VÄYLÄ

Opinnäytetyö
5/2019

Jouni Kiviniitty

DUORAITIOLIIKENTEEN MAHDOLLISUUDET SUOMESSA

Junaratikka lainsäädännön ja tekniikan näkökulmasta

Jouni Kiviniitty

Duoraitioliikenteen mahdollisuudet Suomessa

Junaratikka lainsäädännön ja tekniikan näkökulmasta

Opinnäytetyö 5/2019

Väylävirasto

Helsinki 2019

Kannen kuva: Jouni Kiviniitty, Karlsruhe 14.6.2018. ET 2010-tyypin duoraitiovaunu lähestyy Karlsruhen Hauptbahnhofin pysäkkiä linjalla S7.

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-1202
ISBN 978-952-317-703-1

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. 0295 34 3000

Jouni Kiviniitty: Duoraitioliikenteen mahdollisuudet Suomessa – Junaratikka lainsäädännön ja tekniikan näkökulmasta. Väylävirasto. Helsinki 2019. Opinnäytetyö 5/2019. 109 sivua ja 2 liitettä. ISSN 2490-1202, ISBN 978-952-317-703-1.

Avainsanat: raitiovaunut, kalusto, liikennöinti, raideliikenne

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on laadittu Väyläviraston toimeksiannosta. Sen tavoitteena on ollut selvittää, onko duoraitiovaunulla kevytkalustolla liikennöinti Suomessa mahdollista, ja millä teknillisillä ja lainsäädännöllisillä edellytyksillä.

Duoraitiotievaunulla tarkoitetaan sekä rautatieverkolla että kaupunkiraitiotiellä liikkumaan kykenevää kevytkalustoa. Ensimmäinen moderni duoraitiovaunu otettiin käyttöön Saksan Karlsruhessa 1990-luvun alussa. Myöhemmin duoraitiotievaunuja on hyödynnetty seudullisessa liikenteessä useissa muissakin Saksan ja Ranskan kaupungeissa. Pohjoismaiden ensimmäinen duoraitiotiejärjestelmä aloitti toimintansa elokuussa 2018 Aarhusissa Tanskassa.

Tutkimuksessa on selvitetty, onko Euroopasta neljännesvuosisadan aikana duoraitiotievaunuista saadut kokemukset sovellettavissa Suomen olosuhteisiin. Työn keskeinen tutkimuskysymys kuuluu otsikkoon viitaten "Onko duoraitiotieliikenne mahdollista Suomessa". Siihen vastataan työn puitteissa tarkastelemalla voimassa olevaa lainsäädäntöä niin EU:n kuin kansallisellakin tasolla. EU:ssa ja Suomessa ei ole olemassa erillistä duoraitiotievaunua koskevaa lainsäädäntöä. Siten tutkimuksessa tarkastellaan, miten lainsäätäjä on huomioinut vaunukalustoon ja teknisiin ratkaisuihin liittyviä sääntöjä ja määräyksiä Saksan liittotasavallassa.

Teknisessä osassa tarkastellaan lukuisaa joukkoa teknisiä yksityiskohtia. Osassa tarkastellaan sähköistysjärjestelmiä, laiturikorkeuksia, pyörien ja kiskojen profiileja sekä kulunvalvonnan vaatimuksia duoraitiovaunun näkökannalta. Pyrkimyksenä on tunnistaa ne tekniset haasteet, joita saattaa esiintyä kahdelle eri verkostolle tarkoitetun vaunun ominaisuuksien yhdistämisessä.

Työn neljännessä ja viimeisessä osassa tarkastellaan duoraitiovaunujen soveltamista Turun kaupunkialueella ja laajemmin Varsinais-Suomen maakunnassa. Tarkastelu tehdään suppealla yleisluonteisella tasolla.

Työn johtopäätöksenä voidaan todeta duoraitiotien olevan periaatteessa mahdollista Suomessa. Joillakin olemassa olevilla valtion omistamilla rataosuuksilla liikenne voitaisiin periaatteessa aloittaa heti matkustajalaitureiden rakentamisen jälkeen. Lainsäädännöllisiä esteitä liikenteen harjoittamiseksi ei EU:n tai Suomen lainsäädännön suunnalta ole, mutta on silti suotavaa, että duoraitioliikenne huomioitaisiin esimerkiksi raideliikennelain lisäyksenä.

Jouni Kiviniitty: Möjligheter för duospårvägstrafik i Finland – Tekniska och lagstifningsaspekter av Tram-Train. Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Lärdomsprov 5/2019. 109 sidor och 2 bilagor. ISSN 2490-1202, ISBN 978-952-317-703-1.

Sammanfattning

Denna avhandling har sammanställts på uppdrag av Trafikledsverket. Syftet har varit att ta reda på om det är möjligt att använda en dumper med duospårvagn i Finland och under vilka tekniska och juridiska förhållanden.

En duospårväg (tram-train) betyder spårvagn som kan köra både på järnvägsnätet och på en spårvägen. Den första moderna duospårvagn introducerades i Karlsruhe, Tyskland, i början av 1990-talet. Senare har duospårvagn använts i regional trafik i många andra städer i Tyskland och Frankrike. Det första nordiska duospårvägssystemet började fungera i augusti 2018 i Århus, Danmark.

Studien har undersökt huruvida Europas erfarenheter från duospårvagnarna under kvart i århundradet kan tillämpas på finska förhållanden. Avhandlingens centrala forskningsämne hänvisar till titeln "Är det möjligt att använda duospårvägstrafik i Finland". Det kommer att besvaras inom ramen för arbetet genom att granska befintlig lagstiftning både på EU-nivå och nationell nivå. Det finns ingen separat lagstiftning om duospårväg i EU och Finland. Undersökningen undersöker således hur lagstiftaren har tagit hänsyn till regler och föreskrifter avseende vagnslager och tekniska lösningar i Tyskland.

Den tekniska delen tittar på ett antal tekniska detaljer. En del av det ser på elektrifieringssystem, plattformshöjder, hjul- och rälsprofiler och krav på åtkomstkontroll från en duospårvagns synvinkel. Syftet är att identifiera de tekniska utmaningar som kan uppstå vid att kombinera egenskaperna hos en vagn för två olika nätverk.

Den fjärde och sista delen av avhandlingen granskar användningen av duospårväg i Åbo och i Egentliga Finland. Översynen görs på en smal allmän nivå.

Som en slutsats av arbetet kan det konstateras att duospårväg i princip är möjligt i Finland. I vissa befintliga statliga järnvägssektioner kan trafik i princip startas omedelbart efter byggandet av passagerarplattformar. Lagstiftande hinder för trafiken är inte av EU-lagstiftningen eller den finska lagstiftningen, men det är fortfarande önskvärt att duospårvagntrafiken anses vara ett tillägg till järnvägslagen.

Jouni Kiviniitty: Possibility of Tram-Train-Traffic in Finland – Technical and legislative aspect of Tram-Train. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Thesis 5/2019. 109 pages and 2 appendices. ISSN 2490-1202, ISBN 978-952-317-703-1.

Abstract

This thesis has been compiled on behalf of the Finnish Transport Infrastructure Agency. Its aim has been to find out whether it is possible to operate a dumper with tram-train vehicles in Finland and under what technical and legal conditions.

A tram-train means light rail of moving both on the railway network and on a tramway network. The first modern tram-train system was introduced in Karlsruhe, Germany, in the early 1990s. Later, the tram-train systems have been used in regional traffic in many other cities in Germany and France. The first Nordic tram-train system started operating in August 2018 in Aarhus, Denmark.

This study has investigated whether the experiences of Europe from the tram-train systems during a quarter of a century can be applied to Finnish conditions. The central research topic of the thesis is referring to the title “Is it possible to use tram-train system in Finland”. It will be answered within the framework of the work by reviewing existing legislation at both EU and national level. There is no separate legislation on the tram train systems in the EU and Finland. Thus, the study examines how the legislator has taken into account the rules and regulations related to rolling stock and technical solutions in the Federal Republic of Germany.

The technical part looks at a number of technical details. Part of it looks at electrification systems, platform heights, wheel and rail profiles, and automatic train control requirements from the viewpoint of a tram-train systems. The aim is to identify the technical challenges that may arise in combining the characteristics of a wagon for two different networks.

The fourth and final part of the thesis examines the application of tram-train in the City of Turku and Southwest Finland. The review is done at a narrow general level.

As a conclusion of the work, it can be started that the tram-train is in principle possible in Finland. In some existing state-owned railway sections, traffic could in principle be started immediately after the construction of passenger platforms. Legislative barriers to traffic are not from the EU or Finnish legislation, but it is still desirable that duo traffic be considered as an addition to the railways act of Finland, for example.

Esipuhe

Tämän diplomityön keskeisenä tarkoituksena on johdattaa suomalainen raideliikenteeseen perehtynyt syvemmälle maassamme vähäiselle tuntemukselle jääneeseen aiheeseen. Raitiotien ja rautatien teknisesti yhdistävistä duoraitiovaunuista on saatu Euroopassa hyviä kokemuksia viimeisen neljännesvuosisadan aikana, mutta Suomessa aihepiiri on varsin heikosti tunnettu. Näin siitäkin huolimatta, että Tanskassa Aarhusin kaupunki otti duoraitiotiejärjestelmän käyttöön ensimmäisenä Pohjoismaista elokuussa 2018. Siten työn tavoitteena on ollut tarkastella, soveltuisivatko duoraitiovaunut lainsäädännön ja teknisten yksityiskohtien puitteissa suomalaiseen liikennejärjestelmään.

Työn on laatinut Jouni Kiviniitty Tampereen teknillisen yliopiston rakennetun ympäristön tiedekunnan rakennustekniikan laitoksella. Työtä ovat ohjanneet Väylävirastossa rautatieliikennejohtaja Markku Nummelin ja ylitarkastaja Simo Toikkanen, Proxion Oy:ssä erityisasiantuntija Tuomas Lonka ja Tampereen teknillisessä yliopistossa professori Heikki Liimatainen. Hyödyllisiä neuvoja työssä esiin tulleiden haasteiden ratkaisemiseksi ovat antaneet tekniikan tohtori Holger Wagensommer Karlsruhen liikennelaitoksella (AVG) Saksassa, liikenneneuvos Risto Saari liikenne- ja viestintäministeriössä, Jukka Leino ja Ville-Veikko Savolainen Liikenteen turvallisuusvirasto Trafissa, Ali Huttunen Tampereen Raitiotie Oy:ssä sekä kehitysjohtaja Jukka Koivurova Škoda Transtechilla.

Helsingissä toukokuussa 2019

Väylävirasto
Tekniikka- ja ympäristöosasto

Sisältö

MÄÄRITELMIÄ ... 9

LYHENTEITÄ ... 12

1 JOHDANTO ... 13
1.1 Tutkimuskysymykset ... 14
1.2 Tutkimusaineisto ja menetelmät ... 15
1.3 Hevosraitioteistä moderniin kaksivirtajärjestelmään ... 15
1.3.1 Stadtbahn-konsepti: München, Frankfurt am Main, Hannover, Köln ja Stuttgart ... 17
1.3.2 Stadtbahn-konsepti: Ruhrin alueen ratkaisut 1960-2016 ... 18
1.3.3 Kohti duoraitiotietä: Karlsruhen malli ... 19
1.3.4 Duoraitiotiejärjestelmiä maailmalla ... 20
1.3.5 Johtopäätökset ... 29

2 LAINSÄÄDÄNTÖ ... 30
2.1 Suomen kiskoliikenteestä vastaavat viranomaiset ... 31
2.2 Suomen kiskoliikenneoperaattorit ... 32
2.3 EU:n rautateitä koskeva lainsäädäntö ... 32
2.3.1 EU:n rautatiedirektiivit EU 2016/797 ja EU 2016/798 ... 33
2.3.2 Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät ... 34
2.3.3 Muita kansainvälisiä rautateitä koskevia säädöksiä ... 35
2.3.4 Päätelmät EU-lainsäädännöstä ... 35
2.4 Suomen raideliikennelaki ja sille alisteiset kansalliset säädökset ... 36
2.4.1 Raideliikennelaki ... 37
2.4.2 Muita Suomen rautateitä koskevia lakeja ja määräyksiä ... 38
2.4.3 Päätelmät Suomen rautatielainsäädännöstä ... 39
2.5 Saksan kevytkalustoa koskevat lait ja määräykset ... 40
2.5.1 Saksan raitiotieohjesääntö BOStrab ... 42
2.6 Päätelmät: Saksan ja Suomen lainsäädännön vertailu ... 44

3 TEKNISET KYSYMYKSET ... 49
3.1 Aukean tilan ja liikkuvan kaluston ulottumat ... 50
3.2 Laiturikorkeudet ... 51
3.2.1 Laiturin etäisyys raiteen keskilinjasta ... 55
3.3 Sähköistysjärjestelmät ... 56
3.4 Pyöräprofiilit ... 60
3.5 Kiskoprofiilit ... 65
3.6 Vaihteet ... 67
3.6.1 Rautatievaihteet ... 67
3.6.2 Raitiotievaihteet ... 70
3.6.3 Päätelmät vaihteista ... 70
3.7 Kulunvalvonta ... 71
3.7.1 Kulunvalvontajärjestelmät: ETCS ja Suomen JKV ... 72
3.7.2 Kulunvalvontajärjestelmät kaupunkialueella ... 74
3.7.3 Päätelmät kulunvalvontajärjestelmistä ... 75
3.8 Duoraitiovaunukalustolle asetetut turvallisuusvaatimukset ... 75
3.8.1 Törmäyslujuusvaatimukset ... 76
3.8.2 Jarrutuskyky ... 77
3.8.3 Akselipainot ... 81
3.8.4 Päätelmät turvallisuusvaatimuksista ... 82

4 ESIMERKKITAPAUS: DUORAITIOTIEN SOVELTAMISESTA SUOMEEN: VARSINAIS-SUOMI JA SEN PÄÄKAUPUNKI TURKU 84
4.1 Varsinais-Suomen duoraitiotien teknisiä ratkaisuja 85
4.2 Varsinais-Suomen duoraitiotien ja Turun kaupunkiraitiotien verkostohahmotelma 88
4.3 Varsinais-Suomen duoraitiotieliikenteen järjestämismalli 92

5 JOHTOPÄÄTÖKSET 94

6 YHTEENVETO 98

LÄHDELUETTELO 100

LIITTEET
Liite 1 Luettelo duoraitiotien kaltaisista järjestelmistä
Liite 2 Muutamien keskeisten duoraitiovaunutyyppien teknisiä ominaisuuksia

Määritelmiä

Ajolanka
Rautateiden sähköistysjärjestelmässä ajojohtimen alempi osajohdin, joista virroitin ottaa tehoa. Raitiotiellä ajolanka on usein kiinnitetty katua reunustavien rakennusten seinään erillisellä kannatinlangalla.

AEG
Allgemeines Eisenbahngesetz. Saksan liittotasavallan yleinen rautatielaki.

Aukean tilan ulottuma (ATU)
Pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita tai laitteita.

BOStrab
Verordnung über den Bau und Betrieb der Strassenbahnen, Saksan liittotasavallan raitioteiden rakentamista- ja liikennöintiä koskeva asetus.

Duoraitiovaunu
Duoraitiovaunulla tarkoitetaan sekä kaupunkiraitiotiellä että yleisellä rautatiealueella liikennöintiin kykenevää, usein kahdella eri virtajärjestelmällä varustettua, tavallista sähkömoottorijunaa kevyempää raitiovaunutyyppistä kalustoyksikköä. (saks. Zweisystemstrassenbahn, engl. ja ransk. Tram-Train).

EBO
Eisenbahn-Bau-und Betriebordnung. Saksan liittotasavallan normaaliraiteisten (1435 mm) rautateiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva ohjesääntö.

ESBO
Eisenbahn-Bau-und Betriebsordnug für Schmalspurbahnen. Saksan liittotasavallan normaaliraiteisia (1435 mm) rautateitä kapeampien rautateiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva ohjesääntö.

ERTMS
European Rail Traffic Management System on eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä. Sen tarkoituksena on muodostaa yhtenäinen, yleiseurooppalainen järjestelmä rautateiden liikenteenhallintaan.

ETCS
European Train Control System. Eurooppalainen, junien automaattisen kulunvalvonnan standardi.

JKV
Junien kulunvalvonta (JKV) on yksikön kulkua rautateillä valvova järjestelmä. Kaikki uudet rautateillä kulkevat yksiköt edellytetään varustettaviksi ETCS-laitteilla.

Kiintoajohdin
Kiintoajojohtimella tarkoitetaan tunneliosuuksilla yleisesti käytettyä ajojohdintyyppiä, jossa ajojohdin on asennettu kiinteästi ilman kiristyslaitteita.

Laituri
Rauta- tai raitioteillä pysäkkikoroke, josta matkustajat nousevat yksikön kyytiin. Nykyisin laiturit pyritään mitoittamaan siten, että käytettävän kaluston lattia olisi laiturin tasalla.

Lähi- tai paikallisjuna
Lähi- tai paikallisjunajärjestelmä voidaan jakaa useampaan eri alakategoriaan. Perinteisesti paikallisjunalla on tarkoitettu valtiollisen tai yksityisen rautatieyhtiön liikennöimää, jokaisella tai lähes jokaisella asemalla pysähtyvää junaa. Paikallisjunaliikenteen kalustona on rautatieliikenteen alkuaikoina käytetty höyryveturin vetämiä tai työntämiä, lyhyisiin matkoihin tarkoitettuja vaunuja, myöhemmin erilaisia, joko diesel- tai sähkökäyttöisiä moottorivaunuja. Paikallisliikennettä on harjoitettu siellä, missä sille on ollut kysyntää. Raja suurkaupunkien lähiliikenteen ja paikallisliikenteen välillä on ollut häilyvä

Metro
Metrolla tarkoitetaan yleensä muusta liikenteestä täysin tai lähes täysin eristettyä paikalliseen liikenteeseen tarkoitettua kaupunkirataa. Metrojunat on suunniteltu suurten matkustajamäärien nopeaan ja tehokkaaseen kuljettamiseen suurkaupunkien keskeisten kohteiden välillä. Metrolinjojen sijoitus vaihtelee paikkakunnittain: pääsääntöisesti ne sijoitetaan maan alle kallio- tai betonitunneliin, mutta esikaupunkialueilla ne kulkevat usein maan pinnalla. (saks. U-Bahn, Untergrundbahn, eng. Underground, Subway, ransk. Métro).

Raide
Raide koostuu ratapölkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ym. raiteen erikoisrakenteista.

Raitiotie
Raitiotie on pääsääntöisesti kaupunkialueella urakiskoilla kulkeva kiskotie, jota käyttävät kevyet, yleensä henkilöliikenteeseen, joissakin tapauksissa tavaraliikenteeseen tarkoitetut moottorivaunut Esikaupunkialueilla raitiotie voi kulkea myös rautatietyyppisellä pölkkyradalla, osin katuverkosta erillään. (saks. Strassenbahn, Trambahn, engl. Tramway, ransk. Tram, ruots. spårväg, ven. Трамвай).

Raitiovaunu
Raitiovaunulla tarkoitetaan yleensä kaupunkialueella kulkevaa, rautatiekalustoa kevyempää kiskokulkuneuvoa. Raitiovaunujen voimanlähteenä käytetään yleisesti kadun yläpuolelle ripustetuista johtimista, ajojohdoista syötettyä tasavirtaa, mutta joillakin eurooppalaisilla paikkakunnilla sähkön syöttämiseen käytetään myös kadun alapuolelle upotettua virtakiskoa.

Stadtbahn
Saksan liittotasavallassa 1960-1980-luvuilla rakennettu, osin muusta liikenteestä eristetty ja kaupunkien liikekeskustoissa, joillakin paikkakunnilla myös muualla, maan alla kulkeva raitiotie tai hieman sitä raskaampi rata. Liikenteessä käytetään useimmiten tavallisia raitiovaunuja tai erityisesti Stadtbahnille suunniteltua kalustoa. Käytetään myös saksankielisenä nimityksenä pikaraitiotielle. Erisnimenä käytettäessä viitataan Berliinin Charlottenburgin-Ostbahnhofin väliseen kaupunkirataosuuteen, historiallisessa merkityksessä myös Wienin kaupunkirataan.

S-Bahn
Stadtschnellbahn, Schnellbahn. Kaupunkipikarata tai yleisesti saksalaisen suurkaupungin lähiliikennejärjestelmän markkinointityössä käytetty brändi. Berliinissä markkinointinimenä käytössä vuodesta 1930, nykyään laajalti käytössä saksankielisellä kielialueella.

Rrakisko
Urakiskolla tarkoitetaan kadun pintaan upotettua kiskoprofiilia, jossa on valmis ura rautatiekaluston pyöränlaipalle. Se taas mahdollistaa kiskon upottamisen kadun tai muun päällysteen pintaan. Urakiskoa käytetään usein raitioteillä kaupunkialueella. Myös rautateillä voi olla urakiskoilla varustettuja osuuksia esimerkiksi satamien ja teollisuuslaitosten purkausalueilla.

Vignole-kisko
Vignole-kiskoksi kutsutaan tavallista, ratapölkkyyn kiinnitettyä rautatiekiskoa.

Yksikkö
Kiskoilla liikkuva kalusto. Yksittäinen veturi, juna tai raitiovaunu muodostaa oman yksikkönsä.

Lyhenteitä

AEG Allgemeines Eisenbahngesetz

AEG Allgemeine Elekritcitäts-Gesellschaft

ASEA Allmännna Svenska Elektriska Aktiebolaget

ATU Aukean tilan ulottuma

AVG Abtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH

BayESG Bayerisches Eisenbahn- und Seilbahngesetz

BOStrab Verordnung über den Bau und Betrieb der Strassenbahnen

CEN Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

DB Deutsche Bahn AG

DIN Deutsches Institut für Normung

EBO Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

EBKrG Gesetz über Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen

ERTMS European Rail Traffic Management System

ESBO Eisenbahn-Bau-und Betriebsordnug für Schmalspurbahnen

ETCS European Train Control System

EU Euroopan unioni

HKL Helsingin kaupungin liikennelaitos

HSL Helsingin seudun liikenne

ITCS Intermodal Transport Control System

JKV Junien kulunvalvonta

KIT Karlsruher Institut für Technologie

KVV Karlsruher Verkehrsverbund

LZB Linienzugbeeinflussung

LKU liikkuvan kaluston ulottuma

LVM Liikenne- ja viestintäministeriö

PZB Punktförmige Zugbeeinflussung

RATO Ratatekniset ohjeet

RBL Rechnergestütztes Betriebsleitsystem

Trafi Liikenteen turvallisuusvirasto

Traficom Liikenne- ja viestintävirasto

YTE Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on tarjota suomalaiselle yhteiskunnalle perustietoa duoraitioliikenteestä ja sen soveltamisesta. Työssä on soveltuvin osin jouduttu tarkastelemaan myös muita raideliikennemuotoja, erityisesti duoraitioliikenteeseen kiinteästi liittyvää modernia raitioliikennettä. Työ on ensisijaisesti tarkoitettu suomalaisille, kiskoliikenteen parissa työskenteleville viranomaisille perustavan laatuiseksi tietopaketiksi ja avuksi raideliikenneratkaisuja suunniteltaessa.

Duoraitioliikenteestä on ilmestynyt suomeksi valitettavan vähän minkäänlaista tutkimuskirjallisuutta. Raitioliikenteestä yleensä on saatavissa muutamia perusteoksia, mutta duoraitioliikennettä ne eivät käsittele. Suomessa duoraitioliikennettä on suunniteltu 2000-luvun alussa Tampereelle, mutta tällöinkään projektin yhteydessä ei laadittu teknisiin tai lainsäädännöllisiin yksityiskohtiin menevää loppuraporttia. Yleisesti voikin sanoa, ettei aihepiiriä Suomessa juuri tunneta. Tampereelle rakenteilla oleva raitiotie on tuonut Suomeen jonkin verran keskieurooppalaista modernin raitiotien rakentamisen osaamista, lähinnä saksan kielestä käännettyjen ohjeiden ja suunnitteluparametrien muodossa, mutta yksityiskohtaisempaa tietoa ei Suomesta ole kootusti saatavissa.

Työ jakautuu neljään osa-alueeseen: ensimmäisessä osassa käsitellään duoraitiotietä sekä erilaisia raitiotiejärjestelmiä yleensä. Tavoitteena on historian valossa selostaa lyhyesti duoraitiotien syntyhistoria: miten rautatien ja raitiotien yhdistävään ratkaisuun on lopulta päädytty. Tässä yhteydessä tarkastellaan myös saksalaista Stadtbahn-konseptia erään aikakauden ratkaisuna ja esitetään historian valossa ne seikat, jotka johtivat 1980-luvun lopulla raitiotiejärjestelmien voimakkaaseen modernisointiin sekä jälleenrakentamiseen Euroopassa. Historiallisen tarkastelun tarkoituksena on osoittaa lukijalle eurooppalaisten raitiotiejärjestelmien kehityskaari 1800- ja 1900-lukujen vaihteen sähköraitiotien käyttöönotosta 1950- ja 1960-lukujen autoistumisen vaikutuksiin ja toisaalta nykyiseen ajatteluun raitiotiestä kaupunki- ja yhdyskuntarakenteen eheyttäjänä.

Eurooppalaisista järjestelmistä esitellään neljä esimerkkipaikkakuntaa. Saksan Karlsruhe esitellään vanhimpana ja laajimpana järjestelmänä yksityiskohtaisesti. Tämä on perusteltua siitäkin näkökulmasta, että Karlsruhe on duoraitiotieliikenteen pioneeri. Chemnitz on Saksan uusin duoraitiotiejärjestelmä ja Ranskan Mulhouse on esimerkki kaupungista, jossa raitioliikenne on aloitettu useamman vuosikymmenen tauon jälkeen uudelleen 2000-luvun alussa. Aarhusin järjestelmä Tanskassa edustaa puolestaan pohjoismaiden ensimmäinen raitiotiejärjestelmä.

Toisessa osassa tarkastellaan rautatielainsäädäntöä EU:n sekä kansallisen lainsäädännön näkökulmasta. Tarkastelussa syvennytään erityisesti Saksan lainsäädäntöön ja pohditaan, voidaanko sitä soveltaa Suomessa. Tässä tutkimuksessa Saksa on valittu tarkastelukohteiksi, koska duoraitiovanuilla tai muulla raitiovaunutyyppisellä kevytkalustolla liikennöityjä linjoja on edelleen runsaasti eri puolilla maata. Saksa on joutunut myös sovittamaan lukuisan joukon erilaisia teknisiä erikoisuuksiaan vallitseviin, etenkin EU:n suunnalta tuleviin lainsäädännöllisiin puitteisiin.

Kolmannessa osassa keskeisenä tavoitteena on selvittää duoraitiovanun tekninen soveltuvuus suomalaiseen rautatie- ja raitiotieympäristöön. Luvussa tarkastellaan niitä keskeisiä tekijöitä, jotka tulee huomioida käytettäessä sama vaunua sekä rauta- että raitioteillä. Ratkaistavia kohtia ovat esimerkiksi laiturikorkeudet, pyörän ja kiskon profiilit sekä pyöräkertamittojen sovittaminen vaihteisiin. Luvussa tarkastellaan myös duoraitiovaunukaluston teknisiä parametrejä ja niiden sovittamista suomalaisiin olosuhteisiin: tällaisia kysymyksiä ovat muun muassa kaluston törmäyskestävyys sekä kulunvalvontajärjestelmät. Neljännessä ja viimeisessä osassa tarkastellaan lainsäädännön ja teknisten kysymysten perusteella duoraitiotien soveltamista Suomen olosuhteisiin käytännön esimerkin kautta: kohteena on Turku ja Varsinais-Suomi.

1.1 Tutkimuskysymykset

Työn keskeinen tutkimuskysymys on otsikon mukaisesti "onko duoraitiotieliikenne mahdollista Suomessa?" Ensisijaisen kysymyksen alakysymyksenä on "onko duoraitioliikenne Suomessa lainsäädännön ja erinäisten teknisten yksityiskohtien valossa mahdollista?" Työ jakautuu tutkimuskysymysten osalta kahteen eri osa-alueeseen. Lainsäädännön näkökulmasta keskeisiä kysymyksiä ovat:

- Millaisia lainsäädäntöön tai turvallisuusmääräyksiin perustuvia yksityiskohtia tulee huomioida, jotta kevyellä vaunukalustolla liikennöinti rautatieverkolla voidaan hyväksyä Euroopan unionin alueella ja Suomessa?
- Millaisilla määräyksillä pelkästään katukelpoista kalustoa säädellään Suomessa?
- Millaisia muutoksia lainsäädäntöön tulisi tehdä? Mitä pitäisi muuttaa tai lisätä?

Työn kolmannessa, teknisiä kysymyksiä käsittelevässä osassa kysymyksiä ovat:

- Sähköistysjärjestelmä. Saksassa duoraitiovaunut käyttävät yleisesti 15 kV vaihtovirtaa rautatiealueella liikkuessaan, kun taas Suomessa käytetään 25 kV jännitettä. Molemmissa maissa katuverkolla ajettaessa käytetään 750 V tasavirtaa. Vaikuttaako 25 kV jännite vaunun painoon ja johtaako vaunun painon kasvu mahdollisesti katuverkolla kadun rakenteiden vahvistamiseen?
- Millainen järjestelmä olisi Suomen oloihin tarkoituksenmukainen? Kaksijärjestelmävaunu (750 V/25 kV), hybridi vai diesel?
- Vaunun pyörät: millaiset pyöräprofiilit sopisivat Suomessa rautateille ja kaupunkiliikenteessä käytettäviksi?
- Millaisia vaihteita käytetään rautateillä ja raitioteillä? Soveltuvatko vaihteet sellaisinaan duoraitiovaunuun valitulle pyöränprofiilille?
- Miten ratkaistaan matkustajalaitureiden korkeusongelma?
- Millaisin normein vaunun jarrutuskykyä säädellään ja mitä tulee huomioida?
- Millaisia törmäykestävyyssvaatimuksia tulee noudattaa?
- Voidaanko vaunuihin asentaa rautatieliikenteen edellyttämä kulunvalvontalaitteisto (nykyisin JKV, tulevaisuudessa ETCS)? Miten kulunvalvonnan vaatimukset on otettava huomioon?

Työn toisessa ja kolmannessa osassa käsiteltyjä kysymyksiä sovelletaan viimeisessä neljännessä osiossa, jossa tarkastellaan Varsinais-Suomea ja sen pääkaupunkia Turkua duoraitiotien ja sen soveltamisen näkökulmasta.

1.2 Tutkimusaineisto ja menetelmät

Työ on toteutettu perehtymällä aihetta käsittelevään kirjalliseen aineistoon: lakeihin, asetuksiin sekä teknisiä yksityiskohtia sisältäviin määräyksiin ja ohjeisiin. Nykyisin suurimman osan aineistosta ollessa saatavilla verkosta on verkkoaineiston osuus huomattava. Tämä on helpottanut suuresti työtä, sillä etenkin lainsäädäntö ja tekniset ohjeet sekä määräykset ovat saatavissa lähes pelkästään verkkoversioina. Aineisto on laaja ja on edellyttänyt varsin monimutkaisten lakien, säädösten ja viranomaismääräysten tulkintaa. Lakien osalta aineisto perustuu EU:n direktiiveihin ja asetuksiin sekä Suomen ja Saksan liittotasavallan voimassa olevaan lainsäädäntöön. Lakeja täydentämään on pyritty hankkimaan erilaista viranomaisaineistoa. Tästä aineistosta huomattava osa on alkuperäiskielellä saksaksi.

Lähdeaineistoa on täydennetty asiantuntijahaastatteluin ja duoraitioliikenteestä tehdyin havainnoin. Työtä varten on haastateltu Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston (1.1.2019 alkaen Väyläviraston), Liikenteen turvallisuusviraston (Trafin)[1], Tampereen Raitiotie Oy:n ja Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH:n henkilökuntaa. Kiskokalustovalmistajia on haastateltu sekä Transtech-Škodan tehtailla Otanmäessä kuin Innotrans-messuilla Berliinissä. Lisäksi suoritettiin kesäkuussa 2018 laaja opintomatka Saksaan, jossa perehdyttiin duoraitioliikenteen toimintaan Karlsruhessa, Heilbronnissa, Saarbrückenissä, Chemnitzissä ja Zwickaussa. Tältä osin tutkimus ei ole puhdas kirjallisuuskatsaus olemassa olevaan kirjallisuuteen tai akateemiseen tutkimukseen vaan laajempi ja osin syvällinenkin tutkimus haasteellisesta ja Suomessa vähän tutkittusta aihepiiristä. Opintomatkalla tarjoutui tilaisuus tehdä yksityiskohtaisia havaintoja duoraitioliikenteen käytännön järjestelyistä ja haastatella liikennehenkilökuntaa epävirallisemmissakin yhteyksissä.

1.3 Hevosraitioteistä moderniin kaksivirtajärjestelmään

Modernin raitiotien ilmenemismuotojen ymmärtämiseksi on luotava lyhyt katsaus raitiotien historiaan. Sen kautta välittyy kuva raitiotien kehityskulusta hevosraitiotiestä nykypäivään. Useiden eurooppalaisten raitiotielaitosten historiassa on havaittavissa lähes samanlaiset kehityspolut: hevosraitiotie on perustettu yleensä 1870-1880-luvulla ja raitiotie on sähköistetty 1890-luvun viimeisinä tai 1900-luvun ensimmäisinä vuosina. Laajimmillaan verkostot olivat maailmansotien välisellä aikana 1910-luvulta 1930-luvun lopulle: seuraavina vuosikymmeninä autoliikenteen yleistyminen ja elintason nousu johtivat etenkin läntisessä Euroopassa raitiotiejärjestelmien lakkauttamiseen. Raitiotie tuli uudelleen muotiin 1980-luvun lopulta alkaen: monissa kaupungeissa ryhdyttiin tutkimaan jäljelle jääneen raitiotieverkon laajentamista. Raitiotien 1950- ja 1960-luvuilla lakkauttaneissa kaupungeissa pohdittiin liikenteen aloittamista uudel-

[1] 1.1.2019 alkaen Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

leen. Historiakatsaus ei varsinaisesti keskity yhdellekään yksittäiselle paikkakunnalle, mutta noudattelee pitkälti niitä yleisiä linjoja, joita Saksan kaupunkien raitiotiejärjestelmät ovat historian saatossa kulkeneet. Sama kehityskulku on nähtävissä pienin yksittäisin poikkeuksin koko Euroopassa, myös Suomessa.

Raitioliikenne on alusta saakka palvellut paitsi keskuskaupungin sisäistä liikennettä myös esikaupunkiliikennettä. Jo 1800-luvun loppuvuosina raitioteitä laajennettiin eurooppalaisissa ja pohjoisamerikkalaisissa kaupungeissa varsinaisen kaupunkialueen ulkopuolelle. Useissa tapauksissa ratojen rakentajina toimivat yksityiset yritykset omalla kustannuksella ja riskillään. Joissakin tapauksissa rakentajina toimineet liikemiehet, jotka radan valmistuttua hankkivat tarvitsemansa kaluston vastaten radan liikennöinnistä sekä ylläpidosta. Liikemiehet luonnollisesti pitivät lipputulonsa itse. Esikaupunkiratoja rakennettiin aluksi suuremman asutuskeskuksen ympäristöön palvelemaan yhteyksiä keskuskaupunkiin, ensimmäisen maailmansodan jälkeen myös työväestön kuljettamiseksi laitakaupungilta keskustan tehtaisiin töihin. Yksityisten rakentamat esikaupunkiradat siirtyivät pääsääntöisesti 1920- ja 1930-luvulla kunnallisen liikennelaitoksen alaisuuteen ja monissa tapauksissa ne integroitiin muuhun raitiotieverkostoon. Yhdysvalloissa 1930-luvulla alkanut vähittäinen autoistuminen johti monien esikaupunkiratojen ja kaupunkien välisten raitioteiden lakkauttamiseen, Euroopassa autoistumiskehitys oli selvästi hitaampaa ja toisen maailmansodan syttyminen vuosikymmenen loppupuolella hidasti sitä vielä osaltaan. Sodan päättymisen jälkeen autoistumiskehitys voimistui Euroopassakin ja johti nopeasti raitiotiejärjestelmien lakkauttamiseen 1950- ja 1960-luvuilla. Raitiovaunut koettiin vanhanaikaiseksi ja taantuvaksi liikennemuodoksi, mikä osaltaan johtui monilla paikkakunnilla käytössä olevasta, vuosikymmeniä vanhasta kalustosta sekä usein kehnosta infrastruktuurista. Etenkin Länsi-Euroopasta raitiotiet katosivat monilta paikkakunnilta: Ranskasta, Britanniasta ja Espanjasta raitiotiet lakkautettiin lähes kokonaan, Saksan liittotasavallassa kehitys oli maltillisempaa, vaikka monissa suurkaupungeissa linjoja karsittiinkin ja pienemmiltä paikkakunnilta liikenne loppui täysin. Sen sijaan Keski-Euroopan itäisissä osissa raitiotiet säilyivät pitkälti ennallaan, koska vaihtoehtoja ei autoistumisen maltillisemman kehityksen takia juuri ollut. Etenkin Tšekkoslovakiassa, Puolassa ja Saksan demokraattisessa tasavallassa raitioteihin pyrittiin panostamaan 1960- ja 1970-luvuilta alkaen.

Esikaupunkiraitiotiet rakennettiin etenkin kaupunkialueiden ulkopuolella rautatietyyppisesti omalle penkalleen ja monissa tapauksissa erilleen muusta rakennetusta alueesta. Ratojen kulta-ajan voi katsoa ajoittuneen maailmansotien väliseen aikaan 1920- ja 1930-luvuille sekä toisaalta toisen maailmansodan jälkeen 1950-luvulle. Voimistuneen autoistumiskehityksen myötä esikaupunkiratojen kanssa kilpailivat henkilö- ja linja-auto; joissakin tapauksissa raitioteitä ja esikaupunkiratoja korvattiin johdinautoilla. Autoistumiskehitys johti Saksan liittotasavallassa intoon rakentaa maanalaisia suurimpiin kaupunkeihin. Vaikka tekniset ratkaisut olivat sekä Ruhrin alueella että muutamissa muissa kaupungeissa hyvin samankaltaisia, tarkastellaan molempia kokonaisuuksia erikseen. Huomattakoon vielä, että Stadtbahn-konsepti ei aina johtanut toivottuun tulokseen.

1.3.1 Stadtbahn-konsepti: München, Frankfurt am Main, Hannover, Köln ja Stuttgart

Läntisen Saksan suurkaupungeissa ajauduttiin 1960-luvun alussa autoliikenteen voimakkaaseen kasvuun. Toisen maailmansodan mittavien infrastruktuuriin kohdistuneiden vaurioiden korjaamisen jälkeen liikennemäärät kasvoivat ja väestönkasvu painottui etenkin Hampuriin, Müncheniin ja Kölniin. Aluksi liikenteellisiin haasteisiin pyrittiin vastaamaan raitiotietä, Länsi-Berliinissä ja Hampurissa myös maanalaista (U-Bahn) laajentamalla. Münchenissä ja Kölnissä väkiluku kasvoi toisen maailmansodan jälkeen nopeasti. Esimerkiksi sodan päättyessä vuonna 1945 pahoin tuhoutuneessa Kölnissä asui 455 000 ihmistä, oli väkiluku viisi vuotta myöhemmin noussut 603 000 asukkaaseen. Kymmenen vuoden aikana Kölnin asukasluku oli jo ylittänyt sotaa edeltävän tason ja saavutti 800 000 asukkaan rajapyykin (Statistische Jahrbuch Köln 2016:11).

Münchenissä väkiluku ylitti miljoonan asukkaan rajan jo vuonna 1957 (Demokrafiebericht München – Teil 1 2015 bis 2035). Kantakaupungin (Innenstadt) kattaneen raitiotien laajentaminen uusille esikaupunkialueille, kuten Hasenbergliin, Fürstenriediin ja Freimaniin alkoi 1950-luvun lopulla. Uudet radat sijoitettiin aiemmasta poiketen omalle ratapenkalleen ja niiden linjauksissa pyrittiin hyödyntämään rakentamatonta aluetta ja eristämään ne muusta liikenteestä. Keskikaupungilla radat oli aikaa myöten tarkoitus sijoittaa maan alle kaivettuihin tunneleihin – näistä radoista käytettiin saksankielistä termiä "Unterpflasterstrassenbahn". Münchenin kaupunginvaltuusto kuitenkin pysäytti hankkeen vuonna 1964 ja määräsi sen korvattavaksi "oikealla metrolla". Se avattiin liikenteelle vajaata vuotta ennen kaupungissa järjestettyjä olympialaisia lokakuussa 1971.

Kölnissä, Frankfurt am Mainissa, Hannoverissa ja Stuttgartissa kehitys noudatti pitkälti Münchenin mallia. Raitiotiejärjestelmää ryhdyttiin kehittämään siten, että vaunut ajaisivat keskusta-alueella tunneleissa, muualla mahdollisuuksien mukaan omilla penkoillaan ja ratakäytävässä. Kölnissä ja Frankfurt am Mainissa avattiin ensimmäiset maanalaiset osuudet vuonna 1968 ja Hannover seurasi perässä vuonna 1975. Köln ja Hannover suunnittelivat järjestelmänsä alkuperäisen ajatuksen mukaisesti siten, että vaunut ajavat keskikaupungilla tunneleissa ja muualla pääsääntöisesti maan pinnalla. Frankfurt am Mainissa kehitettiin tunneliratoja varten oma, erityinen ilmajohtovirroitteinen vaunutyyppinsä ja perinteiset raitiotiet jäivät tästä U-Stadtbahnista erilleen. Stuttgart aloitti useamman vuosikymmenen kestäneen pitkäjänteisen kehitystyön: alun perin 1000 mm raideleveyden raitiotie levennettiin vähitellen normaalille 1435 mm leveydelle ja laiturikorkeudet muutettiin vastaamaan aiempaa raskaampaa kalustoa. Ensimmäinen maanalainen osuus valmistui Stuttgartiin vuonna 1985. Kahden raideleveyden siirtymäaika päättyi vasta vuonna 2003, jolloin viimeinenkin 1000 mm linja saatiin muutetuksi normaaliraideleveydelle. Siirtymäajan Stuttgartin raitioteillä oli rinnan kolme kiskoa. Kuva 1 havainnollistaa tyypillistä saksalaista Stadtbahn-asemaa.

Kuva 1. *Tyypillinen maanalainen Stadtbahn-asema. Tämä Stuttgartin päärautatieaseman alapuolelle sijoittuva asema voisi olla mistä tahansa muustakin saksalaisesta kaupungista. Normaaliraiteisen (1435 mm) linjan U15 raitiovaunu on pysähtynyt Hauptbahnhofin pysäkille. Stuttgartin vanhasta (1000 mm) järjestelmästä muistuttaa yhä kolmikiskoinen rata: osuudella voivat ajaa myös historialliset raitiovaunut. Kuva tekijän. Stuttgart, 13. kesäkuuta 2018.*

1.3.2 Stadtbahn-konsepti: Ruhrin alueen ratkaisut 1960-2016

Saksan liittotasavallassa etenkin Ruhrin alueella varauduttiin 1960-luvun alkupuolelta alkaen voimakkaaseen väestönkasvuun. Monissa alueen kaupungeissa ryhdyttiin suunnittelemaan monen muun kaupungin tavoin täysimittaista metroverkostoa, joka toteutuessaan olisi kattanut alueen keskeisimmät kaupungit ja osin yhdistänytkin ne. Ensimmäinen rataosuus valmistui vuonna 1967 Esseniin. Alueen kaupungeissa oli laajahkoja perinteisiä raitiotieverkostoja, jotka olivat osin yhteydessä toisiinsa. Esimerkiksi Düsseldorfista Duisburgiin ja Krefeldiin oli valmistunut jo ennen toista maailmansotaa erillinen paikallis- tai esikaupunkirata, joka modernisoitiin ja otettiin osaksi metrohanketta. Kaupungeissa ryhdyttiin kaivamaan maanalaisia tunneleita metroa varten, etenkin keskustaalueilla, paikoin myös muualla. Vuosina 1967-2016 maanalaisia raitiotietunneleita valmistui Ruhrin alueella Essenin lisäksi Düsseldorfiin, Duisburgiin, Mühlheim an der Ruhriin, Bochumiin, Gelsenkircheniin ja Dortmundiin. Täysimittaista metroa ei alueelle kuitenkaan koskaan valmistunut: metrosuunnitelmat hylättiin vähin erin 1970-luvun lopulla ja tunneliosuudet jäivät tavallisten raitiolinjojen käyttöön. Pisimmälle metrohanke vietiin Ruhrin alueella Essenissä ja Dortmundissa, jossa varta vasten kehitetty metron ja raitiovaunun sekakalusto otettiin 1980-luvun alussa käyntiin. Toisaalta Bochumiin valmistui vuosina 1989-1993 osin maanalainen ja lähes täysin muusta liikenteestä erotettu rata. Ruhrin alueella kehitettyä konseptia on kutsuttu *Stadtbahniksi* eli esimetroksi.

1.3.3 Kohti duoraitiotietä: Karlsruhen malli

Pienemmissä saksalaisissa kaupungeissa ei metro- tai osin maanalaiseen Stadtbahn-verkostoon ollut tarvetta. Lounais-Saksassa, Baden-Württembergin osavaltiossa sijaitsevassa Karlsruhessa ryhdyttiin 1970-luvun lopulla kehittämään kokonaan uudenlaista konseptia. Stadtbahn tunneleineen oli 200 000 asukkaan kaupunkiin turhan järeä ja kallis. Kaupungissa oli melko kattava raitiotieverkosto ja lisäksi pari kaupunkialueen ulkopuolelle johtavaa esikaupunkilinjaa. Nämä linjat yhdistettiin jo 1960-luvun lopulla osaksi kaupunkiverkkoa. Kahta vuosikymmentä myöhemmin 1980-luvun lopulla Karlsruhessa kehitettiin vanhan esikaupunkilinjan ajatuksen pohjalta kokonaan uusi innovaatio: rautatien ja raitiotien yhdistelmä. Perusajatuksena oli, että kaupunkia ympäröivän maaseudun kylät ja pikkukaupungit saataisiin yhdistetyksi osaksi Karlsruhen raitiotieverkkoa ja tarjota samalla suorat yhteydet Karlsruhen keskusaukiolle, Marktplatzille sekä myöhemmin kaupungin läpikulkevia linjoja. Konseptin keskeisin ero vanhaan esikaupunkiraitiotiehen oli se, että raitiovaunut tuotiin nyt suoraan valtakunnan rautatieverkolle. Se vaati lukuisia teknisiä ja lainsäädännöllisiä muutoksia. Vaikka raideleveys oli Karlsruhessa sama kuin rautateilläkin, ratkaistavana oli lukuisa joukko teknisiä ongelmia, kuten sähköjärjestelmä ja pyörän leveys: rautateillä käytetty pyöräprofiili oli yksinkertaisesti liian leveä kaupungin urakiskoradoille. Karlsruhessa kehitettiin näihin ratkaisu: vaunut pystyivät kulkemaan niin rautateillä kuin katuverkollakin. Pyöräprofiiliin kehitettyä ratkaisua tarkastellaan lähemmin työn kolmannessa osassa. Ensimmäinen kaksivirtajärjestelmällä varustettu vaunu aloitti kulkunsa linjalla B 25. syyskuuta 1992 Karlsruhesta 21 kilometrin päähän Bretteniin. Paikallisjunaliikenne Brettenin ja Karlsruhen välisellä Kraichgaubahnilla lakkautettiin uuteen kalustoon siirtymisen jälkeen: junat korvattiin raitiovaunuilla. Karlsruhessa ne ajoivat suoraan kaupungin keskustaan tarjoten suoran yhteyden keskeisiin kohteisiin. Aiemmin paikallisjunat olivat kuljettaneet Karlsruhen päärautatieasemalle, josta oli jatkettava raitiovaunulla perille keskustan Marktplatzille tai ostoskatu Kaiserstrasselle. Karlsruhen malli oli syntynyt ja se johti seuraavan neljännesvuosisadan aikana linjaston ja rataverkon valtavaan kasvuun: kun syyskuussa 1992 juhlistettiin vaatimattoman 21 kilometrin mittaisen osuuden valmistumista, oli Karlsruhen kantaraitiotieverkoston pituus vuonna 2016 kaikkiaan 76 kilometriä ja ympäröivän maaseudun sekä Heilbronnin ja Pforzheimin kaupungit kattavan duoraitiotieverkoston huikeat 637 kilometriä. Karlsruhen konsepti on sittemmin saanut maailmalla suurta kuuluisuutta ja sitä kutsutaan nimellä "Karlsruher Modell" ("Karlsruhen malli").

Ajatus raitio- ja rautatien yhdistämiseksi ei ole uusi. Varhaisemmat esikaupunkiradat ovat nähtävissä eräänlaisina rautatien ja raitiotien välimuotona. Lisäksi etenkin saksankielisissä maissa paikallisradat ovat jatkuneet katuverkolla urakiskoratoina joko raitiotieverkon osana tai joissakin tapauksissa omina itsenäisinä ratoina kaupunkien keskustoihin. Etenkin Sveitsistä löytyy tästä käytännöstä lukuisia esimerkkejä. Zürichissä Forchbahn (Linja S18) ajaa Zürichin kaupunkialueella keskustan laitamilla sijaitsevalta Stadelplatzilta Rehalpin esikaupungin kautta Forchiin ja edelleen Esslingeniin. Rata palvelee joukkoa pieniä kyliä. Zürichissä linja käyttää samoja kiskoja kuin kaupungin liikennöimä raitiolinja 11, mutta se ei pysähdy kaikilla reitin varrelle sijoittuvilla pysäkeillä. Forchbahnia liikennöi yksityinen Forchbahn-yritys. Zürichin kaupunginrajalta Rehalpista Esslingeniin rata luokitellaan kapearaiteiseksi rautatieksi. Sekä Forchbahnin että Zürichin raitioteiden raideleveys on 1000 mm. Vastaavasti St. Gallenin kaupungissa itäisessä Sveitsissä liikennöidään Trogenerbahn-nimistä 9,8 kilometrin pi-

tuista paikallisrataa, josta noin 1,8 kilometrin osuus kulkee St. Gallenin katuverkolla. Varsinainen raitioliikenne lakkautettiin vuonna 1957. Trogenerbahnia ei kuitenkaan luokitella raitiolinjaksi, vaikka se ei teknisesti juurikaan eroa Forchbahnista: jopa raideleveys molemmissa järjestelmissä on sama.

1.3.4 Duoraitiotiejärjestelmiä maailmalla

Karlsruhessa 1990-luvun alussa kehitetty raitiotiejärjestelmä herätti maailmalla laajaa kiinnostusta, jopa niin laajaa, että liikennelaitoksen on ollut palkattava täyspäiväinen palkollinen esittelemään järjestelmää siitä kiinnostuneille vieraille (Tampereen raideprojektin matkakertomus 2003). Useista Euroopan kaupungeista on käyty tutustumassa järjestelmään. Saksassa konseptia on erinäisin muutoksin sovellettu Kasselissa, Saarbrückenissä, Zwickaussa, Nordhausenissa ja Chemnitzissä. Ranskassa "Karlsruhen mallia" on sovellettu Mulhousessa, Nantesissa ja muutamilla Pariisia ympäröivän Île-de-Francen alueen raitiolinjoilla. Tanskan Aarhusissa duoraitioliikenne aloitettiin elokuussa 2018 (Urbanrail 2018). Useissa 100 000 asukkaan kaupungeissa eri puolilla Eurooppaa on sittemmin tutkittu mahdollisuuksia käynnistää duoraitioliikenne. Erilaisia selvityksiä on tehty mm. Alankomaissa, Ruotsissa ja Suomessa. Suomessa pisimmälle on menty Tampereella, jossa 2000-luvun alussa tutkittiin raitiovaunujen viemistä rautateille (Raideprojekti 2004).

Seuraavassa tarkastellaan muutamia eurooppalaisia duoraitioliikennepaikkakuntia tarkemmin. Tarkasteltaviksi paikkakunniksi on valittu Karlsruhe, Chemnitz, Mulhouse ja Aarhus. Karlsruhe on duoraitioteiden pioneeri, jossa liikennettä on harjoitettu jo yli neljännesvuosisadan ajan. Chemnitz ja Aarhus ovat molemmat aloittaneet duoraitiotieliikenteen 2010-luvulla; Chemnitzissä käytetään dieselmoottoreilla varustettuja duovaunuja; Mulhousessa taas rautateillä samaa 25 kV:n jännitettä kuin Suomessa. Aarhus on myös uusin ja toistaiseksi pohjoismaiden ainut duoraitiotiejärjestelmä.

1.3.4.1 Karlsruhe – duoraitiotien pioneeri

Karlsruhe on Baden-Württembergin osavaltion länsikulmassa, Rhein-joen länsirannalla sijaitseva kaupunki. Karlsruhen pinta-ala on 173,46 km² ja asukasluku vuoden 2016 lopulla 311 665 asukasta. Asukastieheys oli samaan aikaan 1756 asukasta km² (Karlsruhe 2018). Karlsruhe on yksi Lounais-Saksan rataverkon keskeisimpiä solmukohtia: sen kautta kulkee kansainvälistä liikennettä Baselin kautta Zürichiin Sveitsiin sekä Strasbourgin kautta Pariisiin ja Marseilleen. Saksan sisäistä liikennettä kulkee Stuttgartiin ja pohjoiseen Mannheimin-Heidelbergin suuntaan. Tämä liikenne on luonteeltaan enemmän paikallista, sillä nopean ICE-liikenteen rata valmistui vuonna 1991 Mannheimista suoraan Stuttgartiin, ja vanha rata jäi tällöin pelkästään alueliikenteen käyttöön. Alueliikenne Karlsruhesta Stuttgartiin, Heidelbergiin ja Mannheimiin on erittäin vilkasta. Tavaraliikennettä on runsaasti erityisesti pohjois-eteläsuuntaisella akselilla.

Karlsruhen raitiotiejärjestelmä voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: kaupungin sisäiseen liikenteeseen, esikaupunkiliikenteeseen ja varsinaiseen duoraitioliikenteeseen. Kaupungin sisäistä liikennettä palvelee seitsemän raitiolinjaa (1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 8). Raitiotieverkko kattaa kaupungin keskeiset osat sekä esikaupungit varsin kattavasti. Kolme esikaupunkilinjaa (S1, S11 ja S2) liikennöivät kaupunkialueen ulkopuolelle mm. Ittersbachin, Hochstetteniin, Bad Herrenalbiin Rheinstettenin ja Spöckiin. Esikaupunkilinjoja voi pitää osittain myös pikaraitiotielinjoina, sillä kaupunkialueen ulkopuolella ne kulkevat pääsääntöisesti

muusta katuverkosta erillään. Kaupunki- ja esikaupunkilinjat muodostavat Karlsruhen liikenteen keskeisen ydinverkon. Linjojen vuoroväli on päiväliikenteessä keskeisimmillä osuuksilla yleensä 10 minuuttia, iltaisin ja viikonloppuisin harvempi. Erikoisuutena voidaan mainita Hochstetteniin johtava esikaupunkilinjalle (linjat S1 ja S11) rakennettu Karlsruhen teknillisen yliopiston (Karlsruher Institut für Technologie, KIT) kampusaluetta palveleva pistoraide. Alueelle ajetaan kaksi vuoroparia arkipäivisin, eikä niiden kyytiin nouseminen ole sallittu muille kuin yliopiston työntekijöille. Kuva 2 havainnollistaa Karlsruhen kaupunkiraitioliikennettä.

Kuva 2. Raitioliikennettä Karlsruhen päärautatieaseman edustalla. Vasemmalla linjan S11 juna on saapunut etelästä Karlsruheen jatkaakseen kaupungin halki pikaraitiotiemaista rataa Hochstetteniin. Oikealla AVG:n duoraitiovaunu on lähdössä Karlsruhen eteläpuolella sijaitsevaan Acherniin. Vaunun matka taittuu suurelta osin samaa ratalinjaa tavallisten junien kanssa. Kuva tekijän. Karlsruhe, 14. kesäkuuta 2018.

Varsinainen duoraitioliikenne kattaa laajan alueen Karlsruhen ympäristössä. Pisimmät linjat ulottuvat yli sadan kilometrin päähän kaupungista itään ja etelään. Linjoja on 14 (S31, S32, S4, S41, S42, S5, S51, S52, S6, S7, S71, S8, S81 ja S9). Näistä linjat S4, S5, S51, S52 ja S7 kulkevat Karlsruhen kaupunkiraitiotieverkolla, kun taas linjat S31, S32, S71 ja S81 käyttävät pelkästään liittotasavallan rautatieverkkoa. Linja S6 palvelee Pforzheimin ja Bad Wildbadin välistä yhteyttä ja linja S9 Mühlackerin ja Bruchsalin välistä poikittaisliikennettä. Linjat S41 ja S42 ovat Heilbronnin alueen linjoja, joskin ne soveltavat duoraitiotien periaatetta Heilbronnissa (KVV Kursbuch 2018). Karlsruhen hallinnollisella alueella raitiovaunuin liikennöitävää rataa on 76 kilometriä. Luku kattaa myös ne liittotasavallan rautatieosuudet, joilla liikennöivät raitiovaunut (Urbanrail 2018). Duoraitioliikenteestä vastaava Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH ilmoittaa linjapituudeksi 561,3 kilometriä, jolloin kokonaispituus nousee peräti 637,3 kilometriin (AVG 2018). Tästä kaupunkiraitiotietä on Karlsruhen kaupunkialueelle sijoittuvan 76 kilometrin lisäksi Heilbronnissa 9,6 km, Wörthissä Karlsruhen länsipuolella 2,1 km ja Bad Wildbadin kaupungissa 0,8 km. Valtion rataverkon osuus on 561 kilo-

metriä. Tästä noin 83 km sijoittuu Karlsruhen välittömään lähiympäristöön: juridisesti rataosuudet ovat rautatieohjesäännön (EBO) alaisia, mutta kaukoliikennettä näillä esikaupunkityyppisillä rataosuuksilla ei ole.

Duoraitiovaunut siirtyvät Karlsruhen katuverkolle kolmessa paikassa: lännestä Rhein-joen yli tulevat linjat S5 ja S52 siirtyvät rautatieltä Maxaussa, linjat S51, S7 ja S8 Albtalbahnhofilla kaupungin keskustan eteläpuolella ja linjat S4 ja S5 Durlachin asemalla kaupungin itäpuolella. Lisäksi linja S6 kulkee päätepysäkkinsä lähettyvillä Bad Wildbadissa reilun kilometrin matkan katuverkossa. Linjat S4 ja S5 kulkevat kaupungin halki. Aiemmin linja S4 ajoi etelässä Rastattiin saakka, mutta koska linjan yksittäinen sivu oli tuolloin Öhringeniin asti ulottuvilla vuoroilla noin neljä tuntia, se jaettiin kahtia linjoiksi S4 ja S41. Jälkimmäisestä tuli sittemmin linja S81. Siirtymäpaikat DB Netz AG:n verkolta BOStrabin alaisuuteen Maxaussa, Albtalbahnhofilla ja Durlahchissa on merkitty selkeästi kyltein, joskaan asiasta tietämätön tavallinen kaupunkilainen ei niihin huomiota kiinnitä.

Karlsruhesta noin 60 kilometriä itään sijaitsevassa Heilbronnissa on lisäksi oma länsi-itä-suunnassa kaupungin halki kulkeva raitiotieksi luokiteltu rataosuus, jota linja S4 hyödyntää matkallaan Karlsruhesta Heilbronnin itäpuolella sijaitsevaan Öhringeniin. Heilbronnin pohjoispuoleista maaseutua palvelevat linjat S41 ja S42 kulkevat kaupungin halki rakennettua pohjois-eteläsuuntaista akselia. Kaupungissa on ollut aiemminkin raitioliikennettä, joka kuitenkin on lakkautettu. Länsi-itä-suuntainen osuus otettiin käyttöön vaiheittain vuosina 2001-2005 ja pohjois-eteläsuuntainen osuus joulukuussa 2013. Kuten Karlsruhessa, myös Heilbronnin kaupunkiverkko on tavallista katuraitiotietä; kaupungin rajalla vaunut siirtyvät Saksan rautatieverkolle eli DB Netz AG:n alaisuuteen (Urbanrail 2018).

Karlsruhen raitiovaunukalusto koostuu pelkästään sähkökäyttöisistä moottorivaunuista. Hybridi- tai dieselkäyttöisiä vaunuja ei ole. Kalustoa on uusittu viime vuosina: vanhimmat vaunut ovat tällä hetkellä esikaupunkilinjoilla S1 ja S11 käytettävät 20 kappaletta Waggon Union/DUEWAG:n valmistamat GT60-80C-tyypin vaunua 1980-luvun alkupuolelta. Kaupunkilinjoilla käytettävät vaunut ovat pelkästään matalalattiaisia. Uusimmat vaunut ovat 2010-luvulta: kaupunkiliikenteeseen on hankittu 75 kappaletta uusia Stadlerin valmistamia NET 2010-tyypin vaunuja ja duoliikenteeseen 30 kappaletta Bombardierin ET 2010-sarjan vaunuja (AVG 2018). Duoraitiovaunujen keski-ikä on kuitenkin kiskoliikennekalustoksi suhteellisen nuorta: se on keskimäärin 20 vuotta, joten esimerkiksi GT8-100C/2S-sarjan vaunuja käytetään liikenteessä vielä pitkään. Kaupunki- ja esikaupunkiliikenteessä käytetään yksinomaan yksisuuntavaunuja, duoraitiolinjoilla kalusto on kaksisuuntaista. Esikaupunkilinjoilla on kääntösilmukat sekä linjojen päissä että muutamissa muissakin paikoissa (Gleisplanweb 2018).

Taulukko 1. Karlsruhen raitioteillä käytettävä kalusto linjoittain aikataulukaudella 2018-2019

Linja	Vaunutyyppi
Kaupunkilinjat 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 8	GT6-70D/N, GT8-70D/N, NET 2012
Esikaupunkilinjat S1 ja S11	GT6-80C, GT8-80C, NET 2012
Esikaupunkilinja S2	GT6-70D/N, GT8-70D/N, NET 2012
Duoraitiolinjat S31, S32, S6, S8 ja S81, S9	GT8-100C/2S,
Duoraitiolinjat S4, S5, S51, S52, S7, S71	GT8-100C/2S, GT8-100D/2S-M, ET 2010
Duoraitiolinjat S41 ja S42	ET 2010

Taulukosta 1 ilmenee raitiotiekaluston sijoitus eri raitiolinjoille. Luvuissa ovat mukana kaupunki-, esikaupunki- ja duoraitiolinjat. Taulukosta 2 puolestaan ilmenevät kaluston lukumäärä, käyttöönottovuosi ja valmistaja.

Taulukko 2. Karlsruhen raitiotiekalusto aikataulukaudella 2018-2019

Vaunutyyppi	Linja(t)	Lukumäärä	Valmistaja	Vuosi
GT6-70D/N	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8	45	DUEWAG/Siemens, ADtranz	1995-2005
GT6-80C	S1, S11	20	Waggon Union/DUEWAG	1983-1984
GT8-70D/N	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8	25	Siemens, ADtranz	1999-2003
GT8-80C	S1, S11	15	DUEWAG	1989, 1991
GT8-100C/2S	S31, S32, S4, S5, S51, S52, S6, S7, S71, S8, S81, S9	36	DUEWAG, ABB, Henschel	1991-1995
GT8-100D/2S-M	S4, S5, S51, S52, S7, S71	86	DUEWAG/Siemens, ADtranz, Bombardier	1997-2005
ET 2010	S41, S42	30	Bombardier	2017
NET 2012	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, S1, S11, S2	75	Vossloh, Stadler	2011-2020

Raitioliikenne on tarkoitus sijoittaa Karlsruhen keskustassa tunneliin. Rakenteilla on Kombilösungiksi kutsuttu hanke, jossa liikenneturvallisuutta ja viihtyisyyttä pyritään lisäämään siirtämällä Ettlinger Strassen ja Kaiserstrassen raitioradat tunneliin ja rakentaa pysäkeistä maanalaisia asemia. Maanalaisia asemia tulee loppuvaiheessa kuusi, joista neljä Kaiserstrassen alapuolelle (Europaplatz, Marktplatz, Kronenplatz ja Durlacher Tor) ja Ettlinger Strassen alapuolelle kaksi (Ettlinger Tor/ECE ja Kongresszentrum). Ratkaisulla pyritään helpottamaan nyt ruuhkaista Kaiserstrassen kävelykatua. Projektiin kuuluu myös Kriegstrassen alle rakennettava autoliikenteen käyttöön rakennettava tunneli, jonka ansiosta maanpäällinen katuosuus voidaan vapauttaa raitiovaunuille, pyöräilijöille ja jalankulkijoille. Rakennustöiden pitäisi olla Kaiserstrassen osalta valmis vuonna 2020 ja Ettlinger Strassen vuonna 2021 (Kombilösung 2018).

1.3.4.2 Chemnitz

Chemnitz on Saksin osavaltion eteläosissa sijaitseva ja sen kolmanneksi suurin kaupunki Leipzigin ja Dresdenin jälkeen. Asukkaita kaupungissa oli huhtikuun 2018 lopulla 247 287 asukasta ja maapinta-ala oli 221 07 km². (Chemnitz 2018). Vuonna 2018 Chemnitzin kaupunkiraitiotien rataverkon ratapituus oli 30,1 km ja kaupunkilinjoja 5 (1, 2, 3, 4 ja 5) (CVAG 2018). Kaupunkilinjat kattavat rakennetun kaupunkialueen hyvin siten, että ne ulottuvat lännessä Schönauhun ja idässä sekä kaakossa Gablenziin sekä Bernsdorfiin. Nämä kolme rataosuutta ovat verraten lyhyitä ja palvelevat pääsääntöisesti vanhaa kaupunkialuetta. Lounaaseen 1980-luvulla rakennettu Hutholzin elementtitaloista koostuva lähiö on saanut niin ikään oman raitiotiensä, joka erityisesti Morgenleiten ja Hutholzin välisellä osuudella on toteutettu lähestulkoon pikaraitiotiemaisesti Vignole-kiskotuksineen sekä muusta katuverkosta erotettuine ratoineen (Gleisplanweb 2018).

Kuva 3. Chemnitzin raitiotiekalustoa. Etualalla Stadlerin valmistama City-Link-duoraitiovaunu linjalla C14 on saapunut Mittweidasta Chemnitzin päärautatieasemalle (Hauptbahnhof) ja siirtyy käyttämään dieselmoottorin sijaan Chemintzin kaupunkiraitiotieverkon 750 V tasavirtaa. Viereisellä raiteella Stollbergiin kaupungin eteläpuolelle suuntaava ADtranz/Bombardierin valmistama vaunu linjalla C11 ja kauimpana kaupunkiraitiolinjalla 4 oleva matalalattiavaunu lähdössä Hutholzin elementtilähiöön. Kuva tekijän. Chemnitz, 15. kesäkuuta 2018.

Chemnitzin kaupunkiraitiotietä täydentää duoraitiovaunuin liikennöitävät seuturaitiolinjat. Seudulliseen malliin on siirrytty vähitellen 2000-luvun alusta saakka. Vuonna 2002 otettiin käyttöön "Vaihe 0", joka käsitti keskustan eteläpuolella sijaitsevasta Altchemnitzistä Stollbergiin johtavan rautatielinjan sähköistämisen ja yhdistämisen raitiotieverkkoon. Kaupunkiraitioteillä käytetään 600 V:n tasavirtaa ja Stollbergin rautatiellä hieman korkeampaa 750 V jännitettä. Rautatiellä on myös jonkin verran tavaraliikennettä. Koeosuudeksi (Pilotstrecke)

nimettyä rataa liikennöidään molemmilla jännitteillä kulkevilla Variobahn-vaunuilla. Rataosuus on enimmäkseen yksiraiteinen ja varustettu kohtausraitein Neukirchen-Klaffenbachissa ja Pfaffenhainissa sekä kulunvalvonnalla. Rata on EBO:n alainen Altchemnitzistä etelään ja sillä on käytössä rautatielainsäädännön alaiset turvalaitteet opastimista tasoristeysten varoituslaitoksiin.

Varsinaisen duoraitiotien katsotaan Chemnitzissä alkaneen kuitenkin vasta lokakuun 10. päivänä vuonna 2016, jolloin seutuliikennemallin "Vaihe 1" otettiin juhlallisesti käyttöön. Tällöin valtion rataverkolta tulevat vaunut ajettiin kaupungin keskustassa sijaitsevalle Zentralhaltestellelle saakka. Uusia linjoja otettiin kerralla käyttöön kolme: ne saivat numerot C13, C14 ja C15. Vastaavasti päätepisteet olivat Chemnitzin ympäristössä Burgstädt, Mittweida ja Hainichen. Linjat poikkesivat Stollbergin linjasta siinä, että ne olivat sähköistämättömiä ja niitä liikennöitiin duokalustolla. Vaunut kulkevat Chemnitzin kaupunkialueella sähköllä ja muualla dieselvoimalla, vaikka esimerkiksi Hainicheniin johtavalla rataosuudella olisi mahdollista kulkea sähkövedolla Niederwiesaan saakka, toki rautateiden 15 kV:n jännitteellä. Chemnitzin kaupunkialueella duoraitiolinjojen päätepysäkki on sittemmin siirtynyt vuoden 2017 toukokuussa väliaikaiselle päätepysäkille Stadlerplatzille ja saman vuoden joulukuussa nykyiselle päätepysäkilleen Technoparkiin. Näin linjat palvelevat kaupunkilinja 3 ohella Chemnitzin teknillisen yliopiston kampusaluetta. Liittotasavallan raitiotieverkolla kulkevien osuuksien yhteispituus oli vuoden 2018 lopulla 59 kilometriä.

Cheminitzin duoraitiolinjaston on tarkoitus laajentua "Vaiheessa 2" Thalheimiin (Erzgeb), jolloin Technoparkin päätepysäkiltä avataan uusi, rakenteilla oleva ratayhteys Chemnitzistä etelään johtavalle rautatielle. "Vaiheessa 3" duovaunut aloittavat liikenteen Niederwiesasta Annaberg-Buchholtz Südiin ja Flöhasta Obernhau-Grünthaliin. Vaiheet 2 ja 3 ovat kohtalaisen helposti toteutettavissa, sillä niihin ei sisälly uutta rataa. "Vaiheessa 4" kaupungin luoteisosien halki Oberfrohnaan. Toisin kuin muut laajennussuunnitelmat, tämä hanke sisältää 6,8 kilometriä pitkän katuraitiotieosuuden ulottaen raitioliikenteen kaupungin luoteisosaan, josta se nyt puuttuu. "Vaiheessa 5" Stollbergin linjaa on tarkoitus jatkaa Stollbergistä Oelnitziin. "Vaihe 2:n" arvioitu käyttöönotto on vuoden 2019 lopulla. Vaiheet 3, 4 ja 5 tulevat ajankohtaisiksi vasta 2020-luvun alkuvuosina (Chemnitzer Modell 2018). "Vaihe 2:n" toteutuminen mahdollistaa heilurilinjan muodostamisen etelästä pohjoiseen tai koilliseen Chemnitzin keskustan halki.

Chemnitzin kaupunkiraitiolinjoilla vuoroväli on arkisin tiheimmillään 10 minuuttia, duoraitiolinjoilla C13, C14 ja C15 pääsääntöisesti yksi tunti. Stollbergin linjalla C11 vuoroväli on puoli tuntia. Vaunukalusto koostuu kaupunkilinjoilla käytettävistä tšekkoslovakialaisen ČKD Tatran valmistamista, mutta perusteellisesti modernisoiduista vaunuista sekä vuosituhannen vaihteessa valmistuneista ADtranz/Bombardierin valmistamista matalalattiavaunuista. Vaunukalusto esitetään taulukossa 4 (Chemnitzer Modell 2018, CVAG 2018) ja sitä havainnollistetaan kuvassa 3.

Taulukko 3. Chemnitzin vaunukalusto aikataulukaudella 2018-2019

Vaunutyyppi	Linjat	Luku-määrä	Valmistaja	Valmis-tettu
Tatra T3M-D	1, 2, 3, 4, 5	15	ČKD Tatra Praha	1988
Variobahn 6NGT-LDE (yksisuuntainen vaunu)	1, 2, 3, 4, 5	14	ADtranz/ Bombardier Transportation Bautzen	1999/2000
Variobahn 6NGT-LDZ (kaksisuuntainen vaunu)	1, 2, 3, 4, 5	10	ADtranz/ Bombardier Transportation Bautzen	1998-2000
Variobahn 6NGT-LDZ (kaksisuuntainen vaunu)	C11	5	ADtranz/ Bombardier Transportation Bautzen	2000-2002
Stadler Citylink	C13, C14, C15	12	Stadler	2016-2017

1.3.4.3 Mulhouse

Mulhouse on Alsacen departementissa Ranskan itäosassa sijaitseva tekstiili- ja kemianteollisuudestaan tunnettu kaupunki. Se on kuulunut historiansa aikana sekä Sveitsin valaliittoon että Saksaan, mutta on nykyään täysin ranskankielinen. Asukkaita kaupungissa oli vuonna 2015 110 351 ja sen pinta-ala oli 22,18 km^2 (Mulhouse 2019).

Kaupungissa harjoitettiin raitioliikennettä vuosina 1882-1960, mutta kuten monesta muustakin ranskalaiskaupungista, raitiotiet lakkautettiin voimakkaan autoistumisen seurauksena 1950- ja 1960-luvuilla. Alkuperäinen raideleveys oli 1000 mm (Soléa 2018). Raitiotiet tekivät kuitenkin paluun Ranskaan 1990-luvulta alkaen, ja raitioliikenne aloitettiin uudelleen vuonna 2006 normaaliraiteisella verkostolla. Toukokuun 13. päivänä 2006 avattiin ensimmäiset osuudet Gare Centralelta Musée de l'auto – Parc des Expositions/Rattachementiin ja Coteauxista Nouvelle Bassinille. Linjastoa on laajennettu sen jälkeenkin: linjaa 1 jatkettiin myöhemmin vuonna 2009 nykyiselle päätepysäkilleeen Châitagnieriin ja joulukuun 11. päivänä 2010 aloitettiin linjan 3 liikenne Gare Centralen ja Gare Lutterbachin välillä. Samana päivänä alkoi myös duoraitioliikenne Thanniin. Tällä hetkellä kaupunkiverkon pituus on 16,2 km ja se käsittää kolme kaupunkilinjaa ja yhden duoraitiolinjan (Crossing Boundaries in Alsace 2019).

Kaupunkiverkostoa täydentämään avattiin joulukuussa 2010 duoraitiolinja TT. Se kulkee linjan 3 kanssa yhteistä osuutta kaupungin keskustan halki Gare Centralelta Lutterbachiin jatkaen sieltä Ranskan rautatieverkostolle 22 kilometrin päässä Mulhousesta luoteeseen sijaitsevaan Thannin kaupunkiin. Kaupunkilinjoilla 1 ja 2 vuoroväli on arkisin päivällä tiheimmillään 5-6 minuuttia. Linjan 3 ja duoraitiolinja TT:n aikataulut ovat synkronoitu siten, että Gare Centralen ja Lutterbachin välille muodostuu arkisin ja lauantaisin noin 15 minuutin vuoroväli. Sunnuntaisin vaunuja kulkee kahdesti tunnissa. Linja TT jatkaa kahdesti tunnissa Lutterbachista Thanniin, ja edelleen yksi vuoro Thann Garelta Thann St. Jacquesiin. Kuvassa 4 Siemensin valmistama 25 kV vaihtovirtaa rautatiealueella käyttävä vaunu Thannin asemalla.

Kuva 4. Mulhousen Siemens Avanto-duoraitiotievaunu Thannin rautatieasemalla (Thann Gare). Mulhousen raitiotiejärjestelmä avattiin toukokuussa 2006 ja duoraitioliikenne aloitettiin neljä vuotta myöhemmin. Mulhousen duoraitiolinjalla käytetään Ranskan valtionrautateiden SNCF:n verkon 25 kV:n jännitettä. Kuva tekijän. Thann, 29. heinäkuuta 2016.

Duoraitiovaunut käyttävät Mulhousen kaupunkialueella 750 V tasavirtaa, mutta rautatieverkostolla 25 kV vaihtovirtaa. Mulhousen kaupunki- ja duoraitiovaunut eivät eroa toisistaan kovin paljoa. Kaupunkilinjoilla liikennöi 22 Alstom Citadis 302-tyypin vaunua vuodelta 2006 ja duoraitiolinjalla 12 Siemens Avanto-vaunua vuodelta 2010 (Soléa 2018).

1.3.4.4 Aarhus

Tanskassa Jyllannin niemimaan pohjoisosissa sijaitseva Aarhus (tunnetaan myös nimellä Århus) on Tanskan kolmanneksi suurin kaupunki 341 254 asukkaallaan, joista 273 077 sijoittuu varsinaiselle 91 km² kaupunkialueelle (Aarhus 2018). Kaupunki on toteuttamassa duoraitiotiehanketta ja sen ensimmäinen 6,8 kilometriä pitkä osuus avattiin joulukuun 21. päivänä 2017 Aarhus Hovedbanegårdenista Aarhus Universitetshospitaletille (Laaksonen, 2018). Käytössä oleva osuus on modernia katuraitiotietä, ja sille on rakenteilla jatko kaupungin pohjoisosien halki. Uusi rata ei kulje Aarhusin keskustassa vaan ohittaa sen itäpuolitse. Raitiotie haarautuu päärautatieaseman pohjoispuolella satamaradasta katuverkolle kulkien Nørreportia, Nørrebrogadea, Randersvejtä, Nehrus Alléta ja Olof Palmes Alléta yliopistolliselle sairaalalle, jossa sijaitsee toistaiseksi radan päätepysäkki. Jatko-osuus yliopistolliselta sairaalalta Lisbjergiin ja edelleen itään kohden Grenaata kulkee omassa ratakäytävässään. Raitiotie yhtyy hieman ennen Lystrupia jo olemassa olevaan Grenaan rautatiehen. Lisäksi kaupunkiosuuteen on rakenteilla lyhyt, pysäkinvälin mittainen haara Lisbjergskolenille (Open Street Map 2018).

Aarhusin raitiotiehen liittyy rautatieosuudet toisaalta etelään Odderiin ja toisaalta itäkoilliseen Grenaan. Rautatieosuudet ovat melko pitkiä: Aarhusista Odderiin matkaa kertyy 26 kilometriä ja Aarhusista Grenaan 54 kilometriä. Molempia ratoja on liikennöity vuosikymmenet moottorivaunukalustolla, vieläpä siten, etteivät junat kulkeneet Aarhusin läpi vaan jäivät rautatieasemalle. Vuonna 2012 linjat yhdistettiin heilurilinjaksi Odder-Aarhus-Grenaa. Molemmat rataosat ovat olleet vuodesta 2016 suljettuina sähköistys- ja muutostöiden takia. Aarhusissa päädyttiin molempien paikallisratojen sähköistämiseen, jotta hybridikalustoa ei tarvitsisi ostaa vaan vaunut voisivat kulkea sähköllä. Tältä osin noudatetaan Karlsruhen mallia, jossa niin ikään on vältelty diesel- tai hybridikaluston käyttöönottoa (Laaksonen 2018)

Letbanenia on tarkoitus liikennöidä lopullisessa tilanteessa Aarhusin ja Grenaan välillä kerran ja Aarhusin ja Odderin välillä kahdesti tunnissa. Lähempänä Aarhusia vuoroväli on tiheämpi; Aarhusin kaupunkialueella kuusi minuuttia. Matkaa-ajaksi on arvioitu Aarhusin päärautatieasemalta Grenaan 71 ja Odderiin 38 minuuttia. Ensimmäisen vaiheen avauduttua liikenteelle verkoston pituus on 110 kilometriä, joista 12 kilometriä on Aarhusin katuverkolle sijoittuvaa katuratataa. Myöhemmässä vaiheessa raitiotietä on suunnitelmissa jatkaa Lisbjergskolalta Hinnerupiin ja päärautatieasemalta länteen Brabrandiin. Pidemmän aikavälin suunnitelmana on sähköistää etelään johtava rautatie ja aloittaa raitioliikenne Hasselagerin ja Koltin kautta Skanderborgiin. Hinnerupin ja Brabrandin raitiotien toteutuksesta on olemassa sopimus Aarhusia hallitsevien poliittisten päättäjien keskuudessa, mutta tarkempi aikataulu jatkorakentamiselle puuttuu toistaiseksi. Raitiotielle on tilattu Stadlerilta 14 kappaletta Variobahn-vaunuja ja 12 kappaletta Tango-vaunuja. Variobahnit valmistetaan Stadlerin Berliinin-tehtailla ja ne sijoitetaan Odderin-Aarhusin-Lisbjergin-Lystrupin väliselle linjalle. Tango-vaunut puolestaan valmistetaan Altenrheinin tehtailla Sveitsissä ja asetetaan Aarhusin ja Grenaan väliselle linjalle. Niiden huippunopeus on 100 km/h (Letbanen 2018).

Tanskan liikennevirasto Trafikstyrelsen arvioi avajaisten lähestyessä syyskuussa 2017, ettei rata täyttänyt liikennöinnin edellytyksiä. Liikenteestä vastaava Aarhus Letbane ei ollut esittänyt radan pysyvän ylläpidon suunnitelmaa ja operaattorina toimivalta Keolisilta puuttui riittävä turvallisuustyön dokumentointi. Siten syyskuun 23. päivälle 2017 kaavaillut avajaiset peruttiin ja siirrettiin saman vuoden joulukuulle (Laaksonen, 2018). Toistaiseksi lupakäsittelyt ovat edelleen kesken ja liikenne kaupunkiraitiotien pohjoisella osuudella sekä Grenaan suuntaan aloittamatta. Liikenne Odderiin aloitettiin viimein 25. elokuuta 2018, mutta Grenaan päästäneen vasta vuoden 2019 puolella (Letbanen 2018).

1.3.4.5 Muita duoraitioteitä muistuttavia järjestelmiä

Muita duoraitiotietä muistuttavia järjestelmiä on rakennettu useisiin eurooppalaisiin kaupunkeihin. On tulkintakysymys, ovatko esimerkiksi Köln-Bonnin tai Mannheim-Ludwigshafen-Heidelbergin kolmiokaupungin raitiotiejärjestelmät duoraitioteitä vai perinteisiä raitiotiejärjestelmiä. Monissa Saksan kaupunkien perinteisiksi raitiotiejärjestelmiksi luettavissa raitiotieverkoilla on pitkiä, jopa useita lähiseudun kaupunkeja ja kyliä yhdistäviä linjoja, jotka tekniseltä toteutukseltaan ovat rautateitä tai hyvin lähellä niitä. Joillakin paikkakunnilla kaupunkialueen ulkopuolinen, rautatiemainen osuus on lainsäädännöllisesti sellaiseksi merkitty. Myös Sveitsiin ja Ranskaan on valmistunut useita duoraitioteitä muistuttavia järjestelmiä, jotka eivät kuitenkaan Karlsruhen mallia sellaisenaan täytä. Muut duoraitiotiepaikkakunnat esitetään tietoineen liitteessä 1.

1.3.5 Johtopäätökset

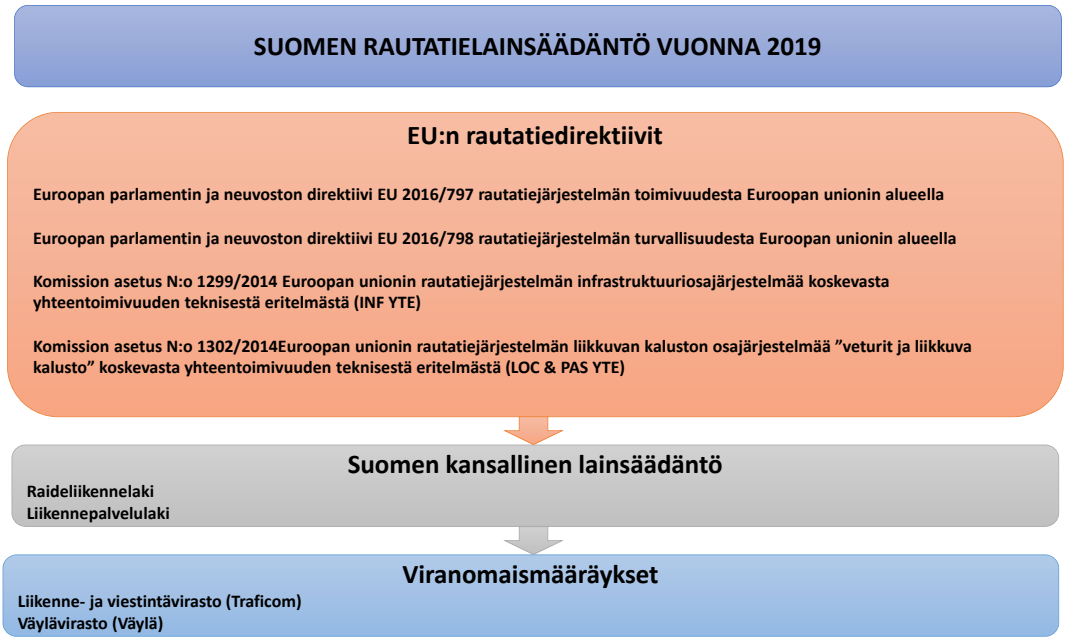
Duoraitioliikennettä on viimeisen neljännesvuosisadan aikana harjoitettu useissa Keski-Euroopan kaupungeissa, joista edellä esiteltiin yksityiskohtaisesti joukko tärkeimmistä sovelluksista. Suomalaisia edellä mainituista järjestelmistä kiinnostanevat eniten Karlsruhen, Mulhousen ja Aarhusin duoraitiotiet. Karlsruhen siksi, koska siellä on ylivoimaisesti pisin kokemus kaksijärjestelmätekniikan kehittämisestä ja soveltamisesta. Mulhouse ja Aarhus ovat puolestaan esimerkkejä siitä, kuinka raitiotie on tuotu olemassa olevaan kaupunkirakenteeseen ja yhdistetty rautatieverkostoon – joko vuosikymmeniä alkuperäisen 1800- ja 1900-lukujen vaihteessa rakennetun kaupunkiraitiotieverkoston lakkauttamisen jälkeen tai kokonaan uudelleen. Mulhousen järjestelmä erillisine kaupunki- ja duoraitiotievaunuineen on tästä hyvä esimerkki. Samalla se on esimerkki myös siitä, kuinka 25 kV:n jännitteellä varustettu vaunu voidaan tuoda Suomen valtiolliselle rataverkolle – käytetäänhän myös Ranskassa 25 kV:n jännitettä. Aarhus taas on Pohjoismaiden ensimmäinen duoraitiotiekaupunki.

Kaupunkien yksityiskohtaisen esittelyn perusteella voidaan nähdä duoraitioliikenteen soveltuvan joustavasti hyvin erilaisiin ympäristöihin. Sen avulla voidaan hoitaa pienehkön keskuskaupungin ja sitä ympäröivän maaseudun sekä pikkukaupunkien väliset yhteydet tehokkaasti ja tarjota kiskoilla uudet, nopeat ja suorat yhteydet kaupunkikeskuksen kohteisiin (Karlsruhe, Kassel, Mulhouse ja Aarhus). Se voi myös toimia alueellisena paikallisjunayhteytenä tai suurkaupunkialueen laajan kiskoliikenneverkon täydentäjänä (Pariisi). Duoraitioliikenne sopii myös pienemmille paikkakunnille: Saksan Nordhausen on nykyisellä mittapuulla raitiotiepaikkakunnaksi pieni (noin 40 000 asukasta), mutta silti siellä harjoitetaan kiskoliikennettä. Voidaan siis havaita duoraitiotien soveltuvan hyvin muutaman kymmenen tuhannen asukkaan pikkukaupungista miljoonakaupunkeihin. Oleellisinta lienee kuitenkin joukkoliikenteen kulkumuoto-osuuden nostaminen nykyisestä.

2 Lainsäädäntö

Tässä luvussa käsitellään raideliikenteeseen vaikuttavaa lainsäädäntöä ja sitä valvovia viranomaisia duoraitioliikenteen näkökulmasta. Luvussa esitellään Suomessa raideliikennettä valvovat viranomaiset ja kuvataan niiden suhde liikenteen harjoittamiseen. Varsinainen lainsäädäntö sekä sille alisteiset määräykset kuvataan hierakisesta näkökulmasta: ylinnä tarkastellaan EU:n rautatieliikennettä koskevia direktiivejä ja asetuksia, kansallista lainsäädäntöä. Tarkastelussa huomioidaan myös kansalliselle lainsäädännölle alisteiset määräykset ja ohjeet sekä pohditaan, olisiko Saksassa raideliikennettä koskevien, lakien alapuolella olevien sitovien ohjeiden ja määräysten laatiminen Suomessa tarpeellista. Tavoitteena on kuvata voimassa olevan lainsäädännön keskeiset kohdat tiivistetysti ja tarkastella, miltä osin ne vaikuttavat duoraitioliikenteeseen. Koska Suomessa ei duoraitioliikennettä ole harjoitettu, on vertailukohdaksi otettu Saksan liittotasavallan kansallinen lainsäädäntö ja sille alisteiset määräykset. EU:n direktiivit ja asetukset koskevat molempia valtioita samalla tavalla, joten siltäkin osin vertailua on helppo suorittaa. Saatuja tuloksia sovelletaan johtopäätöksissä, jossa kerrotaan, millä tavoin duoraitioliikennettä voidaan Suomen oloissa harjoittaa ja millaisia tekijöitä tulee huomioida, mikäli liikennettä halutaan Suomessa rataverkolla harjoittaa.

Suomen kiskoliikennettä koskevaa lainsäädäntöä voidaan kuvata kolmiportaisella hierakisella mallilla. Ylimpänä on EU:n kaikkia yhteisön jäsenvaltioita koskeva rautatiedirektiivi. Jäsenmaissa on omia kansallisia rautatielakeja, jotka eivät periaatteessa saisi olla ristiriidassa rautatiedirektiivin kanssa vaan sille alisteisia, mutta ne voivat olla soveltamisalaltaan toisistaan poikkeavia sekä joissakin jäsenvaltioissa tiukempia kuin toisissa. Kansallisen lainsäädännön täydentäjänä voi olla erillinen yksityiskohtainen säädöskokoelma, jossa annetaan määräyksiä käytännön toiminnoista. Sellaisia ovat Suomessa esimerkiksi Liikenne ja väylävirasto Traficomin laatimat yhteentoimivuuden teknisten eritelmien (YTE) täytäntöönpanomääräykset. Lainsäädännön hierakista suhdetta havainnollistetaan kuvassa 5.



Kuva 5. Suomen rautatielainsäädäntö hierakisena kaaviona.

2.1 Suomen kiskoliikenteestä vastaavat viranomaiset

Suomessa liikenteestä vastaavat organisaatiot on muodostettu hierakisesti. Ylimpänä on liikenne- ja viestintäministeriö, LVM joka ministeriönä valvoo sen alaisia virastoja ja laitoksia.

Suomessa kiskoliikennettä valvoo Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Liikenne- ja viestintäministeriön alainen Liikenne- ja viestintävirasto vastaa sääntely- ja lupa-asioista sekä EU-säädösten täytäntöönpanosta. Väylävirasto on puolestaan vastuussa valtakunnallisen rataverkon ylläpidosta. Molemmat virastot ovat valtion keskushallinnon alaisia virastoja. Liikenne- ja viestintävirastoon siirtyi vuoden 2019 alusta suurin osa entisen Liikenneviraston ja Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin tehtävistä, liikenneväylien ylläpidon valvonnan siirtyessä uuteen Väylävirastoon. Se vastaa liikenteen palvelutason ylläpidosta ja kehittämisestä valtion hallinnoimilla liikenneväylillä. Rautatieliikenteen lisäksi virasto vastaa yleisellä tasolla myös maantie- ja vesiliikenteestä. Eduskunta sääti Liikenne- ja viestintäviraston sekä Väyläviraston perustamisesta lailla lokakuussa 2018 ja virasto aloitti toimintansa vuoden 2019 alusta (Hallituksen esitys HE 61/2018). Helsingin kaupungin liikennelaitos (HKL) omistaa ja valvoo kaupungin alueella tapahtuvaa raitio- ja metroliikennettä. Metron osalta tämä koskee myös kaupunginrajan Espooseen ylittävää Länsimetron osuutta. Suomen kiskoliikenteestä vastaavia viranomaisia havainnollistetaan kuvassa 6.

Kuva 6. Suomen rautatie- ja kaupunkiraideliikenteestä vastaavat viranomaiset 1. tammikuuta 2019 alkaen.

2.2 Suomen kiskoliikenneoperaattorit

Valtakunnallisesta rautatieliikenteestä on perinteisesti vastannut Suomessa valtio. Valtionrautatiet eli VR yhtiöitettiin vuonna 1995 ja siitä muodostettiin myöhemmin erityinen osakeyhtiö. Siitä erotettiin sittemmin omaksi tytäryhtiökseen rautatieinfrastruktuurin rakentamiseen ja kunnossapitoon erikoistunut VR Track Oy-niminen yritys. Se myytiin norjalaiselle NRC Groupille lokakuussa 2018. Valtio-omisteinen VR-yhtymä on toistaiseksi ainut henkilöliikennettä Suomessa harjoittavista yrityksistä. Helsingin Seudun Liikenne (HSL) toimii omalla toimivalta-alueellaan lähiliikenteen tilaajaorganisaationa. Sen jäsenkunnista Espoo, Helsinki, Kauniainen ja Vantaa omistavat liikenteessä käytettävän kaluston. Tätä varten on perustettu erillinen Pääkaupunkiseudun Junakalusto Oy, joka on hankkinut yhteensä 81 Sm5-tyypin Stadler Flirt-matalalattiajunaa. Viimeisen junayksikön saavuttua keväällä 2017 on Pääkaupunkiseudun Junakalusto Oy:n omistamalla kalustolla hoidettu täysin HSL-alueen sisäinen liikenne. Liikennöintipalvelut eli käytännössä junahenkilökunta ostetaan kuitenkin vielä toistaiseksi VR-yhtymältä, koska HSL:llä ei pelkkänä tilaajaorganisaationa ole sellaiseen mahdollisuutta.

Rautateiden henkilöliikenteen avaamisesta muille on tehty liikenne- ja viestintäministeriön aloitteesta esitys, mutta toistaiseksi ei ole tiedossa, millaista mallia henkilöliikenteen kilpailutukseen tullaan lopullisessa muodossaan soveltamaan, ja millaiset operaattorit rautateillä liikennöimään. Rautateiden tavaraliikenne avattiin avoimelle kilpailulle EU:n vaatimusten mukaisesti vuonna 2007. Helsingin kaupungin liikennelaitos (HKL) harjoittaa metro- ja raitiotieliikennettä omilla, erillisillä rataverkoillaan. HKL:n metroliikenne ulottuu lännessä myös Espoon kaupungin alueelle Länsimetron lauantaina 18. marraskuuta 2017 tapahtuneiden avajaisten jälkeen.

2.3 EU:n rautateitä koskeva lainsäädäntö

Euroopan unionin komissio antaa määräyksiä ohjatakseen jäsenvaltioidensa lainsäädäntötyötä. Rautatieliikenteen osalta näistä tärkein on direktiivi. Se on ohje, jonka mukaan jäsenvaltion on laadittava omat lakinsa. Jokaisella jäsenvaltiolla on kuitenkin oikeus laatia oman lakinsa, mutta direktiivi määrittelee niiden suuntaviivat. EU:n rautatiedirektiivit ovat osa suurempaa kokonaisuutta, joilla pyritään yhtenäisen, koko unionin alueen käsittävän liikennepolitiikkaan. Sen keskeisiä osa-alueita ovat muun muassa vapaa kilpailu ja palveluiden tarjoaminen sekä teknisten, hallinnollisten ja turvallisuussääntöjen yhdenmukaistaminen. Tavoitteissa on otettu niin ikään huomioon myös ympäristönsuojeluun ja kuluttajasuojatoimenpiteisiin liittyviä yksityiskohtia (Euroopan unioni 2019).

EU säätelee rautatiepolitiikkaa direktiivein, asetuksin ja yhteentoimivuuden teknisin eritelmin (YTE). Direktiivien tarkoituksena on ohjata jäsenvaltioiden kansallista lainsäädäntöä ja varmistaa siten EU:n tavoitteiden toteuttaminen. Koska unioni koostuu tällä hetkellä 28 jäsenvaltiosta – Ison-Britannian eron jälkeen se putoaa yhdellä – joutuvat EU:n hallinto- ja lainsäädäntöelimet keskittymään suurten linjojen muokkaukseen. Direktiivit sekä erityisesti yhteentoimivuuden tekniset eritelmät (YTE) ottavat kuitenkin hyvinkin yksityiskohtaisesti kantaa teknisiin kysymyksiin.

2.3.1 EU:n rautatiedirektiivit EU 2016/797 ja EU 2016/798

Keskeinen rautateitä säätelevä EU-direktiivi on vuonna 2016 annettu rautatiedirektiivi 2016/797. Se kumoaa aiemman, vuodelta 2008 peräisin olleen direktiivin 2008/57/EY. Direktiivin yleisissä säännöksissä on tavoitteena varmistaa rautatiejärjestelmän tekninen yhteentoimivuus koko unionin alueella sekä edistää rautatiepalveluiden saatavuutta. Erityisesti tällä pyritään vaikuttamaan rautateiden avaamiseen vapaalle kilpailulle ja parantamaan palveluita. Se kuitenkin kattaa laaja-alaisesti koko rautatiesektorin: toisaalta siinä lähdetään EU:n perusarvoista, joihin kuuluvat ihmisten ja tavaroiden vapaa liikkuminen unionin alueella, toisaalta taas mennään syvälle teknisiin yksityiskohtiin. Direktiivissä otetaan esimerkiksi kantaa rautatiekaluston hyväksymiseen. Sen soveltamisesta säädetään selkeästi ja se kohdistuu suoraan varsinaiseen rautatieliikenteeseen: kaupunkiraideliikenne, kuten metro- ja raitiotiejärjestelmät rajataan ulkopuolelle niiden suppean markkina-alueen takia. Jälkimmäisiin sovelletaan kunkin jäsenvaltion kansallista lainsäädäntöä.

Vaikka direktiivi rajaakin rautatietä käyttävän raitioliikenteen ulkopuolelle, siihen otetaan kantaa kuudennessa (6) kohdassa, jossa ”raitiojuna[2] määritellään julkisen liikenteen käsitteeksi, joka kykenee liikkumaan sekä raskaassa että kevyen raideliikenteen infrastruktuurissa. Käytännössä tällä tarkoitetaan kaupungin katuverkkoa ja tavallista, muun liikenteen käytössä olevaa tai muuten rautatieksi luokiteltua rataa. Direktiivi ei koske ”raitiojunia” niiden liikkuessa pääosin kaupunkialueella tai esikaupunkiliikenteessä, vaikka kalustoon kuuluisikin rautatieliikenteen edellyttämiä varusteita, esimerkiksi rautatieliikennöinnin edellyttämiä kulunvalvontalaitteistoja. ”Raitiojunan” edellytetään direktiivin mukaan käyttävän rautateitä vain siinä tapauksessa, kun se linjaston verkon kannalta on tarpeellista. ”Raitiojunan” kulkiessa rautatiellä, olisi yleinen turvallisuustaso varmistettava olennaisten vaatimusten mukaisesti. Mikäli tällaisia järjestelmiä on, edellytetään toimivaltaisilta viranomaisilta toimialueen rajat ylittävää yhteistyötä.

Toisaalta direktiivin 1. artiklan 3. kohdassa sanotaan selvästi, ettei sitä sovelleta metroihin, raitioliikenteen ja kevytraideliikenteen kalustoyksiköihin sekä yksinomaan näiden kalustoyksiköiden käyttämään infrastruktuuriin sekä verkkoihin, jotka ovat unionin muusta rautatiejärjestelmästä toiminnallisesti erillisiä, ja jotka on tarkoitettu ainoastaan paikalliseen, kaupunkien tai esikaupunkien henkilöliikenteeseen, ja yksinomaan näillä verkoilla liikennöivät yritykset (EU 2016/797).

Yleistä rautatiedirektiiviä täydentää rautatieturvallisuudesta erikseen säädetty direktiivi 2016/798. Sen ”tarkoituksena on varmistaa unionin rautatiejärjestelmän turvallisuuden kehittäminen sekä parantaa pääsymahdollisuuksia rautatiemarkkinoille”. Kuten direktiivissä 2016/797, myös turvallisuuteen keskittyvässä direktiivissä yleisestä rautatieliikenteestä erilliset raideliikenteen muodot rajataan ulkopuolelle: metroja ja kaupunkien paikallisjunaliikennettä turvallisuusdirektiivi ei koske. Tämä siksi, jotta molemmat direktiivit olisivat mahdollisimman yhteneväiset. Rautatieturvallisuuteen keskittyvä direktiivi ottaa kantaa yhteisiin turvallisuusindikaattoreihin, -menetelmiin ja -tavoitteisiin sekä turval-

[2] EU:n direktiivin 2016/797 suomennos käyttää termiä ”raitiojuna”, joka ei ole suomen kielessä yleisessä käytössä, mutta voidaan tulkita tarkoittavan duoraitiotietä. Direktiivin saksankielisessä versiossa käytetään termiä ”Zweisystem-Stadtbahn” ja ranskankielisessä versiossa ”tram-train”.

lisuusjohtamiseen. Näiltä osin määräykset annetaan yleisellä tasolla ja ne täydentävät soveltuvilta osin direktiivissä 2016/797 annettuja turvallisuuteen liittyviä määräyksiä. Vaikka artiklassa tarkastellaan yleistä rautatiekalustoa, voidaan duoraitiovaunujen katsoa kuuluvan tämän artiklan alaisuuteen yleisellä rataverkolla liikkuessaan (EU 2016/798).

EU:n kahta keskeistä rautatiedirektiiviä täydentää joukko erilaisia säädöksiä. Näitä ovat muun muassa veturinkuljettajia koskevat määräykset, joihin sisältyvät määräykset sekä veturinkuljettajien koulutuksesta että myönnettävistä lupakirjoista ja lisätodistuksesta. Veturinkuljettajien hyväksyntää säädellään erillisellä direktiivillä 2007/57/EY. Duoraitiovaunuja direktiivi koskee siltä osin, että sen 2. artiklan kohdissa 3a ja 3b todetaan direktiivin rajaavan ulkopuolelle vain metrot ja muusta liikenteestä erilliset raitio- ja kaupunkiratajärjestelmät. Siten duoraitiovaunujen kuljettajilla tulee olla rautatieverkolle siirryttäessä asianmukaiset, veturinkuljettajilta vaadittavat luvat (EU 2007 2007/57/EY).

2.3.2 Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät

EU:n direktiivejä ja komission asetuksia täydentää joukko yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä (YTE). Niiden tarkoituksena on direktiivejä täydentäen muodostaa toiminnallisesti yhtenäinen rautatiealue. Siten rautatietekniikkaan ja infrastruktuuriin liittyviä määräyksiä on ollut tarpeellista määritellä koko Euroopan unionin tasolla. Yhteistoiminnan teknisten eritelmien voi katsoa olevan pohjana kansalliselle, yksityiskohtaisille määräyksille ja ohjeille. Niissä on annettu selkeät suuntaviivat siitä, millaisia teknisiä ja infrastruktuuriin liittyviä määräyksiä tulee huomioida. Kansalliset ohjeet ovat usein niitä täydentäviä, paikallisia sovelluksia. Keskeisimpiä yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä ovat mm. infrastruktuuria, henkilö- ja tavaraliikenteen liikkuvaa kalustoa, ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmiä, energiajärjestelmiä, esteettömyyttä, liikennöintiä, henkilö- ja tavaraliikenteen telemaattisia sovelluksia, rautatietunneleiden turvallisuutta ja liikkuvan kaluston melua käsittelevät YTE:t (EUR-Lex 2019). Näistä duoraitioliikenteen näkökulmasta tärkeimmät ovat infrastruktuuria ja liikkuvaa kalustoa koskevat yhteentoimivuuden tekniset eritelmät. Koska rautateillä liikkuvaa kalustoa koskevat kaikki EU:n direktiivit ja komission asetukset, tulee myös esimerkiksi ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmää koskevat määräykset huomioida. Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät koskevat muun EU-lainsäädännön tavoin rautateitä; niistä erillään olevat metro- ja rautatiejärjestelmät on rajattu niiden ulkopuolelle. Duoraitioliikenteen voi katsoa kuitenkin muodostavan rajatapauksen: liikkuessaan rataverkolla, asetuksissa annetut määräykset koskevat niitäkin. Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät toimivat EU-alueella uuden rautatiekaluston hyväksynnän kehyksinä: kaluston tulee täyttää vähintään niissä esitetyt vaatimukset.

Kaksi keskeisintä duoraitioliikennettä koskevaa YTE:ää ovat Euroopan komission asetus N:o 1299/2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän infrastruktuuriosajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä[3] ja komission asetus (EU) N:o 1302/2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää "veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto" koskevasta yhteistoimivuuden teknisestä eritelmästä[4]. Molemmat yhteentoimivuuden tekniset eritelmät ovat hyvin yksityiskohtaisia. Esimerkiksi rautatieinfra-

[3] Asetus tunnetaan yleisesti lyhenteellä "Infra-YTE"
[4] Asetus tunnetaan yleisesti lyhenteellä "LOC&PAS YTE"

struktuuria käsittävä komission asetus EU 1299/2014 käsittää radan infrastruktuuriin liittyviä määräyksiä. Säädöksissä annetaan hyvin yksityiskohtaiset ja tarkat parametrit sille, mitä tulee rautatietä suunniteltaessa, rakennettaessa tai peruskorjattaessa ottaa huomioon. Tarvittaessa teknisiä yksityiskohtia täydennetään standardeilla. Esimerkkinä yksityiskohtaisista määräyksistä olkoon asetuksen EU 1299/2014 kohta 4.2.4.1 "Nimellinen raideleveys", jonka neljässä alakohdassa mainitaan ensimmäisenä eurooppalainen standardiraideleveys (1435 mm) ja siitä muutamissa muissa EU:n jäsenvaltioissa poikkeavat standardit. Asetuksessa on yhtenäistämispyrkimyksistä huolimatta lueteltu joukko jäsenvaltioissa voimassa olevia erityistapauksia (EU 1299/2014).

Komission asetus liikkuvan kaluston yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä on rakenteeltaan hyvin samankaltainen kuin infrastruktuuriosajärjestelmää koskeva asetuskin. Se käsittää kaiken liikkuvaan kalustoon liittyvät yksityiskohdat numeerisine arvoineen ja määräyksineen. Esimerkiksi kiskoliikennekaluston pyöristä on annettu yksityiskohtaiset määräykset. Kohdassa 4.2.4 "Jarrutus" annetaan määräykset kaluston jarrutuskyvystä sekä sen määrittelystä. Jäsenvaltiokohtaisia poikkeuksia ei asetuksessa 1302/2014 kuitenkaan luetella, joskin eri raideleveyksillä kulkeva kalusto otetaan huomioon (EU 1302/2014).

2.3.3 Muita kansainvälisiä rautateitä koskevia säädöksiä

EU:n direktiivien ja asetusten ohella määräyksiä voidaan täytäntöön panna standardien avulla. Lähtökohtaisesti standardit eivät kuitenkaan ole velvoittavia vaan ohjeellisia, alemman tason yhtenäistämiseen pyrkiviä dokumentteja. Mikäli standardi mainitaan yhteentoimivuuden teknisessä eritelmässä tai kansallisessa lainsäädännössä, ne muuttuvat ohjeellisista velvoittaviksi. Rautatieliikenteessä tällaisia ovat esimerkiksi kalustolle asetetut EN-standardit, jotka määrittävät kaluston kestävyyttä eri tilanteissa. EN-standardeihin voidaan viitata direktiiveissä ja asetuksissa, mutta niiden toimeenpano jätetään kansallisten viranomaisten vastuulle. Turvallisuusnäkökulmasta merkityksellisin standardi on kaluston törmäyskestävyydestä annettu EN 15227:2011, johon viitataan direktiivin 2016:798 3. artiklan kohdassa 16 (EU 2016/798). Itse standardissa rautatiekalusto jaetaan neljään eri luokkaan I-IV, jossa korkeimmalla tasolla (C-I) ovat veturit ja sähkömoottorijunien vetävät yksiköt ja alimmalla tasolla vastaavasti kevytkalusto (C-IV). Standardin tavoitteena on antaa kalustonvalmistajille suuntaviivat siitä, millaista kestävyyttä kalustolta edellytetään (Standardi SFS EN 15227:2011+A1).

2.3.4 Päätelmät EU-lainsäädännöstä

Tässä luvussa on esitetty koko Euroopan unionin alueella voimassa oleva lainsäädäntö hierakisessa muodossaan. Sen perusteella voidaan todeta, että lainsäädäntö rajaa hyvin suoraviivaisesti ulkopuolelleen kaiken sellaisen raideliikenteen, joka ei ole jollain tavoin kosketuksissa muuhun rataverkkoon. Siten kaupunkien raitiotieverkostot ja metrojärjestelmät rajautuvat EU-lainsäädännön ulkopuolelle. Toisaalta tämä on ymmärrettävää kahdesta syystä: näiden erillisten järjestelmien standardoinnille ei ole EU:n näkökulmasta tarvetta, koska muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta esimerkiksi raitiotieliikenne ei ole jäsenvaltioiden tai EU:n ulkorajat ylittävää, kansainvälistä liikennettä[5]. Tällöin

[5] Kansainvälisiä raitiotieyhteyksiä on Saksasta Ranskaan (Saarbrükcen ja Strasbourg) sekä Saksasta ja Ranskasta Sveitsiin (Basel).

myöskään rautatiemarkkinat eivät ole kiinnostuneet liikenteestä. Monet raitiotie- ja metroverkostot ovat lisäksi muodostuneet vuosikymmenten saatossa paikallisten vaatimusten ja standardien mukaisesti – aina eivät välttämättä niinkään – jolloin tarvetta yhtenäistämiselle ei ole.

Duoraitioliikenne jää EU:n lainsäädännössä selvästi "harmaalle alueelle". Vaikka rautatieliikenteestä on annettu direktiiveissä ja erityisesti komission asetuksissa hyvin yksityiskohtaiset ohjeet, etenkin direktiivit linjaavat yksiselitteisesti duoraitioliikenteen niiden ulkopuolelle. Lainsäädännön perusteella on kuitenkin tehtävä se tulkinta, että vaikka duoraitioliiketeestä ei erillistä lainkohtaa määräyksineen olekaan direktiiveissä tai asetuksissa, on se laillista rautatieverkostolla, jos kalusto täyttää rautatiekalustolle asetetut vaatimukset. Näitä teknisiä, lähinnä vaunukaluston lujuuteen ja jarrutuskykyyn liittyviä teknisiä ominaisuuksia tarkastellaan tutkimuksen kolmannessa osassa.

2.4 Suomen raideliikennelaki ja sille alisteiset kansalliset säädökset

Suomessa rautatieliikennettä säätelee oma kansallinen raideliikennelaki. Sen tarkoituksena on edistää rautatieliikennettä, sen turvallisuutta, yhteistoimintaa sekä rataverkon tehokasta käyttöä. Lakia sovelletaan kaikkiin valtion rataverkolla tapahtuvaan toimintaan: rautatiejärjestelmään, ratatyöhön, liikennöintiin rataverkolla sekä sillä liikkuviin kalustoyksiköihin. Raideliikennelaki kattaa – toisin kuin aiemmin voimassa ollut kansallinen rautatielaki – myös raitiotie- ja metrojärjestelmät. Sen on tarkoitus olla yhteensopiva EU:n direktiivien kanssa ja sen käyttöönotolla valmistaudutaan EU:n neljänteen rautatiepakettiin. Raideliikennelaissa otetaan huomioon tilanne, jossa Suomessa toimii useampi kuin yksi rautatieoperaattori. Siten lain pykälissä huomioidaan rautatieyritykselle asetetut turvallisuus- ja muut vaatimukset EU-direktiivien velvoittamana (Raideliikennelaki 2019).

Raideliikennelain lisäksi tieliikennelaissa on muutamia rautateitä sivuavia pykäliä. Tällaisia ovat esimerkiksi tieliikennelain 2. luvun 7§, jossa velvoitetaan antamaan tasoristeyksessä kaikille kiskoilla kulkeville laitteille esteetön kulku (Tieliikennelaki: 2. luku. Liikennesäännöt).

Kaupunkiraideliikenne on ollut Suomessa vuosikymmenet "laitonta". Viipurin siirryttyä Neuvostoliitolle välirauhansopimuksessa vuonna 1944 ja Turun lakkautettua raitiotiensä vuonna 1972, on raitioliikennettä harjoitettu vain Helsingissä. Vuonna 1982 toimintansa aloitti Helsingissä myös metro. Metro- ja raitioliikennettä varten ei kuitenkaan otettu käyttöön erillistä, rautatielain kaltaista lainsäädäntöä vaan lainsäätäjä ja muut viranomaiset ovat luottaneet kunnallisen liikennöitsijän, tässä tapauksessa Helsingin kaupungin liikennelaitoksen (HKL) säännöstöön. Siten on katsottu HKL:n ohjesäännön olevan riittävän tiukka, jotta raitio- ja metroliikenne olisi käyttäjilleen ja raitiotien osalta muille liikkujille riittävän turvallista.

Kun raitiotiejärjestelmiä on 2000-luvun alkupuolelta suunniteltu muillekin Suomen paikkakunnille, tuli tarpeelliseksi laatia erillinen kaupunkiraideliikennelaki kattamaan sekä Helsingin metro että muihin kaupunkeihin mahdollisesti toteutettavat raitiotiejärjestelmät. Erityisesti Tampereella 2010-luvun alussa virinnyt into viedä omaa raitiotiehanketta eteenpäin innosti viranomaisia laatimaan yksityiskohtaisemman kaupunkiraideliikennelain (Helsinki 2014). Sen laadintatyö valmistui vuonna 2015 ja voimaan se tuli 1. maaliskuuta 2016 (Laki kaupunkiraideliikenteestä). Kaupunkiraideliikennelain ulkopuolelle rajattiin kuitenkin valtion rataverkolla tapahtuva liikenne; siten esimerkiksi Helsingin kaupunkirataliikenne (neliraiteiset kaupunkiradat Helsinki-Leppävaara, Helsinki-Kerava ja Kehärata) kuului rautatielain piiriin. Kaupunkiraideliikennelaki siirtyi 1. tammikuuta 2019 uuden raideliikennelain alaisuuteen (Raideliikennelaki 2019).

2.4.1 Raideliikennelaki

Raideliikennelaki koskee valtion rataverkkoa sekä siihen kiinteästi liittyviä yksityisessä omistuksessa olevia teollisuus- ja satamaraiteita. Myös yksityisomistuksessa olevat rautatiet kuuluvat lain piiriin. Lakia sovelletaan luvun 21. osalta myös kaupunkiraideliikenteeseen: Helsingin metroon ja Helsingin ja Tampereen raitiotiejärjestelmiin. Raideliikennelain lisäksi rautatieliikennettä koskee joukko Liikenne- ja viestintäviraston sekä Väyläviraston antamia määräyksiä ja ohjeita. Raideliikennelaissa määritellään edellytykset rautatieliikenteen harjoittamiselle, rataverkon hallinnalle, valtion rataverkon käytölle ja kapasiteetille. Lisäksi laissa säädetään muun muassa palveluista ja ratamaksuista, turvallisuudesta ja rautatieliikenteen yhteentoimivuudesta, turvallisuudesta ja kalustoyksikön kunnossapidosta. Kaikkiaan laissa on 23 lukua, joista lain 21. luku käsittelee kaupunkiraideliikennettä.

Lain ensimmäisessä osassa määritellään selvästi lakia sovellettavan Suomen rautatiejärjestelmään, ratatyöhön, liikennöintiin rataverkolla sekä sillä käytettäviin kalustoyksiköihin. Sen ulkopuolelle jätetään metro- ja raitiotiejärjestelmät sekä muusta rautatiejärjestelmästä selvästi toiminnallisesti erillään olevat, paikalliseen henkilöliikenteeseen tarkoitetut järjestelmät. Erikseen lain ensimmäinen luku mainitsee museo- ja matkailuliikenteen jäävän lain ulkopuolelle, ellei siitä erikseen säädetä. Tätä lakia ei siis sovelleta esimerkiksi Jokioisten museorautatiehen.

Raideliikennelaki ei ota kantaa teknisiin kysymyksiin, eikä siten kiellä duoraitioliikenteen harjoittamista. Lain 110§ ja 111§ ovat kuitenkin mahdollisen duoraitioliikenteen harjoittamisen kannalta sikäli mielenkiintoisia, että niissä otetaan kantaa rautateiden palveluihin. Raideliikennelain 110§ määrittelee rataverkon käyttöoikeuden, ja mikäli toimivaltaisella viranomaisella on alueellista raideliikennettä, on samoille markkinoille pyrkivien tehtävä tästä ilmoitus toimivaltaiselle viranomaiselle, ratakapasiteetin haltijalle ja sääntelyelimelle vähintään 18 kuukautta ennen suunnitellun liikenteen aloittamista. Sääntelyelin toimii Liikenteen turvallisuusviraston alaisuudessa, ja sen toiminnasta säädetään lain 146§:ssä. Toimivaltaisella viranomaisella on oikeus estää muiden tulo toimivaltaisen viranomaisen alueelle, mikäli sääntelyelin katsoo sen vahingoittavan julkisten palveluiden hankintaa. Käytännössä lainkohdalla varmistetaan, että esimerkiksi maakunnallista liikennettä harjoittava viranomainen saa järjestää liikenteen omalla alueellaan ilman, että sinne syntyy muuta liikennettä haittaamaan julkisella rahoituksella järjestettyä toimintaa. Toimivaltaisen viranomaisen roolista määrätään puolestaan EU:n palvelusopimusasetuksella.

Raideliikennelain 112§, 113§, 115§, 116§ ja 118§ käsitellään ratakapasiteettia, sen hakemista ja yhteensovittamista. Duoraitioliikenteen näkökulmasta 116§ on sikäli mielenkiintoinen, että siinä otetaan kantaa ylikuormitettuun rautatiereittiin ja määritellään, että rautatie- tai joukkoliikennejärjestelmän kokonaisuuden kannalta on etusijalla ne operaattorit, joiden tarjoamat palvelut ovat yhteiskunnan kannalta merkittäviä. Tällöin pykälää voidaan tulkita siten, että mikäli duoraitioliikenne on jollakin tietyillä alueilla merkityksellistä esimerkiksi työmatkaliikenteen näkökulmasta, se voidaan asettaa etusijalle muuhun liikenteeseen nähden. Käytännön tilanteissa näin ei kuitenkaan tapahdu vaan nopeampi kaukoliikenne ajaa ohitse.

Lain 133§ säädetään liikenteenohjauksen palveluista. Rataverkon haltija vastaa niistä vastaisuudessakin ja vastaa niiden tasapuolisuudesta. Mikäli rataverkon haltija hankkii liikenteenohjauksen palvelut ulkopuolisilta toimijoilta, tulee liikenteenohjauspalveluita tarjoavan yhtiön tarjota niitä tasapuolisesti ja yhtäläisin ehdoin kaikille rautatieliikennettä harjoittaville yrityksille.

Kaupunkiraideliikenne on soveltuvin osin koottu lain 21. lukuun. Se käsittelee kaupunkiraideliikenteen verkon, käytännössä siis suljettujen raitiotie- ja metroverkostojen toiminnasta annettuja yksityiskohtia. Duoraitioliikennettä lain luku ei tunne, mutta 156§ määritelty liikenteenohjaus koskee sitäkin siltä osin, että pykälässä määrätään liikenteenohjaajaksi "kunnallinen liikelaitos, yhtiö tai muu yhteisö tai rataverkon haltija toiminnan harjoittajana". Täten duoraitiovaunuliikennettä harjoitettaessa kaupungin ja valtion rataverkon väliin muodostuu vastaisuudessakin rajapinta.

Tullessaan voimaan 20.12.2018 raideliikennelaki korvasi kokonaisuudessaan rautatielain (304/2011) ja kaupunkiraideliikennelain. Rautatielain lukuja jäi kuitenkin voimaan kesään 2019 asti, kunnes EU:n 4. rautatiepaketti astui voimaan. Rautatieliikenteen harjoittajille tarjottavista palveluista annettu valtioneuvoston asetus jää edelleen voimaan, kunnes toisin säädetään (Raideliikennelaki 2019, Eduskunta 2019).

2.4.2 Muita Suomen rautateitä koskevia lakeja ja määräyksiä

Varsinaisen rautatielain lisäksi rautatieliikennettä säädellään lukuisilla muilla laeilla ja asetuksilla. Näitä ovat valtioneuvoston asetukset rautatiejärjestelmän turvallisuudesta ja yhteentoimivuudesta, rautatieliikenteen aikataulukaudesta ja rautatieliikenteen harjoittajille tarjottavista palveluista (Traficom 2019). Helmikuussa 2007 annetussa ratalaissa säädetään rataverkosta sekä radanpitäjälle kuuluvista oikeuksista ja velvollisuuksista. Lisäksi laissa säädetään rautatien suunnittelusta eri vaiheineen, sen kunnossapidosta ja esimerkiksi tasoristeyksistä ja niiden perustamiseksi myönnettävistä luvista (Ratalaki 2.2.2007/110 muutoksineen).

Muita rautatieliikennettä täydentäviä lakeja ovat rautatiekuljetuksesta joulukuussa 2000 säädetty rautatiekuljetuslaki (Rautatiekuljetuslaki 15.12.2000/1119) ja vuotta vanhempi raideliikennevastuulaki (Raideliikennevastuulaki 113/1999). Rautatiekuljetuslaki käsittelee lähinnä tavaran kuljettamista rautateitse, mutta siinä on säädetty matkustajien oikeuksista ja velvollisuuksista rautatieliikenteessä sekä heille maksettavista korvauksista junan myöhästyessä. Laki rajaa kuitenkin selkeästi pääkaupunkiseudun lähiliikenteen sen soveltamisen ulkopuolelle (Rautatiekuljetuslaki 15.12.2000/1119). Raideliikennevastuulaki koskee kaikkea raideliikennettä, myös kaupunkien sisäistä raitiotie- ja metroliikennettä.

Lakia sovelletaan raideliikenteessä aiheutuneiden henkilö- ja aineellisten vahinkojen korvaamiseen, siltä osin, kun Suomea sitovat kansainväliset velvoitteet eivät muuta säädä (Raideliikennevastuulaki 5.2.1999/113).

Edellisten lakien ja asetusten lisäksi rautatieliikenteeseen vaikutetaan viranomaisten antamilla ohjeilla. Nämä eivät ole kuitenkaan verrattavissa lakiin tai asetuksiin vaan ovat lainsäädännön näkökulmasta nähtävissä täydentävinä ja usein turvallisuutta parantavina lisäyksinä. Tällaisia ovat esimerkiksi Väyläviraston antamat rautatietekniset ohjeet. Rautatieteknisiä ohjeita sovelletaan Suomessa Väyläviraston hallinnassa olevaan rataverkkoon, ja Liikenne- ja viestintävirasto vastaa, etteivät ne ole ristiriidassa lain, lain nojalla annetun kansallisen määräyksen tai Suomessa täytäntöönpannun yhteentoimivuuden teknisen eritelmän kanssa (RATO 6 2014). Ne tulevat velvoittaviksi hankintasopimusten sekä rataverkon käyttösopimuksen kautta. Liikenne- ja viestintävirasto vastaa lisäksi EU:n rautatieviraston Euroopan rautatiejärjestelmän yhteentoimivuuden edistämiseksi antamien yhteistoimivuuden teknisten eritelmien (YTE) toimeenpanosta Suomessa.

2.4.3 Päätelmät Suomen rautatielainsäädännöstä

Suomen raideliikennettä koskeva lainsäädäntö on ollut 2010-luvulla muutostilassa. Ensin luotiin kaupunkiraideliikennelaki kokoamaan yhteen aiemmin lainsäädännön ulkopuolella olleet Helsingin raitiotie- ja metrojärjestelmät ja pian sen jälkeen aloitettiin raideliikennelain valmistelu. Siihen on koottu rautatielain lisäksi kaupunkiraideliikennelaki, ja sitä tullaan soveltamaan Tampereen sekä mahdollisten muidenkin kaupunkien sekä kaupunkiseutujen raitiotiejärjestelmiin, jos sellaisia päätetään toteuttaa. Suomalaiselle lainsäädännölle kaupunkiraideliikenne itsessään on uusi asia, eikä kaupunki- ja rautatieverkolla kulkevaa yhteistä kalustoa lainsäätäjän näkökulmasta tunneta. Tarvetta tällaisen järjestelmän huomioimiseen lainsäädännössä ei ole ollut: pelkästään raitioliikenne on lainsäädännössä sellaisenaankin hyvin uusi kohde. EU:n direktiiveissä tai asetuksissa ei ole sellaista mainintaa, jossa duoraitiotie tulisi ottaa huomioon myös kansallisessa lainsäädännössä.

Mikäli Suomessa haluttaisiin harjoittaa duoraitioliikennettä, eikä lakiin tai asetuksiin tehtäisi muutoksia, sovellettaisiin siihen rautatiealueella rautateitä koskevaa lainsäädäntöä sellaisenaan sekä kaupunkialueella ajettaessa raideliikennelain 21. lukua. Rautatiealueella liikennöitäessä vaunuun sovellettaisiin Suomen lainsäädännön lisäksi myös EU:n rautatiedirektiivejä sekä asetuksia mukaan lukien yhteentoimivuuden tekniset eritelmät.

2.5 Saksan kevytkalustoa koskevat lait ja määräykset

Saksassa erilaiset kiskoliikenteen sovellukset ovat olleet monimuotoisia 1900-luvun alkuvuosikymmenten täysimittaisista metro- ja ilmaradoista (Untergrund- und Hochbahn) tavallisiin raitioteihin (Strassenbahn) ja niistä kehitettyihin erikoisempiin sovelluksiin. Toisin kuin Suomessa, Saksassa on tunnettu lainsäätäjän näkökulmasta myös kapearaiteisen rautatien käsite[6], ja monet varhaiset esikaupunkiraitiotiet on juridisesti luokiteltu kapearaiteisiksi rautateiksi, vaikka liikennekelpoinen kalusto olisikin pääsääntöisesti katukelpoisia raitiovaunuja tai 1920-luvun lopulta saakka rakennettuja leveäkorisempia telivaunuja. Lisäksi saksalainen insinööritaito on tuottanut varsinkin 1900-luvun alkuvuosina hyvinkin erikoisia ratkaisuja kuten Wuppertalin maailmankuulun riippuradan (Schwebebahn).

Saksan ohella Sveitsistä löytyy runsaasti kapearaiteisia rautateitä, joista osa kulkee pitkiäkin osuuksia kaupunkien tai kylien katuverkostolla. Koska Sveitsi ei kuulu EU:hun ja sen valtiosääntöjärjestelmä poikkeaa monesta muusta Euroopan valtiosta, on Sveitsi katsottu tarpeelliseksi jättää tarkastelun ulkopuolelle. Sveitsin kapearaiteiset rautatiet luokitellaan yleisesti rautateiksi, vaikka ne joiltakin teknisiltä ominaisuuksiltaan muistuttaisivatkin raitiotietä. Duoraitioliikenteestä ne poikkeavat siten, että järjestelmät ovat yleensä suljettuja eli ne eivät liikennöi Sveitsin normaaliraiteisella valaliiton rataverkolla. Toinen tutkimuksen kannalta mielenkiintoinen kohde olisi ollut Ranska, jossa on toteutettu useita moderneja raitiotiejärjestelmiä eri kaupunkeihin, myös duoliikennettä.

Saksassa toimii erillinen Liikenne- ja digitaalisen infrastruktuurin ministeriön (Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur) alainen valtiollinen rautatieasioista vastaava virasto, Eisenbahn-Bundesamt, jonka tehtävät vastaavat suurelta osin Suomen oloissa Liikenne- ja viestintävirastoa. Saksan liittotasavallan rautatieverkoston laajuuden ja vilkkaan liikenteen takia rautatieliikenteeseen liittyvät asiat on keskitetty erilliseen virastoon. Muita liikennemuotoja varten on omat virastonsa. Saksan rataverkon haltijana toimii DB Netz AG, jonka toimintaperiaatteet vastaavat tältä osin Suomen Liikenne- ja viestintävirastoa sekä Väylävirastoa. DB Netz AG vastaa rataverkon kunnossapidosta Saksan liittotasavallan rautateillä. Sen hallinnassa eivät kuitenkaan ole yksityisradat (DB Netz AG). Periaatteessa lainsäädännön hierarkia on Saksassa hyvin samankaltainen kuin Suomessakin: EU:n direktiivit säätävät lakien suuret linjat ja alempana on kansallinen rautatiesäädöstö ohjeineen ja määräyksineen.

Saksan säännöskokoelmassa on kuitenkin eräs keskeinen ero muihin Euroopan maihin verrattuna. Se tuntee erityisesti raitioliikennettä varten säädetyn ohjesäännöstön, joka lainsäädännön näkökulmasta on lähempänä suomalaista asetusta kuin erillistä lakia. Tätä lyhenteellä BOStrab eli raitioteiden rakentamista- ja liikennöintiä koskevaa asetusta tarkastellaan erillisessä alaluvussa.

[6] Käsitteellä ”kapearaiteinen rautatie”, saksaksi ”Kleinbahn” tarkoitetaan tässä tavallista rautatietä kevyempää järjestelmää, jonka liikennöinnissä ja rakennusmääräyksissä oli mahdollista poiketa tavalliselle rautatielle (Eisenbahn) annetuista ohjeista. Lainsäädäntö ei ottanut kantaa kummankaan järjestelmän raideleveyteen. Siten käsitteen alaisuudessa saattoi olla lukuisa joukko raitiotietyyppisiä esikaupunkiratoja. Käsitettä ei tule sekoittaa nykyiseen kapearaiteisia rautateiden rakentamis- ja liikennöintiohjeeseen (ESBO), joka koskee kaikkia normaalia 1435 mm raideleveyttä kapeampia ratoja.

Toisin kuin Suomessa, Saksassa on lukuisa joukko rautateiden toiminnasta annettuja lakeja. Osa niistä menee hyvinkin syvälle yksityiskohtiin: jopa tasoristeyksistä säädellään erillisellä lailla. Saksassa rautatielain keskeisin käsite tunnetaan lyhenteellä AEG, Allgemeines Eisenbahngesetz, yleinen rautatielaki. On huomattava, että AEG:ta sovelletaan ainoastaan yleiseen, käytännössä Saksan liittotasavallan normaaliraiteisella (1435 mm) rataverkolla harjoitettavaan henkilö- ja tavaraliikenteeseen. Lain kaikkiaan 40 pykälää kattavat rautatieliikenteen keskeiset osa-alueet. Se koskee kaikkea liittotasavallan omistamalla rataverkolla harjoitettavaa liikennettä, olipa kyseessä henkilö- tai tavaraliikenne ja niiden operaattori joko Saksan kansallinen rautatieyhtiö (Deutsche Bahn AG, DB), jokin sen tytäryhtiöistä, osavaltion, kunnallisen liikennelaitoksen (Verkehrbetriebe) tai liikenneyhtymän (Verkehrsverbund) tai puhtaasti kaupallisiin tarkoituksiin erikoistuneen yrityksen ylläpitämä liikenne. Laki ei kuitenkaan puutu rautatieinfrastruktuuriin tai kalustoon; niistä säädetään muissa laeissa (Allgemeines Eisenbahngesetz).

Huomattakoon lisäksi, että Saksan valtiomuodon ollessa liittotasavalta ja sen koostuessa yhteensä kuudestatoista eri osavaltiosta (Land), on jokaisella osavaltiolla oikeus säätää omat lakinsa ja asetuksensa. Siten yleisen rautatielain (AEG) ohella osavaltioissa voi olla omia rautateistä annettuja lakeja. Esimerkiksi Baijerin osavaltio (Freistaat Bayern) on säätänyt oman rautatielakinsa BayESG (Bayerisches Eisenbahn- und Seilbahngesetz), joka kuitenkin keskittyy lähinnä hammasrata- köysirata- ja muihin paikallisiin erikoisuuksiin olematta ristiriidassa liittotasavallan lainsäädännön, esimerkiksi AEG:n kanssa (Bayern Staatkanzlei 2018). Useimmiten nämä osavaltion lait täydentävät jo olemassa olevaa liittotasavallan tasolla olevaa lainsäädäntöä.

Yleistä rautatielakia (AEG) täydentää joukko keskeisiä asetuksia ja ohjeita. Näitä ovat rautateiden rakennus- ja liikenneasetus EBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung), siitä kapearaiteisia rautateitä varten säädetty ESBO (Eisenbahn-Bau-und Betriebsordnug für Schmalspurbahnen) ja rautateiden ja maanteiden risteyskohtien tasoristeyksiä varten laadittu EBKrG (Gesetz über Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen) (EBKrG 2018). Määräyksissä mennään hyvin syvälle teknisiin yksityiskohtiin: esimerkiksi ESBO:n 5 § määrittelee kapearaiteisen rautatien raideleveyden ylärajaksi 775-1025 mm ja alarajaksi 745-995 mm (EBO 2018). Vastaavasti EBO:n 5 § antaa yksityiskohtaisen määritelmän normaaliraiteisen rautatien raideleveydelle, paitsi suoralla radalla myös eri kaarresäteillä (ESBO 2018). Tältä osin sekä EBO:n että ESBO:n voi tulkita suomalaista rautatielakia yksityiskohtaisemmaksi määräykseksi, mutta toisaalta se poikkeaa esimerkiksi Suomen Väyläviraston ohjeista: se ei mene aivan niin syvälle.

Saksassa säädetään tasoristeyksistä sekä rautateiden liikennöinti- ja rakennusmääräyksessä EBO:ssa että kevytkaluston liikennöinnistä annetussa raitioteiden rakennus- ja liikenneasetuksessa BOStrabissa. EBO:n 11 § toteaa selväsanaisesti, ettei tasoristeyksiä sallita lainkaan sellaisilla rataosuuksilla, joiden suurin sallittu nopeus on 160 km/h. EBO koskee kaikkea normaaliraiteisia, liittotasavallan hallinnon alaisuudessa olevia ratoja (EBO 2018). BOStrabin 20 § puolestaan määrittelee kaikki sellaiset kevyen kaluston käyttämien rataosuuksien tasoristeykset varustettaviksi varoituslaitoksin, mikäli risteävällä kadulla kulkee enemmän kuin 100 ajoneuvoa vuorokaudessa tai ajoneuvoliikenteen sallittu nopeus on enemmän kuin 50 km/h. Lisäksi vartioimattomat radanylityspaikat, kuten yksittäiset pyörä- ja jalankulkutiet on varustettava kaiteista muodostetuin estein, jotta risteävä jalankulku- ja pyöräliikenne ei päätyisi suoraan liikkuvan kaluston alle (BOStrab 2018).

2.5.1 Saksan raitiotieohjesääntö BOStrab

Saksan kevytraideliikennettä säädellään erillisellä, joulukuun 11. päivänä 1987 annetulla asetuksella. Se on herättänyt suurta kiinnostusta myös muualla Euroopassa syvälle teknisiin yksityiskohtiin menevien säädöstensä takia. Asetus- ja määräyskokoelma tunnetaan lyhenteellä BOStrab (Sanoista "Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen", "Raitioteiden rakentamista- ja liikennöintiä koskeva asetus"). Se kattaa raitioteiden ja paikallisratojen liikenteestä annetut ohjeet tilanteessa, joissa rata on sijoitettu omalle ratapenkalleen erilleen muusta katuverkosta tai kaupunkirakenteesta. BO-Strabia on sovellettu yleisesti eri puolilla maailmaa raitiotien rakentamisen esikuvana, paljolti siksi, koska Saksassa käytetyt standardit ovat levinneet muualle maailmaan, eivät pelkästään eri Euroopan valtioihin. Suomessa BO-Strabissa esitettyjä ohjeita ja määräyksiä on sovellettu sellaisinaan tai hieman muutettuina Tampereen raitiotien rakennusprojektissa, vaikka sitä ei Suomen voimassa oleva lainsäädäntö edellyttäisikään. BOStrab on tarjonnut kattavana asetuskokoelmana ohjeita raitiotien suunnittelun yksityiskohtiin. Asetus jakautuu kaikkiaan kahdeksaan alalukuun ja yhteensä 65 pykälään. Määräyskokoelman rakennetta havainnollistetaan kuvassa 7.

Kuva 7. Saksan raitioteiden rakentamista ja liikennöintiä koskevan asetuksen (Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen, BOStrab) sisältö.

BOStrabin kolmessa ensimmäisessä osassa annetaan yleisiä määräyksiä ja ohjeita raitioliikennettä harjoittaville yhteisöille ja yrityksille. Tutkimuksen kannalta asetuksen keskeisimmät määräykset ja ohjeet sijoittuvat lukuihin 4–8. Neljäs luku kattaa pykälät 15-32 ja niissä annetaan yksityiskohtaisia ohjeita ratojen rakentamisesta, erilaisista erikoisrakenteista (sillat, tunnelit), pysäkeistä, tasoristeyksistä ja ratapenkereelle asetetuista vaatimuksista. Pykälässä 20 säädetään yksityiskohtaisesti tasoristeyksistä (Bahnübergang), junaturvallisuudesta puolestaan 22. §:ssä. Luvun lopussa mennään niin syvälle yksityiskohtiin, että 31 § ja § 32 §:ssä annetaan määräyksiä pysäkeistä ja niille sijoitettavista liukuportaista ja hisseistä. Asetuksen § 20 antaa ohjeita tasoristeysten turvalaitteista. Viidennessä luvussa keskitytään vaunukaluston teknisiin ominaisuuksiin ja yksityiskohtiin. Asetuksen 34 §:ssä säädetään vaunun suurimmaksi sallituksi leveydeksi 2,65 metriä. Tätä määräystä on sovellettu monissa maissa: siellä sitä pidetään yleisenä ohjeena: siten monissa uusissa raitiotiejärjestelmissä vaunut on tilattu raideleveydestä riippumatta 2,65 metrin levyisillä koreilla. Pykälä 36 määrää, että jokaisessa matkustajaliikenteeseen kelpuutettavassa vaunussa tulee olla vähintään kaksi jarrujärjestelmää. Mikäli vaunu on siirto- tai huoltoajossa ja siinä on käytössä vain yksi jarru, on suurin sallittu nopeus katuverkosta riippumattomalla radalla 40 km/h ja katuradalla 30 km/h. Määräykset ovat niin tarkkoja, että 46 §:ssä annetaan määräyksiä jopa vaunujen matkustamoiden linjakaavioista ja muusta matkustajainformaatiosta.

Asetuksen kuudennessa luvussa annetaan ohjeita liikennöintiin. Jos vaunua ajetaan näkemäohjauksella eli vaunussa ei ole erillistä kulunvalvontalaitteistoa, sovelletaan asetuksen 49 §, jossa suurimmaksi sallituksi nopeudeksi määritellään 70 km/h. Samainen 49 § määrittää 70 km/h tuntinopeuden suurimmaksi tunnelissa ajettaessa. Pysäkin puolestaan saa 50 § annetun määräyksen velvoittamana ohittaa pysähtymättä korkeintaan 40 km/h nopeudella. Määräysten yksityiskohtaisuutta ja perusteellisuutta kuvastaa puolestaan 54 § perustuva asetus, jossa säädetään, ettei matkustamon ovia saa avata ennen kuin juna on pysähtynyt laiturin kohdalle, ja silloinkin ne on sallittu avata vain laiturin puoleiselta sivulta. Sinänsä määräys on itsestäänselvyys, jota jokaisen kuljettajan luulisi noudattavan tunnollisesti, mutta varmuuden vuoksi se on kirjattu asetukseen.

Seitsemännessä osiossa annetaan ohjeita, kuinka uudet rataosuudet tulee ottaa käyttöön ja millaisia toimia käyttöönotto edellyttää. Viimeisessä, kahdeksannessa osassa kuvataan kevyeen raideliikenteeseen liittyvät opastimet ja tasoristeysten varoituslaitteet puolipuomein ja ilman niitä.

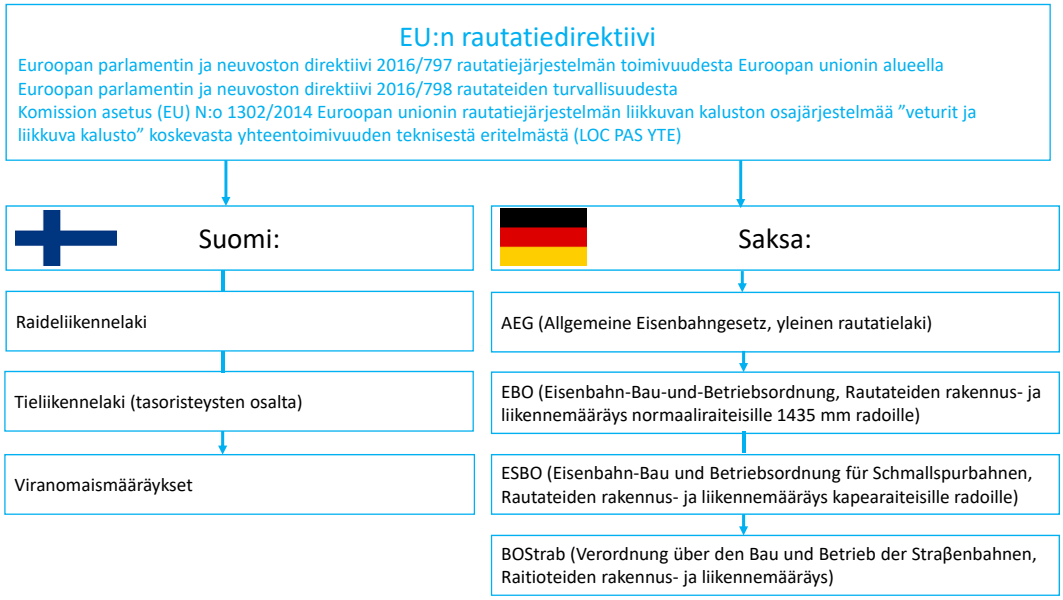
Tasoristeysturvallisuuden näkökulmasta mielenkiintoisin liene asetuksen 20 §, jossa annetaan tarkat ohjeet siitä, kuinka tasoristeykset tulee varustaa turvalaittein eri tilanteissa. Rataosuuksilla, jossa jalankulku- tai pyörätie ylittää radan riittää, kun tasoristeykseen sijoitetaan ylittäjiä vaunun lähestymisestä varoittava valo. Pelkkä varoitusvalo ilman puomilaitosta edellyttää rataosuuden ylityspaikalta hyvää näkyvyyttä molempiin suuntiin. Sen sijaan tasoristeyksissä, joissa radan ylittää autoliikenteen mahdollistava yleinen tie tai katu, jonka vuorokautinen ajoneuvomäärä on normaalioloissa enemmän kuin 100 tai radalla on käytössä erillinen junien kulunvalvontajärjestelmä, edellytetään täyttä varoituslaitosta valoineen ja puomilaitoksineen. Näistä annetaan yksityiskohtaiset piirrosmerkit, jotka esitetään lopussa. Mikäli tasoristeys on varustettu varoituslaitoksella ja puolipuomeilla, edellytetään sen tieopasteessa käytettävän sa-

manlaista valoa kuin rautateiden tasoristeyksen tieopasteessa: vaunun lähestyessä syttyy ensin keltainen vilkkuva valo, joka vaihtuu hetkeä myöhemmin kiinteäksi punaiseksi (BOStrab 2018).

BOStrabia täydentää joukko teknisiä määrityksiä ja ohjeita, joista käytetään saksankielessä muotoa "Richtlinie". Näillä ei ole lainsäädännöllistä asemaa vaan ne ovat rinnastettavissa osin esimerkiksi Väyläviraston Ratateknisiin ohjeisiin. Richtlinie-kokoelmassa annetaan normeja ja määräyksiä esimerkiksi ratojen aukean tilan ulottumille. Määräykset ja ohjeet eivät saa olla ristiriidassa kansallisen lainsäädännön tai EU-direktiivien kanssa.

2.6 Päätelmät: Saksan ja Suomen lainsäädännön vertailu

Voimassa olevaan EU-lainsäädännön direktiivien ja yhteistoimivuuden teknisine eritelmien sekä kansallisen lainsäädännön perusteella voidaan päätellä duoraitiovaunuihin sovellettavan kahta lainkohtaa riippuen siitä, missä ne kulkevat. Mikäli liikennöinti aloitettaisiin nykyisessä tilanteessa tekemättä lakeihin minkäänlaisia muutoksia, sovellettaisiin vaunuihin raideliikennelakia siltä osin, kun ne kulkevat katuverkolla. Niiden siirtyessä katuverkolta valtakunnalliselle rataverkolle niitä koskee sama lainsäädäntö kuin kaikkea muitakin rautatiekalustoa. Suomen ja Saksan kansallisen lainsäädännön välisiä eroja havainnollistetaan kuvassa 8.



Kuva 8. Suomen ja Saksan lainsäädännön vertailu. Vaikka lainsäädännön hierarkia on molemmissa maissa samanlainen, puuttuu Suomesta Saksalle ominainen rautatieliikennettä säätelevä yksityiskohtainen asetus- ja määräyskokoelma.

Tässä tapauksessa niihin sovelletaan alenevassa järjestyksessä EU:n rautatiedirektiiviä 2016/797 ja sille alisteista kansallista lainsäädäntöä. Saksassa vastaavasti raitiotiet ovat kaupunki- ja esikaupunkiosuuksilla BOStrabin alaisia ja siirryttäessä rataverkolle niihin sovelletaan niin ikään EU:n direktiiviä 2016/797 ja sille alisteisia lakeja, ylimpänä yleistä rautatielakia AEG:tä ja normaaliraiteisella osuudella liikennöitäessä yksityiskohtaisempaa EBO:a. Yksityiskohtana huomattakoon, että tietyt suomalaisittain rautatietyyppiset raitiotieradat saatetaan luokitella Saksan liittotasavallan lainsäätäjän näkökulmasta kapearaiteisiksi rautateiksi, mikäli ne sijoittuvat selkeästi rakennetun kaupunkialueen ulkopuolelle. Tällöin ratoihin sovelletaan ESBO:a, vaikka verkosto olisi kalustonsa ja liikennöintikäytäntöjensä osalta täysin rinnastettavissa tavalliseen raitiotiejärjestelmään. BOstrabin ja EBO:n tai ESBO:n raja osoitetaan radan varrelle sijoitetulla erillisellä kyltillä. Kuvassa 9 on esitetty tällainen kyltti.

Kuva 9. Raitiotierataa Heidelbergin päärautatieasemalta luoteeseen, Mannheimin suuntaan. Kuvassa oikealla kyltti ilmoittaa BOStrabin vastuualueen päättyvän ja ESBO:n vastuualueen alkavan. Kyseisellä osuudella liikennöi linja 5 Heidelbergistä Mannheimiin. Kolmiokaupungin, Mannheimin, Heidelbergin ja Ludwigshafenin välillä on mahdollista matkustaa 1000 mm raideleveyttä hyödyntävillä raitiovaunuilla. Kuva tekijän. Heidelberg, 12.6.2018.

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafissa torstaina 21. päivänä joulukuuta 2017 käydyn keskustelun perusteella on päädytty näkökannalle, ettei Suomessa ole tällä hetkellä olemassa erityisesti duoraitiovaunuja koskevaa lainsäädäntöä. Tämä ei koske pelkästään Suomea nykyisine lainsäädäntöineen vaan myös Saksaa. Vaikka jälkimmäisessä kiskoliikenteen lainsäädäntö on viety huomattavasti yksityiskohtaisemmalle tasolle kuin Suomessa, ei sielläkään duoraitiovaunuihin sovelleta erillistä lakia vaan kulloiseenkin tilanteeseen sopivaa lainsäädäntöä riippuen siitä, onko vaunu fyysisesti katu- vai valtakunnallisella rataverkolla. Jää tulkinnan varaiseksi tarvitseeko Suomeen laatia erillistä lakia duoraitiovaunuille vai riittääkö nykyinen kaupunkiraideliikennelaki kaupunkiverkostolle sekä EU:n direktiivi sekä kansallinen lainsäädäntö rautatiealueelle.

Edellä esitetyn perusteella on siis todettava, ettei voimassa oleva kansallinen lainsäädäntö estä suoraan duoraitiovaunujen käyttöä Suomen rataverkolla. EU:n rautatiedirektiivi ei niitä suoraan koske, se todetaan selkeästi direktiivissä itsessään. Kuitenkin samainen direktiivi edellyttää duoraitiovaunuilta tiettyjen rautatiekaluston ominaisuuksien täyttämistä. Keskeisin vaatimus on kulunvalvontalaitteisto. Kyetäkseen liikkumaan rataverkolla muun rautatiekaluston joukossa, edellytetään duoraitiovaunuilta samoja kulunvalvontalaitteita kuin muiltakin yksiköiltä (EU 2016/798). Siten voidaan tehdä päätelmä, että duoraitiovaunuun sovelletaan lainsäädäntöä sen mukaisesti, missä vaunu milläkin hetkellä sattuu kulkemaan.

Sen sijaan törmäysvaatimuksissa ollaan joustavampia. Niistä säädetään direktiivin 2016/798 3. artiklan kohdassa 16. jossa viitataan standardiin EN 15227:2011 ja sen kaluston törmäyskestävyydestä annettuihin määräyksiin (EU 2016/798). Duoraitiovaunut luokitellaan standardi EN 15227:2011 mukaisesti neliportaisessa luokitusasteikossa kategoriaan C-III normaalin kiskoliikennekaluston, kuten moottorijunien ja vetureiden sijoittuessa luokkaan C-I ja katukäyttöön soveltuvien raitiovaunujen luokkaan C-IV (Standardi SFS-EN 15227+A1). Duoraitiovaunukaluston törmäyskestävyys- sekä jarrutuskykyvaatimuksia niihin liittyvine standardeineen ja määräyksineen tarkastellaan lähemmin teknisiä kysymyksiä käsittelevässä tutkimuksen kolmannessa osassa.

Vertailtaessa Suomen ja Saksan lainsäädäntöä voidaan todeta Saksan lainsäädännön sekä etenkin asetuskokoelmien olevan suomalaista yksityiskohtaisempaa. Saksan AEG:n lähes suora vastine on Suomessa rautatielaki, mutta EBO:n ja ESBO:n kaltaisille asetuskokoelmille ei löydy suoraa vastinetta. Joitakin niissä annettuja määräyksiä annetaan Suomen rautatielaissa, mutta aivan niin syvälle yksityiskohtiin ei laissa mennä. Liikenne- ja viestintäministeriössä vireillä oleva luonnos uudeksi raideliikennelaiksi ei myöskään sanottavammin muuta duoraitioliikenteen asemaa: siinä ei oteta duoraitioliikenteeseen selkeää kantaa. Tarkempia ohjeita annetaan Suomessa Liikenne- ja viestintäviraston määräyksissä. Kaupunkiliikenteen osalta Saksan BOStrab kattaa lähes kaiken kaupunkiraideliikenteen lukuun ottamatta joitakin erikoisratkaisuja, kuten esimerkiksi Wuppertalin Schwebebahn. Vaikka kyseessä onkin asetus ja laeille alisteinen, se on selkeä ja yksinkertainen määräyskokoelma. Suomessa lähin lainsäädännöllinen vastine on kaupunkiraideliikennelaki, joka kuitenkin ei mene lain ominaisuudessa yhtä syvälle yksityiskohtiin.

Raideliikennelaki ei tuonut tähän tilanteeseen muutosta, sillä se ei mene kovin syvälle yksityiskohtiin, eikä huomioi rataverkolla liikennöivää kevyempää kalustoa. Mikäli kiinnostus duoraitioliikennettä kohtaan herää, olisi syytä määritellä tämä liikennemuoto osana raideliikennelakia. Suomesta puuttuu raideliikennelain voimaantulon jälkeenkin Saksan BOStrabin kaltainen ohjesäännöstö. Lainsäädännön näkökulmasta tällainen täydentävä, juridisesti ohjesääntöön rinnastettavissa oleva määräyskokoelma ei ole pakollinen, mutta mikäli raitioliikennettä harjoitetaan suomalaisissa kaupungeissa enemmän, helpottaisi sellainen järjestelmien suunnittelua sekä samalla standardisoisi vaatimukset. Siten ehdotetaan tehtäväksi lainsäädäntöön seuraavat lisäykset:

1. Raideliikennelakiin lisätään luku duoraitiovaunuista siltä osin, kun se nyt puuttuu. Lisäyksessä tunnistetaan sekä rautatieverkolla että raitioteillä kulkeva kevyempi, raitiotietyyppinen kalusto. Tässä kohtaa tulee kuitenkin selvittää, onko maininta duoraitiotiekaluston liikennöinnistä rataverkolla ristiriidassa EU:n säädösten kanssa. Lain lisäluvussa huomioitaisiin duoraitioliikenne yhtenä kokonaisuutena.
2. Laaditaan Suomeen "Kaupunkiraideliikenteen rakentamis- ja liikennöintiohje". Se voisi noudattaa suurelta osin Saksan BOStrabia, jota on käytetty Tampereen raitiotien sekä Helsingin seudun Raide-Jokeri-hankkeen yleissuunnittelussa. Ohje sisältäisi selkeät vaatimukset esimerkiksi vaunukalustolle ja huomioisi niiden sijoittumisen liikenneturvallisuuteen nähden.
3. Laaditaan Suomeen yksityiskohtaisemmat raitiotien rakentamis- ja kunnossapito-ohjeet, joissa huomioidaan myös duoraitioliikenteen vaatimukset. Tässä voitaisiin ottaa mallia Väyläviraston Ratateknisistä ohjeista. Haasteen standardisoinnille saattaa tosin muodostaa Helsingin vanha raitiotieverkko, johon modernien standardien soveltaminen saattaa tuottaa haasteita. Siten ohjeet laadittaisiin koskemaan uutta rakennettavaa rataa sekä Helsingin raitiotieverkostoa siltä osin, kun sitä uudistetaan tai uudisratoja rakennetaan.

Raideliikennelain mukaisesti duoraitiovaunu on rautatiealueella kulkiessaan muuhun rautatiekalustoon rinnastettava kalustoyksikkö ja kaupunkialueella puolestaan raideliikennelain 21. luvun alainen raitiovaunu. Laissa ei ole tarkoitus mennä teknisiin yksityiskohtiin – ellei Suomen lainsäätäjä katso tarpeelliseksi mennä siihen tarkkuuteen, joka Saksassa on jätetty asetuskokoelmienkin ulkopuolelle. Muussa tapauksessa erilliset ohje- ja määräyskokoelmat riittävät. Laissa ei kuitenkaan esitettäisi teknisiä vaatimuksia tai yksityiskohtia vaan duoraitiovaunut mainittaisiin rautatie- ja raitiotiekaluston sekamuotona.

Teknisiä yksityiskohtia varten laadittaisiin erillinen asetukseen rinnastettavissa oleva määräyskokoelma. Se noudattaisi pitkälti Saksan BOStrabissa käsiteltyjä periaatteita ja siinä voitaisiin huomioida esimerkiksi vaunukalustoon ja ratainfrastruktuuriin liittyviä vaatimuksia, kuten BOStrabissa on tehty. Sekä raideliikennelakiin tehtävän lisäyksen että "Kaupunkiraideliikenteen rakentamis- ja liikennöintiohjeen" ensisijainen laatija olisi liikenne- ja viestintäministeriö yhteistyössä Liikenne- ja viestintäviraston sekä Väyläviraston kanssa. Laadintatyöhön voisivat osallistua myös ne kunnat, joiden alueella on tällä hetkellä kaupunkiraideliikennettä, ja jotka sitä alueelleen suunnittelevat. Tällöin lain lisäluvusta ja asetuksesta saataisiin mahdollisimman hyvässä yhteisymmärryksessä laadittu. Sen sijaan raitiotien rakentamis- ja kunnossapito-ohjeet voitaisiin laatia Väyläviraston ja kuntien yhteistyönä, sillä niiden painopiste keskittyy enemmän kaupunkialueelle.

Tilanteessa, jossa Suomen lainsäädäntö ei tunne lainsäädännön näkökulmasta duoraitiotietä, on jakolinja yksinkertainen: yleisellä rataverkolla duoraitiovaunuille sovelletaan ylhäältä lukien EU:n lainsäädäntöä direktiiveineen ja asetuksineen sekä asetuksineen. Raitiotieverkostolla kulkevalle vaunulle sovelletaan tällä raideliikennelain 21. lukua. Sovellettavan lainsäädännön raja menee sen mukaisesti, missä vaunu kulloinkin kulkee. Välimuotoa näiden kahden eri lainsäädännön välillä ei ole.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, ettei Saksankaan lainsäädäntö huomioi duoraitioliikennettä erillisenä poikkeamana. Se ei kuitenkaan estä Suomea huomioimasta duoraitiotiekalustoa omassa kansallisessa lainsäädännössään, kunhan se ei ole EU-säädösten kanssa minkäänlaisessa ristiriidassa.

3 Tekniset kysymykset

Tässä luvussa luodaan katsaus eräisiin teknisiin kysymyksiin. Keskeinen tutkimuskysymys on, millaisin teknisin edellytyksin duoraitiotie voitaisiin Suomen oloissa toteuttaa? Millaisia seikkoja on otettava huomioon, jotta samalla vaunulla voitaisiin liikennöidä sekä kaupunkien raitiotieverkolla, että tavallisella rautatiellä? Suurimmat haasteet liittyvät molempien järjestelmien rajapintaan: kaupunkiliikenneympäristö poikkeaa monelta osin rautatiestä sekä turvallisuusjärjestelyiltään että teknisiltä parametreiltään. Kysymysten tavoitteena on vastata duoraitiotien rajapintaan liittyviin haasteisiin: mitä on huomioitava, jotta samalla kalustoyksiköllä voidaan liikennöidä sekä rataverkolla että kaupunkiraitiotiellä. Tämä koskee sekä kalustoyksikköä että infrastruktuuria.

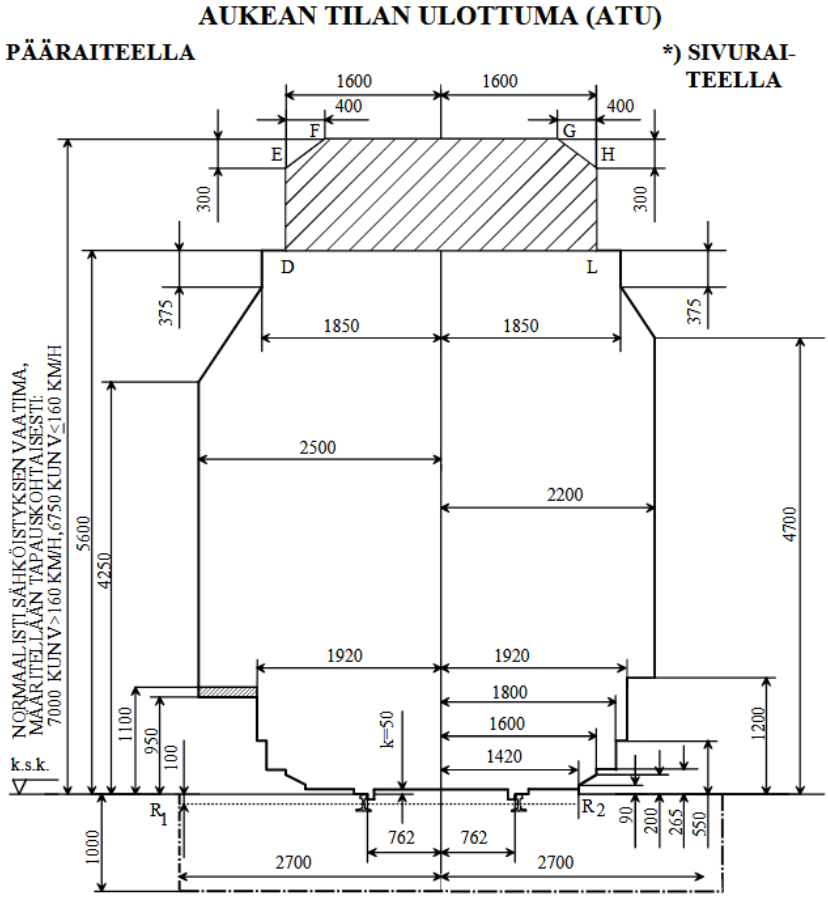
Kolmannen luvun voi jakaa kaikkiaan kahdeksaan osaan. Tarkastelun aluksi määritetään aukean tilan ja liikkuvan kaluston ulottumat ja niitä sovelletaan laiturikorkeuksiin. Laiturikorkeudet ovat keskeinen osa duoraitiotien käytännön toteuttamista: toisaalta niiden tulee täyttää rautatiealueella sijaitessaan aukean tilan ulottuma, toisaalta ne eivät saa kaupunkialueelle sijoittuessaan olla liian järeitä. Pyörä- ja kiskoprofiilit sekä turvallisuuskysymykset ovat eräs keskeinen osa: millainen pyöräprofiili tulee valita, jotta se toimisi sekä rautatiealueella että katuraitiotiellä, kuitenkin siten, ettei urakiskon ura olisi liian leveä. Edelleen luvussa tarkastellaan sähköistysjärjestelmiä sekä vaunukaluston turvallisuuteen liittyviä kysymyksiä: voiko vaunu vaihtaa rautateillä käytettävästä 25 kV:n jännitteestä raitioteiden 750 V jännitteeseen, vieläpä siten, että se käyttää yhtä virroitinta. Lisäksi tarkastellaan kulunvalvontalaitteistoja ja tarkastellaan, millaiset törmäysvaatimukset koskevat kiskoliikennekalustoa. Näiden seikkojen perusteella muodostuu kattava kuvaus duoraitioliikenteeseen vaikuttavista teknisistä yksityiskohdista.

Luvussa pyritään antamaan vastaukset erityisesti laiturikorkeuksiin, pyörän- ja kiskoprofiileihin ja turvallisuuteen liittyviin kysymyksiin. Raitiotiekaluston ja toteutetun infrastruktuurin osalta selvitys pohjautuu pitkälti Karlsruhen ja Chemnitzin ratkaisuihin: erityisesti kaluston teknisten ominaisuuksien osalta esikuvia ja toiminnallisia ratkaisuja on haettu em. kaupungeista, koska molemmissa niissä on uutta, 2010-luvun puolivälissä tai sen jälkeen käyttöön otettua duoraitiotiekalustoa. Saksan lainsäädäntöä ja erityisesti rautateiden ja raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesäännöissä (EBO ja BOStrab) annettuja vaatimuksia on käytetty tarkastelun ja vertailun pohjana. Mikäli on ollut tarvetta käyttää vertailuun pelkästään kaupunkioloissa kulkevia raitiovaunuja, on mallina käytetty Tampereen Artic-vaunua X34. Rautateiden osalta aineisto perustuu pääasiassa Suomessa käytettäviin ratateknisiin ohjeisiin, mutta myös yleiseurooppalaisiin EN-standardeihin ja tarvittaessa EU:n rautatiedirektiiviin ja komission asetuksiin.

3.1 Aukean tilan ja liikkuvan kaluston ulottumat

Rautateillä kulkevan kaluston mitoitukseen sovelletaan kahta määrettä. Näistä uloin on aukean tilan ulottuma (ATU), joka määrittää radalla olevan "liikkuvan kaluston kulkuaukon". Sen sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita tai laitteita. Esimerkiksi sähköistetyllä radalla aukean tilan ulottuman sisäpuolella ei saa olla ajojohtimien kannatinpylväitä tai turvalaitekaappeja (RATO 2 2010). Liikkuvan kaluston ulottumalla (LKU) puolestaan tarkoitetaan tilaa, jonka sisällä kaluston on pysyttävä. LKU määritellään tilanteelle, jossa kalusto on suoralla raiteella paikallaan (RATO 21 2012). Yleistäen todetaan siis ATU:n kertovan infrastruktuurin ja LKU kaluston enimmäismitat. Näiden väliin jää tietty turvallisuusmarginaali, jolla huomioidaan mm. kaluston huojunta ja ohikulkevasta junasta aiheutuvat aerodynaamiset ilmiöt. Sekä aukean tilan että liikkuvan kaluston ulottumat kuvaavat kaluston sallittuja enimmäismittoja. Tämä koskee myös läntisen ja itäisen yhdysliikenteen kalustoa.

Suomessa rataverkolla käytettävä aukean tilan ulottuma mittoineen esitetään Ratateknisten ohjeiden 2. osassa "Radan geometria". Sen lukuarvoja havainnollistetaan kuvassa 10. Kuvasta voidaan havaita ATU:n määrittävän "kulkuaukon" leveydeksi 4700 mm eli 4,7 metriä ja korkeudeksi 5700 mm eli 5,7 metriä. "Kulkuaukko" ei kuitenkaan ole suorakulmainen laatikko vaan siinä on erilaisia ulokkeita ja supistuksia.



Kuva 10. Aukean tilan ulottuma mittoineen Väyläviraston julkaisemien Rautatieteknisten ohjeiden (RATO 2, Radan geometria) mukaan. Kuvan mitat ovat millimetrejä.

Liikkuvan kaluston ulottumasta (LKU) määrätään puolestaan standardissa EN 15273-2:2013+A1:2016. Ratateknisten ohjeiden 21. osassa "Liikkuva kalusto" viitataan LKU:aan ja edelleen standardin EN 15273-2/2010/5 liitteeseen F. Kyseistä standardia on tämän jälkeen päivitetty ja siksi tässä tarkastelussa käytetään uusinta, vuonna 2016 päivitettyä versiota. Rautatiekaluston korkeudeksi on standardin EN 15273-2:2013+A1:2016 mukaisesti määrätty 5300 mm eli 5,3 metriä ja leveydeksi 3500 mm eli 3,5 metriä. Mitat sisältävät myös sivupeilit sekä mahdolliset, kaluston sivuilla käytettävät loppuopastimet. Ilman sivupeilejä sekä loppuopasteita LKU:n leveys on 3400 mm (SFS-EN 15273-2:2013+A1:2016).

Pelkästään kaupunkiraitioteillä kulkevien raitiovaunujen ulottumista ei säädetä erikseen EU:n rautatiedirektiiveissä tai komission asetuksissa. Kansallisessa lainsäädännössä tai niille alisteisissa ohjeissa niitä voidaan käsitellä. Saksan raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjeessa BOStrab on annettu liikkuvalle kalustolle ulottumat. Ohjeen 34§ 3. kohdassa säädetään, että kaupunkiraitiotiellä liikennöivä kaluston leveys ei alle 3400 mm kiskonharjan yläpuolella saa ylittää 2650 mm leveyttä ja yli 3400 mm kiskonharjan yläpuolella 2250 mm leveyttä. Vaunujen suuntavilkkuja, avoinna olevia ovia ja taittuvia porrasaskelmia ei kuitenkaan tarvitse sisällyttää ulottumavaatimukseen. Kaluston enimmäiskorkeudeksi sallitaan 34 § 3. kohdan 2. alakohdan mukaisesti 4000 mm tilanteessa, jossa vaunun virroitin on alas laskettuna. BOStrabin 34§ 2. kohta säätää lisäksi, että kaarteessa vaunun ulosheitto ei saa olla 650 mm enempää, kuin mikä kaluston dynaaminen kuormaulottuma suoralla raiteella olisi (BOStrab 2018).

Suomessa vastaavaa, koko maan kattavaa ohjesääntöä raitioteiden ATU:lle ja LKU:lle ei toistaiseksi ole olemassa. Helsingissä raitioteiden suunnitteluohje määrää, että ATU:n leveyden on suoralla radalla oltava 2900 mm ja korkeuden 3900 mm. Raitioteiden suunnitteluohjeessa ei kuitenkaan anneta LKU:n arvoja (Raitioteiden suunnitteluohje 2018). Helsingin raitiovaunukaluston leveys on vanhasta rataprofiilista johtuen 2300 mm ja korkeus vaihtelee vaunutyypeittäin, siten, että 1970- ja 1980-luvuilla valmistetuilla nivelvaunuilla (MLNRV2) korkeus on 3700 mm, 2000-luvun alussa valmistuneilla ja poistettavilla Variotram-vaunuilla 3400 mm ja uusilla Artic-vaunuilla 3830 mm. Mainituissa korkeusluvuissa vaunun virroitin on alhaalla (SRS 2019). Tampereella X34-vaunun leveys noudattaa Euroopassa yleisesti käytössä olevaa arvoa ollen 2650 mm. Vaunun korkeus on 3600 mm virroittimen ollessa alhaalla (Tampereen raitiotien toteutussuunnitelma 2016).

Raitiovaunun leveyden ollessa yleisesti käytössä oleva 2650 mm, se täyttää rautatiealueella liikkuessaan LKU:n vaatimukset. LKU:ssa kalustolle määrätty suurin sallittu leveys on 3500 mm ja korkeus 5300 mm. Leveysvaatimus täyttyy siten hyvin. Vaunuissa ei myöskään ole sellaisia rakenteellisia elementtejä, jotka olisivat ristiriidassa LKU:n kanssa. Korkeuden osalta vaunut ovat selvästi tavallista kiskoliikennekalustoa matalampia; Karlsruhen ET 2010 korkeus on 4000 mm. Suomessa duoraitiovaunun korkeus asettuisi 3600-4200 mm välille.

3.2 Laiturikorkeudet

EU:n asetuksessa Euroopan unionin rautatiejärjestelmän infrastruktuuriosajärjestelmää koskevan yhteistoimivuuden teknisen eritelmän eli ns. "Infra-YTE:n" kohdassa 4.2.9.2 määritellään laiturin nimelliskorkeudeksi 550-760 mm kiskon kulkupinnan yläpuolella, jos kaarresäde on 300 m tai sitä suurempi. Kuitenkin määräykseen sallitaan poikkeus, mikäli raideleveys on 1520 mm tai 1600 mm.

Mikäli raideleveys on 1520 mm, määrää yhteistoimivuuden tekninen eritelmä laiturin nimelliskorkeudeksi 200-550 mm kiskon kulkupinnan yläpuolelle. Jos taas raideleveys on 1600 mm, on korkeus 915 mm. Lisäksi tapauksissa, jossa laituria käyttää sellaista kalustoa, joka on rajattu vetureita ja henkilöliikenteen liikkuvaa kalustoa koskevan teknisen eritelmän ulkopuolelle, voidaan näistä lukuarvoista poiketa (EU 1299/2014). Koska EU:n rautatiedirektiivi 797/2016 rajaa duoraitioliikenteen selvästi rautatiejärjestelmän ulkopuolelle, voidaan laiturikorkeudet valita sen mukaisesti, mikä duoraitiovaunun liikennöinnin kannalta on soveliainta. Suomessa rautateiden matkustajalaiturien nimelliskorkeudet ovat 550 mm. Kuitenkin rataverkolla on jäljellä muutamia ns. "korottamattomia" laitureita, joiden nimelliskorkeus on 265 mm. Uudet tai uudistettavat asemalaiturit tulee rakentaa 550 mm korkeudelle. Radan ollessa suora, on matkustajalaiturin nimellisetäisyydeksi raiteen keskilinjasta määritelty 1800 mm. Vanhojen 265 mm korkeiden laitureiden nimellisetäisyys raiteen keskilinjasta on 1600 mm. Lisäksi uusille tai paranneltaville laitureille edellytetään järjestettävän esteetön kulkuyhteys. Laituripolkujakin voidaan tarvittaessa käyttää laiturilta toiselle siirtymiseen, mutta niiden rakentamista pyritään välttämään ja korvaamaan ne eritasoratkaisuilla (RATO 16 2009).

Tampereella rakenteilla olevan raitiotien pysäkkilaiturin korkeus kiskon yläpinnasta on 350 mm ja etäisyys raiteen keskilinjasta 1355 mm -5/+5 mm. Siten etäisyys raiteen keskiviivasta voi olla vähimmillään 1350 mm ja enimmillään 1360 mm. Pysäkkien pituus on 47 m, päihin tulevine 4 metrin päätyluiskineen 55 m. Sivulaiturityyppisen pysäkin leveys on 3,5 m ja keskilaituripysäkin 4,75 m (Tampereen raitiotien toteutussuunnitelma 2016). Mikäli asemalla on käytössä matala, 265 mm korkuinen laituri, huomataan 2650 mm leveän vaunun ja laiturin väliin jäävän 245 mm suuruinen aukko, kun arvot on laskettu matalalle laiturille annetuista nimellisetäisyydestä (1600 mm raiteen keskilinjasta) ja verrattu sitä Tampereen raitiotien toteutussuunnitelmassa annettuun arvoon.

Saksassa rautateiden laiturikorkeudet vaihtelevat enemmän kuin Suomessa. EBO:n 13§ säätelee laiturikorkeuksiksi 380-960 mm, kuitenkin siten, että kokonaan uusien tai uudistettavien laitureiden korkeuksien tulisi olla 760 mm. Korkeita, 960 mm laitureita käytetään pääsääntöisesti kaupunkialueita halkovalla rataverkolla, joilla kulkee tiheää S-Bahn- tai alueliikennettä (EBO 2017).

Kaupunkiraideliikenteelle ei ole Saksassa samanlaista normistoa kuin rautatieliikenteessä. Tämä johtuu käytössä olevista erilaisista järjestelmistä: vaikka matalalattiavaunujen määrä onkin 1990-luvun puolivälistä alkaen lisääntynyt eri raitiotiejärjestelmissä siten, että joko täysmatalat tai matalan lisäosan käsittävät vaunut ovat liikennelaitosten kalustossa vallitsevina, ja vaunujen leveys 2,65 metriä lähestulkoon standardi, on muutamissa kaupungeissa käytössä korkeita laitureita. Kölnissä vanhemmat Duewag-yhtiön varustamat Stadtbahnwagen B-tyypin vaunut on varustettu taittoportailla, jolloin niitä voi käyttää sekä korkeilla että matalilla laitureilla. Sen sijaan Stuttgartissa on päädytty kokonaan korkeisiin laitureihin. BOStrabin 31§ määritellään selkeästi, että laiturin reunan ja vaunun kynnyksen välinen etäisyys ei saa olla suurempi kuin 250 mm. Erilaisista laiturirakenteista johtuen on tämä ero pyritty ratkaisemaan vaunun oviaukon kynnyksen alta ulos työntyvällä lipalla tai joissakin vanhemmissa vaunutyypeissä alas laskettavilla taittoportailla (BOStrab 2018). Huomattakoon vielä, että muutamissa raitiotiejärjestelmissä on eri korkeudella kulkeville vaunuille eri pysähtymispaikat. Tämä koskee kuitenkin pääsääntöisesti tiettyjen kaupunkien Stadtbahn-järjestelmiä; duoraitiotiepaikkakunnilla käytetään matalia laitureita kaupunkiliikenteessä ja korkeita rautatieliikenteessä.

Karlsruhessa pysäkkien laiturikorkeudet vaihtelevat. Kaupunkialueella ne ovat matalia, jotta kaupunkiliikenteessä käytettävien vaunujen lattia olisi samalla 340 mm tasolla. Kaupunkialueella käytetään yleisesti 340 ja 550 mm laiturikorkeuksia. Sen sijaan vanhemmat duoliikenteessä käytettävien GT8-100C/2S-tyypin vaunujen lattia on 1000 mm korkeudella. Siten nousu matalalta pysäkiltä vaunuun on huomattavan korkea. Myös rautatiealueella käytettävät 380 mm ja 550 mm laiturikorkeudet tuottavat vanhempiin duovaunuihin nouseville omat haasteensa. Uudempien ET 2010-tyypin vaunujen lattiat ovat 646-889 mm korkeudella riippuen vaunun ovien sijoituskohdasta. Karlsruhen ympäristössä rautatieverkolla sijaitsevien seisakkeiden ja pysäkkien laiturikorkeudet vaihtelevat paikkakunnittain yleisimpien korkeuksien ollessa 380 mm ja 550 mm. Rautatiealueella liikennöitäessä käytetään useimmiten vaunun ovien alta ulos työntyvää vaunun ja laiturin välisen raon peittävää lippaa, mikäli laiturin etäisyys kiskosta on liian suuri. Kuvassa 11 havainnollistetaan lipalla varustettua vaunua.

Kuva 11. Vaunun alta ulos työntyvällä lipalla voidaan pienentää yksinkertaisella tavalla vaunun pysäkki- tai asemalaiturin väliin jäävää rakoa. Ratkaisua voidaan käyttää sekä rautatie- että kaupunkialueella. Kuva tekijän. Sinsheim, 13.6.2018.

Ratkaistavia ongelmia on siis kaksi: kaupunkialueella duokalusto vaatii matalat ja rautatiealueella korkeat laiturit. Kaupunkikuvallisista syistä korkeita laitureita ei suosita kaupunkialueella, vaikka esimerkiksi Stuttgartissa Saksassa Stadtbahn-vaunujen lattiakorkeus on 1000 mm ja laiturit on tehty niiden mukaisiksi. Myös etäisyys kiskonharjan ja laiturin reunan välillä on rautatiealueella suurempi rautatiekaluston vaatiman suuremman kuormaulottuman takia. Jos duokalustona käytetään matalalattiaisia vaunuja, voidaan rautatieasemilla ja seisakkeilla käyttää kahta eri laiturikorkeutta siten, että duovaunut pysähtyvät yhdessä ja muu rautatiekalusto toisessa kohtaa laituria. Tällöin duovaunut varustetaan laiturin reunan ja vaunun väliin jäävän raon peittävällä, esiin työntyvällä lipalla. Näin toimitaan myös siinä tapauksessa, jos kalustoksi päätetään valita korkealattiaiset vaunut. Jos liikennepaikka on suurempi, voidaan duovaunuille rakentaa sivuraide laitureineen. Tällaisissa tapauksissa muu rautatiekalusto ei käyttäisi sivuraidetta joko lainkaan tai pelkästään poikkeusoloissa.

Suositeltavinta olisi valita standardiksi matalalattiavaunujen lattiakorkeus sen mukaisesti, mikä kulloisissakin kaupunkiolosuhteissa olisi suotuisinta. Tällöin samoilla kaupunkiverkon osuuksilla voisivat liikennöidä sekä kaupunki- että duovaunut. Duoliikenne ei siten haittaisi rautatiekaluston ulottumia. Jos Suomessa päätettäisiin valita kaupunkioloissa pysäkkien korkeuksiksi esimerkiksi Tampereen raitioteiden pysäkkien laiturikorkeus, olisi se 350 mm ja etäisyys raiteen keskilinjasta 1355 mm. Rautateillä vastaavat mitat olisivat Väyläviraston uusien laitureiden suunnitteluohjetta noudatettaessa 550 mm ja etäisyys raiteen keskilinjasta 1800 mm. Tällöin duoliikenteessä käytettävien 2,65 metriä leveiden vaunujen etäisyys laiturista olisi rautatiealueella liikennöitäessä 550 mm ja korkeusero 200 mm. Koska tässä esimerkkitapauksessa laiturin ja vaunun välinen rako kasvaa peräti 445 mm, on arvioitava, riittääkö lippa peittämään raon.

Jos taas käytössä on vanhoja 265 mm laitureita on niiden nimellisetäisyys raiteen keskilinjasta 1600 mm. Tällöin 2,65 metriä leveän vaunun ja laiturin väliin jäisi vain 200 mm suuruinen rako. Se on 350 mm vähemmän kuin korkeita 550 mm korkeita laitureita käytettäessä. Huomattakoon kuitenkin, ettei kyseistä laiturikorkeutta suositella rakennettavaksi uusille liikennepaikoille, joten tältä osin ohjeistus tulisi uusia.

Tilanteessa, jossa duoraitiovaunuja liikennöidään sekä yleisellä rautatie- että kaupungin katuverkolla esitetään laiturikorkeudeksi 380 mm kiskon yläpinnasta lukien. Tällöin vaunun lattia on laiturin tasalla ja mahdollistaa nykyisten esteettömyysvaatimusten täyttymisen. Tampereen raitioteiden laiturikorkeuden ollessa 350 mm, tulee esitetyn duoraitiotien laiturin korkeus olemaan 30 mm korkeampi. Se ei kuitenkaan ole niin korkea, että se aiheuttaisi kaupunkikuvallista haittaa. Kaupunkialueella tämä ei ole mikään ongelma, mutta rautatiealueelle tulee kolmas laiturikorkeus vanhan 265 mm ja uuden 550 mm välimaastoon. Vanha 265 mm laituri on 85 mm alempana kuin ehdotettu uusi laituri ja nykyinen 550 mm laituri vastaavasti 170 mm korkeammalla. Koska duoraitioliikennettä varten rautateille joudutaan rakentamaan uudet seisakkeet joka tapauksessa, tämä ei ole ongelma, mutta muutamat, kaukoliikenteen käyttämät laiturit joudutaan rakentamaan tältä osin uudelleen. Ratkaisuksi esitetään mallia, jossa kaukoliikenne käyttää omaa, 550 mm korkuista laituria, ja duoraitioliikenne vastaavasti matalaa 380 mm laituria. Duoraitioliikenne käyttänee suurimmilla asemilla muutenkin omia raiteitaan, jolloin erillisten, matalampien laitureiden rakentaminen ei ole ajatuksena mahdoton. Jos päädytään ratkaisuun, jossa kauko- ja duoraitioliikenne käyttävät samaa asemaa, voidaan duoraitiovaunun käyttämä ma-

talampi osuus sijoittaa laiturialueen jompaankumpaan päähän. Kielteisenä puolena tässä on kävelymatkojen piteneminen, koska kaukoliikenteen junien ohjeellinen laituripituus on 350 m liikennetarpeesta riippuen (RATO 16 2009) ja duoraitioliikenteelle riittää vaunun mittainen laituri. Jos oletetaan sovellettavan Tampereen raitiotien standardeja, olisi vaihtelisi duoraitiovaunun pituus 37-47 m välillä, ja mikäli vaunuja olisi kytketty kaksi peräkkäin, duoraitiotiejunan pituus olisi 74-94 m. Samalle raiteelle sijoitettuja eri korkeudella olevia laitureita käytetään yleisesti eri puolilla Eurooppaa, mikäli käytössä on eri lattiakorkeuksilla olevaa kalustoa.

Siten ehdotettu 380 mm laiturikorkeus poikkeaa nykyisessä YTEssä asetetuista vaatimuksista, sillä se ei sijoitu 550 mm ja 760 mm välille vaan on sitä alempi (EU 2016/797). YTE edellyttää laiturin nimelliskorkeudeksi sovellettavan 550 mm tai 760 mm kulkupinnan yläpuolella. Huomattakoon vielä EU-komission päätöksen EU 1299/2014 tuntevan joukon eri EU:n jäsenvaltioita koskevia poikkeustapauksia. Päätöksen kohdassa 7.7 määritellään poikkeuksia mm. laiturikorkeuksissa ja muutamissa muissa teknisissä yksityiskohdissa. Siten esimerkiksi Ranskassa sallitaan 920 mm laiturikorkeudet Île-de-Francen alueella (käytännössä Pariisin suurkaupunkialueella) ja Saksassa rataosilla, joilla on S-Bahn-liikennettä, sallitaan 960 mm laiturikorkeudet. Asetus ei kuitenkaan erittele yksityiskohtaisemmin, minkä Saksan kaupunkien S-Bahn-liikennettä se koskee. Suomen rataverkon osalta tällaista poikkeuslupaa ei ole (EU 1299/2014).

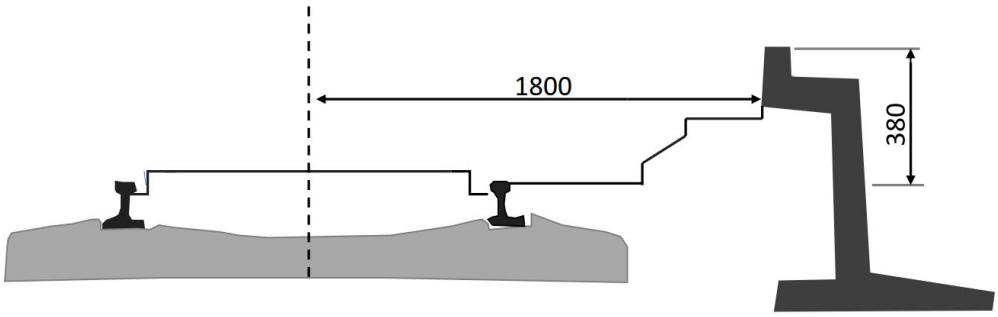
Liikennevirasto on syksyllä 2018 rakennuttanut Sipoon Nikkilään kokeeksi 44,9 metriä pitkän ja 400 mm korkean puulaiturin. Laiturin reuna sijaitsee 1800 mm raiteen keskilinjasta. Sen tarkoituksena on kokeilla laiturikorkeuden soveltuvuutta ATU:n ja LKU:n ehdot täyttäviin vaatimuksiin. Koska Nikkilään ei toistaiseksi ole säännöllistä henkilöjunaliikennettä, toimii laituri koeversiona. Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi Porvoon museorautatieliikenteessä (Nikkilän aseman matkustajalaituri 2018). Mikäli kokemukset laiturista ovat hyviä, rakennetaan muita vastaavanlaisia laitureita muualle rataverkolle.

3.2.1 Laiturin etäisyys raiteen keskilinjasta

Asemien ja seisakkeiden laiturien korkeudeksi määriteltiin edellisessä luvussa 380 mm, jolloin duoraitioliikenteen käyttämä laiturikorkeus olisi 30 mm korkeampi kuin Tampereen raitioteillä. Koska rautatiealueella edellytetään ATUn vaatimusten täyttymistä, on laiturirakenteet sovitettava siten, ettei niistä aiheudu ohittavalle kalustolle vaurioita tai edes vaaratilanteita. Siten laiturin reuna ei saa sijoittua 1800 mm lähemmäs kiskojen keskilinjaa. Duoraitiovaunujen ollessa eurooppalaisen standardin mukaan 2650 mm leveitä, ne täyttävät LKU:n vaatimukset. Rautatiekaluston leveys on Suomessa yleisesti 3200 mm. Koska duoraitiotiekalusto on rautateillä käytettyä kalustoa 550 mm kapeampaa, se ei ota kaukoliikenteen käyttämiin laiturirakenteisiin kiinni. Vastaavasti LKU:n määrätessä suomalaisen kaluston enimmäisleveydeksi 3500 ja mitattaessa etäisyys raiteen keskilinjasta, saadaan kaluston keskilinjan ja laiturin reunan väliseksi etäisyydeksi 1750 mm. Jos laituri sijoitetaan ATU:n määräysten mukaisesti, jää kaluston ja laiturin reunan välille 50 mm.

Suomalaisen rautatiekaluston etäisyys kiskon keskilinjasta on 1600 mm ja duoraitiotiekaluston 1325 mm, jolloin rautatie- ja duoraitiotiekalustojen ulottuman välinen erotus on 275 mm. Tämä rako on mahdollista kattaa vaunun alta ulos työntyvällä 275 mm pitkällä lipalla, jolloin vaunun ja laiturin välinen rako on

yhtä suuri kuin rautatiekalustolla liikennöitäessä. Jos Suomessa päätetään aloittaa duoraitioliikenne, tulee viranomaisohjeistuksessa ottaa huomioon rautateillä 380 mm laiturikorkeus vanhojen 265 mm ja 550 mm laiturikorkeuksien lisäksi. Mikäli 380 mm korkeudella oleva laituri sijoitetaan 1800 mm päähän raiteen keskilinjasta, se ei aiheuta rautatiekaluston liikennöinnille ongelmia, ja se täyttää voimassa olevat ATU:n vaatimukset. Suomessa valtiollisella rataverkolla käytettyä laituria duoraitiovaunulle sovellettuine mittoineen havainnollistetaan kuvassa 12.



Kuva 12. Suomen rataverkolla käytetty laiturirakenne ulottumineen. Laiturin korkeudeksi kiskonharjasta lukien on merkitty tässä 380 mm, joka on määritelty duoraitiovaunuliikenteessä ohjearvoksi. Tällä hetkellä valtion rataverkolla käytetyn laiturin nimellismitta on 550 mm.

3.3 Sähköistysjärjestelmät

Tavalliset raitiotiejärjestelmät on useimmiten sähköistetty 750 V tasavirralla. Se syötetään vaunuihin kadun yläpuolella, 4,9 metrin korkeudella olevasta ajolangasta ajokiskojen toimiessa paluujohtimena. Helsingissä HKL käyttää ohjearvona tilanteesta riippuen 4,9-5,8 metrin korkeutta. Erityistilanteissa ripustuskorkeus voi olla ohjearvoa matalampi, esimerkiksi radan ylittävien siltojen kohdalla korkeudeksi sallitaan 4,2 metriä – edellyttäen, ettei muu liikenne siitä vaarannu (Raitioteiden suunnitteluohje 2018). Tampereella raitiotien suunnitteluperusteissa raitiotien ajolangan nimelliskorkeudeksi on määritelty keskimäärin 5,5 metriä. Mikäli raitiotie on sijoitettu omalle väylälleen voi ajolangan sijoittaa alimmillaan 4,2 metrin korkeuteen. Jälkimmäinen arvo on kuitenkin alhaisin, ja sitä suositellaan käyttämään poikkeustilanteissa, kuten siltoja alitettaessa (Suunnitteluperusteet 2013). Ajolangan ripustamiseksi on Suomessa käytetty viime vuosina yleisesti talojen seiniin kiinnitettyä poikittaista kannatinlankaa. Missä tämä ei raitiotietä ympäröivä rakennuskanta huomioiden ole ollut mahdollista, on ajolanka ripustettu yhden tai kahden, kadun molemmin puolin sijoitettujen kannatinpylväiden väliin. Sen sijaan erilliset, rautateillä yleiset kannatinpylväät ajolankaa kannattavine pitkittäisine kannatinlankoineen ovat olleet yksittäisiä poikkeustapauksia lukuun ottamatta harvinaisuuksia. Sen sijaan Saksassa kannatinlangan käyttäminen ajolangan kannattamiseen on hyvin tyypillistä tavallisilla katuraitioteillä jopa aivan kaupunkikeskustojen tuntumassa.

Suomessa rautateillä käytetään 25 kV käyttöjännitettä, joka syötetään veturiin tai sähkömoottorijunaan katolla olevan virroittimen välityksellä. Ajolangan ripustus on yleensä järjestetty kannatinpylväiden varaan siten, että kääntöorsien kannattamana ylimpänä kulkee kannatinlanka, joka kannattaa varsinaista, alempana kulkevaa ajolankaa. Joissakin poikkeustapauksissa ajolangan kannatinrakenteet voidaan kiinnittää suoraan kiinteään rakenteeseen. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi tunnelit. Kehäradan tunneliosuudella ajolanka on poikkeuksellisesti korvattu kiintoajojohdolla, joskaan sen ripustustapa ei olennaisesti eroa muilla tunneliosuuksilla käytetyistä ripustustavoista. Ajolangan vähimmäiskorkeus on 5,6 metriä ja enimmäiskorkeus virroittimen enimmäisulottuma, siis 6,6 metriä (RATO 5 2013). Vähimmäiskorkeus on yhteensopiva liikkuvan kaluston ulottuman kanssa siten, että kaluston ja jännitteisen ajolangan välille on jäätävä tietty turvaetäisyys. Sitä korkeamman kaluston liikkuminen rautateillä on muun muassa sähköturvallisuussyistä kielletty. Ajolangan korkeus asettaa ehdon aukean tilan ulottumalle eli ATU:lle. RATO 2:n mukaisesti aukean tilan ulottuma mitoitetaan radan keskiviivaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Leveyssuunnassa ATU määritellään vaakasuoraan raiteen keskiviivasta ja korkeussuunnassa suoraan pystysuunnassa. Sähköistetyillä tai sähköistettäviksi kaavailluilla rataosuuksilla korkeus on ATU:n mukaisesti 7 metriä suurimman sallitun nopeuden ollessa enemmän kuin 160 km/h. Nopeuden jäädessä alle 160 km/h on ATU 6,750 metriä kiskon selästä mitattuna (RATO 2 2010). Kaluston tulee mahtua kulkemaan sähköistetyllä tai sähköistettäväksi suunnitellulla rataosuudella siten, ettei se kosketa millään tavoin ajolangan alapintaa tai sille asetettua suoja-aluetta. Ajolangan nimelliskorkeuden arvoksi ajojohtimen kannatuspisteen kohdalla pyritään saamaan 6,15 metriä (RATO 5 2013).

Rautateillä käytetystä virroittimesta annetaan ratateknisten ohjeiden 21. osassa "Liikkuva kalusto" yksityiskohtaiset ohjeet. Virroittimen kelkan leveyden tulee olla 1950 mm ja sähköä johtavan alueen 1550 mm leveä. Virroittimen kelkan pituus saa olla enintään 422 mm. Pituudella tarkoitetaan tässä yhteydessä kontaktihiilien välisten ulkoreunojen etäisyyttä. Hiilien hyötypituuden tulee olla vähintään 1100 mm, leveys saa olla enintään 42 mm ja keskiviivojen välinen etäisyys enintään 380 mm. Rataverkolla käytettävä virroitin on varustettava pikalaskulaitteella, joka hiilen vahingoittuessa laskee virroittimen alas ennen kuin ajolanka ehtii vaurioitua. Virroittimen laskeutumisaikaa ja etäisyyttä säädellään standardeissa EN 50206-1:2010/22/ ja EN 50119:2009/23, ja virroittimen ominaisuuksien tulee täyttää standardien edellyttämät vaatimukset. Virroittimen tulee kestää myös suurin kaluston ottama lyhytaikainen virta sekä suurin jatkuva virta (RATO 21 2012).

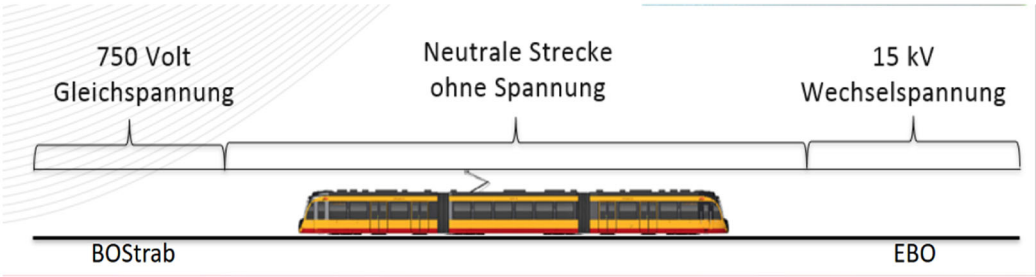
Tampereen raitiovaunukalustossa (Artic X34) käytettävän virroittimen kelkan kokonaisleveys on 1800 mm ja hiilen leveys 1600 mm (Huttunen 2019). Siten rautatie- ja raitiotiekaluston virroitinten välinen mittaero on vähäinen ja rautateillä käytettävä virroitin soveltuisi mittojen puolesta myös raitioteille. Raitioteillä yleisesti käytettävä 650-750 V tasavirta voidaan johtaa vaunuihin myös rautatieosuuksilla käytettävän virroittimen kautta. Rautateillä käytettävän virroittimen kontaktihiili toimii tasavirtaosuuksilla, mutta tasavirtaosuuksille suunniteltuja virroittimia ei pysty käyttämään rautateiden 15 kV tai 25 kV:n osuuksilla (Rinne 2019, Suominen 2019).

Rautateillä on ollut jo vuosikymmeniä käytössä useita eri sähköistysjärjestelmiä hyödyntävää kalustoa. Esimerkiksi sähkötekniikkaa valmistava Siemens on tuonut markkinoille Vectron-vetureita, jotka voivat operoida esimerkiksi 25 kV 50 Hz:n ja 15 kV 16,67 Hz:n sähköistysjärjestelmissä (Vectron. Die Lok, die neue Wege schafft 2018). Useampaa eri sähköistysjärjestelmää hyödyntämään kykenevät veturit ovat olleet etenkin Keski-Euroopassa tarpeellisia, koska sähköistysjärjestelmät vaihtelevat valtioittain, eikä yhtenäistä standardia ole luotu. Tämä korostuu erityisesti Saksassa, jonka naapurivaltioista lähes jokainen käyttää erilaista sähköistysjärjestelmää ja kuitenkin sekä henkilö- että tavaraliikenne on vilkasta. Tyypillisesti monivirtavetureissa on eri virroittimet tasa- ja sähkövirtaverkoille. Kahta tai useampaa erilaista sähköistysjärjestelmää hyödyntävissä vetureissa ei kuitenkaan ole aina erillistä virroitinta jokaiselle sähköjärjestelmälle. Joissakin tapauksissa esimerkiksi ulottumavaatimusten takia tarvitaan erilliset virroittimet

Kaupunkien raideliikenteessä on niin ikään käytetty jo pitkään kahdessa eri virtajärjestelmässä operoimaan kykenevää kalustoa. Esimerkkejä tällaisista, varsin järeistäkin ratkaisuista on Rotterdamin metro, Hampurin S-Bahn ja Lontoon paikallisjunajärjestelmä Overground, joissa kulkee kaksineuvoista kalustoa, ja jotka kykenevät ottamaan virtaa sekä virtakiskosta että ajolangasta. Virroitusjärjestelmän vaihtuminen on keskitetty useimmiten aseman yhteyteen, mutta Rotterdamin metrojuna kykenee vaihtamaan järjestelmästä toiseen myös asemien välillä: näin on toimittu kaupungin laitamille kymmenisen vuotta sitten valmistuneella De Tochtenin ja Nesselanden asemien välillä, jossa juna vaihtaa ajojohdosta virtakiskolle ja päinvastoin. Tällaisissa tapauksissa siirtymä kahden eri sähköistysjärjestelmän ja virroitustavan välillä ei tuota kalustolle suurempia ongelmia, vaikka kaikissa edellä mainituissa esimerkkitapauksissa kyseessä on varsin tiheä liikenne.

Kuten aiemmin mainittiin, käytetään raitioteillä useimmiten 750 V tasavirtaa kaupunkialueilla liikennöitäessä. Sen sijaan rautateille siirryttäessä käytettävä sähköistys riippuu luonnollisesti kyseisen valtion tai alueen rautateiden sähköistysjärjestelmästä: Saksassa Karlsruhen, Kasselin ja Saarbrückenin vaunut käyttävät Saksan liittotasavallassa rautateiden käytössä olevaa 15 kV:n sähköistysjärjestelmää, Ranskassa Mulhousen ja Nantesin järjestelmät puolestaan 25 kV:n järjestelmää. Muilla duoraitiotiepaikkakunnilla on käytössä diesel- tai hybridikalustoa, joka käyttää kaupunkialueella sähköistettyjä osuuksia ja niiden ulkopuolella vaunut käyttävät pääsääntöisesti dieseliä. Karlsruhessa vaunut vaihtavat pysäkkien välille sijoitetuilla erotusjaksolla pysähtymättä sähköistysjärjestelmästä toiseen. Vaunun lähestyessä sähköistysjärjestelmät toisistaan erottavaa erotusjaksoa se tunnistaa magneetista erotusjakson, lopettaa automaattisesti virroittamisen eli sähkövirran ottamisen ajolangasta ja rullaa virrattoman osuuden läpi omalla painollaan. Osuuden pituus vaihtelee, mutta on pisimmillään joitakin kymmeniä metrejä. Saapuessa toiseen sähköistysjärjestelmään kuuluvalle osuudelle, vaunu virroittaa jälleen normaalisti. Karlsruhessa käytössä olevissa duoraitiovaunuissa siirtymä sähköistysjärjestelmästä toiseen tapahtuu automaattisesti (Wagensommer 2018, Stadtahnsysteme 2014:574). Kuvassa 13 havainnollistetaan sähköistysjärjestelmien välillä olevaa erotusjaksoa. Siihen on merkitty myös Saksan raitiotieohjesäännön (BOStrab) ja rautatieohjesäännön (EBO) alaiset vastuualueet. Muissa Karlsruhen kaltaisia duoraitiovaunuja käyttävissä kaupungeissa (Saksan Kassel ja Saarbrücken sekä Ranskan Mulhouse) tekninen ratkaisu on samanlainen.

Juha-Matti Vilpon diplomityössään esittämän väittämän mukaan rautatien ja raitiotien välille tarvitaan jännitteetön erotusjakso, jonka pituus riippuu junan pituudesta ja vaunun käyttämästä nopeudesta. Jotta vaunua ei tarvitsisi erikseen jarruttaa ja kiihdyttää, olisi erotusjakso kannattavin sijoittaa mahdollisimman tasaiselle osuudelle (Vilppo 2004). Erotusjakson raja on merkitty ajojohtopylväisiin samaan tapaan kuin muutkin erotusjaksot, mutta rajakohta on varustettu erillisellä kyltillä, jossa kerrotaan siirryttävän järjestelmästä toiseen. Samaan kohtaan on usein sijoitettu myös asetuksen rajapinta: vaunu siirtyy BOStrabin vastuualueelta EBO:n vastuualueelle tai päinvastoin.



Kuva 13. Karlsruhelaisen duoraitiovaunun siirtymä kahden eri sähköistysjärjestelmän välillä. Kuvassa vasemmalla kaupunkiraitiotien 750 V tasavirralla sähköistetty, raitiotieohjesäännön (BOStrab) alainen osuus ja oikealla 15 kV:n Saksan liittotasavallan rautateillä käytetyllä jännitteellä sähköistetty, rautatieohjesäännön (EBO) alainen osuus. Väliin jää neutraali jännitteetön osuus (Karlsruher Modell 25 Jahre).

Suomalaisesta näkökulmasta katsottuna liene mielenkiintoisinta, millä tavalla raitioteiden sähköistys on järjestetty Karlsruhen ja Mulhousen tapauksissa. Karlsruhe on duoraitiotien pioneerina kehittänyt järjestelmänsä teknisesti kaikista pisimmälle. Mulhousen järjestelmä on puolestaan erinomainen esimerkki modernin ranskalaisen raitiojärjestelmän suunnitteluperusteista ja vaunukaluston sovittamisesta Ranskassa käytettävään 25 kV:n jännitteeseen. Siltä osin vertailukohta Suomessa käytössä olevaan rautateiden sähköistysjärjestelmään on hyvä. Sähköistysjärjestelmällä ei ole merkittävää vaikutusta vaunun painoon. Tampereen Raitiotie Oy:n kalustopäällikkö Ali Huttusen kanssa käydyn keskustelun mukaan 25 kV:n jännitteen käyttäminen ei lisäisi vaunun painoa merkittävästi. Tarvittava tekniikka voidaan sijoittaa pituussuunnassa vaunun kattorakenteisiin, jolloin raskaita yksittäisiä muuntajia ei vaunuissa tarvittaisi, eikä vaunun paino lisääntyisi merkittävästi aiheuttaen siten esimerkiksi kaupunkialueella katurakenteille merkittäviä tukemistarpeita. Vilppo puolestaan esittää opinnäytteessään, ettei duoraitiovaunun toiminnan kannalta ole olennaista merkitystä, onko sähköistysjärjestelmäksi valittu 15 kV tai 25 kV (Vilppo 2004). Huomattakoon vielä, että EU:n alueella uudet rautatiet pyritään varustamaan 25 kV:n sähköistysjärjestelmällä, vaikkei kyseessä standardi olekaan.

Matkustajanäkökulmasta tarkasteltuna sekä Kasselissa että Nordhausenissa keväällä 2015 dieselkäyttöisillä duoraitiovaunuilla suoritetut matkat osoittivat vaunujen olevan sähkökäyttöisiä meluisampia ja aiheuttavan paikallisia ilmansaasteita. Matkustusmukavuudeltaan vaunut olivat verrattavissa tavalliseen kiskobussiin, mutta esimerkiksi kaupunkiliikenteen moderneihin linja-autoihin verrattuina ne eivät sähköistämättömillä osuuksilla ajaessaan olleet yhtä mukavia. Voi kuitenkin olettaa kehittyvän hybridi- ja akkutekniikan syrjäyttävän vähitellen dieselkäyttöiset vaunut duoraitioliikenteestä.

Saksassa toteutetuilla duoraitioteillä vain kahdella (Karlsruhe ja Saarbrücken) käytetään pelkästään sähkökäyttöisiä vaunuja. Muilla duoraitiotiepaikkakunnilla käytäntö vaihtelee linjoittain: käytössä on sekä sähköistetyillä että sähköistämättömillä rautatieosuuksilla kulkevia vaunuja. Ranskassa duoraitiovaunut kulkevat kaupunkialueella ja rautatiellä sähköllä: diesel- tai akkukäyttöisiä vaunuja ei ole Nantesin, Pariisin tai Mulhousen verkoilla käyttöön otettu. Suomessa on suositeltavaa käyttää sähkökäyttöisiä vaunuja kahdesta pääasiallisesta syystä: sähkökäyttöinen vaunu on dieselkäyttöistä hiljaisempi eikä vaadi vaunuun runsaasti tilaa vieviä ja painoa nostavia polttoainetankkeja. Polttoainetankkien aiheuttama lisäpaino vaikuttaa osaltaan esimerkiksi katurakenteisiin, mikäli duovaunulla haluttaisiin ajaa enemmän kaupungin katuverkolla.

Eräs tulevaisuuden ratkaisu voisi löytyä akkukäyttöisistä duovaunuista. Kaupunkiliikenteen linja-autoissa on viime vuosina ryhdytty kokeilemaan enemmän pikalatauksella toimivia akkuja tai kondensaattoreita, jotka voidaan ladata päätepysäkillä erityisen virroittimen avulla. Sähkökäyttöisiä busseja on Suomessa kaupunkiliikenteessä Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Niiden tekniikka poikkeaa paikkakunnittain jonkin verran toisistaan (Nordlund 2017). Autot ovat kuitenkin vielä toistaiseksi eräänlaisia kokeiluversioita ja niissä sekä latauslaitteissa on esiintynyt erilaisia pienempiä vikoja.

Kiskoliikennekalustoa valmistavista yrityksistä Bombardier Transport esitteli InnoTrans messuilla Berliinissä syyskuussa 2016 akkukäyttöisen Talent 3-sarjan junan, joka on tarkoitettu sähköistämättömille rataosuuksille. Yhdellä latauksella juna kykenee ajamaan 40 kilometrin mittaisia matkoja. Vastaisuudessa junilla pystyttäisiin ajamaan yhdellä latauksella 100 kilometriä tunnissa (Keränen 2018). Kiskoliikennekalustoa valmistava Alstom on puolestaan esitellyt vedyllä kulkevan junan, joka kykenee yhdellä tankkauksella kulkemaan 1000 kilometrin matkan. Alstomin Coradia iLint-tuoteperheeseen kuuluva juna aloitti koeliikenteen Saksassa syyskuussa 2018 Cuxhavenin, Bremenhavenin, Bremervörden ja Buxtehuden välillä. Varsinainen matkustajakoeliikenne on tarkoitus aloittaa vuonna 2021 (Ingenieur.de 2018).

Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista, että duoraitiovaunu lataisi sähköistetyllä rataosuudella, esimerkiksi kaupunkiverkolla kulkiessaan akkunsa täyteen ja lataus riittäisi yhdensuuntaiselle matkalle linjan päätepisteeseen. Väli- ja pääteasemille voisi rakentaa latauspaikkoja, joissa ladattaisiin akut jälleen seuraavaa matkaa varten. On todennäköistä, että tekniikka tulee kehittymään lähivuosina nopeasti ja erilaiset akuin toimivat ratkaisut yleistyvät maailmalla.

3.4 Pyöräprofiilit

Duoraitioliikenteen eräs keskeinen haaste on pyöräprofiilit. Kaluston on kyettävä liikkumaan sekä rautatiellä että katuradalla, jolloin pyöränkehän on sovelluttava molempiin kiskotyyppeihin: kaupunkialueella yleisesti käytettävään urakiskoon ja rautatiealueella yleiseen, tavalliseen Vignole-kiskoon. Raitiotiekalustossa pyörän kehä on rautatiekalustoa kapeampi. Kaupunkialueella käytettävä urakisko ei saa olla liian leveä, jotta se ei häiritsisi muuta katuliikennettä. Liian leveä laippaura voi aiheuttaa leveydellään vaikeuksia jalankulkijoille ja erityisesti polkupyöräilijöille. Toisaalta taas rautatiekisko ei voi olla liian kapea, koska

käytettävä rautatiekalusto on jo itsessään raskaampaa. Ongelma korostuu Suomessa, jossa kalusto on yleisesti leveämpää kuin muualla Euroopassa. Oman lisänsä Suomen rautatieliikenteeseen tuo vielä itäinen yhdysliikenne, jonka pyöränkehien on periaatteessa sovelluttava kulkemaan kaikilla yleiselle liikenteelle avoinna olevilla rautatieosuuksilla.

Suomessa kiskon kallistuksessa käytetään rautateillä arvoa 1:40 (RATO 11. 2002). Tampereen raitiotien suunnitteluohjeissa on päädytty ratkaisuun, että Vignole-kiskon kallistukseksi tulee 1:40 niillä osuuksilla, jossa sitä käytetään. Tältä osin käytäntö on sama kuin valtakunnallisella rataverkolla. Sen sijaan urakiskoa ei kallisteta lainkaan (Tampereen Raitiotie – Rataverkon pääarvoja 2018). Tässä sovelletaan Saksassa yleisesti voimassa olevaa käytäntöä, jossa urakiskoa ei kallisteta. Saksassa normaaliraiteisilla rautateillä kiskonkallistus on yleensä 1:40 (Spurführung 2018), siis sama kuin Suomessakin. Joillakin vähäliikenteisillä ja kevyemmän kaluston käyttämillä rataosuuksilla kiskonkallistus voi olla 1:20, mutta tätä pyritään pääsääntöisesti välttämään.

Rautatiekaluston pyöräprofiileista säädetään yksityiskohtaisesti yleiseuroppalaisesti EU-komission kahdessa eri asetuksessa. Henkilöliikenteen vaunujen ja vetokaluston pyöräprofiileista säädetään vetureita ja henkilöliikenteen liikkuvaa kalustoa koskevassa asetuksessa 1302/2014 /EU[7] ja tavaraliikenteen liikkuvan kaluston pyöräprofiileista asetuksessa EU 321/2013[8]. Sen täytäntöönpanosta Suomessa vastaa Liikenne- ja viestintävirasto. Asetusta täydennetään Väyläviraston Ratateknisillä ohjeilla (RATO) numero 21 ”Liikkuva kalusto”, joissa annettavat ohjeet tulevat suoraan komission asetuksissa. Siten RATO 21:n mukaisesti pyöräprofiili on määritelty S1002/10/ mukaiseksi. Lisäksi on erillisellä Väyläviraston luvalla sallittu käyttää muutamia S1002/10/-profiilista poikkeavia pyöräprofiileja. Ratateknisissä ohjeissa annetut vaatimukset eivät ole aivan ehdottomia: mikäli pyöräprofiilit toimivat valtion rataverkolla ongelmitta, toisin sanoen ne eivät kuluta rataa ja kalustossa käytettävien pyöräprofiilien kulkuominaisuudet on todennettu, voidaan S1002:sta poikkeavat pyöräprofiilit sallia. Tämä erikoislupa koskee muutamia yksittäisiä ratatyökoneita sekä RATO 21:n liitteen 2 mukaisesti Sr2-sarjan sähkövetureita.

Suomessa rautatiekaluston pyörien parametrit määräytyvät osin kaluston nopeuden mukaisesti. Siten tässä työssä on otettu tarkasteluun tilanne, jossa duoraitiovaunun nopeus on enintään 100 km/h ja sovellettu siihen kyseisiä parametrejä. Näin on menetelty siksi, koska raitiotiekaluston nopeus normaalissa linjaliikenteessä on alle 100 km/h. Siten pyörän halkaisijan oltava vähintään 400 mm. Käytännössä pyörän halkaisijan on kuitenkin oltava tätä suurempi, jotta kalustoyksikkö kykenisi kulkemaan risteysvaihteista. Tällöin halkaisijan vähimmäismitta on 790 mm. Pyörän kulkukehän leveys (laippa mukaan lukien) on 135±1 mm tai (vetokalustolla 140±1 mm) alarajan ollessa 134 mm (vetokalustolla 139 mm) ja 136 mm (vetokalustolla 141 mm). Laipan paksuuden nimellismitta on 32,5 (alaraja 27,5 mm ja yläraja 33 mm). Laipan korkeuden nimellismitta on puolestaan 32 mm, alaraja 31,5 mm ja yläraja 36 mm. Laippojen sisäpintojen välinen etäisyyden nimellismitta on 1441±1, alaraja 1442 mm ja yläraja 1448, mikäli pyörän halkaisija on yhtä suuri tai suurempi kuin 725 mm (RATO 21 2013, EU 321/2013).

[7] Ns. ”LOC&PAS-YTE

[8] Tavaraliikenteen liikkuvasta kalustosta annettu YTE

Saksassa raitioliikenteessä käytettävät pyöräprofiilit on jaettu standardi DIN 25112:n mukaisesti kolmeen eri tyyppiin. Profiili A kattaa tyypillisen katuraitiotien ja kuuluu BOStrabin alaisuuteen. Sen pyörän kulkukehä on 95-110 mm ja laipan korkeus 22 mm. Profiili B kuuluu niin ikään BOStrabin alaisuuteen ja siinä pyörän kulkukehä on 95-115 mm ja laipan korkeus 25,5 mm. Profiili C on puolestaan EBO:n alainen ja siinä pyörän kulkukehäksi määritellään 130-150 mm ja laipan korkeus 28 mm. Vastaavasti standardi DIN 25112 jaetaan siten, että profiili A luetaan standardiin DIN 25112-1, profiili B standardiin DIN 25112-2 ja profiili C standardiin 25112-3. Saksassa valtaosa tyypillisistä raitioteistä käyttää profiili A:n pyöräprofiilia. Profiili C puolestaan on käytössä liittotasavallan rautateillä sekä kaupungin raitiotieverkolla kulkevilla duoraitiovaunuilla, esimerkiksi Karlsruhessa, ja profiili B on profiilien A ja C välimuoto (Hertel, S. 2001). Erilaisia pyöräprofiileja havainnollistetaan taulukossa 4.

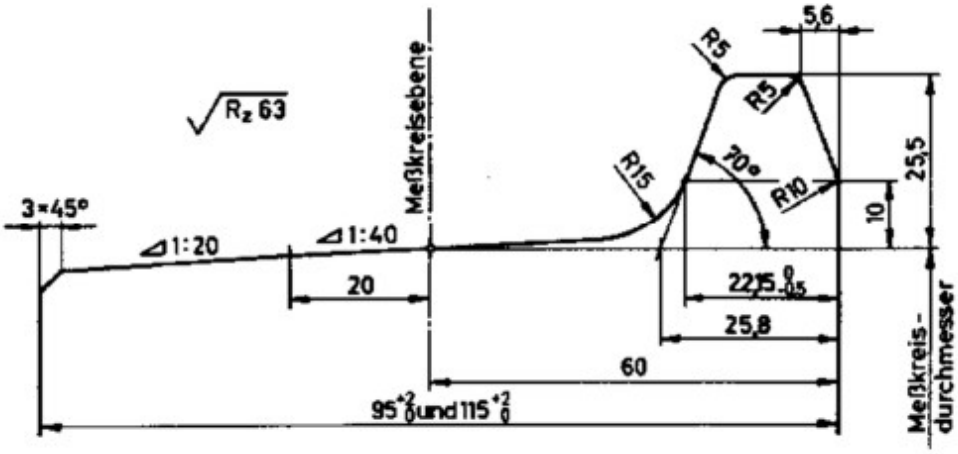
Tampereen raitiotielle hankittavien Artic X34-tyypin vaunujen pyöräprofiilin pyöränkehä on noin 20 mm kapeampi kuin rautateillä, jossa pyöränkehän leveys asettuu välille 134-141 mm. Laipan nimellismitta on rautateillä 32,5 mm, kun taas ja sen erotus Artic X34-tyypin raitiovaunussa käytetyn DIN 25112-2 pyöräprofiilin mukaisen pyörän laipan paksuuteen on 6,7 mm. Kuitenkin rautateillä sallitaan laipan paksuuden alarajaksi 27,5 mm, jolloin erotus rautatie- ja raitiotiekaluston pyörän laipan välinen erotus pienenee 1,7 millimetriin.

Taulukko 4. Standardi DIN 25112 mukaiset pyöräprofiilit sekä Suomeen esitetty pyöräprofiili. Suomeen esitetty pyöräprofiili on lähellä standardissa DIN 25112 esitettyjä profiilia, mutta poikkeaa siitä pyöränhalkaisijan osalta (790 mm).

	DIN 25112-1, Profiili A (Kaupunkivaunu)	DIN 25112-2, Profiili B (sekamuoto)	DIN-25112-3, Profiili C (rautatiestandardi)	Suomeen ehdotettu profiili
Laipan paksuus	23 mm	22,5 mm	33 mm	28 mm
Laipan korkeus	22 mm	25,5 mm	28 mm	29 mm
Pyörän kulkukehä	95-110 mm	95-115 mm	130-140 mm	135 mm

Koska raitiotiekalusto on rautatiekalustoa kevyempää, ei pyörän halkaisijan tarvitse olla yhtä suurikokoisia. Tavallisessa katuraitiotiejärjestelmässä pyöräprofiileihin ei yleensä tarvitse kiinnittää huomiota, koska järjestelmä on suljettu, eikä muuta liikennettä yleensä ole. Tämä koskee sellaisiakin järjestelmiä, jotka huomattavissa määrin käyttävät keskusta-alueen ulkopuolella rautatietyyppistä pölkkyrataa. Tällöinkin kiskon profiili voidaan mitoittaa raitiovaunun pyöräkehille soveltuviksi. Suomessa käytössä olevien raitiovaunujen pyöräprofiilien tarkastelu sivuutetaan, koska Helsingin raitiotiejärjestelmä on vanha, eikä sitä ole suunniteltu rautatiekaluston kanssa yhteensopivaksi. Tämä koskee soveltuvin osin myös uutta Raide-Jokeri-yhteyttä. Vaikka sillä tultaneen paikoin käyttämään rautatietyyppisiä kiskoja, on järjestelmä kuitenkin suljettu ja tulevaisuudessa mahdollisesti yhteydessä Helsingin nykyiseen raitiotiejärjestelmään, ainakin vaununsiirtojen ja huoltojen osalta. Tampereelle rakenteilla oleva raitiotie

on puolestaan mitoitettu saksalaisen standardi DIN 25112-2 mukaisesti ja alustavan arvion mukaan pyörän kulkukehän leveys olisi 115 mm (Tampereen Raitiotie – Kiskon ja pyörän profiili 2018). Kuvassa 14 havainnollistetaan standardi DIN 25112-2 mukaista pyörän profiilia.

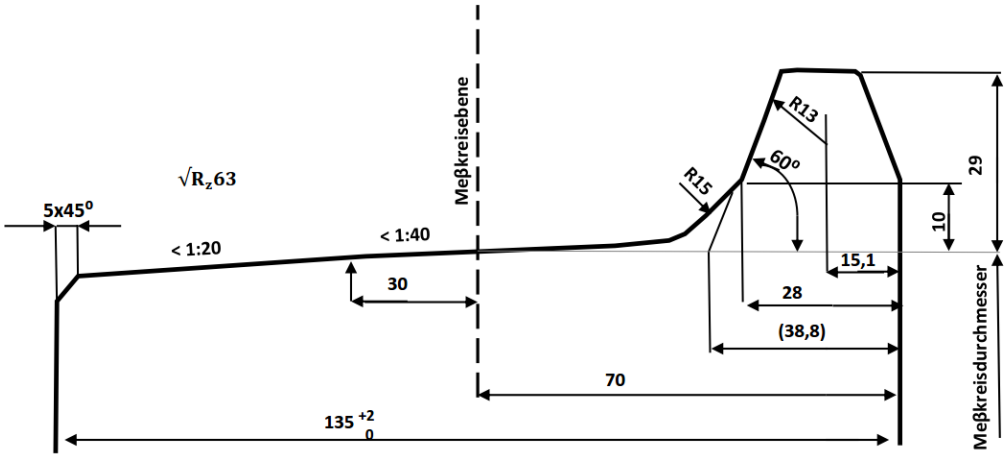


Kuva 14. Pyöräprofiili standardi DIN 25112-2 mukaan.

Käytettäessä vertailukohtana Karlsruhen uusinta duoraitiovaunutyyppiä ET 2010, saadaan pyörän halkaisijaksi 740 mm ja akselipainoksi 11,5 t. Vastaavasti Tampereen raitiotien X34-tyypin vaunun pyörän halkaisija on 640 mm ja akselipaino 10 t. Tampereen raitioteillä käytettävän standardi DIN 25112-2:n mukaista pyöränprofiilia ei kuitenkaan esitetä käytettäväksi duoraitioteillä, vaan suositellaan valittavaksi standardi DIN 25112-3 mukainen profiili, joka määrittää pyörän kulkukehän leveydeksi 130-140 mm ja laipan korkeudeksi 29 mm ja paksuudeksi 33 mm. Näistä mitoista saadaan lähes sellaisinaan soveltaen Suomen oloihin soveltuvat mitat: duoraitiotievaunun pyörän kulkukehän nimellismitta voisi olla esimerkiksi 135 mm ja laipan korkeus 28 mm, jolloin se täyttäisi rautateiden standardit, mutta olisi samalla hieman kevyempi ja soveltuisi kulkemaan kaupungin katuverkolla. Laipan paksuudeksi voitaisiin tällöin valita standardi DIN 25112-3 mukaisesti 28 mm, jolloin se täyttäisi rautateiden vaatiman vähimmäismitan, 22 mm, mutta soveltuisi silti raitioteille. Laipan korkeusero standardissa DIN 25112-2 esitettyyn ja Tampereen raitioteillä käytettävään pyörän laippaan nähden olisi tällöin 3,5 mm. Kulkukehä on tässäkin vaihtoehdossa 20 mm leveämpi kuin Tampereella, mutta sen ei katsota aiheuttavan suurempaa haittaa muulle liikenteelle.

Sovellettaessa näitä parametrejä suomalaiseen duoraitiovaunuun, joudutaan kuitenkin huomioimaan rautatievaihteiden asettamat vähimmäisvaatimukset. Siten duoraitiovaunun pyörän halkaisijan vähimmäismitan tulee olla 790 mm, jotta se täyttäisi rautatiekalustolle asetetut vaatimukset ja kulkisi kaksoisristeysvaihteesta turvallisesti. RATO 21ssä määritellään, että mikäli pyörän halkaisija asettuu 760-840 mm väliseen haarukkaan, sijoittuu laipan paksuuden alaraja 25 mm:iin ja yläraja 33 mm:iin. Vastaavasti laipan korkeuden nimellismitta on 28 mm alarajan ollessa 27,5 mm ja ylärajan 36 mm. Koska pyörät kuluvat, ei ole kannattavaa valita liian lähellä käyttörajamittoja olevia arvoja. Siten duoraitiovaunun pyörän halkaisija olisi 790 mm, laipan paksuus 28 mm ja korkeus 29 mm. Tällöin vaunun akselipainoksi arvioidaan RATO 21:n mukaisesti vähintään 19 t, enintään kuitenkin 20 t (RATO 21, 2013).

Pyörän ohjautuvuuden varmistamiseksi on määriteltävä pyörän tehollisen kartiokkuuden arvo. Tehollisen kartiokkuuden laskemiseksi on huomioitava raideleveys ja pyörän raideleveysmitta toleransseineen. Näillä määritellään ns. "kulkuvälyksen" suuruus. Tällä on suora vaikutus pyöräkerran liikkeisiin suoralla radalla sekä kaarteessa. Koska pyörän kulkupinta on kartiomainen, pyöräkerta liikkuu raiteilla poikittaissuunnassa säännöllisesti edestakaisin. Tällöin painopiste on raidetta pitkin etenevässä, siniliikkeeksi kutsutussa aaltoliikkeessä. Mikäli pyörän tehollinen kartiokkuus kasvaa, aallon pituus lyhenee ja seurauksena on pyöräkerran epästabiili kulku radalla. Liian pieni kartiokkuus voi puolestaan johtaa pyöräkerran ohjautuvuuden pienenemiseen. Siniliike voimistuu, mitä suuremmalla nopeudella ajetaan. Tehollisen kartiokkuuden arvoihin vaikuttavat mm. pyörän ja kiskon kuluneisuus: uudella pyörällä tehollisen kartiokkuuden arvo on erilainen kuin käytössä kuluneella pyörällä (RATO 2 2010). Suomalaiselle duoraitiovaunulle esitettyä pyöränhalkaisijan arvoa (790 mm) on käytetty suomalaisessa rautatiekalustossa aiemminkin. Tarkastelutilanteessa, jossa kiskon kallistus on 1:40, kiskonprofiili 54E1 tai 60E1, on tehollisen kartiokkuuden suunnitteluraja-arvo uudelle pyöräprofiilille 0,30, koska raitiojunan suurin sallittu nopeus on alle 190 km/h (RATO 21, 2013). Kuvassa 15 havainnollistetaan suomalaisen duoraitiotievaunun pyöränprofiilia mittoineen.



Kuva 15. Suomen duoraitiotiekalustoon standardi DIN 25112-3 mukaisesti sovellettu pyöräprofiili. Huomataan kuitenkin laipan paksuuden olevan tässä 28 mm ja korkeuden 29 mm standardista poiketen. Tällöin voidaan luoda Suomeen kokonaan oma standardi duoraitiovaunun pyöräprofiilille. Standardi DIN 25112 ei ole EU:n edellyttämä standardi vaan se perustuu Saksan liittotasavallan Deutsches Institut für Normungin laatimaan kansalliseen standardisointiin.

Standardissa DIN 25112 esitettävistä kolmesta eri pyöräprofiilista suositeltavin olisi rautatiekalustossa käytettävä, mutta molemmille järjestelmille soveltuva sekamuoto. Tällaista pyöränhalkaisijaa ei suoraan ole määritelty standardissa DIN 25112, joten Suomessa duoraitioteillä käytettävän pyöräprofiilin tulee perustua Ratateknisissä ohjeissa annettuihin vaatimuksiin. Johtopäätöksenä esitetään, että suomalaisen duoraitiovaunun pyörän halkaisija olisi 790 mm, pyöränkehän leveys 135 mm, laipan korkeus 29 mm ja paksuus 28 mm. Pyörän tehollisen kartiokuuden tulee täyttää arvo 0,30. Tällöin pyöräprofiili täyttäisi Ratateknisissä ohjeissa asetetut viranomaisvaatimukset sellaisenaan (RATO 21 2012). Mitoista huomataan duoraitiovaunun pyöränprofiilin eroavan Karlsruhen ET

2010-vaunusta jonkin verran pyörän halkaisijan ollessa vähintään 40 mm suurempi. Ero Tampereen raitiotien X34-vaunutyyppiin on sitäkin suurempi. Koska Suomessa käytettävän duoraitiovaunun tulee soveltua rautatieverkolle, joudutaan alarajat valitsemaan RATO 21:ssä annettujen arvojen mukaisesti. Mittojen soveltuvuutta kaupunkioloissa käytettävään urakiskoon tarkastellaan seuraavassa luvussa.

3.5 Kiskoprofiilit

Suomessa pääradoilla käytetään leveäjalkaista Vignole-kiskoa. Ne on standardoitu eurooppalaisen standardijärjestö CEN:n määräysten mukaisiksi, jolloin kiskoprofiilit merkitään kiskon massan kokonaisten kilogrammojen mukaisesti metriä kohden. Mikäli Suomessa käytetään muita kuin CEN-standardilla merkittyjä kiskoja, merkitään niitä kiskon massan lähimmäksi pyöristetyksi kokonaisluvuksi määrittävällä lukuarvolla sekä kirjaimella K. 60E1-tyypin kiskot ovat yleistyneet lähes kaikilla tärkeimmillä radoilla, koska ne kestävät aiempaa suuremman kuormituksen. Sivuradoilla voidaan käyttää 54E1- tai jopa niitä kevyempiä K43- ja K30-tyypin kiskoja. Jälkimmäiset kaksi kiskoprofiilia ovat käytössä lähinnä hyvin vähäliikenteisillä radoilla sekä joissakin tapauksissa ratapihojen, teollisuuslaitosten yms. kuormausraiteistoilla.

Rautatieverkolla käytetään lähes poikkeuksetta puisiin tai betonisiin ratapölkkyihin kiinnitettyjä Vignole-kiskoa, kun taas urakiskoratkaisut ovat rautateillä harvinaisia. Tasoristeykset varustetaan kumikansin tai joissakin tapauksissa asvaltoidaan, mutta varsinaisia urakisko-osuuksia on Suomessa lähinnä satama- ja varastoalueilla, joilla harjoitetaan lähinnä vaunujen kuormausta. Urakiskoprofiilina Suomen rautateillä käytetään tyyppiä P37 (RATO 11 2002).

Raitioteillä tilanne on Suomessa päinvastainen kuin rautateillä. Helsingin raitioteiden rataverkosta suurin osa on urakiskoa. Vignole-kiskoa on käytössä tällä hetkellä vain Koskelan raitiovaunuhallien pihalla. Sen sijaan Tampereen rakenteilla olevalla raitiotiellä on tarkoitus käyttää huomattavalta osalta Vignole-tyypin kiskoa. Myös eurooppalaisilla raitioteillä Vignole-kiskon käyttö on selvästi yleisempää kuin Suomessa. Esimerkiksi Berliinissä Vignole-tyyppistä kiskoa käytetään yleisesti keskustan valtakatujen keskellä kulkevilla raitioteillä, esimerkiksi Mollstrassella.

Tampereella urakiskon profiiliksi on valittu 60R2, jolloin uran syvyydeksi tulisi 47 mm ja leveydeksi 36,35 mm. Vastaavasti Vignole-kiskon profiiliksi on valittu 49E1 (Tampereen Raitiotie – Kiskon ja pyörän profiili 2018; Standardi SFS-EN 14811:2016+A1:2009). Helsingin ja Espoon kaupunkien alueelle rakennettavalla Raide-Jokerilla on päätetty käyttää urakiskoprofiilia 60R2 ja Vignole-kiskoa 49E1 (S49). Tältä osin kiskonprofiilit poikkeavat Helsingin kantakaupungin raitioteillä käytetyistä urakiskoprofiileista 60Ri1 ja 59Ri1. Myös kaarteiden pyöristyssäde on eri: Raide-Jokerin erikoiskiskoprofiilien pyöristyssäde on 13, kun muualla Helsingin raitiotieverkolla käytetään arvoa 10. Korkeampi arvo on yleinen standardi, jota käytetään myös Tampereen raitiotiellä. Tämä ei kuitenkaan estä Helsingin raitioteiden ja Raide-Jokerin vaunujen käyttämistä ristiin (Koivunen, J. 2018).

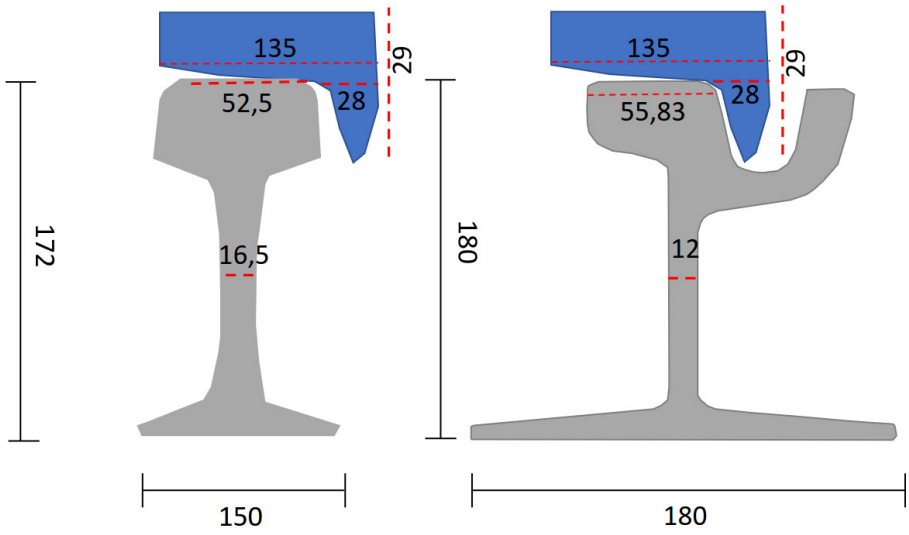
Vertailun vuoksi mainittakoon Karlsruhessa urakiskona käytetettävän niin ikään profiilityyppiä 60R2 ja Vignole-kiskona profiilia 49 (Karr, Martin 2018). Yhteenveto eri kiskotyypeistä teknisine tunnuslukuineen ilmenee taulukosta 5.

Taulukko 5. Keskeisiä, käytössä olevia kiskoprofiileja tunnuslukuineen.

Kisko-tyyppi	kor-keus (mm)	hamaran leveys (mm)	jalan le-veys (mm)	varren paksuus (mm)	massa (kg/m)	Urakiskon laippauran leveys (mm)
49E1	149	67	125	14	49,39	
60E1	172	72	150	16,5	60,34	
P37	182	52.5	150	11	56,4	61
60R2	180	55,83	180	12	59,75	36,35

Taulukosta 5 voidaan havaita kiskonhamaran leveyksissä olevan eroja. Urakiskojen hamaroiden leveydet asettuvat välille 52,5-55,83, jolloin ero ei ole kovin suuri, 3,33 mm. Vignole-kiskoilla ero on 5 mm. Huomattakoon kuitenkin, että Vignole-kiskot 49E1 ja 60E1 sekä urakisko 60R2 noudattavat jo käytössä olevia yleiseurooppalaisia standardeja. Suomessa käytettävä rautateiden urakiskoprofiili P37 on kuitenkin suunnattu erikoistilanteisiin, kuten kuormausalueille. Tampereen raitiotien pyörän kulkukehän leveys on standardi DIN 25112-2:n mukaan 115 mm, kun taas Suomen rautateillä kehän leveys vaihtelee kalustosta riippuen 134-141 mm välillä. Laipan paksuus Tampereen raitiovaunussa on niin ikään standardin DIN 25112-2 määritelmän mukaisesti 25,8 mm (kuva 16).

Urakiskoa 60R2 käytetään esimerkiksi Karlsruhessa yleisesti sekä kaupunki- että duoraitiolinjojen käyttämillä osuuksilla. Näin ollen kaupunkialueella käytettävistä urakiskoista ei aiheudu muulle katuliikenteelle, erityisesti pyöräilijöille ja jalankulkijoille haittaa. Suomessa tulee huomioida myös itäisen yhdysliikenne erityisvaatimuksineen. Tämä koskee erityisesti liikennöintiä vaihteissa, sillä kaluston pyöräkerrat poikkeavat mitoitukseltaan toisistaan. Pyörän renkaiden välien nimellismittojen ero eri kalustotyypeillä on enimmillään 5 mm ja vaihteet tulee mitoittaa siten, että kaikki pyöräkertatyypit kulkevat vaihteesta mahdollisimman tasaisesti (RATO 4 2012). Sekä Vignole- että urakiskon profiileja ja mittoja havainnollistetaan kuvassa 16.



Kuva 16. Vignole- ja urakiskoprofiilin sekä suomalaiseen duoraitiovaunuun esitetyn pyöröprofiilin mitat. Vasemmalla Vignole-kisko 60E1 ja oikealla raitioteillä käytetty urakisko 60R2. Kuvan mitat ovat millimetrejä.

Luvussa 3.5 todettiin duoraitiovaunun joutuvan käyttämään saksalaisista järjestelmistä poiketen halkaisijaltaan suurempaa, vähintään 790 mm pyöränprofiilia. Tällöin pyöränkehän leveys olisi 135 mm, laipan korkeus 29 mm ja sen paksuus 28 mm. Kaupunkiraitiotiellä yleisesti käytettävän urakisko 60R2:n uran syvyys on 47 mm ja leveys 36,34 mm. Suomen rautatieverkolla käytetään yleisesti merkinnällä P37 varustettuja urakiskoja, joiden kulkupinnan leveys on 52,5 mm, siis sama kuin kuvassa x esitetyllä Vignole-kisko 60E1:llä. Urakiskon 60R2 kulkupinta on siis 3,33 mm leveämpi kuin P37-tyypin urakiskolla. Laippauran leveydet sen sijaan poikkeavat toisistaan: urakisko 60R2:llä laippauran leveys on 36,34 mm ja P37-tyypin kiskolla peräti 61 mm. Voidaankin siten todeta P37:n uran olevan liian leveä kaupunkiolosuhteisiin, sillä se saattaisi aiheuttaa vaaratilanteita muille kulkijoille, erityisesti pyöräilijöille ja jalankulkijoille. Koska urakisko 60E1:n uran syvyys on 47 mm, pitäisi duoraitiovaunun pyörän laipan soveltua kulkemaan urakiskossa, mikäli laipan paksuus on 28 mm ja korkeus 29 mm. Kuitenkin vaunun pyörän kulkukehä on 20 mm leveämpi kuin Tampereen X34 Artic-vaunujen, mikä tulee huomioida urakiskoprofiilin mitoituksessa. Rautateillä yleisesti käytetyn urakisko P37:n kulkukehän leveys on 52,5 mm, siis 3,3 mm kapeampi kuin urakiskoprofiilissa 60R2, jolloin valitun duoraitiovaunun pyöräprofiili kykenee kulkemaan em. urakiskoprofiililla ongelmitta. Siten esitetään duoraitiotiellä käytettävän Vignole-kiskoprofiilia 60E1, kuten Tampereen raitiotiellä ja urakiskoosuuksilla profiilia 60R2.

3.6 Vaihteet

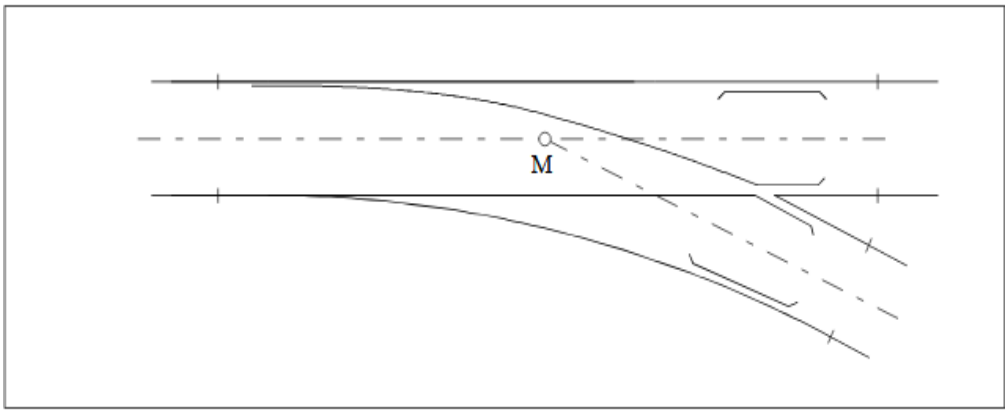
Tässä luvussa tarkastellaan sekä rautatiellä että raitioteillä käytettäviä vaihteita. Koska kaupunkiraitioteillä käytettävät vaihteet eroavat rautatievaihteista jonkin verran, on molempien järjestelmien vaihteet katsottu tarpeelliseksi erottaa erillisiksi alaluvuiksi.

3.6.1 Rautatievaihteet

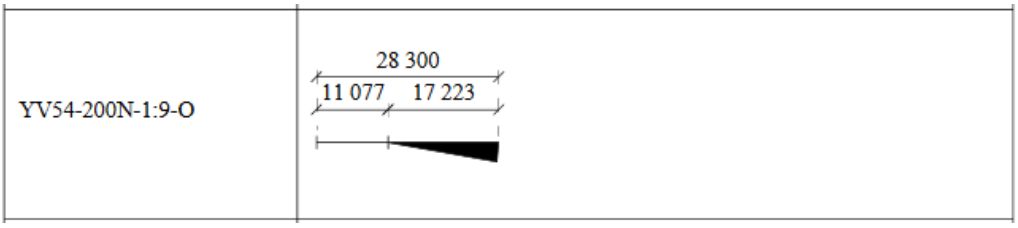
Suomessa on käytössä neljä eri vaihdetyyppiä. Niitä ovat yksinkertainen vaihde, kaksoisvaihteet, risteysvaihteet ja raideristeykset. Yleisimmin rataverkolla käytetään yksinkertaisia vaihteita. Ne ovat joko vasen- tai oikeakätisiä tarpeesta riippuen. Yksinkertaisiin vaihteisiin kuuluu vielä erikoistapauksina kaarrevaihteet (ulkokaari- ja sisäkaarivaihteet) sekä tasapuoliset vaihteet. Kaksoisvaihteessa kaksi yksinkertaista vaihdetta on viety sisäkkäin, jolloin rata voidaan lyhyellä etäisyydellä haarottaa kolmeen suuntaan. Risteysvaihteita on käytössä kahta tyyppiä: yksi- ja kaksipuolinen risteysvaihde. Risteysvaihde koostuu raideristeyksestä, johon on koottu joko kaksi tai neljä kielisovitusta. Raideristeyksellä tarkoitetaan kahden raiteen risteyskohtaa, jossa on neljä risteystä, joista kaksi on 2-kärkistä ja kaksi 1-kärkistä risteystä.

Valtion rataverkolla käytetyt vaihteet merkitään kiskopainon mukaisesti: esimerkiksi merkintä YV54-200-N-1:9-O kertoo kyseessä olevan yksinkertaisen oikeakätisen vaihteen, jonka kiskopaino on noin 54 kg, poikkeavan raiteen kaarresäde 900 ja risteyssuhteen 1:9. Viimeisenä oleva kirjain O kertoo vaihteen kätisyyden joko oikealle tai vasemmalle. Vaihteiden päämitat esitetään Ratateknisten ohjeiden 4. osan liitteessä 1. Siten edellä kuvatun esimerkkivaihteen mittojen olevan seuraava: vaihteen kokonaispituus on 28 300 mm ja se jakautuu siten, että pituus vaihteen etujatkoksesta sen matemaattiseen keskipisteeseen on 11 077 mm ja vastaavasti siitä takajatkokseen 17 223 mm. Kiskopaino riippuu

radan luokasta ja käyttötarkoituksesta. Tässä tutkimuksessa lähdetään kuitenkin siitä oletuksesta, että duoraitiovaunu käyttää valtion rataverkolla ajaessaan yleisesti sellaisia pääratoja, joilla käytetään profiilin 54 E1 kiskoja. Yksinkertaista vaihdetta havainnollistetaan kuvassa 17 ja vaihteen YV54-200N-1:9-O mittoja kuvassa 18.

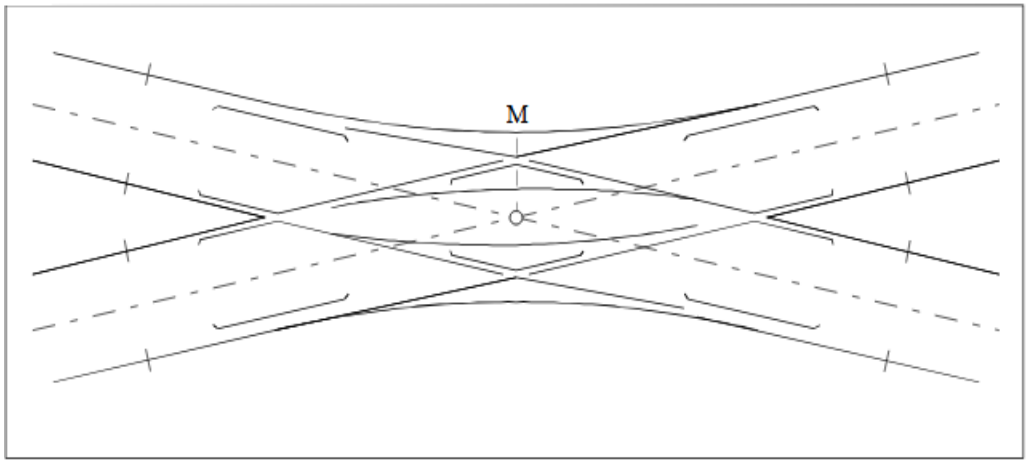


Kuva 17. Kuva yksinkertaisesta oikeakätisestä risteysvaihteesta Väyläviraston julkaisemien Ratateknisten ohjeiden (RATO 4, Rautatievaihteet) mukaan. M-kirjaimella merkitään vaihteen matemaattista keskipistettä.

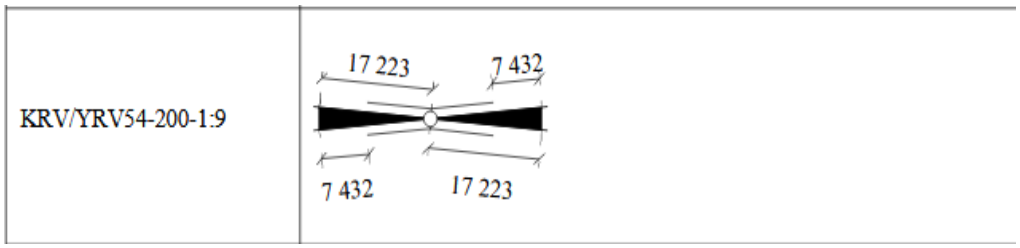


Kuva 8. Yksinkertainen, oikeakätinen vaihde YV54-200N-1:9-O mittoineen Väyläviraston julkaisemien Ratateknisten ohjeiden (RATO 4, Rautatievaihteet) mukaan.

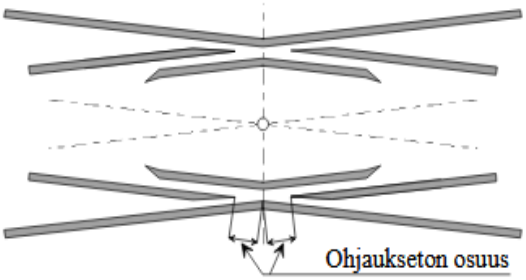
Risteysvaihteissa ja raideristeyksissä käytetään 2-kärkisiä risteyksiä. Kiinteissä risteyksissä kulkupinta katkeaa kaluston pyörien vaatiman laippauran takia. Jos risteysvaihteissa ja raideristeyksissä käytetään 2-kärkisiä risteyksiä, syntyy ns. "ohjaukseton osuus" jolla tarkoitetaan pyörän ohjaukseen vaikuttavaa epäjatkuvuuskohtaa (RATO 4 2012). Mikäli pyörään kohdistuu sen ajaessa vaihteessa voimakas sivuittaisvoima, voi se ajautua väärään suuntaan johtavalle raiteelle ja aiheuttaa siten yksikölle kiskoilta suistumisen. Tällainen voima on esimeriksi pyörässä tai telissä oleva virhe ja jarrutuksessa ja kiihtyvyydessä syntyvä nykäisy (Nummelin 1994). Ohjaukseton osuus syntyy liikkuvan kaluston pyörille, kun risteykset asetetaan kohdakkain (RATO 4 2012). Ohjauksettoman osuuden pituuden lyhentäminen voidaan toteuttaa kaksikärkisten risteysvaihteiden vastakiskoja korottamalla (Nummelin, 1994). Tutkimuksissa on osoitettu kaluston kulun olevan turvallista risteysvaihteen yli, mikäli ohjauksettoman osuuden pituus on alle 60 mm. Suurempi raideleveys pidentää risteysvaihteessa olevaa ohjauksetonta osuutta keskieurooppalaiseen tilanteeseen nähden (Kälvälä, 2013). Risteysvaihteita on saatavilla tarpeen mukaan eri kiskopainoilla. Kuvassa 19 havainnollistetaan kaksipuolista risteysvaihdetta, kuvassa 20 risteysvaihde KRV54-200-1:9 mittoja ja kuvassa 21 kaksikärkisen risteyksen ohjauksetonta osuutta (RATO 4 2012).



Kuva 19. Kuva kaksipuolisesta risteysvaihteesta Väyläviraston julkaisemien Ratateknisten ohjeiden (RATO 4, Rautatievaihteet) mukaan. M-kirjaimella merkitään vaihteen matemaattista keskipistettä.



Kuva 20. Risteysvaihde KRV54-200-1:9 mittoineen Väyläviraston julkaisemien Ratateknisten ohjeiden (RATO 4, Rautatievaihteet) mukaan.



Kuva 21. Kaksikärkisen risteysvaihteen rakenne ohjauksettomine osuuksineen Väyläviraston julkaisemien Ratateknisten ohjeiden (RATO 4, Rautatievaihteet) mukaan.

Liikenne- ja viestintäviraston määräyksen mukaan kaksikärkisessä risteyksessä vastakiskon korotus on oltava vähintään 45 mm ja pyörän vähimmäishalkaisija suoralla raiteella vähintään 330 mm (Komission päätös annettu 18. päivänä marraskuuta 2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää "veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto" koskevasta yhteistoimivuuden teknisestä eritelmästä. (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). Mikäli duoraitiovaunun pyörän halkaisijaksi valitaan luvussa 3.4 määritelty arvo 790 mm ja sen mitoitus perustuu Ratateknisten ohjeiden osassa 21 "Liikkuva kalusto" esitettyihin arvoihin, se täyttää viranomaisten antaman määreen myös risteysvaihteiden osalta ja soveltuu kulkemaan valtion rataverkolla.

3.6.2 Raitiotievaihteet

Raitioteillä käytettävät vaihteet noudattavat pääsääntöisesti samaa periaatetta kuin rautateilläkin: niitä käytetään sekä rautatie- että urakisko-osuuksilla. Raitiotievaihteiden teknisissä yksityiskohdissa on kuitenkin muutamia rautatievaihteista poikkeavia eroja: niitä ei aina välttämättä ohjata keskitetysti liikenteenohjauksesta käsin vaan raitiovaunun kuljettaja voi joutua kääntämään vaihteen itse, joissain poikkeustapauksissa jopa mekaanisella vaihderaudalla. Ratkaisut vaihtelevat paikkakunnittain. Raitiotieverkoilla harvemmin on jouduttu rakentamaan suuria, rautateillä yleisiä ratapihoja vaihteineen. Tällaiset laajemmat ratapihat sijoittuvat yleisesti varikkoalueille. Esimerkiksi Tampereen raitiotiellä käytetään yksinkertaisia vaihteita raitiotien puolenvaihtopaikoilla. Keski-Euroopassa raitiotievaihteista pyritään melun ja kiskojen kulumisen vähentämiseksi ajamaan pyörän kulkukehän varassa (Technische Regeln für die Spurführung 2006). Käytäntö vaihtelee kuitenkin paikkakunnittain.

Helsingin raitioteiden suunnitteluohjeessa edellytetään, ettei urakiskoradoilla vaihteiden kielisovituksia saa sijoittaa liikennealueille siten, että ajoneuvoliikenne ajaisi niiden päältä. Vaihteita ei suositella myöskään sijoitettaviksi pysäkkialueille. HKL:n suunnitteluohjeen mukaan vaihteiden kielisovitukset tulee tehdä 50 ja 100 metrin säteellä. Mitoituksella pyritään takaamaan mahdollisen suuri matkustusmukavuus. Helsingin yleisimmät vaihdetyypit ovat yksinkertainen vaihde YV 60 R1 50-1:4, 105 ja YV 60 R1 100-1:6, 154. Lisäksi käytössä on HKL:n kanssa tehdyllä erillissopimuksella sisä- ja ulkokaarivaihteita. Lisäksi raitioteiden risteysalueella on ristikoita (Raitioteiden suunnitteluohje 2018). Helsingissä raitiotievaihteiden haasteena ovat ns. matalauraiset vaihteet, joissa pyörä ohittaa poikkeavan kiskonuran laippansa varassa. Tämä edellyttää uran muotoilua sellaiseksi, että laippa soveltuu sen pohjalla kulkemaan.

Tampereen Raitiotie Oy:ltä saadun julkaisemattoman aineiston mukaan raitiotiellä käytetään viittä vaihdetyyppiä: 49E1-25-1:4-O/V, 49E1-50-1:6-O/V, 60R2-25-1:2,28-O/V, 60R2-25-1:4-O/V ja 60R2-50-1:3,25-O/V. Näistä tunnuksilla 60R2 merkityt vaihteet ovat urakisko- ja tunnuksilla 49E1 merkityt vaiheet Vignole-vaihteita. Vaihteet ovat kaikki yksinkertaisia oikealle tai vasemmalle kääntyviä. Ne varustetaan sähköisellä kääntö- ja lumensulatuslaitteistolla. Raitioliikenteessä on perinteisesti käytetty vaihteissa laipan varassa ajamista, koska vaunuissa on käytetty kapeita pyöräprofiileja. Tämä perustuu historiaan: koska pyörät kulkevat kadun pinnan tasolla, eikä kadun korkeusasemaa ole voitu taata, leveän pyörän profiili olisi voinut ottaa kiinni kadun päällysteen pintaan. Uudemmissa raitiotiejärjestelmissä käytetään kuitenkin yleisesti leveitä pyöriä ja pyritään siihen, että pyörä kulkisi kehänsä varassa, ei laipalla. Tällä vähennetään melua sekä kiskojen kulumista. Helsingin raitiotiekiskot on kuitenkin suunniteltu kapeammille pyöränprofiileille leveyden ollessa 83 mm (Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla 2011).

3.6.3 Päätelmät vaihteista

Rautatie- ja raitiotievaihteiden rakenne ja toimintaperiaate on sama. Käytännön eroja on vaihteiden mitoituksissa ja käyttöjärjestelmissä: rautateillä ainakin pääradoilla vaihteita ohjataan keskitetysti, kun taas raitioteillä tällaista järjestelmää ei välttämättä ole käytettävissä. Duoraitiovaunun kulkiessa katuver-

kolla, tulisi vaihteet suunnitella siten, että vaunujen leveämmät pyörät soveltuisivat kulkemaan niistä. Vaunujen pyörät eivät ajaisi vaihteissa laipoillaan vaan pyörän kulkupinnoilla.

Käytettäessä rautatieverkon ulkopuolella Vignole-kiskoja, voidaan niihin soveltaa samoja normeja kuin rautatievaihteisiin. Urakiskovaihteet sijoitetaan siten, ettei niiden kielisovitukset sijoitu sekaliikennekaistoille. Vaihteet mitoitetaan duoraitiovaunujen pyöräprofiilin mukaisesti. Käytettäessä urakiskoprofiilia 60R2 vaihteet eivät eroa Tampereen raitiotiellä käytettävistä vaihteista. Suomessa duoraitiovaunujen käyttämillä urakisko-osuuksilla suositellaan käytettäväksi yksikätistä vaihdetta 60R2-50-1:3,25-O/V. Tästä vaihteesta halkaisijaltaan 790 mm pyörät mahtuvat kulkemaan vaivatta. Vignole-osuuksilla suositellaan käytettäväksi rautateillä käytössä olevia vaihteita.

3.7 Kulunvalvonta

Yksikön liikkuessa rautatiealueella, sen tulee noudattaa rautatiealueen turvallisuusmääräyksiä ja ohjeita. Rautateiden kulunvalvontaa säädellään EU:n tasolla rautateistä annetulla direktiiveillä EU 2016/797 ja EU 2016/919, joita täydennetään Suomessa Liikenne- ja viestintäviraston Traficomin valvomalla määräyksellä rautateiden ohjaus, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmästä (Trafi 14975/03.04.02.00/2016). Junien kulunvalvonnalla tarkoitetaan yleisesti järjestelmää, joka valvoo opastinten antaminen opasteiden ja nopeusrajoitusten noudattamista. Kulunvalvontalaitteisto koostuu rata- ja vetokalustoon asennetuista laitteista. Suomessa valvonta suoritetaan vielä toistaiseksi 1990-luvun lopulta peräisin olevan junien kulunvalvontajärjestelmän (JKV) avulla.

Rautatieliikenteen ohjaaminen pohjautuu kiinteisiin turvalaitteisiin, joita ovat radan varrelle asennetut kiinteät turvalaitteet, kuten opastimet, baliisit sekä kalustoyksikölle asennetut, kuljettajalle tietoja antavat päätelaitteet. Kuljettajan tulee saada riittävän ajoissa tieto edessä olevasta pysähtymisen tarpeesta. Perinteisesti tieto on välitetty kuljettajalle opastimin tai radioteitse, nykyään entistä useammin myös muilla keinoin kuten JKV- päätelaitteen avulla.

Radan varrella olevat opastimet voi jakaa kahteen pääluokkaan: pää- ja esiopastimiin. Esiopastin välittää kuljettajalle tiedon pääopastimen asennosta. Mikäli esiopastimessa on kaksi vihreää valoa, kertoo se kuljettajalle pääopastimen näyttävän niin ikään vihreää ja tarkoittaa ”odota aja”-ohjetta. Pääopastimen näyttäessä niin ikään vihreää valoa, se antaa luvan ohittaa opastimen pysähtymättä suurinta, yksikölle tai kyseisellä rataosuudella sallittua nopeutta käyttäen: edessä ei siis ole poikkeavalle kulkutielle käännettyjä vaihteita tai muita nopeuden hidastamista edellyttäviä tekijöitä. Jos taas esiopastin näyttää sekä keltaista että vihreää valoa, antaa se kuljettajalle käskyn ”odota aja 35”, jolloin yksikön nopeus on hidastettava enintään 35 km/h tuntinopeuteen tai liikenteenohjauksen ilmoittamaan suurimpaan sallittuun nopeuteen ennen seuraavalle pääopastimelle saapumista. Jos esiopastin näyttää kahta keltaista valoa, tulee kuljettajan aloittaa ”odota seis”- käskyn saatua hidastaminen ja valmistautua pysähtymään pääopastimelle, joka tässä tilanteessa näyttää ”seis”-opastetta (Järvinen, Viitanen 2014).

Junien kulunvalvonnalla tarkoitetaan rautateiden turvalaitejärjestelmää, jolla valvotaan ja varmistetaan nopeusrajoitusten ja opastinten noudattamista. Järjestelmän tehtävänä on seurata junan nopeutta ja varoittaa, mikäli kuljettaja ei reagoi tietyn tavoiteajan kuluessa annettuihin opasteisiin ja suorita tarvittavia toimia. Kulunvalvontalaitteisto koostuu sekä itse rataan että liikkuvaan kalustoon asetetuista laitteista (Rato 10, 2012). Suomessa rautateiden kulunvalvonnassa nykyisin käytössä olevasta, järjestelmästä käytetään lyhennettä JKV.

3.7.1 Kulunvalvontajärjestelmät: ETCS ja Suomen JKV

Valtion rataverkolla liikennöitäessä kaikilta kalustoyksiköiltä edellytetään toimivaa kulunvalvontalaitteistoa. Jos kulunvalvontalaitetta ei ole tai järjestelmä on häiriön tai muun syyn takia pois käytöstä, on yksikön suurin sallittu nopeus 80 km/h. Mikäli kalustolla halutaan liikennöidä säännöllisesti ilman junien automaattista kulunvalvontaa (JKV), on siihen haettava poikkeuslupaa Liikenne- ja viestintävirastolta. Esimerkiksi museoliikenne on vapautettu JKV:n vaatimuksesta. Tähän on pyritty liikenteen turvallisuuden takaamiseksi, mutta myös liikenteen ohjaamiseksi (Liikennöinti valtion rataverkolla 2015).

Radan varrelle sijoitettujen kiinteiden opastimien lisäksi kuljettajalle välitetään tietoa edessä olevasta pysähtymisen tarpeesta sekä ajonopeuksista JKV-järjestelmän avulla. Nykyinen järjestelmä on peräisin 1990-luvun lopulta ja se kattaa käytännössä lähes koko maan, joitakin järjestysratapihoja lukuun ottamatta (Järvinen, Viitanen, 2014). Suomessa rautateillä liikkuva kalusto on suurimmaksi osaksi varustettu JKV:lla. Junaliikenteestä 98 % liikennöidään JKV:n alaisilla radoilla. Rautatiekalustosta 700 veturia, moottorivaunua ja ratatyökonetta on varustettu JKV-veturilaitteilla (Vainionpää 2014). Järjestelmässä tiedonsiirto radan ja veturilaitteiden välillä tapahtuu vain radalle sijoitettujen baliisien kohdalla, ja se on siten luonteeltaan pistemäinen. Järjestelmän periaatteeseen kuuluu, että yksikön kuljettajalle on jäätävä aikaa aloittaa jarrutus ennen kuin järjestelmä aloittaa automaattisen jarrutuksen. Nykyinen JKV-järjestelmä on osin tulossa käyttöikänsä päähän ja suunnitelmat sen korvaamiseksi yleiseurooppalaisella ETCS-järjestelmällä (European Train Control System) ovat jo pitkällä. Radanvarren turvalaitteet muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden, jota ohjataan keskitetysti. Normaalioloissa kauko-ohjauksella voidaan varmistaa hyvinkin laajojen alueiden junaliikenteen toimivuus. Liikenteenohjaus puolestaan vastaa kauko- ja radio-ohjauksella rautatieliikenteen sujuvuudesta (Järvinen, Viitanen, 2014).

Vaikka opastimissa on EU:n yhtenäistämispyrkimyksistä huolimatta edelleen maakohtaisia eroja, on perusperiaate pääosin pitkälti edellä kuvatun kaltainen kaikissa jäsenvaltioissa. Jokaisessa jäsenvaltiossa on kuitenkin vielä toistaiseksi omat kulunvalvontajärjestelmänsä, joskin ETCS-järjestelmiäkin on useissa jäsenvaltioissa käytössä. EU:n rautateitä koskevan direktiivin EU 2016/797 19§:n mukaan jäsenvaltioissa velvoitetaan ottamaan käyttöön uusi koko EU-alueella yhtenäinen kulunvalvontajärjestelmä European Rail Traffic Management System, ERTMS/ETCS (EU 2016/797). Käyttöönotolle ei ole kuitenkaan asetettu tavoiteaikataulua. On kuitenkin pääteltävissä, että nykyisten kulunvalvontajärjestelmien tullessa tekniikkansa osalta uusimisikään, tullaan jäsenvaltioissa vakavasti pohtimaan järjestelmien uusimista. Rautatiekaluston kulunvalvontaa säädellään direktiivin 2016/797 lisäksi EU-komission asetuksella EU 2016/919 rautatiejärjestelmän opastin- ja merkinantolaitteista. Tässä yhteentoimivuuden

teknisessä eritelmässä (YTE) annetaan selkeät ohjeet siitä, millaisia teknisiä vaatimuksia rautateiden turvalaitteilta edellytetään.

EU:n turvalaitejärjestelmien yhtenäistämispyrkimys johtanee aikanaan ETCS-järjestelmän käyttöönottoon. ETCS-järjestelmässä on tällä hetkellä kolme erilaista tasoa, joista taso 1 vastaa suunnilleen Suomessa tälläkin hetkellä käytössä olevaa junien kulunvalvontajärjestelmää (JKV), taso 2 on siitä kehittyneempi ja tasolla 3 pyritään poistamaan radan varrelle asennetut kiinteät turvalaitteet kokonaan ja korvaamaan ne satelliittipaikannukseen perustuvalla järjestelmällä.

ETCS-taso 1 on otettavissa useimmissa EU-maissa kohtalaisen vähäisin muutoksin käyttöön. Se edellyttää eurobaliisien asentamista rataan ja muutamia muita teknisiä uudistuksia, mutta on kohtalaisen edullisesti toteutettavissa. Taso 2 edellyttää jatkuvan kulunvalvonnan sekä tiedonsiirron GSM-R-verkon kautta. Radanvarrelle voi jäädä kiinteitä opastimia. ETCS-taso 2 on otettu käyttöön useissa Euroopan maissa, erityisesti Saksassa, Sveitsissä ja Itävallassa (DB Netz AG 2018, SBB 2018, ÖBB 2018).

Taso 3 on teknisesti kaikista pisimmälle viety: sen saavuttamien edellyttää kaikkien radanvarren kiinteiden turvalaitteiden poistamista ja kulunvalvonta tapahtuu pelkästään satelliitin välityksellä (Erityiskertomus 13/2017). Taso 3 vaatii vielä merkittäviä investointeja ja tekniikan kehittämistä. Toistaiseksi ETCS-järjestelmän tasoa 3 on koekäytetty Italian Sardiniassa sekä muutamassa muussa kohteessa. Alankomaiden rautatieliikenteestä vastaava viranomainen Prorail sekä sen brittiläinen vastine Network Rail ovat kokeilleet ETCS:n tasoa 3 muutamilla osuuksilla, mutta kovin laajaan käyttöön se ei ole vielä tullut. Suomessa Liikenne- ja viestintäministeriö on omassa, vuonna 2017 laaditussa selvityksessä ottanut kantaa ETCS-järjestelmän tason 3 puolesta (Satelliittinavigaatiojärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa. Toimenpideohjelma 2017-2020). Käyttöönottoprosessi tulee väistämättä olemaan hidas koko EU:n alueella, koska ETCS:n kolmannen tason investoinnin kustannuksia pidetään kohtalaisen korkeina ja hyötyjä etenkin Suomen oloissa tarkempien selvitysten arvoisina. Ainakin siirtymävaiheen aikana kalusto joudutaan varustamaan STM-modulilla, joka tulkitsee JKV-järjestelmän antamat opasteet ETCS:n ymmärtämään muotoon. ETCS-laitteisto lukee suoraan radan ETCS-järjestelmää.

Suomessa ETCS-järjestelmään on kaavailtu siirryttävän pohjoisesta alkaen vaiheittain 2020-luvun alusta alkaen siten, että siirtymäajan rataosat olisi varustettu sekä JKV- että ETCS-järjestelmällä. Suunnitelman mukaan aluksi ETCS-järjestelmä kattaisi Oulun pohjoispuoleisen osan Pohjois-Suomea, ja 2020-luvun kuluessa järjestelmä laajennettaisiin Länsi- ja Itä-Suomeen ja viimeiseksi Etelä-Suomeen. Aivan viimeisimmässä vaiheessa järjestelmä ulotettaisiin kattamaan Helsingin seutu 2030-luvun jälkipuolella (Härkönen, 2017). Uutta ETCS 2-tason järjestelmää on kokeiltu Kerava-Lahti-oikoradalla Kytömaan ja Hakosillan välisellä osuudella (ERTMS/ETCS-järjestelmän suomalainen toiminnallinen vaatimuseritelmä, 2016).

3.7.2 Kulunvalvontajärjestelmät kaupunkialueella

Tavanomaisilla raitioteillä ei yleensä käytetä turvalaitetekniikkaa vaan vaunujen liikennöinti perustuu näkemäohjaukseen. Tällöin vaunun kuljettaja on vastuussa liikennöinnistä ja ohjaamisesta. Etenkin kaupunkien keskusta-alueella raitiovaunu sovittaa liikennöintinsä muun liikenteen rytmiin. Tämä korostuu etenkin jalankulkualueilla, kuten Helsingin Mikonkadulla, Karlsruhen Kaiserstrassella tai Berliinin Alexanderplatzilla ajettaessa. Tällöin vaunu kulkee jalankulkualueen keskellä ja vaikka vaunu on lainsäädännön näkökulmasta etuajo-oikeutettu, pyrkii sen kuljettaja varomaan konfliktitilanteita jalankulkijoiden kanssa. Paikkakunnasta riippuen raitiovaunuilla on joko heikot tai vahvat liikennevaloetuisuudet. Ihannetapauksessa vaunut pysähtyvät pelkästään pysäkeillä ja saavat risteyksissä aina etuajo-oikeuden muuhun liikenteeseen nähden. Suomen oloissa toistaiseksi epätyypillisillä nopeilla, rautatiemaisilla esikaupunkiosuuksilla nopeus voi nousta 60-80 kilometriin tunnissa. Myös näillä osuuksilla valvonta perustuu pääsääntöisesti näkemään.

Joissakin tapauksissa raitioteitä on kuitenkin varustettu turvalaittein: tällaisia ovat esimerkiksi muutamien saksalaiskaupunkien 1960-1980-luvulla rakennetut tunneliosuudet. Niiden liikennöintimalli poikkeaa tunneleiden kaarteiden ja korkeuserojen osalta sen verran tavallisesta katuraitiotiestä, että näillä osuuksilla turvalaitteet ovat perusteltuja (KVB Köln 2007). Eri kaupungeissa on käytössä hieman toisistaan poikkeavaa laitetekniikkaa, mutta niiden toimintalogiikka on kaikissa sama. Sen sijaan pintaosuuksilla raitiotien kulkiessa katuverkossa muun liikenteen seassa käytetään useimmiten tavallisia risteyksiin sijoitettua valo-ohjausta. Esimerkkejä tällaisista kulunvalvontaa vaativista raitioteistä ovat Kölnin, Stuttgartin ja Ruhrin kaupunkien Stadtbahn-järjestelmät, joihin kuuluu sekä maanalaisia että katuverkolla olevia osuuksia. Yleisesti saksalaisilla raitioteillä on käytössä ITCS-järjestelmä (Intermodal Transport Control System), johon on keskitetyn liikenteenohjauksen lisäksi liitetty mm. matkustajainformaatiolaitteet. Järjestelmän avulla vaunuja pystytään seuraamaan reaaliaikaisesti liikenteenohjauskeskuksesta, asettamaan kulkuteitä, ohjaamaan eristetyillä osuuksilla opastimia ja tavallisella katuradalla liikennevaloja sekä tiedottamaan matkustajille reaaliaikaisesti liikenteen häiriöistä. Esimerkiksi automaattiset kuulutuslaitteet on liitetty järjestelmään. Järjestelmään kuuluu vaunujen ohjaamoihin asennetut päätelaitteet. Ne eivät kuitenkaan ole varsinaisia kulunvalvontalaitteita, kuten rautatiekalustossa vaan niitä käytetään lähinnä vaunujen liikkumisen sekä aikataulussa pysymisen seuraamiseen. Kuljettajan käytössä oleva päätelaite kertoo tietoja mm. aikataulussa pysymisestä, näyttää ajoreitin sekä ohjaa maksu- ja kuulutusjärjestelmää. ITCS-järjestelmään voi kuulua myös tilastotietoa liikenteen tilaajalle tuottavat matkustajamääriä laskevat laitteet. Vaunut on varustettu puheyhteyden mahdollistavilla laitteilla sekä kauko-ohjatulla videovalvontalaitteella. Järjestelmällä voidaan valvoa myös tunnelissa ajon turvallisuutta. Aiemmin järjestelmä tunnettiin nimellä RBL (Rechnergestütztes Betriebsleitsystem). Raitiotieratojen turvalaitteita ja vaihteita voidaan kauko-ohjata erityisestä keskusvalvomosta käsin. Keskusvalvomosta voidaan seurata yksittäisen vaunun kulkua rataverkolla ja olla sen kuljettajaan tarvittaessa yhteydessä (Stadtbahnsystem 2014:606-622).

Muutamilla saksalaisilla Stadtbahn-järjestelmillä käytetään raskaampaa, rautateillä yleisempää LZB-järjestelmää (Linienzugbeeinflussung) liikennöinnin turvaamiseksi. LZB-järjestelmä on käytössä Düsseldorfissa, Krefeldissä ja Duisburgissa Stadtbahneilla (Rheinbahn 2017) ja Münchenin metrossa (U-Bahn) (Pischek, Junghardt 2000).

BOStrabin 49§ 2. kohta määrittelee, että kulunvalvonta laitteistoineen tulee olla käytössä itsenäisillä osuuksilla sekä tunneleissa, katuradoilla ja erotetuilla osuuksilla, joiden nopeusrajoitus on enemmän kuin 70 km/h. Mikäli junien kulkua turvataan kulunvalvontalaitteistolla, tulee ne asentaa ohjesäännön 22§ kohdissa 4 ja 5 mukaisesti myös liikkuvaan kalustoon (BOStrab 2018). Karlsruhessa Saksan liittotasavallan rautatieverkostolla kulkevat duoraitiovaunut on varustettu PZB-kulunvalvontajärjestelmällä. Pistemäisestä kulunvalvontajärjestelmästä on kehitetty Karlsruhen vaunuihin erillinen, nimellä PZB 90 AVG tunnettu versio. Joissakin yhteyksissä järjestelmästä käytetään nimitystä AVG Modus. PZB 90 AVG:n ominaisuuksiin kuuluu olennaisena osana muita vastaavia järjestelmiä tehokkaampi jarrutusominaisuus. Yleisesti rautateillä käytössä oleva PZB 90-kulunvalvontajärjestelmästä duoraitiovaunuihin kehitetty versio on otettu käyttöön myös Kasselin duoraitiovaunuissa (Regelwerk zur sicheren Integration von ZZS-Komponenten in das Teilsystem Fahrzeuge 2018). Matkustajainformaatiota sekä kaupunkiraitiotiellä ajamista varten vaunut on lisäksi varustettu ITCS-järjestelmän laitteilla (Stadtbahnsystem 2014:611-622). Karlsruhen seudulla ei toistaiseksi ole käytössä ETCS-laitteita, mutta niiden asentamiseen vaunuihin joudutaan varautumaan lähitulevaisuudessa (Netzkonzeption 2020/2030).

3.7.3 Päätelmät kulunvalvontajärjestelmistä

Duoraitiovaunuilta kulunvalvontalaitteistoa edellytetään käytettävän aina rautatiealueella ajettaessa. Tästä säädetään EU:n rautatiedirektiivissä ja kansallisessa lainsäädännössä. Tällöin kalustossa käytetään kulloisinkin käytössä olevaa kulunvalvontajärjestelmää, Suomessa nykyisin JKV:tä, tulevaisuudessa ETCS-järjestelmää. Suomessa Liikenne- ja viestintävirasto edellyttää kaikissa 1. tammikuuta 2017 jälkeen käyttöönotetuissa, yleisellä rataverkolla käytettävässä uudessa kalustossa ETCS-laitteistoja, ja tämän perusteella tulee ne asentaa myös duoraitiovaunuihin (Trafi 14975/03.04.02.00/2016). Toisaalta liikennöintialueesta riippuen voisi harkita ETCS- ja STM-laitteistojen asentaminen kalustoon tai tarvittaessa vain pelkkä JKV, mikäli sen käyttöön saa luvan ja tiedetään ETCS:n käyttöönoton olevan tulossa vasta järjestelmän rakentumisen viimeisessä vaiheessa. Kaupunkialueella voidaan ajaa näkemilläkin, mikäli alueella ei ole erikoisratkaisuja, kuten pitkiä tunneliosuuksia tms. Mikäli vaunu kuitenkin kulkee myös rautatiealueella, olisi jonkinlainen yhtenäinen valvontajärjestelmä tarpeen sekä kaupunki- että rautatiealueella kulkevien vaunujen koordinoinnin helpottamiseksi ja järjestelmän täsmällisen toimivuuden takaamiseksi.

3.8 Duoraitiovaunukalustolle asetetut turvallisuusvaatimukset

Duoraitiovaunua, kuten muutakin kiskoliikennekalustoa tarkasteltaessa on luotava katsaus turvallisuuskysymyksiin. Tässä alaluvussa tarkastellaan duoraitiovaunun turvallisuusvaatimuksia kahdesta keskeisestä näkökulmasta: vaunukalustolle asetettuja törmäyslujuusvaatimusta sekä jarrutuskykyä. Jarrutuskyvyn tarkastelussa huomioidaan sekä varsinaiselle rautatiekalustolle annetut määräykset sekä niiden yleisluonteinen soveltaminen sekä raitiotiekalustoa koskevat ohjeet ja säädökset.

3.8.1 Törmäyslujuusvaatimukset

Duoraitiovaunun massa on huomattavasti pienempi kuin rautatiekaluston. Esimerkiksi Karlsruhessa käytettävän Bombardierin valmistamaan Flexity-tuoteperheen vaunutyypin ET 2010-tyypin vaunun tyhjäpaino on 62,5 t (AVG 2018), kun taas Pariisissa duoraitiotielinjalla T4 käytettävän Siemens Avanton tyhjäpaino on 59,7 t Huomattakoon Siemens Avenio-vaunujen käyttävän katualueella 750 V tasavirtaa ja rautatiealueella 25 kV 50 Hz vaihtovirtaa, kun taas Bombardierin ET 2010-tyypin vaunu käyttää niin ikään kaupunkialueella 750 V tasavirtaa, mutta rautatiealueella 15 kV 50 Hz vaihtovirtaa. (Siemens. Stadt-und Stra enbahnen. Referenzliste). Helsingin raitioteille Artic-sarjan vaunuja toimittava Transtech Oy puolestaan ilmoittaa pelkästään 750 V tasavirtaa käyttävän, kaupunkiliikenteessä käytettävän raitiovaunun tyhjäpainon olevan 41.6 t (Transtech 2018). Vertailun vuoksi pääkaupunkiseudulla käytettävän Stadler Flirt Sm5-kaupunkijunan yhden yksikön paino on 132 t. Taulukossa 6 on vertailtu kaluston painoja ja sähköistysjärjestelmiä. Enimmillään tällaisia yksiköitä voidaan liittää kolme peräkkäin, jolloin junan massa luonnollisesti kasvaa (Junakalusto Oy 2018). Mikäli kyseessä on tavallinen veturivetoinen juna, on massa luonnollisesti tätäkin suurempi.

Rautatiekaluston lujuusvaatimuksia säädellään kahdessa keskeisessä standardissa. Standardissa EN 12663-1 ”Rautatiekaluston rakenteelliset vaatimukset – osa I veturit ja matkustajavaunut” luokitellaan viiteen luokkaan: P-I matkustajavaunut, P-II kiinteät yksiköt ja matkustajavaunut (esim. moottorijunat), P-III metro- ja raskas paikallisjunakalusto (esimerkiksi S-Bahn), P-IV kevyemmät metrojunat sekä raskaat raitiovaunut ja P-V kaupunkialueella kulkevat raitiovaunut. Standardissa säädetään, millaiset lujuusarvot eri kategorioihin jaettujen kalustoyksiköiden tulee täyttää. Siten luokkaan P-IV kuuluvan kaluston tulee kestää 400 kN ja luokkaan P-V 200 kN suuruisten voimien törmäys (Standardi EN 12663-1:2010).

Standardissa EN 15227:2011 ”Rautatiekaluston törmäysvaatimukset” annetaan selkeät vaatimukset kiskoliikennekaluston törmäysvaatimuksille. Vaatimukset ilmoitetaan standardin EN 12663-1 tavoin kilonewtoneina. Luokitus poikkeaa hieman standardista EN 12663-1; siinä jako tehdään neljän sijaan viiteen luokkaan: luokassa C-I huomioidaan myös vetokalusto, joka standardissa EN 12663-1 jätetään moottorivaunut pois lukien huomiotta. Standardi 12663-1 ei ole keskity niinkään kaluston lujuusvaatimuksiin vaan siinä edellytetään tiettyjä törmäyskestävyysvaatimuksia.

Standardissa EN 15227:2011 kiskoliikennekaluston lujuusvaatimukset jaetaan neljään luokkaan kaluston käyttötarkoituksen mukaan. Luokassa C-I ovat veturit ja vaunut sekä sähkömoottorijunat, luokassa C-II metrojunat, luokassa C-III duoraitiotie- ja metron sekä katuliikennekelpoisen raitiotiekaluston välimaastoon sijoittuvat vaunut (esimerkiksi raskaat esikaupunkiraitiovaunut sekä saksalaiset Stadtbahn-vaunut) ja luokassa C-IV pelkästään kaupunkiliikenteessä katuverkolla kulkevat raitiovaunut. Standardissa määritellään myös nopeuden vaikutus kaluston törmäyskykyyn: esimerkiksi 160 km/h tai nopeammin kulkevan yksikön tulee kestää 300 kN voimalla suoraan keulaan iskeytyvä törmäys tai vastaavasti 250 kN voimalla 750 mm keulasta toiselle kyljelle kohdistuva törmäys. Duoraitiovaunujen nopeuksilla (100 km/h) standardi antaa vastaaviksi lukuarvoiksi 120 kN ja 100 kN.

Selvityksen perusteella voidaan todeta, ettei duoraitiovaunuille ole asetettu muusta rautatiekalustosta poikkeavia turvallisuuteen liittyviä erityismääräyksiä. Käytettävissä olevan aineiston pohjalta voidaan päätellä duoraitiovaunukalustoon sovellettavan joissain määrin lievempiä määräyksiä kuin muuhun rautatiekalustoon. Tämä käy ilmi etenkin standardista SFS EN-15227:2011, jossa duoraitiotiekalusto luokitellaan luokkaan C-III ja sen tulee kestää törmäys mihin tahansa kiskoille ilmaantuvaan esteeseen 800 kN voimalla. Törmäyslujuusvaatimus on sama kuin metro- tai S-Bahn-kalustolla. Rautatieliikenteessä käytettäviltä, SFS EN-15227:2011-standardin luokkaan C-II kuuluvilta moottorivaunuilta edellytetään 1500 kN ja muulta rautatieliikennekalustolta 2000 kN:n törmäyslujuusvaatimusta (Standardi SFS-EN 15227+A1).

Taulukko 6. Kiskoliikennekaluston tyhjä- ja kuormapainojen sekä sähköistysjärjestelmien vertailu.

Valmistaja	Vaunutyyppi	Sähköistysjärjestelmä	Tyhjäpaino	Kuormapaino	Käyttötarkoitus
Bombardier	ET 2010	750 V/15 kV	62,5 t	72 t (arvio)	duovaunu
Stadler	Citylink	750 V/hybridi	68 t	87,5 t	duovaunu
Siemens	Avanto	750 V/25 kV	59,7 t	67 t	duovaunu
Škoda-Transtech	Artic	750 V	41,6 t	56,55 t	kaupunkivaunu
Stadler	Flirt	25 kV	132 t	174 t	kaupunkijuna

3.8.2 Jarrutuskyky

Jarrutuskyky on eräs duoraitiovaunujen turvallisuuden keskeinen tekijä. Vaunun on kyettävä pysähtymään täydestä vauhdista siten, ettei vaunussa oleskeleville henkilöille aiheudu jarrutuksesta vaaraa. Ajettaessa vaunuja näkemäohjauksella kaupunkialueella nopeudet ovat ulkoisista tekijöistä johtuen rajoittuneet korkeintaan 40-60 kilometrin tuntinopeuksiin. Lainsäädäntö ei lisäksi edellytä raitiovaunukalustolta kaupunkialueella ajettaessa samanlaisia vaatimuksia kuin rautatiellä. Duoraitiovaunun siirtyessä rautatiealueelle, sovelletaan siihen tutkimuksen 2. osassa esitettyjen periaatteiden mukaisia juridisia määräyksiä. Näitä ovat yleisesti EU:n rautateitä koskeva direktiivi, niiden toimeenpanon vahvistavat YTE:t, täydentävä kansallinen lainsäädäntö sekä erilaiset viranomaismääräykset. Kaluston turvallisuusvaatimuksia säädetään siten edellä kuvatulla tavalla, mutta niiden lisäksi niihin sovelletaan mm. EU:n rautatiedirektiivin 2016/797 2. artiklan kohdassa 29 määritettyä standardia EN 15227:2011.

Standardien ohella tässä luvussa tarkastellaan soveltuvin osin Saksan liittotasavallan raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesääntöä (BOStrab) sekä EU:n komission asetusta N:o 1302/2014. Asetuksen kohdassa 4.2.4 ”Jarrutus” annetaan selkeät määräykset kiskoliikennekaluston jarrutusjärjestelmän toimintaperiaatteista. Näitä ovat toiminnallisuuteen ja turvallisuuteen liittyvät vaatimukset, jarrujärjestelmän tyyppi, niiden ohjaus ja jarrutuskyky. Komission asetus N:o 1302/2014 on yksityiskohdistaan huolimatta yleisluonteinen, eikä siinä anneta tarkkoja raja-arvoja tai laskentakaavoja (EU 1302/2014). Asetus toimii

kuitenkin muun EU:n lainsäädännön tavoin kansallisten lainsäädäntöjen ja määräysten yläpuolella: yksityiskohtaisemmat laskentakaavat sekä raja-arvot on löydettävissä standardeista, ohjeista ja viranomaismääräyksistä.

3.8.2.1 Jarrupainojärjestelmä

Kiskoliikennekaluston jarrutuskyvyn ilmoittamiseen käytetään yleisesti jarrupainojärjestelmää. Jarrupainojärjestelmässä kalustoyksikön jarrutusvoiman suuruutta kuvataan jarrupainolla. Siihen sisällytetään kaikkien kalustossa käytössä olevien jarrujen yhteenlaskettu voima, ei siis suljettuja tai viallisia jarruja. Tyypillisesti suomalaisessa rautatiekalustossa on käytössä paineilmatoimiset kitkajarrut sekä hätäjarrutusta varten kiskojarrut. Lisäksi on käytössä sähkötoiminen dynaaminen jarrujärjestelmä, jossa yksikkö saadaan jarruttamaan katkaisemalla sähkömoottorista virta, jolloin juna jarruttaa (Mäntyjärvi 2017). Raitiovaunujen jarrujen määrä ja toimintaperiaatteet saattavat vaihdella tyypeittäin. Transtechin Helsingin raitioteille toimittamassa perinteiselle raitiotielle soveltuvassa Artic-vaunussa on sähkö-, hydraulinen ja sähkömagneettinen jarru (HKL 2018). Yleisesti raitiovaunuissa kuitenkin on muun kiskokaluston tavoin vähintään sähkö- ja kiskojarru.

Junien jarrutuskyvystä on annettu erilliset määräykset, jotka tunnetaan jarrupainoprosentteina. Jos oletetaan duoraitiovaunun suurimmaksi sallituksi nopeudeksi linjaliikenteessä 100 km/h, on jarrupainoprosentti 55 (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt) 2017). Yksikön jarrutuskyvystä säädetään EU:n komission vuonna 2014 antamalla päätöksellä EU 1302/2014 "Euroopan laajuisen tavanomaisen rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää 'veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto' koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä". Päätöksen kohdassa 4.2.4.5 määrätään, että standardissa SFS-EN 14531-1 kohdassa 5.12 määritellään yksikön hidastuvuuskyky (EU 1302/2014). Saksassa rautateiden normaaliraiteisen (1435 mm) rautatien liikennöinti- ja rakentamisohjesäännön EBO:n 35 § edellyttää junan suurimmaksi sallituksi jarrutusmatkaksi täydestä nopeudesta 700-1000 m (EBO 2018). Kapearaiteisille rautateille laadittu liikennöinti- ja rakentamisohjesäännön 23 § toteaa saman asian (ESBO 2018). Suomessa jarrupainoprosentti on määriteltävä kaikelle kiskoilla kulkevalle kalustolle. Sen perusteella junien kulunvalvontalaitteisto arvioi jarrutuskäyrän (Mäntyjärvi 2017).

Yleisellä rataverkolla liikennöivien duoraitiovaunujen jarrutuskykyä saatetaan määrittää myös jarrupainoprosentin perusteella. Näitä tietoja ei kuitenkaan ole yleisesti saatavilla vaunutyypeittäin. Karlsruhen duoraitiovaunuissa tietoja ei kuitenkaan ole merkitty uusimpien GT8-100D/2S-M- ja ET 2010-vaunutyyppien kylkiin, vaikka molemmat vaunutyypit liikkuvat raitioteiden ohella myös yleisellä rataverkolla. Sen sijaan Karlsruhen ET 2010-vaunusarjan kanssa hyvin samankaltainen, saman valmistajan uudemmassa, mutta ET 2010-sarjasta teknisten ratkaisujen osalta poikkeavassa Chemnitzin CityLlnk-vaunussa jarrupainotiedot on saatavissa. Kuvassa 22 havainnollistetaan tätä tietoa.

Kuva 22. Chemnitzin Citylink-vaunu teknisine, jarrupainon kertovine tietoineen. Laatikossa on ilmoitettu vaunun taara (70 t), enimmäiskuorma 87,5 t ja kerrotaan, että vaunussa on 87 paikkaa. Kirjain P kertoo vaunussa olevan paineilmajarrun painon (83 t) ja merkintä P+Mg paineilmajarrun (P) ja magneettinen kiskojarrun (Mg) yhteenlasketun painon 128 t. Vaikka Chemnitzin Citylink ja Karlsruhen ET 2010 ovat molemmat saman valmistajan vaunuja ja muistuttavat rakenteeltaan toisiaan, ei Karlsruhessa näitä tietoja ollut merkitty vaunujen kylkiin. ET 2010 on perinteinen, kahta eri sähköistysjärjestelmää käyttävä vaunu, kun taas Citylink on dieselmoottorilla varustettu hybridi. Rautatiekalustossa tiedot sen sijaan ovat poikkeuksetta näkyvissä. Kuva tekijän. Burgstädt, 15.6.2018.

Jarrupainoprosentti saadaan lasketuksi yleisellä kaavalla (Mäntyjärvi 2017)

$$\lambda = \frac{B}{m_{st}} \cdot 100\%$$

jossa

λ on jarrupainoprosentti [%]

B on junan yksiköiden yhteenlaskettu jarrupaino [t]

m_{st} on koko junan staattinen massa [t]

Väyläviraston ohjeessa 10/2018 on annettu jarrupainoprosentin vähimmäisarvo. Junan jarrupainoprosentin on oltava vähintään 18, ja saatu lukema tulee pyöristää alaspäin lähimpään kokonaislukuun. Suomessa käytössä olevia jarrupainoprosentteja havainnollistetaan taulukossa 7.

Taulukko 7. Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuus säännöt (2018) -ohjeissa esitetty junan jarrupaineprosenttivaatimus.

Nopeus enintään (km/h)	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220
Jarrupainoprosentti vähintään (%)	18	25	36	52	55	85	114	125	128	132	135

Mikäli halutaan kuvassa 22. olevalle Chemnitzin Citylink-vaunulle halutaan laskea jarrupainoprosentti, voidaan se laskea jakamalla vaunun paineilmajarrun painolla (83 t) vaunun kokonaispainolla täydessä lastissa (87,5 t). Tällöin saadaan tulokseksi 95 %, jolloin Chemnitzin vaunu täyttäisi erinomaisesti taulukossa 7. esitetyn suomalaiselle rautatiekalustolle asetetun jarrutuskykyvaatimuksen. Huomataan vielä, että Suomessa kiskojarruja saa käyttää vain hätäjarrutukseen, eikä niitä lasketa siten jarrupainoprosenttiin (Rautatieviraston määräys RVI/363/412/2008, Mäntyjärvi 2017, Toikkanen 2018).

3.8.2.2 Kaupunki- ja duoraitiovaunujen jarrutuskyky

Kaupunkialueella liikennöivät raitiovaunut ovat varustettu yleensä kolmella eri jarrujärjestelmällä. Jarrujärjestelmät riippuvat vaunutyypistä: esimerkiksi Helsingissä tällä hetkellä liikennöivissä vaunuissa on sähköjarru, mekaaninen jarru ja kiskojarru. Sähköjarrua käytetään vaunun hidastamiseen lähes pysähdyksiin asti: viimeistely suoritetaan mekaanisella jarrulla. Kiskojarrua käytetään vain hätäjarrutuksessa. Mekaaninen jarru pysäyttää vaunun pienillä nopeuksilla ajettaessa, mutta se toimii myös kiskojarrun varajärjestelmänä (Sandberg 2015).

Kaupunkialueella liikennöivien raitiovaunujen jarrutuskykyä ei säädellä suoraan direktiivein. Suomessa kaupunkialueella liikkuvat raitiovaunut on yksityiskohtaisten teknisten vaatimusten osalta jätetty raideliikennelain ulkopuolelle. Saksassa raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesääntö BOStrab sen sijaan antaa tarkkoja määräyksiä raitiovaunun jarrutuskykyvaatimuksista. Lain 5. luvun 36 § 1. kohta edellyttää raitiovaunuilta kahta jarrujärjestelmää. Niiden on oltava toisistaan riippumattomia siten, että toinen jarrujärjestelmistä on toimintakykyinen siinäkin tilanteessa, kun ajolangan jännite esimerkiksi sähkökatkon takia putoaa nollaan. Pykälän 36 toisessa kohdassa todetaan, että normaalitilanteessa "kalustoyksikön tulee voida pysähtyä mahdollisimman pienellä nykäyksellä ja matkustajia vaarantamatta", kiskon ja pyörän välistä kitkaa tulee voida hyödyntää jarrutuksen loppuun saakka.

BOStrabin liitteessä 2 on määrätty raja-arvot hidastuvuudelle a ja jarrutusmatkalle s tyhjällä kalustoyksiköllä ajettaessa suoralla ja tasaisella raiteella. Pienin sallittu keskimääräinen hidastuvuus voidaan laskea kaavalla

$$a = \frac{v^2}{3{,}6^2 - 2s}$$

Kaavassa

a (m/s)²	on pienin sallittu keskimääräinen hidastuvuus
s (m)	on suurin sallittu jarrutusmatka jarrutustapahtuman alusta mitattuna
v (km/h)	on nopeus jarrutuksen alkaessa.

BOStrab antaa jarrutusmatkalle kaksi eri raja-arvoa: tilanteessa, jossa yksi jarrujärjestelmä on käytössä ja hätäjarrutukselle. Näitä raja-arvoja havainnollistetaan taulukoissa 8 ja 9.

Taulukko 8. Raja-arvot tilanteessa, jossa jarrujärjestelmän toinen jarru on vikaantunut ja vain yksi jarrutyyppi on käytössä.

v (km/h)	a (m/s²)	s (m)
20	0,77	20
30	0,87	40
40	0,95	65
50	1,03	94
60	1,06	131
70	1,07	177
80	1,07	230
90	1,08	290
100	1,08	355

Taulukko 9. Raja-arvot hätäjarrutuksessa

v (km/h)	a (m/s²)	s (m)
20	1,71	9
30	2.04	17
40	2,29	27
50	2,47	39
60	2,57	54
70	2,73	69

Taulukosta 9 voidaan havaita, että hätäjarrutuksessa vaunun kulkiessa esimerkiksi nopeudella 40 km/h, on pysähtymismatkan raja-arvo 27 metriä. Fysiikan lakien mukaisesti pysähtymismatka on verrannollinen nopeuteen: mitä nopeammin vaunu kulkee, sen pidempi pysähtymismatka on. Tällöin hätäjarrutuksessa jarrutusmatka olisi BOStrabin liitteen 2 perustella arvioituna nopeudella 80 km/h mitattuna 85 metriä, 90 km/h nopeudella 101 metriä ja 100 km/h nopeudella 116 metriä. Vastaavasti tilanteessa, jossa käytettävissä on yksi jarru, olisi pysähtymismatkat edellä mainituilla nopeuksilla 230, 290 ja 355 metriä. Huomataan kuitenkin edellä olevien arvojen olevan raja-arvoja, joiden ylittäminen ei BOStrabin ohjesäännön mukaisesti ole sallittua. Siten vaunukaluston pysähtymismatkat ovat taulukoissa esitettyjä lyhyempiä. Taulukossa 9 esitetyt arvot pätevät kaikkeen kaupunkiliikenteeseen, myös duoraitiovaunuihin niiden ajaessa BOStrabin alaisilla osuuksilla (BOStrab 2018).

3.8.3 Akselipainot

Akselipainojen osalta duoraitiovaunut eivät eroa juurikaan raskaammasta rautatiekalustosta, eivätkä toisaalta kevyemmästä perinteisestä raitiotiekalustosta. Tampereen raitiotien Tampere Smart Artic X34-tyypin vaunun akselipaino on 10 t (X34 pähkinänkuoressa 2018) ja Karlsruhen ET 2010-tyypin duoraitiovaunu 11,5 t (AVG 2018). Vertailun vuoksi mainittakoon Stadler Flirt Sm5-junan

akselipaino olevan 13,2 t. Tästä havaitaan, ettei junien akselipainoilla ole suurempaa keskinäistä eroa ja arviolta 11,5 t akselipaino on riittävä, jotta vaunu toimisi rautatiellä raidevirtapiirin kanssa. Vaunu ei myöskään ole liian painava kyetäkseen liikennöimään katuverkolla. Valtion rataverkolla akselipainon tulee olla vähintään 3,5 tonnia (RATO 21, 2012).

3.8.4 Päätelmät turvallisuusvaatimuksista

Selvityksen perusteella voidaan todeta, että rautatie- ja raitiotiekalustoon sovelletaan erilaisia ohjeita. Pelkästään rataverkolla kulkeva kalusto, pääsääntöisesti siis veturit, matkustaja- ja tavaravaunut, moottorijunat sekä juna- ja vaihtotyöliikenteen säännöillä erilaiset, kiskoilla kulkevat ratatyö- ja erikoiskoneet on varustettu jarrupainon kertovin tiedoin. Tämän tiedon perusteella voidaan laskea kalustolle jarrupainoprosentti. Jarrupainoprosentin laskemista ei kuitenkaan edellytetä suljetulla kaupunkiraitiotiejärjestelmällä kulkevilta kaupunkiraitiovaunuilta eikä myöskään duoraitiovaunuilta, niiden kulkiessa kaupunkialueella. Rautatiealueella kulkevilta duoraitiovaunuilta jarrupainoprosentti kuitenkin edellytetään. Kuitenkin kesällä 2018 tehdyllä opintomatkalla havaittiin Chemnitzin Citylink-vaunuissa olevan tarkat tiedot jarrupainoista siinä missä muussakin rautatiekalustossa, mutta vastaavat tiedot puuttuivat Karlsruhen vaunuista.

Raitiovaunukaluston jarrutusvaatimuksista säädetään Saksassa BOStrab-säädöskokoelmassa. Suomessa vastaavaa luokittelua ei kuitenkaan ole ollut tarvetta tehdä, koska raitiovaunuja on ollut pelkästään Helsingin suljetulla verkolla. BOStrab määrää tilanteessa, jossa vaunun kahdesta jarrusta toinen on rikkoutunut enimmäisjarrutusmatkan olevan 355 m suurimmalla sallitulla 100 km/h nopeudella. Korostetaan vielä tämän arvon olevan enimmäisjarrutusmatka suurimmalla sallitulla nopeudella huonoimmassa kuviteltavissa olevassa tilanteessa. Siten jarrutusmatka on tätä raja-arvoa pienempi. Vertailun vuoksi voidaan todeta junan pysähtymismatkan riippuvan monesta eri tekijästä, mm. junan nopeudesta ja massasta. Fysiikan lakien perusteella voidaan todeta tavallisen matkustajajunan jarrutusmatkan 100 km/h:n nopeudesta pysähdyksiin (0 km/h) olevan merkittävästi duoraitiovaunua pidempi; vähimmillään useita satoja metrejä. Esimerkiksi 132 t painava Sm5 tarvitsee 100 km/h tuntinopeudesta pysähtyäkseen vähintään 394 metriä – siis enemmän kuin mitä BOStrab edellyttää raitiotiekalustolta tilanteessa, jossa vain yksi jarrujärjestelmän jarruista on käytettävissä. Vaikka lukuarvot 355 m (raitiotiekalusto) ja 394 m (Sm5) vaikuttavat olevan lähellä toisiaan, huomattakoon laskelmissa huomioitu vain yhden Sm5-yksikön jarrutusmatka, raskaammasta henkilöliikennekalustosta esim. veturivetoisesta kaukojunasta puhumattakaan.

Lainsäädännön näkökulmasta tarkasteltuna duoraitiovaunut rajautuvat EU:n rautatiedirektiivin ulkopuolelle. Duoraitiovaunujen liikennöintiympäristöä tarkasteltaessa voidaan kuitenkin tehdä päätelmä, että Saksassa BOStrab on riittävä määrittelemään vaunun jarrutuskyvyn. Vaunujen suunnittelussa joudutaan toki huomioimaan rautatieympäristö ja siihen sovellettavat säädökset, mutta myös nopeatempoinen kaupunkiympäristö jalankulkualueineen ja vilkasliikenteisine katuineen. Duoraitiovaunut on viety kaupunkien liikekeskustoissa usein jalankulkualueille, joissa ajonopeudet rajoittuvat 10-20 km/h ja jolloin tulee huomioida törmäykset jalankulkijoihin, pyöräilijöihin sekä muuhun katuliikenteeseen. Tällöin kuljettajan on kyettävä tekemään äkkijarrutus esteen havaitessaan, ja vaikka nopeudet kaupunkialueella olisivat suhteellisen alhaiset, tulee pysähdysmatkan olla lyhyt. Rautatiealueella taas suurimmat törmäysriskit ovat

tasoristeyksissä muihin ajoneuvoihin sekä yleisesti muuhun kiskoilla kulkevaan kalustoon. Riskejä on pyritty minimoimaan asentamalla tasoristeyksiin varoituslaitokset ja ylipäätään turvalaittein ja kulunvalvontatekniikalla. Mikäli duoraitiovaunu rakennettaisiin kestämään törmäys 200-300 km/h nopeudelle mitoitettuun sähkömoottorijunaan, tulisi vaunusta kaupunkiliikenteeseen turhan raskas.

4 Esimerkkitapaus: duoraitiotien soveltamisesta Suomeen: Varsinais-Suomi ja sen pääkaupunki Turku

Edellisissä luvuissa on tarkasteltu duoraitioliikenteen mahdollisuuksia Suomessa lainsäädännön ja teknisten yksityiskohtien näkökulmasta. On todettu, että duoraitiotien toteuttaminen olisi periaatteessa teknisesti mahdollista, eikä nykyinen tai muuttuva lainsäädäntökään aiheuta suurempia haasteita, edellyttäen, että tietyt valtion rataverkon operatiiviseen käyttöön liittyvät ongelmat ratkaistaan. Mitkä sitten olisivat Suomessa sopivat kohteet duoraitioliikenteen toteuttamiselle? Usein on todettu raideliikenteen vaativat tietyn väestöpohjan ja sellaista ei Suomesta löydy (Kerava-Nikkilä radan henkilöliikenteen tarveselvitys 2015). Kuitenkin Keski-Euroopassa sekä katu- että duoraitiotiejärjestelmiä on toteutettu väestöpohjaltaan joko samankokoisilla tai huomattavasti pienemmillä alueilla.

Suomessa Helsingin seutu on valinnut raskaaseen raideliikenteeseen perustuvan järjestelmän. Etenkin rautateiden lähiliikennettä on kehitetty viime vuosikymmeninä sen verran voimakkaasti kaupunkiratojen suuntiin, ettei nykyinen ratakapasiteetti riitä duoraitioliikenteelle osuuksilla Helsinki-Kirkkonummi ja Helsinki-Kerava. Edelleen on huomattava Helsingin seudun kuntien keskittäneen maankäyttöään hyvin voimakkaasti ratojen varsille rautateiden sähköistämisen jälkeen 1980-luvun alusta saakka ja tämä linjaus on voimistunut vuosituhannen vaihteessa ensin Espoon Leppävaaran varsin massiivisen rakentamisen ja sittemmin Kehäradan varteen sijoittuneen Kivistön yhteydessä. Kevyen raideliikenteen osalta Helsingin seudulla on keskitytty viime vuosina Helsingin jo olemassa olevan raitiotiejärjestelmän laajentamiseen kantakaupungin uusille alueille, kuten Jätkäsaareen, Kalasatamaan ja Ilmalaan sekä poikittaisyhteys Raide-Jokeriin. Myös uusi Kruunuvuorenrannan kaupunginosa on tarkoitus liittää osaksi kantakaupungin raitiotieverkostoa (Uutta Helsinkiä 2019).

Tampereella duoraitiotien toteuttamisesta tehtiin vuosituhannen alkupuolella selvitys, jossa raitiovaunut olisivat käyttäneet huomattavissa määrin valtion rataverkkoa. Linjasto olisi ulottunut lännessä Ylöjärvelle ja Nokialle, idässä Kangasalle ja etelässä Lempäälään. Katuraitiotietä olisi rakennettu ainoastaan Lielahdesta Lentävänniemeen sekä Vuohenojalta Hervantaan ja edelleen tuolloin suunnitelmissa olleeseen Vuorekseen. Suunnitelmaan kuului lisäksi Tampereen keskustan alittava tunneliosuus, johon oli kaavailtu maanalaisia asemia Tampellan lisäksi Keskustorille ja pääkirjasto Metson kohdalle Hämeenkadun ja Hämeenpuiston risteykseen. Suunnitelma ei edennyt koskaan luonnosta pidemmälle, sillä valtion rataverkon kapasiteetin ei katsottu riittävän duoraitioliikenteelle. Näin siitäkin huolimatta, että duoraitioliikennettä oli kaavailtu ajettavaksi Ylöjärvelle ja Nokialle molempiin kaksi vuoroa tunnissa ja Lempäälän suunta hoidettavaksi taajamajunalla (Raideprojekti 2004). Duoraitiotieprojektin hautautuminen johti kuitenkin Tampereen raitiotiehankkeen etenemiseen modernin kaupunkiraitiotien pohjalta: periaatepäätös rakentamisesta tehtiin pitkän valtuustokeskustelun päätteeksi maanantaina 7. marraskuuta 2016 ja rakentaminen alkoi seuraavan vuoden keväällä (Tampere 2018).

Käytännössä siis Helsingin ja Tampereen seudut eivät ole duoraitiotien toteuttamisen kannalta helpoimpia, varsinkaan, kun Tampereella on raitiotien raideleveydeksi päätetty Euroopassa yleisesti käytetty 1435 mm. Kolmikiskoiset rataosuudet eivät ole maailmalla ainutlaatuisia, mutta normaalin ja Suomessa käytettävän 1524 mm raideleveyden yhdistäminen samalle rataosuudelle tuottaa haasteita. Käytännössä 1435 mm ja 1524 mm raideleveyksien yhdistäminen samalle ratapenkereelle edellyttäisi nelikiskoisen radan rakentamista. Tällainen rataosuus on toteutettu Tornion ja Haaparannan välille. Suomessa sopivin kohde duoraitiotien toteuttamiseksi olisi Turku ympäristöineen. Tässä tarkastelussa perehdytään Turun seutuun sekä Varsinais-Suomeen ja tarkastellaan, millaisia edellytyksiä duoraitiotien toteutukselle Turun seudulla voisi olla.

Varsinais-Suomen maakunta on Suomen kolmanneksi väkirikkain Uudenmaan ja Pirkanmaan jälkeen: asukkaita koko maakunnassa oli toukokuussa 2018 477 715, joista Turun kaupungissa 189 816 ja Turun kaupunkiseudulla kattaen Turun, Kaarinan, Naantalin ja Kaarinan kaupungit sekä Ruskon ja Liedon kunnat 328 436 asukasta. Tältä osin kaupunkialue on verrattavissa Saksan Chemnitziin ja Kasseliin. Mikäli tarkastelussa huomioidaan vielä Salon (61 665 asukasta), Vakka-Suomen (31 381 asukasta) ja Loimaan (34 228 asukasta) väestöpohjat, on raideliikenne vertailukelpoinen monen saksalaisen paikkakunnan kanssa (Lounaistieto 2018). Voimakkaasti laajentuva Chemnitzin duoraitioliikennejärjestelmä (esitelty yksityiskohtaisesti luvussa 1.1.5.5) on siten erinomainen esimerkki Varsinais-Suomen duoraitiotielle. Turun kaupunki lakkautti raitiotiensä lokakuussa 1972 ja kaupungissa on sen jälkeen tehty useita selvityksiä raitiotien palauttamiseksi. Kaupunki on viimeisimmässä selvityksessään päätynyt pohtimaan raitiotien ja ns. "runkobussivaihtoehdon" hyötyjä ja haittoja.

Varsinais-Suomi soveltuu ihanteellisesti duoraitioliikenteelle. Maakunta on tiheästi asuttu osan asutuksesta keskittyessä jo olemassa olevan rataverkon varrelle. Turku toimii rautatieliikenteen alueellisena solmukohtana: sieltä lähtee rautatietä neljään suuntaan: Rantarata itään Salon ja Karjaan kautta Helsinkiin, Turun rata koilliseen Loimaalle ja edelleen Toijalaan ja Uudenkaupunginrata Uuteenkaupunkiin. Jälkimmäisestä haarautuu lisäksi rata Naantaliin. Uudenkaupungin- ja Naantalin radat ovat sähköistämättä, muut on sähköistetty. Valtioneuvosto on tehnyt periaatepäätöksen Uudenkaupunginradan sähköistyksestä ja töiden on määrä valmistua vuoteen 2021 mennessä (Väylävirasto 2019)

4.1 Varsinais-Suomen duoraitiotien teknisiä ratkaisuja

Turun kaupunkiraitiotien yleissuunnitelmassa on otettu alustavasti kantaa toteutettavaan raitiotiejärjestelmään ja esitetty muutamia keskeisiä tunnuslukuja. Koska kyseessä on yleissuunnitelma, ei näitä arvoja ole vielä vahvistettu lopullisiksi. Seuraavassa tarkastellaan muutamia keskeisiä järjestelmien yhteensovittamisen edellyttämiä tekijöitä.

Raideleveydeksi on kaavailtu normaalia (1435 mm), ei rautateiden kanssa yhteensopivaa leveämpää 1524 mm raideleveyttä. Raideleveys on duoraitiotien toteuttamisen kannalta ratkaiseva. Lyhyitä nelikiskoisia osuuksia voidaan tietyin edellytyksin toteuttaa vaihtoyhteyksien tehostamiseksi esimerkiksi matkakeskuksella, mutta järjestelmän kokonaistoimivuuden takaamiseksi olisi edullisinta, mikäli koko raitiotiejärjestelmä toteutettaisiin samalla 1524 mm raideleveydellä.

Raitiotien teknisen toimivuuden kannalta raideleveydellä ei ole kovin suurta merkitystä. Tiettyjä taloudellisia etuja saavutetaan, mikäli Turun ja Tampereen raitiotiet käyttäisivät samaa, 1435 mm raideleveyttä. Tällöin vaunukalusto voitaisiin ostaa tai vuokrata suuremmissa erissä, jolloin yksittäisen vaunun kappalehinta tulisi edullisemmaksi.

Toisaalta Tampereen raitiotien rataverkko poikkeaa jonkin verran Turkuun kaavaillusta. Etenkin Turun keskustan rataosuus Brahenkatu-Maariankatu-Kauppiaskatu-Eerikinkatu noudattaa pitkälti vanhaa, vuonna 1972 lakkautetun raitiotien linjausta. Osuudelle on ominaista jyrkät nousut ja kaarteet, joita Tampereen raitiotiellä ei vastaavassa määrin ole sen kulkiessa pääosin Hämeenkadun-Itsenäisyydenkadun suorahkoa ja tasaista linjausta pitkin. Siten Turkuun hankittava kalusto joudutaan joka tapauksessa suunnittelemaan Turun olosuhteita varten erikseen, vaikka erityisvaatimukset itsessään olisivat vähäiset. Tällöin olisi vaara, että Turussa päädyttäisiin hankkimaan Suomen ja Turun oloihin sopimatonta kalustoa, jonka käyttö- ja ylläpitokustannukset olisivat huomattavan korkeat.

Yleissuunnitelmassa Turun kaupunkiraitiotiellä käytettävien vaunujen leveydeksi esitetään 2650 mm ja pituudeksi n. 30-33 m. Tällöin vaunut olisivat hieman lyhyempiä kuin Tampereelle hankittavat vaunut (37 m). Taulukossa 10 esitetään muutamia keskeisiä tunnuslukuja käytössä olevalle kalustolle. Vertailtavana on kolme vaunutyyppiä: ET 2010 edustaa Karlsruhessa käytössä olevaa uusinta duoraitiotievaunua, NET 2012 Karlsruhen katuraitioteillä käytettyjä uusia vaunuja ja Tampereelle hankittava Artic X34. Taulukosta ilmenevät sekä duo- että kaupunkiraitioteillä käytettävän kaluston keskeiset erot. Huomattakoon vielä Turun raitiotien yleissuunnitelmassa esitettyjen teknisten tietojen olevan pitkälti yhteneväiset Artic X34:stä saatujen tietojen kanssa.

Taulukko 10. Karlsruhen ja Tampereen raitioteiden kaluston teknisiä tunnuslukuja sovellettavaksi Turun kaupunki- ja duoraitiotiejärjestelmän kehittämiseksi.

	Karlsruhe (ET 2010)	Karlsruhe (NET 2012)	Tampere (Artic X34)
Vaunun pituus	37 030 mm	37 200 mm	37 000 mm
Vaunun leveys	2650 mm	2650 mm	2650 mm
Nousukorkeus	580 mm	345 mm	350 mm
Pyörän halkaisija (uusi)	740 mm	680 mm	640 mm
Sähköistysjärjestelmä	750 V / 15 kV	750 V	750 V
Huippunopeus	100 km/h	80 km/h	80 km/h
Tyhjäpaino	63 t	57,5 t	56,8 t
Matkustajamäärä	93 istuma- ja 151 seisomapaikkaa	107 istuma- ja 137 seisomapaikkaa	104 istuma- ja 160 seisomapaikkaa

Taulukosta 10 voidaan havaita Karlsruhen ja Tampereen raitiotiekaluston olevan varsin vertailukelpoista keskenään. Mikäli Turkuun toteutetaan kaupunki- ja duoraitiotiejärjestelmä, kalustohankinnoissa voitaisiin noudattaa edellä esitettyjä arvoja. Karlsruhessa käytössä oleva uusin kaupunkivaunusarja NET 2012 on teknisiltä yksityiskohdiltaan pitkälti vertailukelpoinen Tampereelle hankittavan Artic X34-sarjan kanssa. Koska Suomessa ei toistaiseksi ole käytössä duoraitiovaunuja, otettiin vertailukohteeksi Karlsruheen hankittu ET 2010-sarjan vaunu. Taulukosta voidaan huomata, ettei kaupunki- ja duovaunujen painon erotus ole kovin suuri. Suomessa duoraitiovaunun painoa saattaa nostaa hieman sähköistysjärjestelmän ero: rautateillä käytettävä 25 kV sähköistysjärjestelmä vaatinee tehokkaammat muuntajat, mutta vaunun painoon tuleva lisä on silti vähäinen, eikä edellytä katuverkolle tultaessa ylimääräistä vahvistusta.

Kuten luvussa 3 esitettiin, käytettäisiin Turun raitioteillä samaa 60R2-urakiskoprofiilia kuin Tampereellakin. Tällöin duoraitiovaunun pyörän kulkukehä noudattaisi vähäisellä erolla Saksan standardissa DIN 25112-3 esitettyä ja laippaa. Pyörän kulkukehän nimellismitta olisi Turussa 135 mm, halkaisija 790 mm, laipan korkeus 29 mm ja paksuus 28 mm, jolloin se täyttäisi rautatiekalustolle asetetut standardit, mutta soveltuisi hieman kevyempänä kulkemaan katuverkolla. Tällöin urakiskosta ei myöskään koituisi muulle katuliikenteelle, kuten pyöräilijöille ja jalankulkijoille haittaa.

Rautateillä vaunut käyttäisivät 25 kV:n vaihtovirtaa. Tehtyjen selvitysten perusteella tämä ei lisää vaunun painoa oleellisesti tavallisiin katuraitiovaunuihin verrattuna, sillä tarvittavat sähkölaitteet muuntajineen voidaan sijoittaa laajalle alalle vaunun katolle, jolloin kuorma jakautuu vaunun painolle tasaisesti. Sähköistysjärjestelmästä toiseen vaihdetaan Turun rautatieasemalla. Eri järjestelmiä varten ei tarvita erillisiä virroittimia. Akkukäyttöisiä vaunuja ei toistaiseksi ole tarpeen hankkia, koska rataosuudet on sähköistetty ja kalustonvalmistajat kykenevät toimittamaan sekä vaihto- että tasavirtajärjestelmissä toimivaa kalustoa. Vaikka Saksassa rautateillä käytetään 15 kV:n vaihtovirtaa ja Suomessa 25 kV:n vaihtovirtaa, ei tällä ole tehdyn tutkimuksen perusteella olevan kokonaisuuden kannalta suurempaa merkitystä. Ajolangan korkeudeksi yleissuunnitelmassa esitetään 5,5 m, joka siis on yhteneväinen Tampereen raitioteiden suunnitteluperusteiden kanssa. Rautatiellä ajolangan korkeus on 5,6-6,0 m, joten ero ei ole merkittävä. Vaunuissa voidaan käyttää yhtä virroitinta, joka kuitenkin olisi mitoitettava rautateillä määriteltyjen standardien mukaisesti siten, että sama virroitin soveltuisi sekä rataverkolle että kaupunkiosuuksille.

Kaupunkialueella raitiotiepysäkin laiturin korkeus on yleissuunnitelman mukaan 280-300 mm. Rautatiealueella käytössä on kahdenlaista laiturikorkeutta: vanhempaa 265 mm ja Väyläviraston nykyisten ohjeiden edellyttämää 550 mm laiturikorkeutta. Turun seudun duoraitioliikenteessä esitetään käytettävän näistä kahdesta poikkeavaa 380 mm laiturikorkeutta. Tämä laiturikorkeus on valittu Tampereen raitiotielle ja se olisi toteutettavissa Turun seudullakin. Rautatiealueella laiturit sijoitettaisiin 1800 mm etäisyydelle kiskojen keskilinjasta lukien, jolloin ne täyttäisivät myös tavalliselle rautatiekalustolle asetetut ohjeet. Vaunujen ollessa 2,65 m leveitä, ne täyttävät sekä aukean tilan että liikkuvan kaluston ulottuvuuksista annetut määreet. Rautatiekaluston leveyden ollessa Suomessa yleisesti 3200 mm ja duoraitiotien kapeampaa (2650 mm), duoraitiovaunujen kaluston käyttämät laiturit eivät häiritse muuta rautatieliikennettä. Duoraitiovaunut varustetaan lipalla, joka vaunun pysähtyessä rautatiealueen seisakkeelle kattaa vaunun ja laiturin reunan välisen 275 mm raon.

Turun seudun duoraitiotie käyttää kaupunkialueella samoja pysäkkejä kuin kaupunkilinjojen vaunut, ja rautatiealueella uudet laiturit joudutaan joka tapauksessa rakentamaan useimmille liikennepaikoille. Uudenkaupunginradalta henkilöliikenteen laiturit puuttuvat kokonaan. Muualla olemassa olevalle rataverkolle ne on rakennettu Turun päärautatieaseman lisäksi Kupittaalle, Saloon ja Loimaalle. Tällöin muualla rakennetaan 380 mm laiturit siten, että ne täyttävät ATU:n vaatimukset. Turun päärautatieasemalla, Salossa ja Loimaalla duoraitiovaunut joudutaan ottaman joka tapauksessa huomioon, jotta vaunut pystyvät kääntymään, joten tällöin niille joudutaan järjestämään omat seisontapaikat sivuraiteineen. Kupittaalla nykyistä matkustajalaituria voidaan joko jatkaa kahden duoraitiovaunun mitan (74 m) verran matalalla osuudella tai sitten tingitään esteettömyysvaatimuksista vaunun lattian jäädessä 200 mm laiturin reunan alapuolelle.

Kulunvalvonnan osalta Turun duoraitiovaunut noudattavat kaupunkialueella ajettaessa näkemää, ellei prosessin edetessä muuta päätetä. Sen sijaan rautatiealueella ajamista varten vaunut varustetaan kulunvalvonnan edellyttämin laittein. Tältä osin voidaan toimia seuraavasti:

1. Liikenne- ja viestintävirastosta Traficomista haetaan poikkeuslupa nykyisen JKV-järjestelmän käytölle Turun ja Varsinais-Suomen duoraitiovaunuissa. Tämä tarkoittaa lähinnä Turku-Uusikaupunki-rataosuutta.
2. ETCS+STM-laitteen käyttöönotto on teknisesti mahdollista, mutta kallista. Lisäksi teknisessä toimivuudessa on ollut haasteita.
3. ETCS-järjestelmä otetaan Turun ja Uudenkaupungin välisellä rataosalla käyttöön aiemmin kuin muualla Varsinais-Suomessa. Tällöin rataosuudella käytetään vain ETCS-laittein varustettua kalustoa, myös tavaraliikenteessä. Käytännössä tällä tarkoitetaan Sr3-vetureita.

Suositeltavinta olisi käyttää alkuvaiheessa vaihtoehtoa 1, koska ETCS:n toteutuminen Varsinais-Suomeen tulee sijoittumaan 2030-luvun puoliväliin. ETCS-järjestelmän edellyttämillä laitteilla. Varsinais-Suomessa ETCS-järjestelmän on tarkoitus olla käytössä vuoteen 2035 mennessä (Härkönen 2017).

4.2 Varsinais-Suomen duoraitiotien ja Turun kaupunkiraitiotien verkostohahmotelma

Varsinais-Suomen duoraitiotieverkosto voisi siis koostua Turun kaupunkiraitiotiestä sekä sitä täydentävästä maakunnallisesta verkostosta samaan tapaan kuin Saksan Karlsruhessa, Chemnitzissä ja Kasselissa on tehty. Lopullisessa laajuudessaan verkosto kattaisi kaupunkilinjat Varissuo-Kupittaa-Kauppatori-Runosmäki ja Kaarina-Skanssi-Kauppatori-Länsikeskus-Raisio. Näillä linjoilla pyrittäisiin hyödyntämään mahdollisimman pitkälle katuraitiotieverkostoa. Tässä esitetyt kaupunkiraitiotien linjaukset pohjautuvat sellaisenaan Turun yleiskaavaan sekä raitiotien linjausvaihtoehtoihin. Viimeisimmässä, alkuvuodesta 2018 esitetyssä vaihtoehdossa kaupunkiraitiotien linja koostuisi yhdestä luoteispäässään haarautuvasta heilurilinjasta. Linja kulkisi Runosmäestä Nättinummen, Impivaaran ja Hepokullan kautta Ruohonpäähän, jossa siihen yhtyisi Raisiosta Satakunnantietä seuraava raitiolinja. Ruohonpäästä linja jatkuisi Satakunnantietä Aninkaistensillalle, ja edelleen Puutorin, Kauppatorin, Tuomiokirkkotorin, Yliopiston, Kupittaan ja Pääskyvuoren kautta Varissuolle (Turun raitiotien yleis-

suunnitelman tarkennus, Liite 1, 2018). Vuonna 2015 valmistuneessa yleissuunnitelmassa esitettiin lisäksi raitiotien toisessa vaiheessa rakennettaviksi ratoja matkakeskukselta Satamaan, Kauppatorilta Majakkarannan kautta Hirvensalon Moikoisiin ja Koivulan sekä Katariinan kautta Kaarinaan. Yleissuunnitelman toisessa vaiheessa ei esitetä raitiotien jatkamista Raisiosta Naantaliin, vaikka se on joissakin aiemmissa vaihtoehdoissa ollut esillä (Turun raitiotie, yleissuunnitelma 2015). Naantali-Raisio-Turku-osuudella liikennöidään tällä hetkellä tihein vuorovälein kulkevia bussilinjoja 6 ja 7. Runko-osuudella vuoroväli vaihtelee ruuhka-aikoina 5-10 minuutin välillä.

Duoraitioliikenteen aloittaminen ei edellytä Turun seudulla mittavia investointeja. Liikkeelle voidaan päästä vaivattomasti rakentamalla seisakkeita nykyisen Uudenkaupunginradan varteen – toki huomioiden radalla kulkeva tavaraliikenne. Siten Turun kaupunkiseudun ja Varsinais-Suomen duoraitioliikenteen toteutusjärjestelmä voisi näyttää esimerkiksi seuraavalta:

Vaihe 0+ tai 1: Duoraitiovaunujen käyttöönotto rataosalla Turku-Uusikaupunki.
Vaihe 2: Duoraitiovaunujen käyttöönotto rataosalla Turku-Loimaa, Raisio-Naantali ja myöhemmin Turku-Salo.
Vaihe 3 (edellyttää Turun kaupunkiraitiotien toteuttamista joko samana tai erillisenä hankkeena):
Turun kaupunkiraitiotie ja duoraitiotieverkosto yhdistetään toimivaksi kokonaisuudeksi.

Uudenkaupunginrata on profiililtaan hyvässä kunnossa ja sillä olisi teknisesti mahdollista ajaa jopa 100 km/h nopeutta, mutta lukuisat peltoteiden vartioimattomat tasoristeykset pakottavat alentamaan nopeutta tuntuvasti. Radalla tällä hetkellä olevan tavaraliikenteen enimmäisnopeus on noin 50 km/h. Jos radalla halutaan ajaa kovempaa, tulee varoituslaitoksia lisätä tärkeimmpiin tasoristeyksiin ja poistaa yksittäisten, maanviljelyskoneiden käyttämiä vartioimattomien peltoteiden risteyspaikkoja. Uudenkaupunginradan sähköistys valmistuu vuonna 2021, jolloin se soveltuu hyvin myös kevyelle kalustolle. Kuvassa 23 havainnollistetaan ensimmäisen vaiheen duoraitiotietä Turusta Uuteenkaupunkiin.

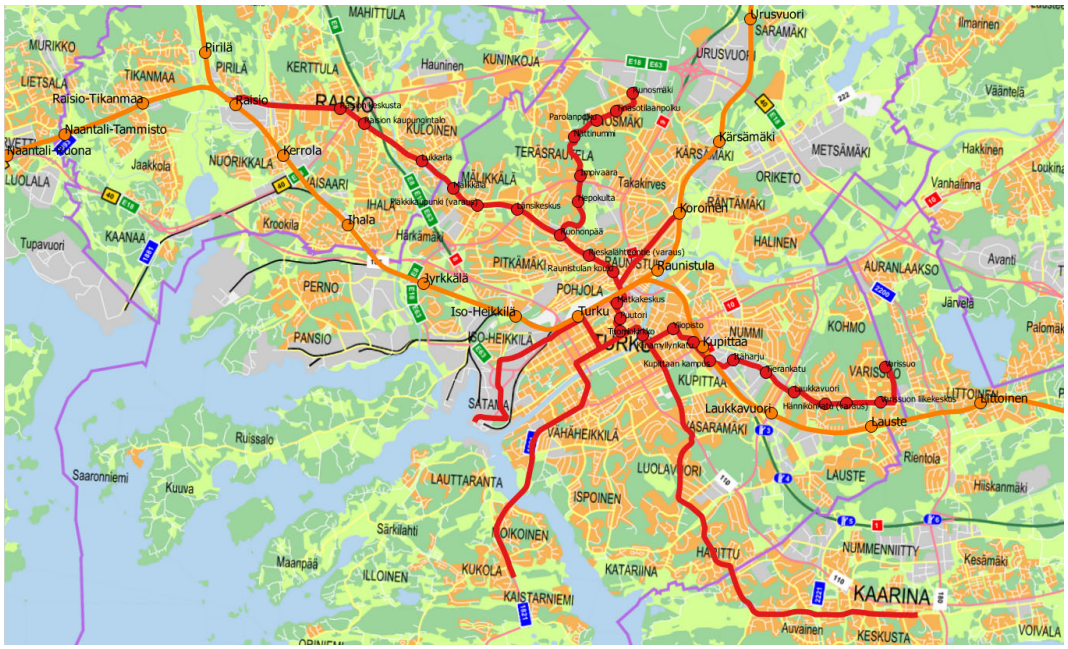
Kuva 23. Tältä näyttäisi Turku-Uusikaupunki-duoraitiolinja. Karttaan on merkitty lukuisa joukko seisakkeita, jotka voidaan toteuttaa joko liikenteen alkaessa tai vasta myöhemmin alueen maankäytön edistyessä. Pääteasemien lisäksi seisakkeita voisi perustaa alkuvaiheessa esimerkiksi Raisioon, Maskuun, Mynämäelle ja Vinkkilään. Pohjakartta: Maanmittauslaitos.

Vaiheessa 2 duoraitiolinjat kulkisivat Turusta Uuteenkaupunkiin, Loimaalle ja Rantaradan ratakapasiteetin salliessa Saloon. Koska rataosat kaikki rataosat on sähköistetty, ei akku- tai hybridivaunuja ole tarkoituksenmukaista hankkia. Tällöin Uuteenkaupunkiin päättyvää rataa voisi jatkaa katuverkkoa pitkin autotehtaalle. Vaiheen 2 voi jakaa vielä pienempiin osavaiheisiin: jos esimerkiksi Uudenkaupungin suunnan duoraitioliikenne osoittautuu hyväksi vaihtoehdoksi, voidaan liikennettä laajentaa seuraavaksi Loimaan ja vasta lopuksi Salon suuntaan. Myös Raisio-Naantali-osuus voidaan varhaisessa vaiheessa palauttaa jälleen henkilöliikenteen käyttöön.

Turusta itään johtava Rantarata liene tarkastelusta eräs mielenkiintoisimmista. Sen tavaraliikenne on vähäistä käsittäen joitakin yksittäisiä Turun ja Piikkiön välisiä kuljetuksia. Sen sijaan henkilöjunaliikenne on vilkasta: aikataulukaudesta riippuen Turun ja Helsingin välillä on vähintään kaksitoista henkilöjunaparia. Vastaavasti asutuskin on tällä suunnalla tihein: Turun ja Salon välillä on kysyntää. Rata on yksiraiteinen ja sähköistetty. Kohtauspaikat sijoittuvat Piikkiöön ja Paimioon. Seisakkeita duoraitioliikenteen tarpeisiin voitaisiin avata Kupittaalle, Laukkavuoreen, Vaalaan, Littoisiin, Nunnaan, Piikkiöön, Paimioon, Hajalaan, Halikkoon ja Saloon. Rantaradan yksiraiteisuus sekä tiheä, Helsinkiin suuntautuva kaukoliikenne asettaa nykyisen radan kapasiteetille rajoituksia. Siten kohtauspaikkoja jouduttaisiin rakentamaan useita.

Vaiheessa 3 voidaan siirtyä laajaan koko Turun kaupunkiseudun ja soveltuvin osin Varsinais-Suomen kattavaan raideliikennejärjestelmään, jossa samoilla vaunuilla ajetaan Turun kaupunkialueella sekä lähiseudulle johtavia linjoja. Tämä luonnollisesti edellyttää Turun kaupunkiraitiotien toteuttamista joko edellä kuvatun yleissuunnitelman kaltaisesti tai sitä suppeammin. Tässä tarkastelussa oletetaan kaupunkiraitiotien toteutuneen.

Tällöin Turun kaupunkialueella vaunut käyttävät 600-750 V tasavirtaa. Duoraitiolinjojen päätepysäkki voi sijoittua Turussa joko Kauppatorille tai yksittäisiä vuoroja voidaan jatkaa Kupittaan työpaikka-alueelle tai Varissuolle. Näin suurilta asuin- ja työpaikka-alueilta saadaan suora yhteys esimerkiksi Maskuun tai Uuteenkaupunkiin saakka. Uuteenkaupunkiin ajettaessa duoraitiovaunu siirtyy Turun katuverkolta rautatielle rautatieaseman kupeessa. Kuvassa 24 esitettävä Turun kaupunkiraitiotieverkosto voisi näyttää esimerkiksi seuraavalta.



Kuva 24. Hahmotelma Turun raitiotieverkoksi. Punaisella on merkitty raitio- ja oranssilla duoraitiolinjat. Varissuo-Kauppatori-Runosmäki/Raisio-linja pohjautuu Turun raitioteiden yleissuunnitelmaan, Hirvensalon, Kaarinan ja Sataman linjan varhaisempiin konsulttiselvityksiin. Raunistulan linja sekä Raision linjan jatke keskustasta Raision asemalle ovat tämän työn puitteissa tehtyjä hahmotelmia siitä, millaisella tavalla duoraitiotieverkosto voitaisiin Turun kaupunkiseudulla toteuttaa. Kaupunkiraitiotien pysäkit perustuvat Varissuo-Kauppatori-Runosmäki/Raisio-linjan osalta Turun raitioteiden yleissuunnitelmaan. Muille osuuksille pysäkkejä ei ole merkitty. Pohjakartta: Turun kaupungin karttapalvelu, päivitetty 9.1.2019.

Liikennöintimalli toimisi siten, että liikennöintiaika olisi kaikkina viikonpäivinä kello 6-24 ja vuoroväli vähintään 60 minuuttia. Ruuhka-aikoina olisi mahdollista ajaa kaksi vuoroa tunnissa esimerkiksi osuuksilla Turku-Masku, Turku-Aura, ja Turku-Salo, joilla olisi eniten kysyntää. Lisäksi Uudenkaupungin autotehtaalle voisi ajaa erityisiä "työläisvuoroja", jotka eivät pysähtyisi muualla kuin keskeisimmillä seisakkeilla.

4.3 Varsinais-Suomen duoraitiotieliikenteen järjestämismalli

Järjestelmän toimivuuden kannalta on yksinkertaisinta, että liikenteestä vastaa yksi organisaatio. Tällä hetkellä Turun seudun joukkoliikenneviranomainen, Föli järjestää paikallisliikennettä toimivalta-alueellaan Turun, Kaarinan, Naantalin ja Raision kaupungeissa sekä Ruskon ja Liedon kunnissa. Muiden Varsinais-Suomen kuntien joukkoliikenteestä vastaa Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Sekä Föli että ELY-keskus hankkivat tällä hetkellä lähes pelkästään linja-autoliikennettä; poikkeuksen kaavaan tekee Fölin kesäaikaan ostama vesibussilinja Aurajoen suiston ja Turun Ruissalon välillä. Rautatieliikenne on kokonaisuudessaan VR-Yhtymän järjestämää kaukoliikennettä.

Mikäli Suomen hallintojärjestelmä muuttuu nykyisestä kaksiportaisesta mallista kolmiportaiseksi ja maakuntahallinto tulee suunnitelmien mukaan käyttöön, voitaisiin liikenne järjestää koko maakunnan alueella. Tältä osin noudatettaisiin Ruotsissa käytössä olevaa mallia, jossa läänin maakäräjät järjestää liikenteen. Ruotsissa maakäräjillä (landsting) on Suomeen kaavaillusta mallista poiketen kuitenkin verotusoikeus, ja julkisen liikenteen rahoitus on siten turvattu. Suomessa kunnat joutuisivat ainakin alkuvaiheessa rahoittamaan liikenteen. Liikenteen järjestämiseksi esitetään tässä mallia, jossa maakunta ottaa liikenteen kokonaan hoitaakseen. Se tarkoittaa Fölin lakkauttamista. Mikäli maakunnalle ei tule verotusoikeutta, kunnat päättävät maakunnan sisäisessä elimessä paljonko rahaa liikenteen järjestämiseen sijoittavat. Siten Turun seudun kuntien rooli korostuu tässä, mutta radanvarsien kunnat ovat luultavasti kiinnostuneita järjestämään rautatieliikennettä siten, että keskeiset työmatkayhteydet saadaan siedettävästi turvatuiksi. Maakunta vastaa liikenteen suunnittelusta, tilaamisesta ja ostamisesta sekä yhteiskäyttöisen lippujärjestelmän luomisesta koko toimivalta-alueelleen. Siten sama lipputuote kävisi kaikissa kulkuvälineissä yhtä lailla. Maakunta hankkii myös tarvittavan kaluston joko ostamalla sen tai vuokraamalla valtiollisesta kalustopankista, mikäli sellainen Suomeen päätetään perustaa rautatieliikenteen avautuessa kilpailulle. Kalusto voidaan hankkia myös vuokraamalla siten, että omistaja on Ruotsin esimerkin mukaisesti pankit tai vakuutusyhtiöt.

Liikennettä voi hoitaa joko maakunta itse tai kilpailutuksen perusteella tehtävään valittu operaattori. Jälkimmäinen käytäntö toimii nykyään linja-autoliikenteessä. Maakunta kilpailuttaa joko duo- ja Turun kaupunkiraitiotien operoinnin erikseen tai yhdessä. Operaattorin tehtävänä on tässä mallissa pelkästään päivittäisestä liikennöinnistä huolehtiminen sekä varikoilla tapahtuvat päivittäiset huoltotoiminnot. Varikkorakennukset toimitiloineen ovat maakunnan omistuksessa. Sen sijaan huoltohenkilökunta voi olla operaattorin omaa tai kilpailutuksen jälkeen muualta ostettua. Operaattori voi olla suomalainen tai ulkomaalainen rautatiealan yritys: esimerkiksi Tukholmassa maanalaisen liikennöinnistä vastaa hongkongilainen MTR (MTR 2018) ja Roslagsbananin liikennöinnistä Saksan rautatieyhtiön Deutsche Bahnin tytäryhtiö Arriva. Molempien operaattorien palvelut Tukholman läänin maakäräjät ostaa erikseen ja liikenteen suunnittelusta ja aikatauluista vastaa SL. Sen sijaan Saksassa paikallisliikenteen toimijoita ei ole yhtä vahvasti kilpailutettu kuin Ruotsissa: Karlsruhessa kaupunkiraitiotiestä vastaa osakeyhtiömuotoinen liikennelaitos VBK ja duoraitioliikenteestä AVG. Molemmat ovat Karlsruhen kaupunginhallinnon alaisia organisaatioita,

joskin AVG:n neuvostossa istuu myös useiden lähikuntien ja kaupunkien edustajia (AVG 2018).

Tarkastelussa oletetaan lisäksi, että duoraitioliikenteen käynnistämisen esteenä ei ole eturistiriitoja vaan ratakapasiteetista vastaava viranomainen, käytännössä siis Väylävirasto suhtautuu myönteisesti duoraitioliikenteen harjoittamiseen ja myöntää ratakapasiteettia tarvittavaa liikennöintiä varten. Tarvittavat turvallisuustodistukset ja -luvat operaattori hankkii itse Liikenne- ja turvallisuusvirastolta niistä annettujen EU-direktiivien sekä kansallisen lainsäädännön turvin.

5 Johtopäätökset

Edellisissä luvuissa on tarkasteltu duoraitiotietä ja sen soveltuvuutta suomalaiseen yhdyskuntarakenteeseen sekä liikennejärjestelmään. Tämän tutkimuksen laajuuden puitteissa ei ole mahdollista analysoida syvällisemmin duoraitiovaunujen soveltuvuutta jollekin tietylle kaupunkiseudulle tai rataosalle. Esimerkkitarkastelussa luotiin yleisluonteinen katsaus sille, miltä duoraitiotie voisi Varsinais-Suomessa ja Turun seudulla mahdollisesti näyttää. Mikään voimassa oleva EU:n direktiivi, Euroopan komission antama asetus tai Suomen kansallisen lainsäädännön pykälä ei kiellä duoraitioliikenteen harjoittamista Suomessa, tai sellaisen käyttöönottoa, mikäli teknisistä yksityiskohdista annetut määräykset täyttyvät. Lainsäädännön määräykset ovat tiukemmat rautatie- kuin kaupunkiverkolla. On kuitenkin huomattava, että vaikka mikään laki ei duoraitiovaunuja kielläkään, ei lainsäädäntö niitä yksinkertaisesti tunne. Mikäli duoraitiovaunuja haluttaisiin Suomessa ottaa käyttöön, voitaisiin Suomessa liikenne- ja viestintäministeriössä pohtia, olisiko uudessa raideliikennelaissa tarpeellista mainita duoraitiovaunukalustosta. Tällöin maininta tulisi omaksi luvukseen. Maininta raideliikennelain yhteydessä tarkoittaisi lähinnä duoraitioliikenteen olemassaolon tunnistamista. Rautatiealueella duoraitiotievaunuilta edellytettäisiin samoja vaatimuksia kuin muultakin rautatiekalustolta.

Olisi aiheellista pohtia, olisiko Suomeen tarpeellista luoda saksalaisen BOStrabin kaltainen rakennus- ja liikennöintisääntö, joka lainsäädännön hierarkiassa vertautuisi asetukseen tai sen alapuolelle. Mikäli valittaisiin jälkimmäinen ratkaisu, laatijana toimisi Väylävirasto sekä raitiotieliikennettä harjoittavat kaupungit. Ohjesäännössä huomioitaisiin Saksan BOStrabin tavoin oleelliset kaupunkiraideliikenteen harjoittamisessa tarvittavat normit ja ohjesääntö toimisi myös apuna uusien raitiotieosuuksien suunnittelussa. Ohjesääntö menisi teknisesti lakia syvemmälle helpottaen siten yhtenäisen normiston syntymistä. Tosin Helsingin kantakaupungin raitiotieverkko jouduttaisiin jättämään ulkopuolelle tai sopeuttamaan siihen vähitellen olemassa olevien rataosuuksien korjaamisen yhteydessä. Mikäli raitioliikennettä harjoittavien paikkakuntien määrä lisääntyy Suomessa lähitulevaisuudessa, olisi tällaisen ohjesäännöstön luominen suotavaa.

Tutkimuksessa on valittu lähempään tarkasteluun joukko teknisiä yksityiskohtia. Valinta tehtiin sillä perusteella, jotta saataisiin määritellyksi duoraitiovaunun sekä infrastruktuurin yhteensovittamisen kannalta keskeiset kohdat. Näitä ovat mm. pyörän soveltuvuus sekä kaupunkiraitiotiellä että rautatiellä käytettävillä kiskoilla, sähköistysjärjestelmät, laiturikorkeudet sekä kaluston turvallisuuteen liittyvät kysymykset. Teknisessä osiossa käsitellyt osa-alueet ovat keskeisiä rautatie- ja raitiotieverkoston väliin syntyvän rajapinnan määrittelemiseksi ja syntyvien haasteiden ratkaisemiseksi.

Teknisesti duoraitioliikennettä on mahdollista Suomessa harjoittaa tietyin edellytyksin. Rautatiealueella suurin haaste liikennöinnille on laiturikorkeudet. Laiturit tulee rakentaa siten, että ne täyttävät ATU:n määreet, eikä niistä aiheudu haittaa muulle junaliikenteelle. Duoraitiovaunun käyttämä laiturikorkeus olisi 380 mm, jolloin se ei olisi kaupunkikuvallinen haitta. Rautatiealueella 380 mm laituri on matalampi kuin Väyläviraston edellyttämien uudet laiturit (550 mm), ja joillakin sellaisilla asemilla, joilla pysähtyy sekä henkilöliikenteen junia että

duoraitiovaunuja, joudutaan molemmille järjestelmille rakentamaan oma laituriosuutensa. Tällaisia ratkaisuja on toteutettu useilla ulkomaisilla paikkakunnilla. Erillisen laiturin tarve ilmenee, mikäli nykyisistä esteettömyysvaatimuksista halutaan pitää kiinni: duoraitiovaunun laituri sijoittuu 170 mm matalammalle kuin rautatiekaluston käyttämä laituri. Koska duoraitiovaunut ovat myös rautatiekalustoa kapeampia (2650 mm), joudutaan syntyvä rako kattamaan erillisellä, oven alapuolelta työntyvällä lipalla.

Duoraitiovaunujen tulisi täyttää rautatiellä kulkiessaan rautatiekalustolle asetetut törmäysvaatimukset sekä niissä pitäisi olla kulunvalvontalaitteet. Nämä vaatimukset ovat kohtalaisen helposti toteutettavissa: törmäyskestävyyksistä on säädetty standardeissa ja kulunvalvontalaitteistoja edellytetään kaikissa yleisellä rataverkolla kulkevissa kiskokulkuvälineissä. Rautatiealueella ajettaessa duoraitiovaunujen on kestettävä tietty törmäyslujuusvaatimukset: nopeudella 100 km/h vaunun tulee kestää 100 kN ja 120 kN voimalla tapahtuva törmäys. Jarrutuskyky tulee rautatiealueella liikennöitäessä mitata jarrupainoprosentin avulla, jotta tiedot voidaan lisätä vaunun kulunvalvontalaitteisiin. Uusiin vaunuihin on asennettava ETCS-järjestelmä, ainakin siinä tapauksessa, että se tulee kulkemaan rataosalla, jolla joko on ETCS-järjestelmä tai sellainen on aikomus rakentaa lähiaikoina. Kuitenkin ETCS-järjestelmän asentaminen voidaan asettaa harkittavaksi siinä tapauksessa, että järjestelmä on tulossa alueelle myöhäisessä vaiheessa. Tällöin voitaisiin käyttää nykyistä JKV-järjestelmää. Koska JKV-järjestelmä on kuitenkin poistumassa lähivuosikymmeninä ja duoraitiovaunun keskimääräinen käyttöikä 40 vuotta, vaunut varustettaisiin STM-moduulilla, jolloin se pystyisi lukemaan sekä JKV-koodia että täyttäisi ETCS:lle asetetut vaatimukset. Tämä korostuu siinäkin tapauksessa, että samaa, kalustoyhtiön omistamaa duoraitiovaunutyyppiä käytettäisiin useammassa eri kaupungissa, jolloin kalustoa voitaisiin kierrättää tarvittaessa.

Suomalaisen kaupungin katuverkkoon tuotu duoraitiovanu poikkeaa saksalaisista siinä, että sen pyörän halkaisija on suurempi kuin saksalaisissa järjestelmissä käytettyjen vaunujen: 790 mm, kun taas saksalaisvaunuissa se on yleisesti 550 mm tai jopa pienempi. Myös laipan halkaisija ja korkeus on mitoitettava rautatievaatimusten mukaisesti, jotta vaunut voisivat kulkea 2-kärkisistä risteysvaihteista ilman suistumisriskin aiheuttamaa ohjauksetonta osuutta. Vaunun pyörän kulkukehän ollessa 135 mm, laipan paksuuden 28 mm ja korkeuden 29 mm se kykenee kulkemaan Tampereen raitiotielle valitulla 60R2-urakiskoprofiililla. Uraprofiili ei kuitenkaan ole liian leveä, jotta kiskonura aiheuttaisi kaduilla kulkijoille, erityisesti pyöräilijöille haittaa.

Duoraitiovaunujen sähköistysjärjestelmän on sovelluttava kaupunkioloihin: rautatiealueella käytettävä 25 kV:n jännite on kaupunkioloissa liian suuri. Rautateiden sähköistysjärjestelmä sen vaativine muuntajineen ja muine sähköteknisine laitteineen eivät merkittävästi lisää vaunujen painoa, eivätkä eroa tavallisen kaupunkiraitiovaunun painosta: suurimmillaan erot ovat 4-6 tonnin luokkaa. Tämäkin ero on selitettävissä sillä, että duoraitiovaunut ovat hieman moderneja kaupunkivaunuja raskaampia täyttääkseen rautateiden turvallisuusvaatimukset. Suomen olosuhteisiin olisi sopivin valita perinteinen kaksivirtajärjestelmävaunu, joka kykenee liikkumaan sekä rautateiden 25 kV:n ja kaupunkiraitiotien 750 V verkolla, ja akkukäyttöinen vaunu, jossa akuilla ajettaisiin sähköistetyillä rataosuuksilla. Akkukäyttöisten vaunujen käyttö tullee lisääntymään lähivuosina tekniikan kehittyessä. Sen sijaan nykyään joillakin paikkakunnilla käytössä olevia dieselkäyttöisiä hybridivaunuja ei pidetä tarkoituksenmukaisina. Raskaammat vaunut täyttävät samalla rautateille annetusta minimiakselipainosta

asetetut vaatimukset. Kuitenkin vaunut ovat sen verran keveitä, ettei kaupunkialueella ajettaessa kadun rakenteita tarvitse erikseen vahvistaa.

Tehdyn tutkimuksen valossa kevytkaluston käyttöönotolle on nähtävissä Suomessa ehkä jopa paremmat edellytykset kuin Keski-Euroopassa. Monilla kaupunkiseuduillamme rautatie halkoo jo nyt olemassa olevaa asutusta, ja radoilla on ollut aikoinaan työ- ja asiointimatkoja palvelevaa kiskobussiliikennettä. Nykyisin HSL-alueella käytössä oleva raskas kaupunkijunaliikenne ei kuitenkaan ole ehkä paras tapa ratkaista suomalaisten kaupunkiseutujen raideliikennekysymystä. Helsingin seudulla paikallisjunaliikenne on eriytynyt viimeisen kahden vuosikymmenen aikana voimakkaammin perinteisestä, aiemmin maassamme tyypillisestä paikallisliikenteestä suurkaupungeille ominaisen raskaan raideliikennejärjestelmän suuntaan. Tiheät, 5-10 minuutin vuorovälit ovat edellyttäneet Helsingin seudulla maankäyttöön mittavia muutoksia ja ratojen varsille on noussut useiden kymmenientuhansien asukkaiden kaupunkikeskuksia. Tampereella ja Turussa – väkiluvultaan pienemmistä paikkakunnista puhumattakaan – tällaista kehitystä ei ole nähty. Tampereella moderni kaupunkiraitiotietä on kaavailtu kehitettävän seudulliseen suuntaan, joten joillakin rataosuuksilla nopeille paikallisjunille saattaisi olla Pirkanmaalla tarvetta. Sen sijaan pienemmille kaupunkiseuduille duoraitiotie soveltuisi kahdesta syystä erittäin hyvin:

1. Sen yksikkökoko olisi modernia kaupunkijunaa merkittävästi pienempi, jolloin vältyttäisiin mittavilta yleiskaavoituksen muutoksilta.

2. Duoraitiovaunut voitaisiin viedä raitioteinä helposti jo olemassa olevaan katuverkostoon luoden siten sekä seudullisia, että paikallisia yhteyksiä.

Esimerkkitapauksena käytetyssä Turussa samalla tai samankaltaisella vaunutyypillä voitaisiin hoitaa sekä Turun sisäinen että hyvinkin laajalla alueella Varsinais-Suomen seudullinen liikenne. Siten liikenne hoituisi yhdellä vaunutyypillä ilman laajoja investointeja sekä raitiotie- että paikallisjunakalustoon.

Raideliikenteen kehittämisen on lukuisissa tutkimuksissa todettu siirtävän etenkin työmatkalaisia henkilöautoista joukkoliikenteen käyttäjiksi. Koska ympäristökysymykset nousevat julkisessa keskustelussa entistä enemmän esiin, on siten tarvetta pohtia, olisiko kevytkalustosta ratkaisu tähän. Raitiotien rakentaminen – siitä huolimatta, että uusia järjestelmiä on syntynyt tasaisesti ympäri maailman 1980-luvun lopulta saakka – näyttää periaatteen tasolla saavuttaneen viimein Suomen. Tampereen raitiotie sekä HSL-alueen Raide-Jokeri kertovat omaa kieltään siitä, että uusille raitiotiehankkeille myönteinen ilmapiiri on meilläkin vallitseva – ensimmäistä kertaa yli vuosisataan, ehtiihän Viipurin ja Tampereen raitioteiden avaamisen välillä vierähtää noin 110 vuotta.

Diesel- ja sähkökäyttöisten hybridivaunujen käyttöä ei pidetä tarkoituksenmukaisena. Myös junaliikenteen automatisointi tuo raiteille mielenkiintoisia teknisiä sovelluksia: on täysin mahdollista, että muutaman vuoden kuluttua Suomessakin voidaan koeajaa automaattisesti kulkevaa rautatiekalustoa. Kaluston vuokraamisesta erillisestä kalustoyhtiöstä voisi olla mittava apu liikenteen käynnistämiseksi paikallisliikenteen käynnistämiseksi muualla maassa. Näin vältyttäisiin mittavilta kalustoinvestoinneilta. Periaatteessa liikenne voitaisiin Suomessa käynnistää nopeallakin aikataululla muutamassa vuodessa.

Koska tutkimus on luonteeltaan opinnäytetyö, ei kaikkia yksityiskohtia ole ollut mahdollista tarkastella niiden vaatimalla tarkkuudella. Siten lainsäädäntöä sekä useita teknisiä kysymyksiä olisi syytä tarkastella vielä tarkemmin. Lisäksi kevytkaluston soveltumista Suomen kaupunkiseuduille maankäytön näkökulmasta voisi olla syytä tarkastella kaupunkiseutukohtaisesti. Tässä yhteydessä on eurooppalaisten ja pohjoismaisten esimerkkien valossa todettu kevytkaluston hyödyntämisen olevan mahdollista, mutta tarkemmalle tutkimukselle olisi silti käyttöä. Myös infrastruktuuriin väistämättä kohdistuvia muutostöitä niistä aiheutuvine kustannuksineen olisi syytä tarkastella tarkemmin. Eräs jatkotutkimuksen aihe voisi hyvinkin olla kevytkaluston soveltaminen Turun ja Uudenkaupungin välisessä liikenteessä: millaisia muutoksia tarvittaisiin esimerkiksi turvalaitteisiin ja millä tavalla kulkumuoto-osuus muuttuisi nykytilaan nähden. Nämä kaikki ovat vain eräitä mielenkiintoisa ajatuksia, jotka nousivat tutkimusta tehdessä esiin, mutta joihin ei ollut mahdollisuutta sen puitteissa vastata.

Muita esiin nousseita mielenkiintoisia jatkotutkimuskysymyksiä ovat esimerkiksi seuraavat:

- Onko tasoristeysturvallisuutta mahdollista parantaa esimerkiksi Turun-Uudenkaupungin välisellä rataosalla kustannustehokkain ratkaisuin ja nostaa siten kevytkaluston sallittua nopeutta em. rataosalla?
- Nopeustason nosto: voisiko duoraitiotievaunulla ajaa kovempaa kuin radan suurimmalla sallitulla nopeudella: esimerkiksi radan nopeusrajoitus on 60 km/h ja suunnattu raskaille tavarajunille, mutta rataprofiili ja turvallisuusolosuhteet mahdollistaisivat kevytkalustolle 100 km/h nopeuden?
- Tapauskohtaiset tarkastelut: miten ratakapasiteetti mahdollistaa kevytkalustolla tapahtuvan liikenteen esimerkiksi Turun ja Salon välisellä Rantaradan osuudella ilman mittavia lisäinvestointeja?
- Miten liikenteenohjaus kaupunkiradoilla järjestetään? Entä valtion ja kaupungin verkon rajapinnassa? Voisiko molemmilla järjestelmillä olla yhteinen liikenteenohjaus?
- Selvitys kevytkalustolla harjoitettavasta liikenteestä jollakin suomalaisella kaupunkiseudulla, esimerkiksi Jyväskylässä, Kuopiossa tai Oulussa.
- Tulevaisuuden voimanlähteet: vety- ja akkutekniikan hyödyntäminen sekä kiskoliikennekaluston automatisointi.
- Työssä esitetyn, pyörän ohjaukseen vaikuttavan tehollisen kartiokkuuden tarkka laskeminen.

Tällaiset selvityksen soveltuisivat suppeina niin teknisen korkeakoulun tai ammattikorkeakoulun lopputöiden aiheiksi, mutta myös laajemmaksi selvitykseksi.

Lopuksi voidaan kysyä alkuperäiseen tutkimuskysymykseen viitaten, onko siis duoraitioliikenne mahdollista Suomessa? Lukuisten haastattelujen, lähdeaineiston sekä muun selvitystyön perusteella kysymykseen voi vastata siten, että se on mahdollista, jopa kannatettavaa ja työssä käsitellyt lainsäädännölliset sekä tekniset yksityiskohdat huomioiden jopa helposti toteutettavissa. Duoraitiotieliikenne mahdollistaisi suomalaisilla kaupunkiseuduilla joukkoliikenteen kulkumuoto-osuuden merkittävän kasvun nykyisestä ja siksi tutkimuksen tekijä toivoo, että tästä tutkimuksesta olisi hyötyä virkamiehille ja päättäjille ja se johdattelisi tutkimaan asiaa enemmän.

6 Yhteenveto

Monilla Keski-Euroopan kaupunkiseuduilla on otettu 1990-luvulta alkaen käyttöön sekä rautateillä että kaupunkien raitiotieverkoilla toimivaa kalustoa. Kalusto on usein tavanomaista rautatiekalustoa kevyempää ja suunniteltu toimimaan teknisesti yhteen sekä raitio- että rautateillä. Raitioteillä ja valtakunnallisella rautatieverkostolla kulkeva vaunutyyppi otettiin käyttöön Saksan Karlsruhessa vuonna 1992, tarkoituksena korvata lähiseudun tappiollinen paikallisjunaliikenne uudella nopealla yhteydellä suoraan Karlsruhen keskustaan. Dieselkäyttöiset kiskobussit korvattiin moderneilla sähkömoottorivaunuilla, jotka saattoivat Karlsruhessa ajaa suoraan kaupungin katuverkolle ja ostosalueelle. Samalla seisakkeiden määrää kasvatettiin ja matkustajapalvelua parannettiin vuorotarjontaa lisäämällä. Tämä "Karlsruhen malliksi" ("Karlsruher Modell") osoittautui menestykseksi: matkustajamäärät nousivat muutamassa vuodessa kymmenillä prosenteilla ja linjastoa on sittemmin laajennettu satojen kilometrien laajuiseksi verkostoksi. "Karlsruhen malli on herättänyt laajaa kiinnostusta eri puolilla maailmaa ja Euroopassa uusia duoraitioteiksi kutsuttuja järjestelmiä on syntynyt Saksaan mm. Saarbrückeniin, Kasseliin ja Chemnitziin sekä Ranskaan Mulhouseen, Nantesiin ja Pariisin. Muualla Euroopassa duoraitiotiejärjestelmiä on ollut suunnitteilla useissa eri kaupunkiseuduilla: viimeisimpänä Tanskan Aarhus aloitti liikenteen elokuussa 2018 ja Unkarissa Szegedin ja Hódmezővásárhelyn välille on suunnitteilla duoraitiotieyhteys.

Duoraitiotiehen sovellettava lainsäädäntö on haasteellinen. EU ei ole luonut erillistä duoraitioliikennettä koskevia direktiivejä tai asetuksia. Rautatiealueella liikennöitäessä vaunukalustoon sovelletaan sellaisenaan EU:n rautatiedirektiiviä sekä asetuksiin verrattavissa olevia yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä (YTE). Kaupunkialueella liikennöitäessä käytäntö on kirjavampi, koska EU-direktiiveissä kaupungin raitiotieverkolla tapahtuva liikenne rajataan selkeästi ulkopuolelle. Siten jokaisella EU:n jäsenmaalla ja yksittäisellä kaupungilla on mahdollisuus luoda omat, kaupunkiverkolla liikennöintiä koskevat säädökset. Saksassa kaupunkialueella liikennöintiä säädellään asetukseen verrattavissa olevalla Raitioteiden rakennus- ja liikennöintiohjesäännöllä eli BOStrabilla ("Strassenbahn Bau-und Betriebsordnung"). Suomessa vastaavaa yleistä, kaupunkiraitioliikennettä koskevaa ohjesääntöä ei ole – paljolti siksi, koska raitioliikennettä on Suomessa harjoitettu vuosikymmenet pelkästään Helsingissä. Yleismaailmallisen raitioteiden rakentamisinnon saavutettua Suomenkin ja Tampereen tehtyä päätöksen rakentaa kaupunkiin raitiotieverkosto, on mahdollista, että vastaavanlainen säädöskokoelma tarvitaan meillekin. Tehdyssä tutkimuksessa on kuitenkin ilmennyt, ettei Suomessa ole tällä hetkellä mitään sellaista lainsäädäntöä, joka suoranaisesti estäisi duoraitioliikenteen harjoittamisen. Vaunukaluston tulee täyttää rautatiekalustolle asetetut vaatimukset, mikäli sillä on aikomus liikennöidä rautateillä.

Duoraitiotien suurimmat tekniset haasteet Suomessa ovat rautatielainsäädännöstä juontuvat määräykset ja niiden täyttäminen. Duoraitioteitä on toteutettu toistaiseksi vain Keski-Euroopassa yleisesti käytetyllä, ns. normaalilla (1435 mm) raideleveydellä. Suomessa käytettävälle leveälle (1524 mm) raideleveydelle duoraitioteitä ei ole toteutettu. Vaunun kulkuvoimaksi valitaan kaksi käytännössä kolmesta eri vaihtoehdosta: rautateiden sähköistys 15 kV tai 25 kV, kaupunkialueen 750 V tasavirta ja dieselmoottori. Suomessa käytettävälle

duoraitiovaunulle soveltuisi parhaiten erillinen, suomalaista rautatien pyöräprofiilia lähellä olevaa profiilia. Sille ei löydy puhdasta vastinetta saksalaisesta DIN 25112-standardista tai suomalaisesta S1002-rautatieprofiilista. Suositeltava pyöräprofiili olisi kulkukehältään 135 mm, halkaisijaltaan 790 mm ja laipan paksuudeltaan 28 mm, korkeudeltaan 29 mm. Laiturin korkeus suomalaisella duoraitiotiellä – niin kaupunki- kuin rautatiealueellakin – olisi 380 mm. Tämä edellyttää kahta eri korkeudelle sijoittuvaa laituria sellaisilla liikennepaikoilla, joilla pysähtyy duoraitiovaunuja ja muuta rautatiekalustoa. Vaunut varustetaan kulunvalvontalaittein ja varaudutaan ETCS-järjestelmän käyttöönottoon. Kaupunkialueella käytetään urakiskoa 60R2, rautatiealueella kiskoja ei muuteta.

Tutkimuksessa on osoitettu teknisistä haasteista huolimatta duoraitiotiejärjestelmän olevan mahdollista toteuttaa Suomessakin lähivuosina. Duoraitiotien etuina on joustavuus tavalliseen paikallisjunaliikenteeseen nähden: monilla suomalaisilla kaupunkiseuduilla väestöpohja ei mahdollista perinteistä raskaalla paikallisjunakalustolla operoitua lähiliikennettä, vaikka asutus olisi sijoittunutkin rautatien välittömään tuntumaan. Raitiovaunuin voidaan ohjata liikenne suoraan kaupungin katuverkkoon. Tällöin ympäröivältä seutukunnalta saadaan tarjotuksi suorat yhteydet keskeisiin kohteisiin, kuten koulutus-, terveydenhuolto- ja kaupallisiin palveluihin. Samalla duoraitiolinjat palvelisivat kaupungin sisäisiä yhteyksiä. Suomessa duoraitioteitä voitaisiin hyödyntää erityisesti Varsinais-Suomessa, jossa Uudenkaupungin, Loimaan, Naantalin ja Salon duoraitiolinjat yhdistyisivät Turun kaupunkiraitiotieverkostoon. Duoraitioliikenteellä voidaan näin kehittää edullisesti kaupunkirakennetta nykyistä tiiviimmäksi ja suosia raideliikennettä aiempaa enemmän. Tällä tavoin pystytään täyttämään Suomen ilmastotavoitteet ja parantamaan joukkoliikenteen palvelutasoa huomattavasti monilla kaupunkiseuduilla.

Lähdeluettelo

Aarhus 2018. Aarhusin kunnan väestötiedot sekä muita tilastollisia tunnuslukuja. [Viitattu: 1.1.2019] Saatavilla: https://ledelsesinformation.aarhuskommune.dk/aarhus-i-tal/default.aspx?doc=vfs://Global/Oversigt-befolkning.xview

Allgemeines Eisenbahngesetz. Bundesministerium der Justiz und für Verbrauchersutz. Saksan liittotasavallan rautatielaki: Saksan liittotasavallan oikeus- ja kauppaministeriön verkkosivut. [Viitattu: 10.11.2017]. Saatavilla: https://www.gesetze-im-internet.de/aeg_1994/index.html.

AVG 2018. Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH. Karlsruhen ja sen lähiympäristön duoraitioliikenteestä vastaavan liikenneoperaattorin verkkosivut. [Viitattu 13.5.2018]. Saatavilla: https://www.avg.info/

Bayerische Staatkanzlei. Baijerin vapaavaltion (Freistaat Bayern) valtionkanslian verkkosivut Saksan liittotasavallan rautatielainsäädännön ulkopuolella olevia sekä Baijerin vapaavaltion alueella sijaitsevia rautateitä ja köysiratoja koskevia lait ja asetukset. [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavilla: http://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayEBG/true

BOStrab 2018. Verordnung über den Bau- und Betrieb der Straßenbahnen. Saksan liittotasavallan raitioteiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva asetus. [Viitattu: 14.2.2018] Saatavilla: http://www.gesetze-im-internet.de/strabbo_1987/

Chemnitz 2018. Cheminitzin kaupungin verkkosivut. Tilastoja ja tunnuslukuja kaupungista sekä lyhyt katsaus historiaan. [Viitattu: 1.1.2019] Saatavilla: https://www.chemnitz.de/chemnitz/de/index.itl

Chemnitzer Modell 2018. Chemnitzer Modell-projektin verkkosivut 2018. [Viitattu: 17.7.2018]. Saatavilla: http://www.chemnitzer-modell.de/aktuelles/

Crossing Boundaries in Alsace. The International Light Rail Magazine. Tramways & Urban Transit. January 2019, No. 973.

CVAG Chemnitzer Verkehrs-AG:n verkkosivut. Chemnitzin kaupungin liikenneoperaattorin linja- ja aikataulutietoja [Viitattu: 17.7.2018]. Saatavilla: https://www.cvag.de/de/Startseite_10.html

DB Netz AG 2018. DB Netze. Saksan liittotasavallan rautatieinfrastruktuurista vastaavan viranomaisen verkkosivut. Selostus ja tietoja DB Netz AG:n toiminnasta ja tarkoituksesta Saksan liittotasavallan rautatieinfrastruktuurin ylläpidosta vastaava viranomainen [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavilla: http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/start

Demokrafiebericht München – Teil 1 2015 bis 2035. Münchenin kaupungin väestökehitys- ja analyysi vuosille 2015-2035. Ensimmäinen osa. [Viitattu: 13.2.2018]. Saatavilla: https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Stadtentwicklung/Grundlagen/Bevoelkerungsprognose.html

EBKrG 2018. Gesetz über Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen. Saksan liittotasavallan tasoristeyksistä annettu laki. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla: https://www.gesetze-im-internet.de/ebkrg/index.html.

Eduskunta 2019. Hallituksen esitys eduskunnalle raideliikennelaiksi ja laiksi liikenteen palveluiden muuttamisesta. Hallituksen esitys HE 105/2018 [Viitattu: 17.1.2019]. Saatavissa:
https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/HE_105+2018.aspx

Erityiskertomus 13/2017. Erityiskertomus. Yhtenäinen Euroopan rautatieliikenteen hallintajärjestelmä: toteutuuko poliittinen päätös koskaan käytännössä? (Annettu Euroopan unionin toiminnasta tehdyn sopimuksen 287 artiklan 4 kohdan toisen alakohdan mukaisesti). 2017 n:o 13. [Viitattu: 8.3.2018]. Saatavilla:
https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR17_13/SR_ERTMS_RAIL_FI.pdf

EBO 2018. Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung. Saksan liittotasavallan rautateiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva asetus. [Viitattu: 14.2.2018].
Saatavilla: http://www.gesetze-im-internet.de/ebo/

ERTMS/ETCS-järjestelmän suomalainen toiminnallinen vaatimuseritelmä (ETCS FI-FRS). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2016. [Viitattu: 12.11.2018]. Saatavilla:
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2016-47_ertms-etcs_jarjestelman_web.pdf

ESBO 2018. Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen. Saksan liittotasavallan kapearaiteisten rautateiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva asetus. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla:
https://www.gesetze-im-internet.de/esbo/index.html

EU 2007/57/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2007/57/EY, annettu 23. päivänä lokakuuta 2007, vetureita ja junia rautateillä yhteisössä ajavien veturinkuljettajien hyväksymisestä. [Viitattu: 9.1.2018] Saatavilla:
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02007L0059-20160701&rid=1.

EU 2016/797. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2016/797, annettu 11. päivänä toukokuuta 2016, rautatiejärjestelmän yhteentoimivuudesta Euroopan unionissa. (Uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). [Viitattu: 13.2.2018]. Saatavilla:
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L0797&from=EN

EU 2016/798. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2016/798, annettu 11. päivänä toukokuuta 2016, rautateiden turvallisuudesta. (Uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merktyksellinen teksti). [Viitattu: 13.2.2018]. Saatavilla:
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L0798&from=EN

EU 2016/919. Komission asetus (EU). Euroopan unionin rautatiejärjestelmän ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmiä koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). [Viitattu: 8.3.2018]. Saatavilla:
http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R0919&from=EN

EU 321/2013. Euroopan komission asetus N:o 321/2013, annettu 13. päivänä maaliskuuta 2013, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän osajärjestelmää "liikkuva kalusto - tavaraliikennevaunut" koskevasta yhteistoimivuuden teknisestä eritelmästä ja komission päätöksen 2006/861/EY kumoamisesta. (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). [Viitattu: 9.5.2018]. Saatavilla: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013R0321&qid=1525859612694&from=EN

EU 1299/2014. Komission asetus (EU) N:o 1299/2014, annettu 18. päivänä marraskuuta 2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän infrastruktuuriosajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). [Viitattu: 14.8.2018]. Saatavilla: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1299&from=FI EU 1302/2014. Komission asetus (EU).

EU 1302/2011. Komission asetus (EU) N:o 1302/2011 annettu 18. päivänä marraskuuta 2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää"veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto" koskevasta yhteistoimivuuden teknisestä eritelmästä. (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). [Viitattu: 15.8.2018]. Saatavilla:
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1302&from=en

EUR-Lex 2019. Euroopan unionin ajantasainen lainsäädäntökokoelma [Viitattu 17.1.2019]. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=fi

Euroopan unioni 2019. Euroopan unionin verkkosivut, joilla tietoa EU:n hallinnollisesta rakenteesta ja lainsäädäntötyöstä periaatteineen [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavissa: https://europa.eu/european-union/topics/institutional-affairs_fi

Gleisplanweb 2018. Raitioteiden raidekaaviot silmukoineen ja muine infrastruktuuritietoineen. [Viitattu: 16.3.2018]. Saatavilla: http://gleisplanweb.eu/index.php

Hallituksen esitys, HE 61/2018. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi Liikenne- ja viestintäviraston perustamisesta, Liikennevirastosta annetun lain muuttamiseksi ja eräiksi niihin liittyviksi laeiksi. [Viitattu: 5.11.2018]. Saatavilla: https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_61+2018.aspx

Hanko-Hyvinkää-radan tasoristeysten turvallisuuden parantaminen. Toimenpideselvitys. Liikennevirasto, Helsinki 2014. [Viitattu: 13.2.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lr_2014_hanko-hyvinkaa_web.pdf
Helsinki 2014. Helsingin kaupungin lausunto vireillä olleesta kaupunkiraideliikennelaista. Viitattu: [1.1.2019]. Saatavissa: https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/b7/b75c775a06897b48809c67cd2b957cefb490a3e1.pdf

Hertel, S. 2001. Vor- und Nachteile einer Systemverknüpfung der S-, U- und Stra enbahn in Berlin. Berichtsband. Diplomarbeit am Institut für Stra en- und Schienenverkehr Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb der Technischen Universität Berlin. [Viitattu: 30.5.2018]. Saatavilla:
https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/1485/1/Dokument_43.pdf

HKL 2018. Helsingin kaupungin verkkosivut. [Viitattu: 15.5.2018]. Saatavilla: https://www.hel.fi/hkl/fi/Raitiovaunulla/kalusto/mlnrv3

HSE 2018. Harzer Schmalspurbahnen-yrityksen verkkosivusto. [Viitattu: 1.6.2018]. Saatavilla: https://www.hsb-wr.de/startseite/

Härkönen, A. 2017. Eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmän käyttöönotto Suomessa. Suomen kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma Euroopan komissioon vuonna 2017. Liikenneviraston julkaisuja 42/2017. [Viitattu: 31.5.2018]. Saatavilla:
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-42_ertms_kayttoonotto_web.pdf

Ingenieur.de 2018. Der weltweit erste Wasserstoff-Zug fährt im regulären Linienbetrieb. Ingenieur.de: Technik, Karriere, News. [Viitattu: 30.11.2018]. Saatavissa: https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/verkehr/der-weltweit-erste-wasserstoff-zug-faehrt-im-regulaeren-linienbetrieb/

Junakalusto Oy 2018. Pääkaupunkiseudun junakalusto Oy:n verkkosivut. [Viitattu: 13.5.2018]. Saatavilla: http://www.junakalusto.fi/site/?lan=1&page_id=1

Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt) 2018. Liikenneviraston ohjeita 10/2018. [Viitattu: 29.12.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2018-10_jt_web.pdf

Järvinen, L., Viitanen, J. (toim.). Rautatieturvalaitteet. Helsinki 2014. Liikenneviraston oppaita 1/2014. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy. 264 s. ISBN 978-952-255-369-0

Karlsruhe 2018. Karlsruhen kaupungin verkkosivut. Tietoja kaupungin pinta-alasta, väestöstä, taloudesta ja asumisesta [Viitattu: 15.3.2018]. Saatavilla: https://www.karlsruhe.de/b4/stadtentwicklung/statistik/kennzahlen.de

Karlsruher Modell 25 Jahre. Karlsruher Verkehrsverbundin (KVV) laatima, julkaisematon esitysaineisto Karlsruhen raitiotiejärjestelmän teknisistä ominaisuuksista.

Karr, Martin 2018. Mehrsystemkonzepte der Schienenbahnen in Europa. Vorlegt von Martin Karr als Vertiefearbeit am Institut für Stra en- und Eisenbahnwesen – Abteilung Eisenbahnwesen – Universität Karlsruhe (TH) bei Prof. Dr.-Ing. Hohnecker. [Viitattu: 20.5.2018]. Saatavilla: http://www.karr.de/veroeffentlichungen/#_Toc430325979

Kerava-Nikkilä-radan henkilöliikenteen tarveselvitys. Selvitys maankäytöstä ja raideliikenteen mahdollisuuksista Keravan ja Nikkilän välisellä rataosuudella. HSL:n julkaisuja 21/2015 [Viitattu: 3.1.2019]. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/21_2015_kerava-nikkila_raideraportti_final.pdf

Keränen, M. 2018. Bombardier toi Saksan rautateille akkukäyttöisen junan – toimintamatka jättää vielä melkoisesti toivomisen varaa. Tekniikka- ja talous-lehden verkkoversio 17.9.2018. [Viitattu: 30.11.2018]. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/liikenne/bombardier-toi-saksan-rautateille-akkukayttoisen-junan-toimintamatka-jattaa-viela-melkoisesti-toivomisen-varaa-6741208

Koivunen, J. (2018). Raide-Jokeri kehittää kaupunkia. Rautatietekniikka 4/2018
Kombilösung 2018. Karlsruhen Kaiser- ja Kriegstra en alittavan tunneliprojektin verkkosivut. [Viitattu: 15.3.2018]. Saatavilla: http://www.diekombiloesung.de/startseite.html

KVB Köln 2007. Kölner Verkehrs-Betriebe AG. Kölnin liikennelaitoksen verkkosivut tunneliosuuksilla käytettävistä turvalaitejärjestelmistä. [Viitattu: 31.5.2018] Saatavilla: https://web.archive.org/web/20070928082505/http://www.kvb-koeln.de/german/unternehmen/kvb/leitstelle.html

KVV Kursbuch 2018. Karlsruhen alueen aikataulukirja. [Viitattu: 15.3.2018]. Saatavilla: https://www.kvv.de/fileadmin/user_upload/kvv/Dateien/Fahrplaene_Netzplaene/KVV_Kursbuch_A4_2018.pdf

Kälvälä, 2013. Akuuttirajat rautatievaihteiden mittauksissa. Opinnäytetyö. Aalto-yliopisto, 2013. [Viitattu: 11.11.2018]. Saatavilla: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/13432/master_k%C3%A4lv%C3%A4l%C3%A4_jenny_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Laaksonen, M. 2008. Turun raitiotiet. Kustantaja Laaksonen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 288 s. ISBN 978-952-99685-9-6

Laaksonen, M. Aarhusin uusi raitiotie avattiin, Raitio 2/2018

Laki liikenteen palveluista 320/2017. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2017/?_offset=8

Letbanen. Aarhusin duoraitiotieyhtiön verkkosivut. [Viitattu: 3.1.2019]. Saatavilla: http://www.letbanen.dk/

Liikennöinti valtion rataverkolla 2015. Liikenneviraston julkaisuja 23/2015. [Viitattu: 31.5.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2015-23_liikennointi_valtion_web.pdf

Lounaistieto 2018. Varsinais-Suomen maakuntaliiton ylläpitämä tilasto- ja tietokanta Varsinais-Suomen avainluvuista. [Viitattu 23.7.2018]. Saatavilla: http://www.lounaistieto.fi

Mulhouse 2019. Mulhousen kaupungin verkkosivut. Tietoja kaupungin väkiluvusta, pinta-alasta ja ilmastosta [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavilla: https://www.mulhouse.fr

MTR 2018. Tukholman maanalaisen (tunnelbananin) ja lähijunan (pendeltågenin) liikennöinnistä vastaavan hongkongilaisen operaattorin verkkosivut. Tietoja operaattorin toiminnasta ja tarjoamista palveluista [Viitattu: 26.7.2018]. Saatavilla: http://www.mtrnordic.se/

Mäntyjärvi V. 2017. Kaukoliikenteen henkilöjunan jarrutuskykyvaatimusten tarkastaminen. Opinnäytetyö. Liikennevirasto 2/2017. [Viitattu: 13.5.2018]. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/144051/opin_2017-02_978-952-317-451-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Netzkonseption 2020/2030. Karlsruhen kaupungin ja sen ympäristön liikennejärjestelmäsuunnitelma vuosille 2020-2030. [Viitattu: 30.12.2018]. Saatavissa: https://www.kvv.de/fileadmin/user_upload/kvv/Dateien/Broschueren/Abschlussbericht_Netzkonzeption_2020-2030_der_VBK__AVG_und_KVV.pdf

Nikkilän aseman matkustajalaituri, yleispiirustus. Rakentamissuunnittelu. Yleissuunnitelma. Hyväksytty 5.10.2018.

Nordlund, J. Sähköbussit – pilottivaihe käynnistyi. Raitio 1/2017

Nummelin, M. 1994. Rautatievaihteet. VR-Pääkonttori, ratayksikkö. Mikkeli: Länsi-Savo Oy. 144 s. ISBN 951-47-8649-1

Open Street Map 2018. [Viitattu: 18.7.2018]. Open Street Map-kartta-aineisto. Saatavilla: https://www.openstreetmap.org

Pischek, W., Junghardt, H. 1998. Die Münchner U-Bahn. Unterdisch durch die bayerische Landeshauptstadt. Immenstadt i. Allgäu. Grapische Betriebe Ebertl GmbH. 159 s. ISBN 3-923785-20-7

Raideliikennelaki 2019. Laki Suomessa harjoitettavasta raideliikenteestä [Viitattu: 1.2.2019]. Saatavilla: http://finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181302

Raideliikennevastuulaki 5.2.1999/113. Laki vastuista raideliikenteestä. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990113

Raideprojekti 2004. Rataverkon hyödyntäminen Tampereen kaupunkiseudun joukkoliikenteessä. Raideprojekti 2004. Loppuraportti. Pirkanmaan liitto, Tampereen, Nokian ja Ylöjärven kaupungit sekä Kangasalan, Lempäälän ja Pirkkalan kunnat, liikenne- ja viestintäministeriö, Ratahallintokeskus. Multiprint 2004.

Raitioteiden suunnitteluohje 2018. Helsingin kaupungin liikennelaitos-liikelaitoksen suunnitteluohje raitioteitä varten. [Viitattu: 15.2.2018]. Saatavilla: http://www.e-julkaisu.fi/hkl/raitioteiden_suunnitteluohje/

Ratalaki 2.2.2018/110. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070110

RATO 2, 2010. Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 2. Radan geometria. Liikenneviraston ohjeita 3/2010. [Viitattu: 5.4.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2010-03_rato_2_radan_geometria_web.pdf

RATO 4, 2012. Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 4. Vaihteet. Liikenneviraston ohjeita 22/2012. [Viitattu: 30.5.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-22_rato_4_web.pdf

RATO 5, 2013. Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 5. Sähköistetty rata. Liikenneviraston ohjeita 21/2013. [Viitattu: 15.2.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-21_rato_5_web.pdf

RATO 6, 2014. Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 6. Turvalaitteet. Liikenneviraston ohjeita 7/2014. [Viitattu: 31.5.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-07_rato6_web.pdf

RATO 9. Ratatekniset määräykset ja ohjeet, RATO 9, Tasoristeykset. Ratahallintokeskus 2004. [Viitattu: 1.12.2017]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rato_9_tasoristeykset.pdf.

RATO 10. Ratatekniset ohjeet. Osa 10, Junien kulunvalvonta, JKV. Liikenneviraston ohjeita 9/2018. [Viitattu: 21.11.2018]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-09_rato10_muutokset_web.pdf

RATO 11. Ratatekniset määräykset ohjeet, RATO 11, Radan päällysrakenne. Ratahallintokeskus 2002. [Viitattu: 20.5.2018]. Saatavilla: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rato_11_radan_paallysrakenne.pdf

RATO 16, 2017. Väylät ja laiturit. Liikenneviraston ohjeita 43/2017. [Viitattu: 17.2.2018]. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/147789/lo_2017-43_rato16_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RATO 21, 2012. Ratatekniset ohjeet, RATO 21, Liikenneviraston ohjeita, 21/2012. [Viitattu 6.3.2018] Saatavilla:
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2012-21_rato_21_web.pdf

Rautatiekuljetuslaki 15.12.2000/1119. Laki rautateitse kuljetettavista tavaroista sekä matkustajain oikeuksista ja velvollisuuksista rautatieliikenteessä. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20001119

Rautatielaki 8.4.2011/304. Laki rautatieliikenteestä. Annettu Helsingissä 8. päivänä huhtikuuta 2011. [Viitattu 2.11.2017]. Saatavilla:
http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110304.

Regelwerk zur sicheren Integration von ZZS-Komponenten in das Teilsystem Fahrzeuge 2018. [Viitattu: 30.12.2018]. Saatavilla:
https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Fahrzeuge/Fahrzeugtechnik/ZZS/31_AK_EMV_Bekanntgabe_09.pdf?__blob=publicationFile&v=7

Rheinbahn 2017. Automatisch durch den Tunnel – wie geht das eigentlich? Düsseldorfin liikenneoperaattorin Rheinbahn AG:n selostus Stadtbahn-osuuksilla käytetystä kulunvalvontajärjestelmästä. [Viitattu: 30.12.2018]. Saatavissa: https://blog.rheinbahn.de/2017/09/19/automatisch-durch-den-tunnel-wie-geht-das-eigentlich/

Sandberg, K. 2015. Jarrutusenergian talteenotto Helsingin metro- ja raitioliikenteessä. Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulun opinnäytetyö [Viitattu: 17.1.2019]. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16249/master_Sandberg_Katarina_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa. Toimenpideohjelma 2017-2020. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 14/2017. [Viitattu: 8.3.2018]. Saatavilla: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160397/14-2017_LVM_Satelliittinavigointi.pdf?sequence=4&isAllowed=y

SBB 2018. Schweizerische Bundesbahnen, Chemins de fer fédéraux suisses, Ferrovie federali svizzere, Viafiers federalas svizras, [Viitattu: 31.5.2018]. Sveitsin valaliiton rautatieyhtiön verkkosivut. Tietoa ETCS-järjestelmän käyttöönotosta Sveitsin valaliiton rautateillä. Saatavilla: https://company.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/verantwortung/die-sbb-und-ihre-kunden/die-sbb-und-die-sicherheit/zugsicherung-etcs.html

Selvitys syväuraisten vaihteiden ja raideristeysten käyttöönoton hyödyistä ja edellytyksistä Helsingin raitiotieverkolla 2011. Helsingin seudun liikenteen (HSL) selvityksiä 4/2011 [Viitattu 3.1.2018]. Saatavissa:
https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/syvaura_selvitys_2011_4.pdf

Siemens. Stadt- und Stra enbahnen. Referenzliste. Siemensin esite tuotannossa olevista raitiovaunumalleista hintatietoineen. [Viitattu: 13.5.2018]. Saatavilla: http://www.g-st.ch/trambasel/spezial/doku/combino/comrefer.pdf

Soléa 2018. Mulhousen liikennelaitoksen verkkosivut. Tietoja aikatauluista, reiteistä ja lippujen hinnoista [Viitattu: 1.6.2018]. Saatavilla: http://www.solea.info

Spurführung 2018. Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List". Spurführung. [Viitattu: 27.5.2018] Saatavilla:
https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibv/gvb/ressourcen/dateien/download_gvb/lehrmaterialien/Grundl_G/G-02.pdf?lang=de

SRS - Suomen Raitiotieseura ry:n verkkosivut. Tietoa Helsingin raitiovaunuista teknisine yksityiskohtineen sekä linjaston kehitysvaiheista [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavilla: http://www.raitio.org.

Stadtbahnsysteme 2014. Grundlagen, Technik, Betrieb, Finanzierung. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV), Bundesministerium fÿr Verkehr und digitale Infrastruktur. Roβdorf, TZ-Verlag & Print GmbH. 990 s. ISBN 978-3-96245-095-3.

Standardi SFS-EN 14531-1. Railway Applications. Methods For Calculation Of Stopping And Slowing Distances And Immobilization Braking. Part 1: General Algorithms Utilising Mean Value Calculation For Train Sets Or Single Vechiles. Suomen Standardisointiliitto, 2015.

Standardi SFS-EN 15227+A1. Railway Applications. Crashworthiness Requirements For Railway Vechile Bodies. Suomen standardisointiliitto, 2011.

Standardi SFS-EN 15273-2:2013+A1:2016 (E). Railway applications. Gauges. Part 2: Rolling stock gauge. Suomen standardisointiliitto, 2016.

Statistische Jahrbuch Köln 2016. Kölnin kaupungin tilastollinen vuosikirja vuodelle 2016. [Viitattu: 12.2.2018]. Saatavilla: http://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/pdf15/statistik-jahrbuch/statistisches_jahrbuch_2016_ksn_2_2016.pdf

Suunnitteluperusteet. Tampereen Raitiotiealliansin laatimat suunnitteluperusteet raitiotiellä käytettävien teknisten ratkaisujen määrittämiseksi. Suunnitteluperusteiden laadinta-ajankohta ei ole tiedossa [Viitattu: 4.1.2019]. Saatavissa: https://docplayer.fi/46372841-Suunnitteluperusteet.html

Suunnitteluperusteet 2013. Tampereen ja Turun moderni raitiotie. Ramboll, WSP 31.12.2013. [Viitattu: 15.2.2018]. Saatavilla: https://www.tampere.fi/liitteet/s/6MorzXEou/suunnitteluperusteet31122013.pdf

Tampere 2018. Tampereen kaupungin verkkosivut. Tampereen kaupunginvaltuuston kokouksessa 7.11.2016 käsitellyt asiat [Viitattu: 23.7.2018]. https://www.tampere.fi/tiedostot/v/SY86Prd8V/Valtuusto.pdf

Tampereen Raitiotie – Kiskon ja pyörän profiili 2018. Tampereen Raitiotie Oy:n kalustopäälliköltä, Ali Huttuselta 17.1.2018 saatu, painamaton materiaali.

Tampereen Raitiotie – Rataverkon pääarvoja 2018. Tampereen Raitiotie Oy:n kalustopäälliköltä, Ali Huttuselta 17.1.2018 saatu, painamaton materiaali.

Tampereen raitiotien toteutussuunnitelma 2016. Tampereen kaupunki, Kaupunkiympäristön kehittäminen julkaisuja 7/2016. [Viitattu: 27.5.2018] Saatavilla: https://www.tampere.fi/tiedostot/t/xOxdPt2ot/Raitiotiealliansi_toteutussuunnitelma_osa1_20160905.pdf

Technische Regeln für die Spurführung 2016. Technische Regeln für Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOSTrab). Saksan liittotasavallan raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesääntöä täydentävä tekninen määräyskokoelma [Viitattu: 4.2.2019]. Saatavilla: https://www.vdv.de/downloads.aspx

Tieliikennelaki: 2. luku. Liikennesäännöt [Viitattu: 2.11.2017]. Saatavilla: http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1981/19810267.

Tolmunen, T. 2016. Viisi minuuttia seuraavaan lähtöön. HSL-alueen joukkoliikenteen historia. Helsingin Seudun Liikenne (HSL). Helsinki: Lönnberg Print & Promo. 637 s. ISBN 978-952-253-286-6

Trafi/14975/03.04.02.00/2016. Komission asetus (EU) 2016/919 Euroopan unionin rautatiejärjestelmän ohjaus-, hallinta- ja osajärjestelmiä koskevasta yhteistoiminnan teknisestä eritelmästä. [Viitattu: 14.2.2018]. Saatavilla: https://www.trafi.fi/filebank/a/1466585459/9c3230ad75a596378eda7b3c678678eb/21932-TRAFI_14975_03_04_02_00_2016_FI_ohjaus-%2C_hallinta-_ja_merkinanto_-osajarjestelma.pdf

Trafi/18888/03.04.02.00/2011. Rautatiejärjestelmän infrastruktuuriosajärjestelmä. Määräys. [Viitattu: 11.11.2018]. Saatavilla: https://www.trafi.fi/filebank/a/1357130301/c43f8be64b6c704257e82e54a26cdd3e/10982-K-TRAFI_18888_03_04_02_00_2011.pdf

Traficom 2019. Liikenne- ja viestintävirasto Traficomin verkkosivut. Rautatieliikenteen harjoittajile suunnattu aineisto [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavilla: https://www.traficom.fi/fi/liikenne/raideliikenne/kaikki-sivut-ja-palvelut-raideliikenteen-ammattilaisille

Transtech 2018. Transtech-kalustonvalmistajan verkkosivut. Tietoa yrityksen valmistamista raitiovaunuista teknisine tunnuslukuineen [Viitattu: 13.5.2018]. Saatavilla: http://www.transtech.fi/etusivu

Turun raitiotie, yleissuunnitelma 2015. [Viitattu: 25.7.2018]. Saatavilla: https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//raportti_turku_lowres.pdf

Turun raitiotien yleissuunnitelman tarkennus, Liite 1, 2018. [Viitattu: 25.7.2018]. Saatavilla: https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//raitiotien_yleissuunnitelman_tarkennus_paaraportti_liitteet.pdf

Urbanrail 2018. Urbanrail-verkkosivut. Perustietoa maailman joukkoliikennejärjestelmistä. Karttoja sekä tietoa kalustosta ja rataverkon kehityksestä [Viitattu 15.3.2018]. Saatavilla: http://www.urbanrail.net/

Uutta Helsinkiä 2019. Helsingin kaupungin uusia alue- ja täydennysrakentamiskohteita esittelevät verkkosivut. Tietoa rakentamisesta, palveluista ja liikenteestä. [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavissa: https://www.uuttahelsinkia.fi/fi

Vainionmäki V. 2014. JKV-järjestelmän merkitys rautateiden turvallisuudelle ja kilpailun syntymiselle. Trafin julkaisuja 1/2014. [Viitattu: 8.3.2018]. Saatavilla: https://www.trafi.fi/filebank/a/1397133680/b99b83f475ed81b5347ac927159411a6/14581-Trafin_julkaisuja_01-2014_-_JKV-jarjestelman_merkitys_rautateiden_turvallisuudelle_ja_kilpailun_syntymiselle.pdf

Vectron. Die Lok, die neue Wege schafft 2018. Siemens-yhtiön laatima, Vectron-veturin esite. [Viitattu: 31.12.2018]. Saatavissa: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1537171714.187443e1-48ca-449e-9542-31b8c449f454.mo-vectron-technikbroschuere-de.pdf

Vilppo, J.-M. 2004. Pikaraitiovaunun hyväksyntä rautatieliikenteeseen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Automaatiotekniikan osasto. Tampere. 99s.

Väylävirasto 2019. Suomen liikenteen infrastruktuurista ja sen ylläpidosta vastaavan viranomaisen verkkosivut. Karttoja, tutkimuksia ja taulukoita [Viitattu: 1.1.2019]. Saatavissa: https://vayla.fi/etusivu

ÖBB 2018. Österreichische Bundesbahnin, Itävallan liittorautateiden verkkosivut. [Viitattu: 31.5.2018]. Saatavilla: http://www.oebb.at/infrastruktur/de/5_0_fuer_Generationen/5_4_Wir_bauen_fuer_Generationen/5_4_5_Schieneninfrastruktur_abgeschlossene_Projekte/Brennerachse/Kundl_Radfeld_Baumkirchen/Unterinntalbahn/1_Ausbauschritt_der_neuen_Unterinntalbahn/Infos_zur_Ausruestung_/Eisenbahnsicherungstechnik/index.jsp

X34 pähkinänkuoressa 2018. Tampereen raitioteille hankittavan "Tampere Smart Artic X34"-tyypin vaunun teknisten tietojen esittely. Tampereen Raitiotie Oy:n kalustopäälliköltä Ali Huttuselta saatu, painamaton aineisto.

Haastattelut

Hurskainen, M. 2018. Tehtaanjohtaja. Škoda-Transtech Oy, Otanmäki. Haastattelu 6.9.2018

Huttunen, A. 2018. Kalustopäällikkö. Tampereen Raitiotie Oy, Tampere. Haastattelu 11.1.2018.

Huttunen, A. 2019. Kalustopäällikkö. Tampereen Raitiotie Oy, Tampere. Sähköpostihaastattelu 4.1.2019

Karjalainen, J. 2018. Ylitarkastaja. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. Haastattelu 4.7.2018.

Koivurova, J. 2018. Kehityspäällikkö. Škoda-Transtech Oy, Oulu. Sähköpostihaastattelu 23.10.2018.

Leino, J. Erityisasiantuntija. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Helsinki. Haastattelu 21.12.2017

Rinne, T. 2019. Sähkömestari. HKL-Kalustopalvelut. Helsingin kaupunki. Puhelinhaastattelu, 24.1.2019

Saari, R. 2018. Liikenneneuvos. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. Haastattelu 27.8.2018.

Savolainen, V-V. 2017. Erityisasiantuntija. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Helsinki. Haastattelu 21.12.2017

Suominen, P. 2019. Kalustoasiantuntija. HKL-Kalustopalvelut, Helsingin kaupunki. Puhelinhaastattelu 24.1.2019

Toikkanen, S 2018. Ylitarkastaja, Väylävirasto. Sähköpostihaastattelu 9.8.2018.

Wagensommer, H, 2018. Suunnitteluosaston johtaja. Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH (AVG), Karlsruhe. 11.6.2018.

Luettelo duoraitioteiden kaltaisista järjestelmistä

Paikkakunta	**Raidele-veys**	**Kuvaus**
Mannheim-Ludwigs-hafen-Heidelberg, Saksa	1000 mm	Kolmen kaupungin laajat raitiotie-verkostot yhteydessä toisiinsa rautatien kaltaisilla osuuksilla. Lisäksi maaseutuosuus Ludwigs-hafenista Bad Dürrenbergiin
Darmstadt, Saksa	1000 mm	Pitkä esikaupunkilinja Alsbachiin
Köln-Bonn, Saksa	1435 mm	Kölnin ja Bonnin Stadtbahn-verkos-tot yhdistävät rautatietyyppinen osuus.
Düsseldorf-Duisburg, Saksa	1435 mm	Kaupunkien välinen pikaraitiotie-osuus
Düsseldorf-Krefeld, Saksa	1435 mm	Kaupunkien välinen pikaraitiotie-osuus
Thüringenwaldbahn, Saksa	1000 mm	Gothan ja Bad Tabarzin välinen raitiotieosuus
Wien-Baden, Itävalta	1435 mm	Wienin raitioteihin liittyvä paikallis-rata Wienistä Badeniin
Innsbruck, Itävalta	1000 mm	Stubaitalbahn; liittyy Innsbruckin raitiotieverkkoon
Linz, Itävalta	900 mm	Pöstlingbergbahn, liittyy Linzin raitiotieverkkoon
Zürich, Sveitsi	1000 mm	Forchbahn, liittyy Zürichin raitiotie-verkkoon
Basel, Sveitsi	1000 mm	Laaja kaupunkiraitiotieverkosto, johon liittyy kaksi rautatietyyppistä maaseutulinjaa.
Bern, Sveitsi	1000 mm	Bern-Worb-paikallisrata liitetty osaksi raitiotieverkkoa
Sankt Gallen, Sveitsi	1000 mm	Sankt Gallen-Trogen paikallisrata, kulkee Sankt-Gallenissa katuver-kolla
Szeged, Unkari	1435 mm	Suunnitteilla oleva duoraitiotie Szegedistä Hódmezővásárhelyyn. Liittyy Szegedin raitiotieverkostoon.

Muutamien keskeisten duoraitiotievaunu-tyyppien teknisiä ominaisuuksia

Paikkakunta	**Karlsruhe**	**Karlsruhe**	**Chemitz**	**Mulhouse**	**Aarhus**
Vaunun tyyppi	ET 2010	GT8-100D/2S-M	Citylink	Avanto	Tango
Vaunun leveys	2650 mm	2650 mm	2650 mm	2650 mm	2650 mm
Vaunun korkeus	4000 mm	3860 mm	3845 mm	3520 mm	3650 mm
Vaunun pituus	37 030 mm	36 750 mm	39 930 mm	36 970 mm	39 987 mm
Vaunun tyhjä-paino	62,5 t	59,8 t	68 t	62,5 t	50 t
Raideleveys	1435 mm	1435 mm	1435 mm	1435 mm	1435 mm
Sähköistysjär-jestelmä	15 kV/750 V	15 kV/750 V	750 V/diesel	25 kV/750 V	750 V
Pyörän halkaisija	740 mm	740 mm	720 mm	660 mm	650 mm
Huippunopeus	100 km/h	100 km/h	100 km/h	100 km/h	100 km/h
Istumapaikkoja	93	100	87	86	108
Valmistaja	Bombardier	DUEWG/ Siemens	Vossloh	Siemens	Stadler
Valmistettu	2011-2013, 2017-2018	1997-2005	2016-2017	2006-2010	2017

VÄYLÄ

ISSN 2490-1202
ISBN 978-952-317-703-1
www.vayla.fi