

Alexi Rauhala

RAITIOTIEN TURVALLISET RISTEÄMÄT

Case Tampereen raitiotie

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Industry Professor Kalle Vaismaa
Tarkastaja: professori Heikki Liimatainen
Marraskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Aleksi Rauhala: Raitiotien turvalliset risteämät
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2022

Raitiotiejärjestelmien määrät ovat Suomessa kasvussa ja Tampereella suunnitellaan ja rakennetaan lisää raitiotietä. Liikenneturvallisuuden kannalta riskikohteita ovat raitiotien risteämät niin jalankulun, pyöräilyn kuin moottoriajoneuvoliikenteenkin osalta. Tampereen raitiotie on ensimmäinen pikaraitiotiemäinen järjestelmä Suomessa, joten kokemuksia turvallisista ratkaisuista oli tarpeen etsiä ulkomailta.

Kirjallisuustutkimus osoitti, että vakavimmat onnettomuudet sattuvat ns. suojattomien liikennemuotojen eli jalankulun ja pyöräilyn kanssa. Moottoriajoneuvoliikenteen kanssa sattuneissa törmäyksissä syntyy suurimmalta osin vain omaisuusvahinkoja. Syitä onnettomuuksiin on monia, mutta kulkumuodosta riippumatta huomion puute on usein syynä. Raitiotiehen liittyvissä polkupyöräonnettomuuksissa renkaan ajautuminen kiskouraan aiheuttaa usein onnettomuuksia. Ajoneuvoliikenteessä ongelmallisimpia ovat liittymät, jossa ajoneuvo kulkee samansuuntaisesti raitiotien kanssa ja tekee käännöksen radan yli vasemmalle. Safe System -ajatusmalli ja nollavisio ovat työkaluja, joilla ratkaisuja voidaan tarkastella. Virheet anteeksiantava liikenneympäristö ja kuolemien ja vakavien loukkaantumisten minimointi on avainasemassa näissä työkaluissa.

Raitioliikennettä ohjaa Suomessa useampi eri laki. Liikenteessä toimimisen säännöistä säädetään tieliikennelaissa. Raitiotien myötä yleistyvistä ylityspaikoista laki ei määrää mitään. Tanskan liikennelaki otti vahvemmin kantaa raitiotiehen ja muun muassa sallii selkeästi raitiotielle suuremman nopeusrajoituksen kuin viereiselle ajoradalle. Tampereella ja pääkaupunkiseudulla on omat suunnitteluohjeensa raitiotielle. Ne ovat sisällöltään kovin yhtenevät. Suunnitteluohjeita laatiessa on hyvä risteämien osalta huomioida myös käytössä olevat jalankulun ja pyöräilyn suunnitteluohjeet, joissa kyseisien kulkumuotojen erityispiirteet on otettu paremmin huomioon.

Tanskan Odensessa ja Aarhusissa sekä Ruotsin Lundissa tehtiin syyskuussa 2022 benchmarking- ja havainnointimatka. Matkan tavoitteena oli havainnoida järjestelmien toimintaa risteämissä paikoissa. Tämän lisäksi tarkasteltiin muun muassa pintamateriaali- ja liikennemerkkiratkaisuja sekä nopeusrajoituksia. Lundissa on erottuvat raitiotien ylityspaikat sekä kiertoliittymäratkaisut, joissa ajoneuvoliikenne pysäytetään Tampereelta poiketen kiertotilaan. Lisäksi Lundissa käytetään varoitusääntä varoittamaan lähestyvistä raitiovaunusta. Odensessa on toteutettu raitiotietä niin, että raitiotiellä on suurempi nopeusrajoitus, kuin viereisellä ajoradalla raitiotien matka-ajan nopeuttamiseksi. Myös visuaalinen erottelu tieliikenteessä on Odensessa toteutettu hyvin erottuvaksi. Odensessa oli kuitenkin liikennöintinsä ensikuukausina sattunut useita törmäyksiä ja niiden vaaratilanteita. Vasemmalla raitiovaunun eteen kääntyminen oli yksi yleisimmistä tapauksista.

Tampereella ensimmäisen liikennöintivuoden kokemuksista nousi esiin etenkin törmäykset ajoneuvojen kanssa. Näitä tapahtui myös tyypillisesti liittymissä, joissa ajoneuvo kulkee radan suuntaisesti ja kääntyy vasemmalle raitiovaunun eteen joko liikennevalojen vastaisesti tai kääntymiskieltoa rikkoen. Myös kiertoliittymät nousivat tilastoista esiin törmäyksiä vaaratilanteiden osalta. Yhtenä huomiona maastohavainnoinneista nousi myös ennaltakin tunnistettu raitiovaunuväylien noudattamattomuus.

Turvallisimmat risteämissä raitiotiellä ovat visuaalisesti erottuvia ja tuovat ilmi mahdollisen väistämismahdollisuuden eri kulkumuodoille. Risteämien tulee olla anteeksiantavia. Tätä tukee niin visuaaliset keinot, varoitusäänet, fyysiset esteet kuin nopeusrajoituskin. Tampereella on turvallisia risteämiä, myös tilastojen valossa, mutta parantamisen varaakin on löydettävissä.

Avainsanat: Raitiotie, liikenneturvallisuus, ylityspaikka, risteämä, törmäys, kiertoliittymä, suunnitteluohje

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Aleksi Rauhala: Safety on tramway crossings
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
November 2022

The amount of tramway systems is increasing in Finland and more tramway is under construction and planning in Tampere. Tramway crossings with vehicles, cyclists and pedestrians are risky in terms of traffic safety. Tampere tramway is a first light rail system in Finland, which means that it is necessary to look for experiences on safe solutions abroad.

According to literature study the most severe accidents are between tram and pedestrian or cyclist. Mostly material damage on collisions occurs between the tram and vehicles. There are many reasons for collisions, but one of the most common reasons is distraction when crossing the tramway. Tramway related cycling accidents happen often when the wheel of the bike gets stuck in the flangeway of the rail and makes the cyclist to fall over. For vehicles the most problematic crossings are when the lane is next to the tramway and vehicles need to make a left turn across the tramway. Safe System Approach and Vision Zero are tools to review the solutions. Key factors with these tools are to diminish fatalities and severe accidents and to make traffic environments that forgive human errors.

Tramway traffic is controlled by several laws in Finland. Traffic rules are given in Road Traffic Act. In the act there is no rules about the new type of pedestrian crossings where the tram has the right of way. Denmark Road Traffic Act controlled more tramway traffic and for example noted that it is possible to have higher speed limits for tramway than a road next to it. Tampere and Helsinki region have their own planning guides for tramways. These guides are very similar. When making planning guides for tramway it is important to also observe the planning guides for cycling and pedestrian traffic. They might have better views on those modes of transport.

Journey for benchmarking and perception was made in September 2022 to Odense and Aarhus in Denmark and to Lund in Sweden. Goal for the trip was to observe how the systems work on crossings. Second objective was to get a view of different surface solutions, traffic signs and speed limits. City of Lund has visually distinguishable crossings. There was also a different kind of solution compared to Tampere for roundabouts where cars were stopped inside the roundabout. In Odense there were some parts of tramway where the speed limit was higher than of a car lane next to it to diminish travel time. Visual separation was also successfully made in Odense. First months of the traffic had relatively many collisions and close calls. Cars making left turns was one common reason.

There were some experiences with collisions with vehicles during the first year of Tampere tramway. These happened usually on crossings where the vehicle moves in parallel to the tram and makes a left turn, either in disrespect of traffic signals or ignoring the left/right-turn prohibition. There were some close calls on roundabouts. Field surveys brought up that tram traffic lights weren't obeyed well.

The safest crossings on tramway are visually distinguishable from the surrounding infrastructure and right of ways are clear for all users. Crossings should forgive human errors. This is supported by visual means, warning sounds, physical barriers as well as the speed limit. Crossings in Tampere are relatively safe, also according to statistics, but there is also something that could be done better.

Keywords: tramway, light rail, traffic safety, pedestrian crossing, crossing, collision, roundabout, planning guide

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on toteutettu Tampereen Raitiotie Oy:n toimeksiantona ja osana Tampereen yliopiston rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa. Kiitän Tampereen Raitiotie Oy:tä mahdollisuudesta tehdä yhtiön historian ensimmäinen diplomi-työ.

Haluan kiittää ohjaajiani Jonna Anttilaa sekä Ville-Mikael Tuomista työn eteenpäin viemisen tukemisesta ja sen valmiiksi saattamisen avustamisesta. Iso kiitos myös työn ohjaamisesta ja tarkastamisesta Kalle Vaismaalle sekä Heikki Liimataiselle.

Haluan niin ikään kiittää tukemisesta ja kannustamisesta opintojen suorittamisessa perhettäni. Suuret kiitokset myös opiskelutovereilleni avusta opintojen suorittamisessa.

Tampereella, 29.11.2022

Alexi Rauhala

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimustehtävä, tavoitteet ja rajaukset	3
1.3 Tutkimusmenetelmät ja rakenne	3
2. TAMPEREEN RAITIOTIE JA LIIKENNETURVALLISUUS	7
2.1 Tampereen raitiotiejärjestelmä	7
2.2 Tampereen raitiotiejärjestelmän risteämät	8
2.2.1 Risteäminen jalankulun ja pyöräilyn kanssa	8
2.2.2 Risteäminen ajoneuvoliikenteen kanssa	10
2.3 Liikenneturvallisuus ja tarkastelukehikot	12
3. RISTEÄMIEN TURVALLISUUS	15
3.1 Raitiotie ja liikenneturvallisuus	15
3.2 Onnettomuudet	18
3.3 Lainsäädäntö	26
3.4 Suunnitteluohjeet ja muut ohjeistukset	28
3.4.1 Raitiotien risteämät	29
3.4.2 Liikennevalo-ohjaus	31
3.4.3 Raitiotien risteäminen jalankulun ja pyöräilyn kanssa	33
3.4.4 Liikennöintiohje	38
4. MUIDEN RAITIOTIEJÄRJESTELMIEN KÄYTÄNNÖT JA KOKEMUKSET	39
4.1 Odensen pikaraitiotie	39
4.2 Aarhusin pikaraitiotie	45
4.3 Lundin raitiotie	47
4.4 Raide-Jokeri	49
5. TAMPEREEN RAITIOTIEN KÄYTÖN AJAN HAVAINNOT	55
5.1 Läheltä piti -tilanteet ja raideliikennepoikkeamat	55
5.2 Maastohavainnointi	61
6. RATKAISUT JA PÄÄTELMÄT	65
6.1 Jalankulun ja pyöräilyn raitiotieradan ylitykset	65
6.2 Kiertoliittymän turvallinen toteuttaminen raitiotiehen	70
6.3 Risteäminen moottoriajoneuvoliikenteen kanssa	71
6.4 Lainsäädäntö ja suunnitteluohjeet	74
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	75
LÄHTEET	78

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Tampereen raitiotieverkko. Osa 1 on kuvattu punaisella ja osa 2 sinisellä. (Tampereen Raitiotie Oy 2022b).....	7
Kuva 2.	Raitiotien ylitys on toteutettu ylityspaikkana Kalevanrinteen pysäkillä. Ajoratojen ylitys on suojatie. Tullin pysäkillä ylityspaikka on valo-ohjattu.	9
Kuva 3.	VAROVA-valot ylityspaikalla Lääkärintiellä. Lähestyvistä raitiovaunusta varoittava vilkkuva keltainen valo lähestyvästä ylityspaikalla Makkarajärvenkadulla.....	9
Kuva 4.	Vasemmalla Insinöörikadun sekaliikennekaistalla ylitys on toteutettu suojatienä. Oikealla Sammonaukion pysäkillä ei ole odotustilaa ajoradan ja radan välissä. Raitiotien ylitys on toteutettu ajoradan tapaan suojatienä.	10
Kuva 5.	Hämeenkadun ylityspaikka ja ohjetarra	10
Kuva 6.	Raitiotie liittyy Hämeenkadun joukkoliikennekaistalle omalta kaistaltaan Rautatienkadun yli.....	11
Kuva 7.	Vasemmalla Sammonaukion liittymät ovat liikennevalo-ohjattuja. Sammonaukiolla on myös yksi Tampereen raitiotien linjaraitteen kolmesta raideristeyksestä. Liikennevalo-ohjaamaton tasoliittymä Teiskontieltä Lääkärintielle.	11
Kuva 8.	Liikenneturvallisuusvisio ja seitsemän strategista linjausta (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022)	13
Kuva 9.	Nilssonin liikenneturvallisuuskuutio (Alhroth & Pöllänen 2011)	14
Kuva 10.	Jarrutusmatkat eri nopeuksista hidastuvuuksilla 0,8 m/s ² ja 1,1 m/s ²	16
Kuva 11.	Törmäykset linjan ensimmäisenä ja viidentenä liikennöintivuotena. (Lackner et al. 2022)	18
Kuva 12.	Lievät, vakavat ja kuolemaan johtaneet onnettomuudet ja niiden nopeuksien jakauma (Lackner et al. 2022)	21
Kuva 13.	Jakauma eri ikäryhmien ja häiriötasojen välillä. (Larue & Watling 2022).....	22
Kuva 14.	Risteämätyyppin vaikutus onnettomuusmääriin. (STRMTG 2016).....	23
Kuva 15.	Jakauma onnettomuuksien uhrien määrästä eri risteämätyypeittäin. (STRMTG 2016)	23
Kuva 16.	Raitiovaunun ja jalankulkijan välisten onnettomuuksien jakautuminen onnettomuuspaikan mukaan. (Lackner et al. 2022)	24
Kuva 17.	Kiilautumisriskialue (Tampereen Raitiotie Oy 2021b)	30
Kuva 18.	Ajoneuvoliikenteen kolmiväriopastin, joukkoliikenneopastin ja jalankulkuopastin (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c)	31
Kuva 19.	Kolmiaukkoinen raitiovaunuvalo, jota käytetään ajoneuvoliikenteen pysäyttämiseen. (Tampereen Raitiotie Oy 2021c).....	32
Kuva 20.	Raitiovaunuvalojen toimintatapa (Tampereen Raitiotie Oy 2020b)	33
Kuva 21.	Raitiotien jalankulkuylitysten turvallisuusluokittelu (Tampereen Raitiotie Oy 2021a)	34
Kuva 22.	Sammonkadun Z-ylityspaikka ja suunnitteluohjeen ohjeistus (Tampereen Raitiotie Oy 2021b)	35
Kuva 23.	Pyöräliikenteen suunnitteluohjeen mukaan kiskojen ja reunakiven väliin tulisi jättää 2 m vapaata tilaa. (Helsingin kaupunki 2016)	36
Kuva 24.	Raitiotie erottuu muusta katu ympäristöstä kellertävän kiveyksen ansiosta. Suojatiessä on erottuva pintamateriaali.....	39
Kuva 25.	Pyöräilijän väistämismvöllisyyttä korostetaan kiveykseen maalatuilla kärkikolmioilla. Tieliikennelain 729/2018 poikkisuuntainen tiemerkitä L2 väistämisviiva. (TLL 729/2018)	40

Kuva 26.	<i>Pyöräilijälle on merkitty väistämisvelvollisuus liikennevalo-ohjatussa ylityksessä. Punainen asfaltti ei jatku raitiotien yli. (Odense Letbane, 2022a)</i>	<i>41</i>
Kuva 27.	<i>Raitiotiellä suurempi nopeusrajoitus kuin viereisellä ajoradalla Nyborgvej-kadulla.</i>	<i>41</i>
Kuva 28.	<i>Liittymäalue Aarhusissa. Raitiotie haarautuu kahteen eri suuntaan.</i>	<i>45</i>
Kuva 29.	<i>Jalankulun ylityspaikalla kulkua on rajoitettu estein. Lisäksi raitiotiestä varoitetaan merkillä B5 sekä raitiotiestä varoittavalla merkillä.</i>	<i>46</i>
Kuva 30.	<i>Pysäkin läheisyydessä oli tehdä mahdollisuus U-käännös ajoneuvoilla.</i>	<i>46</i>
Kuva 31.	<i>Ylityspaikkojen merkintöjä.</i>	<i>48</i>
Kuva 32.	<i>Raitiotien ja ajoradan risteämä.</i>	<i>48</i>
Kuva 33.	<i>Raitiotie lävistää kiertoliittymän.</i>	<i>49</i>
Kuva 34.	<i>Ylityspaikoilla jalankulun ylitys on korostettu oranssinkeltaisella värillä. Pyöräilyn ylitys on reunakivetön, kohtisuorassa rataa ja mustalla asfaltilla.</i>	<i>51</i>
Kuva 35.	<i>Vasemmalla ylhäällä Viikintien ja Viilarintien kiertoliittymä, jossa ajoneuvot pysäytetään ennen radan ylitystä. Vasemmalla alhaalla Oulunkylän kiertoliittymä, jossa osa suunnista pysäytetään ennen kiertotilaa ja osa ennen radan ylitystä. Oikealla Viikinkaaren ja Viikintien kiertoliittymä, jossa ajoneuvot pysäytetään ennen kiertotilaa.</i>	<i>53</i>
Kuva 36.	<i>Raitioteiden suunnitteluohjeen mukainen porrastettu (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b)</i>	<i>54</i>
Kuva 37.	<i>Itsenäisyydenkadulla Yliopistonkadun – Tammelan puistokadun liittymässä on ollut useita törmäyksen vaaratilanteita. Radan suuntaiselta ajoradalta on käännytty vasemmalle raitiovaunun eteen.</i>	<i>58</i>
Kuva 38.	<i>Hatanpään valtatie ja Hämeenkadun liittymässä ajoneuvojen väistämisvelvollisuuden noudattaminen on aiheuttanut vaaratilanteita (Tampereen Raitiotie Oy 2021d)</i>	<i>58</i>
Kuva 39.	<i>Rieväkadulta on poistettu tonttoliittymä.</i>	<i>59</i>
Kuva 40.	<i>Tasoristeyksessä ajoneuvot pysäytetään raitiovaunuvaloilla.</i>	<i>61</i>
Kuva 41.	<i>Kuvan punainen katumaasturi ajoi päin kiinteää punaista valoa.</i>	<i>62</i>
Kuva 42.	<i>Vasemmalla ylhäällä Tampereella ajoneuvoliikennettä varoittavat raitiovaunumerkit, oikealla maalaus ylityspaikalla Lundissa ja alhaalla Raide-Jokerin suunnitelmakuva ylityspaikoille.</i>	<i>65</i>
Kuva 43.	<i>Makkarajärvenkadulla ylityspaikalla on raitiovaunusta varoittava merkki A25 Raitiovaunu sekä eroteltu kulkumuodot.</i>	<i>66</i>
Kuva 44.	<i>Projektorivalaisimilla voidaan lumiaikaan osoittaa kulkumuotojen paikat väylällä. (Yleisradio 2020)</i>	<i>67</i>
Kuva 45.	<i>Kuolemien ja vakavien onnettomuuksien mahdollisuus on pieni, kun nopeus on 30 km/h tai alle. (Lackner et al. 2022)</i>	<i>68</i>
Kuva 46.	<i>Ylityspaikalla kiskon kulma väylään nähden on pyöräilyn kannalta huono. Myös visuaalisesti raitiotieylitys voisi olla paremmin huomattavissa.</i>	<i>69</i>
Kuva 47.	<i>Kääntymiskieltoimerkin lisäksi kääntyminen on estetty pollarein Sveitsissä. (Marti et al. 2016)</i>	<i>72</i>

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Raitiotiejärjestelmien määrät ovat reilussa kasvussa. Suomessa suunnitellaan raitioiteitä jo olemassa olevien raitiotiekaupunkien lisäksi myös Vantaalle ja Turkuun. Myös Espoon ja Helsingin välillä Raide-Jokeri aloittaa pian liikennöintinsä. Helsingin kaupungin alueella on myös raitiotiehankkeita käynnissä. Tuoreille raitiotiekaupungeille uusi liikennemuoto vaatii liikenneturvallisuuden huomiointia ja varmistamista, sillä raitiotiet sijoittuvat usein vilkkaaseen kaupunkiympäristöön, jossa liikkuu paljon erilaisia liikennemuotoja. Toisaalta pikaraitiotieosuuksilla nopeudet nousevat korkeiksi, joka vaatii huomiointia risteämisen turvallisuudessa.

Raitiotie risteää Tampereella useasti niin jalankulun, pyöräilyn kuin moottoriajoneuvoliikenteenkin kanssa. Risteämät ovat käytännössä ainoat konfliktipisteet pysäkkien ja sekaliikennekaistojen lisäksi, joissa raitiovaunu on kosketuksissa muiden kulkumuotojen kanssa eli riskissä törmätä näiden kanssa. Kansainvälisistä onnettomuustilastoista käy ilmi, että raitioliikenne on muihin liikennemuotoihin verrattuna varsin turvallista (Querreri 2018). Kuitenkin vakavasti loukkaantuneiden osuus jalankulkijoiden osalta on suurempi raitiovaunun ja jalankulkijan välisissä onnettomuuksissa kuin onnettomuuksissa moottoriajoneuvojen kanssa (Chevalier et al. 2019). Näin ollen etenkin suojattomien kulkumuotojen liikenneturvallisuuteen ylityskohdissa ja liittymissä tulee kiinnittää huomiota. (Guerreri 2018)

Tampereella aloitettiin kaupallinen raitiotieliikenne elokuussa 2021, Suomen ensimmäisellä pikaraitiotiemaisella järjestelmällä. Tampereen Ratikka kulkee nopeimmillaan omalla eriytetyllä radallaan jopa 70 kilometriä tunnissa ja on jopa lähijunamainen. Kun taas Tampereen keskustassa, Hämeenkadulla, se kulkee ihmisten seassa rauhallisella 20 kilometrin tuntinopeudella.

Tampere teki valtuustopäätöksen raitiotien rakentamisesta marraskuussa 2016. Rakentamista tehtiin aina vuoteen 2021 asti ensimmäisellä osalla Hervannasta Pyynikintorille ja Kaupin kampukselta Sorin aukiolle. Rataosia otettiin käyttöön vaiheittain ja niille tehtiin koeajoja. Matkustajaliikenne aloitettiin 9.8.2021 kahdella linjalla. Kaupunginvaltuuston päätöksen 19.10.2020 mukaisesti aloitettiin raitiotien toisen osan

rakentamisesta Pyynikintorilta Santalahden kautta Lentävänniemeeseen. Tämän lisäksi on käynnissä suunnitelmia seudullisesta laajenemisesta Pirkkalan ja Ylöjärven kuntiin.

Raitiotiejärjestelmän toiminnasta ja kehittämisestä vastaa Tampereen Raitiotie Oy. Tampereen Raitiotie Oy on Tampereen kaupungin omistama yhtiö, joka vastaa tilaajana Tampereen raitiotieinfrastruktuurin rakentamisesta, kalustohankinnasta ja rahoituksen järjestämisestä sekä raitiotiejärjestelmän toimivuudesta. Viimeisimpänä Tampereen Raitiotie Oy:n vastuulle on siirtynyt vastuu raitiotien jatkolinjojen suunnitteluttamisesta. Seudullisen laajentumisen myötä osa yhtiön omistuksesta siirtyy seutukunnille.

Liikennöinnin alettua ja jatkolinjojen suunnittelun ollessa käynnissä, on tullut tarve tarkastella turvallisuutta raitiotien risteämissä eri kulkumuotojen kanssa. Kuljettajilta sekä muilta liikennöitsijän edustajilta on tullut useita huomioita, joissa kerrotaan erinäisistä vaara- ja läheltä piti -tilanteista, niin ajoneuvoliittymissä, kuin jalankulun ja pyöräilyn ylitys- ja suojatiepaikoilla. Suomessa ei ole aikaisempia kokemuksia suurinopeuksista raitioteistä ja niiden tasoristeyksistä muiden liikennemuotojen kanssa. Muissa Euroopan maissa on avattu viime vuosina useita uusia raitiotiejärjestelmiä ja niiden kokemuksista voisi olla hyötyä Suomen ja Tampereen raitiotiesuunnittelussa.

Raitiotien myötä Tampereella otettiin käyttöön jalankulun ja pyöräilyn ajorata- ja raitiotie ylityksiin ylityspaikkoja. Niiden väistämissäännöt eroavat suojatiestä ja ovat aiheuttaneet käyttäjissä ihmetystä (Tampere 2022). Tampereella raitiotien risteämiin liittyen tutkimusta on tehty kiertoliittymiin liittyvällä opinnäytetyöllä (Tammilehto 2020). Työ kuitenkin tehtiin ennen kaupallisen liikenteen alkamista ja tämän jälkeen kiertoliittymistä on saatu käytön ajan kokemuksia, joilla aiheeseen liittyvää tutkimusta voisi viedä eteenpäin. Raitiotiehen liittyen on Suomessa mm. tehty myös diplomityö suunnittelun vaikutuksesta liikenneturvallisuuteen (Saari 2019). Edellä mainitut työt ovat kuitenkin tehty ennen kuin Suomessa aloitettiin matkustajaliikenne ensimmäisessä modernissa pikaraitiotiejärjestelmässä. Tampereen raitiotien kokemuksia olisi hyvä yhdistää jo tutkittuun tietoon ja tukea sitä kansainvälisillä kokemuksilla modernista raitiotiestä.

Uusien raitiotiehaarojen suunnittelua varten on tässä vaiheessa hyvä tuoda uusia näkökulmia raitiotien risteämien turvallisuusratkaisuihin. Myös olemassa oleviin ja rakenteilla oleviin raitiotieympäristöihin voidaan niin päätettäessä tehdä parannuksia turvallisuusratkaisuihin.

Tampereen Raitiotie Oy on omissa turvallisuustavoitteissaan todennut tavoitteekseen, että kukaan ei kuole tai loukkaannu Tampereen raitiotiejärjestelmässä. Tämän lisäksi tavoitellaan, että kaikki tuntevat olonsa turvalliseksi matkustaessaan ratikalla ja että raitiotiejärjestelmää voidaan toteuttaa ilman kolmansien osapuolien vahinkoja. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021a) Pysyäkseen näissä tavoitteissa, on liikenneturvallisuus liittymä- ja radan ylityskohdissa avainasemassa.

1.2 Tutkimustehtävä, tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tehtävänä on määrittää turvallisimmat ratkaisut raitiotien risteämissä. Päättökysymyksenä on: Mitkä ovat raitiotien turvallisimmat risteämiskäytännöt?

Päättökysymystä tarkentamassa on kolme alatutkimuskysymystä.

1. Mitä lainsäädäntö mahdollistaa ja miten lainsäädäntöä tulisi tarkastaa?
2. Mitä ovat parhaat turvallisuusratkaisut erilaisissa liikenneympäristöissä?
3. Mitkä ovat turvallisuuden kannalta parhaat kansainväliset käytännöt tuotavaksi Tampereen järjestelmään?

Risteämiä tutkitaan ennen kaikkea turvallisuuden kannalta. Risteämiskäytännöllä on olennainen vaikutus myös raitiotien matkan sujuvuuteen ja matka-aikaan, mutta tutkimuksen painotus on ratkaisujen turvallisuudessa.

On huomioitava, että risteämiskäytännöillä voi olla vaikutusta siihen, miten matkustajan turvallisuus vaunun sisällä toteutuu esimerkiksi, kun raitiovaunun jarrutusvoimakkuutta muutetaan risteämien tuottamien liikennetilanteiden johdosta. Tässä tutkimuksessa painopiste on kuitenkin raitiovaunun ja muiden tienkäyttäjien välisessä turvallisuudessa.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja rakenne

Tutkimus on tehty monimenetelmäisenä tutkimuksena. Monimenetelmäisyys tarkoittaa, että käytetään saman tutkimusongelman ratkaisuun useita tutkimusmenetelmiä. Useampien menetelmien hyödyntäminen voi edesauttaa monipuolisempia ja kattavampia tuloksia kuin vain yhtä menetelmää käyttäen. (Jyväskylän Yliopisto 2021). Tutkimus on laadullinen. Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus on empiiristä ja perustuu aineistoon ja sen analyysiin (Juhila 2022a). Laadulliselle tutkimukselle on useita tyypillisiä ominaispiirteitä. Kvalitatiivisen aineiston suosiminen on tyypillistä.

Aineistoina on tässä työssä esimerkiksi haastattelua sekä valokuvia, joita analysoidaan. Ominaispiirteinä on myös analyysivetoisuus eli tutkimuksen tulokset käyvät ilmi aineistosta, jonka jälkeen niitä voidaan verrata oletuksiin tai tutkimustuloksiin. (Juhila 2022b)

Työssä tehtiin kirjallisuustutkimus raitiotietä ja liikenneturvallisuutta käsitteleviin tutkimuksiin. Kirjallisuustutkimuksessa tarkastellaan ilmiötä kokoamalla ja analysoidulla ilmiötä koskevaa tutkimuskirjallisuutta. Kirjallisuustutkimus on tutkimusmenetelmänä joustava eri tutkimusnäkökulmien suhteen. Tutkimus voi olla moninäkökulmainen. Näkökulmat voivat olla eri teoriasuuntausten tai tutkimusmenetelmien tuomia katsantokantoja samaan tutkimusaiheeseen. Näkökulmien tulisi kuitenkin muodostaa mielekäs kokonaisuus. (Aalto-yliopisto 2021) Suomessa raitiotien liikenneturvallisuutta on tutkittu etenkin opinnäytetyö ja diplomityötasolla. Työssä perehdyttiin myös olemassa oleviin ohjeistuksiin liittyen raitiotien ja eri kulkumuotojen väylien suunnitteluun. Eri suunnitteluohjeiden kirjauksia ja ohjeistuksia verrataan toisiinsa. Kirjallisuustutkimusta käsitellään luvussa kolme.

Raitiotietä koskevaan lainsäädäntöön tehtiin sisällönanalyysi. Sisällönanalyysi on tutkimuksessa käytettävä aineiston analyysiin käytettävä analyysitapa. Sen tarkoituksena on saada aineistosta eli laista, esille siinä esiintyvät merkitykset. Sisällönanalyysissä tutkittavasta aiheesta yritetään saada esiin yleistävä ja tiivistetty kuvaus informaatioarvoa menettämättä. Sisällönanalyysia tehdään teoriaohjaavasti eli ajattelua ohjaa vuorotellen aineisto ja teoria. (Spoken 2022). Työssä analysoitiin niin suomalaista kuin pohjoismaalaista lainsäädäntöä koskien raide- ja tieliikennettä.

Tampereen raitiotiejärjestelmää sekä tienkäyttäjien toimintaa sen risteämissä havainnointiin. Havainnoinnilla voidaan saada suoraa informaatiota toiminnasta ja käyttäytymisestä. Havainnointi tehtiin ei-osallistuvana eli suorana havainnointina. Menetelmää käytetään, kun halutaan tarkkailla tilanteita ilman, että tutkittavat siitä välttämättä tietävät. Havainnointi sopii menetelmänä laadullisen tutkimuksen menetelmäksi. Havainnoinnissa voidaan käyttää apuna videointia. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Tutkimuksen tekeminen aloitettiin havainnoimalla Tampereen rataverkkoa. Tarkoituksena oli saada yleiskuva rataverkolla olevista risteämisistä ja niiden ominaisuuksista ja erityispiirteistä. Tämä tehtiin kävelemällä kadulla raitiotien läheisyydessä. Eri kohteista otettiin valokuvia, jotta eri ratkaisuja ja niiden eroavaisuuksia pystytään havainnollistamaan. Lisäksi tehtiin tarkempaa havainnointia käytön

ajalta saatujen turvallisuushavaintojen perusteella ongelmallisimmiksi kohdiksi todettiin liittyä. Luvussa viisi käsitellään Tampereen raitiotiejärjestelmän havaintoja ja kokemuksia.

Havainnointia ja benchmarkingia varten tehtiin matka Ruotsiin Lundin kaupunkiin 10.9.2022 sekä osallistuttiin Spårvangstäderna -yhdistyksen opintomatkalle, joka sijoittui Tanskan Aarhusiin, Odenseen ja Kööpenhaminaan 11.-14.9.2022. Odensessa ja Aarhusissa on avattu uudet raitiotiejärjestelmät ja Kööpenhaminaan on myös rakenteilla raitiotie.

Benchmarking eli vertaisarviointi tai vertailuanalyysi on oman toiminnan vertaamista toisten toimintaan. Se voi olla usein vertaamista parhaaseen vastaavaan käytäntöön. Sen tarkoituksena on auttaa tunnistamaan oman toiminnan heikkouksia ja niiden pohjalta saada kehitysideoita ja kehittymiseen tavoitteita. (Meltwater 2021) Benchmarkingia varten havainnointiin muita raitiotie järjestelmiä kävelemällä raitiotiejärjestelmien läheisyydessä ja havainnoimalla sen toimintaa. Erilaisia risteämiskäytännön ratkaisuja valokuvattiin ja videoitiin. Näitä materiaaleja analysoitiin ja kommentointiin työssä. Tarkasteltiin, miten raitiovaunu ja muut tienkäyttäjät toimivat erilaisissa liitymissä ja raitiotieradan ylityspaikoissa kohdekaupungeissa. Havainnoinnissa keskityttiin muun muassa radan pintamateriaaliratkaisuihin risteämiskohdissa, liikennevalo-ohjauksen ratkaisuihin, liikennemerkkeihin ja nopeusrajoituksiin risteämissä. Matkan havaintoja kuvataan luvussa neljä.

Työtä varten Odensen raitiotien turvallisuuspäällikölle tehtiin tutkimushaastattelu. Tutkimushaastattelun tavoitteena on tuottaa tietoa ja aineistoa tutkimusongelmaan vastaamista varten. Tarkoituksena ei ole kysyä suoraan tutkimuksen tutkimuskysymyksiä. Asiantuntijahaastattelulla oli tarkoituksena selvittää, millaisia kokemuksia raitiotien toiminnasta eri risteämiskäytännön ratkaisuihin on ja millaisiin on päädytty. Asiantuntijahaastatteluissa voi haastattelijan olla tarpeen muuttaa lähestymistapaansa asiantuntijasta tietämättömämmäksi saadakseen enemmän tietoa, sillä asiantuntijalla ja tutkijalla voi olla ristiriitaiset intressit. (Hyvärinen et al. 2022) Haastatteluun käytettiin Microsoft Teams -alustaa, sillä haastattelu tehtiin vasta Odensessa vierailun jälkeen. Haastattelu ei ollut kovin strukturoitu, mutta teemana haastattelussa oli Odensen liikennöinnin aloituksen turvallisuustilanne risteämäkohtia koskien.

Kuudennessa luvussa esitetään tutkimuksen tuloksia. Tuodaan ilmi turvallisimmiksi todetut ratkaisut eri liikenneympäristöihin. Tämän lisäksi kuvataan Tampereelle soveltuvat parhaat kansainväliset ratkaisut ja analysoidaan lainsäädännön ja Tampereen raitiotien suunnitteluohjeen muutostarpeita.

2. TAMPEREEN RAITIOTIE JA LIKENNETURVALLISUUS

2.1 Tampereen raitiotiejärjestelmä

Tampereen rataverkko on kaksiraiteinen lukuun ottamatta päätepysäkkien yhteydessä olevia kääntöraiteita, joissa vaunun voi vaihtaa toisen suunnan raiteelle sekä varikon siirtymäraidetta. Kaksiraiteisuus tarkoittaa, että raitiotiellä on omat raiteet kummallekin ajosuunnalle. Rataverkon kokonaispituus varikon ulkopuolella on noin 15 kilometriä. Varikkoalueella olevien raiteiden kokonaispituus on noin 3,5 km. (Tampereen Raitiotie Oy 2022a).



Kuva 1. Tampereen raitiotieverkko. Osa 1 on kuvattu punaisella ja osa 2 sinisellä. (Tampereen Raitiotie Oy 2022b)

Kuvassa yksi esitetystä rataverkosta on punaisella merkitty jo käytössä oleva rata-osa, jota liikennöidään kahdella linjalla sekä rakenteilla oleva Pyyrikintori – Lentävänniemi osuus. Tämän lisäksi suunnittelu laajentumisesta on käynnissä välille Pirkkala – Linnainmaa, hyödyntäen jo rakennettua Sorin aukio – Kaupin kampus rataosuutta. Myös Lielahdesta Ylöjärveen on suunnitelmana jatkaa raitiotietä. Tästä osasta on käynnissä tarkentava yleissuunnittelu.

Tampereen raitiotieverkolla raitiotie voi sijaita

- sekaliikennekadulla eli samalla kaistalla muiden tienkäyttäjien kanssa,
- omalla kaistallaan, joka on eriytetty muusta liikenteellä
 - o kiveyksellä tai ajoratamaalauksella
 - o tasoerottelulla,
- tai kokonaan eriytetyllä radalla.

Radan päällysrakenteena on joko suljettuna päällysrakenteena kivi- tai asfalttipintainen rata tai avoimena päällysrakenteena nurmi- tai sepelirata. Suljetussa päällysrakenteessa tukikerros on betonia ja muodostaa kiintoraidelaatan. Nurmi- ja sepeliradan päällysrakenteena on puolestaan sepeliä (Raitiotieallianssi 2017)

2.2 Tampereen raitiotiejärjestelmän risteämät

Raitiotie risteää tasossa niin moottoriajoneuvoliikenteen, kuin jalankulun ja pyöräliikenteen kanssa. Tässä työssä ei keskitytä eritasoristeämiin.

Lisäksi raitiotieradalla on risteämiä toisten raitiotieratahaarojen kanssa. Näitä raideristeyksiksi kutsuttuja risteämipaikkoja on Atomipolun ja Insinöörinkadun, Sammonkadun ja Teiskontien sekä Hämeenkadun ja Hatanpään valtatie risteyksissä.

2.2.1 Risteäminen jalankulun ja pyöräilyyn kanssa

Tampereen raitiotiellä radan ylitykset jalankululle ja pyöräliikenteelle on toteutettu joko ylityspaikkoina tai suojateinä. Nämä voivat olla joko liikennevalo-ohjattuja tai ohjaamattomia. Ylityspaikka ja suojatie on esitetty kuvassa kaksi. Kuten Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessakin on todettu, että tasoristeämiset raitiotien kanssa toteutetaan lähtökohtaisesti ylityspaikkana. (Tampereen Raitiotie Oy 2021b) Tällöin jalankulku ja pyöräily ovat väistämismuuttajia raitiovaunuun nähden, ellei sitä liikennemerkkein ole toisin merkitty. Ylityspaikat voivat tapauksesta riippuen olla joko valo-ohjattuja tai ohjaamattomia. Suunnitteluohjeen mukaan nopeustaso, esteettömyystaso ja liikkujien määrät ratkaisevat valo-ohjauksen toteuttamisen tarpeen. (Tampereen Raitiotie Oy 2021b)

Valo-ohjaus voi olla niin sanottu täydellinen liikennevalo-ohjaus, joka on aina aktiivisena tai sitten lähestyvistä raitiovaunuista voidaan varoittaa vilkkuvalla keltaisella valolla sekä niin kutsutuilla VAROVA-valoilla. VAROVA eli Valo-ohjaus Raitiovaununukiskot ylittävällä suojatiellä tai ylityspaikalla (Sane 2014a). Nämä valot ovat aktiivisena vain raitiovaunun lähestyessä. Nämä on esitetty kuvassa kolme.



Kuva 2. Raitiotien ylitys on toteutettu ylityspaikkana Kalevanrinteen pysäkillä. Ajoratojen ylitys on suojatie. Tullin pysäkillä ylityspaikka on valo-ohjattu.

Sekaliikennekaduilla, eli kaduilla, joissa on raitiotie sekä moottoriajoneuvoliikennettä samalla kaistalla, ylitykset on toteutettu suojateinä. Suojatie on toteutettu myös, mikäli ajoradan ja raitiotien välissä ei ole odotustilaa, tai se on alle 2,5 m. Tämä on esitetty kuvassa neljä. Insinöörinkadun sekaliikennekaistalla suojatieylitykset eivät ole liikennevalo-ohjattuja. Suojatiellä raitiovaunu on väistämisvelvollinen jalankulkijoihin nähden sekä pyörätien jatkeella pyöräilijöihin nähden, jos raitiovaunu tulee merkin B5 Väistämisvelvollisuus risteyksessä takaa.



Kuva 3. VAROVA-valot ylityspaikalla Lääkärintiellä. Lähestyvistä raitiovaunusta varoittava vilkkuva keltainen valo lähestyvästä ylityspaikalla Makkarajärvenkadulla.

Kuitenkin Hämeenkadulla, joka on joukkoliikennekatu, jonka nopeusrajoitus on 20 km/h, on ylitykset toteutettu ylityspaikkoina. Keskustassa ylityspaikoilla toimimista on ohjeistettu katuun liimattujen tarrojen avulla, kuten kuvassa viisi on esitetty.



Kuva 4. Vasemmalla Insinöörinkadun sekaliikennekaistalla ylitys on toteutettu suojatienä. Oikealla Sammonaukion pysäkillä ei ole odotustilaa ajoradan ja raitiotien välissä. Raitiotien ylitys on toteutettu ajoradan tapaan suojatienä.

Valo-ohjattuna ylityspaikka ja suojatie ovat samankaltaisia. Merkinnät ovat eriävät, mutta toimintatapa niissä toimimiseen ei eroa toisistaan paitsi, kun valo-ohjaus on poissa toiminnasta.



Kuva 5. Hämeenkadun ylityspaikka ja ohjetarra

2.2.2 Risteäminen ajoneuvoliikenteen kanssa

Raitiotiekaduilla on pyöräliikenne pääsääntöisesti toteutettu joko pyörätienä tai yhdistettynä jalankulun ja pyöräilyn väylänä. Näin ollen voidaan olettaa, että raitiotietä risteävillä ajoradoilla kulkee vain moottoriajoneuvoja. Tässä luvussa keskitytään siis ajoratojen ja raitiotieradan risteämisiin. (Tampereen Raitiotie 2021b)

Raitiotien risteämiset ajoneuvoliikenteen kanssa voidaan jakaa kahteen kategoriaan: Raitiotien liittyminen eriytetyltä radalta tai -kaistaltaan sekaliikennekadulle ja päinvastoin sekä tasoristeämään, joissa ajorata risteää raitiotien kanssa tasossa. Kuvassa kuusi on esitetty raitiotien liittyminen omalta kaistaltaan joukkoliikennekaistalle.



Kuva 6. Raitiotie liittyy Hämeenkadun joukkoliikennekaistalle omalta kaistaltaan Rautatienkadun yli.

Suurin osa risteämistä ajoneuvoliikenteen kanssa on toteutettu valo-ohjattuina joko täydellisellä liikennevalo-ohjauksella tai vaihtoehtoisesti raitiovaunuvaloin. Liikennevalo-ohjaamattomina liittyminä on vähäliikenteisempiä liittymiä, sekä tonttiliittymiä. Kuvassa seitsemän on esitetty näitä tapauksia.



Kuva 7. Vasemmalla Sammonaukion liittymät ovat liikennevalo-ohjattuja. Sammonaukiolla on myös yksi Tampereen raitiotien linjaraiteen kolmesta raideristeyksestä. Liikennevalo-ohjaamaton tasoliittymä Teiskontieltä Lääkärintielle.

2.3 Liikenneturvallisuus ja tarkastelukehikot

Turvallisuuden voi nähdä liikennejärjestelmän ominaisuutena tai arvona ja liikennejärjestelmätyön yhtenä tavoitteena on liikenneturvallisuus. Se voi olla kilpailemassa muiden liikennejärjestelmän tavoitteiden, kuten sujuvuuden ja matka-ajan kanssa, joihin esimerkiksi nopeusrajoituksella on suuri vaikutus. Toisaalta se voi myös tukea muita tavoitteita. (Ahloth & Pöllänen 2011)

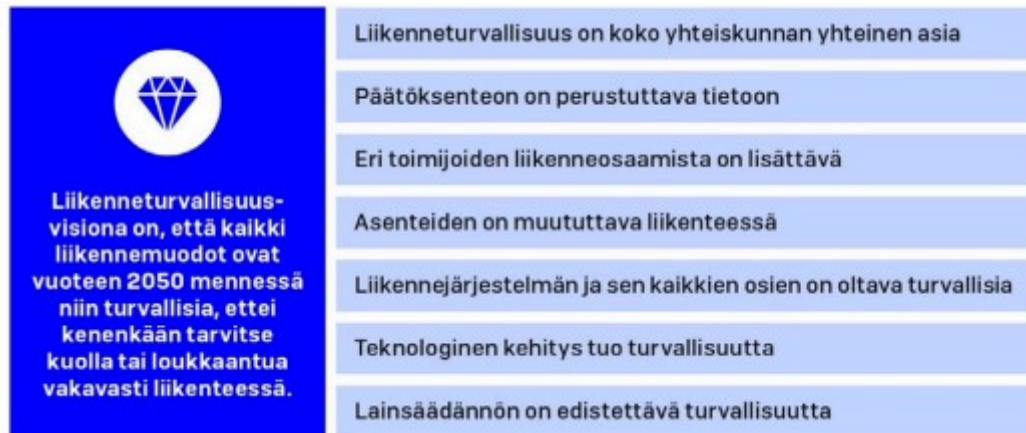
Turvallisuutta tarkastellessa voidaan pohtia, miten liikkumistarpeet järjestetään turvallisesti. Liikenneturvallisuustilannetta tutkiessa voidaan syntyneitä onnettomuuksia suhteessa suoritteeseen tai kulkutapojen käyttäjinä käytettyyn aikaan. Analysoitaessa liikenneturvallisuutta suhteessa aikaan eli henkilötunteihin hitaiden kulkumuotojen eli jalankulun ja pyöräilyn turvallisuustilanne, on parempi kuin suoritetta eli henkilökilometrejä kohden tarkasteltaessa. (Ahloth & Pöllänen 2011) Kävellessä ja pyöräillessä tehdään lyhyempiä matkoja, mutta niiden tekemiseen kuluu pidempi aika.

Näkökulmana voi olla myös liikennemuotojen turvallisuuskäsitykset, -menetelmät ja -strategiat ja niiden vertailu keskenään (Ahloth & Pöllänen 2011).

Raitioliikenteen ja sen kanssa tasossa risteävän tieliikenteen yhtenä merkittävimmistä turvallisuuteen vaikuttavimmista tekijöistä voidaan pitää sitä, että raitioliikenteen kuljettajat ovat jatkuvasti koulutettavia ammattilaisia ja tieliikenteessä suurin osa eri kulkumuotojen edustajista on amatöörejä. Tiellä liikkuvien ihmisten tiedoissa ja taidoissa on paljon eroa, kuten heidän kulkuneuvoissansakin. Tieliikenteessä sattuu myös suurin määrä onnettomuuksia henkilökilometrejä kohden (Ahloth & Pöllänen 2011). Tieliikenteen ryhmien ominaisuudet ja onnettomuusherkyys onkin hyvä muistaa tarkastellessa raitiotien ja tieliikenteen risteämiä.

Valtioneuvosto julkaisi maaliskuussa liikenneturvallisuusstrategiansa vuosille 2022–2026. Liikenneturvallisuuden parantaminen on otettu takaisin mukaan liikenteen ja liikennejärjestelmän kehittämiseen EU:n nollavisiotavoitteeseen vastaamiseksi. Sen tavoitteena on, että tieliikennekuolemia ei tapahdu enää vuoteen 2050 mennessä. Tämä jo tieliikenteestä tuttu nollavisio on strategiassa laajennettu koskemaan myös raide- ja vesiliikennettä sekä ilmailua. Strategian mukaista visiota on laajennettu EU:n tavoitteeseen niin, että 2050 kaikki liikennemuodot ovat niin turvallisia, ettei kenenkään tarvitse kuolla eikä loukkaantua vakavasti liikenteessä. EU on Valletan julistuksessa kuitenkin asettanut tavoitteen, että vakavien loukkaantumisten määrä

vähentyisi puoleen 2030 mennessä, sillä vakavien loukkaantumisten määrä on moninkertainen kuolemien määrään ja yhtä lailla huolestuttava. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022)

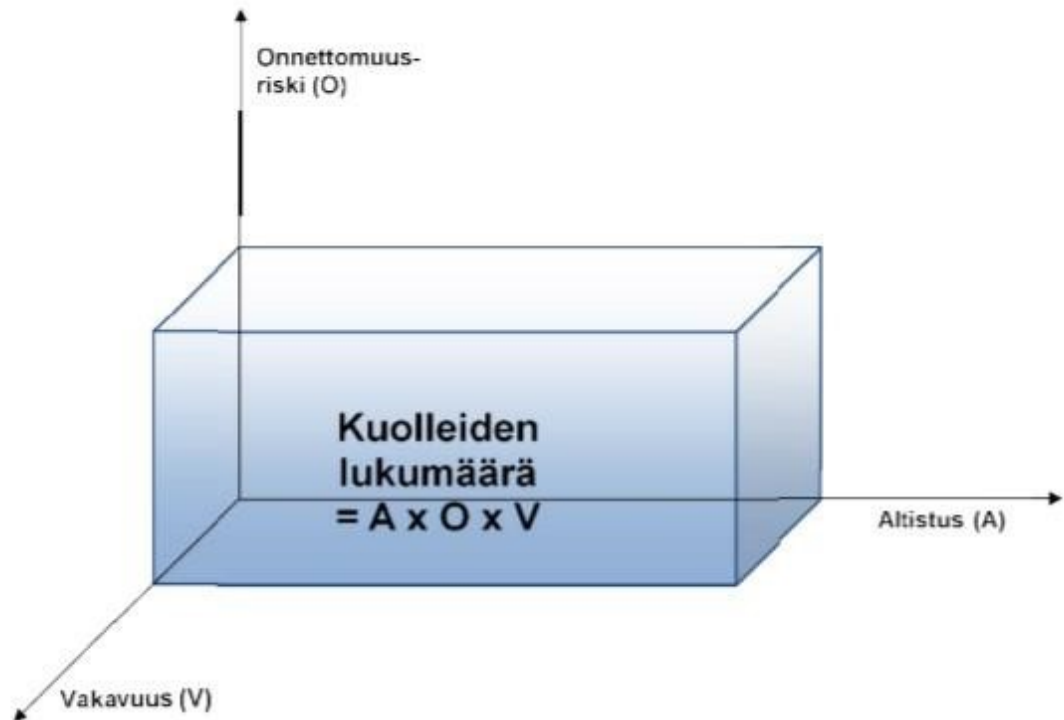


Kuva 8. Liikenneturvallisuusvisio ja seitsemän strategista linjausta (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022)

Liikenneturvallisuusstrategian toimenpideohjelmassa on 103 toimenpidettä, jolla turvallisuustilannetta pyritään parantamaan. Suoraan raitiotiehen osoitettuja toimenpiteitä ei ole määritetty, mutta yleisesti tie- ja raideliikennettä koskevia toimenpiteitä on määritetty, mutta niiden voi nähdä koskevan enemmän ajoneuvo- ja jalankulkuliikennettä sekä rautatieliikennettä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022)

Nolla-ajattelun lisäksi EU painottaa Safe System -lähestymistapaa, jonka tavoitteena on, että tieliikennejärjestelmä on anteeksiantavampi ihmisten tekemien virheiden suhteen. Pyritään siis toimenpiteisiin, jotka ottavat huomioon virheiden mahdollisuuden ja estävät ihmistä kuolemasta näiden seurauksena. Toimenpiteiden yhdistelmillä, kuten kehitetyllä infrastruktuurilla ja matalammilla nopeusrajoituksilla, pyritään varmistamaan moniosainen suoja, jotta jos yksi osa epäonnistuu, niin toiset osat kompensoivat ja suojaavat kuoleman vaaralta. Todetaan myös, että toiminta edellyttää toimijoiden jaettua vastuuta ja sitä että kukin tekee osansa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022) Niin nollavisio, kuin Safe System -lähestymistapa on hyvä pitää mielessä, kun mietitään raitiotien turvallisuutta liittymissä ja ylityskohdissa.

Liikenneturvallisuusongelmia voidaan tarkastella myös Nilssonin liikenneturvallisuuskuutiota (Nilsson 2004) Siinä ongelman laajuutta kuvataan kolmen osatekijän tulon avulla. Tätä on kuvattu kolmiulotteisesti kuvassa yhdeksän.



Kuva 9. Nilssonin liikenneturvallisuuskuutio (Alhroth & Pöllänen 2011)

Näitä osatekijöitä ovat altistus, onnettomuusvakavuus ja onnettomuusriski:

- Altistus kuvaa mahdollisuutta joutua onnettomuuteen. (Tätä kuvataan esim. liikennesuoritteella)
- Onnettomuusvakavuudella kuvataan onnettomuuden aiheuttamia seurauksia. Onnettomuudesta aiheutuneet seuraukset voidaan jakaa kuolleisiin, vakavasti loukkaantuneisiin, loukkaantuneisiin ja omaisuusvahinkoihin.
- Onnettomuusriskillä tarkoitetaan todennäköisyyttä onnettomuudelle. Tätä voidaan kuvata onnettomuuksien lukumääränä kilometrejä kohden. (Nilsson 2004, Romu 2019 mukaan)

Työssä eri ratkaisuja arvioidaan vaikutusta näihin osatekijöihin. Pienentämällä yhtä osatekijää, voidaan vaikuttaa kokonaisuudessaan liikenneturvallisuustilanteeseen.

3. RISTEÄMIEN TURVALLISUUS

3.1 Raitiotie ja liikenneturvallisuus

Raitiovaunun ero liikennemuotona moottoriajoneuvoihin verrattuna näkyy etenkin raitiovaunun pidempänä jarrutusmatkana, joka selittyy raitiovaunun suurella massalla sekä kiskopyörän ja kiskon välisellä pienemmällä kitkalla renkaaseen verrattuna. Raitiovaunu ei myöskään voi väistää sivulle. Matkustajille äkkijarrutus voi olla vaarallinen, sillä vaunussa matkustetaan usein seisten eikä matkustajien istuimilla ole turvavöitä. Tampereen raitiotiellä on ensimmäisen liikennöintivuoden aikana sattunut joitakin loukkaantumisia, kun vaunussa on kaaduttu äkillisen nopeuden muutoksen seurauksena.

Puolestaan raitiotien erona rautatiehen on turvallisuusnäkökulmasta se, että raitiovaunua liikennöidään näkemällä toisin kuin junaa. Raitiovaunua on siis liikennöitävä niin, että se on mahdollista pysäyttää näkyvällä matkalla. Raitiovaunukuljettajan tukena toimii kuitenkin raitioliikenteen ohjauskeskus, jolla on muun muassa näkymä kameroiden avulla osiin raitiotiejärjestelmää. Rautateillä liikennöinti perustuu pitkälti opastimiin.

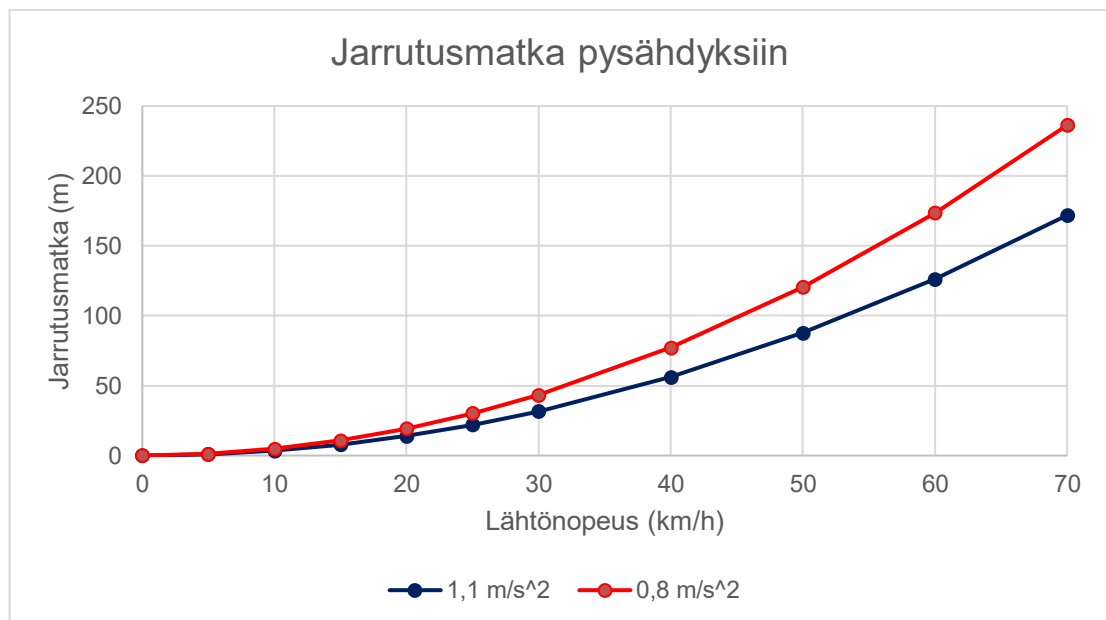
Raitiotiejärjestelmien määrän ja raidekilometrien määrän kaupungeissa kasvaessa, on tietoisuus raitiotien turvallisuuteen ja onnettomuuksien minimointiin avainasemassa. Tämänhetkinen turvallisuustieto raitioiteihin liittyen perustuu lähinnä onnettomuusdatasta saataviin tietoihin. Siinä on omat vajavaisuutensa, kuten inhimillisten tekijöiden vaikutus onnettomuuksiin ja onnettomuuksien aliraportointi tai raportointimatta jättäminen. Maanlaajuista onnettomuustietokantaa löytyy harvasta Euroopan maasta. Vuonna 2015 tällainen oli vain Ranskalla. Joidenkin maiden poliisit sisällyttävät raitiovaunuonnettomuudet kansallisten tieliikenneonnettomuuksien tietokantaan. Kaupunkien tasolla liikenteenharjoittajat keräävät ja julkaisevat vuosittaista onnettomuusdataa. (Lackner et al. 2022)

Kuten onnettomuustilastot Tampereen raitiotiejärjestelmässä, kuin muissakin järjestelmissä osoittavat, suuri osa onnettomuuksista tapahtuu risteämissä. Mitä enemmän eri liikennemuotoja ja -välineitä risteää toistensa kanssa, sitä enemmän on konfliktipisteitä. Näiden määrä puolestaan vaikuttaa onnettomuusriskiin. Konfliktipisteiden määrän pitämällä alhaalla voidaan siis saavuttaa turvallisempaa liikennem-
pääristöä. (Saari 2019)

Eräs tapa on ollut jakaa raitiovaunuonnettomuudet neljään kategoriaan (Budzynski et al. 2019).

1. Yhtä raitiovaunua koskevat
2. useampia raitiovaunuja koskevat
3. muita tienkäyttäjiä koskevat
4. muut onnettomuudet esim. ajoneuvojen ja jalankulkijoiden väliset onnettomuudet lähellä raitiotiepysäkkiä.

Nopeusrajoituksella on suuri vaikutus risteämän turvallisuuteen. Nopeusrajoitus ja sen mukainen raitiovaunun nopeus vaikuttaa raitiovaunun jarrutusmatkaan. Jarrutusmatkaan vaikuttaa myös raitiovaunun paino ja esimerkiksi keliolosuhteet. Tampereen raitiovaunu Škoda ForCity Smart Artic X34 taarapaino on 56,8 tonnia ja täynnä matkustajia se voi painaa jopa yli 80 tonnia. Suunnittelussa on hidastuvuudeksi käytetty arvoa 0,8 metriä sekunnin neliöön, joka on todettu matkustajalle miellyttäväksi kiihtyvyyden arvoksi. Arvo 1,1 m/s² on puolestaan mitattu hidastuvuus täydellä käyttäjarrulla. Kuvassa 10 on esitetty jarrutusmatkat hidastuvuuksilla 1,1 m/s² ja 0,8 m/s².



Kuva 10. Jarrutusmatkat eri nopeuksista hidastuvuuksilla 0,8 m/s² ja 1,1 m/s².

Raitiovaunun suuri paino ja sen verrattain pitkä jarrutusmatka ovatkin suurimmat riskit muille tienkäyttäjille. Yhteentörmäyksessä etenkin jalankulkijan tai pyöräilijän kesken massaero on suuri. Siksi nopeusrajoituksella on vaikutus, eli miten suuri nopeus

raitiovaunulla on ja miten suuri liike-energia tällöin on. Liike-energia on massan puolikas kerrottuna nopeuden neliöllä. Nopeudella on vaikutusta myös raitiovaunukuljettajan pysähtymisnäkemään. Mitä suurempi nopeus raitiovaunulla on, sitä pidemmän matkan raitiovaunukuljettajan tarvitsee nähdä saadakseen vaunun pysäytettyä tällä matkalla. (Tampereen Raitiotie Oy 2021c).

Tämän lisäksi on riski joutua yhteentörmäyksen seurauksena raitiovaunun alle, joka kasvattaa kuoleman riskiä merkittävästi. Tampereen raitiovaunun keula on suunniteltu ja muotoiltu siten, että se pyrkii ohjaamaan mahdollisessa onnettomuustilanteessa edessä olevan objektin muualle kuin raitiovaunun alle. Sen maavara on tästä syystä matala. (Aamulehti 2019) Viimeisenä keinona välttää vaunun pyörän alle joutuminen on raitiovaunun esteenraivain. Se pyrkii estämään objektien ajautumista vaunun pyörän alle.

Inhimilliset tekijät voivat vaikuttaa onnettomuusriskiin. Liikennevalojen noudattaminen voi vaihdella eri tienkäyttäjien välillä. Tampereella on esimerkiksi havaintoja raitiovaunuvalojen noudattamattomuudesta enemmän kuin liikennevalojen noudattamattomuudesta. Myös nopeusrajoitusten noudattamisella on vaikutusta. Sallittua suurempi nopeus voi nostaa kolarin vakavuutta sen sattuessa, kun liike-energiat kasvavat.

Guerrerin (2018) mukaan Ihmiselle on tyypillistä, että se aliarvioi todennäköisyyttä joutua negatiiviseen tilanteeseen, kuten liikenneonnettomuuteen, sairastumiseen tai taloudellisiin ongelmiin. Ihmiset kokevat olevansa jollain tapaa koskemattomia tällaisiin tapahtumiin. Tämä epärealistiseksi optimismiksi kutsuttu ilmiö aiheuttaa sen, että tienkäyttäjät aliarvoivat riskin raitiovaunuonnettomuuteen. Syinä tähän pidetään muun muassa raitiovaunun alhaista nopeutta ja huolellisia raitiovaunukuljettajia. Tämä optimismi korostuu etenkin nuorilla (15–29-vuotiailla) käyttäjillä. Tämän lisäksi kadun käyttäjillä voi olla eritasoinen tuntemus liikennesäännöistä. Ihminen voi tehdä virheitä, jotka aiheuttavat vaaratilanteita ja onnettomuuksia.

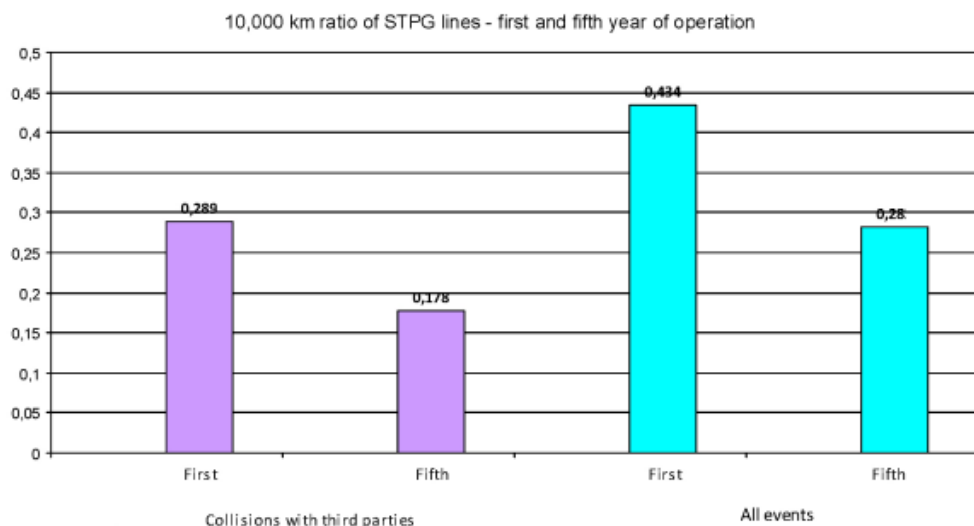
Tienkäyttäjillä on Castarnier et al. 2012 mukaan vähän tietoisuutta raitiotien onnettomuusriskeistä. Esimerkiksi Tampereelle tuli laajemmissa määrin käyttöön raitiotien myötä ylityspaikat osaan raitiotien ylityksiin pyöräilijöille ja jalankulkijoille. Ylityspaikkojen eroa suojatiehen eivät kaikki kuitenkaan tunne. Tampereen kaupungin teettämässä kyselyssä kaksi kolmesta tiesi mikä ero näillä on. (Tampere, 2022) Tieliikennelaki ei tunne erikseen termiä ylityspaikka, vaan se toteaa ajoradan ja raitiotien ylittämistä, että se on tehtävä suojatietä kulkien, jos sellainen on lähellä tai muuten

nämä on ylitettävä kohtisuoraan ja risteuksen vierestä, jos sellainen on lähellä. (Tie- liikennelaki 2018/729) Tampere ei ole ainoana ylityspaikkoja tuomassa kaupunkiympäristöön, vaan niitä tuodaan enenevässä määrin myös Helsingin kaupunkikuvaan. Raitiotien ylittäviä liikennevalo-ohjaamattomia suojateitä on ehdotettu korvattavan ylityspaikoilla useissa katuremonteissa ja raitiotiehankeissa 2020-luvun aikana. (Helsinki 2020)

3.2 Onnettomuudet

Raitiovaunuliikenteessä sattuu verrattain vähän onnettomuuksia. Onnettomuuksista suurin osa aiheuttaa vain materiaalivahinkoja (Marti et al. 2016). Esimerkiksi Italiassa vuonna 2016 tapahtui yli 175 000 tieliikenneonnettomuutta, mutta vain 162 raitiovaunonnettomuutta. Tässä valossa raitioliikennettä voidaan pitää verrattain turvallisena liikennemuotona. (Guerreri, 2018) Tietenkin raitiovaunujen määrä on vähäisempi kuin esimerkiksi autojen, joka vähentää altistumismahdollisuuksien määrää.

Tampereen tilanteesta voidaan todeta, että vuonna 2021 Tampereella tapahtui 309 poliisin raportoimaa liikenneonnettomuutta (Tilastokeskus 2022). Vastaavasti raitiotieltä on raportoitu Tampereella 10 törmäystä vuodelta 2021. On kuitenkin huomioitava, että raitiotiejärjestelmä on uusi Tampereella, mikä vaikuttanee tilastoihin. Ranskasta on kuitenkin kokemuksia, että onnettomuuksien määrät kääntyvät laskuun, kun liikennöintiä on ollut useampi vuosi. Tätä kehitystä on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Törmäykset linjan ensimmäisenä ja viidentenä liikennöintivuotena. (Lackner et al. 2022)

Kuvasta 11 nähdään, että viidennen liikennöintivuoden jälkeen kolareiden määrä on vähentynyt noin kolmanneksen ja kaikkien tapauksien myös noin kolmanneksen.

Kun järjestelmä tulee tutummaksi kaupungissa liikkujille, onnettomuuksien määrä vähenee.

Yhdysvalloissa vuosien 1999 ja 2004 välillä tehtyjen tutkimusten mukaan, eniten törmäyksiä raitiovaunun kanssa tapahtuu vasemmalle kääntyvän ajoneuvon kanssa. Törmäyksistä ajoneuvojen ja raitiovaunun välillä 47 prosenttia tapahtui tilanteissa, joissa ajoneuvo oli kääntymässä vasemmalle. Näissä tilanteissa raitiovaunu tulee todennäköisimmin kääntyvän auton takaa ja voi olla kuolleessa kulmassa, eli raitiovaunua ei välttämättä näe auton peileillä. Havainnointia voi vaikeuttaa se, että samansuuntainen vaunu tulee lähemmältä kiskoparilta vasemmalle raiteiden yli kääntäessä, kun oikealle mentäessä samansuuntainen vaunu on vasta kauemmalla kiskoparilla, eli havainnointiin jää enemmän aikaa ja kuljettajan tarvitsee kääntää päätään vähemmän. (Guerreri 2018) Myös Marti et al. 2016 mukaan yksi yleisimmistä syistä onnettomuuksille moottoriajoneuvojen ja raitiovaunujen välillä on kääntymistilanteen ajoneuvoille, jotka ajavat ensin samaan suuntaan raitiotien kanssa ja sitten risteävät sen kanssa niin, että kuljettajan on katsottava taakseen nähdäkseen lähestyvän ajoneuvon. Vasemmalle kääntyminen, kun raitiotie sijaitsee kadun keskellä, on tästä yleisin esimerkkitalanne. Tämä kääntymiskohtaaminen todetaan yhdeksi tärkeimmistä raitiotieturvallisuuskysymyksistä kansainvälisesti.

Näissä tilanteissa ajoneuvon kuljettajan keskittyminen saattaa olla vastaantulevassa liikenteessä, jolloin takaa tuleva raitiovaunu saattaa jäädä huomaamatta. Vasemmalle kääntyvän auton ja raitiovaunun yhteentörmäyksessä raitiovaunu törmää kuljettajan puolelle, jolloin loukkaantumisriski kasvaa, sillä toisella puolella ei välttämättä matkustajaa ole, mutta kuljettaja on kyydissä aina. Taustalla onnettomuuksille voi olla sääntöjen vastainen käänös. Myös tähän saattaa olla taustalla, että kuljettaja ei tunne liikkumisympäristöä. (Marti et al. 2016)

Raitiovaunun ja moottoriajoneuvon onnettomuuden vakavuutta voi pahentaa, jos ajoneuvo kiilautuu raitiovaunun ja kiinteän esteen väliin (Peltola 2018). Kun ajoneuvo puristuu painavamman raitiovaunun ja kiinteän objektin, kuten pylvään väliin, puristuu auto mahdollisesti kasaan ja aiheuttaa kyydissä oleville herkemmin vahinkoja. Tästä syystä raitiotien risteämän takapuolella vaunun kulkusuunnassa ei saisi olla mitään kiinteitä esteitä liian lähellä risteämää (Peltola 2018). Rakenteista sähkörata-pylväät ovatkin rakenne, joiden sijoittelu tulisi huomioida suunnittelussa kiilautumisriskin osalta.

Jos raitiovaunuonnettomuudessa on osallisena suojattomia tienkäyttäjiä eli jalankulkijoita tai pyöräilijöitä, loukkaantuminen on todennäköistä (Marti et al. 2016). Irlannissa tehdyssä tutkimuksessa tarkasteltiin raitiotiehen liittyviä polkupyöräonnettomuuksia. Siinä yleisemmäksi onnettomuudeksi todettiin renkaan joutuminen raitiotiekiskon uraan. Näitä tapauksia oli 142 kappaletta 191 tapauksesta. Seuraavaksi yleisin oli pyörän renkaan liukuminen kiskolla. Näitä oli sattunut 32 kertaa 191 tapauksesta. Liukumista sattui todennäköisemmin märällä kelillä kuin renkaan ajautumisista kiskouraan. Raitiovaunun kanssa yhteentörmäys oli tapahtunut yhden kerran tutkintavälissä toukokuusta 2009 huhtikuuhun 2016, eli noin seitsemässä vuodessa. Risteyksessä onnettomuuden kertoi sattuneen 43 % haastatelluista. Puolestaan 74,2 potilasta kertoi olleensa ylittämässä raitiotietä ja heistä noin puolet tunsii liikenteellistä painetta, joka vaikeutti sijoittumista raitiotien ylittämistä varten. Onnettomuuksista 63:lle aiheutui murtumia tai sijoiltaan menemisiä. Näistä 55 oli ylävartaloon. Pieniä päävaurioita oli 35:llä ja tajun menetti yksi. (Maempel et al. 2018).

Myös Pohjois-Amerikan suurimmassa raitiotiekaupungissa Torontossa suurin osa raitiotiehen liittyvistä onnettomuuksista (85 %) johtui renkaan ajautumisesta kiskouraan: Tämän jälkeen yleisintä oli renkaan liukastuminen kiskon päällä. Raitiotieliikenteeseen liittyvistä onnettomuuksista (139 kpl) yksikään ei sisältänyt kolaria muiden osapuolien kanssa. Huomattavaa kuitenkin on, että usein äkkinäiset liikkeet kolarin välttämiseksi aiheuttivat odotuksenvastaisia radanylityksiä tai ylityksiä suunniteltua pienemmässä kulmassa. Myös kadun tyypillä oli yhteys rataan liittyvissä törmäyksissä. Pääkaduilla, missä ei ole erillistä pyöräilyinfrastruktuuria ja on pysäköityjä autoja, sattui eniten onnettomuuksia (56,3 %). Kun erilliset pyörätiet oli maalattu, oli osuus vain 8 prosenttia. Puolestaan risteysonnettomuuksia oli hiukan enemmän raitiotiehen liittyvissä onnettomuuksissa, kuin muissa onnettomuuksissa. Tätä selitettiin suuremmalla osuudella vasemmalle kääntyessä sattuneiden onnettomuuksien suuremmalla osuudella. Naisilla ja kokemattomilla pyöräilijöillä oli suurempi osuus onnettomuuksista. (Teschke et al. 2016)

Saksan, Sveitsin, Itävallan ja Ruotsin jalankulun ja raitiovaunun välisiä onnettomuuksia analysoitiin vuosien 2000 ja 2021 väliltä. Aikavälillä noin seitsemässä ja puolessa tuhannessa onnettomuudessa syntyi 8800 henkilövahinkoa. Lievän loukkaantumisen todennäköisyys oli 0.934 ajettua miljoonaa kilometriä kohden ja kuolemaan johtavan 0,063 miljoonaa kilometriä kohden. Raportoiduista onnettomuuksista raitiovaunun ja jalankulkijan välillä 3 prosenttia oli kuolemaan johtaneita, 23 prosenttia vaka-

van loukkaantumisen aiheuttavia ja 74 prosenttia aiheutti lievän loukkaantumisen jalankulkijalle. Tutkimuksessa todettiin myös tienkäyttäjän kuoleman johtavan onnettomuuden tapahtuvan raitiovaunun kanssa todennäköisimmin jalankulkijalle (70,1 % tapauksista) tai pyöräilijälle (17 %). Vakavissa onnettomuuksista jalankulkijoiden osuus kaikista raitiovaunuonnettomuuksista oli noin 42 prosenttia. Tästä syystä jalankulkijaystävällisen raitiovaunujen suunnittelun todetaan olevan tärkeää. Wienin tilastoja tutkiessa kävi ilmi, että lievät vammat aiheuttavat onnettomuudet olivat mediaaninopeudeltaan 28 km/h ja vakavat 36 km/h. Tätä on kuvattu kuvassa 12. Kuolemaan johtavien onnettomuuksien mediaaninopeus raitiovaunulla oli 50 km/h. (Lackner et al. 2022)

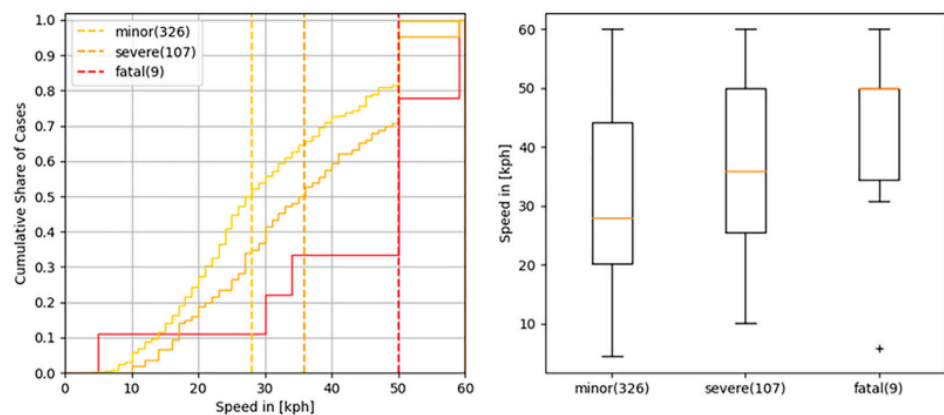
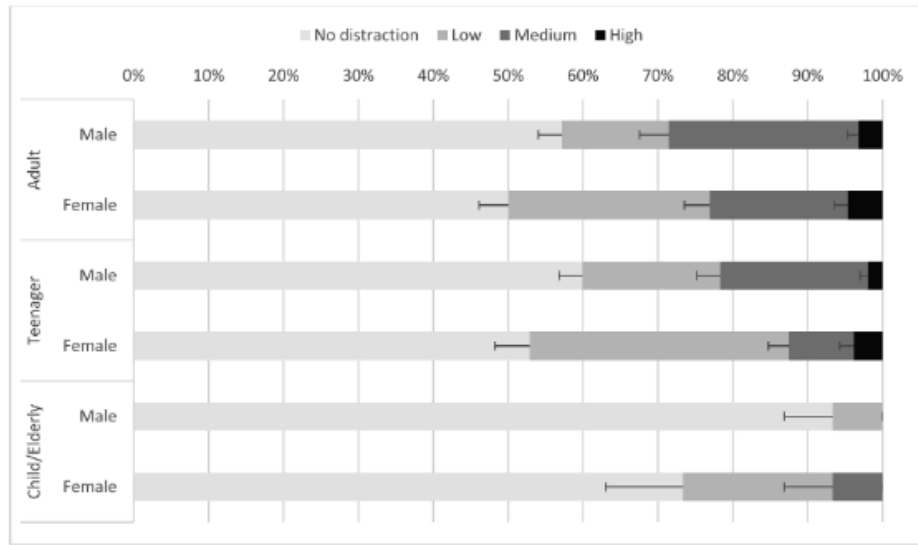


FIGURE 5 | Estimated distribution of tram collision speeds for pedestrian accidents in the city of Vienna (443 cases in the period 2014–2020), highlighted according to their severity.

Kuva 12. *Lievät, vakavat ja kuolemaan johtaneet onnettomuudet ja niiden nopeuksien jakauma (Lackner et al. 2022)*

Yhtenä riskitekijänä jalankulkijaonnettomuuksiin on häiriötekijät, jotka häiritsevät liikenneympäristön havainnointia. Larue & Watling 2022 tutkivat häiriötekijöiden vaikutusta ja havainnoinnin puutetta rautatien tasoristeyksissä jalankulkijoiden turvallisuuteen. Tuloksena todettiin, että häiriötekijät ovat yhtä keskeinen riski rautatien tasoristeyksissä, kuin tieliikenteen risteyksissäkin. Voidaan olettaa, että riski on samankaltainen myös raitiotien osalta. Useimmissa tapauksissa häiriötä liikenneympäristön havainnointiin toi matkapuhelimen käyttö, jonka käytön lisääntyminen jokapäiväisessä elämässä on tuonut riskiä jalankulkijoiden turvallisuuteen risteysalueilla. (Le et al., 2019). Havainnoinnin puute oli korkealla tasolla teini-ikäisillä sekä aikuisilla. Syynä tähän pidettiin sitä, että näillä ikäryhmillä matkapuhelimen käyttö on myös korkeimmalla tasolla. (Larue & Watling 2022)

Kuvasta 13 nähdään, että häiriö risteämissä on suuremmalla osuudella naisissa kuin miehissä. Korkean tason häiriöksi tulkitaan esimerkiksi matkapuhelimen käyttö, kun ylitetään tietä tai rautatietä. Keskitasolla esimerkiksi puhutaan puhelimeen tai käytetään kuulokkeita. Matalalla tasolla esimerkiksi pidetään puhelinta tai puhutaan toiselle jalankulkijalle. Huomionarvoista kuitenkin, että jossain ryhmässä jopa 50 prosenttia ylittäjistä on jollakin tasolla häiriintynyt ylittäessään, tai valmistautuessaan siihen. (Larue & Watling 2022)

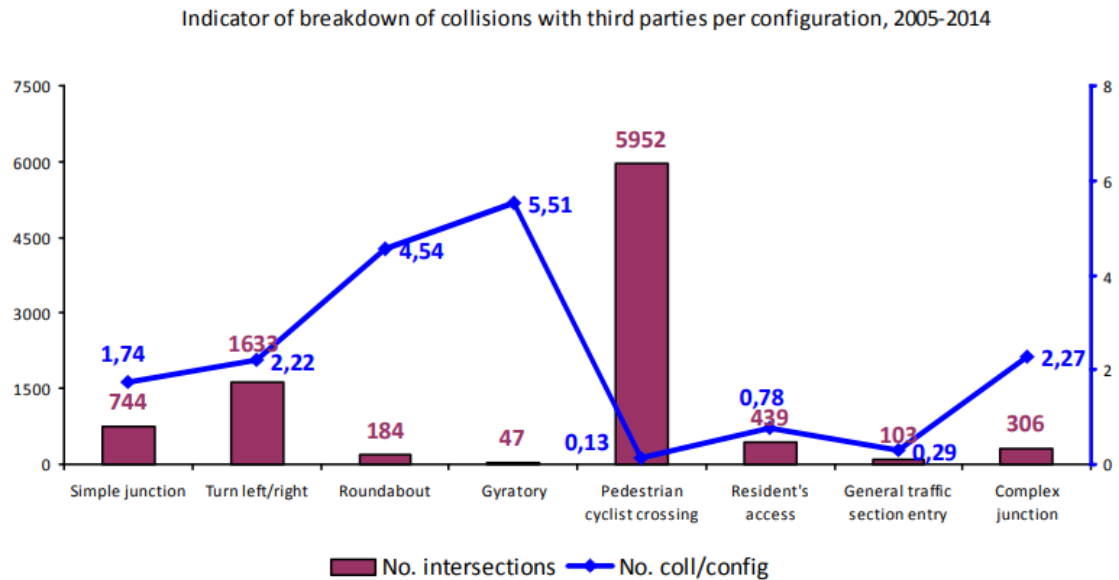


Kuva 13. Jakauma eri ikäryhmien ja häiriötasojen välillä. (Larue & Watling 2022)

Prahassa oli puolestaan todettu, että jalankulkijoista, jotka olivat joutuneet raitiovaunun kanssa onnettomuuteen, 25 prosenttia oli ulkomaalaisia. Eli raitioliikenteeseen tottumattomilla ulkomaalaisilla saattoi olla osuutta onnettomuuksien ilmentymiseen, kuten myös hiljaisilla raitiovaunuilla. Prahassa on mainittu myös jalankulkijoiden tarkkaamattomuus, etenkin mobiililaitteisiin keskittyminen, yleisimpänä myötävaikuttajana onnettomuuksien taustalla. (Lackner et al. 2022)

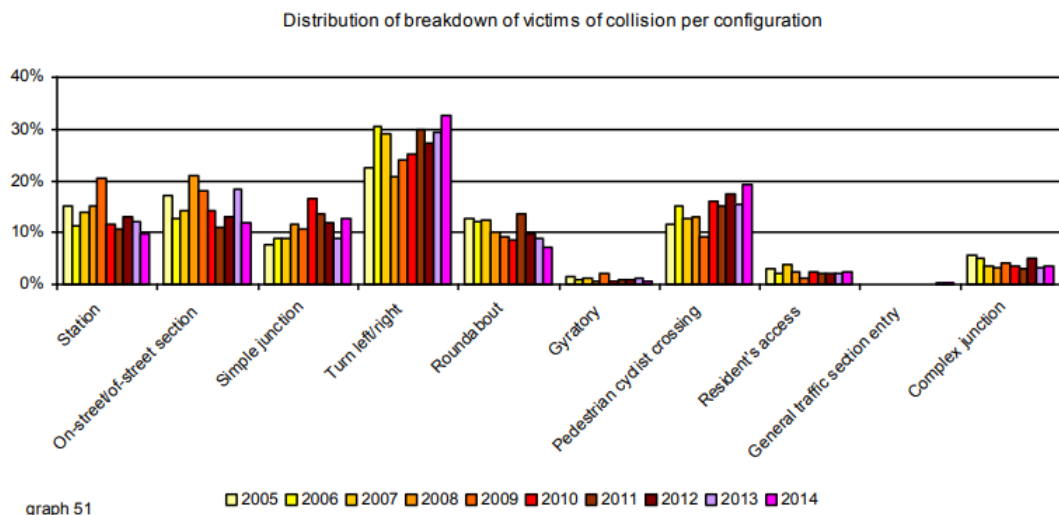
Havainnointiin vaikuttaa ja onnettomuuksiin ajaa myös päihteet. Göteborgin raitiotieonnettomuuksissa loukkaantuneita ja menehtyneitä tutkittiin vuosien 1988 ja 1992 väliseltä ajalta. Tutkimuksessa todettiin, että loukkaantuneista 21 % oli alkoholin vaikutuksen alaisena. Puolet loukkaantuneista miehistä loukkaantui toukokuun ja elokuun välisenä aikana, eli kesällä. (Hedelin et al. 1996) Tämä on tärkeä huomio, sillä Tampereella raitiotie kulkee kaupungin keskeisimmän kadun, Hämeenkadun halki, jossa on paljon anniskeluravintoloita. Tuolla alueella liikkuu paljon päihtyneitä ihmisiä, joilla on suurempi riski joutua onnettomuuteen raitiovaunun kanssa.

Kuten kuvasta 14 nähdään, Ranskassa kiertoliittymät (englanniksi gyratory) ovat onnettomuusherkeimpiä liikenneympyröiden (englanniksi roundabout, liittymät ovat tasa-arvoisia) kanssa. Myös monimutkaisissa risteyksissä ja vasemmalle ja oikealle kääntymisissä tapahtuu enemmän onnettomuuksia. (STRMTG 2016)



Kuva 14. Risteämätyyppin vaikutus onnettomuusmääriin. (STRMTG 2016)

Kuitenkin kääntymisissä on syntynyt huomattavasti enemmän uhreja kuin kiertoliittymissä tai liikenneympyröissä, kuten kuvasta 15 voi todeta. Myös pysäkit sekä jalankulun ja pyöräilyn ylityspaikat korostuvat tilastossa. (STRMTG 2016)



Kuva 15. Jakauma onnettomuuksien uhrien määrästä eri risteämätyypeittäin. (STRMTG 2016)

Kuvan 16 mukaan, myös Sveitsin ja Ruotsin tilastoissa ilmenee, että pysäkeillä tapahtuu merkittävä osuus onnettomuuksista. Ruotsissa korostuu niin ikään jalankulun

ylitykset. (Lackner et al. 2022)

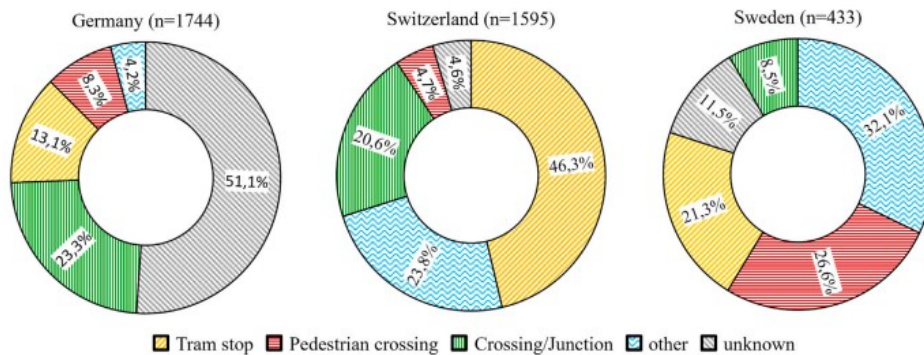


FIGURE 3 | Tram vs. Pedestrian Accidents by Site (3,772 accidents in total).

Kuva 16. Raitiovaunun ja jalankulkijan välisten onnettomuuksien jakautuminen onnettomuuspaikan mukaan. (Lackner et al. 2022)

Pulugurtha & Srirangam (2021) tutkivat jalankulkijan turvallisuutta lähellä pikaraitiotiepysäkkejä. He totesivat, että jalankulkijat ovat suuremmissa riskissä joutua onnettomuuteen risteyksissä lähellä pikaraitiotiepysäkkiä. Syynä tähän pidettiin kasvua jalankulkijoiden aktiivisuudessa alueella pikaraitiotien ja vaihtoyhteyspysäkin vuoksi tai maankäytön muutoksissa pysäkin vaikutusalueen sisällä. Onnettomuuksien määrää pysäkin lähellä nostaa mahdolliset linja-autopysäkit, shared space -alueet, sekä toimistopainotteinen maankäyttö. Määrää laskee puolestaan raitiotiestä varoittavat opastimet, perheille tarkoitettut asuinalueet ja teollisuusalueet. Eri maankäytöllisillä alueilla on erilainen vaikutus, sillä nopeusrajoituksissa ja jalankulkijamäärissä on alueiden välillä eroa.

Yhtenä syynä siihen, että onnettomuuksia sattuu raitiotiepysäkkien läheisyydessä, on varmasti myös se, että kiirehditään saapuvan raitiovaunun kyytiin. Tilanteessa on riski joutua ajoneuvon kanssa konfliktiin, jos ylittävänä on ajorata ennen pysäkkiä. Tämän lisäksi on mahdollisesti ylittävä raitiotie, jonka molemmista suunnista voi tulla raitiovaunu. Kruszynan & Rychlewskin 2012 mukaan lähestyvä joukkoliikenneväline voi rohkaista jalankulkijaa ylittämään punaisesta valosta välittämättä myös turvattomiksi ylityksiksi luettavia tilanteisiin. Tästä syystä he suosittavatkin, että liikennevalot ohjelmoitaisiin niin, että jalankulkijoille tarjottaisiin vihreällä valolla kulku pysäkkilaiturialueelle ennen kuin joukkoliikenneväline sulkee ovensa. Toisenlainen ohjelmointi voi rohkaista turvattomiin ylityksiin. Edellä mainittu ohjelmointitapa poikkeaa joukkoliikenteen liikennevalopriorisoinnin periaatteista (Kruszyna & Rychlewski 2012). Kuten Ahlroth & Pöllänen (2011) totesivat, turvallisuus liikennejärjestelmätön

tavoitteena voi kilpailla matka-aikatavoitteiden kanssa. Tätä pohdintaa kunnat ja raitioliikenteen toimijat joutuvat käymään.

Guerrerin (2018) mukaan onnettomuusriskiä raitiovaunun ja moottoriajoneuvon välillä voidaan vähentää usein eri suunnittelullisin keinoin.

1. Mahdolliset pysäytysmerkit tulisi sijoittaa 4,5 metriä ennen raitiotietä.
2. Näkemäkolmiot tulee varmistaa liittymissä
3. Tonttiliittymiä ei tulisi olla tai ne tulisi poistaa, mikäli mahdollista
4. Raitiotierata tulisi erotella ajoradan päällysteestä värin, päällystetyypin, kuvi-
oinnin tai muun vastaavan avulla. Tämä on tärkeää etenkin sekaliikennekai-
toilla.

Marti et al. (2016) mukaan puolestaan kääntymiskonfliktien estämiseksi tehokkain keino on kääntymisen estäminen raitiotielle rakenteellisesti. Kääntymisen voi sallia muulla, turvallisemmalla tavalla, esimerkiksi kiertämällä korttelin, jolloin ristetään kohtisuoraan raitiotien kanssa. Mikäli käänös raitiotien yli on välttämätön, tulisi se tehdä niin, että ajorata ja raitiotie risteävät mahdollisimman kohtisuoraan, jolloin ajoneuvon kuljettajalla on paremmat mahdollisuudet havaita lähestyvä raitiovaunu. Keinoiksi mainitaan myös Guerrerin 2018 toteamat raitiotien visuaalisen erottamisen keinot sekä ohjaavat ajoratamaalaukset. Myös niin sanotut koukkukäännökset (englanniksi hook turns) mainitaan ratkaisuksi turvallisempaan ylitykseen, mutta niitä ei ole käytetty Suomessa toistaiseksi. Siinä käännetään ajosuunta ensin käännöstä vastaan, jotta oikeaan suuntaan kääntyessä ollaan kohtisuoremmin kohti risteämää.

Guerrerin (2018) mukaan raitiovaunuonnettomuudet niin ajoneuvojen kuin jalankulkijoiden kanssa luokitellaan usein väärin inhimillisiksi virheiksi. Osasyynä pidetään kyllä inhimillistä virhettä, mutta suunnittelupuutteilla liikennejärjestelmässä tai katuinfrastruktuurissa on myös suuri rooli aiheuttamassa onnettomuuksia. On todettu kansainvälisellä tasolla, että ajoneuvot tekevät yleisesti sääntöjen vastaisia käännöksiä suunnitteluvirheistä, kuten epäjohdonmukaisten liikennemerkkien tai puuttuvien fyysisten rakenteiden, jotka estävät kääntymästä, johtuen. Seuraavia syitä esiteltiin myös onnettomuuksien osatekijöinä:

- Teiden akselit eivät leikkaa toisiaan kohtisuorasti
- Tehdään käänös vasemmalle, kun liikennevalo näyttää punaista, yrittäen ennakoida lähestyvää raitiovaunua
- Tehdään käänös vasemmalle seuraten ajoneuvojonoa, jotka ovat tehneet saman käännöksen, kuitenkin rikkoen raitiovaunun etuajo-oikeutta

- Tehdään käännös vasemmalle vaikka heti vihreän valon vaiheen jälkeen.
- Sivuutetaan oikealle tai vasemmalle kääntymisen kielto ja ristetään raitiotien kanssa.
- Tienkäyttäjät sekoittaa raitiotien ja liittymän ohjausjärjestelmän
- Liittymän ulkoasu voi aiheuttaa virheitä havainnointiin ja käyttäytymiseen.

3.3 Lainsäädäntö

Raitiotieliikennettä säädetään useassa eri laissa, riippuen näkökulmasta. Raitiotielikenteen rataverkon hallinnasta säädetään raideliikennelaissa (1302/2018). Laissa todetaan koskevan kaupunkiraideliikenteen rataverkon haltijaa koskevan 21 luku, joka käsittelee kaupunkiraideliikenteen hallintaa. Luvussa esitetään rataverkon haltijaa koskevat vaatimukset, joissa todetaan muun muassa, että rataverkon haltijalla tulee olla turvallisuuden takaava organisaatio ja turvallisuusjohtamisjärjestelmä. Tämän lisäksi luvussa säädetään rataverkon haltijan velvollisuudesta ilmoittaa toiminnastaan Liikenne- ja viestintävirastolle. Tampereen Raitiotie Oy on Tampereen raitiotien rataverkon haltija. Luvun 21 157 § mukaan rataverkon haltijalla on vastuu raitiorataverkon turvallisuudesta sekä rataverkon käyttöön liittyvien riskien hallinnasta harjoittamansa toiminnan osalta. Eli risteämäturvallisuus on rataverkon osalta Tampereen Raitiotie Oy:n vastuulla.

Liikenne- ja viestintävirasto voi antaa tarkempia määräyksiä raitioliikennejärjestelmän vähimmäisturvallisuustasosta ja turvallisuustavoitteista. Lisäksi luvussa säädetään liikenteenohjauksesta, kaupunkiraideliikennerekisteristä, oikeudesta tietojen saantiin sekä valvonnasta ja kaupunkiraideliikenteen viestinnästä ja tallenteista. Luvun 21 lisäksi kaupunkiraideliikenteen rataverkon haltijaa koskevat myös osa onnettomuustutkintaa ja varautumista sekä seuraamuksia käsittelevistä luvuista. (1302/2018)

Edellisessä kappaleessa mainittuja turvallisuustavoitteista määrätään Liikenne- ja viestintävirasto Traficom in Kaupunkiraideliikenne -määräyksessä (TRAFICOM/91446/03.04.02.00/2019). Lisäksi määräyksessä määrätään turvallisuusjohtamisjärjestelmästä, tietojen tallentamisesta ja ilmoittamisesta sekä turvallisuuspoikkeamien raportoinnista. Tampereen käytön ajan turvallisuuspoikkeamia ja havaintoja käsitellään luvussa viisi.

Raideliikennelain lisäksi raitioliikennettä säätelee Raideliikennevastuulaki (113/1999), jota sovelletaan raideliikenteessä aiheutuneiden henkilövahinkojen ja

esinevahinkojen korvaamiseen, siltä osin kuin Suomea sitovasta kansainvälisestä velvoitteesta ei muuta johdu.

Laki liikenteen palveluista (320/2017) ja sen 7 luku säättää puolestaan kaupunkiraideliikenteen harjoittamisesta. Se säättää muun muassa kaupunkiraideliikenteen harjoittajan vaatimuksista, velvollisuuksista ja vastuista.

Raitiovaunun ajamisesta ja väistämisvelvollisuuksista säädetään puolestaan Tieliikennelaissa (729/2018). Huomattavaa kuitenkin on, että Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilla ei kuitenkaan ole oikeutta säädellä infraa tai antaa siitä määräyksiä tieliikennelain tai raideliikennelain puitteissa.

Määritelmänä tieliikennelaissa tarkoitetaan raitiotiellä yksinomaan raitiovaunuliikenteelle tarkoitettua tien osaa tai erillistä tietä. Risteyksellä puolestaan tarkoitetaan samassa tasossa olevaa teiden risteämää, liittymää tai haarautumaa mukaan luettuina tällaisten risteämien, liittymien tai haarautumien muodostamat alueet. Tasoristeyksellä taas tarkoitetaan liikennemerkillä merkittyä samassa tasossa olevaa tien ja erillisen rautatien tai raitiotien risteämää. Tässä työssä käytetään termiä risteämä kuvaamaan tasoristeyksiä, sillä Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessa nämä esitetään risteäminä. Tieliikennelain mukaan raitiovaunulla tarkoitetaan kiskoilla kulkevaa pakko-ohjattua laitetta, joka liikennöi raitiorataverkolla. (729/2018)

Alla on esitelty keskeisimpiä raitioliikennettä koskevia tieliikennelain (729/2018) kohtia.

5 § mukaan raitiovaunu on voitava pysäyttää edessä olevan tien näkyvällä ja kaikissa ennakoitavissa tilanteissa. Tämä erottaa raitiovaunun selkeästi junasta, kun raitiovaunua liikennöidään näkemällä, eikä opastimilla kuten junaa. Tämä on linjassa Tampereella käytetyn liikennöintiohjeen kanssa, joka pohjautuu paljon tämän kohdan kirjaukseen.

64 § mukaan raitiovaunua saa ajaa kiskoilla niiden sijainnista riippumatta. Muun liikenteen kanssa yhteisellä ajokaistalla raitiovaunua on ajettava kaistan mukaiseen ajosuuntaan. Raitiovaunua saa peruuttaa tai ajaa muuta liikennettä vastaan vain, jos erityiset olosuhteet sitä vaativat ja se ei vaaranna turvallisuutta eikä haittaa tarpeettomasti muuta liikennettä. Tampereen raitiotien rata on rakennettu ja suunniteltu niin, että poikkeussuuntaan ei ole tarve ajaa kuin poikkeustilanteessa.

11 § mukaan raitiovaunulle on annettava esteetön kulku, ellei tieliikennelaissa toisin säädetä. Tässä pykälässä todetaan myös, että raitiotien tasoristeystä lähestyvän on

noudatettava erityistä varovaisuutta ja mahdollisista suojalaitteista huolimatta tarkkailtava, onko raitiovaunu tulossa. Ajoneuvon nopeuden on oltava sellainen, että ajoneuvon voi tarvittaessa pysäyttää ennen rataa. Tasoristeystä ei myöskään saa lähteä tienkäyttäjänä ylittämään, jos raitiovaunu lähestyy tasoristeystä. Tällöin on pysähdyttävä turvalliselle etäisyydelle radasta. Tasoristeys on 11 § mukaan ylitettävä viivyttelämättä.

Poikkeuksena esteettömän kulun antamiselle on liikennemerkki B5, Väistämisvelvollisuus risteyksessä, jonka mukaan: ”raitiovaunulla on väistettävä risteyksessä muita ajoneuvoja ja raitiovaunuja. Risteyksessä käännettäessä on lisäksi noudatettava 24 §:n 2 momentissa säädettyä väistämisvelvollisuutta.” (729/2018) 24 § koskee kuitenkin vain ajoneuvoja, eli ei raitiovaunua.

Ajoradan ja raitiotien ylittämisestä todetaan (tässä 16 § ajorataan rinnastetaan raitiotie), että: ”jalankulkijan on ylitettävä ajorata suojatietä kulkien tai ali- tai ylikulkua käyttäen, jos sellainen on lähellä. Muuten ajorata on ylitettävä kohtisuoraan ja risteyksen vierestä, jos sellainen on lähellä. Ajoradalle menevän jalankulkijan on noudatettava sitä varovaisuutta, jota lähestyvän ajoneuvon tai raitiovaunun etäisyys ja nopeus edellyttävät. Hänen on ylitettävä ajorata tarpeettomasti viivyttelämättä.” (729/2018) Suoraan ylityspaikan käyttämistä ei siis laissa vaadita.

Raitiovaunun kuljettamista koskevat muut liikennesäännöt toteavat, että: ”suojatietä lähestyvällä raitiovaunulla on ajettava sellaisella nopeudella, että sen voi tarvittaessa pysäyttää ennen suojatietä. Jalankulkijalle, joka on suojatiellä tai valmistautuu menemään sille, on annettava esteetön kulku. Pihakadulla tai kävelykadulla raitiovaunun nopeus on sovitettava jalankulun mukaiseksi eikä se saa ylittää 20 kilometriä tunnissa. Liikennemerkillä osoitetulla pyöräkadulla raitiovaunun nopeus on sovitettava pyöräilyn mukaiseksi.” (729/2018) Tampereella raitiotielle on toteutettu suojaiteita, mutta piha-, kävely- tai pyöräkadulla raitiotietä ei toistaiseksi ole.

3.4 Suunnitteluohjeet ja muut ohjeistukset

Suunnitteluohjeen tarkoituksena on määritellä ne reunaehdot, joiden puitteissa suunnittelua tehdään. Raitioteiden suunnittelusta on viime vuosina tehty useampia suunnitteluohjeita.

HKL eli nykyinen Kaupunkiliikenne Oy on julkaissut 2016 oman raitioteiden suunnitteluohjeensa. Ohjeen tarkoituksena on ollut ohjata teknistä suunnittelua ja mitoitusta Helsingissä. Helsingin kantakaupungin raitiotiejärjestelmä on kuitenkin Tampereen

järjestelmästä eroava, joten tätä ohjetta ei tämän työn puitteissa tarkastella. (Kaupunkiliikenne Oy 2018)

Tampereen raitiotien suunnitteluohje julkaistiin marraskuussa 2020. Tampereella raitiotien suunnitteluohjeen päivittämisestä ja ylläpidosta vastaa Tampereen Raitiotie Oy. Tampereen raitiotien suunnitteluohjeen tarkoituksena on kerätä ne ehdot, joilla suunnittelua tehdään, yhteen ohjeeseen. Se kokoaa yhteen tärkeimmät suunnittelu- perusteet, joilla on merkitystä raitiotien yleis- ja rakennussuunnittelun sekä tarvittavien tilavarausten, kuten asemakaavojen laatimisessa. Ohje sisältää teknisen suunnittelun kannalta keskeiset suositus- ja ääriarvot. (Tampereen Raitiotie Oy, 2020a)

Raide-Jokeria lähtökohtanaan pitävä Raitioteiden suunnitteluohje -ohjeen on tarkoitus ohjata pääkaupunkiseudun raitioteiden suunnittelua ja mitoitusta. Tilaajina Raitioteiden suunnitteluohjeessa ovat Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Kaupunkiliikenne Oy (Kaupunkiliikenne Oy 2022)

Pyöräliikenteen suunnittelua ohjeistamassa on käytetty Helsingin kaupungin pyöräliikenteen suunnitteluohjetta, joka on julkaistu vuonna 2016. Tämän lisäksi pyöräliikenteen suunnittelua ohjaa Väyläviraston ohje Pyöräliikenteen suunnittelu (Väylävirasto 2020).

Jalankulkuväylien suunnittelua ohjaa juuri julkaistu jalankulkuväylien suunnitteluohje (Väylävirasto 2022). Se on Väyläviraston ohje, joka korvaa jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu -ohjeen (Väylävirasto 2014) jalankulkua käsittelevät asiat.

3.4.1 Raitiotien risteämät

Risteämien osalta todetaan, että Tampereen raitiotien suunnitteluohje ohjeistaa, että kun raitioliikenne ja toinen kulkumuoto risteävät tasossa on raitiotien korkein sallittu nopeus 40 km/h. Ja ohjeen mukaan lähtökohta on, että samalla kadulla on sama nopeusrajoitus niin ajoneuvo- kuin raitiotieliikenteelle. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c) Syytä jälkimmäiselle kirjaukselle ei ole kuitenkaan avattu.

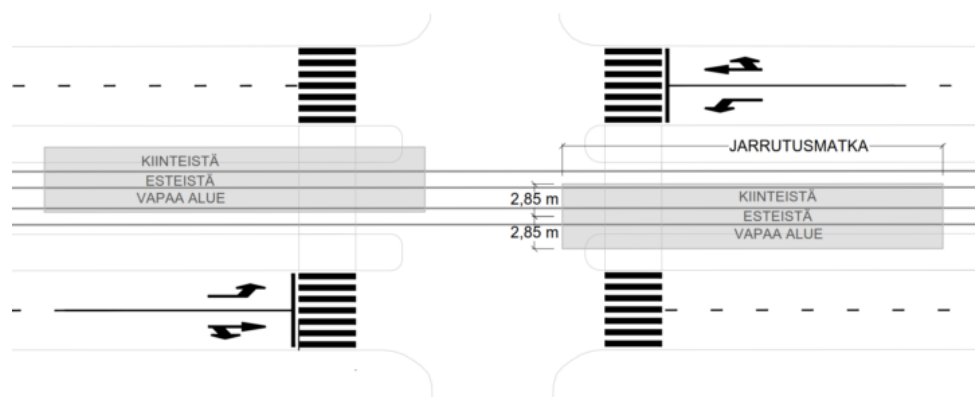
Risteämisen periaatteista todetaan, että risteyksissä liikennejärjestelyiden tulisi olla kaikille kulkumuodoille mahdollisimman selkeitä, jotta järjestelyt mahdollistaisivat ennakoinnin hyvien näkemien ansiosta ja väistämisvelvollisuus olisi selkeä. Todetaan myös, että raitioliikenteellä on pääsääntöisesti etuajo-oikeus tai sille annetaan se liikennevalo-ohjauksella. Ohjeessa todetaan myös, että jalankululle ja pyöräilylle osoitetaan raitiotien ylityspaikka eli ylitystä ei pääsääntöisesti merkitä suojatieksi. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c) Raitiotien on annettava suojatien kohdalla jalankulkijalle

esteetön kulku, joka pidentää raitiotien matka-aikaa ja vaikeuttaa sen aikataulun täsmällisyyttä.

Risteämiskohdat tulee toteuttaa niin selkeästi, että ajoneuvot eivät aja vahingossa raitiotielle. Ohjeessa todetaan, että selkein linjaus ajoradalle on kohtisuorasti raiteisiin nähden. Raitiotien havaittavuutta on ohjeen mukaan hyvä tehostaa pintamateriaalieroilla. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c)

Liikenneympyröistä todetaan, että niitä toteutetaan raitiotiehen vain perustelluissa erikoistapauksissa. Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessa kiertoliittymistä puhutaan tieliikennelain tapaan liikenneympyröinä. Erikoistapauksia voivat ohjeen mukaan olla tilanteet, jossa liityntäliikenne tarvitsee vaihtopysäkin läheltä paikan, jossa voi kääntyä vastasuuntaan. Olemassa olevien liikenneympyröiden säilyttämisestä ohjeistetaan, että säilyttämistä tulee harkita liikenneturvallisuus ja sujuvuus huomioon ottaen, tapauskohtaisesti. Liikenneympyröissä paras ratkaisu on viedä raitiotie kiertosaarekkeen keskiosan kautta suoraan läpi. Sekaliikennekaistalta liikenneympyrään vieviä ratkaisuja ei tule suunnitella, toteaa ohje. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c) Insinöörinkadulla sekaliikennekaistalta liikenneympyrään vieviä toteutuksia on kuitenkin jo tehty.

Tampereen raitiotien suunnitteluohje ottaa kantaa myös kiilautumisriskin välttämiseen. Kuvassa 17 on esitelty kiilautumisriskialue, jonka sisään ei tulisi sijoittaa esteitä.



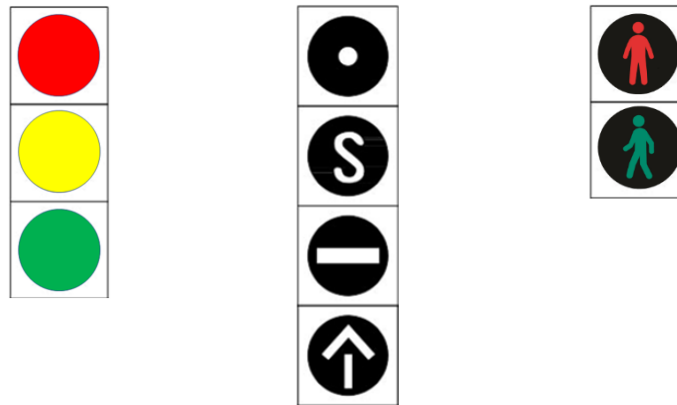
Kuva 17. Kiilautumisriskialue (Tampereen Raitiotie Oy 2021b)

Kiinteät esineet tulee ohjeen mukaan pyrkiä sijoittamaan 2,85 metrin etäisyydelle raiteen keskilinjasta. Kun ajoneuvojen suurin normaalileveys on 2,60 metriä, tämän etäisyyden tulisi riittää. Ohjeen kirjaus ei kuitenkaan kiellä täysin alueelle rakenteiden

sijoittamista vaan kehottaa pyrkimään. Tämä jättää tietysti vaikeisiin suunnittelukoh-teisiin varaa kompromisseille, mutta antaa mahdollisuuden tinkiä turvallisuudesta. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021b)

3.4.2 Liikennevalo-ohjaus

Suunnitteluohjeessa ohjeistetaan, että liikennevalo-ohjatuilla raitiotiekaduilla käytetään pääsääntöisesti ajoratojen kolmiväriohjausta, punaista ja vihreää valo-opastetta näyttävää jalankulkijaopastinta sekä joukkoliikenneopastinta raitiotieliikenteen ohjaamiseen. Tämä niin kutsuttu täydellinen valo-ohjaus kattaa siis kaikki kulkusuunnat ja kulun sallimalla opasteella taataan suoraan kulkeville esteetön kulku. Ajoradalla eli sekaliikennekaistalla kulkiessaan raitiovaunu noudattaa ajoneuvo-opasteita. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c). Opastimet on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Ajoneuvoliikenteen kolmiväriopastin, joukkoliikenneopastin ja jalankulkuopastin (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c)

Liikennevalo-opastimien noudattamisessa pätee yleisesti samat säännöt, olivat ne ns. täydellisiä liikennevaloja tai raitiovaunuvaloja (TLL 729/2018):

- Kiinteä punainen valo osoittaa, ettei ajoneuvolla ja raitiovaunulla saa sivuuttaa pääopastinta eikä pysäytysviivaa.
- Keltainen valo yksinään, ei vilkkuen, puolestaan osoittaa, että ajoneuvolla ja raitiovaunulla ei saa sivuuttaa pääopastinta eikä sen pysäytysviivaa. Jos ajoneuvo tai raitiovaunu kuitenkin on ehtinyt niin pitkälle, että sitä ei valon vaihtuessa vihreästä keltaiseksi voida vaaratta ja haitatta pysäyttää, sillä saa sivuuttaa pääopastimen ja pysäytysviivan.

- Vilkkuva keltainen valo osoittaa, että tienkäyttäjän on noudatettava erityistä varovaisuutta. Vilkkuvaa keltaista valoa voidaan myös käyttää liikennemerkkin yhteydessä tehostamassa merkin havaittavuutta.

Liikenteenohjauksessa voidaan siis kuitenkin käyttää epätäydellistä liikennevalo-ohjausta, jos liikennejärjestelyt toimivat liikenteenohjauksen ja liikennesääntöjen perusteella turvallisesti ja riittävästi. (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c) Tämä jättää kuitenkin suunnittelulle mahdollisuuden määrittää, mikä on turvallinen ja riittävä taso. Kun käytetään epätäydellistä liikennevalo-ohjausta, voidaan käyttää liikennevaloja vain varmistamaan raitioliikenteen sujuva ja turvallinen kulku risteuksen yli. Tämä opastin on esitetty kuvassa 19. Kolmihaaraliittymät ja liittymät, joissa raitiovaunu liittyy sivusuunnasta kadulle tai ylittää kadun voivat olla sovellettavia kohteita. Tällaisissa risteämissä valo-opasteita käytetään vain raitiotietä risteävän kulun estämiseen. (Tampereen Raitiotie Oy 2021c)

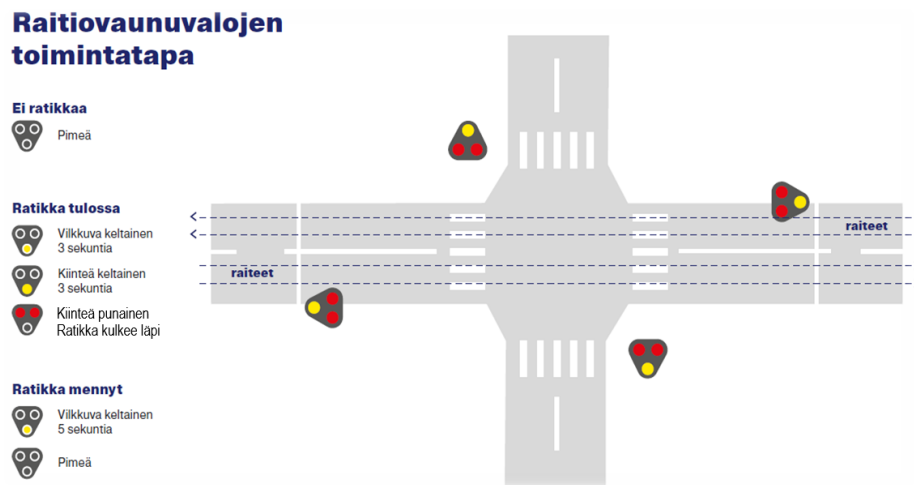


Kuva 19. Kolmihaarainen raitiovaunuvalo, jota käytetään ajoneuvoliikenteen pysäyttämiseen. (Tampereen Raitiotie Oy 2021c)

Osittaista valo-ohjausta tai epätäydellistä valo-ohjausta kutsutaan Tampereen raitiotiellä raitiovaunuvaloiksi. Ne ovat tieliikennelain mukaan liikennevalo-opastimia. Ne eivät anna varsinaisesti ajolupaa vaan varoittavat keltaisella valolla ja velvoittavat pysähtymään punaisella valolla. (Sane 2014b). Opastimen ollessa normaalitilassa pimeänä saavat ajoneuvot edetä liikennesääntöjä noudattaen. Raitiovaunujen toimintatapa on esitetty kuvassa 20.

Jalankulun ja pyöräilyn risteämiset raitiotien kanssa valo-ohjataan pääsääntöisesti jalankulkijaopastimin. Kaksikaistaisilla sekaliikennekaduilla valo-ohjausta ei lähtökohtaisesti ylityksissä käytetä. Keskuksissa ja aluekeskuksissa valo-ohjauksen tarve ylityspaikoissa arvioidaan jalankulun esteettömyys huomioiden. Jos raitiotien nopeusrajoitus on korkeintaan 20 km/h ja ylityksen pituus alle seitsemän metriä, voidaan pelkän raitiotien ylittävien ylityspaikkojen valo-ohjaus jättää pois. Pysäkkien

osalta ylityspaikkaa ei tarvitse lähtökohtaisesti valo-ohjata. Mutta jos pysäkki sijaitsee katuymppäristössä, jossa on käytössä liikennevalo-ohjaus, tulee kulku pysäkillä järjestää valo-ohjattujen ylityspaikkojen kautta.



Kuva 20. Raitiovaunuvalojen toimintatapa (Tampereen Raitiotie Oy 2020b)

Jalankulun ohjaamiseen osittaisesti voidaan käyttää VAROVA-jalankulkijaopastinta. Valojen toimintaperiaate on seuraava:

- Kun raitiovaunua ei ole lähettyvillä, valo on pimeänä.
- Raitiovaunun lähestyessä valo alkaa vilkkumaan punaista ja silloin on pysäyttävä odottamaan.
- Valo syttyy pysyväksi punaiseksi, kun raitiovaunu on ylityspaikan kohdalla ja silloin raitiotietä ei saa ylittää.
- Kun raitiovaunu on ohittanut ylityspaikan tai suojatien, valo vilkkuu hetken, kunnes se sammuu ja ylitys raitiovaunun osalta on turvallista.

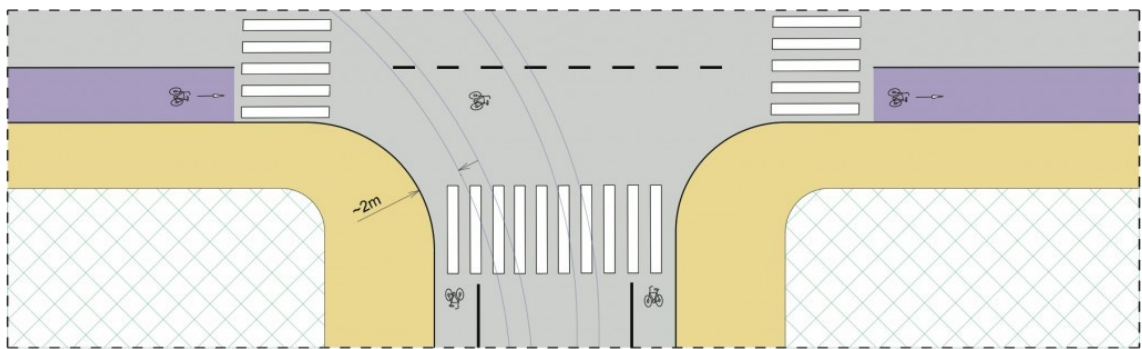
Vilkkuvaa varoitusvaloa voidaan käyttää yhdessä raitiovaunusta varoittavan liikennemerkkin yhteydessä vähäliikenteisissä tonttiliittymissä ja muissa erityistapauksissa. (Tampereen Raitiotie Oy 2021b) Tampereella vilkkuvaa varoitusvaloa on toteutettu tonttiliittymiin, sekä varoittamaan autoilijoita ajamasta raitiotien sepeliradalle.

3.4.3 Raitiotien risteäminen jalankulun ja pyöräilyn kanssa

Turvallisimmaksi ratkaisuksi ohjeessa todetaan yli- tai alikuluratkaisu, mutta kaupunkiympäristössä nämä ovat kuitenkin usein mahdottomia toteuttaa. Ohjeessa todetaan asiat, jotka tulee tasoristeyksissä eli ylityspaikoissa, suojateillä ja pyörätien jatkeiden suunnittelussa tulisi ottaa erityisesti huomioon. Näitä ovat raitiotien nopeus- taso, väistämisvelvollisuudet, ylitysmatkan pituus, odotustilan pituus ennen ylitystä,

Peräkkäiset ajoradan ylittävän suojatien ja raitiotien ylittävän ylityspaikan kulkureitit voidaan toteuttaa porrastetusti ylityspaikkana eli niin sanottuna Z-ylityksenä. Porrastuksella pyritään hidastamaan ylittäjän vauhtia ennen raitiotietä, sekä kääntämään katseensa ensisijaisesti lähemmän liikennöintisuunnan kiskoihin ja mahdollisesti lähestyvään raitiovaunuun. Tällainen kohde on toteutettu Sammonkadulle (kuva 22).

Pyöräliikenteen ohjeistuksien osalta Helsingin kaupungin pyöräliikenteen suunnitteluohjeesta löytyy laajat ohjeistukset pyöräliikenteen suunnittelusta. Ohje toteaa kiskouran olevan vaarallinen pyöräilijälle, varsinkin talvisaikaan, kun kisko voi olla liukas tai lumenpeitossa. Mikäli pyörän rengas ajautuu kiskouraan tai kisko on liukas, on kaatuminen mahdollista. Polkupyörällä kiskot tulisi voida ylittää vähintään 45 asteen kulmassa. Tällä tavoin pystytään vähentämään renkaan kiskouraan ajautumisen riskiä. Kohteissa, joissa pyöräilijän tarkoitus kääntyä kiskoja suuntaisesti, tulisi kiskon ja reunakiven väliin jättää vähintään 2 m vapaata tilaa. (Helsingin kaupunki 2016)



Kuva 23. Pyöräliikenteen suunnitteluohjeen mukaan kiskoja ja reunakiven väliin tulisi jättää 2 m vapaata tilaa. (Helsingin kaupunki 2016)

Risteysalueilla järjestelyiden selkeyden todetaan luovan turvallisuutta. Pyöräilijän huomiota vieviä tekijöitä voivat olla muun muassa jyrkät kaarteet, reunatuet, urat ja kiskot. Tämä voi aiheuttaa horjautumista, kaatumisia tai ajolinjan muuttumisia. Suuri määrä havainnoitavia vaativia asioita voi lisätä onnettomuusriskiä. Risteyksien turvallisuutta voidaan parantaa käyttämällä värillistä asfalttia riskialtteinmissä ylityksissä. Värillinen asfaltti korostaa kohtaa, jossa pyörä- ja (auto)liikenteen ajolinjat risteävät. (Helsingin kaupunki 2016)

Väyläviraston ohje Pyöräliikenteen suunnittelu (Väylävirasto 2020) keskittyy samoihin asioihin kuin edellä mainitutkin suunnitteluohjeet. Risteämistavan todetaan riippuvan raitiotien nopeusrajoituksesta. Ilman liikennevalo-ohjausta risteyskohtia on yleensä enintään 30 km/h nopeusrajoitusalueella. Suuremmilla nopeusrajoituksilla

tehdään liikennevalo-ohjattuna tai tasoerotellulla. Myös kiskojen ylittäminen todetaan turvallisuusriskinä ja että minimikulmana katuverkolla on 60 astetta. (Väylävirasto 2020) Kaarevista kiskolinjoista johtuen polkupyörälle turvallisin 90 asteen kulma on vaikea toteuttaa. Tätä kulman suuruutta ei Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessa ole määritetty.

Raitiotien kulkiessa katualueen keskellä ajoratojen välissä, on näkemä yleensä hyvä raitiotien suuntaan. Raitiotien ollessa puolestaan ajoradan vieressä tai erillisessä linjauksessa, varmistetaan risteämispäikassa riittävät näkemät. Risteäminen on yleensä liikennevalo-ohjattu, jos raitiotie sijaitsee ajoradan vieressä ja pyörätie risteää sekä raitiotien, että ajoradan kanssa. (Väylävirasto 2020)

Näkemästä ohjeistetaan myös Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessa (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c). Siinä ohjeistetaan pysähtymisnäkemästä, eli kuinka radan pituuskaltevuus ja raitiovaunun nopeus vaikuttavat tarvittavaan pysähtymismatkaan ja -näkemään. Risteyksistä todetaan, että kuljettajalla tulee olla tyydyttävän pysähtymismatkan mittainen näkemäalue, jossa etäisyys sivusuunnassa kohteeseen on:

- autoliikenteen osalta risteävän kadun pysäytysviivaan,
- polkupyöräliikenteellä neljä metriä lähimmästä kiskosta ja
- jalankulkijoilla kaksi metriä reunakivestä.

Erikseen liikennevalo-ohjaamattomille risteämille on suunnitteluohjeessa määritelty omat näkemäetäisyydet eri nopeusrajoituksilla ja ylityksen pituuksilla (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c). Näkemän lisäksi valaistus ylityskohdissa on tärkeää huomioida, jotta ylittäjät voidaan huomata myös pimeään aikaan. Valaistuksesta Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessa on todettu suosittavavan väylän suojatieylitysvaatimuksen valaistusarvoja (Tampereen Raitiotie Oy, 2021c). Ohjeessa ei ole kuitenkaan mainittu, millä alueella tuo arvo tulisi toteutua.

Erityistä huomioita kiinnitetään risteämiskohtiin raitiotien suuntaisesti kulkevalla pyörätiellä. Pyörätie linjataan vähintään kuuden metrin matkalla raidetta kohti, tavoitteena ylittää kiskot mahdollisimman kohtisuoraan kiskolinjaan nähden. (Väylävirasto 2020)

Jalankulkuväylien suunnitteluohje on julkaistu vuonna 2022. Se on Väyläviraston ohje, joka korvaa jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu -ohjeen (Väylävirasto 2014) jalankulkua käsittelevät asiat. Ohjeessa on otettu lyhyesti kantaa raitiotien yli-

tyspaikkaan, mutta todetaan myös, että ylityspaikasta kerrotaan tarkemmin kaupunkien omista suunnitteluohjeissa. Ohjeessa todetaan, että ylitys raitiotiellä toteutetaan ylityspaikkana häiriöttömyyden varmistamiseksi. Sijoittumisesta todetaan, että valo-ohjaamaton ylityspaikka toteutetaan risteysalueiden ulkopuolelle sijoittuvalla raitiotiepysäkille tai kohtiin, joissa ylitystarve on pieni ja nopeusrajoitus on matala. Ohjeen mukaan ylityspaikassa tulee huolehtia riittävästä valaistuksesta ja näkemistä. Ylityspaikan pintamateriaali on muusta radasta erottuva. Ylityspaikka porrastetaan yleensä, jotta turvallisuutta saadaan parannettua. Odotusalueen tulisi olla vähintään 2,5 metriä leveä ajoradan ja raitiotien välissä. (Väylävirasto 2022) Tähän odotusalueeseen ohjeistaa myös Tampereen raitiotien suunnitteluohje. Jos odotusalue on pienempi, merkitään se ylityspaikaksi.

3.4.4 Liikennöintiohje

Tampereen Raitiotie Oy on rataverkon haltijana määritellyt ohjeen ja säännöt liikennöintiin rataverkollaan. Liikennöinti Tampereen raitiotieverkolla perustuu siihen, että raitiovaunua tai ratatyökonetta kuljetetaan näkemällä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että raiteilla liikkuva kaluston nopeus on sovitettava siten, että liike on pysäytettävissä näkyvällä matkalla. Ohjeen mukaan kuljettaja on vastuullinen, että pitää riittävän turvallisen etäisyyden toisiin vaunuihin, koneisiin ja tienkäyttäjiin.

Rataverkon haltija on määritellyt, millä maksiminopeudella radalla saa ajaa. Nopeusrajoituksiin vaikuttavat niin ratainfrastruktura johtuvat rajoitteet, kuten vaihteet tai kaarteet, kuin turvallisuuden varmistaminen muun muassa liittymissä ja muissa raitiotien risteämissä. Raitiovaunut pysähtyvät aina matkustajaliikenteessä ollessaan pysäkillä. Näin raitiovaunun nopeus on pieni pysäkin läheisyydessä, jossa liikkuu paljon jalankulkijoita ja pyöräilijöitä. Huoltoajossa ja muussa kuin matkustajaliikenteessä pysäkit saa ohittaa maksimissaan 15 km/h nopeudella. (Tampereen Raitiotie Oy 2020b)

4. MUIDEN RAITIOTIEJÄRJESTELMIEN KÄYTÄNNÖT JA KOKEMUKSET

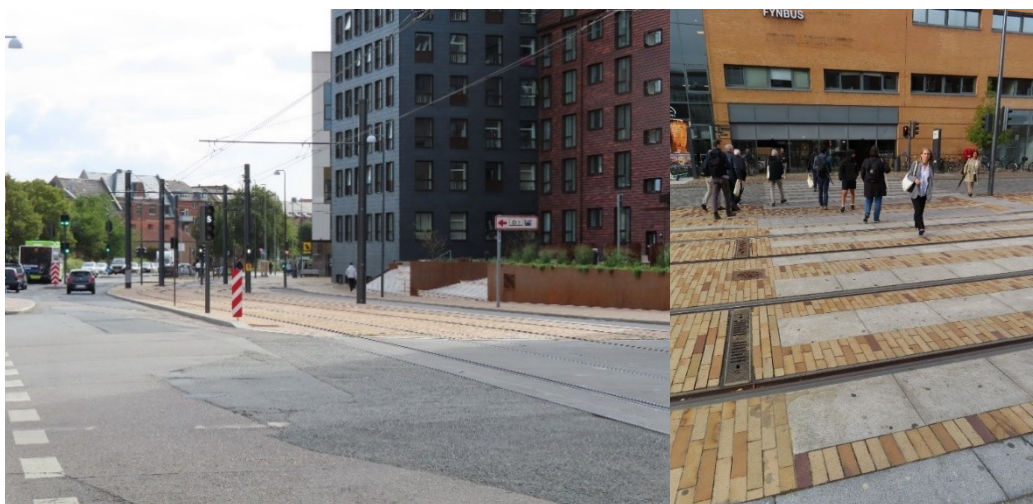
Syyskuussa 2022 tehtiin tutustumismatka kahteen tanskalaiseen raitiotiekaupunkiin Odenseen ja Aarhusiin sekä Ruotsin Lundiin. Tanskaa pidetään pyöräilyn edelläkävijänä ja tämän takia varsinkin suojaamattomien tienkäyttäjien risteämiskäytännöihin voidaan olettaa hyviä käytäntöjä.

Etenkin kadun pintaratkaisuja tarkasteltaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että niin Tanskassa kuin Etelä-Ruotsissakin on leudompi talvi ja lumisempiä päiviä vähemmän kuin Suomessa, joten esimerkiksi katumerkinnöistä on enemmän apua kuin Suomessa, jossa merkinnät ja pintamateriaaliratkaisut ovat talvisin kuukausia lumen peitossa.

4.1 Odensen pikaraitiotie

Odense Letbane eli Odensen pikaraitiotie on aloittanut liikennöintinsä toukokuussa 2022. Raitiotie on 14,5 kilometriä pitkä ja huippunopeus radalla on 70 km/h, mikä on sama kuin Tampereellakin.

Odensessa raitiotie kulkee kokonaan omalla eriytettyllä radallaan eli sekaliikenneosuuksia ei raitiotiessä ole. Raitiotiellä on käytetty, varsinkin keskusta-alueen ulkopuolella päällysrakenteena laajalti nurmirataa.



Kuva 24. Raitiotie erottuu muusta katuympäristöstä kellertävän kiveyksen ansiosta. Suojatiessä on erottuva pintamateriaali.

Kuten kuvasta 24 nähdään, Keskustamaisemmassa ympäristössä raitiotien havaittavuutta on parannettu käyttämällä pintamateriaalina muusta ympäristöstä poikkeavaa kellertävää katukiveystä.

Odensessa on paljon puna-asfaltilla toteutettuja pyöräteitä. Kun pyörätie risteää raitiotien kanssa, on ylityksessä polkupyörälle merkitty väistämisvelvollisuus merkillä B5. Tämän lisäksi punainen asfaltti ei jatku raitiotien yli, mikä viestii polkupyörälle, ettei ole etuajo-oikeutettu. Väistämisvelvollisuutta on korostettu myös keskustamaisemmassa ympäristössä liikennevalo-ohjauksen lisäksi myös maalaamalla katuun pyörätielle ennen ylitystä Väistämisviiva L2. Tästä on esimerkki kuvassa 25.



Kuva 25. Pyöräilijän väistämisvelvollisuutta korostetaan kiveykseen maalatuilla kärkikolmioilla. Tieliikennelain 729/2018 poikkisuuntainen tiemerkintä L2 väistämisviiva. (TLL 729/2018)

Pyörätien väri myös muuttuu puna-asfaltista harmaaseen asfalttiin raitiotien kohdalla kuten kuvasta 26 nähdään. Myös Odensessa on pysäkille kulku toteutettu Tampereen tapaan sekä ylityspaikoin että osassa kohteissa valo-ohjattuna suojateinä. Suojatie radan yli on valo-ohjattu, jos ajoradallakin on valo-ohjaus. Pysäkkien ylityksiä ei ole korostettu väri- tai materiaalierottelulla, mikäli ylitys on ylityspaikkana. Suojateissa sen sijaan on käytetty materiaalierottelua värein ja kiviratkaisuin, kuten kuvasta 24 nähtiin.

Moottoriajoneuvoliikenteen kanssa risteämiset on toteutettu liikennevalo-ohjattuina. Liikennevalo-ohjaus on täydellinen eikä Suomesta ja Tampereelta tuttuja raitiovaunuvaloja ole käytetty. Ajoneuvoliikenteen liikennevalo-ohjatuissa risteämissä suurin sallittu nopeus on 45 kilometriä tunnissa.



Kuva 26. Pyöräilijälle on merkitty väistämisvelvollisuus liikennevalo-ohjatussa ylityksessä. Punainen asfaltti ei jatku raitiotien yli. (Odense Letbane, 2022a)

Huomattava eroavaisuus Suomeen ja Tampereeseen on, että Odenseen on toteutettu kohteita, joissa raitiotien nopeusrajoitus on viereistä ajorataa suurempi. Esimerkiksi kuvan 27 Nyborgvej-kadulla nurmirataisen raitiotien ja ajoradan erottaa reunakivi ja ajoradalla nopeusrajoitus on 40 km/h ja raitiotiellä 50 km/h.



Kuva 27. Raitiotiellä suurempi nopeusrajoitus kuin viereisellä ajoradalla Nyborgvej-kadulla.

Odensen raitiotiellä liikennöinnistä vastaavan Keolixsen turvallisuuspäällikkö Anders Daniel Møllerin kanssa käydyssä haastattelussa (29.9.2022) kysyttiin käytön aikana

ilmenneitä ongelmia risteämisturvallisuudessa. Hän totesi, että yleisin onnettomuuksia ja läheltä piti -tilanteita aiheuttava tapahtuma on ollut, kun vasemmalle kääntymään pyrkivä ajoneuvo ajaa vasten punaista valoa raitiovaunun eteen. Tällaisille tilanteille on tyypillistä, että ajoneuvon kuljettaja sekoittaa vasemmalle vaikuttavan liikennevalon suoraan kulkevien valojen kanssa, joka vaihtuu vihreäksi samaan aikaan raitiovaunun kanssa. Myös ajoneuvolla vasemmalle kääntyminen, kun se on kielletty, on yleistä ja on aiheuttanut kolareita ja läheltä piti -tilanteita.

Tampereen tapaan Odensessa on tehty parannuksia infrastruktuuriin havainnoitujen ongelmien poistamiseksi tai vähentämiseksi. Esimerkiksi yliopiston pysäkin läheisyydessä olleessa pyöräilyn ylityspaikassa sattui paljon läheltä piti -tilanteita. Tätä ylityspaikkaa lähestyvän pyörätien linjausta muutettiin niin, että se ohjaa pyöräilijää hidastamaan ja näkemään raitiovaunun paremmin. Muutoksen myötä viikoittaisesta noin 12 läheltä piti -tilanteesta tilanteet vähenivät nollaan. Suurimpana haasteena turvallisuudelle Møller toteaa olevan autoilijoiden, pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden huomion puutteen, kun raitiotietä ylitetään. (Møller 2022)

Kaupallisen liikenteen aloituspäivästä 25. toukokuuta 2022 syyskuun 29. päivään on raportoitu 11 onnettomuutta. Niistä yhdeksän on risteysonnettomuutta, yksi törmäys radan läheisyydessä työskennelleeseen ihmiseen ja yksi liikkuvassa vaunussa tapahtunut kaatumisen.

Taulukossa 1 on kuvattu kaikki läheltä piti -tilanteet, jotka on raportoitu. Tilanteet on suhteutettu ajettuihin kilometreihin niiden kuukausien osalta, kun dataa on ollut saatavilla.

Taulukko 1. Raportoidut läheltä piti -tilanteet (Keolis 2022)

Liikenne- muoto	touko- kuu	kesäkuu	per milj. km	heinäkuu	per milj. km	elokuu	per milj. km
Ajokilometrit		86045		79119		90881	
Autot	61	36	418,39	41	518,21	44	484,15
Mopot	3	0	0	2	25,28	1	11,00
Polkupyörät	40	23	267,30	9	113,75	26	286,09
Potkulaudat	5	3	34,87	1	12,64	0	0
Jalankulkijat	24	21	244,06	14	176,95	17	187,06

Taulukossa 2 on puolestaan kuvattu tilanteet, joissa raitiovaunun kuljettaja on joutunut käyttämään hätäjarrua.

Taulukko 2. *Tilanteet, joissa kuljettaja on käyttänyt hätäjarrua. (Keolis 2022)*

Liikenne- muoto	touko- kuu	kesäkuu per milj. km	heinäkuu per milj. km	elokuu per milj. km
Ajokilometrit		86045	79119	90881
Autot	27	11 127,84	12 151,67	9 99,03
Mopot	0	0 0	2 25,28	1 11,00
Polkupyörät	13	5 58,11	4 50,56	6 66,02
Potkulaudat	2	1 11,62	0 0	0 0
Jalankulkijat	8	5 58,11	5 63,20	1 11,00

Tilastoista huomataan, että tapauksien määrä on joidenkin liikennemuotojen osalta laskenut merkittävästi. Etenkin autoilijoiden aiheuttamat hätäjarrutusten määrä on laskenut 27 tapauksesta toukokuussa elokuun 9 tapaukseen. Polkupyöräilijöiden osalta hätäjarrutusten määrä on kesäkuusta lähtien pysynyt lähes samana ja kaikista tapauksista polkupyöräilijöiden aiheuttamien tilanteiden määrä on elokuussa ollut kesäkuun tasolla. Eniten läheltä piti -tilanteita on sattunut autoilijoiden kanssa. Myös kuten taulukosta 4 nähdään, viisi yhdeksästä kolarista on sattunut auton kanssa. Pyöräilijän kanssa on sattunut kaksi onnettomuutta, kuten myös mopoilijoiden kanssa. Vain yhdessä auton ja raitiovaunun välisessä yhteentörmäyksessä on syntynyt lievät henkilövahingot yhdelle henkilölle.

Taulukossa 3 on kuvaukset törmäyksistä. Siinä on esitetty myös törmäyksen sijainti, henkilövahingot sekä törmäyksen toinen osapuoli.

Taulukosta huomataan, että Store Glasvej-kadulla on tapahtunut kolme törmäystä ajoneuvon kanssa. Näistä kahdessa syynä oli punaisen liikennevalon ohittaminen. Punaisen valon noudattaminen on muutenkin kahta tapausta lukuun ottamatta kaikissa tapauksissa syynä. Henkilövahingoilta on suuremmin vältetty, ainoastaan yksi lievä loukkaantuminen on tapahtunut. Myös huomioitavaa on, että kahdessa törmäyksessä tuli autoon osuma kuljettajan etuoveen. Nämä ovat riskikohtia, sillä kuljettajan paikka on se paikka, missä autossa on varmasti ihminen, eli loukkaantumisriski kasvaa.

Taulukko 3. *Törmäykset liikennöinnin aloituksesta Odensessa. (Keolis 2022)*

Päivämäärä	Kuvaus tapahtumasta	Sijainti	Henkilövahingot	Toinen osapuoli
17.06.2022	Pyöräilijä ajaa päin punaista valoa. Raitiovaunun vasen etukulma osuu polkupyörän takarengaaseen ja pyöräilijä kaatuu.	Cortex Park Vest	Ei	Polkupyörä
02.07.2022	Autoilija kääntyy vasemmalle punaisen valon palaessa Ørbækvej -katua kohti Stæremosegårdsvej -katua ja osuu raitiovaunun oikeaan etukulmaan.	Stæremosegårdsvej	Ei	Auto
18.07.2022	Mopo ajaa vastoin punaista valoa pyörätiellä Søndre Hospitalsvej -kadulla ja osuu raitiovaunun oikeaan etukulmaan.	Søndre Hospitalsvej	Ei	Mopo
20.08.2022	Pyöräilijä ajaa Rosengårdscentretiltä jalkakäytävältä kohti Munkerisvej -katua, kääntyy punaisella liikennevalolla , ja osuu raitiovaunun vasempaan etukulmaan.	Munkerisvej	Ei	Polkupyörä
26.08.2022	Mopo ei noudata ehdotonta etuajo-oikeutta pyörätiellä, joka risteää Rismarksvej -kadun ja ajaa raitiovaunun eteen, joka osuu mopon matkatavaralaatikkoon.	Rismarksvej	Ei	Mopo
27.08.2022	Raitiovaunu on mennyt risteykseen Store Glasvej -kadulla, mutta ei saa kuljettua kokonaan risteuksen läpi, ennen kuin punainen valo syttyy ja vaihtuu vihreäksi risteävän liikenteen kanssa. Autoilija ajaa risteykseen ja osuu raitiovaunun kylkeen matalalla nopeudella.	Store Glasvej	Ei	Auto
05.09.2022	Autoilija ajaa päin punaista valoa Store Glasvej -kadulla ja kääntyy raitiovaunun eteen. Raitiovaunun oikea etukulma osuu auton vasempaan etuoveen.	Store Glasvej	Ei	Auto
14.09.2022	Autoilija ajaa pain punaista valoa Store Glasvej -kadulla ja kääntyy raitiovaunun eteen. Raitiovaunu jarruttaa matalaan nopeuteen, ennen kuin auto osuu raitiovaunun oikeaan etukulmaan. Autoilija lähtee paikalta ennen poliisin saapumista.	Store Glasvej	Ei	Auto
23.09.2022	Autoilija kääntyy raitiovaunun eteen Uffesvej -kadulla, sen jälkeen, kun liikennevalo on sallinut raitiovaunun edetä. Raitiovaunu osuu auton vasemman etuoven kohdalle, kuljettaja on järkyttynyt ja viety tutkittavaksi.	Uffesvej	1 henkilö, lievä loukkaantuminen	Auto

Tanskan lainsäädännössä on paljon samoja sääntöjä kuin Suomen tieliikennelaissa. Joitain eroavaisuuksiakin kuitenkin on. Tanskan tieliikennelain mukaan tieosuudella, jolla ajetaan sekä pikaraitiovaunua että moottoriajoneuvoja ja jossa pikaraitiovaunua ajetaan selvästi muusta liikenteestä erotettuna, voidaan asettaa yleisiä nopeusrajoituksia korkeampi nopeusrajoitus pikaraitiotielle, ellei ratkaisevat liikennenäkökohdat ole sitä vastaan. (LBK 1710/2021)

Pikaraitiovaunujen nopeus ei saa ylittää linja-auton nopeusrajoitusta. Linja-autoissa, joiden sallittu kokonaismassa on yli 3500 kg, nopeus ei saa ylittää 80 km/h. Linja-autoille, jotka täyttävät ehdot, nopeus moottoritiellä ei saa ylittää 100 km/h. Liikenne ministeri voi antaa säännöt, joiden edellytysten on täytyttävä, jotta linja-auton nopeus on enintään 100 km/h. Tätä kohtaa soveltaen Aarhusissa raitiotiellä on rautatiemäisellä osuudella huippunopeutena 100 kilometriä tunnissa. (LBK 1710/2021)

Laki myös toteaa, että ajorataa tai pyörätietä ylitettäessä on käytettävä suojatietä, jos sellainen on lähellä. Jos lähistöllä on kävelysilta tai -tunneli, siltaa tai tunnelia tulee käyttää mahdollisuuksien mukaan. Muissa tapauksissa kulkemisen on tapahduttava suoraan ajoradan tai pyörätien yli ja mieluiten tienristeyksien yhteydessä. Tätä kohtaa sovelletaan myös raitiotiehen. (LBK 1710/2021)

4.2 Aarhusin pikaraitiotie

Aarhus Letbane eli Aarhusin pikaraitiotie avattiin liikenteelle joulukuussa 2017. Pikaraitiotie on yhteensä noin 110 kilometriä pitkä, mutta kokonaan uutta raitiotietä on 12 kilometriä. Loput rataosat ovat olleet aiemmin rautatieliikenteen junien käytössä, mutta nyt otettu raitioliikenteen käyttöön. Raitiotie kulkee nopeimmillaan 100 kilometriä tunnissa rautatiealueella. Aarhusin raitiotietä voisi luonnehtia myös duoraitiotieksi. Liittymäalueita ei juurikaan ole visuaalisilla keinoilla erotettu muusta liikenteestä Odensen tapaan, kuten kuvasta 28 nähdään.



Kuva 28. Liittymäalue Aarhusissa. Raitiotie haarautuu kahteen eri suuntaan.

Ennen joitakin ylityspaikkoja jalankululle oli rataa ennen sijoitettu aidat ohjaamaan hidastamaan ja havainnoimaan rataa ennen ylitystä kuvan 29 esimerkin mukaisesti.



Kuva 29. Jalankulun ylityspaikalla kulkua on rajoitettu estein. Lisäksi raitiotiestä varoitetaan merkillä B5 sekä raitiotiestä varoittavalla merkillä.

Radan ollessa ajoratojen välissä ja kun tonteilta ei päässyt suoraan radan yli kääntymään radan yli, oli toteutettu valo-ohjattuja paikkoja, joissa sai autolla tehtyä U-käännöksen. Kuvassa 30 esimerkkikohta pysäkin läheisyydestä.



Kuva 30. Pysäkin läheisyydessä oli tehdä mahdollisuus U-käännös ajoneuvoilla.

Keskusta-alueella on toteutettu liikennevalo-ohjaus ajoneuvoliikenteelle. Maaseutu-
maisemmassa, kovien nopeuksien rataosilla risteävä liikenne pysäytetään puomein

tasoristeyksissä. Valo-ohjatun liittymän läpi ratikan nopeusrajoitus jopa 45 km/h kaupungin keskusta-alueella.

4.3 Lundin raitiotie

Lundin raitiotie on liikennöinyt joulukuusta 2020, eli hieman pidempää, kuin Tampereen raitiotie. Se on 5,5 kilometriä pitkä, kaksiraiteinen raitiotiejärjestelmä. Raitiotie liikennöi suurimmalta osin omalla eriytetyllä nurmiradallaan. Lähempänä keskustaa on pienellä osuudella kiveä päällysrakenteena, kuitenkin myös tällöin raitiotie kulkee omalla kaistallaan. Myös pysäkkialueet on toteutettu kiveyksellä. Lundissa raitiovaunuun nähden muut tienkäyttäjät ovat väistämisvelvollisia (Lunds Kommun 2022). Eli Suomessa paljon toteutettuja suojateitä raitiotien yli ei Lundissa ole.

Ylityspaikkoja on niin valo-ohjattuja, kuin valo-ohjaamattomia. Raitiotien ylittävillä osuuksilla ylityspaikan valot palavat vain, kun raitiovaunu lähestyy tai on risteämässä. Ylityspaikan pintamateriaali on kaikissa kohteissa samanlainen, vaalea betonipinta. Ylityspaikkojen rakenne on erilainen kuin ajoradan ylityksillä, jotta ne osoittavat, että kyseessä on raitiotien ylitys ja että siihen sovelletaan eri sääntöjä (Lunds Kommun 2021). Ennen ylitystä on raitiotiestä varoitava pieni liikennemerkki, pollari sekä betoniin maalattu valkoinen raitiovaunusymboli. Liikennemerkkit ovat kaksipuoleisia, joten ylittäjä voi nähdä myös toisen puolen merkin, jos ei oman puolen merkkiä huomaa. Pyörätielle oli ainakin yhdessä kohtaa maalattu asfalttiin raitiotiestä varoitava liikennemerkki ja lisätty nuoli osoittamaan merkin vaikutussuuntaa. Näitä merkintöjä on esitetty kuvassa 31.

Radan varressa ei ole katupuita ja näkemäalueet olivat laajat. Pysäkkien yhteydessä on kuitenkin muutamia puita. Lisäksi ainakin yhdessä pysäkille vievässä ajoradan ylittävässä suojatiessä ajoradalla on hidastetöyssi pienentämässä ajoneuvojen nopeutta. Tämä parantaa ylittäjän turvallisuutta, varsinkin jos raitiovaunuun kiirehditään turvallisuutta uhmaten, jota tutkitusti tehdään (Pulugurtha & Srirangam 2021) Sivuttaissiirtymää jalankulun ylityksiin on ajoradan suojatien ja tätä seuraavan raitiotien ylityspaikan toteutettu ainakin yhdessä risteämässä ydinkeskustassa.



Kuva 31. Ylitayspaikkojen merkintöjä.

Ajoratojen kanssa raitiotien risteäminen on myös eroteltu pintamateriaalilla. Ylitayspaikkojen tapaan liittymässä vaalea pinnoite, ajoradoilla se on densifaltia, joka erottuu niin asfaltista, kuin kiveyksestäkin. Raitiovaunuille aukioilla ja pysäkeillä nopeusrajoitus on 18 km/h. Risteysten läpi suurin nopeus on 30 km/h. Suurin osa ajoneuvoristeämisestä on toteutettu liikennevalo-ohjattuna. (Lunds Kommun 2021)



Kuva 32. Raitiotien ja ajoradan risteämä.

Kiertoliittymissä ajoneuvot pysäytetään kiertotilassa liikennevaloilla ennen raitiotien ylitystä, mikäli raitiovaunu on tulossa. Tämä poikkeaa Tampereesta, jossa ajoneuvot

pysäytetään ennen kiertotilaa. Kun raitiovaunu on lähellä, liikennevalot alkavat vilkkua keltaisena ja muuttuvat sitten punaisiksi. Jalankulkijat ja pyöräilijät saavat myös punaisen valon ja äänimerkin, ja heidän on pysähdyttävä odottamaan raitiovaunun ohittamista. Raitiotierata kulkee suoraan kiertoliittymän läpi. Valot eivät kuitenkaan estä ajoneuvoja ajamasta jalankulun ja pyöräilyn suojatielle eli kiertotilasta poistumista ennen raitioteitä. Nämä ajoradan ylitykset ei ole valo-ohjattuja.



Kuva 33. Raitiotie lävistää kiertoliittymän.

4.4 Raide-Jokeri

Raide-Jokeri on Helsingin Itäkeskuksesta Espoon Keilaniemeen liikennöintinsä vuonna 2024 aloittava pikaraitiotielinja. Se on noin 25 kilometriä pitkä linja, joka tulee korvaamaan runkobussilinjan 550, joka on seudun vilkkaimmin liikennöity bussilinja. (Raide-Jokeri 2022).

Pitkälti Raide-Jokeri-hankkeen oppien pohjalta on laadittu raitioteiden suunnitteluohje. Sen luonnos on valmistumaisillaan ja jo saatavilla. Ohjeen tilaajina ovat Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Kaupunkiliikenne Oy. Suunnitteluohjeen tarkoituksena on ohjata pääkaupunkiseudun raitioteiden suunnittelua ja mitoitusta. Sen mitoitus perustuu kolmeen arvoon; normaaliin arvoon, joka mahdollistaa sujuvan ja turvallisen raitiotien, minimi-/maksimiarvoon, johon ei tarvita erillistä lupaa, mutta voi vaikuttaa liikennöitävyyteen, palvelutasoon tai kustannuksiin ja lupa-arvoon, jota käytetään, jos edeltävät eivät ole mahdollisia. Lupa-arvo voi heikentää raitiotien toimivuutta ja se edellyttää erillistä hyväksyntää. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022a)

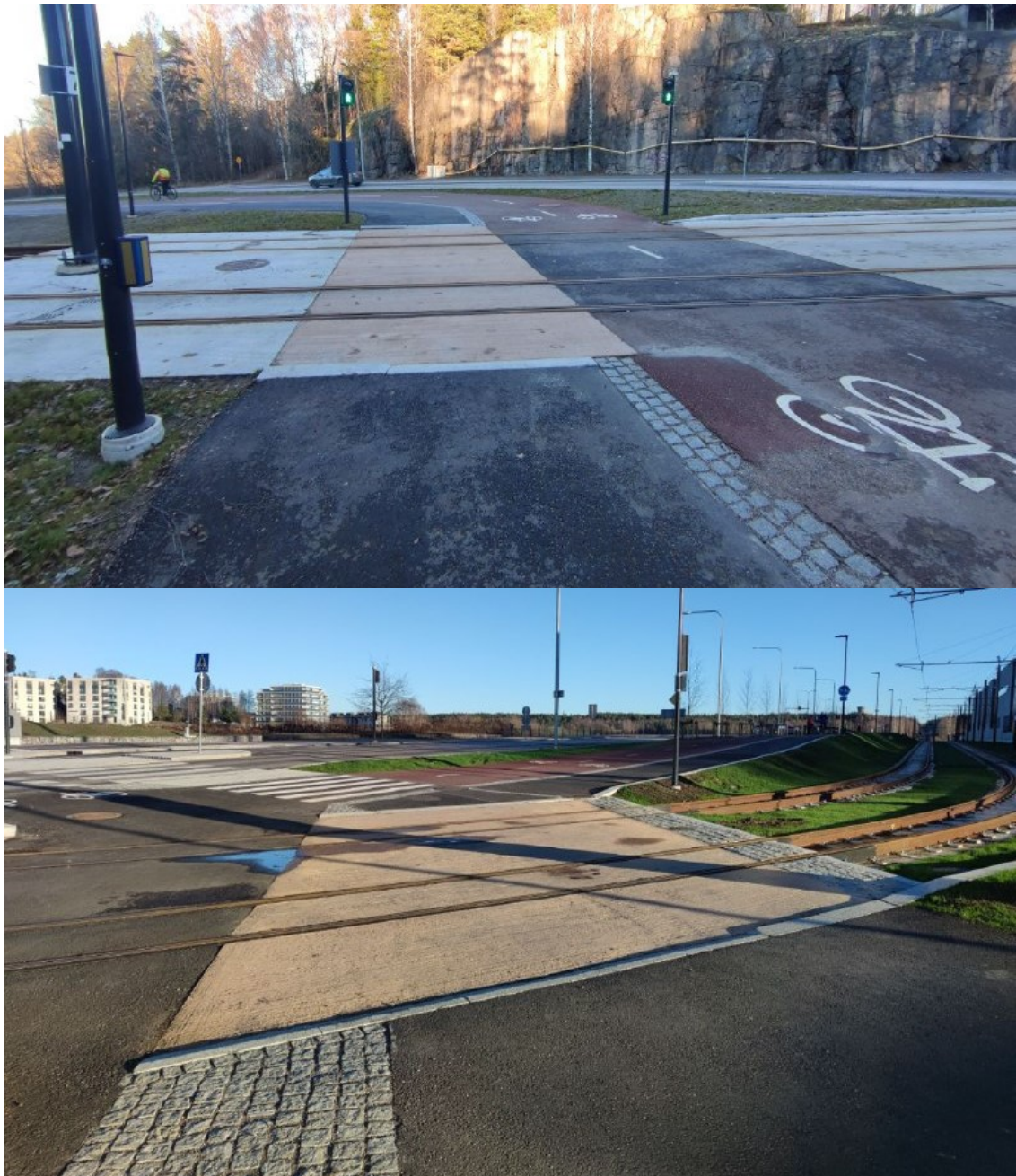
Samankaltainen menettely voisi olla hyvä myös Tampereen raitiotien suunnitteluohjeeseen.

Raitiotiestä risteämisisä ja liittymissä on oma lukunsa ohjeessa. Se toteaa, että risteämisten määrä tulee pyrkiä pitämään matalana ja että jokainen risteämä on mahdollinen liikenneturvallisuusriski. Liikennejärjestelyt tulisi risteyksissä olla kaikille kulkumuodoille mahdollisimman selkeitä, jotta riittävä ennakointi on mahdollista. Väistämövelvollisuuden tulisi myös olla selkeä kaikille liittymän käyttäjille. Raitiotien yli muut kulkumuodot ohjataan mahdollisimman kohtisuorasti. Valo-ohjaus toteutetaan pääasiassa kaikissa raitiotien liittymissä, mutta myös osittaista valo-ohjausta tai alhaisilla ajonopeuksilla valo-ohjaamattomuutta voidaan harkita. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b)

Raitiotien suositeltava sijainti on liittymän keskellä. Liian tiukat yksittäiset ylitykset nähdään myös mahdollisena liikenneturvallisuusriskinä. Kääntymiset raitiotien ylityksistä järjestetään lähtökohtaisesti kääntymiskaistan kautta. Tonttoliittymät ja pienemmät katuliittymät voidaan toteuttaa suuntaisliittyminä, jolloin kääntyminen sallitaan vain oikealle. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b) Näin raitiotietä ei ylitetä. Myös pääkaupunkiseudun suunnitteluohjeen mukaan kiertoliittymiä tulisi välttää raitiotiellä. Toteutusta voi kuitenkin puoltaa linjauksella jo olemassa oleva kiertoliittymä tai jos esimerkiksi nelihaaraliittymässä on vaikeus muulla tavoin toteuttaa liittymä. Perusteet ovat samat kuin Tampereellakin. Haasteina kiertoliittymässä nähdään liikennesääntöjen ja ajojärjestyksen epäselvyys, sekä ajoneuvon kuljettajan huomion jakautuminen. Huomion tulee ajoneuvon kuljettajalla kiinnittyä niin raitiovaunuihin, muihin ajoneuvoihin, kuin jalankulkijoihin ja pyöräilijöihin. Myös jalankulun ja pyöräilyn ratkaisut nähdään haasteena. Ohjeessa on esitetty useampia eri ratkaisuja, joilla raitiotie voidaan toteuttaa kiertoliittymään. Se tulisi kulkea keskisaarekkeen läpi tai vaihtoehtoisesti selkeästi kiertoliittymän ulkopuolella. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b)

Jalankulun risteämiset toteutetaan Tampereen tapaan joko suojateinä tai ylityspaikkoina. Sekaliikennekaistalla ylitykset toteutetaan suojateinä. Vantaalla kuitenkin valo-ohjatuissa liittymissä jalankulun risteämiset tulevat olemaan lähtökohtaisesti suojateitä. Valo-ohjaamaton ylitys toteutetaan lähtökohtaisesti ylityspaikaksi, kun jalankulkijoille on riittävän leveät saarekkeet raitiotien ympärillä. Ylityspaikkoja voidaan toteuttaa myös joukkoliikennekaistojen tai ajoratojen yli. Ohjeistuksessa on eroa kaupunkikohtaisesti. Yli 40 km/h raitiotien nopeusrajoituksella on ongelmallista käyttää

ylityspaikkaa. Pysäkin yhteydessä on pääsääntöisesti oltava vähintään yksi suojatie-ylitys tai valo-ohjattu suojatie tai ylityspaikka, jotta esteetön yhteys pystytään taata. Vantaalla on vähimmäisvaatimuksena toisessa päässä pysäkkiä valo-ohjattu suojatie. Liikennevalo-ohjatut jalankulkijaylitykset voidaan toteuttaa ylityspaikan rakentein ja merkinnöin, Vantaata lukuun ottamatta. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b)



Kuva 34. Ylityspaikoilla jalankulun ylitys on korostettu oranssinkeltaisella värillä. Pyöräilyn ylitys on reunakivetön, kohtisuorassa rataa ja mustalla asfaltilla.

Ylityspaikkojen merkinnöissä on kaupunkikohtaisia eroja. Se merkitään pääsääntöisesti raitiovaunusta varoittavalla tiemerkinnällä. Tiemerkintä poikkeaa tieliikennelain mukaisista merkinnöistä ja vaatii näin ollen poikkeusluvan. Ylityspaikkaa suositellaan

korostettavaksi muusta kaupunkiympäristöstä poikkeavalla pintamateriaalilla ja väriellä. Tätä ei kuitenkaan sekaannusten välttämiseksi tulisi tehdä suojaiteilla. Ylityspaikka on suorassa linjassa ajoratojen ylitysten kanssa, kun kadun nopeusrajoitus on korkeintaan 40 km/h. Suuremmissa kadun nopeusrajoituksissa valo-ohjaamaton ylitys porrastetaan. Porrastus tehdään siirtämällä ylityspaikkaa sivusuunnassa suojaiteen leveyden verran, ensikädessä lähimmän raiteen kulkusuuntaan, jotta lähempi vaunu nähdään paremmin. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b)

Kiertoliittymissä Raide-Jokerissa on liikennevalo-ohjaus toteutettu kaksiaukkoisella valo-opastimella. Tämä eroaa Helsingin kantakaupungin ja Tampereen raitioteistä, joissa käytetään kolmiaukkoista raitiovaunuvalo-opastinta. Kaksiaukkoisen opastin on ulkoisesti kuin ajoneuvoliikenteen liikennevalo-opastin, mutta siinä ei ole vihreää valoa. Toimintaperiaate on sama kuin kolmiomallisessa raitiovaunuvalossa. Tammi-lehdon 2020 tekemässä haastattelussa asiantuntija Lauri Kangas arveli, että kaksiaukkoisen opastin olisi ymmärrettävämpi autoilijoille, sen muistuttaessa enemmän normaali ajoneuvojen liikennevalo-opastinta. Hänen kokemuksiansa mukaan osa autoilijoista luulee, että raitiovaunuvalojen punainen olisi vain ohjeellinen, eikä velvoittaisi autoilijaa pysäyttämään. (Tammilehto 2020)

Tammilehdon tekemässä haastattelussa myös Helsingin kantakaupungin raitiotien raitiovaunukuljettajien arvioiden mukaan raitiovaunuvalojen noudattaminen on heikkoa. Helsingissä raitiovaunuvalot eivät kuitenkaan ole uusi asia kuten Tampereella, vaan niitä on käytetty siellä vuosikymmeniä. Kuljettajat arvoivat, että kiertoliittymissä tapahtuisi enemmän läheltä piti -tilanteita kuin muissa liittymissä. Syynä tähän on pidetty sitä, että raitiovaunuvaloja ei noudateta, jonka seurauksena ajoneuvon kuljettaja saattaa ajaa katveesta raitiovaunun eteen aiheuttaen äkkijarrutuksen. (Tammilehto 2020).

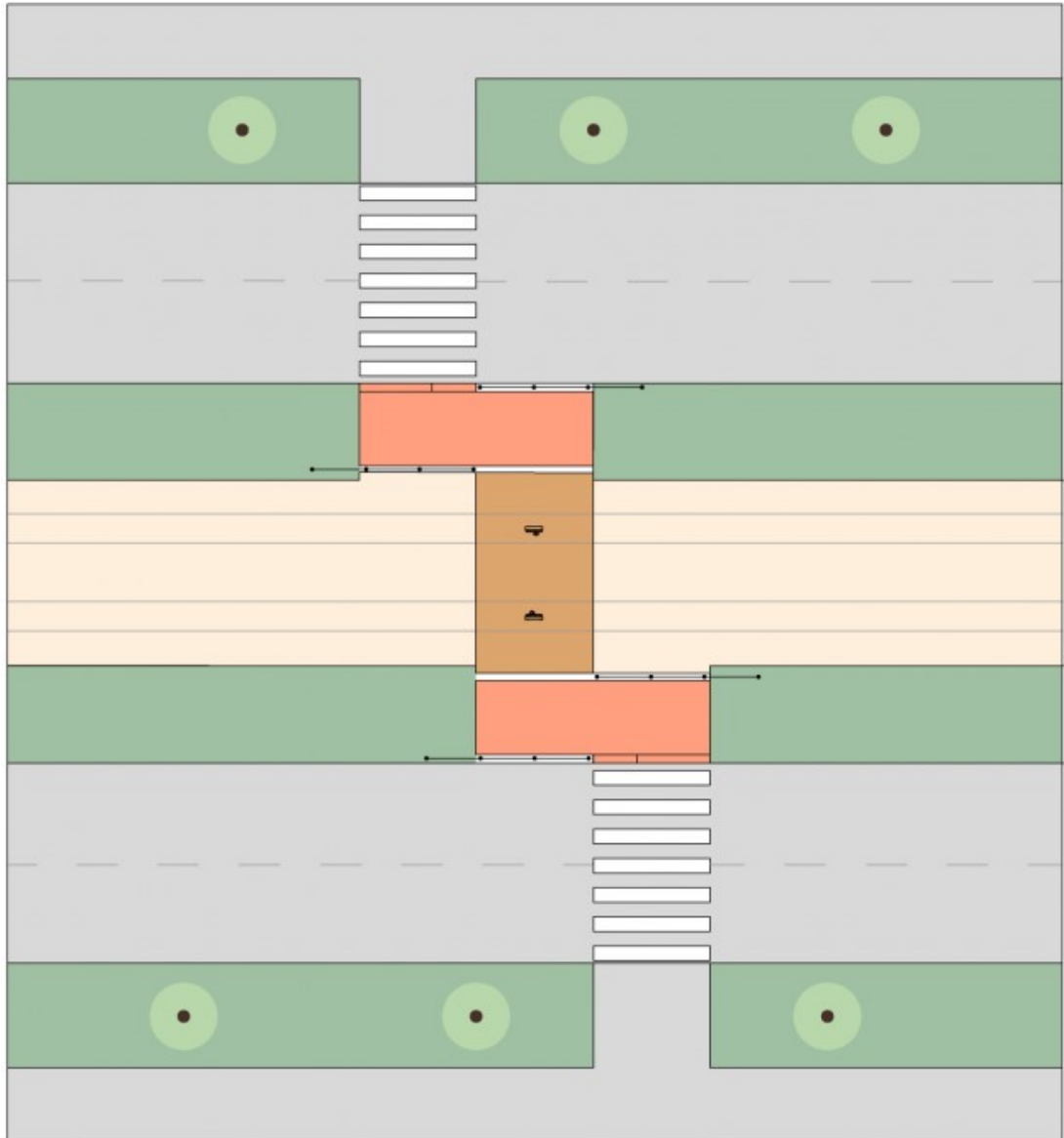
Raide-Jokerin on valo-ohjaus toteutettu kiertoliittymissä kahdella eri tavalla. Ajoneuvot pysäytetään tapauksesta riippuen joko kiertotilaan ennen kiskoristeämää tai jo ennen kiertotilaan liittymistä. Kiertotilaan pysäyttämällä voidaan parantaa liikenteen sujuvuutta, kun kaikkia suuntia ei tarvitse katkaista. Tammilehdon haastattelussa Kangas pohti, voitaisiinko jalankulkijat pysäyttää sekaliikennehaaralla valo-ohjauksella, kun raitiovaunu saapuu kiertoliittymään. Ongelmana tässä on, että autoilijat saattavat pysähtyä turhaan, kun suojaiteella olisi punainen valo jalankulkijalle. (Tammilehto 2020).



Kuva 35. Vasemmalla ylhäällä Viikintien ja Viilarintien kiertoliittymä, jossa ajoneuvot pysäytetään ennen radan ylitystä. Vasemmalla alhaalla Oulunkylän kiertoliittymä, jossa osa suunnista pysäytetään ennen kiertotilaa ja osa ennen radan ylitystä. Oikealla Viikinkaaren ja Viikintien kiertoliittymä, jossa ajoneuvot pysäytetään ennen kiertotilaa.

Kiertotilaan pysäyttämällä voidaan parantaa liikenteen sujuvuutta, kun kaikkia suuntia ei tarvitse katkaista. Tammilehdon haastattelussa Kangas pohti, voitaisiinko jalankulkijat pysäyttää sekaliikennehaaralla valo-ohjauksella, kun raitiovaunu saapuu kiertoliittymään. Ongelmana tässä on, että autoilijat saattavat pysähtyä turhaan, kun suojatiellä olisi punainen valo jalankulkijalle. (Tammilehto 2020). Jos ajoneuvot pysäytetään kiertotilan ulkopuolelle, ei näitä tilanteita synny, muualla kuin raitiovaunun tulosuunnassa, jossa ajoneuvoja ei ainakaan Tampereella pysäytetä. Tässä periaate tulisi pohtia, että olisiko järkevää pysäyttää vain raitiotien kanssa risteävät jalankulun ja pyöräilyn ylityspaikat ja suojatiet valo-ohjauksella. Vai olisiko kaikkien ajosuuntien jalankulun ja pyöräilyn ylityspaikkojen ja suojateiden katkaisu valo-ohjauksella selkeämpää raitiovaunun saapussa.

Pyöräiliikenteen osalta ohjeistus on sama kuin Helsingin pyöräiliikenteen suunnitteluohjeessa. Ohjeessa todetaan myös, että porrastetut ylityspaikat soveltuvat huonosti pyöräiliikenteelle huonojen ajolinjojen takia. Ylityspaikka porrastetaan ensisijaisesti reunakivin ja tehostetaan nopeusrajoituksen, näkemien tai muun syyn vuoksi kaiteiden tai muiden rakenteiden avulla. (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b) Kuvassa 36 on esitelty suunnitteluohjeen porrastettu ylitys.



Kuva 36. Raitioteiden suunnitteluohjeen mukainen porrastettu (Raitioteiden suunnitteluohje 2022b)

Periaate on samanlainen kuin Tampereella jo toteutetussakin Sammonkadun ylityspaikalla. Ainoastaan raitiovaunusta varoittavat ajoratamaalaukset puuttuvat Tampereelta.

5. TAMPEREEN RAITIOTIEN KÄYTÖN AJAN HAVAINNOT

5.1 Läheltä piti -tilanteet ja raideliikennepoikkeamat

Tampereen Raitiotie Oy:llä on yhdessä palveluntuottajiensa kanssa käytössä turvallisuustiedon hallintajärjestelmä osana turvallisuusjohtamisjärjestelmää. Hallintajärjestelmään raportoidaan raideliikennepoikkeamat sekä läheltä piti -tilanteet. Tämän lisäksi kaikilla raitiotiellä toimivilla työntekijöillä on mahdollisuus tehdä turvallisuushavainnot liittyen raitiotiehen ja siinä liikennöintiin. Raideliikennepoikkeamiin luetaan törmäykset, matkustajavahingot, suistumiset, sähkötapaturmat, turvallisuuteen vaikuttavat infran ja kaluston viat sekä liikenteenohjauksen häiriöt, vaaratilanteet, järjestyshäiriöt ja muut onnettomuudet.

Raideliikennepoikkeamista risteämisiin liittyviä törmäyksiä sattui vuonna 2021 10 kappaletta ja vuonna 2022 kesäkuuhun mennessä 5 kappaletta. Törmäyksien vaaratilanteita on puolestaan vuoden 2022 aikana kesäkuun loppuun mennessä sattunut 38 kappaletta. On kuitenkin huomioitavaa, että varsinkin vuoden 2021 havaintojen ja tapahtumien perusteella on rataympäristöön tehty muutoksia, joilla on mahdollisesti ollut vaikutusta turvallisuustilanteen parantumiseen. Törmäyksistä ja niiden vaaratilanteista suurin osa on tapahtunut täydellisesti liikennevalo-ohjatuissa liittymissä.

Toteutuneet tapaukset suhteutetaan suunniteltuihin linjakilometreihin eli niihin ajettaviin kilometrimääriin, jotka on suunniteltu linjalla 1 ja 3 ajettavaksi. Suunnitellut linjakilometrit ovat 1 454 658 kilometriä vuodessa eli 121 221,5 km kuukaudessa. Tässä verrataan tapauksia ajettuun miljoonaan linjakilometriin. Vuoden 2021 osalta ei vertailla linjakilometreihin, sillä osa ajetuista kilometreistä on ajettu ennen kaupallisen matkustajaliikenteen alkamista 9.8.2021, joten tarkkoja kilometrimääriä ei ole tiedossa.

Taulukossa 4 on esitetty törmäyksien ja niiden vaaratilanteiden lukumäärät jaoteltuna liittymän liikennevalo-ohjauksen perusteella.

Taulukko 4. *Törmäykset ja törmäyksen vaaratilanteet jaoteltuna liittymän valo-ohjausperiaatteiden perusteella. Vuoden 2022 osalta tilastot ovat vuoden alusta 30.6. saakka.*

Opastimet	Törmäykset 2021	Törmäykset 2022	per milj.km	Törmäyksen vaaratilanteet 2022	per milj.km
liikennevalot	5	2	2,75	23	31,62
raitiovaunuvalot	3	0	0	8	11,00
vilkkuva keltainen valo	1	0	0	0	0
ei valo-ohjausta	1	3	4,12	7	9,62
yhteensä	10	5	6,87	38	52,25

Huomataan, että tavalliset liikennevalot korostuvat niin vaaratilanteiden, kuin törmäystenkin osalta. Myös raitiovaunuvaloliittymissä on sattunut jonkin verran vaaratilanteita ja 3 törmäystä. Valo-ohjaamattomien liittymien osalta on kuitenkin huomattava, että niitä on rataverkolla huomattavan vähän, lähinnä tonttiliittymiä.

Taulukossa 5 on puolestaan esitetty törmäyksien ja niiden vaaratilanteiden lukumäärät jaoteltuna toisen osapuolen perusteella.

Taulukko 5. *Törmäykset ja törmäyksen vaaratilanteet jaoteltuna toisen osapuolen perusteella. Vuoden 2022 osalta tilastot ovat vuoden alusta 30.6. saakka.*

Toinen osapuoli	Törmäykset 2021	Törmäykset 2022	per milj.km	Törmäyksen vaaratilanteet 2022	per milj.km
autoilija	7	3	4,12	36	49,50
pyöräilijä	3	0	0	1	1,38
jalankulkija	0	2	2,75	2	2,75
raitiovaunu	0	0	0	1	1,37
yhteensä	10	5	6,87	40	55,00

Törmäyksissä ja niiden vaaratilanteissa autoilijat ovat selkeästi suurin ryhmä. 2021 tapahtui 3 törmäystä pyöräilijän kanssa, mutta 2022 niitä ei enää ole ollut. Kaksi törmäystä näistä tapahtui suojatien kapeassa odotustilassa, joka on jo poistettu.

Taulukossa 6 on taas esitetty törmäyksien ja niiden vaaratilanteiden lukumäärät jaoteltuna liittymätyypin perusteella.

Taulukko 6. *Törmäykset ja törmäyksen vaaratilanteet jaoteltuna liittymätyypin perusteella. Vuoden 2022 osalta tilastot ovat vuoden alusta 30.6. saakka.*

Liittymätyyppi	Törmäykset 2021	Törmäykset 2022	per milj.km	Törmäyksen vaaratilanteet 2022	per milj.km
kiertoliittymä	1	0	0	6	8,25
tasoristeys	6	2	2,75	27	37,12
liittyminen sekaliikennekaistalle		1	1,374	2	2,75
suojatie	2	0	0	1	1,37
ylityspaikka	1	2	2,75	2	2,75

Suojatieonnettomuuksia sattui vuonna 2021 ja 2022 vuoden aikana on raportoitu yksi vaaratilanne. Ylityspaikoissa on tapahtunut verrattain vähän törmäyksiä ja niiden vaaratilanteita. Yksi onnettomuudesta oli kuitenkin pyöräilijän kannalta vakava. Suojatie- ja ylityspaikkatörmäyksistä on kuitenkin olennaisinta huomioida, että niissä on suurin riski henkilövahingoille. Tämä johtuu muun muassa suuresta massasta ja liikenne-energiaerosta sekä siitä että ihmistä ei ole suojaamassa kulkuneuvon kuori.

Ajorataristeämisten osalta kiertoliittymissä on vuonna 2021 sattunut yksi törmäys ja 2022 ei yhtään. Vaaratilanteita oli 6 kappaletta. Kiertoliittymiä rataverkolla on 3 kappaletta. Ylivoimaisesti eniten törmäyksiä ja niiden vaaratilanteita oli ajoneuvojen tasoristeämissä. Törmäyksiä oli vuonna 2021 kuusi ja vuonna 2022 2 kappaletta. Törmäyksen vaaratilanteita on sattunut vuonna 2022 27 kappaletta.

Törmäysten ja niiden vaaratilanteiden tilastoista korostui joitakin kohteita. Ainoa risiteämä, jossa on tapahtunut useampi kuin yksi törmäys, on Rieväkadun ylittävä ylityspaikka tonttoliittymän vieressä. Molemmat törmäykset ovat tapahtuneet pyöräilijän ollessa odotustilassa, joka on todettu liian pieneksi. Odotustila on poistettu ja liikennevalo-ohjausta muutettu, joten tilanteita ei pitäisi enää tapahtua.

Eniten vaaratilanteita on raportoitu Itsenäisyydenkadun ja Yliopistonkadun ja Tammelan puistokadun liittymässä olevassa tasoristeyksessä. Siitä on raportoitu viisi törmäyksen vaaratilannetta vuonna 2022. Näistä kolmessa tapauksessa ajoneuvo kääntyi päin punaista valoa raitiovaunun eteen vasemmalta. Yksi tapaus oli raitiovaunukaistalla ajanut ajoneuvo, joka pyrki ohittamaan raitiovaunua ja yksi tapaus

punaista jalankulkuvaloa noudattamaton jalankulkija. Kyseinen liittymä on liikennevalo-ohjattu ja raitiotie risteää Yliopistonkadun – Tammelan puistokadun kohtisuoraan.



Kuva 37. Itsenäisyydenkadulla Yliopistonkadun – Tammelan puistokadun liittymässä on ollut useita törmäyksen vaaratilanteita. Radan suuntaiselta ajoradalta on käännytty vasemmalle raitiovaunun eteen.

Neljä törmäyksen vaaratilannetta on raportoitu Hatanpään valtatie ja Hämeenkadun välisestä liittymästä. Molemmat kadut ovat sekaliikennekaistoja ja liittymä on liikennevalo-ohjaamaton. Näistä kaikissa tapauksissa ajoneuvon kuljettaja ei noudattanut väistämisvelvollisuuttaan.



Kuva 38. Hatanpään valtatie ja Hämeenkadun liittymässä ajoneuvojen väistämisvelvollisuuden noudattaminen on aiheuttanut vaaratilanteita (Tampereen Raitiotie Oy 2021d)

Kolme vaaratilannetta on raportoitu kahdesta eri Insinöörinkadun liikenneympyrästä, Teekkarinkadun ja Opiskelijankadun risteävistä liikenneympyröistä. Myös Rieväkadun tonttiliittymästä on raportoitu kolme vaaratilannetta.



Kuva 39. Rieväkadulta on poistettu tonttiliittymä.

Edellä mainitut vaaratilanteet ovat kaikki olleet moottoriajoneuvoliikenteen kanssa. Kun tapauksien määrää verrataan Odensen ja Tampereen välillä, huomataan, että Tampereella sattuu tai ainakin raportoidaan vähemmän tapauksia, kuten taulukosta 8 nähdään. Osuuksista eri liikennemuotojen välillä huomataan kuitenkin, että molemmissa kaupungeissa autoilija on useimmiten toisena osapuolena vaaratilanteissa. Odensen luvuissa varmasti näkyy myös se, että järjestelmä on juuri avattu, kun taas Tampereella on jo vuosi takana liikennöintiä.

Taulukko 7. Vertailu Tampereen ja Odensen välillä

toinen osapuoli	Tampere		Odense			
	Törmäyksen vaaratilanteet 2022 (-30.6.)	per milj. km	Hätäjarrun käyttö kesä-elokuu 2022	per milj. km	läheltä piti -tilanteet kesä-elokuu 2022	per milj. km
autoilija	36	49,5	32	125,0	121	472,6
pyöräilijä	1	1,4	15	58,6	58	226,5
jalankulkija	2	2,7	11	43,0	52	203,1
yhteensä	40	55,0	58	226,5	231	902,2

Tarkastellaan radan yli vasemmalle kääntymistä liikenneturvallisuuskuution avulla.

Onnettomuusvakavuudesta voidaan todeta, että raitiovaunun ja ajoneuvon yhteen-törmäyksissä syntyy yleensä vain omaisuusvahinkoja tai lieviä loukkaantumisia. Ris-teysalueiden nopeusrajoitukset on säädetty matalammiksi kuin liittymättömillä alu-eilla sillä pienemmillä nopeusrajoituksilla onnettomuusvakavuus on matalampi. Tie-tenkin ylinopeutta ajettaessa onnettomuuden sattuessa vakavuus kasvaa. Huomioi-tavaa kuitenkin on, että vakavuuteen vaikuttaa se, että vasemmalle kääntyessä kul-jettajan puolen kylki autosta on samalla puolella kuin takaa mahdollisesti lähestyvä raitiovaunu, joka oikeaan kohtaan osuessaan voi aiheuttaa vakavia vammoja.

Taulukko 8. *Suunnitellut lähdöt*

Linja	Aikaväli					
	ma-to/yh- teensä	pe	la	su	viikossa	52 viikossa
Linja 1	1000	250	210	112	1572	81744
Linja 3	1120	298	272	212	1902	98904

Altistus voidaan vasemmalle kääntymiskertojen osalta laskea, kun tiedetään, että lähtöjä on vuodessa linjalla yksi ajettu 81 744 kappaletta ja linjalla kolme 98 904 kappaletta, taulukon 8 mukaan. Liittymiä, joissa on sallittua kääntyä vasemmalle, on linjalla yksi 14 kappaletta ja linjalla kolme 21 kappaletta. Näihin on laskettu liittymät, joissa autolla käännetään selkeästi vasemmalle ja rata ja ajorata kulkevat yhden-suuntaisesti. Tällaisia liittymiä on useita Sammonkadulla ja Teiskontiellä. Altis-tukseksi saadaan linjalla yksi $81744 * 14 = 1\,144\,416$ ja linjalla kolme $98\,904 * 21 = 2\,076\,984$

Onnettomuusriskistä voidaan todeta, että onnettomuuksia vasemmalle kääntymisiin liittyvissä tilanteissa on tapahtunut aikavälillä 07/2021–06/2022 eli vuoden aikana viisi kappaletta.

Kun vakavuus on lievällä tasolla, kuten myös riski, mutta altistusten määrä suuri, olisi helpoin keino saada kuution mukaista turvallisuustilannetta parannettua vähentämällä altistuksia eli mahdollisuuksia kääntyä vasemmalle radan suuntaiselta ajoradalta.

5.2 Maastohavainnointi

Ensimmäisessä maastohavainnoinnissa kartoitettiin rataverkko ja sen ominaispiirteet ja erilaiset risteämiskäytännöt. Eri ratkaisut on esitetty luvussa 2. Seuraava maastohavainnointi tehtiin Tampereen raitiotieverkolla 8.6.2022 välillä Hervantajärvi – Sammonkatu. Havainnoinnissa kiinnitettiin huomiota liikennevalojen noudattamiseen ja muutenkin liikennesääntöjen noudattamiseen.

Nekalantien ja Hervannan valtavyöhykkeen liittymän tasoristeyksessä tarkkailtiin, miten raitiovaunuvaloja noudatettiin raitiovaunun lähestyessä. Tasoristeystoimintaa kuvattiin videolle ja videolta analysoitiin tapahtumat. Kuvassa 40 on kuvakaappaus videosta.



Kuva 40. Tasoristeyksessä ajoneuvot pysäytetään raitiovaunuvaloilla.

Tasoristeyksen ylitti 30 minuutin aikana 10 raitiovaunua.

Taulukko 9. Nekalantien rampin havainnoinnin tulokset.

Tapahtuma	Tapahtumien lukumäärä
Tasoristeyksen ylittäneet raitiovaunut	10
Kiinteää punaista päin ajaneet	4
Oikein pysähtyneet ajoneuvot	13

Kuten taulukosta 9 nähdään, lyhyessä ajassa saatiin todistettua neljä kiinteää punaista valoa päin ajanutta. Havainnointi tehtiin ruuhka-ajan ulkopuolella, kello 10:30–11:00. Videolta nähtiin, kun valkoinen, kuljettajalle valojen toimintaa indikoiva valo vilkkui, tarkoitti se, että keltainen valo vilkkuu ajoneuvoille ja kun valkoinen valo jäi pysyväksi, tarkoitti se, että kiinteä punainen valo palaa ajoneuvoille.

Jo lyhyessä ajassa todettiin neljä ajoneuvoa, jotka eivät noudattaneet valoa. Tässä tilanteessa läheltä piti -tilanteita ei syntynyt, sillä raitiovaunut olivat vielä riittävän kaukana risteämästä. Muina huomioina oli se, että varsinkin Hervannan suunnasta eli kuvan vasemmalta reunalta oikealle kulkeville vaunuille valo syttyi todella aikaisin.



Kuva 41. Kuvan punainen katumaasturi ajoi päin kiinteää punaista valoa.

Tämä saattaa aiheuttaa valojen noudattamisen, kun nähdään vaunu kaukana ja ajatellaan, että ehditään yli. Samalla kuitenkin syntyy riski, jos toisestakin suunnasta tulee samanaikaisesti vaunu, jota ei huomata. Toinen huomio oli se, että osa autoilijoista ei jatkanut matkaa, kun valot alkoivat uudelleen vilkkua, eli kun ajaminen on taas sallittua, vaan jäivät odottamaan, kunnes valo sammui. Tämä voisi viitata siihen, että valoissa toimimisen säännöt eivät ole tiedossa.

Liittymässä nopeusrajoitus muuttuu suunnasta riippuen 50 kilometristä tunnissa tai 60 kilometristä tunnissa 30 kilometriin tunnissa. Taulukossa 10 on esitetty tilanne, jossa nopeus lasketaan 60 km/h:sta 30 km/h:n ja nostetaan takaisin samaan nopeuteen 50 metrin matkalle. Tämä esittää tilannetta, joka Nekalantien rampin liittymän kohdalla on Matka nopeuden laskuun ja nostoon lasketaan tasaisesti kiihtyvän liikkeen kaavalla (1).

$$s = v_0 t + a \frac{t^2}{2}, \quad (1)$$

missä s on matka, v_0 on alkunopeus, t on kiihdytykseen kuluva aika ja a on kiihtyvyys. Kokonaismatka saadaan, kun summataan matka nopeuden laskuun ja nopeuteen sekä nopeusrajoitusalue 50 m yhteen.

Aika puolestaan saadaan jakamalla matka nopeudella. Kiihtyvyytenä käytetään suunnittelussa matkustajalle mukavaksi kokemaa $0,8 \text{ m/s}^2$.

Taulukko 10. *Nopeuden muutoksen vaikutus matka-aikaan.*

Suure	Nopeus 60 km/h	Nopeus 30 km/h
nopeus (m/s)	16,67	8,33
matka (m)	50	50
matkaan kuluva aika (s)	3	6
Suure	Arvo	
kiihtyvyys / hidastuvuus (m/s^2)	0,8	
hidastukseen kuluva aika (s) = kiihdytykseen kuluva aika (s)	10,42	
matka nopeuden laskuun = matka nopeuden nostoon (m)	130,21	
kokonaismatka (m)	310,42	
kokonaismatkaan kuluva aika nopeudella 60 km/h (s)	18,63	
kokonaismatkaan kuluva aika nopeudella 30 km/h (s)	26,83	
erotus (s)	8,21	

Taulukosta 10 huomataan, että nopeuden muutos tuo matka-aikaan noin kahdeksan sekuntia lisääaikaa.

Sammonkadun ja Kaupinkadun välisessä liittymässä havainnoitiin ajoneuvojen toimintaa liittymässä. Liittymässä tehtiin raitiotieradan yli U-käännöksiä. Kääntyminen vasemmalle liittymässä on kuitenkin sallittua. Näitä tapahtui jo 10 minuutin aikana 5 kappaletta. Havaintona myös oli, että kadun toiselle puolelle ajettiin tyhjien pysäköintipaikkojen vuoksi, joita toisella puolella ei sillä hetkellä sattunut olemaan. Myös Sammonkadun ja Tursonkadun välisessä liittymässä tehtiin yksi U-käännös. Tässä liittymässä vasemmalle kääntyminen on kiellettyä. Sammonkadun molempien ajosuuntien reunoilla on moottoriajoneuvojen pysäköintipaikkoja. Vapaiden pysäköintipaikkojen etsiminen aiheuttaa kadulla varmasti useita u-käännöksiä. Ongelmallista on, jos u-käännöksiä tehdään paikoissa, joissa vasemmalle kääntyminen on kiellettyä, koska silloin voi raitiovaunun kanssa syntyä törmäysriski, sillä valo-ohjaus ei huomio vasemmalle kääntymistä ajoneuvolla, sillä se ei ole sallittua.

Sammonkadulla tehtiin myös jalankulkuylityksiä radan yli keskeltä nurmirataa. Vaa-ratilannetta ei kuitenkaan syntynyt, kun raitiovaunua ei ollut lähellä. Raitiotien myötä joitakin suojaiteita reitin varrelta poistettiin, jotta raitiotien sujuvuutta on saatu paran-nettua.

Toinen maastohavainnointi tehtiin Insinöörinkadun ja Opiskelijankadun yhdistävän kiertoliittymän yhteydessä liikennelaskentana. Laskennassa oli tarkoituksena tark-kailla, että ajaako kiertotilaan autoja vasten raitiovaunuvaloja tai kun valot syttyvät liian myöhään. Näistä tapauksista on tullut kuljettajilta turvallisuushavaintoja. Liiken-nelaskennassa todettiin raitiovaunun ajavan kymmenen kertaa kiertoliittymän läpi. Näistä kiertotilaan ei ajanut kertaakaan yksikään ajoneuvo. Kyseiseen kiertoliitty-mään on raitiovaunulle vaihdettu liikennevalojen toimintaa parantamaan transponde-rit, joiden ansiosta raitiovaunuvalot toimivat oikea-aikaisemmin.

Tampereen raitiotien kiertoliittymiin liittyvä opinnäytetyö tehtiin vuonna 2020 aikaan, jolloin käynnissä oli käyttöönottoon liittyvät koeajot. Työssä esitellyssä selvityksessä Raitiotien ja kiertoliittymän turvallinen yhteensovittaminen (Kautiala 2018, Tammi-lehto 2020 mukaan) oli todettu, että yleisin tapa valo-ohjauksessa kiertoliittymässä on sijoittaa valo-opastimet kiertotilaan, niin että pysäytysviiva on 1,5 metrin päässä risteämiskohdasta. Valo-opastimien sijoittamisesta Tampereen tapaan ennen kierto-tilaan saapumista todetaan, että näin voidaan toimia, mikäli raitiotien risteämiskohta on lähellä tulohaaraa, liikennemäärät ovat tarpeeksi suuret tai mikäli kiertoliittymässä on riskikäyttäytymistä. Tällöin kuitenkin sujuvuus heikkenee, kun mistään suunnasta ei pääse ajamaan läpi.

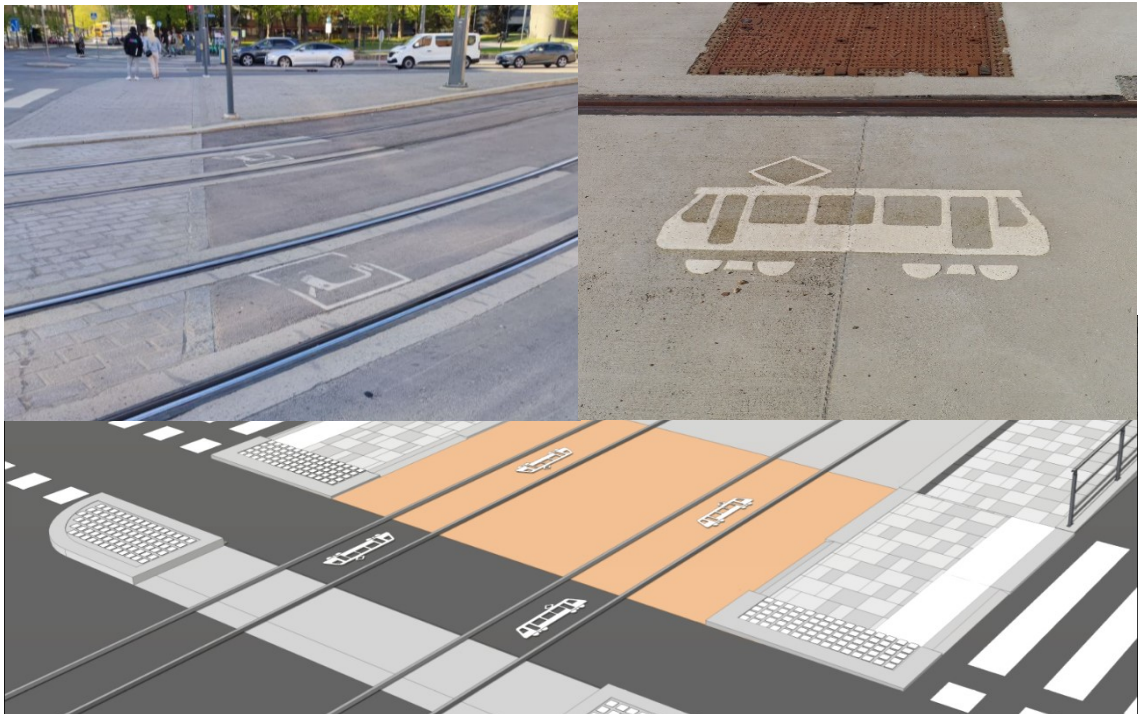
Kiertoliittymissä on huomion arvoista raitiovaunun ja polkupyörän väliset väistämis-velvollisuudet. Insinöörinkadun sekaliikennekaistalla on kiertoliittymää ennen ja jäl-keen suojaite ja pyörätien jatke, joissa raitiovaunulle on esitetty väistämisvelvollisuus merkillä B5 Väistämisvelvollisuus risteyksessä, liikenneympyrään mennessään, mutta poistuessaan ympyrästä ei pyöräilijään nähden ole väistämisvelvollisuutta ole merkillä B5 esitetty. Tieliikennelain (729/2018) 24 § koskien väistämistä velvoittaa vain ajoneuvoja, joka raitiovaunu ei ole. 24 § määrää, että ajoneuvolla on käännettä-essä väistettävä tietä ylittävää jalankulkijaa, polkupyöräilijää ja mopoiijaa poistutta-essa liikenneympyrästä. Näin ollen polkupyöräilijä ei ole väistämisvelvollinen raitio-vaunuun nähden raitiovaunun liittyessä kiertoliittymään, mutta raitiovaunun poistu-essa taas on. Moottoriajoneuvot ovat liikennemerkillä B5 ennen kiertoliittymää ja kääntyessään kiertoliittymästä väistämisvelvollisia pyöräilijään nähden.

6. RATKAISUT JA PÄÄTELMÄT

Tutkimuksesta saatiin erilaisia kehitysehdotuksia tamperelaiseen raitiotiesuunnitteluun. Tutkimuksen pohjalta tehtävät ehdotukset suunnitteluun on lihavoitu.

6.1 Jalankulun ja pyöräilyn raitiotieradan ylitykset

Tampereelta löytyy useita eri tapoja toteuttaa raitiotien ylitys jalankululle ja pyöräilylle. Pintamateriaaleissa on eroja, kuten myös siinä millaisia valo-ohjauksia on toteutettu, jos ylipäätään on toteutettu. Kirjoa eri toteutustavoille on ja käyttäjän kannalta olisi yksinkertaisempaa, jos variaatioita ei olisi niin paljon. Pohjoismaalaisissa esimerkkikohteissa ylityspaikat oli eroteltu selkeästi muusta ympäristöstä. Sen lisäksi varsinkin Lundissa ylityspaikat olivat toteutettu samannäköisiksi. Tampereella olisi hyvä pohtia **ylityspaikan merkitsemistä maahan massamerkityllä raitiovaunun kuvakkeella**. Tampereella on ajorataan massamerkintänä raitiovaunumerkkiä toteutettu vain kuvaamaan raitiovaunukaistaa autoilijoille. Käytetty kuvake on epäselkeämpi, raitiovaunua edestäpäin kuvaava, toisin kuin Tanskassa ja Ruotsissa käytetty sivustapäin raitiovaunua kuvaavaa kuvaketta.



Kuva 42. Vasemmalla ylhäällä Tampereella ajoneuvoliikennettä varoittavat raitiovaunumerkit, oikealla maalaus ylityspaikalla Lundissa ja alhaalla Raide-Jokerin suunnitelmakuva ylityspaikoille.

Kuvake vaatinee Traficomilta erillisen luvan, joten vaihtoehtoisesti myös raitiovaunusta varoittavan merkin A25 Raitiovaunu voisi tiemerkinä M19 Liikennemerkkinä maalata ylityspaikalle.

Kuten Larue & Watling (2022) totesivat, että jalankulkijoiden keskittyminen liikenteeseen on laskenut ja huomio saattaa kiinnittyä esimerkiksi matkapuhelimeen. Tämän takia maassa oleva merkintä voisi olla helpompi matkapuhelinta katsoessa huomata. Samaa huomioinnin helpottamista tukisi, jos **raitiotien ylityspaikka erottuisi pintamateriaalilla selkeästi muusta katu ympäristöstä**. Tätä tukivat niin Querreri (2018) kuin Marti et al. (2016). **Kirkkaat värit** erottuisivat paremmin kuin Tampereella käytössä olevat harmaan eri sävyt. Ylityspaikoille oli molemmissa verrokkimaissa toteutettu myös **raitiovaunuliikenteestä varoittava liikennemerkki**. Näin voitaisiin ylityspaikkaa tuoda paremmin tunnistettavaksi ja esiin väistämisvelvollisuutta raitiovaunuun nähden. Näitä merkkejä voisi olla perusteltua lisätä jo olemassa olevalle rataverkolle ja suunnitella tuleville osille raitiotietä. On kuitenkin ymmärrettävää, ettei Hämeenkadun kaltaiselle visuaalisesti näyttävään keskustaympäristöön haluta välttämättä lisätä suuria määriä liikennemerkkipylväitä. Näihin kohteisiin voisi toimia kaatuun maalattava raitiovaunukuvake. Vaikkakaan turvallisuutta ei pitäisi estetiikan nimissä sivuuttaa.



Kuva 43. Makkarajärvenkadulla ylityspaikalla on raitiovaunusta varoittava merkki A25 Raitiovaunu sekä eroteltu kulkumuodot.

Yhtenä ongelmana maahan toteutettavilla massamerkinnöillä on, että ne eivät näy lumiseen aikaan, ellei kunnossapidon taso ole viety äärimmilleen. Yhtenä ratkaisuna tähän voisi olla **maahan heijastettavat valot**. Hatanpään valtatiellä ja Kuntokadulla ollaan suojatien reunoille, ennen raitiotietä, kokeilemassa punaisen viivan heijastamista katuun, tehostamaan punaista jalankulkuvaloa. Tämän kaltaista ratkaisua voisi olla hyvä pohtia ylityspaikoille, etenkin vilkkaamilla paikoilla. Viivan sijaan esimerkiksi raitiovaunuliikenteestä varoittava merkki katuun heijastettuna voisi talviaikaan korvata aiemmin ehdotetun massamerkinnän.



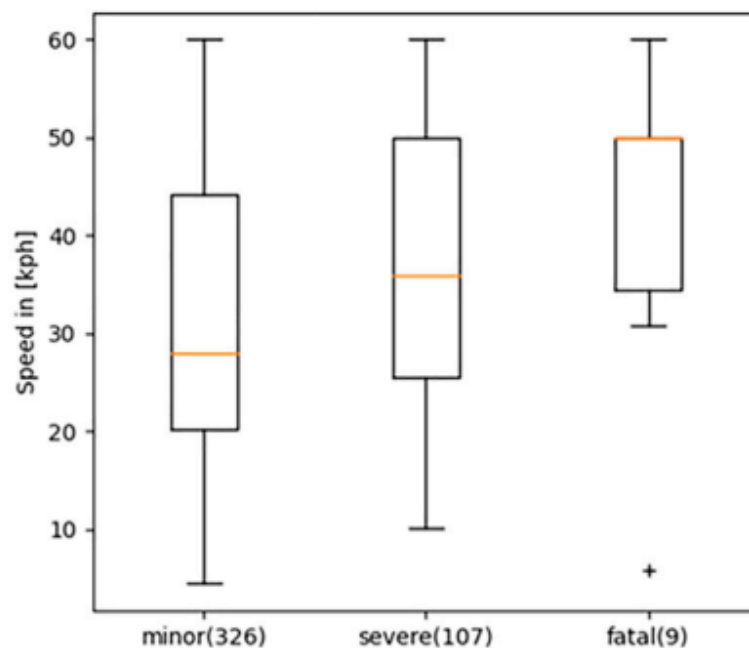
Kuva 44. Projektorivalaisimilla voidaan lumiaikaan osoittaa kulkumuotojen paikat väylällä. (Yleisradio 2020)

Oulussa ollaan pyöräteillä ja jalankulkuväylillä käytetty projektorivalaisimia heijastamaan väylää kuvaavaa merkkiä. (Oulu 2020)

Yhtenä tehokeinona raitiovaunun huomioimisen parantamiseen jalankulkijoilla ja pyöräilijöillä voisi olla **varoitusäänien käyttämisen lisääminen**. Lundissa useassa liittymässä ja etenkin kiertoliittymissä alkoi soimaan varoitusääni, kun raitiovaunu lähestyy. Tampereellakin on jo käytössä muun muassa TAYS:n alueella yhdessä ylityspaikassa VAROVA-valojen yhteydessä ääni. Paikkoihin, joissa vaaratilanteita jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden kesken sattuu, olisi hyvä harkita varoitusäänien käyttämistä. Äänimerkeissä on negatiivisena vaikutuksena mahdolliset meluongelmat radan lähellä olevissa kiinteistöissä. Rataverkolla on kuitenkin useita kohteita, joissa rakennuksiin on pidempi matka ja näihin paikkoihin varoitusääni olisi varmasti raitiovaunun huomiointia parantava tekijä. Tämä parantaisi myös näkörajoitteisien kulkua

raitiotien läheisyydessä. Myös jo niin Tampereen kuin pääkaupunkiseudun suunnitteluohjeistakin löytyvä Z-ylitys on myös toimiva keino saada ylittäjän huomio kiinnittymään paremmin molempien suuntien raitiovaunuihin.

Ylityspaikoilla ja suojiatiellä raitiotien nopeus kuitenkin ratkaisee paljon sitä, mitä tapahtuu, jos edellä esitetyt keinot eivät riitä ja konflikti syntyy. Nämä Safe System -ajattelutavankin mukaiset keinot pyrkivät vähentämään riskiä konfliktille. Kuitenkin jos konflikti pääsee syntymään, on esimerkiksi Wienissä tilastoista todettu, että lievät vammat aiheuttavat onnettomuudet olivat mediaaninopeudeltaan 28 km/h ja vakavat 36 km/h. Kuolemaan johtavien onnettomuuksien mediaaninopeus raitiovaunulla oli 50 km/h. Kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa nopeus oli jokaisessa tapauksessa yli 30 km/h.



Kuva 45. Kuolemien ja vakavien onnettomuuksien mahdollisuus on pieni, kun nopeus on 30 km/h tai alle. (Lackner et al. 2022)

Tämä tukisi sitä, että etenkin valo-ohjaamattomissa ylityskohtissa tulisi vahvasti harjoittaa nopeusrajoituksen maksimina 30 km/h nopeusrajoitusta raitiotielle. Etenkin jos halutaan päästä nollavision mukaisiin tavoitteisiin. Tampereen raitiotien suunnitteluohjeen mukaan tasoristeämissä suurin nopeusrajoitus on 40 km/h. Ohjeen turvallisuusluokittelun mukaan hyväksi ratkaisuksi valo-ohjaamattomalla ylityspaikalla on 20 km/h nopeusrajoitus ja suojiatiellä 30 km/h. Kuitenkin valo-ohjauksen kanssa niin ylityspaikka ja suojiatie ovat vielä 40 km/h nopeudella hyviä turvallisuudeltaan. Kun esimerkiksi Kruszynan & Rychlewskin (2012) mukaan liikennevaloja ei noudateta

aina pysäkillä kiirehtimisen vuoksi olisi Safe System -ajattelutavan mukaista pitää **myös valo-ohjatuilla suojateilla ja ylityspaikoilla nopeusrajoitus korkeintaan 30 kilometrissä tunnissa**, kun kuolemaan johtaneissa tapauksissa on nopeus ollut Lackner et al. 2022 laajan tutkimuksen tapauksessa aina yli 30 km/h. Pyöräliikenteen osalta Väyläviraston suunnitteluohje suosittelee myös valo-ohjaamattomille risteämille korkeintaan 30 kilometrin tuntinopeutta. (Väylävirasto 2020)

Pyöräliikenteen ylityspaikoista todetaan Tampereen raitiotien suunnitteluohjeessa, että pyöräilyn ”ajolinjat ovat mahdollisimman suorat ja kohtisuorassa raiteisiin nähden” (Tampereen Raitiotie Oy 2021b). Ajolinjojen suoruus on pyöräilijän mukavuustekijä, eikä tällöin esimerkiksi nopeutta tarvitse laskea. Riskipaikoissa kuitenkin pyöräilijän nopeutta voi olla tarpeen laskea, jotta raitiovaunun huomioimiseen ja reagoimiseen jää pyöräilijälle aikaa. Suunnitteluohje ei myöskään ota kantaa, mitä mahdollisimman kohtisuora tarkoittaa. Helsingin pyöräilyn suunnitteluohje käyttää miinimiarvona 45 astetta (Helsingin kaupunki 2018), Väyläviraston ohje puolestaan vähintään 60 astetta (Väylävirasto 2020). Turvallisin kulma olisi aina 90 astetta, jolloin pyörän ajautuminen kiskon väliin on epätodennäköisintä.



Kuva 46. Ylityspaikalla kiskon kulma väylään nähden on pyöräilyn kannalta huono. Myös visuaalisesti raitiotieylitys voisi olla paremmin huomattavissa.

Tampereen suunnitteluohjeeseen olisi hyvä määritellä myös minimiarvo pyörätien kulmasta.

Raitiotien pyörätieylityksissä olisi hyvä korostaa väistämisvelvollisuutta värein, tiemaalauksien avulla sekä mahdollisesti varoitusmerkein. Jos pyörätie ennen ylitystä puna-asfaltilla, olisi ylitys hyvä olla harmaan väristä Raide-Jokerin ja Odensen esimerkin mukaisesti, mikäli pyöräilijä on väistämisvelvollinen. Jos pyöräilijällä on etuajo-oikeus, tulisi puna-asfalttia jatkaa myös raitiotien ylitse. Tällainen tilanne olisi lähinnä, jos raitiovaunu esitettäisiin väistämisvelvolliseksi kiertoliittymässä niin liittyessään kuin poistuessaan.

6.2 Kiertoliittymän turvallinen toteuttaminen raitiotiehen

Myöskin kiertoliittymässä tai kuten tieliikennelaki määrittelee, liikenneympyrässä, väistämisvelvollisuudet raitiovaunun ja polkupyöräilijän suhteen ovat epäloogiset. Jos kiertoliittymässä ei ole raitiotietä, tietää polkupyöräilijä, että kääntyvät ajoneuvot eli kiertotilasta poistuvat ja merkin B5 takaa tulevat eli kiertotilaan liittyvät ovat pyörätien jatkeella kulkevaan pyöräilijään väistämisvelvollisia. Myös raitiovaunu liittyy kiertotilaan merkin B5 takaa, mutta poistuessaan kiertoliittymästä, ei raitiovaunu ole väistämisvelvollinen ns. kääntyessään pois kiertoliittymästä, sillä kääntymiseen liittyvä väistämisvelvollisuus ei koske raitiovaunua, joka ei ole ajoneuvo. Nykyisillä merkinnöillä tämä voi luoda pyöräilijöille vaaratilanteita, jos luulee, että raitiovaunu on ko. tilanteessa väistämisvelvollinen, kuten ajoneuvot. Tätä asiaa on kuitenkin viestitty Tampereella raitiovaunun kuljettajille, että näissä tapauksissa kuljettajien tulee olla varuillaan. Jos asiaa haluisi lainsäädännöllä ratkoa, olisi kirjaus, jossa kiertoliittymästä poistuva olisi sitä seuraavaan pyörätien jatkeeseen väistämisvelvollinen riippumatta onko kyseessä ajoneuvo vai raitiovaunu. Toinen vaihtoehto ratkaista tilannetta olisi valo-ohjauksen lisääminen myös jalankululle ja pyöräilylle kiertoliittymiin, joissa on raitiotie. Vaihtoehtoisesti myös merkin B5 lisääminen niin, että se tekisi raitiovaunusta väistämisvelvollisen pyöräilijään nähden kiertoliittymästä poistuessaan, olisi yksi ratkaisu.

Vaihtoehtoisesti kiertoliittymissä voitaisiin miettiä toisenlaista liikennevalo-ohjausta kuten Lundissa ja Raide-Jokerissa on toteutettu. Raitiovaunun kuljettajat ovat raportoineet kahdenlaista ongelmaa moottoriajoneuvojen kuljettajien käyttäytymisestä kiertoliittymissä. Ensinnäkin raitiovaunuvaloja ei tunnuta noudatettavan yhtä tunnol-

lisesti kuin tavallisia liikennevaloja. Tästä on havaintoja niin Tampereelta, kuin Helsingin kantakaupungistakin (Tammilehto 2020). Toisekseen valojen koetaan olevan liian kaukana kiertotilasta ja että ne syttyvät liian myöhään, jolloin autoilija ei ehdi reagoimaan niihin.

Yhtenä vaihtoehtona olisi siirtää liikennevalot kiertotilaan. Silloin valojen toiminnalle ja niihin reagointiin jäisi enemmän aikaa. Hervannassa raitiovaunu voi lähteä pysähdyksistä pysäkiltä kohti lähellä olevaa kiertoliittymää, jolloin liikennevalojen toiminnalle ei jää montaa sekuntia aikaa. Sekaliikennekaistalla kulkeva raitiotie tekee väistämivelvollisuuksista ja etenkin jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden valo-ohjauksen järjestämisestä vaikeaa, ellei mahdotonta. Myös Lundin ja Raide-Jokerin esimerkin mukaisia kaksiaukkoisia valoja voitaisiin pohtia, sillä ne muistuttavat enemmän tavallisia ajoneuvoliikenteessä käytettyjä liikennevaloja, joten niitä voitaisiin mahdollisesti noudattaa paremmin.

Kiertoliittymissä ei Tampereella ole toistaiseksi sattunut montaa törmäystä. Kuitenkin vaaratilanteista tulee säännöllisesti raportointia kuljettajilta. Kiertoliittymät ovat Ranskassa puolestaan suurin onnettomuuksia aiheuttava liittymätyyppi. (Ranskan ekologisuus-, kestävä kehitys- ja energiaministeriö, 2016)

Vaaratilanteiden määrästä ja liikennevalo-ohjauksen vaikeudesta johtuen onkin vaikea sanoa, onko kiertoliittymää turvallista toteuttaa raitiotielle.

6.3 Risteäminen moottoriajoneuvoliikenteen kanssa

Merkittävimmäksi riskitekijäksi on useassa tutkimuksessa ja myös käytännön kokemusten kautta niin Tampereella, kuin Odensessakin todettu tilanteet, jossa raitiotie kulkee ajoradan suuntaisesti ajoradan vieressä ja tämän jälkeen on mahdollisuus kääntyä radan yli. Riski korostuu etenkin, kun ajoneuvo kääntyy vasempaan suuntaan. Vasemmalle kääntyessään ajoneuvon kuljettaja on vaarallisessa asemassa, sillä takaviistosta tuleva raitiovaunu osuu suurella todennäköisyydellä lähelle kuljettajan ovea. Kuten Querreri (2018) ja Marti et al. (2016) totesivat, että vaikka vasemmalle kääntyminen on kiellettyä, saatetaan kieltoa silti uhmata ja se saattaa jäädä huomaamatta ja kääntyä, jos sitä rakenteellisesti ei estetä. Puolestaan jos käännös on sallittua, saatetaan liikennevalo sekoittaa suoraan menevien valoihin tai rikotaan tarkoituksen mukaisesti sääntöjä ja ajetaan välittämättä punaisesta valosta. Näistä syistä ko. **risteämisiä, joissa käännetään vasemmalle raitiotien yli, tulisi välttää.**



Kuva 47. Kääntymiskieltomerkin lisäksi kääntyminen on estetty pollarein Sveitsissä. (Marti et al. 2016)

Pienentämällä altistusta vasemmalle kääntymistilanteiden osalta saadaan törmäyksen riskiä pienennettyä. Huonoin tilanne on, jos risteämässä ei syystä tai toisesta ole liikennevalo-ohjausta. Tällainen kohde Tampereella on esimerkiksi Hatanpään valtiolla Sorin aukiolta Hämeenkadun suuntaan, jossa on mahdollista kääntyä vasemmalle raitiotien yli kiinteistön pihaan. Vasemmalle kääntymistä varten **ajorata tulisi linjata niin, että ajorata olisi mahdollisimman aikaisin ennen raitiotie kiskoja kohtisuorassa rataa päin**. Paikoissa, joissa raitiotietä risteten on mahdollista kääntyä, olisi **raitiotien hyvä erottua pintamateriaaliratkaisuun selkeästi muusta katu ympäristöstä**. Tässä oli onnistuttu etenkin Lundissa, mutta myös Odensessa, vaikkakin Odensessa oli kolareita em. tilanteissa sattunutkin. Myös tutkimuksissa raitiotien erottumista muusta ympäristöstä tuodaan esiin keinona turvallisuuden parantamiseksi ja onnettomuuksien välttämiseksi (Querreri 2018). Materiaalierottelulla saataisiin kuljettajan huomio paremmin kiinnittymään raitiotiehen. Tampereella materiaalierottelua liittymäalueella ei ole käytetty, vaan pinnoite on samaa kuin ympäröivällä katu ympäristöllä. Materiaalierottelu olisi myös Safe System -periaatteen mukaista, sillä jos liikennevalo tai kieltomerkki jää huomaamatta tai tulee väärin tulkituksi, voisi erottuva väri tuoda huomion kuljettajalle olla varuillaan ja mahdollisesti välttää yhteentörmäyksen. Rautatiellä **tasoristeyksissä** käytetään myös **varoitusta**. Asutusalueen ulkopuolella tätä voisi myös pohtia riskialueilla. Myös reunakivilinjalla voidaan ohjata ja viestiä oikeasta ajosuunnasta. Hervannassa esimerkiksi joukkoliikennekadulle kääntymistä on pyritty estämään tekemällä reunakivilinja

teräväksi. Liittymissä, joissa on kääntymiskielto, tulisikin reunakivilinjojen nurkat olla teräväreunaisia.

Aarhusissa oli käytetty **puomeja tasoristeyksissä**. Tällä voidaan raitiotien ja ajoradan risteäminen toteuttaa suuremmalla raitiovaunun nopeusrajoituksella. Tampereella on ollut tavoitteena matka-ajan lyhentäminen, joten joihinkin risteämispaikkoihin puomien toteuttamisella voitaisiin nopeusrajoitusta raitiovaunulle nostaa nykyisestä esimerkiksi 30 km/h:sta tai 40 km/h:sta suurempiin nopeuksiin. Puomien toteuttamista on selvitetty toteutettavaksi Tampereella Nekalantien ja Hervannan valtaväylän väliseen ramppiin, jossa tämän työn puitteissa tehtiin havainnointia ja todistettiin valojen noudattamattomuutta. Selvityksessä ei ollut kuultu Aarhusin kokemuksia ja niitä voisi olla tarpeen selvittää lisää, jos puomeja ko. paikkaan haluttaisiin miettiä uudestaan. Kyseisessä risteämässä nopeus muuttuu 60 kilometristä tunnissa 30 kilometriin. Tuo pudotus tuo matka-aikaan lisää n. 8 sekuntia verrattuna, jos nopeutta ei pudotettaisi. Tekemällä infrastruktuuria turvallisempaan suuntaan edellä mainituin keinoin, olisi matka-aikaakin mahdollista lyhentää hieman suuremmilla nopeusrajoituksilla ajoneuvoliittymissä, varsinkin kun kohteita rataverkolla on useita.

Vasemmalle kääntymistä saattaa lisätä tarve mennä toiselle puolelle raitiotierataa pysäköintipaikan perässä. Raitiotien toteuttamisen yhteydessä reitin varrelta poistui paljon kadunvarsipysäköintipaikkoja, joka saattaa näkyä siinä, että paikkaa joudutaan etsimään toiselta puolen rataa. Tämä ei välttämättä ole riski raitiovaunun kanssa yhteentörmäykselle, mutta jos liikennevalo-ohjaus ei huomio u-käännöstä voi riski olla toisen puolen suojatien käyttäjälle ajoradan yli. Mikäli U-käännöksiä tehdään sääntöjen vastaisesti, on riski takaa tulevan vaunun huomaamatta jättämiselle olemassa ja tätä kautta syntyy törmäysriski. Tämä on yksi näkökulma, joka olisi hyvä ottaa huomioon suunnittelussa.

Raitiovaunuvalojen kokemuksina niin Tampereella kuin Helsingissäkin on, että niiden noudattaminen on huonommalla tasolla kuin normaalien liikennevalojen. Ilmiön ovat todenneet, niin Tampereen kuin Helsingin raitiovaunukuljettajat sekä Tammilehdon (2020) kiertoliittymiä koskeneessa opinnäytetyössä haastateltu asiantuntija Lauri Kangas. Tampereella on sattunut muutamia onnettomuuksia liittymissä, joissa on raitiovaunuvaloin toteutettu liikennevalo-ohjaus. **Raitiovaunuvalojen suunnittelua jatkovaiheisiin kannattaa mielestäni harkita suurella varauksella, sillä kokemukset käytöstä eivät ole olleet hyviä.**

6.4 Lainsäädäntö ja suunnitteluohjeet

Tieliikennelaki ei ole erikseen määritellyt ylityspaikkaa ja siinä toimimista. Raitiotiejärjestelmissä niitä toteutetaan ajoradan ja raitiotien ylityksiin aiempaa enemmän (Helsinki 2020) Laki toteaa ylittämistä vain, että ajorata tai raitiotie on ylitettävä tasossa suojatietä kulkien tai muussa tapauksessa kohtisuoraan ja risteuksen vierestä, jos sellainen on lähellä, noudattaen varovaisuutta, jota lähestyvän ajoneuvon tai raitiovaunun etäisyys ja nopeus edellyttävät ja ylitettävä ajorata tarpeettomasti viivyttelemättä. Laki ei ohjeista ylittämään ajorataa tai raitiotietä ylityspaikan kohdalta, jos sellainen on määritelty. Voisi olla hyvä pohtia, josko tieliikennelakiin olisi tarve kirjata ylityspaikan käytöstä ja sen väistämissäännöistä tarkemmin lakiin. Toiveena raitiotien suunnittelussa kuitenkin varmasti on ollut, että ylitys radan yli tapahtuu ylityspaikalla eikä mistä tahansa kohdasta. Tämä on varmasti myös raitiovaunukuljettajan toive, ettei ihmisiä kulje jokaisesta mahdollisesta paikasta yli, vaan tunnetuista paikoista. Kun Tampereen kaupungin teettämässä kyselyssä (Tampere 2022) on todettu, että osalla ihmisistä on niihin liittyen vajavaiset tiedot, voisi lakiin kirjaaminen edesauttaa toimimista ylityspaikoilla.

Suomen lainsäädäntö ei ota suuresti kantaa raitiotien nopeusrajoitukseen. Tanskan lainsäädännössä on erillinen maininta, että ajoradan viereisellä raitiotiellä voi olla korkeampi nopeusrajoitus, kunhan se on turvallisesti mahdollista toteuttaa. Jos nopeaa joukkoliikennemuotoa halutaan lainsäätäjän puolesta tukea, voisi olla perusteltua lainkirjaus asiasta saada, jotta tätä uskallettaisiin soveltaa.

Tampereen suunnitteluohjeen yhtenä huomiona on, että ohje ei välttämättä sido suunnittelijaa tarpeeksi. Ohjeistukset sisältävät termejä, kuten ”pääsääntöisesti”, ”lähtökohtaisesti” tai ”tulee pyrkiä”, jotka jättävät mahdollisuuden myös ohjeesta poikkeavaan ratkaisuun. Näitä tulisi vähentää ja kirjoittaa sitovampia ohjeistuksia. Jos ohjeistuksista olisi tarve poiketa, tulisi sille olla oma prosessinsa, jolla esimerkiksi turvallisuus varmistetaan.

Mikäli tutkimuksessa esitetyjä turvallisuuden parantamiskeinoja päätetään ottaa käyttöön esimerkiksi Tampereen raitiotien jatkohaarojen suunnitteluun johdonmukaisesti, tulee ne kirjata myös suunnitteluohjeeseen.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Raitiotien ylitykset jalankululle ja pyöräilylle ovat pääsääntöisesti ylityspaikkoja, jotta raitioliikenteen matka-aika saadaan pidettyä lähellä vakiota. Ylityspaikan tulisi olla erilainen suojatiehen verrattuna, jotta siinä toimiminenkin osataan erottaa. Etenkin kun ylityspaikat ovat uusi ylitysmuoto kaupungeissa ja niissä toimiminen on vielä osittain tuntematonta. Erottumista voidaan tukea pintamateriaaliratkaisuilla, liikenne-merkein ja maalauksin. Valo-ohjaamattomien ylityspaikkojen ja suojateiden kohdalla raitiotien nopeusrajoitus tulee olla matala, sillä nopeuden kasvaessa onnettomuuksien vakavuus kasvaa. Myös Safe System -ajattelun mukaisesti liikennevalo-ohjatuissa liittymissä raitiovaunun nopeuden pitämistä matalana voidaan pitää perusteltuna.

Ajoneuvoristeämissä turvallisinta on, että ajoneuvo on ennen risteämää mahdollisimman kohtisuorassa raitiotiehen nähden, jotta ajoneuvon kuljettaja voi havainnoida molempia raitiotien suuntia. Raitiovaunuvalojen noudattamisen taso on koettu huonoksi, joten täydellinen liikennevalo-ohjaus on kannatettavampi. Myös Lundissa ja Raide-Jokerilla käytettyjä kaksiaukkoisia opastimia voisi harkita Tampereelle. Ajoneuvojen kanssa sattuu eniten törmäyksiä, mutta niissä syntyy lähinnä omaisuusvahinkoja, joten onkin perusteltua pohtia, kuinka paljon näiden risteämisten nopeusrajoituksia halutaan pitää matalana, kun raitiotien matka-aika halutaan pitää kilpailukyisenä.

Kirjallisuustutkimuksesta selvisi, että vakavimmat onnettomuudet sattuvat ns. suojattomien liikennemuotojen eli jalankulun ja pyöräilyn kanssa. Syitä onnettomuuksiin on monia, mutta huomion puute on usein syynä. Raitiotiehen liittyvissä polkupyöräonnettomuuksissa renkaan ajautuminen kiskouraan aiheuttaa usein onnettomuuksia. Ajoneuvoliikenteessä ongelmallisimpia liittymiä ovat ne, joissa ajoneuvo kulkee samansuuntaisesti raitiotien kanssa ja ajoneuvokuljettajalla on mahdollisuus kääntyä radan yli vasemmalle.

Tanskassa ja Ruotsin Lundissa oli hyviä käytäntöjä, joita voisi pohtia toteutettavaksi Tampereen raitiotiejärjestelmään. Lundissa raitiotien ylityspaikat olivat visuaalisesti tunnistettavia ja erottuivat ympäröivästä katuympäristöstä. Kadun maalaukset sekä varoitusmerkit olisi helposti toteutettavissa Tampereen raitiotielle. Odensessa raitio-

tie on eroteltu muusta liikenteestä selkeästi erivärisellä pintamateriaalilla. Myös Lunnissa pintamateriaalierottelu on toteutettu hyvin ajoneuvoliittymissä. Aarhusissa toteutettuja puomillisia tasoristeyksiä voisi myös pohtia Tampereelle haastaviin ajoneuvoliittymiin kuten Nekalantien ja Hervannan valtaväylän liittymän ramppiin. Myös varoitussäänien lisäämistä riskikohteisiin niin ajoneuvoliikenteen kuin jalankulun ja pyöräilyn ylityskohtiinkin olisi kannattavaa harkita.

Suomen tieliikennelaki ei kiellä eikä ota kantaa, voiko raitiotien nopeusrajoitus olla viereistä ajorataa suurempi. Tanskan liikennelaki vastaavasti toteaa tämän selkeästi ja Odensessa tätä oli myös sovellettu. Tieliikennelaki tekee myös kiertoliittymien yhteydessä olevien pyörätien jatkeiden väistämissäännöistä epäloogiset nykykäytännön mukaisilla liikennemerkkiratkaisuilla. Ylityspaikkaa ei lainsäädännössä mainita. Laissa voisi kuitenkin olla perusteltua määrätä, että ylityspaikkaa tulisi käyttää, jos sellainen on lähellä. Samalla voisi esittää, että ylittäjä on väistämisvelvollinen.

Verrokkikohteeseen Odenseen verrattuna vaaratilanteita Tampereella on ollut kuitenkin vähän. Liikenneturvallisuuksutilanne Tampereen raitiotiellä on hyvä ja vakavammilta tilanteilta on pitkälti toistaiseksi vältytty, joten risteämissuunnitelmien turvallisuusnäkökulmasta kohtuullisella tasolla.

Päätutkimuskysymyksenä oli määrittää, mitkä ovat raitiotien turvallisimmat risteämissuunnitelmien ratkaisut. Turvallinen risteäminen raitiotien kanssa on liikennevalo-ohjattu täydellisellä liikennevalo-ohjauksella. Se on visuaalisesti erottuva ja nopeusrajoitukseltaan matala, varsinkin jos risteämä on suojattomien liikennemuotojen kanssa.

Alakysymyksiä kysyttiin:

1. Mitä lainsäädäntö mahdollistaa ja miten lainsäädäntöä tulisi tarkastaa?

Lainsäädäntö mahdollistaa hyvin raitiotien turvallisen toteuttamisen, mutta se voisi vaatia käyttämään ylityspaikkaa, mikäli sellainen on. Kiertoliittymätoteutus on lainsäädännön osalta epälooginen.

2. Mitä ovat parhaat turvallisuusratkaisut erilaisissa liikenneympäristöissä?

Pikaraitiotiemaisemmassa liikenneympäristössä puomien, varoitussäänien ja sivuttaissiirtymien käyttäminen on kannatettavaa. Ajoneuvoristeämät tulisi toteuttaa niin, että ajoneuvo tulee radan yli mahdollisimman kohtisuoraan hyvin ennen radan kanssa risteämistä. Liikennevalo-ohjausta on hyvä pyrkiä suosimaan ja jos esim. keskustamaisemalla ympäristöllä sitä ei haluta, tulee ylitys erottua visuaalisesti muusta kaupungista.

3. Mitkä ovat turvallisuuden kannalta parhaat kansainväliset käytännöt tuotavaksi Tampereen järjestelmään?

Parhaina käytäntöinä verrokkikohteista on yhtenevät ratkaisut risteämiskohdissa, visuaalisesti muusta liikenneympäristöstä erottuva raitiotie. Myös varoitussäänien laajempi käyttö sekä puomilliset tasoristeykset ovat myös hyviä käytäntöjä tuotavaksi Tampereelle.

Jatkotutkimuskohteena voisi raitiovaunuvalojen noudattamista tutkia laajemmin useammassa kohteessa. Myös syvempi perehtyminen liikennevalojen ohjelmointiin voisi olla tarpeen Tampereella. Onko esimerkiksi pysäkillä jalankulkua ohjaavien liikennevalojen ohjaus toteutettu niin, että se tukee raitiovaunuun ehtimistä eikä ohjaa vaarallisiin ylityksiin. Maastohavaintoja olisi hyvä tehdä laajemmin ja pidempikestoisesti, jotta data olisi luotettavampaa. Raide-Jokerin kokemuksiin olisi tulevaisuudessa myös hyvä verrata, kun liikennöintiä on ollut jonkin aikaa käynnissä. Raide-Jokerin ylitysratkaisuissa ja kiertoliittymäratkaisuuissa oli eroa Tampereen toteutuksiin ja kokemuksia niiden toiminnasta olisi hyvä verrata Tampereen ratkaisuihin. Myös ylityspaikoista lisätutkimus olisi varmasti tarpeen. Miten niissä toimiminen kehittyy, kun ratkaisut tulevat käyttäjille tutuksi. Mikäli Tampereella päätetään tehdä muutoksia ratkaisuihin ja suunnitteluohjeistukseen, niin olisi niiden vaikutusta tilastoihin hyvä tarkastella, ettei esimerkiksi viedä liikenneturvallisuustilannetta väärään suuntaan, korjata jo toimivaa. Autoteollisuudessa viime vuosina lisääntyneiden kuljettajaa avustavien järjestelmien käyttäminen myös raitiovaunuissa on varmasti myös vaikuttamassa tulevaisuudessa risteämäturvallisuuteen ja on hyvä jatkotutkimuskohde.

LÄHTEET

- Aalto-yliopisto (2021). Opinnäytetyön rakenne: kirjallisuustutkimus, Aalto MyCourses, verkkosivu. Saatavissa: <https://mycourses.aalto.fi/mod/book/view.php?id=688064&chapterid=5302&lang=fi>.
- Aamulehti (2019). Moro läpivalaisi ratikan– Kuljettaja voi levittää lisää hiekkaa liukkailla raiteilla, hiekkalaatikko löytyy penkkien alta! Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.9.2022): <https://www.aamulehti.fi/moro/art-2000007428619.html>.
- Ahlroth J., Pöllänen M. (2011). Liikenneturvallisuus Opetusmoniste, Tampereen teknillinen yliopisto. Liikenteen tutkimuskeskus Verne Tampere. Saatavissa: <https://docplayer.fi/2018289-Jenni-ahlroth-markus-pollanen-liikenneturvallisuus-opetusmoniste.html>.
- Ahokas M., Asikainen E., Heliste L., Immonen E., Johansson S., Kolinen L., Rekola M., Starck M., Suomento J., (2022). Liikenneturvallisuusstrategia 2022–2026, Liikenneviestintäministeriö, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:3 116 s. Saatavissa (viitattu 5.11.2022): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-746-4>.
- Budzyński M., Szmagliński J., Jamroz K., Birr K., Grulkowski S., Wachnicka J. (2019). Assessing tram infrastructure safety using the example of the city of Gdańsk, *Journal of KONBiN*, Volume 49, Issue 3, s. 293-322. Saatavissa (viitattu
- Castanier C., Paran F., Delhomme P. (2012). Risk of crashing with a tram: Perceptions of pedestrians, cyclists, and motorists, *French Institute of Science and Technology for Transport, Transportation Research Part F* 15, s. 387–394. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.03.001>.
- Chevalier, M., Brizard D., & Beillas B., (2019). Study of the possible relationships between tramway front-end geometry and pedestrian injury risk, *Traffic Injury Prevention*, 20:1, s. 107-113, Saatavissa (viitattu 21.11.2022): <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1536823>
- Færdselsloven (2021). LBK nr 1710 af 13/08/2021. Saatavissa: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2021/1710>.
- Hedelin, A., Björnstig, U. & Brismar, B. (1996). Trams a risk factor for pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 28(6), s. 733-738.
- Guerrieri M. (2018). Tramways in Urban Areas: An Overview on Safety at Road Intersections, *Urban Rail Transit*, s. 223–233. Saatavissa: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40864-018-0093-5.pdf>.
- Helsinki (2018). Pyöräliikenteen suunnitteluohje, Kaupunkiympäristön toimiala. Saatavissa: <https://pyoraliikenne.fi/>
- Helsinki (2020). Raitioteiden pysäkkeihin ja jalankulun ylityspaikkoihin suunnitellaan muutoksia – mitä mieltä olet? Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.8.2022): <https://kerrokantasi.hel.fi/ratikkamuutokset>.
- Hyvärinen M., Suoninen, E. Vuori, J. (2022). Haastattelut, Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja, Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa (viitattu

23.11.2022): <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>

Juhila K. (2022a) Laadullinen tutkimus ja teoria, Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja, Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa (viitattu 23.11.2022): <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/laadullinen-tutkimus-ja-teoria/>.

Juhila K. (2022b) Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteet, Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja, Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa (viitattu 23.11.2022): <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/laadullisen-tutkimuksen-ominaispiirteet/>.

Jyväskylän yliopisto (2021) Monimenetelmäisyys, Koppa. Saatavissa: (viitattu 22.11.2022): <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/monimenetelmäisyys>.

Kaupunkiliikenne Oy (2018). Raitioteiden suunnitteluohje, Saatavissa: https://www.e-julkaisu.fi/hkl/raitoteiden_suunnitteluohje/mobile.html#pid=2.

Kaupunkiliikenne Oy (2022a). Raitioteiden suunnitteluohje – luonnos. Saatavissa: <https://raitiotieohje.fi/>

Kaupunkiliikenne Oy (2022b). Raitiotien sijainti kadulla ja liittymissä, Raitioteiden suunnitteluohje. Saatavissa: <https://raitiotieohje.fi/5-sijainti-kadulla-ja-liittymissa/>.

Kautiala, C. (2018). Raitiotien ja kiertoliittymän turvallinen yhteensovittaminen. Julkaisematon

Keolis Danmark A/S (2022). Törmäykse ja läheltä piti -tilanteet – tilastoja aikaväliltä toukokuu 2022 – elokuu 2022. Julkaisematon.

Lackner, C., Heinzl, P., Rizzi, M.C., Leo, C., Schachner, M., Pokomy, P., Klager, P., Buetzer, D., Elvik, R., Linder, A., Klug, C. (2022). Tram to Pedestrian Collisions - Priorities and Potentials. *Frontiers in Future Transportation*. Saatavissa: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffutr.2022.913887/full>

Laki liikenteen palveluista (2017) L 24.5.2017/320. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170320>.

Larue G. S., Watling C. N., (2021). Prevalence and dynamics of distracted pedestrian behaviour at railway level crossings: Emerging issues, Queensland University of Technology (QUT), Centre for Accident Research and Road Safety – Queensland (CARRS-Q), Australia. *Accident Analysis and Prevention* 165 (2022) 106508. Saatavissa (viitattu 21.11.2022): <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106508>.

Le, B., Figueroa, C., Anderson, C., Lotfipour, S., Barrios, C., (2019). Determining the incidence of distraction among trauma patients in all modes of transportation. *J Trauma Acute Care Surg* 87 (1), pp 87–91. Saatavissa (viitattu 14.11.2022): <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002293>.

Leinonen R. (2018) Sisällönanalyysi, Spoken, verkkosivu. Saatavissa: <https://spoken.fi/sisallönanalyysi/>.

Lunds Kommun (2022a). Spårväg Lund C till ESS, verkkosivu. Saatavissa: <https://lund.se/stadsutveckling-och-trafik/kollektivtrafik/sparvag-lund-c-till-ess>.

Lunds Kommun (2022b). Säker spårväg, verkkosivu. Saatavissa: <https://lund.se/stad-sutveckling-och-trafik/kollektivtrafik/saker-sparvag>.

Maempel J.F., Mackenzie S. P., Stirling P.H.C., McCann C., Oliver C.W., White T.O. (2018) Tram system related cycling injuries, Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, s. 643-650. Saatavissa (viitattu 13.6.2022): <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2890-4>.

Marti, C.M., Kupferschmid, J., Schwertner, M., Nash, A., Weidmann, U. (2016). Tram Safety in Mixed Traffic - Best Practices from Switzerland. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, s. 125-137. Saatavissa: <https://journals-sagepub-com.libproxy.tuni.fi/doi/abs/10.3141/2540-14>

Meltwater (2021). Competitor benchmarking – vertailuanalyysi kyseenalaistaa omaa toimintaa ja opettaa toisilta, verkkosivu. Saatavissa: <https://www.meltwater.com/fi/blog/competitor-benchmarking-eli-vertailuanalyysi>.

Møller A. D. (2022). Turvallisuuspäällikkö, Keolis Danmark A/S Haastattelu, 29.9.2022.

Nilsson, G. 2004. Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. Lund: Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society.

Nykyri T. (2022). Yleisradio, Valokuva. Saatavissa (haettu 6.8.2022): <https://yle.fi/uutiset/3-12300682>

Odense Letbane (2022). Sporvideo i fuld længde video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=YnsiAS3A02U>

Oulu (2020). Projektorivalaisimia Linnanmaan baanalle, verkkosivu. Saatavissa: https://www.ouka.fi/oulu/kadut-kartat-ja-liikenne/ajankohtaista/-/asset_publisher/2fVr/content/projektorivalaisimia-linnanmaan-baanalle/50266_

Pulugurtha S. S., Srirangam L. P. (2021). Pedestrian safety at intersections near light rail transit stations. Public Transport (2022) 14: pp. 583–608 Saatavissa (viitattu 21.11.2022): <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00276-y>.

Raideliikennelaki (2018). L 28.12.2018/1302. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20181302>.

Raideliikennevastuulaki (1999) L 5.2.1999/113. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990113>.

Raide-Jokeri (2021). Ylityspaikat sujuvoittavat kaikkea liikennettä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.11.2022): <https://raidejokeri.info/ylityspaikat-sujuvoittavat-kaikeeliikennetta/>

Raide-Jokeri (2022). Mikä Raide-Jokeri, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.8.2022): <https://raidejokeri.info/mika-raide-jokeri/>.

Raitiotieallianssi (2017). Ratikkasanakirja, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.10.2022): <https://raitiotieallianssi.fi/ratikkasanakirja/>.

Romu M. (2019). Tieturvallisuusarviointien vaikuttavuus: Yleisimpien havaintojen tarkastelu ja vaikuttavuuden merkittävyyden arviointi, Hämeen ammattikorkeakoulu, 96 s.

Saatavissa (viitattu 9.11.2022): https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/261859/Romu_Mikko.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Saaranen-Kauppinen A., Puusniekka A. (2006). KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto Saatavissa (viitattu 14.5.2022): <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>.

Saari U. (2019). Planning and design implications from traffic safety evaluation for tramway systems, Aalto University, s. 25-26. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/37170>.

Sane K. (2014a). VAROVA – kiskoylitysvaivat, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2022): <http://www.liikennevalot.info/tieto/varova.shtml>.

Sane K. (2014b). OIVA - osittaiset liikennevalot, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2022): <http://www.liikennevalot.info/tieto/oiva.shtml>.

STRMTG. (2016) Accidentology of tramways - Analysis of reported events. 44 s. Saatavissa (viitattu: 4.8.2022): http://www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr/en/IMG/pdf/accidentology_of_tramways_-_analysis_of_reported_events2014.pdf.

Tammilehto S. (2020). Raitiotie ja kiertoliittymät, Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343019/Tammilehto_Suvi.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Tampere (2022). Hämeenkadun ylityspaikoista kerättiin kokemuksia, verkkosivu. Saatavissa: <https://www.tampere.fi/ajankohtaista/2022/06/20/hameenkadun-ylityspaikoista-kerattiin-kokemuksia>

Tampereen Raitiotie Oy (2020a) Tampereen raitiotien suunnitteluohje. Saatavissa: <https://www.ratikansuunnitteluohje.fi/>

Tampereen Raitiotie Oy (2020b). Tampereen Ratikka Liikennöintiohje, julkaisematon, 46 s.

Tampereen Raitiotie Oy (2021a). Tampereen Raitiotie Oy:n turvallisuustavoitteet 2022., julkaisematon.

Tampereen Raitiotie Oy (2021b). Raitiotien tila ja sijoittaminen kadulle, Tampereen raitiotien suunnitteluohje, Saatavissa (viitattu 28.5.2022): <https://www.ratikansuunnitteluohje.fi/5-raiotien-tila-ja-sijoittaminen-kadulle/>.

Tampereen Raitiotie Oy (2021c). Raitiotiejärjestelmän suunnittelun periaatteet. Tampereen raitiotien suunnitteluohje, Saatavissa (viitattu 30.5.2022): <https://www.ratikansuunnitteluohje.fi/3-raiotie-ja-liikenneturvallisuus/>.

Tampereen Raitiotie Oy (2021d). Valokuva. Saatavissa: <https://www.tampereenratikka.fi/raiotieallianssi-tiedottaa-tampereen-raiotieallianssi-menestyi-vuoden-projektilpailussa-hankkeen-valmistuminen-etuajassa-ja-alle-budjetin-sai-tunnustusta-kovassa-kisassa/>

Tampereen Raitiotie Oy (2022a). Rataverkon kuvaus, julkaisematon

Tampereen Raitiotie Oy (2022b). Ratikan reitti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.3.2022): <https://www.tampereenratikka.fi/matkustaminen/ratikan-reitti/>.

Teschke K., Dennis J., Reynolds C.C.O., Winter M., Harris M.A. (2016). Bicycling crashes on streetcar (tram) or train tracks: mixed methods to identify prevention measures BMC Public Health, 16:617. Saatavissa (viitattu 20.6.2022): <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3242-3>.

Tieliikennelaki (2018). L 10.8.2018/729. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729>.

Tilastokeskus (2022) Henkilövahinko-onnettomuudet, kuolleet ja loukkaantuneet alueen, tielajin ja osallisten mukaan, 2015–2022, verkkosivu. Saatavissa: https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ton/statfin_ton_pxt_12qh.px.

Traficom (2019). Määräys, Kaupunkiraideliikenne TRA-FICOM/91446/03.04.02.00/2019. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/ajankoh-taista/uusi-maarays-kaupunkiraideliikenne?toggle=Kaupunkiraideliikenne%20%20%20%20%20%20>.

Väylävirasto (2014). Jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 11/2014. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121038/lo_2014-11_jalankulku_pyorailyvaylien_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Väylävirasto (2020). Pyöräliikenteen suunnittelu, Väyläviraston ohjeita 18/2020. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-18_pyoralikenteen_suunnittelu_web.pdf.

Väylävirasto (2022). Jalankulun suunnittelu, Väyläviraston ohjeita 34/2022. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-34_jalankulun_suunnittelu.pdf.