



Olli Eerikäinen

Raitiotien sähkötöiden turvallisuuden ja tuotannon kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

10.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Olli Eerikäinen
Otsikko:	Raitiotien sähkötoiden turvallisuuden ja tuotannon kehittäminen
Sivumäärä:	39 sivua + 1 liitettä
Aika:	10.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Työmaapäällikkö Lauri Loppi Yliopettaja Jarno Varteva

Tässä insinööriyössä käsitellään raitiotien sähkö- ja teknisten järjestelmien urakointia sekä sen turvallisuuden ja tuotannon menetelmiä Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen Sörkän Spora -allianssin ja Destia Rail Oy:n osalta. Insinööriyön tehtävänä on tuottaa yritystä ja hanketta kehittävä suunnitelmarunko tuotannon ja turvallisuuden toteutukseen. Lisäksi insinööriyössä käydään läpi raitiotien syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmän sähkö- sekä teknisiä järjestelmiä.

Insinööriyössä alussa kerrotaan tarkemmin Kalasatamasta Pasilaan -raitiotiehankeesta ja Destia Rail Oy -yrityksestä, joille insinööriyö on luotu. Keskivaiheessa läpikäydään raitiotien syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmän periaatteita ja toimintaa. Viimeisenä kokonaisuutena käsitellään raitiotien sähköurakoinnin tuotannossa ja turvallisuudessa huomioitavien menetelmien käsitteitä ja menetelmien toteuttamista huomioiden työvaihekohtaiset vaatimukset.

Työssä on käytetty lähteinä alan asiantuntijoiden haastatteluja, standardeja, ohjeita ja henkilökohtaista kokemusta. Työ käyttää hankkeen sähköurakan suunnitteluvaiheen lopun ja toteutusvaiheen alun aikana tulleita havaintoja esimerkkinä ratkaisusta toteutuksessa. Insinööriyön koottua aineistoa ja kokemusta voidaan hyödyntää Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen sekä tulevien hankkeiden toteutuksessa.

Työn lopputulos on runko raitiotien sähkö- ja teknisten järjestelmien urakointiin sekä niiden tuotannon ja turvallisuuden menetelmiin. Insinööriyöhön koottua materiaalia ja kerättyä kokemusta voidaan käyttää Kalasatamasta Pasilaan -hankkeessa ja tulevissa hankkeissa.

Avainsanat: tuotanto, turvallisuus, sähkö- ja tekniset järjestelmät, raitiotien tekniset järjestelmät, Kalasatamasta Pasilaan, Sörkän Spora

Abstract

Author: Olli Eerikäinen
Title: Development of the Production and Safety of Electrical Works on Light Railways
Number of Pages: 39 pages + 1 appendices
Date: 10 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Electrical power engineering
Supervisors: Lauri Loppi, Site Manager
Jarno Varteva, Principal Lecturer

This bachelor's thesis covers light railway's electrical and technical systems' construction and its methods of production and safety in the Kalasatamasta Pasilaan project concerning Sörkän Spora -alliance's and Destia Rail Oy's part. The purpose of the thesis work was to create a core to help develop the company and the project to improve production and safety. In addition, the thesis reviews railway's supply point and return circuit's electrical and technical systems.

The beginning of the thesis describes Kalasatamasta Pasilaan project and Destia Rail Oy, whom the thesis work was carried out for. The middle section explains the principles and actuation of light railway's supply point and return circuit systems. The last part of the thesis concerns light railway's electrical construction production and safety procedure work specific requirements.

Interviews of experts in the field, standards, guidebooks, and personal experience were used as information sources. The work gives examples of solutions used in the implementation to solve and/or improve the situations discovered in the end of planning and in the beginning of the electrical construction.

The result of the work comprises a core for electrical railway's electrical and technical systems' construction and its methods of production and safety. The assembled material and accumulated experience may be utilized in the Kalasatamasta Pasilaan project and implemented in future projects.

Keywords: Production, Safety, Electrical- and technical systems, Railway's technical systems, Kalasatamasta Pasilaan, Sörkän Spora

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kalasadamasta Pasilaan -hanke	2
2.1	Allianssimalli	3
2.2	Destia Rail Oy	5
2.3	Tekniset järjestelmät	6
3	Syöttöpiste ja paluuvirta	6
3.1	Syöttöpiste- ja paluuvirtakeskus	7
3.2	Syöttöpylväs, jännitteenrajoitinlaite ja syöttöerotin	8
3.3	Paluuvirtakiskokotelo	9
3.4	Jännitteenrajoitin	10
3.5	Kaapelireitit	12
4	Tuotanto	14
4.1	Sähköurakan tarjousvaihe	14
4.2	Sähköurakan aloitus	17
4.2.1	Yleisaikataulu	17
4.2.2	Suunnittelu	18
4.2.3	Hankinta	19
4.2.4	Ohjekortit	22
4.3	Sähköurakan toteutus	23
4.3.1	Rakentaminen	23
4.3.2	Aikataulutus	23
4.3.3	Logistiikka	24
4.3.4	Laadunvalvonta	25
4.4	Sähköurakan luovutus	26
4.4.1	Käyttöönotto ja mittaukset	26
4.4.2	Tilaajalle luovutettava dokumentaatio	28
5	Turvallisuus	28
5.1	Koulutus	30
5.2	Työn vaiheistaminen ja resursointi	32

5.3 Havainnointi työmaalla	33
6 Yhteenveto	34
Lähteet	36
Liitteet	
Liite 1: Kaapelimerkintöjen kustannuslaskenta	

Lyhenteet ja käsitteet

- Al: *Alumiini*. Kaapelissa käytettävä johtimen materiaali.
- ATA: *Avaintulosalue*. Määritetty laadullinen tavoite.
- ATU: *Aukean tilan ulottuma*. Raitiovaunun tilantarve, jonka sisälle ei saa sijoittaa kiinteitä rakenteita.
- Big Room: Allianssin yhteinen toimistotila, johon allianssin osapuolet kokoontuvat.
- HASU: *Hankesuunnitelma*. Dokumentti, jossa määritellään laajat käsitteet kuten kattohinta, laadulliset tavoitteet ja kuvaus lopputuloksesta.
- KaPa: Kalasatamasta Pasilaan -allianssihanke. Hanke Pasilasta Nihtiin kulkevan raitiotielinjan 13 rakentamiselle.
- KAS: *Kehitysvaiheen allianssisopimus*. Allianssin vaihe, jossa muun muassa muodostetaan allianssiorganisaatio sekä laaditaan kehitysvaiheen projektisuunnitelma.
- KK: *Kiskokotelo*. Kiskoon kiinnitettävä kotelo järjestelmän toiminnan saavuttamiseksi.
- KY: *Kiskoyhdistys*. Kiskojen välinen poikittaisyhdistys.
- Lean: Tuotannon ajattelumalli, jossa työ tehdään systemaattisesti poistaen epähyödylliset prosessit tuotannosta.
- MVR: *Maa- ja vesirakentaminen*. Lyhenne, jota käytetään esimerkiksi MVR-mittauksen yhteydessä, jossa havainnoidaan sekä arvioidaan työturvallisuutta maa- ja vesirakennustyömailla.

- PVK: *Paluuvirtakeskus*. Paluuvirtapiirin ja sähkösyöttöaseman välinen keskus.
- RY: *Raideyhdistys*. Raiteiden välinen poikittaisyhdistys.
- SPD: *Surge Protection Device*. Jännitteenrajoitinlaite. Suojaa järjestelmää ylijännitteiltä ohjaamalla ylijännitteen maahan.
- SPK: *Syöttöpistekeskus*. Sähkösyöttöaseman ja syöttöerottimen välinen keskus.
- SSA: *Sähkösyöttöasema*. Syöttöasema, jossa sähköverkkoyhtiön jännite muutetaan ja tasasuunnataan syöttöpistekeskuksille.
- TAS: *Toteutusvaiheen allianssisopimus*. Allianssin vaihe, jossa toteutetaan muun muassa hankkeen rakentaminen ja käyttöönoton suunnittelu.
- TLY: *Turvallisuus, laatu, ympäristö*. Kolme suurta tekijää, jota käytetään usein rakentamisen riskien suunnittelussa.
- TTL: *Työvaihekohtainen työ- ja laatusuunnitelma*. Työtehtävän työntoteuttamisen, tarvittavien toimenpiteiden ja laadullisen toteuttamisen suunnitelma.
- VATU: *Vaarallisen alueen turvaulottuma*. Alue, johon ajolanka voi osua pudotessaan. Neljä metriä raiteen keskilinjasta.
- VDC: *Voltage, Direct Current*. Yksikkö, jossa kerrotaan jännitteen suuruus ja sen tyyppi. V - jännite, DC - tasavirta.
- VLD: *Voltage Limiting Device*. Jännitteenrajoitinlaite. Estää jännitteen pääsyn paluuvirtapiiristä rakenteisiin.

1 Johdanto

Työmaalla on lukuisia osapuolia, jotka tuovat osaamisensa ja näkemyksensä toteutukseen. Mitä useampi osapuoli hankkeeseen vaikuttaa, sitä enemmän muutostekijöitä toteutuksessa pääsääntöisesti ilmenee. Työn vaiheistaminen on tärkeää niin yleisen suunnittelun kuin käytännön toteuttamisen puolesta, mutta töiden vaiheistaminen ei kuitenkaan aina toteudu niin kuin aiemmin on suunniteltu. Myös esille tulevat käytännön ongelmat hidastavat tuotantoa.

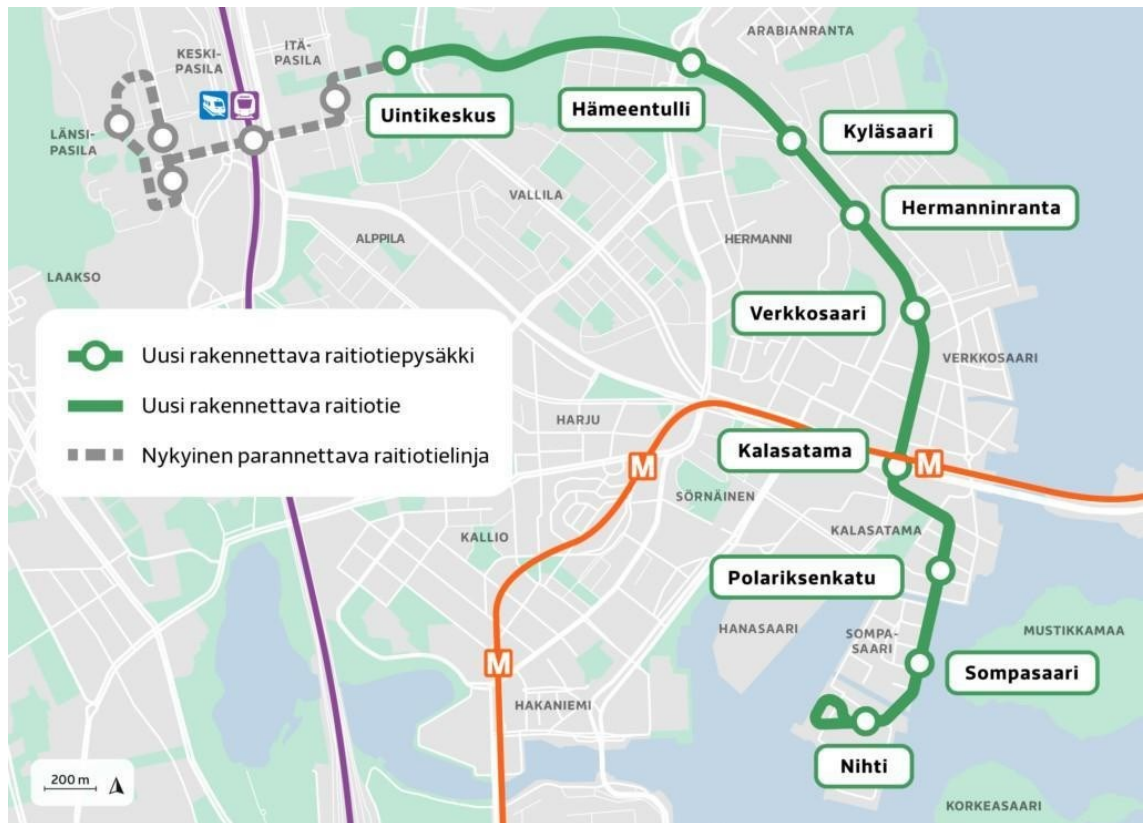
Työmaan omien haasteiden lisäksi vaikeuksia lisäävät myös eri järjestelmät ja niiden rajapinnat. Nämä voivat olla ohjelmiston, työn vaiheistuksen tai esimerkiksi katukuvan ilmeen yhtenäistämisen luomia haasteita, jotka vaativat toimia niin suunnittelun kuin työnjohdon osalta. Edellä mainittuja haasteita tulee usein ilmi isojen kaupunkien infrarakentamisen hankkeissa.

Tämä insinööri työ on tehty Kalasatamasta Pasilaan -hankkeelle Destia Rail Oy:n toimeksi antamana. Tämä insinööri työ esittelee hanketta, sen teknisiä järjestelmiä sekä tuotannon ja turvallisuuden menetelmiä ja kehitysratkaisuja raitiotie hankkeita varten. Työn tavoitteena on rakentaa sähköurakoinnille tuotannon ja turvallisuuden näkökulmasta toimiva runko projektien käytännölliseen johtamiseen. Tämä sisältää tuotannon jaksottamisen ja ennakkotoimet eri vaiheille sekä työturvallisuuden ohjeet käytettyihin välineisiin ja työnaikaisiin riskeihin.

2 Kalasatamasta Pasilaan -hanke

1800-luvulta asti toiminutta Kalasataman teollisuus- ja satama-aluetta on alettu uudelleenrakentamaan satama-alueen Vuosaareen siirtymisen jälkeen. Vuonna 2009 alkaneiden rakennustöiden on suunniteltu kestävän 2030-luvun loppupuolelle. Kalasataman alueelle on laskettu tuohon mennessä muodostuvan 30 000 asuntoa ja 10 000 työpaikkaa. (1.)

Raitiolinjan 13 rakentaminen uusii Nihdistä Kalasataman kautta Pasilaan kulkevan reitin. Tämä raitiolinja yhdistää reitillä olevat joukkoliikenteen solmukohtat. Raitiolinjalle rakennetaan yhdeksän uutta pysäkkiä ja lisäksi käytetään viittä vanhaa pysäkkiä Pasilan alueella kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Kalasatamasta Pasilaan -raitiotielinja (1).

Raitiotien lisäksi hankkeeseen kytkeytyy katualueiden, viherkaistojen, jalankulkuväylien, pyöräilykaistojen ja kunnallistekniikan rakentaminen. Näiden

tarkoituksena on luoda Kalasataman tiiville kaupunkirakenteelle hyvät joukkoliikenneyhteydet sekä viihtyisä alue kaupunkilaisille. Raitiolinjan Nihdin alueen yhteisyyteen on rakenteilla Kruunusillat-hanke, joka yhdistää Nihdin pysäkin tulevan Merihaan- ja Finkensillan kautta Hakaniemeen ja Korkeasaaren kautta Laajasaloon. (2, s. 8.)

2.1 Allianssimalli

Allianssi on toteutusmuoto, jossa tilaajat sekä yksi tai useampi palveluntuottaja luovat yhteisen tavoitesopimuksen luoden allianssin. Palveluntuottajat koostuvat yleisesti suunnittelijoista ja urakoitsijoista. Allianssihakkeen suunnittelemisessa otetaan huomioon yhteiset riskit ja tavoitteet tilaajan, rakentajan sekä suunnittelun kanssa.

Allianssimallilla tavoitellaan hanketta, jossa kootaan yhteen tärkeimpien osapuolten kokemus ja resurssit mahdollisimman aikaisin. Hankkeen toteutus ja resurssit tulevat omasta takaa ja muilta kilpailutuksessa mukana olleilta yrityksiltä. Mallin katsotaan erityisesti soveltuvan hankkeisiin, jotka ovat isoja, riskipitoisia, kustannuskriittisiä, aikakriittisiä, vaativia, monia tekniikkalajeja sisältäviä ja sisältävät tarpeeksi mahdollisuuksia erilaisille vaihtoehdoille kokonaisuuden kannalta. Hankkeessa on tarve suunnitella samanaikaisesti suunnittelu- ja toteutusratkaisut sekä hallita ilmenneet muutokset, kehittää ja innovoida toteutusta koko hankkeen keston ajan. (3, s. 58, 64.)

Budjetointi ja kustannukset kohdistetaan sekä laskutetaan perustuen todellisiin kustannuksiin ilman katetta ja avoimin kirjoin. Allianssissa on kannustinmalli, joka kannustaa sopimusosapuolia hankkeen tavoitteiden toteuttamiseen ja hankkeen ratkaisujen kehittämiseen. Sopimusosapuolilla on aina samansuuntainen määränpää, kaikki voittavat tai häviävät yhdessä.

Kalasatamasta Pasilaan (kuva 2), myöhemmin KaPa, on ensimmäinen hanke Suomessa, jonka toteuttavat kaksi allianssia yhdessä. Allianssien tilaajaosapuolina toimivat Helsingin kaupunki ja Kaupunkiliikenne Oy. Hankkeessa

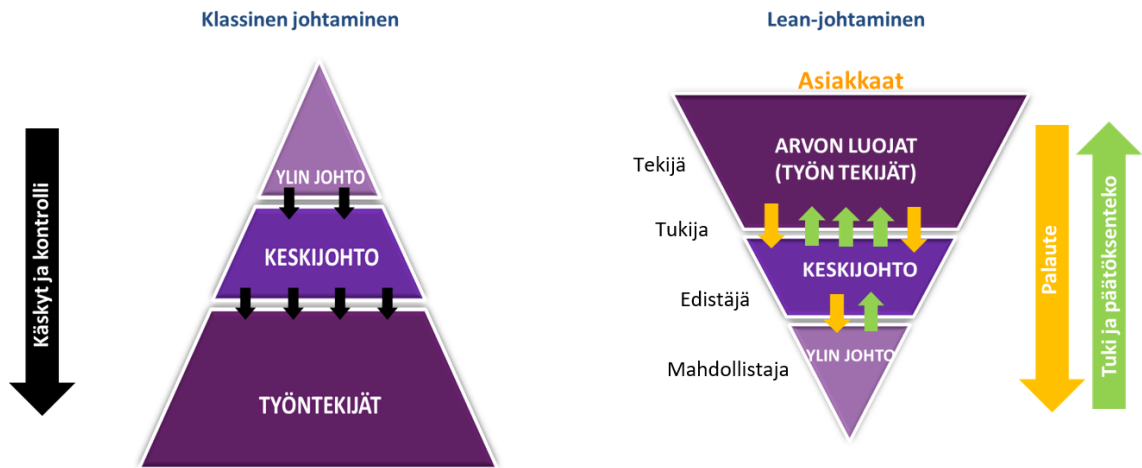
suunnittelusta ja toteuttamisesta vastaavina alliansseina ovat Sörkän Spora, jonka palveluntuottajaosapuolia ovat Destia Oy, Destia Rail Oy, WSP Finland Oy ja Sweco Infra & Rail Oy, sekä Karaatti, jossa osapuolina ovat GRK Infra Oy, GRK Rail Oy ja AFRY Finland Oy. (2, s. 9.)



Kuva 2. Kalasatamasta Pasilaan -hankekokonaisuus (1).

KaPan allianssihankeessa korostetaan avoimuutta ja luottamusta. Tällä tavoitellaan toteutusta, missä epäkohdat tulevat nopeasti esille ja korjattaviksi sen sijaan, että ne myöhemmin löydettäisiin edestä yllätyksenä. Allianssien urakkaraja ei saa näkyä toteutuksessa. Allianssimallissa korostuu yhdessä työskentely, minkä takia alliansseissa käytetään Big Roomia yhteisenä projektitoimintona. KaPassa molemmat allianssit toimivat samassa Big Roomissa.

KaPassa käytetään Lean-johtamisen mallia (kuva 3), missä työmaan toiminta ja tilanne otetaan enemmän huomioon johdon puolelta tulevien käskyjen sijaan. Tämä mahdollistaa mukautumisen työmaan mukaan, mikä on tärkeää kaupunkiympäristössä.



Kuva 3. Klassisen johtamisen ja Lean-johtamisen ero (4).

Hankeympäristöä muokataan asiakkaan tarpeiden mukaan luoden nopeiden liikennejärjestelyjen avulla asiakkaalle mahdollisuudet kulkea esteettömästi hankealueen sisällä heti työmaan valmistuttua ja suunnitellen rakennustoimet, kuten paalutukset, siten, että ne häiritisivät mahdollisimman vähän asiakasta.

2.2 Destia Rail Oy

Destia Rail Oy on vuonna 2006 perustettu osakeyhtiö, jonka kotipaikkana toimii Helsinki. Yritys on Destian Oy:n tytäryhtiö ja erikoistuu nimensä mukaisesti ratarakentamiseen. Nimi vaihtui Destiaan liittymisen myötä Destia Rail Oy:ksi. Ratarakentamiseen kuuluu rata- ja kiskorakentaminen, radan kunnossapito ja radan sähkörakentaminen. Radan sähkörakentamiseen kuuluu turvalaitepuoli, johon sisältyvät radan turvalaitteet ja sähkörata.

Destia Rail Oy:n vuoden 2022 liikevaihto oli 90,6 miljoonaa, ja yritys työllisti 416 työntekijää. Yrityksen suurin toiminta on kunnossapidon puolella, jossa lähes puolet Suomen kunnossapitoalueista on yrityksen toiminnan alla. (5.)

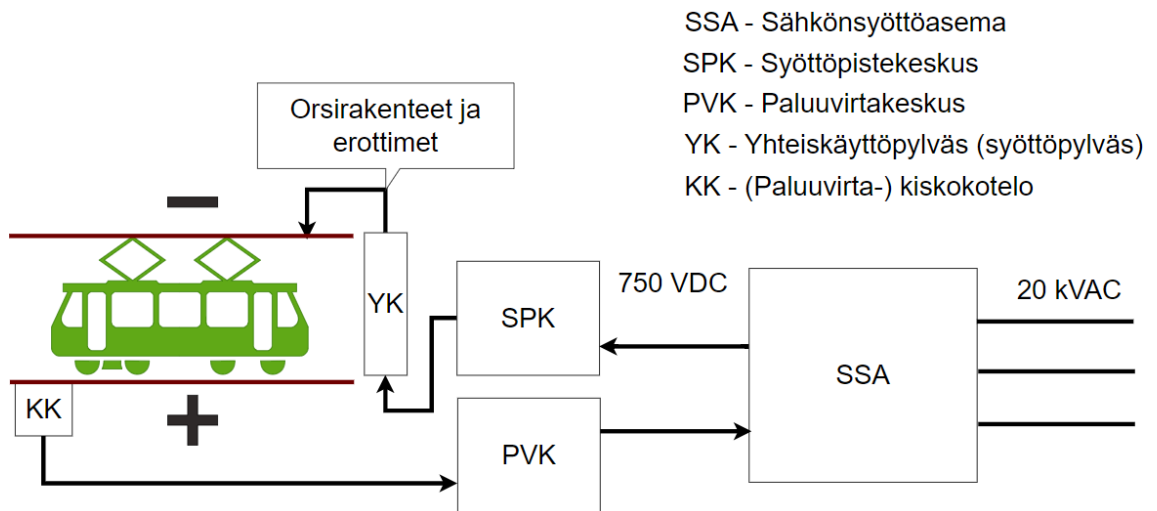
2.3 Tekniset järjestelmät

Raitiotielinja vaatii ajojohtimen kautta kulkevan sähkönsyötön, jota käytetään vaunun ajomoottorien ja vaihteenohjausjärjestelmän keskuksien toimintaan. Tämän takia KaPassa on raitiotien sähkö- ja teknisten järjestelmien tekniikkalaji, mikä toimii allianssin alueella.

Koska KaPa on tupla-allianssi, sähkö- ja teknisten järjestelmien organisaatioita on olemassa kaksi, yksi kummallakin allianssilla. Sörkän Spora -allianssin tekniset järjestelmät vastaavat Nihdistä aina Haukilahdenkadun risteykseen saakka kulkevan reitin sähköteknisistä järjestelmistä.

3 Syöttöpiste ja paluuvirta

Raitiotien syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmä on osa raitiotielinjan toiminnan mahdollistavaa sähkönsyöttöverkkoa. Tämä järjestelmä syöttää raitiovaunulle ajoenergian ajojohtimesta, joka mitoitetaan raitiovaunun mukaan. Kuvassa 4 on esitetty syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmän toimintaperiaate.



Kuva 4. Raitiotien syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmä periaatekuva.

Raitiotien syöttöpistejärjestelmä syöttää nimensä mukaisesti järjestelmälle ajoenergiaa, kun taas paluuvirtajärjestelmä tuo paluuvirtakiskon kautta kulkevan paluuvirran takaisin syöttöpistejärjestelmän kautta sähkösyöttöasemalle. Paluuvirtajärjestelmän paluuvirtapiiri erotetaan täysin maasta ja ympäröivistä maadoitusjärjestelmistä. (6.)

3.1 Syöttöpiste- ja paluuvirtakeskus

Syöttöpistekeskus (SPK) syöttää sähkösyöttöasemalta tulevan virran syöttökaapeleita pitkin syöttöpylväälle. Syöttöpistekeskus toimii sähkösyöttöaseman (SSA) ja ajojohtimen välisenä erottimena, koska SSA:lta ei voi syöttää suoraa jännitettä raitiotien vaarauttumaan. Syöttöpistekeskuksen kautta pystyy poistamaan virran ajojohdinjärjestelmän syöttöjaksosta, mikäli järjestelmää tarvitsee huoltaa tai siihen pitää päästä käsiksi.

Paluuvirtakeskus (PVK) on osa paluuvirtapiiriä, jonka kautta paluuvirtakiskokotelolta tuleva 750 VDC palaa paluuvirtakaapeleita pitkin sähkösyöttöasemalle. Paluuvirtakaapelointi toteutetaan paluuvirtakaapilta 4 x 800mm²:n Al-kaapelilla, jossa on konsentrisen suojaus. Paluuvirtakeskuksen ja syöttöaseman välinen kaapeli sijoitetaan syöttökaapeleiden kanssa vierekkäin, sekä kaapeloinnin pitää olla omassa kaapelireitissä. (6.)

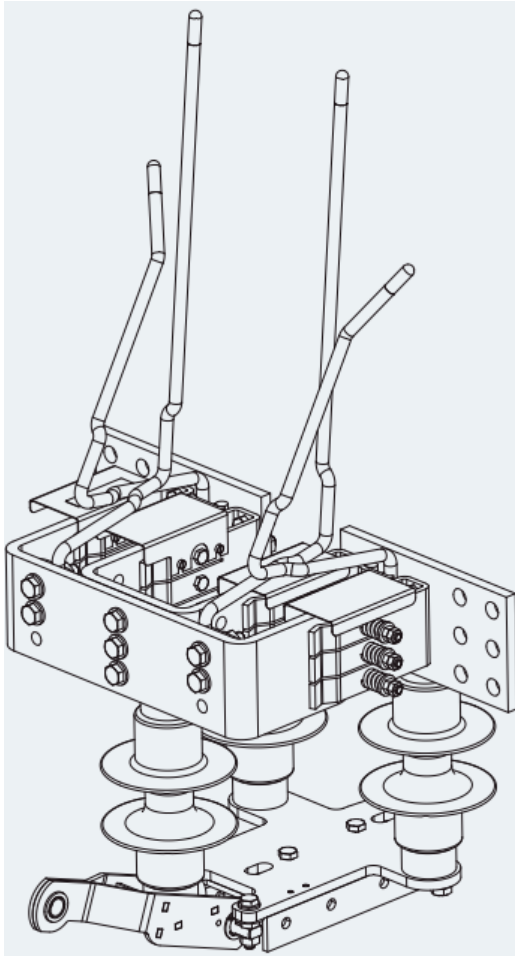
3.2 Syöttöpylväs, jännitteenrajoitinlaite ja syöttöerotin

Syöttöpylväs tuo syöttöpistekeskuksilta tulevan –750 VDC ajojohtimelle, jonka avulla raitiovaunun virroitin saa energian raitiovaunun toimintaa varten. Syöttöpylväs eroaa normaalista raitiotiepylvästä siihen lisättävien kaapelitikkaan, syöttöpylväserottimen ja jännitteenrajoitinlaitteen eli SPD:n (Surge Protection Device) takia. Nämä osat mahdollistavat virtatien ajojohtimeen ja järjestelmän turvallisuuden jännitesuojien ja maadoituksen avulla.

Toteuttaessa tehonsyöttöä ajolangasta jännitteenrajoitinlaite suojaa järjestelmää ylijännitteiltä. Jännitteenrajoitinlaite ohjaa ylijännitteen maahan. Normaalissa olosuhteissa, kun jännite ei ole yli tarvitun rajan, ylijännitesuojan läpi kulkeva virta on pienempi kuin 1 mA. Kun salama tai katkaisujännite iskee järjestelmään, vastus muuttuu johtavaksi ja syöksyvirta ohjautuu maadoituksen kautta maahan. (7, s. 5.)

Ylijännitesuojien vaatimustaso on A1, joka perustuu ilmastollisten ylijännitteiden suojauksiin. A1-tyyppisen suojan sijoitus tulee syöttöpylvääseen vähintään 5,3 m:n korkeuteen tai sen yli, mitattuna kiskoselästä. Ajojohtimen ja ylijännitesuojan välinen yhteys tapahtuu 1 x 95 mm²:n kaapelilla.

Syöttöerotin (kuva 5) on kytkinlaite raitioteillä yhdistämässä, syöttämässä ja katkaisemassa syöttöjakson syöttöaseman ja syöttöpylvään väliltä. Tämän avulla raitiotien syöttöjakson syöttöaseman voi ohittaa jaksonerottimen siltauksella ja SPK:n sekä PVK:n irtikytkennällä järjestelmästä, kun syöttöasema ei ole toiminnassa huollon tai vian vuoksi. (8.)



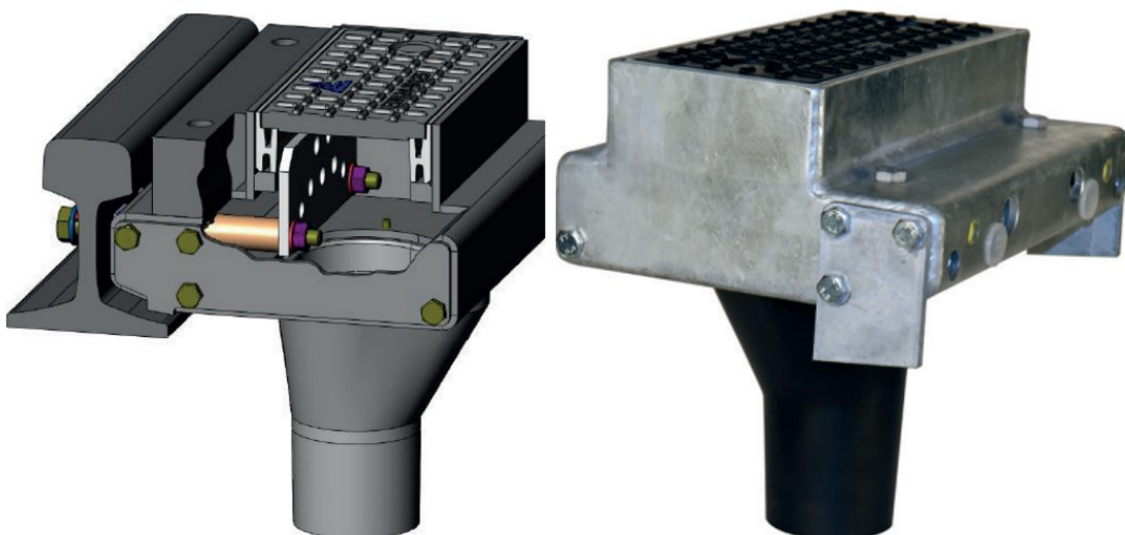
Kuva 5. Sähkönsyöttöpylvään syöttöerotin (9, s. 9).

Järjestelmässä oleva jaksonerotin erottaa syöttöalueet toisistaan. Jaksonerotin on siltaavina, jolloin ne eivät katkaise vaunulta jännitettä, kun se menee ohi, tai siltaamattomina, jolloin vaunun virroitin ei saa lyhyen matkan aikana jännitettä ohittaessa jaksonerotin. (8.)

3.3 Paluuvirtakiskokotelo

Paluuvirtakeskuksen läheisyyteen asennettavat paluuvirtakiskokotelot mahdollistavat virran kulkutien paluuvirtakiskon kautta paluuvirtakiskokoteloiden ja paluuvirtakeskuksien läpi sähkönsyöttöasemalle. Paluuvirtajärjestelmän kiskoliitokset tehdään koteloihin, jotta liitos on tavoitettavissa kunnossapidollisia toimia varten. Asennuksessa on otettava huomioon raitiotien laatan valu, jonka aika-aulu määrittää, milloin paluuvirtakiskokotelon asentamisen voi toteuttaa.

Paluuvirtakiskokoteloiden (kuva 6) molemmin puolin on laitettava enintään 25 m:n päähän raiteiden välinen yhdistys eli raideyhdistys (RY). Paluuvirtakiskokotelon kautta liitetään raitiotien paluuvirtakisko $3 \times 150 \text{ mm}^2$:n eristetyllä kuparijohtimella paluuvirtakeskukseen. Kiskokotelo eristetään alta ja sivuilta eristemällä, joka estää hajavirtojen kulkeutumisen ulkoisiin rakenteisiin. (6.)



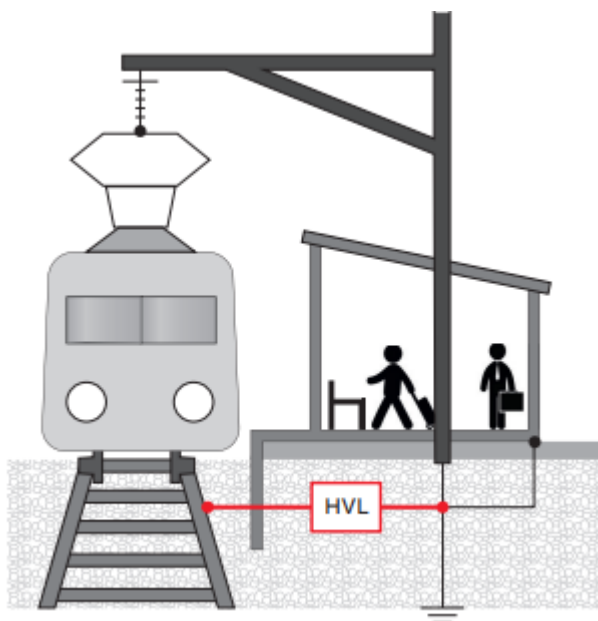
Kuva 6. Paluuvirtapiirin paluuvirtakiskokotelo (10, s. 7).

3.4 Jännitteenrajoitin

Tasavirtakäyttöisen kaluston ratajärjestelmät maadoitetaan hajavirtojen ehkäisemiseksi. Hajavirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee maaperässä tai paluuvirtapiiriin kuulumattomissa rakenteissa. Jännitteenrajoitin eli VLD (Voltage Limiting Device) on käytössä tämän kaltaisissa järjestelmissä suojaukseen. VLD-laite yhdistetään maadoitettujen järjestelmien johtimeksi, ja laite toimittaa vikatilassa ilmenevän jännitteen kiskopotentiaaliin. Sillä on korkea resistanssi, kun jännite on pienempi kuin laitteen määrätty arvo, ja laitteen läpi kulkeva johdin muuttuu johtavaksi, kun arvo ylitetään. (11, s. 2.)

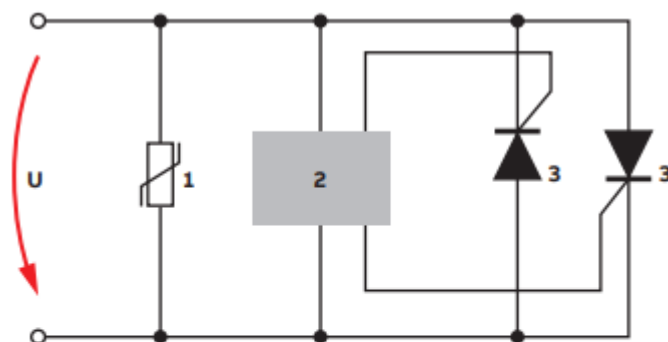
VLD-laitteita on kahta eri päätyyppiä: VLD-F ja VLD-O. Vian tapahtuessa VLD-F suoja kosketusjännitteitä vastaan muuttamalla johtavaksi, yhdistäen kosketuksesta johtavat osat paluuvirtapiiriin ja johtaen linjan katkaisijan laukaisemiseen.

VLD-O puolestaan suojaa normaalin käytön ja vikatoimien luomia jännitteitä vastaan. Näitä jännitteitä syntyy kiskon potentiaalieroista ja oikosulkujen yhteydessä. Laite toimii tasapainopotentiaalisena liittimenä kuvan 7 mukaan rajoittaakseen mahdollisia kosketusjännitteitä ja on normaalisti yhdistettynä paluuvirtapiiriin ja rakenteellisen maan välissä. (11, s. 2; 12, s. 109.)



Kuva 7. Pysäkin ja HVL:n yhdistäminen rakenteisiin (11, s. 2).

Projektissa käytettävät VLD-laitteet toimivat tasa- ja vaihtojännitteiden kanssa. Toimittaja on nimennyt VLD-laitteen HVL:ksi (Hybrid Voltage Limiter) (kuva 8) tämän takia.



Equivalent circuit of voltage limiting device

Type HVL 120-0.3

1 MO surge arrester

2 Trigger electronics

3 Thyristor

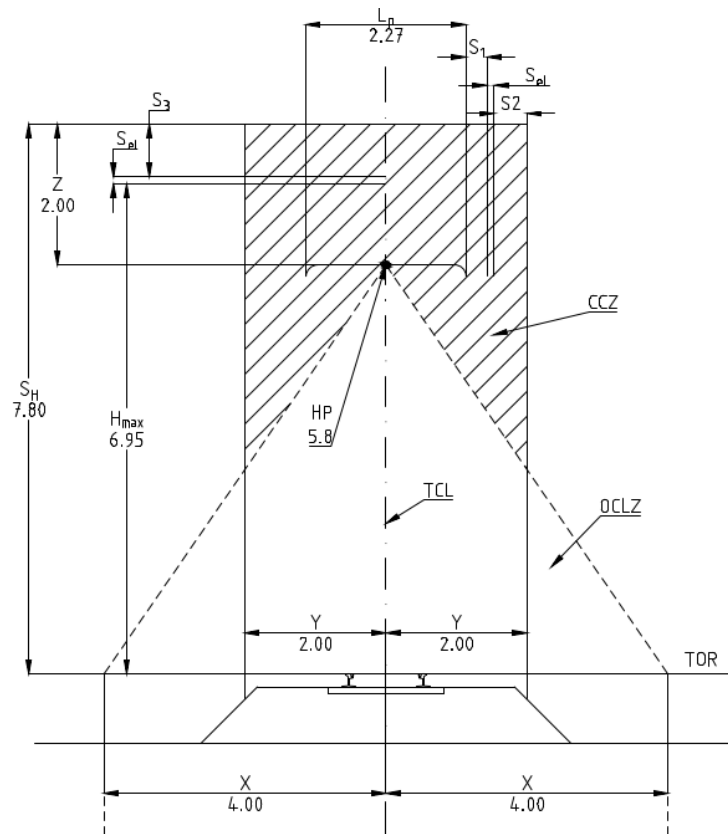
Kuva 8. HVL:n rakenne (11, s. 1).

HVL koostuu samansuuntaisista metallioksidisista ylijännitesuojista ilman kipinäväliä ja kahdesta vastakkaissuuntaisesta tyristorista. Metallioksidinen ylijännitesuoja rajaa salaman iskun sekä järjestelmän toiminnan aiheuttamia transientteja ylijännitteitä. (11, s. 1.)

3.5 Kaapelireitit

Syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmässä on sen toiminnan takia myös paljon kaapelointia. Näitä varten on suunniteltava sähkönsyöttöaseman, keskuksien, paluuvirtakiskokoteloitten ja sähkönsyöttöpylvään välille suojaputkitus. Suojaputkitus on ensimmäinen maahan toteutettavista sähköurakan vaiheista. Maanrakentaja voi toteuttaa suojaputkituksen ohjeiden kanssa. Sähkönsyöttöpylvään kaapelitikkaat tuovat ajojohtimen ja maadoituksen kaapelit ylös ajojohtinta varten.

VATU-alueen (kuva 9) sisällä olevat maadoitettavat rakenteet maadoitetaan paluuvirtakiskoon VLD:n kautta 1 x 95 mm²:n tai 2 x 50mm²:n kaapelin avulla (6). VATU-alueella sijaitsevien suojaputkien tulee olla tuplaeristettyjä. Tuplaeristys estää hajavirran päätyksen putken sisään tai ulos.



Kuva 9. Raitiotien VATU-alue (13).

Kuvan 9 lyhenteiden selitykset:

- TOR on kiskon yläpinta.
- HP on ajojohtimen korkein piste.
- OCLZ on ajojohtimen vaikutusalue.
- CCZ on virroittimen vaikutusalue.
- TCL on raitteen keskilinja.
- X on OCLZ:n horisontaalinen maksimi keskilinjasta.
- Y on virroittimen horisontaalinen maksimivaikutusalue keskilinjasta.
- Z on etäisyys välillä HP ja S_H .
- S_1 on virroittimen sivuttaiset heilahdukset.
- S_2 on sivuttainen turvaväli rikkoutuneelle virroittimelle.
- S_3 on pystysuuntainen turvaväli rikkoutuneelle virroittimelle.
- S_{el} on sähköinen eristysväli (EN 50119 mukaan).
- S_H on virroittimen vaikutusalueen ylin korkeus.

- L_p on virroittimen kokonaisleveys.
- H_{\max} on virroittimen ylin ulottuma.

4 Tuotanto

Helpon ja luotettavan rakentamisen perusta on oikein suunniteltu tuotantojärjestelmä. Tämä kuitenkin vaatii tuekseen ohjaustiedot, työstandardit, ennalta sovitut pelisäännöt, toimintatavat ja imuohjausjärjestelmän (14, s. 45). Nämä Lean-ajattelun tekijät muodostavat työnteosta prosessin, joka tavoittelee tuotantoa ilman viiveitä. Imuohjausjärjestelmä on tuotannon ohjauksen muoto, jossa tuotetta tehdään asiakkaan tai prosessivaiheen tilauksen mukaan. Rakentamisessa tätä sovelletaan olemalla tietoisia edeltävien työvaiheiden valmistumisesta ennen työn tekemistä. Työvaiheeseen valmistautuminen ja paikalle kulminen ovat turhaa työtä, ellei töiden edellytykset ole kunnossa.

Lean ei ole tila, johon pyritään. Se on jatkuva oppimisen ja kehittämisen prosessi. (14, s. 5.) KaPassa käytettävän Lean-ajattelun esimerkkinä rakentamisessa toimii tahtituotanto, joka on kuin teollisuuden liukuhihna, jossa rakentamisen vaiheet on jaettu eri osiin työvaiheittain. Tällä pyritään seuraavan työvaiheen aloittamiseen heti, kun edellinen työvaihe on valmis. Tämä toimii kuin Lean-toiminnassa, jossa ensimmäinen prosessi on alullaan, toinen välivaiheessa ja kolmas prosessi molempia edellä (14, s. 5).

4.1 Sähköurakan tarjousvaihe

Sähköurakan tarjousvaiheessa määritetään resurssit, riskit ja mahdollisuudet. Työmaaorganisaatiota mietitään työmaan tai tekniikkalajin mukaan. Suuremmat järjestelmät, kuten ajojohdinjärjestelmä, voivat vaatia omat resurssit suunnittelulle. Työlle resursoidaan työmaapäällikkö, työnjohto ja asentajat päämääräisesti, mutta lukuja voidaan muuttaa jälkikäteen hankkeen muutoksien yhteydessä tai resursseja tarvittaessa. Työmaan perustamiskustannuksiin määritetään ja mietitään työvaiheiden kesto ja materiaalit, joista lasketaan arvioidut metrihinnat tai järjestelmäkokonaisuudet. Myös yksittäisiin hankintoihin voidaan

keskittyä, jos niiden hinta on hyvä huomioida. Näitä ovat muun muassa isot keskkukset ja muuntajat. (8.)

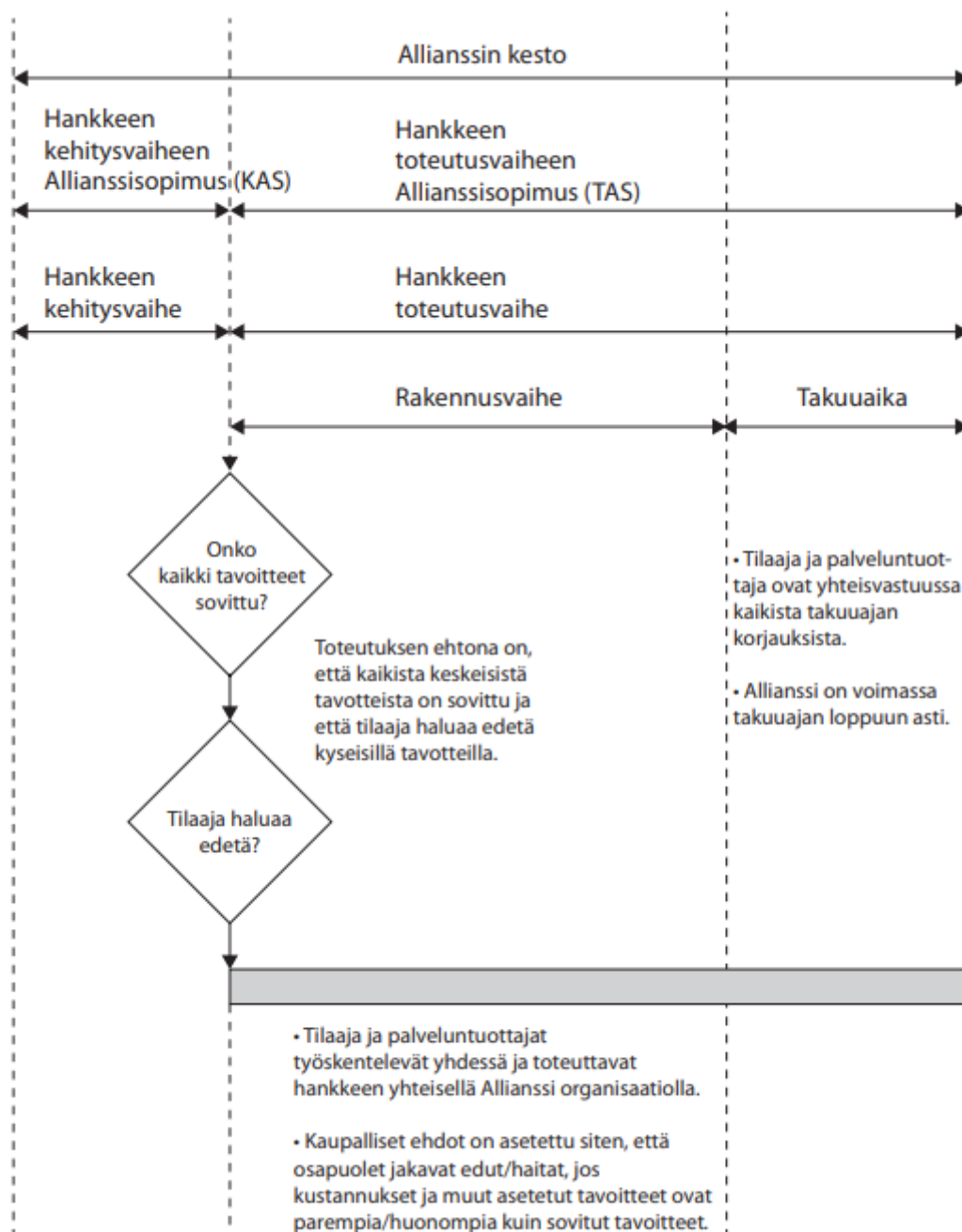
Projektin tarjousvaihetta ennen tilaaja aloittaa hankesuunnittelun, jossa suunnitellaan hankkeen rahoitus, rakentamisen luvat ja mahdolliset kaavamuutokset rakennettavaan alueeseen. Tilaaja lähettää osallistumispyynnön projektista, missä ilmoitetaan projektin urakkamuoto ja aikamäärät. Pyyntössä tilaaja voi rajata urakoitsijan referenssien, urakkamäärien ja työntekijöiden kokemuksen perusteella. (15.)

Urakoitsija lukee osallistumispyynnön ja täyttää tilaajan vaatimukset, kuten henkilöreferenssivaatimukset, hakemalla toiselta yritykseltä osaavan henkilön tehtävään, mikäli sitä ei urakoitsijalta löydy. Jos urakoitsija hakee muilta yrityksiltä osaamista, voidaan perustaa allianssi, joka jättää yhdessä tarjouksen tilaajalle. Tilaaja arvioi osallistumistarjoukset ja päättää, ketkä lähtevät kilpailutukseen mukaan käynnistäen tarjouspyyntökilpailun. (15.)

Tarjousvaiheessa tilaaja voi määrittää hankekohtaisia tavoitteita ja avaintulosalueita (ATA) määrittäviä pisteytyksiä, joiden mukaan määrittyvät allianssin tulospalkkiot. Näitä pisteitä voidaan määrätä esimerkiksi työturvallisuuden, toteutusvaiheen ideoiden ja innovaatioiden sekä yhteistyökyvykkyyden mukaan. Eri avaintulosalueille määritetään painoarvo prosenteissa ja mittarit, jotka määräävät pisteiden ansaitsemiseen vaativia toimia. Avaintulosalueita voi määrittää myös myöhemmin tilaajan hyväksyttäväksi. (8; 15.)

Kun tilaaja pyytää tarjousta, voi hän vaatia esimerkiksi projektisuunnitelmaa, kustannusarvion kritiikkiä perusteluilla, kehitys- ja toteutusvaiheen aikataulusta tai hankesuunnitelman kehitysideoita. Urakoitsijan lähetettyä vaaditut kysymykset tilaaja arvioi vastaukset ja karsii kilpailijoita. Viimeisenä vaiheena on palkkiokritiikki, jolloin urakoitsija voi esittää oman katteensa projektiin. Tämän jälkeen tilaaja valitsee urakan voittajan. (15.)

Urakan voittamisen jälkeen alkaa KAS (kehitysvaihe) (kuva 10). Projektin voitettava ryhmittymä laatii tilaajan edustajien kanssa rakennussuunnitelman, kustannusarvion, prosessit ja TLY-tavoitteet (Turvallisuus, Laatu, Ympäristö).



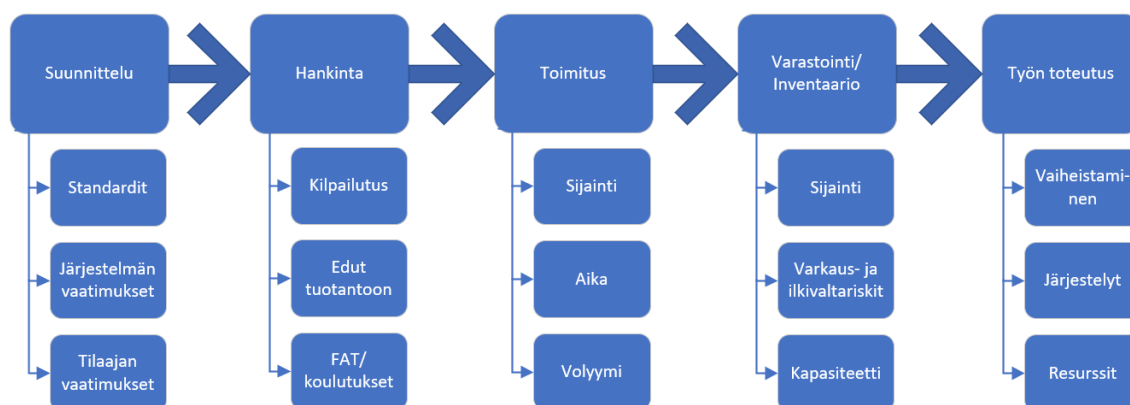
Kuva 10. Allianssin vaiheet yksinkertaistettuna (3, s. 58).

Mikäli molempien toimijoiden puolesta on tiedossa, mitä projekti maksaa ja rakennusluvut ovat kunnossa, tehdään toteutussuunnitelma. Jos urakoitsijan

ryhmittymä haluaa jatkaa hankkeessa eikä suunnitelmiin ole tullut isoja muutoksia, mitä tilaajan pitäisi hyväksyä, hanke suoritetaan. (15.)

4.2 Sähköurakan aloitus

Aloituksessa käydään läpi työsuunnittelu, ohjaaminen, suunnitelmien hyväksyminen ja työmaan perustaminen. Suunnittelun ohjeiden tarkentuessa resursointi ja järjestelmien yksityiskohtaiset hankinnat muuttuvat tarkemmiksi. Tässä vaiheessa urakoitsijan on suotavaa miettiä toimitusketjun hallintaa työvaihekohtaisesti (kuva 11) projektin toteuttamiseksi.



Kuva 11. Työvaiheen toteutuksen prosessi.

Urakan aloittamisessa on syytä ottaa huomioon työvaihekohtaisesti, mitä edellytyksiä työvaihe vaatii. Varastointimahdollisuudet ja toimitusajat ovat esimerkkejä haasteista, jotka voivat pysäyttää tuotannon.

4.2.1 Yleisaikataulu

Yleisaikataulu toimii projektin runkona ja kaikkien projektiin liittyvien aikataulujen ohjaajana. Sillä tuodaan esiin projektin yleiset vaiheet eikä syvenny niiden osa-alueisiin, kuten erilaiset vastuualueiden aikataulut tekevät. Yleisaikataulu on tärkeä aikataulu projektille, koska se määrittää karkeasti projektin aikavälit, kuten milloin se alkaa ja loppuu. Mikäli työt venyvät aikamäärään yli, ajasta

riippuvat kustannukset, kuten työmaajärjestelyt, väliaikaiset rakenteet, sähkö ja vesihuolto voivat nopeasti tuoda suuria kuluja ylimääräisien järjestelyjen mukana.

Aikataulu projektissa jaetaan lohkokohtaisesti ja toimiryhmäisesti. Tekniset järjestelmät toimivat lohkojen kanssa, kun yhteensovitetaan aikatauluja. Yhteensovittamisella saadaan suunniteltua eri tekijöiden ja vaiheiden työvuorot niin, että tuotanto voidaan aloittaa ajallaan ilman viivästyksiä.

4.2.2 Suunnittelu

Suunnittelun ja urakoitsijan matalan kynnyksen yhteinen työskentely on projektissa tärkeää. Allianssihankeessa yhteistyö korostuu yhteisen päämäärän takia. Suunnittelun tehtävänä on valita toteutusratkaisut ja määrittää suunniteltavien kokonaisuuksien vaatimukset standardien, kustannuksien, määrälaskennan ja hankelaajuuden perusteella. Selvitystyöllä saadaan selville toteutusvaihtoehdot, joista valitaan parhaiten soveltuva vaihtoehto toteutusratkaisuksi. Suunnittelu yhteensovittaa järjestelmien ja tekniikkalajien toteutusratkaisujen rajapinnat.

Hankkeen kehitysvaiheessa tehty kustannusarvio määrittää resurssit suunniteluun, mutta voi muuttua toteutuksen laajuusmuutoksen myötä (8). Tämä toteutuu esimerkiksi tahtiaikataulun tai 4D-aikataulun työstämisessä, missä luodaan visualisointi toteutuksesta. Tahtiaikataulu seuraa työn vaiheistamista perinteisestä 2D-näkökulmasta ylhäältä päin katsoen. 4D-aikataulussa luodaan työstä 4D-malli, mikä näyttää 3D-kuvan, joka muuttuu työvaiheittain mallin aikaa muutettaessa. Tilaaja on konsultoinnissa seuraamassa ja tarpeen mukaan antamassa mielipiteitä. (16.)

Urakoitsijalle suunnittelija toimii konsulttina järjestelmän detajiiikan sekä eheän toimimisen kannalta, ja urakoitsija toteuttaa järjestelmän käytännössä. Toteutuksen aikana voi ilmetä ongelmia järjestelmien välisissä rajapinnoissa, jolloin urakoitsija tiedustelee ja johtaa selvitystyötä suunnittelun kanssa vaihtoehtojen

kartoittamiseksi. Hankkeen kehitysvaiheessa valitaan käytettävät tiedonhallintajärjestelmät ja viestintäkanavat, kuten missä järjestelmässä hankkeen tiedostojen käsittely tehdään. Tässä vaiheessa on hyvä huomioida myös eri työvaiheiden ilmoittamisen tapa, mikäli tapahtuu muutoksia. Muuten suunnitelmat voivat päivittyä ilman, että urakoitsija on tietoinen asiasta. (8.)

Tuotannon toteutumiseksi urakoitsijan täytyy perehtyä suunnitelmiin. Mitä paremmin ennakoiva perehtyminen suunnitelmiin toteutetaan ennen käytännön toteuttamista, sitä paremmin voidaan ehkäistä monia tuotannollisia ongelmia. Esimerkiksi väärän kaapelityypin huomaaminen voi tuoda suunnitteluun muutoksia ennen tilausta. Mikäli ongelmaa ei huomata ajoissa, tilaus lähtee myöhässä ja näkyy tuotannossa. Suunnittelun mukaisen työn vaatimat välineet on myös tilattava ennen toteutusta, jos niitä ei löydy ennestään. (16.)

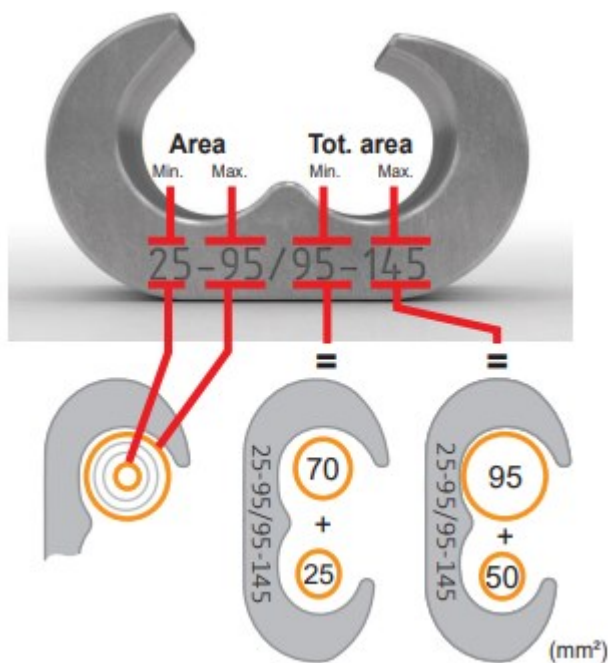
4.2.3 Hankinta

Kokonaiskustannuksista voi olla 50–80 prosenttia organisaation ulkopuolelta hankittuja resursseja (17, s. 14). Näitä ovat materiaalit, tavarat ja palvelut. Jos urakoitsijalla ei ole organisaatiossa tarvittavia resursseja, voi hän hankkia niitä ulkoisesti. Kumminkin oman organisaation laajentaminen ja kehittäminen on suotavampaa kuin jatkuva kehittävien koulutuksien ja kokemuksen tarjoaminen ulkoiselle tekijälle.

Hankinta vaikuttaa projektin moniin eri osa-alueisiin. Alueita on useita, mutta muun muassa tuotanto, turvallisuus ja kehittäminen ovat tekijöitä, mitkä muuttuvat paljon hankintojen mukaan. Hankinnoilla kontrolloidaan projektin aloitusta, tekemistä ja lopputoimia. Eteen voi tulla kysymyksiä, kuten ovatko nämä työkalut käytännöllisiä, jos niissä on lyhyet kahvat eikä paljon vipuvartta; näitä asennuksia on paljon, joten pitäisikö meidän hankkia sähköinen laite asennuksille; nämä osat maksavat enemmän kuin toiset, mutta kattavat suuremman alueen materiaaleista, joten logistisesti säästäisimme tilaa ja nopeuttaisimme tuotantoa.

Seuraavaksi esitellään muutamia esimerkkejä hankkeella käytettävistä hankintapäätöksistä, jotka kehittävät tuotantoa ja turvallisuutta:

C-liitin on tarpeellinen maadoitusyhdistykseen, joita käytetään esimerkiksi kisko- ja raideyhdistyksien asennustöissä. Meillä on kaksi vaihtoehtoa eri toimittajilta: ensimmäinen tarjoaa perinteistä liitintä, missä on useille eri kaapeleille eri c-liitin-ratkaisu. Toinen tarjoaa patentoitua liitintä, kuten kuvassa 12, jossa yksi liitinkappale kattaa monta perinteistä liitintä, mutta maksaa enemmän.



Kuva 12. C-liitin-ratkaisu C50–70 (18, s. 3).

Tässä tulee esiin hankinnan tärkeys tuotannon kannalta ja pitää miettiä, säästääkö uudella mallilla enemmän logistisista, asennuksellisista tai laadullisista syistä. Ratkaisusta päädyttiin jälkimmäiseen, joka tuottaa projektille nämä hyödyt ja esimerkiksi pienentää laskennan aiheuttamaa työtä antamalla monet koot yhdessä liitintä kuvan 13 mukaan, vähentäen varastoitavien

materiaalien määrää sekä minimoiden inhimillisen virheen väärien liittimien mukaan ottamisessa.

Uusi c-liitin	Korvaa vanhan c-liittimen	Mitat (mm)			Paino (kg)	Nimi Poikkipinta-ala mm ² Kokonaistäyttö mm ²	Työkalu				
		a	b	c			V611	V1300	V1300C2	V250	
							T2600	V1311-A	V1311C2-A		
						PVX611	PVX1300	PVX1300C2			
						V600					
						Puristuspakka					
C240-300	C21 C23-21 C23-18 C23-16	72	50	40,7	0,555	C240-300 150-300 450-540				2 puristusta B25C21	
C150-185	C16 C21-18* C16-13 C18 C18-16 C18-15 C18-13 C18-11 C18/23-8 C21-15 C21-16 C21-13 C21-11 C21-9 C21-8	62,5	40	34,5	0,329	C150-185 25-300 245-425				2 puristusta B25C18	
C95-120	C15 C15-13 C16-9 C18-9 C18-8	45	35	25,6	0,133	C95-120 25-185 175-240		3 puristusta 13BC15	3 puristusta 13CBC15	1 puristusta B25C15	
C70-95	C13** C13-13 C13-11 C15-11** C15-9 C15-8	39	30	22,1	0,093	C70-95 25-120 140-190		3 puristusta 13BC13	3 puristusta 13CBC13	1 puristusta BC13 Puristuspakkan päidin: V250L, V250B	
C50-70	C11 C11-9 C11-8 C13-9 C13-8	37	30	22	0,097	C50-70 25-95 95-145		3 puristusta 13BC13	3 puristusta 13CBC13	1 puristusta BC13 Puristuspakkan päidin: V250L, V250B	
C25-50	C89	30	18	16	0,040	C25-50 6-50 50-100	2 puristusta TBC89-B13	1 puristusta 13BC8-9 Puristuspakkan päidin: V130L, V131B	1 puristusta BC8-9 Puristuspakkan päidin: V130	1 puristusta BC8-9 Puristuspakkan päidin: V250L, V250B	
C16-25	C6 C6-3	22	16	12	0,018	C16-25 5-25 30-50	1 puristusta TBC5-C6	1 puristusta BC6 Puristuspakkan päidin: V130L, V131B	1 puristusta BC6 Puristuspakkan päidin: V130	1 puristusta BC6 Puristuspakkan päidin: V250L, V250B	
C6-10	C4 C5	17,6	14	10	0,011	C6-10 6-16 12-26	1 puristusta TBC5-C6	1 puristusta BC5 Puristuspakkan päidin: V130L, V131B	1 puristusta BC5 Puristuspakkan päidin: V130	1 puristusta BC5 Puristuspakkan päidin: V130	

Kuva 13. C-liitin-ratkaisut vanhoihin liitinmalleihin verrattuna (18, s. 3).

Kaapelinveto on olennainen osa sähköurakointia. Se tuo myös omanlaiset haasteet, kuten kaapelireittien kaivamisen kaapelinvetoa varten ja logistiikan sekä turvajärjestelyt työmaalla. Kaapelikelojen koot vaihtelevat, ja isompia ke- loja vaativiin työsuoritteisiin vaaditaan lisää suunnittelua työvaiheisiin suojaput- kien, perustuksien, kaapelin taivutussäteen ja vetovoiman keston. Näin syntyi myös uusi kysymys, minkälaisia kaapelinvetotarvikkeita on oltava? Kaapelinvetotarvikkeissa kiinnitettiin erityisesti huomiota laitteiden turvallisuusmekaniik- kaan, joka on tärkeää isojen kaapelikelojen käytössä. Kelan pyörimisen

pysäyttävä mekaniikka sekä laitteiden tasapainoinen rakenne olivat suurimpia tarpeita henkilöturvallisuuden kannalta.

Kaapelimerkintätapoja on erilaisia: sisätiloissa voidaan käyttää merkintäkynää väliaikaisena ratkaisuna, mutta ulkona useammin erilaisia kaapelimerkintöjä, kuten kutistesukkaa tai nippusideliitäntäistä kaapelimerkintää. Useimmin asentaja merkitsee tarratulostimella kaapelin merkinnän, joka laitetaan kaapelimerkisuojan sisään. Tässä on mietitty erilaista ratkaisua, jossa kaapelimerkintöjen tulostamisen pystyy tekemään automaattisesti koneelta. Kaapelimerkintöjen tulostaminen on näin automaattisista, eikä sovellukseen liitettävien alkutietojen jälkeen vaadi muuta kirjoittamista. Ohjelman suunnittelussa on mietitty erilaisia massatuotannon haasteita, ja merkintöjä tehdessä voi määrittellä kirjain- ja numeroyhdistelmän sekä kappalemäärän. Näin kaapelimerkintöjä voi tulostaa esimerkiksi 1000 kappaletta ilman että jokaista merkintää kirjaa erikseen. Kaapelimerkinnät ovat myös kustannuksellisesti halvempia käyttää (liite 1).

4.2.4 Ohjekortit

Työntekijälle voi tulla kysyttävää työn suorittamisesta. Tämä voi tapahtua useammin kokemattomille työntekijöille, mutta myös kokeneille tekijöille. Ohjekorteilla vältetään epäselvyyksiä esittämällä työvaiheen runko ja työstö vaiheittain. Ohjekorttien tekemiseen menee tietty määrä aikaa työn vaativuuden mukaan, mutta ohjekortit tuovat kuluneeseen aikaan verrattuna moninkertaisen edun. Tämä etu tulee ajasta, jolloin työntekijä ottaa yhteyttä esihenkilöönsä kysyäkseen ohjeistusta tai selvittää ongelmaa yksin. Näitä ohjeita voi käyttää myös tulevissa urakoissa. Vaikka ohjekortit ovat yksinkertaisia selitteitä työn suorittamisesta, ne eivät korvaa työnjohdon vastuuta auttaa, perehdyttää, ohjeistaa ja valvoa työn suorittamista.

Ohjekortit tuovat tuotannollisen lisän mukana myös turvallisuuden hyödyn. Koska ohjekortit selittävät työvaiheen rungon, sisältävät ne yleisimmät työstä aiheutuvat vaaratekijät, jotka voivat unohtua TTL:n (Työvaihekohtainen Työ- ja

Laatusuunnitelma) läpikäynnin jälkeen. Näiden lisäksi ohjeiden seuraaminen tekee työnteosta selkeämpää ja vähentää laatu- ja turvallisuuspoikkeamia.

4.3 Sähköurakan toteutus

Sähköurakan toteutusvaihe eli TAS alkaa yleisaikataulun määrittämän ajan mukaan. Tässä vaiheessa suunnitelmat ovat valmiita tai niihin toteutetaan viimeisiä muutoksia. Toteutusvaiheen suunnittelussa urakoitsijan on huomioitava, että työmaalle on resursoitu tarpeelliset asiat.

Työvaiheet on suunniteltu vaiheittain ottaen huomioon materiaalien toimitus. Työntekijät ja työvälineet ovat valmiina sekä järjestelmien materiaalit on kilpailutettu ja hankittu rakentamista varten. Rakentamisen toteuttamista seurataan dokumentoimalla tehdyt vaiheet ja mittaamalla tarvittavat työtehtävät.

4.3.1 Rakentaminen

Sähkötöitä tehdäkseen yritys tarvitsee sähkötöiden johtajan, jolla on pätevyystodistus ja joka toimii yrityksessä palkkasuhteessa. Ennen sähkötöiden aloittamista projektille on nimettävä sähkötöiden johtaja. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston eli Tukesiin on tehtävä ilmoitus sähkötöiden johtajan nimeämisestä. Lisäksi pitää tehdä ilmoitus toiminnan muutoksista, esimerkiksi yritysmuodon tai sähkötöiden johtajan muuttumisesta. (19.)

Sähkötöiden johtajan tulee nimetä jokaiseen työkohteeseen työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja, joka voi tehdä työn itse tai osallistua työhön (19). Työturvallisuuslaki 738/2002 (20) sisältää yleiset työturvallisuuteen liittyvät vaatimukset.

4.3.2 Aikataulutus

Kun toteutus edistyy ja käytännön tuotanto lähtee käyntiin, aikataulutus muuttuu tarkemmaksi ja työvaihekohtaisemmaksi. Yleisaikataulusta siirrytään kvartaali-,

kolmiviikoittais- ja viikkoaikatauluihin. Tarkimmat päivittäiset asiat käydään päivittäisissä palavereissa ennen töiden aloittamista, mikäli työtoimet tarvitsevat päivittäistä johtamista.

Koska rakentamisvaiheen aikataulut on tarkempi kuin kehittämisvaiheessa tehty aikataulu, on siinä otettava huomioon esimerkiksi toimitukset, edellyttävät ja jälkeiset työvaiheet, limittäisyys ja yhteensovitus sekä vaarallisen työn suunnittelu. Aikataulu voi silti muuttua viikko- ja päiväkohtaisten tekijöiden, kuten työmaan sähköjen huoltotyön, mukaan.

4.3.3 Logistiikka

Rakentamisessa logistiikka useammin kuvastaa materiaalien kuljetusta ja varastointia. Logistiikka rakentamisessa mahdollistaa projektin päämäärän käytännöllisen toteuttamisen. Logistiikkaa suunnitellessa käydään läpi työmaalle tarpeelliset materiaalit työvaiheen toteutukseen, toimitusten ja työvaiheiden yhteensovitettu aikataulut ja toimiva varastointi. Toimiva logistiikka on myös suuri osa Lean-ajattelumallia, koska se mahdollistaa oikeaoppisella toteuttamisella työvaiheiden saumattoman vaiheistamisen ilman katkoksia.

Suurimpia logistisia haasteita sähköurakoinnissa tuovat henkilöstön majoitus, parkkipaikat, materiaalien sijoitus ja niiden liikuttaminen sekä toimitusaikataulu. Materiaaleihin mahdollisesti kohdistuva ilkeä ja rikollisuus ovat myös tärkeitä kokonaisuuksia, mitä suunnitella. Tulevia töitä edeltävät työvaiheet, kuten suojaputkitus, kaapelinveto sekä raiteiden kiskokotelointi, ovat tärkeitä kohteita tilauksien toimituksen kannalta. Esimerkiksi jos kiskokotelot myöhästyvät, raiteiden päällystäminen myöhästyy ja tuotanto pysähtyy odottamaan kiskokoteloitten toimittamista.

Koska varastointi on syytä olla järjestettynä jo ennen rakentamista, on sitä hyvä suunnitella ja toteuttaa jo hankintavaiheessa. Kumminkin suurimmat logistiset haasteet usein ilmenevät vasta rakentamisen aikana. Varastoinnin suunnittelu on hyvä aloittaa etsimällä mahdolliset alueet, joita voidaan käyttää

varastoinnille, ja valita lähin paikka työn suorittamispisteestä. Jos alueet ovat pieniä tai eivät anna mahdollisuutta sijoittaa kaikkea lähelle, on syytä selvittää varastoinnin vaihtoehtoisia ratkaisuja. Tärkeimmille varastoitaville työkaluille sekä materiaaleille, kuten kaapeleille ja suojaputkille sekä työvaihekohtaisille materiaaleille, on syytä olla oma työmaakontti lähellä työvaihetta, mikäli mahdollista. Työvaihekohtaisten materiaalien varastointi menee toimitusajan mukaan, mutta jos materiaali löytyy ja työvaiheen pystyy toteuttamaan, nämä materiaalit voidaan siirtää työmaan läheiseen varastointiin ennakoivasti.

Varastoinnissa tulee esille ilkivalta- ja varkaussuojaukset sekä sääolosuhteet. Näitä tekijöitä ei saa sivuuttaa. Mikäli tuotantoon käytettävät materiaalit tai työvälineet haurastuvat tai joutuvat ilkivallan kohteeksi, projektille kohdistuva vahinko voi olla kalliimpi kuin materiaalien hinta. Varastointipisteillä, kuten työmaakonteilla, aidatuilla alueilla tai varastohalleilla on oltava säänkestävä lukitus sekä kameravalvonta. Lukitukseen on oltava kaikilla materiaalin käyttäjillä pääsy tuotannon viivästymisen välttämiseksi. Kameravalvonta auttaa materiaali-varkauden selvittämisessä ja ennaltaehkäisee varkauksia, ilkivaltaa sekä tuotannon heikkenemistä materiaalin uuden tilausajan tai materiaalihukan mukana.

4.3.4 Laadunvalvonta

Työnaikainen laadunvalvonta on tärkeää laadullisen poikkeavuuden sekä järjestelmien toimivuuden varmistamiseksi. Raitiotien teknisissä järjestelmissä on monta erilaista riskin aiheuttajaa, jos ei työtä suoriteta tarkasti. Ajojohdin, korkeajännitteinen tasavirta, liikennevalot, valaistus ja raitiotien turvallisena pitävät maadoitukset sekä ylijännitesuojat ovat vain osa teknisistä järjestelmistä, joiden toiminta ylläpitää järjestelmää tai parantaa valmistuneen raitiotien turvallisuutta, mutta työn laadun pettäessä tuo suuren riskin järjestelmälle.

Laadunvalvonnalla korjataan ja opitaan myös tuotannollisesti. Mikäli asennuksessa tapahtuu virhe, tämä tieto kirjataan TLY-havainnoksi. Havainnossa käydään läpi, onko havainto turvallisuuden, laadun vai ympäristön vaarantava vai kehittävä tekijä. Mikäli havainto on laadullinen haitta, joka koskee järjestelmän

toteuttamista, siitä tehdään myös laatupoikkeama. Tämän raportointi- ja korjaustyylin avulla vältetään tulevat ongelmat tuotannossa. Jos laadunvalvontaa ei tehdä, voi yhden asennuksen mukaisesti tehty virheellinen tuotos ja jälkikäteen tehtävä korjaustoimi vaikeuttaa tuotantoa. Laatupoikkeamaraportti tehdään, mikäli työnteossa on tapahtunut alkuperäisistä suunnitelmista poikkeava virhe.

4.4 Sähköurakan luovutus

Raitiotien sähköurakan luovutuksessa tarkastetaan järjestelmän toteutus ja sen toiminta standardien SFS-EN 50122-1 (12) ja SFS-EN 50122-2 (21) sekä tilaajan antamien vaatimusten mukaan. Luovutuksen yhteydessä tehdään järjestelmien varmennustarkastukset, käyttöönotto ja radan koeajo.

Käyttöönoton suunnittelu aloitetaan kehitysvaiheessa. Käyttöönottoon vaadittavia mittauksia ja pöytäkirjoja on hyvä alkaa täyttämään jo toteutusvaiheessa.

4.4.1 Käyttöönotto ja mittaukset

Käyttöönotossa varmistetaan järjestelmien sähköturvallisuus ja vaatimuksenmukaisuus. Tarkastuksen tekee sähköalan ammattihenkilö ja tarkastus sisältää silmä määräisen tarkastuksen sekä erilaisia mittauksia ja testauksia. Käyttöönotto-tarkastuksen tekijän on oltava sähköalan ammattihenkilö. (22.) Käyttöönotto-suunnitelma pitää suunnitella ennen käyttöönoton toteuttamista. Tietyille sähkö-laitteistoille pitää suorittaa varmennustarkastus kolmannen osapuolen toimesta.

Sähkötöiden tekemiseen vaaditaan tarpeelliset työvälineet ja mittalaitteet. Sähköasennuksissa mittauksilla osoitetaan sähköasennuksen toiminnallinen ja standardinmukainen varmuus. Käyttöönotto tarkastuspöytäkirjoja tilaajalle pitää toimittaa keskuksista ja koteloista, asennuksista sekä teknisten järjestelmien valvomon päivityksestä. (23; 23, liite 3.)

Tilaajalle toimitettavassa mittauspöytäkirjaluovutuksessa on:

- maadoitusjatkuvuusmittaus

- varmennustarkastus
- lämmityselementit (silmukkavastus)
- eristysvastusmittaukset
 - ajojohdin
 - vaihdelämmitys
 - vaihdeohjaus.

Tilaaajalle toimitettavassa käyttöönottotarkastuspöytäkirjaluovutuksessa on:

- valvomo (päivitys, tekniset järjestelmät)
- keskuskeskukset
 - vaihdelämmitys
 - vaihdeohjaus
 - syöttöpiste
 - paluuvirta
- kotelot
 - vaihdelämmitys
 - vaihdeohjaus
 - syöttöpiste
 - paluuvirta
- asennukset
 - ajolanka
 - paluuvirtakaapelointi
 - kiskoyhdistys
 - ratamaadoitus
 - vaihdeohjaus
 - vaihdelämmitys. (23, liite 3.)

Jotta käyttöönottotarkastuksen mittaukset saa tehdä lain mukaan, pitää suorittavan henkilön täyttää sähköturvallisuuslain 1135/2016 (24) vaatimukset. Radan käyttöönottoon ei vaadita viranomaismenettelyitä nykyisen lainsäädännön mukaan.

4.4.2 Tilajalle luovutettava dokumentaatio

Raitiotien luovutuksessa tilajalle annetaan luovutusdokumentin mukaiset aiheet. Tähän dokumenttiin kirjataan myös mahdolliset luovutuksen aikana havaitut poikkeamat. Radan sähköistysuunnitelmaan kuuluvat tilajalle luovutettavat sähköiset tiedostot:

- syöttöpiste
 - kotelointi
 - kaapelointi
 - ylijännitesuojat
- vaihteenlämmitys
 - kotelointi
 - kaapelointi
- vaihteenohjaus
 - kotelointi
 - kaapelointi
- kiskoyhdistykset
- kiskokotelot
- jaksonerotitimet
- pylvässijoitus
- ajojohtosuunnitelma
- ajojohtokaavio
- paluuvirtakeskukset
- sähköliittymätilaukset. (23, liite 3.)

Raitiotien takuu-aika alkaa radan osavastaanotosta ja kestää sopimuksessa sovitun ajan verran. Takuu-aika merkitään vastaanottodokumenttien merkittävään kohtaan. Rakenteille tehdään takuutarkistus takuuajan päättyessä.

5 Turvallisuus

Turvallisuuden käsitettä pidetään usein itsestäänselvytenä. Sitä määritellään useimmiten riskin vastakohtaksi tai vaaran puuttumiseksi. (25, s. 19.)

Turvallisuuden ja työn tekemiseen liittyvissä riskeissä tulee noudattaa lainsäädäntöä ja tilaajan ohjeita. Riskit ovat jo tiedossa olevia vaaratilanteita, mutta niitä kertyy ja poistuu aina uusien järjestelmien ja menettelyjen mukaan.

Sähköistettyjen laitteiden ja laitteistojen lähellä työskentelyssä pitää noudattaa sähköturvallisuuslain 1135/2016 (24) pätevyysvaatimuksia. Sähkölaitteiston tai sen läheisyydessä olevaan työhön osallistuvien henkilöiden on oltava opastettuja tehtävään ja sen sähköturvallisuutta koskeviin säädöksiin, vaatimuksiin sekä ohjeisiin. Suunnittelussa tulee toimia sähköturvallisuuslain lisäksi asetusten 1434/2016 (26) valtioneuvoston asetus sähkölaitteistosta, 1436/2016 (27) valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensovituksesta ja 1437/2016 (28) valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta mukaisesti. (6.)

Raitiotietyömaalla noudatetaan tilaajan, lainsäädännön ja paikallisten viranomaisten ohjeita. Turvallisuuden suunnittelussa kartoitetaan töiden tuottamia riskejä. Sähkötöissä riskiä pidetään yhdistelmänä vahingon todennäköisyydestä ja mahdollisista henkilöön kohdistuvien vammojen vakavuudesta.

Sähkörakentamista ohjaavat Suomen Standardisoimisliiton asettamat standardit. Sähkötöiden kulmakiven SFS 6002:n (29) lisäksi ovat SFS 6000 (30) ja SFS 6001 (31) yleisiä. Raitiotien puolella on käytössä raitiotien sähköturvallisuutta, maadoitusta ja paluuvirtapiiriä käsittelevät standardit SFS-EN 50122-1 (12), SFS-EN 50122-2 (21), SFS-EN 50122-3 (32) sekä ajojohdinjärjestelmää ja havirtasuojauksia käsittelevät standardit SFS-EN 50119 (33) ja EN 50162 (34). (6.)

Työtapaturmien ehkäisimeksi on vaaralliset tekijät tunnistettava ja poistettava tai vaaraa vähennettävä. Vaarallisia tekijöitä voi tunnistaa työvaihekohtaisilla suunnitelmilla, työmaan turvallisuuskierröksillä ja -havainnoilla. Myös työn tekemiseen liittyvät erityistilanteet, kuten poikkeusolosuhteiden tai tuotantoprosessin häiriöt, ovat tärkeitä tekijöitä tapaturmavaaroja tunnistettaessa. Jotta töissä ei tapahtuisi TLY-vahinkoja, on työntekijöiden oltava perehtyneitä oman työkuvan,

organisaation sekä projektin toimintatapoihin. Jokainen osa-alue sisältää oman perehtymisensä roolien vaativien vaiheiden mukaan.

Ensisijainen vastuu tapaturmien ehkäisemisestä on työnantajalla. Tämän takia työnantajan intressinä on varmistaa ja kehittää turvallisuutta työntekijöiden työnteossa ja työvälineiden käytössä. (35.)

Työmaan turvallisuutta ylläpidetään ja kehitetään esimerkiksi MVR-kierroksilla eli maa- ja vesirakennustyömaiden turvallisuusmittauskierroksilla. MVR-mittari on arviointimenetelmä, jolla voidaan toimittaa lainsäädännön edellyttämät rakennustyömaan kunnossapitotarkastukset. Tarkastuksien aikana tarkastetaan ja mitataan työmaan kalusto, työskentely ja koneenkäyttö, suojaukset ja varo-alueet, ajo- ja kulkuväylät sekä järjestys ja varastointi. (36.)

TTL eli työvaihekohtainen työ- ja laatusuunnitelma käsittelee työvaiheen prosessiin vaadittavat edellytykset, kuten vaarallisen työn suunnitelman ja mittausasiakirjat. TTL luo tekijälleen oikeudellisen turvan tekemisestä sekä auttaa työvaiheen perehdyttämisessä tuomalla työtehtävän riskit esille.

5.1 Koulutus

Sähkötoita tekevällä asentajalla täytyy olla riittävät pätevydet töiden tekoon. Infratyömaalla edellytettyjen työturvallisuuskortin ja tieturva 1- tai 2-koulutuksen lisäksi asentaja tarvitsee raitiotöissä myös sähkötyöturvallisuuskorttia, tulityöturvakorttia, ensiapukoulutusta sekä ratatyöturvallisuuskoulutusta. Työntekijöiden ja aliurakoitsijoiden perehdyttämisen yhteydessä tarkistetaan turvallisuuspätevydet ja pätevydet dokumentoidaan. Dokumentointi tehdään työmaaperehdyttäjän toimesta.

Kaapelivedoissa käytetään painavia kaapelikeloja, koska vedettävät kaapelit vaativat pituudelta tai paksuudeltaan isoa kela. Nämä isot kelat tuovat vaaratekijöitä kaapelikelan kanssa toimivalle työntekijälle. Tukematon kaapelipukki tai huonosti asetettu kela voivat tuottaa ongelmia niin tuotannon kuin turvallisuuden

kannalta. Projektissa hankitut kelapukit ovat tuettuja tukevilla jaloilla, ja kelan pyörittämiseen on käytössä vinssi. Perinteisen kelapukin sijaan putki, joka mahdollistaa kelan pyörimisen on tuettu kiinni kelapukin jalkoihin putkessa olevilla hahloilla. Kelan sijoitus tehdään tasaiselle alustalle ja se asetetaan tarvittavan matkan päähän reunoista sekä työmaalla olevista vaaratekijöistä, kuten ajoneuvoista.

Painavampia kaapelikeloja nostetaan kelannostohaarukalla. Kelannostohaarukassa on pantajarru, joka pysäyttää kelan, jos kaapeli lähtee juoksemaan kelaan. Tämä estää kaapelin juoksemisen aiheuttamat riskit, kuten kaapelin tai henkilön vahingoittumisen.

Työalue pitää olla määritelty ja merkitty selkeästi. Tämän lisäksi on oltava riittävä valaistus, kulkureitit ja työtila, kun sähkölaitteiston läheisyydessä tehdään töitä. (29, s. 18.) Kaivo- ja keskustyöskentelyyn on hankittu työalueen rajaamiseen taitettavat aidat, joita on helppo käsitellä, kuten kuvassa 14 on esitetty.



Kuva 14. Taitettava aita kaivotyöskentelyyn.

5.2 Työn vaiheistaminen ja resursointi

Työmaalla töiden yhteensovittaminen ja vaiheistaminen tuo niin tuotannon kuin turvallisuuden etuja. Tämän kanssa kulkee myös työn resursointi. Työn resursointi on tuotannollisesti ja turvallisuuden kannalta merkittävä tekijä.

Työn vaiheistamisessa töiden optimaalinen työntekijämäärä valikoidaan yleensä kokemuksen perusteella (25, s. 84). Vaiheistamiseen pitää ottaa mukaan myös eri tekijöitä, kuten olosuhteet tai alustavat työt. Liika työmäärä johtaa riskeihin, kuten työterveyshaittoihin tai työtapaturmiin.

Raitiotien sähköurakoinnissa tehdään tarpeen mukaan vuorotyötä. Esimerkiksi ajojohtimen asennustöissä joudutaan tekemään erikoisjärjestelyjä liikenteenohjauksen ja työn eristämisen vuoksi. Koska ajojohdintyöt ovat pitkiä ja yleensä raitiotien läpi kulkee muita liikenteen ja kevyen liikenteen väyliä, liikennereitit joudutaan suunnittelemaan uudelleen työn ajaksi. Tämän takia ajojohdintyöt on parempi tehdä yöllä tai eri vuoroissa, että liikenne on seisautettuna mahdollisimman lyhyen ajan kerrallaan.

5.3 Havainnointi työmaalla

Työmaalla on erilaisia riskejä, joista moni potentiaalisesti hengenvaarallisia, mikäli niitä ei huomioida. Työvaiheen aikaiset riskit voidaan jakaa kolmenlaisiin riskeihin. Turvallisuus, laatu ja ympäristö käsittävät eri tyyppin riskit, joiden avulla riskit voidaan jaotella yleisiin turvallisuuteen ja laatuun koskeviin riskeihin, kuten rakenteen virheelliseen mitoitukseen tai ympäristöllisiin riskeihin, kuten maahan kohdistuvaan öljyvuotoon. Kun työmaalla tapahtuu turvallisuuteen, laatuun tai ympäristöön liittyvä riski tai positiivinen havainto, tehdään siitä TLY-havainto. TLY-havaintoon kirjataan havainnon syy, kuva tapahtumapaikasta ja selitys. Havaintoon lisätään, kuka on vastuussa työstä ja hoitaa korjaustyön, mikäli tapaus on korjaamatta tai on positiivinen havainto. Näillä havainnoilla saadaan työmaalle järjestelmä, johon jokainen voi vaikuttaa ja ylläpitää sekä kehittää työmaan turvallisuutta.

Työmaalla työntekijä altistuu päivittäin pölylle, melulle ja kemikaaleille, vaikka ei itse tekisi toimenpidettä, josta näitä seuraisi. Lisäksi ulkoisina riskeinä on työmaalla tapahtuva työmaaliikenne, nostettavat materiaalit, maaperän rakenne ja sen merkintä sekä sääolosuhteet. (37.) Vaikka uusia riskejä kirjataan, arvioidaan ja ehkäistään, ei niitä koskaan saa täydellisesti pois työmaan arjesta. Sattunnaisten tekijöiden, kuten työntekijän kokeneen tapahtuman luoma stressitila tai persoonan mukana tuleva välinpitämättömyys.

Jotta riskejä voidaan vähentää, on työntekoa edeltävä ennakointi, riskienhallinta ja työturvallisuuden suunnittelu välttämätöntä. KaPassa on käytössä töitä ja

niiden tekoa edeltävä ennakoivan ajattelun malli, missä ennen työn toteuttamista käytetään 10 sekuntia aikaa työn tekemisen miettimiseen.

6 Yhteenveto

Tässä työssä selvitettiin raitiotien sähköurakoinnin toteuttamista työmaan kehitysvaiheessa sekä toteutusvaiheessa. Insinööriyön tavoitteena oli laatia sähkö- ja teknisten järjestelmien syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmän, tuotannon ja turvallisuuden asioiden läpikäyvä ohje sekä kehittää tuotannaikaista toteutusta. Tavoitetta lähestyttiin tunnistamalla sähköurakan suunnitteluvaiheessa ja rakennusvaiheessa ilmeneviä tuotannon ja turvallisuuden haasteita sekä kehittämällä niille ratkaisuja.

Raitiotien sähkö- ja tekniset järjestelmät ovat erikoisosaamista vaativa ala, minkä takia asiatekstiä ei aiheesta löydy paljon. Raitiotien järjestelmät myös kehittyvät nopeasti uusien parempien vaihtoehtojen mukana, ja siksi kehityksessä on tärkeää pysyä mukana. Tämän takia urakoitsijan on syytä jakaa järjestelmät omiin alueisiin, mikä helpottaa toimituksien, toteutuksen ja tulevan kehitystyön seuraamista sekä muutoksien laatimista. Raitiotien sähköurakoinnin kuin myös muun urakoinnin, tuotannon ja turvallisuuden vaatimukset päivittyvät uusien standardien ja lainsäädännön mukaan. Nämä tuovat uusia haasteita, mutta ovat aiheita, joita pitää jatkuvasti ylläpitää ja kehittää, vaikka muutoksia ei niihin ulkoisilta tahoilta tulisi. Urakoitsijan toteutuksen kustannukset laskevat tuotannon ja turvallisuuden riskien vähentyessä, mikä edistää rakentamisen toteutusta.

Tämä insinööriyö opetti tuottamisen aikana allianssihankeeseen kokonaisuudesta, sen tavoitteista sekä KaPan yhteisistä tavoitteista. KaPan kokonaisuuden ymmärtäminen helpottaa hankkeessa työskentelyä luoden pohjan työntekoon ja sen toteutukseen hankkeen kannalta. Sähkö- ja teknisiin järjestelmiin ja erityisesti syöttöpiste- ja paluuvirtajärjestelmään perehtyminen loi pohjan työvaiheen suunnittelulle ja sen toteutukselle.

Insinööriyön tekemisessä olisi ollut mahdollisuutena keskittyä enemmän yksittäiseen kokonaisuuteen, mutta työn eri osa-alueet luovat hyvän perehdytyksen toteutukseen ja antavat kokonaiskuvan urakoinnin eri haasteista sekä mahdollisuuksista kehittää osa-alueita soveltuvasti. Työtä voi laajentaa tuotannon ja turvallisuuden näkökulmasta sähköurakoinnin rakennusvaiheen toteutuessa ja tulevien haasteiden tai kehityskohteiden ratkaisemisen yhteydessä.

Lähteet

- 1 Kalasatamasta Pasilaan vartissa! Verkkoaineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke. <<https://www.kalasatamastapasilaan.fi/hanketietoa/>>. Luettu 25.1.2023.
- 2 Nieminen, Ville; Tynismaa, Merja & Merikallio, Lauri. 2021. Kalasatamasta Pasilaan -hanke toteutussuunnitelma. Verkkoaineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke <https://www.kalasatamastapasilaan.fi/wp-content/uploads/2021/11/KAPA_Toteutussuunnitelma_FINAL.pdf>. 2021. Luettu 19.1.2023.
- 3 Yli-Villamo, Harri & Petäjaniemi, Pekka. Allianssimalli. Verkkoaineisto. Teknologiateollisuus. <<https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/Allianssimalli.pdf>>. Luettu 28.3.2023.
- 4 Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen esittely. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 5 Mäkelä, Mikko. 2023. Toimitusjohtaja, Destia Rail Oy, Helsinki. Keskustelu 30.3.2023.
- 6 Kalasatamasta Pasilaan - Raitiotien tekniset järjestelmät. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 7 Ylijännitesuoja. 2016. Verkkoaineisto. Siemens AG. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/445/109748445/att_923257/v1/92800180176b_manual_3EB4_en.pdf>. 05/2016. Luettu 6.2.2023.
- 8 Loppi, Lauri. 2023. Työmaapäällikkö, Destia Rail Oy, Helsinki. Keskustelu 31.3.2023.
- 9 Syöttöerotin. 2018. Verkkoaineisto. Siemens Mobility GmbH. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:38087e01-2b47-4c88-966d-4576c80cad3e/siemens-sicat-8w/6134-pi-en.pdf>>. 2018. Luettu 1.2.2023.

- 10 Paluuvirtakiskokotelo. Verkkoaineisto. Langmatz.
<<https://docplayer.org/111230185-Antenneschacht-ek-528-aus-ecopolytec.html>>. Luettu 20.2.2023.
- 11 HVL. 2018. Verkkoaineisto. ABB Switzerland Ltd.
<<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HC0075863&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. 2018. Luettu 7.2.2023.
- 12 SFS-EN 50122-1. Railway applications. Fixed Installations. Electrical safety, earthing and the return circuit. Part 1: Protective provisions against electric shock. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 Kalasatamasta Pasilaan. 2022. VATU-alue. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 14 Tuominen, Kari. 2010. Lean käytännössä - Yritysesimerkkejä tehokkaista lean-periaatteista ja -käytännöistä. Helsinki: Readme.fi.
- 15 Rajala, Sanna. Työpäällikkö, Destia Rail Oy, Helsinki. Keskustelu 12.4.2023.
- 16 Kari, Sami. Tuotantopäällikkö, Destia Oy, Helsinki. Keskustelu 5.4.2023.
- 17 Iloranta, Kari & Pajunen-Muhonen, Hanna. 2018. Hankintojen johtaminen. Helsinki: Tietosanoma.
- 18 C-liittimien seuraava sukupolvi. Verkkoaineisto. Elpress AB.
<<https://www.elpress.net/globalassets/pulseassets/c-liittimien-taitetut-fi.pdf>>. Luettu 12.2.2023.
- 19 Sähkötyöt ja -urakointi. Verkkoaineisto. Tukes.
<<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/>>. Luettu 25.1.2023.
- 20 Työturvallisuuslaki. 2002. 738/2002.
- 21 SFS-EN 50122-2. Railway applications. Fixed Installations. Electrical safety, earthing and return circuit. Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by DC traction systems. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

- 22 Sähköasennusten käyttööntovaiheen tarkastukset. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/sahko/sahkoasennusten-kayttoonottovaiheen-tarkastukset>>. Luettu 2.5.2023.
- 23 Karjalainen, Simo. 2019. Raitiotien käyttööntömenettelyt. Yrityksen sisäinen dokumentti. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 24 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/2016.
- 25 Reidman, Teemu & Oedewald, Pia. 2008. Turvallisuuskriittiset organisaatiot. Helsinki: Edita publishing Oy.
- 26 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista. 2016. 1434/2016.
- 27 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta. 2016. 1436/2016.
- 28 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta. 2016. 1437/2016.
- 29 SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 30 SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 31 SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 2018. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 SFS-EN 50122-3. Railway applications. Fixed installations. Electrical safety, earthing and the return circuit. Part 3: Mutual Interaction of AC and DC tractions systems. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 33 SFS 50119. Railway applications. Fixed installations. Electric traction overhead contact lines. 2020. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 34 EN 50162. Protection against stray current from direct current systems. 2004. The European Standard.
- 35 Työtapaturmien ehkäisy. 2023. Verkkoaineisto. Työsuojeluhallinto. <<https://www.tyosuojelu.fi/tyoterveys-ja-tapaturmat/onnettomuuksien-ehkaisy>>. Päivitetty 17.2.2023. Luettu 24.3.2023.

- 36 MVR-mittari. 2022. Verkkoaineisto. Työsuojeluhallinto.
<<https://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/tyoolosuohdemittarit/mvr-mittari>>. Päivitetty 15.12.2022. Luettu 14.4.2023.
- 37 Työturvallisuus on kaikkien asia. 2018. Verkkoaineisto. Vastuu Group.
<<https://www.vastuugroup.fi/fi-fi/blogi/tyoturvaluisuus-on-kaikkien-asia>>. 16.5.2018. Luettu 19.2.2023.

Liite 1: Kaapelimerkintöjen kustannuslaskenta

Kaapelimerkintäkustannus	Kertamaksut (€)	1000 asennusta (€)	Hinta per asennus (€)	Hinta (kpl)	Alka kertakäyttö (h, toinh.)	Merkinnät per tuote (kpl)
Uusi tapa		1406,69	1,41			
Kurttesukka			1,40	384,18	0,33	2,75
Mustenauha			0,01	116,05	0,00	12000
Latte + järfestelmä	2098,40					
Vanha tapa		3068,93	3,07			
Limnanauha			0,07	16,06		233
Merkintäkinnike			3,00	3,00		1
Latte	124					
Ero	-2222,398	1662,24	1,66			
Työvoimakustannus	kertamaksut (€)	1000 asennusta (€)	Hinta per asennus (€)	Alka kertakäyttö (h, toinh.)	1000 asennusta (h)	
Uusi tapa	13,33	77,78	0,08		0,33	2,78
Vanha tapa		116,67	0,12		0,00	4,17
Ero	-13,33	38,89	0,04		-0,33	1,39
Kokonaiskustannus	kertamaksut (€)	1000 asennusta (€)	Hinta per asennus (€)	Voitto per asennus (%)	Prosentuaalinen ero (%)	
Uusi tapa	2111,73	1484,47	1,48	3596,20		
Vanha tapa	124,00	3185,59	3,19	3309,59		
Ero	-1987,73	1701,13	1,70	-286,60		53 %
Ammatti	kustannus (€/h)					
Toimihenkilö	40,00					
Asentaja	28,00					