



Juho Huti

Raitiotielinjan teknisten järjestelmien käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

31.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Juho Huti
Otsikko: Raitiotielinjan teknisten järjestelmien käyttöönotto
Sivumäärä: 35 sivua
Aika: 31.5.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Projektipäällikkö Lauri Loppi
Yliopettaja Jarno Varteva

Tämän insinööriyön tavoitteena oli koota yhteen uuden raitiotiejärjestelmän käyttöönotossa huomioitavat asiat. Insinööriyö tehtiin Destia Rail Oy:n alaisuudessa Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella osana työmaainsinöörin päivittäistä työnkuvaa. Työn lähteenä käytettiin aiheeseen liittyviä standardeja, alan kirjallisuutta, hankkeen sisäisiä asiakirjoja ja asiantuntijoiden haastatteluja.

Insinööriyö alkaa esittelyllä raitiotiehankeiden uudesta noususta Suomessa ja maailmalla sekä tutustuttaa lukijan hankkeeseen ja siinä toimiviin osapuoliin. Tämän jälkeen työssä esitellään raitiotiejärjestelmän käyttöönottoprosessia, sen turvallisuutta ja aikataulutusta. Lisäksi työssä käsitellään raitiotiejärjestelmän luovutusdokumentointia, raitiotien teknisiä järjestelmiä, koeajoja sekä raitiotiejärjestelmän käyttöönoton riskejä. Yhteenvedossa todettiin käyttöönoton tarpeiden tunnistamisen tärkeys hankkeen onnistumisen kannalta.

Insinööriyö edistyi samaa tahtia Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen käyttöönoton kanssa ja teknisten järjestelmien työmaainsinöörin työtehtävät tukivat hyvin tämän työn aiheita. Insinööriyön aikana ilmeni, että raitiotiejärjestelmän käyttöönotto alkaa ennen sen rakentamista ja mitä suurempi osa hankkeen henkilöstöstä tuntee raitiotiejärjestelmän käyttöönoton tarpeet, sitä helpompi hanketta on suunnitella ja johtaa.

Avainsanat: raitiotiejärjestelmä, käyttöönotto, tekniset järjestelmät

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Juho Huti
Title: Commissioning of the Technical Systems of a Tram Line
Number of Pages: 35 pages
Date: 31 June 2024

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

This study aimed to collect the matters that need to be considered for commissioning of a new tram line and all its systems. The thesis was conducted for Destia Rail Oy and its partners at the Kalasatamasta Pasilaan project, and a report was created for the whole project staff to get familiar with the scope of technical systems of a tram-line. Multiple standards, expert interviews and other written works were used as sources for this thesis.

The thesis starts with an introduction to the new boom of tram line projects in Finland and around the world, and familiarizes the reader with the project and the parties associated with it. After that the narrative jumps into the process of commissioning a tram line, scheduling, and the safety aspects of the commissioning. Also, the thesis lists the types of documentation produced during a commissioning of the tram line and describes different systems in the tramway line. Finally, the thesis covers the test drives, risks, opportunities of a tram line.

Due to the lack of corresponding written source material, some undisclosed plans and reports from the project and interviews of experts were used. The progression of the thesis study moved forward at the same time as the commissioning of the tram line system of the Kalasatamasta Pasilaan project, which supported the writing process of this work.

The result of the thesis study is a guide for commissioning a tram line. The thesis study concluded that the commissioning of the tram line should begin before the building phase has started on the project, and that as more people working in the project are familiar with the requirements of commissioning the tram line, it is easier to plan and run the project.

Keywords: Commissioning, tram line systems

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Raitiotien teknisten järjestelmien käyttöönotto	1
1.2	Kalasatamasta Pasilaan -hanke	2
1.2.1	Sörkan Spora -allianssi	4
1.2.2	Karaatti -allianssi	5
1.3	Allianssimalli	5
1.4	Destia Oy ja Destia Rail Oy	7
2	Käyttöönottoprosessi	7
2.1	Käyttöönoton vaiheet	8
2.2	Käyttöönoton turvallisuus	8
2.3	Käyttöönoton aikataulu	9
3	Luovutusmateriaali	11
3.1	Kansiorakenne	11
3.2	Suunnitelmapiiirustukset	12
3.3	Asennus-, mittaus- ja tarkastustulokset	13
3.4	Käyttökoulutusmateriaali	13
3.5	Huolto- ja kunnossapitosuunnitelma sekä varaosaluettelo	14
4	Järjestelmäkohtainen käyttöönotto	15
4.1	Raitiotielinjan ratasähköjärjestelmä	16
4.1.1	Sähkösyöttöasemat	16
4.1.2	Syöttöpistekeskukset ja syöttöpylväät	17
4.1.3	Ajojohdinjärjestelmä	18
4.1.4	Paluuvirtakeskukset ja paluuvirtatie	20
4.2	Maadoitukset	22
4.3	Vaihdealue	23
4.3.1	Vaihteenohjausjärjestelmä	24
4.3.2	Vaihteenlämmitysjärjestelmä	25
4.4	Tietoliikenne, valvomot ja kamerat	25
4.5	Pysäkit	27

4.6	Liikennevalot	27
4.7	Varikot	28
4.8	Kiskonvoitelu	28
5	Koeajot	29
5.1	Koeajojen turvallisuus	29
5.2	Koeajojen suunnittelu ja testattavat kohteet	31
6	Käyttöönoton riskit ja mahdollisuudet	32
7	Yhteenveto	33
	Lähteet	36

Lyhenteet

- ATA: *Avaintulosalue*. Allianssin suorituskykyä mitataan avaintulosalueiden tavoitteilla ja mittareilla, jotka määrittävät allianssin palveluntuottajien palkkiot.
- ATU: *Aukean tilan ulottuma*. Raitiovaunun rungon, peilien ja huojuntavaran ulottuma kaikissa olosuhteissa.
- FAT: *Factory Acceptance Testing*. Järjestelmän testaukset tehtaalla ennen sen toimittamista työmaalle, jotka laitetoimittaja ja tilaaja toteuttavat yhdessä.
- KAS: *Kehitysvaiheen allianssisopimus*. Sopimus solmitaan tilaajan, palveluntuottajan, suunnittelijan ja mahdollisesti tavarantoimittajan välille hankkeen kehitysvaiheessa allianssissa.
- mA/m Milliampeeria virtaa raidemetriä kohden. Hajavirtamittausten mitausarvon yksikkö.
- SAT: *System Acceptance Testing*. Yksittäisen järjestelmän hyväksyntätestaukset asennuksen jälkeen.
- SIT: *System Integration Testing*. Järjestelmäkokonaisuuksien yhteensopivuuden testaukset.
- TAS: *Toteutusvaiheen allianssisopimus*. Sopimus solmitaan tilaajan, palveluntuottajan, suunnittelijan ja mahdollisesti tavarantoimittajan välille hankkeen toteutusvaiheessa allianssissa.
- VATU: *Vaarallisen tilan ulottuma*. Alue, jonka sisällä on sähköiskun vaara ajojohtimen rikkoutuessa.

VLD: *Voltage Limiting Device*. Jännitteenrajoitinlaite rajoittaa jännitettä maadoituspiirissä kytkeytymällä johtavaksi, jos jännitepotentiaali sen yli kasvaa liian suureksi.

1 Johdanto

Raitioteiden rakentamisen ja suunnittelun määrä Helsingin seudulla on kasvanut merkittävästi, kun raitiotieverkko laajenee uusille alueille kantakaupungissa ja myös ympäröiville alueille sekä naapurikuntiin [1].

Raitioteiden toinen tuleminen Euroopassa alkoi vuosituhaten vaihteessa ja on viime vuosina rantautunut myös Suomeen. Suomessa on tällä hetkellä noin 10 uutta raitiotiehanketta eri vaiheissa hankepäätyksestä käyttöönottoon [2]. Kasvava kiinnostus raitioiteita herätti kiinnostuksen tekemään selvityksen raitiotien käyttöönottoprosessista palveluntuottajan näkökulmasta käytettäväksi Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella ja tulevilla raitiotiehankkeilla.

1.1 Raitiotien teknisten järjestelmien käyttöönotto

Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen ratainfraa tullaan aluksi liikennöimään kantakaupungin raitiovaunukalustolla ja Kruunusilltojen raitiotieliikenteen alkaessa Škodan 34,5 metriä pitkällä ForCity Smart Artic X54 -pikaratikkakalustolla. Raitiotielinjan teknisiin järjestelmiin Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella kuuluu:

- ratasähköjärjestelmä
- sähkönsyöttöaseman tekniikka
- vaihteenohjaus- ja vaihteenlämmitysjärjestelmät
- kiskonvoitelujärjestelmä
- maadoitusjärjestelmä
- pysäkit
- tietoliikennejärjestelmä
- valvomot
- kamerajärjestelmä
- liikennevalojärjestelmä. [3, s. 15–17.]

Raitiotien teknisten järjestelmien käyttöönotto tarkoittaa rakennetun raitiotien teknisten järjestelmien toiminnallisuuden ja vaatimustenmukaisuuden todentamista. Käyttöönoton tavoite on todentaa järjestelmäkokonaisuuden toiminta,

joka vastaa raitiotieinfran viranomaismääräyksiä, toteutuslaajuutta, teknistä laajuutta ja järjestelmien toimintamalleja. Hyvin toteutettu käyttöönotto tuottaa tilaajalle ja loppukäyttäjille toimivan raitiotiejärjestelmän, jonka käyttö, kunnossapito ja hallinnointi on sujuvaa. Myös käyttöönoton tehokas aikataulutusta on tärkeää sen ympäristövaikutusten ja kulujen minimoimiseksi. [4.]

1.2 Kalasatamasta Pasilaan -hanke

Kalasatamasta Pasilaan -hanke on Helsingin kaupungin ja Kaupunkiliikenne Oy:n tilaama raitiolinja 13, jonka reitillä on sekä peruskorjattavaa, että uudisrakennettavaa raitiotietä. Hankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta vastaavat Sörkan Spora- ja Karaatti-allianssit. Molempien allianssien tilaajaosapuolia ovat Helsingin kaupunki ja Kaupunkiliikenne oy. [5.]

Rataosuus hankkeella on noin 4,5 kilometriä pitkä ja jaettu lohkoihin [5]. Kuvassa 1 on esitetty Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen lohkojako Helsingin kartalla.



Kuva 1. Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen lohkojako ja toteutussuunnitelman mukaiset aikataulut lohkoille [5].

Hanke jakautuu kahdelle allianssille. Sörkan Spora -allianssin alue koostuu seuraavista lohkoista:

- lohko 1, Nihti
- lohko 2A, Aallonhalkoja, Junonkatu ja Leonkatu
- lohko 2B, Hermannin rantatien eteläosa
- lohko 3A, Hermannin rantatie Vanhan Talvitien ja Haukilahdenkadun välillä
- lohko 6, Sörnäistentunnelin pohjoiset suuaukkorakenteet [5].

Karaatti -allianssin alue koostuu seuraavista lohkoista:

- lohko 3B, Hermannin rantatie Haukilahden kadun ja Hämeentien välillä
- lohko 4, Vällilänlaakso
- lohko 5, Mäkelänkadun liittymäalue, Radanrakentajantie, Ratamestarinkatu, Asemapäällikönkatu, Pasilankatu, Palkkatilanportti ja Pasilanraito [5].

Raitiotielinjan lisäksi toteutukseen kuuluu rataosuuden, katujen kunnallistekniikan ja kuivatuksen rakentaminen. Myös olemassa olevaa kunnallistekniikkaa ja kaapelireittejä siirretään sekä uusitaan hankkeen aikana. [5.]

1.2.1 Sörkan Spora -allianssi

Sörkan Spora -allianssin alueella rakennettava raitiotielinja on kokonaan uutta raitiotieinfraa. Rakennuksesta vastaa Destia Oy sekä Destia Rail Oy ja suunnittelusta Sweco Infra & Rail Oy sekä WSP Finland Oy. [5.]

Nihdissä toteutus aloitettiin esirakentamisella, koska alueella ei ollut aikaisempaa valmista infrastruktuuria. Hankkeeseen kuuluu raitiotien rakentamisen lisäksi alueen kunnallisteknisten verkostojen, operaattoriputkituksien ja katurakenteiden rakentaminen. Nihtiin rakennetaan myös raitiotielinjaan myöhemmin yhdistyvän Kruunusillat-raiotielinjan kanssa yhteinen sähkönsyöttöasema ja liittyvät vaihdealueet. Muina hankkeen rajapintoina alueella ovat useat talonrakennustyömaat, joihin sijoittuu raitiotielinjan teknisiä tiloja ja ajojohdinjärjestelmän seinäkiinnikkeitä. [5.]

Kalasadaman alueella kaupunki-infra oli jo suurelta osin valmiina ja raitiotietä rakennettaessa katujen liikennejärjestelyjä muutettiin samalla lisäten alueen pyöräilymahdollisuuksia. Kalasadaman metroaseman sähkönsyöttöasemalle lisättiin myös raitiotien sähkönsyöttöjärjestelmä raitiotielinjaa varten. [5.]

Hermannin rantatien alueella tehtiin hankkeen suurimmat muutostyöt, kun koko katupoikkileikkaus rakennettiin uudelleen ja raitiotie sijoitettiin kadun keskelle pääosin viherraitteena. Hankkeeseen kuuluu myös Sörnäistentunnelin pohjoisen suuaukon rakentaminen raitiotien alle. Tunnelin suuaukko peitettiin hankkeen aikana odottamaan tunnelihankkeen aloitusta alustavasti 2020-luvun loppupuolella. [5.]

1.2.2 Karaatti -allianssi

Karaatti -allianssin alueella tehdään pääosin muutostöitä olemassa oleviin raitiotieyhteyksiin ja kunnallistekniikkaan Pasilassa sekä rakennetaan uutta raitiotietä Vallilanlaaksoon. Rakentamisesta vastaa GRK Oy sekä GRK Rail Oy ja suunnittelusta vastaa AFRY Finland Oy. [5.]

Pasilan alueen rakennustyöt keskittyvät pääosin olemassa oleviin raitiotielinjoihin. Muutostyöt mahdollistavat uuden raitiotielinjan liikennöinnin Pasilassa. Kokonaan uutta rataa rakennetaan vain Pasilankadulle Pasilansillan ja Veturitien välille. Muutostöiden yhteydessä myös parannetaan merkittävästi alueen pyöräily- ja jalankulkuväyliä. [5.]

Vallilanlaaksossa rakennetaan uutta raitiotietä ja pyöräbaana puistoalueelle Mäkelänsillan ja Hämeentien välille. Alueen töihin kuuluu myös istutusten ja valaistuksen lisäämistä sekä Kumpulanpuron kunnostus. [5.]

1.3 Allianssimalli

Vaativia infrahankkeita tyypillisesti yhdistää laaja-alaiset riskit sekä epävarmuus tulevista olosuhteista, kun rajapintoja ja sidosryhmiä on monia. Haasteita tuottaa myös hankealueiden sijoittuminen rakennettuun ympäristöön ja liikenteen solmupisteiden läheisyyteen, jolloin rakennustyön aikaisten haittojen minimointi on tärkeässä osassa hankkeen toteutuksessa. Perinteisissä urakkamalleissa ongelmiksi nousee aikaisessa vaiheessa lukkoon lyödyt ratkaisut, kun urakat kilpailutetaan erikseen tuotettujen suunnitteluratkaisujen perusteella. Tämä aiheuttaa eri osapuolien täysimääräisen osaamisen hyödyntämättä jättämisen. Edellä mainittujen haasteiden ratkaisuna ja haasteiden minimoimiseksi kehitettiin allianssimalli, jossa hankkeen osapuolet eli tilaaja, suunnittelijat ja urakoitsijat muodostavat yhteisen hankeorganisaation [6, s. 1].

Allianssihankeessa on tyypillisesti kaksi sopimusta ja sitä myötä kaksi päävaihetta:

- hankkeen kehitysvaiheen allianssisopimus (KAS) hankkeen kehitysvaiheen ajaksi
- hankkeen toteutusvaiheen allianssisopimus (TAS) hankkeen toteutusvaiheen ja jälkivastuun ajaksi [6, s. 2].

Hankkeen kehitysvaiheen aikana sovitaan yhdessä kaikkien osapuolien kanssa selkeät tavoitteet hankkeelle ja allianssille, kehitysvaiheen projektisuunnitelma sekä lopulliset suoritustavoitteet ja -mittarit allianssin avaintulosalueille. Kehitysvaiheen aikana myös kartoitetaan hankkeen suuret riskit ja niiden hallintaratkaisut, toteutetaan suunnittelu tavoitekustannuksien asettamiseksi ja kehitetään ohjaus- ja laadunvarmistus- sekä raportointimenettelyt toteutusvaiheelle. [6, s. 3.]

Jos kehitysvaiheessa päästiin sen tavoitteisiin ja tilaaja tekee hankesuunnitelman pohjalta hyväksytyin investointipäätöksen, voidaan toteutusvaihe aloittaa kehitysvaiheen loppuessa. Toteutusvaiheeseen kuuluu hankesuunnitelman määrittelemä suunnittelu ja rakentaminen sekä rakentamisen jälkeinen takuu-aika, jonka aikana allianssi vastaa toteutuksen sopimuksenmukaisuudesta. [6, s. 8.]

Allianssisopimuksen hyödyt saadaan, kun kaikki sopimuksen osapuolet ovat jakaneet vastuun hankkeen kustannuksista, riskeistä, laadusta ja aikataulusta. Kannustimena aikataulussa pysymisen tai sen lyhentämisen saavuttamiseksi käytetään avaintulostavoitteisiin eli ATA-tavoitteisiin perustuvaa kannustinjärjestelmää. [6, s. 7.] Hankkeen raitiotiejärjestelmän käyttöönottoa allianssimalli auttaa osapuolien välisen avoimuuden ja tiedonjaon kautta, kun kaikkien osapuolien osaaminen ja kokemus on käytettävissä raitiotiejärjestelmän käyttöönottoa varten.

1.4 Destia Oy ja Destia Rail Oy

Destia Oy on kansainvälisen Colas-konsernin omistama infrarakentamiseen erikoistunut osakeyhtiö, jonka juuret ovat Suomen Tieliikelaitoksessa, joka vaihtoi nimensä Destiaksi vuonna 2007. Yrityksen palveluihin kuuluu:

- kaupunkirakentaminen
- energiainfra
- suunnittelupalvelut
- älykkäänliikenteen ratkaisut
- ratapalvelut
- kunnossapito
- maa- ja kalliopalvelut
- kiviaines ja kiertotalous. [7.]

Destia Rail Oy on Destia Oy:n tytäryhtiö, joka toimii Destian ratapalvelut-liiketoimintayksikkönä. Destia Railin palveluita ovat radan kunnossapito, ratarakentaminen, mittaustyöt ja hitsaustyöt. Rautateiden lisäksi yritys on lähivuosina kerännyt osaamista myös raitiotiejärjestelmistä. Viime aikojen Destian oy:n tunnetuimpia hankkeita pääkaupunkiseudulla ovat Helsingin päärautatieaseman rata-
pihan alittava Kaisantunneli ja Hämeentien katuremontti. [7.]

2 Käyttöönottoprosessi

Raitiotien käyttöönottoprosessi alkaa jo ennen raitiotien rakentamisen aloitusta. Ennen ratateknisiä asennuksia tulisi olla selvää, mitä edellytyksiä raitiotien liikennöitsijällä ja kunnossapidolla tarvitsevat kaupallisen liikenteen operointiin ja raitiotielinjan sekä kaluston huoltoon. Käyttöönoton tarkoitus on myös löytää ja korjata mahdolliset viat ja poikkeamat ennen kaupallisen liikenteen aloitusta. Asianmukainen dokumentointi ja kattava järjestelmätestaus takaavat, että tilaaja saa käyttöönsä toimivan järjestelmän, jonka toiminta on luotettavaa ja ylläpito helppoa.

2.1 Käyttöönoton vaiheet

Jotta raitiotiejärjestelmä olisi valmis luovutettavaksi kaupalliselle liikenteelle, järjestelmistä täytyy koota dokumentaatiota suunnitteluvaiheesta, tehtaalta komponenttien valmistuksesta, työmaalla järjestelmän asennuksesta ja käyttötesteistä sekä käyttö- ja huolto-ohjeista. Raitiotiejärjestelmän laajuuden vuoksi käyttöönottoa voidaan helpottaa jakamalla se järjestelmittäin osiin ja nämä osat käyttöönoton vaiheisiin. Raitiotiejärjestelmän testauksen ja käyttöönoton vaiheet voi jakaa esimerkiksi näin:

- tehdastestit, eli FAT (Factory Acceptance Testing)
- aistinvaraiset tarkastukset
- mittaukset
- järjestelmäkohtaiset testaukset työmaalla eli SAT (System Acceptance Testing)
- koko järjestelmän yhteensopivuustestit eli SIT (System Integration Testing)
- järjestelmän itselleluovutus
- tekninen koeajo
- loppukäyttäjien perehdytykset
- järjestelmän luovutus loppukäyttäjälle.

Suurissa hankkeissa, joissa hankeorganisaatio on laaja, on tärkeää, että käyttöönoton tavoitteet ja prosessi ovat selkeät koko hankkeen henkilöstölle eli projektin johdolle, suunnittelulle ja toteutukselle. Kun kaikilla on lopputavoite ja keinot sen saavuttamiseksi tiedossa, on käyttöönoton toteutus mahdollista aikataulussa ja ilman haasteita.

2.2 Käyttöönoton turvallisuus

Kuten raitiotien suunnittelussa ja rakentamisessa, myös raitiotiejärjestelmän käyttöönotossa päätavoite on toimia turvallisesti ja varmistaa, etteivät käyttöönoton tehtävät aiheuta vaaraa ihmisille, ympäristölle tai ympäröiville rakenteille eivätkä aiheuta liiallista häiriötä alueelle, jonne raitiotie rakennetaan. Huomioitava erityispiirteenä raitiotiejärjestelmässä on ratasähköjärjestelmä ja sen

sijoittaminen vilkkaaseen kaupunkiympäristöön [8]. Turvallisuuden varmistamiseksi on laadittu lakeja ja määräyksiä sekä tilaajan ohjeistuksia, joita raitiotietä rakentaessa ja liikennöidessä noudatetaan. Nämä lait ja määräykset ovat:

- raideliikennelaki 1302/2018
- laki liikenteen palveluista 371/2017
- liikenne- ja viestintävirasto Traficomien määräykset
- tieliikennelaki 267/1981 ja tieliikenneasetus 182/1982
- sähköturvallisuuslaki 1135/2016 ja siihen liittyvät asetukset
- kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä 517/1996
- pelastuslaki 379/2011
- maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999
- työturvallisuuslaki 738/2002 [9, s. 3].

2.3 Käyttöönoton aikataulu

Raitiotien käyttöönotto alkaa jo hankkeen kehitysvaiheessa, jolloin tulee selvittää tarvittavat dokumentaatiot, mittaukset ja testit. Myös järjestelmät, joilla dokumentteja kootaan, tulee kehittää aikaisessa vaiheessa ennen rakentamisen aloitusta ja ensimmäisten dokumenttien tuottoa. Käyttöönotto tulee aikatauluttaa tehokkaasti, jotta vaikutukset kaupunkiympäristöön ja asukkaisiin ovat mahdollisimman pienet. Tarkka aikataulu myös mahdollisesti nopeuttaa hankkeen etenemistä ja valmistumista. Käyttöönoton valmistuessa tuotannon aikainen projektiorganisaatio ja työmaa voidaan purkaa, jotta vältetään ylimääräisiltä kuluilta [8]. Käyttöönoton kriittisille vaiheille täytyy kuitenkin varata tarpeeksi aikaa ja resursseja, jotta mahdolliset testeissä ja mittauksissa havaitut viat voidaan korjata ja todentaa korjatuiksi ennen käyttöönoton seuraavaa vaihetta.

Kun järjestelmien laitetoimittajia kilpailutetaan, tulee varmistaa, että tarjous kattaa tarvittavat dokumentaatiot järjestelmän materiaalista, laadusta ja toimivuustesteistä. Myös järjestelmän toimitusaika tulee huomioida kilpailutuksessa. Laitetoimittaja sitoutetaan järjestelmän integraatioon sopimalla maksuerät. Kun

toimittajan tarjous on hyväksytty ja järjestelmän laitteet lähestyvät valmistumista toimitusta varten, suoritetaan tehdastestit yhdessä laitetoimittajan ja hankkeen henkilöstön kanssa. Hankkeelta on yleensä allianssimallissa mukana edustajia hankkeen tilaajalta, suunnittelijalta ja palveluntuottajalta. Laitetoimittajan tulee toimittaa tehdastestien pöytäkirja, materiaali- ja laatutodistukset viimeistään, kun laitteet lähetetään tehtaalta.

Järjestelmien asennuksista kerätään kuvamateriaalia ja mittatarkkeita asennuksien edetessä ja niiden peittyessä maan, betonin tai kivetysten alle. Asennuksien valmistuessa kerätään tarvittavat mittaustulokset asennetuista laitteista ja kaapeleista ennen sähköliittymien kytkemistä. Kun asennukset on todettu valmiiksi ja järjestelmien syötöt on kytketty, voivat järjestelmäkohtaiset testaukset ja yhteensopivuustestaukset alkaa. Näiden testauksien jälkeen rakennuttaja tekee raitiotiejärjestelmän itselleluovutuksen itsenäisesti tai yhdessä tilaajan kanssa, millä todetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus ja virheetön toteutus. Itselleluovutus ei tarkoita järjestelmän hallinnan luovutusta tilaajalle, vaan varmistusta, että järjestelmä on valmis ja tilaajan vaatimusten mukainen ennen koekäyttöä ja varsinaista järjestelmän luovutusta.

Kun yhteensopivuustestauksien sekä järjestelmäkokonaisuuden itselleluovutus on tehty, voidaan aloittaa raitiotielinjan koeajot. Koeajoihin tulee aikatauluttaa riittävästi ajokertoja koko linjan läpi ja jakaa koeajopäiville pääpainoalueet koeajojen valvomisessa, jotta vielä järjestelmässä mahdollisesti olevat ongelmat tunnistettaisiin. Koeajopäivien väliin tulee varata aikaa ja resursseja mahdollisten vikojen korjaamiseen. Raitiotiejärjestelmien valmistumisen jälkeen palveluntuottajalla pitää olla saatavilla riittävästi henkilöstöä korjaamaan koeajojen aikana esiintyviä vikoja.

Tunnistetut kriittiset varaosat tulee olla saatavilla ennen koeajoja. Palveluntuottajat kokoavat järjestelmien kriittiset osat varaosaluetteloon hyvissä ajoin, jotta raitiotiehankkeen tilaaja voi hankkia nämä varaosat koeajoihin mennessä. Kriittisten varaosien toimitusajat voivat vaihdella viikoista useisiin kuukausiin, joten on tärkeää, että varaosia on varastossa koeajojen alkua varten mahdollisten

ilmenevien vikojen korjaamiseksi. Käyttöönoton jälkeen kriittiset varaosat siirtyvät tilaajan kunnossapito-organisaation haltuun ja käytettäväksi raitiotielinjan ylläpidossa.

3 Luovutusmateriaali

Raitiotiejärjestelmän luovutusmateriaali koostuu laatu-, toiminta-, käyttö- ja huoltodokumenteista, joilla varmistetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus sekä toiminnallisesti että laadullisesti, järjestelmän ylläpito ja järjestelmänhallinta. Materiaalin suuren määrän ja sen sujuvan käytön varmistamiseksi tulee kansiorakenteista ja dokumenttien muodosta sopia etukäteen tilaajaosapuolen ja loppukäyttäjien kanssa. Hankkeen tulee perehdyttää loppukäyttäjät kerättyihin luovutusmateriaaleihin ja niiden laajuuteen.

Luovutusmateriaalin tarkoitus on järjestelmän vaatimustenmukaisuuden ja toiminnan varmentamisen lisäksi palvella järjestelmän loppukäyttäjiä. Luovutusmateriaaleihin kuuluu raitiotielinjan kaupallisen liikenteen aikaisten kuljettajien ja muun käytönaikaisen henkilökunnan perehdytysmateriaali, järjestelmien kunnossapitoa palvelevat käyttö- ja huolto-ohjeet, joista kootaan raitiotiejärjestelmän huoltokirja, sekä varaosaluettelot. Luovutusmateriaaleihin kuuluvat myös omaisuudenhallintaa palvelevat tiedot raitiotiejärjestelmän rakentamisessa käytetyistä komponenteista ja niiden sijainneista.

3.1 Kansiorakenne

Luovutusmateriaalit kootaan joko hankkeen omaan tiedonhallintajärjestelmään siirrettäväksi kerralla tilaajan tiedonhallintajärjestelmään tai vaihtoehtoisesti ne tallennetaan suoraan tilaajan tiedonhallintajärjestelmään. Materiaalin tallentamisen ajankohdasta huolimatta materiaalia kannattaa tallentaa heti alusta asti tilaajan ja loppukäyttäjien kanssa yhdessä sovittuun kansiorakenteeseen Oikein toteutetusta kansiorakenteesta raitiotielinjan kaupallisen liikenteen alkaessa linjan liikennöijän, kunnossapitajan ja omaisuudenhallinnan henkilöstöt löytävät tarvitsemansa tiedon suoraviivaisesti.

Kansiorakenteen lisäksi tiedon löytämisen tueksi luodaan asiakirjaluetelo, jossa on listattu luovutusmateriaali järjestelmittäin. Luovutusmateriaalin dokumentit nimitään yksiselitteisesti ja yksilöiden dokumentin tyyppin sekä kohteen. Luettelosta tulisi myös löytyä linkki kyseiseen dokumenttiin, mikä helpottaa dokumenttien löytämistä.

Esimerkkinä Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella kaikki luovutukseen kuuluvat mittaus- ja laatudokumentit jaetaan ylätasolla kansioihin järjestelmittäin, keskitasolla paikantaen sijainnin tai esimerkiksi keskuksen mukaan ja alatasolla dokumenttityypin mukaan. Tällä rakenteella loppukäyttäjä löytää helposti haluamansa tiedon, kun hän tietää, mihin järjestelmään hänen hakemansa tieto kuuluu.

3.2 Suunnitelmapiiirustukset

Kun raitiotietä rakennetaan, se tehdään tilaajan vaatimuksien sekä suunnittelijoiden laatimien suunnitelmapiiirustusten mukaisesti. Raitiotiejärjestelmän luovutusprosessiin kuuluu sen varmistaminen, että raitiotiejärjestelmä on rakennettu vaatimuksien ja suunnitelmien mukaisesti.

Hankkeen edetessä palveluntuottajalla voi tulla vastaan järjestelmän osia, joita ei voida toteuttaa suunnitelmien mukaisesti ja joiden toteutuksessa joudutaan poikkeamaan suunnitelmista. Tilanteissa, joissa joudutaan poikkeamaan suunnitelmista, tarvitaan tilaajan vastuuhenkilön ja suunnittelijan kirjallinen hyväksyntä sekä poikkeamaraportti. Poikkeamaraportilla todistetaan, miten poikkeama on ratkaistu. Kun järjestelmän rakentaminen on valmistunut ja sen vaatimustenmukaisuus todettu, järjestelmän suunnittelija piirtää lopulliset piirustukset, jotka vastaavat valmiin järjestelmän toteumaa.

Lopulliset piirustukset tallennetaan luovutusmateriaaliksi ja luovutusmateriaali palvelee loppukäyttäjää kunnossapidossa ja omaisuudenhallinnassa. Tulevaisuudessa piirustuksia voidaan käyttää myös raitiotien muutostöiden suunnitteluun.

3.3 Asennus-, mittaus- ja tarkastustulokset

Järjestelmien asennusten laadun ja vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi järjestelmän rakentajan tulee tuottaa tarvittavat pöytäkirjat raitiotiejärjestelmän komponenttien asennuksista, mittauksista ja tarkastuksista. Mittauksista ja tarkastuksista laaditaan pöytäkirjat, joissa on mittauksista saadut tulokset järjestelmän vaatimustenmukaisuuden toteutukseen. Pöytäkirjojen tiedot luetaan läpi yhdessä tilaajan järjestelmäasiantuntijan kanssa järjestelmäkohtaisessa luovutus-tilaisuudessa, jossa todennetaan järjestelmän vaatimustenmukaisuus.

Mittauksissa tulee käyttää kalibroitua, mittauksiin soveltuvaa mittaria, joka vastaa SFS-EN 61557 -standardisarjan mittauksen mukaisia vaatimuksia. Mittauspöytäkirjaan merkitään seuraavat tiedot:

- tarkastellun järjestelmän tai järjestelmän osan tunnus tai sijainti, jolla erotetaan mittaus- ja tarkastelupisteet yksiselitteisesti
- tarkastuksen tai mittauksen tulokset riittävällä tarkkuudella
- käytetyn mittarin merkki, malli ja viimeisimmän kalibroinnin päivämäärä
- tarkastuksen tai mittauksen suorittajien allekirjoitukset.

Tuotetut asennus-, mittaus- ja tarkastuspöytäkirjat tallennetaan luovutusmateriaalien kansiorakenteeseen ja niillä todetaan järjestelmien vaatimuksenmukaisuus. Pöytäkirjat tukevat raitiotiejärjestelmän kunnossapitoa tulevaisuudessa mahdollisesti esiintyvien vikojen selvittämisessä.

3.4 Käyttökoulutusmateriaali

Tärkeä osa raitiotien käyttöönottoa on loppukäyttäjän henkilöstön kouluttaminen heidän tehtävissään oleellisiin raitiotiejärjestelmiin. Käyttäjäkoulutuksien toteutukseen voidaan käyttää ohjekortteja, -videoita, esityksiä ja työmaakäyntejä loppukäyttäjän tarpeiden mukaan.

Käyttäjäkoulutusmateriaalin tuottaminen ja jakaminen on hankkeen toteuttajien vastuulla, mutta loppukäyttäjien toiveiden huomioiminen koulutuksia

suunnitellessa varmistaa parhaan lopputuloksen. Käyttökoulutusmateriaalia kootessa on syytä hyödyntää järjestelmätoimittajien omia käyttöohjeita ja hankkeen järjestelmäasiantuntijoiden osaamista. Tuotetun materiaalin sisällön ymmärrettävyydestä voidaan varmistua kohdistamalla koulutuksen sisältö ja esitystavat loppukäyttäjille tehtäväkohtaisesti. Koulutusten sisältöä voidaan painottaa esimerkiksi näin:

- Kunnossapidon koulutuksessa tulisi keskittyä raitiotiejärjestelmän erityispiirteisiin, eri komponenttien sijaintiin, olemassa oleviin käyttö- ja huolto-ohjeisiin, huoltosykleihin sekä vierailuihin kentällä.
- Kuljettajien koulutuksessa tulisi keskittyä vaihteiden ohjaukseen, asentoihin, ajosuuntiin sekä linjan erityiskohteisiin.
- Omaisuudenhallinnan koulutuksen tulisi sisältää linjalla käytetyt järjestelmät, toimittajat ja järjestelmien elinkaarinäkökulmat.

Raitiotiejärjestelmän muiden loppukäyttäjien paitsi kaupallisen liikenteen kuljettajien koulutukset toteutetaan ennen raitiotien luovutusta, jotta sen liikennöinti voidaan aloittaa turvallisesti ja tehokkaasti. Kaupallisen liikenteen kuljettajien koulutukset tulee aloittaa hankkeen luovutuksen jälkeen, kun raitiotiejärjestelmän virheettömyys on varmistettu. Koulutuksien materiaali jää loppukäyttäjien käytettäväksi myös uusien henkilöiden koulutukseen tulevaisuudessa.

3.5 Huolto- ja kunnossapitosuunnitelma sekä varaosaluettelo

Raitiotielinjan käyttöturvallisuuden ja käytettävyyden varmistamiseksi raitiotiejärjestelmän elinkaaren ajaksi hanke tuottaa kattavan huolto- ja kunnossapitosuunnitelman, joka kootaan järjestelmä- ja laitetoimittajien ohjekirjoista sekä järjestelmän toteutuspiirustuksista. Huolto- ja kunnossapitosuunnitelmilla varmistetaan huolto- ja kunnossapitotöiden turvallisuus, tarkoituksenmukaisuus ja kustannustehokkuus.

Kunnossapito tarvitsee toimintansa tueksi tiedot järjestelmissä käytetyistä osista, komponenttisijoitteluista, kytkennöistä ja järjestelmäkohtaiset huolto-ohjeet. Raitiotielinjalle tulee laatia selkeä huoltosuunnitelma, joka kuvaa kaikki linjan vaadittavat huoltotoimenpiteet ja huoltosykliä, joiden mukaisissa

aikatauluissa laitehuollot tulee suorittaa. Yleisten väärinymmärrysten välttämiseksi huoltotoimenpiteet tulisi esittää tilaajan vaatimilla kielillä, mutta yleisesti vähintäänkin suomeksi.

Raitiotiejärjestelmän kriittisistä komponenteista hankkeen tulee koota varaosaluettelo, jossa esitetään, kuinka monta kappaletta kyseistä komponenttia linjalle on asennettu, kuinka paljon varaosia tarvitsee olla varastossa, varaosan valmistaja, tyyppi ja malli sekä mahdollinen yhteyshenkilö varaosan hankinnalle. Varosaluettelo tulee toimittaa tilaajan kunnossapitoyksikölle hyvissä ajoin ennen raitiotielinjan luovutusta ja kaupallisen liikenteen aloitusta, jotta kunnossapitoyksiköllä on riittävä aika hankkia varaosat. Kriittisiksi varaosiksi luokitellaan komponentit, joiden toimitusajat ovat pitkiä tai joiden puuttuminen vaikuttaa raitiotielinjan liikennöintiin merkittävästi. Raitiotiejärjestelmän kulutusosat tulee lisätä varaosaluetteloon.

Materiaali- ja laatutodistuksilla todennetaan raitiotiejärjestelmän komponenttien vaatimustenmukaisuus ja helpotetaan raitiotien loppukäyttäjän kunnossapidon työtä vastaavien tai korvaavien varaosien hankinnassa. Tarvittavat materiaali- ja laatutodistukset tulee selvittää ennen hankintojen aloitusta ja vaatia materiaali- ja laatutodistukset komponenttien toimittajilta tilauksen yhteydessä.

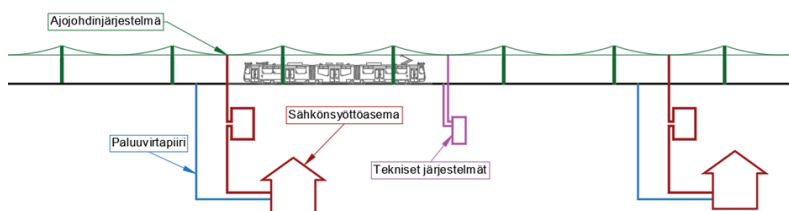
4 Järjestelmäkohtainen käyttöönotto

Suurissa järjestelmäkokonaisuuksissa, kuten raitiotiejärjestelmissä käyttöönoton onnistuminen on tärkeää. Onnistuneella käyttöönotolla tilaajalle voidaan toimittaa tuote, jota voidaan käyttää suunnitelmien mukaan, ja jonka kunnossapito on helppoa ja selkeää. Tuotteen onnistunut käyttöönotto varmentaa, että kaikki tarvittava tieto ja koulutus toimitetaan toimitettu loppukäyttäjälle ja kunnossapidolle, sekä löytää kaikki mahdolliset vikakohdat järjestelmissä niin, että ne saadaan korjattua eivätkä enää esiintyisi, kun tuotteen kaupallinen käyttö alkaa.

Raitiotien teknisten järjestelmien erityisyyden vuoksi niiden käyttöönottoon sisältyy standardin SFS 6000-6 pienjännitesähköasennuksien tarkastusten ja testausten lisäksi laite- ja järjestelmäkohtaisia toimenpiteitä.

4.1 Raitiotielinjan ratasähköjärjestelmä

Raitiotien ratasähköjärjestelmään kuuluvat sähkönsyöttöasema, syöttöpistekeskkukset, sähkönsyöttöpylväät, ajojohdinjärjestelmä, paluuvirtatie raitiotien kiskoja pitkin kiskomaadoitusliittimille, joista kaapelointi paluuvirtakeskuksille ja paluuvirtakeskuksista kaapelointi edelleen takaisin sähkönsyöttöasemalle. Kuva 2 havainnollistaa ratasähköjärjestelmän virtapiiriä.



Kuva 2. Raitiotielinjan ratasähköjärjestelmän rakenteen havainnekuva [13].

Helsingin kantakaupungissa ratasähköjärjestelmät toimivat 600 voltin tasajännitteellä ja uusien pääkaupunkiseudun raitiotiejärjestelmät 750 voltin tasajännitteellä. Virtapiirin plusnapa on kytketty raitiotiekiskoihin ja miinusnapa ajojohtimeen. Ratasähköjärjestelmän erottimia ohjataan sähkönsyöttöasemalta, paikalliskäyttönä keskuksilla ja syöttöpylväillä tai valvomosta etäyhteydellä. [13.]

4.1.1 Sähkönsyöttöasemat

Ratasähköjärjestelmää syötetään sähkönsyöttöasemalta muuntamalla ja tassauntaamalla keskijänniteliittymän jännite raitiovaunun käyttöjännitteeksi. Sähkönsyöttöasemien määrään ja mitoittamiseen vaikuttaa suunnitellun raitiotielinjan liikennöinti. Sähkönsyöttöasemia varataan linjalle tarpeeksi, jotta

ratasähköjärjestelmässä riittää kapasiteettia liikennöintiin, vaikka yksi sähkönsyöttöasema jouduttaisiin kytkemään irti järjestelmästä vian tai huoltotyön takia. [7.]

Sähkönsyöttöasemat sijoitetaan lähtökohtaisesti omaan kiinteistöönsä. Syöttöasemarakennuksien sijoitteluun vaikuttaa kulkureitit henkilökunnalle, laitteiden haalaukselle ja kaapeleille, sekä sähkönsyöttöaseman aiheuttama melu ja tilojen turvallisuus. Keskijännite- ja tasasähkökojeistojen lisäksi sähkönsyöttöasemilla on omakäyttökeskus, talotekniset järjestelmät, raitiotien tiedonsiirtoverkon runkokaapelien jakamo ja syöttöaseman yhteyteen on mahdollista sijoittaa raitiovaununkuljettajien taukotila. [7.]

Sähkönsyöttöaseman kojeistot testataan laitteistotoimittajien ja standardien mukaisilla FAT-, SAT- ja SIT-testeillä. Ratasähköjärjestelmää syöttävien katkaisijoiden riittävän nopea aukeaminen varmistetaan oikosulkutesteillä jokaisen syöttöpisteen kohdalta. Sähkönsyöttöaseman talotekniikka ja tietoliikenneverkon jakamo kuuluvat myös raitiotiejärjestelmään, ja niiden toiminta ja vaatimusten mukaisuus varmistetaan käyttöönottomittauksilla ja -testeillä.

4.1.2 Syöttöpistekeskukset ja syöttöpylväät

Pääkaupunkiseudulla raitioteiden ratasähköjärjestelmän miinusnapa on ajojohtimessa. Jännite syötetään sähkönsyöttöasemalta syöttöpistekeskuksille ja sieltä syöttöpylväiden kautta ajojohtimiin. Syöttöpistekeskuksissa on erottimet, joilla syöttö ajojohtimiin voidaan erottaa syöttöpylvään läheisyydessä. Syöttöpylväs on varustettu pylväserottimella, jolla voidaan erottaa syöttöpistekeskusten syöttämät ajojohdinjaksot toisistaan tai kytkemällä pylväserotin kiinni voidaan ohittaa sähkönsyöttöasema. Syöttöpylväessä on myös kipinävälillä varustetut ylijännitesuojat, joiden kautta ilmastolliset ylijännitteet johdetaan ajojohtimesta turvalisesti maadoituselektrodille.

Syöttöpistekeskuksen ja syöttöpylvään erottimia ohjataan ja valvotaan sähkönsyöttöaseman ohjausjärjestelmän kautta. Poikkeustilanteiden tai kunnossapitotöiden aikana erottimia voidaan ohjata myös paikallisohjauksella.

Syöttöpistekeskkukset käyttöönotetaan FAT-, SIT-, ja SAT-testeillä, joissa varmistetaan keskusten ja niiden kaapelointien asennusten vaatimustenmukaisuus ja erottimien ohjauksen ja tilavalvonnan toimivuus. Syöttöpylväistä varmistetaan ajolankajaksojen välisen erottimen ja sen moottoriohjaimen kytkennät, toiminta ja valvonta sekä ylijännitesuojan kytkentä ja kipinävälin pituus.

4.1.3 Ajojohdinjärjestelmä

Raitiovaunu saa käyttöjännitteensä virroittimellaan raiteiden yläpuolelle asennetusta ajojohtimesta läpi raitiotielinjan. Ajojohdinjärjestelmä koostuu seuraavista osista:

- ajojohtimesta, joka asennetaan raiteiden keskelle yläpuolelle 4,9–5,8 metrin korkeuteen
- tukijohtimesta, joita asennetaan yksi ajojohtinta kohden sen yläpuolelle yleensä kahden raiteen keskelle, kun syöttöpisteiden etäisyydet sitä vaativat
- ratasähkö- ja yhteiskäyttöpylväistä, joita käytetään kääntöorsien, köysiportaalien ja sivuunvetoköysien sekä muun tekniikan kiinnittämiseen, kuten liikennekamerat ja katuvalaistus
- seinäkiinnikkeistä, joita käytetään köysiportaalien ja sivuunvetoköysien kiinnittämiseen raitiotielinjan läheisyydessä sijaitsevien rakennuksien seinään
- orsirakenteista, joihin ajojohtimen ja tukijohtimen kannakkeet kiinnitetään, kun köysiportaalirakenteet eivät ole mahdollisia
- köysiportaaleista, joihin ajojohtimen ja tukijohtimen kannakkeet kiinnitetään, kun käytettävissä on seinäkiinnikkeitä ja yhteiskäyttöpylväitä raitiotien molemmilla puolilla
- kiintoajojohtimista, joilla ajojohtin asennetaan sillan tai tunnelin matkalta kiinteään kiskoon
- kiristyslaitteista, jotka kompensoivat ajojohtimen kireyttä sen pituuden muuttuessa lämpötilanmuutoksen takia
- poikittaisyhdistyksistä, joilla yhdistetään vierekkäiset ajojohtimet ja tukijohtimet tasaisin välimatkoin. [16, s. 45–46.]

Ajojohtimen kannattimet on kiinnitetty joko raitiotielinjan yhteiskäyttöpylväisiin tai seinäkiinnikkeisiin. Orsi- ja köysirakenteissa on eristimet, joilla ajohdintajärjestelmän jännitteiset osat kaksoiseristetään pylväistä ja seinäkiinnikkeistä. Ajojohtimet on jaettu ajohdintajaksoihin, joilla jokaisella on oma kiristyslaite toisessa päässä ajohdintajaksoa, jolloin jakson toinen pää on ankkuroitu joko yhteiskäyttöpylväeseen seinäkiinnikkeeseen tai jaksoerottimeen. Syöttöpylväät voivat syöttää useampaa ajohdintajaksoa, yleensä kaksiraiteisella linjalla kahta eri ajohdintajaksoa jaksoerottimien molemmin puolin.

Ajojohtimen sivuttaissuuntainen sijainti raiteen keskilinjaan nähden asennetaan vaihtelevaan tasaisesti noin 35 cm keskilinjan molemmin puolin. Tämä tehdään, jotta raitiovaunun virroitin laahatessaan ajohdintaa vasten kuluisi tasaisesti, eikä virroittimeen tulisi suuria paksuuden vaihteluita, jotka aiheuttaisivat vaurioita ajojohtimeen tai virroittimeen. Ajojohtimen sivuttaissuuntainen vaihtelu toteutetaan asennettaessa ajohdintaa ensin vähäisemmällä tarkkuudella ja trimmataan tarkemmin toisella kierroksella ajolankajakso kerrallaan kuvan 3 mukaisesti trimmauskelkan avulla. Trimmauskelkka asettuu raitiotiekiskoille ja näyttää ajojohtimen korkeuden sekä sijainnin sivuttaissuunnassa.



Kuva 3. Ajojohtimen trimmausta yhteiskäyttöpylvääseen kiinnitettyssä tukiorressa trimmauslaserkelkan avulla. Taustalla nähtävissä raiteen mutkassa käytettäviä sivuunvetoköysiä.

Ajojohdinjärjestelmän käyttöönottoimenpiteisiin kuuluu ajojohtimen jatkuvuuden varmistaminen ja että jännitteisten osien eristys muusta järjestelmästä on toteutettu oikein. Ajojohtimien sijainneista laaditaan trimmauspöytäkirja, josta nähdään ajojohtimen korkeus kiskon yläpinnasta ja asema raiteen keskipisteestä sivuttaissuunnassa ajojohtimen kannakkeen kohdalla. Ajojohtimen kiris-tyslaitteista ja niiden säädöistä sekä seinäkiinnikkeiden vetolujuuskokeista laaditaan myös pöytäkirjat.

4.1.4 Paluuvirtakeskukset ja paluuvirtatie

Kalasadamasta Pasilaan -hankkeella ratasähköjärjestelmän plusnapa kytketään raitiotien sähkönsyöttöaseman paluuvirtakennosta paluuvirtakeskuksen kautta raitiotiekiskoihin. Paluuvirtatien jännite on 0 voltia. Ajojohtimen ja kiskon välinen virtapiiri kulkee raitiovaunun virroittimelta sen vaihtosuuntaajalle, moottoreille

vaunun ohjauslaitteille, valoille ja lämmitykselle. Virtapiiri jatkuu raitiovaunun teräspyörien kautta kiskoon. Paluuvirtareittiin kuuluu paluuvirtakeskukset, kiskot, kiskokotelot ja niiden kaapelointi.

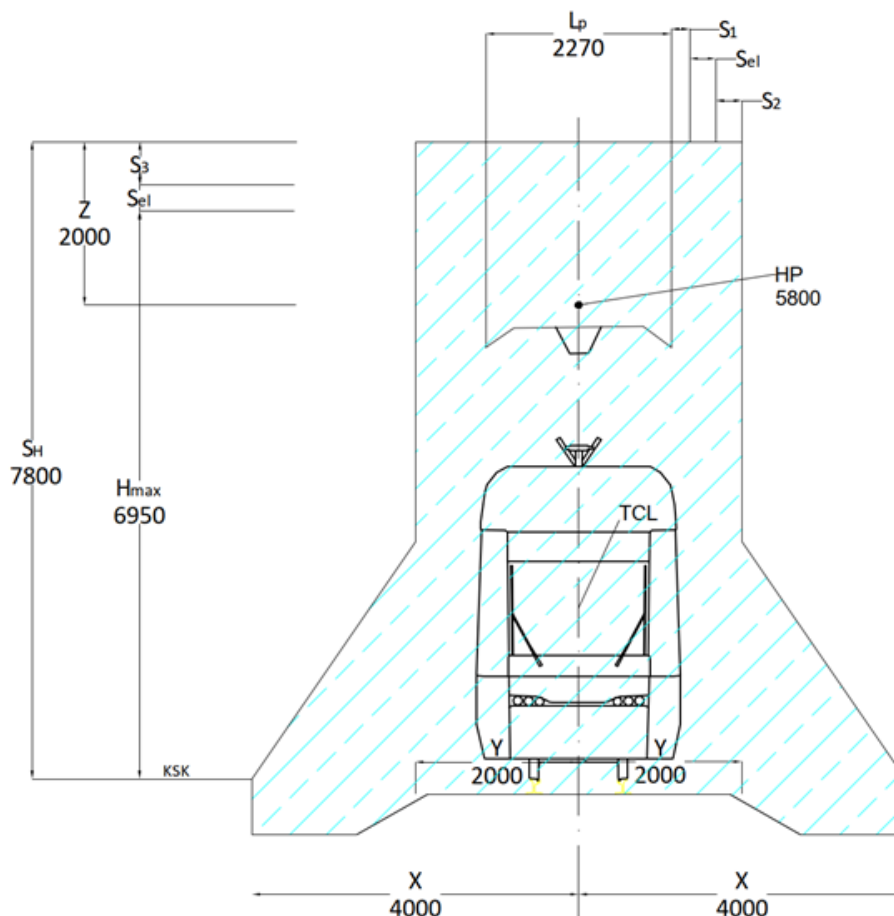
Kaupunkialueella käytetään yleisesti raitiotiekiskoina urakiskoa, joka on upotettu maahan. Koska raitiotiekiskoa käytetään ratasähköjärjestelmän paluuvirtatienä, siinä esiintyvät kiskopotentialit ja kiskon sähköinen vastus aiheuttavat hajavirtoja. Hajavirta tarkoittaa virtatien poikkeamista kiskosta vaihtoehdoiselle reitille, mikä kaupunkiympäristössä yleensä tarkoittaa kunnallisteknisiä vesijohtoja. Raitiotien tasasähköjärjestelmän takia hajavirrat aiheuttavat sähkökemiallista korroosiota, missä vaihtoehtoinen paluuvirtareitti toimii anodina ja sähkönsyöttöasemalle johtava kisko katodina, jolloin esimerkiksi vaihtoehtoisena paluuvirtareittinä toimiva metallinen vesiputki alkaa syöpyä.

Hajavirtoja ehkäistään pienentämällä kiskopotentialia esimerkiksi lyhentämällä sähkönsyöttöasemien välisiä matkoja ja lisäämällä kiskojen poikittaisyhdistyksiä sekä kasvattamalla paluuvirtatien ja maan välistä sähköistä vastusta. Sähköistä vastusta kasvatetaan raitiotien rakentamiskäytännössä siirtämällä kaupunkitekniisiä järjestelmiä pois raitiotielinjan läheisyydestä sekä eristämällä raitiotiekiskot ja siihen yhdistetyt johtavat osat maasta hajavirtaeristeen avulla. Raitiotielinjan suurin sallittu hajavirran suuruus yksiraiteisella linjalla on 2,5 mA/m ja kaksiraiteisella linjalla 5,0 mA/m. Hajavirtojen ehkäisyn vaatimuksista ja mittaamisesta raitiotien ratasähköjärjestelmässä määritetään standardissa SFS-EN 50122-2:2022. [14.]

Ratasähköjärjestelmän käyttöönotossa paluuvirtakeskuksille tehdään FAT-, SAT- ja SIT-testit ja kaapelimitaukset Raitiotiekiskoista varmistetaan hajavirtaeristyksen riittävyys mittaamalla pistekokeena ennen rakentamisen valmistamista raitiotieraiteiden ollessa vielä maksimissaan 2 kilometrin osissa. Lisäksi hajavirtamittaukset toteutetaan raitiotielinjan kaupallista liikennettä vastaavan vaunuliikennöinnin aikana. Mittaukset voidaan toteuttaa vuorokauden ajojen aikana ja laskemalla tuloksista 24 tunnin keskiarvo. Pidempi mittausaika lisää mittauksien tarkkuutta. [14, s. 25–26.]

4.2 Maadoitukset

Maadoitusten tarkoitus on estää sähköiskun mahdollisuus johtavista pinnoista luomalla huomattavasti pienemmän resistanssin reitti virralle kulkea maahan toista reittiä kuin ihmisen kautta. Raitiotiejärjestelmän läheisyydessä johtavien osien riittävä maadoitus on erittäin tärkeää ratasähköjärjestelmän luonteen takia. Tämä myös siksi, koska raitiotiejärjestelmät sijoittuvat pääosin kaupunkiympäristöön, missä ihmisiä liikkuu suuria määriä raitiotielinjan läheisyydessä. Raitiotiejärjestelmissä maadoitukset voidaan jakaa vaarallisen tilan ulottuman eli VATU-alueen sisäisiin ja ulkoisiin maadoituksiin. Kuvassa 4 on esitetty VATU-alue kannatinvajjerittoman ajojohtimen rakenteelle, missä ajojohtimen korkein sijainti on 5800 mm raitiotiekiskojen yläpinnasta.



Kuva 4. VATU-alueen mittakuva kannattimettomalle ajojohtimelle [9].

VATU-alueella rajataan alue, johon kannakkeistaan irronnut ajojohdin voi koskettaa vikatilanteessa tai onnettomuudessa. Tämän alueen sisälle sijoitettavia kosketeltavissa olevia johtavia rakenteita tulisi välttää sähköiskun riskin takia. Jos VATU-alueen sisälle kuitenkin joudutaan sijoittamaan johtavia rakenteita osittain tai kokonaan, vaaditaan erityisiä toimenpiteitä vaarallisten kosketusjännitteiden välttämiseksi [17].

Standardin SFS-EN 50122-1:2022 [18, s. 59] mukaan paras tapa estää vaaralliset kosketusjännitteet alueilla, joilla liikkuu ihmisiä, on kytkeä VATU-alueen sisälle sijoitetut johtavat rakenteet ratasähköjärjestelmän paluuvirtatiehen, jolloin ajojohtimen koskettaessa johtavaa rakennetta sähkönsyöttöaseman katkaisija laukeaa nopeasti. Johtavien rakenteiden suoraa kytkentää paluuvirtareittiin ei voida toteuttaa, jotta vältytään hajavirran aiheuttamalta korroosiolta. Tällöin johtavien rakenteiden ja ratasähköjärjestelmän paluuvirtatien välille tulee asentaa vähintään F-tyyppin jännitteenrajoituslaite eli VLD-laite, joka kytkeytyy johtavaksi, kun jännitepotentiaali sen yli kasvaa liian suureksi. [18, s. 59.]

Raitiotien maadoitusjärjestelmä kytketään omaan maadoitusverkkoonsa, erilliseen sähköverkon maadoitusjärjestelmästä. Näihin kahteen maadoitusjärjestelmään liitettyjen johtavien rakenteiden yhtäaikainen koskettaminen tulee estää. Jos maadoitusverkkojen yhtäaikainen koskettamista ei muuten pystytä estämään, tulee niiden välillä olla vähintään 2,5 metrin kosketusetäisyys.

4.3 Vaihdealue

Raitiotielinjalla raiteiden risteyskohdissa käytetään vaihteita, jotka yhdistävät erkanevat ja yhdistyvät raiteet. Vaihteita käännetään kääntölaitteiden avulla, jolloin vaunu kääntyy halutulle raiteelle. Vaihdealueen järjestelmiin kuuluu vaihteet, vaihteenohjaus- ja vaihteenlämmitysjärjestelmät sekä opastimet. Vaihteenohjaus- ja vaihteenlämmityskeskukset ovat yhteydessä liikenteenohjausvalvomon tietoliikenneverkon kautta.

4.3.1 Vaihteenohjausjärjestelmä

Vaihteenohjausjärjestelmän komponentteja ovat vaihteenohjauskeskus, kääntölaitteet, vaunun tunnistuslaitteet, kääntökomentolaitteet sekä opastimet. Vaihteita ohjataan pääosin raitiovaunun ohjaamosta sen lähestyessä vaihdetta. Vaihteen ohjaustieto siirtyy vaunusta langattomasti raiteisiin asennettujen vastaanottimien kautta vaihteenohjauskeskukselle. Vaihteen käännön turvallisuuden varmistamiseksi raiteisiin asennetaan vaunun havaitsemislaitteita vaihteen molemmille puolille. Vaunun havaitsemislaitteilla varmistetaan, ettei vaihdealueella ole vaunuja, kun vaihdetta käännetään.

Vaihteen kääntyminen vaunun ollessa vaihdealueella saattaa aiheuttaa vaunun suistumisen raiteilta. Vaihteita voidaan ohjata myös liikenneohjauskeskuksesta, jos vaihdealueella on riittävä kameravalvonta ja järjestelmä on varustettu etäkäyttöyhteydellä. Muussa tapauksessa yhteyttä liikennevalvomoon käytetään vain vaihteen toiminnan seurantaan. Tietoa vaihteiden toiminnasta välitetään raitiovaunun kuljettajalle valo-opastimin, jotka kertovat, mihin suuntaan vaihde on lukittu tai onko joko vaihde tai vaihteenohjausjärjestelmä vikatilassa.

Testausvaiheessa vaihteenohjausjärjestelmästä varmistetaan, että kääntölaitteet kääntävät vaihteet toleranssien mukaisesti, vaihteen tilan valvonta toimii sekä vaihteet lukittuvat varmasti. Myös vaunun havaitsemislaitteet ja ohjauksen vastaanottolaitteet sekä opastimien oikeat näkymät testataan. Testejä tehdään käyttöönoton aikana monessa vaiheessa alkaen FAT-testeillä tehtaalla raitiovaunujen ajoa simuloimalla ennen järjestelmän toimitusta työmaalle. Asennuksen jälkeen testejä jatketaan SAT-testeillä mittauslaitteilla ja kiskopyörämönkijällä. Lopuksi vaihteenohjausjärjestelmän vaatimustenmukainen ja virheetön toiminta varmistetaan. SIT-testeillä koeajojen aikana samanmallisella raitiovaunulla, jota tullaan käyttämään kaupallisessa liikenteessä. Vaihteita testataan kiskopyörämönkijällä ja raitiovaunulla kaikista mahdollisista suunnista ja tilanteissa, joita voisi tapahtua raitiotielinjan kaupallisen liikennöinnin alkaessa.

4.3.2 Vaihteenlämmitysjärjestelmä

Vaihteenlämmitysjärjestelmän komponentteja ovat vaihteenlämmityskeskus, sääasema, lämmitysvastukset ja vaihteen lämpötila-anturit. Vaihteenlämmityskeskuksia syötetään sähköverkosta ja lämmitysvastuksia syötetään kontaktoriohjauksella suojaerotusmuuntajien läpi. Vaihteenlämmitysvastukset asennetaan vaihteisiin niille varattuihin tiloihin.

Lämmitysvastuksia ohjataan vaihteenlämmityskeskukselta automaattisesti asetettujen lämpötilaraja-arvojen avulla. Vaihteenlämmityskeskuksen ohjausjärjestelmä valvoo vaihteen ympäristön sääolosuhteita vaihteen lähelle asennetun sääaseman avulla ja vaihteen lämpötilaa lämpötila-anturilla. Sääasema havaitsee ympäristön lämpötilan ja muut sääolosuhteet.

Vaihteenlämmitysjärjestelmästä testataan ohjauskeskus simuloimalla FAT-testeissä ja asennusten valmistuttua sähkötekniisten mittausten jälkeen testataan, että lämmitysvastukset lämpenevät, lämpötila-anturit ja sääasema näyttävät totuudenmukaisia arvoja sekä ohjauskeskus toimii vaatimusten mukaisesti.

4.4 Tietoliikenne, valvomot ja kamerat

Tietoliikennejärjestelmään kuuluu Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella raitiotiejärjestelmän valvontaan tarkoitettu TeknoNet-verkko ja raitiotielinjan kameroiden kuvansiirtoon, liikennevalojen ja katuvalojen ohjaukseen sekä pysäkkien infotauluille tarkoitettu HelNet-verkko. TeknoNet-verkolla valvotaan pysäkkikeskusten sähkönsyöttöä, järjestelmien tila- ja vikatietoja sekä ohjataan sähkönsyöttöjärjestelmää valvomolta. [15. s. 42–43.]

Tietoliikennejärjestelmän komponentteja ovat kytkimet, valokuitukaapelointi, Ethernet-kaapelointi, sekä syöttöasemien ja pysäkkikeskusten syötönvalvontalogiikka. Valvomoissa on näyttöpäätteet, joilta valvomohenkilökunta voi valvoa ja ohjata raitiotiejärjestelmiä niiden käyttöliittymien kautta. Kamerajärjestelmään

kuuluu liikennekamerat, kuitujatkoskotelot, laitekotelot sekä sähkönsyöttö valokuidulla varustettuihin kameroihin. [15. s. 42–43.]

Tietoliikenneverkkojen kytkimet parametroidaan ja testataan ennen niiden asentamista raitiotielinjalle FAT-testeissä. Kun tietoliikenneverkot on asennettu, suoritetaan kytkimien yhteystestit eli SAT-testit sekä SIT-testit, kun valvomot, kamerat ja muut tietoliikennejärjestelmään liitettävät laitteet ovat toiminnassa. Tietoliikennejärjestelmän asennukset käydään läpi yhdessä järjestelmän rakentajan, tilaajan ja suunnittelijan kanssa, kuten kuvassa 5.



Kuva 5. Kamerajärjestelmän itselleluovutuksen tarkastus kentällä.

Kameroiden toiminnasta ja suuntauksesta laaditaan asennuspöytäkirjat, jotka todistavat, että kamerakuva on esteetön, suunnattu oikein ja että kohteet, jotka loukkaavat ihmisten yksityisyyttä, on maskattu eli peitetty kamerakuvasta. Lisäksi todistetaan kamerakuvan siirron toimivan valvomoiden näyttöpäätteille.

4.5 Pysäkit

Raitiotiepysäkkien yleiseen varusteluun kuuluu pysäkkikeskus, pysäkkikatos mainostaululla ja infonäytöllä, kaapelikaivo, VLD-laite, kaiteet sekä roska-astiat. Myös raitiotielinjaa valvovien kameroiden ja muiden raitiotiejärjestelmien tietoliikenneyhteydet tulevat pysäkkikeskuksien tietoliikenneosasta. [9.]

Pysäkkikeskuksen syöttö on varustettu ylijännitesuojilla ja suojaerotusmuuntajilla. Lisäksi syöttöryhmät on varustettu sähkönsyötönvalvonnalla, mikä helpottaa kunnossapidon tehtäviä. Pysäkkikeskuksissa on myös tietoliikenneosa, johon raitiotielinjan tietoliikennekytkimet ja kuitupäätteet on sijoitettu. VATU-alueen sisällä olevat pysäkin johtavat osat tulee olla maadoitettu VLD-laitteen kautta raitiotien paluuvirtakiskoon. [23.]

Raitiotiejärjestelmien käyttöönotossa pysäkkikeskuksille suoritettavien FAT-testin ja sähkötekniisten mittausten lisäksi varmistetaan tietoliikennelaitteiden ja sähkönsyötönvalvonnan toiminta.

4.6 Liikennevalot

Raitiotielinjan risteytyessä muun liikenteen kanssa turvallisoin tapa toteuttaa liikennejärjestelyt ovat liikennevalot. Risteyksissä, joiden läpi kulkee raitiotielinja, liikennevalojärjestelmä antaa raitiovaunulle etuajo-oikeuden. Liikennevalojärjestelmään kuuluu liikennevalopylväät, opastimet, liikennevalokeskukset, kevyen liikenteen painonapit, ajohodinanturit, tunnistinsilmukat ja -laitteet.

Liikennevalojärjestelmän käyttöönotossa testataan järjestelmän toimintaa koeajojen aikana, jotta voidaan todentaa liikennevaloristeyksen turvallisuus ja etuisuudet raitiotieliikenteen kanssa [9].

4.7 Varikot

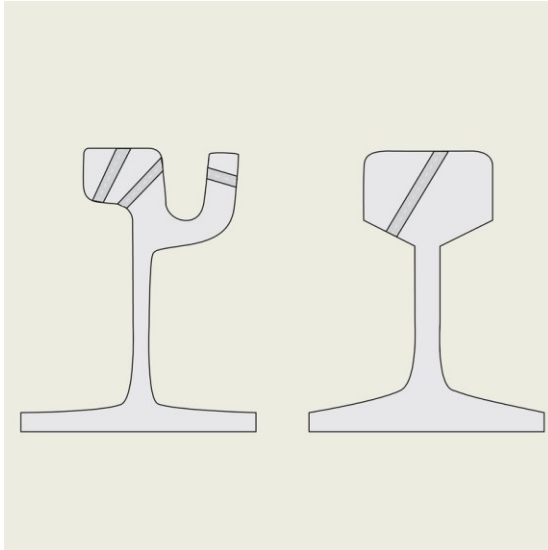
Raitiovaunuvarikoilla säilytetään ja huolletaan raitiovaunuja, kun ne eivät ole liikenteessä. Varikot ovat suuria järjestelmäkokonaisuuksia, joissa yleensä on oma sähkönsyöttöasema ratasähköjärjestelmää varten. Lisäksi varikoilla on suuri määrä vaihteita, jotta raitiovaunuja pystytään siirtämään huolto- ja säilytysraiteilta toisille. Raitiovaunuvarikolla jokaisella raiteella on oma käyttötarkoituksensa, kuten raitiovaunujen huoltoa varten pesuraiteet, sorviraiteet vaunun pyörien kunnostusta varten, yleisiä huoltoraiteita päivittäishuolloille ja raskashuolloille sekä säilytysraiteita raitiovaunuille. Lisäksi raitiovaunuvarikoilla on raitioteiden radan kunnossapidon työvaunujen säilytys- sekä kunnossapitoraitteet. [18.]

Varikon ratasähkö-, vaihteenohjausjärjestelmien sekä raiteiden käyttöönotot toteutetaan samalla tavalla kuin raitiotielinjalla, mutta standardissa SFS-EN 50122-1 2022 [17. s. 51] asetetaan lisävaatimuksia varikon työalueiden suojaamiseksi sähköiskun vaaralta. Varikon järjestelmien käyttöönotossa varmistetaan niiden turvallinen toiminta ja vaatimustenmukaisuus FAT-, SAT- ja SIT-testeillä.

4.8 Kiskonvoitelu

Raitiovaunun liikkua tiukassa mutkassa kiskoilla kiskon ja raitiovaunun kiskopyörien kosketus aiheuttaa kirskunaa, joka häiritsee raitiotielinjan lähistöllä asuvia kohtuuttomasti. Kirsunnan ehkäisemiseksi voidaan käyttää automaattirasvauslaitteita, jotka pumppaavat kiskon uraan rasvaa vähentämään kirskunaa. [19.]

Kiskonvoitelujärjestelmään kuuluu pumppauslaitteet, kiskokotelot, rasvanjakajat, rasvasäiliöt ja ajojohdinanturit. Ajojohdinanturin havaitessa raitiovaunun virroittimen kiskonvoitelujärjestelmän pumppauslaite pumppaa voiteluainetta rasvasäiliöstä rasvanjakajien kautta kiskokoteloille. Kiskokoteloissa voiteluaineletkut on liitetty kuvan 6 mukaisesti kiskon läpi porattuihin reikiin. Kiskonvoitelujärjestelmän vaatimustenmukaisuus todennetaan SAT-testeillä asennusten jälkeen ja SIT-testeillä koeajojen aikana.



Kuva 6. Ura- ja Vignole -kiskon poikkileikkauksissa kuvatut kiskonvoitelureiät [20].

5 Koeajot

Raitiotiejärjestelmän käyttöönoton kriittisin vaihe on koeajot, joissa uudella raitiotielinjalla ajetaan ensimmäistä kertaa raitiovaunuilla, joita linjalla tullaan käyttämään kaupallisen liikenteen alkaessa. Raitiovaunulla voidaan todentaa raitiotielinjan järjestelmien yhteistoiminta, raiteiden vaatimustenmukaisuus ja ajojohtimen toiminta vaunun virroitimen liikkeessä sitä vasten.

5.1 Koeajojen turvallisuus

Raitiotiejärjestelmän koeajojen turvallisuuden kannalta keskeisiä seikkoja ovat liikennöinti raitiovaunulla ja ratasähköjärjestelmän toiminta. Ennen koeajojen aloittamista raitiotiehankeen henkilöstön tulee tunnistaa mahdolliset riskit ja mahdollisuudet sekä suunnitella, miten nämä riskit vältetään tai minimoidaan. Koeajojen turvallisuuden varmistamiseksi hankkeen pitää osallistaa riittävästi asiantuntijoita tarvittavilta osaamisalueilta, jotta mahdolliset riskit tunnistetaan. [18. s. 3.]

Turvallisuuden kannalta on tärkeää varmistaa tiedonkulku koeajojen avainhenkilöiden kesken. Koeajon ollessa käynnissä viestintä hoidetaan radiopuhelimilla, joita on vähintäänkin raitiovaunun kuljettajalla, koeliikenteen johtajalla, sähköturvallisuuden valvojalla, liikenteenohjaajien ryhmänjohtajalla ja raitiovaunun liikkettä ja raitiotiejärjestelmän toimintaa tarkkailevalla kävelyryhmällä. Kalasatamasta Pasilaan -hankkeella raitiovaunun kuljettajalla oli myös vaunuradiolla yhteys liikenteenohjausvalvomoon, josta saatiin yhteys tarvittaessa Kaupunkiliikenne Oy:n kunnossapidon raivausyksikköön. Radiopuhelimilla tiedotetaan raitiovaunun liikkumisesta, sen pysäyttämistä sekä koeajossa havaituista häiriö- ja ongelmatilanteista olosuhteissa, työmenetelmissä tai raitiotiejärjestelmissä. [9. s. 10–11; 19.]

Lisäksi viestintäkanavia tarvitaan koeajojen henkilöstölle koeajojen etenemisen tiedottamisesta ja sähkönkäytön johtamiselle, jossa viestitään hankkeen sähkötöiden johtajan, sähkönkäytön johtajan ja käyttöönottoryhmän kesken tarvittavista jännitekatkoista ja työmaadoituksista [9. s. 10].

Koeajojen aikana tulee varautua myös mahdollisiin liikenneonnettomuuksiin tai muihin kriisitilanteisiin, joissa toimivat viestintäkanavat ja koeajojen henkilöstön perehdyttäminen nopeuttavat pelastustoimia sekä mahdollisesti vähentävät henkilö-, kalusto- ja ympäristövahinkoja.

Ennen raitiotielinjan koeajojen aloitusta linjan ratasähköjärjestelmän turvallisuus on varmistettu, siihen on kytketty jännite ja testattu automaattisen poiskytkennän sekä erottimien toiminta. Sähköturvallisuuden kannalta on tärkeää, ettei raitiotielinjalla työskennellä ajojohtimen vaikutusalueella, kun ratasähköjärjestelmään on kytketty jännite. Ajojohtimen läheisyydessä on mahdollisesti korjaus- tai rakennustöitä koeajojen aikana, mikä vaatii jännitekatkon ja työmaadoituksen. Hankkeen ja käyttöönotettavan raitiotielinjan läheisyydessä toimivien rakennustyömaiden henkilöstöt tulee perehdyttää jännitteisen ajojohtimen läheisyydessä työskentelyyn sekä jännitekatkopyyntöihin. [10. s. 10–14.]

Sähköturvallisuuden varmistamiseksi sähkönkäytön valvontaan nimetään sähkönkäytön johtaja sekä käyttöä valvova henkilö, jotka suunnittelevat mahdolliset rakennettavan raitiotielinjan alueella tarvittavat jännitekatkot ja aikatauluttavat ne koeajoaikataulun ja muiden ratasähköjärjestelmän testien kanssa. [10. s. 5.]

Raitiotielinjan sijoituessa pääosin kaupunkiympäristöön ei voida välttyä linjan risteämiseltä rengasliikenteen ja kevyen liikenteen kanssa tai raitiotielinjan kulkemista suoraan autotiellä. Nämä ovat koeajoissa todennäköisimpiä kohtia onnettomuuksille tai vaaratilanteille etenkin, jos alueella ei aikaisemmin ole raitiotieliikennettä ollut. [19. s. 24.] Koeajojen suunnittelussa tulisi tunnistaa nämä vaaralliset kohteet rakennetulta linjalta ja asettaa niille liikenteenohjaus liikenteenohjaajien avulla koeajojen ajaksi, kunnes voidaan todeta linjan liikennejärjestelyjen turvallisuus. Ennen koeajojen aloitusta tulee myös varmistaa, että aukean tilan ulottuma eli ATU-alue on vapaa [18. s. 3]. ATU-alue määrittää tarvittavan alueen raitiovaunulle ja sen peileille ottaen huomioon huojuntavaran sekä kaarteissa vaaditun suuremman tilantarpeen [14].

5.2 Koeajojen suunnittelu ja testattavat kohteet

Koeajojen suunnittelu tulee aloittaa hyvissä ajoin ennen raitiotielinjan rakentamisen valmistumista ja koeajojen aloittamista [8]. Suunnittelun alussa tunnistetaan raitiotielinjan järjestelmät ja laitteet, jotka pitää testata, sekä luodaan suunnitelmat, miten järjestelmien ja laitteiden vaatimusten mukainen toiminta testataan ja todennetaan. Testisuunnitelmien pohjalta voidaan luoda koeajoaikataulu ja turvallisuussuunnitelmat. [26.]

Koeajoaikataulussa tulee huomioida testauksien päiväkohtaiset tarpeet kalustolle, raitiovaunujen kuljettajille ja testattavien järjestelmien asiantuntijoille. Vau-nukalustossa tulee tunnistaa järjestelmien vaatimukset raitiovaunun varustukselle esimerkiksi vaihteenohjausjärjestelmän tiedonsiirtolaitteista. [19. s. 3.]

Koeajoissa testataan aina ratasähköjärjestelmän toimivuus ja kuormitettavuus sekä raitiovaunun liikkuminen kiskoilla. Lisäksi testataan rakennetulla

raitiotielinjalla sijaitsevien pysäkkilaiturien etäisyydet vaunuista, liikennevalojärjestelmät, kiskonvoitelujärjestelmät, vaihteenohjausjärjestelmät sekä vaihteiden toiminta, koska näiden toimintaa ei voida todentaa ilman koeajoja. [9.] Kuvassa 7 on esitettyä raitiovaununupysäkin tarkastus.



Kuva 7. Raitiovaunu pysäkillä koeajojen aikana.

Koeajot tulee aikatauluttaa niin, että rakennetulle raitiotielinjalle saadaan riittävästi ajoja, jotta voidaan löytää myös sellaiset viat, jotka eivät esiinny jokaisella ajokerralla [23]. Lisäksi koeajojen väliin tulee varata päiviä koeajoissa esiin tulleiden vikojen korjaamiselle ja näihin korjauksiin tulee varata henkilöresursseja ja varaosia koeajojen sujuvan etenemisen varmistamiseksi. Koeajoaikataulua suunnitellessa tulee myös huomioida koeajojen vaikutus rakennetun raitiotielinjan ympäristöön ja sen asettamat reunaehdot koeajojen aikatauluun. [21.]

6 Käyttöönoton riskit ja mahdollisuudet

Raitiotiejärjestelmän rakentamisessa riskit ovat yleisesti aikataulullisia, laadullisia tai kustannuksellisia. Muita mahdollisia riskejä on esimerkiksi, ettei raitiotielinja valmistuessaan saavuta suunniteltuja tavoitteita liikennöintikapasiteetin kannalta. Lisäksi raitiotiejärjestelmän sijoittuminen tiheään kaupunkiympäristöön aiheuttaa turvallisuusriskejä.

Monivuotisen hankkeen osalta käyttöönoton riskejä ovat esimerkiksi henkilöstön vaihdokset, jolloin on riski tiedon katoamisesta hankeorganisaatiosta. Henkilöstövaihdokset voivat aiheuttaa esimerkiksi tuotannon laadun alenemista tai sovitujen asioiden unohtumista. Hyvällä dokumentaatiolla ja toimivalla tiedonjaolla henkilöstön vaihdos voi muuttua mahdollisuudeksi, kun uusi henkilö hankkeella saa kokemusta raitiotiejärjestelmistä ja niiden rakentamisesta. Suomessa on tarve raitiotiejärjestelmien asiantuntijoille, kun raitiotiehankeiden määrä on ollut viime vuosina suuressa kasvussa [27].

Aikataulullinen riski hankkeen venymisestä rakennus- tai käyttöönottovaiheissa voi aiheuttaa hankkeelle merkittäviä kustannuksia esimerkiksi projektiorganisaation ylläpidossa, työmaakustannuksissa sekä mahdollisissa sopimussanktioissa. Lisäksi hankkeen pitkittynyt vaikutus ympäristöön liikennejärjestelyillä ja työmaatoiminnalla tuo negatiivista medianäkyvyyttä. Hankkeen valmistuessa etuajassa voidaan projektiorganisaatio ja työmaaorganisaatio purkaa etuajassa mikä tuottaa hankkeelle säästöjä, ja raitiotien kaupallinen liikennöinti on mahdollista aloittaa suunniteltua aikaisemmin. Raitiotien valmistuessa myös liikenne normalisoituu uusien liikennejärjestelyiden mukaiseksi ja tuo alueella liikkujille uuden liikkumismahdollisuuden. [8.]

Riskinä on myös, että raitiotiejärjestelmän käyttöönoton aikana ei löydetä piileviä vikoja, jotka siirtyvät korjattaviksi kaupallisen liikenteen aikana, mikä on huomattavasti kalliimpaa kuin rakennus- ja käyttöönottovaiheessa. Liikennöinnin aikana esiintyvät viat voivat aiheuttaa myös mainehaitan ja pahimmassa tapauksessa onnettomuuden. [27.]

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin raitiotiejärjestelmän käyttöönottoa. Tietoa ja osaamista kerättiin osallistumalla aktiivisesti raitiotiejärjestelmän rakennuksen aikaiseen dokumentointiin sekä käyttöönoton suunnitteluun. Insinööriyön pohjana käytettiin käytännön oppeja, asiantuntijoiden haastatteluja sekä asiaa käsittelevää kirjallisuutta. Työn tarkoituksena oli koota kattava tietopaketti, jolla

koko raitiotiehankehen henkilöstölle voidaan tuoda tietoisuutta raitiotien teknisistä järjestelmistä, auttaa hahmottamaan hankkeen lopputavoite ja se, miten he voivat edesauttaa tämän lopputavoitteen saavuttamista.

Onnistuneen hankkeen kulmakivenä on, että koko hankeorganisaatiolla on hankkeen lopputavoite tiedossa sekä mitä toimenpiteitä tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan. Suomessa vallitsevan raitiotiejärjestelmien osaajatarpeen vuoksi uusien ammattilaisten perehdyttäminen raitiotiejärjestelmien toteutukseen on tärkeää, jotta koko ajan kasvavaan raitiotieinfraan saataisiin riittävästi osaavaa henkilöstöä myös tulevaisuudessa.

Tutkimusta tehdessä ja raitiotiejärjestelmän käyttöönottoon osallistuessa selvisi, ettei raitioteiden rakentamisesta ole kovinkaan paljon kirjallisuutta ja että tieto raitiotiejärjestelmän laajuudesta on vain hankkeen henkilöillä, jotka ovat suoraan tekemisissä raitiotiejärjestelmän tekniikkalajien kanssa. Jotta raitiotiehankehen kokonaisaikataulu voitaisiin suunnitella mahdollisimman tarkasti ja ennustuksissa onnistua, pitäisi hankkeen henkilöstöllä olla vähintäänkin yleistasonen ymmärrys raitiotiejärjestelmästä.

Useimmilla raitiotiehankeilla, etenkin niillä, joihin liittyy paljon pohja- ja katurakentamista, on raitiotiejärjestelmän asiantuntijoita ennen toteutusvaiheen alkua vähän. Tällöin riskinä on, että teknisten järjestelmien rakentamisen tarpeita ei yhteensoviteta rakentamisen suunnittelussa. Raitiotiejärjestelmän on kriittinen osa hankkeen kokonaisuutta sen rakentamisen ja käyttöönoton suunnittelun aloittaminen keskellä hanketta tuottaa haasteita ja tuotannon käynnistäminen voi viedä paljon aikaa tai alkaa aikataulusta myöhässä.

Kun enenevässä määrin raitiotiehankeita saadaan valmiiksi ja uusien hankkeiden kehitysvaiheita aloitetaan, saadaan Suomeen perehdytettyä uusia raitiotiejärjestelmien asiantuntijoita sekä raitioteiden rakentamisen ja käyttöönoton prosessit kehittyvät. Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen kaksoisallianssi antoi monille raitiotiejärjestelmien rakentamiseen ja käyttöönottoon osallistuneille

ammattilaisille mahdollisuuden kasvattaa osaamistaan ja viedä oppejaan tuleville hankkeille.

Mielestäni tässä insinööriyössä käsitellään, miten raitiotien teknisten järjestelmien rakentamiseen tulisi varautua ja ottaa rakentamisen ja käyttöönoton tarpeet huomioon hyvissä ajoin. Tämän insinööriyön sisältöä voisi vielä laajentaa projektinhallinnan menetelmien soveltamiseen raitiotiejärjestelmän käyttöönotossa. Työn päätavoitteena oli osoittaa, että raitiotien teknisten järjestelmien käyttöönotto alkaa hankkeen alussa.

Lähteet

- 1 Raitiovaunut 2020-luvulla. Verkkoaineisto. HSL Helsingin seudun liikenne. <<https://www.hsl.fi/hsl/suunnittelu/raitiovaunut-2020-luvulla>>. Luettu 13.10.2023
- 2 Raitiotiet kaupunkikehityksen instrumenttina. 2023. Verkkoaineisto. DESTIA oy. <<https://www.destia.fi/app/uploads/2023/10/Raitiotiet-kaupunkikehityksen-instrumenttina-Destia-Green-Paper.pdf>>. 10/2023. Luettu 10.10.2023.
- 3 Kalasatamasta Pasilaan -hankkeen toteutussuunnitelma. 2021. Verkkoaineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke. <https://www.kalasatamastapasilaan.fi/wp-content/uploads/2021/11/KAPA_Toteutussuunnitelma_FINAL.pdf>. 11/2021. Luettu 11.10.2023.
- 4 Kesenci Mikail. 2023 Puheenvuoroja pikaraitiotien rakentamisesta. Käyttöönotto: Suunnittelu ja toteuma. Seminaariesitys. Raide-Jokeri-Seminaari 7.11.2023.
- 5 Hanketietoa. Verkkoaineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke. <<https://www.kalasatamastapasilaan.fi/hanketietoa/>>. Luettu 22.9.2023.
- 6 Yli-Villamo Harri, Petäjäniemi Pekka. 2013. Allianssimalli. Verkkoaineisto. Suunnittelu- Ja konsultointiyrietykset SKOL ry. <<https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/Allianssimalli.pdf>>. 2013. Luettu 24.9.2023.
- 7 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Destia Oy. <<https://www.destia.fi/tietoa-meista/>>. Luettu 24.5.2024.
- 8 Kari, Sami. 2023. Tuotantopäällikkö. Kalasatamasta Pasilaan-hanke, Sörkan spora-allianssi, Destia Oy. Haastattelu 23.10.2023.
- 9 Käyttöönottosuunnitelma REV. 1.1. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan-hanke.
- 10 Raitiotien teknisten järjestelmien käyttöönottoprosessi. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 11 Teknisen koeliikenteen turvallisuussuunnitelma. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 12 Teknisen koeliikenteen sähköturvallisuussuunnitelma. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.

- 13 Ratasähkö - Raitioteiden suunnitteluohje. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki <<https://raitiotieohje.fi/ratasahko>> Luettu 16.3.2024.
- 14 SFS-EN 50122-2:2022. Railway applications. Fixed installations. Electrical safety, earthing and return circuit. Part 2: Provisions against the effects of stray currents by DC traction systems. Suomen Standardisoimisliitto.
- 15 SFS 6000-5-54:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 Loppukäyttäjien perehdytysaineisto. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 17 Raitiotien tilavaatimukset – Raitioteiden suunnitteluohje. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://raitiotieohje.fi/tilavaatimukset-2/>>. Luettu 10.5.2024.
- 18 SFS-EN 50122-1:2022. Railway applications. Fixed installations. Electrical safety, earthing and return circuit. Part 1: Protective provisions against electric shock. Suomen Standardisoimisliitto.
- 19 Raitiovaunuvarikot. Verkkoaineisto. Kaupunkiliikenne Oy. <<https://kaupunkiliikenne.fi/liikennointi/raitiovaunulla/raitiovaunuvarikot/>>. Luettu 10.5.2024.
- 20 Kaupunkiliikenne lisää rasvausta pikaratikan reitin varrelle. Verkkoaineisto. Kaupunkiliikenne Oy. <<https://kaupunkiliikenne.fi/kunnossapito-ja-rakentaminen/kaupunkiliikenne-lisaa-rasvausta-pikaratikan-reitin-varrelle/>>. Luettu 10.5.2024
- 21 Rail lubrication through lubrication holes. Verkkoaineisto. SKF AB <<https://www.skf.com/group/industries/railways/solutions/lubrication-holes>>. Luettu 10.5.2024.
- 22 Maadoitus- ja sähköturvallisuusohje. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 23 Raitiotiepysäkkien sähkötekniinen varustelu. 2023. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.
- 24 KAPA Koeajosuunnitelma. 2024. Hankkeen sisäinen aineisto. Kalasatamasta Pasilaan -hanke.

- 25 Vasarainen Heidi. 2021. R2021-S1 Teematutkinta kaupunkiraideliikenteessä tapahtuneista onnettomuuksista ja vaaratilanteista. Verkkoaineisto. Onnettomuustutkintakeskus. <https://www.turvallisuustutkinta.fi/material/users/heidi.vasarainenaom.fi/otkes/ij43t9cyg/R2021_S1_Kaupunkiraideliikenne_FI.pdf>. 2021. Luettu 10.5.2024.
- 26 Nieminen, Janne. 2023. Käyttöönottopäällikkö, Kalasatamasta Pasilaan-hanke, WSP Oy. Haastattelu 6.11.2023.
- 27 Rintala, Veli. 2023. Käyttöönottopäällikkö, Kalasatamasta Pasilaan-hanke, Kaupunkiliikenne Oy. Haastattelu 8.11.2023.