

Sanna Sorvoja  
Markus Laine  
Heidi Sunnari  
Maija Musto

## ERTMS/ETCS-tason 2 kapasiteettihyödyt kaksiraiteisilla radoilla





Sanna Sorvoja, Markus Laine, Heidi Sunnari, Maija Musto

# ERTMS/ETCS-tason 2 kapasiteetti- hyödyt kaksiraiteisilla radoilla

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2018

*Kannen kuva: Outi Jokela, Ramboll Finland Oy*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-582-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Sanna Sorvoja, Markus Laine, Heidi Sunnari ja Maija Musto: ERTMS/ETCS-tason 2 kapasiteettiä hyödyttävät kaksiraiteisilla radoilla.** Liikennevirasto, Kunnossapito-osasto. Helsinki 2018. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2018. 48 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-582-2.

**Avainsanat:** rautatieliikenne, hallintajärjestelmät, Eurooppa, kapasiteetti, junat, kulunvalvonta

## Tiivistelmä

Tämän selvityksen tavoitteena on vertailla pistemäisen ja jatkuvatoimisen junien kulunvalvonnan tuottamia rautatieliikenteessä toteutuvia kapasiteettieroja sekä arvioida jatkuvatoimisen junien kulunvalvonnan tuoman lisäkapasiteetin kustannuksia. Eurooppalainen liikennepolitiikka ajaa yhtenäistä eurooppalaista rautatieliikennealuetta ja sen myötä käyttöönotettavaa eurooppalaista rautatieliikenteen hallintajärjestelmää (engl. European Rail Traffic Management System) ja sen eurooppalaista junien kulunvalvontajärjestelmää (engl. European Train Control System). Rataverkon haltijoiden valittavana on pistemäinen ERTMS/ETCS-taso 1 tai jatkuvatoimiset tasot 2 ja 3.

Selvityksen pääpaino on ERTMS/ETCS-tason 2 ratkaisulla saavutettavissa kapasiteettiä hyödyttävissä. Selvitys on koostettu hyödyntämällä koti- ja ulkomaisia kirjallisuuslähteitä sekä analysoimalla saavutettavia kapasiteettilisäyksiä erilaisilla junilla. Koska jatkuvatoimisen junien kulunvalvonnan, ERTMS/ETCS-tason 2, ratkaisujen tiedetään tuovan kapasiteettiä, arvioitiin tutkimuksessa niiden käytännöllistä toteutumista suomalaisessa raideliikenteessä kaksiraiteisella rataverkolla, joissa kapasiteettiä oletetaan suurimmiksi. Selvityksessä on hyödynnetty tanskalaisen Ramboll Denmark A/S -yhtiön pitkältä ajalta kertynyttä laaja-alaista osaamista ERTMS/ETCS-hankkeiden suunnittelusta.

Suurin ero ratakapasiteetin kannalta ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välillä aiheutuu pistemäisestä (taso 1) ja jatkuvatoimisesta (taso 2) kulunvalvonnasta. Merkittävimpiä tekijöitä kapasiteettierojen tarkastelussa ovat opastinvälit, junien jarrukäyrät, radio-suojastuskeskus ja järjestelmän vasteajat. Työssä tehtyjen laskelmien perusteella ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatavat kapasiteettiä hyödyttävät verrattuna tasoon 1 ovat sitä suurempia, mitä homogeenisempaa liikenne on ja mitä pidempiä opastinvälit ovat.

ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välisiä kapasiteettieroja tarkasteltiin käytännöllisemmällä tasolla kahden tapaustutkimuksen avulla. Työssä tarkemmin tutkittaviksi rataosiksi valittiin Riihimäki–Tampere ja Kerava–Lahti. Molemmilla rataosilla kapasiteetin käyttöaste on pienempi ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1. Suurimmaksi osaksi erot ovat kuitenkin varsin pieniä, sillä rataosilla kulkevilla junilla on hyvin isoja nopeuseroja, mikä nousee määrittäväksi tekijäksi kapasiteetin käyttöasteen laskennassa, eikä ERTMS/ETCS-tason valinta vaikuta tähän.

ERTMS/ETCS-tason 2 ratkaisujen teknistaloudellinen kannattavuus ratkeaa lopullisesti 2020-luvulla, kun tiedetään, tarvitaanko datatiedonsiirtoon yhteentoimiva erillinen rautatiedataradioverkko, vai voidaanko hyödyntää verkkovierailuja kaupallisissa 5G-verkoissa. ERTMS/ETCS-tason 2 ratkaisujen kustannuksiin liittyvät epävarmuudet ovat muun muassa verkkoratkaisuista johtuen tällä hetkellä suuria. ERTMS/ETCS-järjestelmien kustannuksista tehdyissä selvityksissä tason 2 kustannukset on arvioitu noin neljä kertaa suuremmiksi kuin tason 1.

**Sanna Sorvoja, Markus Laine, Heidi Sunnari och Maija Musto: Kapacitetsfördelar med ERTMS/ETCS-nivå 2 på dubbelspåriga banor.** Trafikverket, drift och underhåll. Helsingfors 2018. Trafikverkets undersökningar och utredningar 41/2018. 48 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-582-2.

## Sammanfattning

Syftet med denna utredning är att jämföra kapacitetsskillnader i järnvägstrafiken mellan tågövervakning av punktkaraktär och kontinuerlig tågövervakning samt att uppskatta kostnaderna för den extra kapacitet som kontinuerlig tågövervakning medför. Den europeiska trafikpolitiken eftersträvar ett enhetligt europeiskt järnvägsområde och ett europeiskt trafikstyrningssystem (på engelska European Rail Traffic Management System) som därigenom ska införas samt dess europeiska tågövervakningssystem (ETCS, på engelska European Train Control System). Bannätsförvaltarna kan välja mellan övervakning av punktkaraktär, ERTMS/ETCS-nivå 1, eller kontinuerlig övervakning, nivå 2 eller 3.

Fokus i utredningen ligger på de kapacitetsfördelar som kan uppnås med lösningar på ERTMS/ETCS-nivå 2. Utredningen har sammanställts med hjälp av inhemska och utländska litteraturkällor och genom en analys av de kapacitetsökningar som kan uppnås med olika tåg. Eftersom man vet att lösningar med kontinuerlig tågövervakning på ERTMS/ETCS-nivå 2 medför kapacitetsfördelar, bedömde man i undersökningen hur de i praktiken kunde uppnås i den finländska spårtrafiken i det dubbelspåriga bannätet, där kapacitetsfördelarna antas vara störst. I utredningen utnyttjades de omfattande kunskaper om planering av ERTMS/ETCS-projekt, som det danska bolaget Ramboll Denmark A/S under en lång tid har skaffat sig.

Med tanke på bankapacitet orsakas den största skillnaden mellan ERTMS/ETCS-nivå 1 och nivå 2 av tågövervakning av punktkaraktär (nivå 1) och kontinuerlig tågövervakning (nivå 2). De viktigaste faktorerna vid granskningen av kapacitetsskillnader är signalavstånd, tågens bromskurvor, radioblockcentral och systemets responstider. Enligt beräkningarna i denna utredning är kapacitetsfördelarna på ERTMS/ETCS-nivå 2 jämfört med nivå 1 desto större ju mer homogen trafiken är och ju längre signalavstånden är.

På en mer praktisk nivå granskades kapacitetsskillnaderna mellan ERTMS/ETCS-nivå 1 och nivå 2 med hjälp av två fallstudier. För denna utredning valdes banavsnitten Riihimäki–Tammerfors och Kervo–Lahtis för en noggrannare granskning. På båda banavsnitten är kapacitetsutnyttjandet lägre på ERTMS/ETCS-nivå 2 än på nivå 1. Till största delen är skillnaderna emellertid rätt små eftersom hastighetsskillnaderna mellan tågen på banavsnitten är mycket stora, vilket blir en avgörande faktor vid beräkningen av kapacitetsutnyttjandet och detta påverkas inte av valet av ERTMS/ETCS-nivå.

Den teknisk-ekonomiska lönsamheten hos lösningarna på ERTMS/ETCS-nivå 2 avgörs slutgiltigt på 2020-talet då vi vet om det behövs ett separat radionät för järnvägsdata, som är kompatibelt med datainformationsöverföring, eller om man kan utnyttja roaming i kommersiella 5G-nät. Bland annat på grund av nätlösningarna råder det för tillfället stor osäkerhet kring kostnaderna för lösningarna på ERTMS/ETCS-nivå 2. I utredningar om kostnaderna för ERTMS/ETCS-system har kostnaderna för nivå 2 uppskattats vara cirka fyra gånger större än för nivå 1.

**Sanna Sorvoja, Markus Laine, Heidi Sunnari and Maija Musto: Capacity benefits of ERTMS/ETCS Level 2 on double-track lines.** Finnish Transport Agency, Maintenance Department. Helsinki 2018. Research reports of the Finnish Transport Agency 41/2018. 48 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-582-2.

## Abstract

This study seeks to compare the capacity differences of intermittent and continuous train control as well as to estimate the costs of the additional capacity yielded by continuous train control. European transport policy pursues a single European rail area, with the introduction of the European Rail Traffic Management System and its European Train Control System. Infrastructure managers can choose between intermittent ERTMS/ETCS Level 1 or continuous Levels 2 and 3.

The main focus of the study is on the capacity benefits achieved with ERTMS/ETCS Level 2 solutions. The study has been compiled using Finnish and foreign literature and by analysing the capacity increases achieved with different trains. As ERTMS/ETCS Level 2 continuous train control solutions are known to yield capacity benefits, the study evaluated their practical implementation in Finnish rail traffic on double-track lines, on which it is assumed that the capacity benefits would be the greatest. The study drew on the extensive and long experience of the Danish company Ramboll Denmark A/S on the design of ERTMS/ETCS projects.

The greatest rail capacity difference between ERTMS/ETCS Levels 1 and 2 is caused by discrete (Level 1) and continuous (Level 2) train control. Other significant factors in the assessment of capacity differences are signal intervals, train braking curves, radio block centre and system response times. On the basis of the calculations in the study, the capacity benefits from ERTMS/ETCS Level 2 compared to Level 1 increase when the signal intervals are longer and the traffic is more homogenous.

Capacity differences between ERTMS/ETCS Levels 1 and 2 were examined with two case studies. The Riihimäki–Tampere and Kerava–Lahti sections were selected for closer examination. On both of these rail sections, the capacity usage rate is lower at ERTMS/ETCS Level 2 than at Level 1. For the most part, however, the differences are quite small, as there are very large differences in the speeds of trains on these sections, which becomes the defining factor in capacity usage rate calculations, and the choice of ERTMS/ETCS level has no impact on this.

The technoeconomic feasibility of ERTMS/ETCS Level 2 solutions will be conclusively determined in the 2020s, when it is known whether a separate railway data radio network will be required for data transmission or whether roaming on commercial 5G networks can be used. The costs of ERTMS/ETCS Level 2 solutions currently involve major uncertainties due to factors such as network solutions. According to assessments of the costs of ERTMS/ETCS systems, Level 2 costs are estimated to be about four times higher than Level 1 costs.

## Esipuhe

Liikennevirasto tilasi tämän tutkimuksen Ramboll Finland Oy:ltä, jotta voitaisiin tuoreella selvityksellä arvioida jatkuvatoimisen junien kulunvalvonnan ERTMS/ETCS-tason 2 kaksiraiteisella rataverkolla mahdollistamien kapasiteettilisäysten yhteiskuntataloudellista hyötyä ja hintaa eli onko sillä aikaansaatu kapasiteettilisäys kilpailukykyistä hinnaltaan verrattuna lisäraiderakentamiseen tms. raskaampaan kapasiteetin luomiseen.

Tutkimuksen tekemiseen osallistuivat Ramboll Finland Oy:stä Maija Musto ja Markus Laine sekä tanskalaisesta Ramboll Denmark A/S -yhtiöstä Sanna Sorvoja, Alex Landex ja Lars Wittrup Jensen. Ramboll hyödynsi alihankintana lisäksi Proxion Plan Oy:n Heidi Sunnarin panosta.

Liikennevirastosta tämän tutkimuksen tilaajan edustajana toimi radan parantaminen -yksiköstä Aki Härkönen ja lisäksi tutkimuksen ohjausryhmään osallistui rataverkon käyttö -yksiköstä Maija Märkälä. Ennen tulosten julkaisemista pidettiin tulosten esittelytilaisuus sidosryhmille.

Helsingissä kesäkuussa 2018

Liikennevirasto  
Kunnossapito-osasto



# Sisällysluettelo

MÄÄRITELMÄT.....	10
1 JOHDANTO.....	11
2 ERTMS – EUROOPPALAINEN RAUTATIELIIKENTEEN HALLINTAJÄRJESTELMÄ.....	12
2.1 ERTMS Suomessa.....	12
2.2 ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 väliset eroavaisuudet.....	14
3 RATAKAPASITEETTIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ ERTMS/ETCS-TASOILLA 1 JA 2.....	16
3.1 Ratakapasiteetin määritelmä.....	16
3.2 Opastinvälit.....	16
3.3 Junien jarrukäyrät.....	18
3.4 Radiosuojastuskeskus (RBC).....	19
3.5 Järjestelmän vasteajat.....	19
4 KIRJALLISUUSKATSAUS.....	21
5 TEOREETTISET LASKELMAT.....	25
5.1 Menetelmä.....	25
5.2 Tulokset.....	25
6 TAPAUSTUTKIMUKSET.....	31
6.1 Menetelmä.....	31
6.2 Kerava–Lahti.....	32
6.2.1 Lähtötiedot.....	32
6.2.2 Tulokset.....	33
6.3 Riihimäki–Tampere.....	35
6.3.1 Lähtötiedot.....	35
6.3.2 Tulokset.....	36
7 ERTMS-JÄRJESTELMÄN RAKENTAMISKUSTANNUKSIA.....	40
8 MAHDOLLISUUDET JUNAMÄÄRÄN LISÄÄMISEEN ERTMS/ETCS-TASON 2 JÄRJESTELMÄLLÄ.....	44
9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	46
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	47

## KUVALUETTELO

Kuva 1.	Käyttöönottosuunnitelma Suomessa. ....	13
Kuva 2.	Havainnekuva ERTMS/ETCS-tason 1 toimintaperiaatteesta. ....	14
Kuva 3.	Havainnekuva ERTMS/ETCS-tason 2 toimintaperiaatteesta. ....	15
Kuva 4.	Opastinvälin ja jarrutusmatkan yhteys ERTMS/ETCS-tasolla 1. ....	16
Kuva 5.	Opastinvälin ja jarrutusmatkan yhteys ERTMS/ETCS-tasolla 2. ....	17
Kuva 6.	Minimijunaväli jatkuvassa ja pistemäisessä kulunvalvonnassa. ....	17
Kuva 7.	EBD-jarrukäyrä ja siihen liittyvät valvontapisteet. ....	18
Kuva 8.	ETCS-jarrukäyrät ja niiden toimintaero tasoilla 1 ja 2. ....	18
Kuva 9.	ERTMS/ETCS eri toteutustapojen vaikutus linjakapasiteettiin (UIC 2008). ....	22
Kuva 10.	Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 1600 metriä eri nopeusrajoituksilla (vain IC-junat mukana laskemissa). ....	26
Kuva 11.	Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 1600 metriä eri nopeusrajoituksilla (IC- ja tavarajunat mukana laskemissa). ....	26
Kuva 12.	Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 500 metriä eri nopeusrajoituksilla (vain IC-junat mukana laskemissa). ....	27
Kuva 13.	Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 500 metriä eri nopeusrajoituksilla (IC- ja tavarajunat mukana laskemissa). ....	27
Kuva 14.	Maksimikapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 opastinvälipituuden funktiona eri nopeusrajoituksilla (vain IC-junat mukana laskemissa). ....	28
Kuva 15.	Maksimikapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 opastinvälipituuden funktiona eri nopeusrajoituksilla (IC- ja tavarajunat mukana laskemissa). ....	28
Kuva 16.	Junavälin määrittäminen ja kulkutien varausaika (Pachl 2008). ....	31
Kuva 17.	Opastinvälien sijainti ja pituus Kerava–Lahti-välillä molempiin suuntiin. ....	33
Kuva 18.	Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä rataosalla Kerava–Lahti ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä. ....	34
Kuva 19.	Opastinvälien sijainti ja pituus Riihimäki–Tampere-välillä molempiin suuntiin. ....	35

Kuva 20.	Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä rataosalla Riihimäki– Tampere ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä.....	38
Kuva 21.	Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä rataosalla Tampere– Riihimäki ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä.....	38
Kuva 22.	Mahdollisuus junamäärän kasvattamiseen minimijunaväliä pienentämällä heterogeenisessä liikenteessä.....	44
Kuva 23.	Mahdollisuus junamäärän kasvattamiseen minimijunaväliä pienentämällä homogeenisessä liikenteessä. ....	45

## Määritelmät

**ATP-VR/RHK (engl. Automatic Train Protection):** Nykyisen käytössä olevan junien kulunvalvontajärjestelmän (JKV) tuote- ja laitetoimittajariippumaton nimi.

**DMI (engl. Driver Machine Interface):** Kuljettajapaneeli

**ERA (engl. European Union Agency for Railways):** Euroopan unionin rautatievirasto. Aiemmin Euroopan rautatievirastona tunnettu virasto perustettiin vuonna 2004. Sen tavoitteena on laatia yhteentoimivuuden tekniset eritelmit, mukaan lukien ERTMS, ja edistää yhtenäisen ja rajattoman eurooppalaisen rautatiealueen tehokasta toimintaa. Euroopan unionin rautatieviraston päätehtävänä on yhteentoimivuuden teknisten eritelmien yhdenmukaistaminen, rekisteröinti ja valvonta koko Euroopan rautatieverkon osalta ja yhteisten turvallisuusvaatimusten määrittäminen Euroopan rautateille. Euroopan unionin rautatievirastolla itsellään ei ole päätösvaltaa, mutta se auttaa komissiota laatimaan päätösehdotuksia.

**ERTMS (engl. European Rail Traffic Management System):** Eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä. Merkittävä eurooppalainen teollisuushanke, jonka tavoitteena on korvata erilaiset kansalliset junien ohjaus- ja hallintajärjestelmät yhteisellä järjestelmällä. Järjestelmässä on kaksi perusosaa: ETCS ja GSM-R.

**ETCS (engl. European Train Control System):** Eurooppalainen junien kulunvalvontajärjestelmä, jolla korvataan nykyiset kansalliset ATP-järjestelmät.

**EVC (engl. European Vital Computer):** Keskusyksikkö

**GSM-R (engl. Global System for Mobile Communications – Railway):** GSM-rautatieradio, tavanomaiseen GSM-teknologiaan perustuva mutta raideliikenteen käyttöön varattuja taajuuksia (GSM-R) käyttävä radiojärjestelmä, jonka avulla saadaan ääni- ja tiedonsiirtoyhteys veturin ja radanvarren välille.

**JKV (Junien kulunvalvonta):** Junien kulunvalvonta varmistaa nopeusrajoitusten ja opastimien noudattamisen rautatieliikenteessä. Mikäli junankuljettaja ei reagoi ajoissa esimerkiksi nopeusrajoitukseen tai pysähtymiskomentoon, tekee junankulunvalvontajärjestelmä sen automaattisesti. Järjestelmä koostuu veturi- ja radanvarsilaitteista.

**LEU (engl. Lineside Electronic Unit):** Koodain

**OHM YTE:** Ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmää koskeva yhteentoimivuuden tekninen eritelmä

**RBC (engl. Radio Block Centre):** Radiosuojastuskeskus on osa ERTMS/ETCS-tasojen 2 ja 3 järjestelmää. Sen tehtävänä on välittää ajolupa asetinlaitteelta radiosuojastuskeskuksen alueella liikkuvaan junaan.

**STM (engl. Specific Transmission Module):** Sovitustiedonsiirtomoduuli on veturilaitte, jonka avulla yhteensovitetään nykyinen junankulunvalvontajärjestelmä ja ERTMS.

# 1 Johdanto

Nykyisin Suomessa käytössä oleva junien kulunvalvontajärjestelmä (JKV) tullaan tulevaisuudessa korvaamaan eurooppalaisella rautatieliikenteen hallintajärjestelmällä (ERTMS). ERTMS:n tavoitteena on poistaa kansalliset toisilleen yhteensopimattomat junien kulunvalvontajärjestelmät, ja tämän myötä muun muassa edistää valtakunnanrajat ylittävää rautatieliikennettä. ERTMS-järjestelmä voidaan toteuttaa kolmella eri tasolla. Tässä työssä on keskitytty tarkastelemaan tasoja 1 ja 2.

Euroopassa useissa maissa on jo toteutettu ERTMS-tekniikalla varustettuja rataosia, ja monissa maissa ollaan pitkällä ERTMS-järjestelmän täytäntöönpanon suunnittelussa. Suomessa rataverkon varustelu on lähtökohtaisesti tarkoituksena toteuttaa ERTMS/ETCS-tasolla 1, joka on hyvin samankaltainen nykyisen JKV-järjestelmän kanssa. Muissa pohjoismaissa ollaan päätetty investoida pääasiassa ERTMS/ETCS-tasoon 2. Muun muassa rautateiden niukasta rahoituksesta ja sitä myötä kustannustehokkuudesta johtuen on Suomessa ajateltu ERTMS/ETCS-tason 1 ratkaisujen olevan riittäviä. ERTMS/ETCS-taso 2 edellyttää radiosuojastuskeskukseen investoimista, joka taas vaatii myös asetinlaitteiden uusimisen, sillä nykyisiin asetinlaitteisiin ei ole kustannustehokasta rakentaa rajapintoja radiosuojastuskeskukselle. Radiosuojastuskeskuksen ja veturin väliseen tiedonsiirtoon käytetään GSM-R-verkkoa, jota ollaan juuri purkamassa Suomessa. Tämän vuoksi Suomessa ERTMS/ETCS-tason 2 verkko-ratkaisuihin liittyy paljon sekä tekniikkaan että kustannuksiin liittyvää epävarmuutta.

ERTMS/ETCS-tasolla 2 on saavutettavissa tiettyjä liikennöintiin liittyviä hyötyjä verrattuna tasoon 1. Merkittävimmät hyödyt liittyvät parempaan ratakapasiteettiin tasolla 2 verrattuna tasoon 1. ERTMS/ETCS-tason 1 on yleisesti todettu heikentävän jonkin verran ratakapasiteettia verrattuna aiempiin kansallisiin junien kulunvalvontajärjestelmiin liittyen, kun taas ERTMS/ETCS-tason 2 odotetaan parantavan ratakapasiteettia jatkuvatoimisen kulunvalvonnan ansiosta. Kaukoliikenteen matkustajamäärien on ennustettu kasvavan noin 3 miljoonalla vuodesta 2010 vuoteen 2035 ja henkilökilometrien noin 0,7 miljardilla (Liikennevirasto 2011). Kasvuennuste on vielä tätä suurempi, mikäli jo päätettyjen ratakankkeiden lisäksi toteutetaan myös muita ratakankkeita. Kasvun on ennustettu tapahtuvan suurelta osaltaan Helsingin ja Pietarin sekä Helsingin ja Tampereen välillä. Siten tarve lisäkapasiteetille on olemassa etenkin näillä rataosuuksilla.

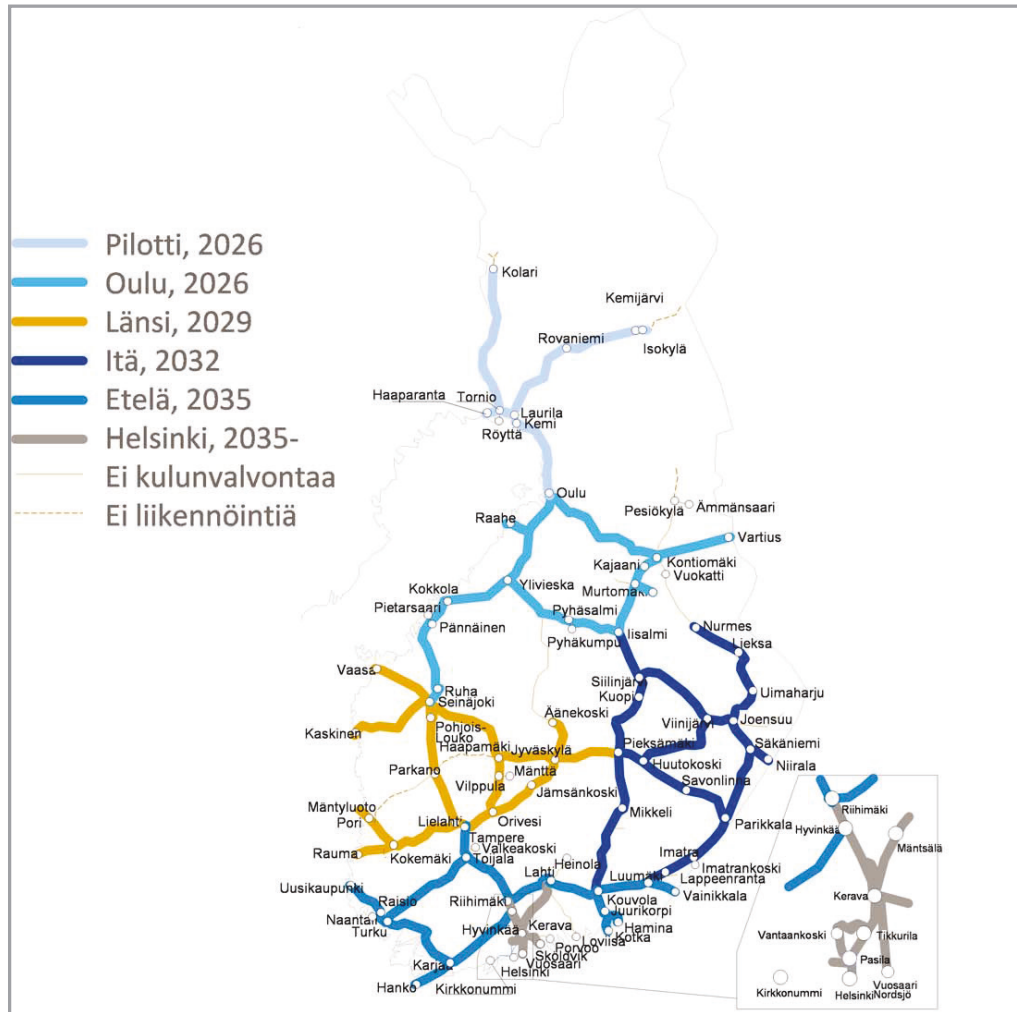
Tämän työn tavoitteena on ollut tutkia, millaisia eroja ERTMS/ETCS-tasoilla 1 ja 2 on ratakapasiteetissa muun muassa erilaisilla nopeusrajoituksilla ja opastinväleillä. Työssä on kuvattu tärkeimmät tekijät, jotka aiheuttavat eroja ratakapasiteetissa ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välillä. Varsinainen analyysivaihe on jaettu teoreettisiin laskelmiin, joilla on selvitetty yleisellä tasolla ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 vaikutuksia ratakapasiteettiin, ja tapaustutkimuksiin. Tapaustutkimuksissa on tarkasteltu ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 eroja ratakapasiteetissa Riihimäki–Tampere ja Kerava–Lahti-rataosilla.

## 2 ERTMS – Eurooppalainen rautatie- liikenteen hallintajärjestelmä

### 2.1 ERTMS Suomessa

Ensimmäinen virallinen suomalainen ERTMS/ETCS-käyttöönottosuunnitelma laadittiin Euroopan komissiolle vuonna 2006. Käyttöönottostrategiana oli aloittaa veturilaittevarustelusta ja aloittaa ratalaitemuutokset myöhemmin, kun riittävä määrä liikkuva kalustoa on ETCS-yhteensopivia. Käyttöönottosuunnitelmassa esitettiin GSM-R-verkon toteutusta liikkuvaan kalustoon vuosien 2008–2012 aikana, STM:n kehitystyötä ja käyttöönottoa 2013 sekä ensimmäisiä ETCS-ratavarusteluja toteutettavaksi vuosina 2019–2025.

Suomen ERTMS/ETCS-täytäntöönpanosuunnitelma uusittiin vuonna 2017 ja lähetettiin Euroopan komissioon (Liikennevirasto 2017). Täytäntöönpanosuunnitelman mukaisesti rataverkon ratalaittevarustelu ETCS-järjestelmällä on tarkoitus aloittaa pilotoinnilla vuosina 2020–2023, jonka jälkeen rataverkko on tarkoitus muuttaa ETCS-varustelluksi yhteensä kuudessa vaiheessa vuosina 2024–2038 (kuva 1). Liikkuvan kaluston muutoksista on myös esitetty alustava toteutusaikataulu vuosille 2025–2037. Toteuttamissuunnitelmassa esitetylle aikataululle tai rahoitukselle ei ole sitovia päätöksiä. Ratalaiteinvestointien päätösten lykkääminen lykkää myös veturilaitteinvestointien toteutusta. Käyttöönottostrategian mukaisesti ETCS-varustelu on tarkoitus aloittaa hiljaisemmilta rataosilta ERTMS/ETCS-tason 1 järjestelmällä sekä selvittää tason 2 mahdollisesti tuomia hyötyjä ennen kuin vilkasliikenteisten rataosien varustaminen alkaa 2030-luvulla.



Kuva 1. Käyttöönottosuunnitelma Suomessa.

Liikenteen turvallisuusviraston ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmää koskeva määräys ohjaa käyttöönottostrategian mukaisesti ERTMS/ETCS-varustelua liikkuvan kaluston osalta etupainotteisesti. Uusissa toiminnoissa on sovellettava OHM YTE:n (2016/919/EU) mukaista eritelmäkokonaisuutta nro. 2 eli ERTMS Baseline 3 + GSM-R 1. Liikenteen turvallisuusviraston määräyksen (TRAFI/14975/03.04.02.00/ 2016) mukaan ERTMS/ETCS-järjestelmällä on varustettava

- uudet kalustotilaukset 1.7.2015 jälkeen
- uudistettava tai parannettava kalusto, joka on tilattu 1.1.2017 jälkeen, sekä
- uusi tai uudistettava radanvarren toiminto, joka on tilattu 1.1.2022 tai käytönotettu 1.1.2025 jälkeen.

Liikenteen turvallisuusviraston määräyksen (TRAFI/26490/03.04.02.00/2014) mukaan nykyinen raideliikenteen radiojärjestelmä GSM-R tullaan korvaamaan TETRA-tekniikkaan perustuvalla VIRVE-verkolla vuosien 2017–2018 aikana. GSM-R-verkon alasajo liittyy raideliikenteen verkon ja kaupallisten verkkojen toisilleen aiheuttamiin häiriöihin. Tämän muutoksen jälkeen Suomessa ei ole erillistä rautatiejärjestelmän viestintään tarkoitettua verkkoa. VIRVE-verkko ei tue ERTMS/ETCS-järjestelmän tasoon 2 liittyvää dataviestintää.

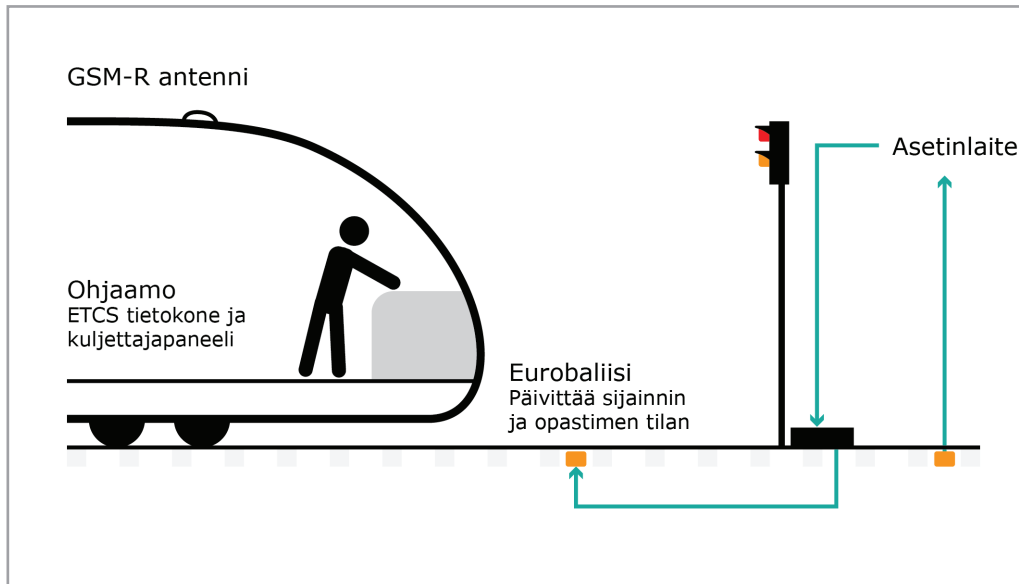
VR-Yhtymä Oy otti vuonna 2017 käyttöön ensimmäiset ERTMS/ETCS-järjestelmällä varustetut veturit. Vectron-veturit (Sr3) on varustettu ETCS+STM-laitteilla, jolloin ne ovat yhteensopivia sekä JKV- että ERTMS/ETCS-radoille. ERTMS/ETCS-veturilaite vastaa toiminnallisuudeltaan ETCS Baseline 3.3.0 -versiota.

Liikennevirasto on toteuttanut ERTMS/ETCS-varustellun kaluston hyväksyntäprosessia varten koeradon osuudelle Kerava–Lahti. Koerata on kaksoisvarusteltu ERTMS/ETCS- ja JKV-järjestelmällä. Koerataa ei ole tarkoitettu kaupallisen liikenteen käyttöön.

## 2.2 ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 väliset eroavaisuudet

ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 merkittävimmät eroavaisuudet liittyvät junan kulunvalvontajärjestelmään. ERTMS/ETCS-tasolla 1 hyödynnetään pistemäistä kulunvalvontajärjestelmää, kun taas tasolla 2 on käytössä jatkuva kulunvalvontajärjestelmä.

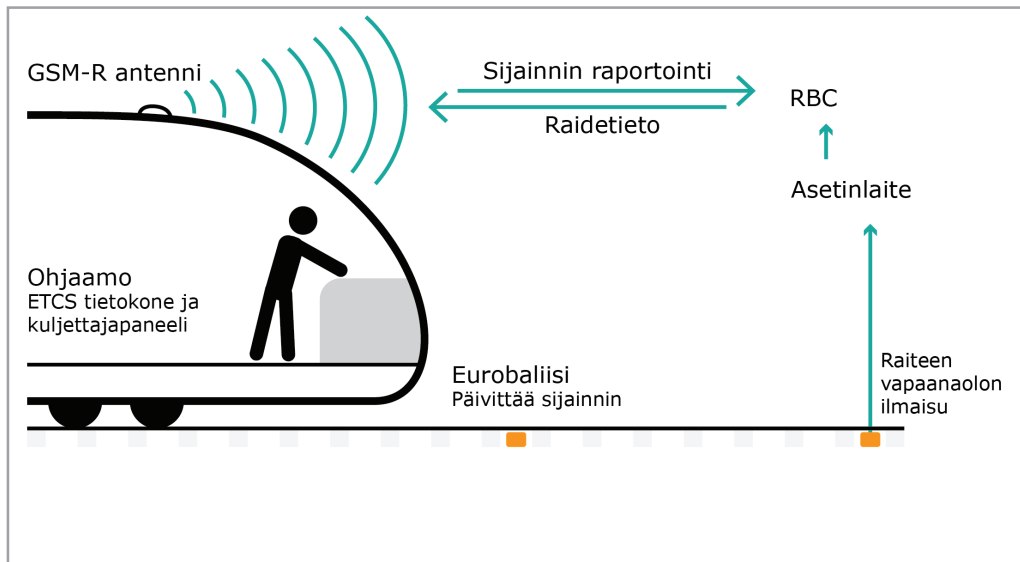
ERTMS/ETCS-taso 1 on hyvin samankaltainen nykyisin Suomessa käytössä olevan JKV-järjestelmän kanssa. ERTMS/ETCS-tasolla 1 junan jarrukäyrä päivitetään pistemäisesti koodaimen kautta ohjattavien eurobaliisien kautta (kuva 2). Järjestelmän vaatimuksena ovat fyysiset näkyvät opastimet radan varrella sekä raideosuuksien vapaanaolon ilmaisu.



Kuva 2. Havainnekuva ERTMS/ETCS-tason 1 toimintaperiaatteesta.



ERTMS/ETCS-tasolla 2 junan jarrukäyrä ja ajolupa välitetään jatkuvana radiosuojastuskeskuksesta (RBC) GSM-R-verkon kautta (kuva 3). Järjestelmän vaatimuksena on edelleen raideosuuksien vapaanaolon ilmaisu esimerkiksi akselinlaskijoiden kautta, mutta fyysisiä näkyviä opastimia ei tarvita radan varrella. Kiinteitä eurobaliiseja käytetään junan sijainnin paikantamisen varmistamiseen. Jatkuvatoiminen kulunvalvonta mahdollistaa paremman kapasiteetin rataverkolla verrattuna pistemäiseen kulunvalvontaan.



Kuva 3. Havainnekuva ERTMS/ETCS-tason 2 toimintaperiaatteesta.

## 3 Ratakapasiteettiin vaikuttavia tekijöitä ERTMS/ETCS-tasoilla 1 ja 2

### 3.1 Ratakapasiteetin määritelmä

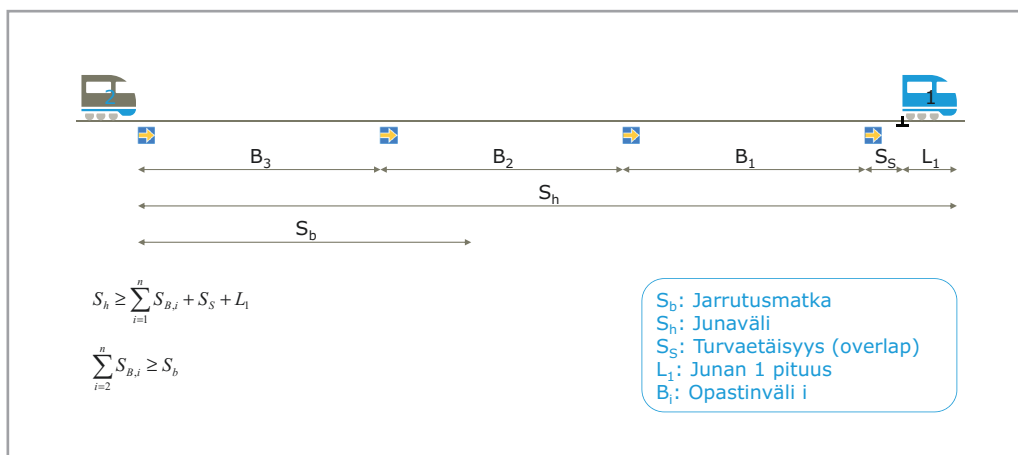
Ratakapasiteetti on moniselkoinen käsite, jonka määrittelyyn vaikuttavat infrastruktuuri, junien aikataulu ja kalusto. Lyhyesti määriteltynä ratakapasiteetilla tarkoitetaan sitä, kuinka monta junaa tietyllä rataosalla voi liikennöidä annetulla aikavälillä. Linjaosuuden ja asemien kapasiteetti on harvoin täysin sama, vaan jompikumpi näistä määrittelee käytännön kapasiteetin. EU-lainsäädännössä ratakapasiteetilla tarkoitetaan mahdollisuutta käyttää rataverkkoa ja laatia aikatauluja rataverkolla liikennöitäville reiteille.

Maksimikapasiteettia voidaan käyttää teoreettisen maksimijunamäärän määrittelyyn. Käytännössä sen suuruuteen vaikuttavat ratkaisevasti junaliikenteen heterogeenisuus ja aikataulurakenteen stabiilisuus, minkä vuoksi yksiselitteisen arvon laskeminen voi olla haastavaa.

Tässä työssä tutkittiin ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välisiä eroja ratakapasiteetin kannalta. Lukuisilla muilla tekijöillä on myös vaikutusta ratakapasiteettiin, mutta tässä työssä on esitelty vain niitä tekijöitä, jotka aiheuttavat merkittävimpiä eroja ratakapasiteetissa ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välillä. Näitä ovat opastinvälit, junien jarrukäyrät, radiosuojastuskeskus ja järjestelmän vasteajat.

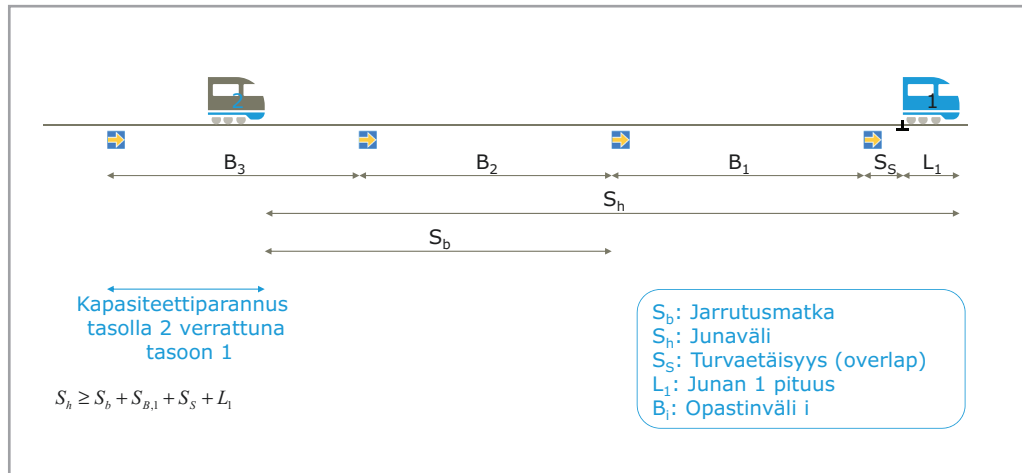
### 3.2 Opastinvälit

ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 merkittävimmät erot ratakapasiteetin kannalta aiheutuvat opastinväleistä ja junien jarrutusmatkojen sopivuudesta niihin. Yleisesti ottaen ratakapasiteetin kannalta opastinvälit pyritään sovittamaan junan jarrutusmatkaan, mutta tämä voi olla haastavaa rataosilla, joissa liikenne on hyvin heterogeenista ja junilla on hyvin erilaisia jarrukäyriä. Kuvassa 4 on havainnollistettu opastinvälin ja jarrutusmatkan välistä yhteyttä ERTMS/ETCS-tasolla 1. Koska juna saa päivitetyn jarrukäyrän vain baliisien kautta, voi juna esimerkiksi hyvin pitkillä opastinväleillä jarruttaa liian aikaisin suhteessa lähestyvään opastimeen.



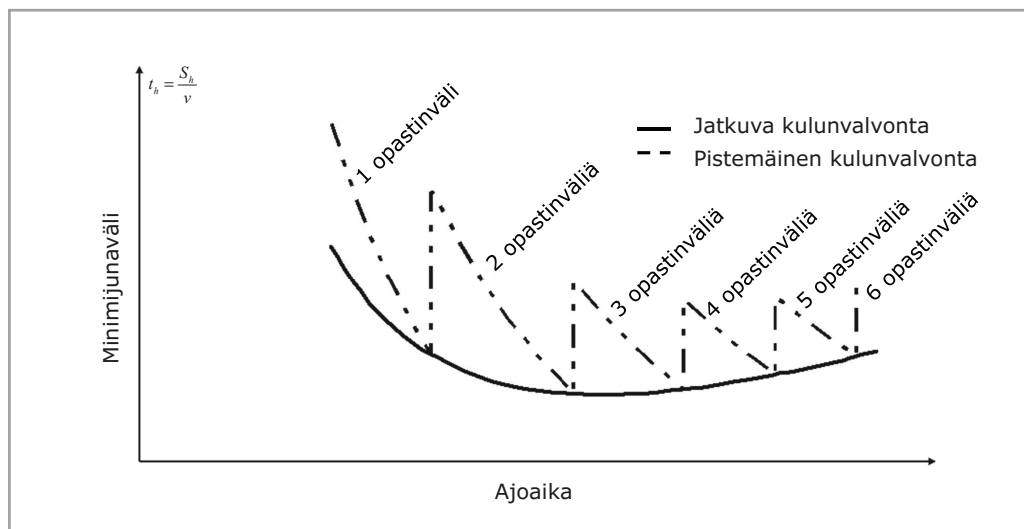
Kuva 4. Opastinvälin ja jarrutusmatkan yhteys ERTMS/ETCS-tasolla 1.

Opastinvälin ja jarrutusmatkan välistä yhteyttä ERTMS/ETCS-tasolla 2 on havainnollistettu kuvassa 5. Tasolla 2 juna saa jatkuvatoimisesti päivityksen jarrukäyrästä, ja näin ollen se voi optimoida jarrutusetaisyuden suhteessa lähestyvään opastimeen. Esimerkiksi pitkällä opastinetäisyyksillä tai tilanteissa, joissa ERTMS/ETCS-tasolla 1 junan jarrutusmatka on vain hieman pidempi kuin opastinväli ja se joutuu varaamaan kaksi opastinväliä, voi jatkuvatoiminen kulunvalvonta tuoda kapasiteettiparannuksia.



Kuva 5. Opastinvälin ja jarrutusmatkan yhteys ERTMS/ETCS-tasolla 2.

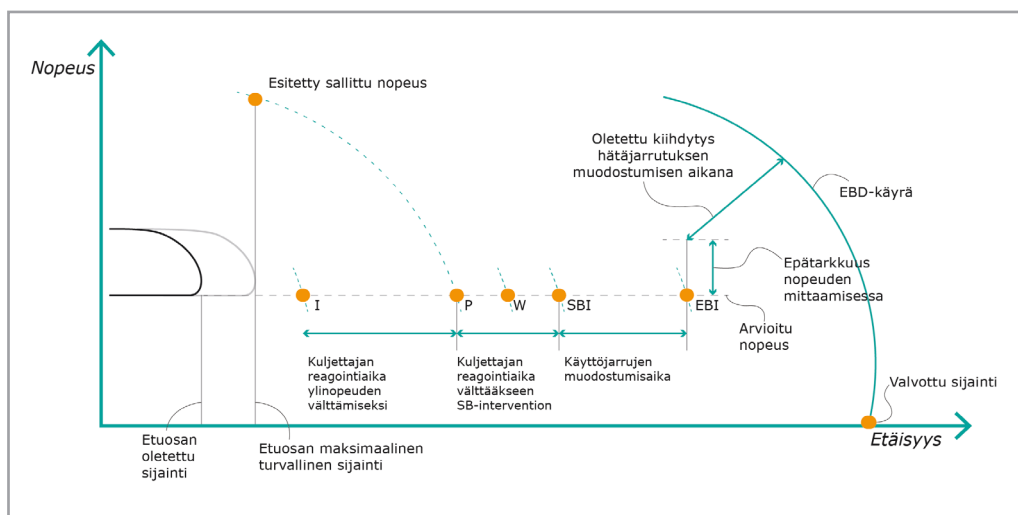
Edellä esitetyt päätelmät opastinvälin ja jarrutusmatkan yhteydestä on yhdistetty kuvaan 6, jossa on kuvattu jatkuvatoimisen ja pistemäisen kulunvalvonnan vaikutusta junaväliin teoreettisen esimerkin avulla. Kokonaismatkan pysyessä samana, mitä enemmän opastimia on, sitä lähempänä järjestelmät ovat toisiaan. Yleisesti ottaen minimijunaväli on suurempi ERTMS/ETCS-tasolla 1 (pistemäinen kulunvalvonta), mutta tilanteissa, joissa opastinväli ja jarrusetäisyys vastaavat toisiaan, on minimijunaväli sama molemmissa järjestelmissä.



Kuva 6. Minimijunaväli jatkuvassa ja pistemäisessä kulunvalvonnassa.

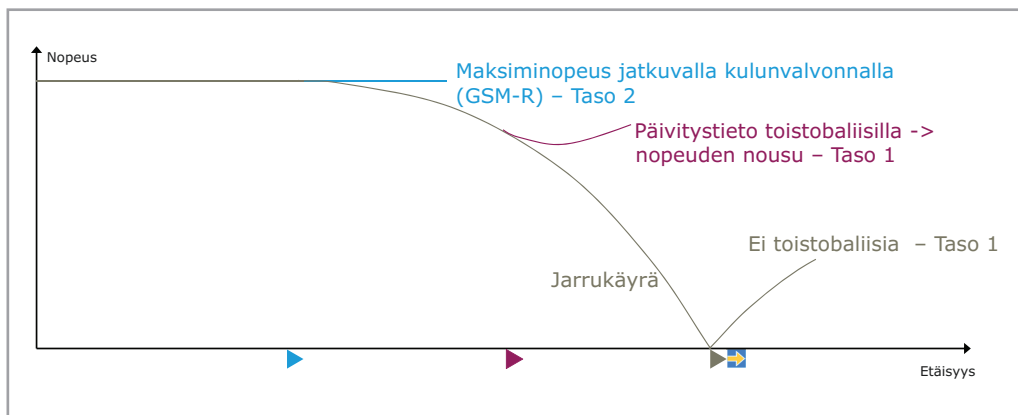
### 3.3 Junien jarrukäyrät

Osana eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmän käyttöönottoa yhdenmu-  
kaistetaan myös junien jarrukäyrät, jotta esimerkiksi rajat ylittävässä liikenteessä ei  
ole tarpeen rakentaa rajapintoja ja ohjelmistoja useille kansallisille käytännöille ja jar-  
rukäyrille. ETCS:ssä hätäjarrukäyrää kutsutaan EBD-käyräksi (engl. Emergency Brake  
Deceleration), jonka arvo riippuu sekä kaluston että radan ominaisuuksista. EBD:n ja  
junan nopeuden perusteella ETCS-tietokone laskee pysähtymiseen tarvittavan matkan  
monta kertaa sekunnissa ottaen huomioon muun muassa junan nopeuteen liittyvän  
epä-varmuuden sekä mahdollisesta kiihtyvyydestä johtuvan junan nopeuden nousun.  
ETCS-jarrukäyrät tarjoavat erilaisia valvontapisteitä jarrukäyrän laskentaan kuljettajan  
työn tueksi ja mahdollisimman tasaisen ajon takaamiseksi. Näitä ovat ilmaisu (engl.  
Indication, I), sallittu nopeus (engl. Permitted Speed, P), varoitus (engl. Warning, W) ja  
käyttöjarrutus (engl. Service Brake Intervention, SBI). ETCS-jarrukäyrän toimintaa ja  
siihen liittyviä valvontapisteitä on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. EBD-jarrukäyrä ja siihen liittyvät valvontapisteet.

ERTMS/ETCS-tasoilla 1 ja 2 käytetään samoja junien jarrukäyriä, mutta jarrukäyrien  
vaikutus kapasiteettiin on eri pistemäisestä tai jatkuvasta junankulunvalvonnasta joh-  
tuen (kuva 8).



Kuva 8. ETCS-jarrukäyrät ja niiden toimintaero tasoilla 1 ja 2.

Jarrukäyrien laskennassa käytetään kahta eri menetelmää riippuen siitä, ovatko junat moottori- vai veturivetoisia. Moottorivetoisille junille käytetään gammajunien laskentamenetelmää ja veturivetoisille junille lambdajunien laskentamenetelmää. Gamma-junat ovat ennalta määritettyjä junakokonaisuuksia. Tämän vuoksi niille voidaan käyttää myös ennalta määritettyjä kiihtyvyy- ja hidastuvuusarvoja. Lambdajunien kokoonpano vaihtelee, minkä vuoksi jokaiselle junalle lasketaan erikseen hidastuvuusarvot perustuen jarrupainoprosenttiin.

### 3.4 Radiosuojastuskeskus (RBC)

Radiosuojastuskeskus (engl. Radio Block Centre) on ERTMS/ETCS-tasolla 2 osa junien kulunvalvontajärjestelmää. Sen keskeisimmät tehtävät ovat ajolupatiedon laskeminen ja välittäminen veturilaitteille. ERTMS/ETCS-tasolla 1 ajolupatiedon välittäminen tapahtuu pistemäisesti baliisien kautta, kun taas ERTMS/ETCS-tasolla 2 radiosuojastuskeskus liitetään asetinlaitteeseen ja tiedonkulku tapahtuu jatkuvatoimisesti GSM-R-verkon kautta. Suomessa nykyisin käytössä oleviin asetinlaitteisiin ei ole mahdollista rakentaa rajapintaa radiosuojastuskeskukselle. Näin ollen ERTMS/ETCS-tasolla 2 jouduttaisiin uusimaan myös asetinlaite, mikä johtaisi joko asetinlaitteiden ennenaikaiseen uusimiseen tai ERTMS-järjestelmän käyttöönoton viivästymiseen.

GSM-R-verkon kapasiteetin on todettu olevan rajoittava tekijä ERTMS/ETCS-tasolla 2. Tutkimukset osoittavat, että GSM-R-verkon kapasiteetti voi olla riittämätön tilanteissa, joissa GSM-R-verkkoa käyttäviä junia on paljon rajoitetulla alueella, esimerkiksi suurilla asemilla. Verkon kapasiteetti voi olla riittämätön myös tilanteissa, joissa samalla alueella on paljon hitaita pysähteleviä junia ja nopeita ohittavia junia. Ruotsissa Västerdalsbanan-rataosuudella on päätetty, että yksi RBC voi käsitellä 30 samanaikaista junaliikettä. Tanskan rautatieliikennevirasto on päättänyt, että käytännöllinen raja RBC:lle on 25 junaa per neliökilometri. (Lindström 2012)

Suomessa esimerkiksi Helsingin ratapihalla GSM-R-verkon kapasiteetti voisi muodostua haasteeksi suuren junamäärän takia.

### 3.5 Järjestelmän vasteajat

Järjestelmän vasteajoilla tarkoitetaan eri järjestelmien väliseen tiedonkulkuun kuluva-aikaa. Yleisesti ottaen missä tahansa junankulunvalvontajärjestelmässä on varmistettava, että tiedonsiirtoon kuluva aika ei kasva liian suureksi ja siten vaikuta junaliikenteen turvallisuuteen.

ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmän vasteaika on pidempi verrattuna tasoon 1. ERTMS/ETCS-tasolla 2 on RBC:stä johtuen enemmän järjestelmiä ja rajapintoja, jolloin tiedonsiirtoon kuluva aika on myös suurempi.

Kansainvälisen rautatieliiton julkaisussa ”Influence of ETCS on line capacity” (UIC 2008) on arvioitu tason 1 ja 2 järjestelmien vasteaikoja (taulukot 1 ja 2).

Taulukko 1. ERTMS/ETCS-tason 1 järjestelmän vasteajat (UIC 2008).

Toiminto	Vasteaika (s)
LEU*	0,7
EVC+DMI**	1
<b>Yhteensä</b>	<b>1,7</b>

\*LEU = Koodain (Lineside Electronic Unit)

\*\*EVC = Keskusyksikkö (European Vital Computer), DMI = Kuljettajapaneeli (Driver-Machine-Interface)

Taulukko 2. ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmän vasteajat (UIC 2008).

Toiminto	Vasteaika (s)
Asetinlaite -> RBC	0,05
RBC	1,5
RBC -> juna	1,1
EVC + DMI**	1
<b>Yhteensä</b>	<b>3,65</b>

\*\*EVC = Keskusyksikkö (European Vital Computer), DMI = Kuljettajapaneeli (Driver-Machine-Interface)

ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmän vasteaikoja on arvioitu myös Liikenneviraston julkaisussa "Tulevaisuuden junien kulunvalvontajärjestelmän rajapinnan soveltaminen rautateiden tarpeisiin" (Liikennevirasto 2012). Raportissa arvioidut vasteajat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. ERTMS-tason 2 järjestelmän vasteajat (Liikennevirasto 2012).

Toiminto	Vasteaika (s)
Kauko-ohjaus	0,5
Asetinlaite	1,5
Liitäntätietokone	1
RBC	0,5
RBC -> juna	0,5
<b>Yhteensä</b>	<b>4</b>

Erot vasteaikojen välillä eri järjestelmissä vaikuttavat siihen, kuinka kauan junien kuluteiden varmistaminen kestää ja sitä kautta minimijunavälin pituuteen.

## 4 Kirjallisuuskatsaus

Tutkimus koskee ERTMS/ETCS-tason 2 vaikutusta kapasiteettiin, joten etsittävät kirjallisuuslähteet rajattiin koskemaan ERTMS/ETCS-järjestelmää. Kirjallisuuslähteistä otettiin mukaan kaikki ne tutkimukset, joissa oli käsitelty ERTMS/ETCS-järjestelmän vaikutusta kapasiteettiin. Myös lähteitä, joissa oli tietoa järjestelmän kustannuksista, otettiin mukaan tarkempaan tarkasteluun. Lähteitä ei rajattu koskemaan pelkästään ERTMS/ETCS-tasoa 2, vaan mukaan otettiin myös lähteitä, joissa käsiteltiin muiden ERTMS/ETCS-tasojen kapasiteettivaikutuksia. Tutkimukset ja selvitykset aiheesta ovat verrattain uusia, joten kirjallisuuslähteitä ei rajattu julkaisuvuoden perusteella pois selvityksestä.

Kirjallisuuslähteitä haettiin muun muassa Tanskan Teknisen Yliopiston (DTU) tietokannasta sekä Science Direct -tietokannasta. Tietokannat käsittävät sekä tutkimuksia ja selvityksiä että artikkeleita. Lähteitä etsittiin Euroopan laajuisesti ja mukaan otettiin myös Suomessa aiheesta tehtyjä tutkimuksia. Katsauksessa läpikäydyistä kirjallisuuslähteistä tarkemmin tutkittiin 19 lähdetä. Tarkemmin tutkitut lähteet on listattu kirjallisuusluettelossa julkaisun lopussa.

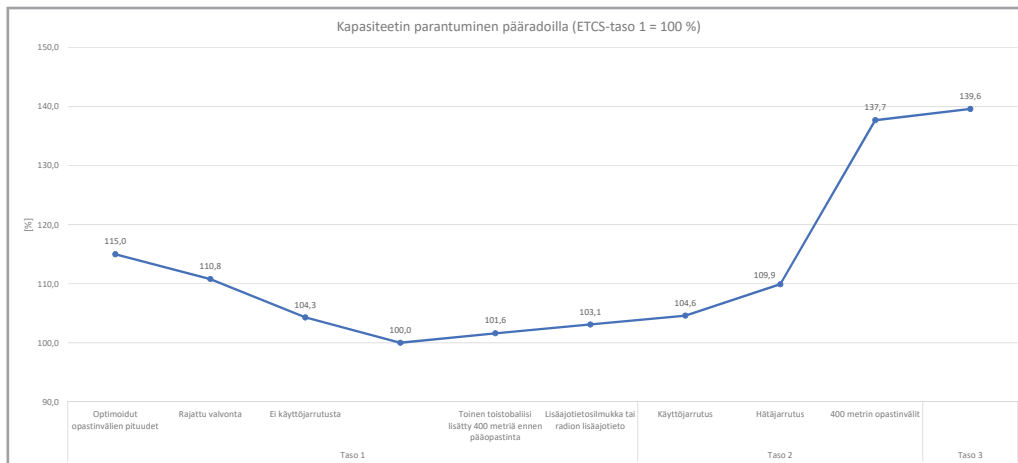
ERTMS/ETCS-järjestelmän kapasiteettiin liittyvissä kirjallisuuslähteissä kuvattiin monesti järjestelmän kapasiteettivaikutuksia yksittäisissä maissa. Maita, joista löytyi kapasiteettivertailuja, olivat muun muassa Iso-Britannia, Alankomaat ja Ruotsi. Osassa tutkimuksia oli kuitenkin tutkittu ERTMS/ETCS-järjestelmän vaikutuksia kapasiteettiin teorian tasolla. Tällaisia tutkimuksia olivat muun muassa tutkimukset ”An assessment of railway capacity” (Abril 2008) sekä Kansainvälisen rautatieliiton (UIC) tutkimukset. UIC:n tutkimuksissa oli myös verrattu järjestelmän eri tasojen kapasiteettivaikutuksia. Kapasiteetin käyttöasteen laskentaan oli tutkimuksissa yleisesti käytetty joko Strelen kaavaa tai UIC 406-määrelehden menetelmää.

Tutkimuksessa ”An assessment of railway capacity” (Abril 2008) käsitellään ERTMS/ETCS-järjestelmän maksimikapasiteettia sekä tasolla 1 että 2. Tutkimus käsittelee teoreettisia maksimikapasiteetteja samansuuruisina kummallakin tasolla, vaikka tutkimuksessa todetaankin tason 2 olevan käytännössä parempi kapasiteetiltaan. Tutkimus osoittaa selkeästi opastinvälien sekä junien nopeuden vaikutuksen junaväleihin. Tutkimusta ei kuitenkaan voi hyödyntää tasojen 1 ja 2 kapasiteettien vertailussa muulla tavoin kuin valittavien parametrien osalta.

Yksittäisissä maissa tehdyissä tutkimuksissa todettiin kapasiteetin lisääntyvän 8–18 prosenttia siirryttäessä perinteisestä opastinjärjestelmästä ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmään. Tutkimuksessa ”ERTMS Level 2: effect on capacity compared with “best practice” conventional signaling” (Barter 2010) todettiin 10 prosentin kapasiteetin lisäyksen olevan mahdollista siirryttäessä Isossa-Britanniassa perinteisestä MAS-järjestelmästä (engl. Multiple Aspect Signalling) ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmään. Tutkimuksessa kuitenkin todetaan, että junien ajoaikojen eron ollessa suurin kapasiteettia rajoittava tekijä, ei ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmä paranna välttämättä kapasiteettia merkittävästi, ellei samalla kalustoa tai nopeutta standardisoida. Alankomaissa tehdyssä tutkimuksessa ”Railway line capacity consumption of different railway signaling systems under scheduled and disturbed conditions” (Goverde ym. 2013) todettiin kapasiteetin parantuvan 16–18 prosenttia ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmään siirryttäessä. Kapasiteettiparannus on tutkimuksen mukaan riippuvainen liikenteen homogeenisyydestä, mutta sen todettiin silti olevan yleisesti yli 15

prosenttia. Edelleen tutkimuksessa todettiin, että kapasiteetti paranee vanhaan järjestelmään verrattuna entisestään häiriötilanteissa. Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa ”Evaluation of ECTS on railway capacity in congested areas: A case study within the network of Stockholm” (Magnarini 2010) kapasiteetin todettiin parantuvan teoriassa 8–10 prosenttia perinteiseen opastinjärjestelmään nähden. Simuloinneissa kapasiteettieroa ei kuitenkaan pystytty havaitsemaan, vaan simuloinnit antoivat saman maksimikapasiteetin sekä vanhalle opastinjärjestelmälle että ERTMS/ETCS-tasolle 2.

UIC:n tekemissä tutkimuksissa tutkittiin ERTMS/ETCS-järjestelmän vaikutusta kapasiteettiin sekä linjaosuuksilla tutkimuksessa ”Influence of ETCS on line capacity – Generic study” (UIC 2008), että solmupisteissä tutkimuksessa ”Influence of ETCS on the Capacity of nodes” (UIC 2010). Tutkimusta koskien linjakapasiteettia ei oltu sidottu tietyn maan opastinjärjestelmään, vaan asiaa käsiteltiin teorian kautta yleisellä tasolla. Tutkimuksessa selvitettiin sekä ERTMS/ETCS-tason 2 vaikutuksia kapasiteettiin, että vertailtiin myös tasoja 1 ja 2 keskenään. Järjestelmän kapasiteettivaikutuksia tutkittiin myös erityyppisillä radoilla. Tutkimuksen tulokset kapasiteetin parantumisesta pääradoilla on esitetty kuvassa 9. Tutkimuksen tuloksissa kuvattu päärata vastaa Suomen kaksiraiteista rataverkkoa.



Kuva 9. ERTMS/ETCS eri toteutustapojen vaikutus linjakapasiteettiin (UIC 2008).

UIC:n linjaosuuksia koskeneessa tutkimuksessa havaittiin, että teoriassa ERTMS/ETCS-taso 2 parantaa kapasiteettia tasoon 1 verrattuna tilanteesta riippumatta. Kuitenkin, mikäli kapasiteettia halutaan parantaa merkittävästi, pitäisi siirtyä lyhyisiin opastinväleihin. Tutkimuksessa on esitetty, että 400 metrin opastinväleihin siirryttäessä kapasiteetti voisi teoriassa parantua 37,7 prosenttia ERTMS/ETCS-tasoon 1 verrattuna. Mikäli opastinväliä ei lyhennetä, ei kapasiteettihyötyjä saada yhtä merkittävästi. Tutkimuksen perusteella opastinväli onkin yksi suurimmista tekijöistä, jotka vaikuttavat ERTMS/ETCS-järjestelmän tason 2 kapasiteettiin.

Solmupisteiden kapasiteettia koskevassa UIC:n tutkimuksessa ERTMS/ETCS-järjestelmän kapasiteettia tutkittiin kahdessa esimerkkikohteessa, Bernissä ja Münchenissä. Tutkimuksessa havaittiin, että ERTMS/ETCS-taso 2 ei nosta solmupisteissä kapasiteettia merkittävästi, joskin kapasiteetti on tasolla 2 lähes poikkeuksetta parempi kuin tasolla 1. Myöskään opastinväleillä ei solmupisteissä ollut yhtä suurta merkitystä kuin linjaosuuksilla.



Kapasiteettiin liittyen tärkeänä asiana on myös GSM-R-verkon kapasiteetti. Asiaa käsiteltiin tutkimuksessa ”Is GSM-R the limiting factor for the ERTMS system capacity?” (Lindström 2012). Tutkimuksessa todettiin, että suurilla asemilla ja rata-pihoille, joissa on paljon liikkuvaa kalustoa yhdistettynä suureen määrään puheviestintää, GSM-R-kapasiteetin puutteet alkavat näkyä. Puutteet korostuvat varsinkin, jos junat kulkevat alueen läpi suurella nopeudella ja junien nopeusero on suuri. Tutkimuksessa käytiin läpi kolme esimerkkiä, joiden perusteella vaikuttaa siltä, että ETCS/GSM-R-yhdistelmällä maksimimäärä junia on 25-30 junaa rajoitetulla alueella. Esimerkiksi Tanskan rautatieliikennevirasto esittää maksimiksi 25 junaa neliökilometrillä.

ERTMS/ETCS-järjestelmän kustannuksista käytiin tarkemmin läpi kolme raporttia. Nämä olivat Euroopan tilintarkastustuomioistuimen erityisraportti ”Yhtenäinen Euroopan rautatieliikenteen hallintajärjestelmä: toteutuuko poliittinen päätös koskaan käytännössä?” (Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2017), UIC:n raportti ”UIC ERTMS Benchmark Project, Final Report, Update 2010” (UIC 2011) sekä suomalainen raportti ”Konkretiaa eurooppalaisen junien kulunvalvonnan käyttöönottoon rataverkolla ja vetävässä kalustossa” (Liikennevirasto 2014). Raporttien mainitsemat kustannukset eivät välttämättä ole keskenään vertailukelpoisia, sillä esimerkiksi Euroopan tilintarkastustuomioistuimen raportissa on käsitelty Tanskan ja Alankomaiden kustannuksia. Kuitenkin Tanskassa on ERTMS:n myötä uusittu koko liikenteenhallinta- ja turvalaitejärjestelmä, eikä vain päivitetty sitä ERTMS:n kannalta tarvittavien asioiden osalta.

UIC:n tutkimuksessa kustannuksia tutkittiin 20 eri kohteessa, joista viisi käsitteli ERTMS/ETCS-tason 1 kustannuksia, seitsemän tason 2 kustannuksia ja kahdeksan kalustoon asennettavien laitteiden kustannuksia. Kustannukset eriteltiin useisiin eri kustannuksia aiheuttaviin tekijöihin, joten niiden avulla on mahdollista arvioida myös Suomen järjestelmän uusimisesta aiheutuvia kustannuksia.

Suomessa tehdyssä tutkimuksessa ”Konkretiaa eurooppalaisen junien kulunvalvonnan käyttöönottoon rataverkolla ja vetävässä kalustossa” (Liikennevirasto 2014) on arvioitu ERTMS/ETCS-järjestelmän rakentamiskustannuksia sekä tasoille 1 että 2. Raportissa todetaan, että etenkin tason 2 rakentamiskustannuksista tarvittaisiin lisää tietoa. Kustannusten arvioinnissa merkittävä tekijä on myös käytettävä radioverkko ja sen tekniikka. Käytettävissä oleva RAILI-verkko ei nykyisellään sovellu ERTMS/ETCS-tason 2 tarvitsemaan tiedonsiirtoon, ja lisäksi sen komponenttien elinkaari alkaa olla lopussa. Nykyinen GSM-R-verkko korvataan Suomessa VIRVE-verkolla, jota ei voida käyttää ERTS/ETCS-tason 2 tiedonvälitykseen. Tästä johtuen radioverkon kustannukset voidaan arvioida vain karkeasti, sillä mahdollisesti ERTMS/ETCS-tasolla 2 käytettävä radioverkkoteknologia ei vielä ole tiedossa.

Kapasiteetin ja kustannusten lisäksi käytiin läpi myös Suomen ERTMS/ETCS-järjestelmän täytäntöönpanosuunnitelmaa ”Eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmän (ERTMS/ETCS) käyttöönotto Suomessa” (Liikennevirasto 2017) sekä muita tutkimuksia koskien Suomen ERTMS/ETCS-järjestelmän käyttöönottoa, kuten ”Tulevaisuuden junien kulunvalvontajärjestelmän (ERTMS) rajapinnan sovittaminen nykyisiin rautateiden turvalaitteisiin” (Liikennevirasto 2012). Selvityksen mukaan ERTMS/ETCS-tason 2 hyödyt tulevat olemaan suurimmat tiheästi liikennöidyillä rataosuuksilla. Muualla investointikustannusten hyödyt eivät ole riittävän suuret. Käytännössä tällaisia rataosuuksia ovat pääkaupunkiseudun tiheästi liikennöidyt lähiliikenneaiteet sekä mahdollisesti merkittävimmät rataosuudet pääradalla. Edelleen

tutkimuksessa todetaan, että ERTMS/ETCS-tasosta 2 ei kuitenkaan ole hyötyä suuremmilla ratapihoilla, joissa raiteiston käyttö, vaihtotyöt, vaihdetyypit ja GSM-R-verkolta vaadittava kapasiteetti rajoittavat ERTMS/ETCS-tason 2 hyötyjä. Jos ERTMS/ETCS-taso 2 otetaan käyttöön, on selvityksen mukaan tarpeen harkita myös olemassa olevien raideosuukien sijainti, jotta voidaan optimoida kapasiteetti, jonka ERTMS/ETCS tarjoaa. Selvitys toteaa, että ERTMS/ETCS-tason 2 käyttöönotto on kannattavaa vain silloin, kun rataosuus on vähintään kaksiraiteinen ja nykyinen junankulunvalvonta tai ERTMS/ETCS-taso 1 ei tarjoa riittävää kapasiteettia. Tutkimuksen mukaan suositeltavaa on harkita ERTMS/ETCS-tason 2 käyttöönottoa vain siinä yhteydessä, kun asetinlaitetta ollaan muutenkin uusimassa. ERTMS/ETCS-rajapinnan toteuttaminen tasoa 2 varten nykyiseen asetinlaitteeseen on hankala ja kallis toteuttaa riippumatta asetinlaitetyypistä.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella ERTMS/ETCS-järjestelmän taso 2 parantaa kapasiteettia ainakin teoriassa tasoon 1 nähden. Kapasiteetin lisäys on kuitenkin maltillinen ja vaihtelee riippuen opastinväleistä, junien nopeudesta sekä junatyypeistä. Suurin hyöty on mahdollista saavuttaa lyhentämällä tason 2 opastinvälejä. Solmupisteiden kapasiteettiin ERTMS/ETCS-järjestelmällä on myös vaikutusta, mutta myös solmupisteissä kapasiteetin nousu jää maltilliseksi, eikä linjaosuuksia vastaavia hyötyjä ole saavutettavissa. Kirjallisuuskatsauksessa saatiin myös tietoja järjestelmän kustannuksista, minkä avulla on mahdollista arvioida järjestelmän rakennuskustannuksia myös Suomessa. Kustannukset ovat kuitenkin melko karkealla tasolla ja parempaa tietoa järjestelmän kustannuksista olisi tarpeen saada tulevaisuudessa.

## 5 Teoreettiset laskelmat

### 5.1 Menetelmä

Työn analyysivaihe on jaettu kahteen osioon, teoreettisiin laskelmiin ja tapaustutkimuksiin. Teoreettisten laskelmien tavoitteena on ollut selvittää yleisellä tasolla ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 eroja ratakapasiteetissa Suomessa.

Teoreettisten laskelmien toteutusta varten työssä on luotu Excel-työkalu, jonka avulla on laskettu junaväliaikoja tiettyjä parametreja muuttamalla. Tärkeimmät junaväliajan laskemiseen vaikuttavat parametrit ovat jarrutusmatka, nopeusrajoitus, opastinväli ja junatyyppi. Teoreettiset laskelmat ovat yksinkertaistuksia todellisuudesta, ja sen vuoksi esimerkiksi junan kiihtyvyyttä ja hidastuvuutta ei ole otettu huomioon.

Jarrutusmatkan laskemisessa on käytetty ERAn kehittämää ERTMS-jarrukäyrien laskentatyökalua<sup>1</sup>. Työkalun käyttö vaatii suuren määrän mm. infrastruktuurin ja kalustoon liittyvää tietoa, eikä tämän työn puitteissa ole pystytty hankkimaan täydellä varmuudella kaikkia tarvittavaa tietoa. Lisäksi Suomen kansallisista ERTMS/ETCS-parametreista ei ole tehty vielä sitovia päätöksiä, joten vaikka työssä laskettuja jarrutusmatkoja voidaan pitää suuntaa antavina, liittyy niihin epävarmuutta.

Excel-työkalulla testattuja parametreja ovat nopeusrajoitus (60, 70, 80, ... ,190, 200 km/h) ja opastinväli (500, 750, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000 metriä). Järjestelmän vasteaikoina on käytetty seuraavia arvoja:

- Taso 1: Koodain (LEU) 0,7 sekuntia
- Taso 2: Tiedonvälitysviive (juna <-> RBC) 2,65 sekuntia
- Taso 1 & Taso 2: Asetinlaiteviive 5 sekuntia
- Taso 1 & Taso 2: Keskusyksikkö ja kuljettajaneeli (EVC+DMI) 1 sekunti

Laskelmissa tarkasteltaviksi junatyypeiksi on valittu IC-juna (pituus 177 metriä, paino 462 tonnia, maksiminopeus 200 km/h ja jarrupainoprosentti 135,1) ja tavarajuna (pituus 515 metriä, paino 2006 tonnia, maksiminopeus 90 km/h ja jarrupainoprosentti 53,8).

### 5.2 Tulokset

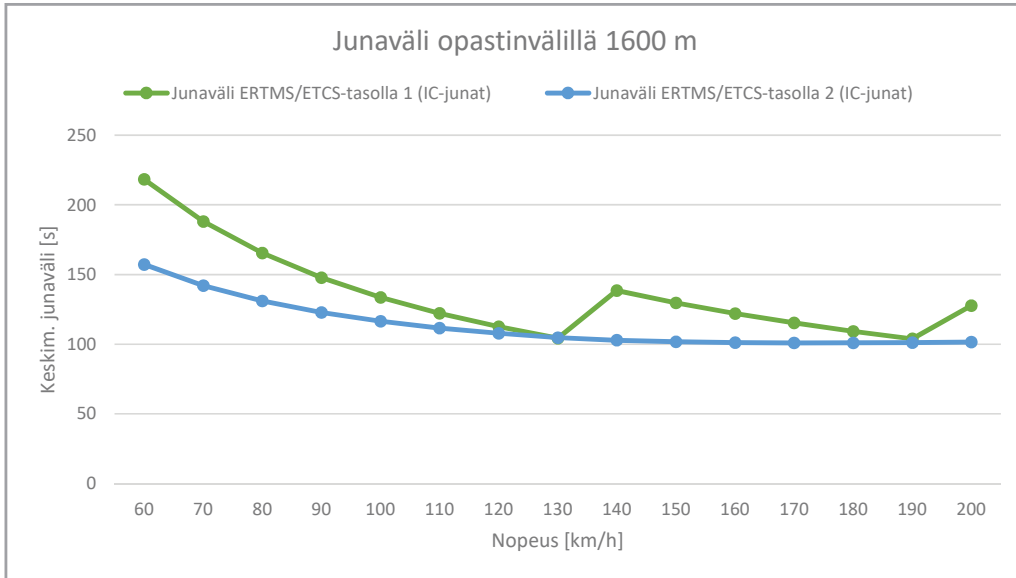
Teoreettisten laskelmien avulla on pyritty tuomaan esille millaisia eroja ERTMS/ETCS-taso 1 aiheuttaa ratakapasiteetissa tasoon 2 verrattuna. Tuloksissa on käytetty muuttujina sekä nopeusrajoitusta, että opastinvälin pituutta.

Kuvassa 10 esitetty keskimääräinen minimijunaväli nopeusrajoituksen funktiona opastinvälipituudella 1600 metriä homogeenisellä junaliikenteellä. Tuloksista on nähtävissä, että ERTMS/ETCS-taso 1 antaa tietyillä nopeusrajoituksilla, esimerkiksi tässä tapauksessa nopeudella 130 km/h yhtä hyvän tai hieman lyhyemmän minimi-

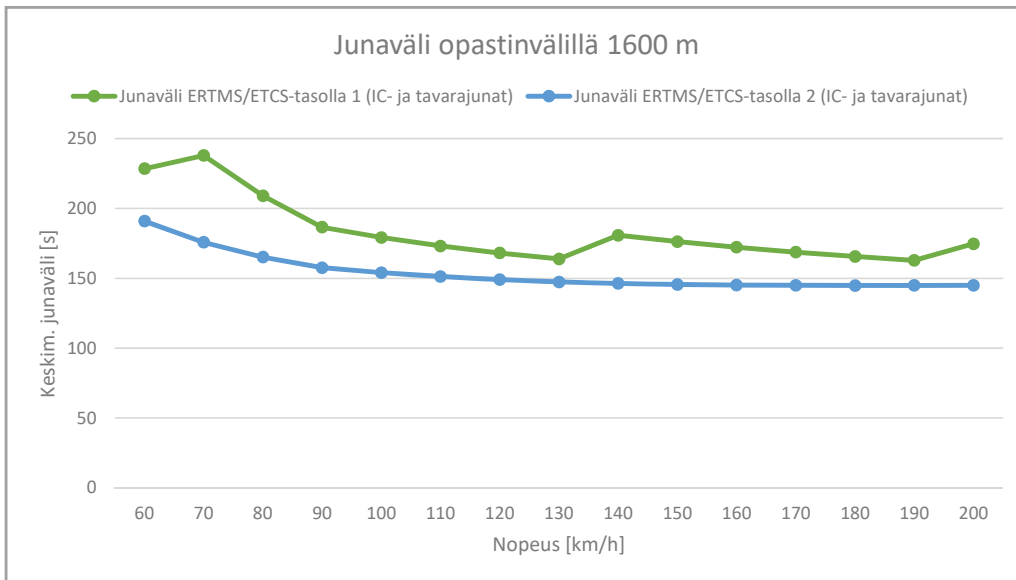
---

<sup>1</sup> <http://www.era.europa.eu/Core-Activities/ERTMS/Pages/Braking-Curves-Simulation-Tool.aspx>

junavälin kuin ERTMS/ETCS-taso 2. Useimmissa tapauksissa jarrutusmatka ei kuitenkaan sovi täydellisesti opastinvälin pituuteen, ja näissä tapauksissa ERTMS/ETCS-taso 2 tarjoaa lyhyemmän junavälin ja näin ollen myös paremman ratakapasiteetin. Kuvassa 11 on esitetty vastaava kuvaaja, mutta keskimääräinen junaväli on laskettu sekaliikenteelle. Eri junatyypin nopeuseroista johtuen on junaväli aina lyhyempi ERTMS/ETCS-tasolla 2.

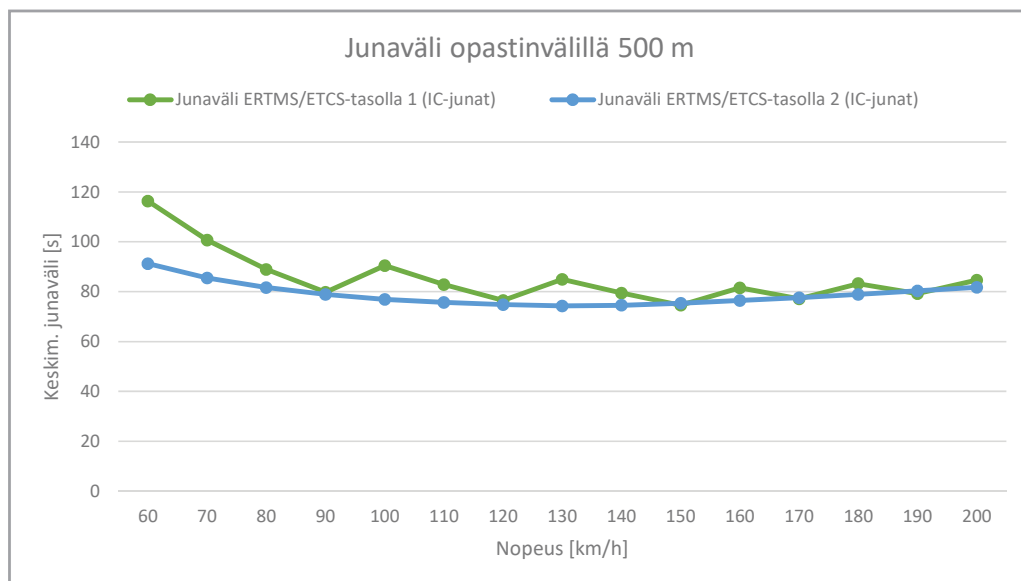


Kuva 10. Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 1600 metriä eri nopeusrajoituksilla (vain IC-junat mukana laskemissa).

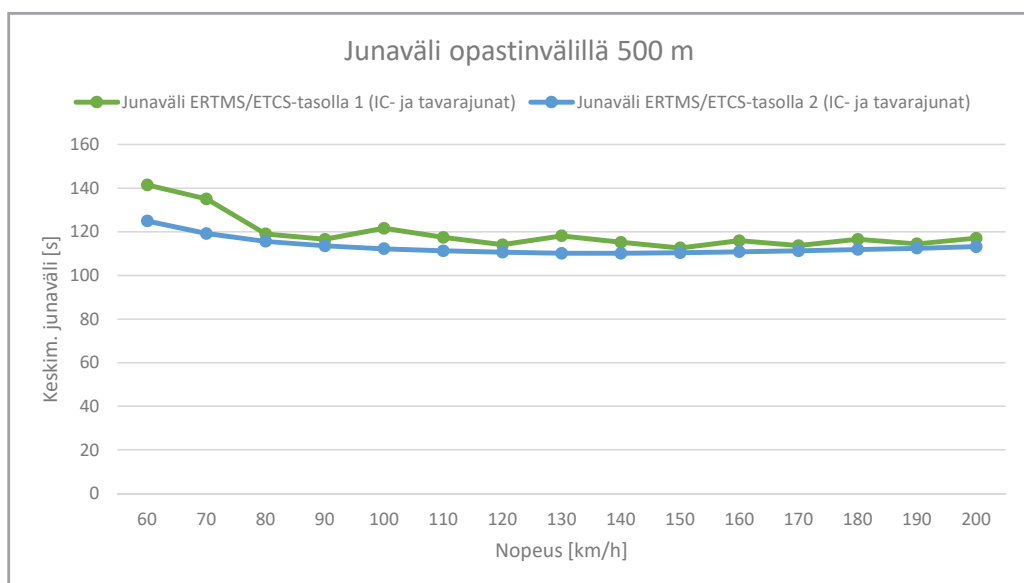


Kuva 11. Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 1600 metriä eri nopeusrajoituksilla (IC- ja tavarajunat mukana laskemissa).

Kuvissa 12 ja 13 on esitetty keskimääräinen minimijunaväli opastinvälillä 500 metriä. Tulosten perusteella ERTMS/ETCS-tason 1 ja 2 välinen ero junavälissä ja ratakapasiteetissa on varsin pieni lyhyillä opastinvälipituuksilla.

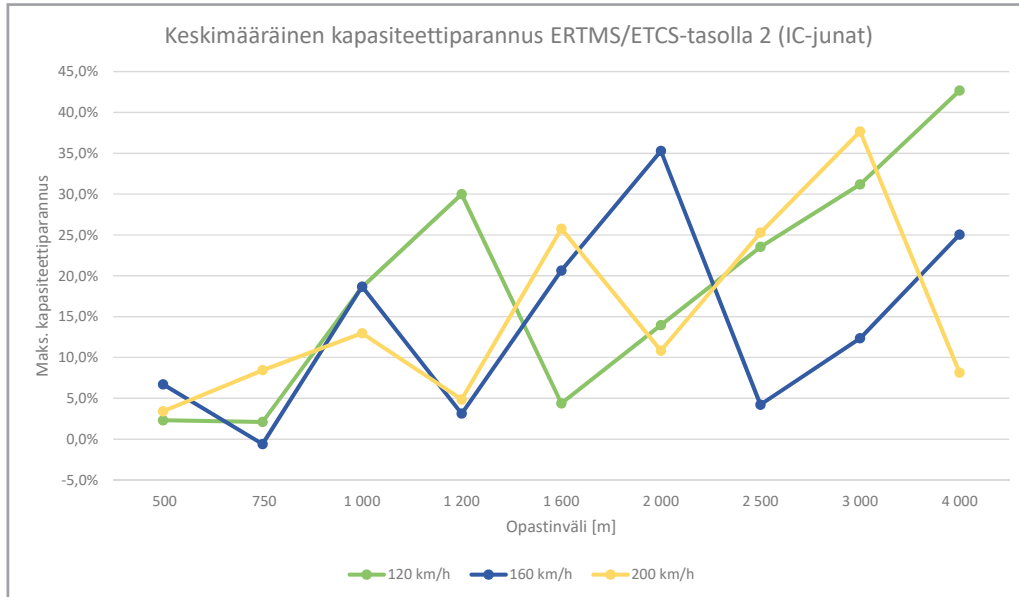


Kuva 12. Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 500 metriä eri nopeusrajoituksilla (vain IC-junat mukana laskelmissa).

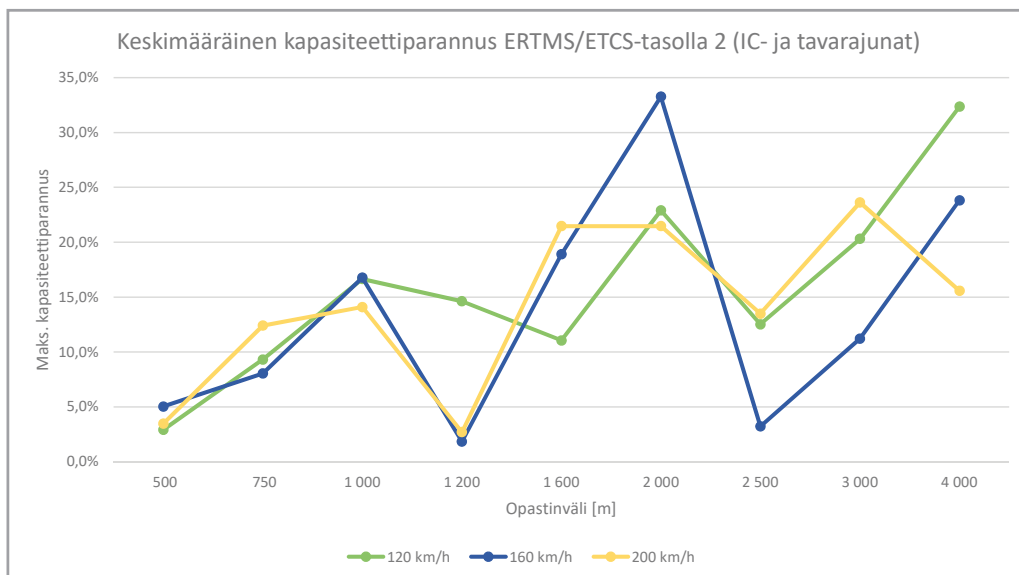


Kuva 13. Keskimääräinen junaväli opastinvälillä 500 metriä eri nopeusrajoituksilla (IC- ja tavarajunat mukana laskelmissa).

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty potentiaalinen maksimiparannus ratakapasiteetissa ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 opastinvälin pituuden funktiona kolmella eri nopeusrajoituksella sekä homogeenisessä että heterogeenisessä liikenteessä. Tulosten perusteella suurin hyöty ERTMS/ETCS-tasosta 2 verrattuna tasoon 1 on saavutettavissa homogeenisessä junaliikenteessä. Yleisesti ottaen ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatava kapasiteettiparannus verrattuna tasoon 1 vaihtelee suuresti riippuen siitä, kuinka hyvin opastinvälin pituus sopii jarrutusmatkan pituuteen tasolla 1.



Kuva 14. Maksimikapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 opastinvälipituuden funktiona eri nopeusrajoituksilla (vain IC-junat mukana laskelmissa).



Kuva 15. Maksimikapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 opastinvälipituuden funktiona eri nopeusrajoituksilla (IC- ja tavarajunat mukana laskelmissa).

Teoreettisten kapasiteettilaskelmien tulokset on esitetty kootusti taulukoissa 4 ja 5. Sekä homogeenisesta että heterogeenisesta liikenteestä tehdyistä laskelmista on nähtävissä yleisenä trendinä, että mitä alhaisempi nopeusrajoitus on rataosuudella, sitä paremman ratakapasiteetin ERTMS/ETCS-taso 2 pystyy tarjoamaan verrattuna tasoon 1. ERTMS/ETCS-tason 2 kapasiteettihyödyt ovat myös sitä korkeammat mitä pidempi opastinvälän pituus on. ERTMS/ETCS-taso 1 tarjoaa paremman ratakapasiteetin joissakin tapauksissa johtuen radiosuojastuskeskuksesta johtuvasta tietoliikenneviiveestä.

*Taulukko 4. Keskimääräinen kapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 (vain IC-junat mukana laskelmissa).*

Keskimääräinen kapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 (IC-junat)										
Nopeus / Opastinvälän pituus	500 m	750 m	1000 m	1200 m	1600 m	2000 m	2500 m	3000 m	4000 m	Keskiarvo
60 km/h	27,5%	9,5%	20,7%	27,8%	38,8%	46,9%	54,5%	60,1%	68,1%	39,3%
70 km/h	17,7%	2,3%	13,6%	20,9%	32,4%	40,9%	49,0%	55,1%	63,8%	32,8%
80 km/h	9,0%	32,1%	7,0%	14,4%	26,2%	35,1%	43,6%	50,1%	59,5%	30,8%
90 km/h	1,2%	23,5%	0,9%	8,4%	20,3%	29,5%	38,4%	45,2%	55,3%	24,7%
100 km/h	17,6%	15,8%	33,2%	2,7%	14,7%	24,1%	33,3%	40,5%	51,0%	25,9%
110 km/h	9,5%	8,6%	25,6%	37,2%	9,4%	18,9%	28,3%	35,8%	46,8%	24,5%
120 km/h	2,3%	2,1%	18,6%	30,0%	4,4%	14,0%	23,5%	31,2%	42,7%	18,8%
130 km/h	14,4%	21,7%	12,2%	23,3%	-0,3%	9,3%	18,9%	26,8%	38,6%	18,3%
140 km/h	6,5%	13,9%	5,6%	16,4%	34,7%	4,3%	14,1%	22,0%	34,2%	16,9%
150 km/h	-1,1%	6,4%	-0,9%	9,5%	27,5%	-0,7%	9,1%	17,1%	29,6%	10,7%
160 km/h	6,7%	-0,6%	18,7%	3,1%	20,6%	35,3%	4,2%	12,3%	25,1%	13,9%
170 km/h	-0,6%	12,2%	11,5%	24,7%	14,3%	28,6%	-0,4%	7,8%	20,6%	13,2%
180 km/h	5,5%	5,2%	4,9%	17,6%	8,3%	22,4%	37,3%	3,4%	16,4%	13,4%
190 km/h	-1,4%	-1,3%	-1,3%	10,9%	2,6%	16,4%	31,1%	-0,9%	12,2%	7,6%
200 km/h	3,4%	8,4%	13,0%	4,9%	25,8%	10,8%	25,3%	37,7%	8,1%	15,3%
<b>Keskiarvo</b>	<b>7,9%</b>	<b>10,7%</b>	<b>12,2%</b>	<b>16,8%</b>	<b>18,6%</b>	<b>22,4%</b>	<b>27,3%</b>	<b>29,6%</b>	<b>38,1%</b>	<b>20,4%</b>

*Taulukko 5. Keskimääräinen kapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 (IC- ja tavarajunat mukana laskelmissa).*

Keskimääräinen kapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 (IC- ja tavarajunat)										
Nopeus / Opastinvälän pituus	500 m	750 m	1000 m	1200 m	1600 m	2000 m	2500 m	3000 m	4000 m	Keskiarvo
60 km/h	15,2%	6,8%	20,3%	29,3%	21,6%	30,3%	38,7%	45,3%	55,0%	29,2%
70 km/h	13,9%	10,5%	11,2%	20,1%	34,8%	23,2%	32,0%	39,0%	49,4%	26,0%
80 km/h	4,0%	18,4%	3,1%	11,8%	26,4%	16,6%	25,7%	32,9%	43,8%	20,3%
90 km/h	2,4%	19,3%	8,2%	4,3%	18,6%	30,3%	19,6%	27,0%	38,4%	18,7%
100 km/h	10,0%	15,7%	23,5%	1,6%	16,0%	27,7%	17,2%	24,8%	36,4%	19,2%
110 km/h	6,3%	12,4%	19,9%	18,0%	13,4%	25,3%	14,8%	22,5%	34,3%	18,5%
120 km/h	2,9%	9,3%	16,7%	14,6%	11,1%	22,9%	12,5%	20,3%	32,4%	15,9%
130 km/h	8,6%	18,6%	13,6%	11,5%	8,8%	20,7%	10,3%	18,2%	30,4%	15,6%
140 km/h	4,9%	15,0%	10,5%	8,2%	25,6%	18,3%	8,0%	15,9%	28,3%	14,9%
150 km/h	1,3%	11,4%	7,4%	4,9%	22,2%	15,8%	5,6%	13,5%	26,0%	12,0%
160 km/h	5,0%	8,0%	16,8%	1,8%	18,9%	33,3%	3,2%	11,2%	23,8%	13,6%
170 km/h	1,6%	14,2%	13,3%	12,3%	15,8%	30,1%	1,0%	9,0%	21,7%	13,2%
180 km/h	4,5%	10,8%	10,2%	8,8%	13,0%	27,0%	19,3%	6,9%	19,6%	13,3%
190 km/h	1,2%	7,7%	7,2%	5,6%	10,2%	24,2%	16,3%	4,8%	17,5%	10,5%
200 km/h	3,5%	12,4%	14,1%	2,7%	21,5%	21,5%	13,5%	23,6%	15,6%	14,3%
<b>Keskiarvo</b>	<b>5,7%</b>	<b>12,7%</b>	<b>13,1%</b>	<b>10,4%</b>	<b>18,5%</b>	<b>24,5%</b>	<b>15,8%</b>	<b>21,0%</b>	<b>31,5%</b>	<b>17,0%</b>

Työssä tehtiin myös herkkyystarkastelu radiosuojastuskeskuksesta johtuvan viiveen vaikutuksesta kapasiteettieroihin ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välillä. Yllä olevissa laskelmissa RBC:sta johtuvan viiveen arvona on käytetty 2,65 sekuntia, ja herkkyystarkastelussa RBC:sta johtuva viive nostettiin 7 sekuntiin (taulukko 6). Tällöin ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatava kapasiteettihyöty verrattuna tasoon 1 on pienempi, ja taso 1 tarjoaa hieman paremman ratakapasiteetin verrattuna tasoon 2 useammassa tapauksissa.

Taulukko 6. Keskimääräinen kapasiteettiparannus ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 (IC- ja tavarajunat mukana laskemissa) RBC:sta johtuvan viiveen ollessa 7 sekuntia.

Keskimääräinen kapasiteettiparannus ERTMS tasolla 2 (IC- ja tavarajunat)										
Nopeus / Opastinvälin pituus	500 m	750 m	1000 m	1200 m	1600 m	2000 m	2500 m	3000 m	4000 m	Keskiarvo
60 km/h	11,1%	3,5%	16,9%	26,0%	18,8%	27,6%	36,3%	43,0%	53,0%	26,2%
70 km/h	9,7%	6,9%	7,9%	16,8%	31,5%	20,5%	29,4%	36,6%	47,2%	22,9%
80 km/h	-0,1%	14,2%	-0,2%	8,5%	23,1%	13,8%	23,0%	30,4%	41,5%	17,1%
90 km/h	-1,6%	15,0%	4,7%	1,0%	15,3%	27,0%	16,8%	24,4%	36,0%	15,4%
100 km/h	5,6%	11,5%	19,2%	-1,6%	12,6%	24,4%	14,4%	22,1%	33,9%	15,8%
110 km/h	2,0%	8,2%	15,7%	14,0%	10,1%	21,9%	12,0%	19,8%	31,8%	15,1%
120 km/h	-1,3%	5,3%	12,5%	10,7%	7,8%	19,6%	9,7%	17,6%	29,8%	12,4%
130 km/h	4,1%	14,1%	9,6%	7,6%	5,5%	17,3%	7,5%	15,4%	27,8%	12,1%
140 km/h	0,6%	10,6%	6,5%	4,4%	21,7%	15,0%	5,1%	13,1%	25,6%	11,4%
150 km/h	-2,8%	7,2%	3,6%	1,3%	18,3%	12,6%	2,8%	10,8%	23,4%	8,6%
160 km/h	0,7%	4,0%	12,6%	-1,7%	15,2%	29,4%	0,5%	8,5%	21,2%	10,0%
170 km/h	-2,5%	9,9%	9,3%	8,3%	12,2%	26,3%	-1,7%	6,3%	19,1%	9,7%
180 km/h	0,3%	6,7%	6,3%	5,0%	9,4%	23,4%	16,0%	4,2%	17,0%	9,8%
190 km/h	-2,8%	3,7%	3,5%	2,0%	6,8%	20,6%	13,1%	2,2%	15,0%	7,1%
200 km/h	-0,6%	8,3%	10,1%	-0,8%	17,6%	18,0%	10,3%	20,4%	13,1%	10,7%
<b>Keskiarvo</b>	1,5%	8,6%	9,2%	6,8%	15,1%	21,2%	13,0%	18,3%	29,0%	13,6%



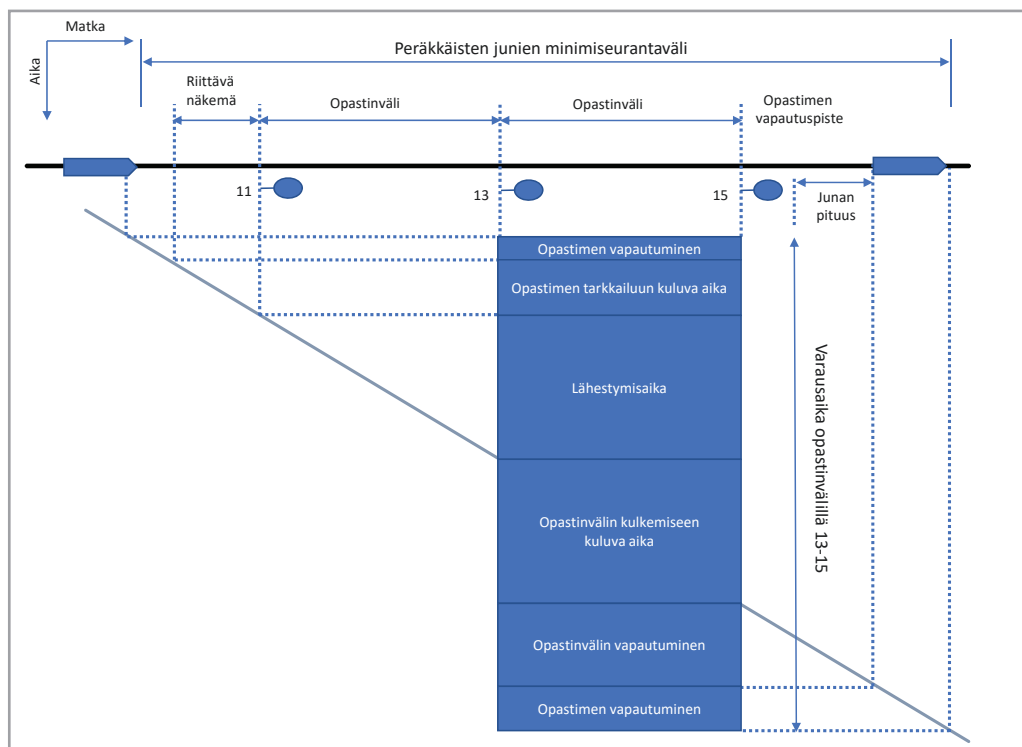
## 6 Tapaustutkimukset

### 6.1 Menetelmä

ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 vaikutuksia ratakapasiteettiin on tutkittu tarkemmin kahdella linjaosuudella, Kerava–Lahti ja Riihimäki–Tampere. Molemmille rataosuuksille on tehty yksinkertaistettuja laskelmia junavälin ja kapasiteetin käyttöasteen selvittämiseksi ERTMS/ETCS-tasoilla 1 ja 2. Molemmille rataosuuksille on ennustettu merkittävää matkustajamäärien kasvua. Etenkin rataosuudella Riihimäki–Tampere ratakapasiteetista on jo nykytilanteessa pulaa. Liikenneviraston ennusteessa (Liikennevirasto 2011) matkustajamäärän on ennustettu kasvavan rataosalla Riihimäki–Tampere noin 800 000 matkustajalla vuotta kohden. Kerava–Lahti rataosuudella ennustettu kasvu on vielä suurempaa matkustajamäärän ennustetun kasvun ollessa noin 1 200 000 matkustaa vuodessa.

Junavälin laskemisessa on käytetty niin sanottua varausaikateoriaa (engl. Blocking ti-me method). Samaa laskentametodia hyödynnetään myös esimerkiksi OpenTrack-simulointiohjelmassa junien varausaikojen ja junavälin laskennassa, mutta vieläkin tarkemmin kuin tässä työssä tehdyissä yksinkertaistetuissa laskemisissa. Varausaikateoria perustuu varausajan laskentaan, toisin sanoen jokaiselle kulkutielle määritellään aika, jonka se on varattu tietyn junan kululle ja näin ollen suljettu muulta junaliikenteeltä. Varausaika koostuu seuraavista aikaintervalleista (kuva 16):

- Aika, joka kuluu opastimen vapauttamiseen
- Kuljettajan käyttämä aika opastimen tarkkailuun
- Aika, joka kuluu junan lähestyessä opastinta
- Ajoaika opastinten välillä
- Aika, joka kuluu opastinvälin vapauttamiseen
- Opastimen vapauttamiseen kuluva aika



Kuva 16. Junavälin määrittäminen ja kulkutien varausaika (Pachl 2008).

Varausajan määrittämisessä on otettu huomioon myös junien kiihtyvyys ja hidastuvuus, sekä pysähtyykö juna asemalla vai ajaako ohi.

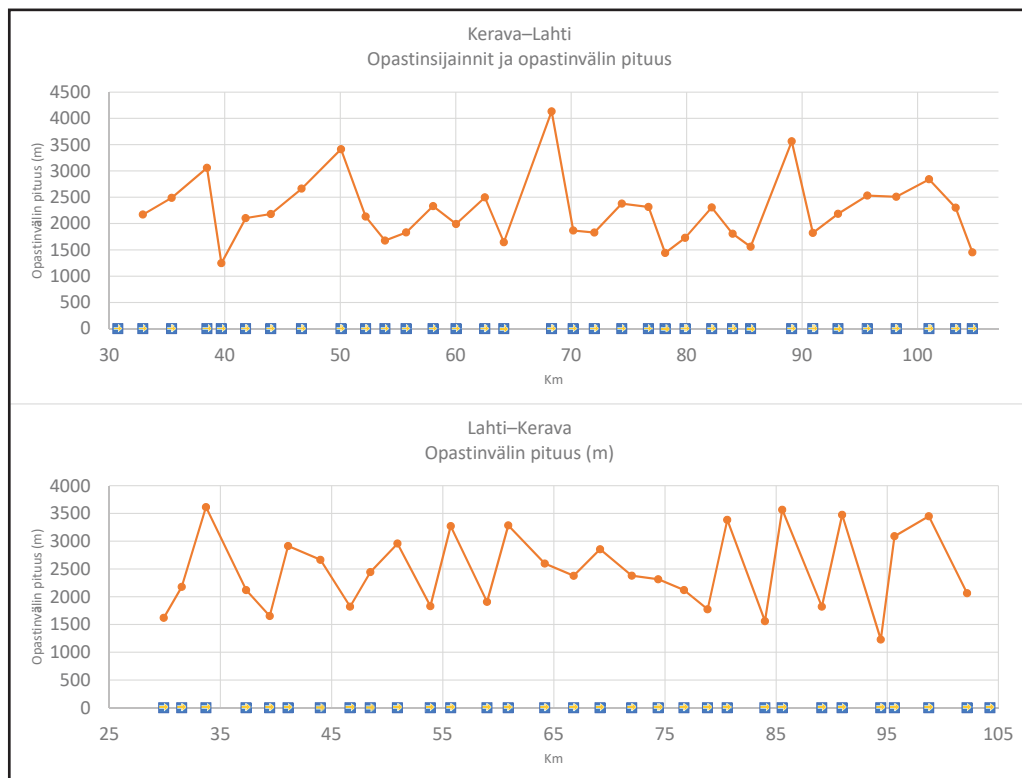
ERTMS/ETCS-tasolla 1 junavälin määrittäminen tapahtuu samalla tavalla kuin perinteisessä junankulunvalvonnassa eli fyysisten näkyvien opastimien avulla. Yleisesti ottaen junien jarrutusmatkat ovat hieman pidempiä kuin nykyisessä JKV-järjestelmässä. Näin ollen junaväli on myös pidempi. ERTMS/ETCS-tasolla 2 ei välttämättä ole näkyviä opastimia ja esimerkiksi junan jarrukäyrä päivitetään jatkuvatoimisesti, minkä vuoksi junaväli voi olla lyhyempi kuin tasolla 1. Radiosuojastuskeskuksesta ja muusta tiedonsiirrosta aiheutuva viive lisätään varausaikaan.

Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollista laskea jarrukäyriä kaikille junatyypeille, joita liikennöi Kerava–Lahti ja Riihimäki–Tampere väleillä, joten laskelmat on yksinkertaistettu kattamaan vain kolme junatyyppiä: IC-juna (pituus 177 metriä, paino 462 tonnia, maksiminopeus 200 km/h ja jarrupainoprosentti 135,1), tavarajuna (pituus 515 metriä, paino 2006 tonnia, maksiminopeus 90 km/h ja jarrupainoprosentti 53,8) ja Pendolino (pituus 159 metriä, paino 328 tonnia, maksiminopeus 220 km/h ja jarrupainoprosentti 138). Työssä osoittautui haasteelliseksi saada luotettavia lähtötietoja Pendolinon jarrukäyrän laskentaan, ja tästä syystä sille on laskettu sekä gamma- että lambdajunien jarrukäyrät.

## 6.2 Kerava–Lahti

### 6.2.1 Lähtötiedot

Tärkeimmät lähtötiedot junan varausajan ja junavälin määrittämiseen ovat junan nopeusprofiili, kaluston ja radan ominaisuuksiin perustuva jarrukäyrä sekä opastinvälin pituus. Maksiminopeus Kerava–Lahti-välillä on 220 km/h. Jarrukäyrät on laskettu ERAn työkalulla kuten kuvattu luvussa 5.1. Opastinsijainnit ja opastinvälien pituudet on esitetty kuvassa 17 molempiin suuntiin (Lahti–Kerava suunta alkaa noin km 104).



Kuva 17. Opastinvälien sijainti ja pituus Kerava–Lahti välillä molempiin suuntiin.

## 6.2.2 Tulokset

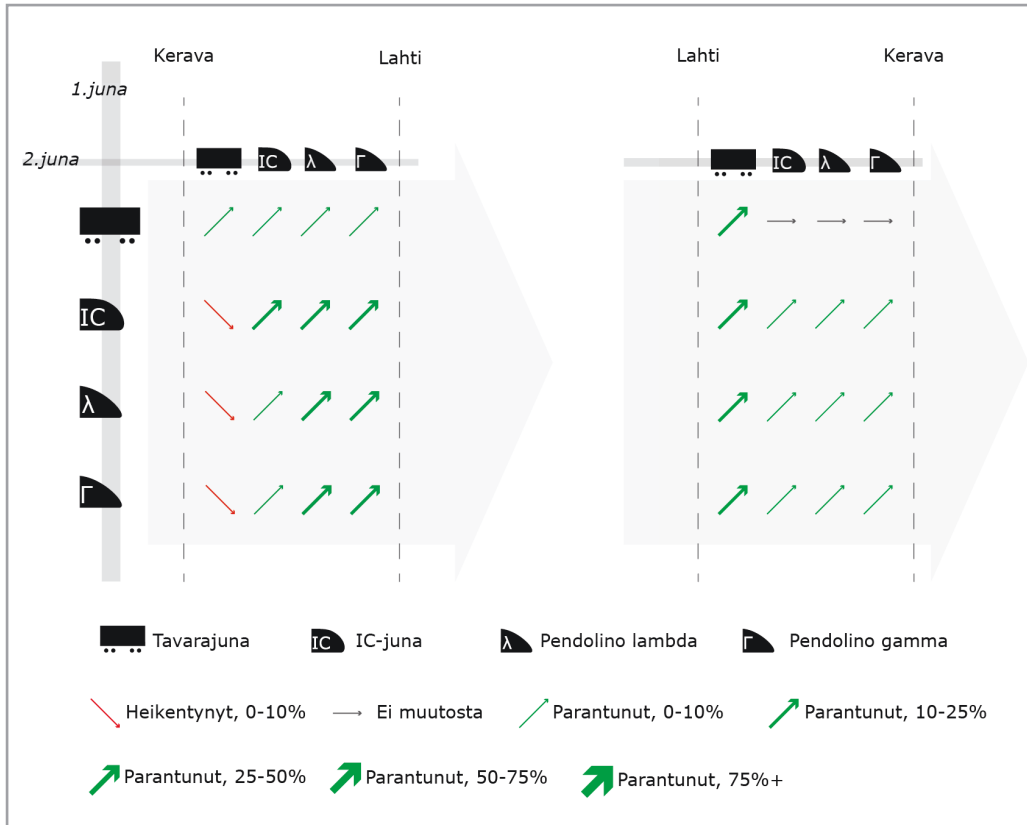
Tapaustutkimuksessa käytetyssä aikataulussa Kerava–Lahti välillä ei ole ohituksia, joten koko rataosaa on tarkasteltu yhtenä kokonaisuutena. Keskimääräinen parannus junaväleissä on esitetty molempiin suuntiin taulukoissa 7 ja 8. Tuloksista on nähtävissä, että opastinvälit sopivat varsin hyvin junien jarrutusmatkoihin, eikä ERTMS/ETCS-taso 2 tarjoa merkittäviä parannuksia junaväliin ja kapasiteettiin verrattuna tasoon 1. Joissakin tapauksissa ERTMS/ETCS-taso 1 tarjoaa jopa lyhyemmän junavälin kuin ERTMS/ETCS-taso 2. Eroja junaväliaikojen välillä eri junatyyppeyhdistelmillä on havainnollistettu kuvassa 18.

Taulukko 7. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Kerava–Lahti (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	19	4%	39	2%	36	2%	41	2%
IC-juna	-2	-2%	39	14%	36	12%	41	13%
Pendolino lambda	-2	-1%	14	6%	36	14%	41	16%
Pendolino gamma	-2	-1%	14	6%	36	14%	41	16%

Taulukko 8. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Lahti–Kerava (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	52	11%	5	0%	4	0%	9	0%
IC-juna	24	18%	5	2%	4	1%	9	3%
Pendolino lambda	43	20%	22	9%	12	5%	9	4%
Pendolino gamma	43	20%	22	9%	12	5%	9	4%



Kuva 18. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä rataosalla Kerava–Lahti ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä.

Keskimääräisiä junaväliaikoja käyttäen työssä tehtiin yksinkertainen tarkastelu, jossa tutkittiin millaisia eroja ERTMS/ETCS-tasolla 1 ja 2 on kapasiteetin käyttöasteeseen. Tarkastelun pohjana käytettiin nykyistä aikataulua, josta otettiin eri junatyyppien välinen järjestys kahden tunnin ajanjaksolle. Eri junatyyppien välisen järjestyksen avulla määritettiin kapasiteetin käyttöaste pohjautuen junaväliaikaan ja ajoaikaeroihin. Koska työssä on laskettu jarrukäyrät vain kolmelle junatyypille eikä esimerkiksi taajamajunia ja eri tavarajunatyyppejä ole voitu ottaa huomioon, täytyy tuloksiin suhtautua varauksella. Pendolinojen osalta on käytetty gamma-junien tuloksia. Tulosten perusteella ERTMS/ETCS-taso 2 ei pienennä kapasiteetin käyttöastetta merkittävästi verrattuna tasoon 1 Kerava–Lahti-välillä (taulukko 9). Tämä on samassa linjassa aiemmin todettujen tuloksien kanssa, joiden mukaan junien jarrutusmatkat sopivat hyvin opastinväleihin. Lisäksi eri junatyyppien ajoaikaerot vaikuttavat merkittävästi kapasiteetin käyttöasteeseen, eikä valitulla ERTMS/ETCS-tasolla ole vaikutusta tähän.

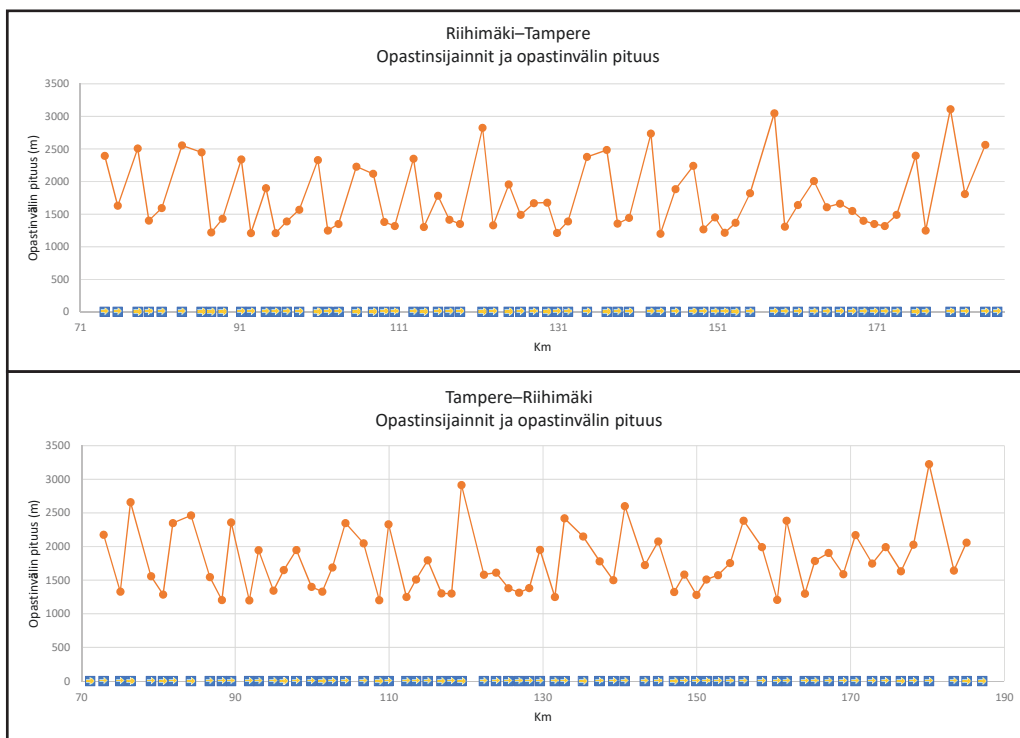
Taulukko 9. Yksinkertaistettu arvio kapasiteetin käyttöasteen parannuksesta ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 Kerava–Lahti-välillä (kahden tunnin ajanjakso).

	Kapasiteetin käyttöaste (%)		
	Taso 1	Taso 2	Muutos
Kerava-Lahti	61%	59%	2%
Lahti-Kerava	43%	42%	1%

## 6.3 Riihimäki–Tampere

### 6.3.1 Lähtötiedot

Maksiminopeus Riihimäki–Tampere välillä on 200 km/h, mutta tästä on lukuisia poikkeuksia muun muassa raidegeometriasta johtuen. Laskelmien lähtötietona käytetty nopeusprofiili perustuu rataosan nykyiseen nopeusrajoitukseen, joka on tarkistettu rataosan nopeuskaaviosta. Nopeusrajoituksissa ei ole otettu huomioon radan kunnosta johtuvia nopeusrajoituksia. Jarrukäyrät on laskettu ERAn työkalulla kuten kuvattu luvussa 5.1. Opastinsijainnit ja opastinvälien pituudet on esitetty kuvassa 19 molempiin suuntiin (Tampere–Riihimäki suunta alkaa noin km 187).



Kuva 19. Opastinväljen sijainti ja pituus Riihimäki–Tampere välillä molempiin suuntiin.

### 6.3.2 Tulokset

Junavälien selvittämiseksi Riihimäki–Tampere on jaettu neljään rataosuuteen ohituspaikkojen perusteella. Riihimäki–Tampere-suunnan väli on jaettu seuraaviin osuuksiin:

- Riihimäki–Turenki
- Turenki–Parola
- Parola–Toijala
- Toijala–Tampere

Tampere–Riihimäki suunnan väli on jaettu kolmeen osuuteen ohituspaikkojen perusteella:

- Tampere–Toijala
- Toijala–Hämeenlinna
- Hämeenlinna–Riihimäki

Keskimääräinen parannus junaväleissä on esitetty molempiin suuntiin taulukoissa 10-16. Parannus junavälissä ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 vaihtelee todella paljon riippuen siitä, kuinka hyvin jarrutusmatka sopii opastinväleihin ERTMS/ETCS-tasolla 1. Mikäli jarrutusmatka sopii täydellisesti, voi taso 1 lyhentää junaväliä parilla sekunnilla RBC:sta johtuvan viiveen vuoksi verrattuna tasoon 2. Toisaalta taas äärimmäisissä tapauksissa, joissa jarrutusmatka sopii todella huonosti opastinväliin, lyhentää taso 2 junaväliä huomattavasti. Näin on esimerkiksi Parola–Toijala välillä, jossa esimerkiksi kahden Pendolino välisessä junavälissä on todella iso ero tason 1 ja 2 välillä, joskin käytännössä kaksi Pendolino ei usein aja peräkkäin normaalissa aikataulussa. Peräkkäin ajamista voi esiintyä kuitenkin häiriötilanteissa, jolloin saatu hyöty on selkeä. Eroja junaväliaikojen välillä eri junatyypiyhdistelmillä on havainnollistettu kuvissa 20 ja 21.

*Taulukko 10. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Riihimäki–Turenki (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).*

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	-2	-1%	10	1%	8	1%	22	3%
IC-juna	-2	-2%	33	19%	24	15%	22	15%
Pendolino lambda	5	3%	24	11%	41	20%	49	24%
Pendolino gamma	5	3%	24	11%	41	20%	49	24%

*Taulukko 11. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Turenki–Parola (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).*

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	53	14%	32	5%	25	3%	38	5%
IC-juna	20	28%	31	9%	20	6%	33	9%
Pendolino lambda	6	14%	47	26%	31	17%	212	61%
Pendolino gamma	6	14%	47	26%	31	17%	212	61%

Taulukko 12. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Parola–Toijala (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	29	8%	13	1%	48	4%	9	1%
IC-juna	64	55%	13	6%	286	48%	325	52%
Pendolino lambda	55	57%	10	8%	460	78%	499	81%
Pendolino gamma	55	57%	10	8%	460	78%	499	81%

Taulukko 13. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Toijala–Tampere (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	70	18%	36	3%	14	1%	28	2%
IC-juna	20	19%	36	14%	106	24%	28	8%
Pendolino lambda	18	27%	36	26%	185	45%	28	12%
Pendolino gamma	18	27%	36	26%	185	45%	28	12%

Taulukko 14. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Tampere–Toijala (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

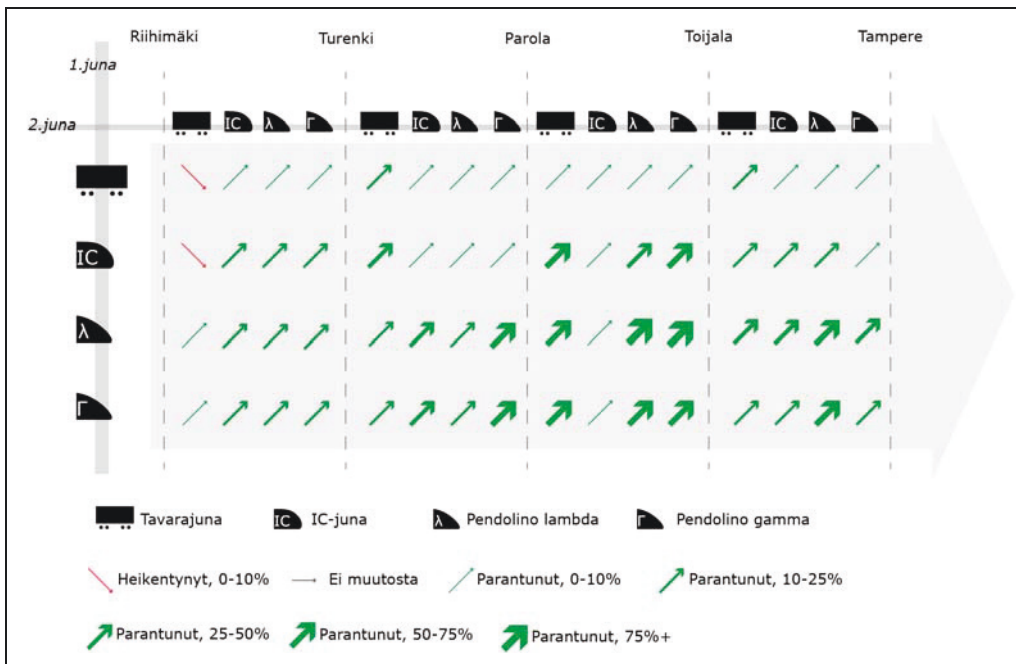
Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	17	4%	20	2%	20	2%	3	0%
IC-juna	37	20%	20	8%	20	7%	3	1%
Pendolino lambda	57	25%	60	24%	67	27%	64	27%
Pendolino gamma	57	25%	60	24%	67	27%	64	27%

Taulukko 15. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Toijala–Hämeenlinna (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

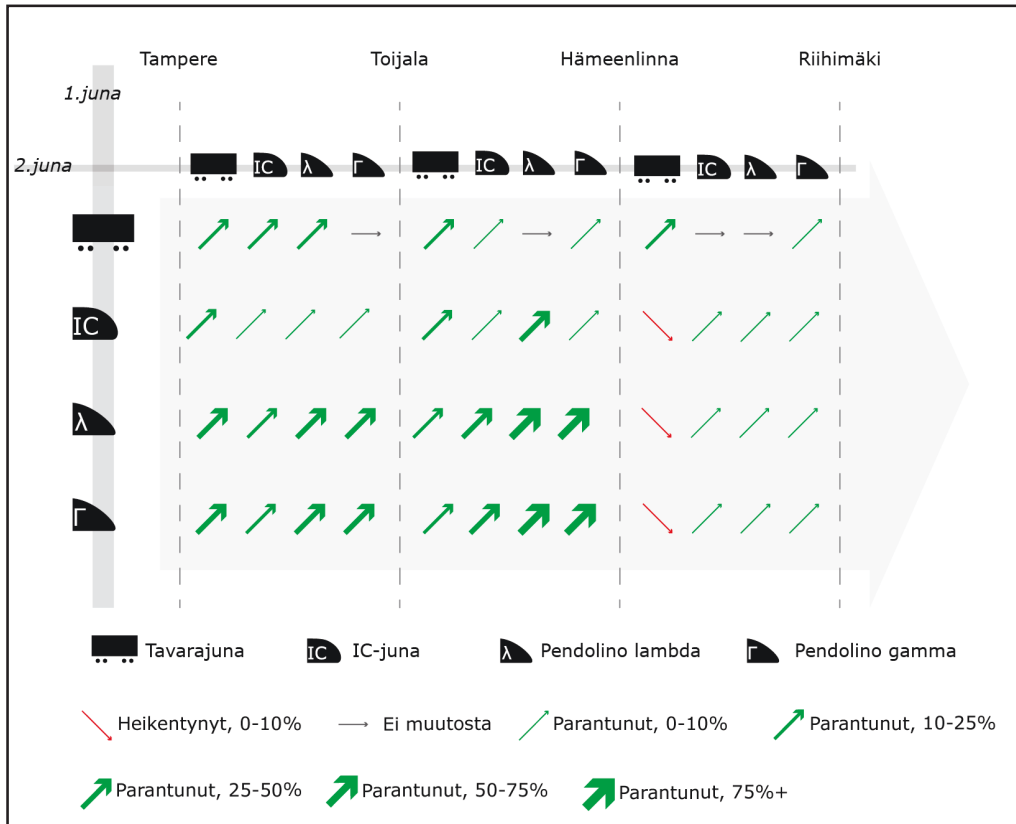
Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	48	12%	24	2%	4	0%	22	2%
IC-juna	27	20%	24	10%	162	30%	22	6%
Pendolino lambda	14	17%	34	29%	347	69%	196	59%
Pendolino gamma	14	17%	34	29%	347	69%	196	59%

Taulukko 16. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä sekunteina ja prosentteina ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri junayhdistelmillä välillä Hämeenlinna–Riihimäki (1. juna y-akselilla ja 2. juna x-akselilla).

Juna 1 / juna 2	Tavarajuna		IC-juna		Pendolino lambda		Pendolino gamma	
	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)	(s)	(%)
Tavarajuna	47	13%	3	0%	3	0%	16	1%
IC-juna	-2	-2%	12	3%	12	3%	26	7%
Pendolino lambda	-2	-2%	12	4%	12	3%	26	7%
Pendolino gamma	-2	-2%	12	4%	12	3%	26	7%



Kuva 20. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä rataosalla Riihimäki–Tampere ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri juna-yhdistelmillä.



Kuva 21. Keskimääräinen parannus maksimijunavälissä rataosalla Tampere–Riihimäki ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 eri juna-yhdistelmillä.



ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 vaikutuksia kapasiteetin käyttöasteeseen tutkittiin myös Riihimäki–Tampere-välillä. Vastaavalla tavalla kuin Kerava–Lahti välillä, otettiin tarkastelun pohjaksi nykyinen juna-aikataulu kahden tunnin ajanjaksolta. Aikataulun perusteella määritettiin eri junatyypin välinen järjestys ja laskettiin kapasiteetin käyttöaste pohjautuen junaväliaikaan ja ajoaikaeroihin. Tässä työssä on laskettu jarrukäyrät vain kolmelle eri junatyypille, sillä kaikkien junatyypin jarrukäyrien laskeminen on hyvin aikaa vievää ja vaatii valtavasti lähtötietoja. Tämä asettaa rajoituksia ja tuo epävarmuutta kapasiteetin käyttöasteen laskentaan. Tämän työn kannalta olennaista on ollut kuitenkin vain vertailla ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 vaikutuksia kapasiteetin käyttöasteeseen. Tulosten perusteella ERTMS/ETCS-taso 2 pienentää kapasiteetin käyttöastetta 10 prosenttia Parola–Toijala osuudella, mutta muutoin parannus kapasiteetin käyttöasteessa on vain muutaman prosentin luokkaa (taulukko 17). Tämä on selitettävissä sillä, että junamäärä on varsin vähäinen ja eri junatyypeillä on suuria nopeuseroja tällä rataosuudella. Tällaisessa tapauksessa junien suuret nopeuserot nousevat määrittäväksi tekijäksi, eikä ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatava parannus junaväliajassa paranna merkittävästi kapasiteetin käyttöastetta.

*Taulukko 17. Yksinkertaistettu arvio kapasiteetin käyttöasteen parannuksesta ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 Riihimäki–Tampere välillä (kahden tunnin ajanjakso).*

	Kapasiteetin käyttöaste (%)		
	Taso 1	Taso 2	Muutos
Riihimäki-Turenki	45%	44%	1%
Turenki-Parola	46%	43%	3%
Parola-Toijala	59%	49%	10%
Toijala-Tampere	50%	47%	3%
Tampere-Toijala	41%	39%	2%
Toijala-Hämeenlinna	56%	54%	2%
Hämeenlinna-Riihimäki	60%	59%	1%

## 7 ERTMS-järjestelmän rakentamiskustannuksia

ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 kustannuksia vertailtiin yleisellä tasolla infrastruktuuri-parannuksien aiheuttamiin kustannuksiin. ERTMS/ETCS-tason 1 aiheuttamia kustannuksia on käsitelty Liikenneviraston julkaisussa ”Konkretiaa eurooppalaisen junienkulunvalvonnan käyttöönottoon rataverkolla ja vetävässä kalustossa” (Liikennevirasto 2014). Karkeat arviot ERTMS/ETCS-tason 1 kustannuksista Riihimäki–Tampere- ja Kerava–Lahti-rataosille on esitetty taulukoissa 18 ja 19.

Taulukko 18. ERTMS/ETCS-tason 1 kustannuksia Riihimäki–Tampere-rataosalle Liikenneviraston esittämiin kustannuksiin perustuen (Liikennevirasto 2014).

Rataosuus	Raide-km	Opastinpisteet	Kustannukset (v. 2025) *
Riihimäki– Hämeenlinna	77,6	93	5 000 000
Hämeenlinna – Toijala	79,6	106	5 700 000
Toijala–Tampere	73,2	94	5 100 000
Hämeenlinna	7	20	1 100 000
Toijala	10	31	1 700 000
<b>Riihimäki–Tampere</b>	<b>247</b>	<b>344</b>	<b>18 600 000</b>

\* yksikköhinta 54100 €/ opastinpiste, hinta vuoden 2025 tasossa sisältää asennuksen, kaapeloinnin, tarkastukset, varaosavarausten, koeajot ja hanketehtävät 34,5 prosenttia (Liikennevirasto 2014)

Taulukko 19. ERTMS/ETCS-tason 1 kustannuksia Kerava–Hakosilta-rataosalle Liikenneviraston esittämiin kustannuksiin perustuen (Liikennevirasto 2014).

Rataosuus	Raide-km	Opastinpisteet	Kustannukset (v. 2025) *
<b>Kerava–Hakosilta</b>	<b>129,8</b>	<b>134</b>	<b>7 200 000</b>

\* yksikköhinta 54100 €/ opastinpiste, hinta vuoden 2025 tasossa sisältää asennuksen, kaapeloinnin, tarkastukset, varaosavarausten, koeajot ja hanketehtävät 34,5 prosenttia (Liikennevirasto 2014)

UIC on luokitellut ERTMS:n aiheuttamia kustannuksia tasoilla 1 ja 2 (UIC 2011). Kustannuksien luokittelu on esitetty taulukossa 20. Kustannukset Riihimäki–Tampere- ja Kerava–Lahti-rataosille on esitetty taulukoissa 21 ja 22.

Taulukko 20. UIC:n laskemia kustannuksia ERTMS/ETCS-tasoille 1 ja 2 (UIC 2011).

Kustannustyyppi	ETCS-taso 1	ETCS-taso 2
	€/km kaksoisraide	€/km kaksoisraide
Tutkimus ja kehitys	20 000	85 000
Investointi*	90 000	355 000
Liikennöinti ja ylläpito	15 000	155 000

\* sisältää RBC:n ERTMS/ETCS-tasolla 2

Taulukko 21. ERTMS/ETCS-tason 1 kustannuksia Riihimäki–Tampere- ja Kerava–Hakosilta-rataosille perustuen UIC:n laskemiin kustannuksiin (UIC 2011) perustuen.

Rataosuus	Raide-km	Rata-km kaksoisraidetta	Kustannukset € (v. 2025) *
Riihimäki–Tampere	247	123,5	14 900 000
Kerava–Hakosilta	129,8	64,9	7 800 000

Taulukko 22. ERTMS/ETCS-tason 2 kustannuksia Riihimäki–Tampere- ja Kerava–Hakosilta-rataosille UIC:n laskemiin kustannuksiin (UIC 2011) perustuen.

Rataosuus	Raide-km	Rata-km kaksoisraidetta	Kustannukset € (v. 2025) *
Riihimäki–Tampere	247	123,5	59 000 000
Kerava–Hakosilta	129,8	64,9	31 000 000

UIC:n laskemiin kustannuksiin perustuen ERTMS/ETCS-tason 2 hinta on noin nelinkertainen tasoon 1 verrattuna. Edellä esitetyissä laskemissa ei ole otettu huomioon esimerkiksi kalustoon liittyviä ERTMS-kustannuksia.

Euroopan tilintarkastustuomioistuimen raportissa ”Yhtenäinen Euroopan rautatieliikenteen hallintajärjestelmä: toteutuuko poliittinen päätös koskaan käytännössä?” (2017) on arvioitu, että pelkästään ERTMS/ETCS-radanvarsilaitteistojen käyttöönottokustannukset voivat vaihdella 100 000 – 350 000 €/km. Kokonaiskustannukset ovat kuitenkin tätä suuremmat, sillä ERTMS:n käyttöönottoon liittyy lukuisia oheisurakoita. Raportissa on todettu, että ERTMS:n käyttöönoton kokonaiskustannukset radanvarressa ovat olleet Tanskassa ja Alankomaissa keskimäärin 1,44 M€/km. Tässä arvioissa on tärkeää ottaa huomioon, että esimerkiksi Tanskassa on ERTMS:n myötä uusittu koko turvalaittejärjestelmä, eikä vain päivitetty sitä ERTMS:n kannalta tarvittavien asioiden osalta.

Norjan rautatievirasto Bane NOR on maaliskuussa 2018 päättänyt ERTMS/ETCS-ratkaisujen kilpailutuksen. ERTMS/ETCS-tason 2 radanvarsilaitteistojen ja uusien asenlaitteiden kokonaiskustannus on 860 miljoonaa euroa (RailwayPro 2018). Näin ollen keskimääräinen kustannus raidekilometriä kohden on noin 200 000 €/km. Norjan ERTMS-urakan kokonaishinta on noin 2 miljardia euroa sisältäen myös liikenteenohjausjärjestelmän ja veturilaitetoimituksen. Norjan rautatievirasto pystyy laite-toimituksissa hyödyntämään osittain omia asentajia, mikä alentaa hankinnan kustannuksia verrattuna maihin, joissa laitetoimittajat tekevät kaikki asennukset.

ERTMS-kustannusten laskentaan liittyy vielä varsin paljon epävarmuutta, joten tässä raportissa esitettiin arvioihin täytyy suhtautua varauksella. Kustannusten suuruus riippuu paljolti valitusta toteutustavasta, josta Suomessa ei ole tehty vielä sitovia päätöksiä.

Vertailupohjaksi ERTMS-järjestelmän kustannuksiin, on tässä tuotu esille eri infrastruktuuriparannusten kustannuksia. Riihimäki–Tampere-välin tarveselvityksessä on arvioitu eri infrastruktuuriparannusten kustannuksia nykyisessä JKV-järjestelmässä, ja minkälaisia lisäyksiä junatarjontaan eri parannushankkeet mahdollistavat. Tuloksia on esitetty taulukossa 23. Riihimäki–Tampere-välin tarveselvityksessä laskettujen kustannuksien perusteella lisäraiteen rakentaminen maksaa noin 5 M€/km. Tähän hintaan suhteutettuna lisäraiteen rakentaminen Kerava–Lahti-välille maksaisi noin 360 M€.

Taulukko 23. *Infrastruktuuriparannusten hinta ja vaikutus kapasiteettiin Riihimäki–Tampere-rataosalla (Liikennevirasto 2018).*

Infraparannus	Riihimäki– Tampere, kustannus Milj. €	Lisäys matkustajajunatarjontaan (tällä hetkellä kaksi kaukojuna tunneittain suuntaansa)
Uudet ohituspaikat	30	3. kaukojuna yksittäisille ruuhkatunneille
Kolmas raide Riihimäki– Toijala	370	3. kaukojuna kaikille ruuhkatunneille
Kolmas raide koko matkalle	550	3. kaukojuna kaikille tunneille, ruuhkatunneille lähijuna Tampere– Lempäälä
Kolmas raide koko matkalle ja 4. raide Lempäälä– Tampere	655	4. kaukojuna, tunneittainen lähijuna Tampere–Lempäälä

Alankomaissa on selvitetty ERTMS-järjestelmän hyötyjä ja kustannuksia, ja tuloksia on esitelty julkaisussa ”Social Cost Benefit Analysis of implementation strategies for ERTMS in the Netherlands” (Dutch Ministry of Transport, 2010). ERTMS-järjestelmän hyödyt ja kustannukset eivät jakaudu tasaisesti infrastruktuurin omistajan ja liikennöitsijöiden välillä. Investointi- ja ylläpitokustannukset jakautuvat molemmille, mutta hyödyt ovat osittain vaikeasti ennustettavissa ja kvantifioitavissa. Liikennöitsijöiden saamia hyötyjä ovat muun muassa mahdolliset lipputulojen lisäykset kapasiteetin ja täsmällisyyden parantumisen sekä lyhyempien matka-aikojen myötä. ERTMS-järjestelmän arvioidaan tuovan myös energiansäästöjä. Infrastruktuurin omistajan saamia hyötyjä on muun muassa liikenneturvallisuuden parantuminen. ERTMS/ETCS-tasolla 2 käytettävää GSM-R-verkkoa voidaan myös hyödyntää muussa tietoliikenteessä kuin suoranaisesti ERTMS:ään liittyvässä tiedonvälityksessä.

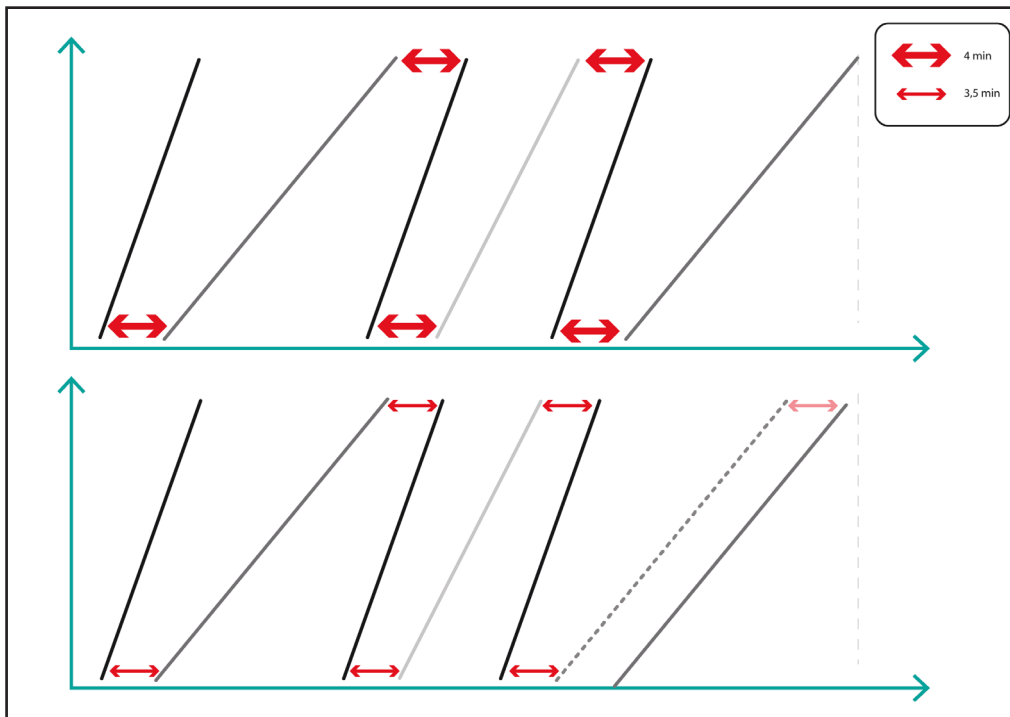
Tärkeänä ERTMS/ETCS-tason 2 lisäkustannusajurina tasoon 1 nähden on yhteentoimiva dataradioverkko (nykyisin GSM-R-verkko) tai sen seuraajaverkkoteknologia, jonka teknispoliittista ratkaisua edistetään UIC:n FRMCS-projektissa (engl. Future Railway Mobile Communication System) ja ERAn EVORA-ohjelmalla (engl. ERA Evolution of Railway Radio Communication). Noin vuonna 2020 Euroopan unionissa päätetään, täytyykö rautateille varata omat taajuuskaistansa ja rakentaa palvelunlaadultaan korkeatasoiset yhteentoimivat rautateiden erilliset dataradiotiedonsiirtoverkot vain raideliikennettä varten, vai voidaanko tämä dataradioliikenne hoitaa verkkovierailuilla muissa kaupallisissa verkoissa, kuten 5G-verkoissa. Taajuuskaistojen varaaaminen vain rautatiekäyttöön lisää rautateiden erillisten dataradiotiedonsiirtoverkkojen investointikustannuksia, joten päätöksellä on vaikutuksensa jatkuvatoimisen junien kulunvalvonnan yhteiskuntataloudelliseen kannattavuuteen.

Toinen merkittävä lisäkustannusajuri ERTMS/ETCS-tasolla 2 verrattuna tasoon 1 ovat asetinlaitteisiin liitettävät radiosuojastuskeskukset ja niiden edellyttämä ennenaikainen asetinlaitteiden uusiminen. Radiosuojastuskeskusta ei ole teknistaloudellisesti kannattavaa hankkia olemassa oleviin asetinlaitteisiin, vaan käytännössä sekä radiosuojastuskeskus että asetinlaite on hankittava samalla hankinnalla samalta toimittajalta. Radiosuojastuskeskusten alueiden on oltava riittävän suuria, ja sekä niiden että asetinlaitteiden kokonaisuus on suunniteltava yhdessä. Sekä Tanskassa että Norjassa on tämän vuoksi päätetty toteuttaa yhdellä tai kahdella suurhankinnalla koko valtion rataverkon kattavat ERTMS/ETCS-tason 2 junien kulunvalvonnan investoinnit ja asetinlaitteiden uusimisinvestoinnit, joiden kokonaiskustannukset ovat kussakin maassa suuruusluokaltaan 2–3 mrd. euroa. Tällainen suurinvestointi edellyttää pitkäjänteistä rahoitusratkaisua ja se on taloudellista ainoastaan silloin, kun asetinlaitteiden asennettu kanta on riittävän vanhaa ja joka tapauksessa uusimisiässä, kuten on erityisesti Tanskassa.

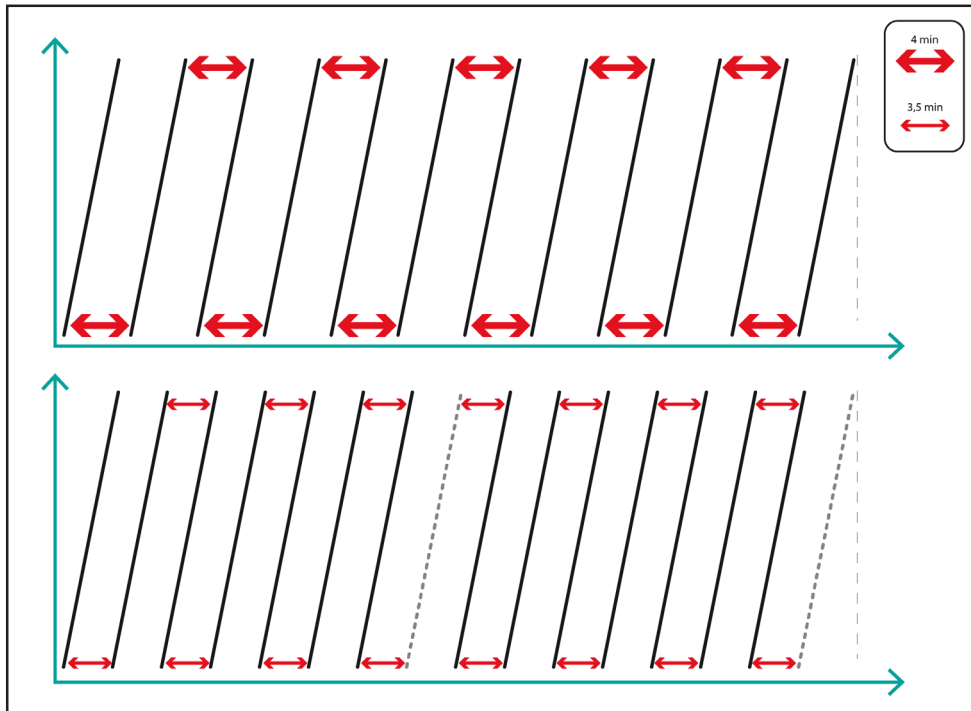
## 8 Mahdollisuudet junamäärän lisäämiseen ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmällä

Työssä saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida, että ERTMS/ETCS-taso 2 ei lisää riittävästi kapasiteettia esimerkiksi Riihimäki–Tampere-rataosalla, vaan rataosalla täytyy investoida infrastruktuuriparannuksiin riittävän kapasiteetin turvaamiseksi tulevaisuudessa. Tässä yhteydessä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että mikäli Riihimäki–Tampere-välille rakennettaisiin kolmas raide, jota tavaraliikenne siirtyisi käyttämään, olisi liikenne sen jälkeen paljon homogeenisempaa. Näin ollen myös ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatavat kapasiteettihyödyt olisivat todennäköisesti suurempia kuin nykyisessä tilanteessa. Yksinkertaistetusti voidaan arvioida, että mikäli ERTMS/ETCS-taso 2 pienentää kapasiteetin käyttöastetta 10 prosenttia rataosalla, jossa kulkee 6–7 junaa kahdessa tunnissa, voitaisiin rataosalle lisätä yksi juna joka neljäs tunti olettaen, että aikataulurakenne olisi sama. Lisättävän juna tulisi olla esimerkiksi IC-juna, joka kulkisi samaa tai lähes samaa nopeutta kulkevan junan edellä tai perässä. Lisäksi ERTMS/ETCS-tasolla 2 on helpompaa ja halvempaa optimoida opastinvälejä, mikä todennäköisesti johtaisi jopa suurempiin kapasiteettiparannuksiin.

ERTMS/ETCS-tason 2 ratakapasiteettiin liittyvät hyödyt ovat vahvasti riippuvaisia tarkasteltavasta rataosasta. Yleisesti ottaen ERTMS/ETCS-tason 2 kapasiteettihyödyt ovat sitä suurempia mitä homogeenisempaa liikenne on. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty teoreettinen esimerkki, miten junamäärää on mahdollista kasvattaa minimijunaväliä pienentämällä sekä heterogeenisessä että homogeenisessä liikenteessä.



Kuva 22. Mahdollisuus junamäärän kasvattamiseen minimijunaväliä pienentämällä heterogeenisessä liikenteessä.



Kuva 23. Mahdollisuus junamäärän kasvattamiseen minimijunaväliä pienentämällä homogeenisessä liikenteessä.

Heterogeenisessä liikenteessä minimijunavälin tihentäminen ei mahdollista helposti junamäärän lisäämistä junien nopeuserosta johtuen. Mahdollisesti lisättävät junat sopivat lisäksi liikennerakenteeseen huonosti, sillä tällöin kaksi saman nopeusprofiilin junaa joutuvat ajamaan peräkkäin ja mahdollisesta vakiominuuttiaikataulusta, jossa junat kulkevat joka tunti samoilla minuuteilla, joudutaan luopumaan.

Paras kapasiteettihyöty ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmästä on mahdollista saada, kun junatiheys on suuri ja junat liikennöivät mahdollisimman samalla nopeudella. Suomessa tällaista liikennettä on erityisesti Helsingin seudun kaupunkiradoilla eli Leppävaaran ja Keravan kaupunkiradoilla sekä Kehäradalla. Samoin pääradalla Helsingin ja Keravan välillä tason 2 järjestelmästä olisi todennäköisesti saatavissa kapasiteettihyötyjä. Näillä radoilla on kuitenkin ratkaistava ongelma GSM-R-verkon kapasiteetin suhteen Helsingin asemalla. Toisaalta, ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmä ei todennäköisesti Suomessa perustuisi GSM-R-verkkoon, joten tietoliikenneverkon kapasiteettiin liittyvää ongelmaa ei välttämättä esiintyisi.

Selvityksessä on keskitytty kaksiraiteisten rataosien kapasiteettihyötyihin. Hyötyjä on saatavissa myös yksiraiteisilla rataosilla, esimerkiksi nopeiden peräänlähtöjen ansiosta. ERTMS-hyödyt eivät ole pelkästään ratakapasiteettiin liittyviä, eivätkä välttämättä kvantiteettisesti mitattavissa. Ratakapasiteetin parannuksen lisäksi ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatavia hyötyjä tasoon 1 verrattuna ovat muun muassa:

- Hätätilanteessa pysähtymiskomento voidaan lähettää samanaikaisesti kaikille samalla alueella liikkuville junille ilman viivettä
- Nopeusrajoitukset poikkeustilanteissa voidaan lähettää nopeammin radioverkon kautta ilman baliisien koodausta ja asennusta maastoon
- Opastinvälien optimointi on helpompaa ja halvempaa tasolla 2
- Yleisesti ottaen parempia mahdollisuuksia liikenteen hallintaan, muun muassa niin sanotun vihreän nopeuden käyttö energian säästämiseksi
- Tasolla 2 on vähemmän häiriötilanteita rakentamistilanteessa, sillä vanha järjestelmä voidaan pitää samanaikaisesti käytössä
- RBC:n avulla voidaan luoda yksilöllisiä kulkuteitä junille

## 9 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä on tutkittu ERTMS/ETCS-tasolla 2 saavutettavia kapasiteettihyötyjä verrattuna tasoon 1. Osana selvitystä on tehty kirjallisuuskatsaus hyödyntäen sekä kotimaista että ulkomaista aineistoa aiheesta. Suurin ero ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välillä aiheutuu pistemäisestä (taso 1) ja jatkuvatoimisesta (taso 2) kulunvalvonnasta. Merkittävimpiä tekijöitä ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 kapasiteettierojen tarkastelussa ovat opastinvälit, junien jarrukäyrät, radiosuojastuskeskus ja järjestelmän vasteajat.

Työssä tehdyt kapasiteettitarkastelut on jaettu teoreettisiin laskelmiin ja kahteen tapaututkimukseen. Teoreettisissa laskelmissa on tutkittu ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 eroja ratakapasiteetin kannalta. Laskelmien perusteella ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatavat kapasiteettihyödyt ovat yleisesti ottaen sitä suurempia mitä homogeenisempaa liikenne on, ja mitä pidempiä opastinvälit ovat. Joissakin tapauksissa, joissa opastinväli sopii erittäin hyvin jarrutusmatkan pituuteen, voi ERTMS/ETCS-taso 1 tarjota hieman paremman tai yhtä hyvän ratakapasiteetin. ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 välisiä kapasiteettieroja tutkittiin käytännöllisemmällä tasolla Riihimäki–Tampere- ja Kerava–Lahti-rataosilla. ERTMS/ETCS-tasolla 2 saavutetaan pienempi kapasiteetin käyttöaste molemmilla rataosilla. Erot tasojen 1 ja 2 välillä ovat pääsääntöisesti kuitenkin varsin pieniä, sillä molemmilla rataosilla on erittäin heterogeenista liikennettä, ja junilla on suuria nopeuseroja. Tällaisilla rataosilla junien matka-aikaerot ovat määrittävä tekijä kapasiteetin käyttöasteen laskennassa, eikä ERTMS/ETCS-tason valinnalla ole vaikutusta tähän. Suurin ero kapasiteetin käyttöasteessa on Parola–Toijalaosuudella, jossa ERTMS/ETCS-taso 2 pienentää kapasiteetin käyttöastetta 10 prosenttia verrattuna tasoon 1.

Osana selvitystä on myös vertailtu ERTMS/ETCS-tasojen 1 ja 2 rakentamiskustannuksia karkealla tasolla. Tason 2 rakentamiskustannukset on arvioitu noin neljä kertaa suuremmiksi kuin tason 1. ERTMS/ETCS-taso 2 edellyttää radiosuojastuskeskukseen investoimista, joka taas vaatii myös asetinlaitteiden uusimisen, sillä nykyisiin asetinlaitteisiin ei ole kustannustehokasta rakentaa rajapintoja radiosuojastuskeskukselle. Radiosuojastuskeskuksen ja veturin väliseen tiedonsiirtoon käytetään GSM-R-verkkoa, jota ollaan juuri purkamassa Suomessa. Tällä hetkellä on epäselvää, miten ERTMS/ETCS-tasolla 2 tapahtuva tiedonsiirto järjestetään Euroopassa tulevaisuudessa. Kustannuksiin liittyy siis paljon epävarmuutta ennen kuin tarkempia Euroopan unionin päätöksiä käytettävästä tekniikasta on tehty.

Vertailupohjana ERTMS-kustannuksiin voidaan todeta, että kolmannen raiteen rakentaminen välille Riihimäki–Tampere olisi kustannuksiltaan noin kymmenkertainen verrattuna ERTMS/ETCS-tason 2 rakentamiskustannuksiin kyseisellä välillä. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella investoiminen ERTMS/ETCS-tasoon 2 ei kuitenkaan takaisi riittävää ratakapasiteettia Riihimäki–Tampere-välille tulevaisuuden liikennöintitarpeita varten, vaan riittävän kapasiteetin turvaamiseksi tarvitaan rataosalle infrastruktuuriparannuksia.

Tulosten perusteella ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatavat kapasiteettihyödyt ovat suurimpia pitkillä opastinväleillä ja yleisesti ottaen rataosilla, joissa junien jarrutusmatkat sopivat huonosti opastinväleihin. Koska tasolla 2 ei tarvita fyysisiä opastimia radanvarressa, on opastinvälien optimointi myös helpompaa ja halvempaa. ERTMS/ETCS-tasosta 2 saatavat hyödyt ovat myös yleisesti ottaen suurempia homogeenisessa liikenteessä, jolloin minimijunaväli määrittelee kapasiteetin käyttöasteen, eikä junien matka-ajoilla ole suurta merkitystä.



## Kirjallisuusluettelo

Abril et al. 2008. *An assessment of railway capacity*. Transportation Research: Part E.

Banverket 2009. *ERTMS på Västerdalsbanan*.

Barter W. 2010. *ERTMS Level 2: effect on capacity compared with "best practice" conventional signaling*. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 46

Chabanon D. *How capacity issues in large urban commuter networks in Europe are addressed by implementing modern train control systems*

Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. 2010. *Social Cost Benefit Analysis of implementation strategies for ERTMS in the Netherlands*

ERTMS & UNIFE. 2014. *Increasing infrastructure capacity - How ERTMS improves railway performance*.

Euroopan tilintarkastustuomioistuin. 2017. *Yhtenäinen Euroopan rautatieliikenteen hallintajärjestelmä: toteutuuko poliittinen päätös koskaan käytännössä?* Erityiskertomus nro 13/2017

Hicks D. 2004. *Performance modelling for the national ERTMS programme*. IEE.

Hunyadi B. 2011. *Capacity evaluation for ERTMS*. Bombardier

Leppard P. 2012. *Introduction of ERTMS in the UK - a view after our first 12 months*. Ar-riva slides

Leppard P. 2017. *ERTMS level 2 in stations - A look at the ERTMS operational conditions in larger station areas*. BaneBranchen slides.

Liikennevirasto. 2011. *Liikenneolosuhteet 2035. Rautateiden henkilöliikenteen ennustetarkasteluja*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä (32/2011.). Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts\\_2011-32\\_liikenneolosuhteet\\_2035\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2011-32_liikenneolosuhteet_2035_web.pdf). (Viitattu 29.4.2018)

Liikennevirasto. 2012. *Tulevaisuuden junien kulunvalvontajärjestelmän (ERTMS) rajapinnan sovittaminen nykyisiin rautateiden turvalaitteisiin*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä (47/2012). Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts\\_2012-47\\_tulevaisuuden\\_junien\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2012-47_tulevaisuuden_junien_web.pdf) (Viitattu 3.5.2018)

Liikennevirasto. 2014. *Konkretiaa eurooppalaisen junien kulunvalvonnan käyttöönottoon rataverkolla ja vetävässä kalustossa*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä (44/2014). Saatavilla: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2014-44\\_konkretiaa\\_eurooppalaisen\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2014-44_konkretiaa_eurooppalaisen_web.pdf) (Viitattu 3.5.2018)

Liikennevirasto. 2015. *Suomen kansalliset ERTMS/ETCS-parametrit*. Liikenneviraston ohjeita (20/2015). Saatavilla [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2015-20\\_suomen\\_kansalliset\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2015-20_suomen_kansalliset_web.pdf) (Viitattu 3.5.2018)

Liikennevirasto. 2017. *Eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmän (ERTMS/ETCS) käyttöönotto Suomessa. Suomen kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma Euroopan komissioon vuonna 2017*. Liikenneviraston ohjeita (42/2017). Saatavilla [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2017-42\\_ertms\\_kayttoonotto\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-42_ertms_kayttoonotto_web.pdf) (Viitattu 3.5.2018)

Liikennevirasto. 2018. Riihimäki–Tampere-rataosan tarveselvitys. Liikenneviraston suunnitelmia 1/2018. Saatavilla [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2018-01\\_riihimaki-tampere\\_tarveselvitys\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-01_riihimaki-tampere_tarveselvitys_web.pdf) .

Lindström G. 2012. *Is GSM-R the limiting factor for the ERTMS system capacity?* Master thesis, KTH.

Magnarini M. 2010. *Evaluation of ECTS on railway capacity in congested areas: A case study within the network of Stockholm*. Master thesis, KTH.

Magnarini M. 2013. *Railway line capacity consumption of different railway signaling systems under scheduled and disturbed conditions*. Journal of Rail Transport Planning & Management.

Pachl J. 2008. *Railway timetable & Traffic - Analysis, Modelling, Simulation*. Eurailpress

Poré J. 2003. *Migration to ERTMS on Existing Lines*. Advancement of the Science of Railway Signalling: Proceedings 2002/2003.

RailwayPro. 2018. <https://www.railwaypro.com/wp/norway-selects-alstom-and-siemens-for-ertms-contracts/> 22.3.2018

UIC. 2008. *Influence of ETCS on line capacity – Generic study*.

UIC. 2010. *Influence of ETCS on the Capacity of nodes*.

UIC. 2011. *ERTMS Implementations Benchmark, Final Report - February 2011*. UIC, International Union of Railways.

Winter P. 2009. *Compendium on ERTMS, European Rail Traffic Management System*. Eurail press

Wendler E. 2007. *Influence of ETCS on line capacity*. UIC ERTMS World Conference (slides)



ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-317-582-2  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto

