



Väylävirasto  
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu  
23/2021

# ALUEELLISEN JUNALIIKENTEEN TEKNINEN SELVITYS





# **Alueellisen junaliikenteen tekninen selvitys**

Väyläviraston julkaisuja 23/2021

*Kannen kuva: Markku Nummelin, Oensingen, Sveitsi*

Verkkajulkaisu (pdf) ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-859-5

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

puh. 0295 34 3000

**Alueellisen junaliikenteen tekninen selvitys.** Väylävirasto. Helsinki 2021. Väyläviraston julkaisuja 23/2021. 69 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-859-5.

**Asiasanat:** junaliikenne, paikallisliikenne, junakalusto

## Tiivistelmä

Tämän työn tavoitteena on selvittää kevyen moottorijunakaluston käyttöä alueellisessa junaliikenteessä. Työ on syntynyt vastaukseksi monilla Suomen kaupunkiseuduilla heränneisiin ajatuksiin kehittää paikallisjunaliikennettä. Etelä-Suomen ja HSL-alueen taajama- ja kaupunkijunaliikenne ei mittakaavaltaan vastaa pienten ja keskisuurten kaupunkien paikallisjunaliikenteen tarpeita. Siksi on ilmennyt tarve tutkia kaupunkijunaliikenteessä käytettyä kalustoa kevyempiä ja pienempiä moottorivaunuja, jotka poikkeavat teknisiltä ominaisuuksiltaan Suomessa nykyisin käytetystä kalustosta.

Työssä tutkitaan kevyen moottorivaunukaluston teknisiä ominaisuuksia ja soveltuvuutta suomalaisille kaupunkiseuduille. Tarkasteltavana on kolme eri peruskalustotyyppiä, joista yksi liikennöi pelkästään rataverkolla, toinen rataverkolla ja vähäisessä määrin sen ulkopuolella ja kolmas sekä rataverkolla että kaupunkien raitiotieverkoilla. Sähkö- ja dieselmoottorivaunujen lisäksi tarkastellaan hybridi-, akku- ja vetykäyttöistä kalustoa, sen saatavuutta ja hyödyntämistä alueellisessa paikallisliikenteessä ja sitä, millä tavoin tällainen kalusto soveltuu rataverkolle.

Selvityksen näkökulma on tekninen: työssä huomioidaan muun muassa rataverkon ja sen ulkopuolisen infrastruktuurin vaikutukset kaluston liikennöintiin. Tarkasteltavia asioita ovat mm. matkustajalaiturien korkeudet, kulunvalvonta- ja sähköistysjärjestelmät sekä kisko- ja pyöräprofiilit. Tavoitteena on tarkastella, onko rataverkolla liikennöivän kevytkaluston lisäksi mahdollista käyttää vähäisessä tai jopa laajemmassa mittakaavassa sen ulkopuolella liikennöivää seka-kalustoa.

Työn johtopäätöksenä todetaan, ettei teknisiä esteitä kevyen kaluston käytölle ole. Uuden modernin kevytkaluston saatavuus eri kalustonvalmistajilta on hyvä. Kalustohankinta olisi hankintakustannusten säästämiseksi tehtävä keskitetysti siten, että kaikille alueille kalusto hankitaan kerralla, vaikka yksiköissä olisikin esimerkiksi käyttövoimaltaan tai soveltuvuudeltaan eri toimintaympäristöihin eroavaisuuksia. Tällöin eri kalustoyksiköitä olisi korkeintaan 2–3 eri tyyppiä. Eri kalustovaihtoehtojen soveltuvuutta eri kaupunkiseuduille tulee tarkastella erillisessä jatkoselvityksessä. Selvityksessä tarkastellaan paikallisjunaliikenteen järjestämistä niillä kaupunkiseuduilla, joilla on herännyt sitä kohtaan kiinnostusta.

**Teknisk utredning av regional tågtrafik.** Trafikledsverket. Helsingfors 2021. Trafikledsverkets publikationer 23/2021. 69 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-859-5.

## Sammandrag

Målet med detta arbete är att undersöka användning av lätt motorvagns-utrustning i regional tågtrafik. Arbetet har skapats som svar på de tankar på att utveckla lokaltågstrafik som har väckts i många stadsregioner i Finland. Tätorts- och stadstågstrafiken i Södra Finland och i HRT-regionen fyller storleksmässigt inte behoven på lokaltågstrafik i små och medelstora städer. Därför har det uppstått ett behov av att undersöka motorvagnar som är lättare och mindre än den utrustning som används i stadstågstrafiken. Till sina tekniska egenskaper skiljer sig dessa motorvagnar från den utrustning som för närvarande används i Finland.

I arbetet undersöks de tekniska egenskaperna hos lätt motorvagnsutrustning och lämpligheten för finska stadsregioner. Det som undersöks är tre olika typer av basutrustning, av vilka en trafikeras enbart på järnvägsnätet, den andra på järnvägsnätet och i liten utsträckning utanför det, och den tredje både på järnvägsnätet och på städernas spårvagnsnät. Förutom el- och dieseldrivna motorvagnar studeras hybrid-, batteri- och vätgasdriven utrustning, dess tillgänglighet och utnyttjande i regional lokaltrafik och därmed hur sådan utrustning lämpar sig för järnvägsnätet.

Perspektivet i utredningen är tekniskt: i arbetet tas bland annat hänsyn till järnvägsnätets och dess externa infrastrukturs inverkan på trafikering med utrustningen. Saker som undersöks är bland annat passagerarperrongernas höjder, passagekontroll- och elektrifieringssystem samt räls- och hjulprofiler. Syftet är att undersöka om det förutom lätt utrustning som trafikeras järnvägsnätet är möjligt att i liten eller till och med större skala också använda blandad utrustning som används för trafik utanför järnvägsnätet.

Som slutsats av arbetet konstateras att det inte finns några tekniska hinder för användning av lättare utrustning. Tillgången på ny modern lätt utrustning från olika utrustningstillverkare är god. För att spara upphandlingskostnader bör inköp av utrustning ske centralt så att utrustningen köps in samtidigt till alla regioner, även om det till exempel finns skillnader i drivkraft eller lämplighet för olika driftsmiljöer. Då skulle det finnas högst 2–3 olika typer av utrustningsenheter. Lämpligheten hos olika utrustningsalternativ för olika stadsregioner måste undersökas i en separat fortsättningsstudie. I utredningen undersöks organiseringen av lokaltågstrafik i stadsregioner där intresse har väckts för sådan.

**Technical report on regional train services.** Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2021. Publications of the FTIA 23/2021. 69 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-859-5.

## Abstract

The aim of this study is to investigate the use of light engine train rolling stock in regional train services. The study has been done in response to the ideas that have arisen in many urban areas of Finland to develop commuter train services. The scope of the population-centre and urban rail transport in southern Finland and the HSL region does not meet the needs of commuter train services in small and medium-sized cities. That is why the need has arisen to examine motor wagons which are lighter and smaller than the rolling stock used in commuter rail transport. The wagons differ in their technical characteristics from the rolling stock currently used in Finland.

The study examines the technical characteristics of light motor wagon stock and its suitability for Finnish urban areas. Three types of basic rolling stock were examined, one of which operates exclusively on the railway network, the second on the railway network and to a limited extent also outside it, and the third one both on the railway network and the urban tram networks. In addition to examining electric-motor and diesel-engine wagons, examinations shall also include hybrid-, battery- and hydrogen-powered rolling stock, its availability and utilisation in regional commuter transport, and thereby how such stock is suitable for the railway network.

The approach of the study is technical: the work takes into account, among other things, the impact of the railway network and the infrastructure outside it on the operation of the rolling stock. The issues to be considered include the heights of passenger platforms, train-control and electrification systems, and rail and wheel profiles. The aim is to examine whether, in addition to the light rolling stock operating on the railway network, it is possible to use mixed rolling stock operating on a small or even larger scale outside it.

The conclusion of the study is that there are no technical obstacles to the use of lighter rolling stock. The availability of new modern light rolling stock from different equipment manufacturers is good. In order to save on procurement costs, the purchase of rolling stock should be carried out centrally so that rolling stock is acquired for all areas at the same time, even if there are differences between the units in driving power or suitability for different operating environments, for example. In this case, there would be no more than 2–3 different types of rolling stock units. The suitability of different rolling stock options for different urban areas must be examined in a separate follow-up survey. The report examines the organisation of commuter train services in urban areas where interest has arisen in it.

## Esipuhe

“Alueellisen junaliikenteen teknisen selvitys”-työn tavoitteena on muodostaa kuva markkinoilla olevasta kevyemmästä moottorijunakalustosta ja sen soveltamisesta Suomessa pienten ja keski suurten kaupunkiseutujen paikallisliikenteeseen. Viime vuosina useilla kaupunkiseuduilla on selvitetty alueellisen paikallisjuna- tai duoraitiotieliikenteen käynnistämistä. Paikallisjunaliikenteen kehittäminen on kirjattu liikenne- ja viestintäministeriön valmisteleman valtakunnalliseen liikennejärjestelmäsuunnitelman tammikuussa 2021 päivitettyyn luonnokseen erääksi rautatieliikenteen kehittämistavoitteeksi. Siten on ilmennyt tarvetta tarkastella saatavilla olevaa kalustoa ja muodostaa selkeä kokonaiskuva sen teknisistä käyttömahdollisuuksista valtion rataverkolla ja mahdollisesti sen ulkopuolella. Työn lopputuloksena esitetään kevyen moottorijunakaluston saatavuuden olevan hyvä.

Selvitys on tehty konsulttityönä Sweco Infra & Rail Oy:ssä Väyläviraston toimeksiannosta. Konsultin projektipäällikkönä on toiminut Tero Savolainen, ja työryhmään ovat kuuluneet Jouni Kiviniitty, Tomas Lönnngren ja Pasi Hölttä. Väylävirastossa työn ohjauksesta on vastanneet Maija Rekola ja Markku Nummelin, ja työhön ovat osallistuneet Hannu Heikkilä, Camilla Rand, Anna Saarlo ja Simo Toikkanen. Lisäksi projektin puitteissa järjestettyihin työpajoihin on osallistunut Aarne Alameri Turun yliopistosta.

Helsingissä maaliskuussa 2021

Väylävirasto  
Liikenne ja maankäyttö



# Sisältö

MÄÄRITELMIÄ .....	9
1 JOHDANTO .....	11
1.1 Työn taustat ja tavoitteet .....	11
1.2 Johdanto kevyempään rautatiekalustoon .....	13
1.2.1 Rataverkolla pelkästään liikkuva kalusto .....	13
1.2.2 Rataverkolla pääsääntöisesti, mutta vähäisessä määrin sen ulkopuolella liikkuva kevyempi kalusto .....	14
1.2.3 Rataverkolla ja sen ulkopuolella liikennöivä kevytkalusto .....	15
2 KALUSTO .....	17
2.1 Johdanto kevyiden moottorivaunujen ominaisuuksiin .....	17
2.2 Kaluston käyttövoima .....	19
2.2.1 Sähkomoottorijunakalusto .....	19
2.2.2 Dieselmoottorijunakalusto .....	26
2.2.3 Vetykäyttöinen kalusto .....	27
2.2.4 Akkukäyttöinen kalusto .....	28
2.2.5 Hybridikalusto .....	30
3 VAATIMUKSET RATAVERKOLLA .....	31
3.1 Infrastruktuuri .....	31
3.1.1 Aukean tilan ulottuma (ATU) .....	31
3.1.2 Matkustajalaiturit .....	32
3.1.3 Sähköistysjärjestelmä .....	33
3.1.4 Tankkauspaikat .....	34
3.2 Kalusto .....	35
3.2.1 Liikkuvan kaluston ulottuma (LKU) .....	35
3.2.2 Pyöräprofiilit .....	36
3.2.3 Törmäyslujuus .....	36
3.2.4 Turvalaitteet ja kulunvalvonta .....	37
3.2.5 Kaluston valvontalaitteet .....	38
3.2.6 Kytkimet .....	39
3.2.7 Kaluston hyväksyntäprosessi .....	39
4 VAATIMUKSET RATAVERKON ULKOPUOLELLA .....	41
4.1 Infrastruktuuri .....	41
4.1.1 Kiskoprofiilit .....	44
4.1.2 Kaarresäteet .....	44
4.1.3 Pysäkit .....	45
4.2 Kalusto .....	45
4.2.1 Pyöräprofiilit .....	45
4.2.2 Sähköistysjärjestelmä .....	46
4.2.3 Kulunvalvontajärjestelmä .....	46
5 PÄÄTELMÄT TEKNISISTÄ YKSITYISKOHDISTA .....	48
5.1 Kalustoyksiköiden saatavuus ja hankinta .....	48
5.2 Kalustoyksiköiden käyttövoima .....	49
5.3 Infrastruktuuri ja kalusto .....	50
5.3.1 Rataverkolla .....	50
5.3.2 Rataverkon ulkopuolella .....	50

---

5.4	Kaluston soveltuvuus eri kohteisiin.....	57
5.4.1	Kaluston käyttö pelkästään rataverkolla.....	57
5.4.2	Kaluston käyttö rataverkolla sekä kaupunkialueella.....	57
5.4.3	Kaluston käyttö rataverkolla sekä kaupunkiraitiotiellä (duoraitiovaunut) .....	58
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	60
	YHTEENVETO.....	63
	VIITTEET.....	65
	LÄHDELUETTELO.....	67

## Määritelmiä

**Akkukäyttöinen moottorivaunu tai akkumoottorijuna** on sähkökäyttöinen henkilöliikenteen moottorivaunu- tai moottorijuna, joka koostuu yhdestä tai useammasta moottorivaunusta ja/tai moottorivaunujen, välivaunujen ja ohjausvaunujen erilaisista yhdistelmistä. Sähköistämättömillä rataosuuksilla vaunu saa käyttövoimansa akkuihin ladatusta sähköstä. Sähköistetyllä rataosuudella yksikkö voi ottaa sähkövirran sähkömoottorivaunun tavoin ajojohdosta.

**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 liitotasavallan raitioteiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva asetus. Suomessa BOStrabilla ei ole juridista asemaa, mutta sitä on käytetty laajalti lähdeaineistona 2010-luvulla mm. Tampereen raitiotien ja Raide-Jokerin suunniteluohjeita laadittaessa.

Dieselmoottorivaunu on dieselmoottorilla varustettu moottorivaunu.

**Duoraitiovaunu eli raitiojuna** on kevyt, raitiovaunutyypinen moottorijunayksikkö. Se kykenee liikkumaan sekä valtion rataverkolla että sen ulkopuolella esimerkiksi kaupunkialueen raitiotieverkolla. Tavanomaisesti duoraitiovaunut ovat varustettu kahdella eri käyttövoimajärjestelmällä (esim. rataverkolla 25 kV 50 Hz vaihtovirralla ja kaupunkiraitiotieverkolla 750 V tasaverkolla).

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

**HSL.** Helsingin seudun liikenne- kuntayhtymä. Espoon, Helsingin, Kauniaisten, Keravan ja Vantaan kaupunkien sekä Kirkkonummen, Sipoon, Siuntion ja Tuusulan kuntien alueella toimiva toimivaltainen joukkoliikenneviranomaisen, jolla on laissa kirjattu oikeus suunnitella sekä järjestää lähijunaliikenne omalla toimivalta-alueellaan.

**Hybridikalustoksi** kutsutaan kahdella eri käyttövoimajärjestelmällä varustettua kalustoyksikköä eli veturia tai (moottori)vaunua. Hybridikaluston käyttövoimavaihtoehtoja voivat olla esim. sähkö- ja akku tai sähkö- ja diesel. Esimerkiksi sähköistetyllä radalla kalustoyksikkö ottaa käyttövoimansa ajojohdosta ja sähköistetyn radan ulkopuolella vaihtoehtoisesta voimanlähteestä.

**Kiskobussi** on yleensä tavanomaista moottorivaunua kevyempi ja kooltaan pienempi sähkö- tai dieselkäyttöinen moottorivaunu. Määritelmällisesti kiskobussin ja moottorivaunun välillä ei ole tarkkaa rajaa, vaan usein moottorivaunun ja kiskobussin termejä käytetään ristiin.

**Liikkuvan kaluston ulottumalla (LKU)** tarkoitetaan tilaa, jonka sisällä kaluston on pysyttävä.

**Matkustajalaituri.** Rauta- ja raitiotiellä pysäkkikoroke, josta matkustajat nousevat yksikön kyytiin. Nykyisin matkustajalaiturit mitoitetaan siten, että käytettävän kaluston lattia on laiturin tasalla.

**Monitoimitila** on kalustoyksikössä oleva avoin tila, jossa voidaan kuljettaa lastenvaunuja, pyörätuoleja ja polkupyöriä. Usein monitoimitilan reunoilla on taittoistuimet. Yksikön wc-tilat pyritään sijoittamaan monitoimitilan läheisyyteen.

**Moottorijuna** on yleensä kahdesta tai useammasta toisiinsa kiinteästi liitetystä vaunusta koostuva yksikkö. Kahden vaunun yksiköstä toinen on moottorivaunu ja toinen voi olla ohjausvaunu. Moottorijuna kulkee itsenäisesti, ts. se ei tarvitse veturia.

**Ohjaamo** on yleensä yksikön molemmissa päissä sijaitseva, matkustajilta suljettu tila, josta käsin junaa ohjataan. Ohjaamossa on kuljettajan työtila sekä yksikön keskeiset ohjaus- ja hallintalaitteet.

**Rataverkko** on valtion omistama rataverkko. Siihen sovelletaan EU:n ja kansallista rautatielainsäädäntöä. Suomessa valtion rataverkosta vastaa Väylävirasto. Rataverkon ulkopuolella ovat kaikki yksityisten tahojen omistamat raiteistot, myös Helsingin ja Tampereen raitiotieverkostot, Helsingin metro sekä teollisuuslaitosten ja satamien alueelle sijoittuvat raiteistot.

**Sähkömoottorijuna** on sähkökäyttöinen moottorijuna.

**Teli** on yleensä kahdesta akselista koostuva, yhdeksi kokonaisuudeksi rakennettu akselisto. Esimerkiksi vetureissa on usein kaksi teliä, joissa kummassakin on kaksi akselia.

**Traficom.** Liikenne- ja viestintävirasto.

**Urakiskolla** tarkoitetaan kiskoprofiilia, jossa on valmis ura rautatiekaluston pyöränlaipalle. Kiskon laippaura mahdollistaa kiskon upottamisen kadun tai muun päällysteen tasolle siten, että kiskon kulkupinnan alapuoliset osat ovat rakenteen sisällä. Urakiskoja käytetään usein raitioteillä kaupunkialueella. Myös rautateillä voi olla urakiskoilla varustettuja osuuksia esimerkiksi satamien ja teollisuuslaitosten purkausalueilla.

**VR Group.** Yksi Suomen rautateiden henkilö- ja tavaraliikenteestä vastaavista operaattoreista.

**Väylävirasto.** Liikenne- ja viestintäministeriön alaisuudessa toimiva valtion virasto. Sen tehtävänä on vastata Suomen maantie- ja rautatieverkostosta sekä vesiväylistä.

**Yksikkö.** Kiskoilla liikkuva kalusto(yksikkö). Yksittäinen veturi, juna tai raitiovaunu muodostaa oman yksikkönsä.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn taustat ja tavoitteet

Tämän selvityksen tavoitteena on luoda yleisluonteinen katsaus alueellisen paikallisjunaliikenteen kalustoon ja sen tekniseen soveltuvuuteen Suomen pienten ja keskisuurten kaupunkiseutujen olosuhteisiin. Työssä ei oteta kantaa jonkin tietyn kalustotyypin soveltuvuuteen jollekin tietylle kaupunkiseudulle vaan selvitetään, millaista kalustoa on saatavilla ja miten se soveltuu voimassa olevan lainsäädännön puitteissa rataverkolle sekä sen ulkopuoliselle rataverkolle.

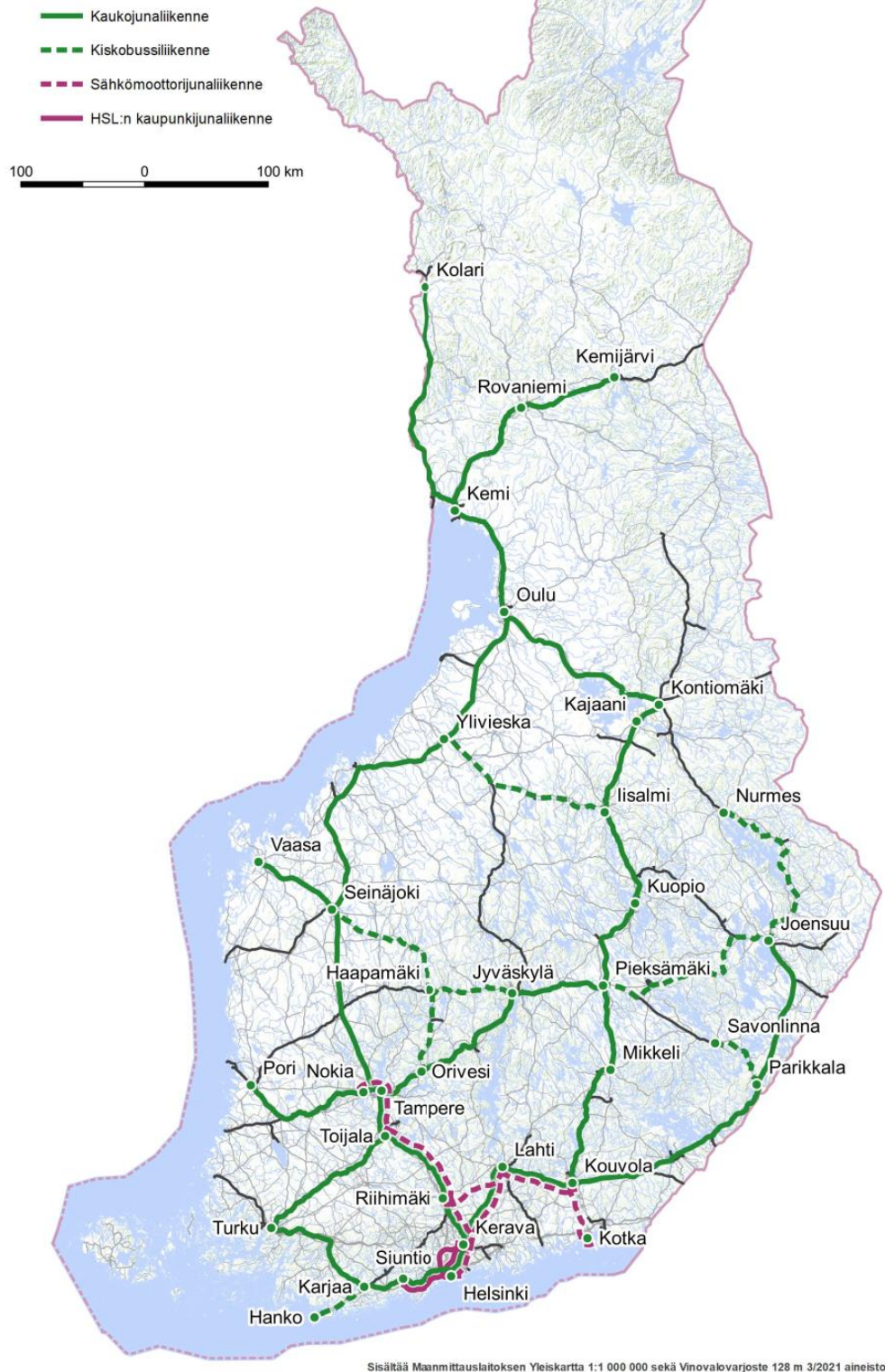
Suomessa laaditaan liikenne- ja viestintäministeriön johdolla valtakunnallista liikennejärjestelmäsuunnitelmaa vuosille 2021–2032. Suunnitelmasta on määrä päättyä keväällä 2021 ja se perustuu lakiin liikennejärjestelmästä sekä maanteistä. Liikennejärjestelmäsuunnitelmassa esitetään liikenteen nykytilaa ja toimintaympäristöä koskeva analyysi, vuoteen 2050 asti ulottuva visio liikenteen kehittämisestä ja liikennejärjestelmäsuunnitelmaa koskevat tavoitteet. Suunnitelma sisältää toimenpideohjelman. Toimenpideohjelmassa esitetään valtion ja kuntien toimenpiteitä sekä rahoitusohjelma. Tässä Liikenne 12-suunnitelmaksi nimetyssä toimenpidesuunnitelmassa selvitetään kattavasti rautatieliikenteen nykytilaa ja analysoidaan sen tulevaisuutta. Siinä todetaan monella kaupunkiseudulla olevan tavoitteena lähijunaliikenteen kehittäminen. Ratainfrastruktuurin osalta keskeisiä kysymyksiä ovat ratakapasiteetin riittävyys sekä uusien seisakkeiden rakentaminen. Liikenne 12-suunnitelma liittyy osaltaan suurempaan strategiseen, hallitusohjelmassa määriteltyyn kokonaisuuteen, ja sitä tehdään yhdessä Väyläviraston ja liikenne- ja viestintävirasto Traficomien kanssa /1/.

Vuoden 2021 alussa Suomessa oli tunnistettavissa kolmentyyppistä paikallisjunaliikennettä:

- HSL-alueen tiheävuoroinen kaupunkijunaliikenne
- Etelä-Suomen taajamajunaliikenne sekä Tampereen seudun lähijunaliikenne
- Kaukoliikenteen runkoyhteyksiä täydentävä, kiskobusseihin hoidettava henkilöliikenne, jolla on myös paikallisliikenteen rooli

HSL-alueen kaupunkijunaliikenne, Etelä-Suomen taajamajunaliikenne sekä Tampereen seudun lähijunaliikenne hoidetaan sähkömoottorijunin, muu liikenne dieselmoottorivaunuin. Kuvassa 1 esitetään Suomen paikallisjunaliikenne alkuvuoden 2021 tilanteessa.

### Henkilöliikenne Suomen rataverkolla vuonna 2021



Kuva 1.

Suomen rataverkon henkilöliikenne kalustotyypeittäin luokiteltuna vuonna 2021.

Useilla alueilla eri puolilla maata on tehty selvityksiä paikallisjunaliikenteen käynnistämiseksi. Eritasoisissa selvityksissä on tarkasteltu sekä perinteistä, rataverkolla ajettavaa paikallisjunaliikennettä, että Keski-Euroopassa monilla kaupunkiseuduilla yleistä sekamallia. Jälkimmäisessä mallissa kevyemmällä kalustoyksiköillä liikennöidään sekä rataverkolla että kaupunkien raitiotieverkostoilla. Jälkimmäisen *duoraitiotieksi* kutsutun järjestelmän etuna on suora yhteys kaupunkiseudun laidoilta kaupunkikeskukseen.

Eri alueilla tehtyjen selvitysten perusteella Suomessa on tunnistettu tarve kevyemmällä moottorivaunukalustolla hoidetulle liikenteelle. HSL-alueen kaupunkijunaliikenne on suunniteltu palvelemaan alueen sisäisenä runkolinjajärjestelmänä ja sellaisenaan se on eurooppalaisessa mittakaavassakin varsin järeä. Etelä-Suomen taajamajunaliikenne taas palvelee radan varren taajamia, mutta toisaalta henkilökaukoliikenteen jatkoyhteyksinä. Muu pääsääntöisesti dieselmoottorivaunuin hoidettava taajamajunaliikenne on luonteeltaan vähäliikenteisten ratojen kaukoliikennettä ja se palvelee useimmiten kaukojunavuorojen jatkoyhteyksinä ja niitä täydentävänä palveluna. Siten varsinainen, pelkästään kaupunkiseutujen tai maakuntien sisäistä liikennettä palveleva paikallisjunaliikenne puuttuu Suomesta – ehkä Tampereen seutua ja Kymenlaaksoa lukuun ottamatta. Molemmissa tapauksissakin paikallisjunaliikenne on luonteeltaan muuta liikennettä täydentävää ja suunniteltu työmatkaliikenteen tarpeisiin.

Teknisen toimivuuden perusteella nyt selvitettävä kalusto voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Rataverkolla liikennöivät, nykyisin käytössä olevaa moottorivaunukalustoa kevyemmät yksiköt
- Rataverkolla liikennöivät, nykyisin käytössä olevaa moottorivaunukalustoa kevyemmät yksiköt, jotka kykenevät liikennöimään lyhyitä matkoja rataverkon ulkopuolella
- Sekä rataverkolla että kaupunkiseudun rataverkolla liikennöivä raitiovaunuihin perustuva kevytkalusto

Kaikkien edellä olevaan kolmeen luokkaan luokitellun kaluston tulee kyetä liikennöimään rataverkolla. Käytössä voisi siis olla esimerkiksi kalustoa, jossa rataverkolla ajetaan vaihtovirralla ja lyhyellä kaupunkialueella sijaitsevalla osuudella akuista saatavalla sähkövirralla tai dieselmoottorilla.

## 1.2 Johdanto kevyempään rautatiekalustoon

Aiemmin todettiin kevyen junakaluston jakautuvan kolmeen luokkaan: pelkästään rataverkolla liikkuva kalusto, enimmäkseen rataverkolla, mutta vähäisessä määrin sen ulkopuolella liikkuva kevyempi kalusto ja rataverkolla sekä sen ulkopuolella liikkuva kevytkalusto, ml. duoraitiovaunut.

### 1.2.1 Rataverkolla pelkästään liikkuva kalusto

Rataverkolla liikennöivä kevytkalusto on perinteisesti koostunut kiskobusseista tai kevyistä moottorivaunuista. Yleensä kevyet moottorivaunut koostuvat 2–3 moduulista, kun taas kiskobussi on yleensä yksittäinen yksikkö. Matkustajakapasiteetin lisäämiseksi kiskobussi- ja moottorivaunuyksiköitä voidaan liittää

useita peräkkäin. Kevyitä moottorivaunuja käytetään yleensä pienien tai keski-suurten kaupunkien paikallisliikenteessä sekä vähäliikenteisillä radoilla taajamajunatyypissä liikenteessä. Kevyen moottorivaunun käyttövoima vaihtelee: sähköistetyillä rataosuuksilla käytetään sähkömoottorivaunuja, sähköistämättömillä rataosuuksilla vielä toistaiseksi dieselmoottorivaunuja. Kuvassa 2 havainnollistetaan kevyttä moottorivaunua.



Kuva 2. *Stadler Rail AG:n valmistama kolmimoduulinen, 40 m pitkä dieselmoottorivaunu Berliinissä. Yksiköstä on saatavilla myös sähkömoottorilla kulkeva versio. Kuva: Jouni Kiviniitty. Berliini, 20.9.2018.*

### 1.2.2 Rataverkolla pääsääntöisesti, mutta vähäisessä määrin sen ulkopuolella liikkuva kevyempi kalusto

Pelkästään rataverkolla liikennöivän kaluston ja duoraitiovaunujen väliin voidaan sijoittaa kolmaskin kevytkalustotyyppi. Tälle tyyppille ei ole vakiintunut suomenkielistä nimeä, mutta tällaista kevytkalustoa on Keski-Euroopassa, etenkin Sveitsissä ja Itävallassa yleisesti käytössä. Sen ominaispiirteisiin voi kuulua lyhyehköjä urakiskolla toteutettuja katurataosuuksia taajamissa, mutta niiden ulkopuolella kalusto kulkee rataverkolla tai katuverkosta erillisellä radalla. Esimerkkejä tällaisista ratkaisuista ovat Saksan Zwickaussa kehitetty ns. "Zwickauin malli" sekä Sveitsin ja Itävallan useat paikallisradat (Lokalbahn). "Zwickauin mallissa" Saksan liittotasavallan rataverkolla kulkevat tavanomaiset kiskobussit ajavat samaa ratalinjaa kaupungin raitiovaunujen kanssa. Raidelevyseron vuoksi osuudelle on toteutettu lyhyt n. 1,5 km pitkä kolmikiskoinen osuus. "Zwickauin malli" tai paikallisradat eivät muodosta taajamissa raitiotieverkkoa vaan niiden päätepiste on usein jossain keskeisessä paikassa kaupungin keskustassa tai rautatieasemalla /2/. Kuvassa 3 esitetään esimerkki Zwickaussa käytettävästä kiskobussikalustosta.





Kuva 3. Adtranzin (myöhemmin Stadler Rail AG:n) RegioShuttle-dieselmoottori-vaunu Zwackaun keskustassa Saksassa. Pääsääntöisesti liittotasavallan rataverkolla kulkevat kiskobussit ajavat lyhyttä, noin 1,5 km pitkää katuosuutta Zwackaun keskustaan. Samassa rataa kulkevat myös Zwackaun raitiovaunut. Kiskobussit käyttävät normaalia 1435 mm raideleveyttä, kun taas Zwackaun raitioteillä raideleveys on 1000 mm. Yhteinen osuus on tästä syystä kolmikiskoinen. Yhteisiä pysäkkejä on vain kaksi; Zentrum ja Stadthalle, joiden lisäksi yhteisellä osuudella on kaksi pelkästään raitiovaunujen käyttämää pysäkkiä. Matkustajalaiturit eivät ole esteetömiä. Kuva: Jouni Kiviniitty. Zwackau, 19.6.2018.

Joissakin tapauksissa kevytkalustoa käytetään rataverkosta kokonaan erillisellä järjestelmällä. Usein näiden järjestelmien raideleveys poikkeaa rataverkon raideleveydestä ollen 750–1524 mm. Verkosto voi olla laajakin. Esimerkkejä tällaisista kokonaan rataverkon ulkopuolisista kevytkalustoa käyttävistä järjestelmistä on edellä käsiteltyjen Sveitsin ja Itävallan esimerkkien lisäksi mm. Tukholman läänin alueella oleva laaja Roslagsbananin kapearaiteinen verkosto (raideleveys 891 mm).

### 1.2.3 Rataverkolla ja sen ulkopuolella liikennöivä kevytkalusto

Rataverkolla ja sen ulkopuolella liikennöivä kevytkalusto on yleensä raitiovaunutyypisiä moottorivaunuja. Tunnetuin esimerkki on Saksan Karlsruhe, jossa sekä liittotasavallan rataverkolla että kaupungin raitiotieverkolla kulkeva kalusto otettiin käyttöön vuonna 1992. Karlsruheissa kahden teknisesti erilaisen verkoston yhdistämistä helpotti sama, 1435 mm raideleveys, mutta sähköistysjärjestelmä ja matkustajalaiturien korkeudet jouduttiin sovittamaan yhtenäiseksi. Käytännössä tämä tarkoitti raitiovaunukaluston sopeuttamista rataverkon vaatimuksiin. Karlsruhen esimerkki on herättänyt laajaa kiinnostusta eri puolilla Eurooppaa ja vastaavanlaisia järjestelmiä on avattu myöhemmin mm. Saksan Saarbrückeniin, Kasseliin ja Chemnitziin, Ranskan Mulhouseen ja Nanteisiin, Espanjan Alacantiin, Englannin Sheffieldiin sekä Tanskan Aarhusiin. Lisäksi

järjestelmiä on suunnitteilla moneen muuhun Euroopan kaupunkiin. Kuvassa 4 esitetään Saksan Karlsruheessa käytössä oleva duoraitiovaunu.



*Kuva 4. Duoraitiovaunu kulkee kahdella eri sähköistysjärjestelmällä. Kuvassa oleva DUEWAGin, Siemensin, Adtranzin ja Bombardierin valmistama GT8-100D/25-M-sarjan duoraitiovaunu voi kulkea sekä raitiotieverkolla 750 V tasavirralla, että Saksan rataverkolla 15 kV 16,7 Hz:n vaihtovirralla. Kuva: Jouni Kiviniitty, Karlsruhe, 12.6.2018.*

Kevyiden moottorivaunujen ja duoraitiovaunujen hyvänä puolena on pidetty suorien yhteyksien muodostamista keskuskaupungin ja sitä ympäröivien alueiden sekä kaupunkien välillä: kevyillä kalustoyksiköillä voidaan liikennöidä hyvin pitkälle keskuskaupungin ulkopuolelle. Toisaalta etenkin duoraitiovaunuilla voidaan hoitaa yhteydet kaupunkien keskustoihin sekä niiden ulkopuolella sijaitseviin keskeisiin kohteisiin, kuten työpaikka-alueille.

Duoraitiotie on käsitteenä moniulotteinen. Sillä viitataan yleensä kahta eri sähköistysjärjestelmää käyttävään sähkömoottorivaunuun, mutta eri paikkakunnilla voi olla käytössä erilaista hybridikalustoa (esim. Chemnitz) tai koko verkostolla käytetään tasavirtaa (esim. Aarhus). Lähellä duoraitiotieitä ovat lisäksi varsinaisten raitiotieverkkojen pitkät, maaseutumaiset esikaupunkiradat tai jopa kaupungeja yhdistävät, lainsäädännönkin näkökulmasta rautateiksi luokitellut radat, jotka ovat kuitenkin erillisiä rataverkkoja, ja joilla ei välttämättä ole yhteyttä rataverkkoon. Esimerkki tällaisesta järjestelmästä on Saksassa Rhein-Neckar-Verkehr GmbH:n toimivalta-alueella oleva raitiovaunuin liikennöitävä rataverkkokokonaisuus, joka koostuu Mannheimin, Ludwigshafenin ja Heidelbergin raitiotieverkoista sekä näitä yhdistävistä aiempien OEG:n (Oberrheinische Eisenbahn-Gesellschaft Aktiengesellschaft Mannheim) ja RHB:n (Rhein-Haardt-bahn) radoista. Tästä laajasta 1000 mm raidelevyden rataverkosta merkittävä osa on lainsäädännöllisesti luokiteltu rautatieksi.

## 2 Kalusto

Tässä luvussa tarkastellaan saatavilla olevaa moottorivaunukalustoa. Lähtökohtana on ollut kaluston luokittelu käyttövoiman perusteella eri alakategorioihin. Esillä ovat tällä hetkellä yleisimmät käyttövoimat, kuten sähkö ja dieselmoottori, mutta etenkin vetykäyttöinen kalusto on 2010-luvun loppupuolelta alkaen herättänyt laajaa kiinnostusta eri puolilla Eurooppaa. Luku on jaettu kahteen eri osakokonaisuuteen: ensimmäisessä osakokonaisuudessa tarkastellaan kevyiden moottorivaunujen sekä yleensäkin modernin kiskoliikennekaluston ominaisuuksia ja toisessa osakokonaisuudessa kalustoa käyttövoiman näkökulmasta. Tavoitteena on esitellä kunkin kaluston ominaispiirteitä ja soveltuvuutta erilaisiin ympäristöihin.

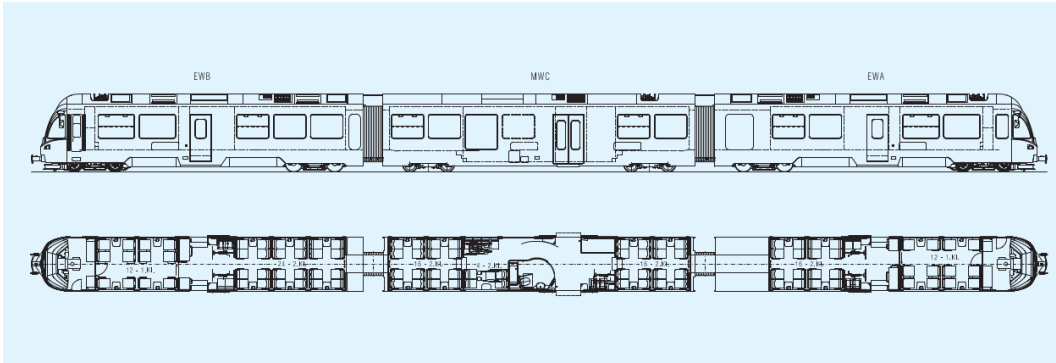
Kalustoa hankittaessa tulee huomioida, että taloudellisimpaan ratkaisuun päädytään, mikäli koko maassa on käytössä mahdollisimman yhtenäinen kalusto. Tällöin kalusto voidaan hankkia yhteishankintana, jolloin yksittäisen kalustoyksikön hankintakustannus on edullisempi. Lisäksi kunnossapidossa ja huollossa saavutetaan taloudellisia hyötyjä, kun yksi taho voi vastata huolloista ja kunnossapidosta. Kalustoa voidaan myös tarvittaessa siirtää eri alueelta toiselle. Tämä ei kuitenkaan edellytä käyttövoimaltaan tai teknisiltä ominaisuuksiltaan yhtenäistä kalustoa vaan erilaisia kalustotyyppejä voisi olla 2–3 eri alueiden tarpeiden ja ominaispiirteiden mukaan.

### 2.1 Johdanto kevyiden moottorivaunujen ominaisuuksiin

Paikallisjunaliikenteessä käytetään yleensä kaukoliikennekalustoa kevyempiä moottorijunia. Pysähdyksiä on tiheämmin kuin kaukojunilla ja pysähdysajat lyhyemmät. Matkustajamäärät voivat olla tärkeimmillä pysähdyspaikoilla suuret. Paikallisjunakalustossa on lähtökohtaisesti ohjaamo yksikön molemmissa päissä – näin nopeutetaan kääntöaikoja pääteasemilla ja vältetään veturin siirtoajo matkustajajunarungon päästä toiseen. Yksiköt koostuvat useimmiten 2–5 moduulista sekä tarvittaessa useampia yksikköjä voidaan ajaa yhteisajossa. Junayksiköiden pituus sekä määrä valitaan tapaus- ja kellonaikakohtaisesti linjan matkustajakysynnän mukaan. Suurilla kaupunkiseuduilla yhden yksikön pituus voi olla esimerkiksi 4–6 moduulia. Yksikkö koostuu tapauskohtaisesti moottori- ja/tai ohjaus- ja väливаunuista, jotka ovat kiinteästi liitetty toisiinsa. Viime vuosina suurilla kaupunkiseuduilla pyrkimyksenä on ollut siirtyminen aiempaa pidempään kalustoon. Näin säästetään henkilöstökustannuksissa: yhdellä yksiköllä voidaan ajaa suuri osa päivästä, vain ruuhka-aikoina tarvetta saattaa olla kahden tai useamman yksikön yhteisajoon.

Pienemmillä kaupunkiseuduilla periaate on pitkälti sama: tavoitteena on valita kalustokooltaan linjan kuormitukseen vastaava kalustokoko, esimerkiksi 2–4 moduulin mittaiset yksiköt. Myös lyhyitä 1–2 moduulin kiskobusseja on saatavilla vähemmän kapasiteettitarpeen yhteysväleille. Yksikön pituus ja ominaisuudet vaihtelevat käyttötarpeen mukaisesti: kalustonvalmistajat tarjoavat eripituisia yksiköitä.

Modernin paikallisjunayksikön molemmissa päissä on ohjaamo. Esimerkiksi kolmen moduulin yksikössä molemmissa päädyissä on tilaa pidemmälle matkustavia varten ja keskimmaisessa moduulissa on monitoimitila lastenvaunuja ja polkupyöriä varten. Usein tähän keskimmaiseen moduuliin on sijoitettu wc-tilat. Kaksi päädyissä sijaitsevaa moduulia voivat olla korkeammalla kuin keskimäinen moduuli. Yksikkö on varustettu leveillä ovilla matkustajien nopean vaihtuvuuden edistämiseksi. Kuvassa 5 esitetään tyypillisen kolmesta moduulista koostuvan paikallisjunayksikön poikkileikkaus.



Kuva 5. Kevyen kolmimoduulisen sähkömoottorivaunun kaavakuva. Molemmissa päätymoduuleissa on tilat pidempään matkustavia varten, kun taas keskimäinen moduuli on varattu lastenvaunuja, polkupyöriä ja pyörätuolia varten. Tilassa on myös erillinen käymälä. Monitoimitilan istumapaikkamäärää voidaan lisätä taittoistuimin. Ovien lukumäärä voi vaihdella tarpeen mukaan. Perusratkaisu on usein sama, vaikka yksikön pituus tai käyttövoima vaihtelisikin. Kuvan yksikön on toimittanut Stadler Rail AG sveitsiläiselle Rätische Bahnille. Kuva: Stadler Rail AG.

Kuvassa 5 esitetyn sähkömoottorijunan kaavaa sovelletaan myös pidemmissä 4–6 rungon yksiköissä sekä toisaalta lyhyissä kiskobusseissa. Lyhyimmät kiskobussit voivat koostua kahden telin päällä olevasta yksiköstä (yksi vaunu), kun esimerkiksi kuvassa 5 esitetystä yksiköstä on kuusi teliä. Myös kiskobussin rakenne on samankaltainen: päädyissä on tilat pidempään matkustavia varten ja keskellä monitoimitila käymälöineen. Istumapaikkoja on vähemmän kuin 2–3 moduulista koostuvassa yksikössä. Eri valmistajien tarjoamat ratkaisut eivät yleensä merkittävästi eroa peruseräiteiltään toisistaan. Joissain tapauksissa ainut esteetön sisäänkäynti on yksikön keskimmaisessa moduulissa, jossa on myös monitoimitila. Päätymoduulien ovet eivät välttämättä ole kaikissa tilanteissa esteettömiä, etenkin laiturikorkeuksien poiketessa toisistaan eri liikennepaikoilla.

Moduuleista koostuvan junan läpi kulkeminen on mahdollista, mutta usein telit sijoittuvat junan lattiatasoa korkeammalle kahden moduulin yhtymäkohtaan. Vaikka itse juna onkin läpikuljettava, se ei välttämättä ole esteettömästi läpikuljettavissa. Esteettömyys voidaan ratkaista suunnittelemalla lattiasta kalteva, jolloin kahta tai kolmea porrasta ei tarvita telien kohdalle. Teliratkaisun määrittämä vaikuttaa, täyttääkö käytävän leveys esteettömyysvaatimukset  $\frac{1}{3}$ . Suomessa rataverkolla olevien risteysvaihteiden ja raideristeysten ohjauksettoman osuuden takia Sm5-junissa on päädytty ratkaisuun, jossa moduulien välillä on telien ylityksen takia pari porrasta. Muualla vastaavissa tilanteissa usein käytettyä luiskaa ei ole Suomessa toteutettu. Kaltevuus olisi liian jyrkkä ja aiheuttaisi lattian lisälämmitystarpeen talvella, jotta kengissä kantautuva lumi ja jää

voidaan sulattaa lattialta. Yleisesti luiska on esteettömyyden näkökulmasta kuitenkin parempi vaihtoehto, ja sen käyttömahdollisuus voidaan selvittää tapauskohtaisesti uutta kalustoa hankittaessa. Esteettömyysvaatimukset täyttyvät, jos yksikin yksikön moduuleista on esteetön, ja siinä on riittävät määritellyt esteettömät palvelut.

## 2.2 Kaluston käyttövoima

Tässä työssä tarkasteltavat kalustovaihtoehdot voidaan jakaa käyttövoiman perusteella viiteen pääluokkaan: sähkö- ja dieselmoottorivaunuihin, akku- ja vetikäyttöisiin vaunuihin sekä hybridivaunuihin. Sähkämoottorivaunut voidaan jakaa edelleen kahteen alakategoriaan: rataverkolla liikkuvaan, yleensä yhtä sähköistysjärjestelmää käyttävään kalustoon sekä katukelpoisiin, kahta eri sähköistysjärjestelmiä käyttäviin duoraitiovaunuihin.

### 2.2.1 Sähkämoottorijunakalusto

Sähkämoottorijuna on yleisin rautateiden paikallisliikenteessä käytetty kalustotyyppi. Käyttötarkoituksia on useita: sähkömoottorijunia voidaan käyttää nopeaan alueliikenteeseen tai hitaampaan, metromaiseen kaupunkijunaliikenteeseen. Pienemmillä ja kevyemmillä sähkömoottoriyksiköillä voidaan hoitaa sähköistettyjen, vähäliikenteisten ratojen liikenne. Kaikkein kevyimmät sähkömoottorijunayksiköt ovat rakenteeltaan jopa raitiovaunuja tai teknisesti hyvin lähellä niitä. Joissakin tapauksissa kevyet sähkömoottorijunayksiköt saattavat ajaa lyhyitä matkoja taajamien katuverkolla urakiskoradoilla. Esimerkkejä näistä kevyistä sähkömoottoriyksiköistä on löydettävissä esimerkiksi Sveitsistä ja Itävallasta. Näitäkin yksiköitä kevyemmät raitiovaunukalustoon perustuvat kalustoyksiköt liikennöivät sekä rataverkolla että kaupunkien raitiotieverkoilla. Rataverkolla sekä kaupunkien raitiotieverkolla liikennöiviä raitiovaunutyypistä kalustoa käytetään useilla kaupunkiseuduilla mm. Saksassa, Ranskassa, Britanniassa ja Espanjassa. Suomea lähin esimerkki on Tanskan Aarhus.

Suomessa tällä hetkellä käytössä olevat paikallisliikenteen sähkömoottorijunat voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan: HSL-alueen sisäiseen kaupunkijunaliikenteessä ja muussa Etelä-Suomen taajamajunaliikenteessä käytettäviin yksiköihin. HSL-alueen sisäinen kaupunkijunaliikenne hoidetaan kokonaisuudessaan Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan kaupunkien omistaman Junakalusto Oy:n Sm5-tyypin sähkömoottorijunin. Sveitsiläisen Stadler Rail AG:n valmistamia Flirt-tuoteperheeseen perustuvia Sm5-junia on käytössä 81 kappaletta. Kuvassa 6 esitetään Sm5-yksikkö.



*Kuva 6. Kaksi Junakalusto Oy:n omistamaa nelimoduulista Sm5-junayksikköä. Yksiköt perustuvat sveitsiläisen Stadler Rail AG:n valmistamaan Flirt-tuoteperheeseen, ja niitä on käytetty HSL-alueen sisäisessä kaupunkijunaliikenteessä vuodesta 2009. Yksiköitä on käytössä yhteensä 81 kappaletta. Kuva: Jouni Kiviniitty. Kauniainen, 11.6.2020.*

Etelä-Suomen taajamajunaliikenteessä käytetään kahta sähkömoottorijunatyyppeä. VR Group Oy omistaa 50 kappaletta Valmet-Strömbergin valmistamaa Sm2-tyyppin korkealattiaista junayksikköä ja 30 kappaletta espanjalaisen Construcciones y Auxiliar de Ferrocarrilesin (CAF) ja ranskalaisen Alstomin yhteistyössä valmistamaa Sm4-tyyppin matalalattiaista junayksikköä. Sm2-junista on tällä hetkellä käytössä 36 kappaletta ja VR Group Oy on ilmoittanut romuttavansa 14 Sm2-tyyppin junaa. Suomessa tällä hetkellä käytössä olevia sähkömoottorijunatyyppeiden teknisiä ominaisuuksia esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. Suomessa käytössä olevan sähköisen kaupunki- ja taajamajunakaluston teknisiä ominaisuuksia

	Sm2	Sm4	Sm5
Lukumäärä	50	30	81
Valmistumisvuosi	1975–1981	1998–1999, 2004–2005	2008–2017
Huippunopeus	120 km/h	160 km/h	160 km/h
Paino	77 t	114 t	132 t
Pituus	53 250 mm	54 000 mm	75 200 mm
Leveys	3 200 mm	3 240 mm	3 200 mm
Korkeus	3 900 mm	4 400 mm	4 400 mm
Pyörästö	Bo'Bo'+2'2'	Bo'2'+Bo'2'	Bo'2'2'2'Bo'
Pyörän halkaisija	920 mm	920 mm	860 mm (vetopyörät) 800 mm (juoksupyörät)
Suurin akselipaino	15,9 t	14,25 t	13,2 t
Lattiakorkeus	Korkealattiainen	Matalalattiainen	Matalalattiainen
Istumapaikkoja	200	192	232+28
Valmistaja	Valmet, Strömberg	CAF, Alstom, Fiat Ferroviaria	Stadler Rail AG

Taulukosta 1 havaitaan Suomessa tällä hetkellä käytössä olevan sähkömoottorijunakaluston soveltuvan kapasiteetiltaan sekä rakenteeltaan joko tiheävuoroi- seen kaupunkijunaliikenteeseen (Sm5) tai nopeaan harvojen pysähdysten alue- junaliikenteeseen (Sm2 ja Sm4). Kuvassa 7 esitetään Sm4-juna.



Kuva 7. CAFi:n, Fiat Ferroviarian ja Alstomin valmistamia Sm4-junia valmistettiin vuosina 1998–1999 sekä 2004–2005 yhteensä 30 kappaletta. Yksiköitä käytetään tällä hetkellä Etelä-Suomen taajamajunaliikenteessä sähköistetyillä rataosuksilla, erityisesti Helsingin ja Tampereen sekä Helsingin ja Lahden välisessä liikenteessä. Kuva: Jouni Kiviniitty. Tuusula, 21.2.2016.

Korkealattiainen Sm2-tyyppi ei täytä nykyisiä esteettömyysvaatimuksia. Sm2-tyypin junat ovat myös teknisesti laskennallisen käyttöikänsä (vähintään 40 vuotta) loppupäässä. Kuvassa 8 esitetään Sm2-juna.



Kuva 8. Valmet valmisti Sm2-junia vuosina 1975–1981 yhteensä 50 kappaletta. Yksiköitä käytetään tällä hetkellä Etelä-Suomen taajamajunaliikenteessä sähköistetyillä rataosuuksilla. Ne eivät ole esteettömiä. Kuva: Jouni Kiviniitty. Espoo, 17.3.2016.

Suurilta kansainvälisiltä kiskokalustovalmistajilta on saatavilla joko valmiita tai tilaajan käyttötarkoituksiin muokattuja kalustomalleja. Tehdyn selvityksen perusteella kalustonvalmistajat valmistavat erityisesti kaupunki- ja taajamajunakäyttöön suunniteltuja sähkömoottorijunia. Saatavilla on sekä yksi- että kaksikerroksisia yksiköitä. Kaluston huippunopeus vaihtelee 120–160 km/h, joskin enemmistö kalustosta on suunniteltu 160 km/h nopeudelle. Moni rataverkolle tarkoitettua rautatiekalustoa valmistava yritys valmistaa myös kevyempää kalustoa, kuten raitiovaunuja ja joissakin tapauksissa tilaajan toiveiden mukaisesti räätälöityä kalustoa. Yksittäiset kalustovalmistajat ovat valmiita tuottamaan pieniä kalustoeria yksittäiselle tilaajalle sen käyttötarpeita vastaamaan. Erityisesti erikoistarpeita on Keski-Euroopassa Sveitsissä lukuisilla kapearaiteisilla paikallisradoilla. Kuvassa 9 esitetään sveitsiläiselle Rhätische Bahnille tilaustyönä toimitettu kolmimoduulinen yksikkö.





Kuva 9. Stadler Rail AG:n sveitsiläiselle Rhätische Bahnille valmistama kolmi-moduulinen paikallisliikenteeseen tarkoitettu moottorijuna. Stadler Rail AG toimitti tilaajalle näitä sveitsiläiseen luokkaan luokiteltuja RhB ABe 8/12-tyypin junia yhteensä 15 kappaletta vuosina 2009–2010. Yksiköissä on yhteensä 114 istumapaikkaa ja niiden huippunopeus on 100 km/h. Raideleveys on kapea 1000 mm. Kuva: Markku Nummelin. Alp Grüm, 17.1.2020.

Kalustonvalmistajilla on tarjolla erilaisia käyttötarkoituksen mukaan muokattavia kalustotyyppejä. Tilaaja voi tarpeensa mukaan määrittellä esimerkiksi yksikön pituuden, leveyden, lattiakorkeuden, käyttövoiman, raideleveyden sekä muut tarvittavat ominaisuudet ja sisustuksen periaatteet. Esimerkiksi Stadler Rail AG:n Flirt-junista on saatavilla eri pituisia versioita eri raideleveyksille ja erilaisiin olosuhteisiin. Sama kalustotyyppi voidaan varustaa sähkö- tai dieselmoottorilla. Yksikkö voi kulkea myös vedyllä tai se voidaan varustaa akuilla. Perusulkonäkö ei poikkea suuresti toisistaan, mutta tekniset ratkaisut voivat olla hyvinkin erilaisia. Esimerkiksi Britanniassa on käytössä Siemensin Desiro-tuotemerkillä tuotettuja moottorijunia, jotka voivat käyttää sekä vaihto- että tasavirtaa ja dieselmoottoria. Kalustonvalmistajia esitellään taulukossa 2.

Taulukko 2. Kaupunki- ja taajamajunatyyppejä ja niiden valmistajia. Luetteloon on koottu joukko merkittävimpien kalustonvalmistajien tuotteita. Monesta perusmallista on saatavilla tilaajan toiveen mukaisia versioita. Tilaaja voi esimerkiksi määrittellä, haluaako sähkö- tai dieselmoottorijunan vai vetykäyttöistä kalustoa. Myös junayksikön pituus, leveys yms. tekniset yksityiskohdat määritellään tilauksessa.

Valmistaja	Junan markkinointinimi	Nopeus	Valmistusvuodet
Alstom	Coradia Continental	160 km/h	2008–
Alstom	Coradia LINT	120–140 km/h	1999–
Alstom	Coradia Nordic	160–180 km/h	2009–

Valmistaja	Junan markkinointinimi	Nopeus	Valmistusvuodet
Bombardier	Aventra	120–180 km/h	2015–
Bombardier	Talent 2	160 km/h	2008–2019
Siemens	Desiro	120–160 km/h	1999–
Siemens	Mireo	160–200 km/h	2018–
Škoda	7Ev	160 km/h	2011–
Stadler Rail AG	GTW	100–140 km/h	1996–2017
Stadler Rail AG	Flirt	120–200 km/h	2004–
Stadler Rail AG	Wink	140 km/h	2018–

### 2.2.1.1 Duoraitiovaunukalusto

Eräänä sähkömoottorijunakaluston alatyypinä on kahta eri virtajärjestelmää hyödyntävä duoraitiovaunu (saks. *Zweissystemstraßenbahn*, engl. *tram-train*). Se on teknisesti lähempänä raitiovaunua kuin kevyttä moottorivaunua. Saksankielisen nimensä mukaisesti duoraitiovaunu kykenee kulkemaan sekä rataverkolla että kaupunkien raitioverkolla. Duoraitiovaunujen pioneerikaupunki on lounaissaksalainen Karlsruhe, jossa duoraitioliikenne aloitettiin vuonna 1992 yhdistämällä kaupungin itäpuolelle johtava vähäliikenteinen ja tuolloin sähköistämätön rautatie Karlsruhen raitioverkkoon. Saman kaluston käyttäminen synnytti suurta kiinnostusta herättäneen konseptin. Sittemmin samaa konseptia on sovellettu eri muodoissaan monilla muillakin paikkakunnilla eri puolilla Eurooppaa. Vaunujen käyttövoima vaihtelee paikkakunnittain. Duoraitiojärjestelmät ovat siten jaettavissa kaluston käyttövoiman perusteella seuraavasti:

- Kaksivirtajärjestelmäkalusto kykenee liikkumaan sekä rataverkon 15 kV tai 25 kV sekä kaupunkiverkon 600–750 V jännitteellä
- Hybridikalusto liikennöi kaupunkialueella 600–750 V jännitteellä ja rataverkolla dieselmoottorilla
- Koko verkko – myös rataverkolle sijoittuvat osuudet – on sähköistetty pelkästään 600–750 V jännitteellä

Kaikissa edellä luetelluissa vaihtoehdoissa kalusto on luonteeltaan katukelpoisia raitiovaunuja tai hyvin lähellä niitä. Usein kalusto kulkee ainakin osittain rataverkon ohella kaupunkien raitiotieverkostoilla. Duoraitiovaunun määrittäminen on sikäli haastavaa, koska monien kaupunkiseutujen raitiotieverkkoihin sisältyy pitkiä, rautatietyyppisiä rataosuuksia, joilla saattaa olla vähäistä seudun ulkopuolelle johtavaa tavaraliikennettä. Monet näistä rataosuuksista voi olla juridisesti luokiteltu rautateiksi, vaikka ne olisivatkin osa suurempaa suljettua raitiotieverkkoa. Toisaalta esimerkiksi sveitsiläisillä kapearaiteisilla rautateillä käytetään hyvin lähellä duoraitiovaunuja olevaa kalustoa, ja radoilla voi olla urakiskolla varustettuja katurataosuuksia. Siten duoraitiotiellä tarkoitetaan tässä selvityksessä vain sellaista järjestelmää, jossa rataverkolta on säännöllisesti liikennöitävä yhteys sen ulkopuoliselle, kaupunkialueella sijaitsevalle raitioverkolle ja sillä käytettävää, molemmilla osaverkoilla liikennöimään kykenevää kalustoa.

Karlsruhessa tutkitaan tällä hetkellä mallia, jossa duoraitiovaunuilla kuljetettaisiin matkustajien lisäksi tavaraa. Seudun laaja raitioverkosto mahdollistaisi tavaroiden jakelu liikenteen. LogiKTram-projektissa selvitetään soveltuvatko nykyiset vaunut kuljettamaan matkustajien lisäksi tavaraa. Myöhemmin tehdään päätös, muokataanko nykyistä kalustoa vai kehitetäänkö kokonaan uutta kalustoa. Projektissa ovat mukana Karlsruhen teknillinen yliopisto KIT (Karlsruher

Institut für Technologie), liikenteestä vastaava operaattori AVG (Albtal-Verkehrs-Gesellschaft GmbH) ja informaatiotutkimuskeskus FZI (Forschungszentrum Informatik). Saksan liittotasavallan talous- ja energiaministeriö rahoittaa kolmivuotista projektia 2,75 miljoonalla eurolla /4/. Kuvassa 10 esitetään karlsruhelainen duoraitiovaunu.



*Kuva 10. Kaksi karlsruhelaista duoraitiovaunua. Vaunut kykenevät ajamaan sekä Saksan liittotasavallan rautatieverkolla 15 kV 16,7 Hz:n vaihtovirralla ja Karlsruhen raitioverkolla 750 V tasavirralla. DUEWAG:n, Siemensin, Adtranzin ja Bombardierin valmistamat GT8-100D/2S-M-tyypin vaunuja valmistettiin vuosina 1997–2005 yhteensä 86 kpl. Vaunuissa on 223 matkustajapaikkaa, joista sata istumapaikka. Huippunopeus on 100 km/h. Kuva: Jouni Kiviniitty. Karlsruhe, 11.6.2018.*

Duoraitiovaunut eroavat teknisesti hyvin vähän tavallisista katukelpoisista raitiovaunuista. Niiden huippunopeus vaihtelee 80–100 km/h välillä, kuitenkin siten, että huippunopeus on korkeintaan 100 km/h. Vaunujen tulee rataverkolla liikkeessään täyttää muullekin rautatiekalustolle asetetut vaatimukset: tämä koskee sekä kulunvalvontaa että vaunun törmäslujuutta. Vaunujen paino ei myöskään eroa kovin paljon katukelpoisesta raitiovaunusta; ne ovat kuitenkin riittävän painavia, jotta ne toimivat yhteen raidevirtapiirien kanssa. Vaunujen pituus on yleensä n. 36–40 m ja leveys 2,65 m, jotta ne voivat liikkua katuverkon pienisäteisissä kaarteissa sekä soveltuvat sekaliikennekaistoilla liikkumiseen. Vaunut ovat siten kapeampia kuin esimerkiksi Suomessa vain rataverkolla käytettävät vaunut. Istumapaikkoja yhdessä vaunussa on 80–100. Tarvittaessa vaunuja voidaan liittää toisiinsa kaksi, jolloin matkustajakapasiteetti kaksinkertaistuu.

## 2.2.2 Dieselmoottorijunakalusto

Dieselmoottorivaunuja käytetään sähköistämättömillä rataosilla. Yleensä dieselmoottorivaunuja käytetään paikallisliikenteeseen, mutta joissakin valtioissa, esimerkiksi Britanniassa ja Tanskassa dieselmoottorivaunuin hoidetaan myös pitkiä kaukojunatyyppejä yhteyksiä. Useissa Keski-Euroopan valtioissa dieselmoottorivaunuin hoidetaan sähköistämättömien sivuratojen liikenne; tällöin vuoroväli voi olla tiheähkö, 30–60 minuuttia ja vuorot on synkronoitu pääradan liikenteeseen, tai ne voivat palvella alueellista kokonaisuutta. Paikallis- ja alue-liikenteeseen tarkoitettujen dieselmoottorivaunujen huippunopeus on yleensä 120–140 km/h ja vaunukohtainen istumapaikkamäärä on noin 60 vaihdellen kalustonvalmistajittain. Uusimpia dieselmoottorivaunutyyppejä ovat mm. puolalaisen Pesan valmistamaan Link-perheeseen kuuluvat dieselmoottorijunayksiköt, Alstom Coradia LINT, Bombardier Talent ja Siemens Desiro /3/, /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /10/. Kuvassa 11 esitetään Siemens Desiro-dieselkäyttöinen moottorivaunu.



*Kuva 11. Siemens Desiro-tyypin dieselmoottorivaunu. Kalustoa käytetään sähköistämättömillä rataosilla alue- ja paikallisliikenteessä. Junia toimitettiin yhteensä 320 kpl useille eri operattoreille vuosina 1999–2010. Yksiköissä on yhteensä 110 istumapaikkaa ja saman verran seisomapaikkoja. Kokonaismatkustajakapasiteetti on 210 matkustajaa. Huippunopeus on 120 km/h. Kuva: Jouni Kiviniitty. Bad Schandau, 23.6.2018.*

Suomessa paikallisliikenteeseen käytettyjen dieselmoottorivaunujen kulta-aika oli 1950–1960-luvuilla, jolloin Dm7-tyypin dieselmoottorivaunuin eli ns. "lättähtäin" hoidettiin suuri osa koko maan paikallisjunaliikenteestä. Paikallisliikenteen vähentyminen ja rataverkon sähköistys 1960-luvun lopulta alkaen johti dieselmoottorivaunuin hoidetun liikenteen korvaamisen veturivetoisin junin sekä osittain sähkömoottorivaunuin. Pääosa Suomen paikallisjunaliikenteestä kuitenkin lakkautettiin kokonaan.

Suomessa on tällä hetkellä käytössä vain Dm12-tyyppin dieselmoottorivaunuja. Niitä hankittiin 16, mutta kalustoa on jo poistettu käytöstä vaurioitumisten takia. Niillä liikennöidään rataosuuksilla Karjaalta Hankoon, Tampereelta Oriveden ja Haapamäen kautta Seinäjoelle, Jyväskylästä Haapamäelle, Parikkalasta Savonlinnaan, Joensuusta Pieksämäelle ja Nurmekseen sekä lisälmesta Ylivieskaan. Luonteeltaan Suomen dieselmoottorivaunuliikenne on nopeaa henkilöjunaliikennettä täydentävää. Dm12-dieselmoottorivaunut on valmistettu vuosina 2004–2006 ČKD Vagonkan<sup>1</sup> tehtailla Tšekin tasavallassa. Niiden huippunopeus on 120 km/h ja niissä on 62 istumapaikkaa.

### 2.2.3 Vetykäyttöinen kalusto

Vuonna 2016 ranskalainen kalustovalmistaja Alstom esitteli Berliinin InnoTrans-messuilla ensimmäisen vetykäyttöisen matkustajajunan. Alueliikenteeseen tarkoitettu Alstomin Coradia iLint-juna aloitti säännöllisessä matkustajaliikenteessä Pohjois-Saksassa Niedersachsenin ja Bremenin osavaltioissa syksyllä 2018. Yhdellä tankkauksella junalla pystytään valmistajan ilmoituksen mukaan ajamaan 600–800 kilometriä huippunopeuden ollessa 140 km/h /5/. Kuvassa 12 esitetään Coradia iLint-juna.



Kuva 12. Alstomin valmistama Coradia iLint-vetykäyttöinen juna esiteltiin vuonna 2016 Berliinin InnoTrans-messuilla. Junia on sittemmin käytetty Saksassa koeliikenteessä. Valmistajan ilmoituksen mukaan vetykäyttöisellä kalustolla voidaan ajaa yhdellä tankkauksella jopa 600–800 km. Matkustajanäkökulmasta juna ei eroa muista Alstomin Coradia-tuoteperheeseen kuuluvista junista. Kuva: Alstom.

<sup>1</sup> Nykyään osa Škoda a. s.-konsernia

Vety tankataan yksikköön tankkauspaikalla samaan tapaan kuin dieselkäyttöisiin yksiköihin tankataan polttoainetta. Yksikössä olevalla polttokennolla vedystä ja hapesta tuotetaan sähköä, joka johdetaan edelleen sähkömoottoriin. Polttokennolla tuotettua sähköä voidaan varastoida myös akkuihin. Vetysäiliöt ja polttokennot on yleensä sijoitettu junan katolle. Sähkömoottori antaa yksikölle liikkumiseen tarvittavaa energiaa. Lopputuotteena syntyy vain vesihöyryä.

Saksan liittotasavallan rautatieyhtiö Deutsche Bahn AG ja Siemens Mobility solmivat loppuvuodesta 2020 yhteistyösopimuksen vetykäyttöisten junien ottamisesta käyttöön eteläisen Baden-Württembergin osavaltion aluejunaliikenteessä. Siemens lupaa Mireo Plus H-tyyppin kaksimoduulisille junille yhdellä vetytankkauksella 600 km ajon. Kolmen moduulin yksiköillä yhdellä vetytankkauksella voidaan ajaa jopa 1000 km. Yksiköiden tankkausta varten tarvittava vety valmistetaan elektrolyysillä Deutsche Bahnin DB Energien liikkuvalla täyttöasemalla Tübingenissä. Vesi jaetaan vedyksi ja hapeksi sähkövirralla ja paineistettuna vety varastoidaan liikutettavaan säiliöön, josta se siirretään yksiköihin. DB Energie kehittää ja järjestää tarvittavan infrastruktuurin. Tankkaus hoidetaan Deutsche Bahnin varikoille rakennettavilla tankkauspisteillä ja täyteen tankkaukseen tulee alustavien arvioiden mukaan kulumaan 15 minuuttia. Vetykäyttöiset junat on tarkoitus ottaa käyttöön Tübingenin, Horbin ja Pforzheimin välillä osuudella. Koeliikenteen on määrä alkaa vuoteen 2024 mennessä /11/.

Itävallassa Tirolin osavaltiossa 32 km pitkällä Zillertalbahnilla on suunniteltu otettavaksi käyttöön vetykäyttöistä kalustoa. Radalla käytetään harvinaista 760 mm raideleveyttä ja se on maailman ensimmäinen vetykäyttöistä kalustoa käyttävä kapearaiteinen rautatie. Sveitsiläiseltä Stadler AG:ltä on tilattu yhteensä viisi vedyllä kulkevaa yksikköä ja vetykäyttöisen henkilöliikenteen on määrä alkaa alkuvuodesta 2023. Junien nopeus on 80 km/h ja ne mahdollistavat matkajan lyhentämisen nykyisestä. Vedyn edulliseen paikalliseen tuotantoon on hyvä edellytykset: Zillertalissa on saatavilla runsaasti vesivoimalaitosten tuottamaa sähköä. Itse vety tuotetaan elektrolyysillä /12/.

Vetykäyttöisten junien tarkoituksena on korvata erityisesti sähköistämättömien, vähäliikenteisten sivuratojen aluejunaliikennettä. Mikäli vedyn tankkaus on helposti ja kohtalaisin kustannuksin järjestettävissä, on vetykäyttöinen kalusto jatkoselvittämisen arvoinen vaihtoehto toisaalta perinteiselle polttomoottorikäyttöiselle kalustolle, toisaalta taas yksittäisen rataosan sähköistämiselle. Vetykäyttöisten junien suurimpana haasteena on toistaiseksi vähäinen kokemus tekniikasta ja vedyn tuotantolaitoksen järjestäminen lähimmäs rautatietä. Lisäksi vedyn tuotanto kuluttaa runsaasti energiaa. Suurilla kalustonvalmistajilla on kuitenkin lisääntynyt kiinnostus vetykäyttöistä kalustoa kohtaan ja esimerkiksi Alstom Coradia iLint-sarjaan kuuluvia vetykäyttöisiä junia on suunniteltu toimitettavaksi useisiin eri Saksan osavaltioihin sekä Itävaltaan /5/.

#### 2.2.4 Akkukäyttöinen kalusto

Rautatieliikenteessä akkukäyttöiset junat eivät ole toistaiseksi yleistyneet kovin suuressa määrin. Tarjolla olevasta akkukäyttöisestä kalustosta suuri osa on varustettu kattovirroittimella, jolloin sähköistetyillä sähköistetyillä rataosuudella junat ajavat ajolangasta otetulla sähkövirralla. Siten on siis tulkintakysymys, onko nykyinen akkukäyttöinen kalusto luokiteltavissa käyttövoiman perusteella omaksi erilliseksi luokakseen vai hybridikalustoksi.

Suurista kalustonvalmistajista ainakin Alstom, Bombardier ja Siemens ovat valmistaneet akkukäyttöisiä junia. Alstomin kolmimoduulisia Coradia Continental-junia on tilattu itäiseen Saksaan. Näissä 56 metriä pitkiä yksiköissä on istumapaikkoja 150 ja niiden huippunopeus on 160 km/h. Valmistaja ilmoittaa, että yhdellä latauksella voi ajaa 80 kilometrin mittaisen osuuden Chemnitzistä Leipzigiin. Siemensin valmistamia akkukäyttöisiä Mireo Plus B-junia on tilattu Etelä-Saksan Baden-Württembergin osavaltioon ja ne on tarkoitus ottaa käyttöön vuonna 2023. Bombardier on tuonut markkinoille Talent 3-junan. Koejunien toimintasäde yhdellä latauksella on kuitenkin vain 40 kilometriä; sarjajunille yhdellä latauksella luvataan päästävän jopa 100 kilometriin. Lataus voidaan suorittaa joko erillisessä latauspisteessä tai ajolangan alla ajettaessa – molemmissa tapauksissa latausajaksi luvataan 10 minuuttia. Talent 3-junia on kokeiltu vuodesta 2019 alkaen Saksassa Baden-Württembergissa Stuttgartin alue liikenteessä. Kaikki tässä mainitut esimerkit on varustettu tavallisella kattovirroittimella ja ne voivat ajaa myös tavallisella ajojohtojärjestelmällä sähköistetyllä radalla. Akkukäyttöisyys on täydentävä ja sähköistämättömiä rataosuuksia varten suunniteltuja /3/, /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /10/. Kuvassa 13 Siemensin akkukäyttöinen Mireo Plus B-yksikkö.



*Kuva 13. Siemensin valmistama Mireo Plus B-moottorijunayksikkö on varustettu kattovirroittimen lisäksi akuilla ja se voi kulkea sähköistämättömillä rataosuuksilla. Valmistaja lupaa sarjavalvisteisten junien kulkevan yhdellä latauksella 100 km. Samasta junasta on saatavissa myös vetykäyttöinen versio. Kuva: Siemens.*

Akkutekniikan käytön rautatieliikenteessä voi kuitenkin olettaa lähivuosina yleistyvän, vaikka kalustovalmistajien tarjonta on vielä toistaiseksi vähäistä. Kaupunkiliikenteessä linja-autojen käyttövoima on muuttunut nopeasti muuttamassa vuodessa polttomoottorista sähkömoottoriin ja tahdin ennakoitaan kiihtyvän lähivuosina. Pelkästään Helsingin seudulla sähköbussuja oli alkuvuodesta 2021 käytössä kymmeniä kappaleita. Liikenteen tilaajaviranomaisen (HSL) tavoitteena on lisätä sähköbussien lukumäärää lähivuosina merkittävästi. Kaupunkiliikenteessä akkukäyttöisiä raitiovaunuja on käytössä useissa kaupungeissa mm. Kiinan kansantasavallassa.

Rautatieliikenteessä akkukäyttöisen kaluston käyttö edellyttäisi ainakin pidemmillä matkoilla pikalatauspaikkojen rakentamista väliasemille tai yksittäisiä sähköistettyjä osuuksia latausta varten. Akkutekniikka kehittyy kuitenkin nopeasti: vaikka tällä hetkellä akkukäyttöisen moottorivaunujen käyttöaste on matala ja saatavuus näyttää vähäiseltä tilanteen voi odottaa muuttuvan nopeasti ja akkujen syrjäyttävän dieselmoottorivaunut aikaa myöten kokonaan.

### 2.2.5 Hybridikalusto

Hybridikalustolla tarkoitetaan kahta eri käyttövoimaa hyödyntävää vaunua. Hybridivaunut on varustettu esimerkiksi sähkö- ja dieselmoottorilla, jolloin vaunu käyttää sähköistetyllä rataosuudella sähköä ja sähköistämättömällä rataosuudella dieselmoottoria. Joissakin tapauksissa hybridivaunuja voidaan käyttää tapauksissa, joissa samalla kalustolla on tarvetta liikennöidä kahdella eri sähköistysjärjestelmällä sähköistetyillä rataosuuksilla. Suomessa tällaista tarvetta ei kuitenkaan ole. Hybridivaunujen dieselmoottori korvautunee jatkossa esimerkiksi akuilla.

Hybridikalustoa on saatavissa kevyempinä, raitiovaunutyypeissä versioina. Tällaisissa tapauksissa hybridikalusto luetaan useimmiten kuuluvaksi samaan luokkaan duoraitiovaunujen kanssa, vaikka ne eivät niitä termin puhtausoppisessa merkityksessä olekaan. Kuten luvussa 2.2.1.1 todettiin, viitataan termillä "duoraitiovaunu" usein Saksan Karlsruhessa ja eräissä muissa kaupungeissa käytössä olevaan, kahdella eri sähköistysjärjestelmällä liikennöivään raitiovaunukalustoon, kun taas hybridikalusto käyttää useimmiten kaupunkialueella 600–750 V tasavirtaa ja rataverkolla dieselmoottoria. Hybridikalustoa on käytössä mm. Saksan Chemnitzissä ja Kasselissa, ja käyttöönotto suunnitteilla Unkarin Szegedissä /3/.



## 3 Vaatimukset rataverkolla

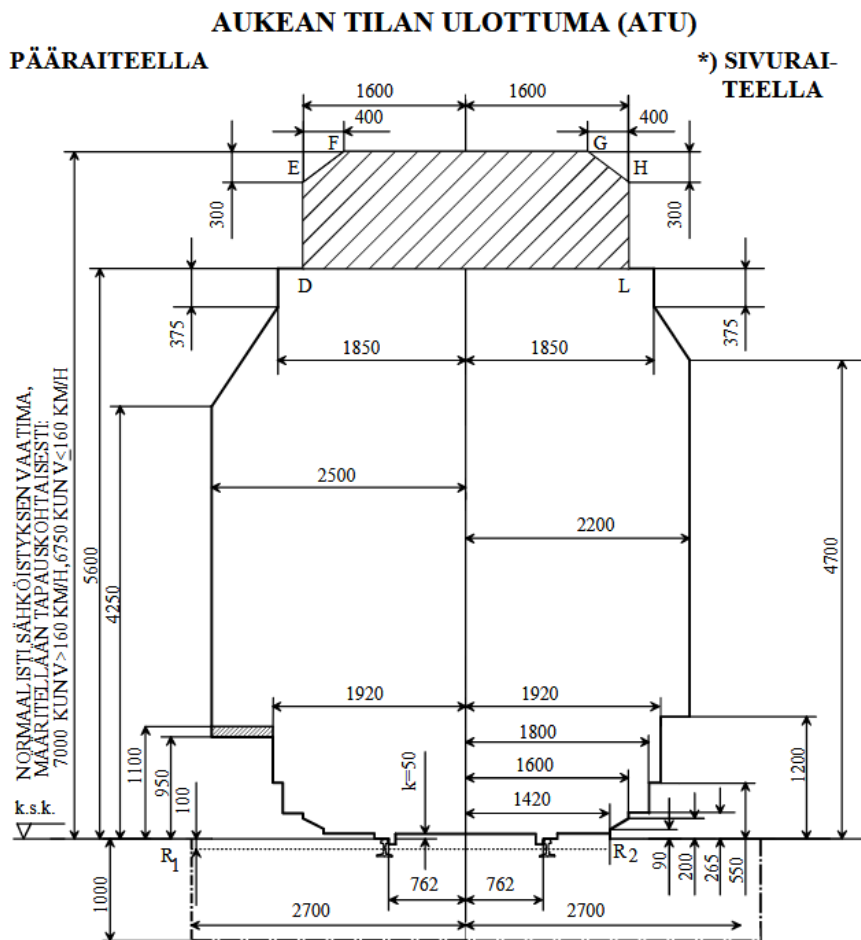
Tässä luvussa tarkastellaan rataverkolla liikkuvalle kalustolle asetettuja vaatimuksia. Rataverkolla tapahtuva liikenne on tarkoin juridisesti säädeltyä. Sitä koskee EU:n rautatiedirektiivi ja sille alisteiset asetukset sekä kansallinen lain-säädäntö. Säädökset koskevat niin infrastruktuuria kuin kalustoakin.

### 3.1 Infrastruktuuri

#### 3.1.1 Aukean tilan ulottuma (ATU)

Aukean tilan ulottuma (ATU) määrittää radalla olevan liikkuvan kaluston kulkuaukon. Sen sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita tai laitteita. Esimerkiksi sähköistetyllä radalla ATUn sisäpuolella ei saa olla ajojohtiminen kannatinpylväitä tai turvalaitekaappeja. ATUn sisäpuolella noudatetaan liikkuvan kaluston ulottumaa eli LKU:ta. Liikkuvan kaluston ulottuma määrittelee tilan, jonka sisäpuolella kaluston on kaikissa tilanteissa pysyttävä. Se määritellään tilanteelle, jossa kalusto seisoo suoralla raiteella paikoillaan.

Rataverkolla käytettävä ATU mittoineen esitetään Ratateknisten ohjeiden 2. osassa "Radan geometria". Sen lukuarvoja havainnollistetaan kuvassa 14. Kuvasta voidaan havaita ATUn 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 /13/.



Kuva 14. Rataverkolla käytettävä aukean tilan ulottuma mittoineen Väyläviraston ratateknisten ohjeiden 2. osan "Radan geometria" mukaan. Kuvan mitat ovat millimetrejä /13/.

### 3.1.2 Matkustajalaiturit

Matkustajalaiturien korkeuksista säädetään EU:n asetuksen EU 1299/2014 kohdassa 4.2.9.2 ja etäisyydestä raiteesta kohdassa 4.2.9.3. Asetuksessa todetaan, että matkustajalaiturin korkeuden on oltava 550 mm tai 760 mm kulkupinnan yläpuolella, jos kaarresäde on 300 m tai sitä suurempi /14/. Suomessa Traficom on aloittanut keväällä 2020 asetuksen päivittämisen niiltä osin, kun se kansallisen viranomaisen toimivallan puitteissa. Määräysmuutoksen on määrä valmistua keväällä 2021. Se koskee lähinnä rautateiden tasoristeyksiä ja raiteistokaa- vioita, eikä se ota kantaa matkustajalaitureihin /15/.

Suomessa rataverkolla on tällä hetkellä käytössä kaksi eri matkustajalaituri- korkeutta. Matalamman matkustajalaiturin korkeus on 265 mm ja korkeamman 550 mm kiskonharjasta lukien. Kaikki uudet matkustajalaiturit edellytetään tehtävän 550 mm korkeudelle. Myös liikennepaikkoja peruskorjattaessa henkilöliikenteen matkustajalaiturit korotetaan 550 mm korkeudelle, mikäli ne ovat olleet aiemmin matalia, 265 mm laitureita. Matala, 265 mm matkustajalaiturikorkeus ei siten ole vaihtoehtoinen korkeammalle 550 mm matkustajalaiturille vaan se on vanhempi, nykyisten esteettömyysvaatimusten vastainen ja peruskorjausten myötä poistuva standardi /16/.

Suomessa on aiemmin selvitetty 550 mm matkustajalaiturikorkeudesta poikkeavaa vaihtoehtoista ja kevyempää ratkaisua. Tällä on pyritty säästämään matkustajalaiturien rakentamiskustannuksissa ja mahdollistamaan alueellisen paikallisjunaliikenteen käynnistäminen muun rataverkolla kulkevan henkilö- ja tavaraliikenteen siitä häiriintymättä. Liikennevirasto toteutti vuoden 2018 lopulla puisen 400 mm korkean ja 45 m pitkän koematkustajalaiturin Sipoon Nikkilään. Tavoitteena oli kokeilla puurakenteisen matkustajalaiturin yleisrakennetta rataverkolla. Matkustajalaituri palvelee tarvittaessa Keravan ja Porvoon välistä museojunaliikennettä /17/.

Rataverkon matkustajalaiturien pituudet vaihtelevat tapauskohtaisesti liikenteellisten tarpeiden mukaan. RATO 16 mukaan matkustajalaiturin pituus pyritään määrittämään samaksi kullekin rataosalle tai yhteysvälille. Henkilökaukoliikenteessä yleisin matkustajalaiturin pituus on 350 m. Kansainvälisen tai yöjunaliikenteen käyttämillä liikennepaikoilla matkustajalaiturin pituus voi olla myös 450 m. Jos liikennepaikalla ei edellytetä pysähtyvän pitkiä junia, voidaan käyttää myös 250 m pitkiä matkustajalaitureita. Pelkästään paikallisliikenteen käyttämillä liikennepaikoilla matkustajalaiturien pituudet voivat olla 80 m, 120 m tai 250 m. Näistä arvoista matkustajalaiturien pituudet 80 m ja 120 m soveltuvat kiskobussiliikenteeseen ja 250 m kaupunkiseutujen paikallisliikenteelle. Lisäksi HSL-alueen kaupunkijunaliikenteessä sekä Etelä-Suomen taajamajunaliikenteessä voidaan käyttää sähkömoottorijunille mitoitettuja 220 m ja 270 m pituisia matkustajalaitureita. Erityistapauksissa voidaan mitoittaa 350 m pitkä matkustajalaituri ruuhkajunia varten /18/.

RATO 7:ssä ohjeistetaan, että matkustajaliikenteeseen käytettävän raiteen pituuskaltevuus saa olla enintään 5 ‰, kun kalustoyksikön on tarkoitettu pysähtyvän siten, että se pysyy jatkuvasti kuljettajan valvonnassa. Suositeltava pituuskaltevuus on kuitenkin enintään 1,5 ‰ /19/.

Matkustajalaiturit tulee pyrkiä sijoittamaan raiteen suoralle osuudelle aina, kun se on mahdollista. Jos matkustajalaituri kuitenkin joudutaan sijoittamaan kaarteeseen, tulee sen kaarresäteen olla RATO 16:ssä esitettyjen vaatimusten mukaan vähintään 600 m. Suositeltava raiteen kallistus matkustajalaiturin kohdalla on enintään 0–60 mm, kuitenkin siten, että kallistus saa enintään olla 100 mm. Rajoitukset ovat voimassa, koska muuten liikkuvan kaluston ovien ja matkustajalaiturin välille syntyisi kaarteissa vaarallisen iso rako. Jyrkemmissä olemassa olevissa kaarteissa matkustajille on tapahtunut onnettomuuksia ja näillä paikoilla matkustajia varoitetaan junassa annettavilla kuulutuksilla. /18/. Kalustoyksiköihin sijoitetulla, ovien alapuolelle sijoituvalla, ulostyöntyvällä lipalla voidaan peittää yksikön ja matkustajalaiturin väliin syntyvä rako kaarteeseen sijoitetulla liikennepaikalla.

### 3.1.3 Sähköistysjärjestelmä

Rataverkon sähköistetyillä osuuksilla käytetään 25 kV 50 Hz vaihtovirtajärjestelmää. Ajolangassa oleva sähkövirta syötetään veturin tai sähkömoottorivaunun katolla olevan virroittimen välityksellä. Sähköistysjärjestelmä soveltuu hyvin rataverkolla käytettäväksi ja siten myös kevytkalustolle. Rataverkon alueella liikennöitäessä sähkömoottorivaunujen ja vetureiden on selkeyden vuoksi käytettävä 25 kV 50 Hz-sähköistysjärjestelmää, eivätkä muut järjestelmät tule kyseeseen.

Rautateiden sähköistysjärjestelmästä säädetään yhteentoimivuuden teknisissä eritelmissä (YTE). YTE-menettelyä sovelletaan Väyläviraston Ratateknisten ohjeiden 5. osan mukaan vain uusiin, uudistettuihin ja parannettuihin osajärjestelmiin. Sähkörataan liittyvät vaatimukset esitetty tavanomaisen rautatiejärjestelmän energiaosajärjestelmää koskevassa ENE YTEssä. Sähkörataa koskevia EN-standardeja tulee noudattaa ENE YTEssä määritetyssä laajuudessa. Sähkörataa koskevista määräyksistä ja standardeista annetaan yksityiskohtaisia ohjeita Väyläviraston RATO 5:ssä ja ne ovat alisteisia ENE YTElle /19/.

Tilanteessa, jossa kalustoyksikkö liikkuu rataverkon ulkopuolella esimerkiksi kaupungin raitioverkolla, ei 25 kV 50 Hz:n sähköistysjärjestelmä sovellu siihen. Raitioverkoilla käytetään yleisesti 600–750 V tasavirtaa. Se ei aiheuta yhtä suurta turvallisuusriskiä tilanteessa, jossa ajolanka pääsee putoamaan kadulle. Tällöin vaihtoehtona on käyttää joko molempiin sähköistysjärjestelmiin soveltuvaa kaksivirtajärjestelmäkalustoa tai vaihtoehtoisesti käyttää kalustoa, joka kulkee rataverkolla sähköllä ja käyttää sen ulkopuolella jotain muuta käyttövoimaa. Jälkimmäistä voidaan soveltaa toisin päinkin, jossa kaupunkiverkolla ajetaan tasavirralla ja rataverkolla jollakin toisella tavalla. Käyttövoimaa tulee tarkastella tapauskohtaisesti. Rataverkolle ei saa rakentaa tasavirtajärjestelmiä.

### 3.1.4 Tankkauspaikat

Tällä hetkellä rataverkolla on vain dieselkäyttöisen kaluston tankkauspaikkoja. Suomessa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) myöntää rakennusluvut uusille tankkauspaikoille. Virasto valvoo tankkauspaikkoihin liittyvien säiliöiden, putkistojen ja käyttölaitteiden rakentamista ja niiden käyttöä. Uudelle tankkausasemalle tulee ennen käyttöönottoa tehdä käyttöönottotarkastus ja joka kahdeksas vuosi määräaikaistarkastus. /20/. Kaasu- tai vetykäyttöisen kaluston tankkaamiseen tarkoitettun verkoston rakentamista ei ole toistaiseksi suunniteltu, mutta tällaisen infrastruktuurin mahdollinen tarve on tunnistettu.

Tankkauspaikkoja käytetään sähköistämättömillä rataosuuksilla liikennöivien sekä vaihtotyövetureiden tankkaamiseen. Rataverkolla on tällä hetkellä 24 dieselveturien tankkaamiseen käytettyä tankkauspaikkaa /21/, /22/. Paikat on keskitetty tasapuolisesti suurille risteysasemille, kuitenkin siten, että sähköistetyt rataosat tulee huomioiduksi. Siten esimerkiksi Etelä- ja Lounais-Suomen sähköistämättömillä rataosuuksilla sekä liikennepaikkojen vaihtotöissä käytettävät dieselveturit ja dieselmoottorivaunut tankataan esimerkiksi Hangossa, Helsinki Ilmalassa, Turussa, Riihimäellä, Kouvolassa ja Tampereella. Dieselveturien tankkauspaikkoihin ei ole kaavailtu lähiaikoina muutoksia, vaikka sähköistettyjen rataosuuksien lukumäärä tulee hieman kasvamaan esim. Hanko–Hyvinkää-rataosan sähköistyksen valmistuttua, ja uusien vetureiden (Sr3) tultua laajemmin käyttöön. Liikennepaikoilla tehtävissä vaihtotöissä käytettäviä dieselvetureita tarvitaan edelleen. Tankkauspaikkojen rakentamista ja käyttöä koskevat tiukat ympäristönsuojeluvaatimukset.

Dieselveturien lisäksi on tarkasteltava muilla käyttövoimilla kulkevaa kalustoa. Tulevaisuudessa liikenteessä voi olla esimerkiksi kaasu- ja vetykäyttöistä kalustoa. Tällä hetkellä mm. Yhdysvalloissa, Kanadassa ja Venäjällä on käytössä sekä nesteytetyllä maakaasulla (LNG) että nesteytetyllä biokaasulla (LBG) kulkevia yksiköitä. Nesteytettyä maakaasua voidaan kuljettaa tankkauspaikalle säiliöau-

toilla tai -vaunuilla, eikä erityistä siirtoputkistoa tarvitse rakentaa. Nestemäiseen muotoon maakaasu saadaan erillisissä nesteytyslaitoksissa ja se saadaan pysymään nestemäisessä olomuodossa pitämällä sitä  $-160^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa. Nesteytettyä maakaasua hyödynnetään Suomessa toistaiseksi meriliikenteessä sekä raskaassa kumipyöräliikenteessä. Rautatieliikenteessä nesteytetyn maakaasun käyttäminen edellyttäisi tankkauspaikkaverkoston rakentamista. Verkostoa ei toistaiseksi ole, mutta sen rakentamiseen on saatavilla EU-tukea.

Biokaasusta voidaan valmistaa liikennepolttoaineena käytettävää biometaania. Se edellyttää kuitenkin kaasun jalostusta yli 97 % metaanipitoisuuksiin sekä epäpuhtauksien poistoa. Suomessa ei ole biokaasun nesteyttämiseen tarkoitettuja nesteytyslaitoksia, eikä nesteytettyä biokaasua ole käytetty liikennepolttoaineena. Siten tankkauspaikkaverkostoa ei toistaiseksi ole rautateille rakennettu. Biokaasu voidaan nesteyttää samalla tavalla kuin maakaasukin ja kuljettaa tankkauspaikalle säiliöautoilla tai -vaunuilla. Biokaasun jatkojalostaminen on kuitenkin tulevaisuudessa todennäköistä, koska Suomen biokaasutuotannon on arvioitu kasvavan jätelain uudistuksen seurauksena /23/.

Vedyn tankkausasema voidaan toteuttaa joko paikallisen tuotantolaitoksen yhteyteen tai vaihtoehtoisesti siirrettävänä tankkauspaikkana. Jälkimmäinen voi olla esimerkiksi kontti, johon vety toimitetaan tuotantolaitoksesta. Tällöin se sijoitettaisiin varikolle. Vety tuotetaan erityisessä tuotantolaitoksessa elektrolyysillä, jossa vesi jaetaan vedyksi ja hapeksi sähkövirralla. Vetyasema voidaan sijoittaa esimerkiksi merikonttiin. Tällöin asema on helppo siirtää tarvittaessa paikasta toiseen. Siirrettävä tankkausasema sisältää varastosäiliön, paineistusyksikön, annosteluletkun ja tarvittavan automatiikan. Suomessa Woikoski ilmoittaa tarjoavansa kolmea vaihtoehtoa, joissa kaikissa on 300 baarin paineistus. Toistaiseksi käytössä ei ole standardia tankkauspisteen varoalueelle. Woikoski on käyttänyt omaehtoista 10 metrin varoetäisyyttä. Veden ollessa ilmaa kevyempää, se nousee ilmaan, eikä aiheuta pohjavesille vahinkoa. Pohjoismaissa vallitsevien ilmasto-olosuhteiden ei tiedetä aiheuttaneen vedyn tuotannolle, tankkaukselle tai käytölle ongelmia. Vedyn tankkausasemia ei Suomessa kuitenkaan ole toistaiseksi rataverkolla rakennettu /24/.

## 3.2 Kalusto

### 3.2.1 Liikkuvan kaluston ulottuma (LKU)

Liikkuvan kaluston ulottumaa (LKU) käsitellään EU-komission asetuksessa 1302/2014 eli vetureita ja liikkuvaa kalustoa koskevassa yhteentoimivuuden teknisessä eritelmässä. Siinä viitataan vuonna 2013 julkaistuun ja vuonna 2016 päivitettyyn standardiin SFS-EN 15273-3:2013+A1:2016. Sen mukaan rataverkolla käytettävän kaluston enimmäiskorkeus saa olla 5300 mm eli 5,3 metriä ja leveys 3500 mm eli 3,5 metriä. Mitat sisältävät myös sivupeilit sekä mahdolliset, kaluston sivuilla käytettävät loppuopastimet. Ilman sivupeilejä ja loppuopastimia LKU:n sallima leveys on 3400 mm. Liikkuvan kaluston tulee aina mahtua LKU:n mittojen sisäpuolelle. Kalusto voi kuitenkin olla kapeampaa tai matalampaa.

Keski-Euroopassa yleinen raitiovaunujen ja rautatiekelppoisien kevytkaluston korinleveysmitta 2650 mm täyttää rataverkolla käytössä olevan LKU:n ehdon. Suomessa rautatiekaluston leveys on yleisesti 3200 mm. Tällöin rautatiekaluston ja kapeampien kalustoyksiköiden leveyden erotus on 550 mm. Suomalaisen rautatiekaluston etäisyys kiskon keskilinjasta on 1600 mm ja kapeamman kalustoyksikön 1325 mm, jolloin 3200 mm ja 2650 mm leveän kalustoyksiköiden ulottuman välinen erotus on 275 mm. Se voidaan peittää kalustoyksikön ovien alta ulostyöntyvällä lipalla /25/, /26/.

### 3.2.2 Pyöräprofiilit

Rautatiekaluston pyöräprofiileista säädetään yksityiskohtaisesti yleiseurooppalaisesti EU-komission kahdessa eri asetuksessa. Henkilöliikenteen vaunujen ja vetokaluston pyöräprofiileista säädetään asetuksessa EU 1302/2014 /25/ ja tavaraliikenteen vaunujen pyöräprofiileista asetuksessa EU 321/2013 /27/. Asetusten täytäntöönpanosta Suomessa vastaa Traficom. Väylävirasto on kuvannut rataverkon osalta pyöräprofiilin parametrit Ratateknisten ohjeiden osassa 21 "Liikkuva kalusto". Lisäksi erillisellä Väyläviraston luvalla sallitaan käyttää muutamia S1002-profiilista poikkeavia pyöräprofiileja, mikäli sen toimivuus rataverkolla on todennettu. Suomessa rautatiekaluston pyörien parametrit määräytyvät kaluston nopeuden mukaisesti /28/.

Pyörän halkaisijan on täytettävä tietty vähimmäisarvo, jotta yksikkö kykenee kulkemaan risteysvaihteista ja raideristeyksistä. Rataverkolla kalustoyksiköiden pyörien parametrit määräytyvät kaluston nopeuden mukaisesti. Keskeinen vaatimus pyörän profiilia määriteltäessä on, että sen tulee kyetä kulkemaan turvallisesti rataverkolla käytettävien risteysvaihteiden ja raideristeysten ohjauksettomista osuuksista.

### 3.2.3 Törmäslujuus

Liikkuvan kaluston lujuusvaatimuksista säädetään EU-komission asetuksessa 1302/2014 eli vetureita ja liikkuvaa kalustoa koskevassa yhteentoimivuuden teknisen eritelmän lisäyksessä J. Siinä viitataan kahteen standardiin: vuonna 2015 julkaistuun standardiin EN 12663-1+A1 "Rautatiekaluston rakenteelliset vaatimukset" sekä vuonna 2011 julkaistuun standardiin EN 15227+A1 "Rautatiekaluston törmäysvaatimukset". Standardeissa esitetään yhteentoimivuuden teknistä eritelmaa yksityiskohtaisemmin kaluston lujuusvaatimuksia /25/.

Standardissa EN 12663-1+A1 "Rautatiekaluston rakenteelliset vaatimukset – osa I veturit ja matkustajavaunut" kalusto luokitellaan viiteen luokkaan: P-I matkustajavaunut, P-II kiinteät yksiköt ja matkustajavaunut (esim. moottorijunat), P-III metro- ja raskas paikallisjunakalusto, P-IV kevyemmät metrojunat sekä raskaat raitiovaunut ja P-V kaupunkialueella kulkevat raitiovaunut. Standardissa kerrotaan, millaiset lujuusarvot eri kategorioihin jaettujen kalustoyksiköiden tulee täyttää. Paikallisjunakalusto kuuluu pääsääntöisesti luokkiin P-IV ja P-V. Luokkaan P-IV kuuluvan kalustoyksikön tulee kestää 400 kN:n ja luokkaan P-V kuuluvan kalustoyksikön 200 kN:n suuruisten voimien törmäys. Raskaampi paikallisjunakalusto voidaan luokitella kuuluvaksi luokkiin P-II ja P-III, jolloin niiden törmäyslujuusvaatimukset ovat vastaavasti 1500 kN ja 800 kN /29/.

Standardissa EN 15227+A1 "Rautatiekaluston törmäysvaatimukset" annetaan selkeät vaatimukset kiskoliikennekaluston törmäysvaatimuksille /30/. Vaatimukset ilmoitetaan standardin EN 12663-1+A1 tavoin kilonewtoneina. Luokitus poikkeaa hieman standardista EN 12663-1+A1; siinä jako tehdään neljän sijaan viiteen luokkaan: luokassa C-I huomioidaan myös vetokalusto, joka standardissa EN 12663-1+A1 jätetään moottorivaunut pois lukien huomiotta. Standardi 12663-1+A1 ei ole keskitytään niinkään kaluston lujuusvaatimuksiin vaan siinä edellytetään tiettyjä törmäyskestävyysvaatimuksia /29/.

Standardissa EN 15227+A1 kiskoliikennekaluston lujuusvaatimukset jaetaan neljään luokkaan kaluston käyttötarkoituksen mukaan. Luokassa C-I ovat veturit ja vaunut sekä sähkömoottorijunat, luokassa C-II metrojunat, luokassa C-III raitiotiejuuna- 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. Raitiojunien nopeuksilla (100 km/h) standardi antaa vastaaviksi lukuarvoiksi 120 kN ja 100 kN /30/.

### 3.2.4 Turvalaitteet ja kulunvalvonta

Rataverkolla liikuttaessa noudatetaan kulunvalvonnasta annettuja määräyksiä. Kulunvalvonnasta säädetään EU:n direktiiveillä EU 2016/797 ja EU 2016/919, joita täydennetään Suomessa Traficomien valvomalla määräyksellä rautateiden ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmästä. Junien kulunvalvonnalla tarkoitetaan yleisesti järjestelmää, joka valvoo opastinten antamien opasteiden ja nopeusrajoitusten noudattamista. Kulunvalvontalaitteisto koostuu rata- ja vetokalustolle asennetuista laitteista. Suomessa käytetään vielä toistaiseksi 1990-luvun puolivälistä peräisin olevaa junien kulunvalvontajärjestelmää (JKV). JKV-järjestelmä tullaan 2020-luvun loppupuolelta alkaen korvaamaan yleiseurooppalaisella ETCS-järjestelmällä (European Train Control System) /31/, /32/. Suomessa liikenteeseen tulevalta uudelta kalustolta edellytetään jo nyt ETCS-järjestelmän mukaisia laitteita. Lisäksi kalusto varustetaan toistaiseksi vanhaa JKV-järjestelmää lukevalla STM-moduulilla, joka poistetaan siirtymäajan päätymisen jälkeen kalustosta /27/.

Rataverkolla käytettävä junaliikenteen vetokalusto tulee varustaa kulunvalvontalaitteilla. Tämä koskee myös kevytkalustoa sen liikkua rataverkolla. Yksikön liikkua sekä rataverkolla että sen ulkopuolella, tulee siinä olla molempien osajärjestelmien kulunvalvontalaitteet, mikäli rataverkon ulkopuolella päätetään käyttää erillistä kulunvalvontalaitetta tai -järjestelmää. Rataverkolla liikuttaessa kulunvalvontaa koskevista määräyksistä ei voi poiketa. Kalustossa tulee olla sovellettavan kulunvalvontajärjestelmän päätelaite. Rataverkon ulkopuolella, esimerkiksi kaupunkialueella liikennöitäessä sovelletaan kunkin paikkakunnan tapauskohtaista käytäntöä. Jos kalusto liikkuu sekä rataverkolla että sen ulkopuolella, tulee siihen olla asennettuna kaikki tarvittavat kulunvalvontajärjestelmät. Siten tämä voi edellyttää sekä ETCS-järjestelmän että kaupunkialueen liikenteenohjauksen päätelaitteita.

### 3.2.5 Kaluston valvontalaitteet

Rataverkolla liikkuvan kaluston kuntoa valvotaan useilla erilaisilla valvontalaitteilla. Niillä on suuri merkitys kaluston ja radan kunnan valvonnassa. Valvontalaitteita ovat mm. virroitinten kuntoa tarkkailevat virroitinkamerat sekä pyöräkertojen kuntoa valvovat kuumakäynti- ja pyörävoimailmaisimet. Pyöränprofiilin mittalaite sekä junan telin kuntoa valvova laite ovat sen sijaan rataverkolla toistaiseksi harvinaisempia /33/.

Valvontalaitteiden käyttämisellä pyritään ehkäisemään kiskojen ja ajolankojen kulumista ja vahingoittumista. Kaluston tunnistukseen käytetään RFID-laitteita. Niiden kalustosta lukemien tietojen ("tagien") perusteella tiedot voidaan kohdistaa tiettyyn kalustoyksikköön /27/. Liikkuvan kaluston RFID-tunniste luetaan 50–1100 mm korkeudelta kiskon selästä. RFID-lukijajärjestelmän on noudatettava standardia ISO/IEC18000-63 ja se on rakennettu GS1:n mukaisesti. Tiedon siirto tapahtuu RFID-asemalta langattomasti.

Kuumakäynti-ilmaisimia käytetään pyöräkertojen laakereiden valvontaan. Laite mittaa pyörien laakereiden lämpötilan infrapunasäteen avulla. Kuumakäynti-ilmaisimien on kiinnitettävä teräksiseen ratapölkkyyn ja se pidetään talvella sähkölämmityksen avulla sulana /33/. Kuumakäynti-ilmaisimien ja kaluston yhteentoimivuudesta säädetään komission asetuksen N:o 321/2013 kohdassa 4.2.3.4. Väylävirasto asettaa laitteiden vaatimukset, mutta komission asetuksessa N:o 321/2013 vaaditaan "vapaata näkyvyyttä" alhaalta päin /27/. Vaikka periaatteessa kaluston on oltava yhteentoimivaa kaluston valvontalaitteiden kanssa, voivat jotkut kalustoyksiköt aiheuttaa aiheettomia hälytyksiä. Tällaisia ovat esimerkiksi museoliikenteessä käyttävät Dm7-tyyppin kiskobussit, joiden alla olevat pakoputket voivat antaa virheilmaisuja.

Pyörävoimailmaisimien on raiteeseen asennettu, anturoiduista ratapölkkyistä ja kiskoista koostuva mittalaite. Sen tehtävänä on tunnistaa liikkuvan junan pyörien aiheuttamat voimat ja kohdistaa ne oikeaan pyöräkertaan. Pyörävoimailmaisimien toiminta perustuu voima-anturien käyttöön. Se kohdistaa mitatut voimat oikeaan kalustoyksikköön, joka tunnistetaan joko pyörästömittojen tai RFID-tunnisteen avulla. Jos mittaustulokset poikkeavat tavanomaisesta, ne voidaan ilmoittaa kaluston kunnossapitoon tai liikenteenohjaukseen.

Pyörän profiilin mittalaitteessa olevalla lasersäteellä mitataan pyörän profiilia ja siinä mahdollisesti tapahtuneita muutoksia. Kalustoyksikössä olevat hiekoitukseen käytettävät putket eivät saa olla liian alhaalla, jotta lasersäde pystyy mittaamaan pyöräprofiilin.

Virroitinten valvontaan käytetään virroitinvalvontakameroita (APMS). Tutkasta, salamavalolaitteesta ja kamerasta koostuva laitteisto on yleensä asennettu radan ylittävän ylikulkusillan kosketussuojaseinämään. Laitteistoon kuuluva tutka tunnistaa lähestyvän junan ja tunnistaa sen nopeuden ja etäisyyden. Junan aktiiviset virroitimet kuvataan noin 5 m:n etäisyydeltä. Kuvat toimitetaan reaaliaikaisesti liikennöitsijän kunnossapitoon sekä tekniseen valvomoon /33/.

Kaluston valvontalaitteet valvovat rataverkolla myös kevytkalustoa. Erityisesti virroitinten ja pyöräprofiilien kuntoa valvotaan samalla tavalla kuin muutakin kalustoa ja yhteentoimivuus tulee varmistaa kalustoa hankittaessa.



### 3.2.6 Kytkimet

Kalustossa käytettävistä kytkimistä säädetään EU-komission vetureita ja matkustajavaunuja koskevan asetuksen 1302/2014 luvussa 4.2.2.2.4 3. Siinä todetaan, että 1524 mm raideleveyden järjestelmässä radalle rikkoutunut kalusto tulee varustaa hinauskytkimellä, jotta se voidaan hinata varikolle tai sivuraiteelle. Kytkimen tulee olla UIC-tyypin mukainen. Kytkimistä kerrotaan standardeissa EN 12663-1+A1 ja EN 15807:2012 /28/. Rataverkolla pelkästään liikkuva kalusto tulee varustaa standardeissa EN 12663 ja EN 15807:2012 mukaisilla kytkimillä. Kalustoyksikkö, joka liikkuu sekä rataverkolla että sen ulkopuolella, tulee varustaa sovituskappaleella, joka mahdollistaa kaluston kytkemisen tarvittaessa muuhun, pelkästään rataverkolla liikkuvaan kalustoon ja sen hinaamiseen tai työntämiseen.

Suomalaisissa vetureissa ja vaunuissa käytetään yleisesti eurooppalaistyyppistä ruuvikytkintä. Vetureissa käytetään myös SA-3-kytkintä, etenkin itäisen yhdysliikenteen kaluston vetämiseen. SA-3-kytkimellä varustetun veturin yhdistäminen ruuvikytkimellä varustettuun vaunuun onnistuu joko apulennkkikytkimellä tai 2000-luvun alussa käyttöön otetulla UNILINK-kytkimellä. Jälkimmäisessä on yhdistetty sekä ruuvikytkin että SA-3-kytkin.

Moottorivaunujen kytkintyyppit vaihtelevat. Yleensä tavoitteena on kaluston nopea kytkeminen ja irrottaminen ratapihoilla käyttötarpeen mukaan, esimerkiksi ruuhka-aikojen alkaessa ja päättyessä. Siten käytössä on erilaisia automaattikytkimiä, jotka mahdollistavat junien nopean kytkemisen ja irrottamisen. Automaattikytkimiin on liitetty usein ilma- ja sähköliitännät. Suomessa käytössä olevissa moottorijunissa on erilaisia automaattikytkimiä. Esimerkiksi Sm2-junat on varustettu Sécheron GF-kytkimin, kun taas Sm4-junissa käytetään Scharfenberg-kytkimiä. Eri kytkimet eivät sellaisenaan ole yhdistettävissä toisiinsa, vaan ne vaativat väliinsä sovituskappaleen.

### 3.2.7 Kaluston hyväksyntäprosessi

Jokainen uusi kalustotyyppi ja yksikkö tarvitsee ennen käyttöönottoa hyväksyntäprosessin. Suomessa prosessia valvoo Traficom. Luvan hakijana voi olla rautatieyhtiö, rataverkon haltija, kalustoyksikön valmistaja omistaja tai haltija. Markkinoillesaattamisluvasta ja tyyppihyväksyntämenettelystä säädetään EU-säädöksillä. Euroopan unionin rautatieviraston (ERA) antamissa ohjeissa selostetaan hakuprosessia koskevaa lainsäädäntöä ja hakijalta edellytettäviä vaatimuksia.

Hakuprosessi tulee aloittaa hyvissä ajoin jo kalustohankintaa suunniteltaessa. Ensimmäiseksi haetaan käyttö lupaa kalustotyyppille. Tämä prosessi tulisi aloittaa jo siinä vaiheessa, kun hankinnasta on tehty päätös. Seuraavassa vaiheessa haetaan markkinoillesaattamislupaa ensimmäiselle kalustotyyppiin kuuluvalla yksiköllä. Tämä on kalustotyyppin prototyyppiyksikkö, jota käytetään koeliikenteessä. Mikäli kyseessä on henkilöliikenteen moottorivaunu, koeliikenne suoritetaan aluksi ilman matkustajia. Saatujen kokemusten perusteella tehdään tarvittaessa muutoksia varsinaisiin tilaussarjan yksiköihin. Varsinaiseen tilaussarjaan tulee hakea tyyppimukaista hyväksyntää. Hakuprosessi on kaikissa kolmessa tapauksessa samankaltainen ja siihen tulee sisällyttää lukuisia EU:n rautatiedirektiivin vaatimusten mukaisia asiakirjoja. Näitä ovat mm. vaatimusten

määrittelyä koskeva näyttö, otetaan mukaan vaatimusten mukaisuuden arviointilaitos ja sisällytetään EY-tarkastusvakuutus. ERAn antamissa ohjeissa hakuprosessi tarvittavine asiakirjoinen kuvataan yksityiskohtaisesti. Tyyppihyväksynnän lisäksi kalustoyksikkö tulee Suomessa rekisteröidä kalustorekisteröintiin /15/.

## 4 Vaatimukset rataverkon ulkopuolella

Luvussa 3 tarkasteltiin rataverkolla sovellettavia vaatimuksia infrastruktuurille ja kalustolle. Tässä luvussa tarkastellaan tilannetta, jossa kalustolla liikennöidään rataverkon ulkopuolella, eivätkä rataverkkoa koskevat määräykset ole voimassa. Rataverkon ulkopuolella liikennöidään silloin, kun rataverkon omistajana on jokin muu taho kuin valtio. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi kuntien raitiotieverkot, satamien ja teollisuuslaitosten raiteistot tai muut yksityisomistuksessa olevat raiteistot. Rautatielainsäädäntö on voimassa yksityisraiteillaakin. Väyläviraston ohjeet pätevät kuitenkin lähtökohtaisesti vain rataverkolla. Yksityisraiteen haltija voi halutessaan ohjeistaa, onko jokin Väyläviraston ohje sen hallinnoimalla alueella voimassa. Rataverkon ulkopuolellakin liikennöivältä kalustolta edellytetään kuitenkin liikennekelpoisuutta rataverkolla.

Raitiotieverkoston ei sovelleta EU:n rautatiedirektiiviä tai muita yleisiä säädöksiä vaan jokainen paikkakunta soveltaa omia ohjeitaan. Kaupunkiraideliikenteen hallinnasta säädetään raideliikennelain 21. luvussa ja se koskee sekä raitiotietettä metroluokan liikennettä /34/. Raitioliikennettä käsitellään myös tieliikennelaissa, jossa annetaan määräyksiä raitiovaunujen väistämisvelvollisuudesta /35/. Yksityiskohtaisia säädöksiä raitioteiden infrastruktuurista ei rautateiden tapaan kuitenkaan anneta. Esimerkiksi Helsingin ja Tampereen raitiotieverkostoilla noudatetaan omia suunnittelu- ja liikennöintiohjesääntöjä. Saksalaistyyppistä, lainsäädännössä asetukseen rinnastettavissa olevaa raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesääntöä (BOStrab, Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen) /36/ Suomessa ei ole, joskin Saksan BOStrabia on käytetty yleisesti pohjana Tampereen /37/ ja Raide-Jokerin suunnitteluperusteita laadittaessa. Toistaiseksi lainsäädännössä ei ole nähty tarpeelliseksi raitiotieverkoston säätelemistä erillisellä asetuksella.

Rataverkkoon välittömästi liittyviin yksityisratojen rakentamisessa ja liikennöinnissä sovelletaan rautatielainsäädäntöä ja Traficomien määräyksiä. Usein rataverkon ulkopuolella oleva rataosuus on melko lyhyt käsittäen esimerkiksi sataman tai teollisuuslaitoksen ratapihan tai lastausalueen. Käytännössä niillä yleensä on sovittu noudatettavaksi rataverkon ohjeita.

Suomessa tällä hetkellä olevat raitiotieverkostot ovat kokonaan rataverkon ulkopuolella, eikä niiden välillä ole raideyhteyttä. Helsingin metroverkon ja rataverkon välillä on raideyhteys kaluston siirtämistä varten, mutta kaluston erilaisien ulottumien takia yhteyttä käytetään lähinnä työkoneiden ja kaluston siirrossa sekä raskaiden kuormien toimittamisessa metroverkolle.

### 4.1 Infrastruktuuri

Rataverkon ulkopuolella olevaa infrastruktuuria voi tarkastella raitiotieradan näkökulmasta. Raitiotietä voi pitää rataverkon ilmenemismuotona, joka jakautuu käyttötarkoituksensa mukaan kolmeen pääalajiin: erillisrataan, erotettuun rataan ja katurataan. Nämä kolme pääalalajia voidaan jakaa vielä teknisesti sekä ympäristönsä puolesta useisiin alakategoriioihin. Kolmesta pääalalajeista kaksi on suomalaiselle tuttua: katuradalla tarkoitetaan yleensä kaupunkirakenteseen toteutettua perinteistä urakiskorataa ja erillisradalla rautatietyyppistä

Vignole-kiskotettua rataa. Erillisratoina voidaan toteuttaa ne rataverkon ulkopuolelle menevät osuudet, jotka eivät ole varsinaisesti osa raitiotieverkkoa, mutta eivät hallinnollisesti kuulu rataverkon alaisuuteen.

Erillistrata voidaan toteuttaa omaan ratakäytävään ja nopeudet voivat niillä olla huomattavan korkeita. Nopeus ei kuitenkaan tule olla yli 70 km/h, mikäli kalustossa ei käytetä kulunvalvontaa ja ajo perustuu näkemällä ajoon. Suomen lainsäädäntö ei edellytä kulunvalvonnan rakentamista erillisradalle, mutta uusien raitioteiden suunnittelussa usein sovellettavan Saksan liittotasavallan saksalaisessa lainsäädännössä asetuksen tasoinen BOStrabin 49 § 2. kohta edellyttää näkemällä ajamisen ylärajaksi 70 km/h. BOStrabilla ei ole Suomessa juridista asemaa, mutta sen määräykset on soveltuvin osin huomioitu raitioteiden suunnittelussa. Radan leikkaavien katujen leikkauskohdat toteutetaan joko eritasoratkaisuin tai tarpeellisin varoituslaittein varustettuna samassa tasossa /36/. Esimerkki Suomessa toteutetusta erillisradasta on Tampereen raitiotien yksittäiset osuudet. Kuvassa 15 havainnollistetaan erillistrataa.



*Kuva 15. Erillistrata kulkee omissa maastokäytävässään katuverkon ulkopuolella. Rata voi silti kulkea asutuksen keskellä, mutta risteävät kadut ja jalankulun ja pyöräilyn väylät toteutetaan joko eritasoratkaisuin tai varoituslaittoin varustettuin tasoristeyksin. Erillistradoilla voidaan ajaa enimmillään 70 km/h. Rataa ei ole välttämätöntä eristää aidoin. Kuva: Jouni Kiviniitty, Tampere, 9.7.2020.*

Erillis- ja katuratojen väliin jää kolmanneksi ratatyypiksi erotettu rata. Erotettu rata sijoittuu yleensä katuverkkoon, kuitenkin erilleen muusta liikenteestä. Usein erotettu rata sijoitetaan viherkaistoin tai aidoin erottamana samansuuntaisen kadun laidalle, joissakin tapauksissa sen keskelle. Kiskotuksena käytetään Vignole-kiskoja. Suomen lainsäädäntö ei aseta nopeusrajoitusta erotetulle radalle, mutta uusien raitioteiden suunnittelussa usein sovellettavan Saksan liittotasavallan saksalaisessa lainsäädännössä asetuksen tasoinen BOStrabin 50 § 3. kohta kieltää ylittämästä muun kadulla kulkevan liikenteen nopeutta

/36/. Radan ylityskohtien liikenne ohjataan muun katuliikenteen tavoin liikennevaloin. Kuvassa 16 havainnollistetaan erotettua rataa.



*Kuva 16. Erotettu rata kulkee yleensä kadun reunassa tai sen keskellä. Rata erotetaan muusta kadulla kulkevasta liikenteestä viherkaistoin ja istutuksin. Aitoja ei yleensä käytetä. Erotetun radan nopeus on sama kuin muulla kadulla kulkevalla liikenteellä. Kuva: Jouni Kiviniitty. Tampere, 9.7.2020.*

Katurata on usein perinteistä, kaupungin katuverkolle rakennettua urakiskorataa. Tilanteesta riippuen urakiskorata voidaan toteuttaa omalle sulkuviivalla erotetulle kaistalleen, muun katuliikenteen kanssa samalle sekakaistalle tai jalankulkualueelle. Nopeudet katuradalla ovat alhaiset: nopeimmillaan ne ovat muun katuliikenteen mukaiset, mutta kävelykaduilla ja jalankulkualueilla nopeuksia voidaan alentaa arvoon 10–20 km/h. Kuvassa 17 havainnollistetaan perinteistä katurataa.



Kuva 17. Katurata on raitiotien rakennustavoista perinteisin. Radalla käytetään urakiskoa ja se on sulautettu ympäröivään kaupunkirakenteeseen ja liikennenympäristöön. Katuradan nopeus on sama kuin muulla kadulla kulkevalla liikenteellä. Kuva: Jouni Kiviniitty. Tampere, 9.7.2020.

#### 4.1.1 Kiskoprofiilit

Raitiotieradoilla käytettävät kiskoprofiilit vaihtelevat hieman paikkakunnittain. Yleisimmin erillistradoilla käytetään Vignole-kiskon profiilia 49E1. Myös käytettävät urakiskoprofiilit vaihtelevat yleisimmän kiskotyypin ollessa 60R2. Molemmat profiilit on valittu myös Tampereen raitiotielle sekä Raide-Jokerille /37/. Lisäksi Raide-Jokerilla käytetään tarvittaessa urakiskoprofiileja Lk1 sekä 53E1 /38/. Varsinaista suositeltavaa kiskoprofiilia ei ole vaan käytettävät profiilit vaihtelevat tapauskohtaisesti. Kiskoprofiilin valinnassa tärkeä peruste on pyörä-kisko-kontakti kokonaisuutena. Siten kiskoprofiilit tulisi valita sen mukaisesti, millaisia pyöräprofiileja käytetään. Pyöräprofiilien tulisi noudattaa UIC-standardia /39/.

Jos käytettävissä on myös rataverkolla kulkevaa kalustoa, tulee pyöräprofiileissa huomioida yhteiskelpoisuus eri kiskotyypeissä. Rataverkolla käytettävä pyöräprofiili S1002 on liian suuri raitioteillä yleisimmille Vignole-kiskoprofiilille 49E1 ja urakiskoprofiilille 60R2. Esimerkiksi urakiskoprofiilin 60R2 mitat poikkeavat rataverkolla käytettävästä urakiskoprofiilista P37. Urakiskoprofiili P37 on suunniteltu suuremmalle pyöräprofiilille: esimerkiksi sen uran leveys on 61 mm /40/, kun taas kiskoprofiili 60R2 leveys on 36,35 mm /37/.

#### 4.1.2 Kaarresäteet

Raitiotiellä kaarresäteet ovat pienemmät kuin rataverkolla, jotta vaunut mahtuvat ahtaalla katualueella kääntymään katujen kulmauksissa tai muissa ahtaissa paikoissa. Sopiva minimikaarresäde valitaan kunkin paikkakunnan tai järjestelmän ominaispiirteiden mukaan. Varsinaista säädökseen perustuvaa raja-arvoa

ei Suomessa ole käytössä. Minimikaarresäde voidaan kuitenkin johtaa Saksan BOStrabille alisteisesta rataverkon suunnittelun teknisten säädösten (Technische Regeln für Straßenbahnen) ratasuunnittelua koskevan osan TRStrabin (Richtlinien für die Trassierung von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen) kaarteita ja niiden määrittelyä koskevasta kohdasta 6.2. Kohdassa määrätään raitioteiden minimikaarresäteeksi 25 metriä /41/. Tämä arvo on valittu Tampereen raitioteilläkin minimikaarresäteeksi. Arvosta voidaan kuitenkin poiketa matkustajaliikenteeltä yleensä suljetuilla rataosuuksilla, kuten varikkoalueiden ratapihoilla, joilla minimikaarresäteeksi sallitaan 15 metriä /36/.

### 4.1.3 Pysäkit

Rataverkon ulkopuolella pysäkkilaiturien pituudelle tai korkeudelle ei ole laadittu erillistä ohjetta. Pysäkkilaiturien pituus vaihtelee käytettävissä olevan kaluston mukaan, kuitenkin siten, että pysäkkilaiturin molempiin päihin jää viisi metriä tilaa mahdollisia luiskia varten. Esimerkiksi Tampereella pysäkkilaiturien pituus on 47 metriä, kun käytettävissä on 37 metriä pitkiä vaunuja – pysäkkien mitoituksessa on varauduttu vaunujen pidentämiseen kymmenellä metrillä myöhemmin. Pysäkkilaiturien korkeus vaihtelee paikkakunnittain: Tampereen raitiotiellä pysäkkilaiturien korkeus on 350 mm kiskonharjasta lukien, kun se Raide-Jokerissa on 300 mm ja Helsingin kantakaupungin raitiotiellä 270 mm. Vastaavasti pysäkkilaiturien etäisyys keskilinjasta on Tampereella 1335 mm, Raide-Jokerissa 1250 mm ja Helsingin kantakaupungissa 750 mm /37/, /38/, /42/.

## 4.2 Kalusto

### 4.2.1 Pyöräprofiilit

Kevytkalusto käyttää yleensä halkaisijaltaan pienempää pyöräprofiilia kuin rautatiekalusto. EU:n tasolla kevytkaluston pyöräprofiileja ei säädellä. Saksassa on kuitenkin luotu DIN-normistoon perustuva standardi, jota on tarvittaessa sovellettu Saksan rajojen ulkopuolella, myös Suomessa. Saksassa raitiotiekaluston pyöriä koskeva standardi DIN 25112 on jaettu käyttötarkoituksen mukaisesti kolmeen eri profiiliin: A, B ja C. Profiilien A ja B mukaisia pyöriä käytetään tavallisissa katuraitiovaunuissa. Profiili C on käytössä rataverkolla liikennöivissä vaunuissa. Taulukossa 3 on esitetty pyöräprofiilit mittoineen.

Taulukko 3. Saksan raitiovaunukaluston pyöräprofiileja säätelevä standardi DIN 25112

	Profiili A	Profiili B	Profiili C
Pyörien kulkukehän leveys	95–110 mm	95–115 mm	130–150 mm
Laipan paksuus	23 mm	22,5 mm	33 mm
Laipan korkeus	22 mm	25,5 mm	28 mm
DIN-standardi	DIN 25112-1	DIN 25112-2	DIN 25112-3
Sovellettava asetus	BOStrab	BOStrab	EBO
Käyttötarkoitus	raitioverkko	raitioverkko	raitioverkko ja rataverkko

Taulukosta 3 voidaan havaita profiilin A olevan "perinteinen" kaupunkiraitioteillä käytettävä pyöräprofiili, kun taas profiili C on rataverkolla liikennöivää kalustoa varten kehitetty erillinen profiili. Profiili B on profiilien A ja C välimuoto, jota kuitenkin käytetään pelkästään raitioverkolla. Profiileihin A ja B sovelletaan Saksassa raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesääntöä (BOStrab) ja profiiliin B, normaaliraiteisella rataverkolla (raideleveys 1435 mm) voimassa olevaa, vastaavaa ohjesääntöä EBO (Eisenbahn Bau-und-Betriebsordnung) /43/. Mikäli kyseessä on normaalista raideleveydestä poikkeava, kapeampi raideleveys, sovelletaan EBO:n tilalla ohjesääntöä ESBO (Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen). Mainituilla ohjesäännöillä on Saksan liittotasavallassa lainsäädännöllinen merkitys. Suomessa ne rinnastetaan asetuksiin, mutta niillä ei ole suomalaisessa lainsäädännössä lainvoimaa.

Suomessa standardia DIN 25112-2 on sovellettu Tampereen raitiovaunukalustohankinnassa. ForCity Smart Artix X34-vaunuissa pyöräprofiilina käytetään standardin B-profiilia. Vaunujen pyöränkehä on noin 20 mm kapeampi kuin rataverkolla kulkevassa kalustossa. Mikäli Suomessa halutaan liikennöidä samalla kalustolla kaupunkiraitiotien lisäksi rataverkolla, tulee tätä varten kehittää erillinen pyöräprofiili. Saksan standardi DIN 25112-3 mukainen profiili C:n pyöräprofiili on hyvä lähtökohta. Pyöräprofiilin valinnassa pitää huomioida perusmitoituksen lisäksi myös kulkuominaisuudet, joihin vaikuttaa myös raideleveys. Pyöräprofiilin kehittäminen on vaativa ja monimutkainen prosessi. Se edellyttää simuloitteja ja usein koeajojakin. Sellaisenaan standardia DIN 25112-3 ei kuitenkaan voi Suomessa soveltaa, koska se on suunniteltu normaaliraitioteille, 1435 mm. Suomen olosuhteissa pyöräprofiilin kehittämisessä tulee huomioida mm. sen soveltuvuus rataverkolla käytettävien risteysvaihteiden ja raideristeysten ohjauksettomille osuuksille.

#### 4.2.2 Sähköistysjärjestelmä

Rataverkon ulkopuolisilla rautatiejärjestelmillä käytetään pääsääntöisesti 600–750 V tasavirtaa. Rautateiden 15 kV–25 kV vaihtovirtasähköistys aiheuttaa kaupunkiympäristössä turvallisuusuhkan. Kalustoyksikkö voi käyttää molempia sähköistysjärjestelmiä. Tällöin järjestelmien väliin tarvitaan lyhyt erotusjakso ja yksikkö tulee varustaa tarvittavalla muuntajalla. Kaksivirtajärjestelmiä käyttäviä yksiköitä on käytössä runsaasti, sillä monissa EU-maissa on käytössä useita erilaisia sähköistysjärjestelmiä. Suomessa tunnetuin esimerkki kaksivirtajärjestelmäkalustosta on Sm6 eli Allegro-juna, joka Suomen rataverkolla käyttää 25 kV 50 Hz vaihtovirtaa ja Venäjällä 3 kV tasavirtaa. Duoraitiovaunut voivat käyttää 15 kV tai 25 kV vaihtovirtaa sekä 750 V tasavirtaa. Eri sähköistysjärjestelmiä käyttävistä duoraitiovaunuista löytyy esimerkkejä Saksasta ja Ranskasta.

#### 4.2.3 Kulunvalvontajärjestelmä

Rataverkon ulkopuolella ei yleensä käytetä rautatiealueelle tyypillistä kulunvalvontajärjestelmää. Poikkeuksena tästä ovat suljetut metrojärjestelmät sekä automaattiradat, joille on rakennettu kulunvalvontalaitteisto kapasiteetin kasvattamiseksi. Rataverkon ulkopuolella kulunvalvonnan määräyksiä ei sovelleta. Saksassa käytössä oleva raitioteiden rakentamis- ja liikennöintiohjesääntö BOStrabin 49 § 2. momentti edellyttää kulunvalvontaa tilanteissa, joissa radan suurin sallittu nopeus ylittää arvon 70 km/h. Ohjesääntöä sovelletaan myös



osittain tai kokonaan eristetyillä radoilla sekä tunneleissa /36/. Suomessa B0-Strabilla ei ole juridista asemaa, mutta sitä on käytetty mm. Tampereen raitiotien ja Raide-Jokerin suunnitteluperusteita laadittaessa. Vaikka kaupunkialueella ajettaisiin näkemillä, kalustoa valvotaan keskitetysti liikenteenohjauksesta. Liikenteenohjaus voi siten antaa kuljettajalle ohjeita esimerkiksi poikkeusreiteistä, aikataulussa pysymisestä ja muista liikenteenhoitoon liittyvistä asioista. Usein samaan järjestelmään on liitetty matkustajainformaatiojärjestelmä. Liikenteenohjaus voi ohjata keskitetysti myös vaihteita ja opastimia.

Kaupunkiverkon lisäksi rataverkolla liikennöivät yksiköt varustetaan rataverkon edellyttämällä ETCS-laitteistolla ja niin kauan, kun nykyistä JKV-järjestelmää käytetään, STM-moduulilla. Kaupunkiliikenteen liikenteenohjausjärjestelmää varten vaunuihin asennetaan tarvittava järjestelmä. Lisäksi kalustoon asennetaan tarvittava matkustajainformaatiojärjestelmä. Kalustoyksikön reaaliaikaisen seurannan merkitys on korostunut viime vuosina, sillä liikenteenohjauksen lisäksi matkustajainformaatioissa pyritään reaaliaikaiseen tiedottamiseen. RFID-tekniikkaa käytetään kaluston liikkeiden seurantaan ja liikennöitsijä tarjoaa paitsi itse, usein myös avoimen rajapinnan kautta reaaliaikaista tietoa esimerkiksi matkustajille tarkoitetuissa reitti- ja aikataulupalveluissa.

## 5 Päätelmät teknisistä yksityiskohdista

### 5.1 Kalustoyksiköiden saatavuus ja hankinta

Edellisissä luvuissa on tarkasteltu saatavissa olevaa kevyempää kalustoa ja sille asetettuja vaatimuksia sekä rataverkolla että sen ulkopuolella. Kalustohankinnoissa tulee huomioida jo ennalta, liikennöikö yksikkö pelkästään rataverkolla vai onko varauduttava rataverkon ulkopuolella tapahtuvaan liikennöintiin. Kaluston laskennallinen käyttöikä on vähintään 40 vuotta, joten hankintaprosessia käynnistettäessä olisi syytä tarkastella käyttötarvetta pitkällä aikavälillä, vaikka laajennus rataverkon ulkopuolelle olisikin ajankohtainen vasta 10–20 vuoden kuluttua hankintapäätöksestä. Jos tarvetta rataverkon ulkopuolella liikennöimiselle ei ole tulevaisuudessakaan nähtävissä, tulee kalusto hankkia pelkästään rataverkolla tapahtuvaa liikennettä varten. Tällöinkin voidaan hankkia kevyempää kalustoa. Sen käyttövoima vaihtelee alueen sähköistyksen tai muiden tarpeiden mukaisesti.

Kalustohankinnassa tulee huomioida hankintaprosessin kesto: jos kalustohankintaa ei tehdä suurena kertaostoksena siten, että samaa kalustoa käytettäisiin eri alueilla, on varauduttava useiden vuosien hankintaprosessiin. Kesto vaihtelee sen mukaan, millaista kalustoa alueelle on tarkoitus hankkia. Hankintaprosessiin kuuluu mm. tarjouskilpailu, suunnittelu, kaluston rakentaminen ja käyttöönottoon vaadittavat lupaprosessit ja testit. Kevyitä 2–3 moduulin sähkömoottorijunayksiköitä on saatavilla suurilta kalustonvalmistajilta pienin, Suomen rataverkon vaatimuksiin sovituin muutoksin melko nopeastikin, mutta erikoisempia ratkaisuja vaativien yksiköiden hankintaprosessiin tulee varata aikaa vähintään kolme vuotta. Tämä korostuu erityisesti, mikäli tarvetta on rataverkon ulkopuolella liikkuvalla kalustolle – pelkästään rataverkolla ja kaupungin raitiotieverkolla toimivan pyöräprofiilin mitoittamiseen on varattava aikaa vähintään kaksi vuotta.

Duoraitiotien hyödyntämismahdollisuuksia on Suomessa tutkittu 2000-luvun alussa laajimmin Tampereella sekä 2010-luvun lopulla mm. Jyväskylässä, Lahdessa, Kuopiossa ja Etelä-Pohjanmaalla. Tampereen selvityksessä lähtökohdiana oli sähköistetyt rataverkon käyttö Karlsruhen mallin mukaisesti sekä siihen liittyvät, esikaupunkialueita palvelevat raitiolinjat. Muilla kaupunkiseuduilla tehdyissä selvityksissä on tarkasteltu paikallisjunaliikenteen aloittamista rataverkolla duoraitiotiekalustolla, aluksi hyvinkin suppealla linjastolla. Tavoitteena on ollut ensisijaisesti seudullisen työmatka- ja asiointiliikenteen palveleminen palauttamalla paikallisjunaliikenteen avulla pysähdykset radanvarsien taajamiin, joista ne ovat poistuneet jo vuosikymmeniä aiemmin. Saksalaisen esikuvan mukainen kaupunkiraitiotie on näissä selvityksissä nähty pitkän kehityksen tuloksena ja tällöinkin linjoja on alustavasti kaavailtu keskeisille työpaikka-alueille tai seudun toiminnallisuuden kannalta keskeisiin kohteisiin, kuten kaupallisiin palveluihin tai yliopistoalueille. Rataverkkoon yhdistettävän raitiotieverkon puuttuessa raitiotieverkko joudutaan rakentamaan erikseen.

Tulevissa kalustohankinnoissa tulee pyrkiä teknisesti mahdollisimman yhtenäiseen kalustoon. Hankintaprosessissa määritellään kaksi, korkeintaan kolme käyttötarkoitukseltaan erilaista kalustotyyppiä. Mitä yhtenäisempää kalusto on ja mitä suurempi määrä kerralla hankitaan, sitä edullisempi on yhden yksikön hankintahinta. Kalustonvalmistajat tuottavat tarvittaessa hyvinkin pieniä ja erikoisia kalustosarjoja eri tarpeisiin, mutta tällöin yksikön kappalehinta nousee merkittävästi. Suurien kalustosarjojen kertahankinnoissa säästetään hankintakustannuksissa sekä varaosien saatavuudessa. Suuri kalustosarja mahdollistaa yksittäisten paikallisjunayksiköiden siirron tarvittaessa alueelta toiselle sekä erityisesti huoltokustannuksissa säästämisen keskitetyllä huollolla ja kunnossapidolla. Jos jokaisella alueella on oma erillinen kalustonsa, se edellyttää myös erillisten huoltotilojen suunnittelua ja rakentamista. Kaluston päivittäishuoltoon tulee varautua kaikilla paikallisliikenteen paikkakunnilla, mutta suuremmat huollot on syytä keskittää tiettyihin paikkoihin.

## 5.2 Kalustoyksiköiden käyttövoima

Jos kalustoa on tarkoitus käyttää pelkästään rataverkolla, on tarkoituksenmukaista käyttää ensisijaisesti sähkömoottorijunakalustoa, ainakin sellaisilla kaupunkiseuduilla, joissa suuri osa rataverkosta on sähköistetty. Jos alueella on myös sähköistämättömiä rataverkon osuuksia, käyttöön soveltuu myös hybridikalusto. Kaupunkiseuduilla sähköistämättömiä rataverkon osuuksia on melko vähän ja ne ovat keskittyneet Joensuun, Lahden ja Seinäjoen lähiympäristöön.

Suomessa akkutekniikka soveltuu lyhyille sähköistämättömille rataosuuksille, esimerkiksi parin kilometrin pituisille kaupunkiosuuksille. Tällöin pikalatauspaikkojen järjestäminen esimerkiksi päätepysäkkien yhteyteen on helppoa ja luontevaa. Sen sijaan pidemmille useiden kymmenien kilometrien pituisille sähköistämättömille osuuksille akkukäyttöiset vaunut eivät välttämättä vielä nykytilanteessa sovellu. Akkukäyttöinen kalusto edellyttää joko pikalatauspaikkaa tai muutaman kilometrin sähköistettyä osuutta akkujen lataamiseksi.

Pelkkää dieselmoottoria käyttövoimanlähteenään käyttävään kalustoon ei ole syytä investoida, eikä se rataverkon sähköistystilanne huomioiden ole tarkoituksenmukaistakaan. Dieselveturien tankkauspaikkaverkosto on tällä hetkellä hyvä ja se palvelee nykyistä tarkoitustaan. Tankkauspaikkaverkoston laajentamiselle ei kuitenkaan ole edellytyksiä, mikäli nykyinen, dieselvetureiden käyttö yleensäkin vähenee sähköistyksen ulottuessa kattamaan lähes kaikki merkittävimmät rataosuudet. Ympäristösäädösten kiristyessä polttomoottorin käyttö ja siten myös dieselkäyttöinen kalusto tulee vähitellen poistumaan liikenteestä. Suuret kalustonvalmistajat tuottavat kuitenkin edelleen dieselmoottorikalustoa ja sen saatavuus vuoden 2021 alkupuolella on hyvä.

Eräs dieselin korvaava käyttövoima on vety. Vetyä on sovellettu paikallisliikenteen käyttövoimana useilla eri rataosuuksilla Saksassa ja Itävallassa, ja kalustovalmistajien mielenkiinto vetykäyttöistä kalustoa on lisääntynyt viimeksi kuluneiden viiden vuoden aikana. Vetykaluston hyötynä on lähipäästöttömyys ja ympäristöystävällisyys. Kielteisenä puolena on vedyn tuotannon kalleus ja jake-lupaikkaverkon puuttuminen. Vedyn käyttäminen paikallisliikenteessä edellyttää käytännössä tuotantolaitosten rakentamista ja vedyn kuljettamista tank-

kauspaikalle. Itse tankkauspaikka on helposti toteutettavissa esimerkiksi siirrettävässä kontissa, mutta tuotantolaitosten sijainti ratkaisee sen, kuinka pitkiä matkoja vetyä joudutaan kuljettamaan. Vetykäyttöisiä yksiköitä on saatavilla suurimmilta kalustovalmistajilta ja kehitystyöhön on selvästi panostettu. Suuria vetykäyttöisiä kalustoyksikköeriä ei kuitenkaan ole toistaiseksi valmistettu, vaan niitä on tullut vähäisessä määrin koeliikenteeseen. Kokemukset ovat haasteista huolimatta olleet pääsääntöisesti hyviä. Vedyn osuuden käyttövoimasta voi olettaa kasvavan lähitulevaisuudessa ja korvaavan etenkin syrjäisemmillä, sähköistämättömillä osuuksilla nykyisin dieselkäyttöistä paikallisjunakalustoa.

## 5.3 Infrastrukturi ja kalusto

### 5.3.1 Rataverkolla

Pelkästään rataverkolla käytettävän kevyen kaluston etuna on yhteensopivuus infrastruktuuriin. Kalusto voidaan suunnitella ja hankkia voimassa olevien määräysten mukaisesti.

Rataverkolla liikkuvalla kevyellä kalustolle ei ole asetettu mitään muusta kalustosta poikkeavia vaatimuksia. Työssä ei ole tunnistettu mitään sellaista estettä, joka ei mahdollistaisi kevyen moottorijunakaluston liikennöintiä rataverkolla. Lähtökohdana on yhteensopivuus nykyiseen infrastruktuuriin, kuten matkustajalaiturien korkeuksiin ja kulunvalvontajärjestelmään. Kulunvalvontajärjestelmänä käytetään ETCS-järjestelmän edellyttämiä laitteita ja nykyisen JKV-järjestelmän ollessa STM-moduulia. Yksiköt suunnitellaan siten, että esteettömyys toteutuu nykyisiä 550 mm korkeita laitureita käytettäessä vähintään osasta juna. Tällöin esimerkiksi kolmimoduulisen junan keskimäinen moduuli voi olla esteetön. Kalustoon ei esimerkiksi tarvitsisi kehittää erillistä pyöräprofiilia, vaan pyöräprofiilina voitaisiin käyttää S1002-profiilin pyörää. Kalustoyksiköt suunnitellaan tässä tapauksessa myös korin leveydeltään muun rautatiekaluston mukaiseksi.

### 5.3.2 Rataverkon ulkopuolella

Suomessa ei ole yhtenäisiä sääntöjä ja ohjeita kaupunkiraitioteiden tai metrora-tojen ratainfrastruktuurin suunnittelulle. Näihin sovelletaan raideliikennelain 21. lukua, mutta siinä ei anneta tarkkoja teknisiä ohjeita tai määräyksiä ratojen suunnittelusta, rakentamisesta, liikennöinnistä ja infrastruktuuria. Rataverkon ja sen ulkopuolisen, kaupunkialueelle sijoittuvan raideverkoston, esimerkiksi raitioverkon väliselle rajalinjalle syntyy myös juridinen raja, sen mukaan, millaisia säädöksiä kullakin osajärjestelmällä sovelletaan. Siten päädytään tilanteeseen, jossa kahdella eri osajärjestelmällä kulkevan kalusto tulee sovittaa molempien vaatimusten mukaisiksi. Tilanne, jossa samalla kalustolla halutaan liikennöidä sekä rataverkolla, että sen ulkopuolella on teknisesti mahdollista. Tällöin kalustohankinnoissa ja infrastruktuurin suunnittelussa tulee huomioida rataverkon vaatimukset ja sovittaa rataverkon ulkopuolelle jäävä infrastruktuuri soveltuvin osin siihen. Tämä koskee erityisesti aukean tilan ulottumaa, pyörä- ja kiskoprofiileja sekä matkustajalaiturien korkeuksia.

### 5.3.2.1 *Matkustajalaiturien korkeudet*

Matkustajalaiturin korkeudesta säädetään EU:n asetuksessa 1302/2014, eikä poikkeuksia rataverkolla yleensä tehdä. Asetuksessa matkustajalaiturin korkeudeksi säädetään 550 mm, eikä siinä ole huomioitu tästä poikkeavia matalampia korkeuksia. Mikäli rataverkon ulkopuolella on vain muutamia yksittäisiä pysäkkejä, voi selvittää, voitaisiinko ne toteuttaa 550 mm matkustajalaiturin korkeudella. Jos tämä ei tilan tai kaupunkikuvallisen syyn takia ole mahdollista, tulee pohtia kahden eri laiturikorkeuden yhdistämistä.

Rataverkolla olevat 265 mm ja 550 mm matkustajalaiturikorkeudet aiheuttavat raitiovaunutyypilliselle kevytkalustolle ongelmia. Nykyinen 550 mm matkustajalaiturikorkeus on liian korkea kaupunkiympäristöön. Toisaalta taas kaupunkialueen raitiopysäkkien korkeudet sijoittuvat 350 mm ja 380 mm välille ja ovat rataverkolle liian matalia. Vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi on tunnistettu neljä:

- **VE1.** Rataverkolla järjestetään duoraitiovaunuille omat pysähdyspaikat, esimerkiksi sijoittamalla vaunujen pysähdysalue matkustajalaiturin toiseen päähän. Tällöin laiturit ovat kahdella eri korkeudella, mutta tasoero voidaan ratkaista loivalla rampilla. Tästä on kuitenkin seurauksena, että eri kalusto pysähtyy eri paikoissa ja siirtymät paikkojen välillä voivat olla eräillä liikennepaikoilla pitkät.
- **VE2.** Rataverkolla duoraitiovaunulle rakennetaan erilliset, 550 mm laiturikorkeudesta poikkeavat matkustajalaiturit ja huomioidaan ATUn ja LKU:n vaatimukset. Tällöin joudutaan tilanteeseen, jossa vaunun ja matkustajalaiturin väliin syntyy kaluston erilaisten ulottumien seurauksena vaunun alta ulostyöntyvällä lipalla peitettävä rako.
- **VE3.** Vaunukalusto mitoitetaan siten, että yksikön monitoimitilaosastosta on yhteys eri laiturikorkeuksien oville. Yhteydet toteutetaan luiskin. Monitoimitilasta on aina esteetön yhteys eri laiturikorkeuksille. Vain tietyt ovet ovat esteettömät rataverkolla ja vastaavasti toiset ovet esteettömiä rataverkon ulkopuolisilla osuuksilla. Esteettömän kulun tarjoavien ovien pysähdyspaikat merkitään erikseen laiturille esimerkiksi kilvin ja maalauksin. Matkustamossa esteettömien ovien sijainti kerrotaan matkustajainformaatiolla.
- **VE4.** Vaunun lattia mitoitetaan rataverkon ulkopuolella käytettävien pysäkkikorokkeiden korkeuksien (esim. 350 mm tai 380 mm) tai rataverkolla käytettävälle matkustajalaiturien korkeuksien (550 mm) mukaisesti ja ovien kohdalla lattiaa voidaan nostaa tai laskea esteellisyyden poistamiseksi erityisellä sähköisellä nostojärjestelmällä.

Jokaisessa edellä esitettyssä vaihtoehdossa on hyvät ja huonot puolensa. Vaihtoehdossa VE1 hyvänä puolena on saman matkustajalaiturin käyttö. Rataverkon liikennepaikalle ei tarvitse järjestää erillistä laituriraidetta kevytkalustoa varten. Vaikka ajatus kuulostaa itsessään yksinkertaiselta, siitä seuraa helposti mittavia ratapihojen liikenteen uudelleen järjestelyitä ja mahdollisesti kokonaan uusien vaihteiden asentamisen tarve. Erityisen haastavaa tämä olisi suurimmilla ase-

milla. Vaihtoehto VE1:ssä vaunuille järjestetään kaikille laituriraitteille oma pysähdysalueensa. Suurilla risteysasemilla se voi johtaa pitkiin kävelymatkoihin. On kuitenkin hyvä huomata, että eräisiin Suomen vilkkaimmista henkilöliikenneasemista kuuluvalla Helsingin rautatieasemalla kävelymatkat HSL:n lähijunaliiikenteen käyttämiltä raiteilta R001–003 ja R012–019 asemarakennukseen sisäänkäynnille ovat vähintään 200 metriä ja mikäli matkustaja haluaa jatkaa matkaansa raitiovaunulla tai metrolla, ovat kävelymatkat vielä huomattavasti tätä pidemmät. Muilla liikennepaikoilla edellä kuvatun kaltaisia pitkiä kävelymatkoja tuskin tulee. Kuvassa 18 esitetään kahden eri korkeuden matkustajalaituri.



*Kuva 18. Kaksi eri matkustajalaiturikorkeutta Karlsruheesta Heidelbergiin johtavalla pääradalla Saksassa. Kuvassa etualalla harmailla laatoilla päällystetyllä, 760 mm korkealla laiturisektorilla pysähtyvät alue liikenteen veturivetoiset aluejunat (Regionalbahn) ja sähkömoottorivaunut. Kauempana näkyvällä punertavalla laatoilla päällystetyllä, matalammalla, 550 mm korkealla laiturisektorilla pysähtyvät Karlsruhen duoraitiovaunut. Koska korkeusero on vähäinen (210 mm), on ero toteutettu loivalla luiskalla. Kuva: Jouni Kiviniitty. Weingarten (Württemberg), 11.6.2018.*

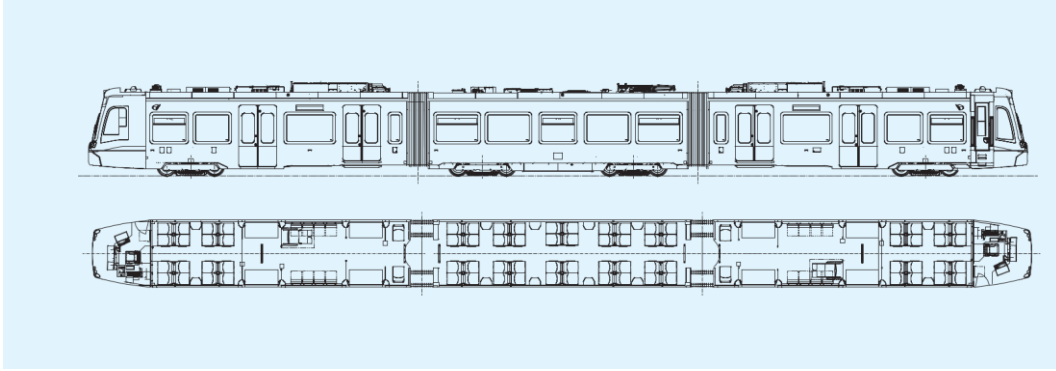
Vaihtoehdossa VE2 lähtökohtana on, että rataverkolla käytetään 550 mm matkustajalaiturin korkeutta. Hyvänä puolena tässä vaihtoehdossa on ATUn vaatimusten täytyminen sellaisenaan, eikä muulle kalustolle aiheudu häiriötä tai haittaa. Huonona puolena on, että duoraitiovaunun lattiakorkeus jää selvästi alemmas. Kaupunkiverkon pysäkkilaitureiden ollessa korkeudeltaan 350–380 mm, syntyy vaunun lattian ja laiturin reunan väliin 170–200 mm korkeusero vaunun lattian jäädessä reunaa matalammalle. Tässä vaihtoehdossa duoraitiovaunuille rakennetaan omat matkustajalaiturinsa laituriraitteineen. Kuten vaihtoehdossa VE1 se aiheuttaa haasteita rataverkolla, erityisesti suurilla liikennepaikoilla, joissa 1–2 laituriraidetta joudutaan varaamaan pelkästään kevytkalus-

toa varten. Tämä korostuu erityisesti tilanteessa, jossa vaunut joutuvat seiso-  
maan pidempiä aikoja esimerkiksi ajantasauksen takia. Kuvassa 19 esitetään ka-  
luston lattian alta ulos työntyvä lippa.



*Kuva 19. Kalustoyksikön ja pysäkkikorokkeen välinen rako voidaan peittää vaunun  
alta työntyvällä lipalla. Kuva: Jouni Kiviniitty, Karlsruhe, 11.6.2018.*

Vaihtoehdossa VE3 hankitaan kahdella eri laiturikorkeudella toimivaa kalustoa. Kaikki kaluston ovet eivät ole tällöin esteettömät, vaan laiturikorkeuden mukaan tietyt ovet ovat esteettömiä kaupunkialueella ja tietyt taas rataverkolla. Vaunu voidaan toteuttaa siten, että esimerkiksi kolmimoduulisessa vaunussa joko kes-  
kimmäisessä vaunussa on monitoimiosasto tai vastaavasti molemmissa pää-  
tyvaunuissa. Eri ovikorkeuksien ovet sijoitetaan monitoimiosastojen eri puolille,  
jolloin monitoimiosastosta on aina esteetön yhteys laiturille korkeudesta riippu-  
matta. Esteetön yhteys oville monitoimitilasta varmistetaan loivasti kaltevalla  
lattialla ovien luona. Matkustajainformaatioissa tulee kuitenkin kiinnittää eri-  
tyistä huomiota eri asemilla ja pysäkeillä esteettömään yhteyteen. Kaluston  
ominaisuudet ovat parhaimmillaan osuuksilla, joissa on useita molempien laitu-  
rikorkeuksien pysäkkejä. Jos taas enemmistö matkustajalaitureista soveltuu  
vain toiselle ovikorkeudelle, ei ovien osittainen esteellisyys ole optimaalinen ti-  
lanne. Linjan eri laiturikorkeuksien suhde vaikuttaa kannattaako tilata kahden eri  
ovikorkeuden kalustoa vai pohtia muita ratkaisuja. Kahdella eri ovikorkeudella  
varustettu kalusto esitetään kuvassa 20.



*Kuva 20. Kalustoyksikkö voi toimia kahdella eri laiturikorkeudella. Piirroskuvassa olevaan moottorivaunuun voi nousta esteettömästi raitioverkon 300 mm korkeilta pysäkkikorokkeilta ja rataverkon 550 mm korkeilta matkustajalaiturilta. Kuvan Citylink-vaunu toimitetaan duoraitioliikennettä varten Unkarin Szegediin. Kuva: Stadler Rail AG.*

Vaihtoehto VE4 noudattaa vaihtoehdossa VE3 esitettyä käytäntöä kuitenkin niin, että vaunujen ovien kohdalla on nostolaite, jolla vaunuun poistuva tai sinne nouseva voi järjestää itselleen esteettömän kulun. Tämä helpottaa etenkin lasten-vaunujen, pyörätuolien yms. kuljettamista. Nostolaitteen käyttämisen ei ole todettu pidentävän pysähdysaikoja. Kuvassa 21 esitetään kalustoyksikön eteisti-  
loissa oleva nostolaite.



*Kuva 21. Ruotsissa X50–X55 sarjojen sähkömoottorijunissa yksikössä yksi ovi on muita matalammalla korkeudella, joka tarjoaa esteettömän kulun junaan ja junasta. Junayksikköjen muu lattia on samassa tasossa, joten esteettömästä eteisestä yhteys junaan järjestetään nostolaitteella. Nostolaitteen pyöreä osa kääntyy 90 astetta ja nousee junan muun lattian tasolle, samoin osa viereisistä portaista nousee samaan tasoon nostinta käytettäessä. Nostolaitteen käyttö ei vaikuta pysähdysaikoja hidastavasti, sillä laitetta käyttävä henkilö voi jo junan liikkeessä laskeutua alatasolle odottamaan pysähdystä tai vastaavasti jo junan lähdettyä liikkeelle nostaa itsensä ylemmälle tasolle. Kuva: Järnväg.net /44/.*



Neljästä edellä esitetystä vaihtoehdosta jokaisessa on hyvät ja huonot puolensa. Johtopäätöksenä todetaan, että tilanteessa, jossa kaupunkiverkko on laaja tai raitiovaunutyypiselle kalustolle löytyy tulevaisuudessa kysyntää rataverkon ulkopuolella, ovat vaihtoehdot VE1 ja VE2 parhain tapa ratkaista matkustajalaiturien korkeuksiin liittyvät ongelmat. Kaupunkiseuduilla, joissa on tasaistemmin eri laiturikorkeuksien matkustajalaitureita, suositellaan vaihtoehtoa VE3. Vaihtoehtoa VE4 voidaan käyttää tilanteessa, jossa poikkeavan laiturikorkeuden matkustajalaitureita on lähtökohtaisesti vain vähän.

Vaihtoehdot VE1 ja VE2 edellyttävät rataverkolla muutoksia olemassa olevaan infrastruktuuriin. Kevytkaluston käyttämät laituriraiteet ja matkustajalaiturit tulee huomioida suunnittelussa. Tästä aiheutuu suurilla liikennepaikoilla väistämättä kustannuksia sekä liikenteen uudelleen järjestelyä etenkin tilanteessa, jossa kevytkalustolla ajetaan seudun keskeiselle asemalle. Onko yksittäisellä liikennepaikalla tilaa tällaisille järjestelyille, se tulee selvittää tapauskohtaisesti.

Liikennepaikat tulisi sijoittaa ensisijaisesti suoralle rataosuudelle. Kaarteissa olevilla liikennepaikoilla syntyy yksikön ja matkustajalaiturin reunan välille syntyy rako. Matkustajalaiturin ja yksikön välille syntyy rako, joka kasvaa, mitä jyrkemmässä kaarteessa liikennepaikka sijaitsee. Tästä seuraa haasteita jo 3200 mm leveää kalustoa käytettäessä. Jos yksikön leveys on kapeampi, esimerkiksi 2650 mm, yksikön ja matkustajalaiturin väliin syntyvä rako on vieläkin leveämpi. Tällöin riskinä on, että matkustaja joutuu matkustajalaiturin ja yksikön välein, jolloin aiheutuu merkittävä vakavan loukkaantumisen riski. Siten matkustajalaitureita ei tulisi sijoittaa kaarteeseen lainkaan, jos niillä pysähtyy kapeampia yksiköitä ja riski liian suureen matkustajalaiturin ja yksikön väliseen rakoon kasvaa merkittäväksi.

Matkustajapalvelun yksinkertaistamiseksi tulee kuitenkin pyrkiä yhtenäisiin laiturijärjestelyihin sekä rataverkolla että sen ulkopuolella. Paras lähtökohta on käyttää kaikkialla 550 mm laiturikorkeutta ja tämä on myös verkolla säätelyn mukainen laiturikorkeus. Toinen teknisesti toteuttamiskelpoinen vaihtoehto on, että kevytkalusto käyttää rataverkolla ja sen ulkopuolella korkeintaan yhtä laiturikorkeutta, esimerkiksi 380 mm. Rataverkolla laiturirakenteissa huomioidaan ATU:n vaatimukset sijoittamalla matkustajalaituri sen vaatiman etäisyyden verran kiskonharjasta ja kattamalla matkustajalaiturin reunan ja vaunun väliin jäävä aukko lipalla. Tältä osin käytetään vaihtoehdossa VE1 esitettyä periaatetta. Ratkaisua suositellaan edelleen siinä tilanteessa, jossa rataverkolla ja sen ulkopuolella duoraitiovaunulla on yhtä paljon pysähdyspaikkoja.

### **5.3.2.2 Matkustajalaiturien pituudet**

Rataverkolla matkustajalaiturien pituudet vaihtelevat kullakin rataosalla käytettävien junatyypien mukaan. Tässä työssä ei ole tarpeen antaa tarkkoja mittoja matkustajalaiturien pituuksille. Jos liikennepaikalla ei pysähdy muuta kalustoa, eikä matkustajalaiturin tavoitteena ole palvella edes poikkeustilanteissa muuta junaliikennettä kuin kevyitä moottorivaunuja, tulee tämä huomioida mitoituksessa. Siten matkustajalaiturit tulee mitoittaa vain käytettävän kalustoyksikön pituuden mukaisesti. Lyhyilläkin matkustajalaitureilla tulee pyrkiä esteettömyyteen ja varustaa laiturit välttämättömällä matkustajainformaatiojärjestelmällä sekä katoksella.

Raitiotieverkoilla käytettävät pysäkkikorokkeet ovat yleensä yhtä pitkiä kuin käytettävissä oleva kalusto. Monilla uusilla raitiotieverkoilla on kuitenkin varauduttu pidempään kalustoon: jos esimerkiksi yksikön pituus on liikenteen aloittamishetkellä 37 m, on pysäkkikorokkeiden pituuksissa varauduttu 47 metriin. Siiten vaunuja voidaan tarvittaessa pidentää, jos matkustajamäärät osoittautuvat oletettua suuremmaksi.

Esimerkiksi Saksassa ja Ruotsissa joidenkin rataosuuksien matkustajamääriltään hiljaisilla liikennepaikoilla on toteutettu hyvin lyhyitä laitureita. Liikennepaikoilla matkustajalaiturit on sijoitettu siten, että ne osuvat vain 1–2 oven kohdalle. Tällöinkin matkustajalaiturit ovat esteettömiä ja ne on varustettu tarvittavin varustein, kuten matkustajainformaatiolaittein ja katoksin. Lyhyet matkustajalaiturit ovat kuitenkin matkustajille haastavia, koska uloskäynti tapahtuu vain tietyistä kalustoyksikön osista. Suomessa lyhyet matkustajalaiturit tulevat kyseeseen joillakin matkustajamääriltään hyvin alhaisilla liikennepaikoilla. Niitä ei kuitenkaan suositella rakennettavaksi.

### **5.3.2.3 Sähköistysjärjestelmä**

Rataverkolla käytetään 25 kV 50 Hz:n vaihtovirtaa. Kaupunkiverkolla käytetään turvallisuussyistä 600–750 V tasavirtaa. Jos kalustoyksikkö liikkuu sekä rataverkolla että sen ulkopuolella, tulee yksikön kyetä kulkemaan sekä vaihto- että tasavirtajärjestelmässä tai vaihtoehtoisesti käyttää toisen verkon alueella kulkiessaan jotakin muuta käyttövoimaa. Tämä voidaan ratkaista esimerkiksi siten, että kaupunkialueella käytetään tasavirtaa ja rataverkolla käyttövoimana on esimerkiksi diesel tai akku.

### **5.3.2.4 Kiskoprofiilit**

Urakiskoa voidaan käyttää, jos sitä jossain kohdassa erityisesti tarvitaan. Urakiskona voidaan käyttää rataverkon urakiskoprofiilia P37, mutta tämä edellyttää, ettei muu liikenne ylitä kiskoja muuten kuin 90 asteen kulmassa. Urakiskoprofiilin P37 laippaura on leveämpi (61 mm) kuin raitioteillä yleisesti käytetyllä urakiskoprofiililla 60R2 (laippauran leveys 36,36 mm). Leveämpi laippaura aiheuttaa polkupyörille ja jalankulkijoille vaaratilanteita, eikä sitä siksi suositella käytettäväksi. Urakiskoprofiilia P37 voidaan käyttää kaupunkialueella vain siinä tapauksessa, että rata on sijoitettu samansuuntaisesti muun liikenteen kanssa ja kaikki radan ylittävä liikenne on pyritty vähentämään jo suunnitteluvaiheessa vähimpään mahdolliseen. Mikäli tämä ei ole mahdollista, käytetään raitiotien urakiskoprofiilia, esimerkiksi profiilia 49E1. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan voida käyttää pyöräprofiilia S1002 vaan pyöräprofiilin sovittamiseksi urakiskoon joudutaan käyttämään jotakin kapeampaan kiskonuraan soveltuvaa profiilia.

### **5.3.2.5 Pyöräprofiilit**

Uusi pyöräprofiili joudutaan suunnittelemaan vain siinä tapauksessa, ettei yksikössä voida käyttää pyöräprofiilia S1002. Tällainen tilanne tulee vastaan siinä tapauksessa, että yksikkö liikkuu muillakin kuin rautatietyyppisillä Vignole-kiskoprofiileilla tai urakiskoprofiililla P37. Pyöräprofiili S1002 on käyttökelpoinen aina, kun liikennöidään laippaurattomalla kiskoprofiililla, ja poikkeama tästä aiheutuu vain siinä tapauksessa, mikäli yksiköllä liikennöidään katuradalla. Jos kalustoyksikkö liikkuu radalla, jolla on käytössä urakiskoprofiili, esimerkiksi 60R2,

joudutaan suunnittelemaan uusi pienempi pyöräprofiili. Rataverkolla käytettävää S1002-profiilia pienempien pyöräprofiilien käyttö saattaa johtaa tarpeeseen alentaa suurinta sallittua nopeutta niillä rataosilla, joilla muun liikenteen joukossa liikennöidään kevyillä moottorivaunuilla. Tästä aiheutuu vaikutuksia muulle liikenteelle.

Lähtökohtana pyöräprofiilin suunnittelulle on esimerkiksi saksalaisen DIN-standardin mukainen DIN 25112-3 pyöräprofiili. Se on kuitenkin suunniteltu normaalille 1435 mm raideleveydelle, eikä sellaisenaan sovi Suomessa käytössä olevalle 1524 mm rataverkolla. Pyöräprofiilin suunnitteluun tulee varata aikaa ainakin 1–2 vuotta ja suunnittelussa tulee varmistaa sen toimivuus rataverkon risteysvaihteiden ja raideristeysten ohjauksettomilla osuuksilla.

## 5.4 Kaluston soveltuvuus eri kohteisiin

### 5.4.1 Kaluston käyttö pelkästään rataverkolla

Suomessa kaupunkiseutujen paikallisjunaliikenteeseen sopivista rataosista merkittävä osa on sähköistetty tai suunniteltu sähköistettävän lähitulevaisuudessa. Kaupunkiseutujen näkökulmasta merkittävimmät sähköistystä vailla olevat rataosat sijoittuvat Joensuun, Lahden ja Seinäjoen ympäristöihin. Lisäksi Turun seudulla Raision ja Naantalien väliltä puuttuu sähköistys Turku–Uusikaupunki-rataosan sähköistykseen valmistuttua. Siten rataverkolla käytetään enimmäkseen sähkökäyttöistä kevytkalustoa. Sähköistämättömillä rataosuuksilla voidaan käyttää hybridikalustoa, joka lataa akkuvirran ajolangan alla liikkuesaanaan tai erikseen yöaikana. Rataverkolla voisi siten olla käytössä samasta kalustotyypistä kaksi hieman poikkeavaa versiota: pelkästään 25 kV 50 Hz:n vaihtovirtaa käyttävät sähkömoottorivaunut sekä hybridikalustoa sähköistämättömiä osuuksia varten. Lähtökohtana jälkimmäisessä on, että ainakin osa matkasta ajettaisiin sähköllä, jolloin vaunut voisivat ladata akkuja.

### 5.4.2 Kaluston käyttö rataverkolla sekä kaupunkialueella

Tilanteessa, jossa kalustoyksiköllä liikennöidään enimmäkseen rataverkolla ja vähäisessä määrin sen ulkopuolella voidaan käyttää kevyitä, katukelpoisia moottorivaunuja. Rataverkon ulkopuolella tapahtuva liikenne voi olla lyhyt pistoraide esimerkiksi rautatieasemalta kaupungin keskustaan. Rataosuus voidaan toteuttaa joko kadun reunaa kulkevana erillisratana tai keskelle sijoitettuna urakiskoratana. Rataverkon ulkopuolinen osuus on lyhyt noin 0,5–2,0 km, eikä se ole osa muuta katukelpoista raitiotieverkostoa.

Jos kalustolla halutaan liikkua vähäisessä määrin rataverkon ulkopuolella, voidaan tämä huomioida kalustoyksikön mitoituksessa. Tällöin kalustoyksikön leveys voisi olla monissa eurooppalaisissa raitiotie- ja metrojärjestelmissäkin käytetty 2650 mm rataverkolla käytetyn 3200 mm sijaan. Pyöräprofiili ratkaistaan tapauskohtaisesti. Jos yksikkö liikkuu enimmäkseen rataverkolla, käytetään rataverkon pyöräprofiilia S1002. Rataverkon ulkopuolella – vaikkakin kyseessä on lyhyt, urakiskoa edellyttävä rataosuus – tulee urakiskon laippauran yleensä olla kapeampi kuin urakiskoprofiilissa P37 käytettävä. Urakisko P37:ää voidaan käyttää vain siinä tapauksessa, että rataverkon ulkopuolella sijaitse-

valla katuosuudella ei ole samansuuntaista jalankulku- tai polkupyöräliikennettä. Tällöinkin tulee huomioida, että radan ylittävä liikenne tapahtuu 90 asteen kulmassa. Jos tämä ei ole mahdollista ja radalla on tarve pienisäteisille kaarteille, esimerkiksi katujen kulmauksissa, käytetään laippauraltaan kapeampaa urakiskoa, esimerkiksi profiilia 60R2. Tällöin yksikössä tulee käyttää myös jotain muuta pyöräprofiilia kuin S1002.

Jos rataverkon ulkopuolella on vain muutamia yksittäisiä pysäkkejä, ja ne sijoituvat keskikaupungin ulkopuolelle tai niitä ei koeta kaupunkikuvallisesta näkökulmasta haitoiksi, voi matkustajalaiturien korkeus olla 550 mm. Tätä korkeutta ei kuitenkaan suositella käytettäväksi tiiviisti rakennetuilla keskusta-alueilla tai kulttuurihistoriallisesti ja kaupunkikuvallisesti merkittävissä paikoissa. Rataverkolla käytetty, 550 mm matkustajalaiturien korkeus on kuitenkin vaihtoehto tilanteessa, jossa se voidaan käytettävissä olevan tilan puitteissa toteuttaa ja korkeiden matkustajalaitureiden lukumäärä on vähäinen, enimmillään kaksi tai kolme.

Kaluston valinnassa lähtökohtana ovat rataverkon vaatimukset ja kalustoyksikössä käytetään samoja kulunvalvontalaitteita kuin muussakin kalustossa rautatiekalustossa. Pyöräprofiilina käytetään profiilia S1002. Yhden kolmimoduulisen yksikön pituus voi olla esimerkiksi 36 000 m ja leveys 3200 mm. Kaluston leveys on sama kuin rataverkolla käytettävällä kalustolla. Siten tarvetta erilliselle laiturimuutoksille ei pääsääntöisesti ole, ellei sitten katukelpoisuutta nähdä keskeisemmäksi ja kaluston leveydeksi valita duoraitiovaunuille ominaisempi 2650 mm leveys.

Kaluston käyttövoimaksi valitaan sähkö siellä, missä sitä on mahdollista käyttää. Koska yksiköt liikkuvat enimmäkseen rataverkon sähköistetyillä osuuksilla, käytettäisiin lähtökohtaisesti 25 kV 50 Hz:n vaihtovirtaa. Rataverkon ulkopuolisilla lyhyillä osuuksilla käytettäisiin akuista saatavaa käyttövoimaa. Joissakin tapauksissa voidaan pohtia myös rataverkon ulkopuolella sijaitsevan osuuden sähköistämistä 600–750 V tasavirralla, mutta mikäli kyseessä on lyhyt, korkeintaan kahden kilometrin pituinen osuus, ei tätä suositella korkeiden kustannusten takia.

### **5.4.3 Kaluston käyttö rataverkolla sekä kaupunkiraitiotiellä (duoraitiovaunut)**

Tilanteessa, jossa rataverkon lisäksi halutaan liikennöidä laajalla kaupunkiraitiotieverkolla tai käyttää katukelpoista kalustoa kaupungin sisäisessä liikenteessä sekä seudullisilla matkoilla, on duoraitiovaunu hyvä ratkaisu. Tällöin samalla kalustoyksiköllä voidaan liikennöidä sekä rataverkolla että erillisellä kaupunkiverkolla. Tällainen järjestelmä edellyttää aina erityisen, yleensä raitiovaunukalustoon perustuvan kaluston hankkimista, koska sen tulee täyttää molempien järjestelmien vaatimukset. Molempien järjestelmien edellyttämät tekniset vaatimukset ovat ratkaistavissa, mutta joissakin asioissa joudutaan tyytymään kompromisseihin. Etenkin kaupunkiverkon ja rataverkon yhdistäminen vaatii erityistä tarkkuutta.

Suomessa lähtökohta poikkeaa Keski-Eurooppaan toteutetuista duoraitiotiejärjestelmistä siltä osin, että Keski-Euroopassa laaja, samaa raidelevyettä käyttävä kaupunkiraitiotieverkosto on yleensä ollut erillisenä olemassa 1800-luvun loppupuolelta lähtien ja järjestelmät on kyetty yhdistämään erillinen kalusto kehittämällä. Suomessa rataverkon kanssa yhdistettävää raitiotieverkostoa ei ole, vaan sellainen jouduttaisiin rakentamaan erikseen, mikäli rautatiekelpoisella kalustolla haluttaisiin palvella laajempaa kokonaisuutta. Monilla kaupunkiseuduilla olisi kuitenkin potentiaalia mahdollisille kaupunkiosuuksille ja nämä olisi mahdollista toteuttaa kevyen kaluston tai duoraitiovaunukaluston tekniset tarpeet huomioiden.

Helsingin ja Tampereen kaupunkiseutujen raitiotieverkostojen yhdistäminen rataverkkoon edellyttäisi verkostojen täydellistä uudelleenrakentamista tai raidelevyettä vaihtavan erikoiskaluston käyttämistä. Ratakapasiteetin rajallisuuden sekä raitioliikenteen erilaisen luonteen ja toimintaympäristön vuoksi verkkojen yhdistäminen ei ole tarkoituksenmukaista.

Rataverkko asettaa vaatimukset raidelevydelle, aukean tilan ulottumalle, kulunvalvonnalle sekä sähköistysjärjestelmälle. Raideleveys olisi tällöin kaupunkialueellakin 1524 mm. Kahden raidelevyden kolmi- tai nelikiskoisia osuuksia ei suositella missään tapauksessa rakennettavan. Vaunut ovat tavanomaista rautatiekalustoa kapeampia, yleensä 2650 mm leveitä. Vaunut tulee varustaa ETCS-järjestelmän mukaisilla kulunvalvontalaitteilla sekä JKV-järjestelmää lukevalla STM-moduulilla, mikäli JKV on vielä käytössä kaluston tullessa liikenteeseen. Duoraitiovaunut voivat muun kaluston tapaan käyttää Suomessa 25 kV:n jännitettä rataverkolla tai liikkua jollain muulla käyttövoimalla. Mikäli käytössä on kahta eri sähköjärjestelmää käyttävää kalustoa, on sähköistysjärjestelmä rataverkolla aina 25 kV 50 Hz.

## 6 Johtopäätökset

Selvityksessä on koottu yhteen infrastruktuurin ja kaluston yhteentoimivuuden välttämättömät tekniset vaatimukset. Näitä ovat mm. sähköistysjärjestelmä, matkustajalaiturien korkeudet, kisko- ja pyöräprofiilit. Merkittävimmät tunnistetut haasteet liittyvät tilanteisiin, joissa samalla kalustolla halutaan liikennöidä rataverkon ulkopuolella. Mikäli rataverkon ulkopuolella liikennöidään vain rajoitetusti, esimerkiksi 1–2 kilometrin pituisella radalla, voidaan tarpeen mukaan myös rataverkon ulkopuolinen infrastruktuuri toteuttaa rataverkon ehdoin. Tällöin tulee kuitenkin huomioida muu liikenne sekä kaupunkikuvalliset seikat. Pääsääntöisesti rataverkon ulkopuolella joudutaan kuitenkin toteuttamaan sille asetetuista vaatimuksista poikkeavia ratkaisuja. Tämä korostuu erityisesti siinä tilanteessa, jos rataverkon ulkopuolella on enemmän kuin 2–3 pysäkkiä ja rataverkko käsittää enemmän kuin 1–2 kilometriä.

Rataverkolla liikennöivältä kevyeen kalustoyksikköön sovelletaan samoja määryksiä kuin muuhunkin liikkuvaan kalustoon. Siitä tulee löytyä mm. ETCS-järjestelmän mukaiset kulunvalvontalaitteet. Tämä vaatimus koskee myös sekaliikenteessä, sekä rataverkolla että sen ulkopuolella liikennöivää kalustoa. Rataverkon ulkopuolella liikuttaessa kulunvalvontaa ei edellytetä, mikäli kaluston nopeus ei ylitä arvoa 70 km/h tai sillä ei ole pitkiä tunneliosuuksia. Kalusto on yleensä varustettu kuitenkin matkustajainformaatiojärjestelmällä sekä muulla liikennöitsijälle reaaliaikaista tietoa kaluston liikkeistä tuottavalla järjestelmällä.

Jos kalustoyksikkö liikkuu pelkästään rataverkolla, käytetään pyöräprofiilia S1002, jos taas liikutaan rataverkon ulkopuolella, etenkin siten, että ulkopuolinen verkosto on tyypillinen kaupunkiraitiotieverkko, joudutaan kehittämään molemmissa verkostoissa yhteentoimiva pyöräprofiili. Tällöin tulee huomioida profiilin toimivuus rataverkon risteysvaihteiden ja raideristeysten ohjauksettomilla osuuksilla. Huomioon tulee ottaa myös se, ettei kevyen kaluston pienikokoisempi pyöräprofiili alenna muun rataverkolla kulkevan liikenteen nopeuksia. Rataverkolla sekä sen ulkopuolella toimivan sekaliikenteessä käytettävän pyöräprofiilin kehittämiseen tulee varata aikaa vähintään 2–3 vuotta. Eräs lähtökohta voisi olla Saksan standardi DIN 25112-3 mukainen profiili. Se ei kuitenkaan sellaisenaan sovellu Suomen rataverkolle.

Laiturivaihtoehtoja on kaksi: rataverkolla käytettävät 550 mm korkeat matkustajalaiturit, jotka sopivat kaikelle kalustolle tai esim. 380 mm korkeat laiturit, jotka sopivat vain kevyelle paikallisliikennekalustolle. Jälkimmäisen vaihtoehdon haittana ovat yhdysliikenneasemilla kahdet eri laiturikorkeudet. Pelkästään rataverkolla tai vähäisessä määrin sen ulkopuolella liikkuva kalusto käyttää 550 mm laiturikorkeutta. Rataverkolla sekä sen ulkopuolella laajemmin liikennöivät sekaliikenteessä käytettävät kalustoyksiköt joudutaan sovittamaan kahdelle eri laiturikorkeudelle: rataverkon matkustajalaiturit 550 mm korkeudelle ja sen ulkopuolella esimerkiksi 380 mm korkeudelle. Rataverkon ulkopuolella 550 mm korkeat matkustajalaiturit ovat liian korkeita, eivätkä sovellu kaupunkikuvaan. Esimerkiksi Tampereen raitiotiellä pysäkkilaiturien korkeus on 350 mm. Rataverkolla voidaan käyttää esimerkiksi 380 mm laiturikorkeutta kevyen kalustoyksikön käyttämillä liikennepaikoilla. Tällöin tulee kuitenkin huomioida, ettei ma-

talammasta laiturista aiheudu haittaa muulle rataverkolla kulkevalle liikenteelle. Aukean tilan ulottuma on huomioitava matkustajalaiturin sijoittelussa. Mikäli kevyen kalustoyksikön ja matkustajalaiturin reunan väliin jää liian suuri rako, voidaan se peittää yksikön oven alta työntyvällä lipalla. Tämä ei hidasta yksikön pysähdysaikaa liikennepaikalla. Suurilla liikennepaikoilla voidaan lisäksi joutua tilanteeseen, jossa osa laituriraiteista on varattu pelkästään kevyempiin kalustoyksiköihin. Tämä tulee huomioida liikennepaikkojen liikennettä suunniteltaessa, etenkin mahdollisten häiriö- ja poikkeustilanteiden varalta.

Matkustajalaitureiden sijoittelua suunniteltaessa tulee tapauskohtaisesti pohdita myös niiden pituutta. Liikennepaikoilla, joilla pysähtyy pelkästään kevytkalustoa, on harkittava riittääkö lyhyempi, korkeintaan kahden kevytkalustoyksikön pituuden palvelutarpeen kattava matkustajalaituri. Lyhyemmät matkustajalaiturit varattaisiin yksinomaan paikallisliikenteen käyttöön, eivätkä kaukoliikenteen junat voisi käyttää matkustajalaituria edes poikkeustilanteessa. Matkustajalaiturien pituudessa tuleekin käyttää tapauskohtaisia harkintaa: niillä liikennepaikoilla, joilla ei suurella todennäköisyydellä ei ole tulevaisuudessa tarvetta kaukojunien pysähdyksiin, riittää lyhyemmät laiturit. Näin on toisaalta toimittu jo joillakin uusilla liikennepaikoilla, joilla matkustajalaiturit on mitoitettu sähkömoottorijunayksiköitä tai kiskobusseja varten. Lyhyidenkin laiturien tulee olla esteettömiä ja varustaa esim. katoksella ja tärkeimmällä matkustajainformaatiolla.

Kevytkalustoa on hyvin saatavilla eri valmistajilta. Perusratkaisuksi suositellaan 2–3 moduulin yksikköä. Pääsääntöisesti kevytkaluston tulee olla rataverkolla liikennöiviä sähkömoottorivaunuja. Yksiköt hankitaan rataverkon vaatimusten mukaisesti ja niitä käytetään niillä kaupunkiseuduilla, joilla paikallisliikenteen ei ole suunniteltu liikennöivän rataverkon ulkopuolella. Sähkömoottorijunien hankinta on kohtalaisen yksinkertaista: suurten kalustonvalmistajien tuotteisiin kuuluvia perustuotteita on saatavilla nopeasti ja niitä voidaan muokata tilaajan edellyttämällä tavalla. Suomen rataverkon vaatimukset sekä tilaajan tarpeet on huomioitavissa hankintaa tehtäessä, jolloin alueille saadaan tarkoituksenmukaisesti kalustoa. Erityisesti sähkömoottorivaunujen käytön hyödyt korostuvat niillä rataverkon osuuksilla, jotka on jo nyt sähköistetty, tai joiden sähköistys on suunniteltu toteutettavaksi 2020-luvun loppuun mennessä tai lisäsähköistys koskisi vain lyhyitä jatko-osia.

Kalustoyksiköstä ainakin osan tulee olla esteetön ja se tulee huomioida kalustoyksikön hankinnassa. Esteettömyyden lisäksi hankinnassa on kiinnitettävä erityistä huomiota yksiköiden monitoimitilaan ja sen käytettävyyteen. Esimerkiksi lastenvaunujen, pyörätuolien ja polkupyörien kuljettamiseen tulee varautua riittävin paikoin. Monilla alueilla polkupyörän käyttö liityntäyhteytenä on lisääntynyt ja usein se halutaan ottaa mukaan. Polkupyörää ei tule nähdä retkeily- tai urheiluvälineenä vaan keskeisenä osana arkisia matkaketjuja. Esteettömyysvaatimus ei koske koko junaa vaan riittää, kun yksi osa siitä on esteetön. Jos yksikkö koostuu useista moduulista, tulee mahdollisuuksien mukaan pyrkiä esteettömyyteen myös junan sisällä. Tämä vaatimus korostuu erityisesti tilanteissa, jos yksikkö käyttää rataverkon ulkopuolella muita kuin 550 mm korkeita matkustajalaitureita.

Tämän lisäksi tulee mahdollisesti hankkia 1–2 kalustotyyppiä rataverkon ulkopuolista liikennettä varten. Näistä toinen on kevyempi duoraitiovaunu ja toinen katukelpoinen moottorivaunu lyhyttä, rataverkon ulkopuolella tapahtuvaa liikennettä varten. Jos tarvetta ilmenee pelkästään vähäiselle, rataverkon ulkopuoliselle liikenteelle, ei duoraitiovaunua tarvita.

Kaluston käyttövoima tulee ratkaista tapauskohtaisesti. Kun rataverkosta merkittävä osa on jo nyt sähköistetty, suositellaan sähkökäyttöistä, rataverkolla 25 kV 50 Hz:n vaihtovirtaa käyttäviä kalustoyksiköitä. Rataverkon ulkopuolella käyttövoimana olisi lähtökohtaisesti joko ajolangasta otettava 600–750 V tasavirta tai akuista saatava sähkövirta. Jälkimmäisessä tapauksessa akut ladattaisiin yksikön kulkiessa sähköistetyllä alueella. Oletuksena on, että ajolangaton osuus olisi lyhyt. Vedyn hyödyntämiseen käyttövoimana liittyy toistaiseksi paljon epävarmuustekijöitä. Viime vuosien kehityksen perusteella voi olettaa vedyn osuuden käyttövoimasta lisääntyvän merkittävästi lähivuosina, mutta tällä hetkellä sen osuus on vielä pieni. Vedyn käytön kehitystä tulee kuitenkin seurata tarkasti.

Kalustoyksiköitä hankittaessa suositellaan päädyttävän korkeintaan 2–3 erilaiseen kalustotyyppiin, jotta hankinta-, käyttö- ja huoltokustannukset ovat edullisemmat. Kalusto tulee mahdollisuuksien mukaan hankkia kertahankintana, jolloin yksittäisen yksikön kappalehinta on edullisempi. Yhtenäisen kaluston käyttö eri puolilla maata on edullisinta, koska tällöin kaluston huoltokustannukset eivät kasva korkeiksi, kun kalustoa voidaan huoltaa ja siirtää eri puolille maata. Siten esimerkiksi Jyväskylässä, Kuopiossa, Etelä-Pohjanmaalla ja Satakunnassa voidaan käyttää samaa kalustoa ja siirtää sitä tarvittaessa helposti alueella toiselle. Pelkästään sähkömoottorivaunujen rinnalle hankitaan lisäksi samasta kalustotyyppistä hybridiversion, jolla hoidetaan sähköistämättömien rataosuuksien liikenne. Myös tällaisia ratkaisuja on kalustovalmistajilta saatavissa: ulkoisesti ja suurelta osin tekniikaltaan kyseessä on samanlainen yksikkö, mutta toinen on sähkömoottorin lisäksi varustettu myös esimerkiksi akuilla tms. Tällainen ratkaisu voisi tulla kyseeseen esimerkiksi Lahden seudulla.



## Yhteenveto

Selvityksessä ehdotetaan hankittavaksi ensisijaisesti kevyttä sähkömoottorijunakalustoa niille kaupunkiseuduille, joilla sähköistettyjen rataosuuksien osuus on muutenkin suuri. Kaupunkiseuduilla, joilla on sähköistettyjen rataosuuksien ohella myös sähköistämättömiä rataosuuksia, ehdotetaan hankittavaksi hybridikalustoa. Katukelpoista kalustoa voidaan hankkia niillä kaupunkiseuduilla, joilla tunnustetaan tarve rataverkon ulkopuoliseen liikenteeseen. Toisistaan poikkeavia kalustotyyppisiä suositellaan hankittavaksi enintään 2–3 kappaletta. Nämä voivat jakaantua käyttövoimansa tai käyttötarkoituksensa mukaisesti. Yhteenveto kevyempien kalustoyksiköiden keskeisistä ominaisuuksista esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Yhteenveto kevyempien moottorivaunujen teknisistä ominaisuuksista

	Rataverkolla liikennöivä kalusto	Rataverkolla ja vähäisessä määrin sen ulkopuolella liikennöivä kalusto	Rataverkolla ja sen ulkopuolisella verkolla liikennöivä kalusto (esim. duoraitiovaunut)
Yksikön pituus	36 000–60 000 mm	40 000–50 000 mm	36 000–40 000 mm
Yksikön leveys	3200 mm	2650–3200 mm	2650 mm
Huippunopeus	120–160 km/h	100–120 km/h	80–100 km/h
Pyöränprofiili	S1002	S1002	Kehitettävä erikseen
Kulunvalvonta	ETCS	Rataverkolla ETCS, rataverkon ulkopuolella ei vaadita	Rataverkolla ETCS, raitioverkolla ei vaadita
Sähköistysjärjestelmä	25 kV 50 Hz	25 kV 50 Hz/ 750 V	25 kV 50 Hz/ 750 V
Matkustajalaiturien korkeus	550 mm	Rataverkolla 550 mm, ulkopuolella esim. 380 mm	a) Rataverkolla ja sen ulkopuolella esim. 380 mm b) Rataverkolla 550 mm, ulkopuolella esim. 380 mm. Korkeusero ratkaistaan kalustoyksiköissä eri korkeuksilla olevin ovin
Käyttötarkoitus	Rataverkko	Rataverkko, rajoitusti sen ulkopuolella	Rataverkko ja raitioverkko
Käyttövoima	Rataverkolla sähkö, vety, hybridi (esim. akkukäyttö)	Rataverkolla tai sen ulkopuolella sähkö, vety, hybridi (esim. akkukäyttö),	Rataverkolla sähkö tai hybridi, raitioverkolla sähkö tai akku

Pelkästään rataverkolla käytettävän kevytkaluston tekniset ominaisuudet ovat helposti sovitettavissa sovellettaviin määräyksiin ja ohjeisiin. Työssä ei tunnista mitään merkittävää estettä kevytkaluston hankkimiseksi tai liikenteen käynnistämiseksi. Kaluston tulee kuitenkin täyttää rataverkolla liikkuaan EU:n rautatiedirektiivit ja sille alisteiset asetukset, yhteentoimivuuden tekniset eritelmät sekä kansallinen lainsäädäntö.

Mikäli kalustoa halutaan käyttää rataverkon ulkopuolella, on sekin teknisesti mahdollista, mutta vaatii useiden infrastruktuurin teknisen yksityiskohtien yhteensovittamista. Tämä koskee mm. matkustajalaiturien korkeuksia, pyöräprofiileja sekä kulunvalvontajärjestelmiä. Mikäli katukelpoista kalustoa hankintaan, tulee muutamien teknisten yksityiskohtien, mm. raitioteille ja rautateille soveltuvan yhtenäisen pyöräprofiilien kehittämiseen varata aikaa. Myös katukelpoista kalustoa on suurilta kalustovalmistajilta saatavissa. Tarvittaessa kalustonvalmistajat voivat toimittaa hyvinkin pieniä kalustoeriä erilaisiin ja vaativiin olosuhteisiin.

Kevytkalustoa hankittaessa tulee huomioida sen soveltuvuus rataverkon infrastruktuurin vaatimuksiin. Tämä koskee erityisesti matkustajalaitureita: tarvetta on kahdelle eri laiturikorkeudelle, joista toinen on rataverkolla tälläkin hetkellä käytettävä, kaikelle henkilöliikenteen kalustolle sopiva 550 mm laiturikorkeus. Toinen vaihtoehto voisi olla esimerkiksi 380 mm korkeat, vain lähiliikennekalustolle soveltuvat matkustajalaiturit. Jälkimmäisen vaihtoehdon haittana on yhdysliikenneasemilla kaksi eri laiturikorkeutta. Kalustoyksikön tulee olla ainakin osittain esteetön. Esteettömyysvaatimuksen tulee täytyä ja se on huomioitava suunnittelussa.

Infrastruktuurin vaatimukset tulee huomioida mm. sähköistysjärjestelmässä: rataverkolla käytetään 25 kV 50 Hz vaihtovirtajärjestelmää. Jos vaihtovirtajärjestelmäkallustoa ei haluta käyttää rataverkolla, tulee kaluston käyttövoima olla jokin muu vaihtoehto. Tasavirtajärjestelmiä ei käytetä rataverkolla.

Kalustohankinta suositellaan tekemään valtakunnallisena yhteishankintana. Täten saadaan merkittäviä taloudellisia hyötyjä yksittäisen kalustoyksikön kapalehinnan muodostuessa edullisemmaksi. Yhteishankinta on hyödyllinen siinäkin tapauksessa, mikäli kaluston käyttövoima eri alueilla poikkeaa toisistaan tai joillakin alueella päädytään katukelpoiseen kalustoon. Tällöin varaudutaan myös kaluston huollon kustannustehokkaaseen järjestämiseen sekä yksittäisten yksiköiden siirtoon alueelta toiselle tarvittaessa.

Kevytkaluston hankkiminen on todettu teknisesti mahdolliseksi ratkaisuksi järjestää pienten ja keskisuurten kaupunkien paikallisliikenne. Tässä työssä ei oteta kantaa eri alueiden toisistaan poikkeaviin yksityiskohtaisiin tarpeisiin. Mitään teknistä estettä eri käyttövoimaa käyttävien kevyempien moottorivaunuyksiköiden hankinnalle sekä käytölle rataverkolla tai sen ulkopuolella ei ole tämän työn aikana tunnistettu. Sen sijaan on tunnistettu useita, joskin ratkaistavissa olevia, infrastruktuuriin kohdistuvia teknisiä haasteita rataverkolla ja sen ulkopuolella liikennöivän kalustoyksiköiden käyttöönotossa.

## Viitteet

- /1/ Valtakunnallinen liikennejärjestelmäsuunnitelma (Liikenne 12)
- /2/ Open Street Map
- /3/ Stadler Rail AG
- /4/ LogIKTram 2021
- /5/ Alstom
- /6/ Bombardier
- /7/ CAF
- /8/ Siemens
- /9/ Škoda Transport a. s.
- /10/ Transtech
- /11/ Deutsche Bahn AG
- /12/ Zillertalbahn
- /13/ RATO 2
- /14/ EU 1299/2014
- /15/ Traficom 2021
- /16/ RATO 16
- /17/ Väylävirasto 2021
- /18/ RATO 7
- /19/ RATO 5
- /20/ Tukes 2021
- /21/ VR Group Oy 2021
- /22/ Rautateiden verkkoselostus 2022
- /23/ Liikennevirasto 2018
- /24/ Woikoski
- /25/ EU 1302/2014

- 
- /26/ Standardi SFS-EN 15273-2:2013+A1:2016 (E)
  - /27/ EU 321/2013
  - /28/ RATO 21
  - /29/ Standardi SFS-EN 12663+A1.
  - /30/ Standardi SFS-EN 15227+A1
  - /31/ EU 2016/797
  - /32/ EU 919/2016
  - /33/ Liikennevirasto 2014
  - /34/ Raideliikennelaki 2021
  - /35/ Tieliikennelaki 2021
  - /36/ BOStrab 2021
  - /37/ Tampereen raitiotien suunnitteluohje 2021
  - /38/ Raide-Jokerin suunnitteluperusteet 2020
  - /39/ Liikennevirasto 2016
  - /40/ RATO 11
  - /41/ Richtlinien für die Trassierung von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
  - /42/ Raitioteiden suunnitteluohje 2018
  - /43/ DIN-standardi 25112
  - /44/ Järnväg.net

## Lähdeluettelo

[Alstom 2021](#). Viitattu: 19.2.2021

[Bombardier 2021](#). Viitattu: 19.2.2021

BOStrab 2021. [Verordnung über den Bau- und Betrieb der Straßenbahnen](#). Saksan liittotasavallan raitioteiden rakentamista ja liikennöintiä koskeva asetus. Viitattu: 19.2.2021

[CAF, Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles 2021](#). Viitattu: 21.2.2021.

Deutsche Bahn 2021. [Deutsche Bahn und Siemens starten ins Wasserstoff-Zeitalter](#). Viitattu: 2.3.2021

DIN-standardi 25112. Deutsche Institut für Normung.

[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: 19.2.2021

[EU 919/2016. Komission asetus N:o 919/2016](#), annettu 27 päivänä toukokuuta 2016, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmiä koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). Viitattu: 19.2.2021.

[EU 1299/2014. Komission asetus \(EU\) N:o 1299/2014](#), annettu 18. päivänä marraskuuta 2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän infrastruktuuri-osajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). Viitattu: 19.2.2021.

[EU 1301/2014. Komission asetus \(EU\) N:o 1301/2014](#), annettu 18 päivänä marraskuuta 2014, unionin rautatiejärjestelmän energiaosajärjestelmää koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). Viitattu: 19.2.2021.

[EU 1302/2014. Komission asetus \(EU\) N:o 1302/2014](#) annettu 18. päivänä marraskuuta 2014, Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää "veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto" koskevasta yhteistoimivuuden teknisestä eritelmästä. (ETAn kannalta merkityksellinen teksti).

[EU 2016/797. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi \(EU\) 2016/797](#), annettu 11. päivänä toukokuuta 2016, rautatiejärjestelmän yhteentoimivuudesta Euroopan unionissa. (Uudelleenlaadittu) (ETAn kannalta merkityksellinen teksti). Viitattu: 19.2.2021.

[Järnväg.net 2021](#). Guiden till Sveriges tåg och järnväg. Viitattu: 12.3.2021.

Liikennevirasto 2014. [Liikkuvan kaluston valvontalaitteet ja radan kunnossapito](#). Liikenneviraston ohjeita 13/2014. Viitattu: 18.2.2021.

Liikennevirasto 2016. Lopenen, T.-R., Salmenperä, P., Nurmikolu, A. [Liikkuvan kaluston ja raiteen välinen vuorovaikutus ja sen dynaaminen mallinnus](#). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 14/2016. Viitattu: 10.3.2021.

Liikennevirasto 2018. Iikkanen, P., Haapala, S. [Rautatieliikenteen käyttövoimat tavaraliikenteessä](#). Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2018. Viitattu: 25.2.2021.

[Open Street Map 2021](#). Karttapalvelu. Viitattu: 2.3.2021

Raide-Jokeri. Suunnitteluperusteet 24.9.2019. Päivitysversio 21.4.2020.

[Raideliikennelaki 2021](#). Viitattu: 11.3.2021

[Raitioteiden suunnitteluohje](#) 2018. Helsingin kaupungin liikennelaitos. Viitattu: 2.3.2021

[Rautateiden verkkoselostus 2022](#). Väyläviraston julkaisuja 52/2020. Viitattu: 8.3.2021.

RATO 2, 2010. [Ratatekniset ohjeet \(RATO\), osa 2. Radan geometria](#). Liikenneviraston ohjeita 3/20210. Viitattu: 19.2.2021

RATO 4, 2012. [Ratatekniset ohjeet \(RATO\), osa 4. Vaihteet](#). Liikenneviraston ohjeita 22/2012. Viitattu: 19.2.2021

RATO 5, 2018. [Ratatekniset ohjeet \(RATO\), osa 5. Sähkörata](#). Liikenneviraston ohjeita 23/2018. Viitattu: 18.2.2021.

RATO 6, 2014. [Ratatekniset ohjeet \(RATO\), osa 6. Turvalaitteet](#). Liikenneviraston ohjeita 7/2014. Viitattu: 18.2.2021.

RATO 7, 2011. [Ratatekniset ohjeet \(RATO\), osa 7. Rautatieliikennepaikat](#). Liikenneviraston ohjeita 13/2011. Viitattu: 19.2.2021.

RATO 11, 2002. [Ratatekniset ohjeet \(RATO\), osa 11. Radan päällysrakenne](#). Ratahallintokeskus. Viitattu: 11.3.2021.

[RATO 16, 2017. Väylät ja laiturit](#). Liikenneviraston ohjeita 43/2017. Viitattu: 19.2.2021.

[RATO 21, 2020. Liikkuva kalusto](#). Väyläviraston ohjeita 43/2020. Viitattu: 19.2.2021.

Richtlinien für die Trassierung von Bahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen

[Siemens 2021](#). Viitattu: 18.2.2021.

[Škoda Transportation a.s. 2021](#). Viitattu: 19.2.2021

[Stadler Rail AG 2021](#). Viitattu: 19.2.2021.

Standardi SFS-EN 12663+A1. Railway Applications. Structural Requirements of Railway Vehicle Bodies. Part 1: Locomotives and Passenger Rolling Stock (And Alternative Method for Freight Wagons). Suomen Standardisointiliitto, 2015.

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

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

[Tampereen raitiotien suunnitteluohje 2021](#). Viitattu: 19.2.2021

[Tieliikennelaki 2021](#). Viitattu: 11.3.2021

[Traficom. Liikenne- ja viestintävirasto, 2021](#). Viitattu: 11.3.2021

[Transtech 2021](#). Viitattu: 19.2.2021

[Tukes. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2021](#). Viitattu: 11.3.2021

[Valtakunnallinen liikennejärjestelmäsuunnitelma \(Liikenne 12\)](#). Viitattu: 1.3.2021

[VR Group Oy. Tankkauspalvelut](#). Viitattu: 2.3.2021

Väylävirasto 2021. [Rautateiden puurakenteinen matkustajalaituri Nikkilän asemalle Sipooseen](#). Viitattu: 16.3.2021

[Woikoski. Kaikki kaasuista](#). Viitattu: 26.2.2021.

[Zillertalbahn 2021](#). Viitattu: 2.3.2021



Väylävirasto  
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745  
ISBN 978-952-317-859-5  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)