

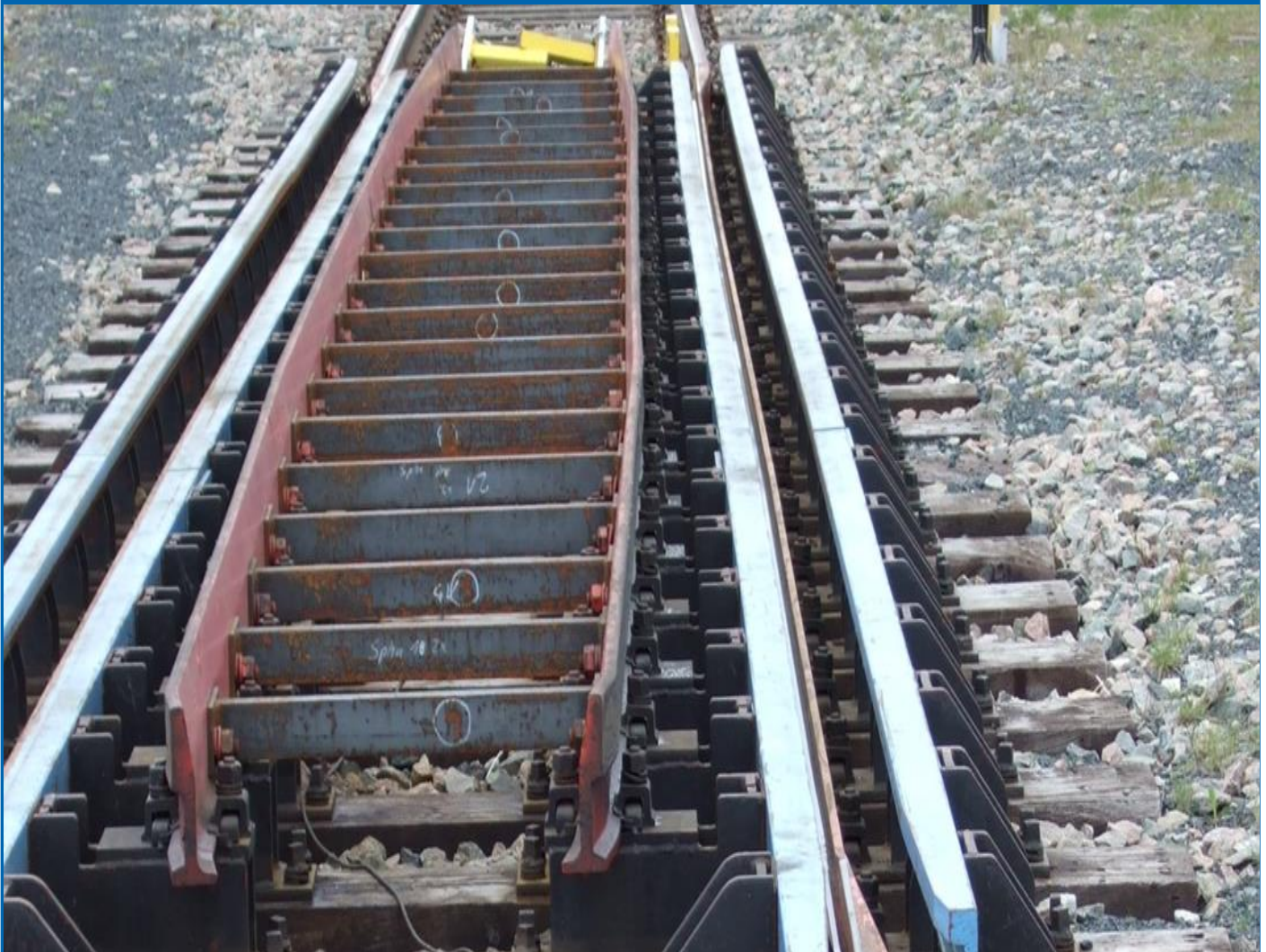


Väylävirasto  
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu  
83/2025

**KALUSTOTEKNINEN SELVITYS  
RAIDELEVEYKSIEN (1 435/1 524 MM)  
YHTEENSOVITTAMISESTA POHJOIS-  
SUOMESSA**

**Eurooppalaisen raideleveyden ulottaminen Haapa-  
rannan/Tornion kautta Suomeen**



WSP Finland Oy

# Kalustotekninen selvitys raideleveyksien (1 435/1 524 mm) yhteensovittamisesta Pohjois-Suomessa

Eurooppalaisen raideleveyden ulottaminen Haaparannan/Tornion kautta Suomeen

Väyläviraston julkaisuja 83/2025

Kannen kuva: Seppo Mäkitupa

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

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-308-2

Väylävirasto  
PL 33, 00521 Helsinki  
Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki  
Puhelin 0295 34 3000

[kirjaamo@vayla.fi](mailto:kirjaamo@vayla.fi)  
[vayla.fi](http://vayla.fi)

**WSP Finland Oy: Kalustotekninen selvitys raideleveyksien (1 435/1 524 mm) yhteensovittamisesta Pohjois-Suomessa - Eurooppalaisen raideleveyden ulottaminen Haaparannan/Tornion kautta Suomeen.** Väylävirasto Helsinki 2025. Väyläviraston julkaisu 83/2025. 50 sivua ja 1 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-308-2.

**Avainsanat:** Vaihtuva raideleveys, liikkuva kalusto

## Tiivistelmä

Tässä selvityksessä tutkitaan kalusto- ja kuormausteknisiä liikennöintiratkaisujen käyttämistä Suomen ja Ruotsin välisen rajan ylittävän liikenteen mahdollistamiseksi, kun raideleveys muuttuu 1 435 mm:stä 1 524 mm:iin. Tarkasteltavat järjestelmät voivat olla esimerkiksi säädettäviä tai vaihdettavia pyöräkertoja tai erilaisia siirtokuormausratkaisuja. Selvityksen tarkoituksena on koota taustatietoja sellaisista liikkuvan kaluston järjestelmistä ja kuormausten menetelmistä, joita hyödyntämällä liikkuva kalusto voi toimia sekä 1 524 mm että 1 435 mm raideleveyden rataverkolla ilman, että raideinfraa on tarpeen muuttaa tai laajentaa.

Selvitys on osa Väyläviraston Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimeksiannosta laatimaa selvitystä eri vaihtoehdoista eurooppalaisen raideleveyden ja ratayhteyden ulottamiseksi Haaparannasta Suomen puolelle. Tämä tarkoittaa joko mahdollisten uusien kalustoratkaisujen käyttöönottoa tai eurooppalaisella raideleveydellä rakennettavien ratayhteyksien rakentamistarvetta Ruotsista Suomeen.

**WSP Finland Oy: Teknisk studie om kompatibilitet av spårvidder (1 435/1 524 mm) i norra Finland - Utvidgning av den europeiska spårvidden till Finland via Haparanda/Torneå.** Trafikledsverket Helsingfors 2025. Trafikledsverkets publikationer 83/2025. 50 sidor och 1 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-308-2.

## Sammanfattning

I denna utredning granskas användning av utrustnings- och lastningstekniska trafikeringlösningar för att möjliggöra gränsöverskridande trafik mellan Finland och Sverige, när spårvidden ändras från 1 435 mm till 1 524 mm. De system som granskas kan till exempel vara justerbara eller utbytbara hjuluppsättningar eller olika omlastningslösningar. Syftet med utredningen är att samla in bakgrundsinformation om sådana system och lastningsmetoder för rullande materiel som kan utnyttjas för att rullande materiel ska kunna fungera på bannät med båda spårvidderna 1 524 mm och 1 435 mm, utan att spårinfrastrukturen behöver bytas eller utökas.

Utredningen är en del av ett uppdrag från kommunikationsministeriet (KM) till Trafikledsverket, om olika alternativ för att utvidga den europeiska spårvidden och banförbindelsen från Haparanda till finska sidan. Detta innebär antingen ibruktagnig av möjliga nya utrustningslösningar eller behov av att bygga banförbindelser med den europeiska spårvidden från Sverige till Finland.

**WSP Finland Oy: Technical study on the compatibility of track gauges (1 435/1 524 mm) in Northern Finland - Extending use of the European track gauge to Finland via Haparanda/Tornio.** Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2025. Publications of the FTIA 83/2025. 50 pages and 1 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-308-2.

## Abstract

This study examines the use of transport solutions regarding the technological aspects of rolling stock and loading options to enable cross-border traffic between Finland and Sweden when the track gauge changes from 1,435 mm to 1,524 mm. The systems under examination may be, for example, adjustable or interchangeable wheelsets or different transfer loading solutions. The purpose of the study is to gather background information on rolling stock systems and loading methods that allow rolling stock to operate on both the 1,524-mm and 1,435-mm gauge network without the need to modify or extend the track infrastructure.

This report is part of a study commissioned by the Ministry of Transport and Communications (LVM) and carried out by the Finnish Transport Infrastructure Agency on various options for extending the European track gauge connection from Haparanda to Finland. This means either the introduction of possible new rolling stock solutions or the need to build rail connections with European track gauge from Sweden to Finland.

## Esipuhe

Tässä selvityksessä perehdytään erilaisten kalustoteknisten raidelevyden vaihtoratkaisuiden ja kuormausratkaisuiden toimintaan, käyttöön sekä kustannuksiin Pohjois-Suomessa. Selvitys sai alkunsa osana Väyläviraston LVM:n toimeksiannosta laatimaa selvitystä eri vaihtoehtoista eurooppalaisen raidelevyden ja ratayhteyden ulottamisesta Haaparannasta Suomen puolelle.

Selvityksessä arvioidaan eri kalustolähtöisten raidelevyden vaihtojärjestelmien teknisiä vaatimuksia, kustannuksia sekä toteutettavuutta. Selvityksen on laatinut WSP Finland Oy:n Rail Advisory -yksikkö.

Helsingissä elokuussa 2025

Väylävirasto  
Liikenneverkkojen suunnittelu

## Lyhenteet

DB	Deutsche Bahn
DBAG	Deutsche Bahn AG
GCT	Gauge Change Train
LKU	Liikkuvan kaluston ulottuma
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
OSJD	Organisation for Co-operation between Railways
PKP	Puolan rautatiet (Polskie Koleje Państwowe)
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
TEN-T	Trans-European Transport Network
TRIMIS	Transport Research and Innovation Monitoring and Information System

# Sisällys

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>RAIDELEVEYDEN VAIHTOJÄRJESTELYT JA -JÄRJESTELMÄT</b> .....	<b>10</b>
2.1	YLEISTÄ.....	10
2.2	SIIRTOKUORMAUS .....	11
	2.2.1 JOHDANTO .....	11
	2.2.2 NYKYTILANNE .....	11
	2.2.3 VAATIMUKSET .....	11
2.3	TELIN VAIHTO.....	12
	2.3.1 JOHDANTO .....	12
	2.3.2 HISTORIAA .....	12
	2.3.3 NYKYTILANNE .....	12
	2.3.4 VAATIMUKSET .....	13
2.4	VAIHTUVAN RAIDELEVEYDEN PYÖRÄKERRAT JA TELIT .....	15
	2.4.1 JOHDANTO .....	15
	2.4.2 EUROOPAN UNIONI JA UIC .....	16
	2.4.3 KÄYTÖSSÄ OLEVAT VAIHTUVAN RAIDELEVEYDEN JÄRJESTELMÄT JA NYKYTILANNE .....	17
	2.4.4 VAATIMUKSET .....	18
	2.4.5 TALGO-RD VAIHTUVAN RAIDELEVEYDEN VAIHTOJÄRJESTELMÄ .....	19
	2.4.6 DBAG / RAFIL TYP V -JÄRJESTELMÄ .....	23
	2.4.7 PKP / SUW 2000 - POLSUW – JÄRJESTELMÄ.....	26
	2.4.8 CAF / BRAVA-JÄRJESTELMÄ.....	29
	2.4.9 ADIF / OGI-JÄRJESTELMÄ .....	32
	2.4.10 GAUGE CHANGE TRAIN (GCT)/JAPANILAINEN JÄRJESTELMÄ .....	33
	2.4.11 YHTEENVETO VAIHTUVAN RAIDELEVEYDEN PYÖRÄKERTOJEN JA TELIEN OMINAISUUKSISTA .....	34
<b>3</b>	<b>RAIDELEVEYDEN VAIHTOJÄRJESTELYJEN JA -JÄRJESTELMIEN KUSTANNUKSET</b> .....	<b>35</b>
3.1	RAUTARIKASTE JA RAUTAMALMI .....	35
3.2	RAAKAPUU .....	35
3.3	KULJETUSTAPAVAIHTOEHTOJA JA NIIDEN TOTEUTTAMISEEN VAIKUTTAVIA SEIKKOJA SEKÄ KUSTANNUKSIA.....	36
	3.3.1 VAIHTOEHTO 1: KUMIPYÖRÄKULJETUS JA RAUTATIEKULJETUS YHDISTETTYNÄ .....	36
	3.3.2 VAIHTOEHTO 2: SIIRTOKUORMAUS RAUTATIEKALUSTON VÄLILLÄ RAJA-ASEMALLA.....	37
	3.3.3 VAIHTOEHTO 3: RAUTATIEKULJETUS TELIT TAI PYÖRÄKERRAT VAIHTAMALLA.....	39
	3.3.4 VAIHTOEHTO 4: RAUTATIEKULJETUS RAIDELEVEYTTÄ VAIHTAVILLA PYÖRÄKERROILLA VARUSTETULLA KALUSTOLLA.....	41
	3.3.5 KULJETUSTAPAVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUSVERTAILUA .....	42
	3.3.6 ERI KULJETUSTAPAVAIHTOEHTOJEN YHTEENVETO .....	43
<b>4</b>	<b>KALUSTOTEKNISTEN JA INFRALÄHTÖISTEN RAIDELEVEYDEN MUOTOSRATKAISUJEN VERTAILU</b> .....	<b>45</b>
4.1	JOHDANTO .....	45
4.2	VAIKUTUKSET RATAKAPASITEETTIIN.....	45
4.3	VAIKUTUKSET KALUSTOON .....	46
4.4	VAIKUTUKSET HENKILÖLIIKENTEeseen .....	47
4.5	VAIKUTUKSET TAVARALIIKENTEeseen.....	47
4.6	VAIKUTUS OPEROITAVUUTEEN .....	47
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>48</b>
5.1	SIIRTOKUORMAUS .....	48
5.2	TELINVAIHTO.....	49
5.3	VAIHTUVAN RAIDELEVEYDEN PYÖRÄKERRAT JA TELIT .....	50
5.4	KAIKKIEN RATKAISUJEN VERTAILU .....	51

---

<b>6</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSELVITYSTARPEET .....</b>	<b>51</b>
6.1	JATKOSELVITYSTARPEET .....	52

**LIITTEET**

**LIITE 1: KUSTANNUSVERTAILUTAULUKKO**

# 1 Johdanto

Uusi, kesällä 2024 voimaan tullut TEN-T-asetus sisältää vaatimuksia eurooppalaisen standardiraideläyden (1 435 mm) ratojen selvittämisestä ja suunnittelusta sekä mahdollisesta edistämisestä niissä maissa, joissa on poikkeava raideläydeys. Kansainvälisten läntisten liikenneyhteyksien merkitys on korostunut Suomessa viime aikoina erityisesti huoltovarmuuden, varautumisen ja sotilaallisen liikkuvuuden näkökulmista.

Liikenne- ja viestintäministeriö pyysi Väylävirastoa laatimaan selvityksen eri vaihtoehtoista eurooppalaisen raideläyden rautatieliikenteen ja ratayhteyden ulottamisesta Haaparannasta Suomen puolelle. Tämä tarkoittaa joko mahdollisten uusien kalustoratkaisujen käyttöönottoa tai eurooppalaisella raideläydellä rakennettavien ratayhteyksien rakentamistarvetta Suomesta Ruotsiin.

Tässä selvityksessä tutkitaan kalustoteknisten raideläyden vaihtoratkaisujen käyttämistä Suomen ja Ruotsin välisen rajan ylittävän liikenteen mahdollistamiseksi, kun raideläydeys muuttuu 1 435 mm:stä 1 524 mm:iin. Tarkasteltavat järjestelmät voivat olla esimerkiksi säädettäviä tai vaihdettavia pyöräkertoja tai erilaisia siirtokuormausratkaisuja. Selvityksen tarkoituksena on koota taustatietoja sellaisista liikkuvan kaluston järjestelmistä, joita hyödyntämällä liikkuva kalusto voi toimia sekä 1 524 mm että 1 435 mm raideläyden rataverkolla ilman, että raideinfraa on tarpeen muuttaa tai laajentaa. Selvityksessä esitetyt raideläyden vaihtoratkaisut ja niihin tarvittava infra ovat jo jossain määrin olemassa ja satunnaisesti käytössä Suomen ja Ruotsin rajalla.

## 2 Raideläyden vaihtojärjestelyt ja -järjestelmät

### 2.1 Yleistä

Nykyisin käytössä olevia kalustolähtöisiä raideläyden vaihtojärjestelmiä ovat siirtokuormaus, telin tai pyöräkerran vaihto sekä vaihtuvan raideläyden pyöräkerrat ja telit. Vaihtojärjestelmän tai -järjestelyn valinta riippuu kuorman tyypistä, raideläyden vaihtopaikasta sekä järjestelmän tai järjestelyn kustannuksista. Tässä luvussa esitellään edellä mainitut, nykyään käytössä olevat vaihtojärjestelmät sekä arvioidaan niiden soveltuvuutta ja käytännöllisyyttä eri liikennemuodoille, niiden infralle ja kalustolle asettamia vaatimuksia sekä vaihtojärjestelmien soveltuvuutta pohjoisiin ilmasto-olosuhteisiin.

## 2.2 Siirtokuormaus

### 2.2.1 Johdanto

Siirtokuormauksella tarkoitetaan kuorman siirtämistä kalustoyksiköstä toiseen. Kalustoyksiköt on varustettu eri raideleveyden teleillä. Siirtokuormaus asettaa kalustolle hyvin vähän erityisvaatimuksia - se ei esimerkiksi rajoita kaluston jarrujen ja telien rakennetta. Tehokkaimmin siirtokuormaus toimii suurelle kappaletavaralle, kuten konteille sekä pitkälle tavaralle, kuten puutavaralle tai kiskoille, joita voidaan siirtää joko nosturilla tai suurilla trukeilla. Omilla pyörillään oleva kuorma voidaan siirtää ajamalla toisen raideleveyden junaan pitkänkin matkan päähän. Siirtokuormausta voidaan tehdä myös kappaletavaralle esimerkiksi perinteisestä tavaravaunusta trukilla. Siirtokuormaus mahdollistaa tavarantoimituksen junasta junaan sekä tarvittaessa junasta kumipyörille.

Henkilöliikenteessä "siirtokuormaus" on käytännössä järkevin tapa hoitaa siirtymä toiselle raideleveydelle, sillä kansallisilla rataverkoilla operoiva kalusto ei ole kaikilta osiltaan yhteentoimivaa naapurimaan rataverkolla, vaikka esimerkiksi telit vaihdettaisiinkin: liikkuvan kaluston ulottuman (LKU) eroista voi aiheutua yhteensopivuusongelmia laiturialueilla. Tämän vuoksi matkustajat siirtyvät junasta toiseen raideleveyden vaihtoasemalla kuten muissakin junaan vaihtavissa yhteyksissä.

### 2.2.2 Nykytilanne

Nykyään siirtokuormaus on käytössä Haaparannassa ja Torniossa. Haaparannassa siirretään mm. kontteja trukilla vaunuista kuorma-autoihin. Torniossa on 177 m pitkä ja 5,3 m leveä siirtokuormauslaituri 1 435 mm ja 1 524 mm raiteiden välissä. Torniossa aiemmin käytössä ollut suuri nosturi konttien ja esimerkiksi teräslevyjen siirtoon vaunuista toiseen tai kuorma-autoihin ei ole enää toiminnassa ja sen purkamista suunnitellaan. Siirtokuormausta junasta kuorma-autoon tehdään tyypillisesti kuljetuksissa, joiden määränpää on alle 200 km rajanylityspaikasta. Junasta toiseen tehtävä siirtokuormaus kannattaa vasta, kun kuljetuksen määränpää on yli 200 km päässä rajanylityspaikasta. Siirtoon käytetään tyypillisesti nosturia, kurottajaa tai muuta pyöräkonetta. Nykyisellään Haaparannassa siirtokuormataan noin yksi juna viikossa (kiskoilta kumipyörille).

### 2.2.3 Vaatimukset

Siirtokuormaus asettaa kalustolle hyvin vähän teknisiä vaatimuksia, sillä kaluston on käytännössä vain sovelluttava kuorman tehokkaaseen purkuun ja lastaukseen. Infralle asetetut vaatimukset ovat

suhteellisen vähäiset: raiteiden tulee olla lähellä toisiaan ja riittävän pitkät. Siirtokuormausta paikan pohjarakenteiden tulee olla riittävän kantavat, jotta raskaat koneet voivat liikkua turvallisesti. Lumi ja jää voivat aiheuttaa lisähaasteita siirtokuormaukseen, mutta näitä voidaan vähentää esimerkiksi katetun siirtokuormaustermiinin avulla.

## 2.3 Telin vaihto

### 2.3.1 Johdanto

Telin vaihdolla tarkoitetaan kaluston telien vaihtamista raideleveydeltä toiselle sopivaksi. Telin vaihto on tehokas raideleveyden vaihtomenetelmä, joka toimii parhaiten esimerkiksi nestemäisille ja bulkkikuormille sekä vaarallisille aineille, joiden siirtokuormausta on hankalaa. Telin vaihto on suhteellisen nopea ja kustannustehokas ratkaisu. Menetelmä sopii käytännössä kaikille kalustotyypeille ja se onkin yleisin raideleveyden vaihtamisen järjestely, jossa vaunun matkustajia tai kuormaa ei tarvitse siirtää.

### 2.3.2 Historiaa

Ruotsin rajaliikenteessä telinvaihtoa on käytetty Deutsche Bahnin (DB) toteuttamassa kokeilussa Torniossa 1990- ja 2000-luvuilla. Suomessa myös Turussa (2), Hangossa ja Uudessakaupungissa tehtiin telien ja pyöräkertojen vaihtoja ns. junalauttavaunuihin.

Telinvaihto oli hyvin toimiva ratkaisu Turussa. Toimintaympäristö oli rakennettu toimivaksi, jolloin telinvaihto oli nopeaa: kahden vaunun telien samanaikaiseen telinvaihtoon kului vain 8–9 minuuttia.

### 2.3.3 Nykytilanne

Nykyään Torniossa on kattamaton 130 m pitkä telinvaihtoraide, jossa voidaan vaihtaa telit kuuteen vaunuun kerrallaan. Telinvaihtoraiteessa on normaalit kiskot, mutta niiden keskellä on niin sanotut ohjauskiskot, jotka ohjaavat 1 435 mm raideleveyden vaunuja kulkemaan suomalaisella 1 524 mm raiteella. Torniossa vaunut nostetaan pumppukärrytyypisillä tunkeilla, joita liikutellaan kiskoja viereen sijoitettujen betonielementtien päällä. Tunkkeja käytetään vaunun sivulla pareittain, kaksi paria vaunua kohden. Nykyisen telinvaihtopaikan ongelmana ovat talvisin lumi ja jää sekä telinvaihtomontun puute. Lisäksi tunkkien alustana toimivat betonielementit rajoittavat nostokapasiteettia jossain määrin. Rajoittavana tekijänä ovat betonielementtien kulmat, joiden kuormankantokyky on muuta elementtiä heikompi. Nykyään

telinvaihtoa tehdään Torniossa satunnaisesti lähinnä kunnossapitokalustolle, joten telinvaihtopaikan asettamat rajoitukset eivät ole suuri ongelma.

### 2.3.4 Vaatimukset

Telinvaihto asettaa sekä kalustolle että infralle siirtokuormausta enemmän vaatimuksia. Erityisiä vaatimuksia kohdistuu etenkin kaluston jarruihin ja telien teknisiin ratkaisuihin: Telit voivat olla varustettu telikohtaisilla jarrusylintereillä, jolloin jarrusylinterien ja vaunun rungossa olevan toimintaventtiilin väliset putket on varustettava pikaliittimellä. Vaihtoehtoisesti jarrusylinteri voi sijaita vaunun rungossa. Tällöin jarrusylinterin tuottama jarruvoima välitetään telille jarrutangolla ja vivustolla. Telinvaihdossa jarrutan- gon ja vivuston välisessä liitoksessa käytetään tappiliitosta. Telinvaihto asettaa myös infralle enemmän vaatimuksia ja on siten siirtokuormausta kalliimpi ratkaisu. Vaatimuksia voidaan tarkastella vähimmäis- ja optimivaatimusten kannalta.

#### Vähimmäisvaatimukset:

Vähimmäisvaatimukset ovat tässä yhteydessä niitä, jotka infran on täytettävä telinvaihdon mahdollistamiseksi. Nämä vaatimukset on kuvattu alla Taulukko 1.

Taulukko 1. Telinvaihtopaikan vähimmäisvaatimukset

Vaatus	Selite
Tuettu nostoalusta	Alusta, jonka päällä nostolaitteita pystytään liikuttelemaan helposti. Alustan tulee olla kaikista kohdistaan riittävän tukeva, jotta nostaminen on turvallista. Sen kattaminen ei ole välttämätöntä.
Tunkit	Nostovälineet, joita pystytään liikuttelemaan nostotason päällä. Tunkit voivat olla ns. pumppukärrytyyppisiä. Nostokapasiteetin tulee olla riittävä.
Telinvaihtoraide	Telinvaihtopaikalla oleva ohjauskiskoin varustettu telinvaihtoraide.
Säilytyskenttä vaihtoteleille	Alue telien säilyttämiseen siirtoon telinvaihtopaikalle ja pois.

Minimivaatimuksetmäärittävät pienimmät infrakustannukset, mutta näiden mukainen mitoittaminen voi heikentää työn tehokkuutta, turvallisuutta ja ergonomiaa. Esimerkiksi tunkkien nostokapasiteetti voi rajoittaa junissa kulkevan liikkuvan kaluston painoa ja elementtityyppinen nostotaso voi puolestaan rajoittaa tunkkien sijoittamista ja siten nostokapasiteettia. Jää, lumi ja epätasainen alusta hankaloittavat tunkkien liikuttelua ja huonontavat työturvallisuutta. Erityisesti suuremmilla liikennemäärillä pelkästään vähimmäisvaatimukset täyttävä telinvaihtopaikka rajoittaa kapasiteettia nopeasti.

### Optimivaatimukset:

Optimivaatimuksilla tarkoitetaan tässä tapauksessa vaatimuksia, joilla telien vaihto voidaan tehdä tehokkaimmin ja turvallisimmin. Optimivaatimukset täyttävä telinvaihtopaikka mahdollistaa suuremmat liikennemäärät. Nämä vaatimukset on kuvattu alla Taulukko 2.

Taulukko 2. Optimivaatimukset telinvaihdolle

Vaatus	Selite
Katettu tila	Halli, katos tai muu vastaava tila telinvaihtoa varten. Estää lumen ja jään pääsyn nostotasolle ja parantaa täten työergonomiaa, turvallisuutta ja tehokkuutta.
Tuettu nostotaso	Taso, jonka päällä tunkkeja liikutellaan. Optimitalanteessa tunkit liikkuvat apukiskoilla ja nostettaessa tukeutuvat nostotasoon.
Tunkit	Nostolaitteet, joita pystytään liikuttelemaan nostotason päällä. Tunkit voivat olla apukiskoilla liikkuvia, jolloin niiden kohdistaminen eri kalustoyksiköille on helppoa.
Telinvaihtoraide	Telinvaihtopaikalle vaaditaan ohjauskiskoin varustettu telinvaihtoraide. Pieni pituuskaltevuus vaihtoraiteessa helpottaa telien siirtelyä painovoimaa hyödyntäen.
Siirtoraide vaihtoteleille	Telinvaihtoraiteen vieressä oleva raide, jolla vaihtotelien liikuttelu on helppoa telejä rullamalla.

Vaatus	Selite
Telinvaihtomonttu / kohotettu limittäisraide	Työskentelymonttu, jonka avulla työntekijät pääsevät helposti liikkuvan kaluston alle mm. irrottamaan jarruletkuja ja telien kiinnityksiä. Kohotettu limittäisraide helpottaa telien asentamista.
Siltanostin	Nostin, jolla telejä voidaan nostaa limittäisraiteelle, telinvaihtoraiteelle ja säilytykseen.
Säilytystila vaihtoteleille	Säilytystila, josta vaihtotelit voidaan nopeasti ottaa käyttöön.

Optimivaatimukset nostavat telinvaihtoon vaadittavien infraratkaisujen hintaa, mutta toisaalta samalla työn tehokkuus, turvallisuus ja ergonomia paranevat. Esimerkiksi jään ja lumen aiheuttamia ongelmia saadaan huomattavasti vähennettyä tai jopa poistettua kokonaan. Apukiskoilla liikkuvien tunkkien kohdistaminen on nopeaa ja telinvaihtomonttu mahdollistaa ergonomisen työskentelyn. Optimivaatimukset täyttävän telinvaihtopaikan investointikustannukset ovat siis suhteellisen korkeat. Infra on kuitenkin pitkäikäistä.

## 2.4 Vaihtuvan raidelevyden pyöräkerrat ja telit

### 2.4.1 Johdanto

Vaihtuvan raidelevyden pyöräkerroilla ja teleillä tarkoitetaan kalustoa, joka kykenee muuttamaan pyörästönsä raidelevyettä raidelevydenvaihtolaitteiston avulla. Raidelevyden vaihto tapahtuu hitaassa vauhdissa kaluston liikkeessä erityisen radalla olevan raidelevyden vaihtoaseman yli. Tämä menetelmä on nopein raidelevydenvaihtoratkaisu. Raidelevyden vaihtojärjestelmien ongelmana on säädettävien pyörästöjen tuoma lisäpaino, ja sitä kautta vaunun pienentynyt hyötykuorma. Lisäksi kaikki järjestelmät eivät välttämättä mahdollista edes 22,5 t akselipainoa. Tämän takia järjestelmä sopii erityisen hyvin matkustajaliikenteeseen ja on myös toimiva ratkaisu sellaiseen tavaraliikenteeseen, jossa ei ole tarpeen käyttää vaunun suurinta sallittua hyötykuormaa ja joissa kuljetusmatkat ovat riittävän lyhyitä. Säädettävillä pyöräkerroilla varustetun kaluston tulisikin olla nopeasti kiertävää ja säännöllisessä käytössä, kuten tiheästi vakioireittään kulkevat junat esimerkiksi prosessiteollisuuden tuote- tai raaka-ainekuljetuksissa.

## 2.4.2 Euroopan unioni ja UIC

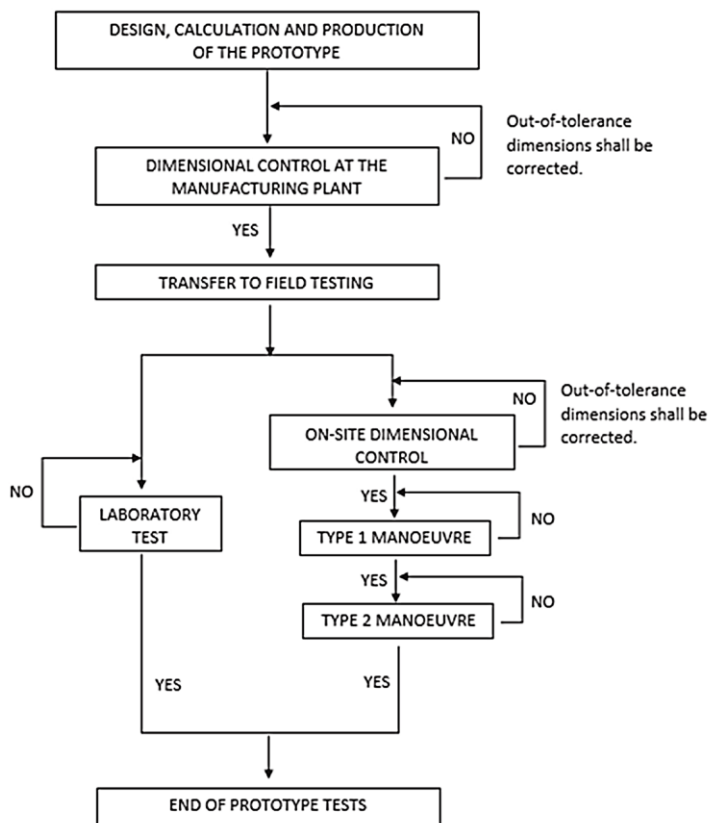
Euroopan unionin rahoittamassa TRIMIS-ohjelmassa UIC ja OSJD käynnistivät projektin, jonka tavoitteena oli määrittää raidelevydenvaihtojärjestelmien vaatimukset ottaen huomioon ajantasaisin teknologia ja yhteentoimivuuden merkitys optimaalisen käytön varmistamiseksi niillä Euroopan alueilla, joilla raidelevyys muuttuu. Projekti jakautui viiteen osaan:

1. Projektin tehtävä 1 (B190 / RP1) keräsi dokumentaatiota olemassa olevista automaattisista raidelevydenvaihtojärjestelmistä. Tämä raportti tarjoaa yhteenvedon kaikista tunnetuista automaattisista raidelevydenvaihtojärjestelmistä ja niiden keskeisistä teknisistä ominaisuuksista ja toiminnosta.
2. Tehtävä 2 (B190 / RP 2) käsitteli markkinatutkimusta automaattisten raidelevydenvaihtojärjestelmien käytöstä tavara- ja matkustajaliikenteessä sekä potentiaalisten käyttäjien maksuhaluudesta lyhyempien kuljetus- ja läpiajoaikojen saamiseksi raidelevyttä vaihtavilla reiteillä.
3. Tehtävä 3 (B 190 / RP 3) analysoi automaattisen raidelevydenvaihtojärjestelmän kustannustehokkuutta odotettujen liikennevirtojen huomioon ottamiseksi. Tehtävä 3 sisälsi potentiaalisten liikennemäärien määrittämisen järjestelmän rajapinnoilla tavara- ja matkustajajunille sekä taloudellisen toteutettavuuden arvioinnin eri liikenne- ja tavaratyypeille tai liikennemäärille kerättyjen tietojen perusteella.
4. Tehtävä 4 (B 190 / RP 4) Raportti tarjoaa analyysin olemassa olevista hyväksyntä- ja sertifiointimenettelyistä kalustolle, jossa on automaattiset raidelevydenvaihtojärjestelmät ja kiinteät raidelevydenvaihtolaitteet. Raportissa luetellaan hyväksynnästä vastaavat viranomaiset tai tahot ja näille tahoille toimitettavat asiakirjat. Lisäksi raportissa esitetään ehdotus yhteisestä hyväksymismenettelystä raidelevydenvaihtojärjestelmille.
5. Raportissa kuvataan ympäristönäkökohdat ja mahdolliset riskit, jotka johtuvat siirron epäsäännöllisyyksistä nykyisillä teknologioilla.

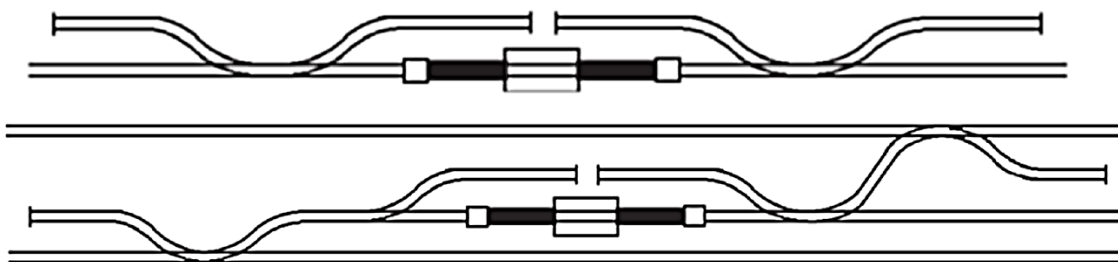
UIC / OSJD -projektin raportit julkaistiin 2017 ja niitä on käytetty apuna Euroopan komission teknisten määräysten ja CEN-standardien kehittämisessä.

Euroopan komissio on sisällyttänyt vaihtuvan raidelevyden järjestelmät lainsäädäntöönsä (Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää "veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto" koskeva yhteentoimivuuden tekninen eritelmä (LOC&PAS YTE) sekä Euroopan unionin rautatiejärjestelmän osajärjestelmää "liikkuva kalusto – tavaraliikenteen vaunut" koskeva yhteentoimivuuden tekninen eritelmä (WAG YTE)). Lisäksi CEN on julkaissut standardin *EN 17069-1:2019 Kiskoliikenne*.

Raidelevyden vaihtamista koskevat järjestelmät ja menettelyt. Osa 1: Automaattisesti vaihdettavan raidelevyden järjestelmät. Standardi sisältää vaihtuvan raidelevyden järjestelmiä koskevat tekniset ja toiminnalliset vaatimukset, järjestelmän suunnittelun validoinnin ja hyväksynnän, tarvittavan tyyppitestauksen (Kuva 1) sekä suosituksia raiteistokaavioksi ja vaihtoaseman rakentamiseen (Kuva 2).



Kuva 1. Lohkokaavio uuden prototyypin testausprosessista (kuva: [13])



Kuva 2. Raiteistokaaviosuosituksia vaihtoasemalle (kuva: [13])

### 2.4.3 Käytössä olevat vaihtuvan raidelevyden järjestelmät ja nykytilanne

Euroopassa raidelevyden vaihtojärjestelmiä on käytössä pääasiassa matkustajaliikenteessä mm. Espanjan sisäisessä liikenteessä ja Sveitsissä. Järjestelmiä on käytetty myös Puolan ja Liettuan, Puolan ja Valko-Venäjän sekä Puolan ja Ukrainan rajalla niin matkustaja- kuin tavaraliikenteessä, mutta Ukrainan

sodan ja Puolan Rautateiden (PKP) päätösten vuoksi liikennettä ei tällä hetkellä ole. Vaihtuvan raideleveyden yöjunaliikennettä on myös Turkin ja Azerbaidžhanin välillä. Japanissa on kehitetty jo kolme sukupolven nopeita junia vaihtuvaraideleveyden teleillä, mutta näistä uusimpia ei otettu käyttöön testien jälkeen. Kiina ilmoitti joitakin vuosia sitten kehittävänsä nopeaan 400 km/h kulkevaan junaan vaihtuvan raideleveyden telejä, mutta tarkempaa tietoa tästä kehityksestä ei ole.

Tällä hetkellä on olemassa seuraavat erilaiset automaattiset raideleveyden vaihtojärjestelmät:

- TALGO-järjestelmä
- DBAG / RAFIL Typ V -järjestelmä
- SUW 2000 / POLSUW -järjestelmä
- CAF / BRAVA -järjestelmä
- Gauge Change Train (GCT), japanilainen järjestelmä
- Stadler/Prose/Alstom MOV -järjestelmä
- ADIF / OGI -järjestelmä

Tässä selvityksessä keskitytään niihin järjestelmiin, jotka ovat käytössä tällä hetkellä ja joista on käyttökokemuksia matkustaja- ja/tai tavaraliikenteessä.

Suomen ja Ruotsin rajalla testattiin Talgon sekä DBAG / Rafil Typ V -raideleveyden järjestelmiä 1997–1999. Talgon järjestelmän teleissä todettiin rasisvaurioita ja telejä vahvistettiin tämän vuoksi kesken koeajojen. DBAG/ Rafil V -teli suistui kiskoilta ja myös sen pyöräkertoja korjattiin. Lisäksi järjestelmään lisättiin diagnostiikkayksikkö, joka valvoi pyörien lukitusta.

Liikennettä aloittanut Green Cargo ja rataverkon haltija Banverket valitsivat koeliikenteeseen saksalaisen DBAG/Rafil Typ V -järjestelmän, koska Talgon järjestelmä vaati talvella sulatusta toimiakseen, ja oli lisäksi järjestelmästä kalliimpi ja painavampi. Hyväksynnän jälkeen Green Cargo aloitti vuonna 2006 pieni-muotoisen tavaraliikenteen seitsemällä vaunulla. Liikenne päättyi 2008, koska erikoislaitteiden kunnossapitoa ei saatu varmistettua valmistajalta. Nykyään Torniossa on edelleen Rafil Typ V raideleveyden vaihtolaitteisto, mutta sen ohjausyksikkö tuhoutui tulipalossa 2017. Järjestelmä ei siis tällä hetkellä ole käytössä ja sen käyttökuntoon saattamiseen vaaditaan uusi ohjausyksikkö, ratalaitteen kunnostus tai uusiminen ja uusi vaihtuvan raideleveyden vaunukalusto.

#### **2.4.4 Vaatimukset**

Mikäli raideleveyden vaihtolaitteita otetaan uudelleen käyttöön Suomen ja Ruotsin rajalla, valittu järjestelmä todennäköisesti joudutaan hyväksyttämään uuden EN 17069-1:2019 standardin mukaisesti ennen

käyttöönottoa, ellei sillä ole jo olemassa olevaa hyväksyntää EN 50125-1:2014 standardin määrittämiin T2-luokan (-40 - +35°C) olosuhteisiin.

Kaluston vaatimuksena on erityisesti raidelevyden vaihtoon suunnitellut telit tai pyöräkerrat. Vaihtuvan raidelevyden telit tai pyöräkerrat ovat teknisesti monimutkaisempia ja normaalitelejä ja pyöräkertoja painavampia (noin +2 t/teli). Telien huolto on myös luonnollisesti hitaampaa ja kalliimpaa, koska teleissä on enemmän komponentteja ja monimutkaisempaa tekniikkaa, kuin perinteisissä teleissä. Jos veturiin asennetaan raidelevyttä muuttavat telit, vaaditaan veturiin lisäksi molempien maiden sähköjärjestelmät sekä junaturvalaitteet.

Mikäli olemassa olevaan kalustoon halutaan vaihtaa raidelevyden vaihtamiseen sopivat pyöräkerrat tai telit, tulee kalusto hyväksyttävä uudelleen. Olemassa olevaa kalustoa muutettaessa raidelevyttä vaihtavaksi ongelmia voi tulla esimerkiksi LKU:n kanssa, samaan tapaan kuin telinvaihdossa. Lisäksi moniin järjestelmiin voi olla tarpeen tehdä muutoksia.

Toimittajasta riippuen raidelevyden vaihto voidaan toteuttaa joko pyörien ollessa kuormitetut tai kevenetyt. Infralle vähiten vaatimuksia aiheuttaa järjestelmä, jossa raidelevyden vaihto tapahtuu pyörien ollessa kuormitettuna. Toisaalta järjestelmä vaatii tyypillisesti pidemmän raidelevyden vaihtolaitteiston, jonka avulla raidelevyden vaihto tapahtuu hitaasti, pienentäen kiskoiltasuistumisen riskiä.

Järjestelmässä, jossa pyöriä kevennetään, vaaditaan erityiset tukikiskot, joilla pyörien kuormaa pienennetään raidelevyden vaihdon aikana. Tyypillisesti tällainen ratkaisu vaatii lisäksi sääsuojan ja talvisin sulatusmahdollisuuden, sillä usein tukikiskojen voitelu toimii vedellä.

## **2.4.5 Talgo-RD vaihtuvan raidelevyden vaihtojärjestelmä**

### **2.4.5.1 Matkustajaliikenteen vaihtuvaraidelevyden pyöräkerrat ja telit**

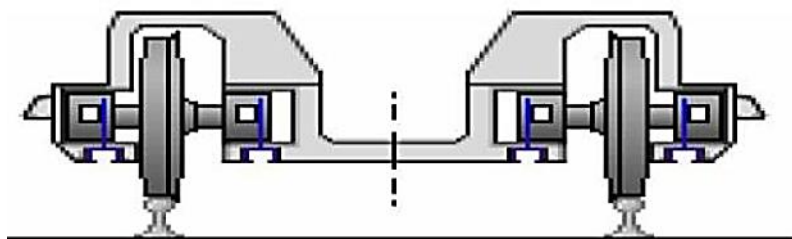
Ensimmäiset säännöllisessä matkustajaliikenteessä olleet automaattisen raidelevyden vaihtojärjestelmän junat, olivat vuonna 1969 Espanjan ja Ranskan välillä liikennöinnin aloittaneita Talgo-junia. Näiden veturivetoisten junien veturit vaihdettiin raidelevyden vaihdon yhteydessä. Talgo-junat ovat kulkeneet raiteenvaihtojen läpi kymmeniä tuhansia kertoja ja järjestelmä on osoittautunut luotettavaksi ja toimivaksi. Niitä on käytetty vuodesta 1969 alkaen kansainvälisessä liikenteessä ja vuodesta 1992 alkaen myös Espanjan sisäisessä rautatieliikenteessä vaihtamalla raidelevyttä suurnopeusratojen (1 435 mm raidelevyys) ja vanhojen 1 668 mm raidelevyden ratojen välillä.

Talgo on kehittänyt matkustajavaunujen, vetokaluston ja tavaraliikenteen vaihtuvan raidelevyden järjestelmää yhdessä kaluston kehityksen kanssa. Talgon RD -raidelevyden vaihtojärjestelmiä on käytössä nykyisin Espanjassa (1 435–1 668 mm) ja ennen Ukrainan sotaa myös Puolan ja Valko-Venäjän rajalla (1 435–1 520 mm) Berliinin ja Moskovan välillä kulkevassa liikenteessä. Talgo RD -vaihtuvan raidelevyden vaihtojärjestelmällä on hyväksynyt T1- (-25°C ja +40°C) ja T2- (-40°C ja +35°C) ilmastoalueille "Veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto" yhteentoimivuuden teknisten eritelmiä (LOC & PAS YTE) mukaisesti. T2-hyväksynnän saaneissa vaunuissa ja teleissä vaunun lämmitettyä poistoilmaa ohjataan lämmitämään telien kriittisiä osia kuten pyörien lukitusta.

Matkustajavaunuissa ja junissa on nykyisin vaihtuvaraidelevyden pyörien lukituksen diagnostiikka, jolla varmistetaan jokaisen pyörän lukkiutumisen, lisäksi laakereille on omat kuumakäynti-ilmaisimet diagnostiikassa, koska laakerien sijainti ei ole sopiva raiteissa oleville ilmaisimille. Talgon vaunu- ja junakaluston suunniteltu elinikä on 30 vuotta mukaan lukien vaihtuvaraidelevyden pyöräkerrat ja telit.

### **Yksiakseliset telit**

Talgo kehitti ensin raidelevyden järjestelmän matkustaja- ja makuuvaunuille, joissa käytetään Talgon ainutlaatuisia yksiakselista teliä (Kuva 3). Talgon veturivetoisissa junissa on junarungon päätyvaunut, joissa on yksiakseliset telit vaunun päädyn alla, ja standardi UIC-puskinkytkentäliitos veturiin. Muut yksiakseliset telit ovat vaunujen välissä ylikulkujen alla ja sivussa. Vaihtuvaraidelevyden telien suurin sallittu akselipaino on 22 t.



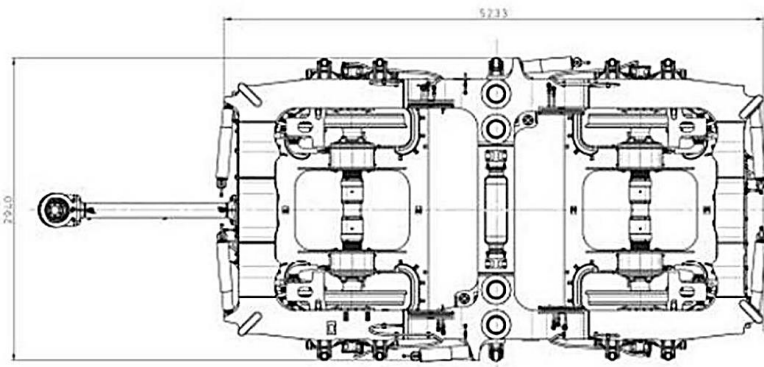
Kuva 3. Talgon yksiakselisen telin kaaviokuva (kuva: [11])

Vastaavat telit ja vaihtuvaraidelevyden järjestelmä on käytössä myös Talgon valmistamissa suurnopeusjunissa. Uusimman sukupolven Talgo Avril -junien suurin sallittu nopeus on 330 km/h.

### **Kaksiakseliset moottori- ja juokсутelit**

Talgon veturivetoisissa junissa on junarungon päätyvaunuja, joissa on kaksiakseliset telit vaunun veturin puoleisen päädyn alla mahdollistamassa korkeamman kuorman kuten esimerkiksi generaattoreiden

asennuksen. Näissä teleissä tarvitaan välirunko lisälaakerointia varten. Alla kuva kaksiakselisesta telistä (Kuva 4)

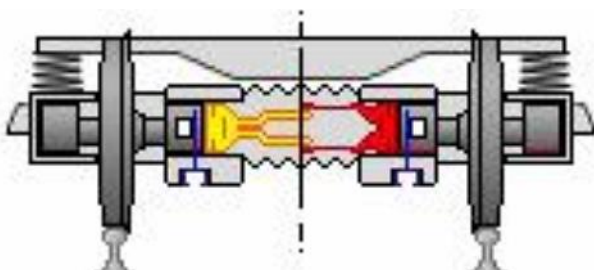


Kuva 4. Talگو kaksiakselinen vaihtuvan raidelevyden teli

Talگو kehitti myös vetokalustolle vaihtuvaraidelevyden moottoritelin, joka vastaa rakenteeltaan juoksu-teliä. Lisäksi siihen on asennettu ajomoottorit ja vaihteistot. Teliä testattiin vuonna 2005 rakennetuilla TRAVCA-testivetureilla ja telit otettiin käyttöön Talگو 250 -junissa vuodesta 2006 alkaen. Talگو-junien vetoyksiköt ovat junien päissä ja niissä on kaksijännitejärjestelmä, kun ne ovat vaihtuvan raidelevyden käytössä

#### 2.4.5.2 Tavaraliikenteen vaihtuvaraidelevyden pyöräkerrat

Tavaravaunuille Talگو on kehittänyt raidelevyettä vaihtavan pyöräkerran, joka soveltuu asennettavaksi Y25-teliin. Pyöräkerrat suunniteltiin suurimmalle nopeudelle 120 km/h ja akselipainolle 22,5 t. Tätä järjestelmää testattiin Haaparannassa vuosina 1997–1999 ja Venäjän Sherbinkassa vuonna 1996. RENFE:n hyväksymisestä suoritettiin myös vuonna 1999. Tämä teknologia ei kuitenkaan ole käytössä. Syitä, miksi pyöräkertoja ei ole otettu käyttöön tavaravaunuissa, ovat pyöräkertojen korkea hinta ja suuri lisäpaino. Alla kaaviokuva tavaravaunun vaihtuvan raidelevyeden pyöräkerrasta.



Kuva 5. Talگو raidelevyettä vaihtava pyöräkerta (kuva: [11])

### 2.4.5.3 Talgon RD vaihtuvan raidelevyyden raiteenvaihtolaite

Nykyisin Talgo-junia ajetaan raiteenvaihtolaitteen yli kahdella tavalla:

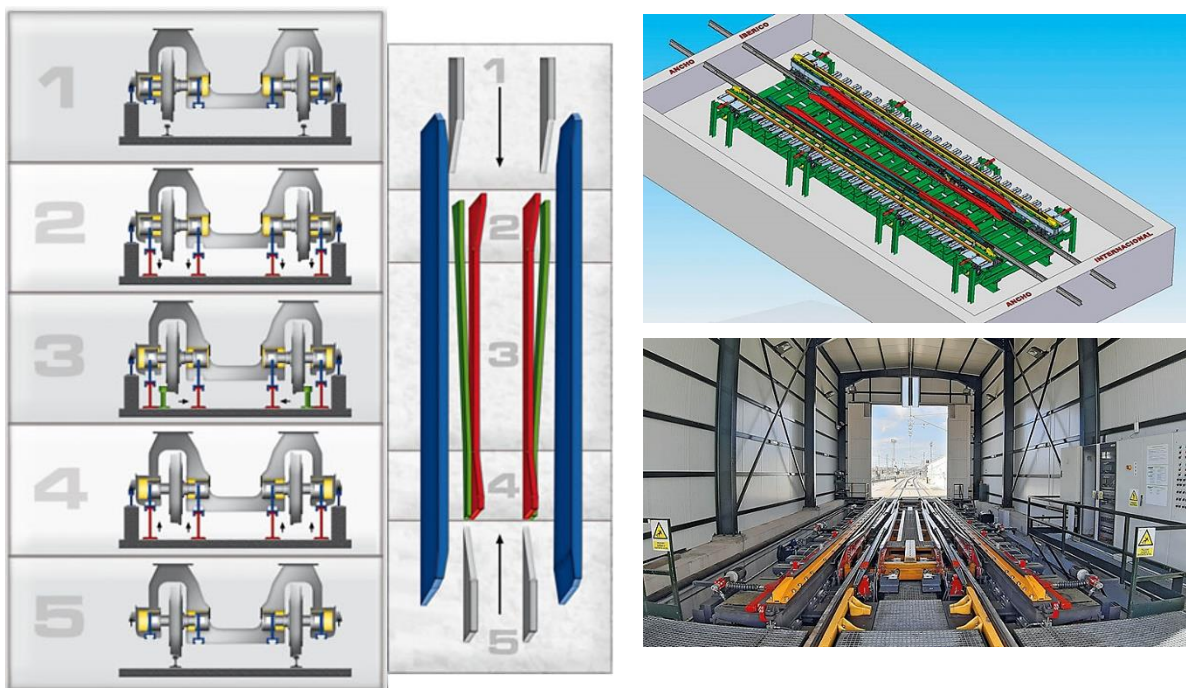
- Veturivetoisten junien veturit vaihdetaan vaihtolaitteella ja apuna käytetään laskuramppia tai erillistä vetolaitteita. Junan läpiajo vaihtolaitteesta kestää 15 min.
- Kiinteät junakokoonpanot ajavat vaihtolaitteen läpi n. 15 km/h ja vaihtavat myös mahdollisesti ajolangan syöttöjännitettä vaihtolaitteella. Ajo vaihtolaitteen läpi kestää vain minutteja.

Vaihtoasema on katettu ja vain hiukan vaihtolaitetta pidempi halli avoimilla radan vaatimilla aukoilla.

Vaihtoasemalla on henkilö seuraamassa vaihtotapahtumaa ja varmistamassa laitteen toiminnan. Vaihtolaite on täysin mekaaninen ja raidelevyyden vaihto tapahtuu seuraavissa osissa.

1. Juna saapuu vaihtolaitteelle, sinisellä merkityt kiskot kannattelevat pyöräkertoja päistä vaihtotapahtuman ajan (akselien kevennys)
2. Pyörien lukitus avataan
3. Pyörät (ja tarvittaessa jarrulaitteet) siirretään halutulle raidelevyydelle vihreällä merkityn ohjauskiskon avulla
4. Pyörät lukitaan
5. Juna poistuu vaihtolaitteelta

Vaiheet on esitetty alla (Kuva 6).



Kuva 6. Talgon vaihtuvan raidelevyyden järjestelmän toimintasekvenssi ja vaihtoasema (kuvat: [11], [14] ja [15])

Raidelevyden vaihtolaite on täysin mekaaninen vailla liikkuvia osia. Vaihtolaitteen kapasiteetti on jopa 100 junaa vuorokaudessa. Pyöräkertaa raidelevyden vaihdon aikana tukevat tukikiskot voidellaan vedellä. Vaihtoasemalla on junien operoinnin aikana aina paikalla tarkastaja varmistamassa raidelevyden vaihdon myös silmämääräisesti.

Vaihtolaitteelle on optiona saatavissa sulatusjärjestelmä, joka sulattaa pyöräkerran tai telin vaihtomekanismin kuumalla painevesisuihkulla. Tällöin vaihto tapahtuu normaalia alhaisemmalla nopeudella.

Vaihtolaite on suunniteltu siirrettäväksi ja uusimpiin vaihtoasemiin voidaan yhdistää 2–4 kpl eri järjestelmän raiteenvaihtolaitetta. Espanjassa on tällä hetkellä käytössä raidelevyden vaihtopaikkoja, joissa on sekä Talgo RD- että CAF Brava-järjestelmän vaihtolaitteet.

## 2.4.6 DBAG / RAFIL Typ V -järjestelmä

### 2.4.6.1 Historiaa

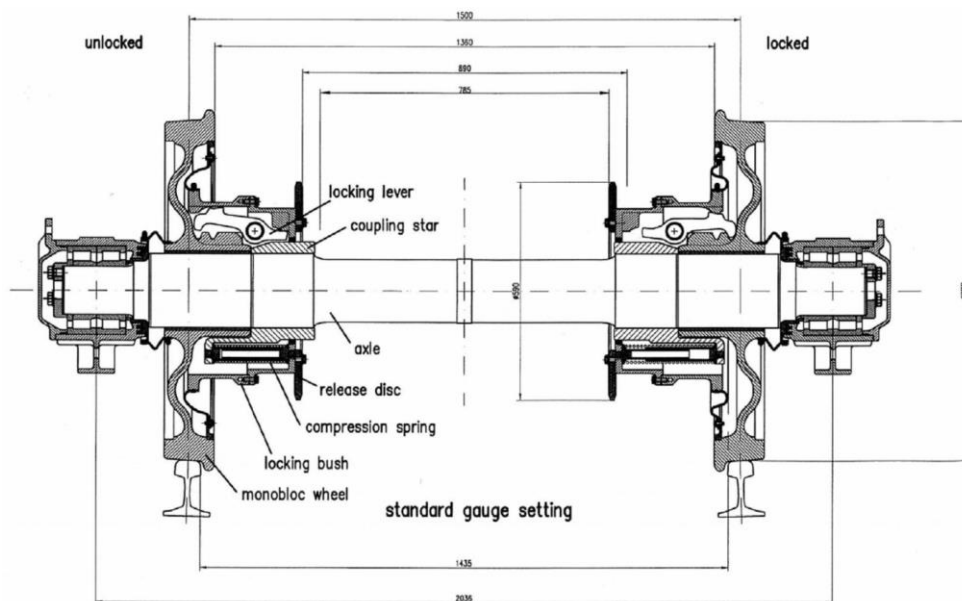
Deutsche Bahn AG (DBAG) yhdessä Ilsenburg GmbH (Rafil) kanssa alkoi 1990-luvun puolivälissä kehittää automaattista vaihtuvan raidelevyden pyöräkertaa sekä raidelevyden vaihtolaitetta. Vaihtuvan raidelevyden järjestelmä sai nimen DBAG / Rafil Typ V. Taustalla kehitystyölle olivat aikaisempi DDR:n Deutsche Reichsbahnin vaihtuvan raidelevyden pyöräkerran kehitystyö ja testaus. Rafil Typ V vaihtuvan raidelevyden pyöräkerralla on mahdollista vaihtaa raidelevyttä 1 435 mm - 1 520 mm tai raidelevydestä 1 435 mm - 1 668 mm ja päinvastoin. Vaihtuvan raidelevyden pyöräkerrat suunniteltiin tavara- ja matkustajavaunuille, mutta ne eivät sovellu vetokalustolle.

Rafil Typ V -vaihtuvan raidelevyden järjestelmää testattiin 1990-luvun lopulla:

- Saksassa 1 435 mm ja 1 520 mm radalla testausalueen vaihtolaitteella kahdella 4-akselisella vaunulla,
- Saksassa DB AG -testiradalla sekä Espanjan ja Ranskan rajalla 1 435 mm ja 1 668 mm radalla 2-akselisella vaunulla ja kolmella 4-akselisella vaunulla,
- Ruotsin ja Suomen rajalla 1 435 mm ja 1 524 mm radoilla yhdellä 4-akselisella ja yhdellä 2-akselisellä vaunulla usean vuoden ajan (erityisesti talvitesteissä)
- Puolan ja Liettuan rajalla 1 435 mm ja 1 520 mm radoilla kolmella 4-akselisella vaunulla

Testien jälkeen järjestelmään lisättiin pyörien lukituksen seurantadiagnostiikka ja pyöräkerran tiivistystä parannettiin. Tehtyjen muutosten ja jatkotestauksen jälkeen Rafil Typ V -tyypin vaihtuvan raidelevyden

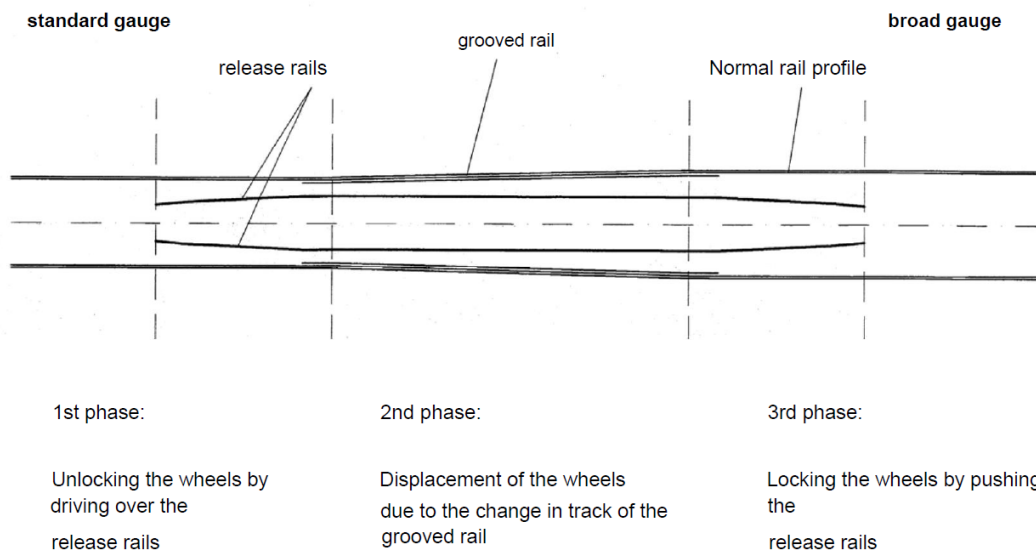
järjestelmä sai EBA (Eisenbahn-Bundesamt, Saksa) hyväksynnän vuonna 2006. Kuvassa alla Rafil Typ V -pyöräkerran poikkileikkauspiirustus.



Kuva 7. Rafil Typ V -pyöräkerran poikkileikkauspiirustus (kuva: [10])

#### 2.4.6.2 Järjestelmän toiminta

Kaksi aksiaalisesti siirrettävää pyörää on yhdistetty lukitusjärjestelmällä pyöräkerran akseliin. Raidelevyyden vaihtalaitteen läpi ajettaessa (nopeus 5 - 20 km/h) pyörien lukitus vapautetaan ensin ajamalla lukitusraiteiden yli. Sitten pyörät siirretään aksiaalisesti uraraiteen raidelevyyden muutoksen kautta normaaliraiteelta leveäraiteelle tai päinvastoin, ja lopuksi ne lukitaan uudelleen puristamalla lukitusraiteita. Lukituksen tilan tarkistamiseksi tarvitaan joko diagnostiikkalaite raidelevyyden muutoslaitteen alussa ja lopussa tai junakohtainen lukituksen diagnostiikka (kts. kuva alla).



Kuva 8. Raidelevyden vaihtalaitteen kaaviokuva ja raidelevyden vaihdon vaiheet (kuva: [10])

Rafil Typ V ja jatkossa esiteltävä SUW 2000 – POLSUW ovat yhteensopivia siten, että ne voivat käyttää toistensa raidelevyden vaihtolaitteita. Näissä raidelevyden vaihdon aikana pyörät ovat kuormitettuna kiskoilla, toisin kuin Talgo RD ja CAF Brava -järjestelmissä, joissa pyöriä kannatetaan tukikiskoilla telirungosta.

Rafil Typ V -pyöräkerran suurimmat nopeudet ja akselipainot ovat liikennöitäessä seuraavat:

- 120 km/h 22,5 t akselipainolla
- 160 km/h 18 t akselipainolla

Pyöräkerran toimintalämpötila on  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $+40^{\circ}\text{C}$  ja pyöräkerta soveltuu sekä tavaravaunuihin (Y25 teli) että matkustajavaunuihin asennettavaksi. Pyöräkertoihin voidaan asentaa sekä tönkkä- että levyjarrut. Paino kasvaa vakiopyöräkertaan verrattuna on noin 500 kg.

#### 2.4.6.3 Rafil Typ V tavaraliikenteessä

Rafil Typ V -pyöräkerta otettiin käyttöön vuonna 2000 Puolan ja Liettuan rajalla. Pyöräkerran käyttö on sittemmin lopetettu. Pyöräkertaa voitiin käyttää sekä Rafil Typ V- että SUW 2000 - POLSUW-järjestelmien vaihtolaitteissa.

Green Cargo otti Rafil Typ V -järjestelmän käyttöön Ruotsin ja Suomen välisessä liikenteessä kuudella vaunulla järjestelmän testiliikenteen ja hyväksynnän jälkeen 2006. Liikenne päättyi 2008. Alla on vertailtu Y25 teliä varustettuna Rafil V pyöräkerroilla (Y25Lsd1-Spw) ja normaaleilla pyöräkerroilla (Y25Lsd1).

Taulukko 3. Y25 telin vertailu eri pyöräkerroilla

	Y25Lsd1-Spw	Y25Lsd1
Akselipaino (t)	22,5	22,5
Suurin nopeus tyhjänä / kuor- mattuna (km/h)	120 / 100	120 / 100
Akseliväli (mm)	1 800	1 800
Pyörän halkaisija (mm)	920	920
Massa (kg)	5 400	4 500
Raideleveys (mm)	1 435 / 1 524	1 435
Ilmastoalue	T1 ja T2	T1

#### 2.4.6.4 Rafil Typ V matkustajaliikenteessä

Rafil Typ V -raidelevydenvaihtojärjestelmä otettiin matkustajaliikennekäyttöön Stadlerin toimittamissa makuuvaunuissa Istanbulin ja Bakun välisessä yöjunaaliikenteessä. Raiteenvaihtolaite asennettiin Akhalkalakin kaupunkiin Georgiaan lähelle Turkin rajaa. Turkin raideleveys on 1 435 mm ja Georgian ja Azerbaidzhanin puolella 1 520 mm. Stadler toimitti kaksi 10-vaunuista junaa Azerbaidzhanin rautateille. Vaunujen suurin sallittu nopeus on 160 km/h suurimmalla akselipainolla 18 t.

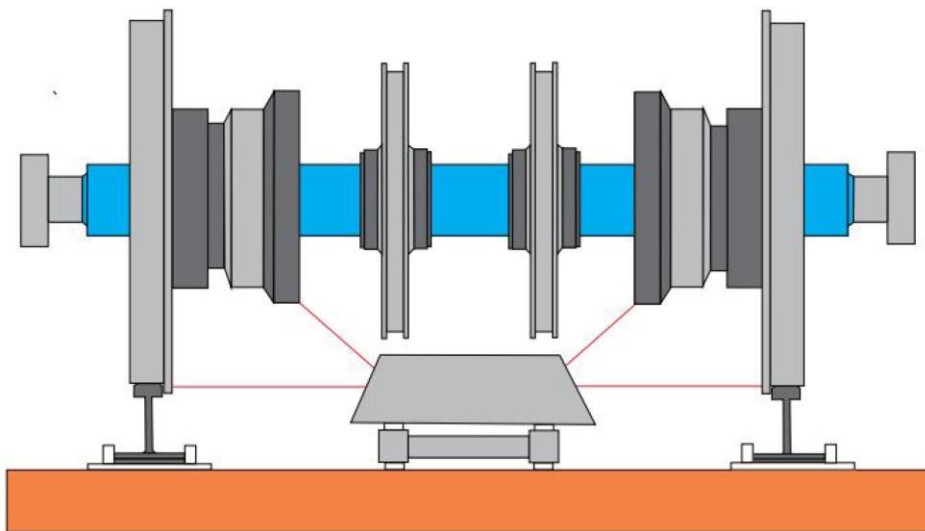
#### 2.4.7 PKP / SUW 2000 - POLSUW – järjestelmä

##### 2.4.7.1 Historiaa

SUW 2000 -järjestelmän kehitti TKT Ryszard Suwalski työskennellessään Puolan rautateiden (PKP) palveluksessa vuosina 1990–1992. Prototyypipyöräkerrat, matkustajavaunujen ja tavaravaunujen telit sekä raidelevyden vaihtolaite valmistettiin vuonna 1993. Pyöräkerrat valmisti ZNTK Poznan. SUW 2000 vaihtuvan raidelevyden matkustaja- ja tavaraliikenteen pyöräkerroille ja vaihtolaitteille saatiin UIC:n hyväksyntä UIC-510-4 (Variable-gauge running gear for 1 435 mm / 1 520 mm and 1 668 mm). Järjestelmää testattiin talviolosuhteissa aina -35°C lämpötiloissa ja talvisissa olosuhteissa, joissa järjestelmä toimi ilman ongelmia.

Matkustaja- ja tavaraliikenne aloitettiin vuonna 2000 Puolassa sekä Puolan ja Liettuan välillä ja vuonna 2003 säännöllinen liikenne alkoi myös Puolan ja Ukrainan välillä. Vuonna 2003 SUW 2000 -järjestelmään kehitettiin sähköinen diagnostiikkajärjestelmä, joka otettiin vaiheittain käyttöön eri vaihtoasemilla. Vuonna 2008 esiteltiin toisen sukupolven SUW 2000, jossa oli uusi teli, parannettu raidelevyden

vaihtolaite sekä uusi laserkäyttöinen mittaussysteemi (Kuva 9), joka tarkistaa ja rekisteröi raideleveyden muutokset ja pyöräkerran lukituksen.

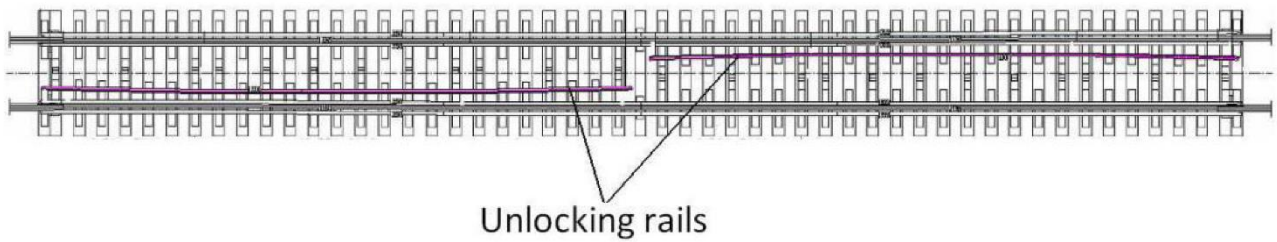


Kuva 9. Lasermittaus raideleveyden ja lukituksen todentamiseksi (kuva: [12])

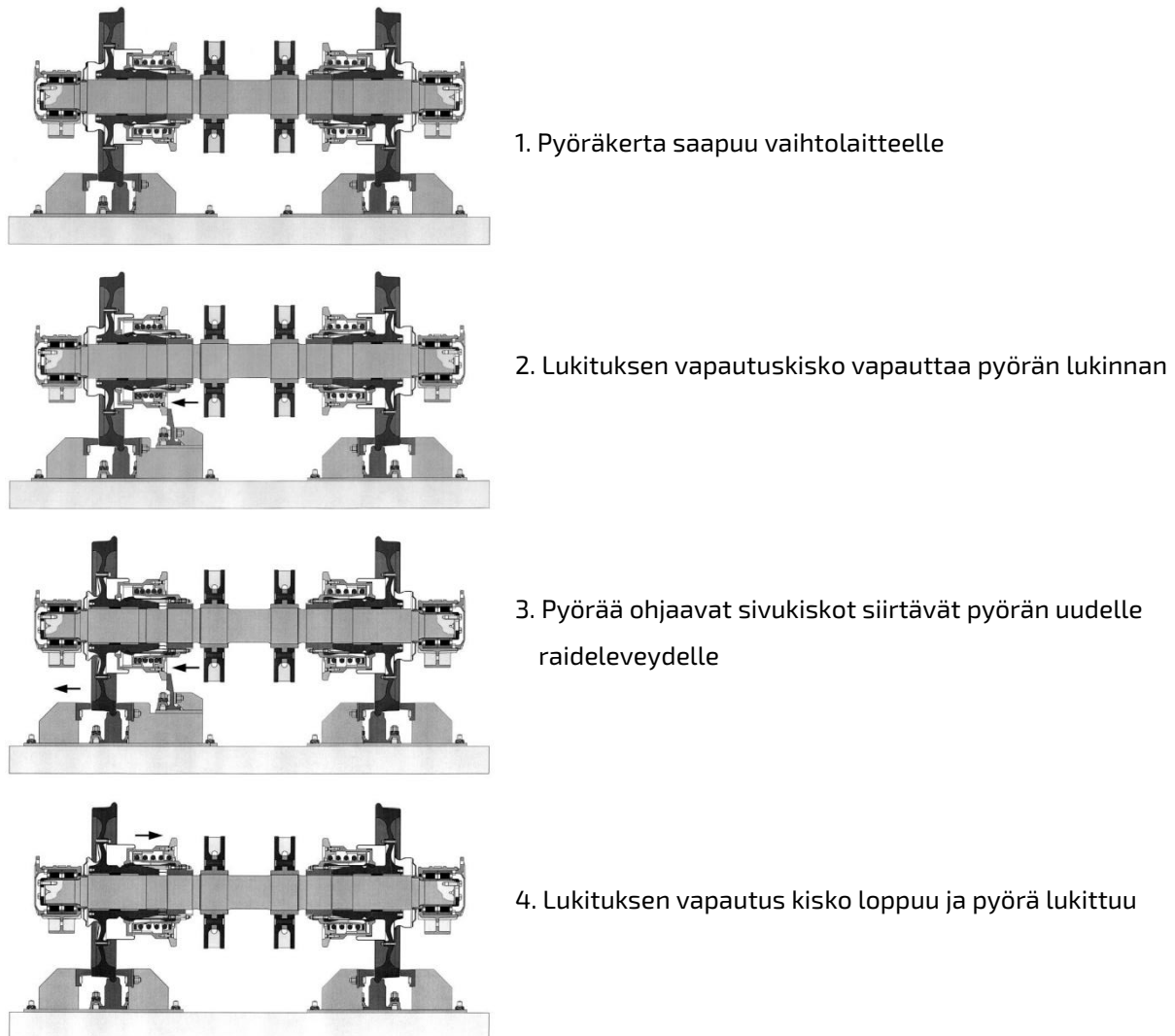
Vuonna 2019, ZNTK Poznanin konkurssin jälkeen Puolan rautatiet (PKP) osti SUW 2000 -järjestelmän oikeudet patenteihin, teknologiaan ja dokumentaation. PKP jatkoi kehitystyötä yhteistyössä Poznanin teknillisen yliopiston, Varsovan teknisen yliopiston ja Varsovan rautatieinstituutin kanssa järjestelmän kehittämiseksi edelleen työmellä POLSUW. Kehitystyön tavoitteena on pyöräkertojen ja vaihtolaitteen eliniän jatkaminen ja järjestelmän käyttökustannusten pienentäminen.

#### 2.4.7.2 Järjestelmän toiminta

SUW 2000 -vaihtuvan raideleveyden järjestelmää ei suunniteltu vetokalustolle, mutta tavara-, yö- tai päiväjunien tapauksessa tällä ei ole suurta merkitystä. SUW 2000 -järjestelmä ei kevennä telejä pyöräkerran leveyden muutoksen aikana, vaan pyörät kantavat vaunua lukituksen avaamisen ja uuden lukituksen välillä, vaikka yksi pyörä akselilla on kerrallaan lukitsematta. Nopeus vaihtoasemalla on 5–30 km/h. Vaihtoasema on suhteellisen yksinkertainen ja on yhteensopiva Rafil Typ V -vaihtoaseman kanssa. Ainoastaan SUW 2000 -järjestelmässä pyörän lukitus avataan ja kiinnitetään yksi pyörä kerrallaan, jolloin vaihtolaite on kaksi kertaa pidempi (27 m) kuin Rafil Typ V -laite, jossa yhdellä kertaa käsitellään yksi pyöräkerta. Kuivissa alla esitetään SUW 2000 -vaihtolaite ja yhden pyörän siirron vaiheet.



Kuva 10. SUW 2000 vaihtuvan raideleveyden vaihtolaite



Kuva 11. SUW 2000 vaihtuvan raideleveyden järjestelmän pyörän siirron vaiheet

#### 2.4.7.3 SUW 2000 käyttö tavara- ja matkustajaliikenteessä

SUW-järjestelmä toimi säännöllisissä tavara- ja matkustajajunissa Puolan ja Liettuan välillä vuosina 2000–2005, matkustajaliikenteessä Varsova-Vilna -reitillä, jossa oli raideleveyden vaihtolaite Puolan ja Liettuan rajalla Mockawassa (Liettuassa). Raideleveyden vaihtoa edellyttänyt liikenne Puolan ja Liettuan

rajalla lakkasi standardiraiteen jatkamisen jälkeen Kaunasiin, jossa on Puolasta tulevien junien pääte-asema.

Matkustajaliikenne Puolan ja Ukrainan välillä alkoi 2003 Krakova-Kiova -yöjunareitillä ja Trans European -tavaraliikennereitillä Krakovasta Kiovaan, jossa oli raidelevyden vaihtolaite Mostiskassa (Ukrainassa). Yöjunan pysähdys Puolan ja Ukrainan rajalla lyheni kahdella tunnilla. Vuoden 2006 lopussa raidelevyden vaihtolaitteen läpi kulkeneista pyörälukoista yksi ei kytkeytynyt ja noin 200 km ajon jälkeen lukitsemattomalla pyörällä kulkenut vaunu suistui raiteilta. Tämän seurauksena Ukrainan viranomaiset peruuttivat SUW 2000 -varustettujen vaunujen sertifiointin. Lisäturvajärjestelmän käyttöönoton jälkeen vaunut saivat jälleen luvan 2009 käyttää Ukrainan rautatieverkkoa. Virallisesti PKP Intercity lopetti SUW 2000:n käytön vuonna 2015 teknisten ongelmien ja kaluston saatavuuden vuoksi. Ukrainan rautatiet poisti samana vuonna vaunujen SUW 2000 -pyöräkerrat käytöstä. Vuoden 2017 lopun tietojen mukaan PKP Intercityllä ei ole telinvaihtoon käytettäviä tavara- tai matkustajavaunuja. Puolan ja Ukrainan rautateiden kiinnostus oli siis vähäistä, rajaliikenne väheni yleisesti, matkustusajat olivat pitkiä, kalusto oli vanhaa, eikä 1–2 tunnin säästö muuttanut paljon matka-aikoja.

Puolan rautatiet (PKP) kävi myös neuvotteluja Valko-Venäjän (BC) ja Venäjän rautateiden (RZHD) kanssa liikenteen avaamisesta Varsovan-Minskin-Moskovan -reitille SUW 2000 -vaihtuvaa raidelevyden järjestelmää hyödyntäen, mutta suunnitelmat eivät toteutuneet. Tällöin vaihtoasema olisi sijoitettu Brestiin, jonne 2015 rakennettiin Talgon RD vaihtoasema Berliini – Moskova -reitille.

Matkustajaliikenteessä sekä Puolan ja Liettuan että Puolan ja Ukrainan välisessä liikenteessä oli parhaimmillaan molemmissa kaksi junaa, joissa yhteensä noin 16 vaunua. Tavaravaunuja PKP varusti kaikkiaan neljä, joilla ajettiin lähinnä koerahtiliikennettä. Muiden rahtioperaattorien kalustosta ei ole tietoa.

## **2.4.8 CAF / BRAVA-järjestelmä**

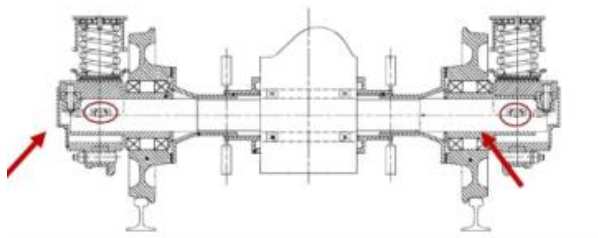
### **2.4.8.1 Historiaa**

CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles), on espanjalainen rautatiekalustovalmistaja, joka kehitti oman raidelevyden vaihtojärjestelmän 1990-luvun lopulla vastaavanlaisella tekniikalla kuten Talgo. CAF nimesi sen "Bravaksi", ja se on tarkoitettu käytettäväksi matkustajajunissa raidelevyksillä 1 435 mm ja 1 668 mm. Järjestelmä soveltuu sekä juoksu- että moottoriteleihin. CAF aloitti testaukset uudella vaihtuvan raidelevyden järjestelmällä vuonna 2000 kahdessa dieselmoottorijunassa. Standardin UIC 510-4 mukaisessa testiohjelmassa ajettiin enimmillään 160 km/h. Samat junat aloittivat liikenteen 2003 reitillä Catalunya-Zaragoza-Jaca. CAF on toimittanut S120- ja S121-suurnopeusjunia RENFelle. Junien suurin nopeus

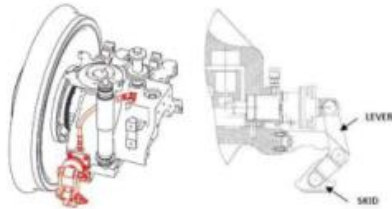
on 250 km/h. CAFin Brava vaihtuvan raidelevyden järjestelmää käytetään toistaiseksi vain Espanjassa diesel- ja sähkömoottorijunissa. Järjestelmät on hyväksytty lämpötila-alueella -20 - +50 °C.

#### **2.4.8.2 Järjestelmän toiminta**

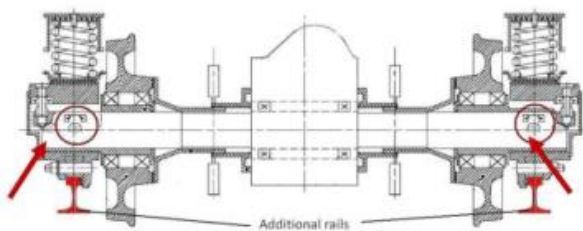
Brava-järjestelmän telin akselit on rakennettu kiinteään akselin päälle, jonka päällä olevat kaksi putkiakselia pyörivät ja liikkuvat poikittaissuunnassa raidelevyettä muutettaessa. Pyörien lukinta on akselien päissä. Alla kuvat Brava -vaihtuvan raidelevyden akselin siirtovaiheista. Akselien jarrulevyt on kiinnitetty sisempiin putkiakseleihin, jolloin niitä tai jarrusatuloita ei tarvitse siirtää vaihtotapahtumassa. Kuvasta näkyy myös laakerien sijoitus akselilla, mikä aiheuttaa tarpeen erilliselle kuumakäynti-ilmaisimelle Brava-järjestelmää käyttävässä CAF:n junassa



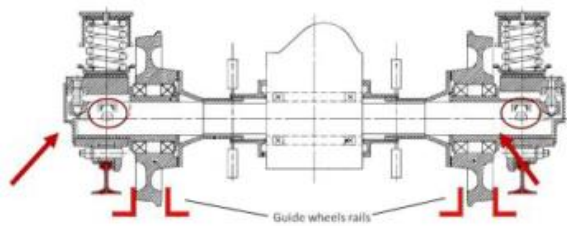
1. Pyörät lukittuna 1668 mm raidelevydelle



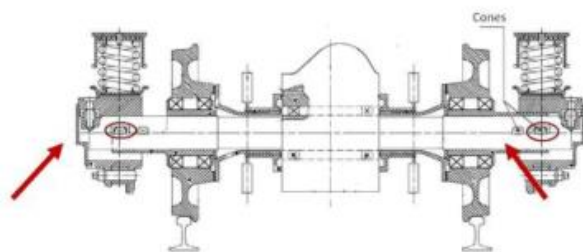
2. Lukituksen irrotus kannatuskiskon (additional rail) ohjaamalla vipumekanismissa



2. Lukitus irti



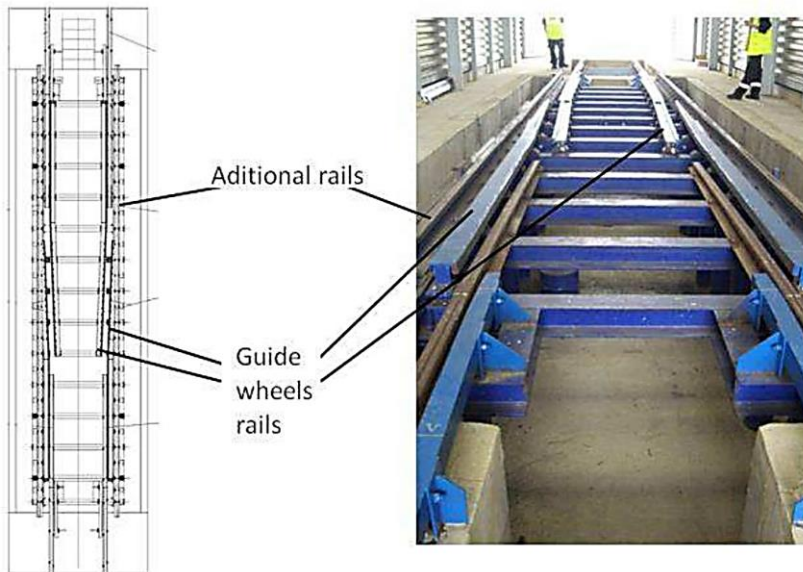
3. Pyörien siirto ohjauskiskoilla



4. Pyörät lukittuna 1435 mm raidelevydelle

Kuva 12. BRAVA-järjestelmän toiminta

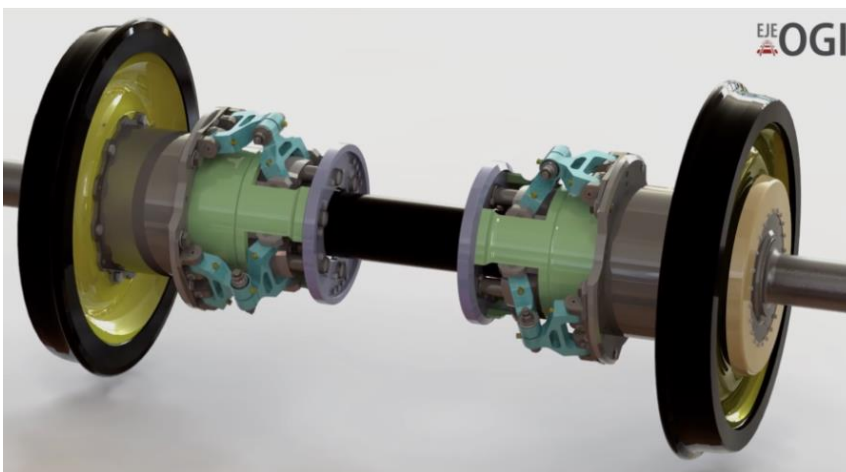
Brava-vaihtolaite on hyvin Talgon RD -vaihtoaseman kaltainen, kuva alla. Juna voi ajaa vaihtolaitteen läpi noin 10–20 km/h. Tukikiskot vaativat vesivoitelun.



Kuva 13. BRAVA-vaihtolaite

## 2.4.9 ADIF / OGI-järjestelmä

ADIF / OGI-järjestelmä on espanjalaisten TRIA:n ja AZVI:n yhteistyössä kehittämä vaihtuvan raidelevyden pyöräkerta. Pyöräkerrasta on kehitetty sekä 920 mm että 760 mm pyöränhalkaisijalla olevat versiot. Järjestelmä on yhteensopiva Y21-telin kanssa. Järjestelmän tavoitteena on saavuttaa 22,5 t akselipaino 920 mm pyöränhalkaisijalla ja 16 t akselipaino 760 mm pyöränhalkaisijalla. Järjestelmä pohjautuu 1970-luvulla kehitettyyn OGI-tekniikkaan ja se on hyväksytty käyttöön Espanjassa 2020 [7] [9].



Kuva 14. OGI vaihtuvan raidelevyden pyöräkerta (kuva: [7])

OGI-järjestelmässä raideleveys vaihdetaan 33 metriä pitkän raidelevydenvaihtolaitteen avulla. Raidelevyden vaihto tapahtuu hitaassa vauhdissa, pyörät kuormitettuna, yksi pyörä kerrallaan: ensin siirretään toinen pyörä ja vasta sitten toinen. Näin saadaan minimoitua aksiaalivoimat ja vaihtoprosessista saadaan stabiilimpi.

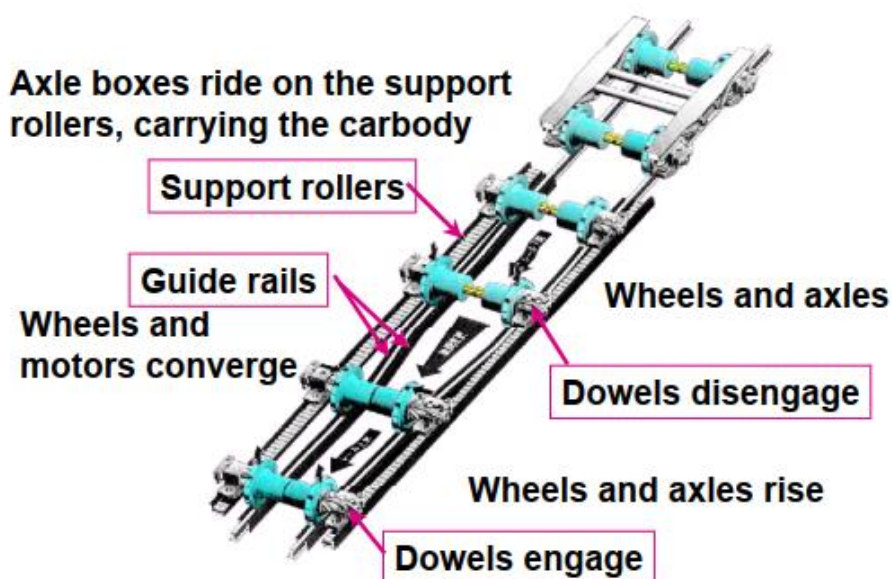
Tällä hetkellä järjestelmä on käytössä Espanjassa ja sillä on mahdollista vaihtaa raideleveyttä 1 435 mm – 1 668 mm välillä.

## 2.4.10 Gauge Change Train (GCT)/japanilainen järjestelmä

Gauge Change Train (GCT) tai Free Gauge Train (FGT) on japanilainen suurnopeusjuna (Shinkansen), joka on varustettu muuttuvan raideleveyden pyöräkerroilla. GCT-projekti aloitettiin vuonna 1994 ja junia on kolme eri sukupolvea:

- 1. sukupolvi 1998–2006
- 2. sukupolvi 2006–2014 ja
- 3. sukupolvi 2014 alkaen.

GCT-juna kykenee vaihtamaan raideleveyttä 1 067 mm – 1 435 mm välillä. Kolmannen sukupolven junan testaus jäi kesken vuonna 2018. GCT-junat eivät tällä hetkellä ole käytössä [8]. Toisen ja kolmannen sukupolven GCT-junat pystyvät liikennöimään vähintään 270 km/h nopeudella standardiraideleveydellä ja vähintään 130 km/h kapealla raideleveydellä [8].



Kuva 15. Raideleveyden vaihto toimintaperiaate (kuva: [6])

Raideleveyden vaihto tapahtuu raideleveydenvaihtolaitteen avulla. Raideleveyden vaihto tapahtuu hitaassa vauhdissa pyörien ollessa kuormittamattomina. Pyörien keventäminen tehdään tukirullien avulla. Ohjaukiskiskot ohjaavat pyörät halutulle raideleveydelle. Pyörät lukitaan halutulle raideleveydelle. Juna kulkee omalla voimallaan raideleveydenvaihtopaikan yli. GCT-junat ovat kiinteitä junayksiköitä.

## 2.4.11 Yhteenveto vaihtuvan raideleveyden pyöräkertojen ja telien ominaisuuksista

Alla olevaan taulukkoon on kerätty yhteen eri valmistajien järjestelmien ominaisuuksia.

Taulukko 4. Eri järjestelmien ominaisuuksien vertailu

No.			1	2	3	4	5	6
Järjestelmä		K E ei	Talgo RD	DBAG / RAFIL	PKP / SUW 2000	CAF / BRAVA	ADIF / OGI	GCT
Liikkuva kalusto	Raideleveys	1000	T	E	E	E	E	E
	E ei	1067	T	E	E	E	E	H
	H hyväksytty	1435	H	H	H	H	H	H
	T tekninen ratkaisu	1520	H	H	H	T	T	E
		1668	H	H	T	H	H	E
	Lämpötilaväli (°C)	Alin	-25/-40	-25/-40	-35	-20	-20	-
		Ylin	+50/+35	+50/+40	+40	+50	+50	-
	Tyyppi	Veturi / vetokalusto	H	E	E	H (EMU)	E	H (EMU)
	E ei	Matkustajavaunu	H	H	H	H(EMU)	E	H (EMU)
	H hyväksytty	Tavaravaunu	T	H	H	E	H	E
	T tekninen ratkaisu							
	Jarrujärjestelmä	TJ tönkkä jarru		LJ	LJ/TJ	LJ	LJ	TJ
	LJ levyjarru							
Kuumakäynti ilmaisin	Oma	K	E	E	K	E	E	
K kyllä	Radanvarressa	E	K	K	E	K	K	
E ei								
Infrastruktuuri	Vaihtolaite		S	U	U	S	U	S
	Sisällä							
	Ulkona							
	Max. Nopeus (km/h)	Matkustajajuna	300	160	160	275	-	270
		Tavarajuna	120	120	120	-	120	-
	Nopeus vaihtajalla (km/h)	Matkustajajuna	10-15	-	5-30	10-20	-	10
		Tavarajuna	10-15	5-20	5-30	-	-	-
Junan läpi ajo vaihtajalla, aika (min)	Matkustajajuna	15-20	-	30	1			
	Tavarajuna	30-40	30	30	-			
Sepeliradalla		E	K	K	E	E	E	
Pituus		12	15,6 / 27	27	12		5	
Operointi	Yhteensopiivuus		4&5 <sup>1*</sup>	3	2	1&5 <sup>1*</sup>	1&4 <sup>1*</sup>	-
	Käytössä 2025	Vetokalusto	K	E	E	K	E	E
		Matkustajajuna	K	K	E	K	E	E
		Tavarajuna	E	E	E	E	K	E
Kansainvälinen kokemus		K	K	K	E	E	E	

\* Eri vaihtolaitteet voidaan yhdistää saamaan vaihtoasemaan

## 3 Raidелеveyden vaihtojärjestelyjen ja -järjestelmien kustannukset

Tähän selvityskokonaisuuteen kuuluvan kysyntäselvityksen perusteella tuontikuljetusten määrä Ruotsista Suomeen osoittautui merkittävästi suuremmaksi kuin viennin määrä. Tätä näkemystä tukevat myös viennin ja tuonnin tilastot, joiden mukaan tuonti Ruotsista on vientiä suurempaa (tullin tilastot). Tässä kappaleessa arvioidaan raidелеveyden vaihtojärjestelyjen ja -järjestelmien kustannuksia. Arviossa juna- määrältään suurimmat tuonnit koostuisivat rautarikasteesta ja raakapuusta.

### 3.1 Rautarikaste ja rautamalmi

Rautamalmista on ollut keskustelua LKAB:n ja SSAB:n välillä. Tällä hetkellä Raahen SSAB:n rautaraaka-ainetta kuljetetaan Ruotsista Raahen meritse työntöproomuilla. Kuljetusta on harkittu siirrettävän rautatiekuljetukseksi, jolloin harkinnassa ovat olleet raidелеveyttä vaihtavilla teleillä varustetut vaunut. Nyt vuonna 2025 proomujen käyttöikä on päättymässä ja SSAB harkitsee joko niiden korvaamista uusilla aluksilla tai kuljetusten siirtämistä raiteille.

### 3.2 Raakapuu

Suomen sisäisissä raakapuukuljetuksissa autokuljetusmatkan pituus suoraan metsästä tehtaalle oli keskimäärin 105 km (+0,4 %). Keskimääräinen rautatiekuljetusmatka oli 307 km (+3,1 %). Suoran autokuljetuksen osuus kuljetetusta puumäärästä oli 68,4 % (-2,6 prosenttiyksikköä) ja rautatiekuljetusketjun 27,6 % (+2,5 prosenttiyksikköä). Muut osuudet ovat uittokuljetuksia, joita tässä selvityksessä ei tarkastella.

Keskimääräinen kumipyörillä kuljetettu raakapuun kaukokuljetusmatka, jonka voisi korvata rautatiekuljetuksella, on kasvanut Suomessa 5,6 % ja oli 186 km tutkimusta tehdessä [16]

Rautatiekuljetukset vaativat joka tapauksessa avukseen maantiekuljetuksen, jotta puutavara saadaan rautatien varteen. Keskimääräisessä rautatiekuljetuksessa autokuljetuksen osuus on noin 50 km [16] [17]

Suomen sisäiset raakapuukuljetusmatkat ovat kasvaneet Venäjän hyökkäyssodan alettua. Helposti rajan takaa saatavaa puuta on jouduttu korvaamaan kotimaisella raakapuulla, jota joudutaan ajamaan osin pidemmän Suomen sisäisen rautatiekuljetusmatkan päästä tehtaille. Venäjän raakapuutuontia on korvattu myös Baltian maista tulevilla kuljetuksilla Kotkan Mussalon sataman kautta. Mikäli

turvallisuustilanteessa tapahtuu muutoksia ja merikuljetukset hankaloituvat, voisi tämä kuljetusvirta kääntyä korvautuen Ruotsista tuotavalla raakapuulla.

Tällä hetkellä Ruotsista ei tuoda raakapuuta Suomeen rautateitse. Rautatiekuljetuksille Ruotsista on kuitenkin olemassa kasvupainetta ja sellainen kuljetusvirta voisi hyvinkin muodostua Ruotsin ja Suomen välille. Kuten edellä todettiin, raakapuun kuljetusmatkan tulisi olla rautateillä muutamia satoja kilometrejä, jotta liikenne olisi kannattavaa. Mikäli kuljetusmatka pelkästään Ruotsin tai Suomen puolella on noin alle 100 kilometriä, on todennäköistä, että puutavara kuormattaisiin suoraan suomalaiseen 1 524 mm rautatiekalustoon, jolloin raideleveyden muuttamisen ratkaisuja ei tarvittaisi lainkaan. Sen sijaan, jos rautatiekuljetusmatka Ruotsissa olisi yli 100 kilometriä, voisi raakapuu olla kannattavaa kuormata 1 435 mm:n vaunuihin Ruotsissa. Tällainen kuljetus joko hyödyntäisi raideleveyden vaihtomahdollisuuksia tai siirtokuormausta suomalaiseen vaunuun Haaparannassa. Myös muiden tuotteiden tuotevirtoja on tunnistettu, mutta ne ovat pienivolyymisiä ja epävarmoja toteutumisen suhteen.

### **3.3 Kuljetustapavaihtoehtoja ja niiden toteuttamiseen vaikuttavia seikkoja sekä kustannuksia**

Tarkastellaan seuraavia kuljetustapavaihtoehtoja, jotka on laadittu käyttäen Haaparantaa kauttakulku- paikkana:

**Vaihtoehto 1: Kumipyöräkuljetus ja rautatiekuljetus yhdistettynä**

**Vaihtoehto 2: Siirtokuormausta rautatiekaluston välillä raja-asemalla**

**Vaihtoehto 3: Rautatiekuljetus telit tai pyöräkerrat vaihtamalla**

**Vaihtoehto 4: Rautatiekuljetus raideleveyttä vaihtavilla pyöräkerroilla varustetulla kalustolla**

#### **3.3.1 Vaihtoehto 1: Kumipyöräkuljetus ja rautatiekuljetus yhdistettynä**

Kuljetus, joka vaatisi rautatiekuljetuksen vain toisen maan raideleveyden rataverkolla, voitaisiin toteuttaa osin kumipyörillä. Vaihtoehdon mukainen yhdistetty kuljetus sopii tuotteille, jotka tarvitsevat kumipyöräkuljetusta osalla kuljetusketjua:

- raakapuukuljetus metsästä seuraavaan kuljetuspisteeseen
- kappaletavarakuljetus konteissa tuotantolaitoksen tai asiakkaan päässä

- muut kumipyöräjaeltavat kuljetukset, jossa määrä ja kuljetusmatka ovat kumipyöräkuljetukseen sopivia.

Tässä kuljetuskokonaisuusvaihtoehdossa kuormaaminen rautatiekuljetuksen vaatiman raidelevyden vaunuihin tapahtuisi Haaparannan liikennepaikalla. Raakapuukuljetusten osalta siirtokuormaus kumipyöriltä suomalaisiin vaunuihin voisi olla osa kuljetusreittiä, jossa kumipyöräkuljetuksen pituus Ruotsin puolella olisi keskimäärin 100 km (verraten Suomen vastaaviin keskikuljetusmatkoihin, hajonnan ollessa enintään 200 km). Tuotekuljetuksissa matka kumipyörillä tehtaalta siirtokuormaukseen tai siirtokuormauksesta vastaanottajalle voisi olla pidempikin, kuitenkin alle 500 km.

Kuljetuksen koostuessa siirtokuormattavasta kuljetuksesta tulisi rautatiekuljetuksen olla kumipyöräkuljetusta pidempi ja suurivolyyminen. Raakapuun osalta kuljetusmatka rautateitse tulisi olla vähintään 150 km, jotta kuljettaminen olisi autokuljetusta kannattavampaa. Haaparantaa lähinnä oleva raakapuuta hyödyntävä tehdas on Kemissä. Siirtokuormaus sinne suuntaavissa kuljetuksissa ei ole järkevää matkan ollessa vain noin 30 km.

Siirtokuormaus ei vaadi investointeja rautatiekalustoon operaattoreilta tai metsäteollisuusyhtiöiltä. Huomattava kuitenkin on, että kuljetusketjun toteuttaminen vaatii sekä kumipyörä- että rautatiekalustoa. Kuljetukset voidaan kuitenkin tehdä olemassa olevalla kalustolla ilman muutostöitä tai lisäinvestointeja. Kuljetusmäärän kasvaminen voisi sen sijaan lisätä kalustoinvestoinnin tarvetta luontaisesti, jolloin raidelevydellä tai sen muuttamisen tekniikalla ei ole vaikutusta.

Kyselyissä on noussut esiin, että nykyiset rautatieoperaattorit näkevät siirtokuormauksen toimivana ratkaisuna. Investointeja siirtokuormauskalustoon on tehty ja tilat ovat nykyisen volyymin mukaiseen kuljetustarpeeseen olemassa. Kumipyöräkuljetukset painottuvat lähes pelkästään Suomen alueelle. Myös tulevaisuuden näkymissä operaattorit näkevät mahdollisena siirtokuormauksen jatkumisen ja kapasiteetin kasvamisen.

Siirtokuormauksen vaatima aika ja työ per kuljetettu m<sup>3</sup> tai tonni on noin 5–15 €, mikä junaa kohti tarkoittaa noin 8 500–26 500 €. Lisäksi on huomioitava siirtokuormaukseen kuluva aika, joka on 3–6 tuntia / junarunko.

Investoinnit infraan ja kuormauskalustoon voivat mahdollistaa siirtokuormauskustannusten pienentymisen, mutta vastaavasti volyymien on kasvettava investointien mahdollistamiseksi.

### **3.3.2 Vaihtoehto 2: Siirtokuormaus rautatiekaluston välillä raja-asemalla**

Lastin siirtäminen rautatiekaluston välillä on yksi mahdollisuus toteuttaa rajan yli kulkevia kuljetuksia kahden eri raidelevyden alueella. Siirtokuormaus rautatievaunusta toiseen palvelisi tiettyjä kuljetustarpeita ja lastityyppejä. Yleisesti voisi todeta, että siirtokuormaus on käyttökelpoinen kuljetuksissa, joissa lastin siirtäminen on helppoa ja riskitöntä. Siirtokuormaus voisi tulla kyseeseen seuraavissa kuljetuksissa:

- **Konttien kuljetus:** helppo ja nopea siirtokuormattava yksikkö. Yhdestä neljään konttia per vaunu, tarkoittaen noin 25–100 konttia / juna. Siirtokuormauksen vaatima aika on nopeimmillaan noin minuutti konttia kohden. Kokonaisen junan siirtokuormausaika olisi täten tunnista kahteen. On kuitenkin syytä huomata, että konttia kohden vaadittu kuormausaika riippuu pitkälti kuormaustavasta ja olosuhteista. Konteissa voidaan kuljettaa monipuolisesti rahtia, lähes mitä tahansa konttiin sopivaa: nesteitä, vaarallisia aineita, bulkkia, kappaletavaraa, sellua ja puutavaraa. Jopa raaka-puun kuljettaminen olisi mahdollista vaihtokoripankkoratkaisuilla.
- **Raakapuun kuljettaminen:** tehokkaiden kurottajien tai kuormanostureiden käyttäminen mahdollistaisi raakapuujunan siirtokuormauksen. Siirtokuormaus tapahtuisi siirtämällä kokonainen raakapuunippu kerrallaan vaunusta toiseen. Automatisoiduilla nostureilla jopa useamman vaunu-kuorman nippujen nostaminen kerralla olisi mahdollista. Siirtokuormausaika on kurottajilla noin 5 minuuttia per vaunu ja nostureilla tehokkaimmillaan vain noin minuutti. Tehokkaimmillaan puut nostetaan kokonaisina nippuina ja nykyaikaisilla purkulaitteilla jopa koko vaunun puut voidaan nostaa kerralla. Kokonaisen 26-vaunuisen raakapuujunan siirtokuormausaika voisi olla tunnista kolmeen tuntiin. Raakapuun tapauksessa junan ensimmäisen ja viimeisen vaunun päätyniput tulee lisäksi sitoa, mikä voi nostaa kuormausaika.
- **Intermodaali- ja ajoneuvokuljetukset:** ajoneuvojen tai niiden perävaunujen kuljettaminen siirtokuormaamalla olisi myös mahdollista. Omin pyörin, omalla tai siirtokuormausvetovoimalla, siirtäminen on tehokas ja helppo tapa siirtokuormata kalustoa. Omalla vetovoimalla siirtyvän kaluston siirtokuormaus olisi mahdollista suoraan vaunustosta toiseen hyödyntäen kolmikiskoraidetta. Perävaunujen kuormaaminen on helpointa toteuttaa lastauslaiturin välityksellä rinnakkaisten vaunustojen välillä. Intermodaali- ja ajoneuvokuljetukset sopivat hyvin sotilaskuljetuksiin.
- **Matkustajaliikenne** päiväaikaan.

Siirtokuormaus ei vaadi investointeja rautatiekalustoon operaattoreilta tai rahdinantajilta. Huomattava kuitenkin on, että yhden kuljetusketjun toteuttaminen sitoo kahdennetut vaunut kuljetuksen toteuttamiseen. Vaunut voivat kuitenkin olla jo olemassa eikä niiden käyttäminen tähän kuljetuskokonaisuuteen vaadi muutostöitä tai lisäinvestointeja. Kuljetusmäärän kasvaminen ja siirtokuormaustavan tehostaminen voivat aiheuttaa investointitarvetta siirtokuormauskalustoon.

Siirtokuormaus olisi pienessä mittakaavassa mahdollista nykyiselläkin ratainfraalla. Kuljetusvolyymien kasvaminen voisi vaatia uuden siirtokuormausalueen rakentamisen tai olemassa olevien kuormauspaikkojen parantamisen.

#### **Siirtokuormauksen kustannukset:**

Kustannusarvio rataverkon haltijan osalta voisi olla 0,3–3 M€. Mahdollinen kuljetustarpeen kasvaminen voisi vaatia konttikentän rakentamista ja kuormausraiteiden parantamista. Näissä kuljetuksissa

kustannusvastuu voisi jakautua kuljetus- ja huolintaliikkeiden ja rataanfran haltijoiden välille. Väyläviraston osuus voisi olla 0,3–5 M€.

### 3.3.3 Vaihtoehto 3: Rautatiekuljetus telit tai pyöräkerrat vaihtamalla

Telinvaihto vaatii paljon kaluston vaihtotyötä, joka voitaisiin toteuttaa osin painovoimalla. Tämän selvityksen ohessa tehdyn kyselyselvityksen mukaan aiemmissa telejä vaihtavissa kuljetuksissa tarvittiin kaksi työntekijää vaihtamaan telejä. Lisäksi tarvittiin vaihtotyökuljettaja siirtämään vaunuja telivaihtoprosessin aikana. Asiantuntijan haastattelun mukaan telien ja pyöräkertojen vaihtaminen on nopea toimenpide erityisesti niissä vaunuissa, jotka on suunniteltu käytettäväksi raideleveyttä vaihtavissa kuljetuksissa. Vaihtaminen vaatii kaluston noston tunkkaamalla. Nostamiseen käytettäviä tunkkeja on kehitetty ja automatisoitu mahdollistamaan jopa useamman vaunun nostaminen samanaikaisesti. Torniossa otetaan uudelleen käyttöön tunkit, tällä kertaa RATEK:in toimittamana.

Mikäli lasketaan vaunun telien vaihtamiseen kuluvan kokemuksen mukainen 8–9 minuuttia ja kaksi vaunua kerralla, saadaan 25-vaunuisen junarungon telinvaihtoajaksi noin 2,5 tuntia. Telinvaihto on siten lähes poikkeuksetta nopeampi toimenpide kuin siirtokuormaus.

Telinvaihtohenkilöstö voisi työvuorossa vaihtaa yhden junaparin vaunustojen telit. Siten henkilöstökustannus olisi noin 600 € päivässä. Huomioiden muut telivaihtoon liittyvät kustannukset, kuten koneet, laitteet ja tilat, kokonaistuotantokustannukset olisivat noin 1 200–2 000 € päivässä. Joissain tilanteissa telinvaihdon kustannus voi olla lähellä siirtokuormauksen toteutuskustannusta. Rahdin kannalta siirtokuormaukseen sisältyy aina rahdin vahingoittumiseen liittyviä riskejä. Telinvaihdoilla rahtiin ei tarvitse koskea, joten se on kuljetettavalle tavaralle riskittävämpi vaihtoehto. Telinvaihto sopii lisäksi myös sellaiselle rahdille, jonka siirtokuormaus olisi hankalaa, riskialtista tai kallista.

Telivaihtovaunun, eli vaunun, joka liikkuu kahden maan alueella, tulee olla hyväksytty molemmille tai useille rataverkoille. Vaunut eivät vaadi merkittävästi muutostöitä voidakseen liikkua kahden tai useamman maan rataverkolla. Kuormauttumisessa tai muuten rataverkon vaatimuksissa on kuitenkin mittoja, jotka vaihtelevat maakohtaisesti. Puskinlaitteiden mitoituksessa voidaan ottaa käyttöön useat maat kattavia ratkaisuja. Maakohtaisia ratkaisuja voi olla myös vaunun korin varustelussa. Lähtökohtaisesti keski-eurooppalainen ja ruotsalainen kalusto voi mittojensa puolesta liikkua Suomen rataverkolla. Suomalainen kalusto, joka on rakennettu suomalaisen kuormauttuman mukaiseksi, on sen sijaan liian suuri liikennöimään Ruotsissa ja erityisesti Keski-Euroopassa. Poikkeuksiakin on, mm. tietty uusien VR-Yhtymän kalusto, joka on rakennettu useamman maan rataverkolle sopivaksi tai joka on hankittu ulkomaiselta toimittajalta standardisoituna (Finnowagon-vaunut [18]).

Pyöräkertojen ja telien vaihtaminen mahdollistaa rahdin kuljettamisen kahden raidelevyden rataverkolla vaunun lastia siirtokuormamatta. Pyöräkertojen tai telien vaihtaminen sopii erityisen hyvin sellaisille kuljetuksille, jotka ovat haastavia siirtokuormata. Kuljetettavat tuotteet voivat olla vaarallisia aineita, nesteitä tai erityisen raskaita. Myös bulkkituotteiden kuljetukset voitaisiin toteuttaa tällä menetelmällä.

Rautatieliikenteen harjoittajat ovat ilmoittaneet kyselyissä, etteivät ole kiinnostuneita telien ja pyöräkertojen vaihtamisesta rajan ylittävän tavaraliikenteen mahdollistamiseksi.

### **Telinvaihdon kustannukset:**

Mikäli on tarve kuljettaa lasti samalla vaunulla kahden eri raidelevyden rataverkolla, on pyöräkertojen ja telien vaihtaminen edullisin ratkaisu. Vaunuina voidaan tällöin käyttää tavanomaisia, toki tähän tarkoitukseen tyypitettyjä ja hyväksytyjä vaunuja, jolloin uusia vaunuinvestointeja ei välttämättä tarvita. Pyöräkertojen ja telien vaihtaminen vaatii investoinnin vaihtopyöräkertoihin ja teleihin. Pyöräkertojen hinnat ovat noin 6 000–10 000 €/kpl ja telien hinnat ovat 2 5000–45 000 €/kpl. Telejä ja pyöräkertoja ei tarvita yhtä paljon kuin kierrossa on vaunuja. Määrä tulee mitoittaa sen mukaan, paljonko vaunukierrossa on enimmillään vaunuja Suomen rataverkon puolella. Telit ja vaihtopyöräkerrat on aikaisempien liikennekeilujen aikana omistanut vaunut omistava tai liikennöivä yritys.

Telien ja pyöräkertojen vaihtoa varten tarvitaan halli. Pienessä mittakaavassa vaihdon tekeminen ulkona on myös mahdollista, mutta Haaparannan maantieteellinen sijainti ja arktiset sääolosuhteet puoltavat hallin tarvetta. Hallia ovat esittäneet myös kyselyyn vastanneet liikennöitsijöiden edustajat.

Telien ja pyöräkertojen vaihtamiseen tarvitaan työntekijöitä. Aiemmissä käyttötapauksissa Suomessa on tarvittu muutama työntekijä vaihtamaan yhden junan telit tai pyöräkerrat. Vaunujen tekninen rakenne on muutettu sellaiseksi, että telien ja pyöräkertojen vaihtaminen on vastaavaa tavanomaista telin ja pyöräkerran vaihtoa helpompaa ja nopeampaa. Tiettyjä pikalukituksia voidaan rakenteissa hyödyntää. Rataverkon haltijan vastuulla olisi, kuten tähänkin saakka, pyöräkertojen ja telien vaihtoraiteen rakenteet. Nostotunkit vaativat tasaisen nostoalustan. Mahdollista painovoimaista telivaihtoa varten raiteen pituuskaltevuutta tulisi muuttaa. Laitteiden tarvitsema sähkönsyötön järjestäminen voisi olla myös rataverkon haltijan vastuulla, kuten tällä hetkellä on. Vaihtohallin omistajana voisi olla liikennöivä yhtiö. Hallin kustannusarvio on noin 0,5 M€ - 3 M€ riippuen hallin varustuksesta ja koosta.

### 3.3.4 Vaihtoehto 4: Rautatiekuljetus raidelevyyttä vaihtavilla pyöräkerroilla varustetulla kalustolla

Työn yhteydessä laaditun kyselyn perusteella raidelevyyttä vaihtavien vaunujen tulisi kulkea raidelevyyden vaihtolaitteiston yli mahdollisimman usein, jotta laite- ja vaunuinvestoinnit olisivat taloudellisesti järkeviä. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia kalustokierroille. Eräiden arvioiden mukaan ylityksiä tulisi olla joko päivittäin tai joka toinen vuorokausi. Erään arvion mukaan ylityksiä tulisi olla vähintään kuukausittain. Ylitystarve tulisi määritettäväksi kuljetuslajikohtaisesti ja liiketoimintatapauksittain. Keskeistä on, että kalliille uusille kalustoinvestoinnille tulisi saada riittävä kate kuljetuksen joko nopeutuessa laitteiston myötä tai yleensäkin mahdollistuessa laitteisto- ja vaunuinvestoinnin myötä. Liikenn rakenne tulee suunnitella tehokkaaksi. Seisomaan kalliita erikoisvaunuja ei kannata hankkia. Verrattuna telien ja pyöräkertojen vaihtoon edellä kuvatussa vaihtoehdossa 3, telinvaihtokelpoisia vaunuja on suhteellisen edullista hankkia ja käyttää niitä normaalisti myös kansallisessa liikenteessä.

Raidelevyyden vaihtolaitteiston mahdollistamia kuljetustapauksia ovat erityisesti seuraavat:

- Matkustajaliikenteen toteuttaminen kahden raidelevyyden alueella. Erityisesti mahdolliset yöpikajunat, jolloin matkustajien ei tarvitse vaihtaa junaa keskellä yötä.
- Raskaat kokojunakuljetukset, jotka kuljettavat hankalasti siirtokuormattavaa tuotetta, kuten nesteitä, vaarallisia aineita ja bulkkia.
- Kuljetukset, jotka hyötyvät raidelevyyden vaihtolaitteiston mahdollistamasta kuljetusaikahyödystä.

Raidelevyyden vaihtolaitteiston käyttäminen on tässä esitellyistä ratkaisuvaihtoehdoista nopein kuljetusketjun toteutumisen kannalta. Raidelevyyden vaihtolaitteiston ylittämiseen kuluu aikaa vain 60 minuuttia per kokojuna. Aikatarpeeseen vaikuttavat ratafrankin ratkaisut raidelevyyden vaihtolaitteiston yhteydessä, joita tarvitaan veturin ympäriajoon ja vastaavasti uuden veturin kytkemiseen raidelevyyden vaihtolaitteen jälkeen. Toimintaa optimoimalla ylitysaika veturin vaihtamisineen voitaneen tehokkaimmillaan toteuttaa noin 30 minuutissa.

Raidelevyyttä vaihtavilla pyöräkerroilla on kaluston nopeutta rajoittava vaikutus. Tavaraliikenteessä tekniikan mahdollistama nopeus 120 km/h on käyttökelpoinen. Matkustajaliikenteessä sen sijaan nopeus riittää vain yöjunille ja lyhyen matkan taajamajunille. Vaunuihin lisättävä tekniikka vähentää myös vaunun hyötykuormaa. Verrattuna tavanomaisiin pyöräkerroin ja telein varustettuun vaunuun raidelevyyttä vaihtava vaunu on noin 1 800–2 700 kg painavampi. Kaksiakselisen vaunun taarapainon lisäys on 1 800 kg ja neliakselisen telivaunun 2 700 kg. Taarapainon kasvu on noin 10 % vaunun taarapainosta, joka siten menetetään vaunun kuormakyvystä.

**Kustannukset:**

Erään valmistajan tietojen perusteella muuttuvan raidelevyden vaunu olisi noin 30 % kalliimpi valmistaa ja 15–20 % kalliimpi ylläpitää kuin tavanomainen vaunu. Myös raidelevydenvaihtolaitteiden investointikustannukset ovat korkeat muihin ratkaisuihin verrattuna.

**3.3.5 Kuljetustapavaihtoehtojen kustannusvertailua**

Edellä esitettyihin neljään kuljetustapavaihtoehtoon liittyviä kustannuksia on seuraavassa tarkastelussa jaettu investointeihin ja operointikustannuksiin. Kustannusvertailua on tehty toimeksiannon laajuudessa. Niiden tarkkuus on suuntaa-antava ja vertailu sisältää vain keskeisimpiä investointeja ja operoinnin kustannuksia. Näitä vaihtoehtoja on jatkoselvitettävä tarkemmin, jos rajaliikennettä aiotaan toteuttaa näiden ratkaisujen mukaisina.

Investointeja on jaettu rataverkon haltijan sekä rautatieliikenteen harjoittajan tai logistiikkaoperaattorin kustannuksiin. Rataverkon haltijan kustannukset on tunnustettu sekä haastattelujen perusteella että tutustumalla aiempiin Suomessa toteutettuihin ratkaisuihin. Kustannukset voivat jakautua myös toisin, mikäli poliittinen päätöksenteko tai kaupallinen intressi niihin ohjaavat.

**3.3.5.1 Investoinnit**

Kaikissa ratkaisuvaihtoehdoissa on mukana infran kehittäminen siirtokuormausta tai raidelevyden vaihtamista varten – tavalla tai toisella. Nykyinen infra palvelee pienimuotoisesti kaikkia ratkaisuja, mutta haastattelujen ja kyselyjen perusteella toimijat näkevät niihin liittyen välittömiä kehitystarpeita liikennöinnin mahdollisessa laajentumisessa. Siirtokuormausta ei välttämättä tarvitse kalustoon liittyviä kustannuksia. Siirtokuormauslaitteet voivat olla myös toimijasta riippuen saatavilla vailla merkittäviä investointeja. Ratkaisuvaihtoehdoissa 1 ja 2 (siirtokuormaukset) voidaan hyödyntää kummankin raidelevyden olemassa olevaa vaunukalustoa ilman investointeja. Ratkaisuvaihtoehto 3 telien ja pyöräkertojen vaihtoon liittyen saattaa olla mahdollinen investoimalla ainoastaan Suomen raidelevyden 1524 mm vaihtoteleihin sekä telinvaihdon apulaitteistoihin kuten tunkkeihin. Olemassa olevia eurooppalaisen kuormautettavan vaunuja voidaan käyttää uusilla leveäraideteleillä.

Muuttuvan raidelevyden kaluston käyttö vaatii suurimmat investoinnit sekä infraan että kalustoon. Raidelevyden vaihtolaitteisto on osin valmiina ennestään, mutta sen käytettävyys on epävarmaa vioittuneiden mittalaitteiden ja ratalaitteen sopimuksellisen epäselvyyden takia. Tornioon asennetun laitteen omistaa edelleen DB, eikä sen omistajavaihdosta ole tehty. On varauduttava ratalaitteen täydelliseen uusintaan tai vanhan hallintaoikeuden muuttamiseen sopimuksella. Muuttuvan raidelevyden kalusto tarvitsee uusinvestoinnin sekä vaunun rungon että muuttuvan raidelevyden telien osalta. Kaluston hankintainvestointi on arvioitu olevan 30 % tavanomaista vastaavaa kalliimmaksi. Kunnossapidon kustannus on myös

arvioitu 15 % tavanomaista kalustoa suuremmaksi teknisten komponenttien määrän ja laadun vuoksi joutu-  
tuen.

### 3.3.5.2 Operointi

Operointikustannusten laskemiseksi on hahmoteltu kuvitteellinen ja pienimuotoinen liikenne. Liikenne toteutettaisiin kahdella 26 vaunun vaunustolla, jotka kulkisivat tehokkaasti rajan yli kerran vuorokaudessa. Toinen suunta kuljettaisiin kuormassa ja toinen tyhjänä. Siirtokuormauksen kustannukset on siten laskettu vain kerran, kuormasuuntaan kuljettaessa. Kuljetustapavaihtoehdossa 1, jossa toinen osa kuljetuksesta toteutettaisiin kumipyörillä, on laskennassa mukana vain yksi 26-vaunuinen juna. Ainoastaan rautatiekaluston kustannukset on sisällytetty laskentaan. Tässä tapauksessa ajatellaan, että kumipyöräkuljetuksen osuus on välttämätön osa kuljetusketjua, eikä sitä siten voida välttää. Siksi laskentaa on yksinkertaistettu jättämällä kumipyöräkuljetuksen kustannukset pois laskennasta. Vastaavasti kumipyöräkuljetus voi olla osa myös muita kuljetustapavaihtoehtoja ketjun alku- tai loppupäässä.

Operointikustannuksia tarkastelemalla muuttuvan raidelevyden kalusto on edullisinta käyttää suuremmasta kunnossapitokustannuksesta huolimatta. Siirtokuormauksen kustannus on kallein, jopa noin 3,5-kertainen muuttuvan raidelevyden kaluston operointiin verrattuna. Muuttuvan raidelevyden kaluston korkeammat investointikustannukset ovat tehokkaassa liikennöinnissä kuolettavissa alhaisempina operointikustannuksina. Laskennassa käytetyt vaunukaluston kunnossapitokustannukset ovat haastattelujen ja tiedonkeruun mukaan 30–50 €/pvä/vaunu. Telivaihtokaluston osalta kustannukset on laskettu 1,5-kertaisina. Muuttuvan raidelevyden kaluston kunnossapitokustannukset on kerrottu 1,15:llä.

Siirtokuormauksen, telivaihdon ja raidelevyden muuttamiseen käytettyä aikaa on arvioitu vaunusto-  
kohtaisella kustannuksella 1 000 €/tunti. Kustannus vastaa 1/26 osaa vaunuston vuorokautisesta tuotantoarvosta. Siirtokuormaukselle on löydettävissä lähteistä 5–15 € vaihteluväli per kuormattu kuutio tai tonni. Mahdollisuuksien mukaan tarkemmissa laskemissa tätä arviota tulisi tarkentaa suunniteltavan kuljetuksen perusteella. Kustannus voi poiketa jonkin verran siirtokuormattaessa helppoja rahtiyksiköitä kuten kontteja tai yksilökuormattavaa rahtia kuten raakapuuta. Siirtokuormauslaitteistoihin ja menetelmiin investoiminen voi pienentää kustannusta tonnia tai kuutiota kohden. Investoinnit tulee mitoittaa kuljetusvolyymien mukaan, jotta investointi on katettavissa kasvavalla tehokkuudella.

### 3.3.6 Eri kuljetustapavaihtoehtojen yhteenveto

Kustannusvertailu on esitetty alla (Taulukko 5). Taulukko on saatavissa täysikokoisena tämän dokumentin liitteessä 1.

## Taulukko 5. Kustannusvertailun tulokset

Esimerkissä on laskettu investoinnit 2*26 vaunua liikenteelle. Kerran vuorokaudessa rajan ylitys toiseen suuntaan kuormassa, toiseen tyhjänä. Odotusaika rajalla 1000euroa/tunti/junarunko.			Vaihtoehto 1: Kumipyöräkuljetus ja rautatiekuljetus yhdistettynä (vain yksi vaunusto)		Vaihtoehto 2: Siirtokuormausta rautatiekaluston välillä raja-asemalla		Vaihtoehto 3: Rautatiekuljetus telit tai pyöräkerrat vaihtamalla.		Vaihtoehto 4: Rautatiekuljetus raidelevyettä vaihtavilla pyöräkerroilla varustetulla kalustolla	
			min	max	min	max	min	max	min	max
Investoinnit	Infranhaltijan kustannukset	Kuormausalue	0,50 M€	3,00 M€	0,30 M€	5,00 M€	0,50 M€	3,00 M€	0,50 M€	3,00 M€
Investoinnit	Infranhaltijan kustannukset	Raidelevyeden vaihtolaitteisto	0	0	0	0	0	0	1,00 M€	2,00 M€
Investoinnit	Infranhaltijan kustannukset	Telinvaihtoalue + inframuutokset	0	0	0	0	0,30 M€	0,80 M€	0	0
Investoinnit	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Telivaihtohalli	0	0	0	0	0,50 M€	3,00 M€	0	0
Investoinnit	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Kalustoinvestointitarve	0	0	0	0	1,30 M€	4,68 M€	12,48 M€	20,80 M€
<b>Yhteensä</b>			<b>0,50 M€</b>	<b>3,00 M€</b>	<b>0,30 M€</b>	<b>5,00 M€</b>	<b>2,60 M€</b>	<b>11,48 M€</b>	<b>13,98 M€</b>	<b>25,80 M€</b>
Operointi	Rahdinantajan tai logistiikan kustannukset	Siirtokuormauskustannus	8,50 k€	26,50 k€	8,50 k€	26,50 k€	0	0	0	0
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Telivaihtotyö	0	0	0	0	1,20 k€	2,00 k€	0	0
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Aika raja-asemalla	3,00 k€	6,00 k€	3,00 k€	6,00 k€	2,50 k€	3,00 k€	0,50 k€	1,00 k€
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Vaunukaluston kunnossapito	0,78 k€	1,30 k€	1,56 k€	2,60 k€	2,34 k€	3,90 k€	1,79 k€	2,99 k€
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Alentuneen kuormapainon vaikutus	0	0	0	0	0	0	1 k€	1 k€
<b>Yhteensä vrk</b>			<b>12,28 k€</b>	<b>33,80 k€</b>	<b>13,06 k€</b>	<b>35,10 k€</b>	<b>6,00 k€</b>	<b>8,90 k€</b>	<b>3,29 k€</b>	<b>4,99 k€</b>
<b>Yhteensä vuosi</b>			<b>4,48 M€</b>	<b>12,34 M€</b>	<b>4,77 M€</b>	<b>12,81 M€</b>	<b>2,20 M€</b>	<b>3,25 M€</b>	<b>1,20 M€</b>	<b>1,82 M€</b>

Kustannusvertailun perusteella nähdään, että siirtokuormausta vaatii pienimmät investoinnit rataverkon haltijoilta ja muilta toimijoilta. Pienessä mittakaavassa nykyinen infra voi hyvin riittää ja investoinnit jäävät kunnossapitoon liittyviin ja pieniin parannuksiin. Siirtokuormaustallilla operoiminen on kuitenkin kalteinta. Pienimuotoisiin ja osin satunnaisiin kuljetustarpeisiin siirtokuormausta sopii parhaiten.

Kuljetusvolyymien kasvaessa tai kuljetettaessa sellaista rahtia, jossa siirtokuormausta on hankalaa, on telien ja pyöräkertojen vaihtaminen kustannustehokas vaihtoehto. Telien vaihtaminen on osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi myös teknisesti. Siinä ei ollut teknisiä haasteita aiemmin Suomessa käytettäessä. Mikäli kuljetuksiin toivotaan lisää tehokkuutta ja kalustokiertoa on tarve tehostaa, on muuttuvaraidelevyksen kalusto investoinnin arvoinen. Korkean investoinnin vastapainoksi tulee kuljetustarpeen olla jatkuvaa, tehokasta ja suurivolyymistä. Tässä selvityksessä laaditussa laskennassa ei ole huomioitu muuttuvaraidelevyksen kaluston kasvavan taarapainon vaikutusta kuormapainoa vähentäen. Tietyissä kuljetuksissa kuormapainon 10 % vähentymisellä on kuitenkin merkitystä.

## 4 Kalustoteknisten ja infralähtöisten raidelevyyden muutosratkaisujen vertailu

### 4.1 Johdanto

Tässä kappaleessa on vertailtu eurooppalaisen raidelevyyden ja kalustolähtöisten ratkaisujen vaikutuksia eri näkökulmista. Vertailtaessa kalustoteknisiä ja infralähtöisiä raidelevyyden muutosratkaisuja tulee huomioida ratkaisujen suuret erot liikennemäärien, kuljetuskohteiden sekä kustannuksien ja niiden jakautumisen osalta.

Infralähtöiset ratkaisut soveltuvat suurille liikennemäärille kertainvestoinnilla. Tämä lähestymistapa rajoittaa kuljetuskohteita ja saattaa vaatia siirtokuormauksen jatkokuljetuksia varten. Infran investointikustannukset ovat suuret infranhaltijalle. Ruotsalaisen vaunukaluston käyttö on mahdollista ilman muutoksia, sillä se täyttää T2-lämpötilaluokituksen vaatimukset. Liikenteenharjoittajille tulee mahdollisesti tarve investoida uuteen vetokalustoon kaksoisjännitejärjestelmän takia, jos vetokalustolla ajetaan rajan yli. Mikäli lopulta päädytään rakentamaan eurooppalaisen raidelevyyden ratoja Pohjois-Suomeen, kalustolähtöiset ratkaisut toimivat hyvin rakentamisen aikaisena siirtymävaiheen ratkaisuna. On kuitenkin syytä huomioida, että kaluston käyttöikä on usein pitkä ja siirtymävaiheen pituudella on suuri merkitys siihen, minkä tyyppiseen kalustoon, ja millaisiin kalustomääriin kannattaa investoida. Esimerkiksi veturin käyttöikä voi hyvinkin olla 50 vuotta, jolloin uuteen veturiin investoiminen 10-20 vuoden siirtymäratkaisuna ei ole kovin houkutteleva vaihtoehto.

Kalustolähtöiset ratkaisut tarjoavat joustavuutta pienille ja keskisuurille liikennemäärille ja ovat helposti skaalattavissa. Tämä lähestymistapa ei rajoita kuljetusten kohteita, sillä se mahdollistaa kuljetukset molemmilla raidelevyksillä. Kalustolähtöisten ratkaisujen vaatiman infran investointikustannukset ovat pienet infranhaltijalle. Liikennemääristä riippuen kuljetuksen harjoittajalle voi kuitenkin syntyä investointikustannuksia sekä infraan että kalustoon. Lisäksi operointikustannuksia lisäävät kaluston ja infran kunnossapitokustannukset sekä raidelevyyden vaihtojärjestelmän mukaan määräytyvät henkilöstökustannukset.

### 4.2 Vaikutukset ratakapasiteettiin

Nykyisellään liikenne Tornion ja Oulun välillä on vähäistä, joten raidekapasiteettia on käytettävissä lisääntyvälle liikennemäärälle. Uudet liikennepaikat, juuri käyttöön otetut Maksniemi ja Lähessuo, lisäävät

rataosan läpäisykykyä. Ne mahdollistavat kapasiteetin lisäämisen, mutta eivät kuitenkaan nykyisen liikenteen kaksinkertaistamista. Rinnakkaisraideosuuksien avulla suomalaisen raidelevyden raiteiden kapasiteettia voidaan periaatteessa kasvattaa, mutta limittäisraideratkaisut Oulun alueella, Ajoksessa ja Röyttäessä voivat aiheuttaa kapasiteettihaasteita. Rinnakkaisraideratkaisu lisää 1 435 mm ratakapasiteettia, kun taas limittäisraideratkaisussa samaa ratakapasiteettia käyttävät sekä 1 435 mm ja 1 524 mm raidelevyden liikenne. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli samalla linjaosuudella on sekä rinnakkais-, että limittäisraideosuuksia, ei osuuden kapasiteetti nouse merkittävästi. Vaikka rinnakkaisraideosuuksilla kapasiteetti teoriassa kasvaa, rajoittavat limittäisraideosuudet koko linjan kapasiteettia. Lisäksi limittäisraideratkaisussa risteämäkohdat vaativat nopeusrajoituksia, mikä vaikuttaa matka-aikoihin ja sitä kautta myös ratakapasiteettiin. Limittäisraiteen kunnossapito on yksittäisraidetta hankalampaa ja vaatii erikoiskalustoa. Tämä osaltaan heikentää limittäisraideosuuksien kapasiteettia.

Tämän projektin kysyntäselvityksessä nousi myös huoleksi raidekapasiteetin riittävyys Ruotsin puolella. Mikäli suunnitellut kuljetukset Haaparannan kautta toteutuisivat edes osittain, nousisi raidekapasiteetin riittävyys Ruotsin rataverkolla ongelmaksi. Kapasiteettia lienee kuitenkin käytettävissä kohtalaisellekin junamäärälle, mutta kapasiteetin saatavuuden vuorokautinen ajankohta ei ole ihanteellisin.

Kalustoteknisillä ratkaisulla on myös jonkin verran vaikutusta ratakapasiteettiin. Vaihduvan raidelevyden ratkaisut, kuten telivaihto ja muuttuvan raidelevyden vaunut vaativat ratapihakapasiteettia etenkin rajanylityspaikoilla. Matkustajaliikenteessä muuttuvaraidelevyksen kalusto voi vaatia muuta kalustoa alempia nopeusrajoituksia, mikä osaltaan alentaa kapasiteettia. On kuitenkin syytä huomioida, että kalustoteknisistä raidelevyden vaihtoratkaisuista telinvaihto mahdollistaa liikenteen rajan yli nykyiselläänkin.

### 4.3 Vaikutukset kalustoon

Infralähtöiset ratkaisut mahdollistavat eurooppalaisen vaunukaluston käytön Suomen rataverkolla ilman raidelevydenvaihtoratkaisuja. Toisaalta kaluston tulee täyttää T2-lämpötilaluokituksen vaatimukset. Pienemmän kuormauttuman vuoksi standardiraidelevyden kaluston tilavuuskapasiteetti on pienempi kuin kotimaisessa kalustossa. Sekä infralähtöiset, että kalustotekniset ratkaisut vaativat vetokalustoksi kalliin ja monimutkaisen kaksijännitekaluston.

Kalustolähtöiset ratkaisut vaativat erikoisvaunukalustoa, kun käytetään vaihtuvan raidelevyden telejä tai pyöräkertoja. Tämän takia pienet ja keskisuuret liikennemäärät ovat suotuisimmat siirtokuormaukselle tai telien vaihdolle, joissa varsinaista erityisvaunukalustoa ei vaadita.

## 4.4 Vaikutukset henkilöliikenteeseen

Sekä infra- että kalustolähtöiset ratkaisut luovat uusia mahdollisuuksia henkilöliikenteen kehittämiseksi Ruotsin suunnasta Suomen Lappiin, mistä ovat esimerkkinä suorat yöjunayhteydet. Vaihtuvan raidelevyyden kalustoratkaisuna tähän toimisi parhaiten vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerroilla varustettu kalusto. Niin kalusto- kuin infraratkaisun ongelmana ovat kuitenkin nopeusrajoitukset (kappale 4.2) sekä LKU eroista aiheutuvat yhteentoimivuusongelmat laiturialueilla.

## 4.5 Vaikutukset tavaraliikenteeseen

Infraratkaisujen tarjoama eurooppalainen raideleveys pienentäisi kynnystä käyttää rautatietä kulkumuotona Pohjois-Suomen ja Ruotsin välisissä kuljetuksissa todennäköisesti kalustoteknisiä ratkaisuja enemmän. Teollisuuden investoinnit, tuotannon supistuminen ja toimintaympäristön muutokset voivat kuitenkin vaikuttaa kuljetustarpeisiin nopeastikin. Tilanteessa, jossa kuljetustarpeet yllättäen kasvavat, on vaihtuva raidelevyyden kaluston käyttöönotto suhteellisen nopeaa, ja esimerkiksi siirtokuormattavan rahdin tapauksessa ei aiheudu kalustoinvestointeja.

Sekä infralähtöiset että kalustotekniset raidelevyyden muutosratkaisut edistävät huoltovarmuutta. Eurooppalaisen raidelevyyden radan rakentaminen tarjoaa Suomen puolelle paikoittain lisää ratakapasiteettia ja vaihtoehtoja kuljetustapoihin, kun taas kalustotekniset ratkaisut tarjoavat pienemmän ratakapasiteetin, mutta kohtuullisen edullisen sekä helposti skaalattavan ja siirrettävän ratkaisun.

## 4.6 Vaikutus operoitavuuteen

Kalustoteknisiä ratkaisuja käytettäessä viiveetön operointi vaatii rajaa ylitettäessä erikoiskaluston säädettävien pyöräkertoineen. Matkustajaliikenteessä tämä voi olla toteutettavissa, mutta kaluston suurten investointikustannuksien takia junan vaihtaminen asemalla on edullisin ratkaisu.

Tavaraliikenteessä tarvitaan usein kahden eri raidelevyyden vetokalusto. Viive rajan ylityksessä on noin 1 h vaihtuvan raidelevyyden järjestelmällä, ja noin 2,5 h telin vaihdolla (25 vaunua). Kalustoratkaisujen etuna on, että rajan ylityksen jälkeen junalla ei ole liikennöintirajoitteita, kun voidaan liikkua koko rataverkolla sallitun ulottuman puitteissa.

Infralähtöisillä ratkaisulla rajan ylitys on mahdollista erikoisvetokalustolla, joka on varustettu kaksoisjännitejärjestelmällä ja limittäisraideratkaisussa lisäksi erikoisvirroittimilla. Toinen vaihtoehto on käyttää dieselveturia tai vaihtaa vetokalusto rajalla. Eurooppalainen standardiraideleveys tarjoaa rajallisen määrän kuljetuskohteita Suomessa ja sen takia siirtokuormausta kumipyörille tai kotimaiseen kalustoon voi olla tarpeen kuljetuksen lopullisen määrän saavuttamiseen. On myös syytä huomata, että alle 200 km kuljetusmatkoilla siirtokuormausta on järkevintä kiskoilta kumipyörille. Useissa tapauksissa tämä tarkoittaa sitä, että kuljetusmuoto vaihtuu rajalla.

## 5 Yhteenveto

### 5.1 Siirtokuormausta

Siirtokuormausta on yleisimmin käytetty ratkaisu kahden eri raideleveyden välillä niin tavara- kuin matkustajaliikenteessä. Ratkaisuna se on helposti käytöön otettavissa sekä tarpeen mukaan skaalattavissa. Siirtokuormausta etuna on se, että tavaraa voidaan kuormata myös kumipyörille.

Liikkuvan kaluston kannalta siirtokuormausta on edullisin ratkaisu, sillä se ei edellytä kalustomuutoksia. Myöskään infralle siirtokuormausta ei aseta suuria vaatimuksia. Siirrettäessä tavaraa kiskoilta kiskoille, tarvitaan luonnollisesti kahden eri raideleveyden raiteet lähelle toisiaan.

Siirtokuormaustavasta riippuen kuormaukseen käytettävälle rata-alueelle voi tulla joitain vaatimuksia. Esimerkiksi pyöräkoneella tai kurottajalla purettaessa on ympäröivän alueen pohjarakenteen oltava riittävän tukeva, jotta työskentely on tehokasta ja turvallista. Trukilla purettaessa vaaditaan purkutaso, josta vaunuun päästään ajamaan sisään / ulos. Joissain tapauksissa siirtokuormaukseen käytetään myös nostureita. Siirtokuormausta tehokkuutta, turvallisuutta ja kapasiteettia voidaan nostaa siirtokuormaustermiinalin avulla, jolloin kuormausta tapahtuisi sisätiloissa. Tämä nostaa kuitenkin infran kustannuksia. Matkustajaliikenteessä vaatimuksena on turvallinen laiturialue, jonka kautta matkustajat pääsevät siirtymään junasta toiseen. Siirtokuormausta on siis myös infran kannalta ratkaisuna edullisin.

Siirtokuormausta ongelmana ovat siirtokuormaustekustannukset. Muihin vaihtoehtoihin verrattuna se on myös usein hidas. Nämä seikat nostavat siirtokuormausta operointikustannukset merkittävästi muita ratkaisuja korkeammaksi. Matkustajaliikenteessä se on kustannustehokkain ratkaisu raideleveyden vaihtoon.

## 5.2 Telinvaihto

Telinvaihto on toiseksi yleisin raidelevyyden vaihtoratkaisu niin matkustaja- kuin tavaraliikenteessä. Telinvaihto on siirtokuormausta nopeampi ja edullisempi ratkaisu. Sen etuna on, että se soveltuu hyvin lähes kaikkeen tavaraliikenteeseen ja on erityisen suotava ratkaisu VAK-kuljetuksiin.

Ratkaisuna telinvaihto on yksinkertainen ja suhteellisen helposti käyttöönotettavissa, mutta asettaa liikkuvalle kalustolle ja infralle siirtokuormausta enemmän vaatimuksia. Kaluston tulee olla helposti nostettavissa ja teli- ja jarrurakenteiden helposti irrotettavissa. Kaluston vaunujen välisten vetokytkimien tulisi myös olla helposti avattavaa mallia. Yksi merkittävimmistä telinvaihdon tuomista lisäkustannuksista on vaihtotelien hankinta-, huolto- ja säilytyskustannukset. Telinvaihdossa telejä vaaditaan enemmän vaunujen kohden: määrä tulee mitoittaa sen mukaan, paljonko vaunukierrossa on enimmillään vaunuja Suomen rataverkon puolella. Tästä huolimatta telinvaihto on varsin edullinen ja helposti skaalattava ratkaisu liikkuvan kaluston kannalta.

Telinvaihto asettaa infralle siirtokuormausta enemmän kustannuksia. Optimivaatimukset täyttävä telinvaihtohalli on kuitenkin varsin edullinen, etenkin raidelevyydenvaihtojärjestelmiin verrattuna. Telinvaihtohallissa säännöllisiä kustannuksia ovat mm. nostolaitteiden määräaikaistarkastukset ja huollot.

Kappaleessa 3.3.3 telinvaihdon henkilöstövaatimuksena on kolme (3) työntekijää. Ihanneolosuhteissa yhden junan (25 vaunua) telien vaihtoon menee noin 2–3 h. Henkilöstökustannukset siis nostavat hieman telinvaihtotyön kustannuksia.

Telinvaihto ei rajoita kaluston massaa. Saatavilla olevien tunkkien nostokapasiteetti on jopa 75 t (Autolift). Tämä tarkoittaa, että kierrossa olevien vaunujen massaa siis rajoittaa kaluston suurin sallittu akselipaino eikä tunkkien nostokapasiteetti. Telinvaihtoprosessissa rajoittavina tekijöinä ovat telinvaihtopaikan pituus ja tunkkien määrä. Esimerkiksi kuuden vaunun nostamiseen vaadittavan telinvaihtopaikan pituus on noin 130 m, jolloin tunkkeja vaaditaan 12 paria.

Vaikka telinvaihto on mahdollista myös veturille, on silti usein käytännöllisempää käyttää kahta eri veturia. Suomessa ja Ruotsissa käytettävät sähköistys-, viestintä- ja kulunvalvontajärjestelmät poikkeavat toisistaan, jolloin yhtä veturia käytettäessä tulisi veturi varustella kaksilla eri järjestelmillä. Lisäksi veturien telinvaihto on hankalampaa ja veturien vaihtotelit merkittävästi vaunujen telejä kalliimmat. Telinvaihto ei tyypillisesti rajoita kaluston suurinta sallittua nopeutta.

Telinvaihdon merkittävimpana rajoituksena on liikkuvan kaluston ulottuma, jonka tulee täyttää kummankin maan vaatimukset. Esimerkiksi matkustajaliikenteessä LKU:n erot voivat aiheuttaa yhteensopivuusongelmia laiturialueilla.

### 5.3 Vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerrat ja telit

Vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerrat ja telit ovat teknisesti kallein ratkaisu raidelevyyden vaihtamiseen. Ne asettavat merkittävästi telinvaihtoa enemmän vaatimuksia liikkuvalla kalustolle. Ratkaisu asettaa myös infralle vaatimuksia, joiden laajuus riippuu pitkälti raidelevyydenvaihtojärjestelmästä. Ratkaisun hintaa nostavat pääasiassa monimutkaiset tekniset ratkaisut sekä korkeat järjestelmän hankinta- ja huoltokustannukset.

Liikkuvan kaluston näkökulmasta vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerrat ja telit ovat teknisesti vaativin ratkaisu. Toisaalta niiden avulla raidelevyyden vaihto voidaan tehdä todella nopeasti, joillain järjestelmissä jopa minuutissa, useimmilla noin 20–30 minuutissa. Vaihtuvan raidelevyyden pyöräkertojen ja telien teknisesti rajoittavin tekijä on niiden kuormankantokyky, joka on tyypillisesti normaalia teliä pienempi. Tämän takia ratkaisu soveltuukin erityisen hyvin matkustajaliikenteeseen, jossa akselimassat ovat tavaraliikennettä pienemmät. Uudet, kehitteillä olevat järjestelmät tekevät vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerroista ja teleistä kuitenkin entistä houkuttelevamman ratkaisun myös raskaan tavaraliikenteen käyttöön. Vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerrat ja telit ovat hankintakustannuksiltaan merkittävästi siirtokuormausta ja telinvaihtoa kalliimmat. Telien hankintahinta on suurempi, niiden huolto on kalliimpaa (noin 20 %) ja niiden tuoma lisäpaino rajoittaa kaluston hyötykuormaa. Vaihtonopeudessa ne ovat kuitenkin ratkaisuista ylivoimaisiin.

Infran kannalta merkittävin vaatimus ja kustannuserä on raidelevyydenvaihtolaitteiston hankinta- ja ylläpitokustannus. Raidelevyyden vaihtolaitteistot ovat tyypillisesti teknisesti monimutkaisia ja vaativat oman ohjauskeskuksensa. Monet raidelevyyden vaihtolaitteet toimivat hyvin myös arktisissa olosuhteissa eikä katettu tilakaan ole niille välttämätön vaatimus. Esimerkiksi Rafilin laitteesta on jo kokemuksia Suomen oloissa ja sen talvikunnossapito voidaankin rinnastaa normaalin vaihteen talvikunnossapitoon. Vaihtolaitteen lisäksi tarvitaan riittävästi raidetilaa, jotta vaunut voidaan työntää / vetää raidelevyyden vaihtolaitteen yli. Luonnollisesti laitteet tarvitsevat säännöllisiä tarkastuksia ja huoltoja, mikä nostaa niiden käyttökustannuksia. Yksi suurimmista kustannuksista on kuitenkin raidelevyydenvaihtolaitteiston hankintakulu.

Tyypillisesti raidelevyyden vaihdon yhteydessä raidelevyyden vaihtumisen onnistuminen tarkistetaan visuaalisesti ihmisen toimesta. Tällöin raidelevyyden vaihtoon tarvitaan yksi henkilö per juna. Juna ylittää raidelevyyden vaihtolaitteen alle tunnissa. Tämä tekee vaihtuvan raidelevyyden pyöräkerroista ja teleistä varsin edullisen ratkaisun henkilöstökustannuksiltaan.

## 5.4 Kaikkien ratkaisujen vertailu

Kappaleessa 3.3.6 esitettyssä taulukossa (Taulukko 5) on yhdistetty kaikkien raidelevyden vaihtojärjestelmien kustannukset. Taulukossa on esitetty esimerkkitalanne, jossa on laskettu investoinnit 2\*26 vaunua käyttävälle liikenteelle. Kerran vuorokaudessa rajan ylitys toiseen suuntaan kuormassa, toiseen tyhjänä. Taulukko on esitetty myös liitteessä 1. Odotusaika rajalla 1 000 euroa/tunti/junarunko.

Taulukosta voidaan havaita, että pienimmät investointikustannukset ovat siirtokuormauksella, vaihtoehdossa 1, jossa on yhdistettynä kumipyörä- ja rautatiekuljetus. Kalleimmat investointikustannukset ovat taas vaihtoehdossa 4, jossa kuljetukset tehdään raidelevyettä vaihtavilla pyöräkerroilla varustetulla kalustolla. Telinvaihtoratkaisu putoaa näiden vaihtoehtojen väliin investointikustannusten osalta.

Operointikustannuksista puolestaan nähdään päinvastainen tilanne. Siirtokuormauksen jatkuvat kustannukset nostavat sen kalleimmaksi ratkaisuksi. Vaihtuvan raidelevyden teleillä varustettu kalusto on taas pitemmän päälle halvin ratkaisu. Operointikustannuksissa vaihtoehto 3 on noin 1,8 kertaa kalliimpi, kuin vaihtoehto 4, mutta sen investointikustannukset ovat pienemmät.

## 6 Johtopäätökset ja jatkoselvitystarpeet

Selvityksen lopputulemana voidaan sanoa kalustolähtöisten raidelevydenvaihtoratkaisujen olevan infralähtöisiä ratkaisuja edullisempia. Kalustolähtöisissä ratkaisuissa kustannukset jakautuvat niin operaattorien, kuin infran haltijan kesken. Kalustotekniset ratkaisut ovat suhteellisen nopeasti käyttöönotettavissa ja skaalattavissa. Lisäksi useimpiin kalustoteknisiin ratkaisuihin vaadittu infra on jo osittain olemassa. Kaikista tässä selvityksessä esitetyistä kalustoteknisistä ratkaisuista on myös aikaisempaa kokemusta Suomen olosuhteissa.

Kalustotekniset ratkaisut ovat lähtökohtaisesti tiettyyn käyttötarkoitukseen suunniteltua kalustoa. Eri kalustoratkaisujen kustannukset riippuvatkin pitkälti niiden käyttötarpeesta. Satunnaisessa liikenteessä siirtokuormaus on hyvä vaihtoehto vähäisten kalustoinvestointien ja vaatimuksien vuoksi.

Liikennemäärien kasvaessa telinvaihto on hyvä ratkaisu siirtokuormauksen ja vaihtuvaraidelevyksen kaluston rinnalla. Telinvaihdon henkilöstökustannukset ovat siirtokuormausta pienemmät.

Tiheässä säännöllisessä liikenteessä edullisin ratkaisu on vaihtuvaraidelevyksen kalusto. Kaluston korkea investointikustannus tasapainottuu matalilla käyttökustannuksilla. Ratkaisu sopii myös sekä tavara- että matkustajaliikenteeseen.

## 6.1 Jatkoselvitystarpeet

Jatkoselvitystarpeita aiheuttavat mm. kaluston saatavuus sekä ulottuma, vaihtoteliä ja säätyvien pyöräkertojen huoltomahdollisuudet, infran mahdollisuudet ja talviolosuhteiden vaikutus eri ratkaisujen käytettävyyteen.

Ulottuman kannalta lisäselvitystarve keskittyisi sellaisen kaluston saatavuuteen, jolla pystytään LKU:n sallissa operoimaan sekä Suomen että Ruotsin rataverkolla. Kalusto voisi olla manner-Euroopasta tuotua vaunukalustoa, jota voitaisiin telit vaihtamalla hyödyntää suomalaisessa liikenteessä. Esimerkiksi Y25-telillä varustetun kaluston raidelevyden vaihtaminen on tehtävissä suhteellisen yksinkertaisesti. Suomessa käytössä olevana esimerkkinä tällaisesta kalustosta ovat VR:n Finnowagon-vaunut [18], jotka ovat keskieuropalaisen ulottuman mukaisia.

Vaihtoteliä ja säätyvien pyöräkertojen kannalta olisi syytä selvittää nykyiset olemassa olevat huoltomahdollisuudet ja niiden skaalattavuus, mikäli jonkinlainen tiheämpi liikenne rajan yli aloitettaisiin. Infran kannalta jatkoselvitettävät asiat kohdistuvat raja-alueiden käytettävyyteen. Esimerkiksi mahdollisten hallien, huoltoapaikkojen, raiteiden ja nostokaluston käyttö- ja laajennusmahdollisuuksien kartoitus on tärkeä pohja eri kalustoteknisten ratkaisuiden kustannusten, kannattavuuden ja käytettävyyden arvioinnissa.

Uusia järjestelmiä käyttöönotettaessa tulee varmistua niiden toimivuudesta myös Suomen talviolosuhteissa. Etenkin vaihtuvan raidelevyden pyöräkertojen ja teliä kohdalla tämä korostuu ja usein testaaminen onkin ainoa keino saada luotettavaa tietoa järjestelmän toimivuudesta arktisissa olosuhteissa.

## Lähdeluettelo

Väylävirasto 2019. Tornio-Haaparanta-rautatieteyhteys täyttää sata vuotta.

Väylävirasto 15.3.2022. Tornio itänen – valtakunnan raja, ratasuunnitelma, Tornio.

UIC/OSJD Joint Working Group (JWG AGCS) 12.2017. Documentation of existing automatic gauge changeover systems. UIC B 190/RP 1

/UIC/OSJD Joint Working Group (JWG AGCS) 12.2017. Market study on the use of automatic gauge changeover systems in freight and passenger traffic. UIC B 190/RP 2

UIC/OSJD Joint Working Group (JWG AGCS) 12.2017. Cost-effectiveness of an automatic gauge changeover system with consideration of expected traffic flows. UIC B 190/RP 2

K. Takao & K. Uruga 2004. Development of the gauge change EMU train system in Japan. Viitattu 10.03.2025. [Development Of The Gauge Change Emu Train System In Japan](#)

Triarail 2023. Freight variable gauge. Viitattu 10.03.2025. [Tria](#)

Wikipedia 2025. Gauge Change Train. Viitattu 2.1.2025. [Gauge Change Train - Wikipedia](#)

A. Piqueras ja muut. Automatic gauge changing for freight. The OGI project. Viitattu 10.03.2025. [https://tecnica-vialibre.es/documentos/Articulos/360AV05\\_2.2.PiquerasSauraPa%C3%B1os.pdf](https://tecnica-vialibre.es/documentos/Articulos/360AV05_2.2.PiquerasSauraPa%C3%B1os.pdf)

Radsatzfabrik Ilsenburg 2005. Vorstellung des Spurwechselradsatzes „RAFIL/DBAG Typ V“ sowie der zugehörigen Systemkomponenten.

P. Nicolae ja muut 2015. New technologies of gauge variation for wheelset vehicles crossing. Viitattu 26.02.2025. <https://www.researchgate.net/publication/301215097>

M. Graff 2016. System SUW 2000 w komunikacji przestawczej 1 435/1 520 mm. Viitattu 26.02.2025. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-2390ba1d-7216-4f54-ae1b2e7450c2>

Suomen standardisoimisliitto SFS 2019: SFS-EN 17069-1:2019 Railway applications. Systems and procedures for change of track gauge. Part 1: Automatic Variable Gauge Systems. Viitattu 26.02.2025.

ITransporte 2016. Variable gauge systems: from project planning to execution and vice versa. Viitattu 26.02.2025. <https://www.revistaitransporte.com/variable-gauge-systems-from-project-planning-to-execution-and-vice-versa/>

ITransporte 2021. Changing gauge without missing a beat. Viitattu 26.02.2025. <https://www.revistaitransporte.com/changing-gauge-without-missing-a-beat/>

J. Huttunen 2018. Raakapuun kaukokuljetukset kemiallisen metsäteollisuuden

Tarpeisiin. Viitattu 20.03.2025. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158660/Kandidaatinty%C3%B6\\_Huttunen\\_Jesse.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158660/Kandidaatinty%C3%B6_Huttunen_Jesse.pdf?sequence=1)

Metsäteho 2024. Puunkorjuu ja kaukokuljetus 2023 julkaistu. Viitattu 20.03.2025. <https://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-2023-julkaistu/>

VR Transpoint 2016. Muunneltavat Finnowagon-vaunut tuovat joustavuutta rautatielogistiikkaan. Viitattu 01.04.2025. [Muunneltavat Finnowagon-vaunut tuovat joustavuutta rautatielogistiikkaan | Linked](#)

## **Liite 1: Kustannusvertailutaulukko**

### Liite 1 - Kustannusvertailutaulukko

Esimerkissä on laskettu investoinnit 2*26 vaunua liikenteelle. Kerran vuorokaudessa rajan ylitys toiseen suuntaan kuormassa, toiseen tyhjänä. Odotusaika rajalla 1000euroa/tunti/junarunko.			Vaihtoehto 1: Kumipyöräkuljetus ja rautatiekuljetus yhdistettynä (vain yksi vaunusto)		Vaihtoehto 2: Siirtokuormausrata rautatiekaluston välillä raja-asemalla		Vaihtoehto 3: Rautatiekuljetus telit tai pyöräkerrat vaihtamalla.		Vaihtoehto 4: Rautatiekuljetus raidelevyettä vaihtavilla pyöräkerroilla varustetulla kalustolla	
			min	max	min	max	min	max	min	max
Investoinnit	Infranhaltijan kustannukset	Kuormausalue	500 000,00 €	3 000 000,00 €	300 000,00 €	5 000 000,00 €	500 000,00 €	3 000 000,00 €	500 000,00 €	3 000 000,00 €
Investoinnit	Infranhaltijan kustannukset	Raidelevyeden vaihtolaitteisto	0	0	0	0	0	0	1 000 000,00 €	2 000 000,00 €
Investoinnit	Infranhaltijan kustannukset	Telinvaihtoalue + inframuutokset	0	0	0	0	300 000,00 €	800 000,00 €	0	0
Investoinnit	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Telivaihtohalli	0	0	0	0	500 000,00 €	3 000 000,00 €	0	0
Investoinnit	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Kalustoinvestointitarve	0	0	0	0	1 300 000,00 €	4 680 000,00 €	12 480 000,00 €	20 800 000,00 €
		<b>Yhteensä</b>	<b>500 000,00 €</b>	<b>3 000 000,00 €</b>	<b>300 000,00 €</b>	<b>5 000 000,00 €</b>	<b>2 600 000,00 €</b>	<b>11 480 000,00 €</b>	<b>13 980 000,00 €</b>	<b>25 800 000,00 €</b>
Operointi	Rahdinantajan tai logistiikan kustannukset	Siirtokuormauskustannus	8 500,00 €	26 500,00 €	8 500,00 €	26 500,00 €	0	0	0	0
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Telivaihtotyö	0	0	0	0	1 200,00 €	2 000,00 €	0	0
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Aika raja-asemalla	3 000,00 €	6 000,00 €	3 000,00 €	6 000,00 €	2 500,00 €	3 000,00 €	500,00 €	1 000,00 €
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Vaunukaluston kunnossapito	780,00 €	1 300,00 €	1 560,00 €	2 600,00 €	2 340,00 €	3 900,00 €	1 794,00 €	2 990,00 €
Operointi	Rautatieliikenteen harjoittajan kustannukset	Alentuneen kuormapainon vaikutus	0	0	0	0	0	0	1 000,00 €	1 000,00 €
		<b>Yhteensä vrk</b>	<b>12 280,00 €</b>	<b>33 800,00 €</b>	<b>13 060,00 €</b>	<b>35 100,00 €</b>	<b>6 040,00 €</b>	<b>8 900,00 €</b>	<b>3 294,00 €</b>	<b>4 990,00 €</b>
		<b>Yhteensä vuosi</b>	<b>4 482 200,00 €</b>	<b>12 337 000,00 €</b>	<b>4 766 900,00 €</b>	<b>12 811 500,00 €</b>	<b>2 204 600,00 €</b>	<b>3 248 500,00 €</b>	<b>1 202 310,00 €</b>	<b>1 821 350,00 €</b>





Väylävirasto  
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745  
ISBN 978-952-405-308-2  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)