



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Elmo Pellava

Pikaraitiotietunnelin sähkö- ja teknisten järjestelmien yhteiskäyttöttestaaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

7.4.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Elmo Pellava Pikaraitiotietunnelin sähkö- ja teknisten järjestelmien yhteiskäyttöttestaaminen 43 sivua 7.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	Projektipäällikkö Jorma Aitamurto Vanhempi lehtori Timo Kasurinen
<p>Tämä insinööriytyö tehtiin Raide-Jokeri-allianssille NRC Group Finlandin alaisuudessa. NRC Group Finland (entinen VR Track) on suomalainen infra-alan rakennusliike ja suunnittelutoimisto sekä Suomen suurin radanrakentaja. Raide-Jokeri-allianssi rakentaa Espoon ja Helsingin alueelle 25 kilometriä pitkän Jokeri-pikaraitiotielinjan. Raide-Jokerin sähkö- ja teknisten järjestelmien käyttöönottoryhmä tarvitsi esisuunnitelman, jossa kartoitetaan käyttöönotettavia järjestelmiä ja järjestelmien välisiä sidoksia sekä perehdytään yhteiskäyttöttestaamisen vaatimuksiin.</p> <p>Insinööriytyön alussa käydään läpi Raide-Jokeri-hanketta ja allianssimallia. Seuraavaksi esitellään Patterinmäen pikaraitiotietunneliin rakennettavat sähkö- ja tekniset järjestelmät. Luvuissa kerrotaan järjestelmien ominaisuuksista ja säädöksistä Tämän jälkeen käsitellään yhteiskäyttöttestaamisen merkitystä ja prosessia sekä yhteiskäyttöttestaamiseen liittyviä lakeja, määräyksiä ja standardeja. Lopuksi käsitellään yhteiskäyttöttestaamista Raide-Jokerilla ja käydään läpi yhteiskäyttöttestaamisen prosessi esimerkin kautta.</p> <p>Lopputuloksena insinööriytyö toimii hankkeen käyttöönoton esisuunnitelmana, jonka pohjalta suunnitelmia voidaan alkaa tuottamaan ja jatkojalostamaan. Insinööriytyö toimii myös perehdyttävänä dokumenttina hankkeella työskenteleville henkilöille, jotka eivät ole perehtyneet yhteiskäyttöttestaamiseen tai tässä työssä käsiteltyihin sähkö- ja teknisiin järjestelmiin.</p>	
Avainsanat	Raide-Jokeri, pikaraitiotie, yhteiskäyttöttestaaminen, SIT

Author Title Number of Pages Date	Elmo Pellava Integration Testing of Electrical and Technical Systems of a Light Rail Tunnel 43 pages 9 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Jorma Aitamurto, Project Manager Timo Kasurinen, Senior Lecturer
<p>This study was done for Raide-Jokeri-alliance, at the service of NRC Group Finland. Raide-Jokeri-alliance consists of four design & construction companies together with the client cities of Helsinki and Espoo. Together the alliance will plan and implement a 25 km long light rail line between Itäkeskus, Helsinki and Keilaniemi, Espoo.</p> <p>The purpose of this study was to survey and develop the system integration testing process of electrical and technical systems located in a tunnel section. The purpose of the system integration tests is to certify the quality of constructed systems, that they are in accordance with the plans and the functionality of all interfaces among all systems and sub-systems.</p> <p>The beginning of this thesis is about the Jokeri-light rail as a project. Later all the systems concerning the testing of the tunnel section will be described thoroughly. The later sections will go through the philosophy of system integration testing and the procedures of taking the testing into practice.</p> <p>The results of this study are documented guidelines to the design process of integration testing. The results are meant to be used as a guide for more precise test planning and as an introduction document for project employees.</p>	
Keywords	Jokeri, Light rail, Commissioning, SIT

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Raide-Jokeri	2
2.1	Raide-Jokeri hankkeena	3
2.2	Artic XL -kalusto	5
2.3	Pikaraitiotiet maailmalla	7
3	Raitiotietunnelin sähkö- ja tekniset järjestelmät	8
3.1	Sähkönsyöttö ja sähkönsyöttöasemat	8
3.2	Ajojohdinjärjestelmä	13
	Ajojohdinjärjestelmä tunnelissa	16
	Tunnelin hätämaadoitusjärjestelmä	19
3.3	Tietoliikenne	20
3.4	Testivalvomo	20
3.5	Kameravalvonta	21
3.6	Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmä	22
4	Yhteiskäyttötestaaminen	25
4.1	Testaamisen merkitys	25
4.2	Lait, määräykset ja standardit	27
4.3	Yhteiskäyttötestaamisen prosessi	27
	Suunnittelu ja hankinta	28
	Tavoitteiden tarkastelu ja testisuunnitelmien laatiminen	29
	Järjestelmien integrointi ja testien suorittaminen	31
	Testien dokumentointi ja hyväksyntä	32
5	Patterimäen tunnelin yhteiskäyttöttestien suunnittelu	33
5.1	Työskentelymallit	34
5.2	Tunnelin yhteiskäyttöttestaaminen	35
	Testaaminen ilman vaunukalustoa	36

Tekninen koeliikenne	38
Riskien ja ongelmatilanteiden hallinta	39
5.3 Esimerkki järjestelmän yhteiskäyttötestien prosessista	39
6 Yhteenveto	43
Lähteet	44

Lyhenteet

SIT	System Integration Testing. Järjestelmäintegraatiotestaaminen, eli yhteensovitettavien järjestelmien testaaminen.
FAT	Factory Acceptance Test. Järjestelmälle tai laitteelle suoritettava tehdas-testi.
HKL	Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos
HSL	Helsingin seudun liikenne
kV	Kilovoltti, tuhat volttia.

1 Johdanto

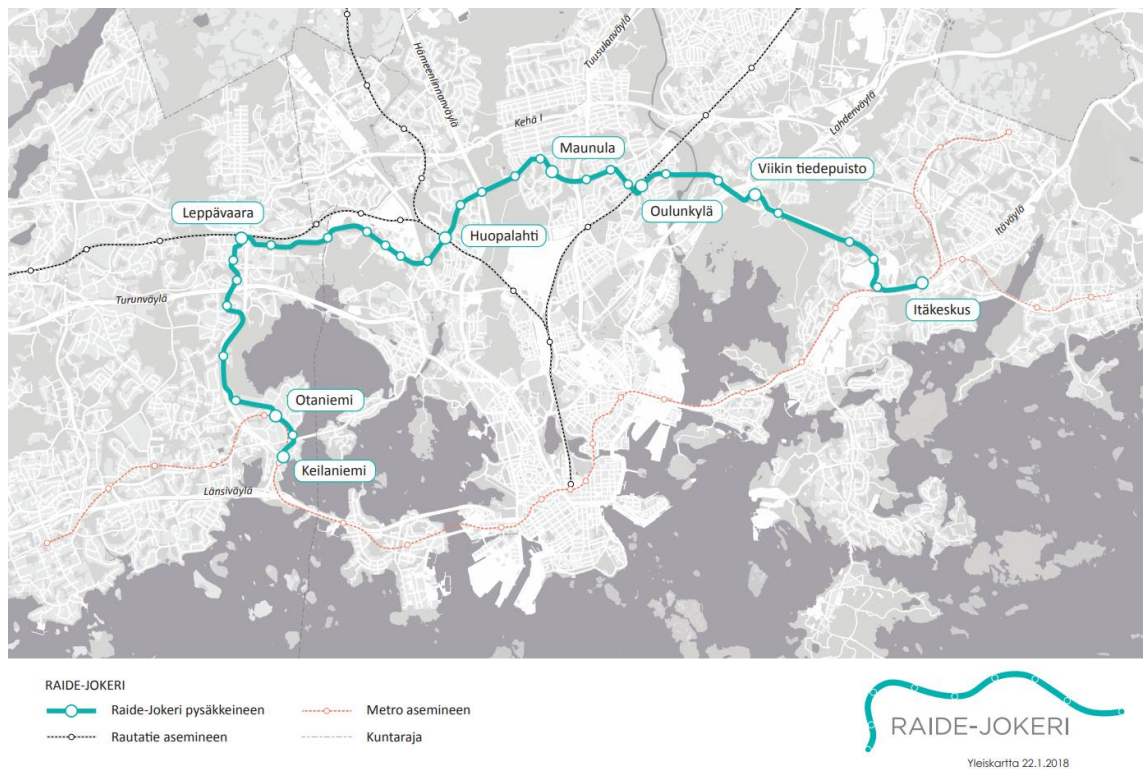
Tämä insinööriyö tehtiin Raide-Jokeri-allianssille NRC Group Finlandin alaisuudessa. NRC Group Finland (entinen VR Track Oy) on yksi Suomen suurimmista infra-alan rakennusliikkeistä ja suunnittelutoimistoista sekä Suomen suurin radanrakentaja. Yritys on osana Raide-Jokeri-allianssia, joka rakentaa uuden Raide-Jokeri-pikaraitiotielinjan Helsingin ja Espoon kaupunkien alueelle vuosina 2019 - 2024.

Insinööriyön tavoitteena oli kehittää Raide-Jokeri-pikaraitiotielinjaa varten rakennettavan Patterimäen tunnelin sähkö- ja teknisien järjestelmien yhteiskäyttötestaamisen suunnittelua. Insinööriyötä tullaan käyttämään hankkeen käyttöönoton esisuunnitelmana sekä perehdyttävänä dokumenttina hankkeen työntekijöille, jotka eivät tunne yhteiskäyttötestaamista tai insinööriyössä käsiteltäviä järjestelmiä. Yhteiskäyttötestaaminen tarkoittaa useiden eri järjestelmien yhteentoimivuuden testaamista. Testaamista käsitellään pelkästään pikaraitiotien infran sähkö- ja teknisten järjestelmien näkökulmasta. Hankkeen keskeneräisyyden ja puutteellisten lähtötietojen takia suunnitelmia ei käsitellä aikataulun tai tarkkojen kustannusten näkökulmasta. Insinööriyön laajuus rajaa ulkopuolelleen muut tunnelia koskevat järjestelmät, kuten rakennus-, talo- ja kiinteistötekniiset järjestelmät.

Työn sisällön tarkkuuden ja laadun mahdollistavat hankkeella työskentelevien asiantuntijoiden tietotaito sekä aikaisemmat vastaavanlaiset hankkeet. Työtä varten on konsultoitu hankkeella työskenteleviä tekniikkalajivastaavia, konsultteja sekä sähkö- ja teknisten järjestelmien suunnittelijoita ja asiantuntijoita osana työn ja suunnitelmien tuottamista ja sisällön laadun todentamista. Iso osa esitettävästä asiasisällöstä on kertynyt kokouksista ja keskusteluista hankkeella työskentelevien asiantuntijoiden kanssa. Työssä on sovellettu myös hankkeella työskentelyn aikana kehittyntä osaamista hankkeeseen liittyvistä asioista.

2 Raide-Jokeri

Raide-Jokeri, Tampereen pikaraitiotien jälkeen valmistuva Suomen toinen pikaraitiolinja, rakennetaan kuvan 1 mukaisesti Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen välille. Radasta rakennetaan noin 25 kilometriä pitkä kaksiraiteinen, pääosin omalla ajoradalla kulkeva, runkobussilinja 550:n korvaaja. Runkobussilinja 550 on Helsingin seudun vilkkaimmin liikennöity bussilinja ja sen kapasiteetin on arvioitu olevan riittämätön kasvavien matkustajamäärien kuljettamiseen. Raide-Jokerin matkustajamäärien on ennustettu olevan vuonna 2040 yli 100 000 henkilöä arkivuorokaudessa. Nykyinen runkobussilinja 550 kuljettaa noin 40 000 henkilöä vuorokaudessa. Yksi Jokeri-linjalla liikennöivä Artic XL -raitiovaunu pystyy suunnitelmien mukaan kuljettamaan 170 henkilöauton tai kolmen teliussin edestä matkustajia, yhteensä 210 henkilöä. [1.]



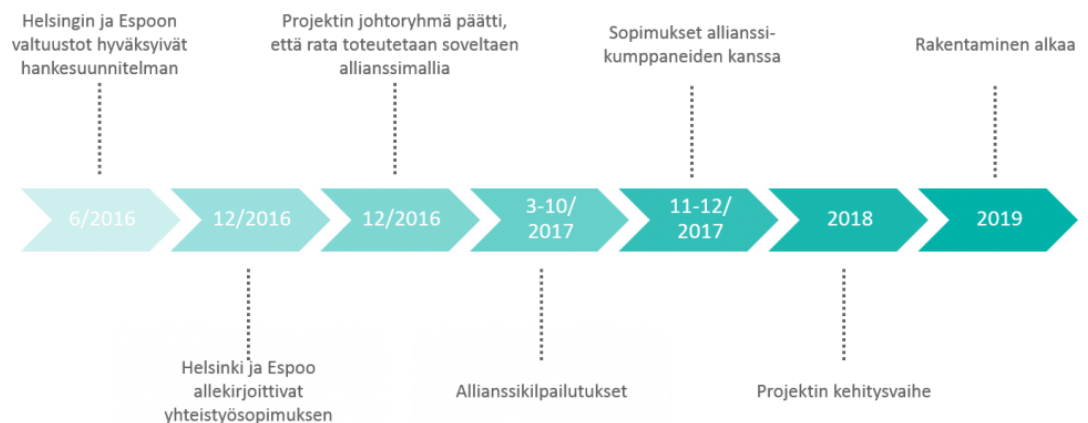
Kuva 1. Raide-Jokerin yleiskartta. [2.]

Tehtyjen ennusteiden pohjalta on arvioitu, että vuonna 2050 Helsingin seudulla noin kahden miljoonan asukkaan ja yli miljoonan työpaikan keskittymä. Väestön suuruuden

kasvaessa kaupunkien liikennettä tavoitellaan suuntautuvaksi kestäviin liikkumistapoihin, kuten joukkoliikenteeseen ja pyöräilyyn. Raide-Jokerin tavoitteena on mahdollistaa matkustajille paljon vaihtomahdollisuuksia säteittäisiin joukkoliikennelinjoihin. Linjalle rakennettavien 34 pysäkkiparin suunnittelussa on pyritty huomioimaan erityisesti juuri vaihtopysäkkien sijoittelu ja toimivuus. Pysäkkien sijoittelussa on huomioitu myös tulevaisuudessa valmistuvat asuinalueet sekä työpaikka- ja palvelukeskittymät. [3.]

2.1 Raide-Jokeri hankkeena

Vuonna 2015 julkaistu Raide-Jokerin hankesuunnitelma hyväksyttiin vuonna 2016 Helsingin ja Espoon kaupungin puolesta. Saman vuoden joulukuussa Espoo ja Helsinki allekirjoittivat yhteistyösopimuksen ja samalla projektin johtoryhmä päätti, että hanke toteutetaan allianssimuodossa. Hankkeen on tarkoitus edetä kuvan 2 mukaisella aikataululla. [4.]



Kuva 2. Hankkeen eteneminen vaiheittain. [5.]

Allianssimuotoinen toteutus muodostuu kolmesta osapuolesta: tilaajasta, suunnittelijasta sekä urakoitsijasta. Raide-Jokeri-hankkeella kukin osapuoli on monitahoinen. Kuvassa 3 kuvataan Raide-Jokeri-allianssiin osallistuvia osapuolia. Tilaajina hankkeella toimivat Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki sekä HKL. Suunnittelijoina hankkeella toimivat

Ramboll Finland Oy, Sitowise Oy sekä VR Track Oy. Urakoitsijoiksi hankkeelle valittiin VR Track Oy (7.1.2019 alkaen NRC Group Finland Oy) sekä YIT Rakennus Oy. [6.]



Kuva 3. Raide-Jokerin allianssimalli ja osallistuvat yritykset. [6.]

Hankesuunnitelmassa hankkeen rakentamiskustannuksien arvioitiin olevan 275 miljoonaa euroa. Kustannukset jaetaan Espoon ja Helsingin kaupunkien kesken suhteessa 35 % – 65 %, joka vastaa rakennettavan radan pituuden jakautumista kaupunkien puolelle, yhdeksän kilometriä Espoon puolelle ja 16 kilometriä Helsingin puolelle. [4.]

Lopullinen tavoitekustannus määritellään hankkeen kehitysvaiheen lopussa, vuoden 2019 tammikuussa. Tämänhetkisen näkemyksen mukaan tavoitekustannus tulee

nousemaan selvästi vuoden 2015 arvioista. Syyt tavoitekustannuksen kasvamiselle ovat pääasiassa suunnittelu- ja kehitysvaiheissa esiin nousseet toteutuksessa huomioitavat kustannukset, joita hankesuunnitelmassa ei ollut huomioitu riittävän tarkasti tai ei ollenkaan. Kokonaiskustannusta kasvattavia kustannuksia olivat esimerkiksi maanperätutkimusten pohjalta ilmenneet paalutettavien rakenteiden määrien kasvu. [7.]

Raide-Jokerin rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuoden 2019 aikana. Valmistumisajankohtaa ei ole vielä virallisesti vahvistettu, mutta hankkeen tavoitteena on, että liikennöinti voitaisiin aloittaa vuoden 2023 elokuussa. Viimeisenä liikenteen aloitusajankohtana pidetään vuoden 2024 kesäkuuta. Hankkeen aikataulu on tarkoitus lyödä lukkoon vuoden 2019 alussa, jonka jälkeen tavoitekustannus ja aikataulu viedään Helsingin ja Espoon kaupunkien valtuustoihin hyväksyttäväksi. [7.]

2.2 Artic XL -kalusto

Uutta Jokeri-linjaa tullaan liikennöimään Transtech Oy:n valmistamalla Artic XL -raitiovaunulla, jonka konseptia esitellään kuvassa 4. Transtech on osa Skoda Transportation -konsernia. Linjaa on tarkoitus operoida yhteensä 29 tilatun vaunun kapasiteetilla. Artic XL -malli eroaa Helsingin kantakaupungissa operoitavista Artic-vaunuista pääosin kokoluokassa ja matkustajakapasiteetissa. Artic XL-mallin vaunu on 34,5 metriä pitkä ja jatkettavissa 44 metrin pituiseksi. Matkustajapaikkojen lukumäärää on kasvatettu noin 20 prosenttia Artic-vaunujen kapasiteetista yhteensä 256 matkustajapaikkaan. Kokonaiskapasiteettia voidaan kasvattaa jopa 80 prosenttia Artic-vaunua suuremmaksi, mikäli kalustoa jatketaan 44 metrin pituisiksi. [8;9;10.]



Kuva 4. Konseptikuva Artic XL-vaunusta [10.]

Artic XL-vaunun suunnittelussa on keskitytty etenkin esteettömyyteen ja asiakaslähtöiseen palvelumuotoiluun. Transtechin vanhempi Artic-vaunu on toiminut uuden Artic XL -vaunun suunnittelun pohjana. [9.]

Jokeri-linjan raideleveys on päätetty toteuttaa 1000 mm:n raideleveydellä, jota käytetään myös Helsingin kantakaupungin raitiolinjoilla. Uusia vaunuja pystytään tarvittaessa operoimaan myös Helsingin kantakaupungin raitiotieverkossa. Ensimmäinen prototyyppi liikennöi kantakaupungin raiteilla kesällä 2020. Vaunujen suunnittelussa on hyvin tärkeää huomioida myös tekniset vaatimukset, jotka mahdollistavat pikaraitiotien suunnitelmien mukaisen operoinnin. Vaunujen huippunopeus radalla on noin 70 kilometriä tunnissa ja koko rataosuuden keskinopeus 25 kilometriä tunnissa. Etenkin keskinopeuden saavuttaminen vaatii useiden teknisten järjestelmien toimivuutta yhdessä ja erikseen. Tällaisia järjestelmiä ovat muun muassa liikennevaloetuksiin liittyvä kulunseurantajärjestelmä.

Vaunut tullaan liittämään GPS-pohjaiseen kulunseurantajärjestelmään, jolla pystytään ennakoivasti pyytämään etuus liikennevaloilla varustettuun liittymään. Ensisijainen pyyntömenetelmä etuuksille tullaan todennäköisesti toteuttamaan induktiosilmikoilla. GPS-

teknologiaan perustuva radiolinkkiteknikka toimisi kahdentavana varajärjestelmänä. Tämä mahdollistaa mahdollisimman nopean ja esteettömän liikennöinnin muun liikenteen seassa. Helsingin kantakaupungissa etuisuudet pyydetään päinvastoin ensisijaisesti radiolinkillä ja silmukka toimii varmistavana järjestelmänä. [4, s. 31; 11; 12.]

2.3 Pikaraitiotiet maailmalla

Raide-Jokeri-hankkeessa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon olemassa olevaa asiantuntijuutta. Monia suunnitteluperusteita joudutaan määrittelemään ensimmäistä kertaa ikinä, jolloin jo olemassa olevat tai rakenteilla olevat pikaraitiotiehankeet mahdollistavat arvokasta tietoa ja näkemystä Raide-Jokerin suunnittelulle. Raide-Jokerilla on vierailut asiantuntijoita eri maiden pikaraitiotiehankeiden parista. Tanskan Aarhusin pikaraitiotie aukesi liikenteelle osittain vuosina 2017–2018. Raide-Jokerin suunnittelussa on hyödynnetty Tanskasta saatua konsultaatiota. Aarhusin hanketta on esitelty Helsingissä Raide-Jokerin tiloissa Rasmus Holscherin toimesta vuonna 2018. [13.]

Suomen ensimmäinen pikaraitiotie valmistuu Tampereelle 2020-luvun alkupuolella. [14.] Hanke on muutaman vuoden edellä Raide-Jokeria, ja hankkeen suunnittelu on pidemmällä. Raide-Jokeri-hanke on tehnyt paljon yhteistyötä Tampereen raitiotien kanssa, mahdollistaen olemassa olevan tiedon käyttämistä ja suunnittelun nopeuttamista sekä suunnitteluperusteiden ja erilaisten teknisten vaatimusten määrittelyä. Hankkeen kannalta on erittäin tärkeää, että Raide-Jokerin tuotannon aikataulutuksessa ja suunnittelussa pystytään huomioimaan muiden pikaraitiotiehankeiden aikana havaitut ongelmat. Jokerilla tehdään paljon sellaista, mistä Suomessa ei ole vielä paljoa kokemusta. Tällöin ennakointi ja erilaisiin ongelmatilanteisiin varautuminen voi olla hyvin haastavaa. [15.]

Raide-Jokerin suunnittelussa on tehty yhteistyötä myös tilaajaosapuolen HKL:n kanssa. HKL (Helsingin kaupungin liikennelaitos) on avustanut suunnittelussa etenkin erilaisten poikkeustilanteiden kartoittamisessa ja niihin varautumisessa. Kantakaupungin operoinnissa sattuneisiin poikkeustilanteisiin ja skenaarioihin verratessa on helpompi varautua vastaaviin ongelmiin Raide-Jokeri-hankkeella. [15.]

3 Raitiotietunnelin sähkö- ja tekniset järjestelmät

Sähkö- ja tekniset järjestelmät ovat kokonaisuus, joka kattaa kaikki Raide-Jokerin infran toiminnallisuuden kannalta kriittiset sähköiset järjestelmät. Järjestelmät ovat pääasiassa sähkönsyöttöön, vaihteenohjauksiin ja -lämmityksiin, turvallisuuteen, liikenteenohjaukseen, matkustajainformaatioon ja tietoliikenteeseen liittyviä järjestelmiä tai laitekokonaisuuksia. Sähkö- ja tekniset järjestelmät eivät pidä sisällään esimerkiksi taloteknisiä järjestelmiä tai kiinteistönvalvontaan liittyviä järjestelmiä, kuten ovien kulunvalvontaa. Sähkö- ja tekniset järjestelmät ovat ne järjestelmät, jotka mahdollistavat kaluston ope-roinnin ja edistävät sitä uudella Jokeri-linjalla.

Suurin osa sähkö- ja teknisistä järjestelmistä on suunniteltu tai määritelty Raide-Jokeri-hankkeen hankesuunnitteluvaiheessa ja kehitysvaiheen aikana yhteistyössä Espoon ja Helsingin kaupunkien sekä HKL:n ja HSL:n kanssa. Järjestelmien tekniset vaatimukset ja toiminnalliset kuvaukset ovat Raide-Jokeri-spesifejä eivätkä välttämättä vastaa muilla vastaavanlaisilla hankkeilla käytettyjä määritelmiä. Kaikki järjestelmät pyritään suunnittelemaan mahdollisimman turvallisiksi, toimiviksi ja kustannustehokkaiksi ratkaisuiksi.

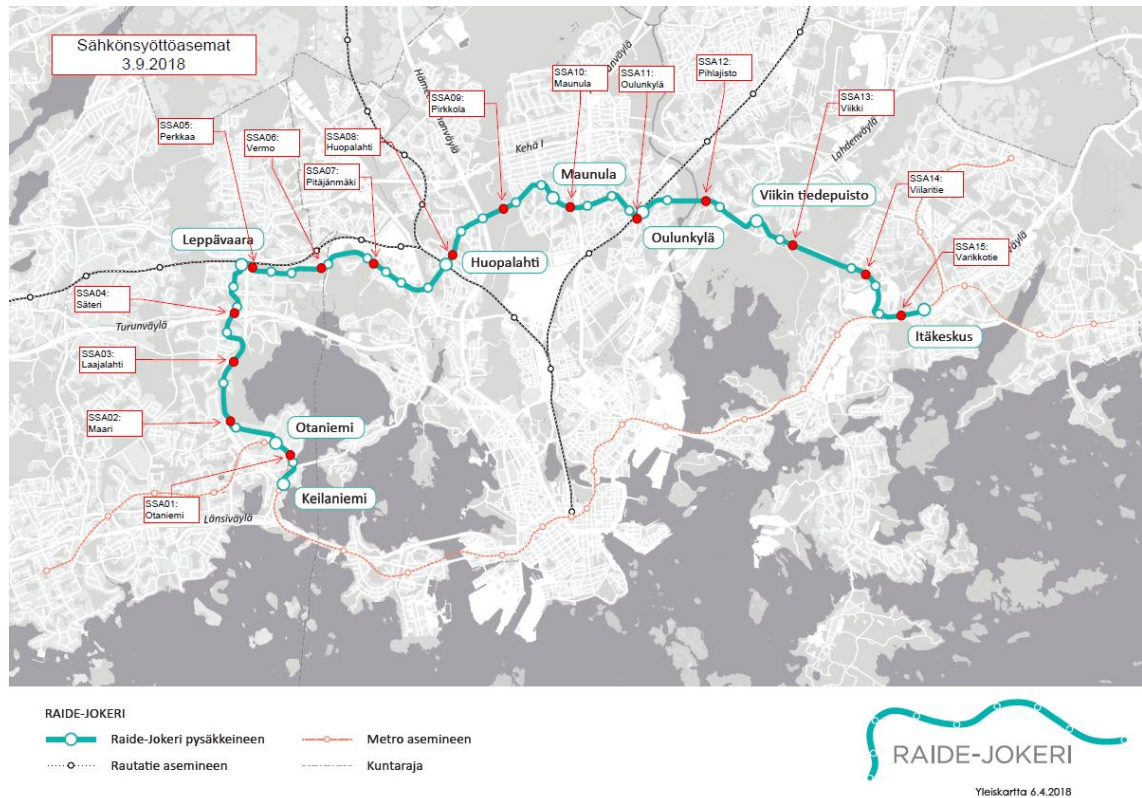
Patterimäen tunnelin sähkö- ja tekniset järjestelmät ovat:

- sähkönsyöttöjärjestelmä
- ajojohdinjärjestelmä
- tietoliikennejärjestelmät
- kameravalvontajärjestelmä
- liikenteenohjausjärjestelmä.

3.1 Sähkönsyöttö ja sähkönsyöttöasemat

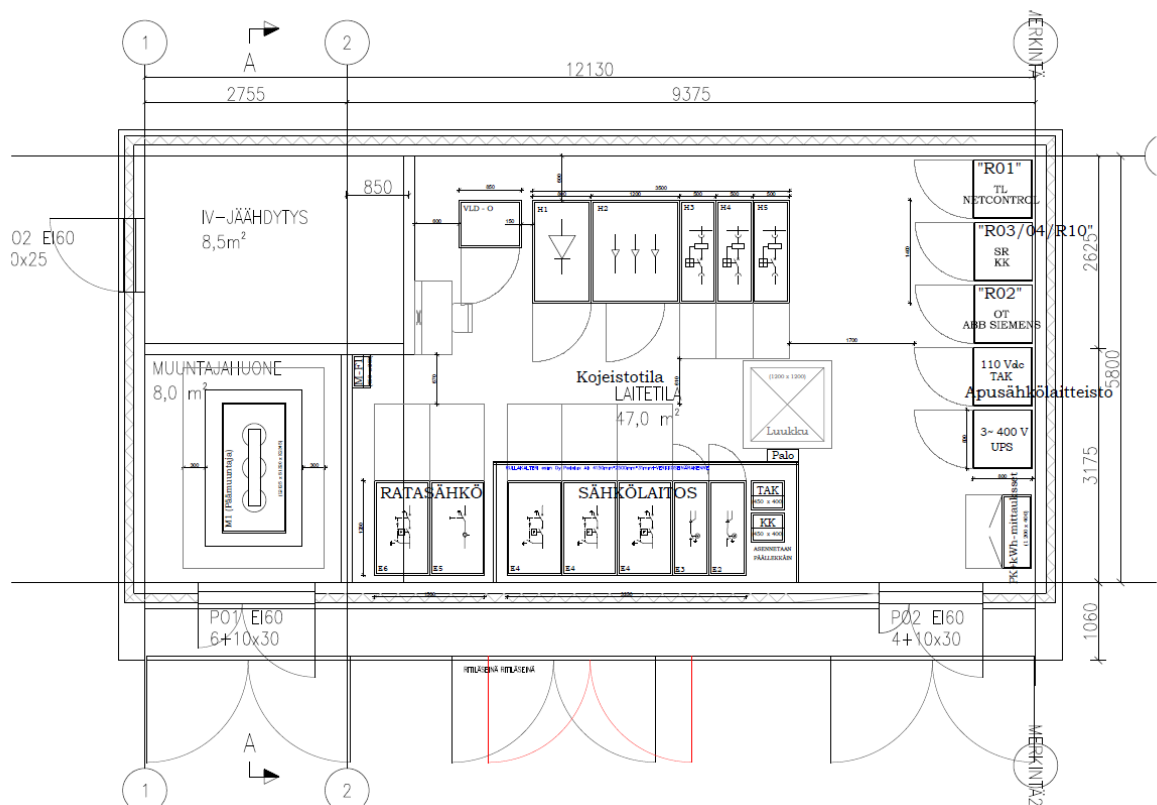
Raide-Jokerin ajojohdinjärjestelmää syötetään yhteensä 15 + 1 sähkönsyöttöaseman avulla. Ajojohdinjärjestelmällä tarkoitetaan kaikkia laitteita ja mekaanisia komponentteja, joiden avulla syötetään tehoa kalustolle. Ajojohdinjärjestelmää käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. Yhteensä 15 syöttöasemaa syöttää varsinaista linjaa ja yksi

syöttöasema syöttää Herttoniemeen rakennettavaa varikkoa. Syöttöasemien sijoittelu on nähtävissä kuvassa 5.



Kuva 5. Sähkönsyöttöasemien sijainnit radalla. Varikon syöttöasema ei näy kuvassa. [16.]

Jokeri-linjalla käytetään EN50163 standardin mukaista 750 voltin tasasähköjärjestelmää. Sähköjärjestelmä on suunniteltu ja rakennetaan standardin EN50122 mukaisesti maasta erotettuna tasasähköjärjestelmänä. Syöttöasemille tuodaan 20kV:n keskijänniteliittymä, joka muunnetaan ajojohdinjärjestelmään syötettäväksi tasajännitteeksi. Sähkönsyöttöasemien kaikki laitteet paitsi tasasähkökojeisto ja paluuvirtapiiri liitetään sähköverkkoyhtiön olemassa olevaan laajaan maadoitusverkkoon. Syöttöaseman tasasähkökojeisto ja paluuvirtapiiri ovat erottu maasta. Vesimaan ja tasasähkökojeiston rungon välistä virtaa mitataan ja vikatilanteessa suojarole pystyy katkaisemaan tasasähkökojeiston toiminnan.



Kuva 6. Sähkönsyöttöaseman pohjapiirustus ja prosessilaitteet. [17.]

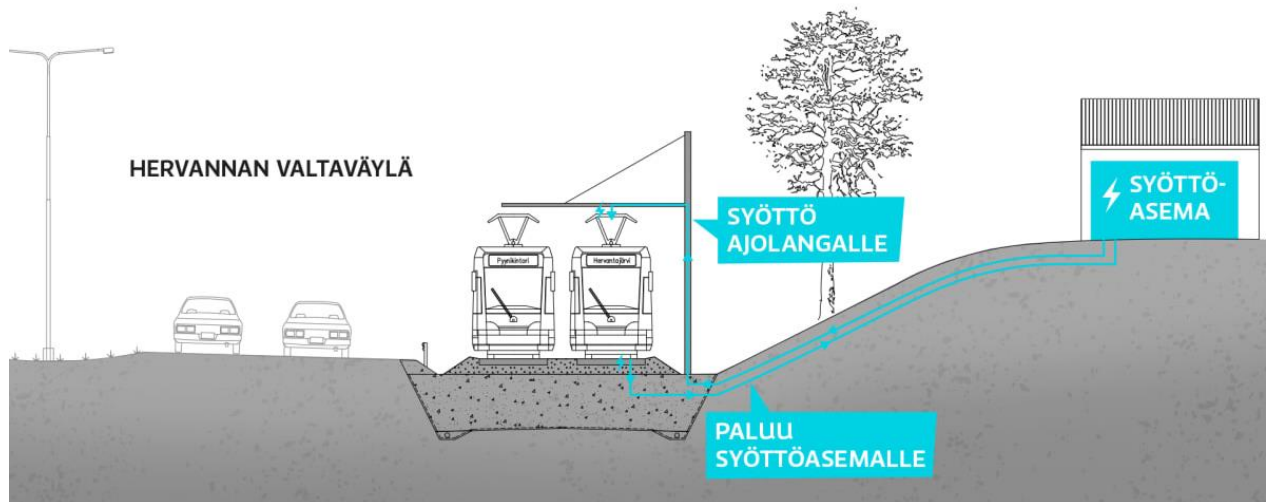
Raide-Jokerin sähkönsyöttöjärjestelmän sähkötekniset arvot ovat seuraavat:

- | | | |
|-------------------|------------|-----------------------|
| • Nimellisjännite | U_N | 750 VDC |
| ○ Alin jännite | U_{min} | 500 VDC |
| ○ Korkein jännite | U_{max1} | 900 VDC (pysyvä) |
| | U_{max2} | 1000 VDC (5 min) |
| | U_{max3} | 1270 VDC (1 s) |
| • Nimellisvirta | I_N | 3 000 A |
| • Oikosulkuvirta | I_{peak} | 47 kA (< 20 ms) |
| | I_k | 27 kA (<200 ms) [18.] |

Varikolle sijoitettava syöttöasema poikkeaa hieman radalle sijoitettavista syöttöasemista. Varikon syöttöasema on suunniteltu siten, että syöttöasema varustetaan kahden ratasähkömuuntajan lisäksi kahdella omakäyttömuuntajalla ja kahdella tasasuuntaajalla,

jotka syöttävät varikkorakennukselle kiinteistön tarvitseman sähkön. Varikon sähkönsyöttöasema on siis kahdennettu järjestelmä, jolloin laitevika tai keskeytystä vaativa huolto ei halvaannuta varikon toimintaa. Sähkönsyöttö linjalta varikolle on teknisesti haastavaa, sillä raidelinja on eristetty maasta ja varikko on eristämätön. Eristämätön kisko on suorassa yhteydessä vesimaahan. Poikkeustilanteiden varalta on nähty paremmaksi vaihtoehdoksi kahdentaa varikon syöttöasema sen sijaan, että pyrittäisiin syöttämään sähköä linjalta varikolle. [19.]

Syöttöasema liitetään ajojohtimeen kaapeloimalla. Kuva 7 havainnollistaa sähkönsyötön ajojohdinjärjestelmään. Kaapelointi tehdään niin, että tasamuuntajan miinusnapa vietään syöttöpistekotelon kautta ajojohtimeen ja plusnapa yhdistetään kiskoihin. Syöttöasema on mahdollista erottaa ajojohtimesta ja paluuvirtakiskosta erottimien avulla. Sähkönsyöttö on suunniteltu niin, että yhtä ajojohdinjaksoa voidaan syöttää samanaikaisesti kahdesta suunnasta. Ajojohdinjakso tarkoittaa kahden syöttöaseman välistä ajojohdin-osuutta. Ajojohdinjaksot erotetaan toisistaan jaksoerottimella. [19.]



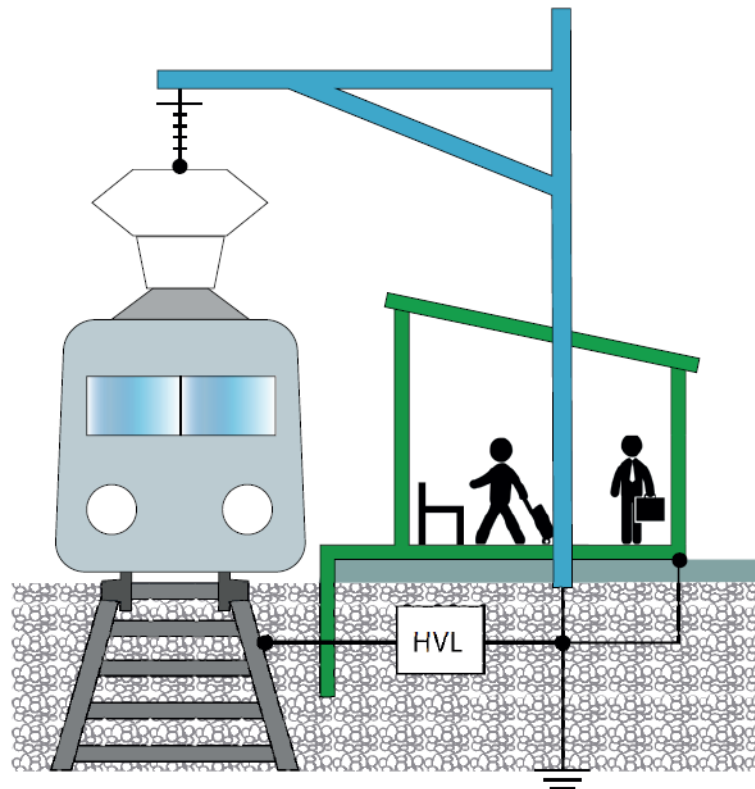
Kuva 7. Syöttöaseman liittäminen ajolankaan ja kiskoon [20.]

Poikkeustilanteessa syöttö toisesta suunnasta voidaan katkaista ja tarvittaessa korvata puuttuva syöttö seuraavan ajojohdinjakson päässä olevan syöttöaseman avulla. Tällöin kahdella syöttöasemalla syötettäisiin kahta peräkkäistä ajojohdinjaksoa yhden sijaan. Huollettava sähkönsyöttöasema ohitetaan sulkemalla niin sanottu pitkittäiserotin, jolloin syöttöasema saadaan irti rataverkon ajojohdinjärjestelmästä. Tällainen tilanne on

mahdollinen esimerkiksi syöttöaseman ollessa huollettavana. Näin pystytään tasaamaan kuormituksia syöttöasemien välillä ja välttämään yhteen syöttöasemaan kohdistuva yli-kuormitus. [19.]

Paluuvirtareitti eli ajokisko on eristetty vesimaasta ja hajavirtojen valvontalaite mittaa potentiaaliero vesimaan ja paaluvirtareitin välillä. Hajavirralla tarkoitetaan eristetyn paluuvirtakiskon maahan vuotamaa sähkövirtaa. Hajavirtojen valvonnan tarkoitus on tuottaa mittausdatasta pitkäaikainen trendi, jota kuvataan graafisesti. Paluuvirtakiskon eristystä seuraamalla voidaan arvioida hajavirran määrää ja sen aiheuttamia korroosiovaikutuksia sekä mahdollisia eristeaurioita. [19.]

Ratalinja on varustettu noin 200 metrin välein VLD-laitteella (Voltage Limiting Device), joka yhdistää paluuvirtakiskon ja vesimaan keskenään, jos jännite niiden välillä nousee yli 120 VDC. VLD:n, eli jännitteen rajoitinlaitteiston tarkoituksena on valvoa paluuvirtakiskon jännitettä ja tarvittaessa katkaista tehonsyöttö, mikäli paluuvirtakiskon ja vesimaan potentiaaliero nousee yli määritellyn raja-arvon. Järjestelyn tarkoituksena on suojata rataa ympäröiviä perusmaahan maadoitettuja rakenteita. Mikäli esimerkiksi ajojohdin tippuisi maadoitetun rakenteen päälle VLD-laite yhdistää maadoitetun rakenteen paluuvirtakiskoon. Tällöin syöttöaseman suojareleellä on mahdollisuus toimia ja katkaista tehonsyöttö. Kuvassa 8 esitetään VLD-laitteen kytkentäperiaate. [19.]



Kuva 8. Periaatekuva paluuvirtakiskon ja perusmaahan maadoitettujen rakenteiden potentiaalieron mittaamisesta. (HVL on ABB:n valmistama VLD-laite) [21.]

Kaikki syöttöasemat varustetaan kaukokäyttö- ja valvontajärjestelmillä, jolloin syöttöasemien tekniset tiedot pystytään viemään reaaliaikaisesti Jokeri-linjan tekniseen valvomoon. Syöttöasemien kaukokäytön kautta on myös mahdollista etäohjata ja valvoa rataosuudella sijaitsevia erottimia. Poikkeustilanteessa, esimerkiksi suojarleen lauetessa, syöttöasema lähettää hälytyksen tekniseen valvomoon, jossa hälytykseen reagoidaan tarvittavilla toimenpiteillä. [18.]

3.2 Ajojohtinjärjestelmä

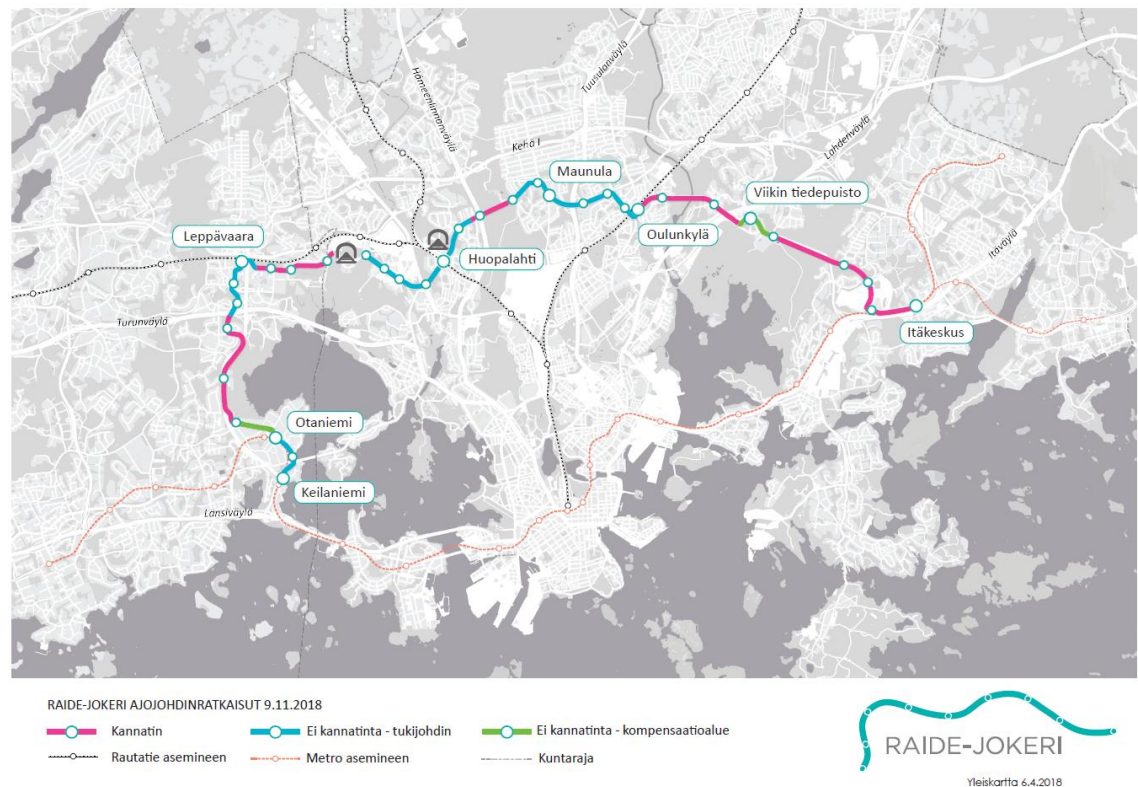
Jokeri-linjalla kulkevien vaunujen sähköistäminen toteutetaan radan yläpuolella, noin kuuden metrin korkeudessa kulkevan ajojohtimen avulla. Ajojohtinjärjestelmä mahdollistaa vaunuille tarvittavan sähkönsyötön. Jokeri-linjalla käytettävä 750 voltin tasasähkö

syötetään kaapelilla syöttöasemalta ajojohtimeen. Radan yläpuolelle toteutettu ajojohdinjärjestelmä on lähiympäristölle turvallisempi vaihtoehto verrattuna esimerkiksi metroissa käytettävään maan tasossa kulkevaan virtakiskoon. Ajolanka on ajojohtimen osa, joka on jatkuvassa kontaktissa vaunun virroittimeen. Ajolanka on määritelty olevan EN 50149 (2013) vaatimusten mukainen. Ajojohdinjärjestelmän paluuvirta kulkee maasta eristettyjen raiteiden kautta paluuvirtareittiä pitkin takaisin syöttävälle sähkösyöttöasemalle. [19; 22.]

Ajojohdinjärjestelmän ominaisuudet, vaatimukset ja määräykset on määritelty hankekohteisesti hankkeen suunnitteluperusteisiin. Suunnitteluperusteisiin on kirjattu suunnittelussa noudatettavia arvoja, materiaaleja ja toimintamalleja, kuten ajolangan nimelliskorkeus tai ajojohtimeen kohdistuva tuulikuorma. Normaaliolosuhteissa ajolangan nimelliskorkeus, kiskon selästä mitattuna, on 5800 mm \pm 50 mm:n toleranssi. [22.]

Raide-Jokerin ajojohdinjärjestelmä pyritään toteuttamaan mahdollisimman laajasti kiristettynä kannatinjärjestelmänä. Kiristetty ajojohdinjärjestelmä on toteutustapa, jossa ajolanka kiinnitetään ripustimilla kannattimeen. Kannatin kiinnitetään pylväsrakenteisiin ja kiristetään paraabelin muotoon. Kannattimen ja ajojohtimen kiristäminen toteutetaan Jokeri-linjalla todennäköisesti jousikiristyksillä, mutta kiristys on mahdollista toteuttaa myös painoilla. Ajolanka kiinnitetään vaakasuoraan kannattimen alle ripustimilla. Tarvittaessa ajolangan yhteyteen voidaan asentaa tukijohdin, jonka tehtävänä on lisätä ajojohdinjärjestelmän poikkipinta-alaa impedanssin alentamiseksi osuuksilla, joilla esiintyy liian suuria jännitealenemia. Tukijohdin ei ole suorassa kontaktissa kaluston virroittimeen. Kuvassa 9 esitetään eri ajojohdinratkaisut rataosuudella. [19; 22.]

Ajolanka on ajojohdinjärjestelmän ainut osa, joka on kontaktissa kaluston katolla olevaan virroittimeen. Virroitin on usein hiilikuitupohjainen mekaaninen komponentti, jonka tehtävänä on siirtää sähkövirta ajolangasta kalustoon. Jotta kaluston virroitin ei kuluisi liian nopeasti ajolangan ja virroittimen välisen kitkan takia, ajolanka asennetaan toistuvaan sivuttaispoikkeamaan, niin sanottuun siksak-kuvioon. Kuvio mahdollistaa ajolangan kontaktin levittämisen laajemmin virroittimen alueelle. Ajolangan kuvio saadaan aikaan ratapylväaseen asennettavalla ohjainvarrella. Raide-Jokeri-hankkeella on määritelty, että siksakin suurin sallittu poikkeama on \pm 350 mm. [19.]



Kuva 9. Ajojohdiratkaisut rataosuudella [23.]

Jokeri-linjan ajojohdinjärjestelmä poikkeaa ominaisuuksiltaan monin tavoin Helsingin kantakaupungin ajojohdinjärjestelmää. Helsingin kantaverkko on toteutettu pääosin kiinteillä ripustuksilla. Ripustettu järjestelmä toteutetaan niin, että ajolanka kiinnitetään köysiripustuksilla radan ympärillä oleviin rakenteisiin, esimerkiksi taloihin tai pylväisiin. Tehoa syöttävä ajolanka kiinnitetään kiinteisiin ripustusköysiin radan suuntaisesti. Ripustuksilla toteutettu ajojohdinjärjestelmä voi aiheuttaa ongelmia ympäristön lämpötilan muuttuessa. Ripustettua järjestelmää ei pystytä kiristämään vastaavasti jousilla tai painoilla, jolloin lämpötilan noustessa ajolangat usein laskeutuvat huomattavasti alemmas. Kuvassa 10 on nähtävissä ripustettu ajojohdinjärjestelmä. Tämä aiheuttaa kovempaa kulutusta ajolankaan ja kaluston virroittimeen. Ripustuksilla toteutetuissa järjestelmissä käytetään usein myös ohuempaa ajolankaa kevyemmän massakuorman takia. Raide-Jokerin kannattimellisilla osuuksilla ajojohtimen poikkipinta-ala on kannatin (90 mm^2) mukaan luettuna noin 190 mm^2 . [24.]



Kuva 10. Havainnekuva, ylemmässä kuvassa kiristetty ajojohdinjärjestelmä ilman kannatinta, alemmassa kuvassa ajojohdinjärjestelmä on toteutettu köysiportaaliripustuksilla. Kuvat eivät ole teknisesti tarkkoja. [4, s.19.]

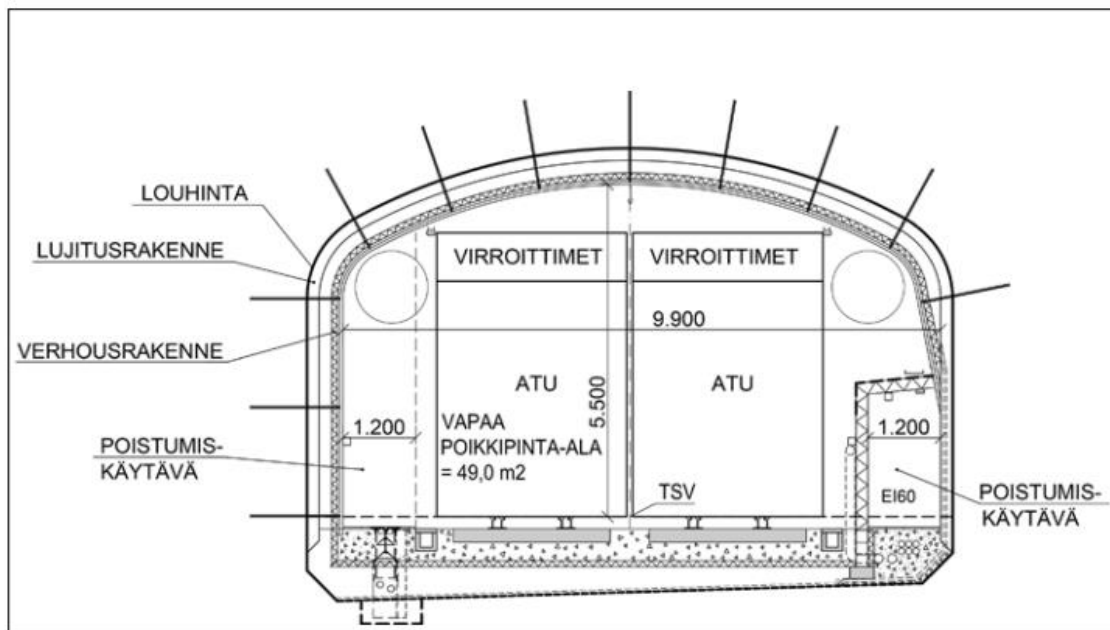
Ajojohdinjärjestelmä tunnelissa

Raide-Jokerin Patterimäen tunneliosuus aiheuttaa poikkeavan olosuhteen ajojohdinjärjestelmälle. Tunneliolosuhteissa voidaan joutua soveltamaan poikkeusmääritelmiä, jotka on määritelty erikseen hankkeen suunnitteluperusteissa. Järjestelmät tulee näin ollen suunnitella ja testata erillisten, tunnelikohtaisten, määritelmien pohjalta. Poikkeusolosuhteen aiheuttaa pääosin tunnelin ahtaat tilat ja suljettu ympäristö. Kuvassa 11 esitellään tunnelissa vaikuttavia vähimmäisetäisyyksiä. Tunnelin järjestelmiä suunnitellessa tulee myös huomioida tunneleihin sovellettavat standardit, määräykset sekä

pelastusviranomaisten vaatimukset. Ajolangan sallitusta korkeudesta on sanottu hankkeen suunnitteluperusteet-dokumentissa seuraavasti:

”Poikkeustilanteissa (esim. siltojen ja tunnelien alituksissa) 4200 mm ajolangan on alin mahdollinen korkeusasema huomioiden ajolangan riippuma. Alinta arvoa ei saa alittaa missään tapauksessa. Nämä erikoistapaukset tulee tarkastella tapauskohtaisesti mm. sähköturvallisuusasioiden takia.”

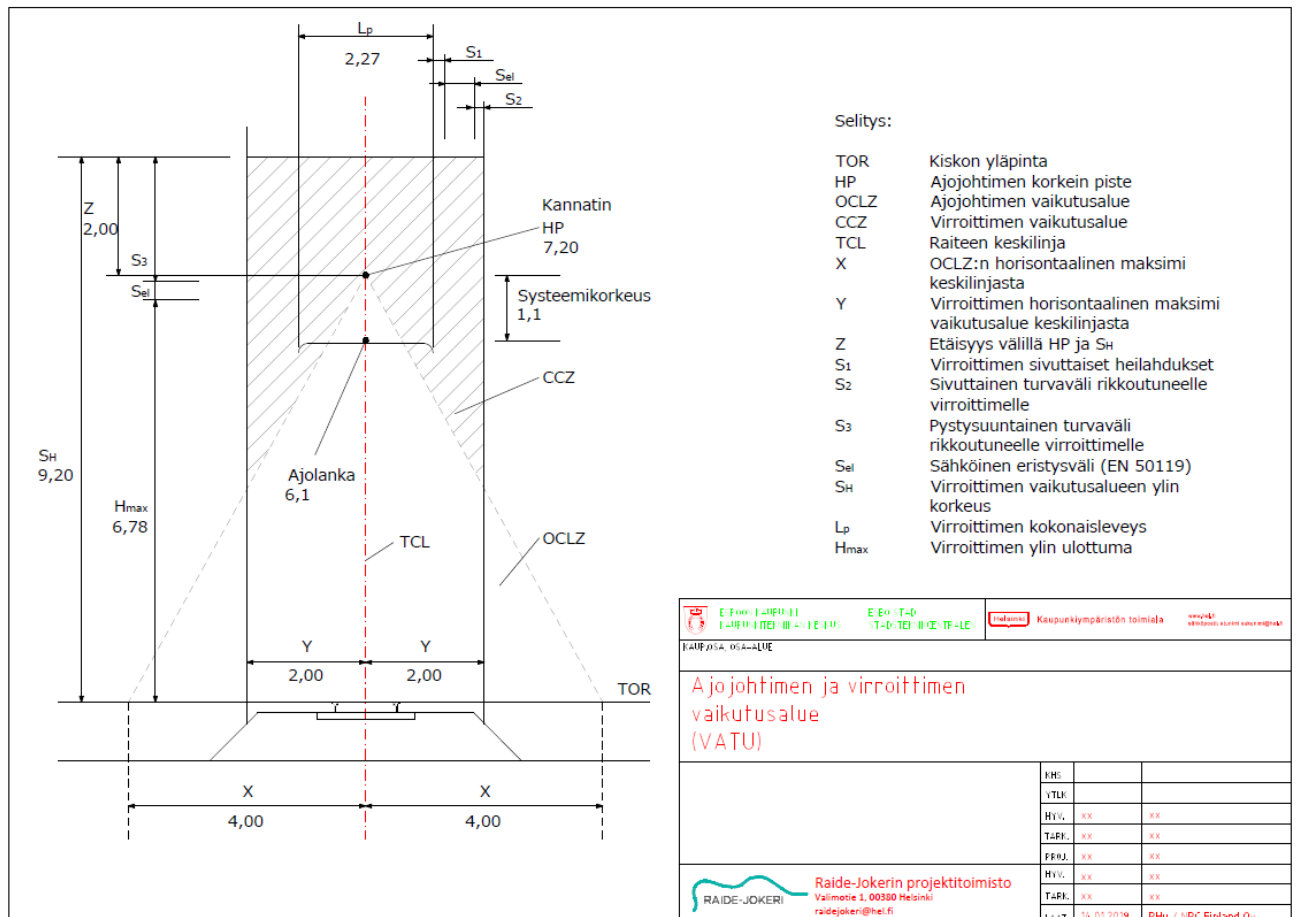
[22.]



Kuva 11. Patterimäen tunnelin tyypipoikkileikkaus kallio-osuudelta, jossa on määritelty vähimmäisetäisyyksiä eri rakenteille. [4, s. 34]

Tunnelin ajojohdinjärjestelmä voidaan tämänhetkisten (tammikuussa 2019) tietojen pohjalta toteuttaa kahdella eri ratkaisulla. Ensimmäinen vaihtoehto on toteuttaa ajojohdinjärjestelmä tyypillisellä kupariajolangalla kiristettynä ilman kannatinta tai ripustettuna tunnelin rakenteisiin. Toinen vaihtoehto on käyttää kiinteää ajojohdinta, joka kiinnitetään tunnelin kattoon asennettaviin teräspalkkeihin.

Kiinteä ajojohdin on alumiiniputki tai -profiili, joka voidaan kiinnittää haluttuun korkeuteen. Kiinteä ratkaisu poistaisi joitakin riskejä ja lisäkustannuksia, joita perinteisempi ajojohdinratkaisu aiheuttaisi. Kiinteä ajojohdin on ennen kaikkea tilatehokas ja helpompi asentaa. Kiinteä ratkaisu poistaisi myös riskin ajolangan tippumisesta tai katkeamisesta aiheutuvista seurauksista. Ajolangan mahdollisen vaurioitumisen ja tippumisen aikaan saamat riskit vaativat perusteellisia varotoimia. Kuvassa 12 on nähtävissä ajojohtimen ja virroittimen vaikutusalueet suhteessa ympäristöön.



Kuva 12. Ajojohtimen ja virroittimen vaikutusalue. [41.]

Merkittävimmät riskit tilanteessa, jossa ajolanka vaurioituu ja mahdollisesti putoaa, ovat sähköisen ajolangan osuminen tunnelin muihin rakenteisiin sekä sähköisen virroittimen osuminen tunnelin kattorakenteisiin. Jotta tällainen tilanne ei aiheuttaisi vahinkoa tai vaaratilannetta, tunnelin kattorakenteet tulisi eristää tai maadoittaa. Kyseinen ratkaisu voisi mahdollisesti aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia ja muutoksia nykyiseen rakentamisen aikatauluun. Lisäksi vältettäisiin tarve asentaa maadoitukset tunnelin seiniin. Maadoitusten tarkoitus on varmistaa suojauksen toimiminen ajolangan pudotessa ja osuessa

seinän rakenteisiin. Kiinteä ajolanka ei pääse vaurioituessaan heilahtamaan tunnelin seinärakenteisiin.

Kuvaa 11 voidaan tulkita siten, että olosuhteista riippumatta kaikki rakenteen radan läheisyydessä tulee eristää 9200 mm:n korkeuteen, virroittimen vaarauttumaan asti. Tunnelin huippukorkeuden ollessa 5500 mm (kuva 10.) voidaan todeta, että turvallisuuden takaamiseksi koko tunnelin seinä ja kattorakenteet tulee eristää tai maadoittaa mahdollisen ajohdinjärjestelmän vaurioitumisen varalta. Kuvassa 11 käytetty ajolangan korkeus 6200 mm on hankkeen suunnitteluperusteissa määrittely enimmäiskorkeus ajolangalle. Toisin sanoen ajolangan ja virroittimen vaikutusalue on määriteltä maksimitoleranssilla, enimmäisvaatimuksen mukaan. [19; 24.]

Tunnelin hätämaadoitusjärjestelmä

Onnettomuustilanteessa, jossa tunnelin ajohdinjärjestelmä tai tunnelissa oleva kalusto vaurioituu, tunnelin sähkönsyöttö ajetaan alas ja ajohdinjärjestelmä maadoitetaan. Hätämaadoitusjärjestelmän on tarkoitus suorittaa molemmat tehtävät. Hätämaadoitusjärjestelmä on pelastusviranomaisten vaatima kokonaisuus, jolla varmistetaan, ettei ajohdinjärjestelmä aiheuta sähköiskun tai tulipalon vaaraa pelastusviranomaisille tai matkustajille.

Hätämaadoitusjärjestelmä tullaan toteuttamaan niin, että se voidaan laukaista etäohjauksella liikenteenohjauskeskuksesta tai tunnelin suuaukkojen läheisyydestä. Hätätilanteessa kaluston kuljettaja on yhteydessä liikenteenohjaukseen, joka laukaisee hätämaadoituksen. Vaihtoehtoisesti pelastusviranomainen laukaisee hätämaadoitusjärjestelmän tunnelin päihin sijoitettavista operointipisteistä.

Hätämaadoitusjärjestelmän aktivoituessa tunnelin molempiin päihin tuodut sähkönsyötöt katkaistaan erottimilla. Lisäksi viereisille sähkönsyöttöasemille lähetetään laukaisu-pyyntö, jolloin sähkönsyöttöaseman tulee lopettaa sähkönsyöttäminen ajohdinjaksolle. Pelastuslaitoksen saapuessa pelastuslaitos tekee vielä työmaadoitukset ajojohtimesta kaapelilla suoraan kiskoon, jolloin voidaan varmistua ajolangan jännitteettömyydestä. Näin jännitteettömyys voidaan todeta työ- tai pelastuskohteesta ja maadoitusten olemassaolo voidaan todentaa.

3.3 Tietoliikenne

Raide-Jokerin tietoliikenteeseen liittyvät järjestelmät pyritään toteuttamaan pääsääntöisesti laajennuksina HKL:n nykyisiin tietoteknisiin järjestelmiin. Tietoliikenneyhteydet tullaan toteuttamaan sekä valokuituyhteydellä, että langattomilla yhteyksillä. Kaikki infran teknisen järjestelmät liitetään HKL:n käyttämään Teknonet-verkkoon. Teknonet on HKL:n sisäinen verkko, jota käytetään HKL:n operoiman Helsingin metron ja kantakaupungin raitiotielinjojen järjestelmien tietoliikenteeseen. Raide-Jokerille tullaan rakentamaan valokuituverkko Espoon Keilaniemestä Helsingin Itäkeskukseen. Kuitukaapeli tullaan liittämään nykyiseen teknonet-verkkoon metroasemien kautta Jokeri-linjan molemmissa päissä. [19.]

Langattomalla teknologialla tullaan toteuttamaan kalustoa varten GPS- ja 4G-yhteydet (mahdollisesti myös 5G). Tunnelissa langattomien yhteyksien mahdollistamiseksi tullaan käyttämään vuotavaa kaapelia. Vuotavaan eli säteilevään kaapeliin tullaan liittämään tunneliosuudella 4G- tai 5G-yhteydet, Virve-viranomaisradioverkko sekä GPS-yhteys. Laajennuksena GPS-järjestelmään tullaan todennäköisesti toteuttamaan RFID-pohjainen paikannusjärjestelmä. RFID-järjestelmä toteutetaan kalustoon liitettävän antennin avulla. Kalusto lähettää langattomasti RFID-tunnisteen tietoja reaaliajassa Jokeri-linjan valvomolle. RFID-järjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa hyvin tarkka paikannuskyky jokaiselle vaunuyksikölle. RFID-tunnisteet tullaan sijoittamaan noin 50 metrin välein radan pintarakenteeseen tai ajojohtimeen kaluston yläpuolelle. [19; 25.]

3.4 Testivalvomo

Yhteiskäyttötestien aikana tunnelin järjestelmien valvomorajapinnat tullaan testaamaan testivalvomon avulla. Järjestelmät liitetään testaamista varten testivalvomoon, jonka tarkoituksena on toimia identtisesti lopullisen valvomon kanssa. HKL:lla on jo olemassa yksi testivalvomo, mutta järjestelmien testejä suunnitellessa esiin nousi mahdollinen aikatauluristiiriita, joka saattaisi viivästyttää järjestelmien testaamista. Länsimetron toisen vaiheen testit saattavat mahdollisesti osua samalla ajanjaksolle Raide-Jokerin testien

kanssa, jolloin nykyinen testivalvomo ei välttämättä olisi käytössä. Tämän takia Raide-Jokeri-hankkeen tulee varautua toteuttamaan uusi testivalvomo omia testejä varten. [26.]

Testivalvomon tarkoituksena on välttää ylimääräinen haitta ja häiriöt käytössä olevalle tuotantoympäristölle, eli toimivia linjoja operoivalle valvomolle. Järjestelmien testaaminen on aikaa ja resursseja vievää, eikä päävalvomon resurssit ole riittäviä. Lisäksi testit saattaisivat aiheuttaa häiriöitä valvomoympäristössä, mikä hankaloittaisi valvomotyöntekijöiden toimintaa ja vaarantaisi jo operoitavien linjojen valvomista. [26.]

Tämänhetkisenä suunnitelmana on testata kaikki Jokeri-linjan järjestelmät yksitellen ja yhdessä testivalvomon avulla. Testien valmistuessa testivalvomon päälle luotu valvomojärjestelmä voidaan siirtää lopulliseen tuotantoversioon. Edellytyksenä järjestelmän siirtämiselle on, että valvomojärjestelmä ja kaikki sen valvomotoiminnot toimivat moitteettomasti. Testivalvomon toteutusta ja sijoitusta ei ole vielä suunniteltu kovin pitkälle, sillä ensin halutaan varmistua mahdollisten aikatauluriskien toteutumisista. Uuden testivalvomon toteuttaminen muodostaisi lisäkustannuksia, joita pyritään välttämään. Testivalvomoa koskevia suunnitelmia käsitellään tiiviissä yhteistyössä HKL:n kanssa. [8; 26.]

3.5 Kameravalvonta

Tilanne, jossa raitiotietunneliin päätyy ulkopuolinen ihminen, suurikokoinen eläin tai ajoneuvo, voi aiheuttaa vaaraa liikennöinnille ja tunneliin eksyneelle ulkopuoliselle. Tällainen tilanne vaatii tunnelin tilapäisen sulkemisen raitiotieliikenteeltä. Tunnelin valvontaa varten on suunnitteilla järjestelmä, joka tunnistaa tunneliin pyrkivät ulkopuoliset tahot. Valvonta on tarkoitettu toteuttaa kamerajärjestelmän ja hahmontunnistuksen avulla. Kamera- ja hahmontunnistusjärjestelmän tunnistessa tunneliin pyrkivän hahmon, järjestelmä välittää hälytyksen tunnelia valvovaan valvomoon. Hahmontunnistus toteutetaan todennäköisesti erillisellä ohjelmistolla, joka valvoo kamerajärjestelmän kuvavirtaa. Hahmontunnistusjärjestelmä ja sen toimivuus ovat kriittistä tunnelin valvonnan kannalta. Tavallinen liikkeentunnistin aiheuttaisi valvomoon hälytyksen muutaman minuutin välein raitiovaunun ajaessa tunneliin. Valvomossa hälytys laukaisee kameranäkymän ja antaa ilmoituksen valvomon operaattorille. Valvomon operaattori arvioi tilanteen ja suorittaa tarvittavat toimenpiteet, kuten tunnelin sulkemisen tunnelin kuluvalvontajärjestelmän avulla. Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmää käsitellään seuraavassa kappaleessa

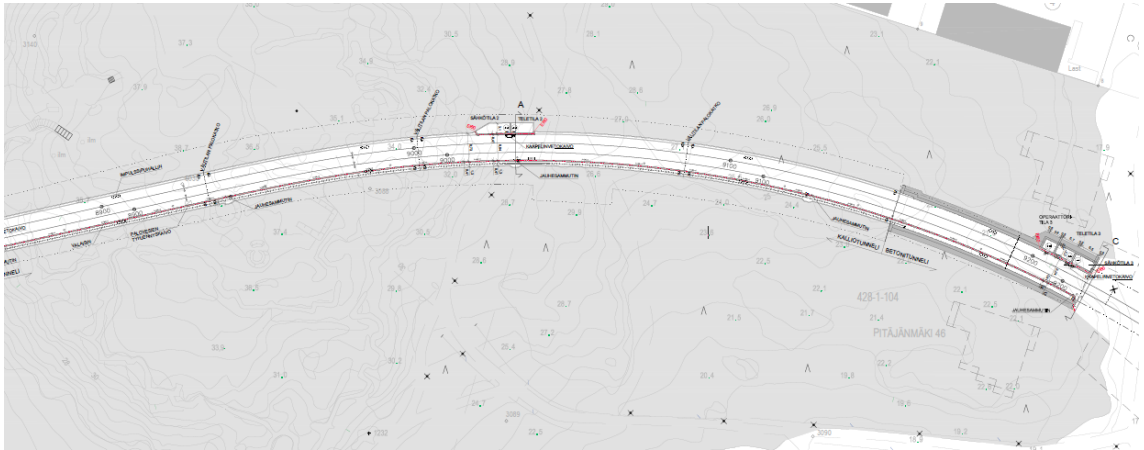
tarkemmin. Kameravalvonnalla pyritään ennalta ehkäisemään ja minimoimaan myös tunneliin ja sen järjestelmiin kohdistuva ilkivalta. Tunneliin kohdistuva ilkivalta voi aiheuttaa tunnelin järjestelmien vikaantumista sekä raitiotieympäristön turvallisuuden vaarantamista. Pienikokoinen esine radan ATU:ssa, eli aukean tilan ulottumassa (kuva 11) on riittävä aiheuttamaan vaaratilanteen tai vahinkoa kalustolle. [26.]

Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan tunneli varustetaan yhteensä 22 kameralla. Kameroilla on tarkoitus antaa valvomolle koko tunnelin kattava näkymä. Esimerkiksi onnettomuustilanteen sattuessa valvomon näkymä tunneliin, ilman katvealueita, voi olla kriittinen tekijä matkustajien turvallisuuden ja pelastusviranomaisten toiminnan kannalta.

3.6 Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmä

Raide-Jokerin operointi on määritelty niin, että kaluston kuljettaja ajaa ja toimii oman näkemänsä varassa. Reittiä tai kalustoa ei automatisoida, vaan vastuu kaluston turvallisuudesta ajamisesta on kuljettajalla. Vastaavanlainen toimintamalli on käytössä myös Helsingin kantakaupungin raitiotieverkolla. [24.]

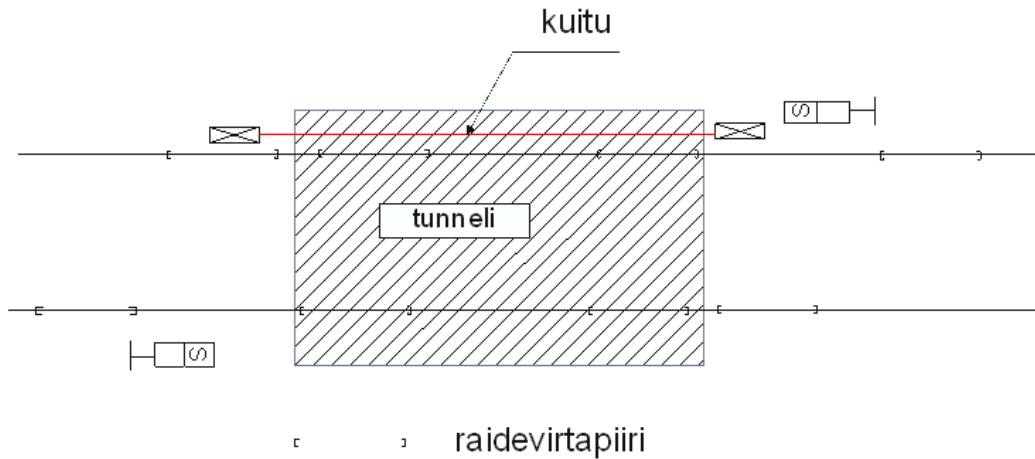
Patterimäen tunnelin pituuden ja kaareutuman (kuva 13) aikaan saama näkemäeste heikentää vaunun kuljettajan kykyä ajaa turvallisesti pelkän näkemän varassa. Jotta liikennöinti tunnelissa olisi mahdollisimman turvallista, tunnelissa ajaminen rajataan yhteen vaunuyksikköön per kulkusuunta. Tunnelin turvallisen operoinnin takaamiseksi ollaan suunniteltu liikenteenohjausjärjestelmää, joka ilmoittaa tunneliin ajamassa olevalle kalustolle, että kyseinen osuus on varattu, eikä kuljettaja saa edetä ennen luvan saantia. [19; 22; 24.]



Kuva 13. Suunnitelmapöytäkartta Patterimäen tunnelista. [27.]

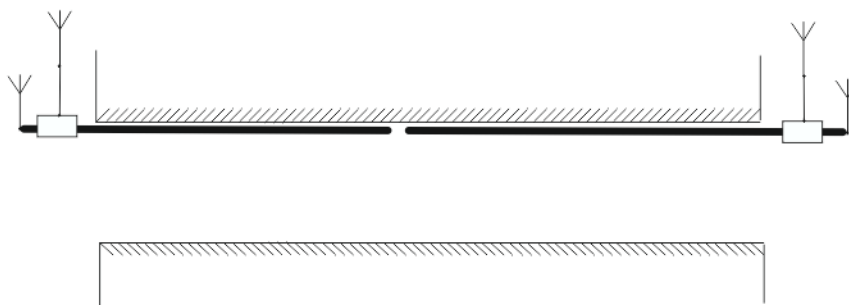
Liikenteenohjausjärjestelmä toteutetaan opastimilla ja raidevirtapiireillä. Opastin on valoilmaisin, joka kertoo opastinta ohittavan kaluston kuljettajalle, saako vaunuyksikkö kulkea opastimen ohi normaalisti vai pitääkö yksikön pysähtyä. Opastin voi myös antaa kuljettajalle esimerkiksi ilmaisun alennetusta nopeudesta osuudella. Opastimet sijoitetaan tunneliin kummallekin suuaukolle. [28.]

Raidevirtapiirit ovat rautatiemaailmassa paljon käytetty turvalaite. Raidevirtapiirin toiminta perustuu rajatulle matkalle muodostettuun virtapiiriin, joka katkeaa kaluston telin oikosulkiessa piirin. Yksinkertaistettuna raidevirtapiirin toisessa päässä kiskoon syötetään sähköä ja toisessa päässä on normaalitilanteessa vetävä rele. Kaluston ajaessa raidevirtapiirin alueelle raitiovaunun akselit oikosulkevat virtapiirin kahden kiskon välillä ja kiskojen välillä oleva rele lakkaa vetämästä. Releen auetessa saadaan tilatieto osuuden varauksesta. Kuvassa 14 esitellään suunnitelmaa Patterimäen raidevirtapiirien sijoittelusta. [28; 30, s.179–181.]



Kuva 14. Liikenteenohjausjärjestelmän periaatekuva raidevirtapiirillä. [29.]

Toinen vaihtoehtoinen toteutustapa tunnelin liikenteenohjaukselle on käyttää GPS-signaalia ja vuotavaa kaapelia (kuva 15). Vuotava kaapeli kutsutaan myös säteileväksi kaapeliksi. Säteilevä kaapeli toimii samaan aikaan lähettimenä ja vastaanottimena, lähettäen ja vastaanottaen RF-signaalia. Liikenteenohjaus toteutettaisiin vuotavalla kaapelilla niin, että tunnelin molempiin päihin asennettaisiin GPS-lähettimet. Vuotava kaapeli katkaistaan tunnelin keskiosassa, jolloin kalusto on samanaikaisesti vain toisen kaapelin vaikutusalueella. Kaluston ollessa kaapelin vaikutusalueella, GPS-järjestelmä ilmoittaa kaluston sijainnin joko tunnelin alkavalle tai loppuvalla osuudelle. Riippumatta siitä missä kohtaa tunnelia kalusto on, liikenteenohjausjärjestelmä pitää osuuden varattuna niin kauan, kun kalusto on vuotavan kaapelin alueella. [28.]



Kuva 15. Vuotavalla kaapelilla ja GPS-paikannuksella toteutettu liikenteenohjausjärjestelmän periaatekuva. [31.]

4 Yhteiskäyttötestaaminen

Yhteiskäyttötestaaminen on terminä melko uusi ja esiintyy pääsääntöisesti vain raideliikennettä käsittelevissä teksteissä. Termi oli useaan otteeseen esillä mediassa ja Länsimetro-hankkeen julkaisuissa metrohankkeen loppupuolella, kun Länsimetron järjestelmien yhteentoimivuutta testattiin. Yhteiskäyttötestaamista tulisi ajatella ennemminkin prosessina, kuin pelkästään konkreettisena testaamisena. Yhteiskäyttötestaamisen prosessia käsitellään perusteellisemmin myöhemmin tässä luvussa.

4.1 Testaamisen merkitys

Yhteiskäyttötestaamisen tarkoitus on todentaa usean itsenäisen järjestelmän kyky toimia yhtenä kokonaisuutena. Yhteiskäyttötestien merkitys vaihtelee riippuen järjestelmien määristä sekä kokonaisuusien laajuudesta. Jos tarkoituksena on luoda esimerkiksi suuri useiden järjestelmien muodostama infrastruktuuri, yhteiskäyttötestaamista voidaan pitää kriittisenä vaiheena kokonaisuuden käyttöönoton ja toimivuuden kannalta. [32.]

Suoritettu ja hyväksytty yhteiskäyttötesti antaa sekä tilaajalle, että rakennuttajalle selkeän käsityksen kokonaisuuden eheydestä. Testit osoittavat tilaajalle, että kokonaisuus on toimiva ja valmis vastaanotettavaksi. Rakennuttaja puolestaan saa testeistä vahvistuksen oman tuotteen laadullisten kriteerien täyttymisestä. Perusteellisesti suunnitellut

ja toteutetut yhteiskäyttötестit tuovat turvaa molemmille osapuolille ja ennaltaehkäisevät jälkikäteen havaittavia virheitä tai puutteita. [32.]

Raide-Jokeri-hankkeella yhteiskäyttöttestaaminen on määritelty osaksi hankkeen käyttöönottoprosessin loppuvaihetta, jolloin testataan hankkeen laajuuteen kuuluvia ja kaikkia niihin sidoksissa olevia järjestelmiä kokonaisuutena. Yhteiskäyttöttestit ovat käyttöönottoprosessin viimeinen vaihe ennen hankkeen luovuttamista tilaajalle. Luovutuksen jälkeen allianssi on vielä mukana avustamassa kaupallisen koeliikenteen suorittamista. [34.]

Yhteiskäyttöttestien perusteellinen suorittaminen edellyttää esimerkiksi, että

- jokainen itsenäinen järjestelmä on käyttöönotettu ja järjestelmän toimivuus on testattu perusteellisesti
- jokaisen järjestelmän riippuvuus, vaikutus ja rajapinta muihin järjestelmiin on selvitetty ja testattu
- yhteiskäyttöttestaaminen on huomioitu jo hankkeen suunnitteluvaiheessa ja toimitusrajojen määrittelyssä
- testeissä ilmaantuvien ongelmiin on varauduttu ja tarpeellisia jatkotoimenpiteitä on suunniteltu valmiiksi
- radan operoinnissa esiintyviin ongelmiin on varauduttu ja ongelmatilanteita on testattu toimintamallien varmistamiseksi
- tilaajan vaatimukset / toiveet on huomioitu testien suunnittelussa ja toteutuksessa.

Testien perusteellinen ja tilaajaosapuolen hyväksymä suorittaminen tarkoittaa, että testien tuloksia voidaan pitää luotettavina ja riittävinä. [32; 33.]

Raide-Jokeri-allianssilla on vastuu toteuttaa tilaajan määrittelemät järjestelmät toimivana ja käyttövalmiina kokonaisuutena. Jotta uusi raitiotielinja voidaan luovuttaa tilaajalle, koko rataosuuden toiminnallisuus tulee olla testattu perinpohjaisesti. Vain hyvin dokumentoitu, suunniteltu ja toteutettu testaaminen riittää osoittamaan tilaajalle, että tilattu raitiotielinja voidaan ottaa vastaan ilman suuria riskejä. Lisäksi hyvin suunniteltu ja toteutettu testaaminen tuo turvaa myös allianssissa toimiville yrityksille. Järjestelmän hajoessa tai ongelmatilanteen esiintyessä voidaan osoittaa, että olosuhteet ja toiminnallisuus on testattu hyväksytysti, jolloin 5 vuotta voimassa oleva jälkivastuu ei välttämättä

edellyttä allianssia korjaamaan esiintyneitä vikoja, vaan ne voidaan nähdä kunnossapidon toimenpiteiksi. [33.]

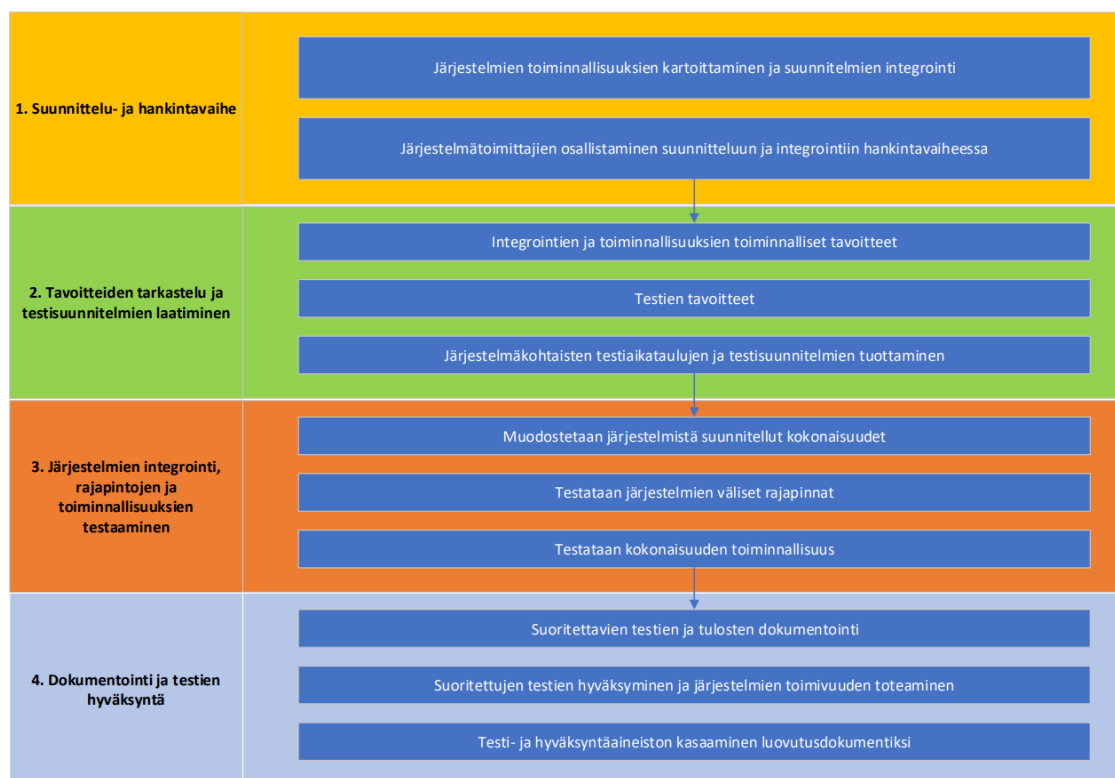
4.2 Lait, määräykset ja standardit

Suomessa raitiotietekniikkaa varten ei ole määritelty tarkkoja säädöksiä tai toimintamalleja, toisin kuin esimerkiksi raideliikenteelle ja sen järjestelmille. Raitio- ja raideliikenteen ollessa kuitenkin kohtalaisen lähellä toisiaan voidaan erilaisia raideliikenteen säännöksiä soveltaa tarvittaessa myös raitiotieliikenteeseen. Ulkomailla tehtyjä määritelmiä voidaan tarvittaessa soveltaa myös Raide-Jokeriin. Junamaailman raamattuna voidaan pitää Liikenneviraston RATO-kokoelmaa. RATO eli ratatekniset ohjeet on kokoelma määräyksiä ja säädöksiä, jotka määrittelevät hyvin kattavasti raideliikenteen operointiin, rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyviä asioita. Liikennevirasto (nykyään Väylävirasto) on julkaissut yhteensä 21 RATO-kokonaisuutta. [34.]

Patterimäen tunnelin yhteiskäyttöttestaukset suunnitellaan ja suoritetaan niin, että kaikkia sähkö-, työ- ja liikenneturvallisuuksiin liittyviä määräyksiä noudatetaan tai sovelletaan. Noudatettavat tai huomioitavat standardit ja määräykset on selvitetty ja kirjattu hankkeen turvallisuussuunnitelmaan ja järjestelmäkohtaisiin suunnitteluperusteisiin. Pikaraitiotien suunnittelussa ja testaamisessa sovelletaan pääasiassa IEC- ja EN-standardeja. Kaikki hankkeella sovellettavat standardit on kirjattu tekniikkalajeittain hankkeen suunnittelupe-
rusteet-dokumenttiin.

4.3 Yhteiskäyttöttestaamisen prosessi

Yhteiskäyttöttestien onnistunut suorittaminen vaatii muutakin, kuin onnistuneet konkreettiset mittaukset ja testaamiset. Järjestelmien yhteinen toiminnallisuus ja kokonaisuuk-
sien muodostaminen alkaa jo paljon ennen varsinaisten testien suorittamista. Kuvassa esitellään yhteiskäyttöttestaamisen prosessia ja eri vaiheiden sisältöä.



Kuva 16. Yhteiskäyttötestien prosessikaavio

Suunnittelu ja hankinta

Yhteiskäyttötestien onnistumisen, sujuvuuden ja monipuolisuuden kannalta on tärkeää aloittaa yhteiskäyttötestien miettiminen jo järjestelmien suunnittelu- ja hankintavaiheessa. Järjestelmien suunnitteluvaiheen yhteensopivuuden ja yhteensovittamisen tarkastelua tulisi ajatella osana yhteiskäyttötestaamista, järjestelmien yhteentoimivuuden varmistamista. [33.]

Eri sähkö- ja teknisten järjestelmien välillä on suuri määrä erilaisia rajapintoja, joiden tulee pystyä mahdollistamaan järjestelmien kommunikaatio molempiin suuntiin. Rajapinta on kahden järjestelmän välinen kohtaamispiste, jossa järjestelmät vaihtavat informaatiota keskenään. Kaikkien järjestelmien ja niiden välisten rajapintojen toimivuuden testaaminen vaatii paljon erilaisia, ennalta suunniteltuja testejä. Testien suunnittelu ei kuitenkaan riitä, jos järjestelmien ja rajapintojen yhteensovittamista ei ole tehty jo suunnitteluvaiheessa ja sisällytetty osaksi hankintojen sisältöä. [32.]

Jos järjestelmien yhteensovitusta ei huomioida järjestelmien suunnitteluvaiheessa, on olemassa merkittävä riski, että järjestelmiä ei pystytä testaamaan ja sovittamaan yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi testivaiheessa. Mikäli hankinnat on tehty ja yksittäiset järjestelmät on asennettu ennen yhteensovitusongelman havaitsemista, mahdollisuudet tilanteen korjaamiseksi on hyvin rajalliset. Vastaavista tapauksista on olemassa näyttöä muista julkisen liikenteen hankkeista. [32.]

Tavoitteiden tarkastelu ja testisuunnitelmien laatiminen

Testien suorittamisen ja onnistumisen kannalta on kriittisen tärkeää, että testien tavoitteet ja sisältö on kartoitettu ennen testien suorittamisen aloittamista. Testien ja testattavien järjestelmien määrien kasvaessa tärkein resurssi yhteensovittamisen kannalta on aika, jonka käyttö voidaan optimoida testien sisällön tarkalla suunnittelemisella ja aikatauluttamisella. [36.]

Yhteiskäyttötestien sisältöä voidaan alkaa hahmottelemaan miettimällä, mitkä ovat järjestelmien väliset toiminnalliset rajapinnat sekä kuinka näiden rajapintojen tulee toimia. Lisäksi on tärkeää miettiä, kuinka toimimaton rajapinta tai järjestelmä vaikuttavat kokonaisuuden toimintaan. Rajapintojen toiminnallisuuden tärkeyttä ja toimimattomuudesta aiheutuvia ongelmia voidaan arvioida siten, että kartoitetaan toimimattomuuden seurauksena aiheutuvat muiden järjestelmien viat tai puutteelliset toiminnot. Esimerkkinä voidaan käyttää tunnelin kameravalvonnan ja kulunvalvontajärjestelmän rajapintaa. Kameravalvonnan toimiessa puutteellisesti tai ei ollenkaan, tunnelin kulunvalvontajärjestelmää ei voida pitää luotettavana, sillä tunnelin suuaukkoja valvovaan hahmontunnistusjärjestelmä toimii kamerajärjestelmän päällä. Näin ollen tunnelia joudutaan operoimaan poikkeusolosuhteissa, joka vaikuttaa suoraan raitiotielinjan aikataulujen toteutumiseen. [32;36.]

Mitä kriittisempi järjestelmän tai rajapinnan toiminnallisuus on, sitä laajemmin sen toimintaa tulee testata, jotta toiminnalliset virheet voidaan sulkea pois mahdollisimman perusteellisesti. Testisuunnitelmaa laatiessa jokaisen järjestelmän haavoittuvaisuus tulee arvioida riskianalyysin tai syy-seuraus-suhteen perusteella. Testisuunnitelman sisältöä voidaan näin tuottaa mahdollisimman sopivaksi järjestelmäkohtaisesti.

Ennen testien aloittamista jokaisen järjestelmän testien aloitusedellytysten tulee täytyä. Jokaisen järjestelmän aloitusedellytykset tulee selvittää järjestelmäkohtaisesti ja kuvata osana testisuunnitelmaa. Aloitusedellytysten täyttymisen tarkastelu on tärkeää, sillä edellytysten täytyminen kertoo, voidaanko testejä vielä suorittaa. Mikäli testit aloitetaan ennen aloitusedellytysten täyttymistä, on todennäköistä, että testejä ei saada onnistuneesti suoritettua. Tällainen toiminta aiheuttaa aikatauluviivästyksiä sekä turhaa työtä. Pahimmillaan testien epäonnistuminen aiheuttaa turhia korjaustoimenpiteitä, vaikka testien epäonnistuminen johtuisikin vain toisen järjestelmän keskeneräisyydestä. [33;36.]

Järjestelmien aloitusedellytyksinä käytetään usein järjestelmien rakentamisen sekä järjestelmäkohtaisen käyttöönoton aikana syntyneitä laatudokumentteja ja hyväksytyjä testituloksia. Laatudokumentit ovat rakentamisen ja käyttöönoton aikana syntyviä dokumentteja, joihin kirjataan erilaisia mittaus- ja tarkastustuloksia. Tällaisia testejä ja dokumentteja ovat esimerkiksi FAT-testi ja dokumentaatio (Factory Acceptance Test, eli laitetoimittajan tehdastesti) sekä SIT-testi ja dokumentointi (Site Installation Test), eli asennuksen aikana tuotetut testit ja dokumentaatio. Aloitusedellytyksinä voidaan pitää myös esimerkiksi yhteiskäyttötestiin tarvittavien työkalujen tai laitteiston käytettävyyttä. Raide-Jokerilla yhteiskäyttötestejä suoritetaan osittain raitiotievaunulla, jolloin osalle testeistä vaunun käytettävyys on aloitusedellytys, jonka tulee täytyä ennen kuin testit voidaan aloittaa. [32;33.]

Aloitusedellytykset voidaan selvittää tarkastelemalla testattavan järjestelmän rajapintoja ja järjestelmiä, joista se on riippuvainen. Jokaisella järjestelmällä on oma tuotantoprosessi, jonka viimeinen vaihe on yhteiskäyttöttestaaminen. Yhteiskäyttötestit sitovat järjestelmät muihin järjestelmiin, jotka kaikki kulkevat oman prosessin läpi itsenäisesti omassa aikataulussa. Vaikka järjestelmä A olisi valmis yhteiskäyttöttestattavaksi, testejä ei voida suorittaa, mikäli se on riippuvainen järjestelmä B:stä, joka on vielä keskeneräinen.

Ennen yhteiskäyttötestien aloittamista testeistä vastaava ryhmä kokoontuu tarkistamaan järjestelmien luovutusaineistoa ja testien aloitusedellytysten toteutumisen. Luovutusaineisto on loppudokumentti, johon kootaan järjestelmäkohtaisesti rakentamisen ja käyttöönoton aikana syntyneet tarkastus- ja laatudokumentit. Luovutusaineistoa tarkastelemalla voidaan todeta ennalta määrättyjen aloitusedellytysten täytyminen. Aloitusedellytykset ovat järjestelmäkohtaisia, mutta usein samankaltaisia muiden järjestelmien kanssa. Aloitusedellytyksiä voi olla esimerkiksi:

- Kaikki rakennusvaiheen työt ovat valmistuneet
- Järjestelmä tai laitteisto on asennettu ja käyttöön otettu
- Testikalusto on käytettävissä [33.]

Testien toteutumisen ja laadunvarmistamisen kannalta yhteiskäyttötestien dokumentointi tulee suunnitella hyvin perusteellisesti. Dokumentointi suunnitellaan usein yhteistyössä laadunhallinnan ammattilaisten kanssa. Tarkoituksena on valmistautua testeihin kartoittamalla kaikkien järjestelmien testaamisen aikana syntyvät dokumentit ja dokumenttikokonaisuudet. Testien lopuksi kaikki syntynyt dokumentaatio kootaan yhdeksi dokumentiksi, jonka pohjalta voidaan todeta testien toteutuminen ja järjestelmien suunniteltu toiminta. Perusteellinen ja laadukas dokumentointi on erittäin tärkeää, kun järjestelmien omistus ja vastuu luovutetaan tilaajalle. [34.]

Järjestelmien integrointi ja testien suorittaminen

Järjestelmien yhteiskäyttötestaamisella tarkoitetaan järjestelmien yhteensovituksen, eli integroinnin testaamista. Järjestelmäintegrointi on yhteiskäyttötestiä tunnetumpi termi, mutta tarkoitus eri termien takana on sama. Tavoitteena on yhdistää yhden kokonaisuuden pienet itsenäiset osajärjestelmät yhdeksi isoksi kokonaisuudeksi. Järjestelmien integrointi on yleistä etenkin ohjelmistotekniikassa, jossa ison kokonaisuuden erillisiä toiminnallisuuksia ja moduuleja testataan yhtenä kokonaisuutena tarkoituksena varmistaa koko ohjelmiston oikeanlainen toiminta. [36; 37.]

Järjestelmän integrointi osaksi kokonaisuutta on järjestelmän käyttöönoton osuus, joka suoritetaan järjestelmän tai laitteen itsenäisen toiminnan testaamisen jälkeen. Kun järjestelmän paikallinen tai itsenäinen toiminnallisuus on testattu ja todennettu toimivaksi, voidaan siirtyä testaamaan järjestelmän toimintaa osana isompaa kokonaisuutta, joka pitää sisällään useita yksittäisiä järjestelmiä. Integraation monipuolistaa järjestelmien mahdollistamia ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia. Monen järjestelmän summa on isompi kuin niiden lukumäärä, sillä järjestelmien toiminnallisuuksia yhdistellessä voidaan hyödyntää sellaisia toiminnallisuuksia tai sellaista informaatiota, mitä järjestelmät eivät voisi tuottaa ilman toisiaan. [33; 38.]

Järjestelmien integroinnin testaaminen tulee suunnitella ja toteuttaa toivottujen toiminnallisuuksien kautta. Ensin tulee kartoittaa, mitä järjestelmien yhteistyöltä halutaan. Sen

jälkeen suunnitellaan, kuinka haluttu toiminta saadaan toteutettua. Kun kaikki toiminnallisuudet on kuvattu ja suunniteltu osaksi järjestelmiä, tiedetään mitkä osa-alueet järjestelmistä ovat riippuvaisia toisistaan. Näistä osa-alueista muodostuu yhteiskäyttötestien sisältö. Testeihin sisällytetään integraatiotestauksen lisäksi regressiotestaus, jossa järjestelmän osien toiminta lakkautetaan ja tarkastellaan siitä syntyviä seurauksia. Raide-Jokerilla regressiotestausta käsitellään osana poikkeustilanteiden testaamista. [36.]

Järjestelmien integroinnin testaaminen tapahtuu usein simuloimalla jonkun järjestelmän sisällä tapahtuvaa toimintoa ja seuraamalla, miten siihen liitetyt järjestelmät reagoivat suoritettuun toimintoon. Simulointi on helpompaa ja nopeampaa, kuin konkreettisten olosuhteiden toteuttaminen. Simuloinnilla tarkoitetaan, että esimerkiksi järjestelmään syötetään haluttu tilatieto pakottamalla tietty bitti aktiiviseksi, jolloin nähdään miten järjestelmä ja siihen integroidut osat reagoivat. Esimerkkinä voidaan käyttää kahden sähkönsyöttöaseman välistä integraatiota. Kun toinen syöttöaseman havaitsee kriittisen vian ajohodinjärjestelmässä, se laukaisee sähkönsyötön katkaisevan toiminnon. Järjestelmä lähettää laukaisupyynnön viereiselle syöttöasemalle, joka katkaisee sähkönsyötön kyseistä sähkönsyöttöasemasta. Tällaista toimintoa voidaan testata simuloimalla laukaisupyynnön ja tarkastelemalla, miten pyynnön saanut järjestelmä toimii tilanteessa. [32;38]

Integrointitestien määrä on suoraan riippuvainen järjestelmien määrästä ja testattavista toiminnallisuuksista. Integrointia voidaan joutua testaamaan useita kertoja useissa eri tasoissa, mikäli järjestelmien ja alajärjestelmien määrät ovat suuria. Integrointitestauksia tehdään esimerkiksi yksittäisen järjestelmän sisällä, useiden järjestelmien välillä sekä kokonaisuuksien välillä. [32.]

Testien dokumentointi ja hyväksyntä

Järjestelmien testaaminen kiteytyy suoritettavien testien dokumentointiin. Laadukas ja hyvin suunniteltu dokumentointi ja dokumentaatio helpottavat ja todentavat testien suorittamisen, helpottavat testien ja testitulosten hyväksymistä. Testien sisällön dokumentointi tulee aloittaa jo suunnitteluvaiheessa, kun luodaan järjestelmäkohtaiset testisuunnitelmat. Testisuunnitelma koostuu kahdesta osa-alueesta: testausmenettelyt sekä testiraportointi. Testausmenettelyt ovat dokumentteja, jotka kertovat millaisia toimintamalleja ja tehtäviä testien aikana tulee käyttää ja suorittaa. Toimintamallien ja tehtävien

määrittely on hyvin tärkeää testien laadunvarmistuksen sekä ajallisen resurssin ja aikataulujen hallinnan kannalta. Näistä syistä halutaan, että kaikki tarvittavat testit suoritetaan parhaaksi todetuilla toimintamalleilla. [33; 37.]

Testausmenettelyt sisältävät tietoa järjestelmän testaamisen edellytyksistä, testausolosuhteista ja testausvälineistä, kuvauksen testien suorittamisesta ja jokaisen toimenpiteen sisällöstä, testien hyväksyttävät raja-arvot sekä tarkastuslistoja ja ohjeita ongelmatilanteiden ratkomiseen. Testausmenettelyt ovat toiminnallinen ohje testin suoritettavalle ryhmälle tai henkilölle. Ohjetta noudattamalla voidaan varmistaa, että testi suoritetaan suunnitellulla tavalla järjestelmän vaatimukset huomioiden.

Testiraportti on dokumentti, joka täytetään testaamisen aikana ja hyväksytään testien suorittamisen jälkeen. Testiraporttiin kirjataan testin suorittamisen aikana mitatut tai tarkastetut arvot ja toiminnallisuudet, suoritusten ajankohta, testin suorittaneet henkilöt, huomautetut virheet tai toiminnalliset häiriöt, suoritettavat toimenpiteet sekä yhteenveto tehdystä testistä. Lopuksi testiraportin pohjalta luodaan hyväksyntädokumentti, joka voi olla allekirjoitettu testiraportti tai jokin muu määritelty dokumentti. Testin hyväksymisen jälkeen järjestelmien kokonaisuuden toiminnallisuus voidaan todeta hyväksytyksi. Hyväksynnän suorittaa usein tekniikkalajista vastaava henkilö sekä tilaajan edustaja. [32; 36; 37; 39.]

5 Patterimäen tunnelin yhteiskäyttötestien suunnittelu

Raide-Jokeri-hankkeen käyttöönotto-ryhmä tuotti käyttöönoton suunnittelun tueksi Raide-Jokeri-hankkeen syksyn 2018 aikana kattavan käyttöönottosuunnitelman, jonka tavoitteena oli määrittellä testattavat järjestelmät, käyttöönotto-ryhmän vastuut sekä sidosryhmät testaamisen suunnittelun kehittämiseen. Käyttöönottosuunnitelma käsittelee myös järjestelmien yhteiskäyttötestaamisen alustavia kustannus- ja aikatauluarvioita. Käyttöönottosuunnitelmaa tullaan päivittämään ajantasaiseksi hankkeen ja suunnittelun edetessä. Käyttöönottosuunnitelmassa käsitellään riskienhallintaa, lakeja ja määräyksiä, aikataulu- ja kustannusarvioita sekä kuvaamme käyttöönottoprosessin mahdollisimman virtaviivaisesti, tuottaen selkeän rakenteen testien suunnittelua varten. Suunnittelun yhdenmukaisuutta ja suunnitteluprosessin selkeyttä voidaan pitää kriittisenä osana laadukkaan testaussuunnitelman tuottamista. [33; 40.]

Patterimäen raitiotietunnelin yhteiskäyttötestien suunnitteluprosessi käynnistettiin syksyllä 2018. Suunnittelussa on pyritty hyödyntämään järjestelmien suunnittelijoiden sekä tilaajaosapuolen näkemystä ja asiantuntijuutta. Suunnittelijat ja tilaaja omaavat järjestelmiin ja toimintaympäristöön liittyvää substanssiosaamista, joka pyritään hyödyntämään mahdollisimman hyvin. Käyttöönottoryhmä on kehittänyt työskentelymalleja testien suunnittelua varten. Työskentelymallit viedään käytäntöön ja yhteiskäyttötestien suunnittelu aloitetaan vuoden 2019 alussa yhteistyössä hankkeen eri osapuolien kanssa.

5.1 Työskentelymallit

Raide-Jokerin yhteiskäyttötestien suunnittelu tullaan toteuttamaan käyttöönottoryhmän ohjaamana ja organisoimana. Suunnitteluun halutaan osallistaa järjestelmien ja yhteistyösapuolien, kuten tilaajan ja kaupunkien vastuuhenkilöitä ja suunnittelijoita. Testeihin osallistuvia osapuolia ovat Jokeri-allianssin lisäksi esimerkiksi pelastuslaitos, HKL, HSL, kaluston toimittaja Skoda Transtech sekä Helsingin ja Espoon kaupunkien edustajat. Testisuunnitelmien laatimiseksi on kehitelty työskentelymalleja, joiden pohjalta suunnittelua pyritään viemään eteenpäin yhteistyössä eri osapuolien kanssa. Syksyn aikana kohdattiin useita haasteita käyttöönoton vastuiden ja tehtävien rajaamisessa. Vasta perusteellisen eri osapuolien välisen yhteistyön kautta käyttöönottoprosessin raamit pystyttiin määrittelemään. Yhteistyö on kriittinen osa suunnittelua ja hankkeen eteenpäin viemistä.

Yhteiskäyttötestien suunnittelu on aloitettu vaiheistamalla kaikkien järjestelmien yhteiskäyttötestit sekä määrittelemällä aloitusedellytykset testeille. Työvaiheita kartoitetaan yhteistyössä suunnittelijoiden ja rakentamisvaiheen vastuuhenkilöiden kanssa. Tavoitteena on pystyä tuottamaan selkeä järjestelmäkohtainen listaus kaikista testauksien työvaiheista. Listaus toteutetaan toistaiseksi sellaisella tarkkuudella, joka mahdollistaa tarpeeksi lähtötietoja testisuunnitelmien tuottamiseen ja töiden aikatauluttamiseen. Työvaiheet pyritään järjestämään kokonaisuuksiksi, jotka voidaan esimerkiksi tehdä samaan aikaan tai jotka ovat riippuvaisia samoista edellytyksistä.

Työvaiheiden kartoittamisen ja riippuvuuksien tunnistamisen jälkeen käyttöönottoryhmä aloittaa testiaikataulun tuottamisen yhteistyössä hankkeen aikataulusuunnittelijan kanssa. Aikataulun pohjalta testisuunnitelmia pystytään tarkentamaan ja

resurssointilaskelmat voidaan aloittaa. Testien aikataulu on rakennettu kriittisenä polkuna, eli aikatauluun on kirjattu ajankohdat, jolloin testit tulee viimeistään aloittaa, jotta ne ehditään suorittaa ilman myöhästymien syntymistä. Mikäli jokin kriittisistä työvaiheista myöhästyy, koko hankkeen aikataulu tulee myöhästymään. Kriittiset aloitusajankohdat ovat kuitenkin vain takalauta, eikä varsinainen toteutusaikataulu. Testin aloittamisen ajankohta määräytyy sen aloitusedellytysten täytyttyä, joita seurataan tarkasti koko rakentamisprosessin ajan. Aikatauluja koordinoidaan yhteistyössä tuotantolohkojen vastuhenkilöiden kanssa. Tuotantolohkot ovat rajattuja maantieteellisiä alueita, jotka on luotu helpottamaan kokonaisuuden hallintaa. Raide-Jokerilla tuotantolohkoja on yhteensä viisi.

5.2 Tunnelin yhteiskäyttöttestaaminen

Patterimäen tunnelin järjestelmien yhteiskäyttöttestaaminen tullaan toteuttamaan kahdena erillisenä osakokonaisuutena. Tunnelin järjestelmien rajapinnat ja toiminnallisuudet on jaettu kahteen osaan ja testit tullaan suorittamaan molemmille osille erikseen. Ensimmäinen osakokonaisuus on tunnelissa toimivien teknisten järjestelmien väliset rajapinnat ja järjestelmien yhteistoiminnallisuus. Tunnelissa testattavat rajapinnat ovat 3. luvussa kuvattujen järjestelmien välisiä rajapintoja, joiden toimivuus tullaan testaamaan ja todentamaan järjestelmien yhteentoimivuuden varmistamiseksi. Toinen osakokonaisuus on raitiovaunukaluston ja teknisten järjestelmien väliset rajapinnat. Vaunukalustolla on rajapintoja useiden järjestelmien muodostamaan kokonaisuuteen, joten tällaiset kokonaisuudet tulee testata itsenäisesti ennen vaunukaluston mukaan ottamista.

Edellä mainitut kaksi kokonaisuutta kulkevat hankkeella nimillä yhteiskäyttöttestit ilman vaunukalustoa sekä yhteiskäyttöttestit kaluston kanssa. Usein kokonaisuuksia kutsutaan kuitenkin vain yhteiskäyttötesteiksi ja tekniseksi koeliikenteeksi. Yhteiskäyttöttestit sisältävät vain järjestelmien välistä testaamista, tekninen koeliikenne tuo kaluston rajapinnat mukaan testaamiseen. Rajapinnat eivät ole aina tietoliikennepohjaista kommunikaatiota, vaan mekaaniseen toimintaan pohjautuvat järjestelmät käyttävät myös fyysisiä rajapintoja. Esimerkiksi vaunun kiskopyörä ja kisko välillä vaikuttaa fyysinen kontakti, jonka pohjalta raidevirtapiiri toimii. Näin ollen kiskopyörän ja kiskon fyysinen rajapinta tulee testata, jotta raidevirtapiiriin liitetyn järjestelmän toiminnasta voidaan saada varmuus.

Testaaminen ilman vaunukalustoa

Patterimäen tunnelin yhteiskäyttötestien ensimmäisen vaihe on järjestelmien ja niiden rajapintojen toiminnallisuuden todentaminen ilman vaunukalustoa. Kaikkien eri järjestelmien väliset rajapinnat ja toiminnallisuudet, jotka eivät ole riippuvaisia tai yhteydessä vaunukaluston järjestelmiin tai ominaisuuksiin, tullaan testaamaan yhteiskäyttötestien ensimmäisessä vaiheessa. Ensimmäisen testivaiheen tarkoituksena on luoda toimiva kokonaisuus, joka on turvallista testata myöhemmin lopullisen vaunukaluston kanssa.

Monet järjestelmistä tarvitsevat toimiakseen kaluston tuottamia tietoja tai fyysistä kontaktia, mikä tarkoittaa, että tällaiset olosuhteet tulee pystyä tuottamaan testien suorittamista varten. Artic XL -kalustoa ei haluta kuitenkaan vielä tässä vaiheessa käyttää järjestelmien testaamisen keskeneräisyyden takia. Uudet raitiotievaunut ovat miljoonien hintaisia, joten pienikin realisoituva riski voi tulla liian kalliiksi. Tähän ongelman ilmetessä hankkeella syntyi innovaatio vaunukaluston simuloimisesta. Kevään 2019 aikana suunnitellaan ja tarkastellaan mahdollisuutta rakentaa kisko- ja kumipyörillä liikkuva auto tai työkone, joka mahdollistaisi raitiotievaunun korvaamisen ensimmäisen vaiheen testeissä. Testejä varten rakennettavaan testiajoneuvoon voitaisiin asentaa sellaiset vaunukaluston järjestelmät, jotka sisältävät rajapinnan teknisiin järjestelmiin. Testiajoneuvon toteutuksessa sitä tullaan käyttämään laajasti myös Raide-Jokeri-hankkeen muiden osaluokkien testaamiseen.

Tunnelin järjestelmien testisuunnitelmia ei ole vielä tuotettu, mutta ne tulevat noudattamaan aiemmin kuvattuja raameja. Patterimäen järjestelmien toiminnallisuuden varmistamiseksi esimerkiksi seuraavat järjestelmät ja niiden väliset toiminnot ja rajapinnat tulee testata testisuunnitelmien määrittelemiä kriteerejä noudattaen:

- Sähkönsyöttöjärjestelmät
 - (a) Hätämaadoitusjärjestelmän ja tunneliosuutta syöttävien sähkönsyöttöasemien välinen rajapinta
 1. I/O-pistetestaus, varmistetaan, että signaalit kulkevat oikeisiin paikkoihin
 2. Ohjelmistotestaus, todennetaan, että syöttöasemien ohjelmisto suorittaa tarvittavat toimenpiteet laukaisupyynnön saadessaan
 3. Erottajien ohjaus, varmistetaan, että hätämaadoitusjärjestelmä ohjaa erottajia halutulla tavalla

- (b) Häätämaadoitusjärjestelmän ja valvomon välinen rajapinta
 1. I/O-pistetestaus, varmistetaan, että signaalit kulkevat oikeisiin paikkoihin
 2. Testataan, että järjestelmä antaa hälytykset oikein ja suunnitelluissa tilanteissa
- Teknisten järjestelmien tietoliikenne-rajapinnat
 - (a) Suurin osa tietoliikenneyhteyksistä testataan jo järjestelmien yksittäisissä käyttöönotoissa, mutta kaikki järjestelmien väliset yhteydet todennetaan vielä yhteiskäyttötestien aikana
 1. I/O-pistetestaus, varmistetaan, että signaalit kulkevat oikeisiin paikkoihin ja järjestelmien kommunikaatio toimii oikein
 2. Integroitujen järjestelmien yhteistoimintojen testaaminen
- Testivalvomon toiminnallisuus
 - (a) Kaikki tekniset järjestelmät testataan yhteiskäyttötestien aikana testivalvomoon. Järjestelmien ja testivalvomon rajapinnat sekä valvomojärjestelmien yhteentoimivuus todennetaan osana yhteiskäyttötestejä
 1. Testataan infran järjestelmien ja valvomojärjestelmien rajapintoja sekä graafisia käyttöliittymiä
- Kameravalvonta
 - (a) Kameravalvonnan rajapinnat valvomoon, valvontaohjelmistoon sekä tunnelin liikenteenohjausjärjestelmään testataan osana yhteiskäyttötestejä. Kameravalvonnan päällä toimii hahmontunnistusjärjestelmä, joka on osa tunnelin liikenteenohjausjärjestelmää.
 - 1.
- Liikenteenohjausjärjestelmä
 - (a) Liikenteenohjausjärjestelmällä on lukuisia testattavia rajapintoja. Merkittävimmät rajapinnat ovat järjestelmän ja turvalaitteiden, kuten raidvirtapiirien ja opastimien sekä hahmontunnistusjärjestelmän väliset rajapinnat.

Kun edellä mainitut järjestelmät ja niiden välillä vaikuttavat rajapinnat on testattu hyväksytysti, vaunukalusto voidaan tuoda osaksi yhteiskäyttötestejä. Edellä mainitut järjestelmät ja rajapinnat eivät välttämättä sisällä kaikkia testien aikana suoritettavia toimenpiteitä. Yhteiskäyttötestien suunnittelun jatkuessa uusia järjestelmiä tai rajapintoja tullaan varmasti tunnistamaan lisää. Tärkeintä on kuitenkin kartoittaa kaikki järjestelmät ja niiden

väliset toiminnallisuudet, jotta lopullisen infran toimivuus voidaan varmistaa laadukkailla ja kattavilla testeillä.

Tekninen koeliikenne

Tekninen koeliikenne on yhteiskäyttötestien viimeinen vaihe. Koeliikenteen tarkoituksena on varmistaa, että rakennettu ja testattu ratainfra ja sen kaikki järjestelmät toimivat yhteen kaluston kanssa. Teknistä koeliikennettä voidaan pitää radan testaamisen tärkeimpänä osuutena, koska koeliikenteessä testataan lopullista toimintaympäristöä lopullisella vaunukalustolla. Tällöin testataan ensimmäistä kertaa niin sanottua lopputuotetta, joka luovutetaan koeliikenteen jälkeen raitiotielinjan tilaajalle.

Vastaavasti, kuin yhteiskäyttötesteissä ilman kalustoa, samat lain alaisuudet testien suunnitteluun ja toteutukseen pätevät myös teknisessä koeliikenteessä. Testit suunnitellaan järjestelmien ja niiden yhteentoimivuuden mahdollistavien rajapintojen kautta. Teknisen koeliikenteen aikana testataan erityisesti kaluston järjestelmien vuorovaikutusta ratainfra sellaisten järjestelmien kanssa, jotka kommunikoivat vaunukaluston järjestelmien kanssa. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi vaihteenohjausjärjestelmä, jota ohjataan vaunukalustoon rakennettavan vaunulaitteen välityksellä. Vaunulaite on radiolähetin, joka kertoo vaihteenkääntöjärjestelmälle missä asennossa vaihteen tulee olla, kun raitiotievaunu ajaa vaihteeseen. Kommunikaatio tapahtuu rataan asennettavan vastaanottimen ja vaunussa olevan lähettimen välillä. Lisäksi vaunu saa yliajettavalta vaihteelta vaihdekohtaisen tiedon, joka kertoo, minkä tietyn vaihteen yli vaunua ajetaan. Tätä tietoa käytetään hyväksi liikenteenseurantajärjestelmässä. Liikenteenseurantajärjestelmä on järjestelmä, jonka graafisen käyttöliittymän avulla raitiotielinjan liikenteenohjauskeskus seuraa linjalla operoivien vaunujen liikkumista.

Tekninen koeliikenne tulee suunnitella yhteistyössä raitiotielinjan tilaajan, testien suorittajan sekä vaunukaluston toimittajan ja omistajan kanssa. Kaikkien osapuolien näkemykset ja toiveet huomioidaan testien suunnittelussa, jotta testejä voidaan pitää mahdollisimman perusteltuina ja luotettavina. Jokaisella taholla on omat vahvuusalueet ja substanssiosaaminen, jonka hyödyntäminen tuottaa arvoa testien suunnitteluun ja toteuttamiseen.

Riskien ja ongelmatilanteiden hallinta

Riskeihin tulee aina varautua. Yhteiskäyttötestien ja teknisen koeliikenteen riskienhallinnassa keskitytään pääasiallisesti testien aikana esiintyviin riskeihin, kuten onnettomuustilanteeseen tai vakavaan järjestelmävikaan, joka aiheuttaa merkittäviä korjaustoimenpiteitä ja aikatauluviivästyksiä. Lisäksi testien suunnittelussa painotetaan niin sanottuihin poikkeustilanteisiin, erilaisiin mahdollisiin skenaarioihin, joissa operointia ei voida suorittaa normaaliksi kuvatulla tavalla. Tällainen tilanne voi esimerkiksi olla vaunujen ruuhkautuminen yhdelle sähkönsyöttöjaksolle, jolloin sähkönsyöttöjärjestelmät voivat ylikuormittua. Poikkeustilanteen toimintamalleja ja tilanteen toipumisen mahdollistavia toimenpiteitä suunnitellaan osana testejä ja järjestelmien toiminnallisia kuvauksia.

Poikkeustilanteiden hallinnan suunnittelu on vasta alkuvaiheessa, mutta erilaisia skenaarioita on jo alettu selvittämään yhteistyössä HSL:n ja tilaajan kanssa. Poikkeustilanteiden testaaminen tulee olemaan iso ja aikaa vievä kokonaisuus, joka sijoittuu pääosin teknisen koeliikenteen ajalle. Kaikki kartoitetut riskit ja poikkeustilanteet riskiarvioidaan, jonka jälkeen niille suoritettavat toimenpiteet suunnitellaan riskianalyysin mukaisen vaatimustason mukaisesti. Poikkeuksien ja riskien arviointi tullaan luokittelemaan fataaleihin, kriittisiin ja ei kriittisiin luokkiin. Luokkien määrittely tullaan suorittamaan yhteistyössä tekniikkalajivastaavien ja riskienhallinnan asiantuntijoiden kanssa.

5.3 Esimerkki järjestelmän yhteiskäyttötestien prosessista

Yhteiskäyttötestin prosessin läpivienti voidaan jakaa kuvan 16 mukaisesti neljään osakokonaisuuteen. Esimerkkinä testiprosessista toimii Patterimäen tunnelin liikenteenohjausjärjestelmän yhteiskäyttötestien suunnittelu ja läpivienti. Lopullisia testisuunnitelmia ei ole vielä tehty, mutta testit tullaan suorittamaan esimerkin kaltaisesti.

Liikenteenohjausjärjestelmän yhteiskäyttötestaaminen alkaa ensimmäisen kerran jo suunnitteluvaiheessa. Liikenteenohjausjärjestelmä on kokonaisuus, joka muodostuu turvalaitteista, valo-opastimista, liikennevaloista ja liikennevaloetuksista. Jotta pystytään tuottamaan suunnitelmien mukainen liikenteenohjausjärjestelmä, kaikkien osajärjestelmien tulee pystyä kommunikoimaan keskenään ja mahdollistamaan yksittäisen järjestelmän tuottama hyöty järjestelmäkokonaisuudelle. Järjestelmien välinen kommunikaatio ja

yhteensovitus tapahtuu siis ensimmäisen kerran suunnittelupöydällä, kun järjestelmien suunnitelmat yhteensovitetaan niin, että järjestelmät toimivat niiden välillä vaikuttavien rajapintojen kautta yhteen.

Suurin osa Raide-Jokerin yksittäisistä järjestelmistä ostetaan suoraan järjestelmä- tai laitetoimittajalta. Tämän takia on todella tärkeää, että laitetoimittaja tietää tarjoamansa laitteen vaatimukset ja toiminnalliset edellytykset muiden järjestelmien perspektiivistä. Ilman perusteellisia vaatimustenkuvausta on olemassa riski, että toimittajan tuottama järjestelmä on puutteellinen tilaajan puutteellisten tarjouspyyntötietojen takia. Lisäksi järjestelmä- tai laitetoimittajan oman tuotteen osaaminen on hyvin arvokasta ja se kannattaa hyödyntää mahdollisimman perusteellisesti myöhemmässä integrointi- ja testausvaiheessa.

Esimerkiksi turvalaitteena käytettävän raidevirtapiirijärjestelmän tulee olla suunniteltu ja toteutettu niin, että järjestelmä mahdollistaa kulkevan kaluston kulkusuunnan. Järjestelmän tulee myös pystyä indikoimaan hälytys, mikäli sen vaikuttavalle alueelle saapuu toinen vaunu ilman, että edellinen vaunu on poistunut tunnelista. Vastaavasti hälytyksistä ja valo-opastimista vastaavan järjestelmän tulee pystyä saamaan tilatietoja raidevirtapiirijärjestelmästä, jotta tunnelin turvallisuus ja ohjaus pystytään mahdollistamaan. Vaativin rajapinta on todennäköisesti tunnelin liikenteenohjausjärjestelmän ja lähettyvillä sijaitsevien liikennevalojen etuisuusjärjestelmän välinen yhteys. Liikennevaloja ohjaavan etuisuusjärjestelmän tulee siis saada tilatietoja tunnelissa liikkuvista vaunusta, jotta etuisuudet voidaan ajoittaa oikein ja liikenne saadaan mahdollisimman sujuvaksi.

Prosessin toinen vaihe on tavoitteiden tarkastelu ja testisuunnitelmien laatiminen. Toisen vaiheen tarkoituksena on listata, millaisia toiminnallisuuksia järjestelmiltä halutaan ja miten halutut toiminnallisuudet voidaan testata tehokkaasti ja luotettavasti. Ensimmäisen ja toisen vaiheen välinen aikajakso voi olla pitkä, jonka takia suunniteltujen tavoitteiden tarkastelu on hyvin tärkeää. Kun testien tavoitteet ja integroitavat järjestelmät ovat selvillä, voidaan aloittaa järjestelmäkohtaisten testisuunnitelmien tuottaminen. Testisuunnitelman tulee kertoa mitä järjestelmää testataan, mitkä ovat testin aloitusedellytykset, mitä työvaiheita suoritetaan, kuka testin suorittaa, missä ja milloin testit tapahtuvat sekä turvallisuuteen ja työskentelymalleihin liittyvät ohjeistukset. Testisuunnitelmien oikeellisuuden ja arvon kannalta on hyvin tärkeää, että testisuunnitelmat hyväksytetään tilaajan

puolesta ennen testisuunnitelmien viemistä käytäntöön. Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmän testisuunnitelma voisi sisältää esimerkiksi seuraavanlaisia tietoja:

- Testipaikka & Ajankohta: Patterimäen tunneli, 6.6.2022 – 21.6.2022
- Testattava järjestelmä: Liikenteenohjausjärjestelmä
- Järjestelmän suunnittelija: Pellava, NRC Group Oy
- Aloitusedellytykset: Tietoliikenneyhteydet testattu, turvalaitteet käyttöön otettu, testikalusto käytettävissä
- Suoritettavat testit:
 - Turvalaitteiden ja opastimien välisen yhteyden ja toiminnallisuuden toteaminen
 - Opastimien suuntaus ja näkyvyys radalle
 - Valvomojärjestelmän toiminnallisuus ja tietojen oikeellisuus
 - Latenssin mittaus
 - Etuuskien ja turvalaitteiden välisen toiminnallisuuden testaaminen.

Yhteyskäyttötestien kolmas vaihe on testisuunnitelmien vieminen käytäntöön. Käytännön vaihe pitää sisällään konkreettiset, kentällä suoritettavat yhteiskäyttötestit. Kolmas vaihe voi pitää sisällään myös järjestelmien integrointia, mikäli sitä ei ole voitu suorittaa aikaisemmissa vaiheissa. Kolmannen vaiheen suorittaminen vaatii etenkin henkilöresursseja ja hyvin suunnitellun aikataulun. Etenkin nämä tulisi huomioida ja arvioida jossain kohtaa testien suunnittelua. Käytännön vaiheen läpiviemisen kannalta aikataulujen seuranta ja laadukas työskentely ovat hyvin tärkeitä. Erityistä huomiota kannattaa myös kohdentaa testien suorittamisen valvontaan. Testien onnistuminen vaatii aikaa ja hyvä

tapa testien laadunparantamiseen on mahdollista tarpeeksi joustava aikataulu testien suorittamiselle.

Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmän yhteiskäyttötestien kolmannessa vaiheessa suoritetaan vain testisuunnitelmien määrittelemät tehtävät. Käytännön testejä suoritettaessa on hyvin tärkeää pitäytyä testisuunnitelmien määrittelemissä rajoissa, eikä esimerkiksi suorittaa määrättyjä tehtäviä eri järjestyksessä, kuin mitä suunnitelmissa on määritelty. Testisuunnitelmien määrittelemistä toimintamalleista lipsuminen voi hankaloittaa järjestelmäkokonaisuuden testaamista ja aiheuttaa aikataulullisia ongelmia. Esimerkiksi liikennevaloetuuksien ja liikenteenohjausjärjestelmän välistä toiminnallisuutta on turha testata, mikäli raidevirtapiirien toimintaa ei ole vielä testattu osana liikenteenohjausjärjestelmää.

Viimeisenä vaiheena yhteiskäyttötestien prosessia on testien dokumentointi ja testitulosten hyväksyminen. Testiraportointi ja dokumentaatio tapahtuvat osittain päällekkäin testausvaiheen kanssa, mutta niitä ei kannata kuitenkaan pitää samana kokonaisuutena. Jokaisesta suoritetusta testistä tulee laatia testiraportti. Testiraportti on dokumentti, joka kertoo suoritettun testin tapahtumat, tekijät sekä tulokset. Testiraportin rakenne ja raportoitavat asiat tulee suunnitella osana testisuunnitelmien tuottamista, jotta dokumentit tulevat toisiaan. Testiraportti toimii todisteena suoritetusta testistä. Lisäksi raportti pitää sisällään kaikki testikohtaisesti suoritettut toimenpiteet ja tulokset, joita tarvitaan järjestelmien hyväksymiseen. Ilman oikein täydennettyä testiraporttia suoritettua testiä ei todentaa tai hyväksyä ja testit voidaan joutua suorittamaan uudestaan kokonaan tai osittain.

Testisuunnitelmat ja -raportit toimivat osana järjestelmien loppudokumentointia, jonka pohjalta järjestelmä voidaan todeta suunnitelmien mukaisesti rakennetuksi, testatuksi ja toimivaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmien loppudokumentit kasataan osaksi luovutusaineistoa, jonka pohjalta tilaaja voi hyväksyä ja vastaanottaa uuden radan osissa tai kokonaan. Testiraportit toimivat myös tärkeässä osassa takuuasioiden näkökulmasta. Jos jokin järjestelmästä vikaantuu luovutuksen jälkeen, testiraportteja voidaan hyödyntää todentamaan, että järjestelmän vika ei johdu huonosta rakentamisesta tai testaamisesta.

Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmästä tuotetaan järjestelmä-, järjestelmäkokonaisuus- sekä tunnelikohtaiset dokumenttikokoelmat, joiden pohjalta suoritettut testit ja luovutettavat kokonaisuudet voidaan hyväksyä. Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmän luovutus

vaati asianmukaisen testidokumentaation jokaisesta siihen vaikuttavasta järjestelmästä ja kokonaisuuden testatusta suunnitelmien mukaisesta toiminnasta.

6 Yhteenveto

Raide-Jokeri-hankkeen vastuulla on rakentaa moderni, joustava ja toimiva uusi pikaraitiotie. Pikaraitiotie on laaja ja moniulotteinen kokonaisuus, jonka infrastruktuuri muodostuu useista erillisistä järjestelmistä. Infran ja pikaraitiotiekaluston toiminnallisuuden kannalta merkittävimmät järjestelmät ovat sähkö- ja tekniset järjestelmät. Sähkö- ja tekniset järjestelmät muodostavat yhdessä laajoja järjestelmäkokonaisuuksia, joiden toiminta todennetaan yhteiskäyttötestien muodossa.

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli kehittää sähkö- ja teknisten järjestelmien yhteiskäyttötestaamisen suunnittelua sekä tuottaa hankkeen työntekijöille yhteiskäyttötestaamiseen perehdyttävä dokumentti. Keskityin opinnäytetyössä pikaraitiotien tunneli- osuuden järjestelmiin. Tunneli on haastava ja mielenkiintoinen kokonaisuus, joka muodostaa kaikista monipuolisimman järjestelmäkokonaisuuden rataosuudella.

Opinnäytetyön lopputulos otettiin tyytyväisenä vastaan hankkeella. Opinnäytetyön tulosta voidaan hyödyntää yhteiskäyttötestien suunnittelussa ja lisäksi sen avulla voidaan perehdyttää hankkeen työntekijöitä yhteiskäyttötestaamiseen ja testien tarkoitukseen. Opinnäytetyön aikana tehty työ jatkuu hankkeen käyttöönotto-ryhmän vastuulla aina järjestelmien luovuttamiseen asti.

Lähteet

- 1 Raide-Jokerin hankesuunnitteluvaiheen matkustajamääräennusteet. Verkkoaineisto. Helsingin kaupungin suunnitteluvirasto. < http://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2015/05/raidejokeri_ennusteet_2015.pdf >. Luettu 27.12.2018.
- 2 Raide-Jokerin yleiskartta. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < http://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2018/01/RJ_yleiskartta.pdf > Luettu 27.12.2018.
- 3 Mikä Raide-Jokeri. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < <http://raidejokeri.info/mika-raide-jokeri/> > Luettu 27.12.2018.
- 4 Raide-Jokeri hankesuunnitelma 2015. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < <http://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2016/01/hankesuunnitelma.pdf> >. Luettu 28.12.2018.
- 5 Projektin eteneminen. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < <http://raidejokeri.info/rakentamisprojektin-eteneminen/> > Luettu 28.12.2018
- 6 Organisaatio. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < <http://raidejokeri.info/organisaatio/> > Luettu 28.12.2018.
- 7 Kesenci, Mikail. 2018. Käyttöönottopäällikkö, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 21.12.2018.
- 8 Aypek, Ebru. 2018. Käyttöönotto ja laadunhallinta, HKL, Helsinki. Keskustelu 20.12.2018.
- 9 Pikaraitiotien vaunusta tulee esteetön ja sinivihreä. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < <http://raidejokeri.info/pikaraitiotien-vaunusta-tulee-esteeton-ja-sinivihrea/> >. Luettu 28.12.2018.
- 10 Raide-Jokeri-vaunu. Verkkoaineisto. Raide-Jokeri-allianssi. < <http://raidejokeri.info/raide-jokeri-raitiovaunut/> >. Luettu 28.12.2018.
- 11 Aitamurto, Jorma. 2018. Projektipäällikkö, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 2.1.2019.
- 12 Škoda design information for Jokeri line (750V line voltage). 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 13 Design vision for stops, Aarhus Light Rail. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.

- 14 Tampereen raitiotie. Verkkoaineisto. Raitiotieallianssi. < <https://raitiotieallianssi.fi/tampereen-raiotie/> >. Luettu 2.1.2019
- 15 Aitamurto, Jorma. 2018. Projektipäällikkö, NRC Group Finland. Helsinki. Keskustelu 12.12.2018
- 16 Sähkösyöttöasemien sijainnit. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 17 Sähkösyöttöaseman layout. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 18 Raide-Jokeri pikaraitiotie, Sähkötekniikka ja tekniset järjestelmät, Syöttöasemat. 2018. Sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 19 Aitamurto, Jorma. 2018. Projektipäällikkö, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 17.1.2019.
- 20 Raimoaho, Asmo. 2018. Tampereen suurin työmaa ikinä tukkii pääväyliä vuosikausia: "Valmistuu koko ajan", muistuttaa ratikan projektijohtaja. Verkkoaineisto. Yle < <https://yle.fi/uutiset/3-10211506> >. Luettu 2.1.2019.
- 21 Voltage limiting device, Type HVL. Verkkoaineisto. ABB Schweiz AG. < <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HC0023892&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> >.
- 22 Suunnitteluperusteet. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 23 Ajojohdinratkaisut. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 24 Lipponen, Rauno. 2018. HKL, Helsinki. Keskustelu 8.1.2019.
- 25 Tietoliikenneverkot, aktiivilaitteet. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti, Päätös. Raide-Jokeri-allianssi.
- 26 Aitamurto, Jorma. 2018. Projektipäällikkö, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 18.1.2019.
- 27 Suunnitelmapaketti, Patterimäki. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 28 Ståhlberg, Kimmo. 2018. Konsultti, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 17.1.2018.

- 29 Tunnelin liikenteenohjausjärjestelmä. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 30 Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6. Verkkoaineisto. Liikennevirasto < https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-06_rato6_muutokset_web.pdf >. Luettu 17.1.2019
- 31 Tunnelin paikannusjärjestelmä vuotavalla kaapelilla. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 32 Aitamurto, Jorma. 2018. Projektipäällikkö, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 21.1.2019.
- 33 Kesenci, Mikail. 2018. Projektipäällikkö, NRC Group Finland, Helsinki. Keskustelu 21.1.2019.
- 34 Käyttöönottosuunnitelma. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.
- 35 Rautatieohjeet. Verkkoaineisto. Liikennevirasto < https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf7/rautatieohjeet_web.pdf > Luettu 22.1.2019.
- 36 Testing and commissioning process for a light rail project. 2010. Verkkoaineisto. Rohan Sharma. <<https://pdfs.semanticscholar.org/6ffa/15da59e0df96ddacfe8b7d1f44a589d910b2.pdf>>
- 37 System integration testing of a start up light rail system. 2000. Verkkoaineisto. Barry W. Lemke. <https://www.arena.org/files/library/2000_Conference_Proceedings/00054.pdf>
- 38 Lipponen, Rauno. 2018. Projekti- ja sähköinsinööri, HKL, Helsinki. Keskustelu 21.1.2019.
- 39 LRT System testing and start-up plan. 2013. Verkkoaineisto. <http://data.wsdot.wa.gov/accountability/ssb5806/Repository/5_Project%20Management/Project%20Plans/5.16%20APP%20T%20TSUP-COMLETE-%20042913.pdf>
- 40 Aypek, Ebru. 2018. Projektipäällikkö, HKL, Helsinki. Keskustelu 25.1.2019.
- 41 Ajo johdon ja virroittimen vaikutusalue. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Raide-Jokeri-allianssi.