



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PETRI HAKALA
RAITIOTIEN KYTKEYTYMINEN LIIKENNEVALO-
JÄRJESTELMÄÄN
Diplomityö

Tarkastaja: professori Jorma Mänty-
nen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiedekun-
nan tiedekuntaneuvoston kokouk-
sessa 4. kesäkuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

HAKALA, PETRI: Raitiotien kytkeytyminen liikennevalojärjestelmään

Diplomityö, 114 sivua

Elokuu 2014

Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät

Tarkastaja: professori Jorma Mäntynen

Avainsanat: Raitiotie, liikennevalot, liikennevalojärjestelmä

Tässä diplomityössä tutkitaan raitiotien kytkeytymistä liikennevalojärjestelmään. Työn alussa tutustutaan liikennevalojen, raitiotien ja niitä yhdistävien tekijöiden teoriaan. Tämän jälkeen tutkimusta tehdään perehtymällä neljän esimerkkikaupungin raitiotiejärjestelmiin ja niiden yhteydessä käytössä oleviin liikennevalojärjestelmiin. Esimerkkikaupungeina toimivat Helsinki, Reims, Lissabon ja Edinburgh. Tietoa esimerkkikaupungeista on saatu raitiotiejärjestelmien valmistajilta ja Helsingin kaupungin viranomaisilta. Näistä kaupungeista kerätyn materiaalin perusteella tehdään johtopäätökset Tampereelle suunnitellun raitiotien liikennevalo-ohjauksen periaatteista ja hyvistä käytännöistä.

Peruseriaatteena raitiotien toimivuudessa on sen turvallinen ja viiveetön kulku. Turvallisuudesta vastaa lainsäädäntö, joka Suomessa määrittelee muun muassa käytettävät opastimet ja väistämissäännöt. Suomen lainsäädäntö on raitiotien osalta varsin suppea ja Helsingissä on tehty erilaisia liikennevalokokeiluja poikkeusluvilla. Hyvin toimivan liikennevalojärjestelmän ja raitiotiejärjestelmän yhdistelmä takaa raitiovaunulle mahdollisimman viiveettömän kulun. Se vaatii pätevää suunnittelua jo raitiotien reitistä ja linjauksesta lähtien. Raitiovaunun tulisi päästä kulkemaan omalla väylällään, jolloin sen liikennöinti on nopeaa ja täsmällistä. Lisäksi linjauksen suunnittelulla on mahdollista välttää kokonaan ruuhkaisimpia ja vaikeimpia liittymiä. Tärkeä yksittäinen osa liikennevalojärjestelmää raitiotiellä ovat sen liikennevaloetudet. Niiden avulla raitiovaunulle annetaan mahdollisimman nopea pääsy liittymän läpi. Liikennevaloetuksien järjestämisessä Helsinki käyttää GPS-paikannukseen, radioyhteyteen ja ilmaisintietoon perustuvaa HELMI-järjestelmää. Ulkomaisissa kohteissa on käytössä modernimpaan ilmaisinteknologiaan ja valokuituyhteyksiin perustuvat järjestelmät. Merkittävimpiä erikoisuuksia tutkituissa järjestelmissä ovat Reimsissa käytössä oleva lisäopastin ja Edinburghissa toiminnassa oleva raitiovaunujen liikennevaloetuuden ohjaustapa STM.

Parhaiten toimivat raitiotiejärjestelmät operoivat pääosin omalla väylällään ja täysillä liikennevaloetuksilla. Tampereen tulee ottaa mallia liikennevalojärjestelmänsä toteutukseen lähinnä tämän tutkimuksen ulkomaisista kaupungeista, erityisesti tekniikan osalla. Helsingistä tärkeimmät havainnot liittyvät lähinnä Suomen lainsäädäntöön ja sen huomioon ottamiseen raitiovaunun liikennevalo-ohjauksessa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

HAKALA, PETRI: The linking of tramway to the traffic light system

Master of Science Thesis, 114 pages

August 2014

Major: Transportation systems

Examiner: Professor Jorma Mäntynen

Keywords: Tramway, traffic lights, traffic light system

This Master of Science Thesis studies the linking of tramway to the traffic light system. At the beginning of this Thesis the basics of traffic light system and tramways are introduced. After this, tramway systems of four different cities are researched. Those cities are Helsinki, Reims, Lisbon and Edinburgh. Information on the cities was gathered from tramway manufacturers and from Helsinki's city planning and public transport planning officials. Based on the findings on the studied cities, propositions and suggestions are made for the traffic light system of the proposed tramway system in Tampere.

Basic principles for a well-functioning tramway are its safety and fluent movement. Legislation ensures the tramways safety by defining for example the traffic light signals and the rules for giving way. In Finland the existing legislation regarding the tramway is limited, which is why in Helsinki experimental traffic light set ups have been made with special permits. A well-functioning combination of traffic light system and tramway ensures that a tram can move quickly, reliably and accurately. Such a system requires qualified planning, starting with the route. A tram should be able to run mainly on a segregated track and avoid biggest junctions on the route. An important part of traffic light system for trams is its priority in traffic lights. This priority gives the tram a quick access through a signalized intersection. In Helsinki the priority system is run by HELMI-system that uses GPS-navigation and radio transmission. In Reims, Lisbon and Edinburgh more modern systems that are based on more reliable detectors and cable connections are used. Most significant specialties in the traffic light systems of the cities studied were the driving assistance signal used in Reims and the Strategic Traffic Management system used in Edinburgh.

Best tramway systems operate mainly on a segregated track and have full priorities at signalized junctions. Especially in technical aspects Tampere needs to take example from the studied cities in foreign countries. From Helsinki it is important to take into consideration things involving the Finnish legislation and how to take it into considerations when constructing the new tramway.

ALKUSANAT

Viisi vuotta sitten aloittaessani matkani Tampereen teknillisessä yliopistossa, tämä hetki vaikutti kaukaiselta ja jopa tavoittamattomalta. Olen kuitenkin nyt saanut diplomityöni valmiiksi ja olen valmistumassa diplomi-insinööriksi. Vaikka tämä työ onkin vain yksi osa opiskelutaivalta, on se silti ollut suurin vuori kiivettäväksi. Kuten opiskelut muutenkin, diplomityön tekeminen on ollut välillä mukavaa, välillä raastavaa, mutta tärkeimpänä kaikista, antoisaa.

Ensimmäiseksi tahdon kiittää työtäni ohjannutta professori Jorma Mäntystä. Hänen visionsa oli osaltaan johdattamassa minua tälle alalle ja nyt hänen neuvojensa ja kannuksensa tukemana tämä diplomityö on valmistunut. Lisäksi haluan kiittää Tampereen kaupunkia ja liikenneinsinööri Mika Kulmalaa sekä Tampereen raitiotien projektipäällikkö Ville-Mikael Tuomista ylipäätään siitä, että sain tehdä tämän työn ja tästä mielenkiintoisesta aiheesta. Myös heidän ohjauksensa ja asiantuntemuksensa ovat olleet tärkeitä. Mukana ohjausryhmässäni ovat olleet myös raideliikenteen asiantuntija Antero Alku sekä suunnittelupäällikkö Ari Vandell, joita haluan kiittää heidän panoksestaan ja näkemyksestään tässä diplomityössä. Kiitokset kuuluvat myös mukaan lähteneillä raitiotiejärjestelmävalmistajille Alstomille ja Siemensille, jotka tarjosivat tietouttaan käytettäväksi tässä diplomityössä.

Loppujen lopuksi opiskelu on vain yksi osa elämää. Sen loppuosan tärkeimpänä lenkinä suurin kiitos kuuluu kihlatulleni Maijalle, joka elämänsä vaikeimman vuoden aikana on silti ollut tukenani. Tahdon kiittää myös muuta perhettäni ja ystäviäni kaikesta tuesta ja avusta.

Tampereella 8.8.2014

Petri Hakala

SISÄLLYS

Tiivistelmä.....	ii
Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto.....	1
1.1 Tausta.....	1
1.2 Tavoitteet ja rajaukset.....	1
1.3 Tutkimusmenetelmät	2
1.4 Rakenne	3
2 Liikennevalot, raitiotie ja niiden yhteensovittaminen	5
2.1 Liikennevalot	5
2.1.1 Historiaa	5
2.1.2 Liikennevalojen ohjaustavat ja -periaatteet.....	5
2.1.3 Liikennevalolaitteet	7
2.1.4 Liikennevalojen suunnittelu	8
2.1.5 Ohjaustekniikat.....	11
2.2 Raitiotie.....	13
2.2.1 Historia, Ranskan raitiotierenessanssi	13
2.2.2 Raitiotien ominaispiirteet.....	16
2.2.3 Raitiotie erilaisissa ympäristöissä.....	17
2.2.4 Vertailu muihin joukkoliikennemuotoihin.....	19
2.3 Raitiotien ja liikennevalojen yhteensovittaminen	20
2.3.1 Lainsäädäntö	20
2.3.2 Liikennevaloetuudet	25
2.3.3 Ilmaisimet.....	33
2.3.4 Fyysiset etuudet.....	34
3 Esimerkkikaupungit ja niiden järjestelmät	37
3.1 Yleistä.....	37
3.2 Helsinki.....	37
3.2.1 Raitiotien historia	37
3.2.2 Raitiotiejärjestelmän tunnuspiirteitä.....	39
3.2.3 Raitiotien liikennevalo-ohjaus.....	40
3.2.4 Havaittuja ongelmatapauksia	48
3.2.5 Päätelmät.....	52
3.3 Reims	52
3.3.1 Reimsin raitiotiejärjestelmä	53
3.3.2 Raitiotien sujuvuus ja liikennevalo-ohjaus	55
3.3.3 Vaikutukset ja toimivuus	66
3.4 Lissabon.....	67
3.4.1 Raitiotiejärjestelmä Metro Sul de Tejo.....	68
3.4.2 Raitiotien liikennevalo-ohjaus.....	71

3.4.3	Vaikutukset ja toimivuus	74
3.5	Edinburgh.....	75
3.5.1	Raitiotiejärjestelmä	75
3.5.2	Raitiotien liikennevalo-ohjaus.....	77
3.5.3	Vaikutukset ja toimivuus	84
4	Raitiotien valo-ohjaus Tampereella	86
4.1	Yleistä	86
4.2	Valo-ohjauksen nykytila	86
4.2.1	Yleistä	86
4.2.2	Liikennevaloetuudet	87
4.3	Tampereen raitiotie.....	90
4.3.1	Historiaa	90
4.3.2	Alustava yleissuunnitelma	92
4.3.3	Yleissuunnitelma	94
4.4	Valo-ohjaus ja raitiotie Tampereella	95
4.4.1	Perusperiaatteet	95
4.4.2	Eryyppisiä liikenneympäristöjä.....	96
4.4.3	Etuustoiminto	104
5	Yhteenveto ja päätelmiä	105
	Lähteet.....	107

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

BOStrab	BOStrab eli Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen on saksalainen raitioteiden rakennus- ja ope- rointiohje. Se perustuu Saksan valtion lakiin ja on muodos- tunut kansainväliseksi kaupunkiraideliikenteen standardiksi.
Kapasiteetti	Kapasiteetti tarkoittaa esimerkiksi joukkoliikenteessä sitä, kuinka monta matkustajaa kyetään maksimissaan kuljetta- maan tietyllä kalustolla. Esimerkiksi raitiovaunulla kapasi- teetti on sen istumapaikkojen ja seisomapaikkojen summa. Lisäksi väylällä on oma kapasiteettinsa, joka kertoo kuinka monta kulkuvälinettä väylä kykenee välittämään aikayksi- kössä.
Liikenne-etuus	Liikenne-etuus tarkoittaa, että jotakin liikennevälinettä tai kulkumuotoa suositaan antamalla sille etuoikeutettu kulku liikenteessä. Esimerkkeinä tästä ovat fyysinen etuus, kuten joukkoliikennekaista, tai liikennevaloetus.
Liikennevaloetus	Liikenne-etuuden muoto, missä tietyille liikennevälineille tai kulkumuodoille pyritään antamaan etua liikennevaloissa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi muutoksilla liikenneva- lojen kiertoon tai ajoituksiin. Tyypillisesti liikennevaloetus järjestetään hälytysajoneuvoille ja joukkoliikenteelle.
Telematiikka	Telematiikka on langattoman viestinnän ja paikkatiedon yhdistämistä informaatioteknologian ja automatiikan avulla.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Tampereelle on suunniteltu raitiotietä jo useamman vuoden ajan. Projekti on edennyt hitaasti, mutta varmasti. Lähiaikojen tärkeitä merkkipaaluja hankkeelle ovat olleet alustavan yleissuunnitelman valmistuminen vuonna 2011 ja vuoden 2014 huhtikuussa valmistunut yleissuunnitelma. Raitiotien linjaus on tämän yleissuunnitelman laajuudessa Hervannasta Tampereen keskustan kautta Lentävänniemeeseen. Lisäksi Tampereen yliopistollisen sairaalan alueelle ulotetaan haara.

Tampereella on selvä tilaus raitiotielle, sillä kaupunki kasvaa jatkuvasti. Raitiotie mahdollistaa yhdyskuntarakenteen tiivistämisen ja kaupungin uusien asukkaiden houkuttelemisen joukkoliikenteen käyttäjiksi. Nykyisellä bussein hoidetulla joukkoliikenteellä käyttäjämäärän kasvattaminen vaatii isoa määrää lisää busseja kaupungin kaduille. Tämä aiheuttaa tulevaisuudessa väistämättä sen, että tietyssä pisteessä katujen kapasiteetti ei enää riitä. Esimerkiksi Tampereen keskustan pääkatuna toimivalle Hämeenkadulle se tietää entisestään kasvavaa määrää busseja ja niiden aiheuttamaa ruuhkaa, melua ja päästöjä. Raitiotie tehokkaana, mukavana ja kapasiteetiltaan suurena joukkoliikenne-
muotona on ratkaisu tähän.

Tärkeässä osassa raitiotien toiminnassa ja sen houkuttelevuudessa on sen täsmällisyys sekä nopeus. Näiden järjestäminen vaatii paljon raitiotien suunnittelulta. Raitiovaunun pitää pystyä kulkemaan suurelta osin omalla väylällään, jotta muu liikenne ei pääse hidastamaan sen kulkua. Toisin kuin esimerkiksi metron ja lähijunan tapauksessa, raitiotietä ei rakenneta kokonaan omaan tilaansa, vaan se kulkee aina osittain muun kaupunkiliikenteen mukana. Suureen osaan nousee raitiotien kohtelu liittymissä. On tärkeää, että raitiovaunu pääsee nopeasti liittymien läpi ilman viivytyksiä. Oli sitten kyseessä kiertoliittymä tai tavallinen valo-ohjattu liittymä, sujuvan kulun toteuttaminen vaatii etuuden antamista raitiovaunulle muun liikenteen antaessa tilaa.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitä kaikkea raitiotien liikennevalo-ohjaukseen liittyy, miten se on järjestetty esimerkkikaupungeissa, ja miten se tulisi toteuttaa Tampereella. Ohjaavana päämääränä on edellisessä luvussa mainittujen seikkojen takia ollut selvittää ne keinot, joilla viiveetön ja turvallinen kulku liittymissä on taattu raitiovaunuille.

Ulkomaisten esimerkkikaupunkien valinnan kriteerinä on niiden moderni liikenteenohjaustapa ja selkeä, Tampereelle vertailtavissa oleva, järjestelmä. Hyväksi esimerkkikaupungiksi soveltuu luonnollisesti myös Helsinki, sillä siellä on ainoana suomalaisena kaupunkina käytössä raitiovaunuliikenne. Työn onnistumisen kannalta on mielekästä, että yksi esimerkkikaupungeista on samasta maasta, erityisesti lainsäädännön ja olosuhteiden samankaltaisuuden vuoksi.

Esimerkkikaupungeista pyritään selvittämään niiden raitiotiejärjestelmän ja liikennevalo-ohjauksen peruseriaatteita. Raitiotiejärjestelmästä tutkitaan väylätyyppejä ja muita tunnuspiirteitä. Liikennevalo-ohjauksessa kiinnostuneita ollaan opastimista, ilmaisimisista, ohjauseriaatteista ja etuuksien periaatteista. Myös koko systeemiä pyörittäviä tietojärjestelmiä tutkitaan.

Esimerkkikaupunkien tutkimisen jälkeen työssä perehdytään Tampereen nykyiseen liikennevalo-ohjaukseen ja suunniteltuun raitiotiejärjestelmään. Esimerkkikaupunkien tarjoamien tietojen ja kokemusten perusteella selvitetään, mitä periaatteita ja tekniikoita Tampereella tulisi käyttää parhaan mahdollisen raitiotien liikennevalo-ohjauksen järjestämiseksi.

Työn tavoitteena on siis vastata seuraavaan tutkimuskysymykseen:

”Minkälaiset raitiotien liikennevalo-ohjauksen periaatteet ja käytännöt ovat tutkittavissa kaupungeissa ja kuinka tämän perusteella Tampereen raitiotien liikennevalo-ohjaus olisi järjestettävä?”

Järjestelmien tutkimiseksi aihetta on avattu seuraaviin alakysymyksiin:

- Millaisissa tilanteissa liikennevalo-ohjausta käytetään?
- Miten liikennevalo-ohjaus vaihtelee eri tilanteissa?
- Miten liikennevaloetuedet on järjestetty?
- Minkälaista tekniikka järjestelmissä on käytössä?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työn suorittaminen aloitettiin esimerkkikaupunkeja pohtimalla. Helsingin valitseminen yhdeksi kaupungiksi oli selvää, sillä Suomen ainoana raitiotiejärjestelmänä se pystyy tarjoamaan näkemystä Tampereelle samankaltaisista olosuhteista. Ulkomaisista kohteissa tarkoituksena oli saada kaupunki ainakin Saksasta ja Ranskasta, sillä kyseisissä maissa on yleisesti ottaen hyvin toimivat ja tehokkaat raitiotiejärjestelmät sekä liikennevaloetuedet. Ranskassa raitiotiejärjestelmät ovat pääsääntöisesti suhteellisen uusia ja yksinkertaisia. Saksassa taas on vanhoja järjestelmiä, mutta ne mielletään tehokkaiksi.

Aloituskokouksessa mukana olivat Tampereen teknillisen yliopiston professori ja tämän työn tarkastaja Jorma Mäntynen, Tampereen kaupungin liikenneinsinööri Mika Kulmala ja Tampereen raitiotien projektipäällikkö Ville-Mikael Tuominen. Lisäksi konsultointia kysyttiin raide- ja kaupunkiliikenteen asiantuntija Antero Alkulta.

Tiedonhaku, varsinkin ulkomailta, osoittautui alusta alkaen haastavaksi. Tärkeintä oli-kin löytää oikeat kontaktit, joiden avulla oli mahdollista saada tarkkaa tietoa rakennetuista järjestelmistä. Kyselyitä lähti aluksi liikennevalovalmistajille, kuten Siemensille, Swarcolle ja Imtechille. Näiden lisäksi yhteyttä otettiin raitiotiejärjestelmien valmistajiin Siemensiin, Bombardieriin ja Alstomiin. Loppujen lopuksi valmistajista projektiin saatiin mukaan Siemens ja Alstom.

Alstom on rakentanut Ranskan Reimsiin raitiotiejärjestelmän. Järjestelmä on moderni, vain muutaman vuoden vanha ja siellä on käytetty hyviä suunnitteluperiaatteita. Lisäksi Tampereen kaupungin työntekijöitä oli käynyt kyseisessä kaupungissa tutustumassa järjestelmään, joten se muodostui hyväksi ja sopivaksi tutkimuskohteeksi. Siemensin asiantuntijat miettivät heidän parhaita esimerkkikaupunkejaan ja päätyivät suosittelemaan Portugalin Lissabonissa ja Skotlannin Edinburghissa sijaitsevia järjestelmiä. Molemmat ovat suhteellisen uusia ja toimivat täysin liikennevaloetuksin. Järjestelmävalmistajien toimittamien dokumenttien lisäksi täydentävää tietoa ja käytännön kokemuksia on kerätty Reimsiin ja Edinburghiin suuntautuneelta tutustumismatkalta. Matkalle osallistuivat Mika Kulmala ja tämän diplomityön tekijä.

Helsingin järjestelmästä tiedon hankkiminen onnistui kirjallisuustutkimuksella ja täydentävää tietoa saatiin haastatteluiden avulla. Työssä on käytetty Helsingin seudun liikenteen ja Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennevalotoimiston asiantuntijoiden haastatteluilla kerättyä tietoa.

1.4 Rakenne

Työn alussa luvussa kaksi käsitellään aiheen teoria. Siihen sisältyy liikennevalojen toiminta yleisesti, kuten opastimet, ilmaisimet ja niiden toiminta sekä suunnittelu. Lisäksi selvitetään raitioteiden historiaa ja sen tunnuspiirteitä. Tähän liittyy esimerkiksi raitiotien yleiset ominaisuudet ja vertailu muihin liikennemuotoihin. Luku kaksi lopetetaan raitiotien ja liikennevalojen yhteensovittamisen teoriaan. Siinä käsitellään aiheeseen liittyvä lainsäädäntö ja liikennevaloetuksien tyytit ja periaatteet. Lisäksi perehdytään ilmaisimiin ja fyysisiin etuuksiin.

Kolmannessa luvussa käsitellään esimerkkikaupungit, niiden raitiotiejärjestelmät, ja liikennevalo-ohjaus. Kaupunkeina ovat Helsinki, Reims, Lissabon ja Edinburgh. Ensin perehdytään kaupunkien yleistietoon ja raitiotien tunnuspiirteisiin. Tämän jälkeen sy-

vennytään raitiotiejärjestelmän liikennevalo-ohjauksen järjestämiseen, jota seuraa päätelmät koko järjestelmästä ja sen toimivuudesta.

Luvussa neljä perehdytään Tampereen kaupungin liikennejärjestelmään. Ensin käsitellään kaupungin liikennevalojärjestelmää ja sen nykyistä liikennevaloetuuksien järjestämistapaa. Toiseksi selvitetään Tampereen raitiotien erilaisia suunnitteluvaiheita 1900-luvun alusta nykypäivään saakka. Tämän jälkeen käsitellään uuden yleissuunnitelman sisältö. Lopuksi tutkitaan, kuinka esimerkkikaupungeista opituin tekniikoin ja periaattein Tampereen raitiotiejärjestelmän liikennevalo-ohjaus tulisi järjestää erilaisissa tilanteissa.

2 LIKENNEVALOT, RAITIOTIE JA NIIDEN YHTEENSOVITTAMINEN

2.1 Liikennevalot

Liikennevalojen tehtävänä on rytmittää liittymän toimintaa ja taata turvallinen ja sujuva kulku liittymässä jokaiselle kulkumuodolle. Tämä tapahtuu antamalla liittymässä kulkeville vuoroja liittymän läpi ennalta määritettyjen liikennetietojen perusteella tai liittymän liikennetilanteen mukaan siten, että ruuhkaisemmat suunnat saavat enemmän vihreää aikaa kuin muut.

2.1.1 Historiaa

Vuonna 1918 rakennettiin New Yorkiin ensimmäiset käsin ohjattavat kolmiväriset liikennevalot. Kahdeksan vuotta myöhemmin vuonna 1926 englantilaiskaupunki Wolverhamptoniin tulivat ensimmäiset automaattisesti ja aikaperusteisesti toimivat liikennevalot. Ensimmäiset liikennetieto-ohjatut liikennevalot tehtiin Yhdysvaltoihin 1930-luvulla. Niiden toiminta perustui ilmaisimikrofoneihin. 1960-luvulla siirryttiin tietokoneisiin perustuviin keskitettyihin ohjausjärjestelmiin. Tuolloin liikennetilanteiden vaihteluun vastattiin vaihtamalla liikennevalojen käyttämää ohjelmaa aikaperusteisesti. 1970-luvun lopulla tulleet ilmaisimien avulla toimivat liikennetieto-ohjauksiset valo-ohjausjärjestelmät ovat kuitenkin osoittautuneet toimivammaksi kuin aikaperusteinen ohjaus. (Luttinen & Ojala 2006)

Suomessa liikennevalojen historia lähtee liikkeelle vuodesta 1951, jolloin Helsinkiin rakennettiin ensimmäiset liikennevalot Aleksanterinkadun ja Mikonkadun liittymään. Aina 1970-luvulle asti tehtiin aikaperusteisesti toimivia liikennevaloja. Kun tämän jälkeen kaupungit hankkivat tietokoneita ohjaamaan liikennevaloja, keskittyminen siirtyi alueelliseen valo-ohjaukseen. 1980-luvulla liikennetieto-ohjaus yleistyi nopeasti mikroprosessorien toimivien liittymäkojeiden tultua. Nykypäivänä liikennevalot ovat olennainen osa tie- ja katumaisemaa, mutta kiertoliittymät ovat haastamassa liikennevalo-ohjatut liittymät monin paikoin. (Luttinen & Ojala 2006)

2.1.2 Liikennevalojen ohjaustavat ja -periaatteet

Kuten edellä on jo mainittu, erilaisia liikennevalojen ohjaustapoja ovat käsiohjaus, aika-ohjaus ja liikennetieto-ohjaus. Käsiohjauksessa käyttäjä ohjaa liikennevaloja manuaalisesti. Aikahjauksessa liikennevaloilla on kiinteät ohjelmat, joissa eri valojen ajat ovat

vakiot. Eri ohjelmat vaihtelevat ennalta suunnitellun aikataulun mukaan. Liikennetieto-ohjauksessa liikennevalojen kestot vaihtelevat ilmaisimilta saatavien liikennetietojen mukaan. Luttisen ja Ojalan (2006) mukaan liikennetietoihin perustuva ohjaustapa voi olla kiinteä tai adaptiivinen. Kiinteässä ohjauksessa liikenteen vaihteluihin reagoidaan ohjelman muutoksella, kun taas adaptiivisessa ohjauksessa valo-ohjaus optimoidaan ilmaisintietojen ja vallitsevan ohjauksen mukaan.

Liikennevaloliittymien keskinäisiä ohjauseriaatteita on kolme, erillisohjattu, linkitetty ja yhteenkytketty. Erillisohjattu valoliittymä toimii itsenäisesti erillään muista liittymistä. Pääasiallisesti se toimii liikennetieto-ohjattuna ja muuttuvalla kiertoaajalla, joka tekee liittymästä erittäin joustavan. Erillisohjattu liittymä on paras valinta, kun liittymien välillä on ainakin 600–1000 metriä, koska tuon välin kasvaessa ajoneuvojono hajaantuu ja yhteenkytkentä heikentää merkitystään. Liittymä toimii erillisohjattuna myös, jos väylällä on liittymien välissä liikennevirtaan häiriöitä aiheuttavia elementtejä, kuten tonttiliittymiä ja liikennevalottomia suojateitä. Erillisohjauksen erikoistapaus on linkitys, jossa kaksi toisiinsa linkitettyä liittymää toimii yhdessä kuin laajennettu erillisohjattu liittymä. Siinä kiertoaika on muuttuva.

Yhteenkytkentä, eli tahdistettu ohjaus, tarkoittaa kahden tai useamman valoliittymän toiminnan synkronoimista. Tämä mahdollistaa niin kutsutun vihreän aallon muodostamisen väylälle. Yhteenkytketyt liittymät voivat toimia aikaohjauksella tai liikennetieto-ohjauksella, mutta jälkimmäisen käyttäminen on liittymien synkronoinnista johtuen rajoitettua. Kiertoaika on tässä tapauksessa kiinteä. Yhteenkytkentä toimii parhaiten, kun liikennevirta kulkee tasaisesti ja liittymävälit ovat tasamittaisia. Alueellinen valo-ohjaus on kaupunkien keskustoissa käytettävä yhteenkytkennän laajennus. Siinä liikennevalot ovat verkkotasolla yhdessä ohjattuja. Taulukossa yksi on kuvattu liikennevalojen ohjauseriaatteiden ja liittymävälän sekä nopeusrajoituksen vaikutusta valo-ohjauksen laatuun. (Luttinen & Ojala 2006)

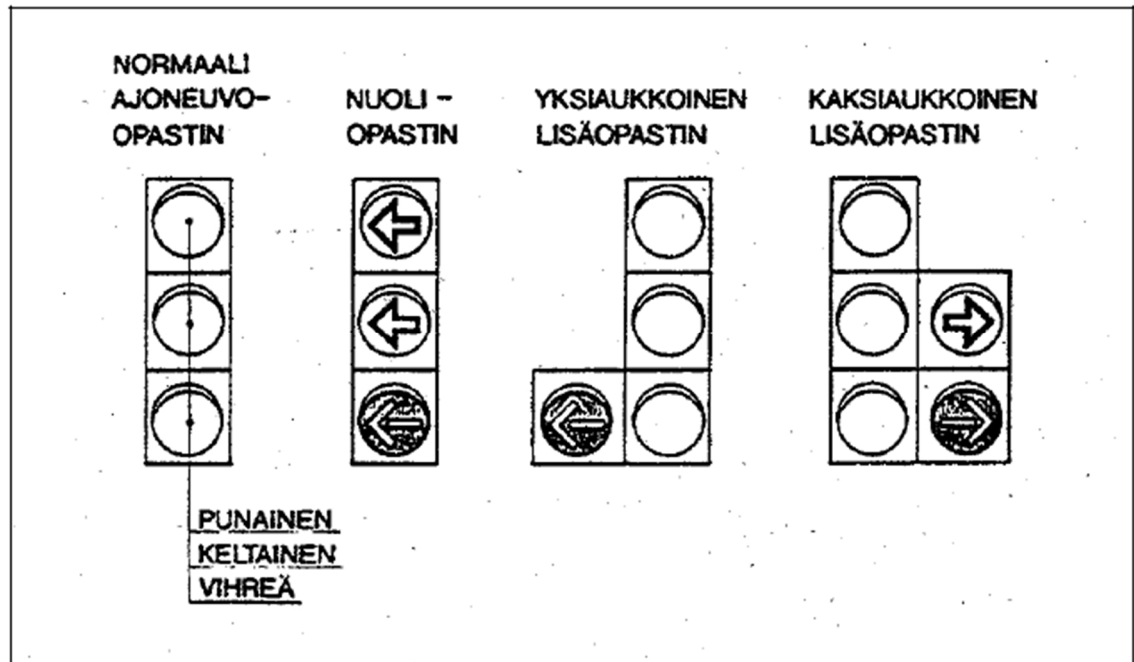
Taulukko 1 Liittymäväli ja valo-ohjauksen laatu (Tiehallinto 2005)

Valo-ohjauksen luokka / päätoimintatapa	LIITTYMÄVÄLI (m)		
	Nopeusrajoitus (km/h)		
Laatutaso	70	60	50
A1: Erillisohjatut liikennevalot			
HYVÄ	> 1000	> 850	> 650
TYDYTTÄVÄ	600 - 1000	500 - 850	400 - 650
VÄLTÄVÄ	300 - 600	250 - 500	200 - 400
B1: Yhteenkytkentä, ruuhka-ajan kaksisuuntaisella vihreällä aallolla			
HYVÄ	700 - 900	600 - 800	450 - 650
TYDYTTÄVÄ	600 - 750	450 - 650	350 - 500
VÄLTÄVÄ	300 - 600	250 - 450	200 - 350
B2: Yhteenkytkentä, ruuhka-ajan yksisuuntaisella vihreällä aallolla			
HYVÄ	600 - 750	450 - 650	350 - 500
TYDYTTÄVÄ	450 - 650	350 - 500	250 - 400
VÄLTÄVÄ	250 - 450	200 - 350	150 - 250

Taulukosta yksi nähdään, että kaupunkien keskustoissa tiheällä liittymävälillä ja alhaisilla ajonopeuksilla yhteenkytkennällä saadaan parasta laatutasoa. Erillisohjatut liittymät tarjoavat hyvää laatutasoa pitkillä liittymäväleillä.

2.1.3 Liikennevalolaitteet

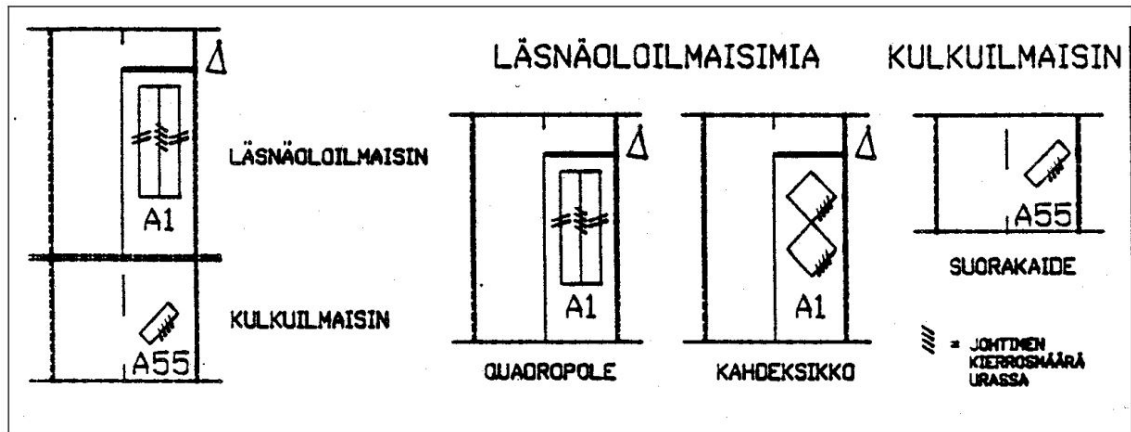
Liikennevalolaitteita ovat opastimet ja ilmaisimet sekä ohjauskoje. Opastimilla ohjataan liikennettä ja ne jaotellaan pääopastimiin ja toisto-opastimiin. Pääopastin sijoitetaan ennen liittymää pysähtymispaikan kohdalle, joko tulosuunnan oikealle puolelle tai yläpuolelle. Toisto-opastimen tai -opastimien tehtävänä on toistaa pääopastimen signaali ja varmistaa, että liittymää lähestyvät ajoneuvot näkevät ainakin yhden opastimen, jos pääopastin on katveessa. Tavallisen kolmiaukkoisen opastimen lisäksi käytössä on erikoisopastimia, kuten jalankulkijoiden kaksiaukkoiset opastimet, pyöräilijöiden kolmiaukkoiset opastimet ja nuolenmuotoiset lisäopastimet. Kuvassa yksi on ajoneuvojen ohjaamiseen tarkoitettut opastimet.



Kuva 1 Ajoneuvoliikenteen opastimet (Tiehallinto 2005)

Ilmaisinten tehtävänä on antaa liikennevaloille tietoa liittymän liikenteestä. Läsnaöloilmaisimet välittävät tiedon liittymässä odottavasta ajoneuvosta tai jalankulkijasta. Myös painonapit toimivat jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ilmaisimina. Kulkuilmaisimet ilmaisevat liittymää lähestyvistä tai sen ylittäneistä ajoneuvosta. Muita ilmaisimia ovat esimerkiksi polkupyöri- ja nopeusilmaisimet.

Silmukkailmaisimien on yleinen ilmaisintyyppi. Sillä pystyy havaitsemaan niin läsnäoloa kuin ajoneuvon kulkua. Silmukka asennetaan päällysteeseen ja se havaitsee magneettikentän muutoksen ajoneuvon ajaessa yli. Erilaisia silmukkailmaisimia on esitetty kuvassa kaksi. (Tiehallinto 2005)



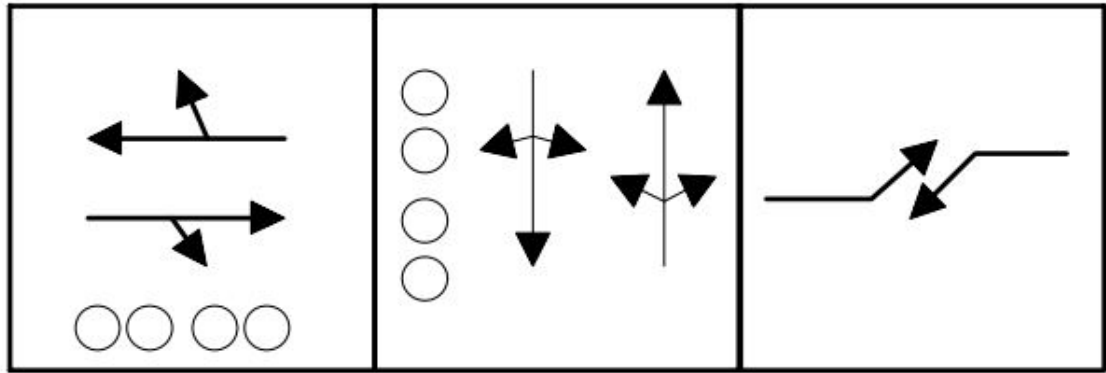
Kuva 2 Silmukkailmaisimet (Tiehallinto 2005)

Silmukkailmaisimen lisäksi ajoneuvoja voidaan havaita infrapuna- ja tutkailmaisimilla. Infrapunailmaisimissa toimii havaitsemalla lämpösäteilyn muutoksia. Siksi se ei sovellu läsnäoloilmaisimeksi. Tutkailmaisimissa toimii havaitsemalla ilmaisimen lähettämän taajuuden muuttumisen sen osuessa liikkuvaan kohteeseen. Sillä on laaja ilmaisukeila, joka vaikeuttaa sen käytettävyyttä ajoneuvojen ilmaisuun. Se toimii kuitenkin hyvin jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden havaitsemiseen ja lisäksi tutkailmaisimissa tunnistaa myös liikkeen suunnan, mikä on tärkeää jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ilmaisemisessa. Jalankulkijoille ja pyöräilijöille erityisiä läsnäoloilmaisimia ovat painonapit. (Tiehallinto 2005)

Ohjauskojeella toteutetaan liikennevalojen ohjaus. Tyypillisesti yhdellä ohjauskojeella ohjataan yhtä liittymää, mutta useamman liittymän ohjaaminen on mahdollista, jos liittymät sijaitsevat tarpeeksi lähellä toisiaan. Ohjauskoje koostuu kojekaapista sekä ohjauskojeistosta ja se sisältää kaikki liittymän ohjaukseen tarvittavat ohjelmoinnit. (Tiehallinto 2005)

2.1.4 Liikennevalojen suunnittelu

Liikennevalo-ohjauksen suunnittelu käynnistyy suunnittelemalla liittymän mitoitus ja tutkimalla liikennemäärät. Sen jälkeen mietitään opastinryhmät ja vaihejako. Nämä täytyy jakaa vähintään kahteen osaan siten, että ensisijaiset törmäysuhat estetään. Tämä tarkoittaa risteävien tulosuuntien törmäyksen estämistä. Muiden, toissijaisten törmäysuhkien välttämiseen tarvitaan useampia vaiheita. Mitä useampi vaihe suunnitellaan, sitä turvallisempi liittymästä tulee ajaa, mutta silloin myös liittymän välityskyky laskee. Kuvassa kolme on yksinkertainen esimerkki nelihaaraisen liittymän vaihejaosta.



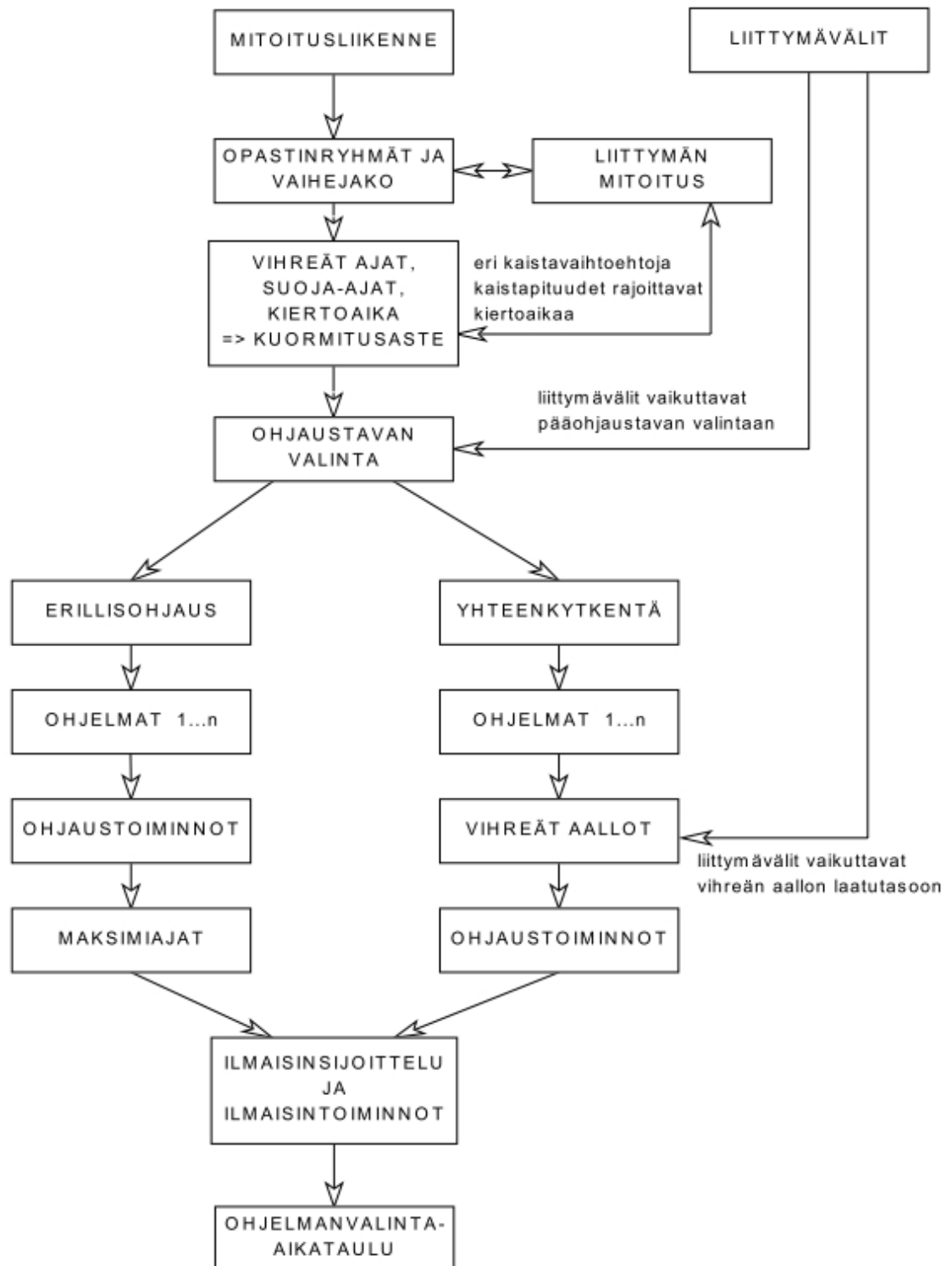
AJONEUVOVIHREÄ



JALANKULKUVIHREÄ

Kuva 3 Esimerkki yksinkertaisesta nelihaaraliittymän vaihejaosta (Tiehallinto 2005)

Tämän jälkeen määritetään liikennevaloille suoja-ajat ja vaihtumisaajat. Vaihtumisaika on opastinryhmän vihreän lopusta toisen opastinryhmän vihreän alkuun kuluva aika. Suoja-aika on tälle välille sijoittuva aika, jolla varmistetaan käyttäjien ehtiminen pois liittymästä ennen uuden vaiheen aloitusta. Näiden jälkeen määritetään vihreä aika ja kiertoaika liikennemäärien, liittymän geometrian, kaistamäärien, opastinryhmäjaon ja valovaiheiden perusteella. Kuvassa neljä on kuvattu valo-ohjauksen toiminnan suunnittelun kulkua.



Kuva 4 Valo-ohjauksen toiminnan suunnittelun kulku (Tiehallinto 2005)

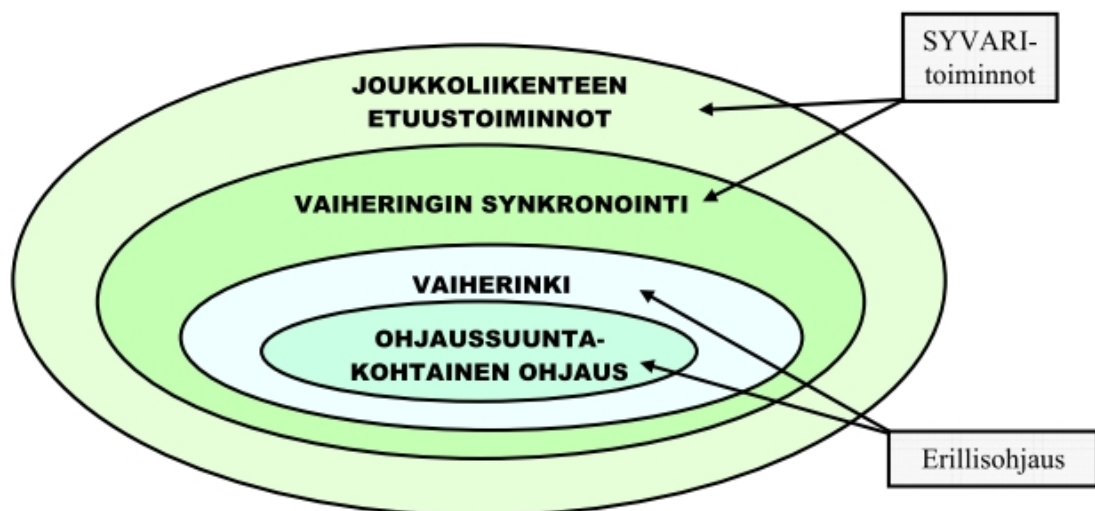
Ohjaustavan valinta tehdään edellä mainittujen aikojen suunnittelun jälkeen. Riippuen valitaanko erillisohjaus vai yhteenkytkentä, suunniteltavat seikat poikkeavat toisistaan. Lopuksi määritetään tarvittavat ilmaisimet ja niiden paikat sekä viimeisenä erilaisille ohjelmille eri käyttöajat.

2.1.5 Ohjaustekniikat

2.1.5.1 SYVARI

JENKA – Joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet joka kaupunkiin oli hanke, joka toteutettiin suomalaisen joukkoliikenteen liikennevaloetusjärjestelmän kehittämiseksi ja toteuttamiseksi. Tuo hanke jaettiin neljään osaan, jotka olivat ohjaustavan kehittäminen, sen vakiointi, suunnitteluohjekirjan laadinta ja ohjaustavan vaikutusten arviointi. Kehitettäväksi ohjaustavaksi valittiin SYVARI, eli synkronoitu vaiherinki. (Sane 2011)

SYVARI on Turussa kehitetty uudenlainen tapa toteuttaa yhteenkytkettyä valo-ohjausta. Siinä yhdistyy perinteisten erillisohjauksen ja yhteenkytketyn ohjauksen ominaisuudet. Kun yhteenkytketyssä ohjauksessa vihreä annetaan kiertoaikalaskurin sekuntilukemien perusteella, SYVARI:ssa tähän käytetään vaiherinkiä, joka määrää millä ohjaussuunnalla kulloinkin on vihreän aloituslupa. Erillisohjauksesta poiketen SYVARI:n vaiherinki on synkronoitu kiertoaikaan. Jos risteyksessä ei ole etuustoimintoja, toimii SYVARI kuin yhteenkytketty valo-ohjaus. (Salonen, M. 2011) Kuvassa viisi on havainnollistettu SYVARI:n rakenne ja toiminnot.



Kuva 5 SYVARI:n rakenne (Salonen, M. 2010)

SYVARI:n toiminnot ovat siis vaiheringin synkronointi ja joukkoliikenteen etuustoiminnot. Synkronointi mahdollistaa vaiheringin käytön yhteenkytketyssä ohjauksessa ja etuustoiminnot siirtävät synkronoinnin taka-alalle, jolloin etuudet toteutetaan hyödyntäen vaiheringin perusominaisuuksia. Tämän vuoksi SYVARI soveltuu hyvin joukkoliikenne-etuuksien toteutukseen. Se vaatii myös vähemmän suunnittelu- ja ohjelmointityötä, koska etuuksien toteuttaminen perustuu suurelta osin ohjauskojeissa perustoimintona olevan vaiheringin ominaisuuksiin. (Salonen, M. 2011)

JENKA-hankkeen myötä SYVARI saatiin myös vakioitua. Hankkeeseen otettiin mukaan laitevalmistajat, jotka vakioivat SYVARI:n ohjauskojeisiinsa. Näin SYVARI:n toteuttamiseen ei ole enää teknisiä rajoituksia ja sitä pystytään soveltamaan kansallisesti

jokaisessa kaupungissa. Koska vakioinnista seurasi sekin, että asiat tehdään joka kaupungissa samalla tavalla, myös liikennetekninen ylläpito helpottui.

2.1.5.2 SPOT

SPOT eli System for Priority and Optimisation of Traffic on adaptiivinen alueellinen liikennevalo-ohjausjärjestelmä. Sen toiminta perustuu ilmaisimilla havaittuun liikenteeseen ja optimointi tapahtuu alueellisesti ja kustannusperusteisesti. Kustannukset laskeaan viivytyksistä, pysähdyksistä, sekä ruuhkautumisesta, joita minimoimalla järjestelmä päättää liikennevalojen toiminnasta. Järjestelmä optimoi jatkuvasti laatimalla kolmen sekunnin välein uuden ennusteen seuraavaksi kahdeksi minuutiksi. Samassa syklistä vaihtavat myös vierekkäiset liittymät liikenne- ja ohjaustietonsa. (Sihvola 2001)

Sihvolan (2001) mukaan SPOT-ohjauksessa käytetään kiinteää vaihejärjestystä ja siinä jokaiselle vaiheelle määritellään minimi- ja maksimijat. Vaiheet voidaan ohjelmoida toteutumaan pyynnöstä tai kiinteinä. Järjestelmän tekemä optimointi määrittää koska eri vaiheet vaihtuvat. Joukkoliikenne-etuudet saadaan SPOT-ohjauksessa järjestettyä määrittämällä niille kalliimmat kustannukset, jolloin järjestelmä ottaa kustannusperusteisessa optimoinnissa tämän huomioon. Luonnollisesti joukkoliikenne-etuudet vaativat ilmaisinteknologian käyttöä.

SPOT-järjestelmä on alun perin Italian Torinosta lähtöisin ja on sieltä laajentunut muihin maihin. Tampereellakin järjestelmää on käytetty Pirkankadun ja Paasikiventien ympäristössä. Ensimmäinen kokeilu Pirkankadulla oli jo vuonna 1998. Tulokset kokeiluista jäivät kuitenkin heikommaksi verrattuna tavalliseen yhteenkytkentäohjaukseen. Tämän lisäksi SPOT-ohjauksen ylläpitäminen on työläämpää, joten tällä hetkellä SPOT-ohjausta ei ole enää Tampereella käytössä. (Tampereen kaupunki 2011)

2.1.5.3 SCOOT

Split Cycle and Offset Optimization Technique (SCOOT) on Isossa-Britanniassa kehitetty optimoiva ohjaustekniikka. Synnyinmaassaan tekniikka on laajalti käytössä muun muassa Lontoossa, Southamptonissa ja Glasgow'ssa, mutta se on levinnyt myös maailmalle ja on käytössä esimerkiksi Torontossa ja Pekingissä. (Moore et al. 2005)

Mooren ja kumppanien (2005) mukaan SCOOT toimii teoriassa parhaiten, kun liikennettä on paljon ja se on monimutkaista sekä arvaamatonta. Parhaassa tapauksessa SCOOT sekä viivyyttää ruuhkan syntymistä, että kykenee selvittämään ruuhkan aikaisessa vaiheessa. SCOOT on täysin mukautuva systeemi, joka käyttää ajoneuvoilmaisimilta saatavaa tietoa liikennevalojen toiminnan säätämisessä ja pyrkii vähentämään ajoneuvojen viiveitä ja pysähdyksiä. SCOOT pystyy vastaamaan nopeasti liikenteen vaihteluihin, mutta ei kuitenkaan niin nopeasti että se olisi epävakaa. (Konsult 2009)

SCOOT tekee optimointia kolmessa mukautuvassa vaiheessa. Se säätää annettavan vihreän valon aikaa (split) tekemällä ennusteen ja mukautumalla siihen. Valokierron pituutta (cycle) voidaan myös muuttaa, jos jonon pituus on yli 90 prosenttia maksimista. Lisäksi peräkkäisten liittymien vihreän valon aloitusaikaa (offset) mukautetaan. (Van den Berg et al. 2007)

2.2 Raitiotie

Raitiovaunuilla on takanaan mielenkiintoinen historia. Raitiotiejärjestelmät ovat kokeneet Euroopassa renessanssin alkaen 1900-luvun loppupuolelta ja jatkuen tälle vuosituhannelle. Jo kertaalleen rakennetut ja puretut raitiotiet ovat palanneet takaisin, kun päättäjät ovat ymmärtäneet tehokkaan joukkoliikennejärjestelmän tarpeen. Parhaiten tätä kuvaa tapahtumat Ranskassa aina 1800-luvulta nykypäivään.

2.2.1 Historia, Ranskan raitiotierenessanssi

2.2.1.1 Teollistuminen

Ranskassa, kuten muuallakin Euroopassa, ihmisiä muutti 1800-luvulla maalta kaupunkiin teollistumisen myötä. Kasvavissa kaupungeissa oli suuri tarve kuljettaa ihmisiä ja luoda joukkoliikennettä. Tähän tarpeeseen saatiin raitiotiet. Tätä ennen ihmiset kulkivat lähinnä kävellen ja hevosrattailla. Vuonna 1852 ranskalainen Alphonse Loubat kehitti raidesysteemin, joka mahdollisti katutason raideliikenteen. Tämä toi raitioliikenteen kaupunkiin, koska nämä katuun upotetut raiteet eivät olleet esteenä kaduilla. Pian tämän jälkeen ensimmäiset hevosvetoiset vaunut tulivat moniin ranskalaisiin kaupunkiin, ensimmäisenä Pariisiin. (Boddice 2011)



Kuva 6 Pariisin hevosvetoinen raitiovaunu (Phot-image 2009)

Hevosten käyttämisessä oli muutamia haittapuolia ja seuraava kehitysaskel oli mekaanisesti toimivat vaunut. Aivan 1800-luvun lopussa tekniikka kehittyi ja raitiovaunut saatiin kulkemaan sähköllä. Vaikka monissa kaupungeissa isojen sähkölankaverkkojen rakentaminen koki vastustusta, sähköiset raitiovaunut valloittivat lähes 100 ranskalaista kaupunkia 1900-luvun vaihteessa. (Tramway Information 2008)

2.2.1.2 Autoistuminen

Raitioteiden kannalta ikävämpi historia ajoittuu vuosikymmeniin ennen ja jälkeen toisen maailmansodan. Tuolloin vahvasti nousseet ja kehittyneet henkilöauto ja bussi korvasivat pitkälti raitiovaunun. Henkilöauton suosion noustessa, kaupunkikehityksessä tuli vallalle ajatus, jonka mukaan kaupunki on muokattava henkilöauton tarpeille. Vielä vuonna 1971 Ranskan presidentti Georges Pompidou lausui, että kaupungin on sopeutettava autoon. (Rieg 2014) Nykypäivänä ajatusta voidaan pitää lyhytnäköisenä ja huonona, ainakin eurooppalaisesta katsantokannasta. Tosin edelleen tänä päivänä esimerkiksi monet yhdysvaltalaiset kaupungit toimivat ja kehittyvät tuolla periaatteella. Ranskan lähes sadasta kaupungista raiteet revittiin, koska tilaa tarvittiin autoliikenteelle. Raitiovaunuliikenne jäi vain kolmeen kaupunkiin, Lilleen, Marseillen ja Saint-Etienneen. Tosin edellä mainituissakin kaupungeissa raitiovaunuliikennettä supistettiin huomattavasti. (Tramway Information 2008)

Elintason kohotessa kaupungeissa 1900-luvulla, henkilöautot olivat uutta ja luksusta. Ne olivat mukavia matkustusvälineitä, aikatauluttomia ja palvelivat joustavasti ja nopeasti. Joukkoliikennettä kehitettiin bussin varaan, koska se koettiin mukavampana matkustaa, eikä se vaatinut ylimääräisen infrastruktuurin rakentamista.

2.2.1.3 Raitiovaunujen uusi tuleminen

Ranskalaiset kaupungit täyttivät jatkuvasti autoista ja vuonna 1975 Marcel Cavaille, Ranskan liikenneministeri, käynnisti prosessin, jonka tarkoituksena oli edistää raitiovaunujen paluuta kaupunkiin. (Haudebourg 2013) Autoistumisen ongelmat olivat kaupungeissa saavuttaneet kipupisteen ja yleinen ilmapiiri alkoi kallistua henkilöautoista pois. Suuria ongelmia aiheuttivat muun muassa 1970-luvun öljykriisi, ilman saastuminen, ruuhkat ja autojen parkkeeraaminen. Kaupunkitilan uudelleen suunnittelemisesta ihmisten, ei autojen, ehdoilla edustaa hyvin kuvassa seitsemän näkyvä Place de la Mairie ja oopperatalo Rennesistä, Ranskasta. Vasemmalla näkyy tilanne 1960-luvulta, kun henkilöautot ovat vallanneet torin. Oikealla on nykytilanne, jossa tori on viihtyisänä kävelyalueena.



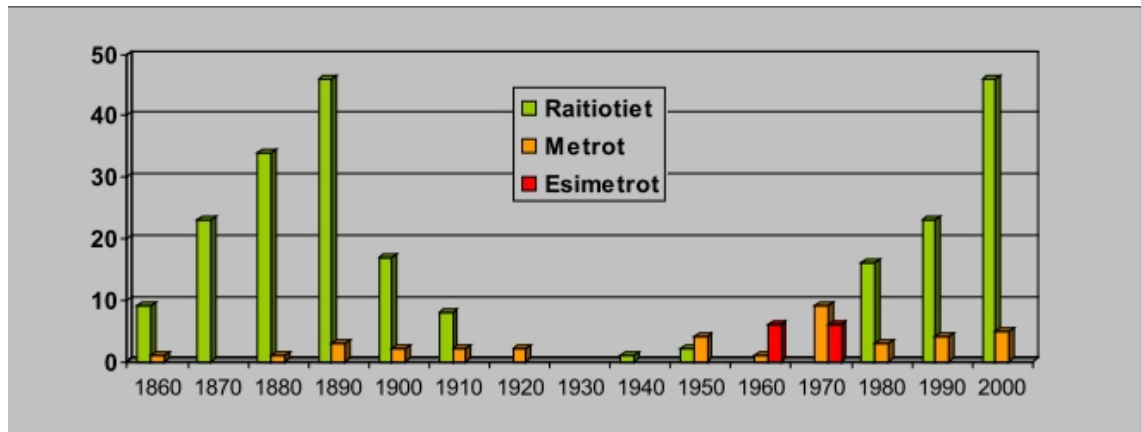
Kuva 7 Kaupungin elävöittämistä, Place de la Mairie, Rennes, Ranska (Ville de Rennes 2012)

Rantalan (2012) mukaan vuonna 1982 Ranskassa säädettiin laki julkisen liikenteen järjestämisestä, nimeltään Loi d'orientation sur les transports (LOTI). Siihen kirjattiin muun muassa valtion rahoitus julkisen liikenteen investointeihin. Laki velvoittaa yli 100 000 asukkaan kaupunkimaisia alueita yhdistämään kaupunkialueiden suunnittelun ja kestävän kehityksen.

Raitiovaunujen renessanssi käynnistyi ja vuonna 1985 Nantesiin valmistui Ranskan ensimmäinen moderni raitiovaunulinja. Muutama vuosi tämän jälkeen Grenobleen saatiin uusi raitiovaunulinja vuonna 1987. Tästä eteenpäin useat muutkin ranskalaiskaupungit noudattivat esimerkkiä ja alkoivat rakentaa uudestaan raitiovaunuliikennettä. Ranska jatkoi positiivista liikennepolitiikkaansa päättämällä vuonna 1996 säädetyssä ilmansuojelulaissa, että kaikkien yli 100 000 asukkaan kaupunkien on tehtävä kaupunkiliikennesuunnitelma Plan de déplacements urbains (PDU). (Rantala 2012)

Rantalan (2012) mukaan PDU-suunnitelmissa päätavoitteina ovat muun muassa kävelyn, pyöräilyn ja julkisen liikenteen kehittäminen sekä autoliikenteen vähentäminen. Lisäksi suunnitelmilla pyritään esimerkiksi ympäristöystävällisten kulkumuotojen edistämiseen ja rohkaisemaan työnantajia kannustamaan työntekijöitensä käyttämään julkista liikennettä tai yhteiskuljetuksia. Useissa Ranskan kaupungeissa on päädytty raitioliikenteen käyttöönottoon edellä mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

2000-luvun taitteeseen mennessä kuuteen ranskalaiskaupunkiin oli saatu moderni raitiotie. Uuden vuosituhannen ensimmäisen vuosikymmenen aikana 12 uutta kaupunkia liitettiin tähän joukkoon. Tämänkin jälkeen uusiin kaupunkiin on valmistunut raitiovaunulinjoja ja niitä on edelleen rakenteilla tai suunnitteilla monia. Kuvassa kahdeksan on esitettyä yhä käytössä olevien eurooppalaisten kaupunkiraitioliikennejärjestelmien määrät sen mukaan, millä vuosikymmenellä ne on otettu käyttöön.



Kuva 8 Yhä käytössä olevien eurooppalaisten kaupunkiraitioliikennejärjestelmien lukumäärät käyttöönottovuoden mukaan (Alkutieto 2008)

Kuten kuvasta kahdeksan nähdään, raitioteiden renessanssi on koko Euroopan laajuinen ja järjestelmien lukumäärä on selkeästi kasvusuhteessa. Tampere ja Turku eivät siis ole ainoita kaupunkeja tässä maanosassa, jotka suunnittelevat raitiotietä.

2.2.2 Raitiotien ominaispiirteet

Kuten edellisessä luvussa tuli ilmi, ihmisten muuttaminen ja pakkautuminen kaupunkikeihin on ollut käynnissä jo teollistumisen alkua ajoista saakka ja se on yhä käynnissä. Kaupunkien keskustat ruuhkautuvat ihmismäärän, matkojen ja henkilöautoilun lisääntyessä. Raitioteiden, ja joukkoliikenteen ylipäätään, tulisi tässä haastavassa tilanteessa pystyä houkuttelemaan ihmisiä, jotta he eivät tekisi matkojaan henkilöautolla.

Matkan keskeiset palvelutasotekijät ovat matka-aika ja sen ennakoitavuus, hallittavuus, turvallisuus, helppous ja mukavuus. (LVM 2012) Joukkoliikenteen tulee vastata näihin haasteisiin ollakseen kilpailukykyinen ja raitiotiellä on hyvät edellytykset siihen. Raitiovaunut koetaan mukavana matkustaa, sillä ne ovat nykypäivän tekniikalla lähes äänettömiä ja kulkevat raiteilla tasaisesti. Helppous syntyy esteettömyydestä, hyvästä vuorotarjonnasta ja reittien tunnettavuudesta. Turvallisuus on aina ollut joukkoliikenteessä hyvä. Raitiovaunun kulkiessa mahdollisimman suurelta osin omalla väylällään, on myös sen hallittavuus erinomainen. Matka-aika ja sen ennakoitavuus ovat suuria kompastuskiviä joukkoliikenteelle. Raitiotien kohdalla se on kuitenkin järjestettävissä ja siinä suuressa roolissa on liittymien ja liikennevalojen aiheuttamien viiveiden minimointi.

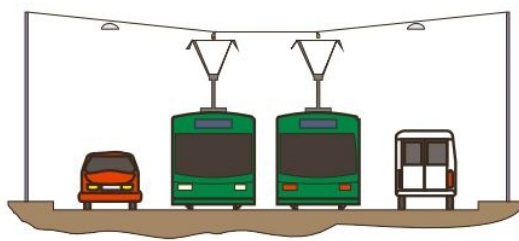
Raitiovaunun matka-aika koostuu pelkistetysti ajoajasta sekä pysäkeillä ja risteyksissä vietetystä ajasta. Ajoaikaan vaikuttaa raitiovaunun nopeus, joka voi olla riippuvainen kalustosta, muusta liikenteestä tai radan geometriasta. Ideaalitalanne olisi, että pysäkillä lähdettäessä raitiovaunu kiihdyttää huippunopeuteensa ja rullaa sen jälkeen seuraavalle pysäkillä ilman häiriöitä. Tällainen metron kaltainen operointi ei tietenkään aina ole mahdollista koska ei liikuta metron kaltaisella radalla ja täysin omassa liikennetilassa. Kalustolla on olemassa huippunopeus, mutta se on harvoin rajoittavan tekijänä. Kaupunkiympäristössä muu liikenne voi vaikuttaa, varsinkin, jos raitiovaunu ei ole omalla

väylällään. Radan geometriasta riippuen raitiovaunun voi olla pakko hiljentää mutkiin, jos ne ovat kaarresäteeltään tiukkoja. Nykyaikaiset pikaraitiotiet pääsevät keskinopeudeltaan 20–30 kilometriin tunnissa. Vanhat raitiotiejärjestelmät ruuhkaisissa kaupunkikeskustoissa saattavat jäädä keskinopeudeltaan noin 15 kilometriin tunnissa.

Jokainen pysähdys muualla kuin pysäkillä on tehokkaalle joukkoliikennevälineelle turha. Hyvä mittari raitiotien sujuvalle kululle on siksi pysähdyskerroin. Se on luku, joka kuvaa raitiovaunun tekemien pysähdysten määrää suhteessa pysäkkien lukumäärään. Jos raitiovaunu pääsee kulkemaan liikennevaloliittymistä pysähtymättä ja muuten ilman häiriöitä muusta liikenteestä, esimerkiksi omalla väylällään, ja näin ollen pysähtyy vain pysäkeille, pysähdyskertoimeksi muodostuu 1. Turhat pysähdykset laskevat linjanopeutta ja sitä kautta lisäävät matkustajan matka-aikaa sekä nostavat liikennöintikustannuksia. Esimerkiksi Helsingissä pysähdyskerroin vaihtelee 1,5-2 välillä, jota ei voida pitää tehokkaan järjestelmän tunnusmerkkinä.

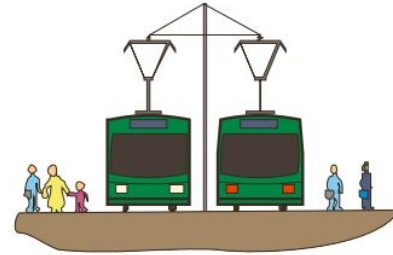
2.2.3 Raitiotie erilaisissa ympäristöissä

Raitiotieliikenne on hyvin sopeutuva liikennemuoto ja se soveltuu monentyypiseen liikenneympäristöön. Raitiovaunulla voidaan liikennöidä esimerkiksi ydinkeskustassa tai kaukana lähiöissä, omalla radalla tai muun liikenteen seassa. Muihin raideliikennejärjestelmiin verrattuna raitiovaunu on ainoa, joka sopii katu ympäristöön. Lisäksi se voidaan sijoittaa ahtaaseen ja vaativaan kaupunkirakenteeseen, sillä raitiovaunu pystyy liikkumaan melko pienillä kaarresäteillä ja pystygeometrialtaan jyrkässä maastossa. Raitiovaunun monipuolisuutta on havainnollistettu kuvassa yhdeksän.



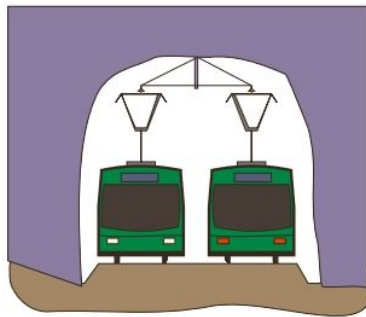
KADULLA (RAITIOVAUNU)

- Lähellä
- Nopeahko
- Halpa



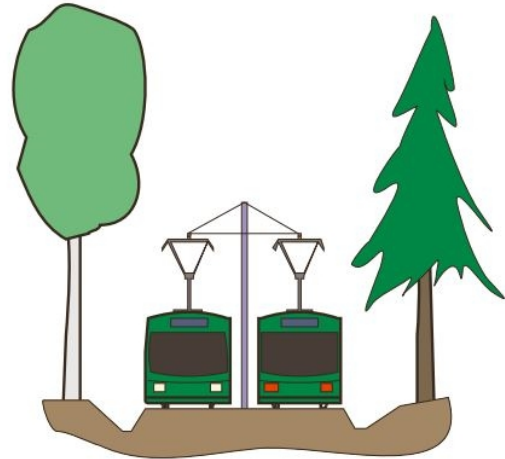
KÄVELYALUEELLA (RAITIOVAUNU)

- Lähellä
- Rauhallinen



TUNNELISSA (METRO)

- Nopea
- Vapaa linjaus
- Kallis



OMALLA VÄYLÄLLÄ (KAUPUNKIJUNA)

- Nopea
- Huokea
- Junaliikenteen kanssa

Kuva 9 Raitiotien erilaiset sijaintimahdollisuudet (Alku 2014)

Saksassa sijaitsevasta Karlsruhesta ovat saaneet alkunsa raitiovaunut, joita pystytään käyttämään myös rautatien kanssa samalla väylällä. Tällaisen ominaisuuden omaavia raitiovaunuja kutsutaan duoraitiovaunuiksi tai englanninkielisellä termillä tram-train. Tästä on hyötynä kustannussäästö, kun raitiotietä suunniteltaessa voidaan osalla reitistä ajaa jo olemassa olevalla rautatiellä. Lisäksi tämä säästää katutilaa. Duoraitiovaunujen tulee olla luonnollisesti erikoisvalmisteisia, muun muassa sähköjärjestelmältään. Myös raidelevyden tulee olla yhtenevä rautatiejärjestelmän kanssa. Tram-train vaatii lisäksi rautatieltä kapasiteettia, jotta raitiovaunut voidaan lisätä liikennöimään rataosuudelle.

Raitiovaunun hyvät ominaisuudet tarkoittavat, että sitä voidaan käyttää paikoissa minne oikeastaan millään muulla joukkoliikennevälineellä ei pystytä liikennöimään. Tällaisia paikkoja ovat kaupunkien historialliset keskustat ja kävelyalueet. Busseilla ei tällaisille alueille ole mielekästä ajaa niiden melu- ja pakokaasupäästöjen vuoksi, mutta raitiovaunu hiljaisena, saasteettomana ja esteettisesti miellyttävänä kulkumuotona sopii mainios-ti. Esimerkkejä tästä löytyy monista Euroopan historiallisista kaupungeista, kuten Grenoblesta ja Karlsruhesta. Epäkäytännöllisiksi ja rumiksi mielletyt ajolangat voidaan nykypäivänä korvata esimerkiksi ottamalla virta kiskosta, näin on toimittu muun muassa Reimsin historiallisessa keskustassa.

2.2.4 Vertailu muihin joukkoliikennemuotoihin

Raitiotiet on siis rakennettu toimimaan ruuhkaisissa kaupunkikeskustoissa kuljettaen tehokkaasti matkustajia. Toisin kuin muut kaupunkien raideliikenteen muodot, metro ja lähijuna, raitiovaunu kulkee ainakin osittain muun liikenteen seassa, asettaen sen erityiseen asemaan joukkoliikenteen toimintakentässä. Lähijunaa ja metroa käytettäessä pysäkit ovat vaikeammin saavutettavissa. Tästä johtuen raitiovaunulla päästään lähemmäs koteja, työpaikkoja ja näin ollen siis potentiaalisia asiakkaita. Myös asiakkaan kokonaismatka-aika muodostuu lyhyemmäksi lyhyellä matkalla, kun pysäkille siirtyminen vie vähemmän aikaa. Pelkästään metron laituritasolle laskeutuminen voi viedä liukupor- taissa useamman minuutin. Toisaalta metro ja lähijuna ovat nopeampia matkanopeudeltaan ja pystyvät kuljettamaan enemmän matkustajia järeämmän infrastruktuurinsa avulla. Rakentamiskustannukset ovat kuitenkin huomattavasti suuremmat näitä liikennemuotoja tehtäessä. Lisäksi on huomattava, että raitiotiestä saadaan matkanopeudeltaan kilpailukykyisempi raskaampiin raidevaihtoehtoihin verrattuna, takaamalla sille mahdollisimman viiveetön kulku katutilassa.

Busseihin verrattuna raitiovaunu kulkee yhtäläillä kadulla ja molempien liikennemuotojen liikennöintiä pystytään helpottamaan fyysisillä etuuksilla, kuten omilla kaistoilla ja väylillä, sekä liikennevaloetuksilla. Laaksosen (2008) mukaan kuitenkin raitiovaunulle voidaan järjestää paremmat etuudet. Lisäksi raitiovaunulla on lyhyemmät pysäkkiajat ja parempi kiihtyvyys kuin bussilla. Näistä syistä raitiovaunujen matkanopeus on 15–20 prosenttia suurempi kuin vastaavalla bussilinjalla.

Laaksosen (2008) mukaan raitiovaunu on myös logistisesti tehokkaampi, sillä yhdellä vaunulla pystytään kuljettamaan 150–300 matkustajaa tavallisen bussin kapasiteetin ollessa noin puolet kyseisestä luvusta. Tämän vuoksi tarpeeksi kuormitettu raitiolinja muodostuu liikennöintikustannuksiltaan edullisemmaksi kuin bussilinja. Kalustossa on muutakin eroa kuin koko. Bussin käyttöikä on tyypillisesti 10-15 vuotta, kun se taas raitiovaunuilla on jopa yli kaksinkertainen 25-40 vuotta. (Laaksonen 2003)

Selkein ero on tietenkin raitiovaunun vaatima raideinfrastruktuuri. Tästä aiheutuu raitiotien liikennöinnin aloittamiselle suuremmat kustannukset verrattuna bussiliikenteeseen. Raiteilla olo vaikeuttaa myös liikennekäyttäytymistä, sillä tavallisesti on esimerkiksi peräkkäisten raitiovaunujen mahdotonta ohittaa toisiaan. Tästä on haittaa myös poikkeustilanteissa. Raiteet kuitenkin mahdollistavat matkustajaa kohden laskettuna energiatehokkaamman liikennöinnin busseihin verrattuna. Toisin kuin bussilinjaa ajettaessa raitiovaunulinja on pysyvämpi ja tätä kautta houkuttelee myös aivan eri tavalla panostamaan ja investoimaan raitiotien varrelle pitkäjänteisesti. Lisäksi raideinfrastruktuurin rakentamisen yhteydessä rakennetaan myös viihtyisää kaupunkiympäristöä ja ovathan raitiovaunut itsessään jo kaupungin imagoa nostava elementti. (Laaksonen 2008)

2.3 Raitiotien ja liikennevalojen yhteensovittaminen

2.3.1 Lainsäädäntö

Lainsäädäntö asettaa perusrajat sille, missä tilanteessa, miten ja millä tavalla raitiotietä ohjataan liikennevaloin. Muutenkin raitiovaunun risteyskäyttäytyminen ja väistämisvelvollisuudet asetetaan laissa. Suomessa laki on kuitenkin melko suppea, sillä raitiotien ollessa vain yhdessä kaupungissa, ei ongelmia ole ollut suuressa mittakaavassa. Tästä johtuen Helsinki on saanut tavallisuudesta poikkeavia liikennevalo-ohjausjärjestelyitä varten poikkeuslupia käyttöönsä.

Tieliikennelaki tarjoaa jokaisen tienkäyttäjän tarvitsemat liikennesäännöt. Se määrää raitiovaunulle muun muassa väistämisvelvollisuudet. Liikennevalojen lainsäädäntöä löytyy tieliikennelakia täydentävästä tieliikenneasetuksesta 5.3.1982/182 neljännessä luvusta pykälistä 22–30. Siinä kerrotaan perusmääräykset liikennevaloista, kuten nuoli-valojen merkitys ja punaisen kohdalle pysähtyminen. Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) asetus tieliikenteen liikennevaloista 1012/2001 on myös tärkeä liikennevalojen lainsäädännössä. Siinä on muun muassa määräyksiä erityisliikennevaloista.

Liikenne- ja viestintäministeriö käynnisti vuonna 2013 tieliikennelain kokonaisuudistushankkeen. Hankkeen on arvioitu kestävän kaksi vuotta ja ministeriön tarkoituksena on, että hallituksen tieliikennelakia koskevat esitykset olisivat eduskunnan käsittelyssä vuoden 2015 loppuun mennessä. (LVM 2013) Tämän uudistushankkeen lopputulosta tai sitä, kuinka se tulee vaikuttamaan raitiotien lainsäädäntöön, on vielä mahdotonta arvioida.

2.3.1.1 Väistämisvelvollisuus

Vaikka väistämisvelvollisuudet ovat valo-ohjatussa risteyksessä aina selvät, on tärkeää tietää raitiovaunun yleiset väistämisvelvollisuudet. Tämä sen takia, että ylipäätään mietittäessä risteyksen tarvetta valo-ohjaukselle, on tiedettävä mitä raitiovaunun on väistettävä ja mitä ei.

Tieliikennelain toisen luvun 14. pykälässä todetaan väistämisvelvollisuudesta seuraavaa:

”Risteystä lähestyessään kuljettajan on noudatettava erityistä varovaisuutta. Hänen on väistettävä samanaikaisesti muuta tietä oikealta lähestyvää ajoneuvoa.

Risteyksessä kääntyvän ajoneuvon kuljettajan on väistettävä risteävää tietä ylittävää polkupyöräilijää, mopoilijaa ja jalankulkijaa. Samoin on kuljettajan, joka muualla kuin risteyksessä, aikoo poistua ajoradalta tai muuten ylittää sen, väistettävä tien reunaa käyttävää polkupyöräilijää, mopoilijaa ja jalankulkijaa. Vasemmalle kääntyvän kuljettajan on lisäksi väistettävä vastaan tulevaa liikennettä.

...

Raitiovaunulle on tienkäyttäjän risteyksessä, 1 ja 2 momentin säännöksistä huolimatta, annettava esteetön kulku.” (Finlex 2001)

Tasa-arvoisessa risteyksessä raitiovaunua väistävät siis muut tienkäyttäjät. Raitiovaunua koskevat kuitenkin liikennemerkkien määräämät väistämissäännöt. Kolmion tai stopmerkin takaa tulevan raitiovaunun on väistettävä risteyksessä muita, kuten tavallisen henkilöautonkin.

Suojatiekäyttäytymisestä kerrotaan tieliikennelaissa seuraavasti:

32. pykälä: ”Suojatietä lähestyvän ajoneuvon kuljettajan on ajettava sellaisella nopeudella, että hän voi tarvittaessa pysäyttää ennen suojatietä. Kuljettajan on annettava esteetön kulku jalankulkijalle, joka on suojatiellä tai astumassa sille.”

47. pykälä: ”Raitiovaunun kuljettajan on soveltuvin osin noudatettava ajoneuvon kuljettajia koskevia säännöksiä, jollei 14 §:stä muuta johdu.” (Finlex 2001)

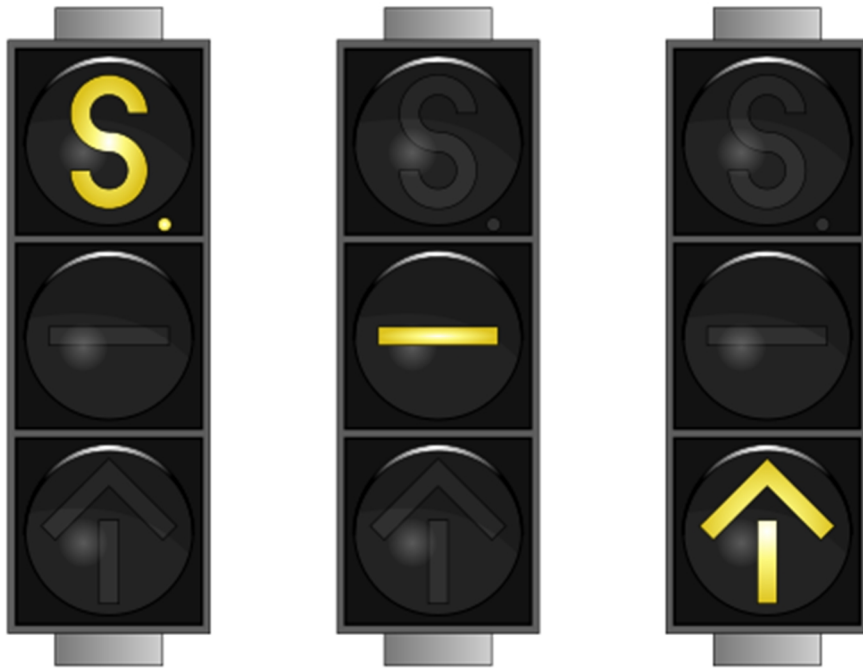
Koska 14. pykälässä ei ole 32. pykälän muuttavaa kohtaa, tarkoittaa se sitä, että raitiovaunun on väistettävä suojatiellä jalankulkijaa. Käytännössä tämä vaikuttaa raitiovaunun kulkuun siten, että suojatiet on kannattavaa varustaa liikennevaloilla, ellei kyseessä ole raideosuus, jota ajetaan hitaasti. Tätä lain kohtaa tulisi muuttaa suosimaan raitiovaunua sen mahdollisimman nopean ja esteettömän kulun mahdollistamiseksi.

2.3.1.2 Opastimet

Lainsäädännössä on tarkkaan määritetty millaisilla opastimilla raitiovaunun liikkumista tai väistämistä ohjataan. Mikäli raitiovaunu liikkuu sekakaistalla, toimii se tavallisten opastimien perusteella. LVM:n asetuksessa liikennevaloista pykälässä 37 määritetään raitiovaunuliikennettä erikseen ohjattaessa käytettävät opastimet:

”Milloin raitiovaunuliikennettä ohjataan muusta liikenteestä erillään, voidaan käyttää erityisiä valkoista valoa näyttäviä opastimia, joissa S-kirjain vastaa punaista valoa, vaakasuora viiva keltaista ja nuolen muotoinen opaste vihreää valoa.” (Finlex 2001)

Kuvassa kymmenen on esitetty esitellyn kaltaiset raitioteiden liikennevalot. Kyseiset opastimet ovat käytössä Helsingissä.



Kuva 10 Suomen lain mukaiset raitiotien liikennevalo-opastimet (Letbanen 2014)

Raitiovaunun väistäminen voidaan opastaa risteävälle liikenteelle tavallisten liikennevalojen lisäksi myös käyttämällä kolmionmuotoisia valoja, joita kutsutaan raitiovaunuvaloiksi. LVM:n asetuksessa liikennevaloista pykälässä 30 todetaan, että:

”Liikennevaloissa, jotka on tarkoitettu tieliikenteen ohjaamiseen nosto- tai kääntösillan tahi paloaseman kohdalla taikka lauttapaikalla, voidaan käyttää opastimia, joissa on yläpuolella yksi tai kaksi pyöreää valoaukkoa vilkkuvaa punaista valoa ja alapuolella yksi pyöreä valoaukko vilkkuvaa ja kiinteää keltaista valoa varten. Jos punaisen valon aukkoja on kaksi, tulee niiden olla vierekkäin samalla korkeudella ja valojen vilkkua vuorotellen.

Raitiovaunuliikennettä risteävän tieliikenteen ohjaamiseen voidaan myös käyttää 1 momentissa tarkoitettuja liikennevaloja.

Valo-opasteet on annettava seuraavassa järjestyksessä: vilkkuva keltainen, kiinteä keltainen, vilkkuva punainen, vilkkuva keltainen. Kun tarvetta ohjaukseen ei ole, pidetään opastimet sammutettuina.” (Finlex 2011)

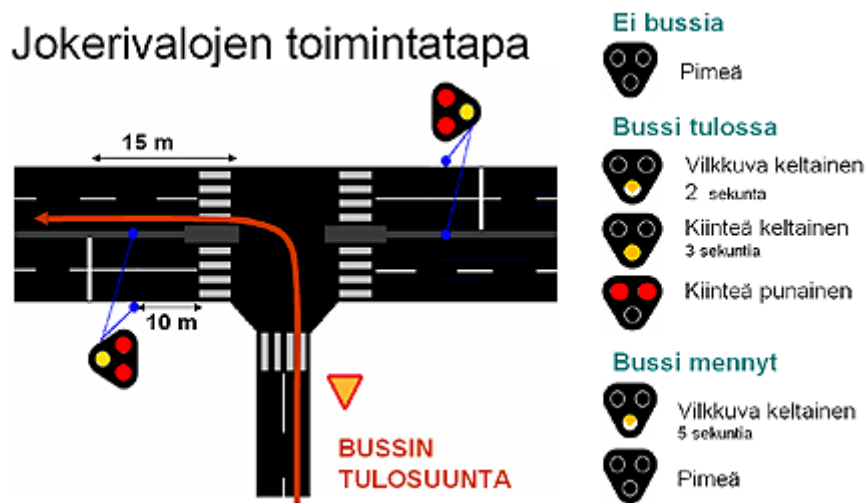
Tässä tapauksessa kyseessä on epätäydellinen valo-ohjaus. Tavallisissa liikennevaloissa, niin sanotusti täydellisessä valo-ohjauksessa, tienkäyttäjän kulkeminen on tarkoin määrättyä, vihreällä saa mennä ja punaisella ei. Raitiovaunuvaloissa, eli epätäydellisessä valo-ohjauksessa, määrätään käyttäjälle vain pysähtyminen ja muuten kulkeminen tapahtuu muiden liikennesääntöjen ja liikenteenohjauksen mukaan. (Sane 2014) Kuvassa 11 on esitettyä nämä niin kutsutut raitiovaunuvalot.



Kuva 11 Raitiovaunuvalot kohdassa, jossa raiteet ylittävät Pasilankadun Helsingissä (Google maps 2014)

Kuvassa raitiotie kulkee Pasilankatua etelästä päin omalla väylällään ajoradan sivussa. Tämän jälkeen raiteet kääntyvät Pasilankadun yli Kyllikinportille. Raitiovaunuvalot on sijoitettu Pasilankadulle katkaisemaan sitä pitkin kulkeva liikenne, jotta raitiovaunut pääsevät kääntymään vapaasti.

Vastaavia opastimia käytetään myös poikkeusluvilla osoittamaan bussin väistämistä, jolloin niitä kutsutaan jokerivaloiksi. Kuvassa 12 on esitetty jokerivalojen toimintatapa.



Kuva 12 Jokerivalojen toimintatapa (Sane 2014)

Kuvassa bussi tulee kolmion takaa sivusuunnasta, mutta jokerivaloilla risteävä liikenne pysäytetään. Tämä tapahtuu näyttämällä vilkkuvaa keltaista, kiinteää keltaista ja sen jälkeen punaista. Bussin mentyä keltainen vilkkuu vielä hetken, kunnes valot taas sammutuvat ja liittymä toimii normaalisti. Ensimmäistä kertaa Suomessa kyseisiä valoja käytettiin Jokeri-bussiyhteyden tulevalla reitillä Helsingissä. Myös Tampereella Hervannassa jokerivalot ovat olleet käytössä Hepolamminkadun ja Tieteenkadun liittymässä. Jokerivalojen ainoa ero raitiovaunuvaloihin on se, että raitiovaunuvalojen punainen valo vilkkuu ja jokerivaloissa se on kiinteä. (Sane 2014)

2.3.1.3 Muu lainsäädäntö raitiotien valo-ohjaukselle

Tieliikenneasetuksen 30 pykälässä on seuraava maininta:

”Vilkkuva keltainen valo varoitusmerkin tai merkin 511 (suojatie) yhteydessä osoittaa, että kuljettajan on noudatettava erityistä varovaisuutta.” (Finlex 1982)

Raitiovaunusta varoittavasta merkistä ja varoitusvalosta on esimerkki kuvassa 13.



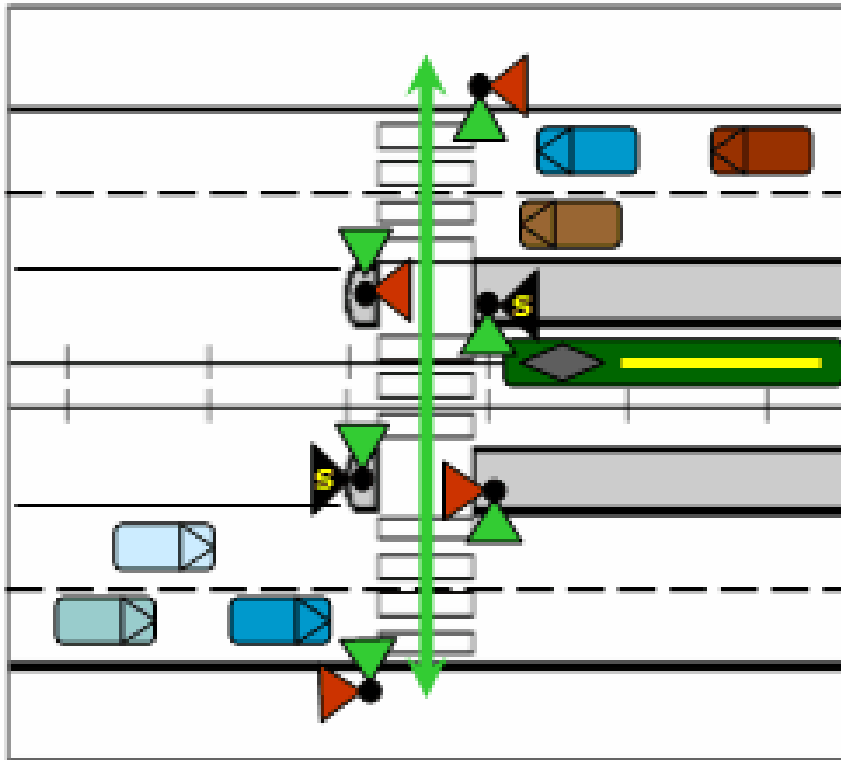
Kuva 13 Raitiovaunusta varoittava varoitusmerkki ja -valo Unioninkadulta Helsingistä (Google maps 2014)

Tällä liikennemerkillä ja keltaisella varoitusvalolla voidaan siis osoittaa kuljettajalle, että hänen on noudatettava erityistä varovaisuutta. Kuvan 13 tapauksessa varoitetaan henkilöautojen kanssa samalle kaistalle siirtyvästä raitiovaunusta.

LVM:n asetuksessa tieliikenteen liikennevaloista pykälässä 28 todetaan seuraava:

”Milloin liikennevaloilla ohjatun suojatien jatkeena on raitiotien ylityskohta, on liikennettä myös siinä ohjattava liikennevaloin.” (Finlex 2001)

Tämä tarkoittaa, että jos raitiotien ylitykseen tullaan liikennevaloilla ohjatulta suojatieltä, myös raitiotien ylitys on valo-ohjattava. Kuvassa 14 on tyypillinen esimerkki tapauksesta.



Kuva 14 Suojatien jatkeen valo-ohjaus raitiotien yli (Sane 2014)

Kuvasta näkyy myös kuinka jalankulkijoiden ylitys hoidetaan yleensä yhtenäisellä vihreällä. Koska väistettäviä raitiovaunuja on tyypillisesti vähemmän kuin henkilöautoja, voi houkutus olla suuri ylittää raitiotie punaisen valon vaiheessa, jos raitiovaunua ei ole tulossa.

2.3.2 Liikennevaloetuudet

Raitiovaunun, ja joukkoliikenteen ylipäätään, tärkein asia liikennevaloliittymässä on päästä siitä mahdollisimman nopeasti läpi, mieluiten kokonaan pysähtymättä. Tässä tärkeimmässä roolissa ovat liikennevaloetuudet. Ne ovat liikennevalojen erikoistoimintoja, jotka pyrkivät antamaan liittymää lähestyvälle joukkoliikennevälineelle vapaan kulun liittymän läpi. Ensin liikenneväline tunnistetaan sen lähestyessä liittymää ja sen perusteella muutetaan liikennevalojen kiertoa.

Moderniin raitiotiejärjestelmään kuuluu olennaisesti niin sanottu nollaviiveajattelu. Siinä lähtökohtana on, että liikennevaloista ei aiheudu ollenkaan viivettä, vaan raitiovaunu pääsee liittymän läpi edes hidastamatta. Sen järjestäminen ei aina suju ongelmitta, mutta tämän tulisi olla lähtökohtana jokaisessa uudessa ja uskottavassa raitiotiessä.

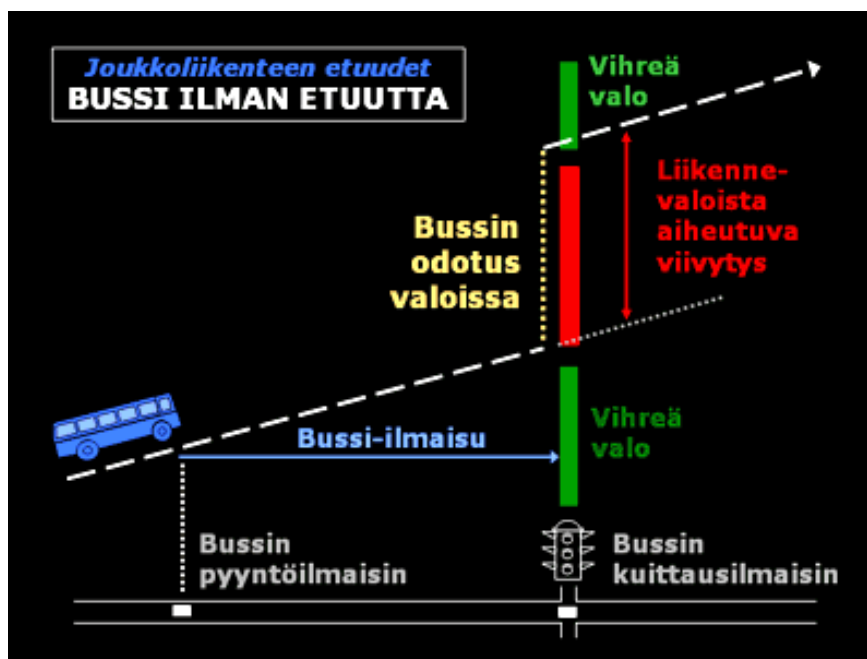
Esimerkiksi bussijärjestelmään verrattuna, raitiovaunun yleensä harvempi kulkutaajuus ja suurempi kapasiteetti tekevät täysien liikennevaloetuuksien järjestämisestä sille todella houkuttelevaa ja kannattavaa.

2.3.2.1 Etuuksien toteutustapoja

Etuuden toteutustapoja on monia ja käytettävä tapa riippuu lähestyvän ajoneuvon ajoituksesta ja sen hetkisestä valokierron vaiheesta. Tavallisimmin suoritetaan vihreän pidennys tai aiennus, mutta muitakin vaihtoehtoja on.

Ei etuuksia

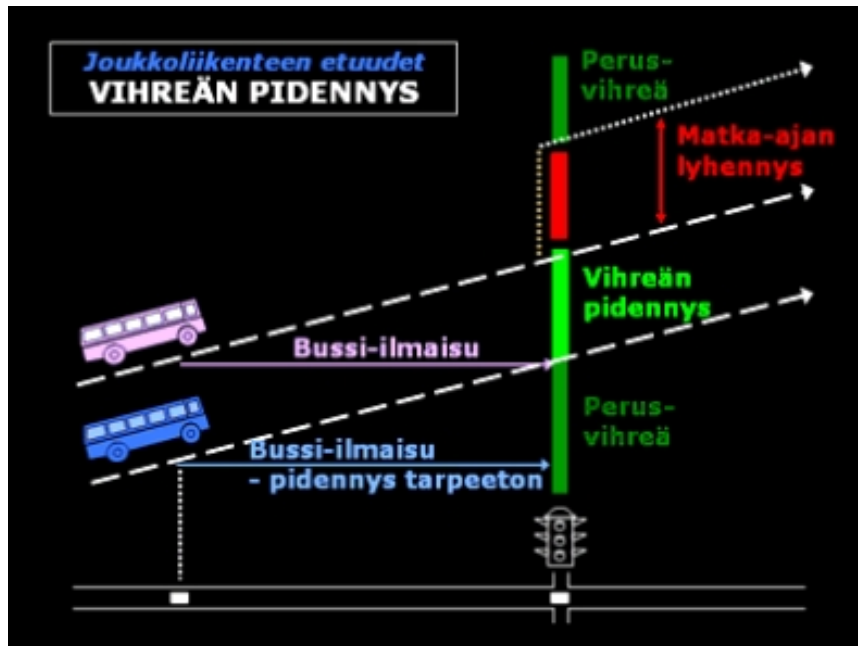
Liikennevaloliittymä, missä etuudet eivät ole toiminnassa, ei huomioi lähestyvää joukkoliikennevälinettä mitenkään. Tästä syystä liikennevaloissa kuluva aika määräytyy yksinkertaisesti sen mukaan, missä kohtaa vaihetta liittymään saavutaan. Kuvassa 15 on kuvattuna matka-aika kaaviolla tällainen liittymä ja sen aiheuttama viivytys. Pystypalkissa näkyy liikennevalon vaiheet.



Kuva 15 Bussin kulku liittymässä ilman etuutta (Sane 2014)

Vihreän pidennys

Vihreän pidennys on yleinen ja varsin yksinkertainen etuustoiminto. Jos ohjauskoje saa ilmaisun joukkoliikennevälineen tulosta liittymään siinä vaiheessa, kun vaihe on vihreä, mutta se ei ehtisi liittymän läpi ennen kuin valo muuttuu punaiseksi, ohjauskoje suorittaa vihreälle valolle pidennyksen. Kuvassa 16 sininen bussi saapuu liittymään niin aikaisin vihreän vaiheessa, että se ehtii ilman etuuttakin liittymästä läpi. Pyyntöilmaisin havaitsee violetin bussin juuri ennen perusvihreän loppumista, jolloin ohjauskoje antaa vihreään pidennyksen ja bussi pääsee liittymän läpi nopeasti.

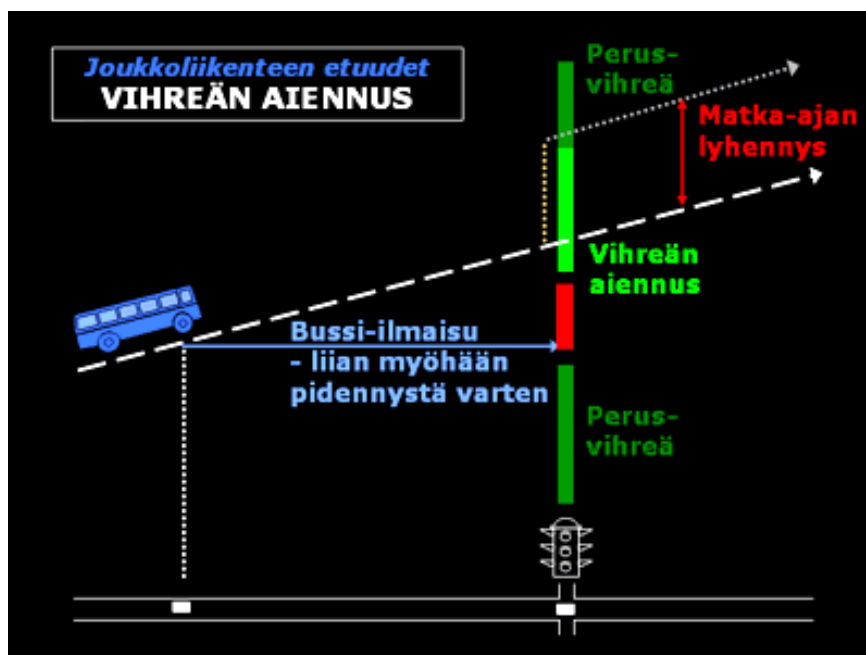


Kuva 16 Vihreän pidennys (Sane 2014)

Se kuinka pitkään ohjauskoje antaa vihreän pidennystä, voidaan määrittellä arvioimalla ilmaisimelta liittymään asti kulkemiseen kuluva aika tai käyttämällä kuittausilmaisinta, joka kertoo koska joukkoliikenneväline on saapunut liittymään tai kulkenut sen läpi.

Vihreän aiennus

Vihreän aiennuksella joukkoliikennevälineen kulkusuuntaan annetaan vihreä vaihe aiemmin kuin se tavallisesti tulisi. Tällöin liikennevalojen aiheuttamaa viivettä saadaan pienennettyä. Kuvassa 17 bussilta saatava ilmaisu tulee liian myöhään vihreän pidennystä varten, joten ohjauskoje aloittaa vihreän aiennuksen.



Kuva 17 Vihreän aiennus (Sane 2014)

Tulee muistaa, että aina kun vihreää aiennetaan yhdellä suunnalla, muilla suunnilla vihreä joudutaan lopettamaan tavallista aikaisemmin. Tässä tilanteessa niillä suunnilla missä vihreä katkaistaan, on suunniteltava ja taattava tietty minimiaika, jonka vihreä on ainakin päällä. Tämä on niin muun liikenteen sujuvuuden, kuin liikenneturvallisuudenkin kannalta tärkeää. Myös jalankulkijoiden suoja-aika on muistettava, jotta he ehtivät turvallisesti ylittää kadun.

Lisävaihe, kierron nopeutus ja vaiheen rotaatio

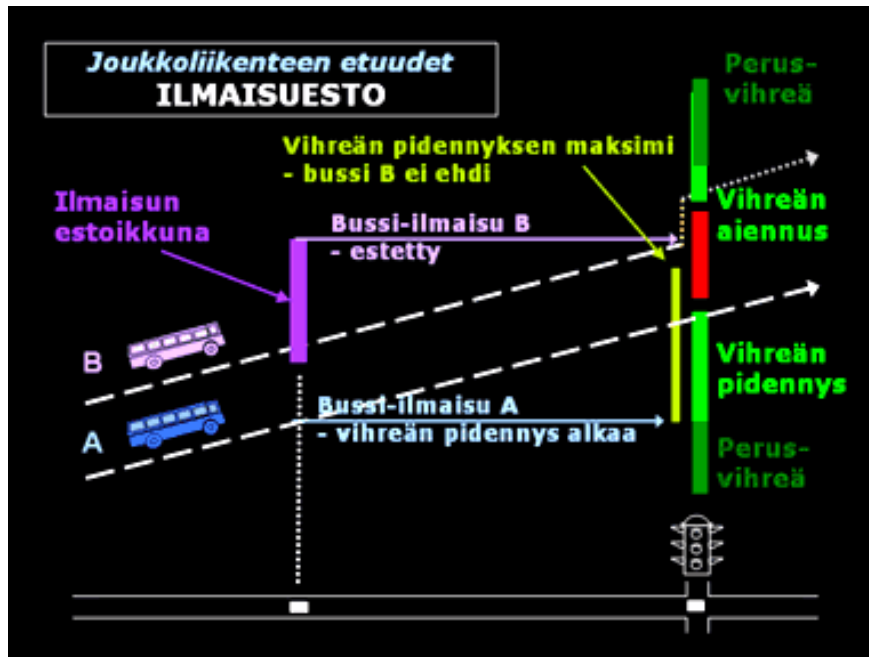
Lisävaihe on myös yksi etuuden vaihtoehto. Siinä joukkoliikennevälineelle annetaan ylimääräinen vaihe kahden punaista näyttävän vaiheen välissä. Tämä lisävaihe on yleensä hyvin lyhyt ja se sopii hyvin omalla kaistallaan liikkuvalla bussille tai raitiovaunulle. Tällöin varmistutaan siitä, ettei muuta liikennettä ole hidastamassa joukkoliikennevälineen etenemistä.

Kierron nopeutuksella on myös mahdollista järjestää etuus joukkoliikennevälineelle. Jos ilmaisu tulee liian myöhään vihreän pidennystä varten tai ylimääräiselle vaiheelle ei ole tilaa, voidaan seuraavat vaiheet lyhentää minimipituksiinsa ja näin saada nopeasti uusi vihreä halutulle suunnalle.

Vaiheen rotaatiolla pystytään joukkoliikennevälineelle järjestämään nopeammin vihreä vaihe. Tässä etuuden toteutustavassa liikennevalojen vaiheiden järjestystä muutetaan siten, että joukkoliikenteelle vihreää näyttävä vaihe toteutuu poikkeuksellisesti ennen muuta vaihetta vaihtamalla sen kanssa paikkaa vaihejärjestyksessä.

Ilmaisuesto

Voi olla että tietyissä tapauksissa etuus on ohitettava ilmaisun estolla. Tällainen tilanne on esimerkiksi kuvassa 18 esitetty skenaario, missä aiemmin ilmaisimelle tullut bussi A on pyytännyt etuisuuden ja saanut vihreän pidennyksen. Tällöin hieman perässä tuleva bussi B ei enää ehdi samalla etuudella liittymään läpi, joten etuus on ohitettava ilmaisuestolla. Kuvassa näkyy myös ilmaisun estoikkuna, jolla määritetään aikaväli, kun etuus ohitetaan.

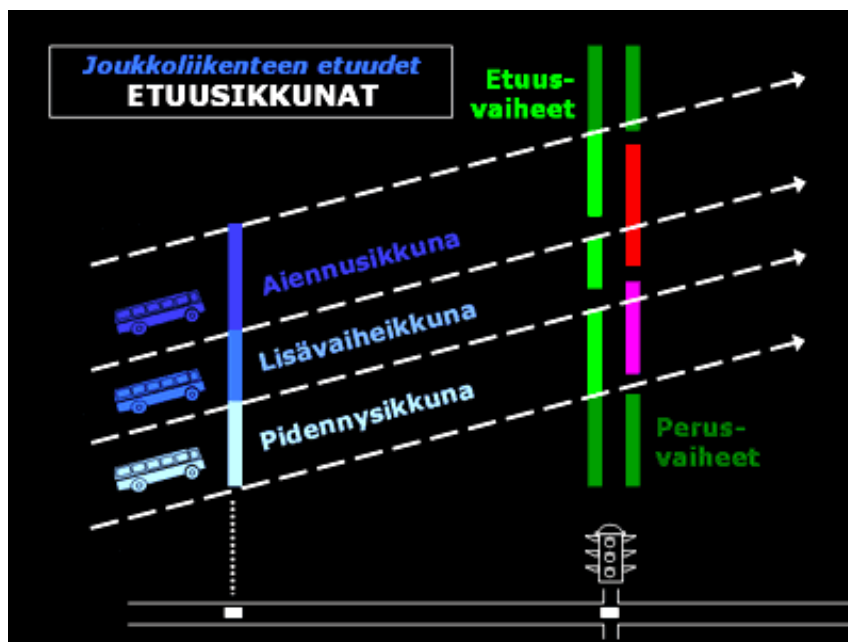


Kuva 18 Ilmaisuesto (Sane 2014)

Ilmaisuesto on tärkeä, jotta voidaan vähentää muulle liikenteelle etuuksista aiheutuvia haittoja. Myös joukkoliikenteelle itselleen on haittaa turhista etuuksista, sillä ne aiheuttavat seuraavien etuuksien lykkäytymisen.

Etuusikkunat

Edellä kuvattujen erilaisten etuuksien toteutustapojen käyttäminen perustuu ennalta määrättyjen etuusikkunoiden käyttöön. Etuusikkunoilla määritellään mitä tapaa käytetään milläkin ajan hetkellä, kun ilmaisu lähestyvistä joukkoliikennevälineistä saadaan. Kuvassa 19 on esitetty eri etuusikkunoita.



Kuva 19 Etuusikkunat (Sane 2014)

Kuvassa 19 esimerkiksi vihreän pidennyksen etuusikkuna sulkeutuu joko perusvihreän päättyessä tai ilmaisimelta liikennevaloihin kuluvan ajoajan verran ennen pidennyksen viimeistä mahdollista päättymistä. Se kumpi näistä kahdesta tulee aikaisemmin määrittää päättymishetken. Kuvasta on myös huomattava, että ennen pidennysikkunaa tai aiennusikkunan jälkeen liittymään tuleva ajoneuvo ei tarvitse etuutta ollenkaan sen päästessä normaalilla vihreällä liittymän läpi.

Jos pyynnön antava ilmaisin sijoitetaan tarpeeksi etäälle liikennevaloliittymästä, ehditään joukkoliikennevälineelle aina järjestää jokin etuusvaihtoehtoista. Tämä olisi ideaalinen vaihtoehto, koska silloin bussin tai raitiovaunun ei tarvitsisi ollenkaan pysähtyä tai välttämättä edes hiljentää vauhtiaan liikennevaloliittymän vuoksi. Tämä ei kuitenkaan usein ole mahdollista liittymän lähellä olevien pysäkkien tai toisten liikennevaloliittymien takia.

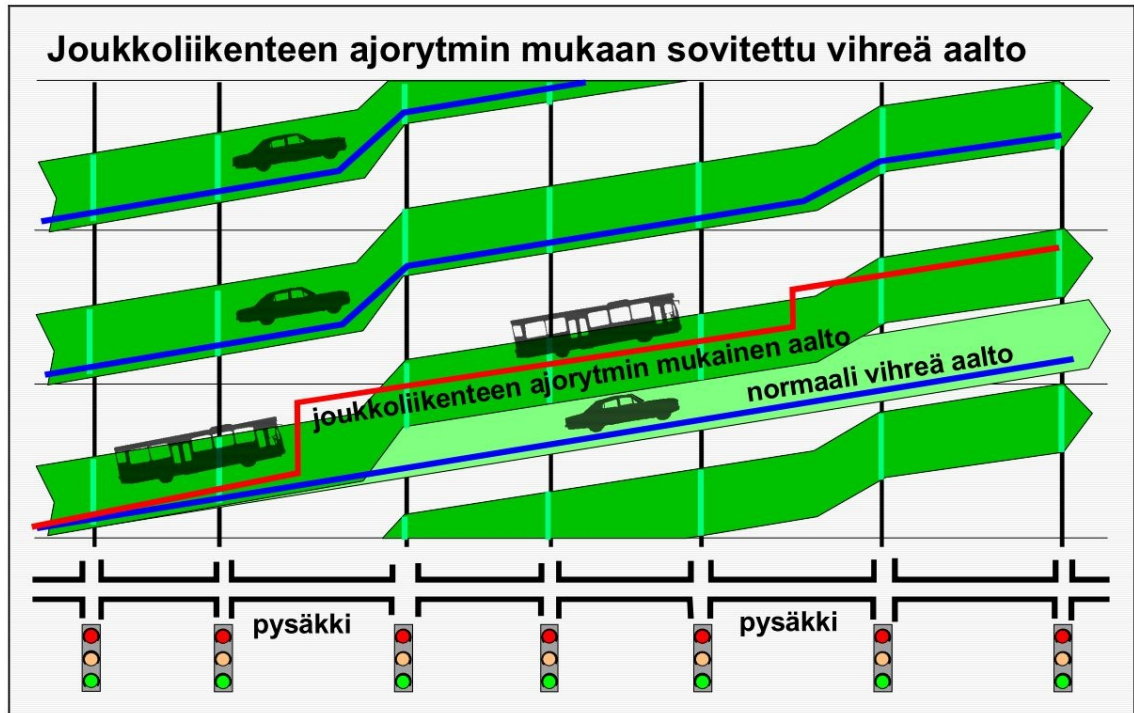
2.3.2.2 Etuuksien ohjausstrategiat

Passiivinen etuus

Passiivisessa etuudessa joukkoliikenteen kulkua pyritään nopeuttamaan liikennevalojen ajastuksen avulla. Passiiviseen etuuteen ei liity joukkoliikennevälineen ilmaisua vaan etuudet ovat koko ajan toiminnassa. Tämä tekee passiivisesta etuudesta helposti toteutettavan, mutta melko heikosti tarkoitustaan vastaavan ja muun liikenteen huomioon ottavan.

Passiivisen etuuden ratkaisutapoja on monia. Yksinkertaisimmillaan etuus voidaan suunnitella siten, että annetaan joukkoliikennevälineen kulkusuunnalle eniten vihreää aikaa valojen kierrossa. Tästä voi aiheutua ongelmia liittymän muiden suuntien toimintaan, varsinkin jos muut suunnat ovat ruuhkaisia. Yksi vaihtoehto on kiertoajan säätäminen mahdollisimman lyhyeksi, jolloin missä tahansa kierron vaiheessa valoihin saapuva joukkoliikenneväline saa vihreän valon mahdollisimman nopeasti. Lyhyt kiertoaika tosin pienentää liikennevalojen kapasiteettia ja näin hankaloittaa liittymän toimintaa. (Nash & Sylvia 2001)

Liikennevaloja voidaan myös suunnitella alueellisesti siten, että valojen kiertoajat suunnitellaan joukkoliikennevälineiden matka-ajan mukaan mahdollistaen näin niiden mahdollisimman viiveettömän kulun liikennevalojen läpi. Tällainen joukkoliikenteen ajorytmin mukaan suunniteltu vihreä aalto on näytetty kuvassa 20.



Kuva 20 Joukkoliikenteelle sovitettu vihreä aalto (Oinas 2000)

Myös vaiheiden jakaminen osiin on mahdollista. Tällöin yhden kierron aikana joukkoliikennevälineen kulkusuunnassa on useampia vihreän valon vaiheita ja näin lyhyempi odotusaika. (Nash & Sylvia 2001)

Aktiivinen etuus

Aktiivinen etuus tarkoittaa, että joukkoliikenneväline tunnistetaan, kun se on saapumassa liittymään ja sen jälkeen käynnistetään etuustoiminto, jotta se pääsee mahdollisimman nopeasti liittymästä läpi. Toisin kuin passiivisessa etuudessa, aktiivinen etuus ei siis ole toiminnassa aina ja näin ollen aktiivinen etuus vähentää sen aiheuttamia häiriöitä muuhun liikenteeseen ja liittymän toimintaan, kun joukkoliikennevälinettä ei ole liittymässä.

Aktiivinen etuus tarvitsee siis toimiakseen ilmaisimen, joka tunnistaa ajoneuvon ja välittää tiedon sen saapumisesta liittymään ohjauskojeelle. Tällaisia tunnistimia on olemassa fyysisiä, kuten esimerkiksi silmukkailmaisimet, ja elektronisia, kuten radioviestein tapahtuva ilmaisu. Tarkemmin käytettävistä olevista ilmaisimista on kerrottu luvussa 2.3.3.

Eri tilanteissa käytetään yhden tai useamman ilmaisun järjestelmiä. Yhden ilmaisun järjestelmässä joukkoliikenneajoneuvo havaitaan vain yhdessä pisteessä, joka sijaitsee noin 100–300 metriä ennen risteystä. Tällä järjestelyllä ei varmasti tiedetä, koska ajoneuvo on poistunut liittymästä, joten on käytettävä arvioitua kuittausaikaa etuuden lopettamiseen. (Oinas 2000)

Oinaan (2000) mukaan useamman ilmaisun järjestelmässä käytetään yleisimmin yhtä tai kahta ilmaisupyyntöpistettä ja yhtä kuittausilmaisupistettä. Tällöin ensimmäisellä pisteellä joukkoliikenneajoneuvo pyytää etuuden ja kuittauspisteellä lopettaa sen. Toisen ilmaisupyyntöpisteen käyttö voi olla perusteltua esimerkiksi pysäkin ollessa juuri ennen liittymää. On yleistä, että ilmaisun saapuminen näytetään kuljettajalle. Tampereella on käytössä liikennevalokojeissa oleva valopiste, joka näyttää, että bussi on huomattu ja etuus pyritään järjestämään. Tällainen valopiste on nähtävissä opastimessa kuvassa 10.

Ehdoton ja ehdollinen etuus

Aktiiviset etuudet jaetaan ehdottomiin ja ehdollisiin etuuksiin. Ehdoton etuus tarkoittaa, että etuus annetaan aina kun joukkoliikenneväline antaa ilmaisun. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että myös esimerkiksi aikataulustaan edellä oleva joukkoliikenneajoneuvo saa etuuden. Ehdoton etuus on siis toisaalta helpompi järjestää, koska se ei vaadi mitään erityistä informaatiota, kuten tässä tapauksessa paikkaan sidottuja aikataulutietoja.

Ehdollinen etuus toteutetaan vain, kun tietyt ehdot toteutuvat. Tällaisia ehtoja voi olla ajoneuvon aikataulussa oleminen, liittymän tukkoisuus tai muu ruuhka. Ehdollinen etuus on siis joustavampi, mutta vaatii enemmän informaatiota ja suunnittelua.

Suhde muihin liikennemuotoihin

Liikennevaloetuudet vaikuttavat väistämättä myös muuhun liikenteeseen. Jos ruuhkaisuudessa kaupunkiympäristössä joukkoliikenteen käyttämää vaihetta suositetaan etuuksilla, saattaa se esimerkiksi viivyttää muita vaiheita. Täytyy kuitenkin muistaa, että kymmeniä ihmisiä kuljettavan joukkoliikennevälineen nopeuttaminen muutaman henkilöauton viivyttämisen kustannuksella on perusteltua.

On huomionarvoista, että hyvin toteutettuna joukkoliikenteen saama etuus voi jopa lisätä liittymän läpäisevien ajoneuvojen määrää. Etuudella hidastamatta liittymän läpi ajava raitiovaunu pääsee liittymästä huomattavasti nopeammin, kuin jos se joutuisi pysähtymään ja lähtemään liikkeelle. Näin sen tarvitsema vaihe on lyhyempi ja säästettävä aika on suoraan hyödynnettävissä muille liittymän käyttäjille.

Yhteenkytkettyjen liittymien toiminnassa yksi tavallinen etuustoimintojen aiheuttama haitta on vihreän aallon häiriintyminen. Siinä tapauksessa esimerkiksi vihreän pidenyksen saava bussi jatkaa vihreää valoa ja sen kanssa kulkevat henkilöautot luulevat ajavansa vihreässä aallossa. Kun tuo bussi pysähtyy pysäkillä liittymän jälkeen, katkaisee se vihreän aallon jatkumisen seuraaviin liittymiin. Tämän kaltaista tilannetta on hahmoteltu kuvassa 21.



Kuva 21 Vihreän aallon häiriöitä (Sane 2014)

Kuvassa näkyy edellisessä kappaleessa selostettu vihreän aallon katkeaminen, mutta myös etuuden aiheuttaman vihreän aallon häiriön vaikutus seuraavaan vihreään aaltoon. Risteyksessä numero kolme tullut etuus myöhästytti valokiertoa ja aiheutti seuraavalle vihreälle aallolle hidastumisen.

JENKA-hankkeen puitteissa tutkittiin myös joukkoliikenne-etuuksien vaikutusta muuhun liikenteeseen. Tämä toteutettiin simuloimalla kolmen risteyksen kuvitteellista katuverkkoa. Simuloinnissa käytettiin vilkasta ja vähäistä liikennettä ja bussien vuoroväli oli 5 tai 15 minuuttia. Osoittautui että harvemmalla vuorovälillä muulle liikenteelle aiheutui todella pienet viiveet, vähäisellä liikenteellä 0,1 sekuntia ja vilkkaalla liikenteellä 0,5 sekuntia. Viiden minuutin vuorovälillä viiveet nousivat hieman, vähäisellä liikenteellä 1,2 sekuntia ja vilkkaalla kolme sekuntia. Bussien saamaan 20–30 sekunnin hyötyyn verrattuna muun liikenteen viiveet ovat vain murto-osa niistä. (Sane 2011)

Joukkoliikenteelle annettavilla liikennevaloetuuksilla on muitakin vaikutuksia kuin henkilöautoille aiheutuvat viivytykset. Ne mahdollistavat hälytysajoneuvoille samojen tai tilanteesta riippuen vielä vahvempien etuuksien käytön. Myös jalankulkijat ja pyöräilijät on huomioitava liikennevaloliittymässä. Etuuden aiennusta tai muuta edellisen vaiheen katkaisevaa etuustoimintoa käytettäessä on heille taattava suoja-ajat kadun ylitykseen.

2.3.3 Ilmaisimet

Jotta aktiivinen liikennevaloetus olisi mahdollista järjestää, tarvitsee tietää, koska joukkoliikenneväline on saapumassa liittymään. Tähän tarkoitukseen käytetään il-

maisimia, jotka voivat olla joko fyysisiä ajoneuvon tunnistavia osia tieinfrassa tai liikennevälineessä olevia laitteita, jotka keskustelevat ohjausyksikön kanssa. Tavallisen ajoneuvoliikenteen, pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden tunnistavista ilmaisimista on kerrottu luvussa 2.1.3.

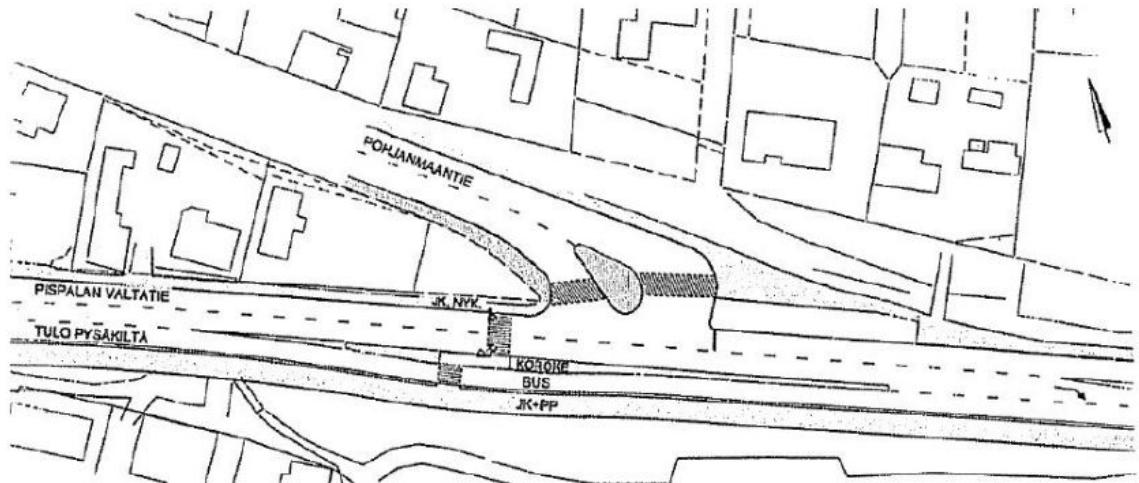
Bussiliikenteen ilmaisuun voidaan käyttää tavallisia silmukkailmaisimia, jotka pystyvät erottamaan halutut ajoneuvo liikennevirrasta. Käytössä on olemassa kuitenkin muitakin ilmaisuvaihtoehtoja. Esimerkiksi Tampereella bussi paikannetaan GPS:llä, jonka jälkeen taustajärjestelmä lähettää etuuspyynnön liikennevalokojeelle bussin lähestyessä liittymää. Helsingissä on käytössä HELMI-järjestelmä, jonka piirissä toimivat bussit ja raitiovaunut. Tuossa järjestelmässä ilmaisu tulee joukkoliikennevälineessä olevan laitteen keskustellessa liittymän lähistöllä olevan laitteen kanssa radioyhteyden välityksellä.

Erityisesti raitiovaunun tunnistamiseen on olemassa oman tyyppisiä ratkaisuja. Vanhaa tekniikkaa ovat ajolankailmaisimet, niin kutsutut nupit, jotka nimensä mukaisesti tunnistavat raitiovaunun tulon ajolangasta. Raiteiden väliin voidaan sijoittaa kelailmaisin, joka toimii samalla periaatteella kuin silmukkailmaisin havaiten päältäan kulkevan ajoneuvon metallin. Raitiovaunuilla tämä on ongelmallisempaa kuin tavallisilla ajoneuvoilla radan metallisuuden takia. Tarkkaan ja täsmälliseen ilmaisuun on olemassa rautateiden kulunvalvonnassakin käytössä olevia lähetinratkaisuja. Niissä radassa oleva antenni keskustelee vaunussa olevan antennin kanssa elektronisesti tietyllä taajuudella. Uutta teknologiaa tällä alalla edustaa postipakettienkin seurannassa käytössä oleva RFID-tunniste. Tällaisen tunnisteiden käyttöä raitiovaunujen seuraamiseen on tutkittu Istanbulissa. (Akcil et al. 2013)

Myös raitiovaunun kuljettajalla voi olla rooli ilmaisussa. Tietyissä tilanteissa ovien avaaminen tai sulkeminen kertoo järjestelmälle raitiovaunun olevan pysäkillä lähellä liittymää ja näin tunnistaa sen ja antaa etuuden. Esimerkiksi Helsingin järjestelmässä kuljettajan tehtävänä on vaihtaa vaihte itse. Niinpä toinen käytetty tapa on tilata etuus tuosta vaihteen vaihtopyynnöstä. (Mäenpää & Tuovinen 2014)

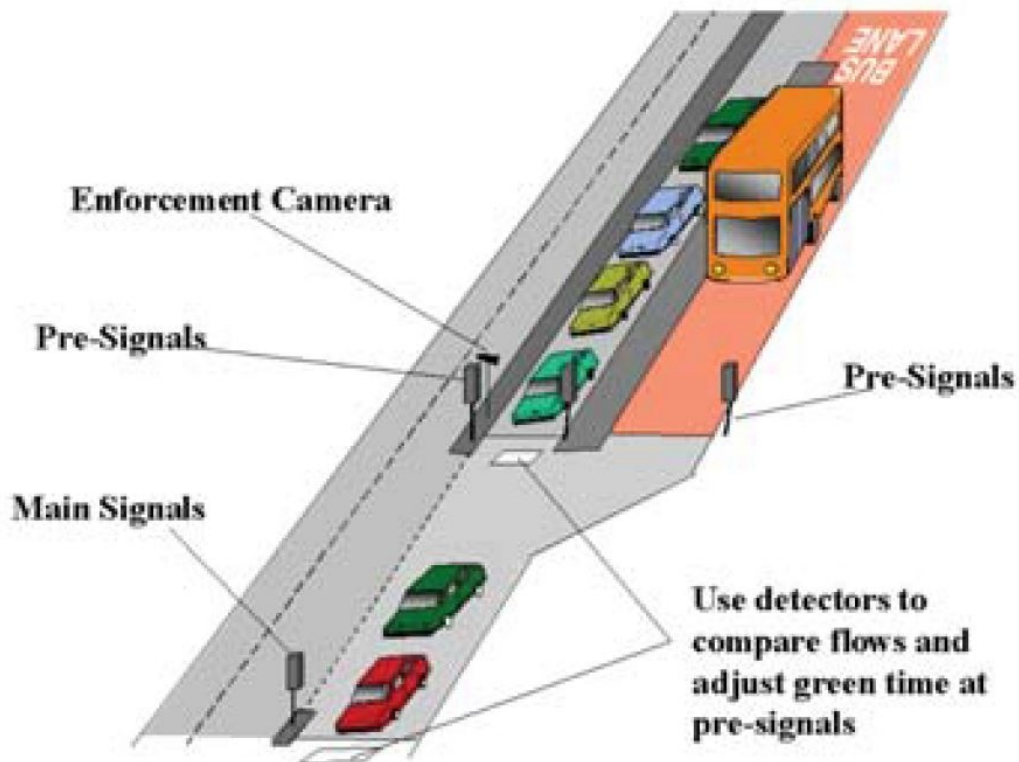
2.3.4 Fyysiset etuudet

Fyysiset etuudet ovat liikenne-etuuksien muoto, mitkä toteutetaan antamalla fyysisin keinoin etua jollekin liikennevälineelle tai kulkumuodolle. Joukkoliikenteen tapauksessa tavoitteena on joukkoliikennevälineen kulun täsmällisyyden, säännöllisyyden ja nopeuden parantamista fyysisillä keinoilla liikenneinfrassa. Tällaisia keinoja ovat muun muassa liittymien kaistajärjestelyt, valo-ohitukset, joukkoliikennekaistat, -väylät ja -kadut sekä muun liikenteen rajoittaminen fyysisin keinoin. Kuvassa 22 on esitetty Tampereella Pispalan valtatiellä toteutettu valo-ohitus busseille. (PLL 2008)



Kuva 22 Valo-ohitus busseille Pispalan valtatiellä (Kuukka-Ruotsalainen et al. 2007)

Eräänlainen fyysisen etuuden ja liikennevaloetuuden sekoitus ovat ennakkovalot. Niillä on mahdollista pysäyttää muu kuin joukkoliikenne ennen varsinaista liittymää. Näin saadaan nopeutettua joukkoliikennevälinettä antamalla sille ensisijainen pääsy ennakkokualueelle, joka on ennakkovalojen ja varsinaisen liittymän välinen alue. Ennakkovaloja on käytössä Euroopan kaupungeissa, esimerkiksi Iso-Britanniassa. Ennakkovalojen toimintaa on esitelty kuvassa 23.



Kuva 23 Ennakkovalojen toimintaperiaate (Dft 2003)

Ennakkovalot vaativat siis joukkoliikennevälineelle oman väylän ennen liittymää, mitä pitkin on mahdollista päästä ohittamaan autojono. Ennakkovalot voisivat soveltua paikkoihin, joissa liittymäalueelle ei ole mahdollista, esimerkiksi tilan puutteen vuoksi, ra-

kentaa omaa joukkoliikennekaistaa. Ongelmana tässä on, että ennakkoalue saattaa täytyä, jos liittymä ei pysty välittämään kaikkia ajoneuvoja. Tähän on ratkaisuna ennakkovalojen ja varsinaisten valojen ajoituksen säätäminen. (Kuukka-Ruotsalainen et al. 2007)

Raitiovaunuille tärkeää on kulkea omassa tilassaan muun liikenteen ulkopuolella. Liittymiä on mahdotonta välttää ja niissä tärkeässä osassa onkin jo edellä käsitellyt liikennevaloetuudet. Fyysisillä etuuksilla voidaan kuitenkin helpottaa myös liittymissä liikennöintiä. Omalla väylällään liittymään tuleminen mahdollistaa nopean läpipääsyn, kun muuta liikennettä ei ole edessä. Jos muuten raitiovaunu kulkee sekaliikenteessä, tulisi liittymä suunnitella siten, että siihen raitiovaunu pääsisi omalle kaistalleen ja näin ohittamaan liittymän ruuhkan. Jos raitiovaunulla on oma väylä kadun sivussa, on tietyn tyyppisissä liittymissä mahdollista ohjata se kulkemaan jopa kokonaan liikennevalojen ohitse. Raitiotie voidaan suunnitella myös oikaisemaan joissakin kohtaa, esimerkiksi puiston tai kävelyalueen läpi, muun liikenteen joutuessa kiertämään. Tämä luo joukkoliikenteelle tavoiteltavaa kilpailuetua.

3 ESIMERKKIKAUPUNGIT JA NIIDEN JÄRJESTELMÄT

3.1 Yleistä

Seuraavissa luvuissa käydään läpi neljän esimerkkikaupungin raitiotiejärjestelmiä ja niiden kytkeytymistä liikennevalojärjestelmään. Ensimmäisenä kaupunkina käsitellään tällä hetkellä Suomen ainoa raitiotiekaupunki, Helsinki. Ulkomaisista kaupungeista järjestelmiä esitellään Ranskan Reimsista, Portugalin Lissabonista ja Skotlannin Edinburghista. Ulkomaiset tutkimuskohteet ovat uusia tai alle kymmenen vuotta vanhoja järjestelmiä, kun taas Helsingin raitiotie on alkuperältään 1800-luvulta.

3.2 Helsinki

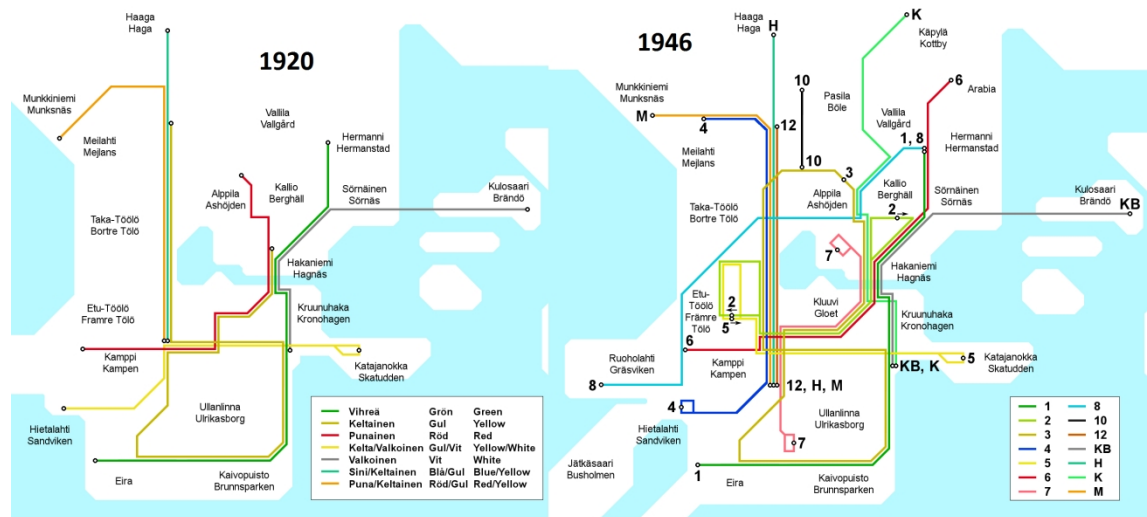
Helsinki on Suomen pääkaupunki ja asukkaita siellä on noin 600 000. Se on samalla noin 1,3 miljoonan asukkaan ja 740 000 työpaikan talousalueen keskus. Helsinki perustettiin vuonna 1550 Helsinginkosken rannalle. Tästä aikaa kului lähes 200 vuotta kunnes Helsingin tärkeys nousi, kun Suomenlinnan merilinnoitusta alettiin rakentaa. Vuonna 1812 Helsingistä tuli kolme vuotta aiemmin Venäjään liitetyn Suomen autonomisen suuruhtinaskunnan pääkaupunki. Siitä lähtien jo kahdensadan vuoden ajan kaupunki on kasvanut ja kehittynyt. (Helsingin kaupunki 2014)

3.2.1 Raitiotien historia

Helsinki on Suomen kaupungeista ainoa, missä on toimiva raitiotiejärjestelmä. Historiassa myös Turussa ja Viipurissa raitiovaunuja on ollut, mutta vain Helsingissä on pysytty tuossa järjestelmässä. Kuten muuallakin Euroopassa, joukkoliikenne alkoi Helsingissä hevosen vetämillä vankkureilla vuonna 1888. Kolme vuotta myöhemmin vuonna 1891 alkoi raitioliikenne hevostavetisena kahdella linjalla. Sähköllä toimivat raitiovaunut aloittivat jo vuonna 1900 ja ensimmäinen tällainen linja kulki Hietalahden ja Töölön väliä. Raitiolinjasto jatkoi kehittymistään ja ensimmäisen maailmansodan jälkeen inflaation alentama lipun hinta mahdollisti raitiovaunussa matkustamisen myös työväestölle. Raitioverkko saavutti maksiminsa vuonna 1930, kun linjoja oli 14 ja rataverkko ulottui laajimmilleen. (Alku 2002)

1920-luvulla Helsingissä aloitettiin bussiliikenne toisena osana joukkoliikennejärjestelmää. Toiseen maailmansotaan mennessä bussilinjaston pituus kasvoi raitiotieverkon ohi. Tosin sota pysäytti tuon kasvun, kun bussit lunastettiin ambulansseiksi ja tavarankulje-

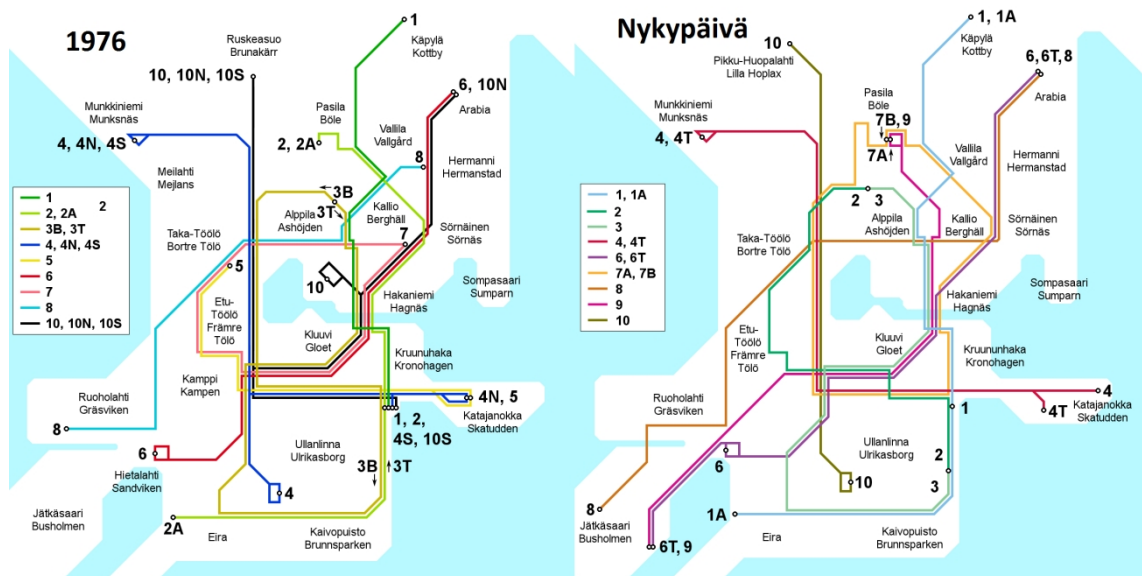
tukseen jättäen raitiovaunut ainoiksi joukkoliikennevälineiksi Helsinkiin. Sodan aikana ja myös sen jälkeen pula-aikana raitiovaunukaluston huoltaminen oli haastavaa ja uusia vaunuja ei saatu hankittua kuin vasta 1950-luvulla. Osasta 1920-luvun vaunuista päästiin eroon vasta 1970-luvulla. Kuvassa 24 on raitiotielinjasto vuodelta 1920 ja 1946. (Alku 2002)



Kuva 24 Helsingin raitiotielinjat vuosilta 1920 ja 1946 (mukailen lähteestä Wikipedia 2014b)

Elintason nousu toi raitiovaunuille vahvan kilpailijan, henkilöauton. 1960-luvulla henkilöautojen määrä kolminkertaistui Helsingissä ja yleinen mielipide kääntyi raitiovaunuja ja joukkoliikennettä vastaan. Tuolloin raitioliikenteen kehittäminen lopetettiin ja jopa koko järjestelmän alasajoa harkittiin, koska pohdittiin joukkoliikenteen hoituvan busseilla edullisemmin. (Alku 2002)

Alkun (2002) mukaan henkilöautot toivat kuitenkin mukanaan ruuhkat ja 1965 kaupunginvaltuusto päätti metron rakentamisesta. Tuon jälkeen raitioteihinkin alettiin suhtautua paremmin ja 1970-luvun vaihteessa päätettiin uusia kalustoa. 1970-luvun alussa käyttöön otetut uudet nivelvaunut olivat maailman moderneimpia raitiovaunuja. Metro saatiin otettua käyttöön 1982. Kuvassa 25 on nykyinen raitiotielinjasto ja vanha linjasto vuodelta 1976.



Kuva 25 Helsingin raitiotielinjat vuosilta 1976 ja 2014 (mukaillen lähteestä Wikipedia 2014b)

Viime vuosikymmenen merkittävimpiä raitiotieliikenteen muutoksia Helsingissä on 1970-luvun kaluston korvaaminen osittain Bombardierin Variotram -vaunuilla ja vuonna 2013 ensimmäisenä liikenteessä olleella täysin uudella ja varta vasten Helsinkiin suunnitellulla Transtechin Artic -kalustolla. Lisäksi 2000-luvulla on otettu käyttöön kokonaan uusi linja numero yhdeksän, joka liikennöi Jätkäsaaren uudesta kaupunginosasta Kallion kautta Pasilaan.

Henkilöautojen tulon tekemä muutos näkyy edelleen pääkaupunkiseudulla. Vuonna 1966 joukkoliikenteen osuus pääkaupunkiseudulla oli 66 prosenttia. Tuo luku tippui kymmenessä vuodessa 11 prosenttia ja vuoteen 1988 lukuun 46 prosenttia. Vuoden 2012 tilastoissa osuus on 43 prosenttia, joten yli kahteenkymmeneen vuoteen joukkoliikenteen osuudessa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta ja autoistumisen aiheuttama lasku on edelleen nähtävissä. (HSL 2013)

3.2.2 Raitiotiejärjestelmän tunnuspiirteitä

Nykypäivänä Helsingin raitiotie on kaupunkilaisten keskuudessa suosittu järjestelmä. Raitiovaunut ovat kaupungin keskustassa osa päivittäistä liikkumista ja kaupunkikuvaa. Raitieliikenteessä on yhdeksän päälinjaa ja matkustajamäärä on tällä vuosikymmenellä vaihdellut 53,7 miljoonan ja 57,2 miljoonan vuosittaisen matkustajan lukemissa. Helsingin rataverkon laajuus on noin 48 kilometriä, josta kokonaan omaa kaistaa on 30 kilometriä. (HKL 2013)

Ominaista Helsingin raitiotiejärjestelmälle on sen keskittyminen kaupungin keskustaan. Pisimmillään raitiovaunu liikkuu vain viiden kilometrin päässä rautatieasemalta, joten raitiovaunut operoivat varsin pienellä pinta-alalla. Tästä kaupunkiraitiotieominaisuudesta johtuen raitiovaunun liikennöinti on hidasta. Keskimääräinen pysäkkiväli on noin 350 metriä, joka on lyhyt verrattuna muihin raitioteihin. Keskimääräinen

matkan pituus on 2,1 kilometriä, joka on lyhyempi kuin muissa joukkoliikenteenmuodoissa. (HSL 2014) Myös liittymien välinen matka raitioteiden reiteillä on lyhyt. Tämä aiheuttaa reitille suuren määrän liittymiä ja niistä aiheutuvia pysähdyksiä ja viivettä. Se vaikuttaa myös liikennevaloetuksien vaatimien ilmaisuiden saamiseen, sillä ilmaisun saaminen tarpeeksi aikaisin on erityisen tärkeää sujuvan ja tehokkaan etuuden saamiseksi.

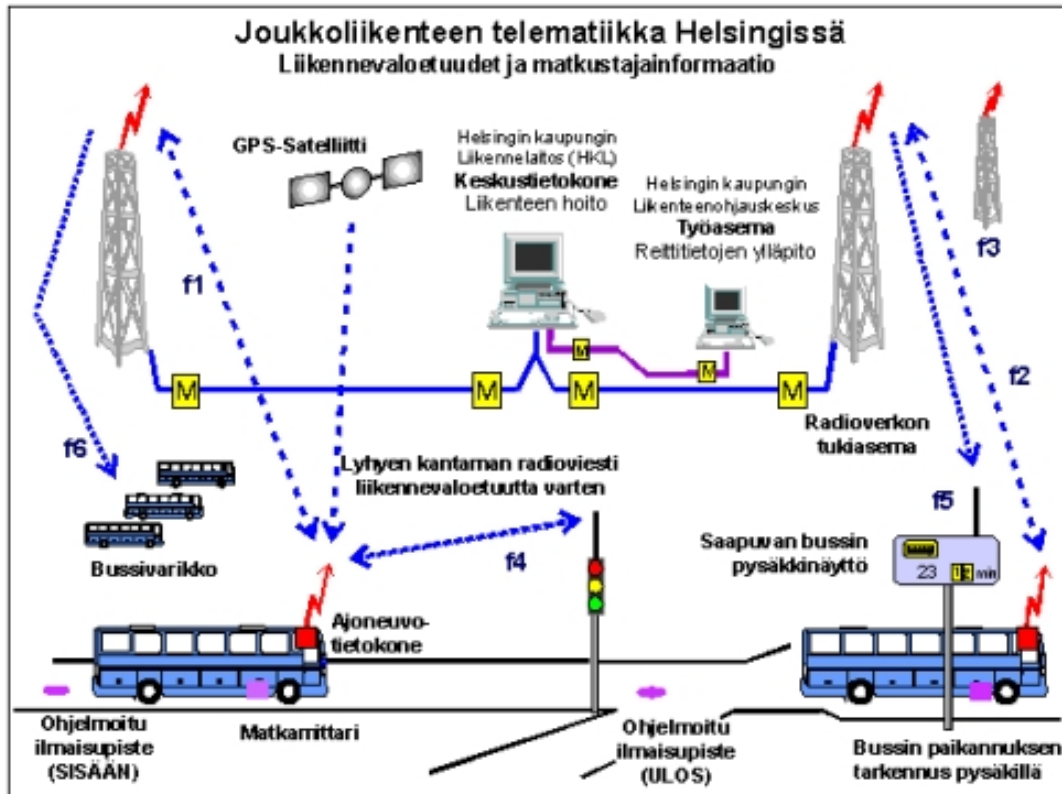
Kaikesta tästä johtuen raitioliikenteen aikataulunopeus jää alhaiseksi. Koko järjestelmän keskiarvo kaudella 2013–2014 on 14,7 km/h. (HSL 2013b) Helsingissä on ollut tavoitteena nostaa keskinopeutta, mutta vielä siihen ei ole merkittävässä määrin pystytty. Pysähdyskerroin järjestelmälle on noin 1,5, joka osittain johtuu edellä olevista seikoista, mutta se kertoo myös tehottomista liikennevaloetuksista.

3.2.3 Raitiotien liikennevalo-ohjaus

3.2.3.1 HELMI-järjestelmä

Helsingissä on käytössä joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä, lyhenteeltään HELMI. Se sai alkunsa, kun vuonna 1999 aloitettiin joukkoliikenteen kehittämisprojekti 423, jonka tarkoituksena oli parantaa joukkoliikenteen nopeutta, täsmällisyyttä ja matkustajainformaatiota. Työkaluna näiden tavoitteiden saavuttamiseksi otettiin telemaattiset ratkaisut, kuten GPS-paikannus ja liikennevaloetudet. Nimensä projekti 423 sai siitä, että alussa kokeilussa olivat mukana raitiolinja 4 ja bussilinja 23.

Järjestelmässä tärkeintä on joukkoliikenneajoneuvon paikannus. Tässä käytetään GPS-satelliittinavigointia, jonka avulla ajoneuvo paikannetaan pysäkin tarkkuudella. Oven avaus pysäkillä määrittää sijainnin tarkasti ja pysäkkien välissä tarkka sijainti määritetään tarkkuusmatkamittarilla eli ödometrilla. Kuvassa 26 on koko HELMI-järjestelmän telematiikka kuvattuna. (Luttinen & Ojala 2006)



Kuva 26 HELMI-järjestelmän telematiikkaa (Lehtonen et al. 2001)

Liikennevaloetus järjestetään siten, että risteystä lähestyvä raitiovaunu lähettää matalatehoisella radiomodeemilla viestin liikennevalojen ohjauskojeelle. Viestin perusteella ohjauskoje käynnistää etuustoiminnon ja suorittaa esimerkiksi vihreän pidennyksen tai aiennuksen. Risteyksen jälkeen raitiovaunu lähettää kiittauksen ja valot palautuvat normaaliin tilaan. Etuutta ei anneta, jos raitiovaunu on edellä aikataulusta. Kuvassa 27 on ruotsalaisen Thorebin valmistamat ajoneuvoon ja liikennevaloihin tulevat laitteet. Niissä on kiinni suomalaisen Satelin valmistamat radiomodeemit. (Sane 2014)



Kuva 27 HELMI-järjestelmän ajoneuvo- ja liikennevalolaitteistoa

HELMI-järjestelmän käyttöönoton jälkeen sen vaikutuksia tutkittiin. Se näytti vähentäneen liikennevaloviiveitä, lyhentäneen matka-aikoja, lisänneen matkustajamääriä sekä parantaneen säännöllisyyttä ja täsmällisyyttä. Telematiikkajärjestelmän aiheuttamaksi matkustajamäärien lisäykseksi arvioitiin raitiolinjalla yksi prosentti ja bussilinjalla 11

prosenttia. Molemmilla joukkoliikennelinjoilla liikennevaloviiveet vähenivät yli 40 prosenttia, mutta raitiolinjalla vähemmän kuin bussilinjalla. Myös matka-ajassa bussilinja vaikutti saavan enemmän etua uudesta järjestelmästä, koska sillä matka-ajat vähenivät 11 prosenttia ja raitiolinjalla yhden prosentin. Kaikkiin näihin vaikuttaa se seikka, että raitiolinjalla oli jo ennen tätä järjestelmää käytössä liikennevaloetuuudet, joten bussilinjan saamat hyödyt muodostuivat suhteessa suuremmiksi. Raitiolinjan matka-ajan pienen nopeutumiseen vaikutti myös pysäkkiviiveiden kasvaminen matkustajamäärien kasvun seurauksena. Palvelun säännöllisyyden laskettiin parantuneen keskimäärin 18 prosenttia raitiolinjalla ja täsmällisyyden 22 prosenttia. Vastaavaksi luvuiksi bussilinjalle muodostui 20 ja 58 prosenttia. (Lehtonen et al. 2001)

Rädyn (2014) mukaan HELMI-järjestelmän tärkeä osa on siitä ulos saatava informaatio raitiovaunujen kulusta. Sen tiedon avulla nähdään muun muassa paikka- ja aikatietoja, joiden pohjalta pystytään havaitsemaan esimerkiksi pullonkauloja, ruuhkaisia reitin osia tai linjoja joissa liikennöinti ei ole täsmällistä. Tämä kaikki antaa suunnittelijoille tärkeitä työkaluja reittien, linjojen ja aikataulujen jatkuvaan kehittämiseen.

3.2.3.2 Etuudet

Liikennevaloetuuudet toteutetaan nykyisin edellisessä luvussa kerrotulla HELMI-järjestelmällä. Helsingissä on kuitenkin käynnissä uudistus, jossa HELMI korvataan uudella lippu- ja informaatiojärjestelmällä (LIJ 2014). Raitiovaunuille tämä tuo muutoksena HELMI-järjestelmästä sen, että LIJ 2014-järjestelmässä paikannus tapahtuu kokonaan GPS:llä ja ödometriä ei enää käytetä. Radioviestintä raitiovaunun ja liikennevalolaitteiston välillä on koettu toimivaksi, joten sitä ei muuteta. (Laaksonen & Räsänen 2014) Muuten uuden järjestelmän odotetaan tuottavan parempaa matkustajainformaatiota ja parantavan bussien seurantaan sekä liikennevaloetuuksien toteutusta. (HSL 2012)

Helsingin liikennevaloetuuksissa on vielä parantamisen varaa. HSL:n (2012) mukaan kaikissa raitioliikenteen käyttämissä liittymissä on etuudet, mutta vain noin kolmasosassa niistä on nollaviive-etuudet. Lisäksi laskentatavaksi on valittu, että alle viiden sekunnin viivytys lasketaan vielä nollaviiveeksi. Kuten edellisissä kappaleissa on kerrottu, raitioliikenteen keskinopeus on alhainen ja pysähdyskerroin suuri. Tämä johtuu osaltaan raitiotieliikenteen keskittymisestä suurelta osin ruuhkaiseen ydinkeskustaan, jossa pysäkkejä ja liittymiä on tiheästi. Tästä aiheutuu myös ongelmia parempien liikennevaloetuuksien järjestämiselle. Keskustan liikennevaloliittymien kapasiteetti on käytössä, jolloin on vaikeaa lisätä etuuksia aiheuttamatta suuria viivytyksiä muulle liikenteelle.

Raitiotieliikenteen keskittyminen pienelle alueelle tarkoittaa myös, että tietyillä kaduilla kulkee useita raitiolinjoja ja ruuhka-aikaan niitä ajaa suuntaansa yhden tai kahden minuutin välein. Tällöin valokierto ei ehdi normalisoitua etuustoiminnon jälkeen. Paitsi, että raitiolinjoja ajaa samalla kadulla useampia, niitä risteää myös liittymissä toistensa kanssa. Tällaisessa tilanteessa etuuden järjestäminen täydellisesti molempiin suuntiin on

mahdotonta. Helsingin etuusjärjestelmässä ei tällä hetkellä ole käytössä priorisointia. Mäenpään ja Tuovisen (2014) mukaan tulevaisuudessa uudessa järjestelmässä saatetaan joukkoliikenteen etuuksia priorisoida siten, että bussien runkolinjat ovat yhdessä raitiovaunujen kanssa muiden bussien jäädessä pienemmälle prioriteetille.

Muita ongelmia keskustan liikennevaloliittymien etuuksien järjestämiselle aiheutuu lyhyestä liittymävälisestä. Joustavan etuuden järjestämiseksi on tärkeää saada etuuspyyntö hyvissä ajoin, mutta liittymien ollessa lähekkäin se on mahdotonta. Helsingin liikennevaloissa on myös pyritty järjestämään jalankulkijoille yhtenäinen kadunylitys suojatiellä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että pitkillä suojateilla jalankulkijoille on varattava pitkä vihreä aika, jota ei pystytä katkaisemaan vaikka etuuspyyntö tulisi. Siksi vihreän aiennusta ei käytännössä nähdä tietyissä paikoissa ollenkaan. Tähän apuna olisi saada ilmaisu riittävän pitkältä, mihin keskustaympäristössä ei pystytä. (Mäenpää & Tuovinen 2014)

Mäenpään ja Tuovisen (2014) mukaan ilmaisun tekniseen toteutukseen Helsingissä ei olla oltu täysin tyytyväisiä. HELMI-järjestelmästä saatava ilmaisu ei ole täysin luotettava. Tästä syystä raitiotiejärjestelmässä on aina jokin muu fyysinen ilmaisukeino käytössä. Käytössä on paljon ajolankailmaisimia ja keloja. Näiden ongelmana on, etteivät ne kukaan ole täysin toimivia ja lisäksi ne eivät osaa tunnistaa tarkasti ja yksilöllisesti raitiovaunuja. Niillä pystytään tunnistamaan, että raitiovaunu meni tietyn pisteen ohi, mutta järjestelmä ei saa minkäänlaista tietoa mikä raitiovaunu oli kyseessä tai mihin se oli menossa. Näitä tietoja voidaan tarvita etuuden järjestämiseksi.

3.2.3.3 Erilaista liikennevalo-ohjausta eri raitiotieympäristöissä

Aleksanterinkatu

Aleksanterinkatu on keskeinen osa Helsingin kävelykeskustaa ja sinne sijoittuu paljon liiketoimintaa sekä kaupallisen alan toimintoja. Katu rajautuu länsipäässä Mannerheimintiehen ja itäpuolella Pohjoisrantaan. Tärkein jalankulun alue sijoittuu Kolmen sepän aukiolta Senaatintorille. Tällä välillä Aleksanterinkadun poikkikatut Keskuskatu, Mikonkatu ja Kluuvikatu ovat kävelykatuja. Tuo osa Aleksanterinkadusta on kuvassa 28.



Kuva 28 Aleksanterinkadun länsipää (Helsingin kaupunki 2014b)

Raitiotien näkökulmasta kadun tekee mielenkiintoiseksi se, että se on joukkoliikennekadu. Käytännössä Mannerheimintien ja Fabianinkadun välillä Aleksanterinkadulla liikennöi raitiovaunujen lisäksi vain taksit ja rajoitetusti huoltoliikenne. Raitiovaunulinjoista siellä kulkevat numerot 2, 4 ja 7. Esimerkiksi Kauppakeskus Gallerian edessä olevalla pysäkillä pysähtyy ruuhka-aikaan 26 raitiovaunua tunnissa suuntaansa. Tämä tarkoittaa raitiovaunun kulkevan kadulla keskimäärin minuutin välein tuohon aikaan.

Mannerheimintien liikennevaloliittymän jälkeen Aleksanterinkadulla ei ole täydellisiä liikennevaloja ennen Pohjoisrantaa. Mikonkadun liittymässä raitiovaunuja ohjataan valoilla, sillä raitiovaunulinja 2 kääntyy sillä kohdalla Aleksanterinkadulta pohjoiseen. Lisäksi Mikonkadulla on kapea kohta, jossa kaksi raitiovaunua ei pysty kohtaamaan, joten kulkua sillä kohtaa on ohjattava valoin. Toinen liikennevaloin ohjattu kohta on Mariankadun liittymässä, jossa on raitiovaunuvalot, jotta linja numero 4 pääsee kääntymään Aleksanterinkadulta kohti Katajanokkaa.

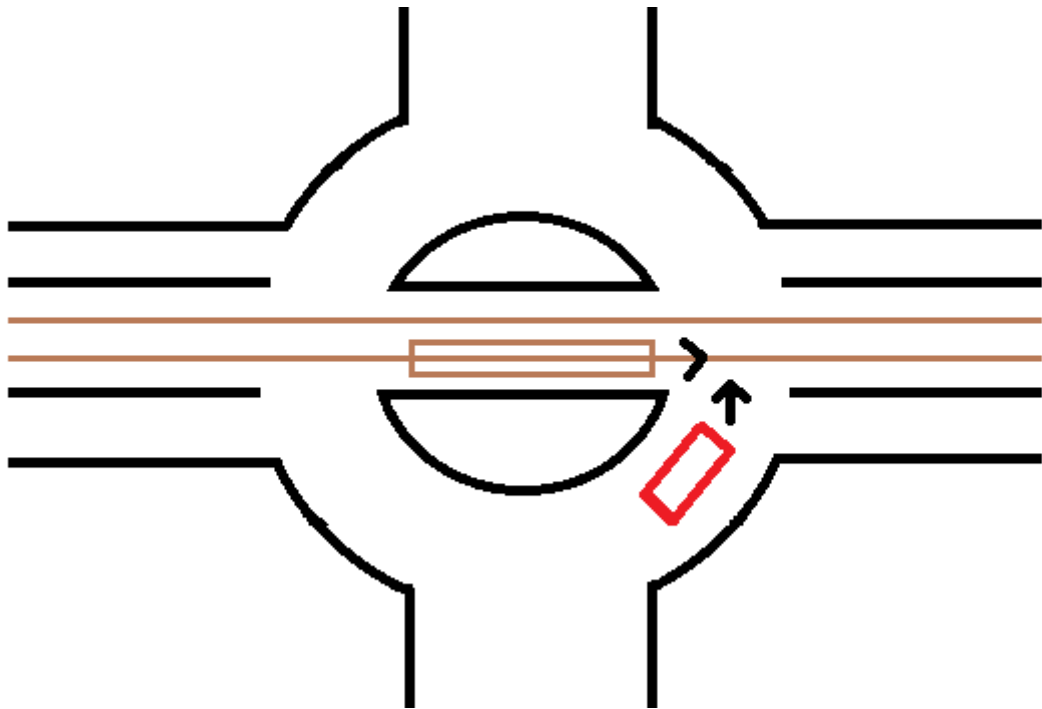
Koska Aleksanterinkatu on pääosin valo-ohjaamaton, se tarkoittaa myös sitä, ettei jalankulkijoiden kadun ylitystä ole ohjattu. Tämä asettaa haasteen näkövammaisille, jotka normaalisti luottavat suojatievalojen äänimerkkeihin. Väisäsen (2014) mukaan kuitenkin valo-ohjaamattomana Aleksanterinkadun ylitys ei ole näkövammaiselle kovin hankalaa. Tärkeää on, että raitiovaunut kulkevat eri tasossa jalankulkijoiden kanssa, jolloin näkövammaiselle on helpompaa hahmottaa millä alueella kulkee. Lisäksi asiassa auttaa se, että Aleksanterinkadun ajorata on kapea ja siinä kulkee pelkästään raitiovaunuja. Tietysti näkövammaisen tulee olla kadun ylityksessä erityisen tarkkana, varsinkin raitiovaunujen hiljaisen äänen takia, mutta niiden antama äänimerkki auttaa.

Ilman valo-ohjausta Aleksanterinkadusta on saatu sujuva ja viihtyisä joukkoliikennekadu. Jalankulkijat pääsevät tien yli turvallisesti ja joustavasti ilman liikennevaloja. HSL:n

(2013b) mukaan raitiovaunulinjalla 7 ei ole ollut yhtään jalankulkijaonnettomuutta Aleksanterinkadulla vuosina 2010-2012. Tämän lisäksi raitiovaunun keskinopeus tuolla osuudella on keskimääräistä parempi. Tämä on merkittävä havainto, sillä ajonopeuden on oltava joka tapauksessa tämänkaltaisessa kävely-ympäristössä hidas, mutta silti joustavalla ajolla ja ilman tarpeettomia pysähdyksiä raitiovaunun liikennöinti on tehokasta.

Kiertoliittymät

Kiertoliittymät ovat osoittautuneet raitiovaunuille ongelmallisiksi Helsingissä. Tämä johtuu siitä, että Suomen lainsäädäntö jättää tällä hetkellä tulkinnanvaraa raitiovaunun sääntöihin kiertoliittymässä, jos sitä ei ole ohjattu liikennevaloilla. Tavallisessa tilanteessa raitiovaunu saapuu kiertoliittymään omaa väyläänsä ajoratojen keskellä ja ajaa ympyrän läpi. Tällöin ympyrään ajettaessa raitiovaunu tulee selvästi kiertotilaan kolmion takaa ja on väistämisvelvollinen. Seuraavassa kuvassa on hahmotettu ongelmatilannetta.

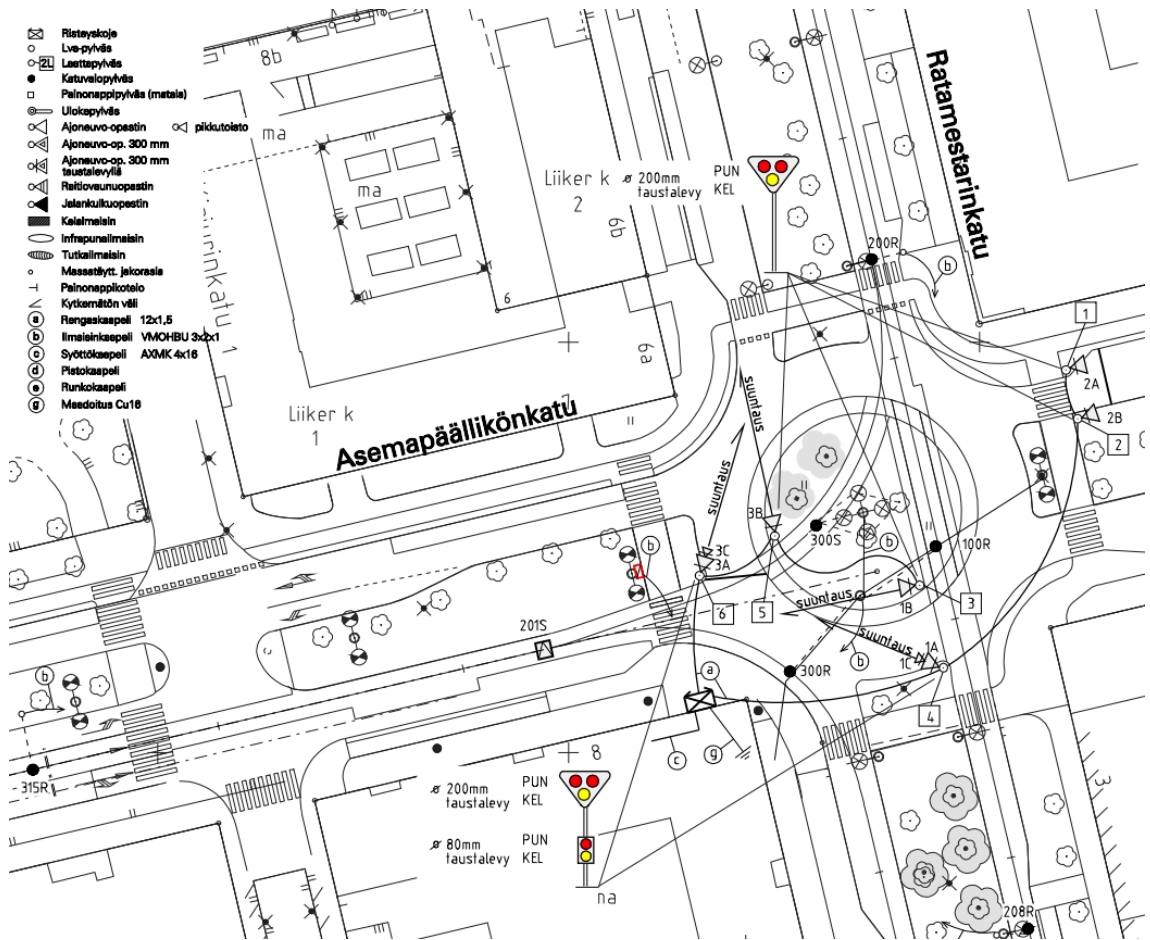


Kuva 29 Raitiovaunun ja kiertotilassa olevan ajoneuvon välinen konfliktipiste kiertoliittymässä

Kuvan 29 tilanteessa raitiovaunu tulee kiertoliittymän kiertsaaarekkeen läpi kohdaten kiertotilaa kiertävän ajoneuvon. Kiertotilassa kiertävä ajoneuvo ei ole väistämisvelvollinen, mutta toisaalta raitiovaunulle on annettava esteetön kulku. Myös raitiovaunu on kiertoliittymässä, joten sen tulkitseminen väistämisvelvolliseksi on kyseenalaista. Tästä ongelmallisuudesta johtuen kiertoliittymä, jossa kulkee raitiovaunu, on aina valo-ohjattava.

Kiertoliittymän valo-ohjauksessa käytetään raitiovaunuvaloja eli epätäydellistä valo-ohjausta. Tämä johtuu siitä yksinkertaisesta syystä, että ilman raitiovaunua täydellisessä valo-ohjauksessa kiertoliittymä ei toimisi normaalisti, jos sitä käyttäville näytettäisiin vihreää valoa. Raitiovaunuvalot vaativat tarkat ja luotettavat ilmaisut aina, mutta var-

sinkin kiertoliittymän tapauksessa, jotta edellisen kappaleen kaltaisia tilanteita ei pääsisi syntymään. Periaatteena raitiovaunuvaloilla on pysäyttää raiteet ylittävä liikenne tilanteesta riippuen joko kiertotilassa tai jo ennen kiertotilaan tuloa. Kuvassa 30 on Asemapäällikönkadun ja Ratamestarinkadun kiertoliittymän liikennevalosuunnitelma.



Kuva 30 Ratamestarinkadun ja Asemapäällikönkadun liittymän liikennevalosuunnitelma (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2008)

Kuvan kiertoliittymässä ajaa linjan 9 raitiovaunu. Liittymässä on mahdollista ajaa raitiovaunulla Ratamestarinkatua etelästä päin pohjoiseen tai kääntyä Asemapäällikönkadulta Ratamestarinkadulle etelään tai pohjoiseen. Fyysisinä ilmaisimina liittymässä ovat ajolankailmaisimet, jotka näkyvät tulosuunnilla koodeilla 115R, 208R ja 315R. Kuitausilmaisimet näkyvät koodeilla 100R, 200R, 300R ja 300S. Raitiovaunuvalot on sijoitettu pysäyttämään liikenne kiertotilaan ennen raiteiden ylitystä yhtä suuntaa lukuun ottamatta. Tällä mahdollistetaan kiertoliittymän osittainen toiminta, vaikka raitiovaunu ajaisikin siinä. Ainoastaan Asemapäällikönkatua idästä tultaessa raitiovaunuvalot pysäyttävät liikenteen ennen kiertotilaa, koska siitä suunnasta ei pääse ajamaan yhteenkään suuntaan ilman raiteiden ylitystä.

Jalankulkijoiden rooli kiertoliittymässä on selvä, suojatietä käytettäessä jalankulkijaa on väistettävä. Edellä esitellyn kaltaisen epätäydellisen valo-ohjauksen käyttäminen raitiovaunun kulkiessa kiertoliittymässä tarkoittaa, että vaikka kiertoliittymässä ajavat ajo-

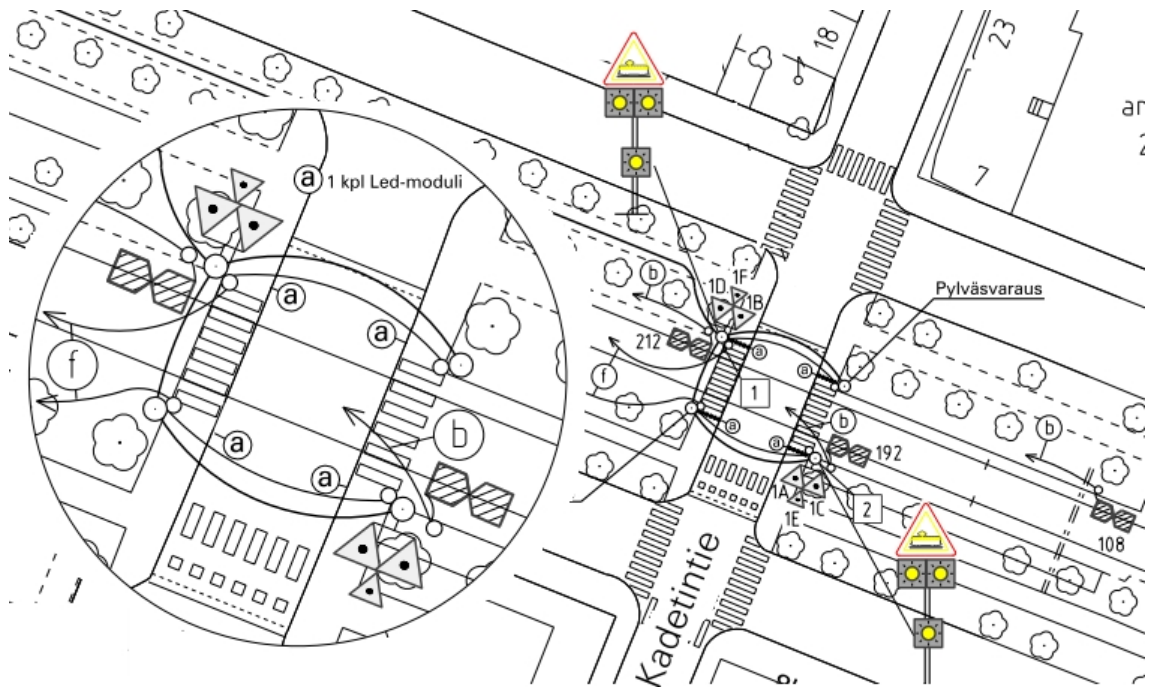
neuvot väistävät raitiovaunua, on sen kuitenkin väistettävä jalankulkijoita. Jos siis raitiovaunulle halutaan taata viiveetön kulku, tarvitsee myös jalankulkijoita ohjata liikennevaloin. Tähän olisi myös käytettävä epätäydellistä valo-ohjaustapaa, sillä vihreän valon näyttäminen kiertoliittymän suojatiellä voisi antaa väärän viestin jalankulkijalle. Kyseiseen tarkoitukseen voisi soveltua esimerkiksi luvussa 3.2.4.1 esitellyn VAROVA kiskoylitysvalojen kaltainen sovellus.

Loppujen lopuksi tärkeintä raitiovaunun ajaessa kiertoliittymässä on, että kiertoliittymän koko on tarpeeksi suuri, raitiovaunuvalot ovat hyvin havaittavissa ja ilmaisut saadaan luotettavasti sekä täsmällisesti. Kun kiertoliittymä on tarpeeksi iso, pystytään mahdollisesti pysäyttämään ajoneuvoja ilman koko liittymän tukkeutumista. Lisäksi saadaan tilaa opastimille ja ne pystytään sijoittamaan näkyvästi. Ilmaisujen tarkkuus on olennaista muulle liikenteelle aiheutuvan häiriön minimoimiseksi ja raitiovaunun viiveettömän ja turvallisen kulun turvaamiseksi. Helsingin kokemus raitiovaunuja tunnustavien ajolankailmaisimien käytöstä on, että ne eivät toimi täysin luotettavasti ja fyysisen ilmaisimen tulisi olla tarkempi. (Mäenpää & Tuovinen 2014)

Munkkiniemen puistotie

Munkkiniemen puistotie on esplanadi, joka sijaitsee Munkkiniemen kaupunginosassa läntisessä Helsingissä. Ajouratojen keskellä olevassa puistossa kulkee raitiotie, jolla liikennöi linja 4. Tiheimmillään linja liikennöi viiden minuutin välein, mikä tarkoittaa, että 12 raitiovaunua kulkee tunnissa suuntaansa. Raitiotien ylittävät tällä puistotieosuudella kaksi poikkikatua, Solnantie ja Kadetintie. Kyseisten katujen käyttäjiä varoitetaan lähestyvästä raitiovaunusta liikennemerkillä ja vilkkuvalolla. Tämän kevyemmän liikennevalo-ohjaustavan tarkoituksena on toimia joustavammin kuin tavalliset liikennevalot.

Erikoisuutena kohteessa on jalankulkijoita ennen suojatietä raitiovaunusta varoittavat LED-valonauhat. Paikassa haluttiin erityisesti varoittaa myös jalankulkijoita raitiovaunusta ja suunnittelijat katsoivat, etteivät autoilijoille tarkoitetut varoitusvalot välttämättä herättäneet jalankulkijoiden huomiota. Niinpä suunniteltiin LED-valonauhat. Vastaväinlaisiä sovellutuksia on maailmalla ennen käytetty varoittamaan autoilijoita jalankulkijoista, mutta nyt idea valjastettiin varoittamaan jalankulkijoita. Helsingin kaupunki toteutti LED-valonauhat vuonna 2008 liikenne- ja viestintäministeriön poikkeusluvalla. (Sane 2014) Kadetintien ja Munkkiniemen puistotien liikennevalosuunnitelma on kuvassa 31.



Kuva 31 Munkkiniemen puistotien ja Kadetintien liittymän liikennevalosuunnitelma (mukaanlähde: Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2009)

Kuvassa näkyvät varoitusvalot ja suurennoksessa LED-moduulien paikat ennen suojatietä. Fyysisinä ilmaisimina tässä tapauksessa käytetään raitiovaunukeloja, jotka näkyvät kuvassa numeroilla 108, 192 ja 212. Varoitusvalot eivät muuta risteyksen väistämisvelvollisuuksia, eli autoilijan on annettava raitiovaunulle esteetön kulku ja raitiovaunun on väistettävä jalankulkijaa varoitusvalosta huolimatta. Jalankulkijalle tilanne voi tietysti näyttää siltä, että raitiovaunua on väistettävä, koska siitä varoitetaan huomiovalolla.

3.2.4 Havaittuja ongelmatapauksia

Lainsäädäntö on Suomessa raitiotien osalta vielä melko kehittymätön. Kuten kappaleessa 2.3.1. on lainsäädännöstä kerrottu, tieliikennelaki on muuttumassa ja muutoksia olisi toivottavaa tehdä muun muassa väistämissääntöihin ja valo-ohjauksen monipuolistamiseksi.

3.2.4.1 VAROVA kiskoylitusvalot

Helsingissä on kehitetty uudenlainen tapa ohjata raitiotiekiskojen kohdalla olevan suojatienjatkeen ylitys, valo-ohjaus raitiokiskot ylittävän suojatien kohdalla (VAROVA).

Kuten luvussa 2.3.1.3 on todettu, laki määrää, että suojatien jatkeella oleva raitiotiekiskojen ylitys on valo-ohjattava. Tästä johtuen ennen VAROVA:n kehittämistä, kyseiset suojatiet on aina ohjattu täydellisellä valo-ohjauksella, toisin kuin esimerkiksi Euroopassa tavanomaisesti on tapana. Tämä erillaisuus juontaa juurensa Suomen laista, joka mieltää raitiovaunun, tavanomaisen ajoneuvon tapaan, väistämisvelvolliseksi jalankulkijaan nähden valo-ohjaamattomalla suojatiellä. Eurooppalaisessa käytännössä raitiovaunu pääsääntöisesti ei ole väistämisvelvollinen ja siellä kiskojen ylitys opastetaan ilman

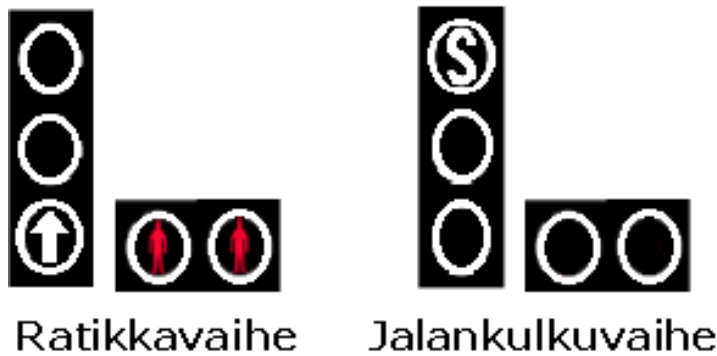
valo-ohjausta, varoituskilvellä, varoitusvalolla tai muulla kuin täydellisellä valo-ohjaustavalla. (Långström & Sane 2007)

VAROVA-valojen periaatteena on poistaa turhaan punaisen näyttäminen kiskojen ylityksessä. Tavallisesti raitiotien kiskojen ylittämisen opastus kulkee samassa vaiheessa viereisen autokaistan suojatien liikennevalon kanssa. Tästä aiheutuu se, että suurimman osan ajasta kiskojen yli opastava valo on punaisena. Tämä johtaa siihen tilanteeseen, että jalankulkijat mieluusti kulkevat punaista päin kiskojen osuuden, jos raitiovaunuja ei näy. Vaihtoehtona olisi näyttää kiskojen ylitykselle vihreää valoa silloin kun raitiovaunuja ei tule, vaikka viereisellä autokaistalla palaisikin punainen. Tästä voisi seurata jalankulkijoiden erehtyminen opastimissa, niin että he luulisivat kiskojen ylityksen vihreän tarkoittavan myös autokaistan ylitystä. Kuvassa 32 on kuvattu kyseinen tilanne.



Kuva 32 Kiskojen ylityksessä näytettävän vihreän ongelmallisuus (Sane 2014)

Näistä ongelmista johtuen Helsingin kaupunki suunnitteli uudentyyppisen valo-ohjauksen kyseisiin tilanteeseen. VAROVA-valoissa on vain punainen valo, joka palaa silloin kun raitiovaunu on tulossa. Muuten kun raitiovaunua ei ole tulossa ja jalankulkijoilla on turvallista ylittää kiskot, valot ovat pimeänä. Jaksokaaviona on tällöin yksinkertaisesti punainen – pimeä – punainen. Tällä ratkaisulla mahdollistetaan kiskojen joustavampi ylitys, pienennetään tarvetta kävellä punaisia päin ja poistetaan tavallisiin valoihin verrattuna vihreän valon erehdyttämisen vaara. VAROVA-valojen osana on lisäksi äänimerkki, joka kuuluu valon ollessa punainen. Äänimerkki eroaa tavallisista suojateiden ääniopasteista ollen enemmän kilkattava. Kuvassa 33 on kuvattu VAROVA-valojen toimintaperiaate.



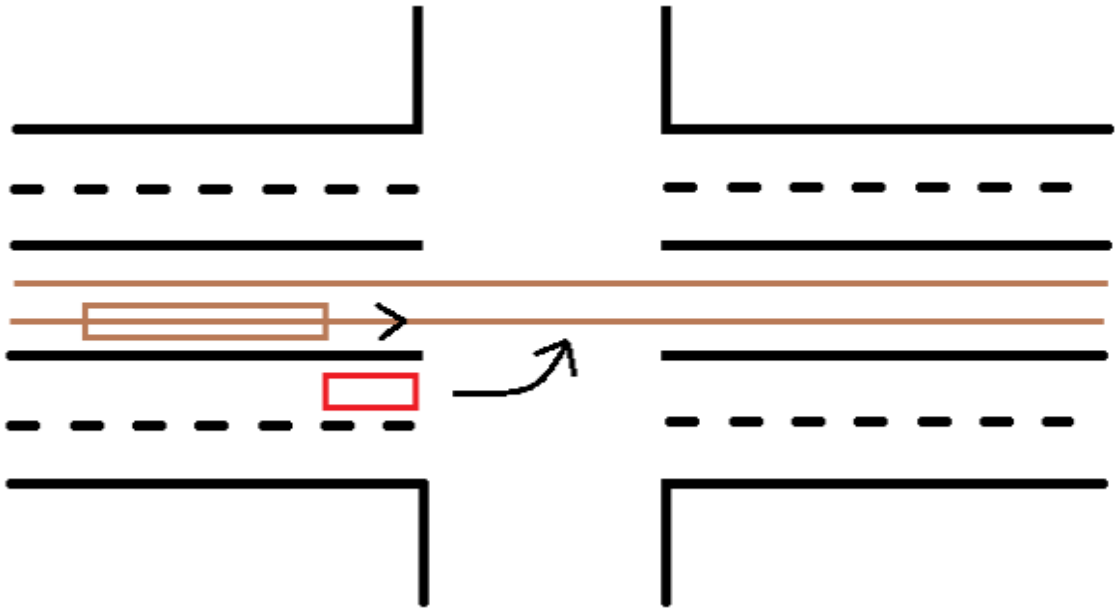
Kuva 33 VAROVA-valojen toimintaperiaate (mukailtu lähteestä Sane 2014)

Vuonna 2008 Helsingissä otettiin käyttöön ensimmäiset VAROVA-valot Mannerheimintiellä Postikadun sekä Finlandia-talon kohdalla. Tämän jälkeen tutkittiin valojen vaikutusta jalankulkijoiden käyttäytymiseen ennen ja jälkeen videomateriaalin perusteella. Punaista päin kävely vähentyi selvästi. Postikadun kohdalla punaista päin käveli ennen 17 prosenttia ja VAROVA-valojen käyttöönoton jälkeen kahdeksan prosenttia. Vastaavat luvut Finlandia-talon kohdalta olivat ennen 34 prosenttia ja jälkeen 21 prosenttia. (TKK 2009)

Tärkeä tavoite punaisen valon inflaation vähentämiseksi näytti siis toteutuneen. Samaisessa tutkimuksessa myös haastateltiin jalankulkijoita sekä raitiovaunukuljettajia. Jalankulkijoista yli puolet piti VAROVA-valoja parempina kuin perinteisiä valoja, mutta raitiovaunukuljettajista 44 prosenttia oli perinteisten kannalla, VAROVA-valojen kannatuksen jäädessä 34 prosenttiin.

3.2.4.2 Raiteille kääntyminen

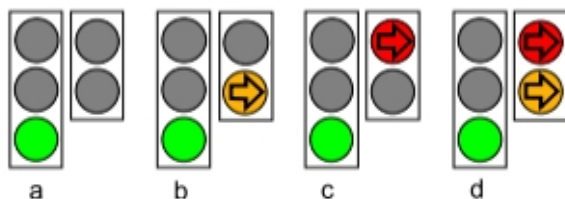
Yksi havaittu ongelma Helsingissä on henkilöautojen kääntyminen kiskoille raitiovaunun eteen. HSL tutki raitiovaunulinjojen 3B, 3T ja 7 onnettomuustilastoja vuosilta 2010-2012 ja havaitsi, että kaikista onnettomuuksista 164 kappaletta eli 47 prosenttia johtui tästä. Vasemmalle kääntyvä ajoneuvo havainnoi yleensä vain vastaantulevaa liikennettä eikä välttämättä ymmärrä, että vasemmalta takaviistosta voi tulla raitiovaunu kuten kuvassa 34 on havainnoitu. (HSL 2013b)



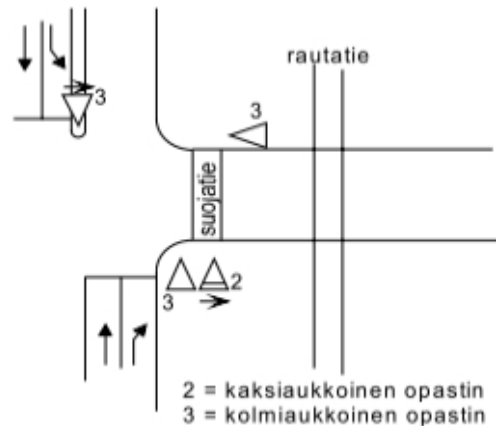
Kuva 34 Vasemmalle kääntyminen raitiovaunun eteen

Kuvan esittämässä tilanteessa vasemmalle kääntyvällä ajoneuvolla palaa vihreä pallovalo ja raitiovaunulla on ajolupa ajaa suoraan. Jos tällöin henkilöauton kuljettaja keskittyy vain vastaantulevan liikenteeseen ja ei huomaa takaviistosta tulevaa raitiovaunua, seurauksena on yhteentörmäys. Ratkaisuna tähän on kieltää vasemmalle kääntyminen tai laittaa vasemmalle kääntyminen toimimaan kokonaan nuolivalolla. HSL:n (2013b) ehdottama uusi tapa olisi ottaa käyttöön rautatien tasoristeyksissä hyväksytty nuolivalo, joka koostuu vain keltaisesta ja punaisesta valosta. Tällainen valo on esitetty kuvassa 35.

Rautatien tasoristeyksessä liikennevalojen
lisäopastin oikealle *



* lisäopastin vasemmalle
on myös mahdollinen



Kuva 35 Rautatien tasoristeyksessä hyväksytty lisäopastin ja sen käyttökohde (mukaillen kohteesta Tiehallinto 2005)

Tämänkaltainen lisäopastin mahdollistaa siis sen, ettei vihreä vaihe tule nuolivalon opastamana vaan tavallisella pallovalolla. Tällöin kuvan tapauksessa suojatiellä kulkevia on edelleen väistettävä, mutta punainen vaihe voidaan antaa junan tullessa vain kääntyville nuolivalolla. Tämän lisäopastimen käyttö soveltuisi ratkaisemaan raitiovaunun eteen kääntyvistä aiheutuvia onnettomuuksia. Vain kun havaitaan raitiovaunun tulo, voitaisiin punaisella nuolivalolla estää kääntyminen raiteiden yli. Muuten vasemmalle

kääntyminen tapahtuisi vihreällä pallovalolla, jolloin tavalliset väistämissäännöt ovat voimassa.

3.2.5 Päätelmät

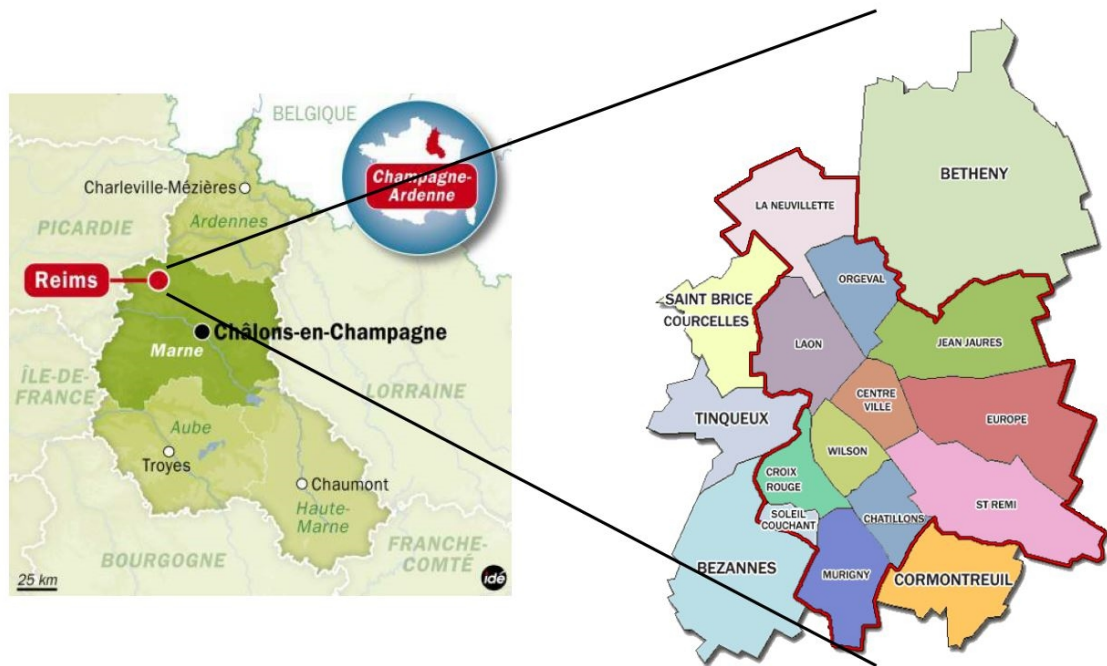
Helsingin raitiotiejärjestelmä on vanha ja keskittyy vahvasti keskusta-alueelle. Tästä aiheutuu monia ongelmia raitiotien liikennöinnille. Keskusta on ruuhkaista aluetta ja raitiovaunut joutuvat monesti kulkemaan muun liikenteen seassa. Liittymiä ja pysäkkejä on raitiotielinjoilla paljon ja tiheästi. Myös ratageometrialtaan linjasto on haastavaa. Seurauksena Helsingin raitiovaunujen keskinopeus on heikko.

Liikennevalojen osalta Helsingin raitiotie on haastavassa tilanteessa. HELMI-järjestelmä oli tullessaan erittäin innovatiivinen ja edistyksellinen, mutta nykypäivänä vaaditaan entistä parempia ratkaisuja raitiovaunujen nopeuttamiseksi. Liikennevaloetuksia ei olla monista ongelmista ja häirtatekijöistä johtuen onnistuttu luomaan modernien vaatimusten mukaisiksi. Helsingissä on kuitenkin ideoitu erilaisia liikennevaloratkaisuja raitiotiereiteille, kuten VAROVA kiskoylitysvalot. Näin on pyritty laajentamaan suomalaista suppeaa lainsäädäntöä uusilla liikenteen ohjaustavoilla.

Realistisesti ajateltuna Helsingin raitiotieverkosta on erittäin vaikeaa, ainakaan keskustan osalla, tehdä pienillä toimenpiteillä modernia pikaraitiotietä, vaan se todennäköisesti pysyy hitaampana ”kaupunkiratikkana”. Kuitenkin pienin askelin eteenpäin mentäessä mahdollisuuksia kehitykseen on. On myös muistettava, että jos järjestelmää lähdetäisiin nykypäivänä suunnittelemaan täysin puhtaalta pöydältä, tulisi siitä luultavasti melko erinäköinen.

3.3 Reims

Reims on Koillis-Ranskassa sijaitseva kaupunki ja Pariisista sinne on matkaa noin 160 kilometriä. TGV-junalla matkaan kuluu aikaa vain noin 50 minuuttia. Kaupunki kuuluu Champagne-Ardennen alueeseen Marnen departementissa. Reimsin metropoli on metropolialue, joka koostuu kuudesta kunnasta: Reimsista, Béthenystä, Saint Brice Courcellesiosta, Tinquexista, Bézannesista ja Cormontreuilista. Reimsin kaupunki on jaettu 12 kaupunginosaan.



Kuva 36 Reimsin maantiedettä (Clerinx & Fabris 2012)

Pinta-alaltaan Reimsin metropoli on 87,86 neliökilometriä ja siellä on 218 928 asukasta. Metropolialueen asukkaista 85 prosenttia eli 184 842 asukasta asuu Reimsin kaupungissa ja asukastiheys on 3930 asukasta neliökilometrillä. Alueella on noin 28 000 työpaikkaa, joista kolmannes sijoittuu kaupunkiin. Reims on jaettavissa kolmeen erityyppiseen talousalueeseen. Pohjoiseen sijoittuu tehdastoimintaa ja kaupallista alaa, etelässä on koulutusta, kuten yliopisto sekä terveysalaa. Kaupungin keskustaan, mukaan lukien historiallinen keskusta, sijoittuu tiheästi työpaikkoja hallinnollisella alalla.

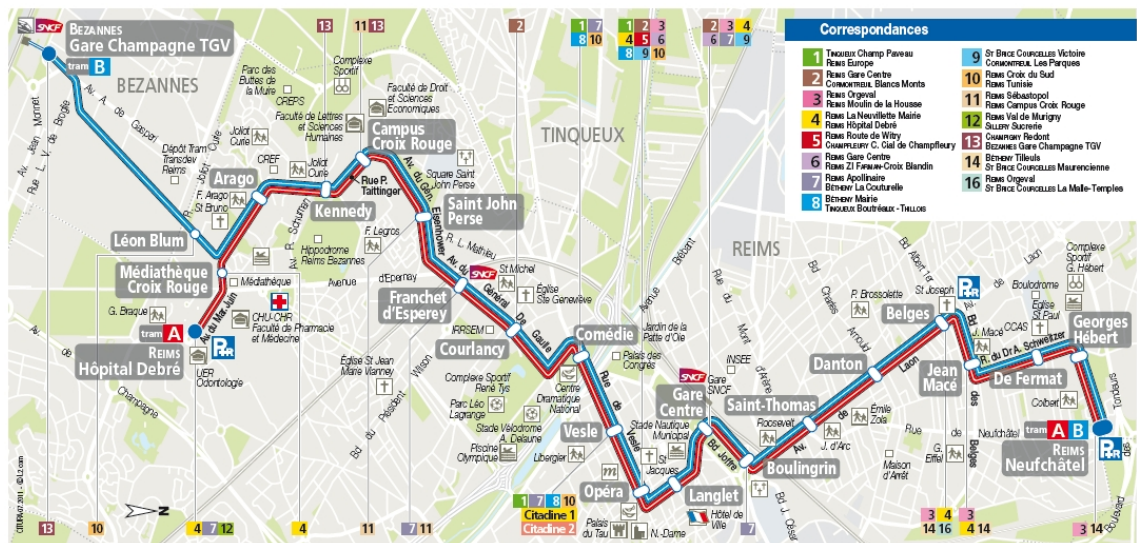
3.3.1 Reimsin raitiotiejärjestelmä

Reimsin raitiotiejärjestelmän historia ajoittuu jo 1800-luvulle. Vuonna 1881 kaupungissa aloittivat liikennöintinsä ensimmäiset hevosvetoiset raitiovaunut. 1900-luvun alussa raitiotie oli jo sähköistetty ja se koostui kuudesta linjasta. Juuri ennen ensimmäistä maailmansotaa, tässä 120 000 asukkaan kaupungissa, raitiotie saavutti 10 miljoonan vuosittaisen matkustajan määrän. Maailmansota tuhosi raitiotien ja kesti vuoteen 1923 asti, että se korjattiin. Bussiliikenteen aloittaessa raitiotien suosio kääntyi laskuun vuonna 1936 ja lopullisesti se lakkautettiin vuonna 1939. (Clerinx & Fabris 2012)

Keskustelu raitiotien rakentamisesta uudelleen Reimsiin alkoi vuonna 1984. Suunnitelmissa oli 7,4 kilometrin reitti, joka kulkisi sairaalalta rautatieasemalle. Hanke saavutti suosiota kansalaisten keskuudessa. Vuonna 1991, juuri kun kustannukset oli saatu laskettua 750 miljoonaan Ranskan frangiin, pormestari Jean Falala hylkäsi hankkeen yllättäen. Vuonna 2001 uusi pormestari elvytti hankkeen jälleen helpottamaan ruuhkautunutta ja hidastunutta bussijärjestelmää. Vuonna 2003 tehtiin uutta suunnittelua ja kansalaisten kanssa käytiin keskustelua, kunnes kaksi vuotta myöhemmin kaupunginvaltuusto

ensimmäistä kertaa äänesti hankkeesta. Suunnittelu jatkui ja vuonna 2008 alkoivat katuritien rakennustyöt. Liikennöinti raitiotiellä alkoi lopulta vuonna 2011 ja hankkeen kustannuksiksi muodostui, katu ympäristön kehittäminen mukaan lukien, 338 miljoonaa euroa. (Clerinx & Fabris 2012)

Reimsin raitiotiellä on pituutta 11,2 kilometriä ja se kulkee pohjois-etelä-suuntaisesti sekä Reimsin vanhan historiallisen keskustan läpi. Raitiotie jakautuu kahteen eri linjaan siten, että reitit ovat muuten samat, mutta ne jakaantuvat eteläosassa eri tavoin. Kuvassa 37 on kartalla linjat A ja B sekä pysäkit.



Kuva 37 Reimsin raitiotielinjasto (Citura 2014)

A-linja jatkaa eteläosassa reittiä itään sairaala-alueelle ja B-linja etelässä sijaitsevalle Champagnen TGV rautatieasemalle. Raitiolinjalla on 23 pysäkkiä ja se palvelee 70 000 asukasta, 26 500 työpaikkaa ja 25 000 opiskelijaa. Raitiotielinjalle on suunniteltu jatkoa itä-länsi-suuntaisesti vuodelle 2020. Keskimääräinen pysäkkiväli on noin 500 metriä.

Raitiovaunut ovat 32,5 metriä pitkiä Alstom Citadis 302 –vaunuja ja kapasiteetiltaan 206 matkustajaa. Istumapaikkoja on enimmillään 54 kappaletta. Keskimääräinen nopeus on 19 km/h, joka on 30 prosenttia nopeampi kuin busseilla. Raitiovaunu liikennöi aamuviidestä puoleenyöhön. Ruuhka-aikaan se kulkee 5 minuutin vuorovälillä ja muutoin 8 tai 9 minuutin vuorovälillä. Lauantaisin ajetaan keskimäärin 7,5 minuutin vuorovälillä ja sunnuntaisin 15 minuutin vuorovälillä. Erikoisuutena Reimsin raitiovaunuissa on historiallisen keskustan 1,9 kilometrin osuus reitistä, joka toimii ilman ajolankoja ottaen tuolla osuudella virran raiteista. Suomen talveen virtakiskoratkaisu ei sovellu.

3.3.2 Raitiotien sujuvuus ja liikennevalo-ohjaus

3.3.2.1 Lainsäädäntö ja ohjeistus

Ranskassa raitioteiden suosion kasvaminen on pakottanut lainsäätäjät päivittämään niihin liittyvää lainsäädäntöä ja ohjeistuksia. Vuonna 2002 ajantasaistettiin lakia infrastruktuurin ja liikennejärjestelmien turvallisuudesta. Vuonna 2003 julkaistiin asetus nimeltään Sécurité des Transports Publics Guidés (STPG) eli ohjattujen joukkoliikennevälineiden turvallisuus.

STPG koskee joukkoliikennevälineitä, jotka kulkevat ohjattua reittiä, kuten raitiovaunut ja metrot. Asetuksen tarkoituksena on, että liikenneministeriö pystyy kontrolloimaan näiden edellä määriteltyjen kaltaisten joukkoliikennevälineiden turvallisuutta jo suunnitteluvaiheessa jatkuen operointivaiheeseen. STPG:n määrittelemänä on käytössä periaate Globalement Au Moins Équivalent eli GAME. Se tarkoittaa että kaikkien uusien ja saneerattavien systeemien on oltava turvallisuustasoltaan vähintään samaa tasoa olemassa olevien ja vertailtavissa olevien järjestelmien kanssa. Tämä koskee infrastruktuuria, kalustoa, operointi- ja huoltoperiaatteita sekä turvallisuustekniikkaa. (Menetrix 2010)

Maanlaajuisesti turvallisuusvalvonta toimii kahdella taholla, paikallisesti ja valtiollisesti. Liikenneministeriön alaisuudessa toimivat valtiolliset tahot DGITM ja STRMTG. DGITM on infrastruktuurista, liikenteestä ja merestä vastaava toimisto ja STRMTG on vastuussa teknisestä puolesta. Ne avustavat teknisissä kysymyksissä ja ohjaavat direktiivein paikallisviranomaisia. Paikallisen puoleen kuuluu BIRMTG, joka on alueellinen tarkistusviranomainen. Sen tehtävänä on tarkastaa turvallisuusasiakirjoja ja operointia sekä johtaa onnettomuustutkintaa. Ranskassa on viisi BIRMTG toimistoa alueellisesti jaettuna. (Menetrix 2010)

STRMTG on analysoinut ohjatuille joukkoliikennevälineille tapahtuneita onnettomuuksia. Näiden tulosten perusteella se on tutkinut tiettyjä aiheita, kuten kiertoliittymiä, ja tuottanut ohjeita turvallisuuden edistämiseksi. Raitiotien liikennevalo-ohjauksen kannalta tämänkaltaisista ohjeista tärkeimpiä ovat lisäopastin- ja kiertoliittymäohjeet.

Lisäopastin

Monissa Ranskan raitiotiejärjestelmissä on käytössä raitiovaunun kuljettajaa avustava lisäopastin signal d'aide à la conduite (SAC). Tällainen opastin on käytössä myös Reimsissa ja se on aina yhdessä tavallisen raitiovaunua ohjaavan opastimen kanssa antamassa lisätietoa liikennevalojen toiminnasta. STRMTG on julkaissut ohjeen, jossa kerrotaan SAC:n periaatteista ja turvallisesta käytöstä. Ranskassa on käytössä hieman toisistaan eroavia lisäopastimia. Kuvassa 38 on vasemmalla normaali raitiovaunuopastin ja oikealla SAC-lisäopastin, joka on käytössä Reimsissa.



Kuva 38 Reimsissa käytössä olevat opastimet (Alstom 2012a)

Toisin kuin Helsingissä, Reimsissa opastimen vaakaviiva kuvaa punaista valoa. Keltaista valoa vastaava signaali on ympyrä. STRMTG:n mukaan (2009) lisäopastimen tarkoituksena on informoida raitiovaunun kuljettajaa seuraavista seikoista:

- etuuspyyntö on saapunut liikennevalokojeelle
- raitiovaunu on saamassa ajoluvan
- raitiovaunun ajolupa on sulkeutumassa

Nämä tilanteet opastetaan kuvan 39 mukaisilla yhdistelmillä tavallisen opastimen ja lisäopastimen signaaleja.

	Timantti, suluissa vilkkuva vaihe	Huutomerkki, vilkkuva	Pystyviiva	Pallo	Vaakaviiva
Kieltomerkki, järjestelmä toiminnassa	◆				—
Ilmaisu on saatu ja etuus tulossa	(◆)				—
Ilmoitus tulevasta ajoluvasta (3s)	(◆)	!			—
Raitiovaunulla ajolupa	◆		⊥		
Raitiovaunun ajolupa päätymässä	◆	!	⊥		
Ilmoitus tulevasta kieltomerkestä	◆			○	
Kieltomerkki, järjestelmä toiminnassa	◆				—

Kuva 39 Opastimien signaalikaavio (mukaillen lähteestä Alstom 2012a)

Reimsin järjestelmässä, kuvan 39 mukaisesti, timantin muotoinen valo palaa aina merkkinä siitä, että etuusjärjestelmä on toiminnassa. Timantin vilkkuminen tarkoittaa, että

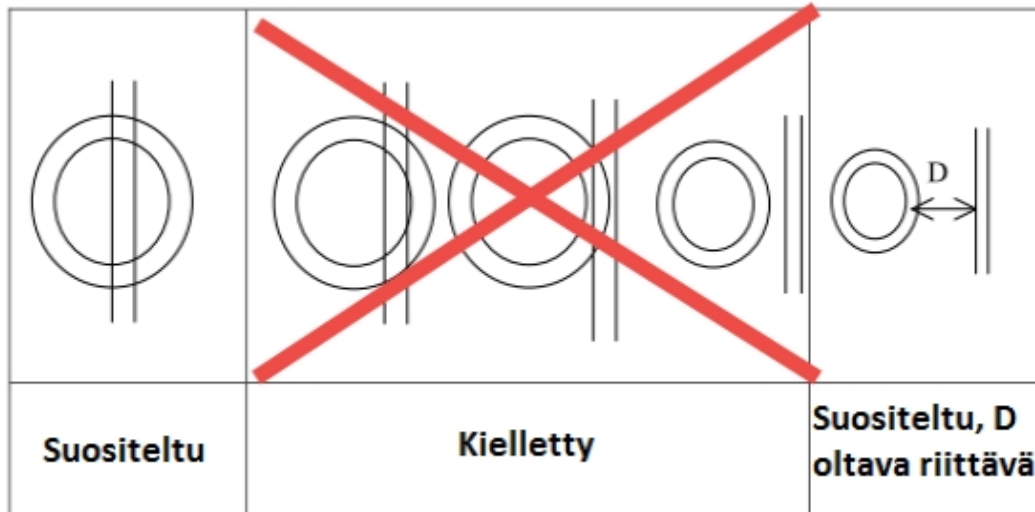
etuus on tulossa ja tämän jälkeen huutomerkkin vilkkuminen tarkoittaa ajoluvan olevan tulossa kolmessa sekunnissa.

Viestimällä raitiovaunun kuljettajalle edellä kuvattuja asioita, on mahdollista lähestyä liikennevaloliittymää sopivalla nopeudella ja läpäistä se jopa kokonaan hiljentämättä jos tieto valon vaihtumisesta on olemassa. Esimerkiksi raitiovaunun kuljettajan nähdessä kauempaa timanttikuvion vilkkuvan, hän tietää etuuden olevan tulossa. Tämän jälkeen syttyvän huutomerkkin vilkkuminen kertoo, että ajolupa on tulossa kolmessa sekunnissa ja jarruttamiseen ei siinä vaiheessa enää ole tarvetta. Lisäopastin toimii myös silloin, jos pysäkiltä lähdettäessä edessä on välittömästi liikennevaloliittymä. Tällöin raitiovaunun kuljettaja voi olla pysäkillä pysähdyksissä niin kauan, että näkee huutomerkkin vilkkuvan. Silloin kuljettaja ei joudu varmasti enää pysähtymään pysäkiltä lähdön jälkeen liikennevaloihin vaan pääsee ajamaan suoraan läpi liittymästä.

Kiertoliittymät

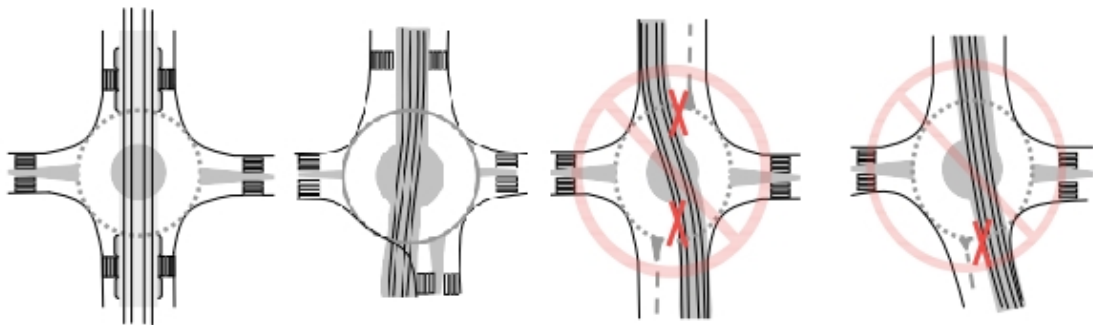
Ranskassa on yleisesti käytössä paljon kiertoliittymiä, sillä ne koetaan joustaviksi ja tehokkaiksi. Kiertoliittymiä on näin ollen paljon myös raitiovaunureiteillä ja lisäksi niitä on myös rakennettu lisää uuden raitiotien tullessa. Kiertoliittymissä on kuitenkin havaittu tapahtuvan tavallista liittymää enemmän onnettomuuksia, joissa raitiovaunu on mukana. Tähän uskotaan olevan syynä kiertoliittymän tavalliset säännöt, joiden mukaan kiertotilassa oleva ei ole väistämisvelvollinen. Raitiovaunu kuitenkin on ranskalaisen tielain Code de la Routen määräämänä etuajo-oikeutettu kaikkiin muihin liikennevälineisiin. Tästä ristiriitaisuudesta aiheutuu onnettomuuksia, joita tavallisissa liittymissä ei tulisi.

Lisääntyneiden onnettomuuksien vuoksi STRMTG on julkaissut ohjeen kiertoliittymien suunnittelusta raitiovaunujen kanssa. Siinä kerrotaan, että on tärkeää että muut kiertoliittymän käyttäjät hahmottavat liikennetilanteen ja raitiovaunuristeyksen liittymässä. Siksi kiertoliittymä on suunniteltava siten, että se alentaa tarpeeksi ajoneuvojen nopeutta ja on riittävän selkeä. Tähän ohjeena on kiertoliittymän oikea geometria ja raitiotien linjaus sekä tarpeeksi suuri koko. Kuvissa 40 ja 41 on ohjeessa suositeltavia raitiotien linjauksia kiertoliittymässä.



Kuva 40 Raitiotien linjausohjeita kiertoliittymässä (mukailtu lähteestä STRMTG 2008)

Raitiotien linjaus on suositeltavaa tehdä keskeltä kiertoliittymää, koska se on yksinkertaisinta ja parhaiten ymmärrettävissä muille autoilijoille. Toinen vaihtoehto on linjata se kokonaan liittymän ohittaen, jolloin raitiotie on selvästi erillään siitä ja näin hyvin tienkäyttäjän ymmärrettävissä.



Kuva 41 Raitiotien linjausohjeita kiertoliittymässä (mukailtu lähteestä STRMTG 2008)

Vaikka raitiotien linjaisikin kiertosaarekkeen keskeltä, on linjaus kiertoliittymään ja sieltä pois myös suunniteltava tarkasti. Kiertotilaan tulevalle ajoneuvolle on annettava riittävä tila ja aika havainnoida raitiotien ylityskohta. Tällöin tuo raiteiden ylityskohta ei voi olla heti tulosuunnan jälkeen. Kuvassa 41 punaisella ruksatut kohdat liittymissä näyttävät ne paikat, joissa konfliktipiste raitiovaunun ja muiden kiertoliittymää käyttävien välillä on vaarallisesti.

STRMTG:n ohjeessa on käsitelty myös kiertoliittymien liikennevalo-ohjausta. Kuten kiertoliittymän geometrian ja raitiotien linjaustakin suunniteltaessa, periaatteena valo-ohjauksen suunnittelussa tulee olla mahdollisimman selkeä ja hyvin havaittava kokonaisuus.

Lähtökohtana on se, että liittymä toimii muuten täysin normaalisti. Raitiovaunun lähes-tyessä käytetään valo-ohjausta, jotta sille pystytään takaamaan esteetön kulku. Raitiovaunun poistuttua liittymä palaa normaaliin tilaan.

Kiertoliittymää raitiotien kanssa voidaan harkita myös ilman valo-ohjausta, jos liikennemäärä on vähäistä ja koostuu paikallisesta liikenteestä. Lisäksi vaaditaan, että nopeudet ovat raitiovaunulla ja muilla liittymää käyttävillä ajoneuvoilla alhaiset ja näkyvyys hyvä.

Liikennevalo-opastimista ohje toteaa, että muiden kuin raitiovaunun opastamiseen voidaan käyttää joko kuvassa 42 vasemmalla näkyvää vilkkuvalla punaisella varustettua R24-opastinta tai tavallista kolmiväristä R11v-opastinta. R11j-opastinta, jossa vihreä on korvattu vilkkuvalla keltaisella, ei saa käyttää.



Kuva 42 Muun liikenteen opastimet kiertoliittymässä (STRMTG 2008)

Opastimet on sijoitettava hyvin havaittaviksi ja tarvittaessa niitä voidaan laittaa kaksi kappaletta eri puolille ajoväylää. Raitiovaunua opastetaan tavallisella raitiovaunuopastimella, joka näkyy vasemmalla kuvassa 38. Muita liikennevalo-opastimia liittymän lähistöllä ei saa olla. Poikkeustapauksessa, esimerkiksi pysäkillä pääsemiseksi, voidaan valo-ohjattu suojatie sijoittaa 15 metrin päähän kiertoliittymästä.

Reimsissa kiertoliittymissä käytetään kolmiaukkoista ja -väristä R11v-opastinta. Jos raitiovaunua ei ole liittymässä, valo palaa vihreänä. Tämä tarkoittaa sitä, että liikennevalo-opastin on sijoitettava selvästi kiertotilaan. Muuten on vaarana, että kiertotilaan tuleva ei huomioi tulevansa kolmion takaa, vaan huomioi pelkästään vihreän valon. Kuvassa 43 on näkymä kiertoliittymään tulosta Reimsissa.



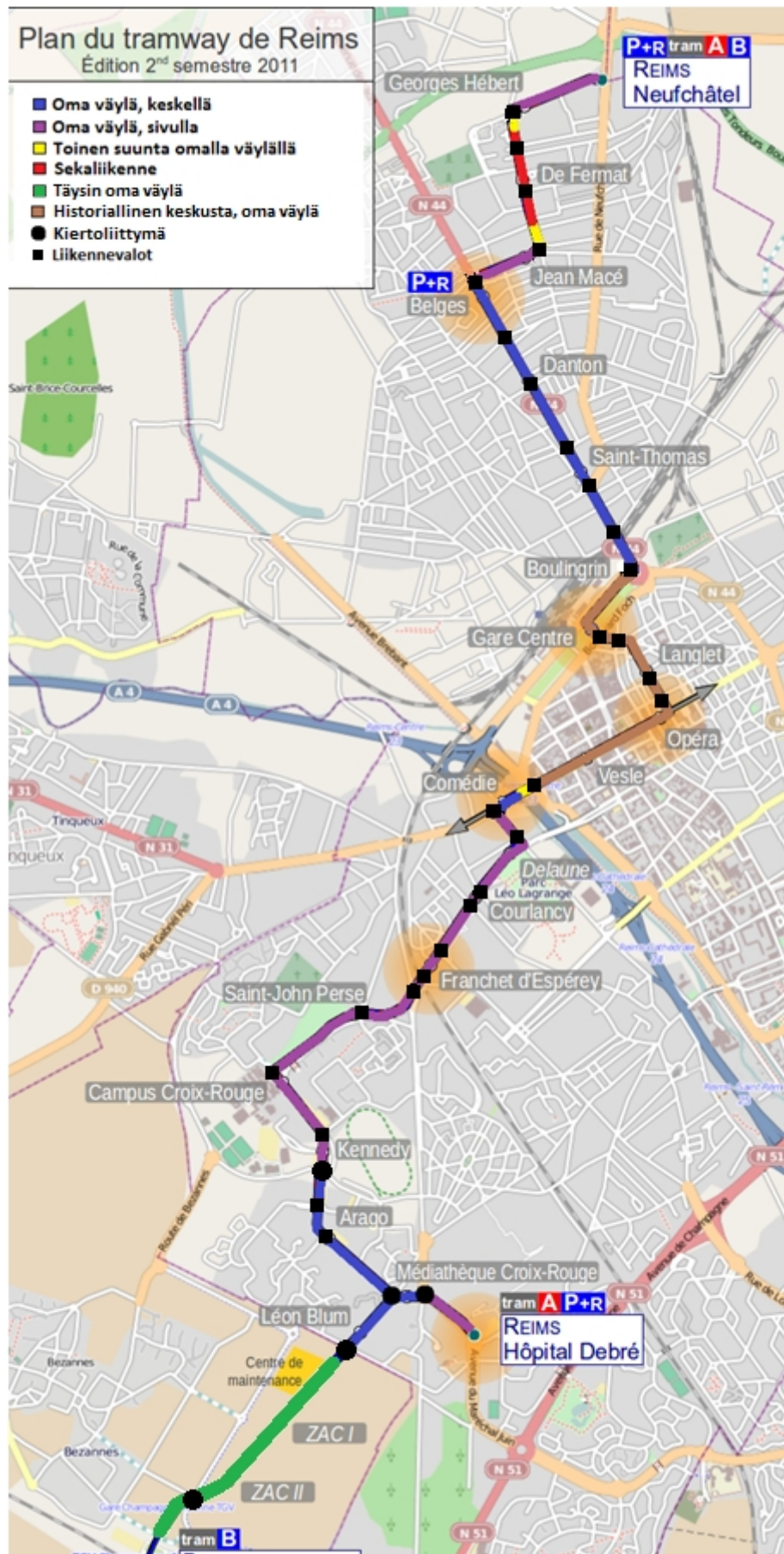
Kuva 43 Kiertoliittymän liikenteen ohjausta Reimsissa (Google Maps 2014)

Kuvassa 43 on Avenue du General Bonaparten ja Avenue Leon Blumin välinen kierto-liittymä kuvattuna koillisesta päin tultaessa. Raitiotie kulkee liittymän läpi. Liittymään tultaessa on normaalisti väistettävä kiertotilassa olevia ja tämän jälkeen havainnoitava liikennevalot ennen raiteiden ylitystä. Vaarana tässä on autoilijan keskittyminen liikennevaloon eikä kolmioliikennemerkkiin. Varsinkin ensimmäistä kertaa tällaista kierto-liittymää käyttävälle autoilijalle tilanne voi olla epäselvä.

3.3.2.2 Fyysiset etuudet

Reimsin raitiotien suunnittelussa on käytetty hyviä suunnitteluperiaatteita ja siksi raitiovaunu liikkuu pitkälti omassa tilassaan joko ajokaistojen välissä tai sivussa omalla väylällään. Vain muutamassa kohdassa koko reitillä on autoliikenteen ja raitiovaunun sekakaista. Lisäksi historiallisen keskustan alueella raitiotie kulkee myös kävelykadulla ja puistossa.

Kuvassa 44 on kartalla Reimsin raitiovaunun reitin eri väylätyypit ja liikennevalo- sekä kierto-liittymät. Karttaan sekakaistojen kohdat on merkitty keltaisella ja punaisella. Pohjoisosassa reittiä raitiovaunu kulkee Rue du Docteur Albert Schweitzer -kadun osan molempiin suuntiin sekakaistoilla noin 700 metrin matkan. Toinen kohta on Pont de Veslen silta, missä sillan kapeudesta johtuen ajosuunta länteen päin on sekakaistalla.



Kuva 44 Reimsin raitiotie ja sen väylätyypit (muokattu lähteestä Wikipedia 2014)

Huomionarvoista molemmissa kohdissa on, että ennen läheisiä liikennevaloliittymiä raitiovaunu pääsee omalle väylälleen. Pohjoisosan tapauksessa asia on suunniteltu siten, että nimenomaan liittymän suuntaan kulkeva raitiovaunu saa oman kaistan. Näin ollen missään kohtaa koko 11,3 kilometrin reitillä raitiovaunu ei joudu liikennevaloliittymään muun liikenteen seassa. Tästä on luonnollisesti suuri etu niin raitiovaunulle kuin koko liittymän toiminnalle. Viiveet minimoituvat, kun raitiovaunu pääsee liittymän läpi nopeasti joutumatta jonottamaan. Lisäksi etuuden järjestäminen helpottuu, kun se voidaan hoitaa nopeasti, jolloin siitä ei aiheudu suurta häiriötä normaaliin valokiertoon.

Kuvassa 45 on reitin pohjoisosan järjestely Rue du Docteur Albert Schweitzer -kadun ja Rue Adolphe Laberte -kadun liittymässä.



Kuva 45 Liittymäjärjestely Reimsissa (mukailien lähteestä Google Maps 2014)

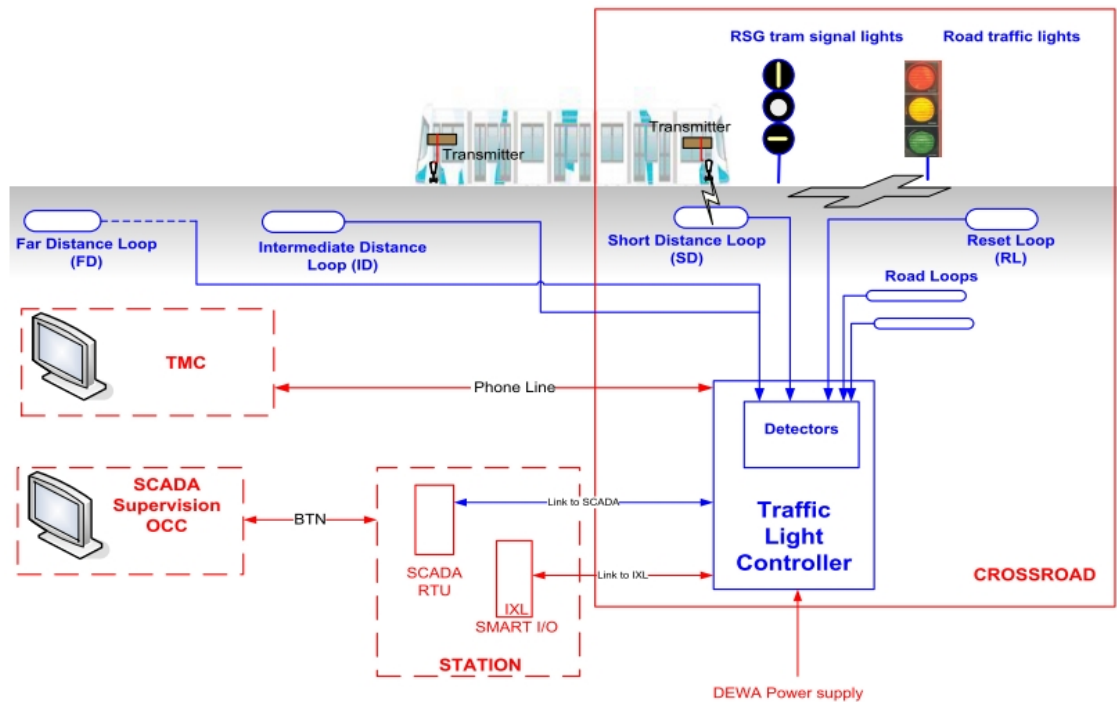
Kuvan oikean reunan suunnasta tuleva raitiovaunu pääsee omalle kaistalleen noin 100 metriä ennen liittymää ja autoille jää suunnilleen 60 metrin tila jonottaa liikennevaloissa tukkimatta raitiovaunun raiteita.

3.3.2.3 Liikennevaloetuedet

Järjestelmän arkkitehtuuri

Reimsissa on käytössä täydet liikennevaloetuedet. Tämä on toteutettu RSG-järjestelmällä, johon kuuluu raitiovaunun ja muun liikenteen tunnistaminen sekä tämän informaation välittäminen liikennevalokojeelle ja liikennekeskukseen.

RSG-järjestelmän päätavoite on varmistaa, että muun liikenteen ja raitiovaunun välille ei pääse syntymään konflikteja. Päätoiminnot järjestelmällä ovat autojen ja raitiovaunujen tunnistaminen, liikennevalojen hallinnointi liittymissä, liikennevalokierron hallinnointi, kun raitiovaunua ei ole lähistöllä ja raitiovaunun saapuessa etuuden toteuttaminen lisäämällä raitiovaunuvaihe valokiertoon. Yleinen järjestelmän arkkitehtuuri on näytetty kuvassa 46. (Alstom 2012a)



Kuva 46 Liikennevaloja ohjaavan järjestelmän arkkitehtuuri (mukailtu lähteestä Alstom 2012b)

Liittymään ja sen lähistölle tulee viisiä erilaisia tunnistinsilmukoita. Raitiovaunun tunnistamiseen käytetään ennen liittymää pitkän matkan (FD), keskimatkan (ID) ja lyhyen matkan (SD) -tunnistimia sekä liittymän jälkeen kuittausilmaisinta (RL). Kaikissa näissä tunnistimissa on toimintona tunnistaa raitiovaunu magneettisesti. Magneettinen tunnistus aktivoituu raitiovaunun sisältämän On-Board-antennin ohitettua sen. Tämän jälkeen raitiovaunun metallinen massa pitää ilmaisimen aktivoituna vaunun kulkiessa sen yli. Raitiovaunun takapäissä oleva antenni kertoo järjestelmälle, että vaunu on poistunut ilmaisimen kohdalta. (Alstom 2012b)

Alstomin (2012b) mukaan SD-ilmaisimessa on lisäksi pelkkään raitiovaunun metallimassaan vastaava magneettinen tunnistus. Tämä siitä syystä, että raitiovaunu tunnistetaan vaikka sen antennissa olisi vikaa tai raiteilla liikkuisi vaunu, jossa ei ole antennia ollenkaan. Viidentenä ilmaisintyyppinä liittymään tulee myös muuta liikennettä havainnoivia tavallisia silmukkailmaisimia.

Reimsin järjestelmässä käytössä olevia raitiovaunuja ajetaan kaksisuuntaisesti molemmista päistä, joten antennia tarvitsee asentaa molemmiin puolin vaunun koria. Lisäksi molemmissa päissä vaunua tulee olla antenni. Tästä syystä raitiovaunussa on yhteensä neljässä eri kohdassa antennia. Kuvassa 47 on vasemmalla raitiovaunuun tuleva antenni ja oikealla raiteiden väliin asennettava silmukkailmaisim. (Alstom 2012b)



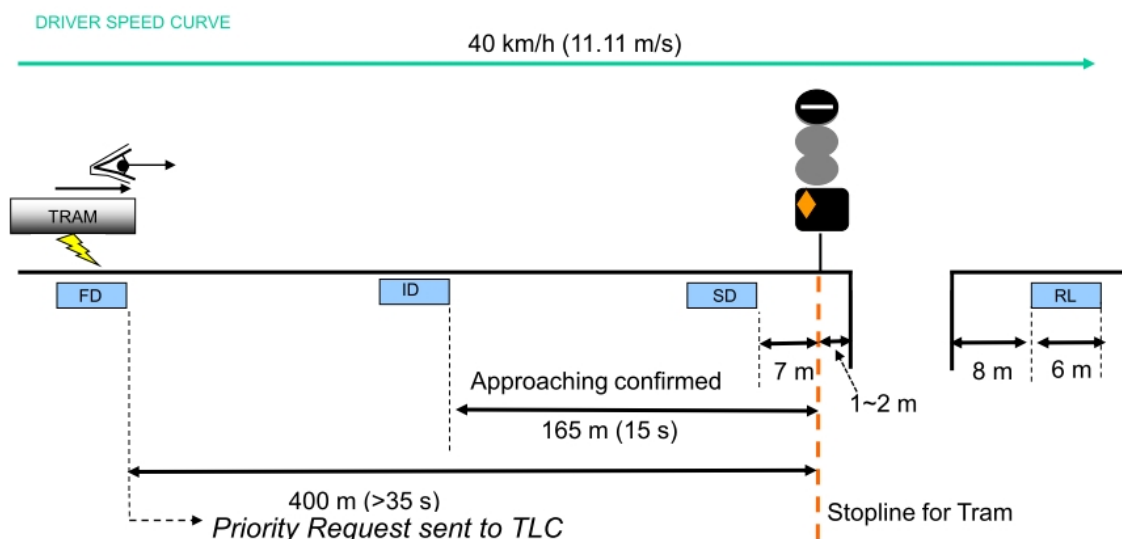
Kuva 47 Raitiovaunun On-Board-antenni ja raitiotielle asennettava silmukkailmaisim (Alstom 2012a)

Ilmaisimien antama tieto ohjataan liikennevalokojelle, joka tekee tarvittavat toimenpiteet ilmaisujen mukaan. Liikennevalokojelle on lisäksi yhteydessä liikenneohjauskeskukseen (TMC), joka valvoo liikennettä ja pystyy tarvittaessa manuaalisesti kontrolloimaan liikennevaloja. Liikennevalokojeseen ovat lisäksi yhteydessä valvomo (SCADA) ja vaihteita kontrolloiva IXL.

Järjestelmän toiminta

Ilmaisimien sijoittelu täytyy miettiä tapauskohtaisesti. Yksinkertaisessa liittymässä riittää, että ilmaisimet sijoitetaan tarpeeksi kauas tulevasta liittymästä. Poikkeustapauksia ovat muun muassa peräkkäiset liittymät ja pysäkin sijoittuminen ennen liittymää.

Ilmaisimien sijoittelu tyypillisessä risteyksessä on esitetty kuvassa 48.

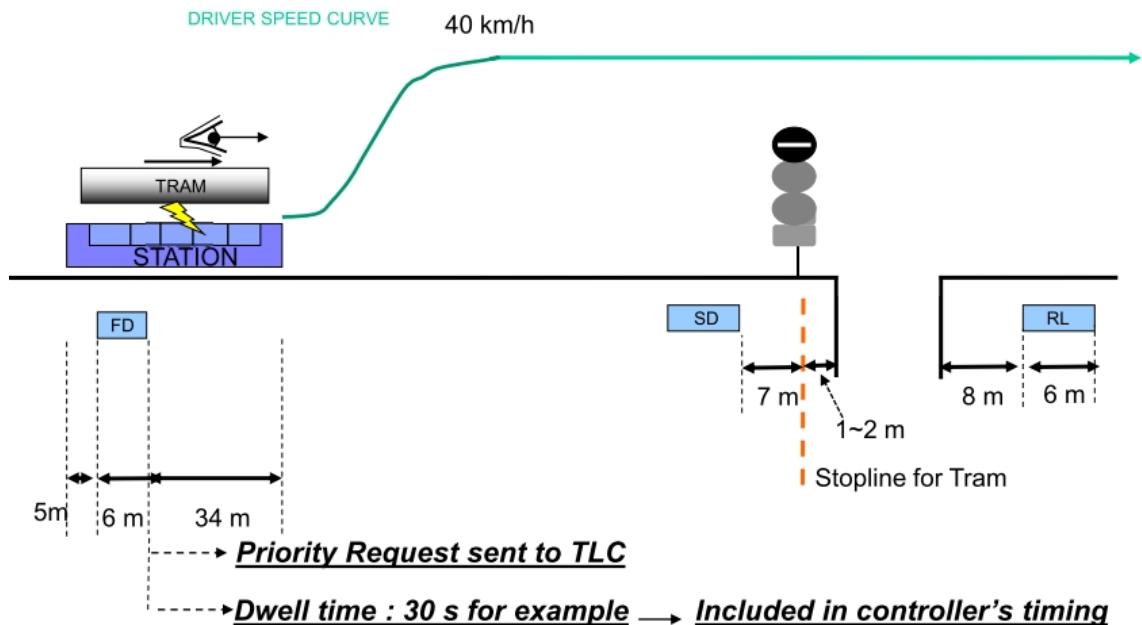


Kuva 48 Tyypillisen liittymän ilmaisinjärjestely (Alstom 2012b)

Raitiovaunun ajaessa 40 km/h kohti liittymää, tulee ensimmäisen ilmaisimen olla riittävän etäällä. Sen ollessa 400 metrin päässä, jää etuuden järjestämiseen aikaa noin 35 sekuntia. Ilmaisun tultua ja vaunun lähestyessä liittymää, alkaa lisäopastimen timantti-

kuvio vilkkua, jotta kuljettaja tietää etuuden olevan tulossa. Keskimatkan ilmaisimella varmistetaan raitiovaunun tulo ja siitä liittymän pysäytysviivalle jää aikaa noin 15 sekuntia. Kuittausilmaisimien on lähes välittömästi liittymän jälkeen.

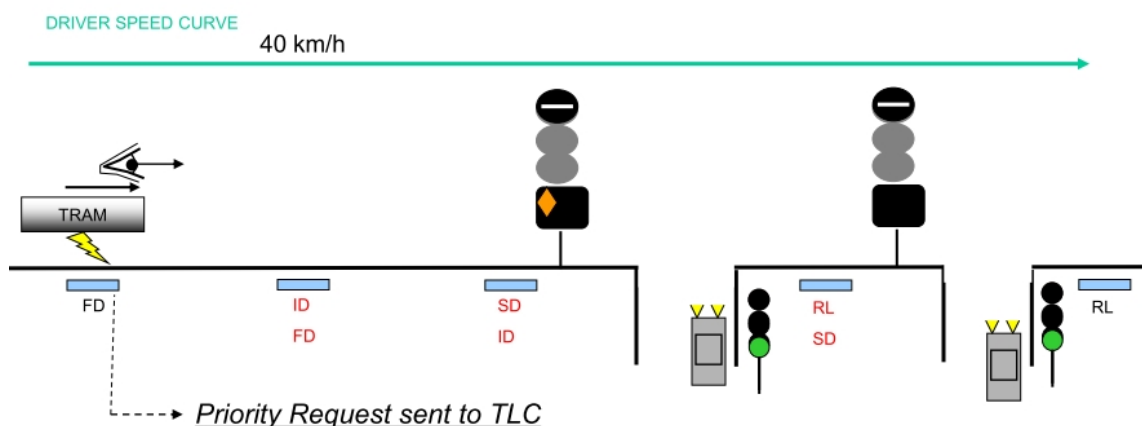
Jos pysäkki on tarpeeksi lähellä ennen liittymää, tarvitsee se ottaa huomioon liikennevaloissa. Kuvassa 49 on tällainen tilanne.



Kuva 49 Toiminta pysäkin ollessa lähellä liittymää (Alstom 2012b)

Raitiovaunun pysähtyessä pysäkillä se on antanut ilmaisun ja pyytänyt etuuden. Tämän jälkeen järjestelmä arvioi pysäkillä kuluvan ajan historiatietojen keskiarvon perusteella. Liikennevalokojie ottaa tuon arvioidun ajan huomioon ja antaa etuuden sopivasti, kun raitiovaunu sitä tarvitsee. Tämän funktion toteuttamiseksi on tärkeää, että ilmaisimien pysyy tunnistamaan raitiovaunu tulo lisäksi myös sen lähdön.

Toinen erikoistapaus on se, että kaksi liikennevalo-ohjattua liittymää on lähekkäin raitiovaunureitillä. Kyseinen tilanne on kuvassa 50.



Kuva 50 Toiminta liittymien ollessa lähellä toisiaan (Alstom 2012b)

Tässä tilanteessa jälkimmäinen risteys voi käyttää ensimmäisen liittymän ilmaisimien tietoa raitiovaunun tulosta. Esimerkiksi ensimmäisen liittymän ID-ilmaisimien toimii myöhemmän liittymän FD-ilmaisimena. Tällaisen järjestelyn tarkka toimiminen vaatii raitiovaunun hidastuksettoman kulun ensimmäisestä liittymästä, jotta saapumisaika toiseen on ennustettavissa.

Järjestelmään on määritettävä muutamia kriittisiä parametreja, jotta liikennevalojen toiminta ja raitiovaunun etuuden antaminen olisivat turvallisia ja sujuvia. Vihreän valon minimiaika on määritettävä niin raitiovaunulle kuin muullekin liikenteelle, jotta tiedetään, kuinka pian minimissään voidaan tietty valovaihe katkaista. Raitiovaunulle se on liittymän ylittämiseen kuuluva aika kohtuullisella vauhdilla. Muun liikenteen vihreän minimiaikaa voi määrittää jalankulkijoiden turvallisen suojatieylityksen kesto. Toinen vaihtoehto on autoliikenteelle määritettävä aika, joka muodostuu kuljettajien reagointiajasta ja ajasta kulkea liittymän läpi. (Alstom 2012b)

Myös vihreän maksimiajat on suunniteltava. Raitiovaunulle sitä tarvitaan käytännössä silloin, jos kuittausilmaisu jää tulematta. Muuten maksimiaika määritetään liikennetutkimuksen perusteella siten, että tuossa ajassa jokainen vaihe ehtii tyhjentyä. Kolmantena parametrina ovat vihreiden väliset ajat. Ne koostuvat tavallisesti keltaisen valon kestosta ja kaikkien valojen punaisena olemisen vaiheesta. Raitiovaunulle tuon väliajan minimiaika lasketaan pallovalon ajan ja kaikkien valojen punaisena olemisen keston summana. Käytännössä kuitenkin se määrittyy lyhyen matkan ilmaisimen ja kuittausilmaisimen välisenä kulkuaikana. (Alstom 2012b)

Muita määritettäviä parametreja ovat lähekkäin liittymään tulevien raitiovaunujen etuuksien käsittelyajat. On määritettävä aikaikkuna, jonka aikana liittymään toisena tuleva raitiovaunu saa etuuden. Tuo aikaikkuna alkaa ensimmäisen raitiovaunun saamasta etuudesta. Lisäksi määritetään etuuden kieltoaika, joka edellä mainitun aikaikkunan sulkeuduttua estää raitiovaunua saamasta etuutta. Tällä vältetään lähekkäin liittymään tulevia raitiovaunuja sotkemasta pitkäksi aikaa liittymän toimintaa. (Alstom 2012b)

3.3.3 Vaikutukset ja toimivuus

Reimsissa on käytössä moderni raitiotiejärjestelmä, joka toimii hyvin. Ranskan suuri rooli raitiotierenessanssin ilmentymänä on tarkoittanut sitä, että maassa on otettu paljon käyttöön uusia raitiotiejärjestelmiä. Tämä on johtanut ohjeistuksien päivittymiseen ja korostuneeseen huomioon raitioteiden turvallisuudesta ja sitä kautta sen suunnitteluun.

Reimsissa on myös ymmärretty raitiotien merkitys nopeana ja tehokkaana joukkoliikennevälineenä ja sille on siksi järjestetty mahdollisimman viiveetön kulku. Apuna tässä on käytetty niin fyysisiä etuuksia kuin liikennevaloetuuksiakin. Reimsin raitiotien rata on

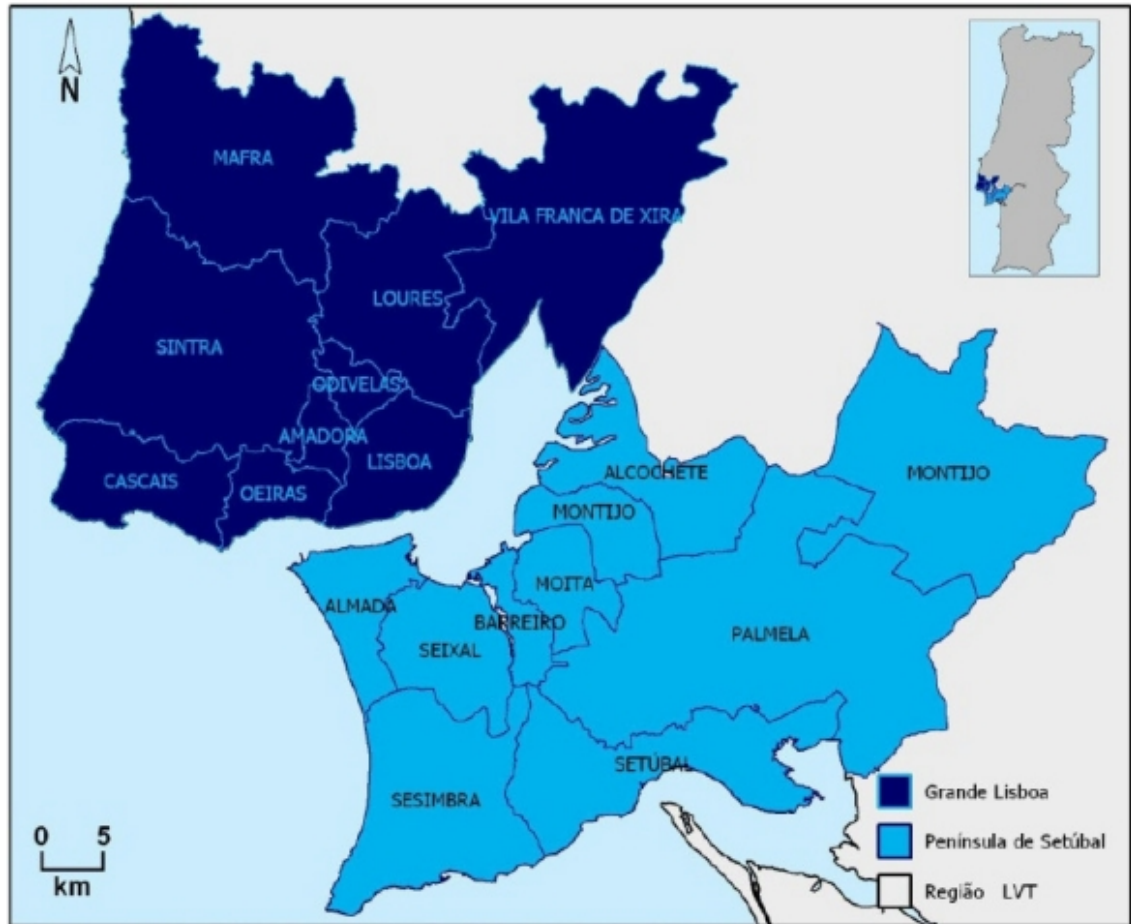
lähes kokonaan omalla väylällään ja se pääsee myös ohittamaan useita liittymiä. Tavallisiin liikennevaloliittymiin raitiovaunut pääsevät omalla väylällään ja niillä on käytössä liikennevaloetuedet. Kiertoliittymiäkin reitillä on, mistä raitiovaunut pääsevät ajamaan läpi viiveettä muun liikenteen väistäessä niitä liikennevalo-opastettuna.

Yksi hyvin toimiva lisä raitiotien valo-ohjauksessa on lisäopastin, joka antaa raitiovaunun kuljettajalle tietoa liikennevalon vaihtumisesta. Lisäopastimen ansiosta kuljettajalla on mahdollisuus lähestyä liittymää jopa kokonaan hiljentämättä, jos valo on vaihtumassa. Raitiovaunun tunnistamiseen käytettyjä ilmaisimia on useita ja ne ovat tekniikaltaan moderneja ja luotettavia. Kaikesta tästä johtuen, raitiotien liikennöinti on tehokasta ja täsmällistä.

3.4 Lissabon

Lissabon on Portugalin pääkaupunki ja sen suurin kaupunki. Se on pinta-alaltaan noin 85 neliökilometriä ja asukkaita tuolla alalla on hieman yli puoli miljoonaa. Lissabon on osa Lissabonin metropolialuetta. Kokonaisuudessaan tuo metropolialue sisältää 18 kuntaa ja lähes kolme miljoonaa asukasta noin 3000 neliökilometrin alueella.

Koko Portugalin pinta-alasta Lissabonin metropolialue on noin kolme prosenttia. Kuitenkin Portugalin noin 10 miljoonasta asukkaasta tällä suhteellisen pienellä alueella asuu siis lähes kolmannes. Metropolialueelle on keskittynyt 25 prosenttia Portugalin työvoimasta ja 33 prosenttia työpaikoista. Koko maan bruttokansantuotteesta Lissabonin metropolialue tuottaa yli 36 prosenttia. (EMTA 2009)

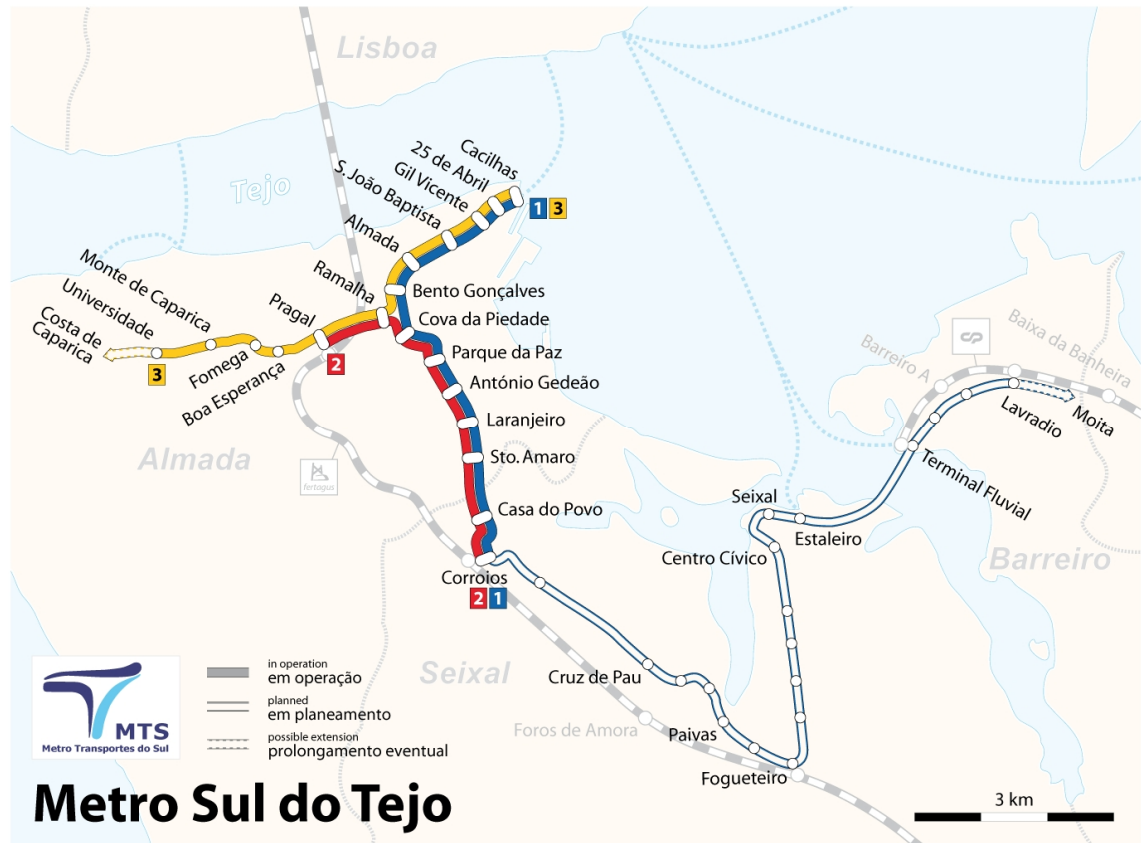


Kuva 51 Lissabonin metropolialue ja sen sijoittuminen Portugalin kartalla (Pina 2013)

Lissabonin kaupungissa joukkoliikenne on monipuolista. Kaupungista löytyy metro, joka avattiin vuonna 1959. Se liikennöi eteläisellä rannikolla sijaitsevasta keskustasta luoteeseen, pohjoiseen ja koilliseen. Metrolinjaston kokonaispituus on 45,5 kilometriä. Kaupungista löytyy myös jo vuodesta 1873 toiminut raitiotie. Nykyisellään raitiotieverkosto on pituudeltaan 48 kilometriä ja se liikennöi viidellä linjalla pääosin keskustasta lännen suuntaan sekä keskustan alueella rengaslinjana. Myös lähijunaliikennettä on olemassa. Neljä linjaa ajaa Cascaisiin, Sintraan, Azambujaan ja Setúbaliin.

3.4.1 Raitiotiejärjestelmä Metro Sul de Tejo

Metro Sul do Tejo (MST) on Lissabonin kaupungista katsottuna eteläpuolisen Tejo-joen toisella puolella kulkeva raitiotiejärjestelmä. Raitiotie kulkee Lissabonin metropolialueeseen kuuluvien Almadán ja Seixalin kuntien alueella. Se yhdistää muun muassa Cacilhasin lauttalaiturin, mistä on yhteys Lissabonin keskustaan, Caparican yliopiston ja Corroiosin asuinalueen. Almadassa on asukkaita yli 170 000 ja Seixalin alueella yli 150 000.



Kuva 52 MST raitiotielinjasto (P3T3 Wiki 2013)

Tejo-joki muodosti luonnollisen esteen Almadan ja Lissabonin kaupunkien välillä. Vuonna 1944 10 000 matkustajaa ylitti joen päivittäin ja vuoteen 1954 tuo luku kaksinkertaistui. Pitkään puhuttu silta saatiin lopulta avattua Tejo-joen yli vuonna 1966. Se vaikutti joen eteläpuoleisen rannan kehittymiseen. Huokea asuminen joen eteläpuolella houkutteli ihmisiä ja aiheutti henkilöautoliikenteen suuren kasvun. Tästä seurasi myös tarve kehittää alueen joukkoliikennettä. Alun perin Lissaboniin pääsi lautalla ja bussilla siltaa pitkin. Vuonna 1999 sillalle avattiin alempi kansi rautatien käyttöön. Lähijunaliiikenteen aloittaminen eteläiseltä rannalta Lissabonin kaupunkiin vauhditti raitiotien kehittämistä alueella.

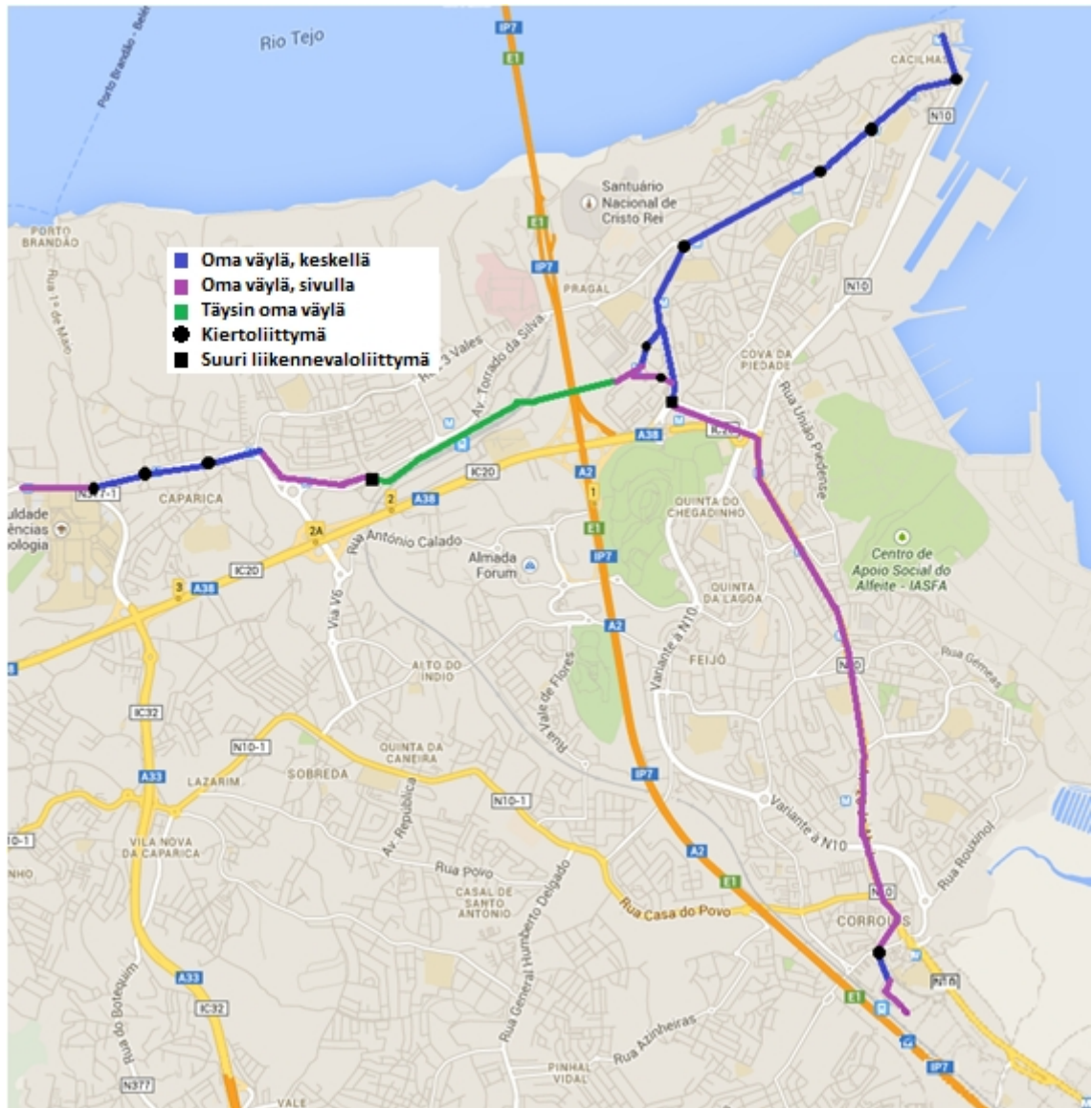
Alkujaan jo 1980-luvulla keskusteluissa olleen raitiotien rakentaminen aloitettiin lopulta vuonna 2006. Raitiotiejärjestelmän tarkoituksena oli kaupunkitilan kehittäminen ja uudelleen järjestäminen sekä ympäristön laadun parantaminen. Lisäksi sen tavoitteena oli parantaa koko eteläisen rannan julkista liikennettä ja sen yhteyksiä Lissaboniin luomalla tehokkaampi, kapasiteetiltaan suurempi ja laadukkaampi järjestelmä. Metro Sul do Tejo valmistui kolmessa osassa. Ensimmäinen osa eli eteläinen haara valmistui huhtikuussa 2007, läntinen haara saman vuoden joulukuussa ja koko järjestelmä oli valmis vuoden 2008 marraskuussa.

Järjestelmä koostuu kolmesta linjasta, jotka muodostavat yhdistyessään kolmion. Tuo kolmio mahdollistaa raitiovaunujen liikkumisen jokaisesta tulosuunnasta jokaiseen me-

nosuuntaan. Linjojen pituudet kolmiolta ovat itään 2,6 kilometriä, länteen 4 kilometriä ja etelään 4,4 kilometriä. Varikko sijaitsee Corroiosista 1,7 kilometrin päässä etelän suuntaan. Yhteensä raitiotiellä on pituutta 13,5 kilometriä. Kuvassa 52 näkyvät linjat yksi, kaksi ja kolme sekä suunniteltu reitin pidennys etelässä.

Reitin varrella on 19 pysäkkiä, joiden pituus on 45 metriä. Lähes kaikki pysäkeistä ovat sivulaiturillisia, sillä keskilaiturillisia pysäkkejä on ainoastaan kaksi. Pysäkkien keskimääräinen etäisyys on noin 500 metriä. Maksiminopeus radalla on 70 kilometriä tunnissa ja keskinopeus reitillä noin 22 kilometriä tunnissa. Kalusto koostuu 24:stä Siemensin Combino -vaunusta. Ne ovat 33 metriä pitkiä ja 2,65 metriä leveitä. Vaunuissa on 74 istumapaikkaa ja kaikkiaan matkustajia mahtuu seisomapaikkojen mitoituksesta riippuen jopa 300. Raitiovaunut liikennöivät aamulla kello viidestä yöllä kello kahteen saakka. Ruuhka-aikana talviaikataulun mukaan linja numero yksi kulkee viiden minuutin vuorovälillä. Muuten tihein vuoroväli on pääsääntöisesti kymmenen minuuttia.

Metro Sul do Tejon rata on korkealuokkainen ja se kulkee omalla väylällään koko matkalla. Pääosin rata kulkee pääkatutyypin kadun keskellä tai sivulla. Kiertoliittymiä reitin varrella on useita, joista raitiotie läpäisee kymmenen. Suurimmat reitin varrella olevat liittymät ovatkin valtaosin kiertoliittymiä ja suuria liikennevaloliittymiä on vain muutama. MST:n väylätyypit sekä reitin varrella olevat kiertoliittymät ja isoimmat liikennevaloliittymät on esitetty kuvassa 53.



Kuva 53 MST ja sen väylätyypit (mukaillen kohteesta Google Maps 2014)

Enemmistö liikennevaloliittymistä on yksinkertaisia raiteita risteäviä katuja. Tällöin tuo risteävä liikenne on helppo katkaista raitiovaunun tullessa toisin kuin monimutkaisemmissa liittymissä. Raitiotien kulkiessa kadun sivulla on pystytty sivuuttamaan kokonaan isoja liittymiä. Täysin omaa väylää raitiotielle on rakennettu valtatie E1:en ylittävälle osuudelle Pragalin juna-asemalle asti.

3.4.2 Raitiotien liikennevalo-ohjaus

3.4.2.1 Yleistä

Metro Sul do Tejossa on käytössä pääsääntöisesti kaksiaukkoiset yksinkertaiset opastimet. Niillä näytetään vaakaviivalla kieltomerkki ja pystyviivalla ajolupa suoraan tai vinolla viivalla ajolupa vasemmalle tai oikealle viistoon. Valon vaihtumisesta ei erikseen kerrota kolmannella merkillä. Opastimet perustuvat saksalaiseen BOStrab-ohjeistukseen. Kyseinen opastin on näkyvissä kuvassa 54.



Kuva 54 MST:n liikennevalo-opastin (Toscana 2009)

Kiertoliittymien valo-ohjaus on järjestetty osin eri tavalla kuin Reimsissa tai Helsingissä. Muuta liikennettä opastetaan raiteiden ylityksessä kolmiaukkoisella opastimella, jossa ei ole vihreää ollenkaan. Punaisen lisäksi opastimessa on kaksi keltaista, jotka vilkkuvat kun punainen valo ei ole päällä varoittamassa raiteiden ylityksestä.

Lisäksi Ranskan ohjeistuksista poiketen, Metro Sul do Tejon reitillä on muutamien kiertoliittymien läheisyydessä valo-ohjattuja suojateitä. Niiden vuoksi muu liikenne on opastettava pysähtymään raiteiden lisäksi ennen valo-ohjattua suojatietä. Tähän tarkoitukseen käytetään tavallista kolmiaukkoista opastinta. Avenida Dom Nuno Álvares Peireiran varrella on nelihaarainen kiertoliittymä, jonka jokaisella haaralla on valo-ohjattu suojatie ja sen keskeltä kulkee raitiotie. Kuvassa 55 on esitetty kiertoliittymä ja opastinten sijainnit.



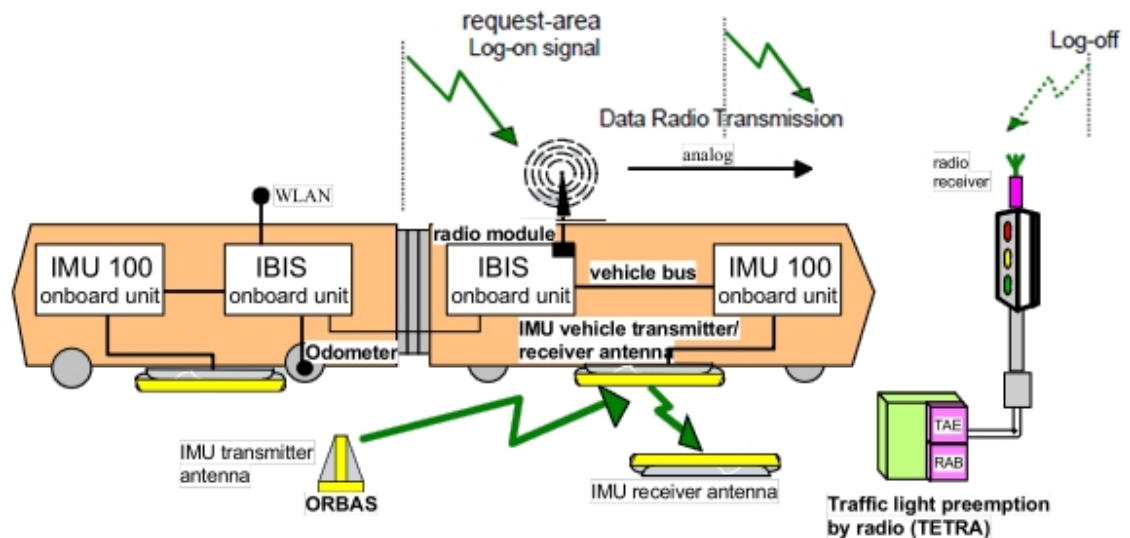
Kuva 55 MST:n reitillä oleva kiertoliittymä ja sen valo-ohjaus (mukailtu lähteestä Futuralmada 2007)

Kuvassa on näytetty vain kiertoliittymää käyttävien ajoneuvojen kolmiaukkoiset opas-timet. Jos suojatien valo palaa vihreänä, sen suunnalta tuleva liikenne katkaistaan. Samoin kierto-tilasta tuleva ajoneuvo pysäytetään ennen suojatietä, jos sen valo on vihreä-nä. Raitiovaunun ajaessa kiertoliittymän läpi raiteet ylittävä liikenne katkaistaan. Tä-mänkaltainen järjestely vaikuttaa melko sekavalta. Ottaen huomioon, että yhden kierto-liittymää käyttävän ajoneuvon on mahdollisesti havaittava kolmet eri liikennevalot liit-tymän läpiajon aikana. Tämän lisäksi on vielä väistettävä jo kierto-tilassa olevia ajoneu-voja tavalliseen tapaan.

3.4.2.2 Liikennevaloetuudet

Mahdollisimman sujuvan, tehokkaan ja nopean raitiovaunun liikennöinnin saamiseksi, Metro Sul do Tejossa on käytössä liikennevaloetuudet, joilla raitiovaunu priorisoidaan risteyksissä. Jos risteyksessä ei ole liikennevaloja, on raitiovaunun etuus osoitettava liikennemerkein. Liikennevaloissa raitiovaunu saa oman ohjelman, joka muokkaa lii-kennevalojen toimintaa raitiovaunun antaessa ilmaisun. Tuon ilmaisun jälkeen tietyn ajan kuluttua valojen vaihe vaihtuu ja kaikki raitiovaunun kanssa risteävä liikenne saa punaisen valon. Raitiovaunun poistuttua valot palautuvat normaalitilaan. (Siemens 2003)

Raitiovaunu keskustelelee liikennevalokojeen kanssa radioyhteydellä. Kuvassa 56 on ha-vainnollistettu valoetuuden toimintaa.



Kuva 56 Liikennevaloetuuden toimintaperiaate (Mukaiillen lähteestä Siemens 2003)

Integrated on Board Information System (IBIS) on systeemi, joka pitää sisällään tiedon jokaisesta raitiovaunusta, kuten sen reitin, määränpään ja linjanumeron. Kun raitiovaunu tulee tiettyyn pisteeseen lähestyessään risteystä, se lähettää radanvarsilaitteeseen tiedon. Siitä tieto siirtyy liikennevalokojeseen, joka aloittaa etuuden. IBIS-systeemi huolehtii vaunun sijaintitiedosta, jonka se saa käyttämällä ödometrilta saamaansa tietoa ja linjan varrella olevia antureita. Anturit ovat IMU 100 -systeemin induktiivisia antureita, jotka keskustelevat raitiovaunussa olevan vastakappaleen kanssa. IBIS tarkoittaa myös sijainnin pysäkillä oven avauksesta. Liittymän jälkeen kuittausilmaisu hoidetaan samalla tavoin kuin etuuspyyntökin. Jos kuittaus jostain syystä jää tulematta, järjestelmässä on määriteltä maksimiaika etuudelle. (Siemens 2003)

Liikennevaloetuuden mahdollistaminen vaatii taustalleen tietojärjestelmän. Tässä tapauksessa alkukohtana on Metro Sul do Tejon operointia valvova Operation Control Center (OCC), joka sijaitsee varikolla. Se sisältää valvontahuoneen, The Central Control Room (PCC), jossa valvotaan raitiovaunujen kulkua. Järjestelmä on Siemensin rakentama ja liikennettä seurataan Siemensin VICOS LIO 500 -järjestelmällä. Tämä järjestelmä hyödyntää IBIS-systeemin tarjoamia raitiovaunujen paikkatietoja. Sen kautta tarjotaan myös matkustajainformaatio esimerkiksi pysäkinäyttöille.

3.4.3 Vaikutukset ja toimivuus

Metro Sul do Tejo on moderni raitiotiejärjestelmä, joka on suunniteltu tehokkaasti toimivaksi. Se kulkee koko ajan omalla väylällään estäen sen juuttumisen ruuhkiin kokonaan. Lisäksi MST kulkee Almadan ja Seixalin kaupunkien alueella, joten kaupunkiympäristö ei ole niin vaativaa kuin suuremmissa ja ruuhkaisemmissa kaupungeissa olisi.

Liikennevalojen kannalta Metro Sul do Tejon reitti on hyvä, sillä se ei joudu kulkemaan suurten ja ruuhkaisten liittymien läpi kuin muutamassa kohdassa. Lisäksi se pääsee ohittamaan joitakin isoja liittymiä. Reitin varrella on myös useita kiertoliittymiä, joiden toiminta liikennevalojen näkökulmasta on yksinkertainen. Tosin muutamassa tapauksessa suojaiteiden liikennevalo-ohjaus on tehnyt kiertoliittymistä monimutkaisempia.

3.5 Edinburgh

Edinburgh on Isoon-Britanniaan kuuluvan Skotlannin pääkaupunki. Siellä on asukkaita noin puoli miljoonaa ja se on heti Glasgow'n jälkeen Skotlannin toiseksi väkirikkain kaupunki. Edinburgh sijaitsee itärannikolla Forthin vuonon etelärannalla. Pinta-alaa kaupungilla on 264 neliökilometriä.



Kuva 57 Edinburghin sijoittuminen Isossa-Britanniassa (Cornell Brown Penn 2014)

Edinburgh on historiallinen kaupunki, jonka asema Skotlannin pääkaupunkina on lähtöisin jo 1400-luvulta. Kaupungista löytyy muun muassa Skotlannin kansallismuseo ja kansalliskirjasto sekä yli 400 vuotta vanha yliopisto. Taloudellisesti Edinburgh on vakavarainen ja sen talous on Lontoon jälkeen Ison-Britannian vahvin. Edinburgh on myös Skotlannin suosituin turistikohde.

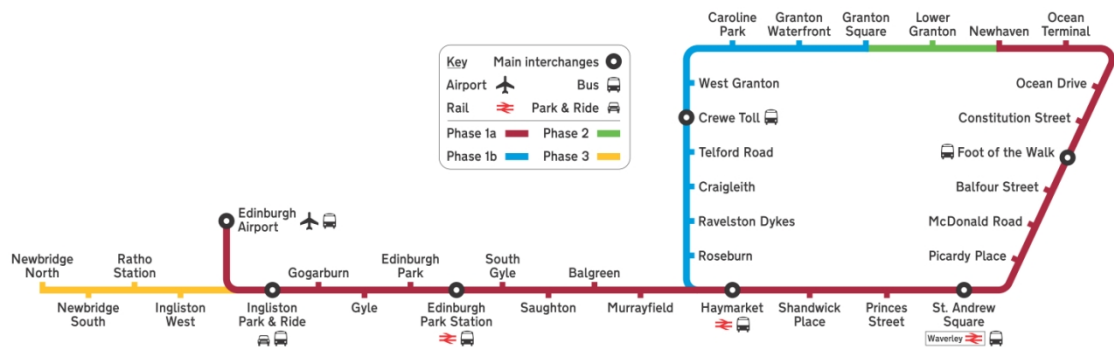
3.5.1 Raitiotiejärjestelmä

Edinburghissa on ollut raitiotie jo 1800-luvulta. Kaikki alkoi vuonna 1871 hevosvetoisella raitiovaunulla. Vuonna 1888 otettiin käyttöön ensimmäinen kaapelivetoisen vaunu. Sähkökäyttöiset raitiovaunut poistivat tullessaan kaapelivetoiset vaunut 1920-luvulla. Raitiovaunujen liikennöinti jatkui vuoteen 1956 saakka, kunnes siirryttiin kokonaan busseilla järjestettyyn joukkoliikenteeseen. Vuosisadan loppuun mennessä aja-

tuksia raitiotieliikenteen uudelleen käynnistämiseksi heräsi, kun muut Ison-Britannian kaupungit kuten Manchester ja Birmingham esittelivät raitiotiesuunnitelmia.

Vuonna 2001 saatiin valmiiksi toteutettavuustutkimus raitiotiestä, mikä suositteli kolmea linjaa. Linja numero yksi oli rengaslinja kaupungin pohjoisten lähiöiden ympärille ja sen lisäksi säteittäislinjat keskustasta länteen ja etelään. Näiden linjojen tutkimiseen ja suunnitteluun saatiin lisärahoitusta. Vuonna 2003 Skotlannin ministeriöstä ilmoitettiin 375 miljoonan punnan rahoituksesta raitiotielle, jos hankkeelle saataisiin parlamentaarinen hyväksyntä ja lisätutkimukset todistaisivat hankkeen olevan kannattava. (Trams for Edinburgh 2006)

Kaupunginvaltuusto priorisoi linjat yksi sekä kaksi ja asetti eteläisen linjan numero kolme osaksi suunnitellun ruuhkamaksun rahoituspakettia. Kun vuonna 2005 ruuhkamaksu kaadettiin julkisella kansanäänestyksellä, keskeytettiin linjan numero kolme suunnittelu. (Trams for Edinburgh 2006) Näin eteenpäin vietäväksi jäi jäljelle rengaslinja ja länteen suuntautuva linja. Kuvassa 58 on tuon hetken suunniteltu linjakartta.



Kuva 58 Edinburghin suunniteltu raitiotien reittikartta (Trams for Edinburgh 2006)

Tarkennetut suunnitelmat reiteistä, pysäkeistä ja muista yksityiskohdista linjojen yksi ja kaksi osalta vietiin parlamentin käsiteltäväksi vuonna 2004. Kaksi vuotta myöhemmin suunnitelmat hyväksyttiin. Kuten kuvassa 58 on osoitettu eri värein, reitti jaettiin neljään osaan, jotta se voitaisiin toteuttaa vaiheittain. Hanke koki vielä poliittista vastustusta, mutta siitä huolimatta lopullinen lupa projektille annettiin vuoden 2007 lopulla. Hankkeen toteuttajien sopimusneuvotteluiden jälkeen rakennustyöt päästiin aloittamaan vuonna 2008 noin 500 miljoonan punnan budjetilla.

Vuonna 2009 taloustaantuma iski kuitenkin kesken rakennustöiden ja poliitikot peruuttivat vaiheen 1b toistaiseksi. Hanke koki muitakin vastoinkäymisiä. Toteuttajaosapuolet riitaantuivat ja hakivat toisiltaan korvauksia oikeusteitse. Raiteiden rakentaminen viivästyi ja oli välillä kokonaan keskeytetty. Vuoden 2010 kesään mennessä arvioitu loppusumma oli noussut jo 600 miljoonaan puntaan. Kriisipalavereiden jälkeen päätettiin vuoden 2011 toukokuussa, että siihen mennessä projektijohdossa ollut osapuoli väistyy ja projektin saattaisi loppuun eri taho. Saman vuoden kesäkuussa tehtiin myös päätös

supistaa reittiä entisestään. Nyt myös 1a vaihetta supistettaisiin siten, että se kulkee vain lentokentältä St. Andrew squarelle saakka. Samaan aikaan arvioidut kulut olivat nousseet yli 700 miljoonaan puntaan. Loppuvuodesta 2011 itäinen terminaalit päätettiin rakentaa hieman eteenpäin York Placelle. Lopullinen toteutettava reitti on kuvassa 59.



Kuva 59 Edinburghin raitiotien reittikartta (Edinburgh Trams 2014)

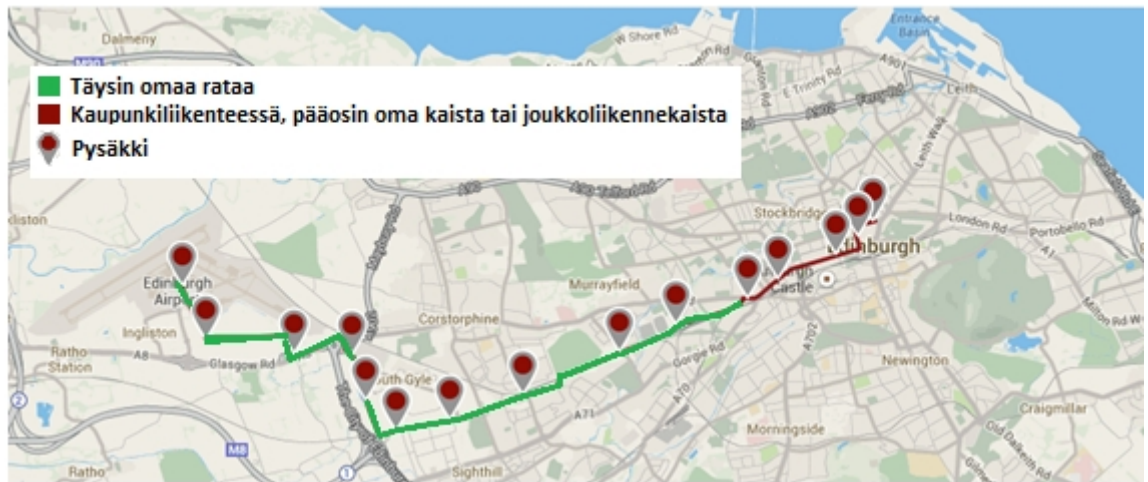
Varikon osuus lentokentälle asti saatiin lopulta valmiiksi vuoden 2012 lopulla ja ensimmäisiä testiajoja päästiin suorittamaan tälle osuudelle. Tämän jälkeen projekti pysyi suunnitellun aikataulussa ja koko linjan testiajot päästiin aloittamaan vuoden 2013 joulukuussa. Projektin loppusumma kohosi lopulta 776 miljoonaan puntaan. Itse liikennöinti alkoi 31.5.2014.

Lopullisella toteutettavalla reitillä on 15 pysäkkiä. Pysäkkiväli on keskimäärin hieman yli kilometrin radan läntisellä osalla. Reitillä itäpäässä kaupungin keskustassa pysäkkejä on hieman tiheämmin. Raitiovaunut liikennöivät aamuviidestä puoleenyöhön kahdeksan ja kymmenen minuutin vuorovälein. Sunnuntaisin vuoroväli on 12–15 minuuttia. Koko reitin matka-aika on noin 40 minuuttia. Reitillä pituus on noin 14 kilometriä, joten keskinopeudeksi koko matkalle tulee 21 kilometriä tunnissa. Käytössä olevat raitiovaunut ovat espanjalaisen CAF:n valmistamia molempiin suuntiin ajettavia vaunuja. Ne ovat pituudeltaan 42,5 metriä ja matkustajia niihin mahtuu 80 istumaan ja 250 seisomaan.

3.5.2 Raitiotien liikennevalo-ohjaus

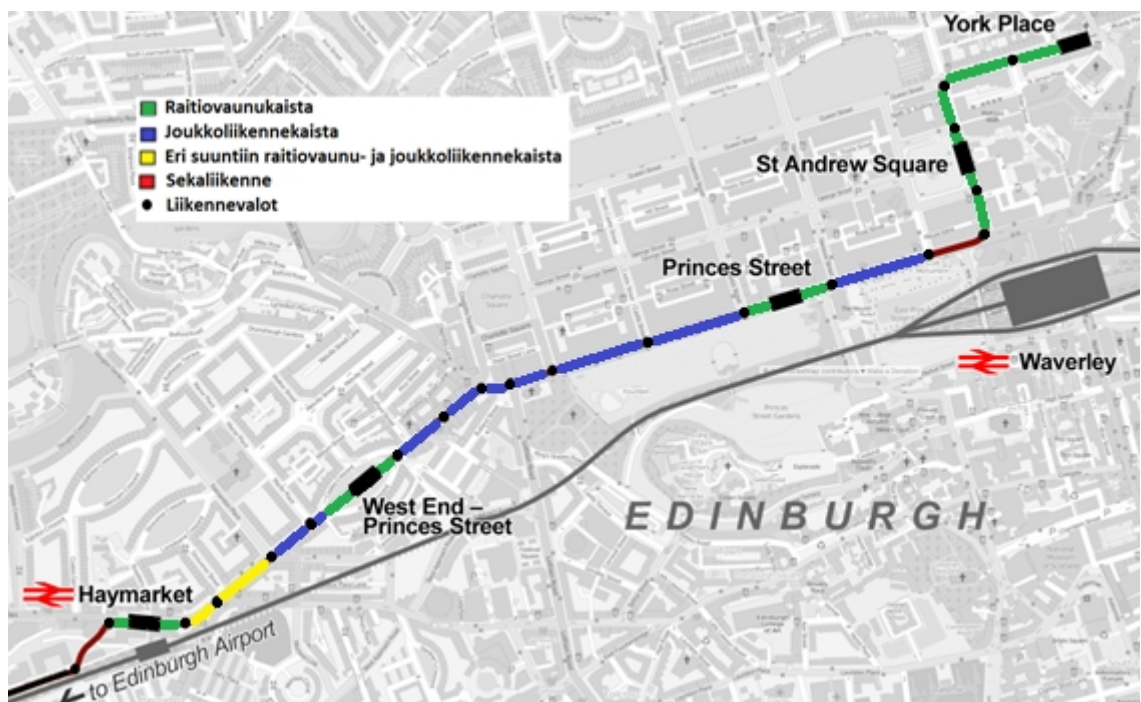
3.5.2.1 Yleistä

Edinburghin raitiotien reitti on hyvin kaksijakoinen, sillä siinä on iso osa täysin eristettyä rataa ja itäpäässä se kulkee kaupunkiliikenteen seassa. Reitti lähtee lännestä päin Edinburghin lentokentältä ja kulkee omalla eristetyllä radallaan noin 11 kilometriä. Vain reitin itäinen pää on keskustassa muun kaupunkiliikenteen kanssa samassa tilassa, tosin silloinkin pääosin omalla väylällään tai joukkoliikennekaistalla. Pituutta tuolla osalla on alle kolme kilometriä. Edinburghissa on toteutettu sellainen joukkoliikennekaista, jossa saavat ajaa raitiovaunujen lisäksi bussit ja taksit. Kuvassa 60 on Edinburghin raitiotien reitti kartalla sekä pysäkkien sijainnit.



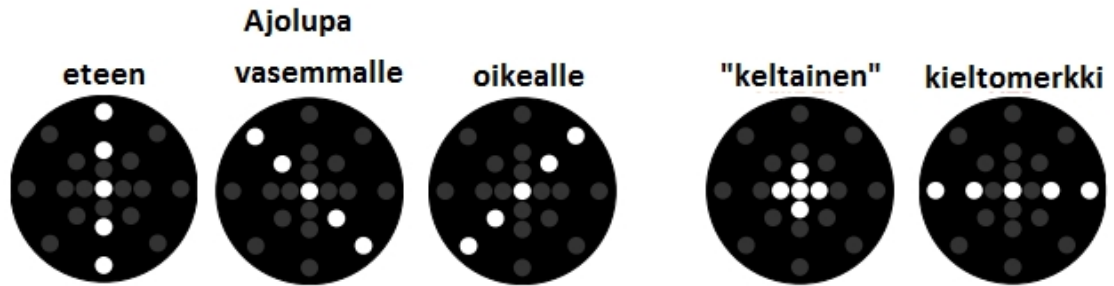
Kuva 60 Edinburghin raitiotien reitti ja pysäkit (Edinburgh trams 2014b)

Matkalla lentokentältä keskustaan raitiotie ylittää muutamia katuja, joista osa on valo-ohjattuja. Reitin haasteellisin osa liikennevalojen osalta on itäisen pään muun liikenteen kanssa kulkeva osa. Siellä raitiovaunu joutuu kulkemaan ruuhkaisten keskustaliittymien läpi. Kuvassa 61 on kartta raitiotien kaupunkiliikenteessä kulkevasta osasta. Kartassa on eritelty väylätyypit ja merkitty liikennevaloliittymät.



Kuva 61 Edinburghin raitiotien itäinen pää (mukaillen lähteestä Wikipedia 2014c)

Raitiovaunun opastimena käytetään Edinburghissa yksiaukkoista opastinta, jolla näytetään kaikki signaalit. Kuvassa 62 on näytetty opastimen tyyppi ja erilaiset näytettävät signaalit.



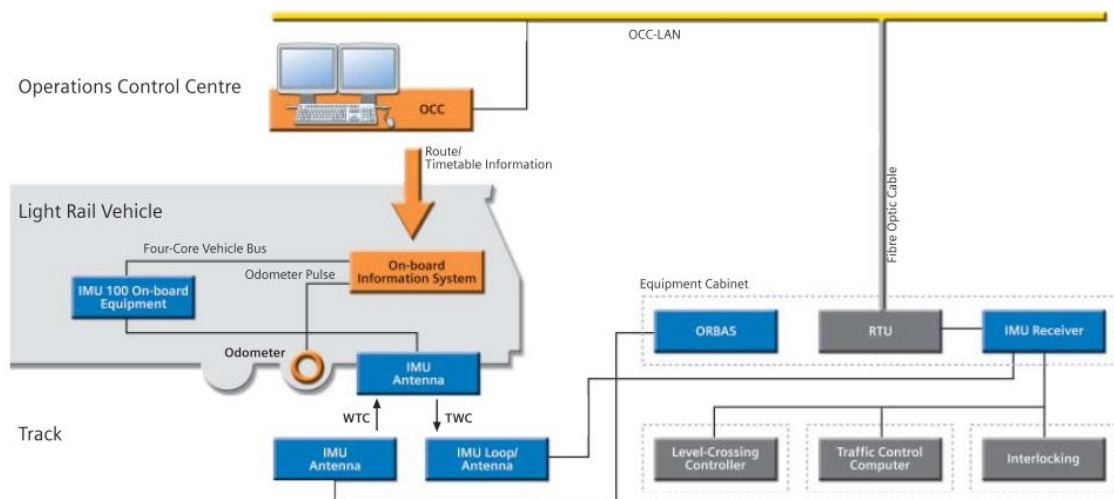
Kuva 62 Yksiaukkoisen opastimen signaalit (Siemens 2009)

Signaalien näyttämisyjärjestys on seuraava: kieltomerkki – ajolupa – pallovalo - kieltomerkki. Opastin voi sijaita omassa tolpassaan tai se voi olla muuta samansuuntaista liikennettä ohjaavan tavallisen kolmiaukkoisen opastimen yhteydessä.

Opastimen yläpuolella on käytössä kaksi lediä, jotka ilmoittavat raitiovaunun kuljettajalle onko raitiovaunu havaittu. Tämä on tärkeää, sillä Edinburghin järjestelmässä periaatteena on, että ajolupa tulee vain raitiovaunun havaitsemisen jälkeen, ei siis automaattisesti muun liikenteen vaiheiden mukana. Jos siis raitiovaunulla ei ole ajolupaa eivätkä ledit ilmoita ilmaisun saapumisesta, raitiovaunu ei ole saamassa ajolupaa muuten kuin manuaalisesti ohjauskeskuksesta annettuna.

3.5.2.2 Ilmaisimet ja liikennevaloetus

Kuten Lissabonin Metro Sul do Tejossa, Edinburghinkin raitiotiejärjestelmän toteutuksessa on ollut Siemens mukana. Tästä syystä käytetty teknologia on vastaavanlaista. Kulunvalvonta ja informaation välittyminen radan ja raitiovaunun välillä perustuu samaan IMU 100 -systemiin. Systemin peruskaavio on esitetty kuvassa 63.

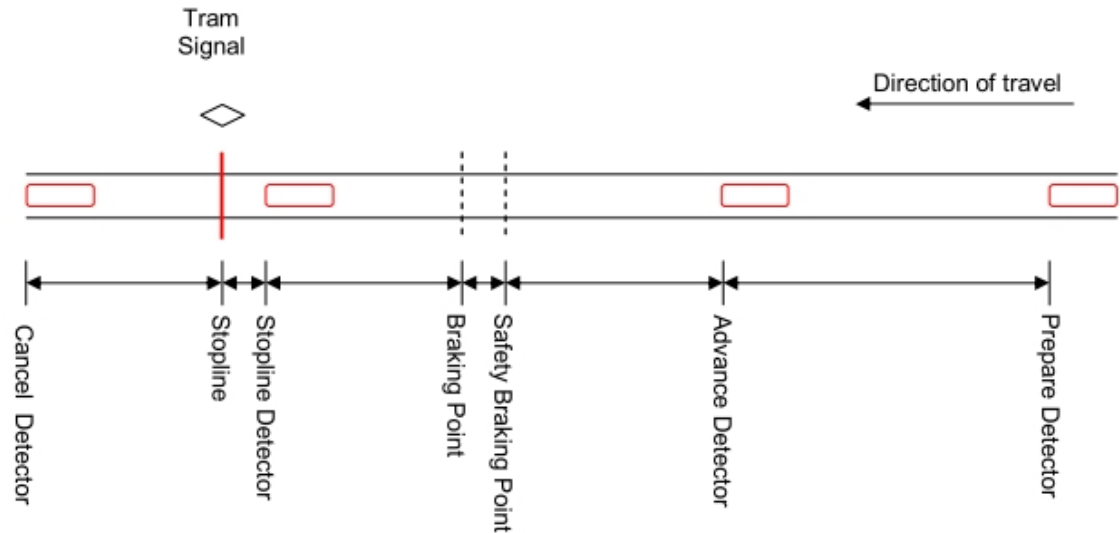


Kuva 63 IMU 100 -systemin kaavio (Siemens 2010)

Ilmaisimina toimivat IMU antennit, jotka pystyvät välittämään tietoa molempiin suuntiin radan ja raitiovaunun välillä. Systemi mahdollistaa raitiovaunujen seuraamisen, liikennevaloetuksien järjestämisen ja vaihteiden kontrolloinnin. IMU 100 -systemi toimii korkeissakin nopeuksissa luotettavasti. Toisin kuin Reimsissa, Edinburghin jär-

jestelmä ei pysty erottamaan, onko raitiovaunu vielä ilmaisimen päällä vai onko vaunu jo ohittanut sen. Tämä johtuu siitä, etteivät raitiovaunut sisällä tähän tarvittavia antennia.

Edinburghin raitiotiellä käytetään liittymissä neljää eri ilmaisinta. Kulkusuunnassa ensimmäisenä on valmistava ilmaisim, toisena on etenemisilmaisim, kolmantena pysäytysviivailmaisim ja viimeisenä kuittausilmaisim. Kuvassa 64 on tyypillinen ilmaisimien asennuskaavio.



Kuva 64 Ilmaisimien asennuskaavio (Parsons Brinckerhoff Ltd 2011)

Valmistavan ilmaisimen tarkoituksena on valmistaa liikennevalojen ohjauskoje vastaanottamaan raitiovaunu. Tämä tapahtuu siten, että ohjauskoje siirtää valojen vaihejärjestystä niin, että se on valmis käsittelemään raitiovaunun tulon myöhemmin. Valmistavan ilmaisimen paikka on liikennevalojen minimikiertoaikaan vastaavan matkan päässä etenemisilmaisimesta. Näin ollen, ennen kuin raitiovaunu saapuu etenemisilmaisimelle, ohjauskojeen on mahdollista tarvittaessa pyörittää läpi koko valokierto.

Etenemisilmaisimen tarkoituksena on varmistaa valmistavan ilmaisimen antama ilmaisu raitiovaunun tulosta. Tuolloin ohjauskoje siirtyy raitiovaunuvaiheeseen, joka alkaa raitiovaunun tuloa edeltävällä välivaiheella. Etenemisilmaisimen paikka on raitiovaunuvaiheen kesto vastavaan matkan päässä pysäytysviivalta. (Parsons Brinckerhoff Ltd 2011)

Pysäytysviivailmaisim on neljä metriä ennen pysäytysviivaa. Sen kohdalla raitiovaunun liikennevalo voi vaihtua jo kieltoimerkille. Jos valovaiheen haluttua kesto ei vielä ole saavutettu, voi raitiovaunun ja rinnakkaisen liikenteen valo vielä jäädä vihreäksi. Jos etuuspyyntöä ei ole raitiovaunun saavuttaessa pysäytysviivailmaisimen vielä saatu, pysyy se vielä aktivoitumaan tässä kohtaa.

Kuittaussilmäilmaisimen tehtävänä on päättää raitiovaunuvaihe ja ohjauskoje voi siirtyä seuraavaan valovaiheeseen. Välivaiheessa ennen uutta vaihetta kaikki valot ovat punaisella kunnes kuittaussilmäilmaisimien aktivoituu tai ennalta määritetty maksimiaika on saavutettu. Kuittaussilmäilmaisimien sijaitsee noin 20 metriä viimeisen konfliktipisteen jälkeen. Tämä etäisyys vastaa noin puolta raitiovaunun pituudesta. (Parsons Brinckerhoff Ltd 2011)

Jos raitiovaunun reitti on jostain syystä tukittu, esimerkiksi risteyksessä olevien muiden ajoneuvojen toimesta, saattaa maksimiaika täytyä ja raitiovaunu menettää ajolupansa ennen kuin se on päässyt etenemään liittymässä. Koska pysäytysviivailmaisimien ei pysty kertomaan onko vaunu vielä sen päällä vai ei, joutuu raitiovaunu tilanteeseen, jossa sillä ei ole ajolupaa eikä ilmaisimien enää tunnista sitä. Tällöin raitiovaunun kuljettajan on tilattava ajolupa erikseen ohjauskeskuksesta radioyhteydellä.

3.5.2.3 STM

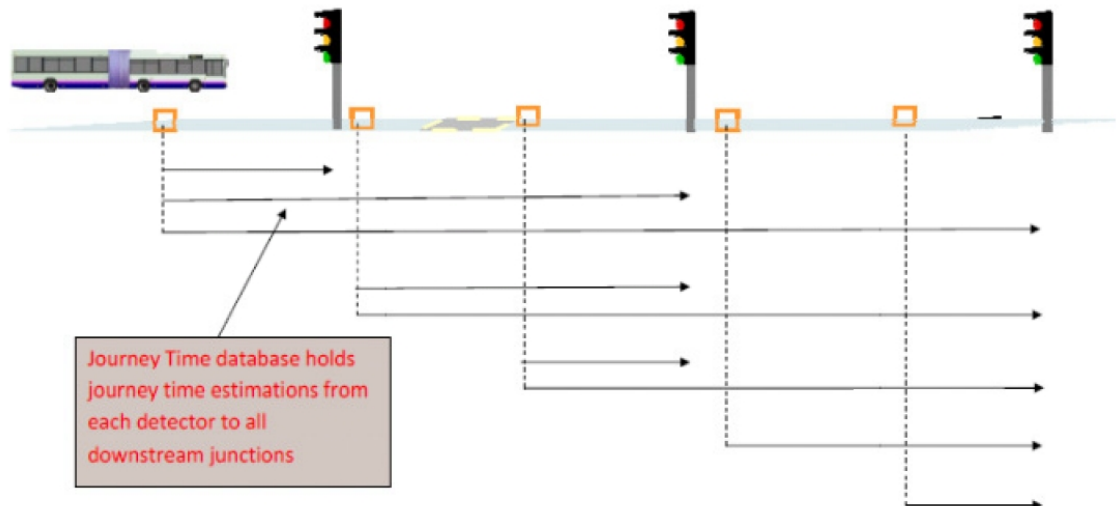
STM eli Strategic Traffic Management on Edinburghissa käytössä oleva raitiovaunujen liikennevaloetuuden ohjaustapa. Se toimii ikään kuin tavallisen liikennevaloetusjärjestelmän päällä lisäosana, joka pyrkii parantamaan etuuden tarkkuutta.

Se on saanut alkunsa Englannista Leedsistä. Tämä alun perin etuustyökaluksi kehitetty systeemi tunnettiin ennen kirjainyhdistelmänä SPRUCE (Selective PRogramming in a UtmC Environment). Tämän lisäksi se on käytössä myös Leedsissä, Sheffieldissä, Calderdalessa ja Bradfordissa.

STM pystyy ohittamaan normaalit valosuunnitelmat synkronoiduilla suunnitelmilla, kuten etuuden tai kompensaaion antamiseksi. Se kykenee antamaan nollaviive- tai lähes nollaviive-etuuden sopivissa olosuhteissa. Samalla STM pyrkii välttämään aggressiivisia muutoksia valojen ajastukseen ja lieventämään etuuden aiheuttamia haittoja.

STM on käytössä Edinburghin keskustassa 21 liittymässä raitiotien reitillä. Keskustan ulkopuolella käytössä on perinteisempi paikallinen etuus. Periaatteena systeemille on minimoida raitiovaunun viiveet aiheuttaen samalla mahdollisimman vähän häiriötä muulle liikenteelle. Tähän pyritään ennustamalla raitiovaunun tuloaika jokaiseen liittymään. Ennustetun tuloajan perusteella STM pystyy mukauttamaan valojen ajoitusta raitiovaunulle sopivaksi ennen sen tuloa liittymään. Liikennevalojen verkosto on jaettu pienemmiksi alaverkostoiksi, jotka ovat tyypillisesti jaettu pysäkkiväleittäin. Lisäksi STM valvoo toteutuneita valokiertoja ja laskee, kuinka muuta liikennettä tulee kompensoida häiriön minimoimiseksi.

Raitiovaunun kulkuajan ennustaminen perustuu ilmaisimilta saatuun kulkutietoon. Kuvassa 65 on näytetty, kuinka jokaisen ilmaisimen kohdalla on ennuste saapumisesta seuraaviin liittymiin.



Kuva 65 Joukkoliikennevälineen kulkuajan ennustaminen tuleviin liittymiin (Hallworth 2013)

Ennusteen tekemiseen käytetään kulkuajatyökalua, jolla pyritään saamaan realistinen arvio siitä pitääkö tulevien liittymien ajastusta aikaistaa vai myöhäistää. Samalla työkalulla pystytään myös tekemään sirontakaavioita, joista nähdään ilmaisimelta kulunut aika liittymään ja näin pystytään arvioimaan ennusteiden luotettavuutta.

STM käyttää neljää eri moodia liikennevaloetuuden antamisessa. Näin käytetty strategia on jaettu pienempiin osiin sen toteuttamiseksi. Nämä moodit ovat seuraavat:

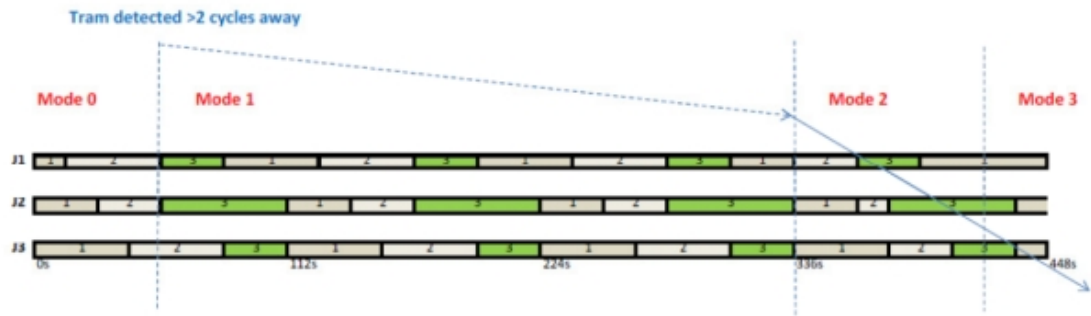
Moodi 0: Ei etuutta

Moodi 1: Kun raitiovaunu tunnistetaan ja se on saapumassa liittymään ennen valmistavaa ilmaisinta, STM laskee ja arvioi saapumisajan liittymään historiatietojen perusteella. Kun tuo arvioitu aika on järkevän hajonnan rajoissa, pieniä ajastusmuutoksia voidaan tehdä. Seuraavien ilmaisimien ohituksen jälkeen ennusteen hajonta pienenee ja voidaan tehdä tarkempia muutoksia ajastukseen.

Moodi 2: Kun raitiovaunu on valmistavan ilmaisimen kohdalla, otetaan käyttöön tavallinen raitiovaunun etuus.

Moodi 3: Raitiovaunun lähdettyä liittymästä, STM hoitaa siirtymän takaisin normaaliin moodi 0 -tilaan. STM myös harkitsee mahdollisesti tarvittavat kompensatiot ja antaa ne.

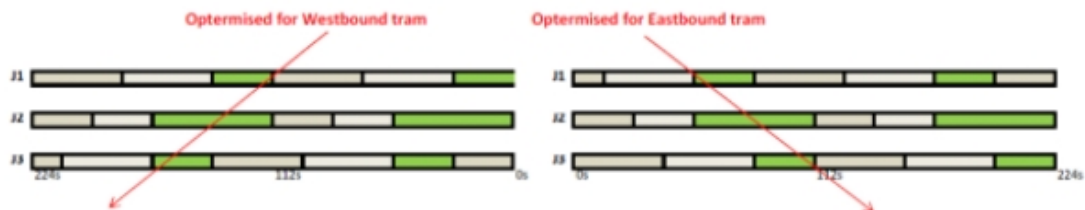
Kuvassa 66 on esimerkki raitiovaunun havaitsemisesta. Kyseessä on kolmen liikennevaloliittymän alaverkosto. Kuvassa näytetään raitiovaunun havaitseminen ja eri moodien käyttö. Liittymät on merkitty tunnuksilla J1, J2 ja J3. Vihreällä värillä on kuvattu raitiovaunun sallivaa valovaihetta.



Kuva 66 Valovaiheet etuuden järjestämiseksi kolmen liittymän alaverkossa (Hallworth 2013)

Tässä tapauksessa kiertoaika liittymillä on 112 sekuntia. Raitiovaunu havaitaan yli kahden valokierron päässä jolloin moodi yksi tulee käyttöön. Tällöin STM arvioi raitiovaunun saapumisaikaa ja tekee pieniä muutoksia valokiertoon, jotta moodi kaksi pääsee alkamaan sopivasta vaiheesta. Moodi yksi on kriittisin vaihe etuuden järjestämisessä. Jos se onnistuu, moodi kaksi on helppo järjestää pelkästään pienellä valojen ajastuksen muutoksella. Kuvassa raitiovaunu pääsee ajamaan kyseisten kolmen liittymän läpi vihreässä aallossa suunnitellusti. Muulle liikenteelle aiheutuu vain pientä häiriötä, sillä aggressiivisia muutoksia ajoituksiin ei ole tarvinnut ennakoinnin ansiosta tehdä eikä esimerkiksi jättää vaihteita kokonaan pois.

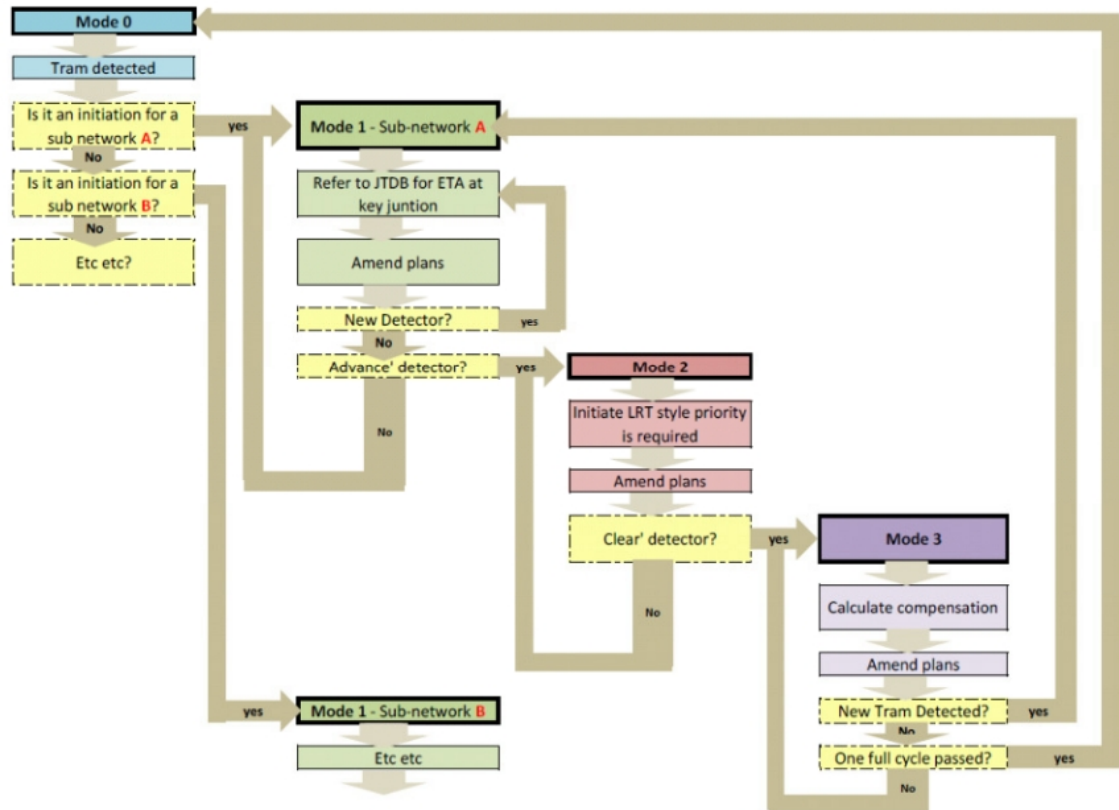
Jokaisen alaverkoston liittymän ajoitukset on suunniteltava siten, että ne toimivat saman alaverkoston muiden liittymien kanssa yhteen. Yksi alaverkoston liittymistä on avainliittymä. Raitiovaunun arvioitua liittymään saapumisaikaa verrataan siihen ja muiden alaverkoston liittymien vihreän aloitusajat muokataan tämän avainliittymän mukaisesti. Seuraavassa kuvassa näytetään kolmen liittymän alaverkoston vihreiden aikojen optimoidut aloitusajat. Kuvassa on molempiin suuntiin kulkeville raitiovaunuille omat optimoinnit.



Kuva 67 Alaverkoston valovaiheiden optimointi eri suuntien raitiovaunuille (Hallworth 2013)

Liittymien tarkempaa suunnittelua ja optimointia vaaditaan jokaiseen moodiin. Moodissa yksi ja kaksi suunnittelua vaatii edellä kuvattu liittymien keskinäisten ajoitusten keskinäinen synkronointi ja tapa kuinka siihen päästään. Moodissa kolme on tärkeää suunnitella vaadittavat kompensatiot. On mietittävä raja-arvot sille, kuinka paljon raitiovaunulle annettu etuus saa vaikuttaa muiden suuntien vihreälle ajalle ennen kuin kompensatiota annetaan.

Kuvassa 68 on kuvattuna kontrollialgoritmin takana vaikuttava logiikka siitä, kuinka liikennevaloetuuden antaminen etenee.



Kuva 68 Kontrollialgoritmin logiikka (Hallworth 2013b)

Logiikassa voi tulla muutamia poikkeustapauksia johtuen muista raitiovaunuista. Jos liittymään on tulossa konfliktisuunnista raitiovaunut samaan aikaan, toisen on jouduttava odottamaan. Kesken moodin yksi tai kaksi eri suunnista tulevien raitiovaunujen ajojärjestys on käsiteltävä loogisesti, esimerkiksi missä järjestyksessä ne sopivat valokier-toihin parhaiten. Moodista kaksi voidaan myös jatkaa suoraan moodiin yksi toisen raitiovaunun takia. Peräkkäin ajavia raitiovaunuja ei saisi tulla moodin yksi kestoaikaa lähempänä toisistaan. Jos kaksi raitiovaunua ajaa kuitenkin lähekkäin peräkkäin, ensimmäiselle vaunulle järjestetään etuudet etumatkan antamiseksi.

3.5.3 Vaikutukset ja toimivuus

Edinburghin raitiotie on ollut toiminnassa vasta vähän aikaa, joten varsinaisia käytännön kokemuksia ei vielä ole. Se on kuitenkin lähes 80 prosenttisesti täysin eristetyllä radallaan, joten suuria ongelmia ainakaan tuolla osuudella liikennöintiin ei pitäisi tulla. Lisäksi kaupungin keskustan läpi kulkevalla osuudella sillä on käytössään paljon omaa väylää tai joukkoliikennekaista.

Liikennevaloja mietittäessä reitin läntinen pää on yksinkertainen. Raitiovaunu kulkee vain muutaman risteyksen läpi, missä etuuden antaminen tapahtuu melko yksinkertaisesti pysäyttämällä muu liikenne. Kaupungin keskustassa liikuttaessa tehtävä on monimutkaisempi. Käytetty STM-ohjaustapa on kuitenkin perusidealtaan erittäin hyvä. Se, että raitiovaunun liike pyritään ennustamaan jo pitkälti ja näin saamaan sille etuus muu-

ta liikennettä mahdollisimman vähän häiriten, on kannatettava ajatus. Lisäksi raitiotie on tekniikaltaan ja ilmaisimiltaan moderni, joten vaunun havaitseminen ja sen jälkeen tapahtuva tiedonkulku on todennäköisesti toimintavarmaa. Huonona puolena ilmaisimissa on niiden kykenemättömyys tunnistaa myös raitiovaunun poistuminen ilmaisimen päältä.

4 RAITIOTIEN VALO-OHJAUS TAMPEREELLA

4.1 Yleistä

Tampere on Suomen kolmanneksi suurin kaupunki Helsingin ja Espoon jälkeen. Asukkaita kaupungissa on noin 220 000 ja se on pohjoismaiden suurin sisämaakaupunki. Tampere muodostaa yhdessä sitä ympäröivien seitsemän kunnan kanssa Tampereen kaupunkiseudun, jossa on asukkaita yli 360 000. Tampereen kaupunkiseutu on pääkaupunkiseudun jälkeen Suomen toinen suuri ja tärkeä asutuskeskus.

Liikenteellisesti Tampere on haastavassa asemassa. Maantieteellisesti kaupungin keskusta sijoittuu kapealle kannakselle kahden järven väliin. Tästä syystä keskustaan idästä ja lännestä tuleva liikenne puristuu tuolle kapealle alueelle. Tämä tarkoittaa ruuhkaisuutta keskustaa halkoville muutamalle läpiajoväylälle. Toinen haaste tulee Tampereen asukasmäärän kasvusta. Viimeisen 20 vuoden aikana Tampereen väkiluku on kasvanut 45 000 uudella asukkaalla. Kasvun ennustetaan jatkuvan siten, että vuoteen 2040 Tampereelle muuttaa yli 57 000 uutta asukasta ja sen ympäristökuntiin lähes 55 000 uutta asukasta. (Tampereen kaupunki 2014d)

Ratkaisuna edellä oleviin ongelmiin on suunniteltu Tampereen raitiotietä. Sen avulla pystytään kaavoittamaan tiiviimpää kaupunkirakennetta sen reitin varrelle ja houkuttelemaan kasvavaa asukasmäärää joukkoliikenteen käyttöön. Raitiotie soveltuu Tampereen kapealle kannakselle tehokkaana ja suuren kapasiteetin omaavana liikennemuotona.

4.2 Valo-ohjauksen nykytila

4.2.1 Yleistä

Tampereella otettiin käyttöön ensimmäiset liikennevalot 19.10.1960 Tammelan puistokadun ja Itsenäisyydenkadun liittymässä. Suomen ensimmäiset liikennevalot löytyivät jo Helsingistä ja Tampere halusi kehitykseen mukaan. Kuten olettaa saattaa, uudet liikennevalot vaativat tamperelaisilta opettelua. Seuraavat liikennevalot otettiin käyttöön kaksi vuotta myöhemmin Hatanpään valtatie ja Vuolteenkadun liittymässä. Tuosta hetkestä eteenpäin uusia liikennevaloja alkoi tulla vuosittain. (Tampereen kaupunki 2011b)

Tampereen kaupungin (2011b) mukaan 1970-luvulla rakennettiin yli 40 uutta liikennevaloliittymää ja tahti pysyi samana myös 1980- ja 1990-luvuilla. 2000-luvulla uusien liikennevalojen rakentaminen on hieman hidastunut, sillä vilkkaimmat ja turvattomimmat liittymät on jo varustettu liikennevaloin. Lisäksi kiertoliittymät ovat alkaneet nostaa suosiotaan ja paikoin liikennevaloista on myös luovuttu. Kaikkiaan liikennevaloliittymiä on Tampereella nykypäivänä yli 150.

Luonnollisesti yli 50 vuoden liikennevalojen historian aikana liikennevaloissa on tapahtunut myös paljon kehitystä. Ohjauskojeiden tekniikka on uudistunut ja on siirrytty liikennetieto-ohjattuihin valoihin. Lisäksi liittymiä on yhteenkytketty vihreiden aaltojen muodostamiseksi. Nykyään päiväs aikaan 116 kappaletta eli 74 prosenttia liittymistä toimii yhteenkytkettyinä. (Traficon 2014) Uudentyyppisiä opastimia on otettu käyttöön ja ne on päivitetty toimimaan LED-valoilla. Jalankulkijoiden valoihin on tullut lisätoimintoina vilkkuvihreä ja lasten pitkä vihreä -järjestelmä. Tampereella on myös testattu uudentyyppisiä ratkaisuja, kuten alueellista SPOT-ohjausta ja jokerivaloja. (Tampereen kaupunki 2011b)

4.2.2 Liikennevaloetuudet

4.2.2.1 Etuuksien historia

Tampereella otettiin käyttöön ensimmäiset liikennevaloetuudet jo 1980-luvulla keskustauudistuksen myötä. Kehitys jatkui 1990-luvulla alueellisen optimoivan SPOT-liikennevalojärjestelmän käyttöönotolla. (Oinas 2000) 1990-luvun lopussa alettiin myös suunnitella Tampereen paikallisliikenteen hallintajärjestelmää. Vuonna 1998 valmistui hankesuunnitelma ”Tampereen paikallisliikenteen hallintajärjestelmä 2002”, jonka tavoitteilana oli saada se valmiiksi vuodeksi 2002. Tämän PARAS-järjestelmäksi nimetyn järjestelmän oli tarkoitus antaa reaaliaikaista matkustajainformaatiota pysäkeillä ja mahdollistaa liikennevaloetuudet sekä tarjota informaatiota kaluston hallintaan ja liikennesuunnitteluun. (TKL et al. 1999)

Päävastuulliseksi toimittajaksi tuli Intrumentointi Oy ja vuonna 2003 järjestelmä saatiin käyttöön viidelle linjalle. Liikennevaloetuudet olivat alkuvaiheessa kymmenessä liittymässä. PARAS-järjestelmä toimi noin kilometrin välein olleiden DGPS-paikannuspisteiden ja tätä täydentävän odometrin kanssa. Viestintään käytettiin radioyhteyttä. Keskustietokone ennusti bussin kulkua ja arvioi pysäkeille tuloajan. Järjestelmän tekniikka alkoi kuitenkin vanhentua, joten vuonna 2009 järjestelmän tuki loppui kokonaan ja uusi informaatiojärjestelmä oli suunnitteilla.

4.2.2.2 IJ-2010-järjestelmä ja nykyiset liikennevaloetuudet

Nyt Tampereella on käytössä reaaliaikainen matkustajainformaatiojärjestelmä IJ-2010. Liikennevaloetuudet Tampereen kaupunkibusseille annetaan tuon järjestelmän kautta. Liikennevaloetuudet ja IJ-2010-laite ovat nykyään Tampereen alueella käytössä yli sa-

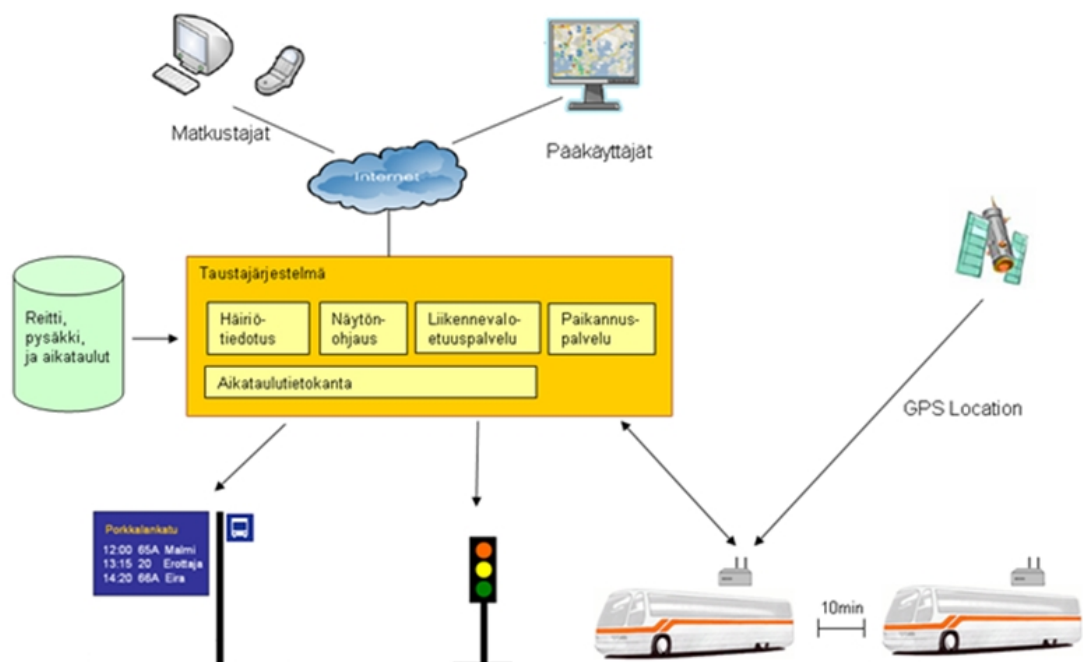
dassa liittymässä. Järjestelmän muut ominaisuudet ovat reaaliaikainen informaatio matkustajille näyttötaulujen ja internetsovellusten kautta sekä häiriötietojen välitys. Kaiken tämän mahdollistaa bussien jatkuva GPS-paikannus.

IJ-2010-järjestelmän hankinnan aloitus tapahtui vuonna 2008 ja kilpailutuksen jälkeen toteuttajaksi valikoitui Logica eli nykyinen CGI. Seuraavana vuonna Tampereen kaupunki solmi sopimuksen CGI:n kanssa järjestelmän toteutuksesta. Sopimukseen kuuluu kuuden vuoden ylläpito ja kahden vuoden optio. Kuukausittainen palvelumaksu on sidottu järjestelmän luotettavuuteen. Vuosina 2010 ja 2011 järjestelmää otettiin asteittain käyttöön. (Myyryläinen 2013)

Inkiläisen (2012) mukaan IJ-2010-järjestelmän toiminnot voidaan jakaa karkeasti neljään luokkaan;

- 1) Käyttäjille jaettava informaatio, joka koostuu Internetissä olevasta tiedosta, bussien sisänäytöistä ja kadunvarsinäytöistä.
- 2) Bussiliikennettä sujuvoittavat toiminnot, joihin kuuluvat liikennevaloetuedet ja osittain järjestelmästä saatava liikenne- ja kulkutieto, jota voidaan käyttää suunnittelussa hyväksi.
- 3) Järjestelmän toiminnasta ja siihen liitetystä ajoneuvoista saatava informaatio, kuten reaaliaikainen paikannus ja aikatauluraportointi.
- 4) Järjestelmää ylläpitävät toiminnot, kuten uusien risteysten ja etuuksien luominen ja päivittäminen järjestelmään.

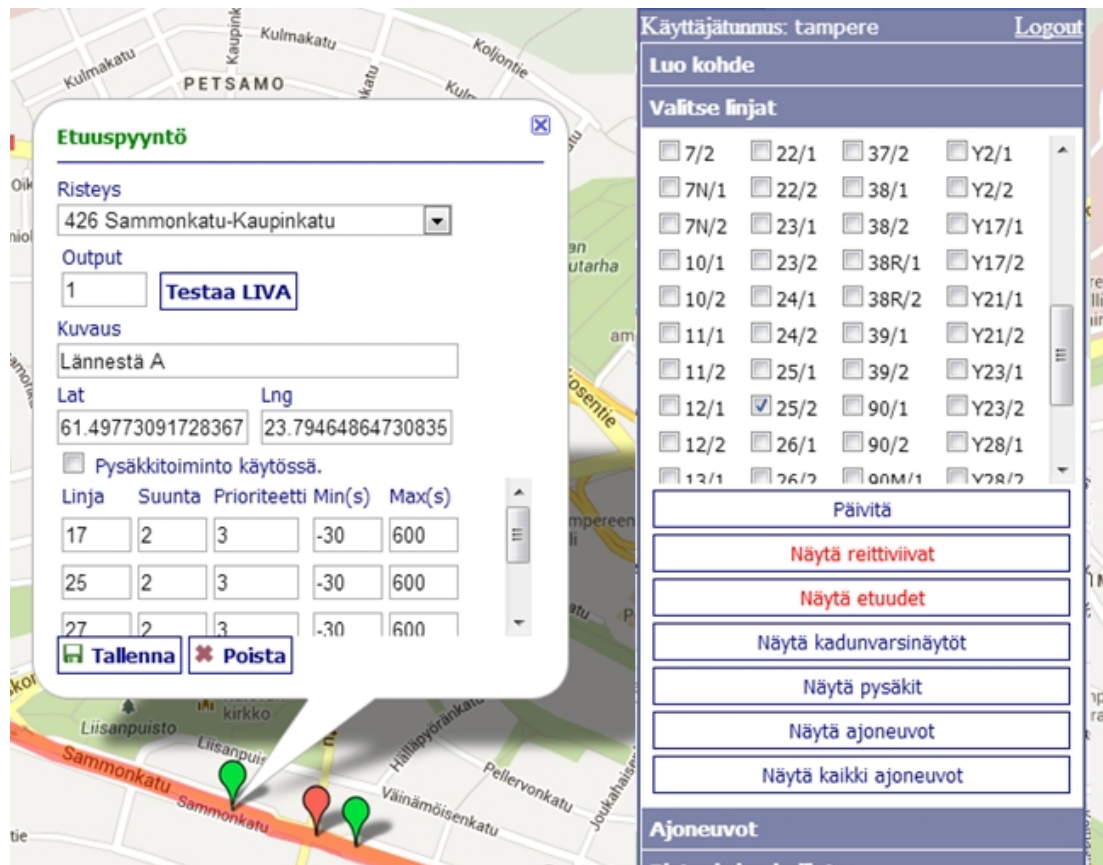
IJ-2010-järjestelmän kokonaisuus on esitetty kuvassa 69.



Kuva 69 IJ-2010-järjestelmän toiminta (Myyryläinen 2013)

Bussien paikannus tapahtuu käyttämällä GPS-paikannusta ja paikannustieto lähetetään sekunnin välein taustajärjestelmään. Bussin saapuessa liikennevaloliittymään, ennalta järjestelmään määritetyn pyyntöpisteen kohdalla taustajärjestelmä lähettää etuuspyynnön automaattisesti liikennevalokojeessa olevalle vastaanottimelle. Siitä tieto välittyy liikennevalokojeelle, joka toteuttaa annettujen lähtötietojen perusteella etuuden. Kun bussi on ajanut liittymästä läpi, ennalta järjestelmään määritetyn kuittauspisteen kohdalla etuus lopetetaan. Yksi osa järjestelmän luotettavuuden mittaamisesta on etuuspyyntöjen ja kuittausten nopea välittyminen. Sopimuksessa on määritelty, että 98 prosenttia etuuspyynnöistä ja kuittauksista on tultava liikennevalokojeelle kahdessa sekunnissa. Liikennevalojen opastimessa punaisen valon vieressä oleva LED-valo kertoo vilkkumisellaan bussin kuljettajalle, että bussi on havaittu ja etuus pyritään järjestämään. Kuittauspisteen kohdalla LED-valo sammuu tietona etuuden päättymisestä.

Liikennevaloetuuksien toteuttaminen järjestelmään lähtee liikkeelle luomalla liittymään virtuaaliset etuuspyyntö- ja kuittauspisteet. Tämä tehdään käyttämällä karttapohjaista editoria, johon merkitään pisteiden sijainnit. Etuudelle annetaan lisäksi huomattava määrä erilaista lisätietoa. Etuudelle syötetään tieto, mille linjalle sitä käytetään ja mihin kulkusuuntaan. Linjalle annetaan tässä yhteydessä myös prioriteetti, jonka mukaan etuus annetaan, jos useampi linja tulee samaan liittymään eri suunnista. Etuudelle syötetään lisäksi raja-arvot, kuinka paljon bussi voi olla edellä tai myöhässä aikataulustaan etuuden antamiseksi. Jos ennen liittymää sijaitsee pysäkki, voidaan etuudelle valita pysäkkitoiminto. Se tarkoittaa sitä, että jos bussi pysähtyy etuuspyyntöpisteen jälkeen pysäkillä, järjestelmä keskeyttää etuuspyynnön ja antaa sen automaattisesti uudestaan pysäkiltä lähettäessä. Kuvassa 70 on näkymä liikennevaloetuuksien karttapohjaisesta editorista.



Kuva 70 Näkymä liikennevaloetuksien karttopohjaisesta editorista (mukaillen lähteestä Myyryläinen 2013)

Tampereen paikallisliikenteen bussien etuudet eivät toimi nollaviiveperiaatteella, koska muuta liikennettä ei haluta häiritä liikaa. Etuudet ovat eräänlainen kompromissi bussi-liikenteen ja muun liikenteen sujuvuuden välillä. Tällaisella etuudella viiveitä ei saada minimoitua vaan lähinnä vain pystytään pienentämään niiden hajontaa. Ajoaika tietysti nopeutuu hieman tälläkin periaatteella, mutta suurempana etuna on bussien täsmällisempi kulku. Etuuksien toteutustapoina ovat vihreän pidennys ja aiennus sekä ylimääräinen vihreän vaihe. Tampereen kaupunki oli vahvasti mukana Jenka-projektissa ja siitä saatujen hyvien kokemusten myötä ohjaustekniikkana käytetään nykyään ainoastaan SYVARI-periaatetta.

4.3 Tampereen raitiotie

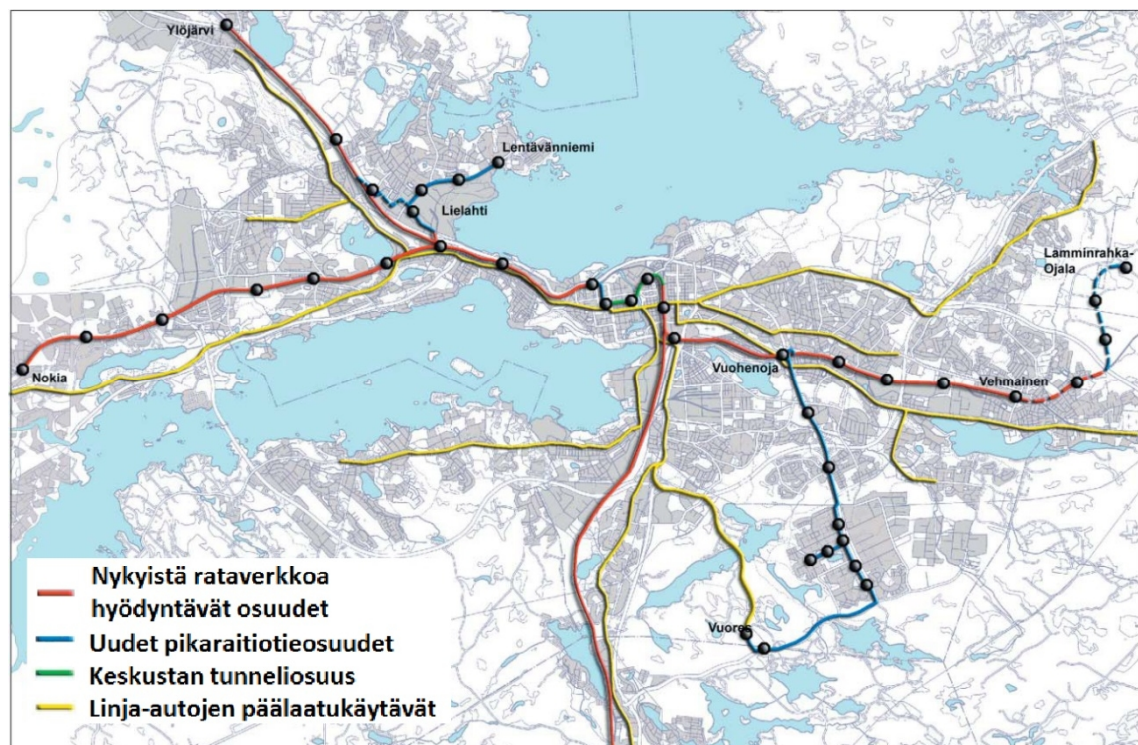
4.3.1 Historiaa

Yli sata vuotta sitten, vuonna 1907, Tampereelle kaavailtiin ensimmäistä kertaa raitiotietä. Kahden vuoden suunnittelun jälkeen kaupungin päättäjät eivät kuitenkaan tehneet rakentamispäätöstä. Ensimmäinen maailmansota lykkäsi lopullisesti toteutumisen. Vielä kuitenkin vuonna 1929 raitiotiesuunnitelmat olivat esillä kaupunginhallinnossa. (Sirkiä 2003)

Tampereella on kokemusta myös hieman erityyppisestä sähköistetystä joukkoliikenteestä. Kaupungissa käytettiin johdinautoja 1970-luvulle asti. Toisen maailmansodan aiheut-

taman polttoainepulan takia alettiin vuonna 1940 puhua bussien sähköistämisestä. Johdinautoliikenne alkoi lopulta vuonna 1948 suuren mielenkiinnon saattelemana. Parhaimmillaan 1950-luvulla ajettiin viittä eri linjaa, jotka olivat 1, 2, 3, 11 ja 16. Kaukaisimmillaan johdinautot ajoivat muun muassa Hyhkyyn, Härmälään ja Muotialaan. 1970-luvulla linjoja ja ajolankoja alettiin poistaa kunnes vuonna 1976 koko liikennöinti lopetettiin. (Alameri 1987)

Vuonna 2001 Tampereella aloitettiin uusi raitiotieselvitys, joka kulki nimellä TamTrain. Nimi viittaa raitiotien suunniteltuun tram-train-ominaisuuteen, eli se olisi kulkenut osittain myös junaverkolla. Raideliikenne projektiryhmä sai selvityksen valmiiksi vuonna 2004 ja suunnitelmassa raitiolinjat kulkivat Nokialle ja Ylöjärvelle asti sekä Tampereen alueella Lentävänniemeen, Vehmaisiin ja Hervantaan. Tampereen keskustassa raitiotie olisi kulkenut osittain tunnelissa. Koko linjasto olisi ollut pituudeltaan 42,3 kilometriä rautatieverkon osuuden ollessa siitä 15,3 kilometriä. Kustannusarvioiksi kalustoineen muodostui 250 miljoonaa euroa. Kuvassa 71 on raideprojektin joukkoliikennejärjestelmän visio vuonna 2015. (Raideprojektiryhmä 2004)



Kuva 71 Suunniteltu joukkoliikennejärjestelmä vuonna 2015 (Raideprojektiryhmä 2004)

TamTrain-suunnitelman jälkeen aloitettiin Tampereen seudun liikennejärjestelmäsuunnitelmatyö TASE 2025. Vuonna 2005 tehtiin liikenteen nykytila Tampereen seudulla -kuvaus ja liikenteen tulevaisuutta määrittelevä liikennepoliittinen ohjelma. Tuon ohjelman visiona oli saada henkilöautoilun 1960-luvulta asti kasvanut kulkutapaosuus laskuun. Samalla olisi käännettävä joukkoliikenteen negatiivinen kierre positiiviseksi ja jalankulun sekä pyöräilyn kulkutapaosuudet kasvuun. Seuraavana askeleena oli joukkoliikennejärjestelmävaihtoehtojen vertailu -selvitys, joka valmistui vuoden 2007 alkupuolella.

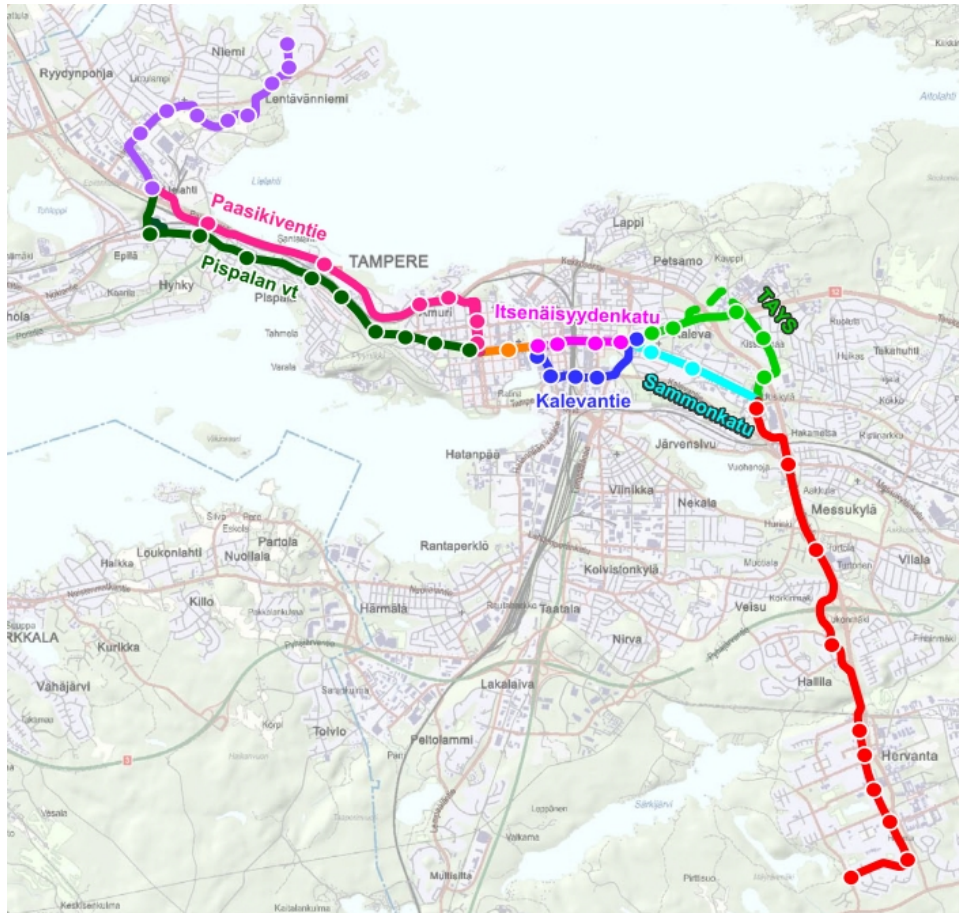
lella. Siinä raideliikenne oli vahvasti mukana tulevaisuuden joukkoliikenteen kulkutapana. (Tampereen kaupunkiseutu 2010)

Varsinainen liikennejärjestelmien kehittämisohjelman päivitys aloitettiin edellisessä kappaleessa mainittujen selvitysten pohjalta vuonna 2007 ja se valmistui kolme vuotta myöhemmin. Selvitystä viivästyttiin, jotta sen aikataulu sopisi paremmin Tampereen kaupunkiseudun rakennesuunnitelman tekoaikatauluun. Lisäksi selvitystä tarkennettiin myös ilmastostrategialla, jossa on esimerkiksi asetettu tavoitteeksi joukkoliikenteen kulkutapaosuuden nosto 13 prosentista 25 prosenttiin. Lopputuloksena TASE 2025 kehittämisohjelma esitti joukkoliikenteen osalta bussiliikenteen kehittämistä ja tehokkaampien joukkoliikennevälineiden käyttöönottoa. Näihin kuuluu nykyisiä ratoja hyödyntävä lähijunaliikenne ja raitiotien rakentaminen. Heti aloitettavaksi esitettiin Vuores-Hervanta-Keskusta-Lentävänniemi -raitiotielinjan yleissuunnitelman teko. Muita tulevaisuuden raitiotielinjoja ovat Vuores-Hatanpää-Keskusta, Pirkkala-Hatanpää ja Hakametsä-Hankkio-Lamminrahka. (Tampereen kaupunkiseutu 2010)

4.3.2 Alustava yleissuunnitelma

Tampereen modernin kaupunkiraitiotien alustavan yleissuunnitelman teko reitille Hervanta-Keskusta-Lentävänniemi aloitettiin vuoden 2010 loppupuolella. Alustava yleissuunnitelma toteutettiin kolmessa vaiheessa. Joulukuussa 2010 saatiin valmiiksi ensimmäinen vaihe, kun raitiotielle asetettiin tavoitteet ja reunaehdot. Yhteiskunnalliseksi tavoitteeksi tuli, että joukkoliikennejärjestelmää kehittämällä parannetaan Tampereen kaupunkiseudun asukkaiden liikkumismahdollisuuksia, terveyttä ja turvallisuutta henkilöautoriippuvuutta vähentäen. Joukkoliikenneasiakkaan palveluun liittyvä tavoite määriteltiin niin, että joukkoliikennejärjestelmä kattaa suurimman osan liikkumistarpeista myös ruuhka-aikojen ja kaupunkikeskustan ulkopuolella. (Tampereen kaupunki 2011c)

Toisessa vaiheessa kartoitettiin ja tutkittiin alustavia reittivaihtoehtoja. Tämä vaihe päättyi maaliskuussa 2011. Reittejä arvioitiin ottaen huomioon matkustajan näkökulma, alueiden ja palveluiden saavutettavuus, vaikutukset ja tekninen toteutettavuus. Valintojen ja päätöksenteon avuksi järjestettiin helmikuun 2011 aikana yleisötilaisuus, vaihtoehtokysely ja työpaja. Projektiryhmä muodosti lopulta neljä raitiotievaihtoehtoa jatkosuunnitteluun. Nämä neljä vaihtoehtoa erosivat toisistaan Pispalan, Keskustan ja Kalevan alueilla. Kuvassa 72 on näytettynä kartalla eri linjausvaihtoehtoja (Tampereen kaupunki 2013)



Kuva 72 Alustavassa yleissuunnitelmassa tarkasteltuja linjausvaihtoehtoja (Tampereen kaupunki 2011c)

Viimeisessä vaiheessa valittuja neljää linjausvaihtoehtoa suunniteltiin, muodostaen myös niihin liittyvä bussiliikenne. Reittivaihtoehtoja verrattiin kehitettyyn bussivaihtoehtoon. Jokaisesta vaihtoehdosta laskettiin vertailukelpoiset tiedot. Kiinnostuksen kohteita olivat taloudelliset, liikenteelliset ja ympäristölliset tulokset, toteutettavuus ja asiakkaiden tarpeisiin vastaaminen. Myös vaikutukset maankäyttöön, kaupunkikuvaan, ihmisiin, palveluiden saavutettavuuteen, kysyntään, elinkeinoelämään sekä kiinteistöjen kysyntään ja arvoon olivat vertailussa. Työ valmistui alkusyksystä 2011. (Tampereen kaupunki 2014)

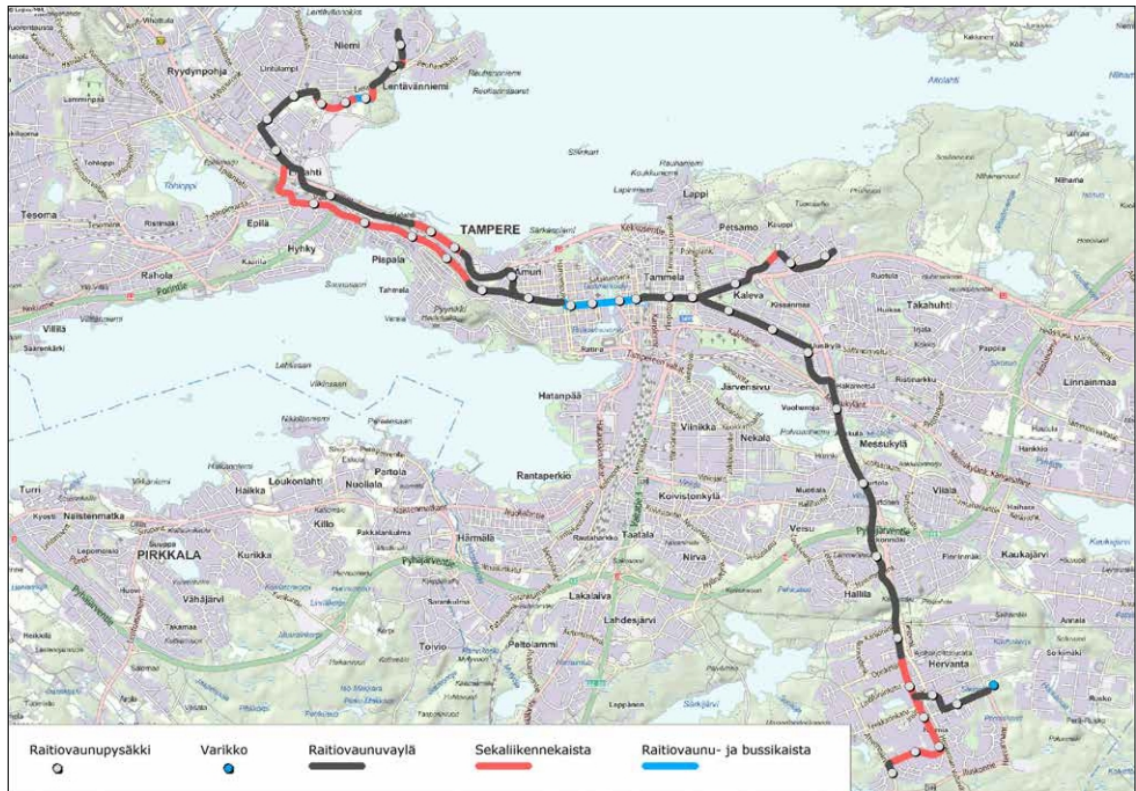
Alustavan yleissuunnitelman mukaan bussiliikenteeseen verrattuna raitiotievaihtoehtoisissa joukkoliikennematkojen määrä on suurempi ja liikennöintikustannukset pienemmät. Lisäksi raitiotievaihtoehtojen hyötykustannussuhde on 1,1-1,4, eli hyödyt ovat kustannuksia suuremmat. (Tampereen kaupunki 2011c) Vuoden 2011 joulukuussa Tampereen kaupunginvaltuusto hyväksyi alustavan yleissuunnitelman ja näytti vihreää valoa jatkosuunnittelulle, eli varsinaisen yleissuunnitelman laatimiselle. (Tampereen kaupunki 2011d)

4.3.3 Yleissuunnitelma

Vuoden 2012 aikana yleissuunnitelman tekijä kilpailutettiin. Tampereen ja Turun kaupungit tekivät kilpailutuksen yhdessä, sillä myös Turkuun kaavaillaan raitiotietä. Kyseisen vuoden joulukuussa yleissuunnitelman laatijoiksi valikoituivat Ramboll Finland Oy ja WSP Finland Oy. (Tampereen kaupunki 2012) Yleissuunnittelu alkoi tammikuussa 2013, jonka jälkeen kesäkuussa Tampereen valtuusto hyväksyi raitiotien linjaukseksi Hervannasta Sammonkadun ja Itsenäisyydenkadun kautta keskustaan tulevan reitin. Lisäksi Itsenäisyydenkadulta tulee haara Tampereen yliopistolliselle sairaalalle (TAYS). Raitiotien läntisellä osalla Pispalan kannaksen linjaus joko Paasikiventien tai Pispalan valtatieen kautta jätettiin tuolloin vielä päättämättä. (Tampereen kaupunki 2013b)

Huhtikuussa 2014 yleissuunnitelma valmistui. Siinä on tutkittu raitiotietä edellä mainituille kahdelle eri reitille ja vertailtu sitä bussi- ja johdinautovaihtoehtoihin. Raitiotie nousee yleissuunnitelmassa kannattavaksi hankkeeksi ja kahdesta linjausvaihtoehdosta Paasikiventien vaihtoehto osoittautui paremmaksi. Sen hyötykustannussuhde on 1,48 ja investointikustannusarvio 15 prosentin riskivarauksella 250 miljoonaa euroa. Raitiotien eduksi katsotaan erityisesti maankäytön tiivistämis- ja kehittämismahdollisuudet. Lisäksi raitiotie tarjoaa mahdollisuuden vähentää keskustasta bussiliikennettä ja näin antaa työkaluja viihtyisemmän kävelypainotteisen keskustan luomiseksi. (Tampereen kaupunki 2014b)

Yleissuunnitelmassa on suunniteltu raitiotietä jo tarkasti. Siinä on esitetty asemapiirustukset ja pituusleikkaukset koko reitiltä, mistä selviää aiotut raitiotien linjaukset ja väylätyypit. Koko reitti on myös simuloitu raitiotien ajonopeuksien ja matka-ajan saamiseksi. Kuvassa 73 on yleissuunnitelman mukainen raitiotien reitti ja väylätyypit.



Kuva 73 Raitiotien reitti ja väylätyypit (Tampereen kaupunki 2014b)

Tampereen kaupunginvaltuusto päätti 16.6.2014 jatkaa raitiotien suunnittelua ja lopulliseksi reitiksi Pispalan kannaksella otettiin Paasikiventien vaihtoehto. Näin ollen reitin lopulliseksi pituudeksi muodostuu 23,3 kilometriä ja 76 prosenttia raitiovaunun väylästä on omalla kaistallaan. Pysäkkejä reitillä on 32 kappaletta ja keskimääräinen pysäkkiväli on noin 600 metriä. Hämeenkadulla pysäkkejä on tiheämmin, noin 250 metrin välein, ja Hervannan valtaväylällä harvemmin, keskimäärin noin 780 metrin välein.

4.4 Valo-ohjaus ja raitiotie Tampereella

4.4.1 Peruseriaatteet

Tampereen raitiotien yleissuunnitelmassa on suunnitellulla reitillä 51 liikennevalo-ohjattua liittymää. Näistä uusia liikennevaloliittymiä on 28 ja vanhoja 23. Uusien liikennevaloliittymien joukossa on viisi kiertoliittymää, joista kokonaan uusia on kolme ja vanhoja kaksi. Uusista kiertoliittymistä kaksi tulee Lielahdenkadulle ja yksi Rieväkadulle Kalevaan. Olemassa olevat kiertoliittymät ovat Hervannassa Insinöörinkadulla. Kuvassa 74 on kartalla liikennevaloliittymät ja pysäkit raitiotien reitillä.



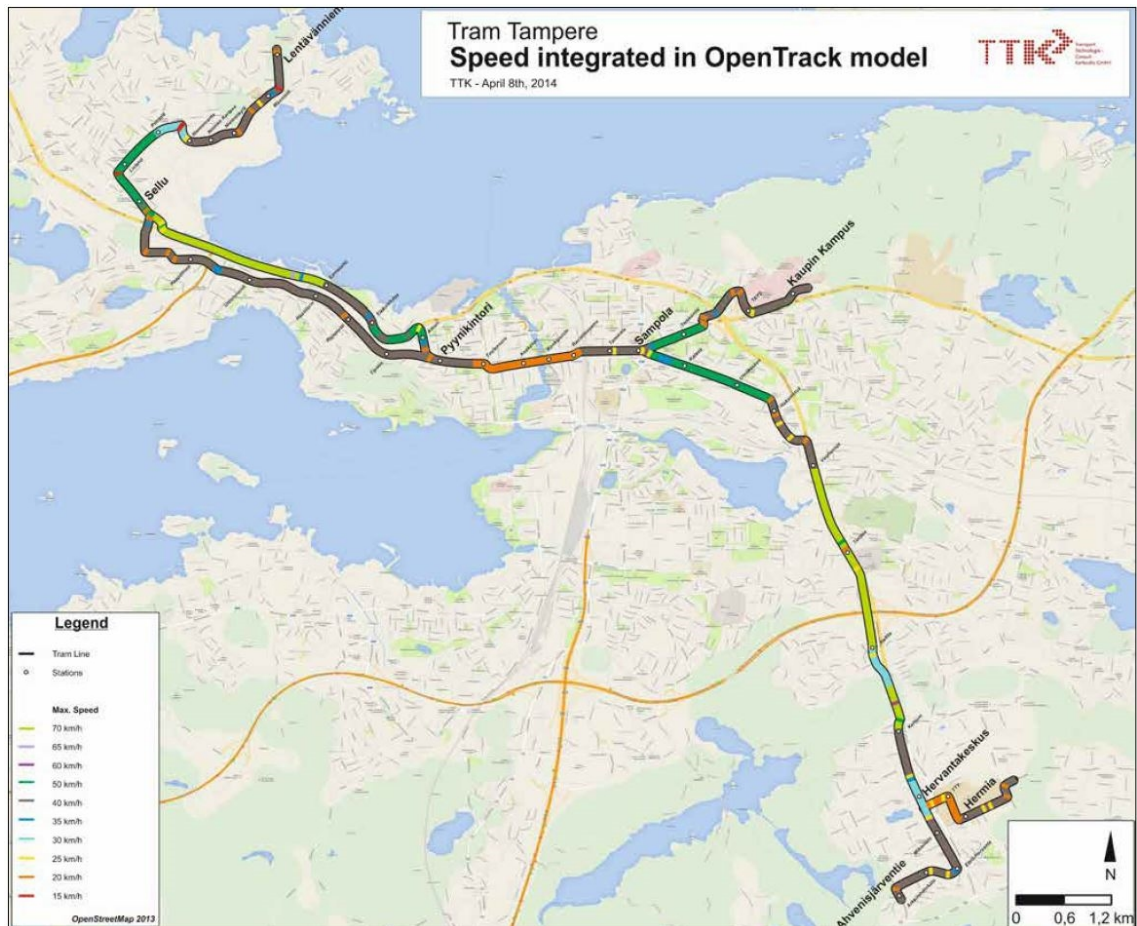
Kuva 74 Tampereen raitiotien yleissuunnitelman mukaiset valo-ohjatut liittymät ja pysäkit (Kuorikoski 2014)

Opastintyypeistä Tampereelle tulevat varmasti käyttöön Suomen laissa säädetyt ja Helsingissä käytössä olevat opastimet, joita on esitelty luvussa 2.3.1.2. Poikkeuksena Helsingin järjestelmään on suositeltavaa, että raitiovaunun saadessa vapaan kulun liittymässä raitiovaunu- tai jokerivalolla olisi myös raitiovaunulla opastin, joka kertoisi raitiovaunu- tai jokerivalon toimivan ja antavan sille vapaan kulun.

Meneillään oleva tieliikennelain uudistustyö tai poikkeuslupien anomien antavat kuitenkin mahdollisuuden pohtia nykyisestä poikkeavia ratkaisuja. Muun liikenteen ohjaimiseen raiteiden yli kääntymisessä kannattaisi käyttöön ottaa luvussa 3.2.4.2 esitelty nuolivalo ilman vihreää vaihetta. Ranskassa käytössä oleva lisäopastin raitiovaunuille olisi myös suositeltavaa ottaa mukaan uutta raitiotiejärjestelmää rakennettaessa. Lisäopastimen raitiovaunun kuljettajalle tarjoama lisäinformaatio on tärkeä tekijä raitiovaunun liikkumisen sujuvoittamisessa.

4.4.2 Erityyppisiä liikenneympäristöjä

Raitiotien reitillä on paljon erilaisia ympäristöjä, joiden mukaan myös valo-ohjaus ja sen tarve vaihtelee. Hyvän käsityksen saa raitiovaunun nopeuksista eri kohdilla reittiä. Kuvassa 75 on saksalaisena konsulttityönä tehty simulointi Tampereen raitiotien nopeuksista. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota myös kuvan 72 osoittamiin eri väylätyyppeihin.



Kuva 75 Tampereen raitiotien nopeussimuloinnin tulokset kartalla (Tampereen kaupunki 2014b)

Erityyppistä kulkuväylää ja ympäristöä on kartalta selkeästi havaittavissa. Tampereen keskustan kohdalla nopeus on 20 kilometriä tunnissa, koska siellä kuljetaan selvästi kävely- ja pyöräilypainotteisessa ympäristössä. Väylätyyppinä Hämeenkadulla on raitiovaunu- ja bussikaista. Samanlainen 20 kilometriä tunnissa alue on raitiotien kulkiessa Tampereen teknillisen yliopiston kampusalueella. Hervannasta löytyy myös vaaleansinisellä merkitty 30 kilometriä tunnissa alue, kun raitiotien reitti menee Hervannan palvelukeskustan läpi. Lähes koko Hervannan alueen reitillä raitiovaunu kulkee sekalii-kennekaistalla.

Teiskontiellä, Sammonkadulla ja Lielahden alueella raitiotie kulkee pääosin pääkatu tyyppisen väylän keskellä omalla väylällään, joten nopeus on näissä paikoissa 50 kilometriä tunnissa. Nopeita 70 kilometriä tunnissa osuuksia raitiovaunut pääsevät ajamaan Hervannan valtaväylän ja Paasikiventien vieressä kulkevilla erillisradoilla. Harmaalla merkittyä 40 kilometriä tunnissa aluetta raitiotiellä on linjojen loppupäissä Lentävänniemessä, Kaupissa ja Hervannassa sekä lisäksi Pirkankadulla, Rieväkadulla, Itsenäisyydenkadulla ja Rantatiellä.

4.4.2.1 Hämeenkatu

Hämeenkatu erottuu selvimmin omanlaisekseen ympäristöksi raitiotien reitillä. Raitiotien yleissuunnitelman yhteydessä Tampereen kaupunki onkin teettänyt siitä erillisen konsulttityön. Luonnos Hämeenkadun yleissuunnitelmaksi valmistui vuoden 2014 toukokuussa. Työn tarkoituksena on ollut luoda Hämeenkadusta joukkoliikenteen, kävelijöiden ja pyöräilijöiden katu, ottaen huomioon tulevan raitiotien suunnitelmat.

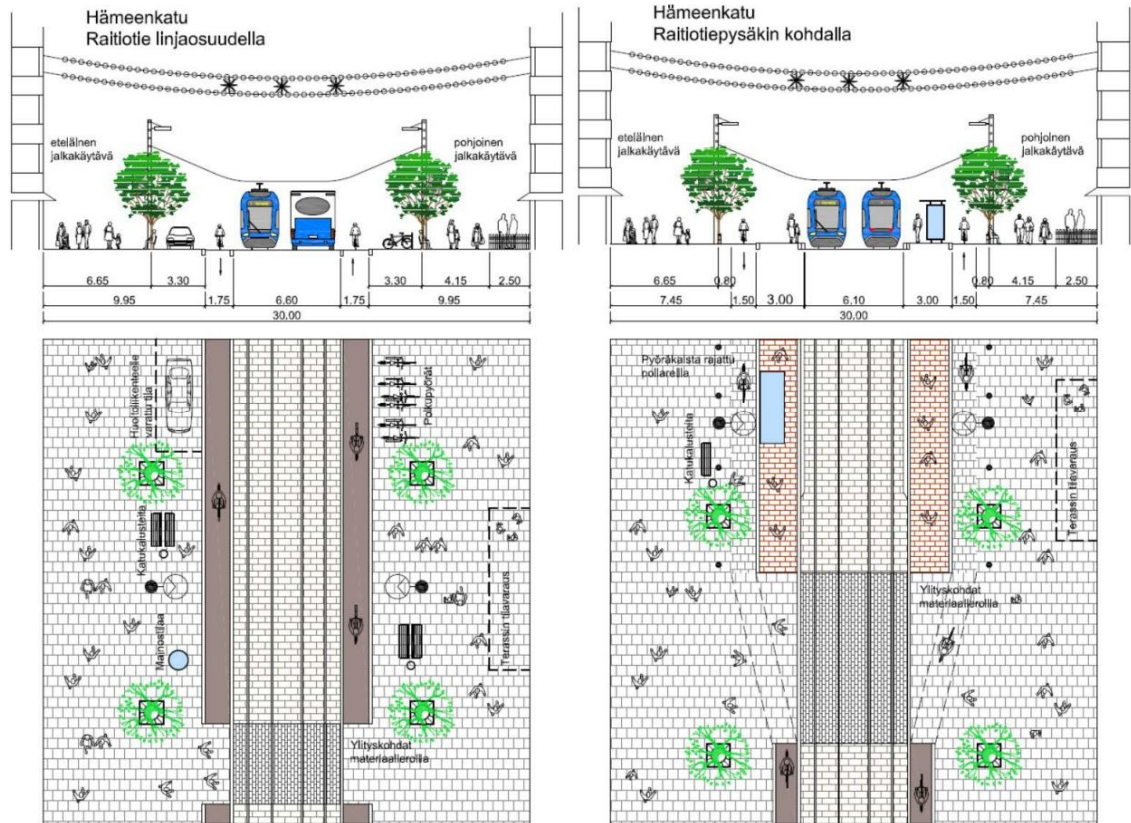
Hämeenkatu on Tampereen pääkatu, joka halkoo kaupungin ydinkeskustan itä-länsisuunnassa. Sen varrella on suuria tavarataloja, kaupan liikkeitä ja ravintoloita sekä Tampereen tärkeimpiä kohteita, kuten Keskustori ja rautatieasema. Noin kilometrin pituista katua käyttää tällä hetkellä lähes jokainen Tampereen joukkoliikenteen bussi. Lisäksi Hämeenkatu on erittäin tärkeä katu kävelijöille. Kuvassa 76 on Hämeenkatu kartalla. Kuvasta näkyy Hämeenkadun katutasossa sijaitsevien liiketilojen tyypit ja muita tärkeitä kohteita.



Kuva 76 Hämeenkatu ja sen varrella olevaa liiketoimintaa (Tampereen kaupunki 2014c)

Nykytilanteessa Hämeenkatu on nelikaistainen ja pyöräily ja kävely on pääosin yhdistetty. Autoliikenne vie siis 30 metrin poikkileikkauksesta 14 metriä, jolloin pysäköinnille, puille, pysäkeille, kävelijöille ja pyöräilijöille jää 16 metriä. Lisäksi Hämeenkadun ylittää kolme poikkikatua ja kolmelta muulta poikkikadulta on mahdollista liittyä Hämeenkadulle. Tämän vuoksi nykytilanteessa Hämeenkadulla on kaikkiaan yhdeksät liikennevalot.

Hämeenkadun yleissuunnitelmassa päädytään suunnitteluratkaisuun, jossa on symmetrinen poikkileikkaus pyöräkaistoin. Keskellä on 6,60 metrin tila raitiovaunuille ja busseille. Niiden sivulla kulkee 1,5–1,75 metrin pyöräkaistat, joiden lisäksi tilaa on varattu myös katuvihreälle ja huoltoajoneuvoille. Sivuille jäljelle jäävä tila on tarkoitettu jalankulkijoille. Hämeenkadun ylittävää moottoriliikennettä ei ole, sillä kadut on suunnitelmassa katkaistu.



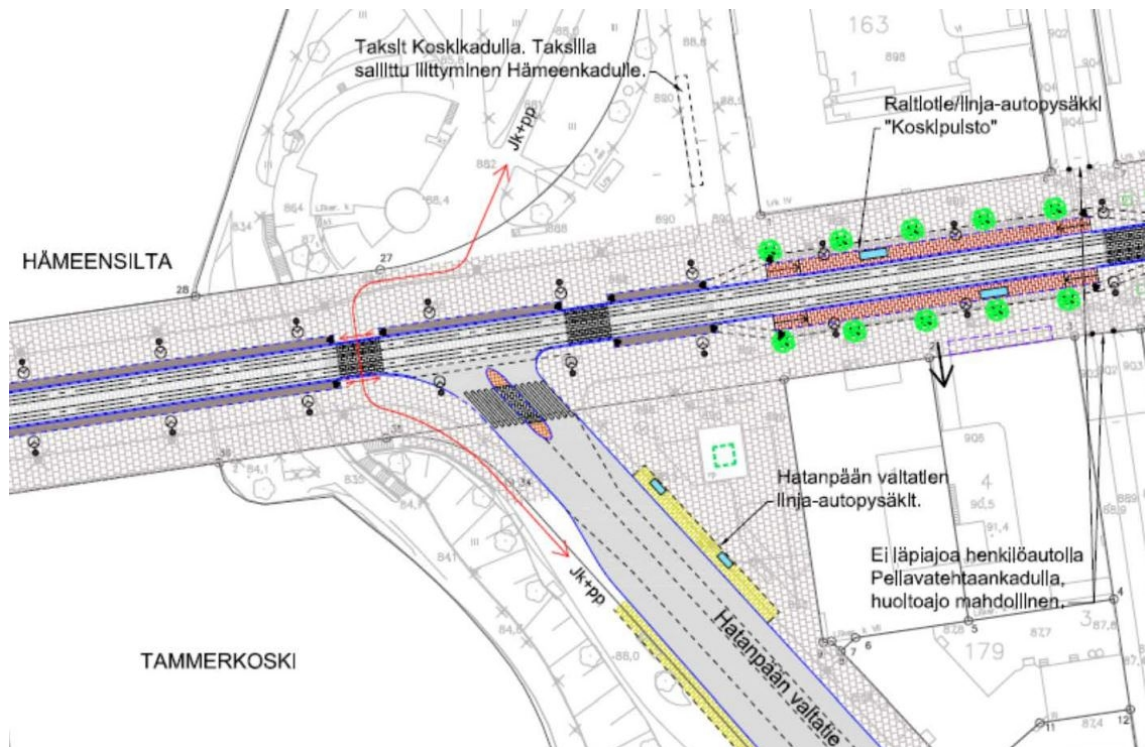
Kuva 77 Hämeenkadun yleissuunnitelman poikkileikkaukset (Tampereen kaupunki 2014c)

Ratkaisu muistuttaa paljon Aleksanterinkatua Helsingissä. Poikkeuksena ovat raitiovaunujen lisäksi liikennöivät bussit sekä pyöräkaistat. Jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden ylitykset voidaan hoitaa ilman liikennevalo-ohjausta käyttäen Aleksanterinkadun esimerkkiä. Joukkoliikennevälineet ajavat Hämeenkadulla hitaasti, noin 20 kilometriä tunnissa, joten turvallisuus säilyy ilman valo-ohjaustakin, etenkin kun ylitettävä matka on selvästi alle kymmenen metriä. Tämänkaltaisella toteutuksella kadusta saadaan mukavasti ja joustavasti käytettävä niin jalankulkijalle kuin raitiovaunuille ja busseillekin.

On kuitenkin huomioitava, että nykyisellään tieliikennelaki asettaa raitiovaunut väistämisvelvollisiksi suojatiellä. Tämä tarkoittaa Hämeenkadulle kaavailtujen 11 ylityspaikan kohdalla sitä, että raitiovaunun olisi pysähdyttävä tarpeen tullen näistä jokaisen eteen. Uudistuvaan tieliikennelakiin, olisi hyvä saada muutos tähän asettamalla raitiovaunu keskieuropalaiseen tyyliin lähemmäksi junan asemaa, jolloin väistämisvelvollisuutta ei olisi. Saattaa myös olla, että Hämeenkadun yleissuunnitelman kaltaisella poikkileikkauksella jalankulkijat ylittävät kadun mistä kohtaa vain haluavat, jolloin erilliset ylityskohdat kärsisivät inflaation. Lisäksi on muistettava, että erityisryhmille, kuten näkövammaisille ja pyörätuolilla liikkuville, esteettömistä ja erikseen merkityistä ylityskohdista on kuitenkin hyötyä.

Tammerkosken itäpuolella Hatanpään valtatie liittyy Hämeenkatuun ja kyseinen kohta tarvitsee jonkinlaisen liikennevalo-ohjauksen. Tulevissa suunnitelmissa bussiliikenne

tulee kulkemaan Hatanpään valtatieltä Hämeenkadulle ja toisin päin. Kuvassa 78 on suunnitelmapiirustus kyseisestä liittymästä raitiotien kanssa.

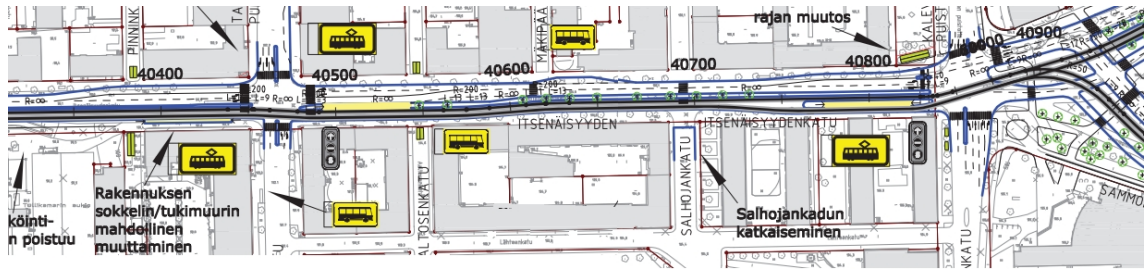


Kuva 78 Suunniteltu Hämeenkadun ja Hatanpään valtatie liittymä (Tampereen kaupunki 2014c)

Raitiovaunuvalot Hatanpään valtatieltä Hämeenkadulle kääntyville busseille riittäisivät varoittamaan raitiovaunuista ja antamaan niille etuuden. Tulevaisuudessa raitiotiereitin jatkaminen Hatanpään valtatie kautta Etelä-Tampereelle tarkoittaisi kyseiseen liittymään risteäviä raitiovaunuja. Silloin tarve täydelliselle valo-ohjaukselle tulisi kyseeseen.

4.4.2.2 Muut erilaiset raitiovaunun liikenneympäristöt

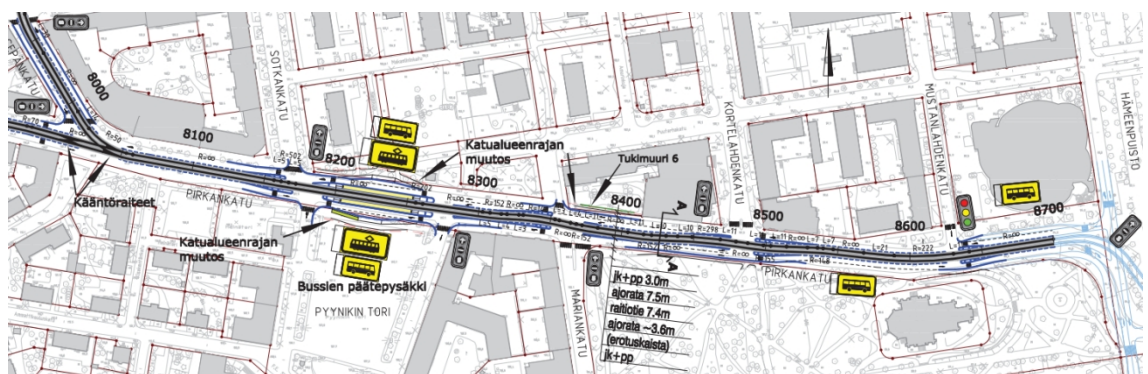
Raitiovaunun lähtiessä Hämeenkadulta itään se kulkee Itsenäisyydenkatua ja lännen suuntaan mennessä Pirkankatua. Yhteistä näille kaduille on keskustamainen olemus eli suuri määrä muuta liikennettä ja useat ruuhkaiset risteykset. Näistä syistä juuri nämä kadut tuottavat todennäköisesti suurimmat ongelmat raitiotien liikennevalo-ohjaukselle ja sujuvuudelle. Raitiovaunun suunniteltu nopeus näillä kaduilla on 40 kilometriä tunnissa, joten ero esimerkiksi Hämeenkatuun on selvä. Lisäksi, kahdesta linjasta johtuen, välillä Pyynikintorilta Sampolaan liikennöi enemmän raitiovaunuja kuin muilla osilla raitiotietä. Itsenäisyydenkadun asemapiirustus on kuvassa 79.



Kuva 79 Raitiotie Itsenäisyydenkadulla (Tampereen kaupunki 2014b)

Itsenäisyydenkadulla raitiotie on linjattu kulkemaan ajoratojen eteläpuoleisella sivulla. Tällä ratkaisulla raitiotie pystyy järkevästi ohittamaan yhden liittymän, kun Salhojankatu katkaistaan etelän suuntaan. Lisäksi vasemmalle kääntyminen Itsenäisyydenkatua itään päin ajettaessa voidaan sallia yhdessä raitiovaunuvaiheen kanssa. Samalla Itsenäisyydenkatu muuttuu nelikaistaisesta kaksikaistaiseksi, mikä helpottaa jalankulkijoiden kadunylityksiä.

Pirkankadulla raitiotie kulkee ajoratojen keskellä omalla väylällään. Kadulla on 700 metrin matkalla seitsemän liikennevaloliittymää. Tuolla välillä on yksi raitiovaunupysäkki Pyynikintorin kohdalla. Pirkankadun osuus on esitettyä kuvassa 80.



Kuva 80 Raitiotie Pirkankadulla (Tampereen kaupunki 2014b)

Kyseiselle osuudelle paras ratkaisu olisi Edinburghin Strategic Traffic Managementin kaltainen ratkaisu. STM on esitelty luvussa 3.5.2.3. Se pystyy ennustamaan raitiovaunun tuloa ja ennusteen perusteella mukauttamaan usean peräkkäisen liittymän ajoitukset pienillä muutoksilla raitiovaunulle sopivaksi. Yhtymäkohta Pirkankadun ja Edinburghin keskustan tiheään liikennevaloliittymien verkon välillä on selvä.

Itsenäisyydenkadun jälkeen jatkettaessa Hervannan ja TAYS:n haarojen suuntaan, tullaan kahta bulevardimaista katua, Sammonkatua ja Teiskontietä, pitkin. Raitiovaunulla on oma väylä keskellä ja suunniteltu nopeus on 50 kilometriä tunnissa.



Kuva 81 Teiskontien suunnitelman esimerkki (Tampereen kaupunki 2014b)

Näillä osuuksilla on yhteensä kuusi liittymää, joissa poikkikadut ylittävät väylän. Raitiovaunun tullessa myös muun liikenteen pääsuunnilla voi olla ajolupa, joten liikennevalo-ohjaus on sinällään yksinkertainen. Näillä osuuksilla on kuitenkin vaarana vasemmalle raitiovaunun eteen kääntyminen, kuten luvussa 3.2.4.2 on Helsingin esimerkissä kerrottu. Turvallisia ratkaisuja tähän ongelmaan on vasemmalle kääntyville nuolivalo, jossa on pelkästään punaisen ja keltaisen vaiheet tai kieltää vasemmalle kääntyminen pääsuunnalta kokonaan. Suojateiden raiteet ylittävälle osuudelle voidaan tämän tyyppisellä poikkileikkauksella harkita VAROVA-valojen kaltaista valo-ohjausta, jos halutaan välttyä luvussa 3.2.4.1 esitellyiltä ongelmatilanteilta.

Raitiotien lähestyessä Hervantaa ja Lielahtea keskustasta tullessa, väylänä on nopeaa erillisrataa. Valo-ohjauksen kannalta periaatteena on oltava täydellinen valo-ohjaus. Tämä tarkoittaa sitä, että raitiovaunuvalojen tai valo-ohjaamattomien liittymien ja suojateiden käyttö ei ole suositeltavaa. Raitiovaunun ajaessa 70 kilometriä tunnissa, sen kuljettajalle tulee selvästi osoittaa liittymissä ajolupaa ja muille kieltoa. Tällä nopeusalueella reitillä on kolme liikennevaloristeystä.

Hervannassa ja Lentävänniemessä sijaitsevat raitiotien reitin loppupäät ovat samankaltaista ympäristöä. Molemmissa raitiotie kulkee kaupallisten toimintojen alueen läpi ennen reitin loppumista asutusalueelle. Hervannassa lähes koko reitin loppupää on sekaliikennekaistalla, yhteensä yli kahden kilometrin matkan. Lentävänniemessä vastaava matka on alle kilometrin. Kyseisillä sekaliikennekaistan osuuksilla ei ole nykytilanteessa liikennevaloja yhdessäkään liittymässä, mutta yleissuunnitelman perusteella niitä tulee raitiotien kanssa viiteen tavalliseen liittymään ja kolmeen kiertoliittymään. Raitiotien ollessa sekaliikennekaistalla se tuo aina epävarmuustekijöitä ajamiseen. Esimerkiksi ilmaisupisteeltä liittymään kuluva aika voi vaihdella paljonkin muun liikenteen takia. Lisäksi liittymän läpi ajaminen voi hidastua samasta syystä. Tämä kaikki heijastuu järjestettävään liikennevaloetuteen ja tarvittavan ajoluvan keston.

Nopeus on reitin loppupäiden asutusalueilla 40 kilometriä tunnissa. Tuollaisella alueella esimerkiksi raiteiden yli menevien suojateiden ei tarvitse olla valo-ohjattuja. Helsingin Munkkiniemen puistotiellä käytössä olevat varoitusvalot jalankulkijoille ja ajoneuvoliikenteelle voisivat soveltua haastaviin paikkoihin. Muuten tämänkaltainen ympäristö ei vaadi erityisiä liikennevalojärjestelyitä.

4.4.2.3 Kiertoliittymät

Raitiotien yleissuunnitelman mukaisella raitiotien reitillä on olemassa olevia kiertoliittymiä ja sille on kaavailtu myös uusia kiertoliittymiä. Tutkituista esimerkkikaupungeista myös Helsingissä, Reimsissa ja Lissabonissa raitiotie kulkee kiertoliittymien läpi. Peruseriaatteeltaan esimerkkikaupunkien kiertoliittymät ovat samankaltaisia ja varsin yksinkertaisia. Niissä raitiovaunu antaa ilmaisen ja tämän jälkeen opastimilla estetään raiteiden ylittävä liikenne kiertotilassa.

Raitiotien kulkiessa kiertoliittymässä, on tärkeintä että liittymä on tarpeeksi iso ja selkeä. Riittävä koko on osaltaan tuomassa selkeyttä ja mahdollistaa muun liikenteen reagoinnin ja tarvittavat pysähtymiset annettaessa raitiovaunulle tietä. Raitiovaunut tuovat kiertoliittymään uuden aspektin, joka vaatii sen käyttäjiltä opettelua ja tottumista. Siksi liittymän tulee olla mahdollisimman helppo ja yksinkertainen käyttää. Tämä tarkoittaa esimerkiksi opastimien harkittua sijoittamista siten, että ne näkyvät hyvin eikä niiden tulkitsemisessa voi tulla erehtymisen vaaraa.

Jokaisessa esimerkkikaupungissa kiertoliittymän opastimet olivat hieman erilaiset. Helsingissä ja Lissabonissa käytössä on epätäydellinen ja Reimsissa täydellinen valo-ohjaus. Lissabonin opastin on tavallinen kolmiaukkoinen, kun taas Helsingissä on kolmionmuotoinen raitiovaunu- tai jokerivalo. Suositeltavinta on epätäydellisen valo-ohjauksen käyttäminen ja raitiovaunuvalo soveltuu tähän tarkoitukseen hyvin. Helsingin järjestelmästä poiketen Tampereelle olisi tarpeellista saada myös raitiovaunuille opastin, joka ilmoittaa kuljettajalle, että ilmaisu on saatu ja kiertoliittymän konfliktisuunnat ovat punaisella.

Kahden Hervannassa sijaitsevan kiertoliittymän kohdalla raitiovaunu ajaa sekakaistalla, yhdessä Lentävänniemessä sijaitsevassa liittymässä toisesta suunnasta tullessaan ja muuten omalla väylällään. Ulkomaisissa esimerkkikohteissa raitiovaunu tulee kiertoliittymään aina omaa väylää, mutta Helsingissä myös sekakaistalla. Tästä on seurauksena se, että raitiovaunun edellä samaa kaistaa tulevan henkilöauton kuljettajan on tiedostettava tilanne ja liityttävä kiertotilaan niin sanotusti samalla etuajo-oikeudella. Jos tämän jälkeen tuon henkilöauton ajolinja ylittää raiteet, on hänen pysähdyttävä. Näin ollen etenkin sekakaistaisen kiertoliittymän toimiminen vaatii riittävää kokoa, jotta liikenne on mahdollista ohjata järkevästi, turvallisesti ja tukkimatta raiteita. Hervannan kaksi nykyistä kiertoliittymää ovat pienempiä, kuin esimerkiksi kuvassa 30 oleva Asemapäällykönkadun kiertoliittymä Helsingissä, joten kyseisten liittymien kokoon on kiinnitettävä huomiota.

Suojatiet kiertoliittymässä ovat esimerkkikaupungeissa, Lissabonin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, valo-ohjaamattomia. Ranskan ohjeistuksissa valo-ohjaus on jopa kielletty. Tulee kuitenkin muistaa se, että Ranskassa raitiovaunulla ei ole väistämisvelvollisuutta suojatiellä, kun taas Suomessa on. Varman esteettömän kulun raitiovaunulle

voi siis taata Suomessa vain muuttamalla väistämisvelvollisuutta tai valo-ohjaamalla suoja- ja kiertoliittymissä. Luvussa 3.2.4.1 esitetyjen VAROVA-valojen soveltaminen kiertoliittymien kohdalla raiteiden ylitykseen voisi toimia riittävänä valo-ohjauksen muotona. Tuolloin valot ovat normaalisti pimeänä ja vain raitiovaunun kulkiessa kiertoliittymän läpi ne olisivat punaisella.

4.4.3 Etuustoiminto

Tampereen raitiotien liikennevaloetuuksien ehdottomana lähtökohtana on oltava raitiovaunun viiveetön kulku liittymien läpi. Täydellisiin 100 prosenttisiin nollaviive-etuuksiin on todennäköisesti mahdotonta päästä, mutta sen tulee olla tavoitteena. Lisäksi olisi kannattavaa priorisoida liittymään tulevat etuutta pyytävät ajoneuvot siten, että korkein prioriteetti on hälytysajoneuvoilla, tämän jälkeen raitiovaunuilla ja viimeisenä bussiliikenteellä.

Tampereen nykyinen GPS-paikannukseen ja 3G-yhteyteen perustuva bussien etuusjärjestelmä on toimiva ja se sisältää hyödyllisiä toimintoja. Tuon järjestelmän laajentaminen myös raitiovaunuille voisi olla perusteltu ratkaisu. Raitiovaunu tarvitsee kuitenkin myös fyysisiä ilmaisimia, jolloin yksi vaihtoehto Tampereen raitiotielle olisi omaksua Helsingin malli. Siinä GPS-pohjaisen ja bussien käyttämän etuusjärjestelmän lisäksi raitiovaunuilla on liittymissä fyysiset ilmaisimet käytössä.

Ulkomaisissa tutkimuskaupungeissa on niiden moderneissa järjestelmissä käytössä pelkästään kiinteisiin ilmaisimiin perustuva, lähempänä junaliikennettä oleva, kulunvalvontajärjestelmä. Raitiovaunuun ja raiteisiin asennetut antennit toimivat luotettavasti ja tiedonsiirto on kuituyhteydellä toimintavarmaa. Kiinteillä ilmaisimilla koko reitistä ja siellä kulkevista raitiovaunuista saadaan riittävästi tietoa.

GPS-paikannuksen ja 3G-yhteyden käyttö tuo mukanaan langatonta tiedonsiirtoa ja se on aina epävarmempaa muun muassa katvealueiden ja verkon ruuhkautumisen takia. Tästä syystä prioriteettina tulisi olla kiinteisiin antenni-ilmaisimiin perustuva seuranta-järjestelmä. Tätä voisi halutessaan laajentaa GPS-seurannalla, esimerkiksi matkustajainformaation tuottamiseksi ja varajärjestelmäksi. Ilmaisimissa erityisen tärkeää on, että kiinteät ilmaisimet tunnistavat niin raitiovaunun etu- kuin takapäänkin, jotta ilmaisimien tietää koska vaunu on tullut ilmaisimen päälle ja lähtenyt siitä. Edinburghissa ongelmia on tuottanut nimenomaan tämän toiminnon puuttuminen ilmaisimista.

Liikennevaloetuuksien toteutuksessa on tärkeää, että ilmaisut saadaan ajoissa ja tarpeeksi etäältä liittymästä. Lähekkäin olevien liittymien tapauksessa tulisi pyrkiä ennustamaan raitiovaunun liikettä ja muokkaamaan monen liittymän valokiertoja samanaikaisesti vihreän aallon muodostamiseksi raitiovaunulle. Helsingissä tätä ongelmaa ei ole kyetty ratkaisemaan ja tuloksena raitiovaunun kulku on hidasta.

5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMIÄ

Tässä diplomityössä on tutkittu raitiotien ja liikennevalojärjestelmän yhteyttä. Lopputulokseen pääsemiseksi, työssä on tutkittu neljän eri esimerkkikaupungin raitiotiejärjestelmien liikennevalo-ohjausta. Kyseiset kaupungit ovat Helsinki, Ranskan Reims, Portugalin Lissabon ja Skotlannin Edinburgh. Lopuksi tutkittujen kaupunkien esimerkkien avulla on hahmoteltu periaatteita ja tekniikoita, joita tulisi soveltaa Tampereelle suunnitellussa raitiotiessä. Kaupunkien raidejärjestelmien tunnuslukuja on koottu taulukkoon kaksi.

Taulukko 2 Tutkittujen kaupunkien raitiotiejärjestelmien tunnuslukuja

	Raitiotien pituus (km)	Pysäkki- väli (m)	Liikennevalo- liittymien lkm	Sekaliikenne- kaista (%)	Keskinopeus (km/h)
Helsinki	48	350	168	38	14,7
Reims	11,2	500	33	5	19
Lissabon	13,5	500	26	0	22
Edinburgh	14	1000	25	2	21
Tampere (yleis- suunnitelman mukaan)	23,3	600	51	18	19-22

Kuten taulukosta on nähtävissä, ulkomaiset erimerkkikaupungit ovat tunnusluvuiltaan samankaltaisia. Erityisen tärkeää on huomata, että sekaliikennekaistan osuus on jokaisessa pieni. Edinburgh poikkeaa pysäkkivälillään muista ulkomaisista kohteista. Helsinki eroaa selvästi joukosta jokaisella osa-alueella. Tämän työn aihepiirin kannalta huomionarvoista on alhainen pysäkkiväli, sekaliikennekaistan suuri osuus ja hidas keskinopeus. Tampereen suunniteltu raitiotie on pidempi kuin ulkomaiset kohteet, mutta liikennevaloliittymien lukumäärä on suhteellisesti samaa tasoa verrattaessa reitin pituuteen. Sekaliikennekaistan osuus on suurempi kuin ulkomaisissa kohteissa, mutta selvästi parempi kuin Helsingissä. Tavoiteltu keskinopeus on ulkomaisten esimerkkien tasolla.

Yleisesti ottaen on selvästi huomattavissa, että Helsingin raitiotiejärjestelmä on vanha, kun taas muissa kaupungeissa järjestelmät on rakennettu 2000-luvulla. Uusissa järjestelmissä on päästy suunnittelemaan alusta asti hyvien periaatteiden mukaisesti siten, että raitiotie on mahdollisimman paljon omalla väylällään ja reitti kulkee osin välttämättä pahimpia liittymiä. Myös tekniikka on joka suhteessa parempaa uusissa järjestelmissä. Liikennevaloetuet, ja muutenkin kulunvalvonta sekä matkustajainformaatio yleisesti, ovat olleet uusissa järjestelmissä toteutuksessa mukana alusta asti. Helsingissä on jouduttu valmiiseen järjestelmään suunnittelemaan ilmaisimia ja tietojärjestelmiä, jolloin kokonaisuudesta tulee väistämättä ”päälle liimatun” oloinen. Lisäksi ilmaisuteknologia

alkaa olla Helsingissä vanhentunutta ja toiminnaltaan epävarmaa, eivätkä ilmaisimet pysty esimerkiksi tunnistamaan raitiovaunuja tarkasti tai erottamaan niitä toisistaan.

Raitiotien suunnittelu liikennevalojärjestelmän toiminnan kannalta tulee aloittaa jo reittiä ja linjausta suunniteltaessa. Reitti tulee suunnitella siten, että raitiovaunu pääsee mahdollisimman paljon liikkumaan omalla väylällä ja mahdollisesti kiertämään suuria liittymiä. Raitiovaunun liikkuminen omalla väylällä helpottaa sen ajamista huomattavasti myös liittymissä. Raitiovaunun kulku on ennustettavampaa ja täsmällisempää omalla väylällä, jolloin liikennevaloetuksien järjestäminen ja liikennöinti yleisestikin helpottuu. Lisäksi minimivaatimuksena on se, että edes liittymään raitiovaunu pääsisi omalla väylällä. Tällöin raitiovaunun ei tarvitse jonottaa liikennevaloissa ja liikennevaloetus voi olla kestoaltaan lyhyempi.

Esimerkkikaupungeista erinomaisena liikennevalo-ohjauksen periaatteena kannattaa nostaa Ranskassa käytössä oleva lisäopastin. Sen avulla pystytään välittämään raitiovaunun kuljettajalle paljon informaatiota, joka helpottaa ajamista ja tekee siitä joustavampaa. Lisäopastimen avulla kuljettaja tietää liikennevaloetusjärjestelmän toimivan ja sen, että ilmaisu on tullut. Vilkkuva huutomerkki kertoo kolmen sekunnin päästä tulevasta ajoluvasta, joka auttaa suhteuttamaan nopeuden oikeaksi liittymää lähestyttäessä tai pysäkille pysähtyneen raitiovaunun liikkeellelähdön ajoittamisessa.

Ilmaisimet ovat tärkeä osa toimivaa liikennevalojärjestelmää. Niiden avulla tunnistetaan raitiovaunut ja yksilöidään ne, sekä havaitaan esimerkiksi niiden liikkeet pysäkeillä. Tärkeitä ominaisuuksia, joita ilmaisimissa tulisi olla, on niiden luotettavuus ja kyky keskustella siten, että raitiovaunut tunnistetaan tarkasti ja yksilöllisesti. Niiden tulisi pystyä tunnistamaan raitiovaunun tulo ja lähtö, jotta pysäkille pysähtyneen raitiovaunun lähteminen pystytään huomioimaan tai järjestelmä tunnistaisi vaunun jumiutumisen liittymään. Olisi myös hyvä, jos raiteissa olevista tunnistimista osa pystyy havaitsemaan sellaisiakin raitiovaunuja, joilla ei ole antennia tai se on rikki.

Tampereen tulevaa raitiotiejärjestelmää päästään rakentamaan varsin hyvistä lähtökohdista. On luonnollista, että keskustassa tulee vaikeita liittymiä ja haastavia kadunpätkiä, mutta ero Helsingin raitiotiehen on huomattava. Lisäksi koko järjestelmä rakennetaan alusta, jolloin vastaavia painolasteja kuin Helsingissä ei ole. Linjaukseltaan Tampereen raitiotie voisi olla vieläkin parempi, ainakin tarkasteltuna puhtaasti tämän diplomityön näkökulmasta, koska sekaliikennekaistan osuus on moninkertaisesti korkeampi kuin ulkomaisissa esimerkkikaupungeissa. Paasikiventien linjauksen valitseminen helpotti kuitenkin huomattavasti, koska se säästi raitiotien Pispalan valtatie sekakaistaosuusilta ja useilta liikennevaloliittymiltä. Kaikeksen lähtökohdat ovat erinomaiset rakentaa täysin toimiva raitiotiejärjestelmä Tampereelle. Vaikka haasteita toki on, tekniset työkalut ovat esimerkkikaupunkien perusteella olemassa sujuvan ja viiveettömän kulun toteuttamiseksi, loppu on politiikkaa.

LÄHTEET

Akcil, L., Kurtkaya, M., Dagli, M., Ozmal, K. 2013. An RFID Supported Train Tracking System for Tram Lines.

Alameri, M. 1987. Johdinautokaupunki Tampere 1948-1976. Suomen Raitiotieseura ry. [WWW]. [Viitattu 14.4.2014].
Saataavissa: <http://www.raitio.org/trolley/tampere/tpelinja.htm>

Alku, A. 2002. Raitiovaunu tulee taas. 104s.

Alku, A. 2014. Kaupunkien raideliikennejärjestelmät. Joukkoliikennejärjestelmät TLO-25030 opintojakson kalvosarja 25.3.2014.

Alkutieto Oy. 2008. Perustietoa joukkoliikenteestä. [WWW]. [Viitattu 7.2.2014]. Saataavissa: <http://www.alkutieto.fi/Perustieto.htm#uusi>

Alstom. 2012a. RSG sub-system. AL SUFOUH Transit System Project Design & Build Contractor Consortium. Julkaisematon lähde.

Alstom. 2012b. RSG project progressing technical issues presentation. AL SUFOUH Transit System Project Design & Build Contractor Consortium. Julkaisematon lähde.

Boddice, R. 2011. Anthropocentrism: Humans, Animals, Environments. 348s.

Citura. Le voyage - Les horaires | Transports Urbains de Reims. 2014. [WWW]. [Viitattu 11.2.2014]. Saataavissa: <http://www.citura.fr/le-voyage/les-horaires/>

Clerinx, B., Fabris, A. 2012. Le tramway de Reims. Un exemple pour le tram liégeois. Université de Liege.

Cornell Brown Penn. 2014. Getting to Edinburgh | Cornell Brown Penn. [WWW]. [Viitattu 20.5.2014]. Saataavissa: <http://www.cornell-brown-penn.ac.uk/getting-to-edinburgh>

Department for Transport (DfT). 2003. Public Transport Priority. Traffic Advisory Leaflet, ITS 5/03. Department for Transport, London. 6 s.

Edinburgh Trams. 2014. Home – Edinburgh Trams. [WWW]. [Viitattu 30.5.2014]. Saataavissa: <http://edinburghtrams.com/>

Edinburgh Trams. 2014b. Tram Route Map and Stops - Edinburgh Trams. [WWW]. [Viitattu 2.6.2014]. Saataavissa: <http://edinburghtrams.com/plan-a-journey/route-map>

European Metropolitan Transport Authorities (EMTA). 2009. Lisbon. Identification of metropolitan area. [WWW]. [Viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: <http://www.emta.com/spip.php?article40>

FINLEX ® - Säädökset alkuperäisinä: 1012/2001. 2001. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus tieliikenteen liikennevaloista. [WWW]. [Viitattu 7.2.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20011012>

FINLEX ® - Ajantasainen lainsäädäntö: 5.3.1982/182. 1982. Tieliikenneasetus. [WWW]. [Viitattu 7.2.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1982/19820182#L4>

Futuralmada. 2007. Algo necessário em todas as cidades: Semaforização “inteligente”. [WWW]. [Viitattu 4.6.2014]. Saatavissa: <http://futuralmada.blogs.sapo.pt/7157.html>

Google maps. 2014. [WWW]. [Viitattu 7.2.2014]. Saatavissa: maps.google.fi

Hallworth, B. 2013. Strategic Priority – Buses, Trams and Fire. 13s.

Hallworth, B. 2013b. Edinburgh trams. SPRUCE (STM) expectations report. 26s. Julkaisematon lähde.

Haudebourg, V. 2013. Mort de l'ancien secrétaire d'Etat aux Transports Marcel Cavaillé. [WWW]. [Viitattu 28.6.2014]. Saatavissa: <http://france3-regions.francetvinfo.fr/midi-pyrenees/2013/02/15/mort-de-l-ancien-secretaire-d-etat-aux-transports-marcel-cavaille-200747.html>

Helsingin kaupunki. 2014. Yleistietoa Helsingistä. [WWW]. [Viitattu 28.3.2014]. Saatavissa: http://www.hel.fi/hki/Helsinki/fi/Helsinki-tietoa+ja+linkkej_

Helsingin kaupunki. 2014b. Karttapalvelu. [WWW]. [Viitattu 16.4.2014]. Saatavissa: <http://kartta.hel.fi/#>

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto (KSV), liikennesuunnitteluosasto. 2008. Asemapäällikönkatu/Ratamestarinkatu -liikennevalosuunnitelma. Risteysnumero 364. Julkaisematon lähde.

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto (KSV), liikennesuunnitteluosasto. 2009. Munkkiniemen puistotie/Kadetintie/Solnantie -liikennevalosuunnitelma. Risteysnumero 905. Julkaisematon lähde.

HKL. 2013. HKL- Raitioliikenne, radat. [WWW]. [Viitattu 12.6.2014]. Saatavissa: <http://www.hel.fi/hki/HKL/fi/HKL-Raitioliikenne/Radat>

HSL. 2012. Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämisohjelma. HSL:n julkaisuja 11/2012.

HSL. 2013. Liikkumistutkimuksen tulokset, lehdistötilaisuuden esitys 27.8.2013. [WWW]. [Viitattu 28.3.2014]. Saatavissa: http://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/liikkumistutkimuksen_keskeiset_tulokset_2012_pressitilaisuus_2013-08-27_final.pdf

HSL. 2013b. Raitiolinjojen 2,3 ja 7 kehittämissuunnitelma. HSL:n julkaisuja 24/2013.

HSL. 2014. Raitioliikenteen linjastosuunnitelma 2014-2024, luonnos 17.3.2014. [WWW]. [Viitattu 28.3.2014]. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/raili_raporttiluonnos_2014-03-17.pdf

Inkiläinen, J. 2012. Reaaliaikainen matkustajainformaatiojärjestelmä. Etuuksien vaikutukset linja-autoliikenteen matkustaja-aikapoikkeamiin. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö.

Konsult. 2009. Urban traffic control systems. University of Leeds. [WWW]. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: http://www.konsult.leeds.ac.uk/private/level2/instruments/instrument014/l2_014c.htm#a

Kuorikoski, P. 2014. Tampereen raitiotien ensimmäisen vaiheen yleissuunnitelma. Yleisötilaisuus 19.2.2014, kalvoesitys. Ramboll. [WWW]. [Viitattu 26.6.2014]. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/material/attachments/r/6NYLMEdor/kaupunkiraitiotiesittely190214.pdf>

Kuukka-Ruotsalainen, V., Airaksinen, S., Lehmuskoski, M., Musto, M., Murole, P. 2007. Joukkoliikenteen nopeuttaminen keskeisenä kilpailutekijänä. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintö ja muistioita 53/2007. [WWW]. [Viitattu 6.5.2014]. Saatavissa: www.lvm.fi/files/LVM53_2007.pdf

Laaksonen, M. 2008. Miksi raitiovaunu on suositumpi kuin bussi?. [WWW]. [Viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: http://www.kaupunkiliikenne.net/Ratikka_ja_bussi.htm

Laaksonen, M. 2003. Joukkoliikennelinjan talouden parantaminen. [WWW]. [Viitattu 1.4.2014]. Saatavissa: http://www.kaupunkiliikenne.net/talouden_parannus.htm

Laaksonen, T., Räsänen, S. Helsingin seudun liikenteen suunnittelijat. Haastattelu 18.3.2014.

Letbanen. 2014. PQ Signalling System - Aarhus Letbane. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014]. Saatavissa: <http://www.letbanen.dk/nyheder/2014/pq-signalling-system/>

Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM). 2012. Kilpailukykyä ja hyvinvointia vastuullisella liikenteellä. Valtioneuvoston liikennepoliittinen selonteko eduskunnalle 2012. [WWW]. [Viitattu 7.2.2014]. Saatavissa: <http://www.hare.vn.fi/upload/Julkaisut/17748/670671812912207.PDF>

Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM). 2013. Tieliikennelaki ajan tasalle. Tiedote. [WWW]. [Viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/tiedote/4151393/tieliikennelaki-ajan-tasalle>

Lehtonen, M., Anttila, V., Koskinen, O., Kulmala, R., Pajunen-Muhonen, H., Pesonen, H., Rintanen, J., Ristola, T. 2001. Liikennevaloetuuksien ja ajantasaisen tiedotuksen vaikutukset raitiolinjalla 4 ja bussilinjalla 23 Helsingissä. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintöjä ja muistioita B41/2001. [WWW]. [Viitattu 20.2.2014]. Saatavissa: http://www.transportal.fi/Hankkeet/tetra/TETRA/H5/t5_06.pdf

Långström, L., Sane, K. 2007. Raitiokiskojen ylityksen ohjaaminen liikennevaloissa. Julkaisematon lähde.

Luttinen, R.T., Ojala, J. 2006. Liikenteen ohjaus. Liikennetekniikan seminaari 2004-2005. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka, julkaisu 108. 214s.

Menetrix, L. 2010. Tram Accidents' Analysis – France. 20s.

Moore, J.E., MacCarley, C.A., Mattingly, S.P., McNally, M.G. 2005. Anaheim advanced traffic control system field operational test: Technical evaluation of SCOOT. Transportation Planning & Technology, Vol. 28 Issue 6, s465-482

Myyryläinen, T. 2013. Informaatiojärjestelmä. Itä-Suomen liikennejärjestelmäpäivät 2013 -esitysmateriaali 30.10.2013. Tampereen joukkoliikenne. [WWW]. [Viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: http://www.pohjois-savo.fi/fi/psl/seminarit/liitteet/LJS13/16_MYYRYLAeINEN_Tero.ppt

Mäenpää, M., Tuovinen, P. 2014. Toimistopäällikkö ja liikenneinsinööri. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennevalotoimisto. Haastattelu 18.3.2014.

Nash, A.B., Sylvia, R. 2001. Implementation of Zürich's Transit Priority Program, Mineta Transportation Institute, San Jose State University, USA.

Oinas, J. 2000. Joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien suunnitteluohje – JOLIVA 2000. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintöjä ja muistioita.

P3T3 Wiki. 2013. Case Studies: Metro Sul do Tejo. [WWW]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavissa: http://www.ppptransport.eu/wiki/index.php/Case_Studies:_Metro_Sul_do_Tejo

Parsons Brinckerhoff Ltd. 2011. Tram Detection Positioning Technical Note. Edinburgh Tram Network. 26s. Julkaisematon lähde.

Phot-image. 2009. Carte postale ancienne - 237 - TRANSPORT - Tramway -Traction animale. [WWW]. [Viitattu 7.5.2014]. Saatavissa: <http://angor.blogzoom.fr/393504/Carte-postale-ancienne-237-TRANSPORT-Tramway-Traction-animale/>

Pina, C. 2013. Lisbon metropolitan area spatial planning. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDRLVT). [WWW]. [Viitattu 19.5.2014]. Saatavissa: <http://www.ccdr-lvt.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.ccdr-lvt.pt/files/04187bf01133dec63c4ce6cbe9ed364b9cbe1ffc.pdf&fileDesc=Lisbon-Metropolitan-Area-Spatial-Planningpdf>

Raideprojektiryhmä. 2004. Raideprojektin raportti 2004. Rataverkon hyödyntäminen Tampereen kaupunkiseudun joukkoliikenteessä. 56s.

Rantala, T. 2012. Valtion rooli joukkoliikenteen edistäjänä Ranskassa ja Sveitsissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos. 67s.

Rieg, J. 2014. Big Data et Nouvelles Mibolités. [WWW]. [Viitattu 10.6.2014]. Saatavissa: <http://actions-incidentives.ifsttar.fr/fileadmin/uploads/recherches/geri/ntic/NTIC20/J.Rieg-Chronos.pdf>

Räty, L. 2014. Helsingin seudun liikenteen joukkoliikennesuunnittelija. Haastattelu 18.3.2014.

Salonen, M. 2010. Joukkoliikenteen valoetuuksien toteuttaminen SYVARI-ohjauksella.

Sane, K. 2011. Jenka – joukkoliikenne etuudet jokaiseen kaupunkiin, loppuraportti.

Sane, K. 2014. WWW-sivusto Liikennevalot.info ylläpitäjä. [WWW]. [Viitattu 7.2.2014]. Saatavissa: <http://www.liikennevalot.info>

Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports guidés (STRMTG). 2008. Giratoires et tramway. Franchissement d'un carrefour giratoire par une ligne de tramway. Guide de conception. 30s.

Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports guidés (STRMTG). 2009. Signal d'Aide à la Conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé. Principes de fonctionnement et de sécurisation. 19s.

Siemens. 2003. System engineering. Operations concept TEC-E-01B. 118s. Julkaisematon lähde.

Siemens. 2009. Technical Proposal for ST900 LRT Facility. Part no. 667/BT/32929/000. 23s. Julkaisematon lähde.

Siemens. 2010. Imu 100 inductive transmission system. Efficient and reliable rail operations. 10s.

Sihvola, T. 2001. Tampereen SPOT-toimivuustutkimus. TKK, Liikennelaboratorio

Sirkiä, H. 2003. Hyvästi ny sitt – Raitsikat: Turun raitiovaunuliikenteen lakkautus 1961-1972. Pro gradu –tutkielma. Turun yliopisto.

Suomen Paikallisliikenneliitto ry (PLL). 2008. Bussiliikenteen infrakortti no 10. [WWW]. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavissa: www.paikallisliikenneliitto.com/liitteet/infrakortti_10.pdf

Tampereen kaupungin liikkennelaitos (TKL), Tampereen kaupunki, Tielaitos/Hämeen tiepiiri, Liikenneministeriö. 1999. Tampereen paikallisliikenteen hallintajärjestelmä 2002. Rakennussuunnitelma.

Tampereen kaupunki. 2011. Valo-ohjauksen periaatteita. [WWW]. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/liikennejakadut/liikenteenohjaus/liikennevalot/valoohjauksenperiaatteita.html>

Tampereen kaupunki. 2011b. Historiaa. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014]. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/liikennejakadut/liikenteenohjaus/liikennevalot/historiaa.html>

Tampereen kaupunki. 2011c. Tampereen moderni kaupunkiraitiotie, Hervanta-Keskusta-Lentävänniemi, alustava yleissuunnitelma. 34s.

Tampereen kaupunki. 2011d. Valtuusto näytti vihreää valoa kaupunkiraitiotien jatko-suunnittelulle. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014]. Saatavissa:

<http://www.tampere.fi/tampereinfo/viestinta/tiedotteet/2011/63ssnPrR6.html>

Tampereen kaupunki. 2012. Tampere ja Turku ovat valinneet raitiotiesuunnittelijan. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014]. Saatavissa:

<http://www.tampere.fi/tampereinfo/viestinta/tiedotteet/2012/6Cngzn7QK.html>

Tampereen kaupunki. 2013. Alustavat vaihtoehdot. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014].

Saatavissa:

http://www.tampere.fi/liikennejakadut/projektit/kaupunkiraitiotie/aiemmasuunnitteluva_iheet/alustavatvaihtoehdot.html

Tampereen kaupunki. 2013b. Valtuusto hyväksyi kaupunkiraitiotien linjauksen suunnittelun pohjaksi. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014]. Saatavissa:

<http://www.tampere.fi/tampereinfo/viestinta/tiedotteet/2013/6HS3filDw.html>

Tampereen kaupunki. 2014. Valitut vaihtoehdot. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014].

Saatavissa:

http://www.tampere.fi/liikennejakadut/projektit/kaupunkiraitiotie/aiemmasuunnitteluva_iheet/valitutvaihtoehdot.html

Tampereen kaupunki. 2014b. Tampereen raitiotie, yleissuunnitelma. 96s.

Tampereen kaupunki. 2014c. Hämeenkadun yleissuunnitelma, luonnos 12.5.2014. 43s.

Tampereen kaupunki 2014d. Tampereen raitiotie, yleissuunnitelma. Lehdistöinfo, raportin julkaiseminen 24.4.2014 klo 9.00. [WWW]. [Viitattu 5.6.2014]. Saatavissa:

http://www.tampere.fi/material/attachments/e/zHrvosXsq/tampereenraitiotieinfo_240414.pdf

Tampereen kaupunkiseutu. 2010. TASE 2025 – kehittämisohjelma. Raportti. [WWW]. [Viitattu 22.4.2014]. Saatavissa:

http://www.tampereenseutu.fi/@Bin/1830555/68%a7_TASE+kehitt%C3%A4misohjelma+2030_SH_26_5.pdf

Tiehallinto. 2005. Liikennevalojen suunnittelu, LIVASU. [WWW]. [Viitattu 16.2.2014]. Saatavissa:

alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100040-v-05liik_valoj_suunn_liva.pdf

TKK. 2009. Jalankulkijoiden valo-ohjaus raitiovaunusuojateillä (VAROVA). Yhteenve-to tuloksista.

Toscano, E. 2009. Kuva blogista. [WWW]. [Viitattu 21.5.2014]. Saatavissa: http://metoscano.blogspot.fi/2009_06_01_archive.html

Traficon. 2014. Tampereen kaupungin liikennevalojen yleissuunnitelma. 164s.

Tramway information. 2008. French Tramway Systems. Gauges and Dates. [WWW]. [Viitattu 21.5.2014]. Saatavissa: <http://www.tramwayinfo.com/Tramframe.htm?http://www.tramwayinfo.com/Frenchsy.htm>

Trams for Edinburgh. 2006. Tram facts. [WWW]. [Viitattu 23.5.2014]. Saatavissa Internet-arkistosta: http://web.archive.org/web/20111006195903/http://www.edinburghtrams.com/include/uploads/story_so_far/Tram_Factsheets_2.pdf

Van den Berg, M., Hegyi, A., De Shutter, B., Hellendoorn, H. 2007. Integrated traffic control for mixed urban and freeway networks: A model predictive control approach. *EJTIR*, 7, no. 3 (2007), pp. 223-250

Ville de Rennes. 2012. Rennes d'hier à aujourd'hui... [WWW]. [Viitattu 7.5.2014]. Saatavissa: <http://metropole.rennes.fr/actualites/les-themes/loisirs/rennes-d-hier-a-aujourd-hui/>

Väisänen, I. 2014. Tiedottaja. Helsingin ja Uudenmaan Näkövammaiset ry. Sähköposti-viesti 12.6.2014

Wikipedia. 2014. Tramway de Reims. [WWW]. [Viitattu 25.2.2014]. Saatavissa: http://fr.wikipedia.org/wiki/Tramway_de_Reims

Wikipedia. 2014b. Helsingin raitioliikenne. [WWW]. [Viitattu 28.3.2014]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Helsingin_raitioliikenne

Wikipedia. 2014c. Edinburgh Trams. [WWW]. [Viitattu 11.6.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Edinburgh_Trms