuksesta tehdään perustuspöytäkirja, johon merkitään perustuksien korkotiedot suhteessa juuripaaluun, kuten myös harusperustuksien etäisyydet pylvään perustuksiin. Perustuspöytäkirja liitetään asiakkaalle toimitettavaan loppudokumentaatioon.

6.4 Pylväskasaus ja -nosto

Voimajohtopylväät kasataan maastoon, jonka jälkeen ne nostetaan pystyyn. Kasauksessa käytetään apuna nostureita, joilla saadaan raskaat metalliosat nostettua paikalleen. Jokaisesta pylväästä toimitetaan kokoonpanopiirustukset, joista selviää, miten pylväs kasataan. Vapaasti seisovissa pylväissä jokainen osa on yksilöity, mikä helpottaa kasausta. Pylväs kasataan pitkälleen maahan, jolloin se on helpompi ja nopeampi saattaa kasaan. Pylvään kasauksessa orsiin kiinnitetään eristimet ja vetopyörät, joilla vedetään johtimet. Vetopyöriin asennetaan narut, joilla pilottivaijeri vedetään

pyörän läpi kiipeämättä pylvääseen. Kaikki merkintä- ja lentomerkkikilvet laitetaan kasausvaiheessa pylvääseen. Kuviossa 6 nähdään, kuinka pylväs on kasattu perustuksien viereen niin että se on nostettavissa ylös.



Kuvio 6 Vapaasti seisova pylväs kasattuna (Härmä 2022)

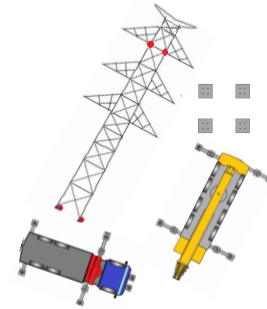
Jokaisesta pylvään nostosta pitää tehdä nostotyösuunnitelma ennen nostoa. Kuviossa 8 on nähtävissä ote nostotyösuunnitelmasta. Nostotyösuunnitelmasta selviää tarvittava nosturit, nostojärjestys, nostotyöntekijät ja nosturin ja pylvään sijoittuminen. Vapaasti seisovaa pylvästä nostettaessa on otettava huomioon sen pituus ja raskaus. Yleensä vapaasti seisovat pylväät nostetaan kahdella nosturilla, jotta pylväs ei väännä tarpeettomasti ja pylväs saadaan hallitusti pystyasentoon. Pylvään nostoa valvoo ja johtaa työnjohtaja, joka on yhteydessä molempiin nostureihin radiopuhelimen avulla. Kuviossa 7 on kuvattu pylvään nostaminen, jossa nostossa apunosturina toimii autonosturi ja päänosturina mobiilinnosturi.



Kuvio 7 Pylvään nosto (Härmä 2022)

Mitat/painot:		Pylväät: 543, 544, 545, 546, 547, 548B, 549B	
Kappaleen paino	8 t	Työryhmä noston aikana:	
Pylvään pituus	30m	Asentajat	2
Minimi koukku korkeus	35m	Kärkimies/työnjohtaja	1
Perustuksen korkeus	0,4m	Nosturinkuljettaja	1
Päänosturin nostokyky	55t/ 10 m	Kaivinkoneen kuljettaja	
Puomin pituus	40m	Jännitevahti	
Peräkone/kaivinkone	-		
Työvaiheet:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nosturien petaus, pystytyspöytäkirjojen teko. 2. Varmistetaan ettei lähialueella ole jännitteisiä linjoja/kiskoja ennen nostotyötä 3. Kytetään nostokoneen maadoitus, sekä nostettavan kappaleen maadoitus. Nostosuunnitelman läpikäynti. 4. Kappaleen nosto. 			
● Nostopisteet:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nostopisteet orren kiinnityskohdat (kuvan mukaisesti). 			

Pylväspaikan kuvaus



Nosto suoritetaan nosto ketjulla

Huom!

1. Maksimi tuulen nopeus 12ms
2. Ukkosella työt keskeytetään

Kuvio 8 Esimerkki nostosuunnitelmasta (Työmaasuunnitelma, Keltakallio. 2022).

Kun pylväs on saatu hallitusti perustuksien päälle ja jalat ankkuripultteihin, pylväsnosto suoritetaan loppuun kirmällä ankkuripultit oikeaan momenttiin ja kytkemällä maadoitukset pylväsjalkoihin.

6.5 Johdintyöt

Johdintoilla tarkoitetaan töitä, joissa vedetään ja asennetaan johtimet pylväisiin. Johdintojen päävaiheet ovat johtimien veto ja kiristys, johtimien päätteiden tekeminen ja sitominen, jompitus ja mahdollisten välisiteiden asennus. Johdintoissa asennetaan vaihe- ja ukkosjohtimet, kuten myös mahdolliset vuorottelut ja jompitukset erottimille. Johtimet vedetään yleensä kireänä vetona, mutta johtimet voidaan vetää myös perinteisellä ”johtimet laahaten”-menetelmällä. Nykyään tilaaja useasti vaatii, että johtimet asennetaan kireänäveto-kalustolla, jotta johtimet eivät vaurioidu vetäessä. Jos tilaaja ei ole vaatinut kireänäveto-menetelmää, työmaapäällikkö päättää vetomenetelmän työmaan olosuhteiden mukaan. Käytännössä nykyään jokainen pidempi vetoväli tehdään kireänäveto-kalustolla. Työmaapäällikkö valvoo ja johtaa johdintöitä ja suunnittelee vetovälit. (Kivelä 2022.)

6.6 ”Johtimet laahaten”-menetelmä

Perinteisessä ”johtimet laahaten”-menetelmässä johtimet kiinnitetään keloilla vetosukan avulla vetonaruun tai -vaijeriin, joka kiinnitetään kaivinkoneeseen tai muuhun vastaavaan telakoneeseen. Vetonaru tai -vaijeri laitetaan vetokoneen ja johtimen väliin, koska pylväillä vetonaru vedetään pyörän läpi pyörissä olevien narujen avulla. Pyörissä valmiina olevat narut eivät kestä johtimien vetoa, vaan niillä vain vedetään vetonaru yli pyörästä, jonka jälkeen se otetaan välistä pois. Tässä menetelmässä johtimet laahaavat maassa pylväsväleillä, joten johtimiin voi tulla vaurioita ja säievikoja niiden osuessa esimerkiksi kiviin. Hyvänä puolena menetelmässä on kaluston vähäisempi määrä verrattuna kireänä vetoon. Menetelmää ei voi käyttää, mikäli pylväsväleillä on ties-töä tai pienjänniteilmalinjoja, jolloin johtimet ottaisivat näihin kiinni aiheuttaen vahinkoa tai sähköiskuvaaran. Menetelmää on käytettävä harkiten, koska vaurioituneiden johtimien korjaus on työlästä ja aiheuttaa lisäkustannuksia. (Sikanen 2022.)

6.7 Kireänäveto-menetelmä

Kireänäveto-menetelmässä sijoitetaan jarru- ja vetokone vetovälin eri päihin. Jarrukoneelle vietään johdinkelat kelapukeille ja vetokoneelle vietään pilottivaijerikelat omille pukeilleen. Pilottivaijeri vedetään kaivinkoneella ja nostetaan pyörille pyörillä olevilla naruilla. Kun pilottivaijeri on saatu vedettyä jarrukoneelle, liitetään vaijeri vetosukalla ja leikarilla johtimeen, joka on pujotettu jarrukoneen pyörien läpi. Jos voimajohtoon tulee useampia osajohtimia, käytetään erikseen vetoiestä, joka ohjaa osajohtimet pyörille. Jos vedetään useita raskaita osajohtimia, käytetään erillistä vetovaijeria, joka vedetään pilottivaijerilla. Vetokoneelle vedetään pilottivaijeria ja samanaikaisesti jarrukoneella jarrutetaan johdinta tai johtimia. Yhden asentajan on hyvä kulkea vetosukan tai vetoieksen mukana, kun johtimia vedetään. Tällöin asentaja voi ilmoittaa radiopuhelimella, jos tulee ongelmia matkalla. Ongelma voi olla esimerkiksi vetosukan tarttuminen pyörään kiinni tai vioittunut pyörä, joka vaurioittaa johdinta. Jarrukoneella jarrutetaan johtimia, ettei se pääse laskeutumaan niin alas pylväsväleillä, jolloin se voisi osua johonkin. Tällä menetelmällä johdin pysyy koko vetovälin ilmassa. (Kivelä 2022.)

6.8 Johtimien kiristys ja sidonta

Johtimen vedon jälkeen, kun johdin on saatu vedettyä koko vetovälille, johdin kiristetään. Johtimen kiristykseen kuuluu, että siihen asennetaan kiristyspidikkeet ja eristinvarusteet, joilla johdin kiinnitetään pääteorteen, jotta sitä ei tarvitse erikseen taakata ja sen jälkeen voidaan vetää seuraava johdin. Taakkauksella tarkoitetaan työvaihetta, jossa johtimeen ei asenneta kiristyspäätteitä vaan johdin jätetään vetosammakkoon taljan varaan joko pylvään orteen tai pyörän kautta maahan tarpeeksi pitävään kiinnityspisteeseen, esimerkiksi kaivinkoneeseen. Taakkaus on tehtävä, jos suunniteltu vetoväli päättyy kannatuspylväälle. Vetovälit pyritään suunnittelemaan niin että vetoväli alkaisi ja loppuisi kiristyspylvääseen, jolloin ylimääräisiä taakkauksia ei tarvitsisi tehdä.

Kiristys tehdään kiristystaulukon mukaiseen kireyteen. Kiristystaulukkoon on myös merkitty riippuma, joka tarkastetaan. Kiristykset on ilmoitettu eri lämpötiloille 5 asteen välein. Jokaisesta kiristysvälistä täytetään tilaajalle pöytäkirja, johon merkitään ohjekiristys, työmaalla tehty kiristys ja lämpötila. Kuviossa 9 on esitetty ote pöytäkirjasta, johon on merkitty kiristykset ja riippumat. Kiristysvoimat voidaan todeta joko mekaanisesta tai digitaalisesta puntarista. Puntari liitetään taljan ja johtimen väliin.

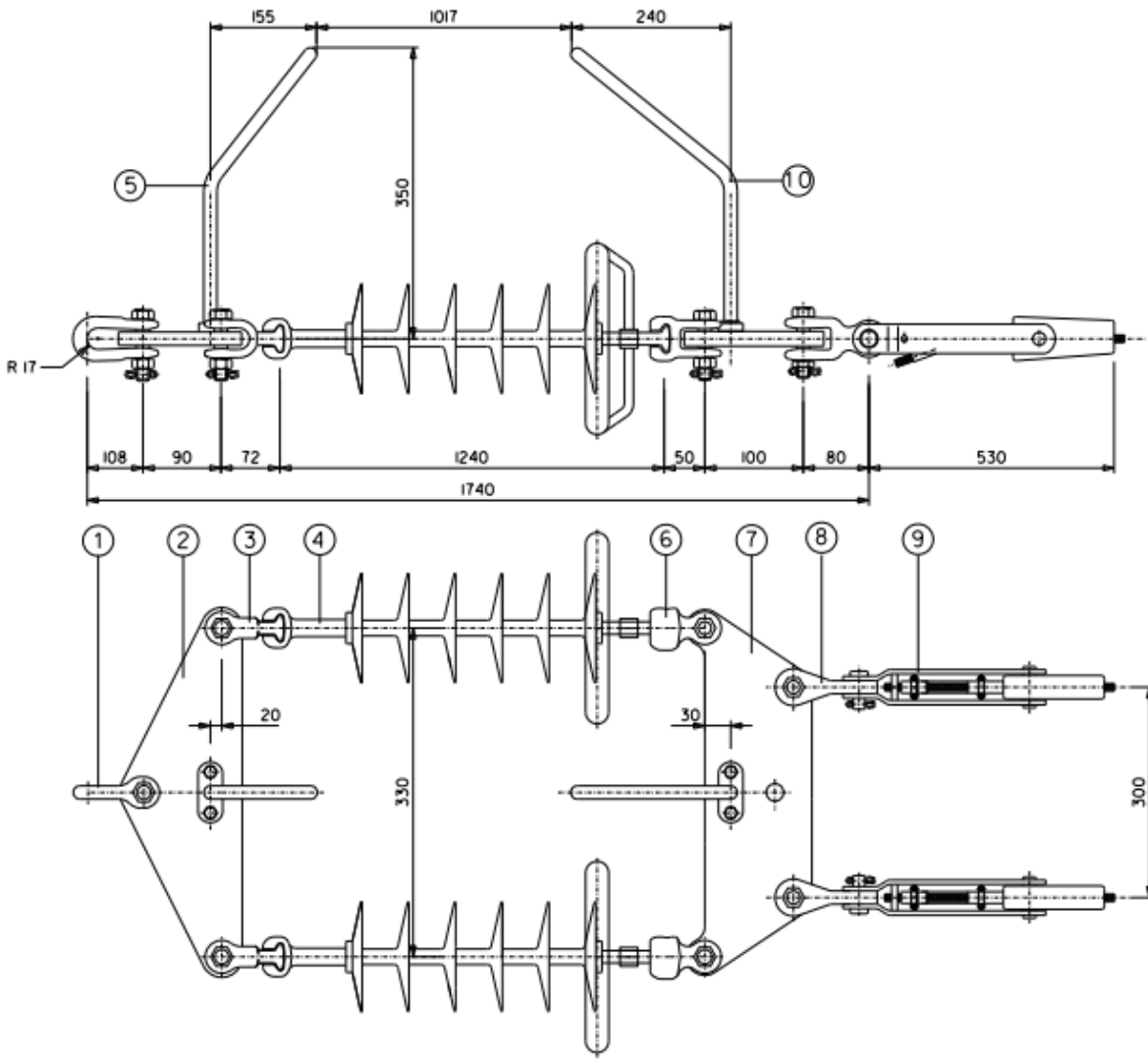
Voimatel Oy

Kiristystaulukko

Voimajohto		Pöytäkirjan laatija					Pöytäkirjan laatimis päivä				
Vehkalahti-Ristinpuro		Simo Härmä					15.10.2022				
Vaihejohtimen tyyppi		Ukkosjohtimien tyypit					Valokuidun tyyppi				
ACSR Duck 305/39		ASLH-V(S)BB 48 SMF (AL2/A20SA 99/26)					ASLH-V(S)BB 48 SMF				
Kiristystaulukon laatija / numero		Kiristystaulukon laatija / numero					Kiristystaulukon laatija / numero				
Simo Härmä											
Kiristykseen toteuttaja I		Kiristykseen toteuttaja II					Kiristykseen toteuttaja III				
Simo Härmä		Pasi Peltola									
Kiristys lukemat											
Johdin	Vaihe	Kiristys väli		Osa	Mittaus väli	Jänne	Lämpötila	Kiristys taulukko	Toteutunut riippuma	Toteutunut kiristys	Kiristys päivä
		P Nro: - PNro:	Nro:								
L1, Duck	L1	542 - 543	1	542 - 543	251	11	22176	4	22000	15.10.2022	
L1, Duck	L1	542 - 543	2	542 - 543	251	11	22176	4	22000	15.10.2022	
L2, Duck	L2	542 - 543	1	542 - 543	251	11	22176	4	22000	15.10.2022	
L2, Duck	L2	542 - 543	2	542 - 543	251	11	22176	4	22000	15.10.2022	
L3 Duck	L3	542 - 543	1	542 - 543	251	11	22176	4	22000	15.10.2022	
L3 Duck	L3	542 - 543	2	542 - 543	251	11	22176	4	22000	15.10.2022	
OPGW	(vasen)	542 - 543		542 - 543	251	11	10449	3,60	10500	6.10.2022	
OPGW	(oikea)	542 - 543		542 - 543	251	11	10449	3,60	10500	6.10.2022	

Kuvio 9 Ote kiristyspöytäkirjasta josta selviää kiristykset eri johtimille (Loppudokumentit, Keltakallio. 2022).

Johtimen päätteeseen kuuluvat eristin, kipinäsarvet, koronarenkaat ja kiristyspidike. Yhden johdinvarustevalmistajan kokoonpanokuva kiristyssetistä on esitetty kuviossa 10. Eristimet, jotka linjaan asennetaan voivat olla valmistettu joko lasista tai moniaineesta. Moniaine-eristimestä käytetään termiä komposiittieristin. Komposiittieristimiä käytetään keveyden ja mekaanisten kestävyysien takia yhä enemmän. Toisaalta komposiittieristimen pinta voi vaurioitua pintapurkausten vuoksi. Tämän takia sähkökentänohjaukseen ja pintakentänvoimakkuuden rajoitukseen pitää kiinnittää huomiota käytettäessä komposiittieristimiä. (Aro & Elovaara & Karttunen & Nousiainen & Palva 2015, 136.) Edellä mainitut asiat pysyvät hallinnassa käytettäessä eristimien kanssa niihin asennettavia koronarenkaita. Johtimen eristinvarusteet on asennettava ja kasattava huolellisesti, jotta etäisyydet esimerkiksi kipinäsarvissa ja koronarenkaissa ovat oikeat ja ne toimivat suunnitellulla tavalla.



Kuvio 10 Kokoanpanokuva kiristyssetistä 2xACSR Duck-johtimelle. 1) Sakkeli 2) Kolmiorauta 3) Tappisilmu 4) Eristin 5) Kipinäsarvi 6) Kuppisilmu 7) Pääterauta 8) Sakkeli 9) Kiristyspidikkeet 10) Kipinäsarvi (Loppudokumentit, Keltakallio. 2022).

Johtimien kiristyksen ja päättämisen jälkeen kannatinpylväät sidotaan, mikä tarkoittaa johtimen asentamista kannatuspidikkeille. Ukkosjohtimien sitomisen yhteydessä ne kytketään pylvään teräsrakenteeseen. Standardin SFS/ICS 29.240.01 mukaan erillistä maadoitusjohdinta ei tarvitse käyttää, jos teräsrakenne muodostaa salamavirralle sopivan reitin.

Kannatus- ja kiristyspidikkeiltä vaaditaan, etteivät ne aiheuta johtimille säievikoja. Nippujohtimilla (useampia osajohtimia) asennetaan johtimille välisiteet, jotka pitävät osajohtimet oikealla etäisyydellä toisistaan ja näin estävät johtimien yhteenlyömisen ja siitä aiheutuvat vauriot. Johtimille

asennetaan myös värähtelynvaimentimet. Värähtelynvaimentimilla vähennetään tuulen johtoon aiheuttamaa värähtelyä. Värähtely on pystysuuntaista ja se synnyttää johtimien kannatuskohtiin väsymismurtumia. Vaimentimet asennetaan yleensä kannatuskohdan molemmin puolin. Vaimentimien tehtävä on muuttaa johtimissa olevat värähtelyt lämmöksi ja muodonmuutostyöksi. (Elovaara & Haarla 2011, 284.)

7 Loppudokumentaatio

Standardi SFS/ICS 29.240.01 määrittää, että toimittaja ja käyttäjä sopivat luovutettavan dokumentoinnin laadusta ja laajuudesta ja että kaikille suurjänniteasennuksille pitää tehdä ennen käyttöönottoa sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukainen käyttöönottotarkastus ja tehdä siitä tarkastuspöytäkirja. Tilaaja määrittää loppudokumentoinnin laajuuden ja sekä missä muodossa loppudokumentointi toimitetaan. Alla lueteltuna yksi esimerkki loppudokumenttirakenteesta.

- 1. Yleistiedot ja pylväsluettelot
- 2. Kartat ja profiili
- 3. Perustukset
- 4. Pylväät
- 5. Eristimet, johdinvarusteet, liittimet
- 6. Vaihejohtimet
- 7. OPGW
- 8. Maadoitukset
- 9. Projektin dokumentit

Yleistiedot ja pylväsluettelot sisältävät johdon yleistiedot, pylväsluettelon ja pylväiden koordinaattiluettelon. Kartat ja profiilit –kohdan alle tulevat yleiskartat, reittikartat, kiinteistörekisterikartat, johtoalueen poikkileikkaukset ja profiili. Tilaaja määrittää missä mittasuhteessa kartat toimitetaan. Yleensä käytetään yleissuunnittelun mukana tulleita karttoja, joiden pohjalle mahdolliset muutokset tehdään.

Perustukset-välilehden alle tulevat perustustapasuosituksien, maapohjatutkimukset, perustusraportit, perustuskuvat ja laskelmat, betonointisuunnitelmat ja betonien testausraportit. Pylväät-otsikon alle tulevat pylväiden kokoonpanopiirustukset sekä laatudokumentaatio, josta selviävät käytetyt teräkset ja sinkitysvahvuudet sekä pylväiden laskentaraportit.

Eristimet, johdinvarusteet, liittimet -välilehdelle kuuluvat projektissa käytettyjen eristimien, johdinvarusteiden liittimien testiraportit ja kokoonpanopiirustukset. Vaihejohtimet-kansioon tulee asennusköysivoima- ja riippumataulukot, virtajohtimien tekniset tiedot, vaihejärjestyskaavio ja johtimien asennustaulukot. OPGW-kansioon tulee kaikki OPGW-johtimen tekniset tiedot, varusteiden kokoonpanopiirustukset, OPGW-johtimen mittaukset ja vaimentimien asennustaulukko. Maadoitusten alle tulee maan ominaisvastusten mittaustulokset, rakennetut maadoitukset, vaarajänniteselvitys ja maadoituspöytäkirjat. Projektin dokumentit-kansioon sisällytetään käyttöönottopöytäkirjat ja varmennustarkastuspöytäkirjat. (Loppudokumentit, Keltakallio 2022)

Yllä esitelty loppudokumentaatorakenne on yleismallinen ja yhden tilaajan määräitys loppudokumentaatiosta. Eri tilaajilla voi olla erilainen rakenne dokumentoinnissa, mutta kaikki edellä mainitut asiat täytyy joka tapauksessa sisällyttää loppudokumentaatioon.

Keskeinen vaihe loppudokumentoinnin onnistumisessa ja sujuvassa koostamisessa on, että dokumentteja kootaan ja laitetaan talteen järjestelmällisesti koko projektin ajan. Näin toimittaessa dokumentit pysyvät tallessa ja vältytään laadullisista poikkeamista, jotka johtuvat puuttuvista tai vajavaisista dokumenteista. Loppudokumentaation koostaa projektipäällikkö yhdessä työmaapäällikön kanssa. Työmaapäälliköllä on keskeinen rooli dokumentaation onnistumisessa, sillä suuri osa projektin aikana tehtävistä dokumenteista, kuten esimerkiksi perustuspöytäkirjat, betonointisuunnitelmat, perustusraportit ja kiristystaulukot, kootaan työvaiheitten aikana ja pitää sisällyttää asiakkaalle palautettavaan dokumentaatioon. (Kivelä 2022.)

8 Oman työn pöytäkirjat

Voimajohtoprojektin aikana tuotin päätyövaiheille oman työn tarkastuspöytäkirjat. Pöytäkirjojen on tarkoitus helpottaa työn valvontaa ja parantaa laatua ja tätä kautta taloudellisuutta projektissa. Pöytäkirjoja voidaan käyttää myös silloin, kun työvaiheita ulkoistetaan aliurakoitsijoille. Tällä tavalla voidaan valvoa työtä ja varmistaa aliurakoitsijoiden työn laatu. Nämä eivät poista työmaapäälliköltä ja työnjohdolta vastuuta valvonnasta ja työnjohdollisista tehtävistä, vaan toimivat hyödyllisinä apuvälineinä, joita voidaan käyttää työmaavalvonnassa. Pyrin pitämään pöytäkirjat mahdollisimman yksinkertaisina ja helppokäyttöisinä, jotta pöytäkirjat tulevat todelliseen käyttöön eivätkä hidasta työntekoa. Kuitattavat kohdat pöytäkirjoihin lisäsin omien havaintojen ja aikaisempien työmaiden laatu-poikkeamien mukaan, jotta tulevaisuudessa nämä voitaisiin välttää. Seuraavissa kappaleissa otan esiin työvaiheittain muutamia asioita, jotka nousivat esiin projektin aikana.

8.1 Perustustyö

Paikallaan valettavien perustustöiden tekemisessä on kiinnitettävä huomiota perustuksen paikan määritykseen, maadoituksen asennuksiin, peruspultteihin ja pilareiden viisteisiin. Elementtiperustuksien ja paikallaan valettavien perustuksien paikan määrityksessä käytetään joko aliurakoitsijan mittamiestä tai sitten perustuksen paikka määritetään itse yhtiön omilla mittalaitteilla. Jos paikka mitataan itse on varmistuttava siitä, että korko ja paikka on mitattu tarvittavalla tarkkuudella. Elementtiperustuksia asennettaessa on mittaukset suoritettava jokaista elementtiä kohden aina uudestaan. Maadoitusten asennuksissa on paikallaan valettavien perustuksien teossa kiinnitettävä huomiota, etteivät maadoituskuparit ole yhteydessä perustuksien raudoituksiin. Peruspulttien paikat on tarkemitattava ennen pilareiden valua ja varmistettava paikallaan pysyminen valun aikana. Pilareiden viisteet on otettava huomioon pilareiden valumuottien asennusvaiheessa.

8.2 Pylväskasaus ja -nosto

Isoimmat ongelmat pylväskasauksen laadussa ovat kiire ja tarvittavien materiaalien saatavuus silloin kun pylväskasausta suoritetaan. Kaikki pylväsrakenteen raudat olivat projektin pylväskasauksen aikana työkohteessa, mutta työmaapäällikön on hoidettava myös muut tarvittavat pylväskasauksen materiaalit ajoissa työkohteeseen. Tarvittaviin materiaaleihin kuuluvat johdinvarusteet, eristimet, johdonvetopyörät ja merkintäkilvet. Projektin tekeminen taloudellisesti vaatii, että kaikki tarvittava materiaali on työkohteessa silloin kun työryhmä on paikalla valmiina toteuttamaan kasausta. Pylvään noston aikana on kiinnitettävä huomiota siihen, että kaikki maadoitukset kiinnitetään pylväsalkoihin heti noston jälkeen, ankkuripultit kiristetään pylvään jalkoihin oikeaan momenttiin ja lukitaan toisella mutterilla.

8.3 Johdintyöt

Johdintoissa korjattavia laadullisia poikkeamia projekteissa on vähän. Johtimen vedossa on pidettävä huolta, ettei johtimiin tule säievikoja johtuen huonoista johdonvetopyöristä. Mikäli johdinta vedetään laahaamalla on huolehdittava, ettei johdin hierrä mihinkään sellaiseen, mikä voisi aiheuttaa säievian tai johtimen kulumista. Kiristyspylväissä, joissa OPGW-johtimeen tehdään kiristys mutta ei alastuloja (johdinta ei katkaista), on varmistuttava siitä, että kiristyspidikkeiden välille jäävään johdinosaan ei kohdistu vetoa. Johtimien kiristykset on tehtävä taulukon mukaan ja riippumat on myös tarkastettava.

9 Pohdinta

Tavoitteena oli kuvata voimajohtoprojekti yleisluontoisesti ja nostaa ylös laatupoikkeamia projekteissa. Näiden perusteella tarkoitus oli luoda oman työn pöytäkirjat eri työvaiheille, joita voitaisiin käyttää apuna virheiden ja laatupoikkeamien poistamiseen. Tuloksena pöytäkirjoja päästiin käyttämään voimajohtoprojektissa käytännössä. Tutkimuskysymyksiin saatiin vastauksia yleisellä tasolla. Yleisenä loppupäätelmänä paras laadun varmistusmenetelmä on työmaavalvonta. Valvonnan lisäksi ammattitaitoiset ja sitoutuneet asentajat nostavat asennuksen laatua merkittävästi. Pöytäkirjat työvaiheiden jälkeen toimivat muistilistana, jossa on pääpiirteittäin kohdat, joista on aikaisemmissa projekteissa tullut poikkeamia ja näin ollen helpottavat tarkastusta työkohteessa.

Projektissa käytettiin oman työn pöytäkirjoja eri työvaiheissa. Ensimmäisiä pöytäkirjoja täytettäessä täyttäminen ei työvaiheen jälkeen ollut vielä rutiinia, mutta muutaman pöytäkirjan jälkeen se muodostui automaattiseksi osaksi työntekoa. Kentältä saadun palautteen perusteella kiitosta tuli pöytäkirjojen yksinkertaisuudesta ja helppokäyttöisyydestä. Projektissa kaikki työvaiheet tehtiin yhtiön omilla resursseilla, jolloin usein työnjohto eli työmaapäällikkö täytti pöytäkirjat. Havaintojen perusteella pöytäkirjat soveltuvat hyvin myös tilanteisiin, joissa työvaiheita ulkoistetaan aliurakoitsijoille. Tällöin työmaapäällikkö saisi täytetyt pöytäkirjat aliurakoitsijalta ja näin voisi seurata valmistumista ja laatua työmaalla, joka on niin laaja, ettei kykene valvomaan jokaista työkohdetta. Nämä pöytäkirjat eivät poista työnjohdon vastuuta valvonnasta, vaan näitä on käytettävä apuvälineenä.

Tämä voimajohtoprojekti, jossa käytettiin pöytäkirjoja apuna, onnistui laadullisesti hyvin. Varmenustarkastuksessa asennuksesta johtuvia huomautuksia tuli vain yksi. Huomautus tuli, kun yhden pylvään ankkuripultin mutteri oli löysällä. (Tarkastustodistus, 2022) Keskeytyksiä vaativia vikoja ei ollut yhtään. Tämän opinnäytetyön luvussa 5.2 ”Laadun mittaus” keskimääräinen vikataajuus per kilometri on 2,99 vikaa. Tässä projektissa päästiin vikataajuuteen 0,5 yhdellä vialla. Tuloksessa on otettava huomioon, että yksikin vika nostaa vikataajuutta korkealle, kun kyse on vain muutaman kilometrin mittaisesta linjasta. Tuloksista saataisiin luotettavampaa tietoa, jos seuranta tehtäisiin useammasta ja pidemmästä projektista. Aikomuksenani on käyttää tulevaisuudessa vetämissäni voimajohtoprojekteissa jatkossa näitä oman työn tarkastuspöytäkirjoja varsinkin aliurakoitsijoiden kanssa.

Pöytäkirjoja voidaan jatkokehittää asentajien ja aliurakoitsijoiden ideoiden ja palautteen mukaan lisää.

Lähteet

Aro, M. & Elovaara, J. & Karttunen, M & Nousiainen, K & Palva, V. 2015. Suurjännitetekniikka. 4. p. Helsinki: Otatieto / Gaudeamus Helsinki University Press

Artto, K. & Martinsuo, M. & Kujala, J. 2008. Projektiliiketoiminta. Helsinki: WSOY.

ACSR ja AACSR Teräsvahvisteinen alumiinijohdin. 2013. Prysmian Group. Viitattu 3.6.2022. https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/ACSRjaAACSR.pdf

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II Verkon suunnittelu, järjestelmä ja laitteet. 2. p. Helsinki: Otatieto / Gaudeamus Helsinki University Press

Kivelä, O. 2022. Projektipäällikkö. Voimatel Oy. Haastattelu 6.5.2022

Loppudokumentit, Keltakallio. 2022. Voimatel. Viitattu 25.4.2023. Sisäinen.

SFS/ICS 29.240.01; 29.290:2018. Suurjänniteasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 15.6.2018. Viitattu 23.5.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Sikanen, K. 2023. Työmaapäällikkö. Voimatel Oy. Haastattelu 20.4.2023

Suomen sähköjärjestelmä. 2022. Fingrid, Suomen kantaverkkoyhtiö. Viitattu 23.5.2022. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma>

OPGW Typical design of central AL-covered stainless steel tube. 2022. Ksdfibercable. Viitattu 3.6.2022. <https://www.ksdfibercable.com/opgw-typical-designs-of-stranded-stainless-steel-tube-product/>

Palvelut. 2022. Voimatel. Viitattu 18.6.2022. <https://www.voimatel.fi/palvelut/>

Pernaa, J. 2013. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Artikkel. https://tuhat.helsinki.fi/ws/files/127650174/2013_Pernaa_KT_tutkimusmenetelmana_KT_kirja.pdf Viitattu 6.5.2023

Projektikäsikirja. 2021. Voimatel. Viitattu 11.6.2022. Sisäinen.

Tarkastustodistus, varmennustarkastus. 2022. Kiwa Inspecta. Viitattu 4.5.2023. Sisäinen.

Työmaasuunnitelma, Keltakallio. 2022. Voimatel. Viitattu 11.4.2023. Sisäinen.

Voimajohdot. 2022. Fingrid, Suomen kantaverkkoyhtiö. Viitattu 3.6.2022. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/voimajohdot/>

Vastaanottotarkastuksissa havaitut puutteet. 2020-2022. Voimatel, käyttöönottopöytäkirjojen liitteet. Viitattu 25.4.2023. Sisäinen.

Liitteet

Liite 1. Paikallaan valettavan perustuksen pöytäkirja



Pylväsnumero:	Pylvääntyyppi:	Kulma:	GON
Juuripaalun koordinaatit:		Juuripaalun korko:	

ANTURA

Korko mitattu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Anturan nurkat ja pilarien paikat mitattu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Maadoituskuparin asennus (ei yhteydessä raudoitukseen)	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Raudoitus perustussuunnitelman mukainen	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Muotti tiivis ja tuettu tukevasti	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Betonointisuunnitelma tehty	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Betonointi ja pumppupöytäkirjat saatu valun jälkeen.	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!

PILARIT

Raudoitus perustussuunnitelman mukainen	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Peruspulttien paikat mitattu ja paikallaan pysyminen varmistettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Muotti tiivis ja tuettu tukevasti, kulmaviisteet paikallaan	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Pilarien lämmitys tarvittaessa	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Pilarin pinnan hiertäminen	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!

Huomioitavaa!

Päiväys:	Työryhmän kärkimiehen allekirjoitus/ nimenselvennys
----------	---

Liite 2. Elementtiperustuksien pöytäkirja

ELEMENTTIPERUSTUKSIEN PÖYTÄKIRJA



Pylväsnumero:	Pylvääntyyppi:	Kulma:	GON
Juuripaalun koordinaatit:		Juuripaalun korko:	
PYLVÄSPILARIT			
Korko mitattu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Pylväspilarien paikat mitattu ja merkattu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Maadoituskuparien asennus (mahdolliset potentiaalirenkaiden suojaputket)	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Pilareiden kaltevuus perustussuunnitelman mukainen	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Mahdolliset massanvaihdot	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
HARUSELEMENTIT			
Haruselementtien paikat mitattu pylväspilareista	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Haruselementtien porrastus	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Haruselementtien korko suhteessa pilareihin	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Mahdolliset massanvaihdot	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Perustuspöytäkirja täytetty ja kuitattu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Huomioitavaa!			
Päiväys:	Työryhmän kärke miehen allekirjoitus/ nimenselvennys		

Liite 3. Pylvään kasauksen ja noston pöytäkirja

PYLVÄÄN KASAUS-/NOSTOPÖYTÄKIRJA



Pylväsnumero:	Pylvääntyyppi:	Kulma:	GON
Pylvään kasaus			
Pylväs nostosuunnitelman osoittamassa paikassa	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Mutterit kiristetty ja kierteet rikottu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Virtajohtimien eristimet, pyörät ja narut	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Ukkosjohtimien pyörät ja narut	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Tunniste- ja varoituskilvet kiinnitetty	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Turvatickaat asennettu ohjeiden mukaan	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Pylvään nosto			
Nostosuunnitelma käyty läpi työryhmän kanssa	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Nostoliinat/ketjut nostosuunnitelman mukaiset	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
<u>Harustetuilla pylväillä:</u> Harusmerkit ja naijaukset asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
<u>Vapaasti seisovilla:</u> Alimmat diagonaalien mutterit kiritty ja kierteet rikottu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Maadoitukset yhdistetty	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
<u>Vapaasti seisovilla:</u> Ankkuripultit kiristetty ja tuplamutterit asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Huomioitavaa!			
Päiväys:	Työryhmän kärke miehen allekirjoitus/ nimenselvitys		

Liite 4. Johdintöiden pöytäkirja

JOHDINTYÖT



Kirstysväli:		
Virtajohtimien kiristys (kN):		Ukkosjohtimen 1 kiristys (kN):
Riippumat	Pylväsväli:	Ukkosjohtimen 2 kiristys (kN):
Virtajohdin 1:	Virtajohdin 2:	Virtajohdin 3:
Ukkosjohdin 1:	Ukkosjohdin 2:	

VIRTAJOHTIMET

Johdinten kiristykset ja riippumat taulukon mukaiset	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Värinänvaimentimet asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Välisiteet asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Vuorottelut	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Kaikki pylväät sidottu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Jompit asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Johtimissa ei vaurioita	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!

UKKOSJOHTIMET

Kaikki pylväät sidottu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Värinänvaimentimet asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Maadoituspiiskat asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
OPGW-alastulot asennettu	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
Kiristys ja riippuma taulukon mukainen	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!
OPGW-johtimen kuitujen mittaukset tehty	Kyllä <input type="checkbox"/>	Ei <input type="checkbox"/>	Huom!

Huomioitavaa!

Päiväys:	Työryhmän kärke miehen allekirjoitus/ nimenselvennys
----------	--