

**PIKARAITIOTIEN LIITTYMÄALUEIDEN OHJAUSPERIAATTEIDEN
VAIKUTUS MATKA-AIKAAN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Liikenneala, insinööri (AMK), Riihimäen kampus

Kevät, 2021

Ville Penttinen

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin pikaraitiotien liittymäalueiden ohjausperiaatteiden vaikutusta matka-aikaan. Tutkimusta varten haastateltiin useita liikennealan asiantuntijoita ja perehdyttiin aihetta koskeviin tutkimuksiin ja muihin kirjallisiin lähteisiin.

Tutkimuksessa selvitettiin, miten eri liittymätyypit ja niiden ohjaustavat vaikuttavat matka-aikaan. Ohjausperiaatteiden vaikutusten lisäksi tutkittiin, mitkä muut tekijät vaikuttavat matka-aikaan. Tutkimuksessa nousi esiin matka-ajan hajonta, jonka todettiin olevan joukkoliikenteen suunnittelun, aikataulujen laadinnan ja matkustajan kannalta tärkein asia. Hajonnan todettiin usein myös olevan ristiriidassa matka-ajan minimoimisen kanssa. Lisäksi todettiin, että kuljettajan ajotavoilla on merkitystä matka-aikaan ja sen hajontaan.

Tutkimuksen johtopäätös on, että matka-aikaan vaikuttavia ratkaisuja on aina syytä tarkastella myös matka-ajan hajonnan kannalta. Liikennevalo-ohjauksella voidaan luoda liittyymiin toistettava ja ennalta-arvattava tilanne, jolloin matka-ajan hajonta pienenee. Toimivien joukkoliikenne-etuuksien avulla pikaraitiovaunu saadaan ylittämään liittymä mahdollisimman nopeasti. Työn suosituksissa todetaan, että pikaraitiotien suunnittelussa tulee minimoida liittymät, suosia liikennevalo-ohjausta ja käyttää ylityspaikkoja suojateiden sijaan, jotta matka-aikaa ja matka-ajan hajontaa saadaan minimoitua.

Avainsanat Liikennevalot, liittymät, matka-aika, ohjausperiaatteet, pikaraitiotie

Sivut 73 sivua

Author	Ville Penttinen	Year 2021
Subject	Effects of control principles of light rail intersection areas on travel time	
Supervisors	Pauliina Kuronen (HAMK), Antti Mustaniemi (Ramboll)	

ABSTRACT

In this thesis was investigated effects of control principles of light rail intersection areas on travel time were examined. In this project several traffic and transport experts were interviewed and reviewed relevant studies and other literature in the field studied as well.

In this project it was examined how different types of junctions and their control methods affected the travel time. In addition to the effects of the control principles, other factors that are significant to travel time were examined. In the study it was found that the most important issue for public transport planning and scheduling and for the passengers was variance of travel time. Variance of travel time was also often found to conflict with travel time minimisation. In addition, the LRV driver was found to play a role in travel time and its variance.

In conclusion, it is stated in this thesis that solutions that affecting travel time should always be considered in terms of travel time variance. Traffic light control can be used to create a reproducible and predictable situation at junctions, which reduces the variance of travel time. Effective public transport prioritising makes the light rail tram cross the junction as quickly as possible. The recommendations of this thesis are that the design of the light rail should minimise the junctions, favor traffic light control and use level crossings instead of a crosswalk to reduce travel time and minimise travel time variance.

Keywords Control principles, junctions, light rail, traffic lights, travel time

Pages 73 pages

Sisällys

Termit ja käsitteet.....	
1 Johdanto	1
2 Kruunusillat.....	2
2.1 Hanke	2
2.2 Avaintulosalueiden mittarit	3
2.2.1 Kustannusohjaus	4
2.2.2 Vastuullisuus	4
2.2.3 Julkisuuskuva.....	5
2.2.4 Matka-aika.....	6
3 Pikaraitiotien ja liikennevalojen teoria.....	7
3.1 Pikaraitiotie	7
3.2 Liikenneturvallisuus	7
3.2.1 Raideliikenneonnettomuudet	8
3.2.2 Jalankulkijan onnettomuudet	9
3.3 Raitioteiden liikennevalo-ohjaus	10
3.3.1 Opastimet.....	10
3.3.2 Ilmaisimet.....	20
3.3.3 Ohjaustavat	24
3.4 Liikennevaloetuudet	29
3.4.1 Liikennevaloetuudet Suomessa	29
3.4.2 Joukkoliikenne-etuuden luontitavat	30
4 Ohjausperiaatteiden vaikutukset matka-aikaan	31
4.1 Liittymätyypit	32
4.1.1 Valo-ohjattu risteys	32
4.1.2 Osittain ohjattu risteys.....	33
4.1.3 Ohjaamaton risteys	35
4.1.4 Shared Space (yhteinen tila)	36
4.1.5 Kiertoliittymät	37
4.1.6 Suojatiet	38
4.1.7 Ylityspaikat	39
4.2 Liittymien ohjaustavat	42
4.3 Matkanopeus ja rakenteelliset tekijät	44
5 Muut matka-ajan kannalta merkittävät tekijät	46

5.1	Luotettavuus ja täsmällisyys	47
5.2	Kuljettajan näkökulma	49
5.2.1	Kuljettajakoulutus	49
5.2.2	Näkemät ja muut ajamiseen vaikuttavat asiat	50
5.2.3	Muut ajamiseen vaikuttavat tekijät	51
5.3	Työn aikana esiin nousseet muut seikat	52
5.3.1	Matkustajan näkökulma.....	52
5.3.2	Etuusjärjestelmän toiminnan seuranta.....	54
6	Kokemukset ja toimintatavat muissa hankkeissa	55
6.1	Tampereen Ratikka	55
6.1.1	Suunnittelu	55
6.1.2	Simuloinnit ja koeajot	57
6.2	Raide-Jokeri.....	59
6.3	Havaintoja pikaraitioteistä ulkomailta	59
6.3.1	Saksa.....	60
6.3.2	Ranska	61
6.3.3	Norja.....	63
6.3.4	Ruotsi.....	64
7	Tutkimuksen tulokset	65
7.1	Johtopäätökset.....	66
7.2	Suositukseset	68
	Lähteet.....	70

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Kruunusillat yleiskartta (Kruunusillat, 2018).	3
Kuva 2. Kruunusillat hankkeen matka-aikakartta (Kruunusillat, 2018).....	6
Kuva 3. Liikennevalo Kaivokadulla.	10
Kuva 4. Ajoneuvoliikenteen kolmiväriopastimen sekvenssikaavio.	11
Kuva 5. Ajoneuvo-opastimet (Liikennevirasto, 2017 s. 58).	12
Kuva 6. Kaksiaukkoisen opastimen sekvenssikaavio.	12
Kuva 7. Jokerivalo Aleksis Kiven kadulla.....	13
Kuva 8. Jokerivalon sekvenssikaavio (Liikennevalot.info, n.d.-a).....	14
Kuva 9. Joukkoliikenneopastimen sekvenssikaavio.	14

Kuva 10. Neliaukkoinen raitiovaunuopastin Tampereella.	15
Kuva 11. Raitiovaunuopastin etuusvalolla (Ramboll, sisäinen materiaali).	15
Kuva 12. Raitiovaunun info-opastimen sekvenssikaavio (Ramboll, sisäinen materiaali).	16
Kuva 13. Jalankulkuopastin.	17
Kuva 14. Polkupyöräopastin (Laki tieliikennelain muuttamisesta, 1040/2020 Liite 2 § 9).	18
Kuva 15. VAROVA-opastin (Liikennevalot.info, n.d.-b)	18
Kuva 16. OIVA-liikennevalojen sekvenssikaavio (Liikennevalot.info, n.d.-c).	19
Kuva 17. Huomiovalojen käyttöä Hakaniemessä.	20
Kuva 18. Vihreän aallon periaate (Liikennevalot.info n.d.-e).	25
Kuva 19. Synkronoidun vaiheringin rakenne (Salonen, 2010).	26
Kuva 20. Joukkoliikenteen etuusikkunat (Liikennevalot.info n.d.-f).	31
Kuva 21. Ylityspaikan porrastus (Raitioliikenteen suunnitteluohje, 2021).	41
Kuva 22. Z-ylityspaikka (Besier, sisäinen koulutusmateriaali).	42
Kuva 23. Nuolikartta raitiotiehankkeen päätösten vaikutuksista (Ramboll, sisäinen materiaali).	45
Kuva 24. Stuttgartin T-apuopastimen toiminta (Citytransport.info, 2013).	61
Kuva 25. Erilaisia SAC-lisäopastimia Ranskasta (Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés, 2009).	62
Kuva 26. Opastimien signaalikaavio (Hakala, 2014).	63
Kuva 27. Bergenin Bjørnsons gaten ja Inndalsveienin risteys (Google Earth, n.d.).	64
Kuva 28. Tvärbananin ylityspaikka (Räty, 2021).	65
 Taulukko 1. Raitiovaunujen yhteenajot vuonna 2019 (HKL, 2021).	8
Taulukko 2. Raitiovaunujen yhteenajot vuonna 2020 (HKL, 2021).	8

Termit ja käsitteet

Ajoneuvo-opastin: Ajoneuvoliikenteen ohjaukseen käytettävä liikennevalo-opastin.

Ajoneuvo-opastimessa voi olla yksi, kaksi tai kolme valoaukkoa.

Aukiajo: Ajamista vaihteeseen myötävaihteen suunnasta siten, että vaihde on eri asennossa tulosuuntaan nähden. Tällöin raiteella liikkuva kalusto avaa kiinni olevan vaihteen kielen liikkeen suuntaiseksi.

Aukiajonopeus: Vaihteen valmistajan teknisesti sallimaa suurinta nopeutta aukiajolle.

Avaintulosaluemittari / ATA-mittari: Allianssin avaintulosaluemittari, joka toimii kannustinjärjestelmänä ohjaten allianssia tilaajan tavoitteiden saavuttamiseksi.

Erillisohjaus: Liittymän liikennevalojen toimintaa ei ole kytketty muiden liikennevalojen toimintaan. Erillisohjauksessa kiertoaika on yleensä muuttuva.

Jalankulkijaopastin: Suojatietä käyttävän jalankulku- ja polkupyöräliikenteen ohjaukseen tarkoitettu opastin. Jalankulkijaopastimessa on kaksi valoaukkoa.

Joukkoliikenne-etuus: Järjestely, jolla pyritään vähentämään linja-autojen tai raitiovaunujen viivytyksiä ja pysähdyksiä liikennevaloissa. Etuus voidaan toteuttaa joko fyysisin järjestelyin (oma kaista, liikennevalojen ohitus) tai ajoitusteknisin järjestelyin (esim. vihreän pidennys, vihreän aiennus joukkoliikenteen pyynnöstä).

KAS-vaihe: Allianssin kehitysvaihe, jossa tuotetaan sisältö, kustannukset, aikataulu ja suunnitelmat.

Kierto / valokierto / jakso: Valo-ohjelman kierron aikana jokainen opastinryhmä vaihtuu vihreäksi vähintään yhden kerran.

Kiertoaika / jakson pituus: Kierron ajallinen kesto (s). Kierron pituus voi olla kiinteä tai muuttuva (vrt. yhteenkytkentä / erillisohjaus).

Konfliktiryhmät: Opastinryhmät, jotka eivät liikenneturvallisuussyistä voi näyttää vihreää valoa samanaikaisesti.

Kruunusillat: Raitiotiehanke Helsingin keskustan ja Laajasalon välillä.

Liikennevalojen lepotila: Liikennevalojen eri opastinryhmien tila silloin, kun liittymän millään opastinryhmällä ei ole vihreän tarvetta.

Liittymäväli: Liittymän tulosuunnan suoraan jatkavan liikenteen pysäytysviivalta seuraavan liittymän vastaavan tulosuunnan pysäytysviivalle mitattu matka metreinä.

Lisäopastin: Nuolen muotoista opastinkuvaa näyttävä yksi- tai kaksiaukkoinen ajoneuvo-opastin.

Myötävaihde: Myötävaihde tarkoittaa sitä, kun vaihteeseen ajetaan risteysalueen suunnasta kohti kielten kärkiä. Vastavaihde taas tarkoittaa ajamista päinvastoin.

Näkemä: Näkemällä tarkoitetaan ajorataa pitkin mitattua matkaa, minkä etäisyydelle ajoneuvon kuljettaja voi nähdä ajoradalla olevan esteen minkään rakenteen, leikkausluiskan, kasvillisuuden, lumen tms. estämättä.

Opastin: Opastimen avulla osatulosuunnan liikenteelle näytetään eri opastinkuvat.

Opastinkuva = opaste: Opastimen näyttämä vihreä, keltainen, punainen tai punakeltainen valo. Jokaista eri opastinkuvaa kohti opastimessa on yksi valoaukko.

Opastinkuvio: Opastimen valoaukon näyttämä kuvio. Ajoneuvo-opastimessa kuvio on pyöreä tai nuolen muotoinen. Jalankulkijaopastimessa kuvio on seisovan (punainen valoaukko) tai kävelevän (vihreä valoaukko) henkilön muotoinen.

Poikkeusvaihde: Poikkeusliikennettä varten suunniteltuja vaihteita, joista normaalisti ajetaan suoraan. Nämä vaihteet mahdollistavat raiteenvaihdot poikkeusliikenteen aikana muuallakin kuin päätepysäkeillä.

Poistumissuunta: Liittymähaara, jota pitkin ajoneuvot poistuvat liittymästä.

Pääopastin: Tulosuunnan tai osatulosuunnan ensimmäinen ajoneuvo-opastin ajosuunnassa.

Suoja-aika: Vähimmäisaika, joka tarvitaan opastinryhmän vihreän päättymishetken ja konfliktiryhmän vihreän alkamishetken välillä.

Toisto-opastin: Tulosuunnan muut ajoneuvo-opastimet. Toisto-opastin näyttää pääopastimen kanssa aina samaa opastinkuvaa.

Tulosuunta: Tulosuunta on liittymähaara, jota myöten ajoneuvot saapuvat liittymään. Tulosuunta voi käsittää useita ajosuuntia (liikennesuuntia).

Vaihe ja välivaihe: Kierron osa, jonka aikana halutut opastinryhmät ovat vihreänä. Kahden päävaiheen välissä voi esiintyä välivaihe, jonka aikana on vihreänä opastinryhmiä molemmista päävaiheista.

Vaihejako: Vaiheiden muodostus halutun ohjauksen aikaansaamiseksi.

Vaihejärjestys: Kierron aikana esiintyvien vaiheiden esiintymisjärjestys.

Vaihekaavio: Vaihejaon ja -järjestyksen graafinen esitystapa.

Valo-ohjelma: Liikennevalojen ajoitus, jossa vaihejärjestys on vakio ja opastinryhmien vihreiden esiintyminen ja pituus määräytyy samoilla periaatteilla. Eri valo-ohjelmissa voi olla erilainen vaihejärjestys ja erilaiset vihreän säätöperiaatteet.

Vihreä aalto: Yhteenkytkettyjen liikennevalojen ajoitus siten, että tietyn kulkusuunnan liikenne voi edetä tietyllä nopeudella peräkkäisten liikennevalojen läpi pysähtymättä.

Yhteenkytkentä: Liittymän liikennevalojen toiminta ajoitetaan viereisten liittymien liikennevalojen toimintaan sopivaksi. Yhteenkytkennän kiertoaika on kiinteä.

1 Johdanto

Suomeen suunnitellaan ja rakennetaan useita pikaraitiotieitä lähivuosien aikana. Samaan aikaan luodaan suunnitteluohjeita ja periaatteita, joiden pohjalta voidaan rakentaa toimivia ja turvallisia pikaraitiotiejärjestelmiä. Liikenteenohjauksella on tässä keskeinen asema.

Kruunusillat-hankkeen kehitysvaiheen yksi avaintulosaluemittari eli ATA-mittari on raitiotien matka-aika. Alustava matka-aika simuloidaan suunnitteluvaiheessa ja tarkistetaan teknisen koeliikenteen aikana. Alustavissa suunnitelmissa on ajateltu, että osaa liittymistä ei ohjata liikennevaloilla. Tällä nähdään olevan suoria vaikutuksia matka-aikaan.

Työssä on tarkoitus selvittää raitiovaunun matka-aikaan vaikuttavia tekijöitä liittymäalueilla. Työssä keskitytään liittymien ohjausperiaatteisiin ja ohjaustapoihin ja rajataan pois radan tekniset ominaisuudet, kuten ratageometria.

Ennen tutkimusta tunnistettiin tekijöitä, joilla voisi olla vaikutuksia raitiovaunun matka-aikaan. Näihin lukeutuivat näkemät, kuljettajan henkiset ja fyysiset ominaisuudet, liittymäalueen ohjaus tai ohjaamattomuus, muu ajoneuvoliikenne, pyöräily ja jalankulku.

Työhön haastateltiin videopuhelujen välityksellä liikennealan ammattilaisia. Haastateltavana työhön olivat:

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| • Alexandra Arppe | HSL ja HKL |
| • Janne Heimonen | VR-Yhtymä |
| • Kari Sane | Helsingin kaupunki, eläk. |
| • Lauri Kangas | Helsingin kaupunki |
| • Lauri Rätty | Ramboll |
| • Petri Hakala | Tampereen kaupunki |
| • Ville Vaarala | Helsingin kaupunki |

Alexandra Arppe työskentelee joukkoliikenteen suunnittelijana HSL:llä ja raitiovaunun kuljettajana HKL:llä. Janne Heimonen työskentelee VR-Yhtymässä kuljettajantyön ja raideliikenteen asiantuntijana. Häntä haastateltiin tähän työhön Tampereen Ratikasta. Kari

Sane on eläköitynyt Helsingin kaupungin liikennevalotoimiston päällikkö, joka työskenteli kaupungilla 1974–2011. Lauri Kangas työskentelee projektipäällikkönä Helsingin kaupungilla ja Raide-Jokerilla. Lauri Rätty työskentelee viisaan liikkumisen ja joukkoliikenteen asiantuntijana Rambollilla ja on aikaisemmin työskennellyt HSL:llä vastaavissa tehtävissä. Petri Hakala työskentelee Tampereen kaupungilla joukkoliikenneinsinöörinä. Häntä haastateltiin tähän työhön Tampereen Ratikasta. Ville Vaarala työskentelee Helsingin kaupungilla projektipäällikkönä muun muassa liikennevalojen parissa.

Videopuhelujen ohella tutkimustietoa ja materiaalia saatiin useilta Kruunusillat-allianssin työntekijöiltä, työn ohjaavalta opettajalta Pauliina Kuroselta (HAMK), joka on työskennellyt aiemmin Raide-Jokeri-hankkeessa sekä Antti Mustaniemeltä (Ramboll), joka työskentelee Kruunusillat-hankkeessa liikennevalojen tekniikkalajivastaavana, joka ohjasi myös työtä. Haastattelujen tueksi tutkimukseen etsittiin tietoa käynnissä olevista pikaraitiotie-hankkeista Suomessa ja jo käytössä olevista pikaraitiotieistä Euroopassa. Lisäksi perehdyttiin aihetta käsitteleviin kirjallisiin lähteisiin, kuten suunnitteluohjeisiin, selvityksiin ja raportteihin.

2 Kruunusillat

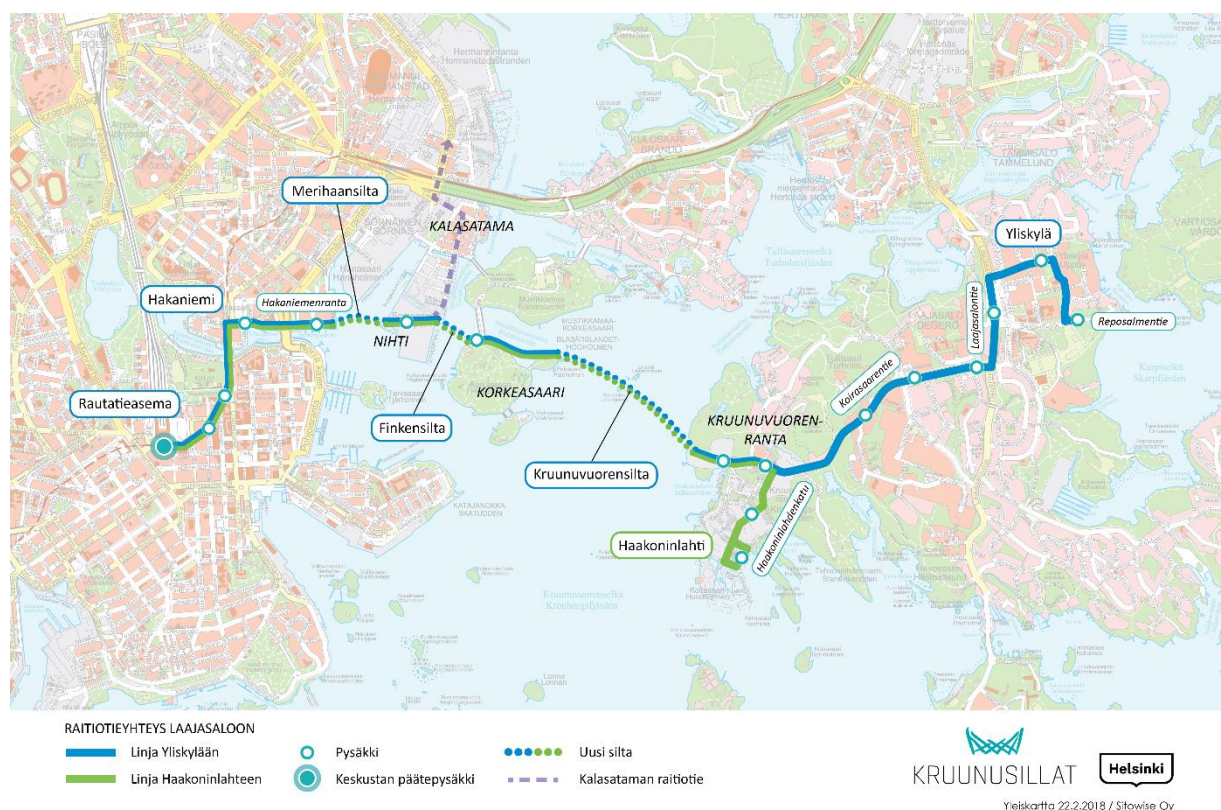
Helsingin keskustan ja Laajasalon välisen joukkoliikenneyhteyden toteuttamiseksi on vuosien varrella esitetty useita erilaisia vaihtoehtoja. Siltoja pitkin toteutettavan raitiotieyhteyden on todettu olevan tavoitteisiin nähden paras vaihtoehto. Yhteys on esitetty jo vuoden 2002 yleiskaavassa, ja kaupunginvaltuuston vuonna 2008 tekemän päätöksen mukaisesti yhteys suunniteltiin raitiotieyhteytenä. (Kruunusillat, 2021).

2.1 Hanke

Kruunusillat-raitiotie yhdistää kymmenen kilometrin pituisella raitiotieyhteydellä Laajasalon, Korkeasaaren ja Kalasataman Helsingin keskustaan. Se luo uuden merellisen reitin myös pyöräilijöille ja jalankulkijoille. Hankkeen näkyvimmat osat ovat kolme uutta siltaa: Kruunuvuorensilta, Finkensilta ja Merihaansilta. Kruunuvuorensilta on valmistuessaan Suomen pisin silta, noin 1 200 metriä. Rakentamisen on tarkoitus alkaa syksyllä 2021. Tavoite on, että yhteys valmistuu vuoden 2026 lopussa ja raitiotien matkustajaliikenne käynnistyy vuonna 2027. Suunniteltu reitti on esitetty kuvassa 1.

Kruunusillat-raitiotie toteutetaan kahden urakkamuodon yhdistelmänä. Kalasataman ja Kruunuvuorenrannan väliset kaksi siltaa, Finkensilta ja Kruunuvuorensilta, sekä Korkeasaaren maarakennus toteutetaan kokonaisurakkana. Yhteyden muu rakentaminen tehdään puolestaan allianssimallilla. Kruunusillat-allianssin osapuolet ovat Helsingin kaupunki, YIT Suomi Oy, NRC Group Finland Oy, Ramboll Finland Oy, Sweco Infra & Rail Oy ja Sitowise Oy. Allianssiin sisällytetään myös yhteyden varrella olevia muita maarakennus-, kadunrakennus- ja kunnallisteknisiä töitä. Yksi tällainen työ on uuden Hakaniemensillan rakentaminen ja vanhan sillan purkaminen. (Kruunusillat, 2021).

Kuva 1. Kruunusillat yleiskartta (Kruunusillat, 2018).



2.2 Avaintulosalueiden mittarit

Kruunusillat-hankkeella on käytössä avaintulosalueiden mittarit (ATA-mittarit), joiden avulla mitataan hankkeen suorituskykyä yhdessä määritetyillä avaintulosalueilla. Allianssi on johtanut avaintulosalueet ja mittarit tilaajan tavoitteista. Tässä luvussa esitetyt tiedot ovat peräisin Kruunusillat-hankkeen sisäisestä ATA-mittareiden materiaalista. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

KAS2-vaiheessa hanke käyttää neljää mittaria: kustannusohjaus, vastuullisuus, julkisuuskuva ja matka-aika. Mittariston raja-arvoina jokaisella osa-alueella on -100 ja 100 pistettä. Kustannusohjauksella on mittareiden isoin yksittäinen painoarvo 40 prosentin osuudella. Muilla mittareilla 20 prosentin osuudet. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

2.2.1 Kustannusohjaus

Allianssin tavoitekustannusta verrataan samalla sisällöllä ja samoilla laskennan periaatteilla laadittuun rakennusosalaskennan kustannusarvioon eli ROLA-kustannusarvioon. Vertailulaskelmissa käytetään koko tavoitekustannuksen teknistä laskentasisältöä. (Kruunusillat, ATA-mittarit)

Raja-arvoina sadan pisteen onnistumiselle on tavoitekustannuksen 17,5 prosentin säästö ROLA-hintaan verrattuna. Nollataso edellyttää, että tavoitekustannus alittaa ROLA-hinnan 2,5 prosenttia. Kustannusohjaus on positiivinen kannustin, jossa ei ole sanktioita, joten miinusmerkkistä raja-arvoa ei ole käytössä. (Kruunusillat, ATA-mittarit)

2.2.2 Vastuullisuus

Vastuullisuutta mitataan hankkeella Ceequal-menettelyn avulla, jota käytettiin Suomessa ensimmäistä kertaa Kruunusillat hankkeen kokonaiskestävyyden arvioinnissa (Ramboll, 2016). Ceequal on kansainvälinen, todenteisiin perustuva vastuullisuuden arviointi- ja pisteytysjärjestelmä. Ceequal-työkalun ja pisteytyksen avulla hankkeelle pyritään löytämään paras mahdollinen toteutustapa, joka huomioi taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristön näkökulmat. Nykyään Ceequal-menettelyä käyttää allianssiosapuolista Rambollin lisäksi ainakin Sitowise. (Sitowise, n.d. ; Kruunusillat, ATA-mittarit).

Kruunusillat-hankkeessa Ceequal on pisteyttänyt 250 kysymystä, jotka on jaettu kahdeksaan kategoriaan: johtaminen, resilienssi, integraatio, maankäyttö, maisema, päästöt, resurssit ja liikenne. Ceequal-järjestelmä on jaettu viiteen sertifiointitasoon sen mukaan, kuinka monta prosenttia hankkeen maksimipisteistä hanke on saavuttanut. Tasot ovat: Outstanding (90 %),

Excellent (>75 %), Very Good (>60 %), Good (>45 %) ja Pass (>30 %). (Kruunusillat, ATA-mittarit).

ATA-mittareita arvioidaan näillä Ceequal-järjestelmän tasoilla, ja niitä verrataan KAS2-vaiheen tavoitepistemäärään. Sadan pisteen onnistumisen raja-arvo on 90 prosenttia tavoitepistemäärästä. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

2.2.3 Julkisuuskuva

Julkisuuskuvan ATA-mittari määrittää allianssin saaman positiivisen ja neutraalin uutisoinnin osuudella kaikesta hankkeeseen kohdistuneesta uutisoinnista. Positiivisten uutisen painoarvo on 1,5 ja neutraalien tai negatiivisten uutisten painoarvo on 1. Mittarin tulos lasketaan seuraavasti: $(\text{positiivisten uutisten lukumäärä} \times 1,5 + \text{neutraalien uutisten lukumäärä}) / (\text{hanketta koskevien uutisten määrä})$. Kruunusillat-hanke käyttää myös hankkeen ulkopuolisen palveluntarjoajan julkisuuskuvamittausta tuloksen laskemisessa. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

Julkisuuskuvan ATA-mittarissa otetaan huomioon toimituksellisen median osumat. Mittaus tehdään digitalisista lähteistä, joita ovat Helsingin Sanomat, Hufvudstadsbladet, Helsingin Uutiset, MTV, Rakennuslehti, Svenska Yle, Tekniikka & Talous ja Yle. Mielipidekirjoitukset, kolumnit ja blogitekstit jätetään seurannan ulkopuolelle. Mittarin lopputulos lasketaan kaikkien KAS2-vaiheessa saatujen uutisosumien yhteenlasketusta tuloksesta eli lopputulos on kumulatiivinen KAS2-vaiheen lopussa. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

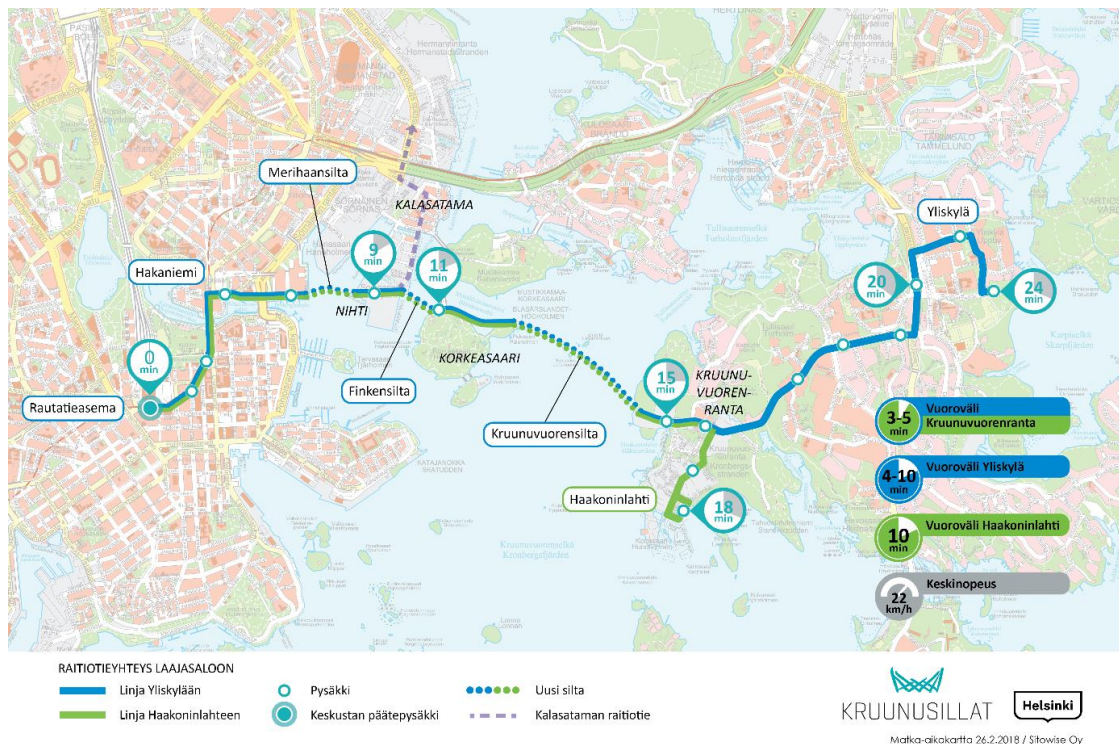
Mittarin raja-arvoina ovat 100 prosentin onnistuminen ja 0 prosentin onnistuminen. Nollataso on 70 prosenttia. Referenssinä on käytetty Raide-Jokerin TAS-vaiheen raja-arvoja (0 %, 75 % ja 100 %). Nollataso on asetettu Raide-Jokeria hieman alemmas, koska mittari on käytössä eri hankevaiheella. Lisäksi mittariin on asetettu leikkuri, jota käytetään, jos kustannusarvioon liittyvän negatiivisen uutisoinnin määrän suhde positiivisten ja neutraalien uutisten määrään on enemmän kuin 1:2. Tällöin leikataan ylimenevän kustannusarvioita koskevan negatiivisen uutisoinnin vaikutus mittarista pois. Muuten mittaustapa ja määritelmät mukailevat Raide-Jokerin mittaustapoja ja määritelmiä. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

2.2.4 Matka-aika

Matka-aika on tämän opinnäytetyön kannalta keskeisin ATA-mittari. Matka-ajan ATA-mittarin tavoite on lyhentää raitiotien matka-aikaa allianssin suunnitteluratkaisujen avulla. Mittaustapana käytetään simuloitujen matka-aikojen vertailua, jossa verrataan lähtötilanteen simuloitua matka-aikaa KAS2-vaiheen lopussa simuloituun matka-aikaan. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

Mittauksessa lasketaan yhteen Haakoninlahden ja Yliskylän linjojen matka-ajat lähtöpysäkiltä päätepysäkille molempiin suuntiin. Yliskylän linjan matka-ajat lasketaan kaksinkertaisina, jolloin tiheämmin liikennöidyn Yliskylän linjan ja erityisesti keskusta-Kruunuvuorenrannan osuuksien painoarvo saadaan suuremmaksi. Lähtötilanteessa toukokuussa 2020 kokonaismatka-ajaksi saatiin laskettua 159 minuuttia ja 5 sekuntia. Tarkastelussa huomioidaan Rautatieaseman ja Hakaniemen väli kiinteänä osuutena, joka on allianssin toimenpiteiden ulkopuolella. Kuvassa 2 on esitetty alustavat matka-ajat hankkeelle vuodelta 2018. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

Kuva 2. Kruunusillat hankkeen matka-aikakartta (Kruunusillat, 2018).



Mittariston raja-arvoissa sadan pisteen onnistuminen tarkoittaa kokonaismatka-ajan lyhentymistä kymmenellä minuutilla. Nollatasolla kokonaismatka-aika pysyy samana. Sadan

pisteen epäonnistuminen pidentäisi kokonaismatka-aikaa kaksikymmentä minuuttia. Mittausjakson lopussa tarkastellaan erikseen sellaiset muutokset, joihin allianssi ei pysty toiminnallaan vaikuttamaan. Nämä muutokset otetaan huomioon lähtötilannesimuloinneissa, jolloin niiden vaikutus mittarista poistuu. Tulkinnan siitä, mikä muutos on allianssin toiminnan vaikutuspiirissä, tekee allianssin johtoryhmä. (Kruunusillat, ATA-mittarit).

3 Pikaraitiotien ja liikennevalojen teoria

Tässä luvussa kerrotaan pikaraitiotien ominaisuuksista ja ohjaamisesta liikenteessä. Luvussa syvennyttään liikennevalo-ohjauksen perusteisiin, ohjaustapoihin ja liikennevaloetuksiin. Näiden lisäksi käsitellään raitiovaunua liikenneturvallisuuden näkökulmasta.

3.1 Pikaraitiotie

Termillä pikaraitiotie tarkoitetaan yleensä modernia ja tehokasta raitiovaunujärjestelmää. Perinteisestä raitiovaunusta poiketen pikaraitiovaunu kulkee pääosin omalla kaistallaan, mikä mahdollistaa nopean ja häiriöttömän liikennöinnin.

Pikaraitiotiellä käytettävät raitiovaunut ovat tyypillisesti matalalattiaisia nivelvaunuja, jotka ottavat sähkönsä ilmajohdosta. Vaunut voivat ajaa molempiin suuntiin, eikä kääntösilmukoita tarvitse rakentaa. Pikaraitiotien pysäkkiväli on Helsingin kantakaupungin raitiotien pysäkkiväliä harvempi. (Raide-Jokeri, n.d.-a).

Tätä opinnäytetyötä tehtäessä Suomessa ei vielä ole toiminnassa olevaa pikaraitiotiejärjestelmää. Suomen ensimmäisen pikaraitiotien, Tampereen Ratikan, on tarkoitus aloittaa liikennöinti 9.8.2021 (Tampereen Ratikka, n.d.-a).

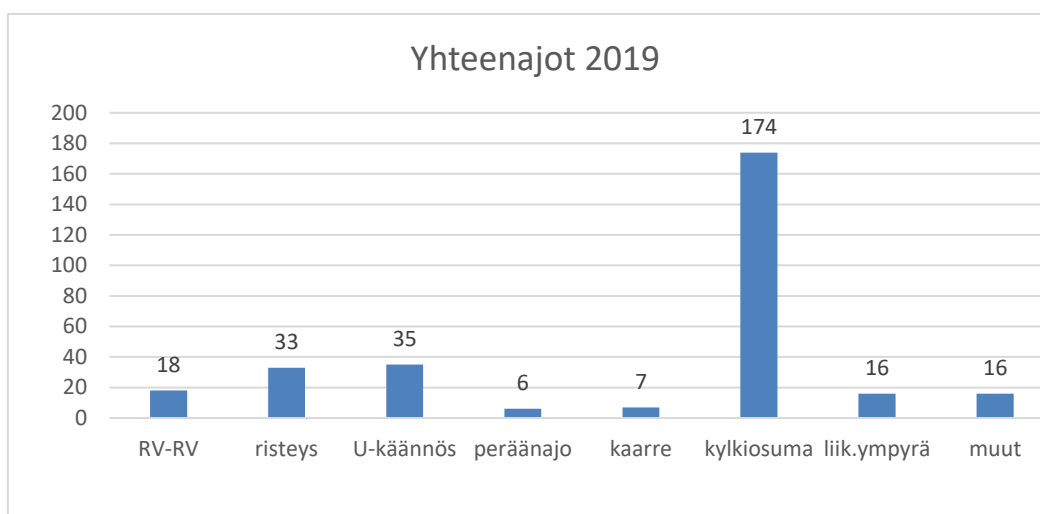
3.2 Liikenneturvallisuus

Tähän työhön selvitettiin raitiotieonnettomuuksien syitä viime vuosilta. Tietoa saatiin Helsingin kaupungin liikennelaitoksen vaurioselvittäjältä Jarmo Laineelta (HKL, 2021). Lisäksi tutkittiin jalankulun onnettomuuksia käsitteleviä aineistoja.

3.2.1 Raideliikenneonnettomuudet

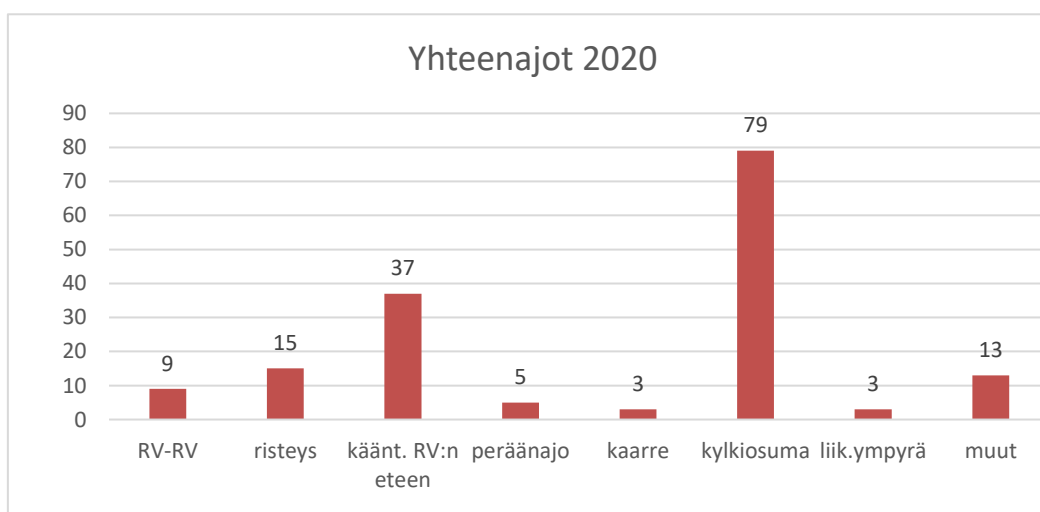
Helsingissä tapahtui vuonna 2019 HKL:n selvitysten mukaan 400 liikenneonnettomuutta, joissa raitiovaunu oli osallisena. Näistä 400 onnettomuudesta 303 oli yhteenajoja ja 15 onnettomuutta, joissa jalankulkija oli osallisena. Taulukossa 1 on esitetty vuoden 2019 yhteenajojen syyt.

Taulukko 1. Raitiovaunujen yhteenajot vuonna 2019 (HKL, 2021).



Vuonna 2020 HKL:n selvityksen mukaan Helsingissä tapahtui 212 liikenneonnettomuutta, jossa raitiovaunu oli osallisena. Näistä 165 oli yhteenajoja ja 10 onnettomuutta, joissa jalankulkija oli osallisena. Taulukossa 2 on esitetty vuoden 2020 yhteenajojen syyt.

Taulukko 2. Raitiovaunujen yhteenajot vuonna 2020 (HKL, 2021).



Taulukoista selviää, että selvästi suurin yhteenajon syy on ollut kylkiosuma. Lisäksi risteykset ja käännökset raitiovaunun eteen erottuvat hieman muista onnettomuustyypeistä.

Välttämällä sekaliikennekaistoja ja vähentämällä raiteiden ylitysmahdollisuuksia edellä mainittuja onnettomuustyppejä voitaneen minimoida pikaraitioteillä.

3.2.2 Jalankulkijan onnettomuudet

Riku Halmeen tekemästä opinnäytetyöstä selviää, että vuosina 2009–2018 Helsingissä tapahtui yhteensä 1 155 jalankulkijaonnettomuutta. Kaikista jalankulkijaonnettomuuksista 56 prosenttia tapahtui suojatiellä. Suojateillä tapahtuneista jalankulkijaonnettomuuksista 32,5 prosenttia tapahtui liikennevalo-ohjatuissa liittymissä. Jalankulkijaonnettomuus tapahtui yleisimmin suojatiellä, jossa ei ole valo-ohjausta, korotusta eikä keskisaareketta, ja vain liikennemerkki ilmoittaa suojatiestä. Kaikista tilastoiduista jalankulkijaonnettomuuksista kuudessa prosentissa oli mukana raitiovaunu. (Halme, 2020, s. 24).

Valo-ohjatuissa liittymissä tapahtuneista 261 onnettomuudesta 80 prosentissa oli osallisena suojatiellä oleva jalankulkija. Kaikista valo-ohjatuissa liittymissä tapahtuneista onnettomuuksista 51 prosentissa oli tilanteita, joissa jalankulkija käveli punaista valoa päin. Onnettomuusraporttien mukaan syynä tähän oli usein jalankulkijan piittaamattomuus ja asenteet punaista valoa kohtaan. Lisäksi onnettomuuden syynä oli usein jalankulkijan kiire pysäkillä odottavaan raitiovaunuun tai bussiin, jolloin ajoneuvoliikenne ja valo-ohjaus jäivät huomioimatta. (Halme, 2020, s. 27).

Opinnäytetyön pohjalta voidaan todeta, että jalankulkijan ja raitiovaunun onnettomuudet eivät ole kovin yleisiä. Huomioitavaa kuitenkin on, että yli puolet jalankulkijoiden kaikista onnettomuuksista tapahtuu suojatiellä. Valo-ohjattujen liittymien onnettomuuksista yli puolet on tapahtunut tilanteissa, joissa jalankulkija on kävellyt punaisia päin suojatiellä. Suunnitteluratkaisut, joilla näitä tilanteita pystytään vähentämään ja joilla voidaan lisätä jalankulkijoiden huomiota rakenteellisesti tai visuaalisesti voinevat tulevaisuudessa vähentää tällaisia onnettomuuksia.

3.3 Raitioteiden liikennevalo-ohjaus

Raitiovaunua voidaan ohjata kolmiväriopastimella ja joukkoliikenneopastimella. Näitä ja raitiovaunun risteävän liikenteen ohjaamiseen käytettäviä opastimia esitetään tässä alaluvussa. Liikennevalo-ohjaukseen oleellisena osana kuuluvat ilmaisimet esitellään myös tässä alaluvussa. Kuvassa 3 on esimerkki raitiovaunun liikennevalo-ohjauksesta.

Kuva 3. Liikennevaloja Kaivokadulla.



3.3.1 Opastimet

Valo-ohjatussa liittymässä kaikki ajoneuvoliikenteen tulosuunnat on valo-ohjattava. Poikkeuksen tähän tekee pihakatu, tonttiliittymä, muu vähäliikenteinen tulosuunta tai pyörätie, joka voidaan jättää valo-ohjauksen ulkopuolelle, mikäli se on reunakivellä tai muulla vastaavalla ratkaisulla erotettu ajoradasta. (Valtioneuvoston asetus liikenteenohjauslaitteiden käytöstä 379/2020 § 4).

Liikennevaloilla annettava valo-opaste toteutetaan pääopastimella ja samanaikaisesti vähintään yhdellä toisto-opastimella. Normaalisissa ajoneuvo-opastimissa on kolme valoaukkoa: punainen, keltainen ja vihreä. (Liikennevirasto, 2017, ss. 73-74).

Koko tulosuuntaa, osatulosuuntaa tai suojatietä ohjaavien opastimien ryhmää kutsutaan opastinryhmäksi. Opastinryhmä muodostuu pääopastimesta ja yhdestä tai useammasta toisto-opastimesta. Saman opastinryhmän kaikki opastimet näyttävät aina samanaikaisesti samaa opastinkuvaa. (Liikennevirasto, 2017, s. 11).

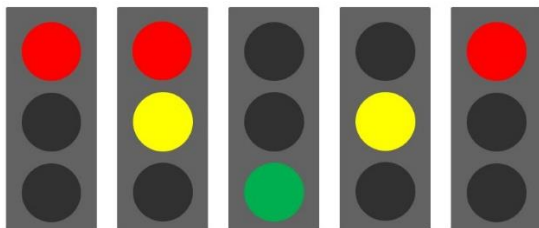
Pää- ja toisto-opastimen lisäksi voidaan käyttää lisäopastinta, joka on nuolen muotoista opastinkuvaa näyttävä yksi- tai kaksiaukkoinen ajoneuvo-opastin. (Liikennevirasto, 2017, s. 11).

Raitiotien ylityskohdan valo-ohjauksesta on myös maininta lakitekstissä. Asetuksessa määrätään, että jos liikennevaloilla ohjatun suojatien jatkeena on raitiotien ylityskohta, liikennettä on myös siinä valo-ohjattava. (Valtioneuvoston asetus liikenteenohjauslaitteiden käytöstä 379/2020 § 17).

Kolmiaukkoinen ajoneuvo-opastin

Liikennettä ohjataan risteyksessä näyttämällä ajoneuvo-opastimella kiinteää punaista, keltaista tai vihreää valoa. Ajoneuvo-opastimen valot vaihtuvat seuraavassa järjestyksessä: punainen, punainen ja keltainen samanaikaisesti, vihreä, keltainen ja punainen. (Liikennevirasto, 2017, s. 73). Valojen vaihtuminen on kuvattu sekvenssikaaviolla kuvassa 4.

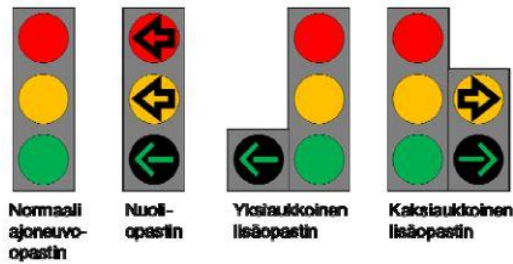
Kuva 4. Ajoneuvoliikenteen kolmiväriopastimen sekvenssikaavio.



Nuoliopastimet ja lisäopastimet

Nuolikuviolla varustetuilla opastimilla ohjataan kääntyvää liikennettä nuolen osoittamaan suuntaan. Nuoliopastimessa vihreän valon aukko on nuolen muotoinen, punaisen ja keltaisen valon aukkoissa nuoli toistetaan mustin ääriviivoin (Liikennevirasto, 2017, s. 73). Kolmiaukkoisen nuoliopastimen lisäksi nuoliopastin voi toimia myös yksi- tai kaksiaukkoisena lisäopastimena, jotka on esitetty kuvassa 5.

Kuva 5. Ajoneuvo-opastimet (Liikennevirasto, 2017 s. 58).

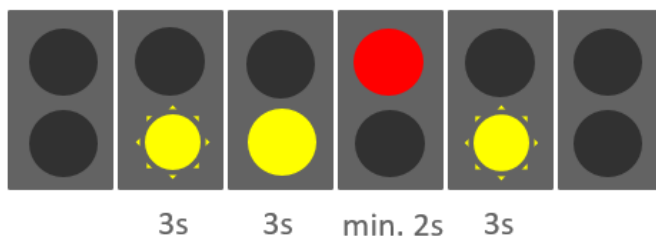


Kolmiaukkoisella nuoliopastimella käytettävä oma nuolivaihe edellyttää oman kaistan tai kaistojen käyttöä. Kolmiaukkoista nuoliopastinta tulee käyttää isoissa ja vilkkaissa liittymissä, joissa on suuret ajonopeudet tai jos liittymä on muuten liikenneturvallisuuden kannalta vaarallinen. Oma nuolivaihe lisää turvallisuutta mutta yleensä vähentää sujuvuutta, koska liikennevalovaiheiden lukumäärä kasvaa. Lisäopastimilla puolestaan mahdollistetaan etu-, jälki- tai lisävihreän käyttö vaihejaossa, joilla saadaan lisättyä liikenteen sujuvuutta. (Liikennevirasto, 2017, s. 78).

Kaksiaukkoisen punakeltainen opastin

Kaksiaukkoista punakeltaista opastinta käytetään osittaisessa valo-ohjauksessa varoittamaan risteävästä joukkoliikenteestä. Opastimella luodaan yksinkertainen etuus joukkoliikenteelle. Opastimen käytöllä on vähemmän haittavaikutuksia muulle liikenteelle kuin tavallisella valo-ohjauksella. Opastimen lepotila on pimeä. Vaiheiden pituudet voivat olla esimerkiksi kuvan 6 sekvenssikaavion mukaiset, jossa vaihtumisajat on merkattu vaiheiden alapuolelle. (Liikennevalot.info, n.d.-a).

Kuva 6. Kaksiaukkoisen opastimen sekvenssikaavio.



Jokerivalo

Jokerivalo on kolmion muotoinen valo-opastin, jossa on kaksi punaista valoaukkoa ja yksi keltainen valoaukko. Jokerivaloa voidaan käyttää joukkoliikenteen sujuvuuden parantamiseksi liittymissä, joissa liikennevalot ovat muuten tarpeettomat. (Liikennevalot.info, n.d.-a). Jokerivalon sijoitus esitettynä kuvassa 7.

Kuva 7. Jokerivalo Aleksis Kiven kadulla.



Jokerivalo toimii periaatteessa vastaavalla tavalla kuin edellä mainittu kaksiaukkoinen punakeltainen opastin. Raide-Jokerilla tehtiin päätös siirtyä jokerivalosta kaksiaukkoiseen opastimeen. Raide-Jokerin projektipäällikön Lauri Kankaan mukaan syy tähän oli se, että kahta vilkkuvaa punaista ei koettu tienkäyttäjien mielestä riittävän määrääväksi, vaikka vastaavaa tapaa on käytetty pitkään esimerkiksi rautateiden tasoristeyksissä. (Kangas, 2021). Jokerivalon sekvenssikaavio esitetty tarkemmin kuvassa 8.

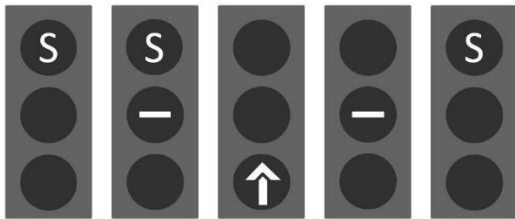
Kuva 8. Jokerivalon sekvenssikaavio (Liikennevalot.info, n.d.-a).



Joukkoliikenneopastin

Joukkoliikenneopastinta voidaan käyttää ohjaamaan raitiovaunuliikennettä ja linjaliikenteessä olevaa bussiliikennettä erikseen muusta liikenteestä. Joukkoliikenneopastin on kolmiaukkoinen. S-kirjain vastaa punaista valoa, vaakaviiva keltaista valoa ja nuolikuvi vihreää valoa. (Tieliikennelaki 729/2018 Liite 2 § 8). Joukkoliikenneopastimen sekvenssikaavio on esitetty kuvassa 9.

Kuva 9. Joukkoliikenneopastimen sekvenssikaavio.



Raitiovaunuopastin etuusvalolla

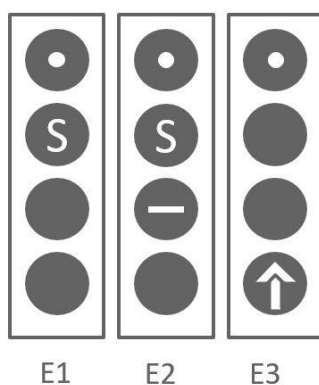
Tampereen Ratikalle ja Raide-Jokerille on tulossa käyttöön uusi neliaukkoinen raitiovaunuopastin. Neliaukkoinen opastin vastaa muuten joukkoliikenneopastinta, mutta ylimpänä olevassa aukossa näytetään raitiovaunun valoetuutta, joka on 80 millimetrin halkaisijaltaan oleva pallo. Opastin sijoitetaan pylvääseen siten, että S-opaste on ajoneuvoliikenteen opastimen punaisen opasteen kanssa samassa tasossa. (Tampereen Ratikka, n.d.-b). Opastimien sijoittelu esitetty kuvassa 10.

Kuva 10. Neliaukkoinen raitiovaunuopastin Tampereella.



Kuvassa 11 näkyvässä kaaviossa E1-vaihe osoittaa kuljettajalle, että etuus on tulossa ja liittymää voi lähestyä. E1-vaihe kestää noin kolme sekuntia, jonka jälkeen tulee viisi sekuntia kestävä E2-vaihe, joka kertoo, että liittymään voi ajaa. Sitten tulee E3-vaihe eli ”aja”-vaihe, joka kestää niin kauan, kunnes raitiovaunu on kuitannut etuuden ylittämällä liittymän tai vaiheelle määritetty maksimiaika ylittyy. Etuusopastinta voidaan pitää paranneltuna versiona valopilkusta, joka esitellään myöhemmin tässä luvussa. (Ramboll, sisäinen materiaali).

Kuva 11. Raitiovaunuopastin etuusvalolla (Ramboll, sisäinen materiaali).

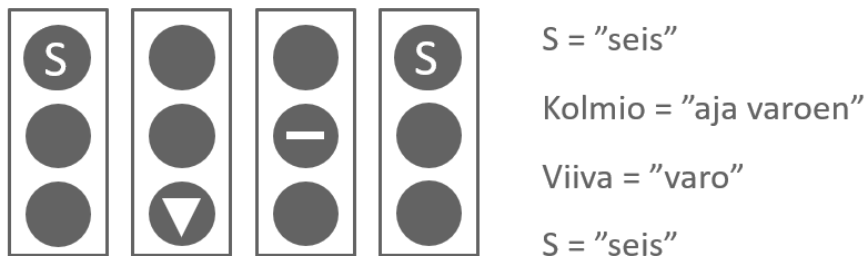


Raitiovaunun info-opastin

Raitiovaunun info-opastin on Raide-Jokerille suunniteltu opastin, joka ohjaa raitiovaunun kuljettajaa. Opastimella osoitetaan kuljettajalle osittain ohjatussa liittymässä, että ajoneuvojen valo-ohjaus on toiminnassa ja liittymää voi lähestyä varovaisuutta noudattaen.

Tähän työhön haastateltu Raide-Jokerin projektipäällikkö Lauri Kangas kertoi haastattelussa, että info-opastimen periaate on lainattu Saksasta. Sen tarkoitus on poistaa ylimääräinen ongelma kuljettajalta, joka saattaa viedä huomion keskittymisen väärin asioihin. Ilman opastinta kuljettaja on epätietoinen osittaisen ohjauksen toiminnasta ja joutuu lähestymään liittymää hitaammin ja varovaisemmin, millä on aina jokin vaikutus ajoaikoihin. Kuvassa 12 näkyvästä sekvenssikaaviosta näkee, että valojen kierto poikkeaa normaalista liikennevalojen kierrosta. S-opaste ja poikkiviivaopaste eivät pala samaan aikaan vaan S-opasteen jälkeen tulee suoraan kolmio-opaste. (Kangas, 2021).

Kuva 12. Raitiovaunun info-opastimen sekvenssikaavio (Ramboll, sisäinen materiaali).



Jalankulkijaopastin

Jalankulkijaopastimella ohjataan ajoradan, pyörätien tai raitiotien ylitystä. Opastimessa punainen valo esittää seisovaa henkilöä ja vihreä valo kävelevää henkilöä. Opastin on kaksiaukkoinen. Punainen valo kieltää jalankulkijan astumisen ajoradalle, pyörätielle tai raitiotielle. Vihreä valo puolestaan osoittaa, että jalankulkija saa astua ajoradalle, pyörätielle tai raitiotielle. Vilkuva vihreä valo merkitsee, että aika, jona jalankulkija voi ylittää ajoradan, on loppumassa ja että valo on vaihtumassa punaiseksi. (Laki tieliikennelain muuttamisesta, 1040/2020 Liite 2 § 10).

Jalankulkijaopastin sijoitetaan kulkusuunnassa välittömästi opastimen tarkoittaman tien osan taakse. Jos jalankulkijoiden valo-opasteisiin liittyy näkövammaisille tarkoitettuja ääniopasteita, vastaa nopea katkoääni vihreää ja hidas katkoääni punaista valoa.

Jalankulkijaopastinta voidaan tietyissä tilanteissa käyttää myös pyöräliikenteen ohjaamiseen. (Laki tieliikennelain muuttamisesta, 1040/2020 Liite 2 § 10). Jalankulkijaopastimen sekvenssikaavio esitetty kuvassa 13.

Kuva 13. Jalankulkuopastin.

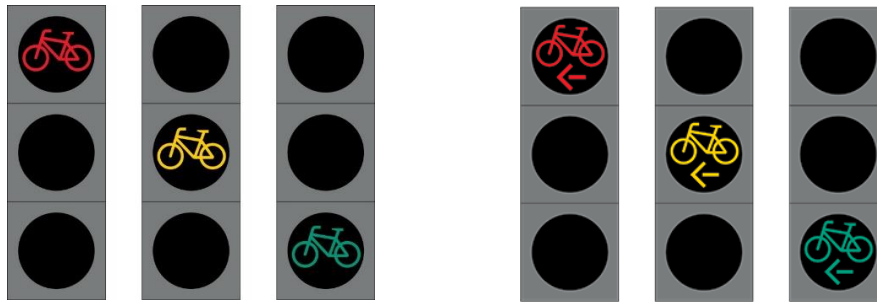


Polkupyöräopastin

Polkupyöräopastinta käytetään pyöräliikenteen opastamiseen. Opastimen valoaukkona käytetään yleisesti 100 millimetrin halkaisijaa. Tämä vastaa kooltaan ajoneuvo-opastimen pientä toisto-opastinta. Kuvassa 14 näkyvässä uuden tieliikennelain mukaisessa polkupyöräopastimessa jokaisessa valoaukossa on polkupyörän symboli, minkä ansiosta se on helpompi erottaa pienestä toisto-opastimesta. Aikaisemmin polkupyöräopastimen erotti pienestä toisto-opastimesta ylimpänä sijaitsevan neljännen aukon polkupyöräsymbolin perusteella, mitä on pidetty riskinä sekoittaa opastimet toisiinsa. (Pärssinen, 2020, ss. 14-15).

Lain mukaan polkupyöriä voidaan ohjata kolmella eri opastimella: ajoneuvo-, jalankulkija- ja polkupyöräopastimella. Polkupyöräopastimen käyttö ei siis ole pakollista, mutta sen avulla pystytään erottamaan pyöräliikenne omaksi kulkumuodokseen ja ohjata sitä eri tavalla kuin muita liikennemuotoja. Tämä voi mahdollisesti lisätä pyöräliikenteen sujuvuutta. (Pärssinen, 2020). Polkupyöräopastimen sekvenssikaavio esitetty kuvassa 14.

Kuva 14. Polkupyöräopastin (Laki tieliikennelain muuttamisesta, 1040/2020 Liite 2 § 9).

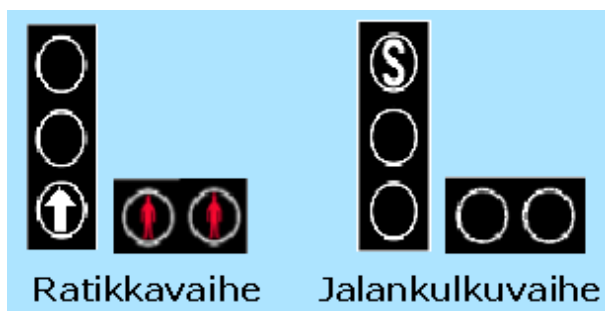


VAROVA

VAROVA-valoja voidaan käyttää raitiotien ylittävillä suojateilla. Kiskojen ylittävällä suojatiellä on kaksi rinnakkaista punaista jalankulkijaopastinta eikä vihreää jalankulkijaopastinta lainkaan. Jalankulkijaopastimet näyttävät punaista valoa vain silloin, kun raitiovaunu lähestyy suojatietä tai on sen kohdalla. Muulloin jalankulkijaopastimet ovat pimeänä. Ääniopastusta käytetään ainoastaan punaisten valojen palaessa erityisellä raitiovaunuista varoittavalla kilkattavalla varoitusäänellä. (Liikennevalot.info, n.d.-b).

VAROVA-valot toimivat tilanteissa, joissa ajoradan ja raiteiden yli on suora ylitys. Silloin VAROVA-tekniikalla voidaan raitiovaunun saapuessa säätää valoja poikkeuksellisesti sillä tavalla, että kadulla ei ole yhtenäistä ylitystä, jolloin valo-ohjauksesta saadaan sujuvampi. Toisaalta VAROVA-ohjauksen kahdella punaisella valolla saadaan myös suurempi ärsykearvo jalankulkijoille, kun muuten valot ovat pimeänä. (Liikennevalot.info, n.d.-b). Kuvassa 15 on esitetty VAROVA-opastimen toiminta.

Kuva 15. VAROVA-opastin (Liikennevalot.info, n.d.-b)



OIVA

OIVA-liikennevalot on suunniteltu palvelemaan monimutkaisissa risteyksissä. OIVA-valojen avulla pystytään vähentämään liittymän liikennevalojen vaihteita ja sujuvoittamaan liikennettä näyttämällä vähäliikenteiselle ajosuunnalle vilkkuvaa keltaista valoa samaan aikaan risteävän ajosuunnan tai suojatien vihreän valon aikana. Suunta, jolle näytetään vilkkuvaa keltaista valoa, on aina väistämisvelvollinen vihreällä valolla ohjattavaan suuntaan nähden. Vilkkuvan keltaisen valon jälkeen suunnalle näytetään punaista valoa, jolloin risteykseen ei saa ajaa. (Liikennevalot.info, n.d.-c). OIVA-valojen sekvenssikaavio esiteltynä kuvassa 16.

Kuva 16. OIVA-liikennevalojen sekvenssikaavio (Liikennevalot.info, n.d.-c).



OIVA-valojen käytöllä kuljettajalle annetaan mahdollisuus ajaa risteykseen omaa harkintaa käyttäen ja normaaleja liikennesääntöjä noudattaen. Ajaminen kielletään risteykseen silloin, kun se on vaarallista. (Liikennevalot.info, n.d.-c).

Huomiovalo

Huomiovalolla voidaan ilmoittaa tienkäyttäjälle, että liikenteessä on noudatettava erityistä varovaisuutta. Huomiovaloa voidaan käyttää kaikkien tienkäyttäjien ohjaamiseen tarpeen mukaan. Tähän työhön haastateltu Helsingin kaupungin liikennevalotoimiston eläköitynyt päällikkö Kari Sane oli sitä mieltä, että huomiovaloa tulisikin käyttää nykyistä enemmän herättämään tienkäyttäjien huomiota (Sane, 2021).

Vilkkuvaa huomiovaloa voidaan käyttää yhdessä raitiovaunusta varoittavan liikennemerkkin kanssa (Tieliikennelaki 729/2018 Liite 3.1 A25). Tällaisia tilanteita voi esiintyä esimerkiksi tonttiliittymissä tai muuten vähäliikenteisissä paikoissa, joissa ei voida käyttää risteysvaloja tai osittaista ohjausta. (Tampereen Ratikka, n.d.-b). Huomiovalon käyttökohde voi olla

esimerkiksi tilanteissa, jossa raitiovaunu siirtyy omalta kaistaltaan sekaliikennekaistalle. Tällainen järjestely löytyy muun muassa Hakaniemestä, joka on esitetty kuvassa 17.

Kuva 17. Huomiovalojen käyttöä Hakaniemessä.



Valopilkku

Bussien ja raitiovaunujen etuusilmaisujen vastaanotto risteyksessä osoitetaan liikennevalo-opastimeen liitetyllä valopilkulla. Valopilkku on pieni valkoinen vilkkuva LED-valo, joka alkaa vilkkua pyyntöilmaisusta, ja vastaavasti sen vilkkuminen päättyy kuittausilmaisuun.

Valopilkku asennetaan punaisen opastinkennon oikeaan alankulmaan. Erikoistapauksissa se voidaan asentaa myös keltaiseen tai vihreään opastinkennoon. (Liikennevalot.info n.d.-d).

Liikennevalojen huoltohenkilökunnalle valopilkun syttyminen ja sammuminen varmistaa, että joukkoliikenneilmaisut toimivat. Valopilkun avulla on myös mahdollista helposti erottaa etuuden vaikutus muista liikennevalojen mahdollisista toimintahäiriöistä, kuten ajoituksen tahdistusvirheistä. (Liikennevalot.info n.d.-d)

3.3.2 Ilmaisimet

Liikennevaloissa käytetään ilmaisimia havaitsemaan liikkuvat ja pysähtyneet ajoneuvot tai jalankulkijat. Ilmaisimien avulla pyydetään ja pidennetään opastinryhmien vihreää.

Ilmaisimien avulla voidaan suorittaa myös nopeuden mittausta ja liikenteen laskentaa. (Liikennevirasto, 2017, s. 84)

Yleisimmät ilmaisintyypit ovat induktiivinen kelailmaisoin eli silmukkailmaisoin, tutkailmaisoin, infrapunailmaisoin ja painonappi. Näiden lisäksi käytössä on kamerailmaisimia, magnetometrejä ja teleteknisiä ilmaisimia. Liikennevalo-ohjaukseen silmukkailmaisoin on yleisin ja paras vaihtoehto sen toimintaominaisuuksien ansiosta. (Liikennevirasto, 2017, s. 84). Kirjallisten lähteiden lisäksi ilmaisutekniikoiden käyttötarkoituksista saatiin tietoa haastatteleamalla Antti Mustaniemeä (Ramboll), joka toimii liikennevalosuunnittelun tekniikkalajivastaavana Raide-Jokerilla ja Kruunusillat-hankkeella.

Induktiivinen kelailmaisoin

Induktiivinen kelailmaisoin on yleisin liikennevalo-ohjauksessa käytetty ilmaisintyyppi. Kelailmaisoin perustuu induktanssiin, ja se toimii siksi olosuhteista riippumattomasti, itsenäisesti ja hyvin ylläpidettynä luotettavasti. Kelailmaisimen huonoja puolia on asennuksen kiinteys, eli sitä ei voida siirtää. Huono maaperä tai puutteelliset tien perustukset voivat aiheuttaa ongelmia kelailmaisimen toimivuudelle asfaltin vääntyessä tai urautuessa. (Mustaniemi, 2021; Liikennevirasto, 2017, s. 84).

Kelailmaisimilla ei voida erottaa raitioliikennettä sekaliikennekaistan muusta liikenteestä. Ilmaisimen muotoilulla ja sijoittelulla on mahdollista toteuttaa ratkaisu, jolla raitiovaunu pystytään havaitsemaan, mutta täysin luotettavaa tapaa erottaa raitiovaunu muusta liikenteestä on vaikea kelailmaisimin toteuttaa. Induktiivisia kelailmaisimia kannattaa käyttää ainakin kriittisissä paikoissa, joissa ilmaisintiedon luotettavuus on ensiarvoisen tärkeää, kuten isoissa risteyksissä ja suurien ajonopeuksien alueilla. Kelailmaisimet ovat pääsääntöisesti niin toimintavarmoja, että niitä voi suositella suunnittelun lähtökohtaiseksi ilmaisintyypiksi ajoneuvojen ja polkupyörien tunnistamiseen. (Mustaniemi, 2021).

Tutkat

Perinteisesti liikennevaloissa käytettyjen tutkien toiminta perustuu tutkan havainnoimiin liikkuviin objekteihin. Yleisesti tutkia käytetään erityisesti pyöräilijöiden ja ajoneuvojen havainnointiin kohteissa, joissa ei vaadita tunnistuksen täydellistä luotettavuutta. Tutkien

käyttöä voidaan suosia lisäksi kohteissa, joissa ajoväylän pintarakenteet eivät salli ilmaisimien käyttämistä tai johtavat ilmaisimien lyhyeen käyttöikään. (Mustaniemi, 2021; Liikennevirasto, 2017, s. 89).

Viime vuosina käyttöön on otettu myös monipistetutkia. Monipistetutkalla voidaan tunnistaa objektin läsnäolo siten, että tutka ikään kuin muistaa pysähtyneen objektin sijainnin ennen kuin se jatkaa liikkumistaan. Monipistetutkilla voidaan myös kerätä tietoa esimerkiksi liikennemääristä, ajonopeuksista, kaistan varausasteista, tunnistaa liikenteestä ruuhkia ja väärään suuntaan ajavia ajoneuvoja sekä luokitella liikkumismuotoja liikennevirrasta. (Mustaniemi, 2021).

On huomattu, että monipistetutkien käyttö on haastavaa, kun havainnoivalle pinnalle kertyy lunta. Tutkalla on myös haastavaa erotella pieniä objekteja, kuten jalankulkijoita ja pyöräilijöitä kauempaa. Monipistetutkien käyttöä voidaan suositella ensisijaisesti suurempiin liittyisiin, joissa yksi tutka voi korvata useita kulkuilmaisimia rinnakkaisilta kaistoilta. (Mustaniemi, 2021; Liikennevirasto, 2017, s. 89).

Magnetometrit

Magnetometrejä on maailmalla hyödynnetty kulkuilmaisun lisäksi myös ulkoalueiden pysäköinnin hallinnassa asentamalla niitä pysäköintiruutuihin. Toimintaperiaate laitteilla on kelailmaisimien tapaan induktanssin mittausta, mutta magnetometrit voidaan nostaa tiestä ylös päällystysten ajaksi toisin kuin kelailmaisimet. Magnetometrejä voidaan käyttää esimerkiksi siltakohteissa, joissa niiden käyttö on vaivattomampaa kuin kelailmaisimien käyttö pienen tilantarpeen ja langattomuuden ansioista. Magnetometriä voidaan suositella myös kohteissa, joissa putkituksien ja sahauksien toteuttaminen on vaikeaa, kuten silloilla ja pysäköintilaitoksissa. Magnetometriä käyttö vähentää putkituksen ja kaapeloinnin tarvetta liittymissä tehden toteutuksesta kustannustehokkaampaa. (Mustaniemi, 2021).

Magnetometreillä ei pystytä erottamaan ajoneuvoluokkia. Langattomuuden takia magnetometrit vaativat akkujen vaihtamista. Nykyisin tunnistimien akku kestää noin kymmenen vuotta. Suomessa liikenneympäristössä magnetometrejä on laajimmin käytössä Vaasassa, jossa näistä on saatu hyviä kokemuksia. (Mustaniemi, 2021).

Kamerakuvan tunnistus

Kamerakuvan tunnistus tarkoittaa tekoälyn hyödyntämistä kuvavirran tulkitsemisessa. Tyypillisesti järjestelmän tekoälylle on opetettu eri objekteja eri luokissa, joihin se hakee vertailukohtia syötetystä kuvavirrasta. Menetelmä vaatii laadukkaan videokameran sijoittamisen risteysalueelle. Videokameran ohella myös lämpökameran käyttö on mahdollista. Videokameran sijoittaminen liittymään mahdollistaa myös onnettomuuksien ja poikkeustilanteiden tutkimisen jälkikäteen, mikäli kuvattu video tallennetaan. Vastaavasti reaaliaikainen liittymän etäseuranta on mahdollista kameran välityksellä. (Mustaniemi, 2021).

Videokameroiden sijoitusta suositellaan liikenteen seurannan ja valvonnan tarpeisiin suurimpiin liittymäalueisiin. Hyvin toteutetusta seurantakamerasta on mahdollista tuoda syötteitä liikennevalokojeelle. Kamerakuvatunnistuksella voidaan tunnistaa kaukaa raskaan liikenteen ajoneuvot ja raitiovaunut. Tämä mahdollistaa näitä ryhmiä palvelevien etuuksien luomisen. Vaihtelevat sääolot asettavat haasteita kamerakuvan tunnistukselle. Esimerkiksi lumi, sumu ja pöly voivat aiheuttaa hetkittäistä häiriötä objektien tunnistamiseen. (Mustaniemi, 2021).

Teletekninen ilmaisin

Teletekninen ilmaisin on kelailmaisimen kaltainen maahan asennettava ilmaisin, jota käytetään raideliikenteen ohjaamiseen. Lisäksi asentamalla teletekninen ilmaisin sekaliikennekaistalle tavallisen kelailmaisimen rinnalle raitiovaunut pystytään erottelemaan ajoneuvoliikenteestä. (Voestalpine n.d.)

Teleteknisen ilmaisimen avulla pystytään sekä vastaanottamaan että lähettämään informaatiota raideliikenteelle. Raitiovaunuihin asennetaan lähetin, jonka avulla voidaan lähettää ilmaisimelle yksilöllisiä tietoja esimerkiksi vaunun reitistä, jolloin ilmaisin voi lähettää tiedon esimerkiksi edessä olevalle vaihteelle, liikennevaloille tai pysäkkien informaatiotauluun. Teleteknisen ilmaisimen avulla voidaan seurata tarkasti jokaista vaunua ja lähettää ajantasaiset tiedot esimerkiksi karttapalveluihin ja reittioppaisiin. (Voestalpine n.d.)

3.3.3 Ohjaustavat

Liikennevalo-ohjauksessa on Suomessa käytössä neljä ohjaustapaa. Nämä voidaan luokitella seuraavasti järjestyksessä toiminnaltaan yksinkertaisesta monimutkaisempaan ja kierroltaan avoimempaan: erillisohjaus, perinteinen yhteenkytkentä, SYVARI ja adaptiivinen ohjaus. Lisäksi on olemassa vaihepulsiohjaus, jota käytetään Suomessa ainoastaan Helsingissä.

Erillisohjaus

Erillisohjaus tarkoittaa liittymän liikennevalojen itsenäistä toimintaa, joka ei ole riippuvainen muiden liittymien liikennevalojen toiminnasta. Erillisohjatut liikennevalot toimivat ilman kiinteää kiertoaikaa liikennevalokojeeseen kytkettyjen ilmaisimien antamien liikennetietojen perusteella. Erillisohjauksen suurin etu on toiminnan joustavuus liikennemäärien vaihtelun suhteen. (Liikennevirasto, 2017, ss. 165, 169).

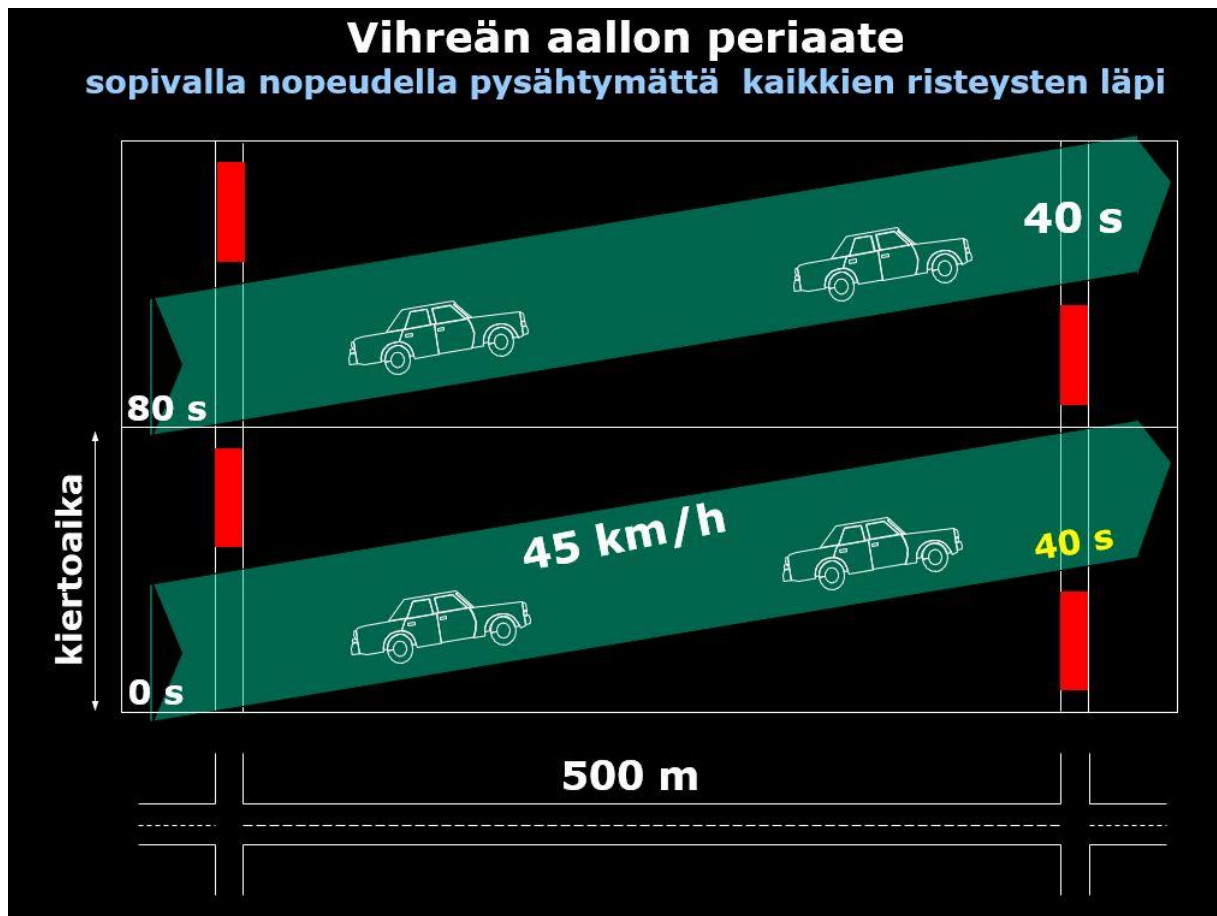
Erillisohjauksessa ei ole kiinteää vaiherinkiä. Erillisohjauksen toimivuuden kannalta ilmaisimien toiminta on kriittistä. Pahimmassa tapauksessa puutteelliset ilmaisinjärjestelyt voivat aiheuttaa ajoneuvojen pysähtymisen lähes aina liittymään saavuttaessa. (Vaarala, Adaptiivisen liikennevalo-ohjauksen toiminta ja vaikutukset, 2015, s. 10).

Yhteenkytketty ohjaus

Yhteenkytketyllä ohjauksella tarkoitetaan kahden tai useamman lähekkäisen liittymän ohjauskojeen toiminnan synkronoimista. Yhteenkytkettynä liikennevalot mahdollistavat väylän yhtenäisen valo-ohjauksen siten, että liikenne voi tietyllä nopeudella edetä useamman liittymän läpi mahdollisimman vähin pysähdyksin eli niin kutsulla vihreällä aallolla. Vihreän aallon periaate esitetään kuvassa 18. Vihreiden valojen esiintymistä ja pituuksia säädellään ilmaisimien avulla. Vihreän pituuden ja esiintymisajankohdan vaihtelumahdollisuudet ovat kuitenkin huomattavasti rajoitetumpia kuin erillisohjauksessa. (Liikennevirasto, 2017, s. 165).

Yhteenkytketyssä liikennevaloliittymässä syntyy tilanteita, joissa tulosuunnan opastimia pidetään vihreällä, vaikka vihreän pidennystarvetta ei liikenteen takia ole. Tämä voi aiheuttaa risteäville tulosuunnille tarpeetonta odottamista. (Liikennevirasto, 2017, s. 165).

Kuva 18. Vihreän aallon periaate (Liikennevalot.info n.d.-e).



SYVARI – Synkronoitu vaiherinki

SYVARI eli synkronoitu vaiherinki on tapa toteuttaa yhteenkytkettyä eli tahdistettua valo-ohjausta. Siinä yhdistyy perinteisten erillisohjauksen ja yhteenkytketyn ohjauksen ominaisuudet. Sen ytimenä ovat erillisohjatuissa liikennevaloissa käytettävät kaksi toimintoa; ohjaussuuntakohtainen ohjaus ja vaiherinki. Ohjelman toiminta perustuu liikennevalojen ohjauskojeissa perustoimintona olevan vaiheringin ominaisuuksiin. Tämän vuoksi liittymäkohtaista suunnittelu- ja ohjelmointityötä tarvitaan vähemmän kuin toteutettaessa joukkoliikenne-etuksia perinteisesti yhteenkytketyssä ohjauksessa. (Salonen, 2010).

Perinteisestä erillisohjauksesta SYVARI-ohjaus poikkeaa siten, että vaiherinki on synkronoitu kiertoaikaan. Etuustoiminnon aikana synkronointi on ohjauksessa taka-alalla, ja ohjaus toimii joustavasti erillisohjauksen periaatteiden mukaan. Perinteisessä yhteenkytketyssä ohjauksessa vihreiden aloitusluvut annetaan ja poistetaan kiertoaikalaskurin sekuntilukemiin sidotusti. SYVARI puolestaan antaa vihreiden ajoluvat ja ajolupien poistot vaiheringin avulla.

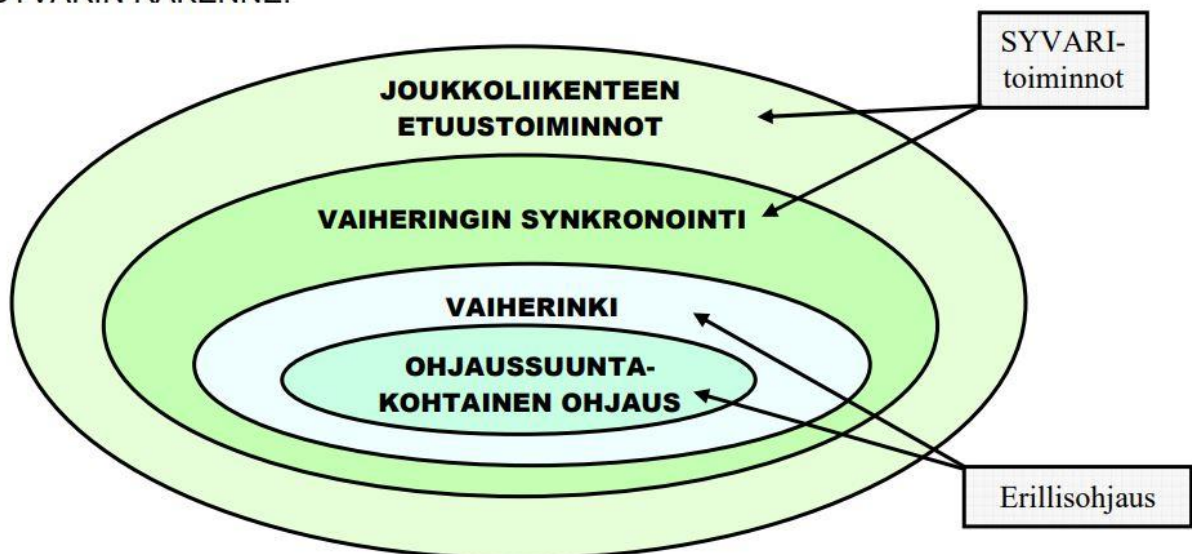
Vaiherinki pidentyy tai lyhenee etuuskien myötä ja palautuu näiden jälkeen annettujen parametrien sisällä takaisin yhteenkytketyn ohjauksen perustilaan. (Salonen, 2010).

SYVARI siis luo vaiheringin avulla etuutta pyytävälle ajoneuvolle mahdollisimman sujuvan etenemisen liittymän läpi tilanteeseen sopivalla tavalla. Näin vaiheringin ominaisuudet antavat erinomaiset edellytykset joustavien ja tehokkaiden joukkoliikenne-etuuskien toteuttamiseen. Kun risteyksessä ei ole etuustoimintoja, toimii SYVARI-ohjauksen vaiherinki hyvin samankaltaisesti kuin perinteinen yhteenkytketty valo-ohjaus. (Salonen, 2010).

Kuvassa 19 on esitetty SYVARI-ohjauksen rakenne. Vaiheringin synkronointi mahdollistaa vaiheringin käytön tahdistetussa ohjauksessa. Joukkoliikenteen etuustoiminnot puolestaan siirtävät synkronoinnin taka-alalle ja toteuttavat etuudet vaiheringin perusominaisuuksia hyödyntäen. (Salonen, 2010).

Kuva 19. Synkronoidun vaiheringin rakenne (Salonen, 2010).

SYVARIN RAKENNE:



Adaptiivinen ohjaus

Perinteisissä aikaohjatuissa liikennevaloissa käytetään erilaisia kiinteitä valo-ohjelmia. Valo-ohjelmat suunnitellaan ennen liikennevalojen asennusta hyödyntämällä olemassa olevia liikennemäärätietoja, ja päivitetään tarpeen mukaan käyttöönoton jälkeen. Aikaohjatut liikennevalot ovat joustamattomia, koska liikennemäärien hetkittäisiä vaihteluja ei voida

ottaa huomioon. Adaptiivisessa valo-ohjauksessa liikennevalojen ohjausjärjestelmä hyödyntää liikenneilmaisimilta saatuja tietoja liikennevalojen toiminnan optimointiin reaaliajassa. (Vaarala, 2015, ss. 7-8).

Yhteenkytkentäjaksolla oleviin liikennevalo-ohjelmointeihin muutosten teko on työlästä. Adaptiivinen järjestelmä korjautuu nopeasti, ja kiertoaika voi vaihdella liikennemäärän mukaan vapaasti optimoiden aina kulloistakin ajosuuntaa liikennemäärän ja annettujen parametrien suhteen. Adaptiivisessa ohjauksessa ohjelmointimuutosten määrä on pienempi, sillä ohjaus pystyy sopeutumaan oletusarvoisesti suurempiin muutoksiin ilman uudelleensuunnittelua. (Vaarala, 2015, ss. 125-126).

Adaptiivisia valo-ohjausjärjestelmiä on useita erilaisia, ja ne eroavat toiminnaltaan toisistaan. Näitä ovat muun muassa SCOOT, SCATS ja ImFlow. Yleisesti kyseisissä järjestelmissä katuverkon liikenne kuvataan liikennemallilla, joka päivittyy liikenneilmaisimilta saaduilla liikennetiedoilla. Adaptiivinen liikennevalo-ohjaus otettiin käyttöön ensi kertaa Suomessa Tampereen raitiotien rakentamisen yhteydessä. Järjestelmänä toimii ImFlow. (Vaarala, 2015, s. 126).

Adaptiivisten valo-ohjausjärjestelmien käyttöönoton hankaluus on siinä, että järjestelmät eivät noudata valmiiksi suunniteltuja valo-ohjelmia. Tämän seurauksena valo-ohjauksen toimintaa ei tunneta täysin ennen järjestelmän käyttöönottoa. Käyttöönoton aikaista työmäärää vähentää käytetyn simulointimallin tarkkuus. Mitä lähempänä todellista tilannetta simulointimalli on, sitä vähemmän ylimääräistä työtä järjestelmän toiminnan optimointiin kuluu. (Vaarala, Adaptiivisen liikennevalo-ohjauksen toiminta ja vaikutukset, 2015, s. 71).

Vaihepulssiohjaus

Vaihepulssiohjauksesta tätä työtä varten haastateltiin liikennevalosuunnittelun asiantuntijaa projektipäällikkö Ville Vaaralaa Helsingin kaupungilta. Vaihepulssiohjausta käytetään valtaosassa Helsingin yhteenkytketyistä risteyksistä.

Ohjaustavassa toimivat rinnakkain niin sanottu pulssiaikalaskuri ja kiertoaikalaskuri. Pulssien käynnistyminen on sidottu kiertoaikalaskurin ennalta määrätyille ajanhetkille. Pulssilaskurin

sisällä puolestaan toteutetaan ohjauskäskyt ja/tai aktivoidaan ohjauslohkoja. Pulsseille määritellään tarvittavat pituudet. Pulssien aikana opastinryhmien on ehdittävä käynnistyä ennen kuin eriaikaisille ryhmille annetaan aloituslupia. Opastinryhmien tulee lisäksi ehtiä toteutua vähintään minimivihreän mittaisena ennen mahdollisia punaiseksi-käskyjä. Pulssien yhteenlaskettujen pituuksien summa määrittää ohjelman minimikiertoajan. Peräkkäisten pulssien välissä on usein niin sanottua puskuriaikaa. Pulsseja ajoittamalla puskuriaikaa voidaan käyttää vihreän jakamiseen eri opastinryhmien välillä. (Vaarala, 2021).

Joukkoliikenne-etuudet pulssiohjauksessa toteutetaan pidentämällä käynnissä olevan pulssin kestoja, jolloin pidennettävän opastinryhmän punaiseksi-käskyä viivytetään. Myös mahdolliset ylimääräiset vaiheet voidaan toteuttaa pulssia pidentämällä, ellei pulssin pituuden määrittelyssä ole entuudestaan varattu aikaa mahdolliselle ylimääräiselle vaiheelle. Aiennuksessa mahdollinen puskuriaika poistetaan kokonaan tai osittain pulssien välistä, jolloin seuraava pulssi käynnistetään mahdollisesti heti edellisen pulssin vähimmäiskeston jälkeen. Joukkoliikennepidennysten jälkeen kierto pyrkii synkronoitumaan takaisin normaaliin ajoitukseen aina kiertoa lyhentämällä. Tähän se hyödyntää ohjelmassa olevaa pulssien välistä puskuriaikaa. Riippuen siitä, kuinka pitkä pidennys joukkoliikennevälineellä on ollut ja kuinka paljon ajoituksessa on puskuria, määräytyy se, kuinka kauan synkronoituminen takaisin normaaliin ajoitukseen kestää. Synkronoituminen voi kestää yhdestä kierrosta useampaan, riippuen risteyksestä. Mikäli edellisen pidennyksen jälkeen saapuu seuraava pidennystä pyytävä joukkoliikenneväline, määräytyy etuuden toteuttaminen jäljellä olevasta pidennysajasta. Helsingissä on usein määritelty, että kierto voi poiketa normaalista ajoituksesta 30 sekuntia pidennyksen yhteydessä, jotta synkronoituminen takaisin normaaliin ajoitukseen tapahtuu kohtuullisessa ajassa eikä muulle liikenteelle aiheudu etuudesta kohtuutonta haittaa. (Vaarala, 2021).

Pulssiohjauksen toteuttaminen voi olla työläämpää kuin SYVARI-ohjauksen toteuttaminen, koska SYVARI-ohjaus sisältää enemmän vakioituja toimintoja. Pulssiohjauksen etuna voi kuitenkin pitää ohjelmien ylläpidon vaivattomuutta. Esimerkiksi kun vihreän valon näyttämistä siirretään pääsuunnalta sivusuunnalle tietyssä ohjelmassa tai kun vaihesiirtoa muutetaan viereisten risteysten välillä, edellyttää muutoksen toteuttaminen mahdollisesti vain yhdestä kolmeen parametrin muutosta ohjelmoinnissa. Pulssiohjauksessa tiedetään kullakin hetkellä tarkalleen, miten esimerkiksi peräkkäisten ylimääräisten vaiheiden ja

pidennysten tai aiennusten jälkeen palaudutaan takaisin normaaliin ajoitukseen. Tästä syystä pulssiohjausta on pidetty sopivana ohjaustapana ohjata Helsingin monimutkaisia yhteenkytkettyjä risteyksiä. (Vaarala, 2021).

3.4 Liikennevaloetuuudet

Kari Sanen mukaan joukkoliikenteen etuus on monimutkainen liikennevalojen erikoistoiminto, joka vaikuttaa valoihin silloin, kun ilmaisin havaitsee bussin tai raitiovaunun lähestyvän liikennevaloristeystä. Muutoin liikennevalot toimivat normaaliin tapaan. (Liikennevalot.info, n.d.-b). Järjestelyllä pyritään vähentämään linja-autojen tai raitiovaunujen viivytyksiä ja pysähdyksiä liikennevaloissa. Tässä työssä keskitytään ajoitusteknisiin järjestelyihin jättäen pois fyysiset järjestelyt, kuten joukkoliikenteen oma ajokaista ja liikennevaloristeyksen ohitus. (Vanhanen, ym., 2007a, s. 10).

3.4.1 Liikennevaloetuuudet Suomessa

Joukkoliikenteen etuuksissa tulisi aina käyttää kahta ilmaisinta; pyyntöilmaisinta ja kuittausilmaisinta. Kuittausilmaisimella vihreän pituutta voidaan säätää tarkemmin silloin, kun ajoneuvon ajonopeus vaihtelee esimerkiksi ajokelin tai liikennemäärien vuoksi. Etuuden tulisi päättyä aina heti, kun ajoneuvo on ohittanut risteyksen. Tällöin etuus aiheuttaa muulle liikenteelle mahdollisimman vähän turhia viivytyksiä. (Liikennevalot.info n.d.-f).

Joukkoliikenteen etuuksia on kahdenlaisia. Yleisimmin etuus tarkoittaa suotuisan vaiheen aiennusta, pidennystä tai oman etuusvaiheen pyytämistä tavalliseen vaihekiertoon. Etuus käynnistää hallitusti joukkoliikenteelle ajolupaa näyttävän vaiheen ja ylläpitää sitä, kunnes raitiovaunu tai bussi on ohittanut risteyksen. (Liikennevalot.info n.d.-f).

Pakkoetus toimii huomattavasti voimakkaammin. Se katkaisee risteävien ajosuuntien ja suojateiden vihreän valon mahdollisimman pian, jonka jälkeen joukkoliikenne saa vihreän valon heti vaihtumisaikojen jälkeen. Kun ajoneuvo on ohittanut risteyksen, valot palautuvat takaisin normaaliin tilaan. Tahdistuminen takaisin vaihekiertoon riippuu käytetystä ohjelmointitavasta ja etuuden ohjelmoinnista. Yleensä käytössä on tavallinen etuus, koska

pakkoetus sekoittaa liikennevalojen toimintaa enemmän kuin tavallinen etuus.
(Liikennevalot.info n.d.-f).

3.4.2 Joukkoliikenne-etuuden luontitavat

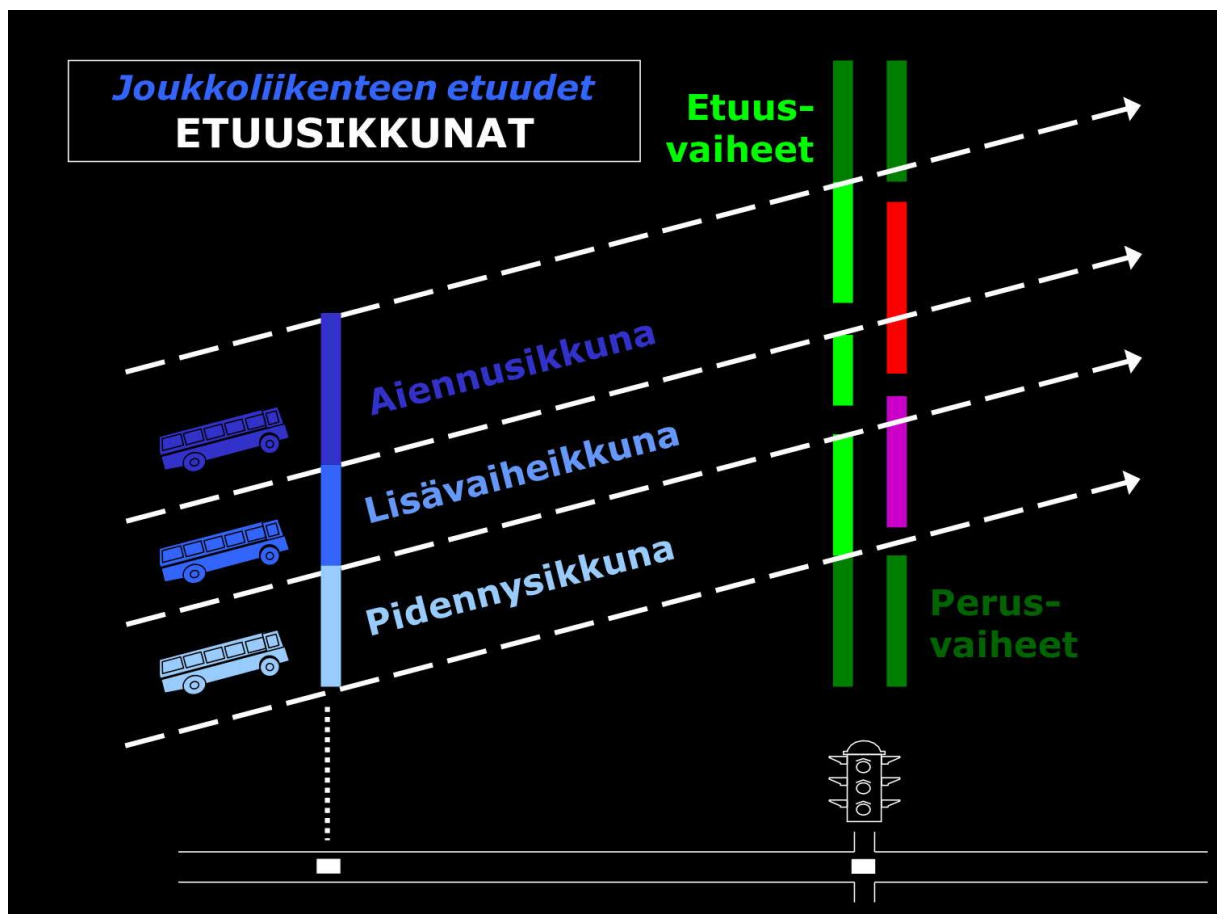
Joukkoliikenteen etuus voidaan luoda usealla eri toiminnolla. Yleisin näistä on vihreän valon pidennys, jolloin vihreää valoa jatketaan tavallista pidempään, mikä mahdollistaa ajoneuvon pääsyn risteyksen läpi pysähtymättä siihen. Pyyntöilmaisoin havaitsee ajoneuvon juuri ennen perusvihreän päättymistä, jolloin pidennys jatkuu kuittausilmaisuun asti, jonka jälkeen vihreä päättyy. (Liikennevalot.info n.d.-f).

Toinen yleinen toiminto on vihreän aiennus. Aiennus aloittaa vihreän valon tavallista aiemmin, jolloin ajoneuvo pääsee risteyksestä nopeammin läpi. Vihreän aiennus lopettaa käynnissä olevan vihreän valon mutta ei katkaise muiden tulosuuntien tai jalankulkijoiden minimivihreää tai takuuvihreää. (Liikennevalot.info n.d.-f).

Näiden lisäksi joukkoliikenteelle voidaan luoda etuutta valojen lisävaiheella, valokierron nopeutuksella tai vaihtamalla vihreiden tulosuuntien järjestystä eli rotaatiota. Etuuden toteutustapa valitaan sillä perusteella, milloin pyyntöilmaisoin havaitsee ajoneuvon. Tätä prosessia voidaan kuvata etuusikkunoina, jotka ovat auki tietyn ajan valokierrossa. Etuutta ei aina tarvitse luoda, jos ajoneuvo havaitaan ilmaisimella perusvihreän kiertoon sopivasti. Etuusikkunat on esitelty kuvassa 20. (Liikennevalot.info n.d.-f).

Etuuden tai etuuksien toteuduttua liikennevalot palaavat normaaliin valokiertoon eli tahdistuvat. SYVARI-ohjauksessa valokierron tahdistus voidaan toteuttaa joko nopeuttamalla tai hidastamalla valokiertoa sitä. Nopeuttamalla valokiertoa ajosuuntien vihreät ajoluvat toteutuvat lyhyempinä. Hidastamalla valokiertoa vihreät ajoluvat toteutuvat pidempinä, ja joissain tapauksissa jokin vaihe voi jäädä kerran toteutumatta. (Liikennevalot.info n.d.-f).

Kuva 20. Joukkoliikenteen etuusikkunat (Liikennevalot.info n.d.-f).



Sijoittamalla pyyntöilmaisin riittävän etäälle risteyksestä ja käyttämällä joustavasti eri etuuksia saadaan ajoneuvolle järjestettyä vihreä valo hyvin todennäköisesti ennen sen saapumista risteykseen. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista lyhyistä risteysväleistä, vaihtelevista pysäkkiajoista ja muun liikenteen liiallisesta hidastumisesta johtuen. (Liikennevalot.info n.d.-f).

4 Ohjausperiaatteiden vaikutukset matka-aikaan

Matka-aika on yksi joukkoliikennehankkeiden suunnittelun merkittävimmistä ajureista ja keskeinen kilpailukytekijä matkustajille kulkumuotoa valitessaan. Hankkeita myös perustellaan usein matka-aikasäästöillä, jotka ovat suoraan verrannollisia matkustajamääriin hankkeiden simuloinneissa.

Tässä luvussa paneudutaan suunnitteluratkaisuihin, toimintatapoihin ja eri liittymätyyppejä koskeviin havaintoihin ja siihen, kuinka edellä mainitut vaikuttavat raitiovaunun matka-

aikaan. Pääpaino on haastateltavien näkemyksillä. Sen lisäksi asioita on käsitelty ja selvitetty kirjallisten lähteiden avulla. Tutkimukseen haastatellut Lauri Rätty ja Lauri Kangas kommentoivat asioita liikennesuunnittelun näkökulmasta, Alexandra Arppe kuljettajan ja aikataulusuunnittelijan näkökulmasta ja Kari Sane liikennevalosuunnittelun näkökulmasta.

4.1 Liittymätyypit

Tässä alaluvussa kerrotaan erilaisista liittymistä raitiovaunun näkökulmasta. Osuudessa kerrotaan olosuhteista, joissa kyseisiä liittymiä yleensä käytetään. Lisäksi selvitetään, mitkä ovat kyseisten suunnitteluratkaisujen edut ja haasteet.

4.1.1 Valo-ohjattu risteys

Valo-ohjatulla risteyksellä tarkoitetaan liittymää, jossa jokaisella liittymän tulosuunnalla on liikennevalo-ohjaus. Raitiovaunun näkökulmasta sillä voidaan tarkoittaa joukkoliikenneopastinta tai tavallista ajoneuvo-opastinta.

Rädyn mukaan valo-ohjaus kannattaa toteuttaa risteyksessä, jos se saadaan toimimaan raitiovaunulle luotettavasti ja laadukkaasti. Toisin sanoen valoetuuden pyynnön ja kuittauksen välisen ajan tulisi olla sekä tilanteeseen katsoen lyhyt että lähes aina toteutuva. (Rätty, 2021).

Kangas jatkaa Rädyn linjalla toteamalla täyden valo-ohjauksen olevan usein paras tapa ohjata liittymää, mikäli sen etuudet toimivat. Kokonaisuus kuitenkin ratkaisee. Joissain tilanteissa täysi valo-ohjaus ei välttämättä ole paras ratkaisu; esimerkiksi silloin, jos ohjaus on jäykkä, se on hankala toteuttaa tai jos ohjaus olisi jalankulkijoiden näkökulmasta outo. Tällöin jalankulkijat mitä todennäköisimmin noudattaisivat ohjausta heikosti. (Kangas, 2021).

Kangas näkee, että sekaliikenteen tulosuunnat saattavat lisätä jäykkyyttä liikennevaloissa. Jos raitiovaunu tulee täysin omalta tulosuunnaltaan, on se helpompaa ohjata liittymän läpi verrattuna siihen, että se ohjattaisiin sekaliikennekaistalta. Sekaliikennekaistalla on mahdollista, että autoille joudutaan antaa lupa ajaa raitiovaunun edestä samalta kaistalta. (Kangas, 2021).

Arppe pitää ohjattuja liittymiä parempina kuin ohjaamattomia. Kuljettajalle ohjaus tuo turvallisuuden tunnetta, mikä mahdollistaa rohkeamman ajon liittymien läpi. (Arppe, 2021).

Sanen mielestä pikaraitiotiellä tulisi suosia täyttä valo-ohjausta, koska etuuksien avulla vaunulle pystytään luomaan mahdollisimman esteetön kulku. Sane puolestaan ei pidä sekaliikennekaistaa tuomittavana, sillä se on usein välttämätön ratkaisu. Sekaliikennekaista täytyy suunnitella siten, että kun raitiovaunu ilmoittautuu liikennevalokojeelle, sen edessä olevaa kaistaa aletaan tyhjentää, eli raitiovaunun tulosuunnalle asetetaan vihreä ja muille tulosuunnille punainen valo. Ilmaisimien avulla voidaan (tällaisissa tilanteissa) mitata jonon pituutta ja määritellä, kuinka pian jonon purkaminen on syytä aloittaa. Usein liikenteelle tehdään yksi lisäkaista sen vuoksi, ettei luoteta siihen, että liikennevalo-ohjaus pystyy hoitamaan kaistan tyhjennyksen. Perusteellisemmalla suunnittelulla olisi päästy hyväksytyyn lopputulokseen monessa tilanteessa sekakaistalla. (Sane, 2021).

Liikennevaloilla saadaan siis parhaimmillaan luotua nopea ja toistettava liittymäalueen ylitys, jolloin kuljettaja voi luottaa liittymän ohjaukseen ja pitää ajonopeuden tilanteeseen nähden mahdollisimman suurena. Valo-ohjauksen tulee kuitenkin olla selkeä jokaiselle käyttäjäryhmälle. Pahimmillaan huonosti toteutettu valo-ohjaus voi aiheuttaa suurta viivytystä ja hajontaa matka-ajassa, mikäli suunnitellut etuudet eivät toteudu. Lisäksi huono valo-ohjaus saattaa lisätä liikennesääntöjen laiminlyöntiä, kuten punaisia päin kävelyä.

4.1.2 Osittain ohjattu risteys

Osittaisessa ohjauksessa lepotilassa olevat opastimet ovat pimeänä. Liittymän jokaista tulosuuntaa ei välttämättä ohjata. Osittaisia ohjauksia ovat muun muassa palokuntavalot ja jokerivalot.

Kankaan mukaan osittaisen ohjauksen vahvuuksia ovat sujuvuus ja se, että sitä ei tarvitse yleensä kytkeä yhteen. Se pystyy reagoimaan oikea-aikaisesti tulevaan raitiovaunuun eikä aiheuta muille tienkäyttäjille ylimääräistä viivettä ja jäykkyyttä kuin tarpeen vaatiessa. Haasteeksi Kangas mainitsee tilanteet, jossa sekaliikennekaistalla raitiovaunun edessä on ajoneuvoliikennettä. Ajoneuvon kuljettajalla ei välttämättä ole täyttä ymmärrystä

osittaisesta ohjauksesta, ja ajoneuvo saattaa jäädä tukkeeksi raitiovaunun eteen vaikka kulku olisikin järjestetty. (Kangas, 2021).

Ongelmana osittaisessa ohjauksessa Kangas nostaa esiin tilanteet, joissa raitiovaunun kuljettaja on epävarma siitä, toimiiko osittainen valo-ohjaus vai ei. Tämän ongelman poistamiseksi Raide-Jokerille ollaan ottamassa käyttöön niin sanottu info-opastin, jolla raitiovaunun kuljettajalle näytetään ohjauksen tila. Tämä ei välttämättä ole merkittävä muutos matka-ajan kannalta, mutta se vähentää kuljettajien epävarmuutta risteykseen saapuessa. Näin kuljettajan ei tarvitse huolehtia siitä, toimivatko liikennevalot vaan hän voi keskittyä ajamiseen. Tämän lisäksi Raide-Jokerille tulee käyttöön kolmion muotoisten opastimien sijaan kaksiaukkoiset punakeltaiset opastimet, joilla toivotaan olevan vaikutusta ohjauksen selkeyteen ja noudatettavuuteen ajoneuvon kuljettajan näkökulmasta, koska ne näyttävät enemmän niin sanotuilta tavallisen näköisiltä liikennevalo-opastimilta. (Kangas, 2021).

Arppe tunnistaa Kankaan mainitseman kuljettajien epävarmuuden valojen toimivuudesta. Jokerivalot ovat hyvä ratkaisu, mutta ongelma on juuri se, että kuljettaja harvoin näkee, toimivatko ne. Arppe nostaa esimerkiksi Helsingin Asemapäällikönkadun kiertoliittymän, jossa kuljettaja ei näe, vilkkuvatko liikennevalot vai eivät. Tämä on ongelma erityisesti onnettomuustilanteessa. Jos valot eivät vilku ja raitiovaunu ajaa kiertoliittymään, on raitiovaunu väistämisvelvollinen, mutta jos valot ovat vilkkuneet, onnettomuus on autoilijan syy. (Arppe, 2021).

Sanen mielestä osittaisessa ohjauksessa opastinjärjestelyt voisivat olla tehokkaampia. Nykyisellään ollaan liikaa sidoksissa liikennevalopäätöksen määräykseen, jonka mukaan muun muassa opastimien pitää olla tietyllä korkeudella. Jos opastimet kiinnitettäisiin matalammalle ja pikkutoistoja käytettäisiin enemmän, ne näkyisivät kuljettajan ikkunaan paremmin ja niiden osoittamien ohjeiden noudattaminen lisääntyisi. (Sane, 2021).

Sane muistuttaa, että aikanaan jokerivalon käyttöönotossa oli ministeriössä pienimmän vastustuksen reitti käyttää niitä elementtejä, joita oli jo silloin käytössä. Kolmion muotoista opastinta päädyttiin käyttämään, koska se oli jo käytössä palokuntavalloissa. Sane näkee, että

tavanomainen opastin voisi autoilijan näkökulmasta olla tutumpi, ja näin sen noudattaminen voisi parantua. (Sane, 2021).

Osittaisella valo-ohjauksella raitiovaunulle voidaan taata kulku melko helposti häiritsemättä liikaa muita tienkäyttäjiä. Haasteena on kuitenkin epätietoisuus valojen toimivuudesta esimerkiksi raitiovaunun kuljettajan näkökulmasta. Tähän on kehitetty ratkaisuksi Raide-Jokerilla info-opastin, joka saattaa helpottaa ongelmaa. Raide-Jokerille käyttöön otettava kaksiaukkoinen opastin puolestaan selkeyttäneen opastusta autoilijan näkökulmasta.

4.1.3 Ohjaamaton risteys

Ohjaamattomalla risteyksellä tarkoitetaan liittymää, jossa ei ole käytössä valo-ohjausta. Liittymässä noudatetaan normaaleja väistämissääntöjä.

Valo-ohjaus ei aina ole paras ratkaisu kokonaisuuden toimivuuden kannalta. Rädyn mukaan saattaa olla parempi, että liittymä on ohjaamaton tai että se on osittainen ohjattu, jos liittymässä on hyvät näkemät ja selkeät ajolinjat ja liittymäjärjestelyt. Tällöin noudatetaan normaaleja väistämissääntöjä. On myös tilanteita, joissa lähtökohtaisesti hyvää liikennevaloetua ei synny eikä liikennevalojen virittäminen ole mahdollista. Tällöin ohjaamaton tai osittain ohjattu liittymä on matka-ajan kannalta varmempi ratkaisu kuin täysin ohjattu liittymä. (Räty, 2021).

Arppen mielestä ohjaamaton liittymä on kuljettajalle stressaava. Kuljettaja ei voi luottaa siihen, että autoilijat väistävät raitiovaunua, kun se tulee autoilijaan nähden vasemmalta. (Arppe, 2021).

Ohjaamaton risteys on mahdollinen ratkaisu, mutta toimii vain harvoissa paikoissa. Suunnittelun kannalta liittymäjärjestelyjen tulee olla selkeät ja näkemien riittävät. Ohjaamaton risteys on kuljettajan näkökulmasta stressaavin vaihtoehto monien epävarmuuksien vuoksi.

4.1.4 Shared Space (yhteinen tila)

Shared Space eli yhteinen tila on nimitys suunnitteluratkaisulle, jonka tavoitteena on luoda edellytykset sille, että eri liikkujat toimivat tilassa samoilla ehdoilla ja nopeuksilla.

Suunnitteluperiaatetta voidaan käyttää silloin, kun halutaan korostaa jalankulkijoiden asemaa liikenneympäristössä ja vastaavasti vähentää ajoneuvoliikenteen roolia. (Väylä, 2014).

Rädyn mukaan Shared Space on melko tyypillinen ratkaisu eurooppalaisissa raideliikennejärjestelmissä. Suomessa raitiovaunuliikenteen toimivuudesta yhteisessä tilassa Rätty nostaa esiin Helsingin Aleksanterinkadun. Aleksanterinkadulla raitiovaunun aikataulujen ja ajoaikojen luotettavuus on korkealla tasolla eivätkä ajoajat päästä päähän juurikaan vaihtelee. Raitiovaunut ja jalankulkijat saavat edetä alueella melko vapaasti, ilman liikennevalo-ohjausta. Se on loistava ympäristö molemmille liikennemuodoille, ja jalankulkijan on melko turvallista ylittää rata mistä kohtaa vain. Rädyn mukaan Shared Spacessa on olennaista, että vaunujen käyttämä tila osoitetaan selkeästi materiaalirajojen ja visuaalisten elementtien avulla. (Rätty, 2021).

Shared Space -alue on raitiovaunun kuljettajan näkökulmasta liikenteessä usein ongelmallinen, koska alueella ei voi luottaa muihin liikenteenkäyttäjiin, mutta Aleksanterinkadulla tämä ei Arppen mielestä kuitenkaan ole ongelma. Hän näkee, että jalankulkijat osaavat todella hyvin antaa tilaa raitiovaunulle, vaikka heillä olisi oikeus ylittää kiskot. Tämän vuoksi raitiovaunun ajaminen jopa 30 km/h ei tunnu pelottavalta, vaikka kyseessä on vilkas kävelykatumainen ympäristö. Kuljettajalle Aleksanterinkatu on mieluisa paikka ajaa. (Arppe, 2021).

Sane on Rädyn ja Arppen kanssa samoilla linjoilla Aleksanterinkadun toimivuudesta. Hänen mukaansa alue toimii hyvin, mutta se voisi toimia vielä paremmin, jos reunakivi olisi jätetty kokonaan pois. Muun muassa Saksassa on isoja kävelykatuja, joissa raitiovaunu liikkuu kadun keskellä ilman korkeaa reunakiveä. Sanen mukaan päättäjät eivät vielä aikanaan olleet valmiita valitsemaan reunakivetöntä ratkaisua Aleksanterinkadulle vaan päätyivät perinteiseen tapaan erottamaan jalkakäytävän ajoradasta reunakivellä. Reunakivi tekee kadusta putkimaisen, ja tämän vuoksi esimerkiksi taksin kuljettajat saattavat luulla, että

kadulla voi ajaa suhteellisen lujaa ja jalankulkijat pysyvät poissa ajoväylältä. Olisi tärkeää nähdä yhteisen liikennetilän idea ja se, että kaikki liikenne otetaan huomioon. (Sane, 2021).

Shared Space koetaan hyvänä vaihtoehtona vilkkaille kävelykatumaisille ympäristöille, kuten Helsingin Aleksanterinkatu. Autoliikennettä Aleksanterinkadulla on lähinnä taksien ja huoltoliikenteen muodossa, ja asiantuntijoiden mukaan jalankulkijat antavat raitiovaunun edetä melko vapaasti. Reunakivetyksessä nähdään hyviä ja huonoja puolia. Vähäinen autoliikenne mahdollistaisi reunakiven poistamisen kokonaan, mutta toisaalta se saattaisi lisätä jalankulkijoiden ylityksiä ja raitiovaunun varovaisuutta, joka puolestaan vaikuttaisi ajoaikoihin.

4.1.5 Kiertoliittymät

Suvi Tammilehto on käsitellyt opinnäytetyössään kiertoliittymiä raitiovaunuliikenteessä. Tammilehdon mukaan kiertoliittymien käyttö on usein kompromissi liikenteen sujuvuuden ja turvallisuuden välillä. Valo-ohjatussa kiertoliittymässä ei teoriassa pitäisi olla ongelmia, mikäli valo-ohjaus toimii, järjestelyt ovat selkeät ja tienkäyttäjät noudattavat niitä. Käytännön toteutus, toimivuus ja ihmisten käytös liikenteessä kuitenkin aiheuttavat ongelmia. Lähtökohtaisesti raitiotiellä tulisi välttää kiertoliittymiä ja suosia mieluummin esimerkiksi valo-ohjattua nelihaaraliittymää. (Tammilehto, 2020).

Kangas nostaa erityiseksi ongelmatapaukseksi tilanteen, jossa raitiovaunu tulee kiertoliittymään sekaliikennekaistalta. Silloin kyseisen kiertoliittymähaaran suojatietä ei saada ohjattua, jolloin raitiovaunulle ja sen edessä oleville ajoneuvoille syntyy väistämistilanne, koska kiertoliittymään liittyvää suojatietä ei voida valo-ohjata. Teoriassa jalankulkijoille voisi käyttää VAROVA-ohjausta, eli ei näyttäisi jalankulkijoille lainkaan vihreätä valoa, vaan opastin syttyisi ainoastaan raitiovaunun saapuessa ja näyttäisi silloin punaista. Kankaan mukaan Suomessa ei olla toistaiseksi haluttu tehdä näin. Ratkaisua on pidetty ongelmallisena, koska jos jalankulkija pysähtyy punaiseen eikä raitiovaunun suunnalle näytetä mitään ohjausta, varsinkin jos samalta suunnalta tulee raitiovaunujen lisäksi ajoneuvoja. Samasta suunnasta tulevalle autonkuljettajalle voi olla epäselvää, miksei jalankulkija tule suojatielle. Sekaliikenne siis vaikeuttaa tilannetta juuri sen vuoksi, että

vaikka raitiovaunun kuljettaja varmasti tietäisi, että jalankulkijat on pysäytetty liikennevalolla, niin autonkuljettaja taas ei tiedä sitä. (Kangas, 2021).

Pysäyttämällä liikenne kiertoliittymän ulkopuolelle estetään samalla liikenne, joka ei kohtaa raitioliikenteen kanssa kiertoliittymässä. Tästä syystä voisi olla parempi pysäyttää liikenne vasta kiertotilaan, jolloin autonkuljettajalla olisi mahdollisuus ajaa kiertoliittymässä olevista haaroista ulos, jotka eivät kohtaa raitioliikenteen kanssa. Tällöin poistuu myös ajoneuvon kuljettajan epävarmuus siitä, saako hän ajaa kiertoliittymän läpi vai ei.

4.1.6 Suojatiet

Tieliikennelain mukaan suojatietä lähestyvällä raitiovaunulla on ajettava sellaisella nopeudella, että sen voi tarvittaessa pysäyttää ennen suojatietä. Jalankulkijalle, joka on suojatiellä tai valmistautuu menemään sille, on raitiovaunun annettava jalankulkijalle esteetön kulku. (Tieliikennelaki 729/2018 § 64).

Rädyn mielestä suojatien käyttöä radan ylityksessä voidaan pitää perusteltuna, jos raitiovaunu joutuu kyseisessä kohdassa käytännössä aina pysähtymään tai väistämään jalankulkijaa. Suojatien avulla voidaan vakiodia vaunun pysähtymistä ja väistämistä tällaisissa kohdissa. Toisaalta jalankulkijoiden suuri määrä voi johtaa siihen, että vaunu joutuu odottamaan toistuvasti pitkiä aikoja väistäessään jalankulkijoita. Tällaisissa tilanteissa kannattaa harkita ylityspaikkaa tai suojatien valo-ohjausta. Toisin sanoen, jos kyseisessä paikassa on suojatie, se on myös valo-ohjattava. (Räty, 2021).

Kankaan mukaan suojatiet aiheuttavat paljon hajontaa liittymäjärjestelyissä, kuten kaikki sellaiset ratkaisut, joissa raitiovaunu joutuu väistämään. Suojatiet ovat toki tärkeitä monille käyttäjille, esimerkiksi näkövammaisille, jotka toivovat erityisesti valo-ohjattuja suojateitä ja ääniopastusta. Pitkät suojatiet ovat ongelmallisia, koska ne tekevät liikennevalo-ohjauksesta jäykän. Tämä vaikeuttaa etuuksien luomista. (Kangas, 2021).

Sanen mielestä pikaraitiotiellä ei lähtökohtaisesti pitäisi olla suojateitä. Jos suojateitä tarvitaan, ne tulisi sijoittaa pysäkin yhteyteen. Linjaosuuksilla ei saisi olla suojateitä ja jos on, ne täytyy valo-ohjata. Ohjauksessa tulisi käyttää raitiovaunuvaloa, jossa jalankulkijalla on

normaalitilanteessa pimeä valo, ja raitiovaunun saapuessa jalankulkijan valo muuttuu punaiseksi ja raitiovaunu saa ajoluvan itselleen. Tämä muistuttaa VAROVA-valon toimintamallia. Mikäli raitiovaunu kulkee autoliikenteen rinnalla, tulee silloin toteuttaa tavanomaiset suojatievalot, joissa raitiovaunu saa riittävän kaukaa ilmaisen ja pääsee suojatien läpi pysähtymättä. (Sane, 2021).

Sanen mukaan raitioliikenne tulisi erottaa autoliikenteen suojatiestä kaikin mahdollisin keinoin. Tämä vähentää valo-ohjauksen monimutkaisuutta, ja jopa koko autoliikenteen valo-ohjatun suojatien tarve poistuu, koska se ei ole yhteydessä raitiotien suojatiehen. (Sane, 2021).

Suojatiellä on siis merkittäviä raitioliikennettä hidastavia ja erityisesti matka-ajan hajontaa lisääviä vaikutuksia. Suojatiet ovat toki tärkeitä monille tienkäyttäjille ja esteettömyyden kannalta välttämättömiä pysäkkien yhteydessä. Pilkkomalla pitkät suojatiet saarekkeilla useampiin osiin saadaan suojateiden haittavaikutuksia valo-ohjaukseen minimoitua.

4.1.7 Ylityspaikat

Ylityspaikka on raitiotien ylitykseen tarkoitettu kohta, jossa jalankulkija on väistämisvelvollinen raitiovaunuun nähden. Ylityspaikalla tien ylittäjän tulee siis aina väistää raitiovaunua. (Raide-Jokeri, n.d.-b)

Raide-Jokerin reitillä ylityspaikka sijaitsee raitiotien raiteiden kohdalla paikassa, jossa jalankulkijat ylittävät raiteet. Viereisten ajokaistojen kohdalla ylitys jatkuu normaalina suojatienä. Ylityspaikalla ei ole suojatien liikennemerkkejä tai ajoratamaalauksia. (Raide-Jokeri, n.d.-b)

Suojateilla ja ylityspaikoilla on iso merkitys matka-ajan minimoinnissa. Rädyn mukaan suojatien ja ylityspaikan ratkaiseva ero on siinä, että kun laki velvoittaa raitiovaunua pysähtymään jalankulkijan astuessa suojatielle, ylityspaikalla tätä velvollisuutta ei ole. Näin ollen raitiovaunun kuljettaja voi riittävän päätöksentekomatkan jälkeen jatkaa vakionopeudella tai kiihdyttää varmistuttuaan turvallisesta etenemisestä. Tätä voidaan pitää ajoajan hajonnan kannalta merkittävänä asiana, koska ylityspaikalla on paljon todennäköisempää, että raitiovaunu joutuu ainoastaan hidastamaan nopeuttaan sen sijaan,

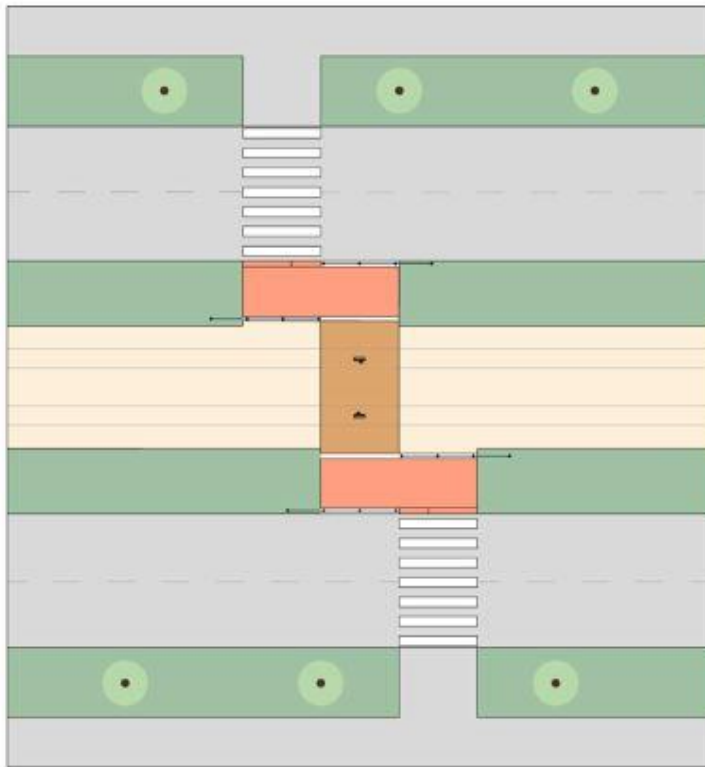
että joutuisi pysähtymään kokonaan. Eli olennainen ero on siinä, kuinka paljon ylityspaikalla tulee pysähdyksiä verrattuna suojatiehen. (Räty, 2021).

Myös Kangas nostaa esiin ylityspaikkojen hyödyt matka-aikaan nähden, sillä ylityspaikalla raitiovaunun ei tarvitse antaa jalankulkijalle esteetöntä kulkua. Raitiovaunun ei siis ole pakko ajaa ylityspaikoilla lujaa, sillä hyöty matka-aikaan tulee siitä, että sen ei tarvitse pysähtyä. (Kangas, 2021)

Raide-Jokerin ylityspaikoilla on käytössä oma väri, ja niihin maalataan raitiovaunun kuva. Ylityspaikoilla ei kuitenkaan ole tekstiä eikä näillä näkymin edes liikennemerkkiä, joka ilmoittaisi ylityspaikasta. Toistaiseksi ei ole tiedossa, onko ylityspaikoista tulossa tiedotuskampanjaa ja tarvitaanko sitä. Esimerkiksi Bergenissä uudesta raitiotiestä on järjestetty tiedotuskampanja avajaisten yhteydessä. (Kangas, 2021)

Vielä keskeneräisessä pääkaupunkiseudun raitioliikenteen suunnitteluohjeessa suositellaan ylityspaikkojen porrastamista raitiotien yli, mikäli kadun nopeusrajoitus on 50 km/h tai enemmän. Lisäksi ohjeessa mainitaan, että porrastus tulisi ensisijaisesti toteuttaa reunakivin, ja sitä tehostettaisiin nopeusrajoituksen, näkemien tai muun syyn edellyttäessä kaitein tai muin rakentein. Ylityspaikan porrastus on esitetty kuvassa 21. (Raitiotien suunnitteluohje, 2021).

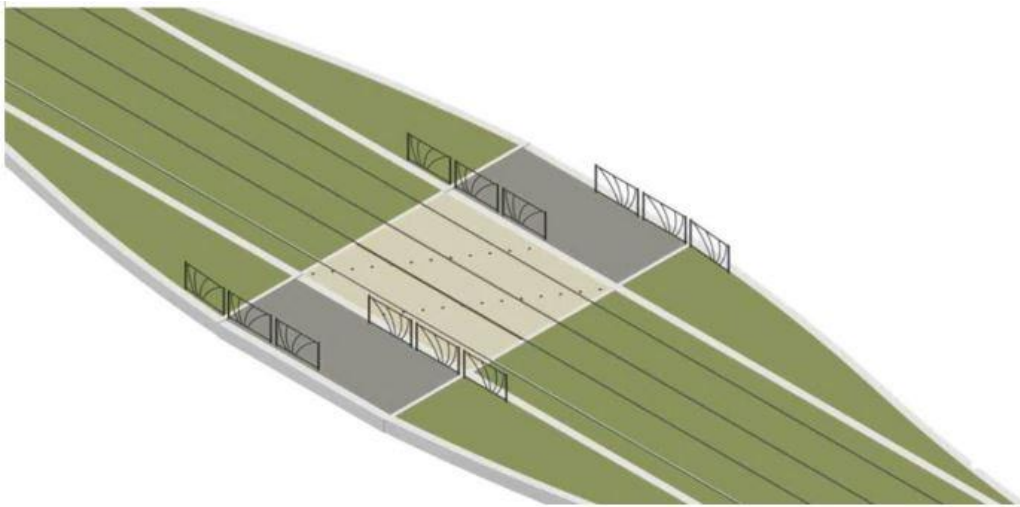
Kuva 21. Ylityspaikan porrastus (Raitioliikenteen suunnitteluohje, 2021).



Ylityspaikat koetaan ratkaisuna, joka vähentää pysähdyksiä ja edistää näin raitiovaunun etenemistä jouhevasti. Ylityspaikat eivät välttämättä ole vielä kaikille liikenteenkäyttäjille tuttuja, joten opastusta olisi syytä pohtia, varsinkin tilanteissa, joissa ajoratojen ylitys on merkitty suojatienä ja raiteiden ylitys ylityspaikkana. Ylityspaikoista tulisikin tiedottaa laajasti, ja niiden käytöstä tulisi antaa opastusta, kun pikaraitioteiden liikennöinti alkaa. Lisäksi esimerkiksi runsaat lumisateet voivat olla haaste ylityspaikan ja suojatien erottamisessa talviaikaan. Yllä esitetty porrastaminen ja erityisesti sen rajaaminen kaitein helpottanee erottamista.

Porrastamalla ylityspaikka Z-tyyppisesti ylittäjän katsekontakti saadaan kohdistettua raitiovaunun tulosuuntaan ennen ylitystä. Aitojen asettelulla ylittäminen saadaan suunnattua ylityspaikan vastakkaista kulmaa kohden, jolloin ylittäjän rintamasuunta ylityksen aikana on myös toiseen tulosuuntaan. Tällä voidaan nähdä vaikutuksia liikenneturvallisuuteen. Toisaalta Z-ylitys on haastava polkupyöräilyn kannalta. Ylityksessä on myös oltava riittävät erotuskaistat, jotta kunnossapito on mahdollista toteuttaa sujuvasti. Esimerkki Z-ylityspaikasta esitetty kuvassa 22.

Kuva 22. Z-ylityspaikka (Besier, sisäinen koulutusmateriaali).



4.2 Liittymien ohjaustavat

Rädyn mukaan yksittäinen liittymä ei välttämättä vaikuta merkitykselliseltä matka-ajan kannalta, mutta jos matka-aikaan vaikuttavia liittymiä on reitin varrella useita, alkavat vaikutukset olla huomattavat. Jos jokaisessa liittymässä koko linjan matkalla molempiin ajosuuntiin pystytään luotettavasti lyhentämään läpiajoaikaa muutamia sekunteja, kun otetaan huomioon liikennevaloetuuudet ja muut seikat, saattaa se olla ratkaiseva tekijä, millä estetään lisäkaluston ja lisäkuljettajien tarve. (Räty, 2021).

Räty korostaa, että yhden liittymän näkökulmasta matka-ajan nopeutuminen tulisi taata siten, että se tapahtuu riittävän luotettavasti riittävän usein. Ratkaisu, jossa taataan kaikissa tilanteissa raitiovaunulle läpimeno tietyssä ajassa, voi olla kestävä, koska se ei siedä yhtään ulkoisia häiriöitä. Jos taas hyväksytään, että viisi tai kymmenen prosenttia tilanteista on sellaisia, että ajoaika on suunniteltua pidempi, voidaan viivytyksiin varautua. Silloin ratkaisu on matka-ajan kannalta luotettava. (Räty, 2021).

Aikataulun laatijan näkökulmasta paras keino lyhentää matka-aikaa on turhien pysähdysten minimointi. Optimitilanne olisi, että raitiovaunu pysähtyisi ainoastaan pysäkeillä. Arppen mukaan kuljettajat ovat joskus kellottaneet työpäivänsä aikana S-valoissa seisottua aikaa. Se on ollut kahdeksantuntisesta työpäivästä noin tunnin. (Arppe, 2021). Havainto on linjassa

Raitioliikenteen viivetutkimuksen kanssa. Sen mukaan mukaan raitiovaunut ovat 15% ajasta pysähtyneinä liikennevaloissa (HSL, 2017).

Viivetutkimuksen johtopäätöksissä todetaan, että vaikka liikennevaloviiveiden osuus kokonaismatka-ajasta ei Helsingissä ole merkittävä, ei liikennevaloviiveiden aiheuttamaa haittaa pidä aliarvioida. Liikennevaloviiveiden vaikutus matka-ajan pituuteen ja hajontaan on niin merkittävä, että viiveiden vähentäminen ja hajonnan pienentäminen tuottaisi suoria hyötyjä raitioliikenteen matkustajille sekä lopulta myös säästöä liikennöintikustannuksissa, kun liikennöintiin tarvittaisiin vähemmän raitiovaunuja ja kuljettajia. Liikennevaloviiveiden vähentämiseen liittyy merkittävä raitioliikenteen palvelutason parantamisen potentiaali. (HSL, 2017).

Sanen mukaan nykyaikaiselle pikaraitiotielle on taattava esteetön kulku keskusta-alueen ulkopuolella, eli pikaraitiotietä tulisi tarkastella ikään kuin se olisi juna. Yleisesti ottaen joukkoliikenteelle on luotava ikään kuin oma putki, jossa se liikkuu täsmällisesti. Raitiovaunu saadaan pysymään omassa putkessaan liikennevalo-ohjauksen ja ilmaisien avulla. (Sane, 2021).

Esteettömälle kululle Sane esittää kaksi keinoa. Pienemmät risteykset hoidetaan joko jokerivalolla tai raitiovaunuvalolla ja isot risteykset valo-ohjataan. Kun raitiovaunu lähtee pysäkiltä, pystytään sanomaan varsin tarkkaan, milloin se saapuu seuraavalle pysäkillä. Pysäkillä vietetty aika on kuitenkin yhtälön muuttuja: sitä, kauanko raitiovaunu pysäkillä viipyy, ei voida etukäteen tietää. Se voi viipyä pysäkillä 10–15 sekuntia pidempään, kuin on aikataulutettu, mikä on iso muutos liikennevalojen kannalta. Valo-ohjaus on sovitettava siten, että kun raitiovaunu lähtee pysäkiltä, se pysyy omassa putkessaan ja tulee tietyllä hetkellä seuraavalle pysäkillä. (Sane, 2021).

Liittymien ohjaamisella voidaan siis nähdä olevan merkittäviä vaikutuksia matka-aikaan. Vähentämällä punaisissa valoissa seisottua aikaa matka-aikaa voidaan lyhentää merkittävästi. Tähän päästään toimivien joukkoliikenne-etuuksien avulla. Etuudet tulisi kuitenkin luoda siten, että ne eivät ole liian ehdottomat, koska silloin ne eivät kestää lainkaan ulkoisia häiriöitä.

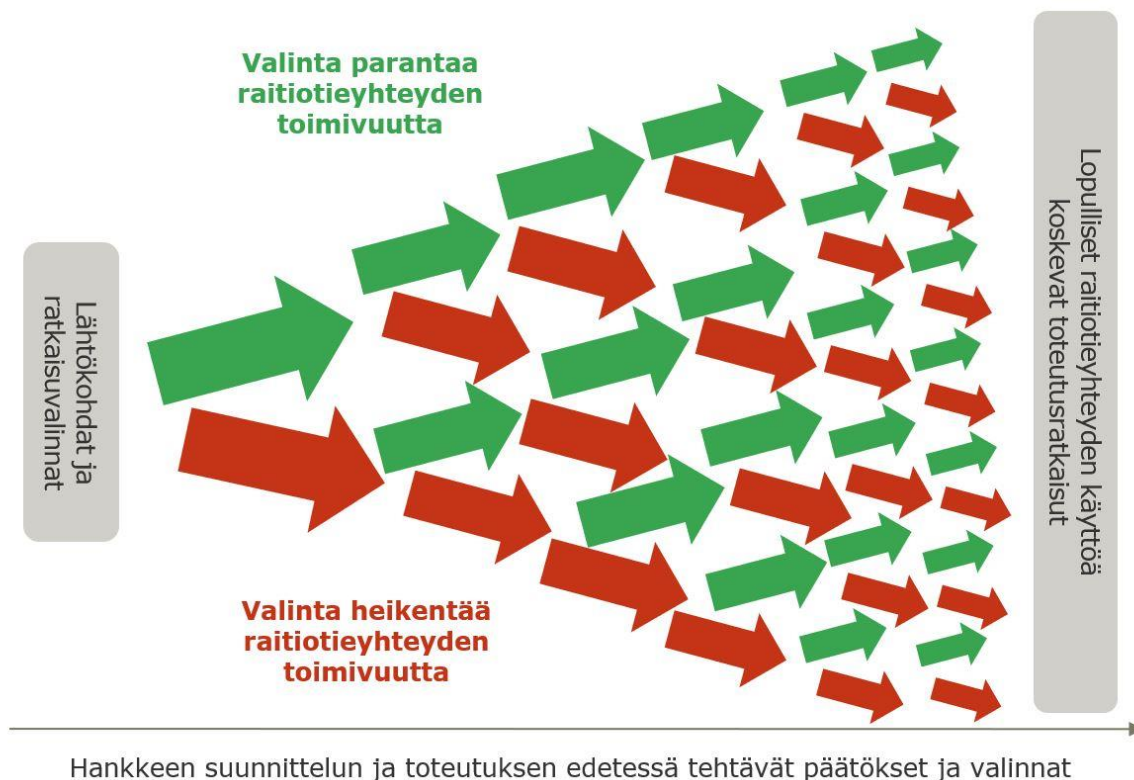
4.3 Matkanopeus ja rakenteelliset tekijät

Rambollin tekemässä auditoinnissa Vantaan ratikalle todetaan, että radan kanssa risteävät muut liikennevirrat tulisi ohjata liikennevaloilla. Auditoinnissa suositellaan myös, että kokonaisvaltaisella suunnittelulla huolehdittaisiin mahdollisimman joustavista liikennevaloetuuksista raitioliikenteelle. Jos liikennevalo-ohjaus ei ole tarkoituksenmukainen esimerkiksi vähäisten liikennemäärien vuoksi, tulisi harkita koko liittymän tai ylityspaikan poistamista tai yhdistämistä toisen liittymän tai ylityspaikan kanssa. Raitiovaunujen ja muun liikenteen konfliktipisteet tulisi aina suunnitella niin, että väistämissäännöt ovat mahdollisimman selkeät. (Ramboll, sisäinen materiaali).

Rädyn mielestä turhien pysähdysten välttäminen on keskeistä matka-ajan näkökulmasta, ja vaunujen seisottamista pysäkkien välillä tulisi välttää. Pysähdyksissä odotusajan lisäksi myös hidastaminen ja kiihdyttäminen hidastavat matkantekoa. Jokainen liittymä tai suojatie, joka voidaan poistaa reitiltä, vähentää pysähdyksiä. Kruunusiltojen osalta liittymiä ei pystytä enää vähentämään, mutta tulevaisuuden pikaraitiotiehankeissa tämä on mahdollista. (Räty, 2021).

Kuvassa 23 näkyvällä nuolikartalla voidaan Rädyn mukaan havainnollistaa tehtyjen valintojen seuraukset raitiotiehankkeen suunnitteluprosessissa ja toteutuksessa. Jokainen liittymä tai suojatie, joka raitiotielinjalta saadaan pois, vie kohti vihreätä nuolta. Jos liittymä tai suojatie jää, taso vakiintuu, mitä pidemmälle mennään oikeaa laitaa eli kohti käyttöä ja ylläpitoa. Mikäli systeemiä ei jatkuvasti viritetä ja säädetä, mennään kohti punaista, jolloin suorituskyky ja toimivuus heikkenee. Jos esimerkiksi suunnitteluprosessin alussa päätetään, että tiettyyn kohtaan tehdään liittymä, johon päätetään rakentaa liikennevalot, huonolla liikennevaloetuudella ajaututaan vielä huonompaan lopputulokseen. (Räty, 2021).

Kuva 23. Nuolikartta raitiotiehankkeen päätösten vaikutuksista (Ramboll, sisäinen materiaali).



Kankaan mielestä olisi syytä pitää mielessä nyrkkisääntö, että aina kun matkanopeus puolittuu, matka-aika kaksinkertaistuu. Näin ollen vauhdin hidastaminen 60 km/h nopeudesta 30 km/h nopeuteen tarkoittaa yhtä suurta lisäystä matka-aikaan, kuin jos 30 km/h nopeudesta hidastetaan 15 km/h nopeuteen. Tämä olisi hyvä pitää mielessä liittymien ohjauksessa, vaikka matka-ajan kannalta haitallisimmat eli kaikkein hitaimmat nopeudet johtuvat usein geometrisistä syistä. Liikennevalo-ohjauksessa ajatellaan usein, että tilanne on hyvä, jos liikenteen ei tarvitse pysähtyä. Ei kuitenkaan ole toivottavaa, että ajonopeutta jouduttaisiin hidastamaan edes 10 km/h nopeuteen. Esimerkiksi ratkaisulla, joka hidastaa ajonopeutta 60 km/h nopeudesta 50 km/h nopeuteen ei vielä vaikuta matka-aikaan merkittävästi. Mutta jos ajonopeutta joudutaankin hidastamaan 60 km/h nopeudesta 20 km/h nopeuteen, ovat vaikutukset jo merkittävät. (Kangas, 2021).

Kankaan mukaan on tärkeää tunnistaa raitiolinjalla kohdat, joissa raitiovaunu voi ajaa nopeammin ja missä nopeudet on pidettävä alhaisina. Tärkeää on kuitenkin, että ajonopeutta ei jouduta hidastamaan liian monessa kohtaa rataa. Näin voidaan saavuttaa koko linjalle asetetut matka-aikatavoitteet. (Kangas, 2021).

Raitiovaunun suurin sallittu kiihtyvyys on $1,2 \text{ m/s}^2$, koska tässä tai tätä hitaammassa kiihtyvyydessä seisovat matkustajat eivät kaadu. Raitiovaunu ei kuitenkaan koko tehoalueellaan kiihdy niin nopeasti, mutta pienillä nopeuksilla kylläkin. Raitiovaunulla voidaan siis päästä 40 metrin matkalla melko hyvään ajonopeuteen. Kankaan mielestä raitiovaunua hidastavat tekijät, kuten suojatiet, kannattaa sijoittaa pysäkkien lähelle, jotta niiden hidastava vaikutus matka-aikaan olisi mahdollisimman pieni. Matka-ajan kannalta on ongelmallista, jos raitiovaunu kiihdyttämään pysäkiltä lähtiessä ja joutuu taas pian hidastamaan esimerkiksi suojatien takia. (Kangas, 2021).

Sanen mukaan matka-aikaan liittyy liittymien ohjauksen ja joukkoliikenneputken lisäksi oleellisesti myös liittymän geometrian suunnitteleminen. Liittymä tulisi suunnitella sillä tavalla, että raitiovaunu voi saada riittävän kaukaa ilmaisen, jotta sille voidaan taata kulku risteyksen läpi lähes tai kokonaan pysähtymättä. (Sane, 2021)

Matkanopeuden kannalta liittymissä tulisi suosia ratkaisuja, joissa vältetään alhaisia nopeuksia ja erityisesti pysähtymisiä. Paras ratkaisu tähän olisi koko liittymän poistaminen tai liittymän muuttaminen suuntaisliittymäksi. Pysähtymisen lisäksi myös hidastaminen ja kiihdyttäminen ovat haitallisia matkanopeuden ja matka-ajan näkökulmasta. Liittymiä ja ylityspaikkoja kuitenkin tarvitaan liikenneturvallisuussyistä esimerkiksi vilkkailla jalankulkureiteillä, kuten koulujen ja työpaikkojen lähellä. Sijoittamalla ylityspaikat ja suojatiet mahdollisimman lähelle pysäkkejä vältetään tilanteita, joissa raitiovaunu joutuu pysäkillä saapuessa hidastamaan ennen pysäkkiä ja jälleen kiihdyttämään tai jatkamaan matkaa hitaasti kohti pysäkkiä.

5 Muut matka-ajan kannalta merkittävät tekijät

Matka-aikaan vaikuttavat liittymien ohjausperiaatteiden ohella monet muut asia, joita käsitellään tässä luvussa. Näitä ovat muun muassa luotettavuus ja täsmällisyys sekä kuljettajan näkökulma.

5.1 Luotettavuus ja täsmällisyys

Joukkoliikenteessä luotettavuus kuvaa sitä, kuinka hyvin matkustajalle luvattu palvelu toteutuu. Luotettavuutta voidaan mitata sillä, kuinka suuri osa vuoroista on saapunut tietyn poikkeaman sisällä luvatussa saapumisajasta tai kuinka suuri osa vuoroista on saapunut luvatussa vuorovälin poikkeaman sisällä. Luotettavuuteen vaikuttavat siis täsmällisyys ja säännöllisyys. Jos täsmällisyyden tiedetään olevan heikko, matkustaja joutuu varaamaan ylimääräistä aikaa pysäkillä oloon. (Vanhanen, ym., 2007b).

Matka-ajan hajonta heikentää asiakkaan kokemusta joukkoliikenteen täsmällisyydestä, sillä vain osa vuoroista pystyy noudattamaan aikatauluaan. Viiveiden aiheuttama hajonta joudutaan ottamaan huomioon linjan pysäkkiaikataulujen suunnittelussa, mutta viiveiden sattumanvaraisen esiintymisen vuoksi aikataulu voidaan laatia vain arviona todennäköisimmästä ohitusajasta. (HSL, 2017).

Jokainen tähän työhön haastateltava nosti esille luotettavuuden ja täsmällisyyden merkityksen joukkoliikenteessä. Rätty sanoo luotettavuuden olevan ehdottomasti tärkein joukkoliikenteen laatutekijä asiakkaan näkökulmasta. Luotettavuus ja matka-aika ovat kaksi joukkoliikenteen suunnitteluajuria, joiden pitäisi ohjata suunnittelua. Luotettavuutta ei toistaiseksi ole osattu sisällyttää hankearviointimenetelmiin, vaan se on käännetty matka-ajan muotoon, koska kokonaismatka-aika on yleensä tarkasteltava muuttuja. (Rätty, 2021).

Rätty muistuttaa, että matka-aika ja luotettavuus ovat mielenkiintoisia tekijöitä myös siksi, että ne ovat osittain ristiriidassa keskenään. Jos tavoitellaan mahdollisimman suurta ajonopeutta, päädytään yleensä tilanteeseen, jossa täsmällisyys alkaa jossain vaiheessa heikentyä. Kun puhutaan matka-ajasta, täytyisi jokaista matka-ajan suhteen tehtyä valintaa tarkastella myös luotettavuuden näkökulmasta. Liian matala toteutunut laatu eli liikaa vaihteleva ajoaika liittymässä johtaa siihen, että esimerkiksi aikataulusuunnittelussa joudutaan varautumaan pidempiin ajoaikoihin. Tämä tarkoittaa, että liikennöinti edellyttää enemmän kalustoa ja kuljettajia, mistä muodostuu enemmän kustannuksia. (Rätty, 2021).

Kun tavoiteltu matka-aika on saavutettu, sitä ei enää väkisin lähetä kiristämään, vaan pikemminkin pyritään karsimaan nopeimpia ajoaikoja pois. Nopeimpien ajoaikojen karsinta

johtaa siihen, että ajoaikojen hajonta pienenee. Näin ollen hitaimman ja nopeimman vuoron välinen ajoaikaero pienenee ja täsmällisyys paranee. (Räty, 2021).

Kangas nostaa esiin joukkoliikenteen aikataulunmukaisen toiminnan. Joukkoliikenteelle on yleensä tärkeämpää toistettavuus kuin niin kutsuttu best effort -ratkaisu, jossa bussi tai raitiovaunu pääsee etenemään välillä pysähtymättä liittymän läpi ja välillä ei.

Aikataulusuunnittelussa joudutaan ottaa huomioon nekin tapaukset, joissa bussi tai raitiovaunu ei pääse etenemään pysähtymättä. Siksi ratkaisu, joka ei optimoi yksittäisen vuoron matka-aikaa, voi olla parempi kokonaisuuden kannalta. Etuuden toimivuus on tärkeämpi kuin siitä saatu maksimaalinen hyöty. Vähän huonompikin etuus, joka toteutuu aina, on parempi kuin etuus, joka toteutuu joskus ja joskus taas ei. (Kangas, 2021).

Raideliikenteessä on usein vaatimus, että 80 % vuoroista tulee päästä aikatauluun eli raideliikenteelle valitaan ajoaika, joka toteutuu 80 % vuoroista. Tällöin määritetyn ajoajan tulee toteutua melko sääntillisesti muttei täydellisesti. Jos joka kymmenes vuoro ei pääse sovittuun ajoaikaan, se ei vielä vaikuta aikatauluihin, mutta jos kaksi kymmenestä kokee hidastuksen, niin se hidastus joudutaan ulottamaan kaikille vuoroille. (Kangas, 2021).

Kankaan mukaan liittymissä tulisi pyrkiä ratkaisuun, joka tuottaa joukkoliikenteen kannalta toistettavan lopputuloksen. Tämä poikkeaa siitä, miten esimerkiksi autoliikennettä tai kaikkia muita kulkutapoja optimoidaan. Niissä pyritään minimoimaan kaikkien autojen matka-ajan summa eli saamaan keskimäärin paras tulos. (Kangas, 2021).

Arppe jatkaa samoilla linjoilla Rädyn ja Kankaan kanssa. Aikataulusuunnittelun kannalta yksi tärkeimmistä asioista on täsmällisyys eli saman lähdön ajoajan pysyminen suhteellisen samana päivästä toiseen. Kun täsmällisyys on korkea, hajonta on pientä ja aikataulujen suunnittelu helppoa. Suurin ongelma hyvien aikataulujen suunnittelulle on suuri hajonta, koska tällöin joudutaan tekemään enemmän kompromisseja ajoajan valinnassa. Hajonta on ongelmallista myös matkustajille, koska se näkyy joukkoliikenteen aikataulujen epäluotettavuutena. Raitiovaunu saattaa yhtenä päivänä tulla kaksi minuuttia etuajassa ja toisena päivänä saman verran myöhässä. Nykyisten kantakaupungin raitiovaunujen aikataulujen suunnittelussa käytetään täsmällisyydelle painotusta minuutti etuajassa, kaksi minuuttia myöhässä. Kun tarkastellaan linjan täsmällisyyttä, asetetaan edellä mainittu

täsmällisyystavoiteväli jokaiselle pysäkillä. Kun pysäkkitapahtuma osuu tälle aikavälille verrattuna aikataulunmukaiseen aikaan, katsotaan liikenteen olevan täsmällistä. (Arppe, 2021).

Sane on samaa mieltä joukkoliikenteen prioriteeteista, ja että täsmällisyys on tärkeintä joukkoliikenteessä. Vasta sen jälkeen tulevat muut seikat, kuten viivytysten vähentäminen. On hyväksyttävää sallia jopa pitkä pysähdys isossa risteyksessä, jos muuta mahdollisuutta ei ole, kunhan se pysähtyminen on säännöllistä. (Sane, 2021).

Luotettavuus ja täsmällisyys ovat joukkoliikenteen suunnittelun kannalta tärkeimmät asiat. Joukkoliikenteen suunnittelussa pyritään mahdollisimman toistettavaan lopputulokseen. Matka-ajan minimointi lisää häiriöherkkyyttä, mikä taas lisää matka-ajan hajontaa ja sitä kautta vähentää joukkoliikenteen luotettavuutta. Matka-aikaan vaikuttavia ratkaisuja tulisikin aina pohtia myös matka-ajan hajonnan kannalta.

5.2 Kuljettajan näkökulma

Kuljettajalla on merkittävä rooli suunnitellun matka-ajan toteutumisessa. Tässä kappaleessa tarkastellaan asiaa kuljettajakoulutuksen ja kuljettajan ajotapojen ja kokemusten näkökulmasta.

5.2.1 Kuljettajakoulutus

Helsingissä raitiovaunukuljettajia koulutetaan puolen vuoden mittaisella oppisopimuskoulutuksella. Koulutus koostuu kahden kuukauden mittaisesta lähiopetusjaksosta sekä neljän kuukauden mittaisesta työssäoppimisjaksosta. (Stadin AO, 2021).

Arppen mukaan HKL:llä ollut jo jonkin aikaa projekti koulutuksen osalta, että kuljettajien ajotapoja saataisiin yhtenäistettyä. Tällä hetkellä kurssin ajo-opetuksessa käytetään kurssipareja. Kurssiparilla on yhteinen ajo-opettaja, jonka valvonnassa parit ajavat vuorotellen. Riippuu paljon opettajasta, minkälainen uudesta kuljettajasta tulee. Ajo-

opettajien opetusmetodit vaihtelevat edelleen melko paljon, joten eri opettajien oppilaista voi tulla hyvinkin erilaiset kuljettajat. (Arppe, 2021).

Arppe kokee, että koulutuksessa tulisi kiinnittää enemmän huomiota kouluttajien ja varsinaisen opetusajajakson jälkeen vapaaehtoisten vanhempien kuljettajien valintaan, joiden kanssa uudet kuljettajat ajavat normaalia linjaliikennettä. Käytännön kokemuksesta opittuja hyviä toimintatapoja pitäisi saada viestittyä yhtenäisemmin uusille kuljettajille. Perusajaminen opitaan koulutuksessa hyvin, mutta pienet käytännönasiat jäävät liiaksi vanhempien kuljettajien opastuksen varaan. Yksityiskohdilla saattaa olla merkittäviä vaikutuksia esimerkiksi pysäkkitoimintaan ja sitä kautta matka-aikaan. (Arppe, 2021).

5.2.2 Näkemät ja muut ajamiseen vaikuttavat asiat

Rädyn mukaan näkemät korostuvat tilanteissa, joissa valo-ohjaus ei ole käytössä. Kun näkemät ovat hyvät, muiden liikkujien aikeita voidaan ennakoida paremmin. Haasteen asettavat erityisesti jalankulkijat ja pyöräilijät, jotka jättävät liikennesääntöjä useammin noudattamatta kuin muut tienkäyttäjät. Raitiovaunukuljettajan täytyy ennakoida tilanteet aikaisemmin kuin kumipyöräajoneuvoilla liikkuvat, koska raitiovaunun jarrutusmatkat ovat pidempiä. Raitiovaunun kuljettajan päätöksentekonäkemä on tässä todella keskeinen asia. Sen aikana kuljettajan pitäisi pystyä tekemään päätös, aloittaako hän nopeuden alentamisen tavoitenopeudesta. (Räty, 2021).

Kun ennakoivan ajon päätöksiä voidaan tehdä riittävän ajoissa, välttyään kovilta jarrutuksilta, jotka kuluttavat sekä kalustoa että rataa ja joista voi aiheutua vaaratilanne tai pahimmillaan onnettomuus. Hyvillä näkemillä pystytään maksimoimaan lähtökohdat sille, että kuljettaja pystyy toimimaan aina mahdollisimman samalla tavalla. Rädyn mielestä liikennesuunnittelussa pitäisi ottaa tavoitteeksi, että kuljettajalle annetaan mahdollisuudet tehdä työnsä aina mahdollisimman samalla tavalla, koska tämä vähentää ajoaikojen hajontaa ja parantaa sitä kautta luotettavuutta ja lisää täsmällisyyttä. (Räty, 2021).

Kankaan mukaan kuljettajan epävarmuus saattaa realisoitua hitaampana matka-aikana. Ratkaisut, jotka johtavat siihen, että kuljettaja ei ole varma siitä, mitä seuraavaksi tapahtuu, voivat olla haitallisia ajoajan kannalta. Toisin sanoen epävarma kuljettaja ajaa jo valmiiksi

hitaammin estääkseen mahdolliset konfliktit ja niitä seuraavat onnettomuudet. (Kangas, 2021).

Kruunusillat käyttää KAS2-vaiheessa sekä kustannusarviota että matka-aikaa ATA-mittarina. Kankaan mielestä näillä voi olla vaikutusta, kun mietitään tilanteita, joissa kuljettajan näkemät ovat huonot liittymään saapuessa. On valittava, hyväksytäänkö hitaampi nopeus vai hoidetaanko näkemät kuntoon, mikä tietää lisää kustannuksia. (Kangas, 2021).

Helsingin kaupunkitilaohjeessa mainitaan, että yhtenäinen puukaista muodostaa näkemäesteen, mikä aiheuttaa vaaratilanteita risteys- ja suojatiealueilla (Helsingin kaupunki, 2021). Arppe myöntää, että puut ovat näköeste, mutta ne eivät kuitenkaan ole hankalia näkemien suhteen. Suurimman haitan puut aiheuttavat, kun ne vaikeuttavat liikennevalo-opastimien näkemistä. Esimerkiksi nykyisellä Helsingin raitiotieverkolla Mäkeläkadun pohjoispäässä liikennevaloja ei näe kesäisin kunnolla puiden ollessa lehdessä. (Arppe, 2021).

Myös pysäköidyt autot aiheuttavat näkemäesteitä kuljettajalle. Arppen mukaan auton oikeaoppinenkin pysäköinti viiden metrin päähän suojatiestä voi aiheuttaa merkittäviä näköesteitä suojateille, varsinkin jos pysäköity ajoneuvo on pakettiauto tai muu korkeampi ajoneuvo. Yksi ongelmallinen paikka on Itämerenkatu, jossa ei ole puita, katutila on leveä ja suojatiet on tuotu pysäköityjen autojen tasoon saarekkein, mutta silti suojatielle astuvan jalankulkijan näkeminen auton takaa on välillä todella haastavaa. Vaikka kaikki olosuhteet on pyritty tekemään hyviksi, niin todellisuudessa se on kuljettajalle stressaava ajaa, varsinkin kun kyseisellä 700 metrin kadunpätkällä suojateita on 12 kappaletta. (Arppe, 2021).

5.2.3 Muut ajamiseen vaikuttavat tekijät

Arppe nostaa esiin kehityskohteen, jolla voisi olla vaikutusta matka-aikaan. Monilla kuljettajilla on tapana odottaa pysäkeillä ovet auki niin pitkään, kunnes saa etuuden ja pääsee liikkeelle. Tällöin pysäkillä saapuvat asiakkaat näkevät, että he voivat vielä nousta kyytiin. Monella risteuksen lähellä olevalla pysäkillä näin toimiminen on kuitenkin mahdotonta, koska etuutta ei voi tilata ennen kuin ovet sulkeutuvat. Valoetus tulisi pystyä tilaamaan silloin kuin raitiovaunun ovet ovat auki eikä vasta silloin kun ovet menevät kiinni. Uudistuksen myötä asiakkaita voitaisiin palvella paremmin, koska kuski voisi pitää

raitiovaunun ovet auki niin kauan, kun raitiovaunu seisoo pysäkillä ja odottaa etuutta ja lupaa ajaa. (Arppe, 2021).

Etuuksien toteuttaminen on vaikeaa paikoissa, joissa etuutta pyytäviä suuntia on useita. Erityisesti liikenteen päävirtaa risteävien etuuksien pyynnössä joudutaan usein odottelemaan. Pääosin etuudet kuitenkin toimivat Helsingissä hyvin kuljettajan näkökulmasta. (Arppe, 2021).

Ylityspaikolla ja suojateilla ei ole juuri eroa kuljettajan näkökulmasta. Arppen mukaan kuljettajien tulee olla yhtä varovaisia, kun he lähestyvät suojateita ja ylityspaikkoja, koska ei voida olettaa, että kaikki erottaisivat ylityspaikat ja suojatiet toisistaan ja tuntisivat niitä koskevat liikennesäännöt. (Arppe, 2021).

Yhteenvetona kuljettajan näkökulmasta voidaan todeta, että kuljettajalla on merkittävä rooli matka-ajan kannalta. Koulutuksen kehittämisellä ajotapoja voitaisiin yhtenäistää. Minimoimalla muuttujat liittymissä esimerkiksi liikennevalo-ohjauksen avulla kuljettajan keskittyminen saadaan suunnattua olennaisiin asioihin, jolloin ajovarmuus paranee. Tällä voidaan nähdä positiivisia vaikutuksia matka-aikaan ja sen hajontaan.

5.3 Työn aikana esiin nousseet muut seikat

Haastattelujen aikana esiin nousi tekijöitä, jotka tunnistettiin merkittäviksi matka-aikaan vaikuttavien tekijöiden kannalta. Näitä olivat erityisesti matkustajan näkökulma ja etuusjärjestelmän toiminnan seuranta.

5.3.1 Matkustajan näkökulma

Hollannissa ja Iso-Britanniassa tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että matka-ajan merkitys matkustajalle vaihtelee oleellisesti riippuen matkan tarkoituksesta ja matkustajatyypeistä. Työmatkoissa lyhyt matka-aika on oleellisempi laatutekijä kuin vapaa-ajan matkoissa. Ero johtuu osittain siitä, että matkustajaprofiilit poikkeavat näissä matkatyypeissä toisistaan. Matkustajille lyhyen matka-ajan merkitys työmatkoilla voi olla jopa 75 prosenttia suurempi kuin vapaa-ajan matkoilla. (Vanhanen, ym., 2007a, s. 15).

On todettu, että tietty aikaväli ilman häiriötekijöitä koetaan lyhyemmäksi kuin aikaväli, joka sisältää jonkin häiriötekijän, esimerkiksi pysäkillä pysähtymisen. Vastaavasti, mitä enemmän katkoksia tai häiriötekijöitä matka sisältää, sitä pidemmäksi sen ajallinen kesto koetaan, vaikka todellinen kulunut aika olisi täsmälleen yhtä pitkä kuin häiriöttömässä tilanteessa. Jos matkalla on katkoksia, koetaan matka-aika lyhyemmäksi, mikäli katkokset ajoittuvat epäsäännöllisesti matkalle. Toisin sanoen, jos pysäkeille pysähdytään tasaisin väliajoin, koetaan matka-aika pidemmäksi kuin jos pysäkit sijaitsevat epäsäännöllisin välimatkoin, vaikka todellinen kokonaismatka-aika olisi täsmälleen sama. (Vanhane, ym., 2007a, ss. 15-16).

Matka-aikaa ei minimoida aikataulusuunnittelussa, vaan se tulisi tehdä muilla toimenpiteillä, esimerkiksi infra- tai valoetusmuutoksien avulla. Aikataulut suunnitellaan aina toteutuneiden ajoaikojen perusteella, eikä linjan matka-aikaa keinotekoisesti lyhennetä siitä, mitä se oikeasti on. Matkustajia kuitenkin kiinnostaa eniten se, että raitiovaunu saapuu pysäkillä silloin kun sen kuuluu ja että esimerkiksi mahdolliset vaihtoyhteydet toteutuvat suunnitellusti. Tähän avaintekijänä ovat täsmällisyys ja ajoaikojen pieni hajonta. (Arppe, 2021).

Myös liikennevalosuunnittelulla voidaan vaikuttaa matkustusmukavuuteen.

Liikennevalosuunnittelussa pyritään välttämään pysähtymistä. Vaunun seisottaminen paikallaan maksaa, se hidastaa matka-aikaa, joka lisää kaluston ja kuljettajien tarvetta. Pysähtymisen huomaavat myös matkustajat, ja se tekee huonoa joukkoliikenteen imagolle. Pysähtyminen voidaan välttää tilanteeseen sopivalla liikennevalosuunnittelulla ja riittävällä ilmaisuetaisyydellä. Pysähtymisten välttäminen on siis tärkeää myös tältä kannalta tarkasteltuna. (Sane, 2021).

Joukkoliikenteen käyttäjä eli matkustaja kokee joukkoliikenteen palveluna, ja kuten kaikissa palveluissa, hyvä palvelukokemus on tärkeää. Aikaisemmin tässä työssä esiin noussut luotettavuus ja täsmällisyys ovat matkustajan näkökulmasta tärkeimpiä asioita, jotka toteutuessaan kannustanevat käyttämään joukkoliikennettä jatkossakin. Pysähdykset koetaan epämiellyttävinä ja matkaa pidentävinä asioina, jotka heijastuvat negatiivisesti

palvelukokemukseen, vaikka matka-aika olisikin sama. Näin ollen pysähdyksiä tulisi välttää myös matkustajan näkökulmasta.

5.3.2 Etuusjärjestelmän toiminnan seuranta

Rädyn mielestä liikennevaloetuisuuksien toimintaa ei tällä hetkellä seurata riittävästi, ja seurannasta puuttuu laatunäkökulma. Yksi laadun seurannan mittari voisi olla pyyntö- ja kuitti-ilmaisujen välinen aika ja hajonta jokaisella ajosuunnalla liikennevaloliittymässä. Jokaiselle ajosuunnalle pitäisi pystyä määrittelemään tulostavoite, eli mikä kuittausten välinen ajan tulisi olla ja kuinka paljon se saisi maksimissaan ylittyä. Sitä, pystytäänkö läpimenoaikatavoite saavuttamaan vai ei, tulisi seurata. (Räty, 2021).

Sen jälkeen, kun liittymä on päätetty ohjata ja ohjauksen käyttö alkaa, on keskeistä, miten ohjausta viritetään käytön aikana. Lopputulos on eri, jos liikennevaloja ei ohjelmoida uudelleen käytön aikana versus jos niitä viritetään jatkuvasti. Parempi ratkaisu on sellainen, jossa ohjausta viritetään jatkuvasti eli käytetään jatkuvan parantamisen kehää: ensin ohjaus suunnitellaan, sitten sitä kokeillaan ja analysoidaan ja muutetaan, jos tarve vaatii. (Räty, 2021).

Sane uskoo seurannan olevan tänä päivänä helpompaa kuin ennen, koska ilmaisinteknologia on kehittynyt. 1980–2000 lukujen aikana, kun joukkoliikenne-etuuksia kehitettiin tehokkaasti, suurin ongelma oli ilmaisimien luotettava toiminta. Lisäksi tarvitaan ilmaisimien automaattista seuranta. Tavoitteena on järjestelmä, joka seuraa joukkoliikenneilmaisujen määrää vuorokausittain tai tunneittain ja raportoi heti, jos ilmaisu ei toimi. (Sane, 2021).

Syyt sille, että ilmaisimet eivät aina toimi, voivat liittyä liikennevaloista raitiovaunuihin ja ohjauslaitteisiin. Sane muistuttaa, että ilmaisimien toimintaa on tärkeää seurata, jotta ongelmat päästään korjaamaan mahdollisimman nopeasti. Vikoja nimittäin esiintyy aina, oli kyse sitten kuinka luotettavasta laitteistosta. Jos ilmaisimet vikaantuvat, pitää liikennevalojen ohjausta pystyä säätämään siten, että viasta aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa muulle liikenteelle. (Sane, 2021).

Luotettavat etuudet ovat matka-ajan ja hajonnan kannalta kriittisiä. Seuraamalla etuuksien toimintaa ja virittämällä niitä jatkuvasti saadaan toiminnasta mahdollisimman sujuvaa ja luotettavaa, mikä on säännöllisen matka-ajan kannalta tärkeää.

6 Kokemukset ja toimintatavat muissa hankkeissa

Tähän lukuun on koottu kokemuksia pikaraitioteistä Suomessa ja ulkomailla. Suomen osuus käsittelee Tampereen Ratikkaa ja Raide-Jokeria. Ulkomaisia toimintatapoja esitellään Saksasta, Ranskasta, Norjasta ja Ruotsista.

6.1 Tampereen Ratikka

Tätä työtä tehdessä Tampereen Ratikan koeajoliikenne on käynnissä ja ensimmäiset tulokset ja kokemukset koeajoista on analysoitu. Tampereen Ratikan suunnitteluratkaisuja ja koeajojen kokemuksia tähän työhön kommentoivat Petri Hakala Tampereen kaupungilta ja Janne Heimonen VR-Yhtymästä. Hakala on työskennellyt Tampereen Ratikka -projektissa joukkoliikenteen järjestämiseen, joukkoliikennejärjestelmään, liikennöintiin ja matkustajainformaatioon liittyvissä tehtävissä vuodesta 2015 lähtien. Heimosen vastuulla Tampereen Ratikan liikennöintiallianssin projektiryhmässä ovat liikennöinnin koeajot, ja niiden osana ajoaikojen kehitykseen liittyvät toimenpiteet.

6.1.1 Suunnittelu

Matka-ajan minimoimiseksi Tampereen Ratikalla on asiaa yritetty pitää suunnittelussa jatkuvasti esillä ja eri vaiheissa on tehty matka-aika simulointia. Suunnittelussa asiaa on huomioitu rakenteellisista periaatepäätöksistä lähtien eli raitiovaunu kulkisi mahdollisimman paljon omalla väylällä ja kaarteet pyritty mitoittamaan mahdollisimman suurella kaarresäteellä. Liikennevalojen suunnitteluperiaate on ollut se, että raitiovaunu pääsee pysähtymättä risteyksen läpi ja pysähtyy ainoastaan pysäkeillä. Vaihteet ja nopeusrajoitukset hidastavat kulkua, mutta ne ovat turvallisuutta lisääviä tekijöitä ja osittain myös välttämättömyyksiä, joihin ei pystytä vaikuttamaan. (Hakala, 2021).

Mahdollisimman lyhyeen matka-aikaan ja sujuvaan liikennöintiin on pyritty seuraavanlaisilla suunnitteluratkaisuilla: Muutamassa kohdassa rataa joudutaan käyttämään sekaliikennekaistaa, mikä asettaa erilaisia haasteita. Hervannassa raitiovaunulle on pyritty mahdollistamaan häiriötön kulku lisäämällä raitiovaunuvaloja kiertoliittymiin. Tampereen yliopistollisen sairaalan haaralla hiljaisella tonttikadulla raitiovaunu on irroitettu omalle kaistalleen ennen liikennevaloja, mikä mahdollistaa sen pääsyn liittymästä suoraan läpi, vaikka liittymässä olisi edellä autoja. Samantapainen ratkaisu on tulossa myös Tampereen Ratikan toiseen vaiheeseen. Lisäksi liikennevaloissa on otettu käyttöön neliaukkoinen raitiovaunuopastin, jonka etuusvalolla voidaan ilmaista kuljettajalle, että etuus on tulossa, eikä kuljettajan tarvitsi hidastaa vauhtia turhaan. (Hakala, 2021).

Edellä mainitut asiat tukevat osittain myös raitiovaunuliikenteen luotettavuutta ja täsmällisyyttä, joiden merkityksestä joukkoliikenteelle on puhuttu aiemmin tässä työssä. Luotettavuutta ja täsmällisyyttä lisäävät myös ylityspaikat, joita on raitiovaunuprojektin yhteydessä otettu ensimmäistä kertaa käyttöön Tampereella. Niiden avulla voidaan vähentää suojateitä, jotka vaatisivat raitiovaunun pysähtymisen toisin kuin ylityspaikat. Aina se ei kuitenkaan ole onnistunut ja suojateitäkin löytyy vielä rataverkolta. Esimerkiksi Hämeenkadulle on suunniteltu ylityspaikkoja, mutta suunnittelun edetessä on jouduttu tekemään kompromisseja. Suunnittelun alussa Hämeenkatu piti olla valo-ohjaamaton, mutta tällä hetkellä sieltä löytyy kadun varrelta kolmet valot ja yhdet kadun molemmista päistä. (Hakala, 2021).

Tampereella on ollut hankala löytää balanssia liikennevalojen oikean määrän kanssa. Jälkikäteen muutamiin liittymiin on lisätty liikennevaloja, kun on liikenneturvallisuus koettu uhatuksi tai esteettömyyden osalta on vaadittu parannusvaatimuksia. Ratkaisut ovat olleet tasapainoilua ylityspaikkojen, suojateiden ja liikennevalojen välillä, koska ratkaisuille ei valitettavasti ole olemassa selkeää linjaa tai periaatetta. (Hakala, 2021).

Tampereella kaikkia pysäkkejä ei ole valo-ohjattu, vaan käytössä on kolmea ratkaisua: pysäkin molemmat päät ohjattu, toinen pää ohjattu tai kumpaakaan päätä ole ohjattu. (Hakala, 2021). Kuljettajan näkökulmasta erilaiset ratkaisut ovat loogisia ja sopivat liikenneympäristöön eikä niihin ole kiinnittänyt ajatustasolla erityistä huomiota. (Heimonen, 2021).

6.1.2 Simuloinnit ja koeajot

Tämän työn tekovaiheessa Tampereella on ehditty koeajaa ja mitata ajoaikoja jonkin verran ja säätämään liikennevaloja ja niiden etuuksia ja viiveaikoja. On itsestään selvää, että jos liikennevalojen etuudet eivät ole balanssissa, se hidastaa liikennettä.

Joukkoliikenneopastimissa ja osassa muita liikennevaloja on etuusjärjestely. Koska niiden toimintamekanismit tunnetaan, niitä pystytään myös säätämään. Perinteisissä liikennevaloissa ajettiin aluksi normaalin liikennevalo-ohjauksen mukaan ilman etuuksia. Näissä havaittiin suurta hajontaa ajoaikaan. Tällaisia valoja on tällä hetkellä pääasiassa Hämeenkadulla ja Hämeenpuistossa. (Heimonen, 2021).

Koeajoissa Hämeenkadun keskivaiheilla olevissa liikennevaloissa viivytystä on ollut keskimäärin noin 15 sekuntia, jos raitiovaunu joutuu pysähtymään valoihin. Hämeenkadun päiden valoissa ja varsinkin Rautatienkadun ylityksessä voi sen sijaan ilmetä pahojakin viivästyksiä. Pysäkillä saavuttaessa pysäkin kohdalla saattaa olla ajoneuvoja, mikä estää pysäkillä ajamisen. Tämän jälkeen raitiovaunu ajaa pysäkillä ja odottaa pysäkkitoimintojen jälkeen vielä oman valon vaihtumista. Tällöin puhutaan jopa kahdesta minuutista ajoajan hajonnasta, joka kohdistuu yksittäiseen pysäkkiin. Keväällä 2021 myös näihin pysäkin läheisyydessä oleviin valoihin saatiin käyttöön matkustajainformaatiojärjestelmän paikannustietoon perustuva etuus. Tämä on helpottanut liikennöintiä ja parantanut ajoajan tasalaatuisuutta. (Heimonen, 2021).

On kuitenkin muistettava, että tällä hetkellä käynnissä on vasta koeajot, ja liikennevaloja vielä säätämättä. Myös liikenneympäristö ja liikennetilanne ovat vielä erilaisia kuin lopputilanteessa. Vielä toistaiseksi juuri rautatieaseman risteyksessä on enemmän bussiliikennettä kuin liikennöinnin virallisesti alkaessa elokuussa 2021. (Hakala, 2021).

Suurin ero simulointien välillä on ollut paikka Turtolan ja Hakametsän välissä oleva Nekalantien ramppi, johon tuli minuutti aikaa lisää seuraavalla simulointikierroksella, kun ei pystyttykään 70 km/h nopeusrajoitetulla alueella ajamaan pahimmillaan kuin 30 km/h (Heimonen, 2021). Ensimmäisissä simuloinneissa autorampin tasoristeys oli mitoitettu 70 km/h. Risteyksessä on valo-ohjaus ja varoitusraitoja ja muita merkintöjä lisätty. Liikenneturvallisuus ja totuttautuminen ratikan liikennöintiin huomioiden on risteyksessä

tällä hetkellä käytössä 30 km/h nopeusrajoitus. Näistä huolimatta siinä on jo yksi kolari sattunut ja rampin poistaminenkin on ollut esillä suunnitelmissa. (Hakala, 2021).

Koeajojen ja simulointien eroja esiintyi alussa ainakin keskustan liikennevalojen säätämisten kanssa ja Hervannassa kiertoliittymissä. Hervannassa sekaliikennekaistoilla on puolin ja toisin opeteltu yhteisellä liikkumista muiden tienkäyttäjien kanssa. Tällä on myös vaikutuksensa ajoaikoihin varovaisen liikennekäyttäytymisen seurauksena. (Hakala, 2021).

Liikennevalojen ja nopeusrajoitusten lisäksi vaihderatkaisut ovat yksi merkittävä ajoaitekijänä. Alun perin suunniteltu malli oli sellainen, jossa poikkeusvaihteet linjalla lukitaan mekaanisesti, jolloin niissä pystyttäisiin noudattamaan suoralle raiteelle suunniteltua korkeampaa nopeutta. Esimerkiksi Turtolassa olevalla poikkeusvaihteella jouduttiin koeajojen aikana 70 km/h rataosuudella hidastaa käytännössä 15 km/h voimassa olleiden sääntöjen mukaisesti Koeajojen perusteella päädyttiin täysin uudenlaiseen ratkaisuun. Myötävaihteina oleviin poikkeusvaihteisiin tullessa vauhtia hidastetaan tavoitenopeuteen, joka on sama kuin suurin sallittu vaihteen aukiajonopeus eli 25 km/h. Kuljettaja voi nostaa nopeutta 40 km/h nopeuteen, kun hän pystyy varmuudella toteamaan vaihteen olevan suoraan. Tällä mallilla saavutettiin riittävän hyvä ajoaika, samalla säilytettiin vaihteiden välitön käännettävyys poikkeustilanteissa ilman mekaanisia lukituksia. (Heimonen, 2021).

Ylityspaikkojen ja suojateiden osalta Tampereella on ollut vastaavia kokemuksia kuin tässä työssä on aikaisemmin esitetty. Heimosen mukaan jalankulkijoiden käsitys suojateiden ja ylityspaikkojen eroista on melko hataralla pohjalla. Heimosen mukaan jos molemmin puolin raitiotietä on suojatien merkit, kuljettajana ei kuitenkaan uskalla luottaa siihen, että jalankulkija ymmärtäisi ylityspaikalla, ettei kiskojen yli saa tulla. Kuljettaja yrittää viimeiseen asti välttää törmäyksiä ja hakee katseella vuoropuhelua jalankulkijan kanssa eikä haluta kenenkään jäävän alle, niin ainakin tässä vaiheessa liikkuminen on ollut aika tunnustelevaa tällaisissa tilanteissa. (Heimonen, 2021).

Hämeenkadulla on kävelykadun ylityspaikkoja, jotka eivät ole suojateitä. Tie on laakea ja siinä on paljon liikennettä. Tällaisissa paikoissa jalankulkijat eivät hahmota, mitkä tilanteet ovat mahdollisesti liikenteen kannalta vaarallisia ja tarvitseeko heidän väistää vai ei. Lisäksi

edelleen suojaatiella tullaan punaisia valoja päin eli ihmisten liikennekäyttäytyminen ei ole niin systemaattista, kuin sen pitäisi tuollaisessa ympäristössä olla. (Heimonen, 2021).

Liikennevalot ovat Tampereen järjestelmässä tärkeitä, ja niiden toimivuus on hyvin kriittinen asia. Jos etuusjärjestelyt eivät toimi suunnitellulla tavalla ja valoissa alkaa olla hankaluuksia, se heijastuu todella nopeasti ajoaikoihin sekä turvallisuuteen, varsinkin kun vaunuja tulee liikenteeseen lisää. Mitä monimutkaisempaa ohjaus on ja mitä lähempänä se on vaikkapa rautateiden opastinjärjestelmää, sitä enemmän siinä on haavoittuvuuksia verrattuna siihen, että valot toimisivat jollain tietyllä syklillä. Tähän mennessä raitiovaunun valoetudet eivät ole aina toteutuneet Tampereella, joten etuusjärjestelmän toimivuuden eteen täytyy tehdä vielä töitä. Mitä enemmän liittymiä, liikennemuotoja tai raitiovaunuja samaan risteykseen tulee, sitä tärkeämpää logiikan toimivuus on kaikkien osapuolien kannalta. (Heimonen, 2021).

6.2 Raide-Jokeri

Raide-Jokerilla ei Kankaan mukaan tehty linjauksen optimointia matka-ajan suhteen, vaan se tuli ikään kuin annettuna. Liittymiä tosin tutkittiin paljon, ja pääkriteeri oli, että ratkaisujen tulee olla selkeät. Tavoitteena oli konfliktien poistaminen eli poistettiin epävarmuuksia, jos se oli mahdollista. Jälkikäteen on lisätty suojaiteille saarekkeitä, joiden avulla suojaiteita on saatu lyhennettyä ja näin vähennettyä liikennevalojen jäykkyyttä. (Kangas, 2021).

Raide-Jokerille suunnitellulla info-opastimella voidaan nähdä positiivisia vaikutuksia matka-aikaan, koska se vähentää raitiovaunun kuljettajien epävarmuutta lähestyttyä osittain ohjattua liittymää. Tämän seurauksena kuljettaja voi ajaa liittymän läpi turvallisesti.

6.3 Havaintoja pikaraitioteistä ulkomailla

Tässä osiossa nostetaan esiin ulkomailla sijaitsevien pikaraitioteiden ohjaustapoja, suunnitteluratkaisuja ja etuusjärjestelyjä. Esitellyt ratkaisut poikkeavat jollain tapaa Suomessa käytetyistä ratkaisuista, ja niiden implementointia Suomen pikaraitioteihin voisi pohtia.

6.3.1 Saksa

Saksassa on käytössä Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen eli BOStrab, joka on Saksan liittotasavallan raitioteiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva asetus.

BOStrab perustuu Saksan valtion lakiin, ja se on muodostunut kansainväliseksi kaupunkiraideliikenteen standardiksi. (Verordnung über den Bau und Betrieb der Strassenbahnen, 1987)

Saksan Stuttgartissa on käytössä aikaa näyttävä T-apuopastin, joka kertoo kuljettajalle, milloin ajolupa on tulossa ja milloin on syytä sulkea ovet ja valmistautua lähtöön. Opastinta käytetään ruuhkaisissa risteyksissä, koska sen avulla kuljettaja ehtii helpommin ajaa risteyksen läpi valokierron aikana, sillä valojen vaihtuminen pystytään ennakoimaan tarkasti ja pysäkiltä lähteminen tapahtuu heti ajoluvan saadessa.

Kuvassa 24 esitetyssä opastimessa ylimpänä palaa A-opaste, joka ilmoittaa kuljettajalle, että etuuspyyntö on vastaanotettu. Tämän alapuolella on poikkiviivaopaste, joka vastaa Suomessa käytettävää S-opastetta. Sen alapuolella on aikaa näyttävä T-apuopastin, joka aloittaa laskemisen 16 sekunnista nolnaan ennen ajoluvan antamista. Opastinkuvana voi olla myös pelkkä T, jolloin opaste syttyy silloin, kun ovet tulee sulkea. Tämän alapuolella on pallo-opaste, joka vastaa Suomessa käytettävää poikkiviivaopastetta. Sen alapuolella on ajoluvan myöntävä pystyviivaopaste, joko suorassa tai viistosti raiteiden kulkusuunnan mukaisesti, ja tämä vastaa Suomessa käytettävää nuoliopastetta. Alimpana opastimessa on vaihteen asennosta kertova opaste. (Citytransport.info, n.d.-a; Verordnung über den Bau und Betrieb der Strassenbahnen, 1987).

Kuva 24. Stuttgartin T-apuopastimen toiminta (Citytransport.info, 2013).



6.3.2 Ranska

Ranskan joukkoliikennejärjestelmissä on käytössä useita erilaisia lisäopastimia. Monessa järjestelmässä käytetään raitiovaunun kuljettajaa avustavaa lisäopastinta eli signal d'aide à la conduite (SAC). Tällaista opastinta käytetään aina yhdessä tavallisen raitiovaunua ohjaavan opastimen kanssa antamaan lisätietoa liikennevalojen toiminnasta. Opastinta käytetään yhdessä kolmiaukkoisen raitiotieopastimen kanssa, jossa on symboleina vaakaviiva, pallo ja pystyviiva. Symbolit vastaavat Suomessa käytettäviä samassa toimintajärjestyksessä olevia S-, vaakaviiva- ja nuolisymboleja. (Hakala, 2014). Kuvassa 25 on esitetty Ranskan kolmen eri kaupungin raitiotiejärjestelmän lisäopastinta (Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés, 2009).

Kuva 25. Erilaisia SAC-lisäopastimia Ranskasta (Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés, 2009).



Grenoble



















Bordeaux



Rouen

Muun muassa Grenoblen ja Reimsin raitiotiejärjestelmien SAC-lisäopastimessa on käytössä timantin muotoinen symboli ja huutomerkin näköinen symboli. Etuusjärjestelmä on kolmitasoinen, ja tasot ovat: ennakkopyyntö, pyyntö ja kuittaus. Timantti-symboli vastaa periaatteiltaan Suomessa käytettävää valopilkkaa. Se ilmoittaa, että etuus on tulossa, mutta ei itsessään anna lupaa ajaa liittymään, vaan kuljettajan on edelleen noudatettava pääopastinta. Huutomerkki-symbolille ei ole vastinetta Helsingin kantakaupungin järjestelmässä. Huutomerkin palaessa kuljettaja voi olla lähes varma ajoluvan saamisesta, mikä mahdollistaa liittymän lähestymisen suuremmalla nopeudella. Kuvassa 26 on esitetty SAC-lisäopastimen ja raitiovaunuopastimen toiminta yhdessä. (Hakala, 2014; Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés, 2009).

Kuva 26. Opastimien signaalikaavio (Hakala, 2014).

	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 päättymässä					
Ilmoitus tulevasta kieltomerkistä					
Kieltomerkki, järjestelmä toiminnassa					

Haastatteluissa nousivat esiin Ranskan ja Suomen etuusjärjestelyiden erot. Sanen mukaan Helsingin kantakaupungin verkolla ei ole otettu käyttöön kolmivaiheista etuusjärjestelmää tiheiden liittymävälien takia. Helsingissä on liikennevaloliittymä keskimäärin 200 metrin välein. Toimivan kolmitasoisien etuuden luominen edellyttäisi ennakkopyynnön lähettämistä noin 600–700 metrin päästä, eli yhtä tai useampaa risteystä aikaisemmin, jotta valot ehtivät vaihtua suotuisiksi. Tästä syystä kolmitasoisista järjestelmää ei ole kannattanut ottaa käyttöön Helsingissä. Kolmivaiheista etuutta kannattaa käyttää liittymävälien ollessa pidempiä. (Sane, 2021).

6.3.3 Norja

Norjan Bergenissä sijaitsevan pikaraitiotien (Bybanen) toimintaohjesäännöt ja infrastruktuurisäännöt perustuvat Saksan BOStrabin raitiotien rakentamista ja käyttöä koskeviin määräyksiin. Toimintaohjeesta ja liikenneturvallisuusperiaatteista löytyy selkeitä ja perusteellisia ohjeistuksia kaikille kulkumuodoille. Muun muassa pyöräilijöitä ohjeistetaan lähestymään ylityspaikkoja mahdollisimman suorassa kulmassa raiteisiin nähden, jotta estetään renkaiden juuttuminen raiteiden väliin. (Skyss, n.d.).

Bergenin liikenneturvallisuusohjeistuksen mukaan kaikkien liikennemuotojen on annettava tilaa raitiovaunulle. Tämä eroaa Suomen lainsäädännöstä, sillä Suomessa raitiovaunun on

väistettävä suojatielle astuvaa jalankulkijaa. Bergenissä ajoneuvoliikenteen ja raiteiden risteävät alueet ovat väriykseltään punaiset ja jalankulkijoiden ylityskohdat harmaat. Raitiotie on eroteltu muusta liikenteestä myös omalla värillään. Erilaisten konfliktipisteiden värimaailma näkyy kuvassa 27. (Skyss, n.d.).

Kuva 27. Bergenin Bjørnsons gaten ja Inndalsveienin risteys (Google Earth, n.d.).



Kontrastit väreissä luovat selkeyttä eri kulkumuotojen tarvitsemia tiloja varten. Värien ja eri materiaalien käytöllä liikenneympäristöstä saadaan helpommin ymmärrettävä, minkä voidaan nähdä edistävän liikenneturvallisuutta.

6.3.4 Ruotsi

Tukholman Tvärbananin suunnitteluohjeessa todetaan, että turvallisin ratkaisu on, että raitiovaunun ja muiden tienkäyttäjien risteävissä kohdissa muut tienkäyttäjät pysäytetään punaisella valolla. Hiljaisemmissa ja yksinkertaisemmissa risteyksissä jalankulkijoita ja pyöräilijöitä voidaan opastaa vilkkuvalla keltaisella valolla, joka vastaa toiminnaltaan Suomessa käytettävää huomiovaloa. Toinen liikenneturvallisuutta parantava keino on välttää muiden tienkäyttäjien kääntymistä vasemmalle raitiotien ylitse. (Tvärbanan Kistagrenen, 2016, s. 17)

Nopeusrajoituksissa Tvärbananin suunnitteluohjeessa huomattavaa on maksiminopeuden, 80 km/h, salliminen, mikäli rata kulkee omalla osuudellaan. BOStrabin ohjeistuksen mukaisesti esimerkiksi Norjan Bybanenin ja Suomen pikaraitioteiden maksiminopeus on 70 km/h. Suurempi sallittu maksiminopeus selittyy sillä, että Tvärbananilla on käytössä automaattinen kulunvalvonta. (Tvärbanan Kistagrenen, 2016).

Tvärbananin ylityspaikka on merkitty monilla tavoilla sen omalla raideosuudella. Ylityspaikalla on sekä jalankulkijaopastin että polkupyöräopastin. Opastimien tueksi ylityspaikalla on myös raitiotiestä varoittavat liikennemerkkit. Lisäksi ylityspaikka on rakenteellisesti aidattu Z-tyyppisesti, jolloin radan ylittäjän katse suuntautuu raitiovaunun tulosuuntaan ennen ylitystä ja lisäksi hieman vastakkaiseen tulosuuntaan ylityksen aikana. Kuvassa 28 on esimerkki Tukholman Solnasta.

Kuva 28. Tvärbananin ylityspaikka (Räty, 2021).



7 Tutkimuksen tulokset

Tässä työssä tutkittiin pikaraitiotien liittymäalueiden ohjausperiaatteiden vaikutusta matkamaan. Tässä luvussa kootaan yhteen tutkimuksessa selvinneitä asioita, tehdään päätelmiä ja esitetään suosituksia tuleville pikaraitiotiehankkeille.

7.1 Johtopäätökset

Pikaraitiotie on Suomessa uusi liikenneväline, josta ei ole vielä juurikaan käytännön kokemusta. Kuitenkin esimerkit maailmalta osoittavat pikaraitioteiden toimivuuden käytännössä. Kirjallisista lähteistä ja haastatteluista kävi ilmi, että pikaraitiotietä ei aina osata erottaa perinteisestä kaupunkiraitiotiestä, mutta tilanne lienee tulossa muuttuvan uusien suunnitteluohjeiden, esimerkiksi vielä julkaisemattoman pääkaupunkiseudun raitioteiden suunnitteluohjeen, ja käytännön kokemusten kautta.

Matka-aika on haastava ATA-mittari joukkoliikennehankkeille. Kun pyritään minimoimaan matka-aika, saadaan joukkoliikenteestä houkutteleva vaihtoehto, jolla pystytään perustelemaan hankkeiden kannattavuutta. Matka-ajan minimoimisella on kuitenkin vaikutusta raitiovaunun tai bussin luotettavuuteen ja täsmällisyyteen, mikäli suunniteltu matka-aika ja aikataulut viritetään äärimmilleen. Tästä seuraa häiriöherkkyyttä, ja sen kasvaessa palvelun käyttäjän eli matkustajan näkökulmasta palvelu toimii epävarmemmin. Tämä taas johtaa tilanteeseen, jossa matkustajan on lopulta varattava enemmän aikaa matkustamiseen ja pahimmassa tapauksessa jopa jätettävä palvelu käyttämättä matka-ajan vaihtelusta johtuvan suuren epävarmuuden vuoksi. Joukkoliikenteen käyttäjän eli matkustajan näkökulmasta luotettavuus on tärkein laatutekijä. Täsmällisyydellä saadaan siis parannettua matkustajan palvelukokemusta ja sitä kautta lisättyä todennäköisyyttä, että asiakas käyttää joukkoliikennettä uudelleen.

Haastatteluiden ja tutkimusten perusteella täysin ohjattu liikennevaloliittymä tai ylitys koetaan useimmiten parhaaksi ratkaisuksi. Sen avulla liittymäjärjestelyt saadaan selkeiksi ja ennalta arvattaviksi. Liikennevalo-ohjauksella pystytään luomaan liittymään saapuvalla raitiovaunulle tilanne, joka toistuu lähes aina samanlaisena. Tämä vähentää sekä raitiovaunun kuljettajan että muiden tienkäyttäjien epävarmuutta, millä voidaan nähdä suoria vaikutuksia matka-aikaan ja sen hajontaan. Raitiovaunun kuljettajien ajotavoilla on olennainen vaikutus matka-aikaan. Muuttujien vähentäminen liittymissä yhtenäistää kuljettajien ajamista.

Raitiovaunun turha pysähtely on monella tapaa haitallista. Raitiovaunun ylimääräinen seisottaminen esimerkiksi liikennevaloissa lisää liikennöintikustannuksia ja aiheuttaa

hajontaa matka-ajoissa. Lisäksi matkustajat kokevat katkonaisen matkan pidemmäksi kuin samassa ajassa suoritettun vastaavan matkan ilman katkoja. Ylityspaikoilla voidaan nähdä vaikutusta matka-aikaan, sillä ne vähentävät pysähdyksiä suojateihin verrattuna, koska suojatiellä raitiovaunun on pysähdyttävä jalankulkijan astuessa suojatielle, mutta ylityspaikalla tätä velvoitetta ei ole. Ylityspaikat ovat kuitenkin vielä melko uusi ratkaisu Suomessa, joten niiden toimivuudesta ei ole vielä riittävästi näyttöä. Ylityspaikkoja ollaan lähivuosina tuomassa myös Helsingin kantakaupungin raitiotieverkolle.

Pikaraitiovaunulla on lähtökohtaisesti suuremmat ajonopeudet kuin kaupunkiympäristössä operoivilla raitiovaunulla. Onnettomuustilastojen mukaan raitiovaunun todennäköisin onnettomuustyyppi on kylkiosuma, ja seuraavaksi eniten onnettomuudet risteyksissä ja raiteiden yli kääntyessä. Kun vältetään sekaliikennekaistoja ja estetään ajoneuvoliikenteen radan ylittäminen esimerkiksi suuntaisliittymällä tai kääntymiskiellolla, saadaan raitiovaunun ja ajoneuvoliikenteen konfliktin riskiä vähennettyä. Tällä nähdään olevan vaikutuksia liikenneturvallisuuden lisäksi myös matka-aikaan.

Toimivilla joukkoliikenne-etuuksilla pystytään luomaan raitiovaunulle pysäkkien välillä esteetön kulku, jolloin pysäkkien välillä vietetyn ajan hajontaa saadaan supistettua. Minimoimalla pysähdykset ja konfliktitilanteet pystytään ennakoimaan tarkemmin raitiovaunun kuluttama aika pysäkkien välillä, mikä parantaa luotettavuutta ja täsmällisyyttä. Etuuksien toiminnan seurannalla voidaan nopeasti puuttua vikatilanteisiin ja tehdä tarvittavia toimenpiteitä mahdollisimman pikaisesti. Etuudet eivät kuitenkaan saa olla liian aggressiivisia, jotta niistä ei olisi liiallista haittaa muille tienkäyttäjille, sillä tämä nostaa riskiä liikennesääntöjen laiminlyönteihin. Epäsäännöllisesti toimivat hyvät etuudet ovat matka-ajan kannalta haitallisempia kuin heikommat etuudet, jotka toimivat lähes aina.

Ulkomailla on käytössä laaja kirjo pikaraitiotien suunnitteluratkaisuja, ohjausperiaatteita, opastimia ja etuusjärjestelmiä. Tässä työssä esitellyistä havainnoista erityisesti ylityspaikkojen selkeä merkitseminen ja porrastaminen sekä ovien sulkemisesta kertova apuopastin ovat suunnitteluratkaisuja, joiden implementointia tulisi pohtia myös Suomessa. Edellä mainituilla ratkaisuilla on positiivisia vaikutuksia matka-aikaan ja liikenneturvallisuuteen.

7.2 Suositukset

Raitiotie ja pikaraitiotie eroavat toisistaan, joten niiden suunnitteluun tulisi myös suhtautua eri tavalla. Maksimaalisen hyödyn saavuttamiseksi pikaraitiotie tulisi suunnitella kuin se olisi juna. Suunnittelussa tulisi pyrkiä minimoimaan konfliktipisteitä ja liittymiä tai mahdollisuuksien mukaan tehdä niistä suuntaisliittymiä. Pikaraitiotiellä raitiovaunulle tulisi taata aina esteetön kulkuyhteys. Esteettömän kulkuyhteyden takaamiseksi liittymäalueilla tulisi suosia täyttä liikennevalo-ohjausta aina kun mahdollista. Suojateitä ei tulisi rakentaa pikaraitiotien reitille, mutta jos niitä rakennetaan, ne tulisi sijoittaa pysäkkien yhteyteen ja valo-ohjata. Mikäli suojatie on välttämätöntä rakentaa linjaosuudelle, tulee suojatie valo-ohjata. Mahdollisuuksien mukaan tulisi käyttää ylityspaikkoja suojateiden sijaan.

Valo-ohjaamalla pikaraitiotien konfliktipisteet liikennöinnistä saadaan toistettavaa ja ennalta-arvattavaa, mikä pienentää matka-ajan hajontaa. Matka-ajan hajonnalla on palvelun käyttäjän eli matkustajan näkökulmasta suurin merkitys matkustuskokemukseen. Liikenteen ennalta-arvattavuus lisää myös liikenneturvallisuutta.

Matka-ajan ja sen hajonnan näkökulmasta ohjaamattomia risteyksiä tulee mahdollisuuksien mukaan välttää. Ohjaamattomat risteykset ovat kuljettajan näkökulmasta stressaavimpia monien muuttujien takia, ja ne lisäävät matka-ajan hajontaa. Liikenneturvallisuuden takia ohjaamattomissa liittymissä täytyy olla myös laajat näkemät. Shared Space on mahdollinen suunnitteluratkaisu kaupunkiympäristössä, jossa on hyvin suuret jalankulkijamäärät. Tällöin ajonopeuksien tulee kuitenkin olla hyvin matalia, mikä taas vaikuttaa matka-aikaan merkittävästi.

Etuusjärjestelmien ilmaisimet tulee sijoittaa niin kauas liittymistä kuin mahdollista, mutta kuitenkin niin, että raitiovaunun matka-aika ohjattuun risteykseen on mahdollisimman hyvin tiedossa. Pyyntöpiste tulee olla sellaisessa paikassa, jossa ei ole hidasteita, kuten suojateitä tai ylityspaikkoja ilmaisimen ja risteyksen välissä. Tällöin etuuden luontiin on mahdollisimman paljon aikaa ja raitiovaunun pääsy risteyksen läpi nopeutta hidastamatta pystytään toteuttamaan suuremmalla todennäköisyydellä ja täsmällisyydellä. Etuusjärjestelmän toimintaa tulee seurata jatkuvasti ja havaittuja ongelmia käsitellä

jatkuvana prosessina. Seurannalla pystytään puuttumaan välittömästi vikatilanteisiin tai epäsäännöllisiin etuuksiin. Säännöllisen matka-ajan kannalta toimivat etuudet ovat kriittisiä.

Lähteet

Citytransport.info. (7. 6 2013). *Light Rail Countdown Traffic Signals* [video]. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=gnXyOg5_olc

Citytransport.info. (n.d.). *Light Rail Fits In Road Junctions, Level Crossings and Traffic Signal Priority*. <https://citytransport.info/Signals.htm>

Google Earth. *Bergenin Bjørnsons gaten ja Inndalsveienin risteys* (n.d.) [kuva]

Hakala, P. (2014). Raitiotien kytkeytyminen liikennevalojärjestelmään. Tampereen Teknillinen Yliopisto.

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22400/Hakala.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Halme, R. (2020). *Jalankulkijaonnettomuudet Helsingissä 2009-2018*. [opinnäytetyö, Hämeen Ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/333443/Halme_Riku.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Helsingin kaupunki. (19. Huhtikuu 2021). *Katupuut ja raitioliikenne, mitoitusohje*.

<https://kaupunkitilaohje.hel.fi/kortti/katupuut-raitioliikenne-mitoitusohje/>

HSL. (2017). *Raitioliikenteen viivetutkimus*.

https://www.hsl.fi/sites/default/files/hsl_julkaisu_11_2017.pdf

Kruunusillat. (2018). *Kartat*. <https://www.hel.fi/kaupunkiymparisto/kruunusillat-fi/tietoa-hankkeesta/materiaalipankki/kartat>

Kruunusillat. (8. Huhtikuu 2021). *Tietoa hankkeesta*.

<https://www.hel.fi/kaupunkiymparisto/kruunusillat-fi/tietoa-hankkeesta/>

Laki tieliikennelain muuttamisesta. (1040/2020 Liite 2).

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201040>

Liikennevalot.info. (n.d.-a). *Jokerivalot*. <http://www.liikennevalot.info/tieto/jokerivalot.shtml>

Liikennevalot.info. (n.d.-b). *VAROVA – kiskoylitysvalot*.

<http://www.liikennevalot.info/tieto/varova.shtml>

Liikennevalot.info. (n.d.-c). *OIVA - osittaiset liikennevalot*.

<http://www.liikennevalot.info/tieto/oiva.shtml>

Liikennevalot.info. (n.d.-d). *Valopilkku joukkoliikenteen etuuksien merkkivalo*.

<http://www.liikennevalot.info/tieto/valopilkku.shtml>

Liikennevalot.info. (n.d.-e). *Vihreä aalto*.

<http://www.liikennevalot.info/tieto/vihreaaalto.shtml>

Liikennevalot.info. (n.d.-f). *Joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet*.

<http://www.liikennevalot.info/tieto/joukkoliikenteenetuudet.shtml>

Liikennevirasto. (7. Huhtikuu 2017). *Maanteiden liikennevalojen suunnitteluohje - LIVASU*

2016. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-37_livasu_web.pdf

Pärssinen, T. (2020). *Pyöräliikenteen liikennevalo-ohjauksen kehittäminen*. [diplomityö, Aalto-yliopisto]

<https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-15-20.pdf>

Raide-Jokeri. (n.d.-a). *Mikä on Pikaraitiotie*. <https://raidejokeri.info/usein-kysyttya/mika-on-pikaraitiotie/>

Raide-Jokeri. (n.d.-b). *Ylityspaikat sujuvoittavat kaikkea liikennettä*.

<https://raidejokeri.info/ylityspaikat-sujuvoittavat-kaikkea-liikennetta/>

Ramboll. (22.3.2016). *Ramboll on arvioinut Kruunusillat-hankkeen kokonaiskestävyyden*.

<https://fi.ramboll.com/media/rfi/ramboll-arvioinut-kruunusillat-hankkeen-kokonaiskestavyyden>

Salonen, M. (2010). *Joukkoliikenteen valoetuksien toteuttaminen SYVARI-ohjauksella.*

https://salonen.info/wp-content/uploads/2012/09/SYVARI-ohjekirja_100215.pdf

Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés. (2009). *Signal d'Aide à la Conduite pour les réseaux de transports guidés type tramway ou assimilé.*

<http://www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/GT2-DTW-SAC.pdf>

Sitowise. (n.d.). *Vastuullisuuspalvelut.* <https://www.sitowise.com/fi/kestava-kehitys/vastuullisuuspalvelut>

Skyss. (n.d.). *Traffic Safety.* <https://www.skyss.no/en/nice-to-know/useful-information/traffic-safety/>

Stadin AO. (4.4.2021). *Raitiovaununkuljettajan koulutus.*

<https://www.studentum.fi/koulutukset/stadin-ao/raitiovaununkuljettaja-241876>

Tammilehto, S. (2020). *Raitiotie ja kiertoliittymät.* [opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343019/Tammilehto_Suvi.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Tampereen Ratikka. (n.d.-a). <https://www.tampereenratikka.fi/>

Tampereen Ratikka. (n.d.-b). *Tampereen raitiotien suunnitteluohje.*

<https://www.ratikansuunnitteluohje.fi/3-raiotie-ja-liikenneturvallisuus/#3-6-liikennevalo-ohjaus>

Tieliikennelaki 729/2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729>

Tvärbanan Kistagrenen. (2016). *Gestaltlingsprogram.*

https://www.sundbyberg.se/download/18.52af04df159029a1335a400f/1482157394416/Gestaltlingsprogram_Kistagrenen_160623_liten.pdf

Vaarala, V. (2015). *Adaptiivisen liikennevalo-ohjauksen toiminta ja vaikutukset.*

[diplomityö,Tampereen teknillinen korkeakoulu].

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/23533/vaarala.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Valtioneuvoston asetus liikenteenohjauslaitteiden käytöstä 379/2020.

<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2020/20200379#a379-2020>

Vanhanen, K.;Toiskallio, K.;Aalto, P.;Lehto, H.;Lehmuskoski, V.;& Sihvola, T. (2007a).

Joukkoliikenteen kokonaislaatuun vaikuttavat tekijät, painopisteenä paikallisliikenne.

Osaraportti 1.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78840/LVM_664_2007.pdf?sequence=1

Vanhanen, K.;Toiskallio, K.;Aalto, P.;Lehto, H.;Lehmuskoski, V.;& Sihvola, T. (2007b).

Joukkoliikenteen kokonaislaatuun vaikuttavat tekijät, painopisteenä paikallisliikenne.

Osaraportti 3.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78840/LVM_66C_2007.pdf

Verordnung über den Bau und Betrieb der Strassenbahnen. (1987). *Strassenbahn-Bau- und*

Betriebsordnung - BOStrab. [http://www.railforthevalley.com/wp-](http://www.railforthevalley.com/wp-content/uploads/2010/10/BOStrab-EN_Version_2008-05-12.pdf)

[content/uploads/2010/10/BOStrab-EN_Version_2008-05-12.pdf](http://www.railforthevalley.com/wp-content/uploads/2010/10/BOStrab-EN_Version_2008-05-12.pdf)

Voestalpine (n.d.). *V-Com vehicle communication system.*

<http://www.voestalpine.com/railway-systems/en/products/v-com-vehicle-communication-system/>

Väylä. (2014). *Jalankulku- ja pyörävylien suunnittelu.*

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-11_jalankulku_pyorailyvaylien_web.pdf