



Teppo Hulkko

ETCS-jarrukäyrien kansalliset arvot Lambda-junille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

18.11.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Teppo Hulkko
Otsikko: ETCS-jarrukäyrien kansalliset arvot Lambda-junille
Sivumäärä: 51 sivua + 2 liitettä
Aika: 18.11.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Tekninen asiantuntija Jarkko Virtanen
Yliopettaja Matti Fischer

Tässä insinööriyössä käytiin läpi ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa ja siihen liittyviä kansallisia arvoja Lambda-junien osalta. Työn tavoitteena oli saada kerättyä ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa suomeksi yhteen dokumenttiin ja tarkastella tällä hetkellä käytössä olevien arvojen toimivuutta suhteessa muiden Pohjoismaiden arvoihin, sekä nykyiseen JKV-järjestelmään.

Insinööriyössä kerättiin Lambda-junien ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa yhteen, saatavilla olevista dokumenteista ja standardeista. Työssä myös esitellään lyhyesti ETCS-järjestelmän eri tasot ja niiden toiminnallisuudet. Lisäksi työssä käydään läpi junan jarrujärjestelmän toiminta ja jarrutuskyvyn laskenta.

Vertailu eri maiden kansallisten arvojen ja Suomen nykyisten arvojen kanssa tehtiin käyttämällä Euroopan rautatieviraston kehittämää Excel-pohjaista jarrukäyrien laskentatyökalua. Työkalulla saatuja tuloksia verrattiin maiden keskenään maiden välillä, sekä JKV-jarrukäyrien laskentaan kehitetyn työkalun antamiin tuloksiin. Vertailuun valikoitiin kolme eri pituista R-jarrulajin matkustajajunaa sekä yksi P-jarrulajin matkustajajuna. Tavarajunista vertailu tehtiin kahdella eri pituisella junalla, joista molemmista tarkasteltiin taarassa ja kuormassa kulkevan junan jarrutuskäyttäytymistä. Vertailusta saadut tulokset kerättiin taulukkomuodossa työn liitteisiin. Lisäksi tuloksia tarkasteltiin valikoitujen junien osalta tarkemmin itse työssä.

Insinööriyössä tehtyjen vertailuiden osalta voitiin todeta Suomessa tällä hetkellä määriteltujen kansallisten arvojen toimivan R-jarrulajin matkustajajunille. P-jarrulajin matkustajajunien osalta toimivuus vaatii vielä varmistusta todellisilla jarrutuskokeilla. Tavarajunien osalta suurimman haasteen ja lisäselvityksiä sekä jarrutuskokeita vaatii erityisesti kuormassa kulkevat junat. Niiden osalta erityisesti liukkaan kelin arvon asettaminen vaatii tulevaisuudessa jatkotarkasteluita.

Avainsanat: ETCS, ERTMS, JKV, jarrukäyrä, kansalliset arvot

Abstract

Author: Teppo Hulkko
Title: National Values of ETCS Braking Curves for Lambda Trains
Number of Pages: 51 pages + 2 appendices
Date: 18 November 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Automation engineering
Supervisors: Jarkko Virtanen, Technical expert
Matti Fischer, Principal Lecturer

This thesis work clarified the theory of ETCS braking curves calculation and related national values for Lambda trains. The aim of the work was to obtain the collected theory of ETCS braking curve calculation in Finnish in a single document and to observe the functionality of the values currently in use in relation to the values of the other Nordic countries, as well as the current JKV system.

The thesis work gathered the theory of ETCS braking curve calculation for Lambda trains, from available documents and standards. The thesis also briefly outlines the different levels of the ETCS system and their functionalities. In addition, the thesis goes through the operation of the train braking system and the calculation of the braking ability.

The comparison with the national values of different countries and the current values of Finland was made using the Excel-based braking curve calculation tool developed by the European Railway Agency. The results obtained by the tool were compared between countries, as well as those provided by the tool for calculating JKV braking curves. Three passenger trains with the R brake position of different lengths were selected for comparison, as well as one passenger train with the P brake position. Comparison of freight trains was made with two trains of different lengths. From both trains, the braking behavior of the train travelling with and without load were considered. The results of the comparison were collected in tabular form in the appendices of the thesis. In addition, the results were considered more closely for selected trains in the work itself.

As regards the comparisons made in, it was possible to identify the national values currently defined in Finland for passenger trains of the R brake position. For passenger trains of the P-brake type, functionality still requires verification with actual braking tests. For freight trains, the greatest challenge and further clearances and braking tests are especially required by the trains running under a load. Especially setting the value for the reduced adhesion will require further examination in the future.

Keywords: ETCS, ERTMS, JKV, braking curve, national values

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	ETCS-kulunvalvontajärjestelmän toimintaperiaatteet	2
3	ETCS-jarrukäyrälaskenta ja junan jarrujärjestelmän toiminta	5
3.1	Junan jarrujärjestelmien toimintaperiaate	5
3.2	ETCS-järjestelmässä laskettavat jarrukäyrät	8
3.3	Lambda-junien jarrukäyrälaskenta ETCS-veturilaitteessa	12
4	Lambda-junien jarrukäyrien laskentaan vaikuttavat kansalliset arvot	17
4.1	Hidastuvuusmallin laskentaan vaikuttavat kansalliset arvot	19
4.2	Kelistä riippuvat kansalliset arvot	22
4.3	Muut jarrukäyriin vaikuttavat kansalliset arvot	23
4.4	Muissa maissa käytössä olevia kansallisia arvoja	25
5	Jarrukäyrien laskenta JKV-järjestelmässä ja erot ETCS- ja JKV-järjestelmien laskennan välillä	27
5.1	Jarrukäyrälaskennan perusteet JKV-järjestelmässä	27
5.2	ETCS- ja JKV-jarrukäyrälaskennan teoreettiset erot	30
6	Vertailu ETCS- ja JKV-jarrukäyrätyökalujen tuloksien välillä	32
6.1	Matkustajajunien vertailun tulokset	34
6.2	Tavarajunien vertailun tulokset	42
7	Yhteenveto	47
	Lähteet	49

Liitteet

Liite 1: JKV- ja ETCS-jarrukäyrätyökalujen tulokset matkustajajunille

Liite 2: JKV- ja ETCS-jarrukäyrätyökalujen tulokset tavarajunille

Lyhenteet ja käsitteet

- Ajolupa: ETCS-ratalaitteiden junan veturilaitteelle välittämä lupa edetä pisteestä A pisteeseen B.
- Asetinlaite: Asettaa ja varmistaa junalle kulkutien ja siihen kuuluvien elementtien oikeat asennot.
- Baliisi: Baliisi on ETCS-järjestelmän ratalaite, joka välittää tietoa sen ylittävälle junille.
- Baliisiryhmä:
Baliisiryhmä koostuu 1–8 baliisista, joiden viestit muodostavat yhden sanoman.
- DMI: *Driver Machine Interface*. Kuljettajapaneeli.
- EBD: *Emergency Brake Deceleration*. Hätäjarrutuksen hidastuvuus. Veturilaitteen laskema lyhin mahdollinen etäisyys, jossa kyseinen juna kyseisellä nopeudella pysähtyy.
- EBI: *Emergency Brake Intervention*. Hätäjarrutuksen kytkentä. Hätäjarrutuksen hidastuvuudesta laskettu etäisyys, johon on huomioitu viiveet jarrutuksen muodostumisessa sekä nopeuden mittauksen epätarkkuus.
- EoA: *End of Authority*. Ajoluvan päätepiste.
- ERTMS: *European Rail Traffic Management System*. Eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä. ETCS + GSM-R tai muu tähän käyttöön hyväksytty radiojärjestelmä.
- ETCS: *European Train Control System*. Eurooppalainen junakulunvalvontajärjestelmä.

EVC: *European Vital Computer*. ETCS-veturilaitteen keskusyksikkö

FRMCS: *Future Railway Mobile Communication System*. Tulevaisuuden dataradioverkko.

Gamma-juna:

Moottorijuna, jonka kokoonpano ja jarrutuskyky pysyy muuttumattomana. Junan jarrukäyrälaskenta suoritetaan ennalta tiedossa olevien muuttujien pohjalta.

GSM-R: *Global System for Mobile communications - Railways*. Eurooppalainen digitaalinen matkaviestintäjärjestelmä, jossa on rautatieominaisuudet.

Jarrupainoprosentti:

Junan jarrupainon ja kokonaismassan suhdetta kuvaava suure.

JKV: Junakulunvalvontajärjestelmä. Suomessa käytössä oleva junien kulunvalvontajärjestelmä, joka perustuu EBICAB-900 tekniikkaan.

Ketjutus: Ketjutuksen avulla veturilaitteelle voidaan kertoa ennakkoon edessä olevien baliisiryhmien sijainnit.

Koodain: Koodain toimii rajapintana asetinlaitteen ja baliisin välillä. Se välittää kulkutietiedon baliisille, joka välittää sen eteenpäin veturilaitteelle.

Lambda-juna:

Veturivetoinen juna, jonka kokoonpano ja jarrutuskyky muuttuu. Jarrukäyrälaskenta suoritetaan konversiomallin perusteella.

Liikkuva suojaväli:

ETCS-tasolla 3 liikkuvien junien välinen suojaväli, joka perustuu peräkkäin kulkevien junien jarrutuskykyyn, nopeuteen ja sijaintiin.

- LRBG: *Last Relevant Balise Group*. Viimeksi luettu baliisiryhmä. Baliisiryhmä, jonka veturilaite on lukenut ja ilmoittanut Radiosuojastuskeskukselle ja jota voidaan käyttää viestinnässä referenssipisteenä.
- OBU: *On-Board Unit*. ETCS-veturilaite.
- RBC: *Radio Block Center*. Radiosuojastuskeskus on rataaite, joka radioverkon välityksellä kommunikoi junan veturilaitteen kanssa. Välittää asetinlaitteen asettamien kulkuteiden tiedot ajolupien muodossa veturilaitteelle.
- SBD: *Service Brake Deceleration*. Käyttöjarrutuksen hidastuvuus. Veturilaitteen laskema käyttöjarrutuksen hidastuvuusarvo, jossa ei ole huomioitu jarruviiveitä.
- SBI: *Service Brake Intervention*. Käyttöjarrutuksen kytkentä. Veturilaitteen laskema hetki, jolloin käyttöjarrutus kytketään, jotta juna pysähtyisi oletetusti ilman hätäjarrutusta.
- SvL: *Supervised Location*. Ajoluvan päätepisteen takana sijaitseva turvattu kohta. Voi olla esimerkiksi ohiajovaran päätepiste.
- TIMS: *Train Integrity Monitoring System*. Junan eheyden valvontajärjestelmä.

1 Johdanto

ERTMS (European Rail Traffic Management System) on eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä, jonka tarkoituksena on tuottaa yksi yhtenäinen ohjaus-, komento-, merkinanto- ja viestintäjärjestelmä rautateiden käyttöön. Järjestelmä koostuu kulunvalvontajärjestelmä ETCS:stä (European Train Control System) ja radioverkkojärjestelmästä, joka tällä hetkellä on GSM-R (Global System for Mobile communications – Railways). [1.]

Suomessa käytössä oleva JKV-järjestelmä (Junakulunvalvontajärjestelmä) on lähestymässä elinkaarensa loppua. Tästä syystä on käynnistetty Digirata-hanke, jonka tarkoituksena on tuoda Suomeen käyttöön yleiseurooppalainen junien kulunvalvontajärjestelmä ETCS. Digiradan selvitysvaiheen loppuraportissa suositellaan tulosten perusteella nykyisen JKV-järjestelmän korvaamista modernilla radiopohjaisella ETCS-kulunvalvontajärjestelmällä koko maahan. Moderni radiopohjainen järjestelmä tarkoittaa vähintään ETCS-tason 2 toteutusta. Lisäksi Suomessa radioverkkona on tarkoitus käyttää GSM-R verkon sijaan FRMCS-verkkoa (Future Railway Mobile Communication System). [2.]

Suomessa ETCS-järjestelmään vaikuttavia kansallisia arvoja on viimeksi tarkasteltu vuonna 2015 [3]. Silloin erityisesti jarrukäyriin vaikuttavien arvojen tarkastelussa on mainittu niiden vaativan uudelleen tarkastelua. Tässä työssä on tarkoitus vertailla arvoja muiden maiden käytössä oleviin arvoihin ja pohtia mahdollisuuksien mukaan nykyisten arvojen toimivuutta. Työ tehdään Digirata-projektille Väyläviraston tilauksesta.

Työn tavoitteena on koota yhteen ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa ja kansallisesti määritettäviä parametreja sekä vertailla sitä nykyisin käytössä olevan kulunvalvontajärjestelmän jarrukäyrälaskentaan. Vertailu suoritetaan ETCS:n ja JKV:n omilla jarrukäyrälaskentatyökaluilla. ETCS:n osalta vertailua tehdään myös muissa maissa käytössä oleviin kansallisiin arvoihin ja tarpeen tullen

tuodaan esille mahdollisia muutostarpeita nykyisin voimassa olevista parametreista.

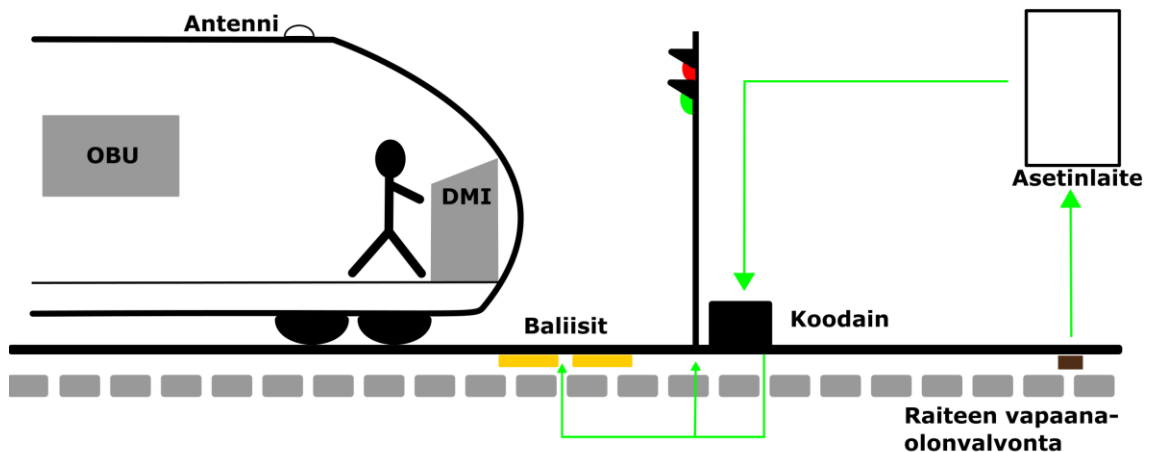
Työ on rajattu koskemaan ainoastaan suomalaista kalustoa. Suomen rataverkolla liikennöi myös venäläistä kalustoa, mutta niiden jarrujärjestelmän toimintaperiaatteen eroavaisuuden vuoksi on ne rajattu tämän työn ulkopuolelle. ETCS-järjestelmässä jarrukäyrälaskenta on jaettu kahteen eri laskentamalliin riippuen junan kokoonpanosta. Tässä työssä tarkastellaan jarrukäyrälaskentaa Lambda-mallin, eli veturivetoisten junien mukaisesti. Vertailuissa on huomioitu jarrukäyrien muodostuminen junan lähestyessä Seis-opastetta, eli nopeusrajoituksesta johtuvat nopeuden muutokset ja niihin liittyvät jarrukäyrät on jätetty vertailujen ulkopuolelle.

2 ETCS-kulunvalvontajärjestelmän toimintaperiaatteet

ETCS-järjestelmä on junien kulunvalvontajärjestelmä, joka perustuu junan veturilaitteen mahdollisuuteen valvoa junan liikkeitä jatkuvasti ja pysäyttää juna, mikäli se ylittää sille määritellyn pysähtymiskohdan. Järjestelmä välittää tarvittavat tiedot junille ratalaitteiden avulla. Tiedon välitykseen käytettävät laitteet ovat baliisi ja radiosuojastuskeskus (RBC), riippuen ETCS-tasosta, jolla juna liikkuu. Kuljettajan vastuulla on jatkuvasti tarkkailla junan liikettä ja järjestelmä puuttuu toimintaan vain tarvittaessa aktivoimalla jarrutuksen [4]. Järjestelmä on jaettu kolmeen eri tasoon: 1, 2 ja 3. Tasolla 1 ajolupien välitys on pistemäistä ja tasolla 2 sekä 3 jatkuvatoimista radioverkon välityksellä tapahtuvaa [5].

Tason 1 järjestelmän toiminta ajolupien välityksen osalta on pistemäistä ja se vastaa hyvin pitkälle JKV-järjestelmän toimintaa. Siinä ajoluvat ja muut ratalaitteiden antamat tiedot välitetään junille baliisien avulla. Tasolla 1 on myös käytössä opastimet ja koodaimet [5]. Junan saadessa ajoluvan ja profiilitiedot baliisilta, sen veturilaite automaattisesti laskee junatietojen ja radan tietojen perusteella yksikölle suurimman sallitun nopeuden ja mahdolliset jarrukäyrät [6]. Kuvassa 1 on nähtävillä tason 1 toimintaan vaikuttavat laitteet.

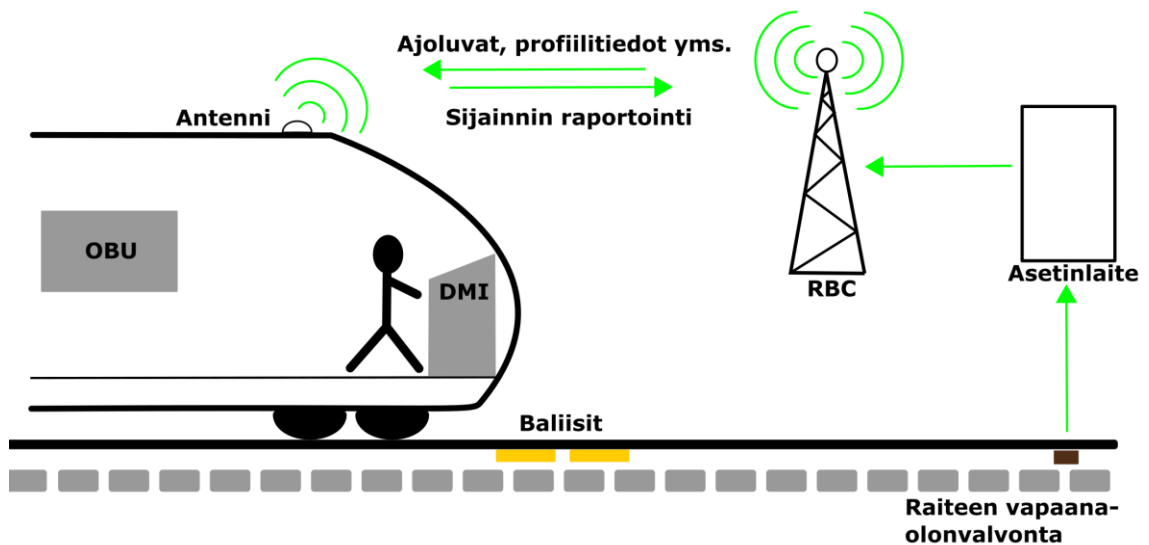
Raiteen vapaanoloa valvotaan joko akselinlaskijoilla tai raidevirtapiireillä. Tieto raiteen vapaanaolosta välitetään asetinlaitteelle, jonka tehtävänä on valvoa junien kulkuteitä ja asettaa kulkuteiden vaihteet sekä opasteet oikeaan asentoon. Asetinlaitteen asettaman kulkuteien tieto välittyy opastimien ja koodaimen kautta baliiseille. Junan ylittäessä baliisin sen antenni lukee baliisien välittämän sanoman ja siirtää tiedon veturilaitteelle (OBU), josta tieto kulkee edelleen kuljettajan nähtävälle kuljettajapaneelille (DMI). [7, s. 242.]



Kuva 1. ETCS-tason 1 toiminnallisuus. Muokattu lähteestä [5].

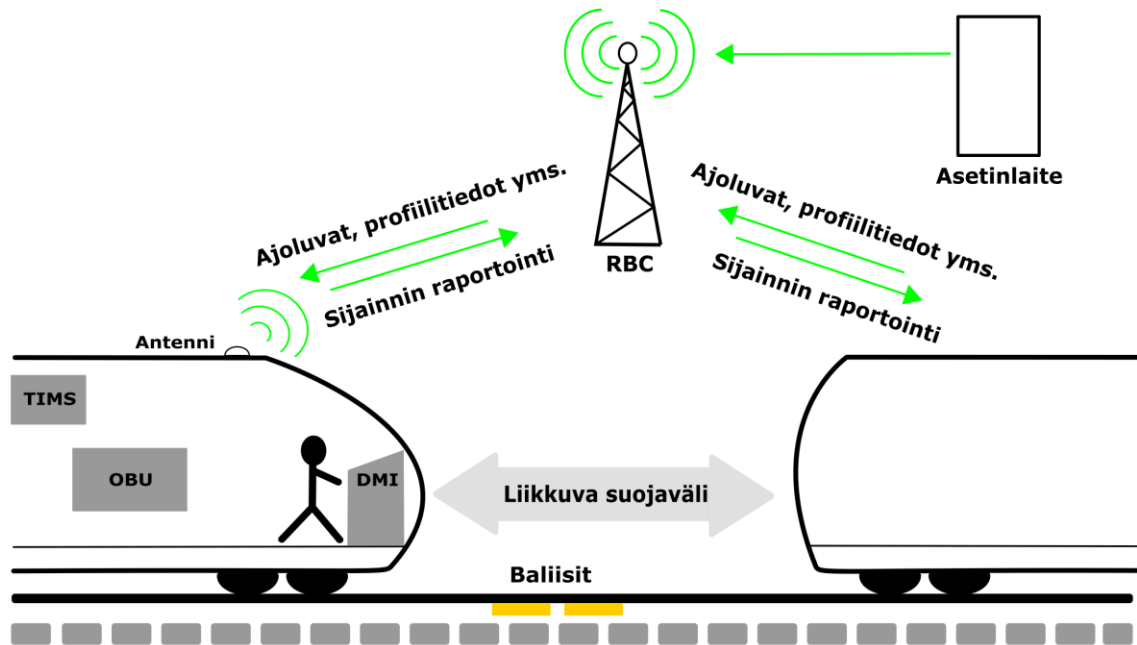
Tasolla 2 toiminta muuttuu jatkuvatoimiseksi, eikä radanvarren opastimia enää tarvita. RBC välittää junille ajoluvat, profiilitiedot ja muut junan tarvitsemat tiedot radioverkon avulla. Baliiseja käytetään ainoastaan kiinteän tiedon välitykseen ja junan sijainnin korjaukseen [6]. Radalla liikkuvien junien eheyden valvonta sekä raiteen vapaanaolon valvonta tapahtuu edelleen ratalaitteiden avulla, kuten tasolla 1. Juna on jatkuvasti yhteydessä RBC:n kanssa ja se raportoi tasaisin väliajoin sijaintiaan [5, s. 10]. Tällä hetkellä sijainnin määrittäminen perustuu viimeksi luettuihin baliisiryhmiin (LRBG). LRBG:nä voidaan käyttää baliisiryhmää, joka on merkattu ketjutetuksi ja veturilaite on jo sen ylittänyt sekä ilmoittanut sen RBC:lle. Nämä baliisiryhmät toimivat veturilaitteen ja RBC:n välisessä kommunikoinnissa sijainnin referenssipisteenä. Veturilaite laskee kuljettua matkaa suhteessa LRBG:hen ja kykenee näin laskemaan jäljellä olevan etäisyyden

esimerkiksi ajoluvan päätekohtaan [8, s. 36]. Tason 2 toiminnallisuus ja veturi- sekä ratalaitteet ovat nähtävillä kuvassa 2.



Kuva 2. ETCS-tason 2 toiminnallisuus. Muokattu lähteestä [5].

Tasolle 3 siirryttäessä ei ole enää tarvetta ratalaitteilla tapahtuvalle vapaanaolon valvonnalle, vaan junalle välitetään ajolupia liikkuvan suojavälin (Moving Block) -periaatteella. Perusidea on, että radalla liikkuvat junat valvovat jatkuvasti oman kokoonpanonsa eheyttä ja ilmoittavat sijaintiaan RBC:lle. RBC laskee edellä menevän junan sijainnin ja nopeuden perusteella takaa tulevalle junalle ajoluvan niin, että junien ei missään tilanteessa ole kuitenkaan mahdollista törmätä toisiinsa [5; 6]. Koska raiteen vapaanaolon valvontaa ei enää ole, tulee junan itse valvoa eheyttään. Tästä syystä tasolla 3 liikkuvat junat tulee varustaa eheyden valvontajärjestelmällä (TIMS). Tason 3 toiminnallisuus ja laitteet on esitetty kuvassa 3.



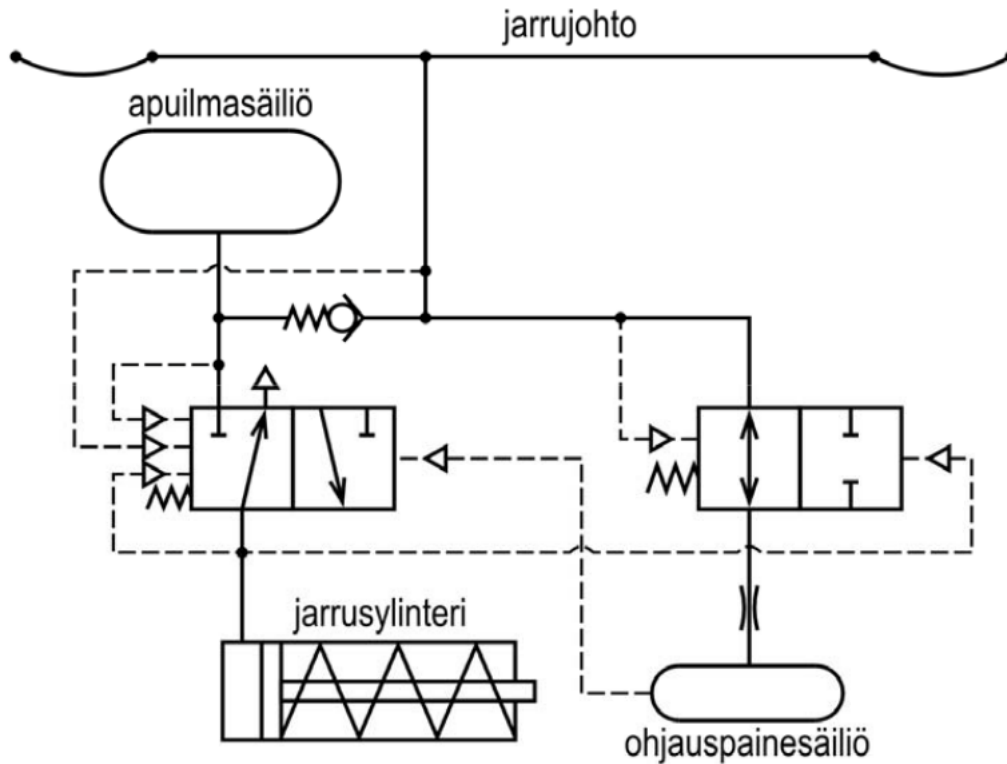
Kuva 3. ETCS-tason 3 toiminnallisuus. Muokattu lähteestä [5].

3 ETCS-jarrukäyrälaskenta ja junan jarrujärjestelmän toiminta

Luvussa esitellään junan jarrujärjestelmän perustoimintaperiaate sekä ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa.

3.1 Junan jarrujärjestelmien toimintaperiaate

Nykyisin Suomen rataverkolla liikennöivässä junakalustossa käytetään itsetoimista paineilmajärjestelmää ja siinä toimintaventtiilinä kolmipaineventtiiliä. Järjestelmässä junan läpi kulkee jarrujohto, jossa on normaalitilanteessa 5 bar:n paine jarrujen ollessa vapautettuina. Kuljettaja ohjaa jarrujärjestelmän toimintaa kuljettajaventtiilin avulla. Järjestelmään kuuluu lisäksi apuilmasäiliö, ohjauspainesäiliö ja jarrusylinteri (kuva 4).



Kuva 4. Junan jarrujärjestelmän osat ja toiminta. Jarrusylinterin yläpuolella kolmipaineventtiili ja ohjauspainesäiliön yläpuolella ohjauspaineventtiili. Kuljettajaventiiliä ei kuvassa ole esitetty [9].

Ohjauspainesäiliössä ja apuilmasäiliössä on molemmissa jarrujohdon paine jarrujen ollessa vapautettuina. Jarrutettaessa kuljettajaventiili laskee jarrujohdon painetta. Ohjauspainesäiliön paine ei pääse laskemaan yhtä nopeasti kuin jarrujohdon paine, sillä sitä ennen on kuristin. Jarrujohdon paineen laskiessa kolmipaineventtiiliä ohjaava voimatasapaino muuttuu ja jarrusylinterin yhteys ulkoilmaan sulkeutuu. Yhteys apuilmasäiliöön avautuu ja jarrusylinteriin kulkeutuu paineilmaa, jonka avulla junan jarrutus tapahtuu. Vastaavasti jarrutusta kevenettäessä tai jarruja kokonaan vapautettaessa, kuljettajaventiilin avulla nostetaan jarrujohdon painetta, jolloin jarrusylinteristä aukeaa yhteys ulkoilmaan ja jarrutus kevenee tai vapautuu kokonaan tilanteesta riippuen. [9, s. 17–20; 10, s. 15–19.]

Koska junan jarrujen ohjaaminen tapahtuu ainoastaan veturista, joko kuljettajan tai kulunvalvontajärjestelmän tekemänä, on viive ensimmäisten vaunujen ja

junan viimeisen vaunun jarrujen kiinnittymisessä suuri ja viive kasvaa junan pituuden myötä. Tätä viivettä lieventämään on kehitetty junan jarrulajit. Jarrulajin tehtävänä on rajoittaa vaunun jarrusylinterien täyttymisnopeutta. Suomessa käytössä on kolme eri jarrulajia. Taulukossa 1 on esitetty käytössä olevat jarrulajit, niiden kuvaus ja käyttöalue. [9, s. 20.]

Taulukko 1. Suomessa käytössä olevat jarrulajit. Muokattu lähteestä [9].

Jarrulaji	Kuvaus	Käyttöalue
G	Hidas	Käytetään tavarajunissa, joiden suurin sallittu nopeus (S_n) on 90 km/h tai alle
P	Nopea	Käytetään matkustajajunissa, joiden S_n on 120 km/h tai alle sekä tavarajunissa, joiden S_n on yli 90 km/h
R	Nopea ja voimakas	Käytetään matkustajajunissa, joiden S_n on yli 120 km/h.

Junan jarrutuskykyä kuvataan jarrupainojärjestelmällä, jossa jokaiselle kalustoyksikölle on laskettu jarrupaino. Jarrupaino kuvaa kalustoyksikön tuottaman jarrutusvoiman suuruutta ja sen yksikkö on tonni (t). Joissain junissa jarrulajin valinta vaikuttaa myös junan jarrupainoon. [9, s. 27.]

Varsinaiset jarrutuskykyvaatimukset Suomen rataverkolla määritellään jarrupainoprosentin avulla. Jarrupainoprosentti kuvaa junan jarrutuskykyä suhteessa sen massaan ja siitä tyypillisesti käytetään symbolia λ . Jarrupainoprosentti lasketaan kaavan 1 avulla. [9, s. 28.]

$$\lambda = \frac{B}{m_{st}} \times 100 \% \quad (1)$$

λ on jarrupainoprosentti (%)

B on junan kaikkien yksiköiden yhteenlaskettu jarrupaino (t)

m_{st} on junan kaikkien yksiköiden staattinen massa (t).

Väyläviraston ohje [11, s. 22] määrittää junan jarrutuskyvyn osalta, että junan jarrupainoprosentin tulee olla vähintään 18 % ja jarrupainolaskennan tulee perustua junan todelliseen jarrutuskykyyn jarrupainojärjestelmän mukaisesti. Lisäksi ohjeessa määritellään jarrupainoprosentin mukaiset maksiminopeudet, jotka on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Junan jarrupainoprosentin vähimmäisvaatimus enimmäisnopeuden mukaan. Muokattu lähteestä [11].

Jarrupainoprosentti vähintään (%)	Nopeus enintään (km/h)
18	60
22	65
25	70
30	75
36	80
43	85
52	90
55	100
85	120
114	140
125	160
128	180
132	200
135	220

3.2 ETCS-järjestelmässä laskettavat jarrukäyrät

ETCS-järjestelmä valvoo junan sijaintia ja nopeutta jatkuvasti sekä komentaa junan jarrujärjestelmän suorittamaan jarrutuksen tilanteen niin vaatiessa. Tästä johtuen junan veturilaitteen on jatkuvasti ennustettava junan hidastumista tai

kiihtyvyyttä matemaattisilla malleilla junan jarrutuskyvyn ja edessä olevan radan ominaisuuksien perusteella. Tätä ennustetta junan hidastumisesta suhteessa etäisyyteen kutsutaan jarrukäyräksi.

Alun perin ETCS-jarrukäyrälaskenta oli harmonisoitu ainoastaan kuljettajalle näytettävän informaation ja peruseräotteiden osalta, mutta varsinaista yhteistämistä eri laitetoimittajien laskenta-algoritmeissa ei ollut. Tämä aiheutti ongelmia muun muassa maiden rajojen ylittävässä liikenteessä ja eri laitetoimittajien veturilaitteiden laskemissa jarrukäyrissä, jotka samalla rataosalla erosivat selvästi toisistaan. Näistä eroavaisuuksista johtuen jarrukäyrälaskenta on viimeisimpään järjestelmäversioon harmonisoitu täysin. Toisena isona tekijänä harmonisoinnissa on ollut vastuiden jako rataverkon haltijan ja kaluston omistajien välillä. [12, s. 6–7.]

ETCS-järjestelmässä lasketaan useita eri käyriä junan pysäyttämisen turvaamiseksi ja kuljettajan ohjeistamiseksi. Junan hätäjarrutuksesta riippuvainen jarrukäyrä on nimeltään Hätäjarrutuksen hidastuvuus -käyrä (EBD). Jokaiselle tavoitepisteelle, riippumatta siitä onko se ajoluvan päätekohta tai nopeusrajoituksen muutoskohta, veturilaite laskee radan- ja junan ominaisuuksista riippuvan EBD-käyrän. Käyrän muoto vaihtelee samassa kohdassa rataa riippuen siitä, millaisella kalustolla liikennöidään. Mitä heikompi hätäjarrutuskyky kalustolla on, sitä loivempi käyrästä tulee.

EBD-käyrän ja junan mitatun nopeuden pohjalta lasketaan useita kertoja sekunnissa etäisyys, jossa juna varmasti pysähtyisi, mikäli veturilaite komentaisi junan järjestelmän suorittamaan hätäjarrutuksen. Tässä laskennassa huomioidaan aika, joka junalla kuluu hätäjarrutuksen muodostamiseen nykyinen kiihtyvyyden huomioiden. Lisäksi huomioidaan junan sen hetkinen nopeus ja siihen liittyvä mahdollinen nopeuden mittauksen epätarkkuus. Tämän laskennan pohjalta muodostetaan varsinainen Hätäjarrutus-käyrä (EBI). EBD- ja EBI-käyrät muodostavat yhdessä ETCS-jarrukäyrälaskennan sekä nopeus- ja etäisyysvalvonnan perusteet ja ne varmistavat junan pysähtymisen tai nopeuden hidastumisen tavoitepisteeseen. [12, s. 8.]

EBD-käyrä on paraabelin muotoinen käyrä, joka alkaa tavoitepisteestä. Se on laskennallinen hidastuvuus, joka perustuu junan hätäjarrujärjestelmään pohjautuvaan turvalliseen hidastuvuusarvoon A_{brake_safe} ja ylä- sekä alamäkien aiheuttamaan kiihtyvyyteen tai hidastuvuuteen $A_{gradient}$. $A_{gradient}$ -arvon laskennassa otetaan huomioon myös junan pyörivien massojen vaikutus. Näiden muuttujien pohjalta lasketaan varsinainen junan laskennallinen hidastuvuusarvo A_{safe} (m/s²) kaavalla 2.

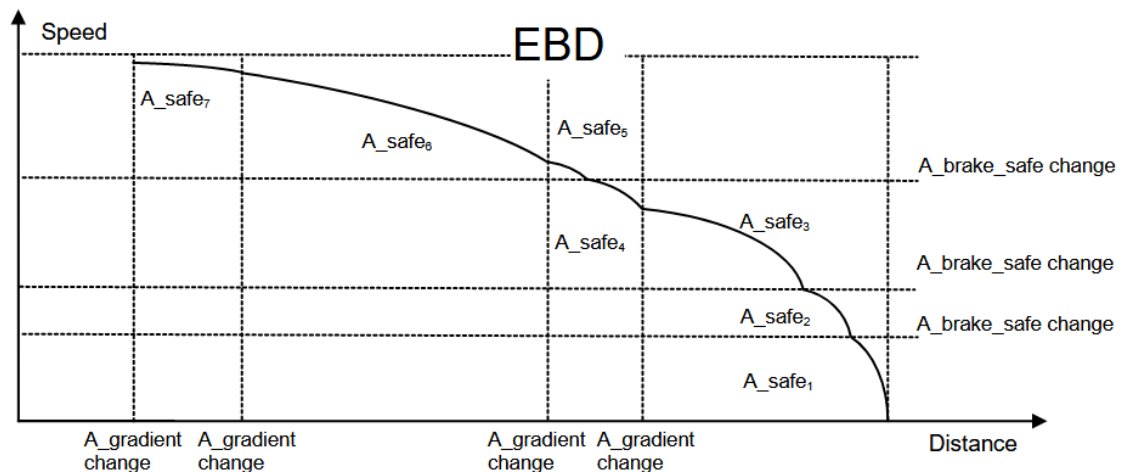
$$A_{safe} = A_{brake_safe} + A_{gradient} \quad (2)$$

A_{safe} on junan laskennallinen hidastuvuusarvo (m/s²)

A_{brake_safe} on hätäjarrutusjärjestelmän hidastuvuusarvo (m/s²)

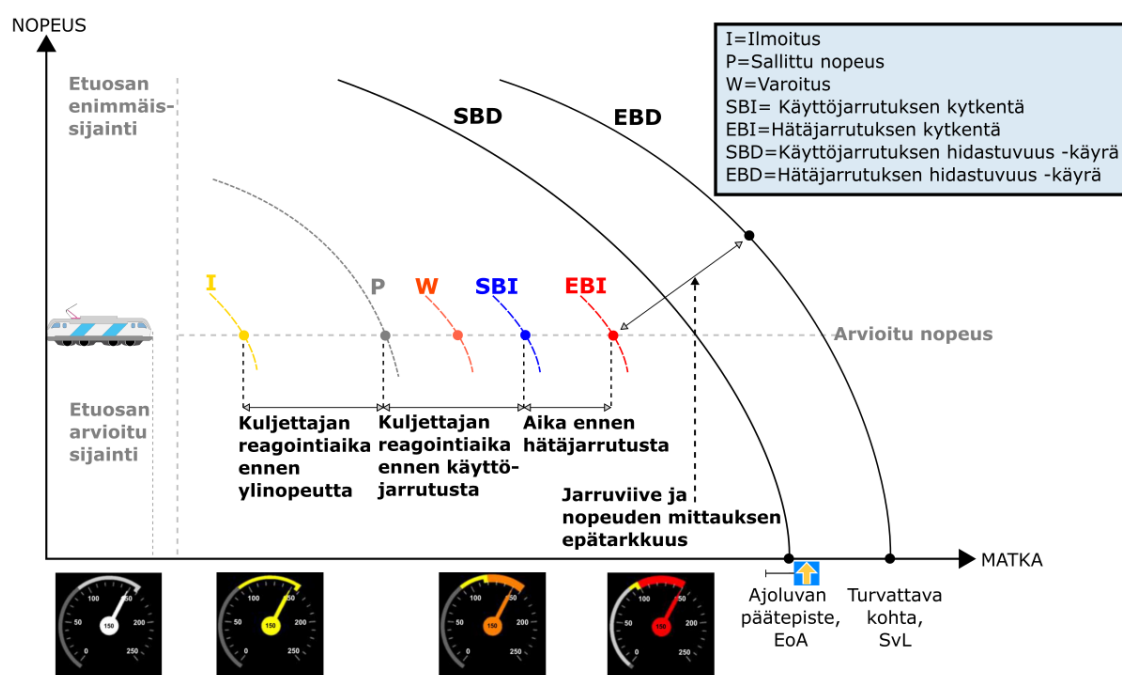
$A_{gradient}$ on kaltevuuksien aiheuttama hidastuvuusarvo (m/s²).

Koska radan kaltevuusarvo ja junan hätäjarrutusjärjestelmän hidastuvuusarvo muuttuvat koko ajan junan edetessä radalla, muodostuu EBD-käyrä yhdistelmästä erilaisia toisiinsa kytkeytyneitä paraabeleja, kuten kuvassa 5 on esitetty. [12, s. 12.]



Kuva 5. EBD-käyrän muodostuminen muuttujien A_{brake_safe} ja $A_{gradient}$ summana [12].

Varsinaisen turvallisuuden varmistamisen lisäksi ETCS-jarrukäyrälaskennassa lasketaan myös kuljettajaa ohjaavia jarrukäyriä. Näiden käyrien tarkoituksena on ohjata kuljettajaa oikeanlaiseen ajotapaan ja pitämään nopeutta kulloisenkin tilanteen sallimissa rajoissa [12, s. 8]. Kuvassa 6 on hätäjarrutukseen liittyvien käyrien EBD ja EBI lisäksi esitetty kuljettajaa ohjaavat käyrät ja niiden mahdolliset indikaatiot kuljettajapaneelin nopeusnäytöllä. Näitä käyriä ovat Ilmoitus- (I), Sallittu nopeus - (P), Käyttöjarrutus- (SBI) ja Käyttöjarrutuksen hidastuvuus - käyrä (SBD). Kuljettajalle ei missään tilanteissa näytetä varsinaisia käyriä vaan veturilaite indikoi jarrutuksen aloittamisen tai tehostamisen tarpeesta värillisillä reunuksilla nopeusmittarissa ja mahdollisella äänimerkillä. Kuten kuvasta voidaan havaita, eroaa käyttö- ja hätäjarrutuksen käyrien laskenta toisistaan muun muassa siinä, mihin kohtaan käyrät lasketaan. EBD-käyrä lasketaan ETCS-järjestelmässä aina niin sanottuun ajoluvan turvattavaan kohtaan, joka voi olla esimerkiksi ajoluvan päätepisteen jälkeen sijaitseva ohiajovaran päätepiste. SBD-käyrä taas lasketaan aina ajoluvan päätepiesteeseen.



Kuva 6. ETCS-jarrukäyrät ja niiden ilmaisut kuljettajapaneelilla. Muokattu lähteistä [11, s. 9; 12, s. 67].

Ensimmäinen kuljettajan kohtaama ohjaava käyrä on I-käyrä, jonka tarkoituksena on antaa kuljettajalle riittävästi aikaa reagoida, ennen kuin junan nopeus ylittää sallitun nopeuden (P-käyrä). Käyrän opastamana kuljettaja voi siirtyä suurimman sallitun nopeuden valvonnasta tavoitepisteen valvontaan ilman sallitun nopeuden ylittämistä. I-käyrä indikoidaan kuljettajalle keltaisen värisellä reunuksella nopeusmittarin ympärillä. [12, s. 8–9.]

Toinen käyrä, eli P-käyrä ei ole varsinaisesti käyrä, vaan se kertoo kullakin ajanhetkellä voimassa olevan suurimman sallitun nopeuden. Kuljettajalle P-käyrän ylitys näkyy oranssina reunuksena nopeusmittarissa. P-käyrästä neljän sekunnin kuluttua veturilaite aktivoi jarrut, mikäli jarrutusta ei tapahdu kuljettajan toimesta tai se ei ole riittävän voimakas. [13, s. 34.]

Ennen kuin veturilaite aktivoi jarrut, kohdataan vielä W-käyrä, jonka tarkoituksena on toimia niin sanottuna viimeisenä varoituksena kuljettajalle. W-käyrän ylityttyä nopeusmittarin reunus on edelleen oranssi ja lisäksi kuljettajalle soiteaan äänimerkki varoituksena käyrän ylityksestä [12, s. 9; 14, s. 34]. Äänimerkin soitto aloitetaan, kun junan nopeus ylittää W-käyrän ja lopetetaan siinä vaiheessa, kun nopeus laskee alle P-käyrän nopeuden. W-käyrästä aikaa jarrutuksen aktivointiin on kaksi sekuntia [15, s. 41].

Ennen EBI-käyrää, eli hätäjarrutuksen aktivointia, on kansallisilla arvoilla mahdollista valita myös Käyttöjarrutus-käyrä SBI:n käyttö. SBI-käyrän avulla veturilaite suorittaa täysivoimaisen käyttöjarrutuksen, jonka avulla on mahdollista välttää hätäjarrutuksesta joskus aiheutuvat kalusto- tai ratavauriot. SBI-käyrä laskeaan SBD-käyrän pohjalta. [12, s. 9.]

3.3 Lambda-junien jarrukäyrälaskenta ETCS-veturilaitteessa

ETCS-jarrukäyrien laskenta on jaettu kahteen eri laskentamalliin riippuen junatyyppistä. Moottorijunat eli Gamma-junat koostuvat junayksiköistä, joiden jarrutuskyky on tiedossa ja näin ollen niiden jarrukäyrälaskentaan vaikuttavat parametrit voidaan konfiguroida kiinteästi junan veturilaitteelle. Tässä työssä

käsiteltävillä veturivetoisilla- eli Lambda-junilla kokoonpano, ja siten jarrutus-
kyky, vaihtelevat jatkuvasti. Tästä syystä näille junille ei voida muodostaa en-
nalta määriteltyjä jarruparametreja, joiden pohjalta jarrukäyrät laskettaisiin. Jotta
jokaisen junan jarrutuskyky voitaisiin laskea veturilaitteella, tulisi kaikki lasken-
taan vaikuttavat parametrit saada junatietojen syötön yhteydessä kuljettajalta.
Koska ei voida olettaa kuljettajan tietävän kaikkia hidastuvuuteen ja jarrujen
kiinnittymisaikaan vaikuttavia arvoja, on kehitetty niin sanottu konversiomalli ju-
nan jarrutuskyvyn laskentaan. Konversiomallin avulla kuljettajan tarvitsee syöt-
tää vain junan pituus, jarrupainoprosentti ja jarrulaji, joiden pohjalta veturilaitte
kykenee laskemaan junan jarrutuskyvyn.

Tämän hetken vaatimusten mukaan ETCS:ssä käytettävä konversiomalli on toi-
miva, mikäli junan maksiminopeus on korkeintaan 200 km/h, jarrupainoprosentti
ei ylitä 250 %, eikä alita 30 % ja lisäksi junan pituus jarrulajin ollessa matkusta-
jajunilla P ei saa ylittää 900 metriä. Jarrulajin ollessa tavarajunilla P tai G junan
maksimipituus on 1500 metriä. [16, s. 101.]

Luvussa 3.2 on esitetty peruseriaate laskennallisen hidastuvuuden A_{safe} las-
kennasta. Lambda-junilla hätäjarrutusjärjestelmän turvallinen hidastuvuus
 A_{brake_safe} on nimeltään A_{brake_tuned} . Sen laskennassa on huomioitu ra-
taverkon haltijan asettamat korjauskertoimet. A_{brake_tuned} lasketaan kaavan
3 avulla.

$$A_{brake_tuned} = A_{brake_converted} \times Kv_{int} \times Kr_{int} \quad (3)$$

A_{brake_tuned} on Lambda-junan korjattu hidastuvuusarvo (m/s²)

$A_{brake_converted}$ on konversiomallin hidastuvuusarvo (m/s²)

Kv_{int} on junan nopeudesta riippuva korjauskerroin

Kr_{int} on junan pituudesta riippuva korjauskerroin.

Tässä laskennassa käytetään pohjalla konversiomallin laskentaa, josta veturi-laitte laskee hidastuvuusarvon $A_{brake_converted}$, jonka yksikkö on m/s^2 .

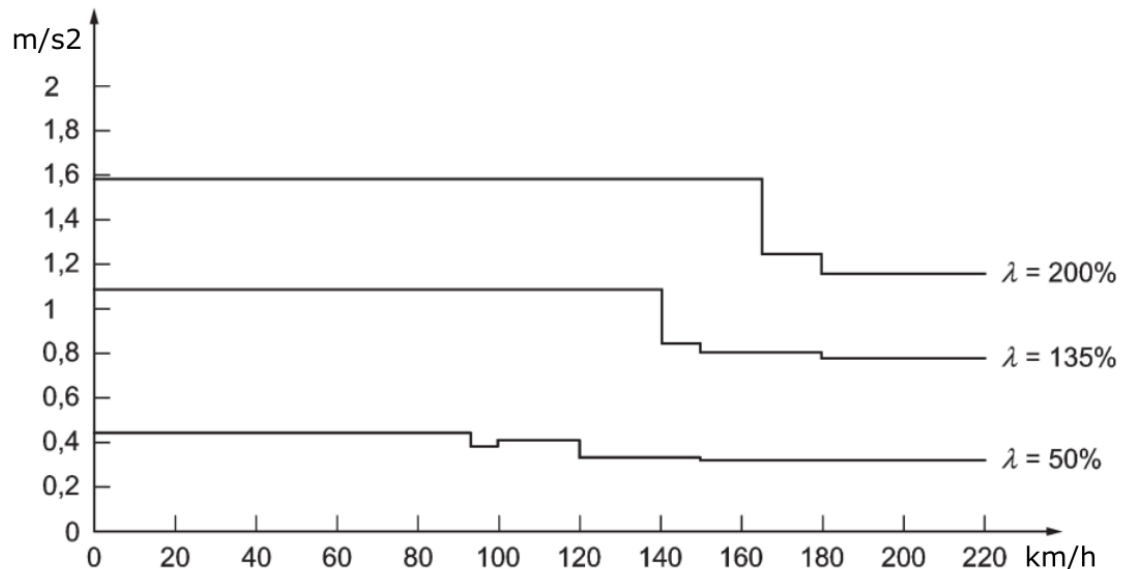
$A_{brake_converted}$ ominaisarvon laskenta tapahtuu kaavan 4 avulla.

$$A_{brake_converted} = 0,0075 * \lambda + 0,076 \quad (4)$$

$A_{brake_converted}$ on konversiomallin hidastuvuusarvo (m/s^2)

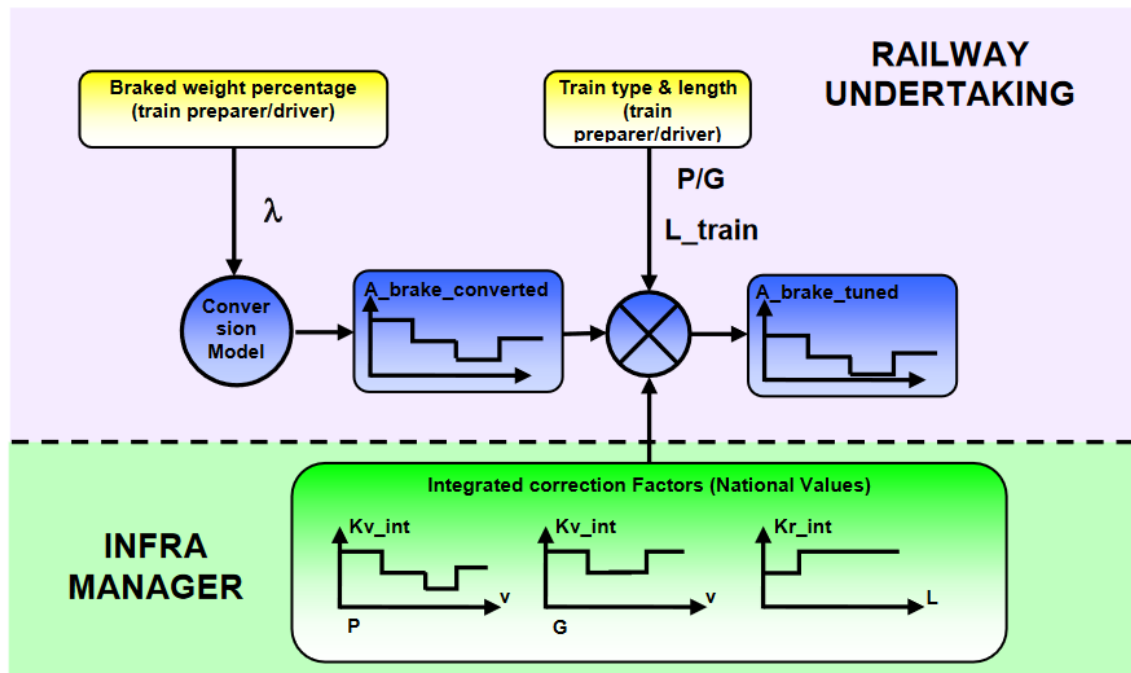
λ on jarrupainoprosentti (%).

Kaavan 4 avulla lasketaan hidastuvuusarvo, joka on voimassa nopeudesta 0 km/h nopeuteen V_{lim} saakka. V_{lim} on ensimmäinen laskennallinen nopeus, jossa junan konversiomallin mukainen hidastuvuusarvo muuttuu. V_{lim} -nopeuden ja sen jälkeen tarvittavien muiden nopeusportaiden sekä nopeusportaiden mukais-
ten $A_{brake_converted}$ -arvojen tarkemmat laskentamallit on esitetty järjestelmävaatimuseritelmän Subset 026-3 liitteessä A 3.7 [16, s.196]. Kuvassa 7 on esitetty esimerkki kolmen eri jarrupainoprosentin omaavan junan hidastuvuusarvosta $A_{brake_converted}$. Kuvassa x-akselilla on junan nopeus (km/h) ja y-akselilla nopeuden mukaan muuttuva hidastuvuuden arvo (m/s^2). [12, s. 16; 16, s. 196; 17, s. 49–58.]



Kuva 7. Esimerkki konversiomallin mukaisesti lasketusta junan hidastuvuusarvosta eri jarrupainoprosentin omaaville junille [17].

Kuten kaavasta 3 nähdään, on rataverkon omistajalla mahdollisuus vaikuttaa hidastuvuusarvon laskennasta saatuun tulokseen kansallisten arvojen kautta korjauskertoimilla Kv_{int} ja Kr_{int} [12, s. 16]. Kuvassa 8 on esitetty laskennan toimintaperiaate.



Kuva 8. Lambda-junien hidastuvuuden laskentamalli ja siihen vaikuttavat kansalliset arvot. Alemmassa laatikossa kuvattu rataverkon haltijan määrittämät korjauskertoimet [12].

Varsinainen laskennallinen hidastuvuus A_{safe} , jonka pohjalta lasketaan EBD-käyrä, saadaan jälleen lisäämällä hidastuvuusarvoon A_{brake_tuned} radan kaltevuudesta ja junan pyöivistä massoista riippuva arvo $A_{gradient}$, kuten kaavassa 5 on esitetty [12, s. 16].

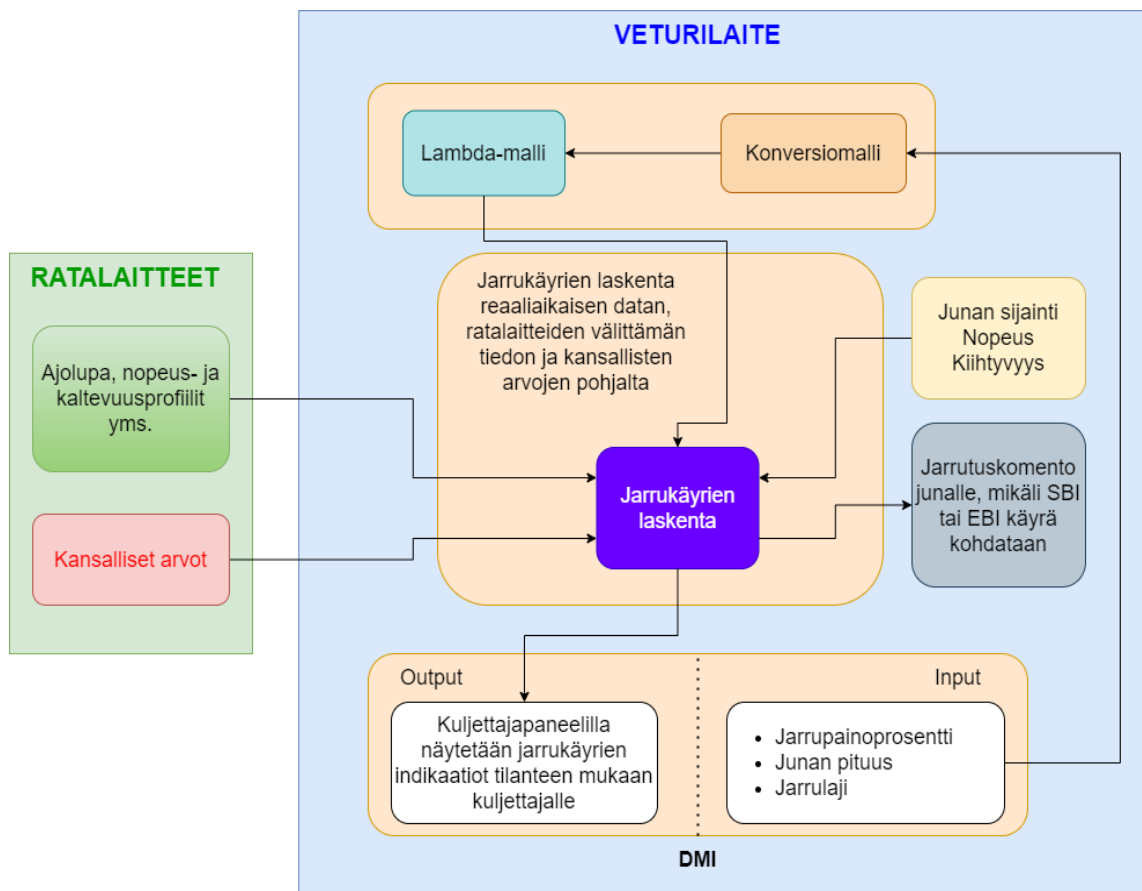
$$A_{safe} = A_{brake_tuned} + A_{gradient} \quad (5)$$

A_{safe} on junan laskennallinen hidastuvuusarvo (m/s^2)

A_{brake_tuned} on Lambda-junan korjattu hidastuvuusarvo (m/s^2)

$A_{gradient}$ on kaltevuuksien aiheuttama hidastuvuusarvo (m/s^2).

Kuvassa 9 on esitetty veturilaitteessa tapahtuva jarrukäyrälaskennan toimintamallin peruseriaate. Kuljettaja syöttää veturilaitteelle tarvittavat tiedot junan kokoonpanosta ja näiden tietojen pohjalta veturilaitte laskee junan hidastuvuusarvon. Tämän hidastuvuusarvon, ratalaitteiden välittämän ajolupa- ja profiilitietojen sekä kansallisten arvojen ja junan sijainti- ja nopeustietojen pohjalta veturilaitte laskee varsinaiset jarrukäyrät. Laskennan jälkeen käyrien mahdolliset indikaatiot esitetään tilanteesta riippuen kuljettajapaneelilla ja tarvittaessa myös annetaan mahdollinen jarrutuskomento junalle.



Kuva 9. ETCS-jarrukäyrälaskennan periaatteet ja siihen vaikuttavat syötteet veturilaitteessa. Muokattu lähteestä [14].

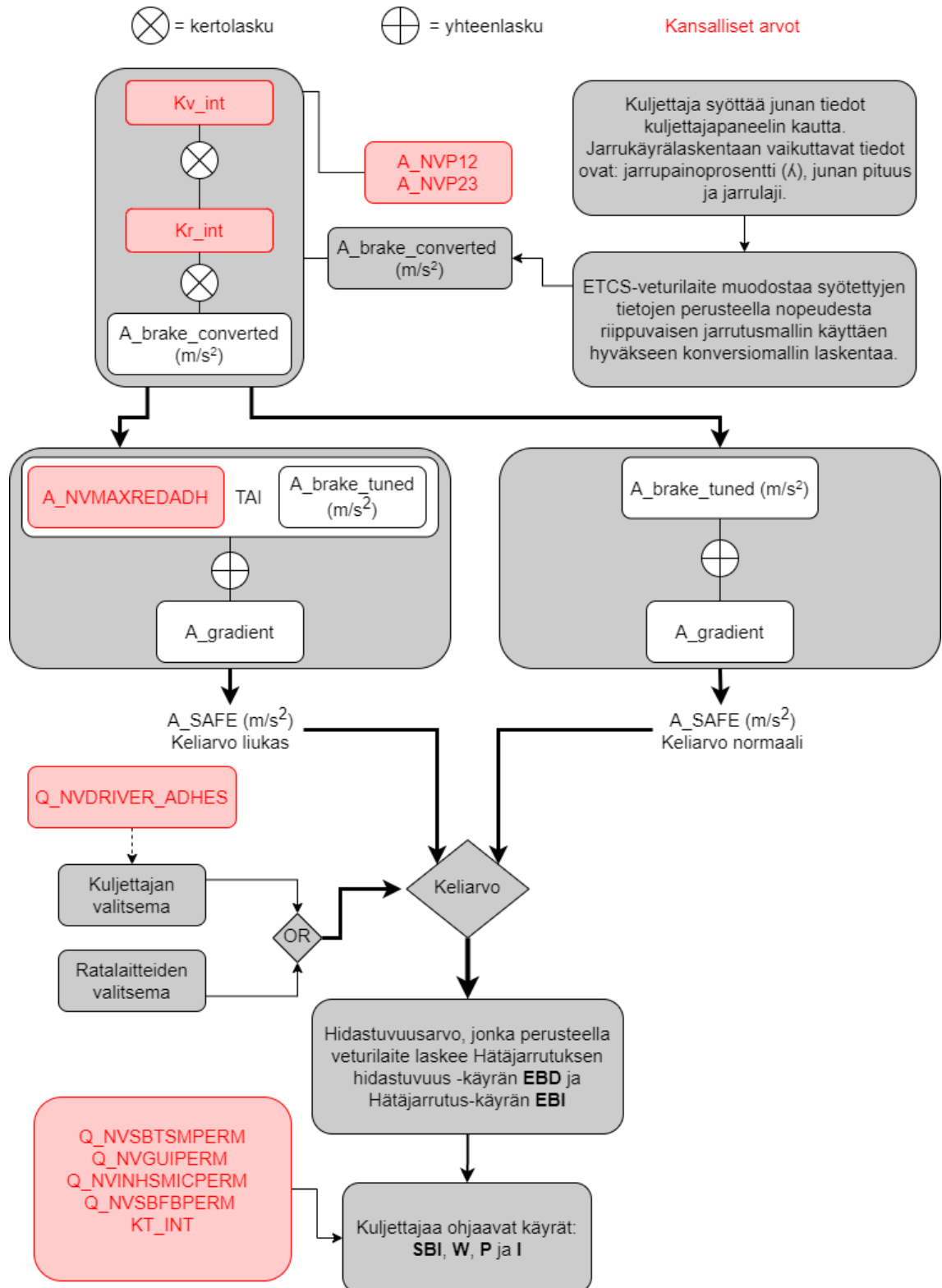
4 Lambda-junien jarrukäyrien laskentaan vaikuttavat kansalliset arvot

Kansallisten arvojen tarkoituksena on antaa rataverkon haltijalle ja kaluston omistajille mahdollisuus vaikuttaa junien jarrukäyriin. Jokaisessa maassa on erilaiset liikenteelliset ja ilmastolliset olosuhteet, joiden perusteella kansallisia arvoja tulee määritellä. Arvoja määriteltäessä on huomioitava turvallisuuden lisäksi radan kapasiteetti ja liikennöitävyys. Turvallisuudessa on huomioitava junien mahdollisimman turvallinen pysähtyminen riippumatta kalustosta tai kelistä. Jarrukäyrien ensisijainen tehtävä on turvata junan pysähtyminen tilanteessa kuin tilanteessa. Toisaalta liikenteen sujumisen ja kapasiteetin kannalta jarrukäyrät eivät saisi muodostaa liian suuria rajoitteita. [12, s. 11–14; 14, s. 38–39.]

Junan jarrutuskäyttäytymiseen voidaan vaikuttaa kansallisissa arvoissa monella eri tavalla. Kuvassa 10 on esitetty Lambda-mallin jarrukäyrälaskenta vaihe vaiheelta. Punaiset laatikot kaaviossa kuvaavat kansallisia arvoja.

Ensimmäisessä vaiheessa veturilaitteella lasketaan lambda-mallin mukaista hidastuvuuden arvoa. Veturilaitte laskee *A_brake_converted*-arvon, johon rataverkon haltijan on mahdollista vaikuttaa junatyypin ja pituuden mukaisilla korjauskertoimilla *Kv_int* ja *Kr_int* sekä matkustajajunissa vielä *Kv_int*-kertoimen kahdella eri raja-arvolla *A_NVP12* ja *A_NVP23*. Tämän laskennan tuloksena saadaan *A_brake_tuned*-arvo. [14; 16.]

Hidastuvuusarvon laskennan jälkeen valinta tehdään kelin mukaan. Mikäli veturilaitte saa tiedon liukkaasta kelistä, se vertaa laskennallista hidastuvuusarvoa kansallisesti kullekin junatyypille määriteltyyn keliarvoon *A_MAXREDADH.Q_NVDRIVER_ADHES*-muuttujalla voidaan valita saako kuljettaja muuttaa veturilaitteella tiedossa olevaa keliarvoa normaalin kelin ja liukkaan kelin välillä. Mikäli kuljettaja ei voi tätä tietoa muokata, voidaan kelitieto antaa ainoastaan ratalaitteiden välittämänä. [14; 16.]



Kuva 10. Lambda-junan jarrukäyrälaskennan toimintamalli ja siihen vaikuttavat kansalliset arvot. Muokattu lähteestä [14, s. 38].

Hidastuvuusmallin korjauskertoimien ja keliarvon valinnan jälkeen laskentaan voidaan vaikuttaa seuraavilla arvoilla:

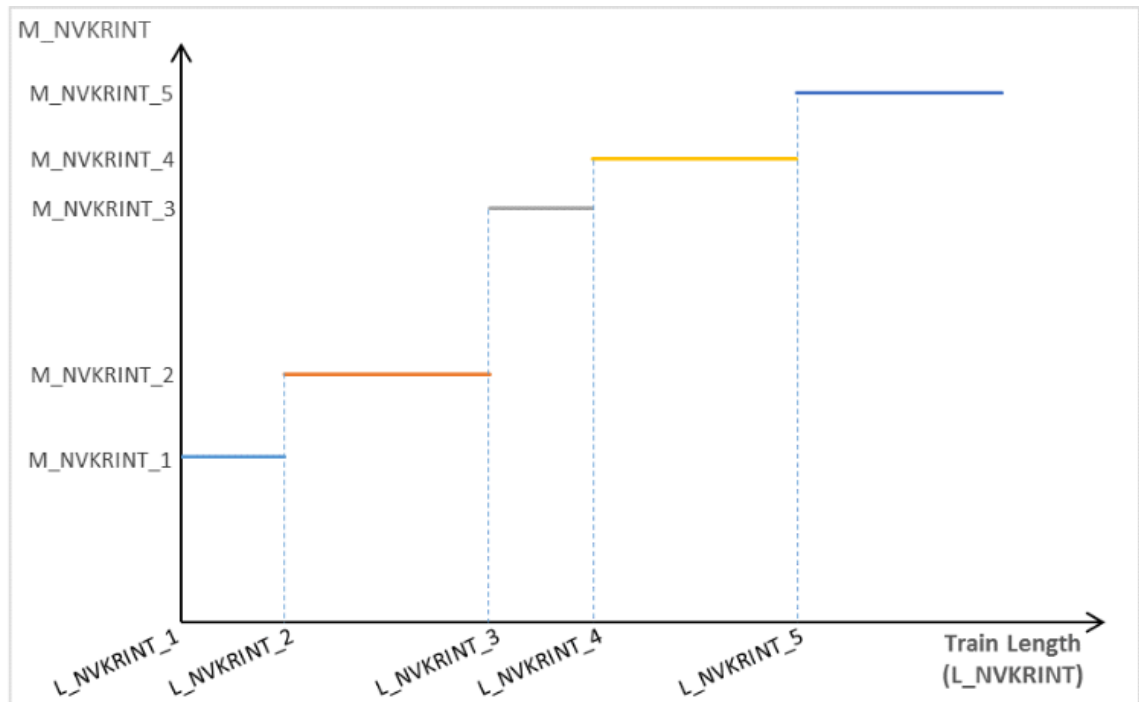
- *KT_INT* jarruviiveen korjauskerroin
- *Q_NVSBFBPERM* käyttöjarrutuksen toimintatilatiedon käyttö
- *Q_NVSBTSMPERM* käyttöjarrutuksen käyttö tavoitenopeuden valvonnassa
- *Q_NVGUIPERM* opastavien käyrien näyttäminen ja
- *Q_NVINHSMICPERM* lupa estää nopeudenmittauksen epätarkkuuden korjaus. [14; 16.]

Seuraavissa alaluvuissa esitellään tarkemmin jarrukäyränlaskentaan vaikuttavien kansallisten arvojen toiminta ja käyttö.

4.1 Hidastuvuusmallin laskentaan vaikuttavat kansalliset arvot

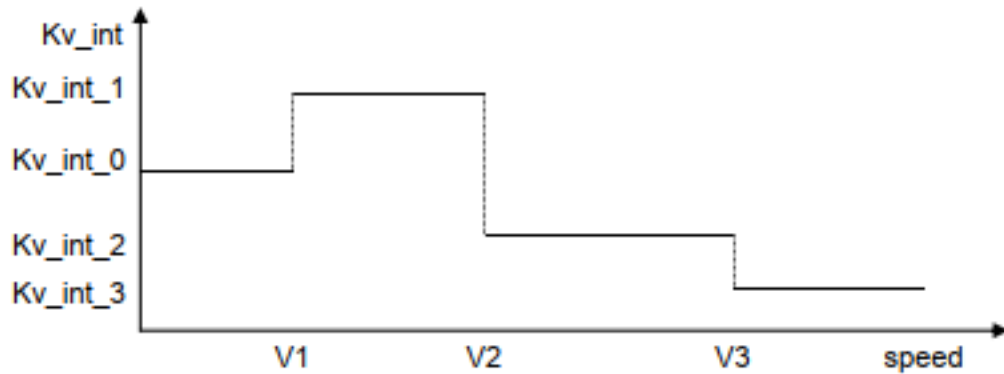
Hidastuvuusmallia laskettaessa sekä matkustaja- että tavarajunilla laskentaan vaikuttavat *Kv_int*- ja *Kr_int* -arvot. Lisäksi matkustajajunille *Kv_int* voi saada eri arvoja riippuen *A_NVP12*- ja *A_NVP23*-arvojen määrittämisestä.

Kr_int on junan pituuden mukainen korjauskerroin, jonka arvo ilmoitetaan muuttujalla *M_NVKRINT*. Sille voidaan antaa useita eri arvoja käyttämällä muuttujaa *L_NVKRINT*, jolla junan pituuden mukaan muuttujan *M_NVKRINT* arvo muuttuu. [14, s. 64–66.] *Kr_int*:n oletusarvona järjestelmässä on 0,9 ja arvo voidaan valita väliltä 0–1,55 [18, s. 61]. Muuttujien toimintaa on havainnollistettu kuvassa 11. Kuvassa x-akselilla kuvataan junan pituutta sekä muuttujan *L_NVKRINT* arvoa ja y-akselilla muuttujan *M_NVKRINT* arvoa. Esimerkiksi kuvassa 11 *M_NVKRINT_4* olisi voimassa, mikäli junan pituus on *L_NVKRINT_4* ja *L_NVKRINT_5* väliltä.



Kuva 11. Muuttujien $M_NVKRINT$ ja $L_NVKRINT$ käyttö junan pituuden mukaiseen hidastuvuusmallin korjaamiseen [14].

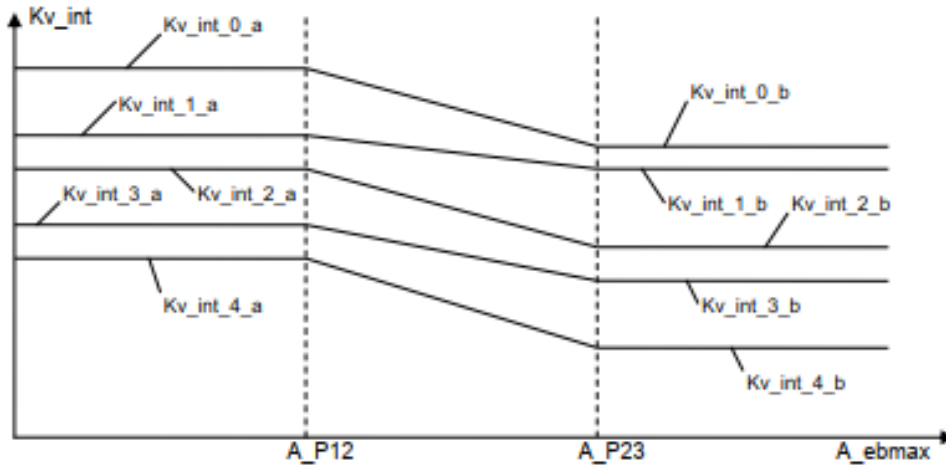
Kertoimella Kv_int voidaan junan nopeudesta riippuen antaa oma korjauskertoimensa hidastuvuusmallin laskentaan muuttujalla $M_NVKVINT$. Sekä tavara- että matkustajajunille voidaan antaa omat toisistaan riippumattomat arvonsa. Oletusarvona on 0,7 ja arvo voi vaihdella välillä 0–2,54. Kertoimelle voidaan antaa maksimissaan viisi eri arvoa, jotka vaihtuvat tietyissä määritellyissä nopeuksissa muuttujalla $V_NVKVINT$. Kuvassa 12 junalle on annettu neljä eri Kv_int arvoa ja kolme nopeutta, jotka toimivat arvon muutoskohtina. Esimerkiksi arvo Kv_int_1 on voimassa nopeudesta $V1$ nopeuteen $V2$. [14; 16; 18].



Kuva 12. Nopeuden mukaan muuttuva kansallinen arvo Kv_int [16].

Matkustajajunien Kv_int -arvo on mahdollista vielä jakaa kahteen erilliseen ryhmään, joista toinen on voimassa, kun hidastuvuuden $A_brake_converted$ -arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin muuttujan A_NVP12 -arvo. Toinen taas on voimassa, kun $A_brake_converted$ -arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin A_NVP23 -arvo. Kuvassa 13 on esitetty esimerkki, jossa y-akseli kuvaa Kv_int -arvoja eri nopeuksilla ja x-akselilla on hidastuvuuden laskennallinen arvo. Hidastuvuuden arvon ollessa alle A_NVP12 käytetään nopeudesta riippuen arvoja $Kv_int_X_a$ ja hidastuvuuden arvon ollessa yli A_NVP23 käytetään kertoimena $Kv_int_X_b$ -arvoja. Muuttujat A_NVP12 ja A_NVP23 ovat oletusarvoisesti pois käytöstä. Mikäli niitä päätetään käyttää, voidaan niiden arvot asettaa väliltä 0–3,15 m/s².

[14, s. 56–62; 16, s. 108.]



Kuva 13. Kansallisten arvojen A_NVP12 ja A_NVP23 vaikutus kertoimen Kv_int valintaan [16].

Tilanteissa, joissa A_NVP12 ja A_NVP23 arvot eivät ole samat, eli on mahdollista, että $A_brake_converted$ on niiden väliltä, lasketaan Kv_int -arvo kaavan 6 mukaan [14, s. 61].

$$Kv_int = Kv_int_x_a + \frac{A_brake_converted - A_NVP12}{A_NVP23 - A_NVP12} \times (Kv_int_x_b - Kv_int_x_a) \quad (6)$$

4.2 Kelistä riippuvat kansalliset arvot

ETCS-järjestelmässä on mahdollista antaa huonon kelin hidastuvuusarvo kolmella $A_NVMAXREDADH$ -muuttujalla. $A_NVMAXREDADH1$ on tarkoitettu matkustajajunille, joissa on kitka/pyöräkontaktista riippumaton jarru.

$A_NVMAXREDADH2$ taas on matkustajajunille, joissa ei ole kitka/pyöräkontaktista riippumatonta jarrua. Suomessa jarrutuskykylaskenta tehdään ainoastaan paineilmajarrujen mukaan, joten $A_NVMAXREDADH1$ -muuttujaa ei Suomessa käytetä. Kolmas muuttuja $A_NVMAXREDADH3$ on tarkoitettu tavarajunille.

Muuttujilla määritellään suoraan hidastuvuuden arvo, jonka yksikkö on m/s^2 .

Oletusarvona käytetään $A_NVMAXREDADH1$ osalta $1 m/s^2$ ja kahden muun osalta $0,7 m/s^2$.

Veturilaitteen saadessa tietoonsa kelin olevan liukas, joko ratalaitteilta tai kuljettajalta, se vertaa laskettua hidastuvuutta *A_brake_tuned* kansallisilla arvoilla määritelyyn *A_NVMAXREDADH*-arvoon. Näistä arvoista se valitsee käyttöön pienemmän hidastuvuuden omaavan arvon, jota käytetään muuttujan *A_safe* laskentaan. Muuttujalla *Q_NVDRIVER_ADHES* valitaan saako kuljettaja muuttaa kelitietoa. [14, s. 45–47; 3, s. 28–30.]

4.3 Muut jarrukäyriin vaikuttavat kansalliset arvot

Varsinaiseen laskentaan vaikuttavien kansallisten arvojen lisäksi on olemassa muitakin arvoja, joilla voidaan vaikuttaa jarrukäyrien muodostumiseen. Yksi näistä arvoista on *KT_INT*, joka on hätäjarrituksen muodostumisaajan korjauskerroin. Hätäjarrun muodostumisaika kuvaa aikaa EBD- ja EBI-käyrien välillä. EBI-käyrä on kohta, jossa hätäjarrutus aktivoidaan ja näin ollen suurin jarruvoima saadaan muodostettua riittävän ajoissa. Mitä suurempi *KT_INT*-kertoimen arvo on, sitä aikaisemmin hätäjarrutus junassa aktivoidaan. Kertoimen arvo voidaan asettaa 0 ja 1,55 väliltä ja järjestelmän oletusarvo on 1,1. [14, s. 66–67.] ERA:n järjestelmävaatimuseritelmän Subset 026-3 liitteessä A3.8 [16] on esitetty laskukaavat hätäjarrutusaajan muodostumiseen riippuen junan pituudesta ja jarrulajista. Näiden kaavojen avulla laskettuun aikaan voidaan *KT_INT*-kertoimella tarvittaessa vaikuttaa.

ETCS-järjestelmässä hätäjarru on turvallisuuskriittinen jarrujärjestelmä, ja käyttäjarrituksen käyttäminen varsinaisessa tavoitepisteen valvonnassa on maa-kohtaisesti valittavissa. Tätä valintaa varten järjestelmässä on kansalliset arvot *Q_NVSBFBPERM* ja *Q_NVSBTSMPerm*. Muuttujan *Q_NVSBTSMPerm* avulla voidaan valita käyttääkö veturilaite tavoitepisteen valvonnassa hyväksyen käyttäjarrutusta, eli aktivoiko järjestelmä tarvittaessa ensin käyttäjarrutuksen ja, mikäli tämä ei riitä, niin sen jälkeen hätäjarrituksen. *Q_NVSBFBPERM* muuttujalla valitaan saako veturilaite junan järjestelmältä tietoonsa kuljettajan tekemän käyttäjarrutuksen tilan ja sen voimakkuuden. Käyttäjarrutuksen käyttämisellä voidaan lisätä matkustusturvallisuutta ja -mukavuutta sekä vähentää mahdollisten lovipyörien muodostumista, sillä käyttäjarrutus on huomattavasti

rauhallisempi jarrutusmuoto hätäjarrutukseen verrattuna. [14, s. 49–51; 3, s. 19–20.]

Kansallisella arvolla *Q_NVGUIPERM* voidaan valita käyttääkö veturilaite I-käyrän laskennassa Kuljettajaa ohjaavaa -käyrää (GUI) hyväkseen. Käyrän avulla on tarkoitus tarjota kuljettajalle mahdollisuus turvalliseen ja mukavaan ajamiseen antamalla jarrutusta ohjaava indikaatio aikaisemmin. Mikäli ohjaava GUI-käyrä ei ole käytössä, veturilaitteen kuljettajapaneelilla näkyvä I-käyrän ”koukku” (ympyröity punaisella kuvassa 14) kuvaa kohtaa, jossa yksikkö ylittäisi P-käyrän eli ajaisi ylinopeutta. Käyrän ollessa käytössä keltainen I-käyrän indikaatio tulisi aikaisemmin näkyviin ja kyseinen koukku kuvaisi GUI-käyrän alkamiskohtaa eikä yksikkö näin ollen vielä ajaisi ylinopeutta, vaikka se käyrän ylittäisi. [14, s. 40–41.]



Kuva 14. Kuljettajapaneelilla näkyvä I-käyrän indikaatio.

Viimeinen kansallinen arvo on *Q_NVINHSMICPERM*, jolla voidaan valita saako veturilaite käyttää tutkaan perustuvan nopeudenmittauksen tietoa korjaamaan takometrin nopeuden mittauksen epätarkkuus [3, s. 24]. Tällä arvolla ei suoraan ole suurta vaikutusta jarrukäyriin, mutta joissain tilanteissa, kuten pyörien

lukittuessa jarrutuksessa, takometrin mittaama arvo voi olla junan todellista nopeutta pienempi. Vastaavasti ympärilyönnissä takometrin nopeustieto on suurempi, kuin junan todellinen nopeus.

4.4 Muissa maissa käytössä olevia kansallisia arvoja

ETCS-järjestelmän yleisyyden takia muiden maiden käyttämiä kansallisia arvoja on mahdollista löytää vertailtavaksi. Taulukkoon 3 on kerätty ETCS-järjestelmän oletusarvot [3], Suomen tämänhetkiset käytössä olevat arvot [3], Tanskan [19, s. 404], Norjan [20, s. 201] ja Ruotsin [21, s. 162–165] viimeisimmät tarjolla olevat arvot. Taulukkoon on valittu verrokkimaiksi Ruotsi, Tanska ja Norja, koska Tanskassa ETCS-järjestelmän käyttöönotto on Pohjoismaista tällä hetkellä pisimmällä ja Ruotsi sekä Norja, koska ne vastaavat ilmastollisilta olosuhteilta Suomea. Eri maiden arvojen vertailussa on huomioitava, että jokaisella maalla on hyvin erilaiset toimintamallit ja liikennöintitavat. Myös verrokkimaissa käytettävä kalusto ja nopeudet saattavat poiketa toisistaan merkittävästi.

Tanskassa on käytössä matkustaja- ja tavarajunille omat korjauskertoimensa *Kv_int*-muuttujilla sekä matkustajajunille vielä arvot *A_NVP12* ja *A_NVP23*. Myös Norjassa on *Kv_int*-muuttujalle kaksi eri kerrointa ja samat arvot käytössä niin matkustaja- kuin tavarajunille. Suomesta ja Tanskasta poiketen norjalaisilla on hätäjarrutuksen muodostumisaikaa korjaavalle kertoimelle *KT_INT* käytössä arvo 1,3.

Huomioitavaa on, että Suomesta poiketen kumpikaan maa ei käytä käyttöjarrutusta tavoitepisteen valvonnassa. Todennäköisesti tällä on tavoiteltu hyötyjä kapasiteettiin, sillä käyttöjarrutuksen ollessa käytössä vaatii ETCS kuljettajaa jarruttamaan hieman aikaisemmin, kuin ilman käyttöjarrutusta. Myös kelistä riippuvat kertoimet *A_MAXREDADH1-3* ovat kaikki alhaisempia kuin Suomen tämänhetkiset arvot.

Taulukko 3. ETCS-järjestelmän jarrukäyriin vaikuttavien kansallisten arvojen muuttujat ja niiden oletusarvot sekä niiden arvot Suomesta, Tanskasta, Norjasta ja Ruotsista. Koottu lähteistä [3; 19; 20; 21]

Kansallisen arvon muuttuja	ETCS-oletusarvo	Suomi	Tanska	Norja	Ruotsi
M_NVKRINT	0,9	1	1	1	1
L_NVKRINT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
M_NVKVINT (Tavarajunat)	0,7	1	0.8	(1) 0,82 (2) 0,94	1
V_NVKVINT (Tavarajunat)	N/A	N/A	N/A	(1) 0 km/h (2) 60 km/h	N/A
M_NVKVINT (Matkustajajunat)	0,7	0,95	(1) 0,8 / 0,92 (2) 0,68 / 0,78 (3) 0,9 / 0,64 (4) 0,82 / 0,80 (5) 0,98 / 0,88	(1) 0,82 (2) 0,94	1
V_NVKVINT (Matkustajajunat)	N/A	N/A	(1) 0 km/h (2) 100 km/h (3) 120 km/h (4) 150 km/h (5) 180 km/h	(1) 0 km/h (2) 60 km/h	N/A
M_NVKTINT	1,1	1	1	1,3	1
A_NVP12	N/A	N/A	0,6 m/s ²	N/A	N/A
A_NVP23	N/A	N/A	1,05 m/s ²	N/A	N/A
A_NVMAXRE-DADH1	1,0 m/s ²	1,0 m/s ²	0,45 m/s ²	0,65 m/s ²	0,7 m/s ²
A_NVMAXRE-DADH2	0,7 m/s ²	0,7 m/s ²	0,45 m/s ²	0,65 m/s ²	0,7 m/s ²
A_NVMAXRE-DADH3	0,7 m/s ²	0,7 m/s ²	0,45 m/s ²	0,4 m/s ²	0,5 m/s ²
Q_NVGUIPERM	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Q_NVSBTSMPerm	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä
Q_NVSBFBPerm	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Q_NVDRIVER_ADHES	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

5 Jarrukäyrien laskenta JKV-järjestelmässä ja erot ETCS- ja JKV-järjestelmien laskennan välillä

Luvussa esitellään JKV-jarrukäyrälaskennan peruseriaate ja ETCS:n sekä JKV:n laskennan teoreettiset eroavaisuudet.

5.1 Jarrukäyrälaskennan perusteet JKV-järjestelmässä

Kuten ETCS-järjestelmässä, myös JKV-järjestelmässäkin lasketaan useampi jarrukäyrä. Käyrien tarkoituksena on ohjeistaa kuljettajaa aloittamaan tai tehostamaan jarrutusta ja huolehtia tarvittaessa junan pysähtymisestä, mikäli kuljettaja ei kehotuksiin reagoi. JKV:ssa lasketaan seuraavat taulukossa 4 esitetyt käyrät.

Taulukko 4. JKV-järjestelmässä laskettavat jarrukäyrät. Muokattu lähteistä [9; 22].

Käyrä	Nimi	Kuvaus
A-käyrä	Jarruta	Järjestelmän ensimmäinen kehotus kuljettajalle aloittaa jarrutus. Visuaalinen ilmaisu kuljettajapaneelilla.
B-käyrä	Jarruta lisää	Järjestelmä varoittaa kuljettajaa jarrutuksen tehostamiseksi tai aloittamiseksi. Visuaalinen ilmaisu kuljettaja paneelilla ja äänimerkki.
C-käyrä	Käyttöjarrutuksen aktivointi	Järjestelmä aloittaa käyttöjarrutuksen. Käyttöjarrutusta jatketaan niin kauan, kunnes juna on saavuttanut valvonta- tai tavoite-nopeuden.
D-käyrä	Käyttöjarrutus	Käyttöjarrutus-käyrä on peruskäyrä, jonka perusteella lasketaan muut käyrät.
E-käyrä	Hätäjarrutus	Hätäjarrutusta käytetään JKV-järjestelmässä, mikäli käyttöjarrutuksella ei saavuteta tarvittavaa nopeuden alennusta.

Jarrukäyrien laskennan perustana toimii Käyttöjarrutus-käyrä eli D-käyrä. D-käyrä lasketaan keskimääräisen vakiohidastuvuuden perusteella ja se kuvaa

lyhintä mahdollista käyttöjarrutusmatkaa, jonka laskennassa ei ole huomioitu viiveitä. D-käyrä lasketaan kaavan 7 avulla.

$$S_D = \frac{v_0^2 - v_T^2}{2 * b} \quad (7)$$

S_D on etäisyys tavoitepisteeseen (m)

V_0 on junan nopeus kyseisellä hetkellä (m/s)

V_T on tavoitenopeus (m/s)

b on junan hidastuvuusarvo (m/s²).

Hidastuvuusarvo b lasketaan JKV-järjestelmässä R-jarrulajin junille kaavalla 8.

$$b = \frac{7 * \lambda + 100}{1000} * k_v * k_s + 0,01 * g \quad (8)$$

b on junan hidastuvuusarvo (m/s²)

λ on jarrupainoprosentti (%)

g on radan kaltevuus (‰)

k_v on nopeudesta riippuva kerroin

k_s on kelistä riippuva kerroin.

P- tai G-jarrulajin junille hidastuvuus lasketaan kaavalla 9.

$$b = \frac{5 * \lambda + 100}{1000} * k_v * k_s + 0,01 * g \quad (9)$$

b on junan hidastuvuusarvo (m/s²)

λ on jarrupainoprosentti (%)

g on radan kaltevuus (‰)

k_v on nopeudesta riippuva kerroin

k_s on kelistä riippuva kerroin.

Hidastuvuuden laskennassa kelin mukainen kerroin k_s valitaan kuljettajan syötämän kelitiedon perusteella. Kuljettaja valitsee junatietojen syötön yhteydessä

sen hetken keliä vastaavan arvon lukujen 1–3 väliltä. Yksi vastaa hyvää keliä ja kolme huonoa keliä. Kuljettajan valinnan mukainen kertoimen arvo kaavassa on:

- hyvä keli (1) = 1,00
- normaali keli (2) = 0,875
- huono keli (3) = 0,750

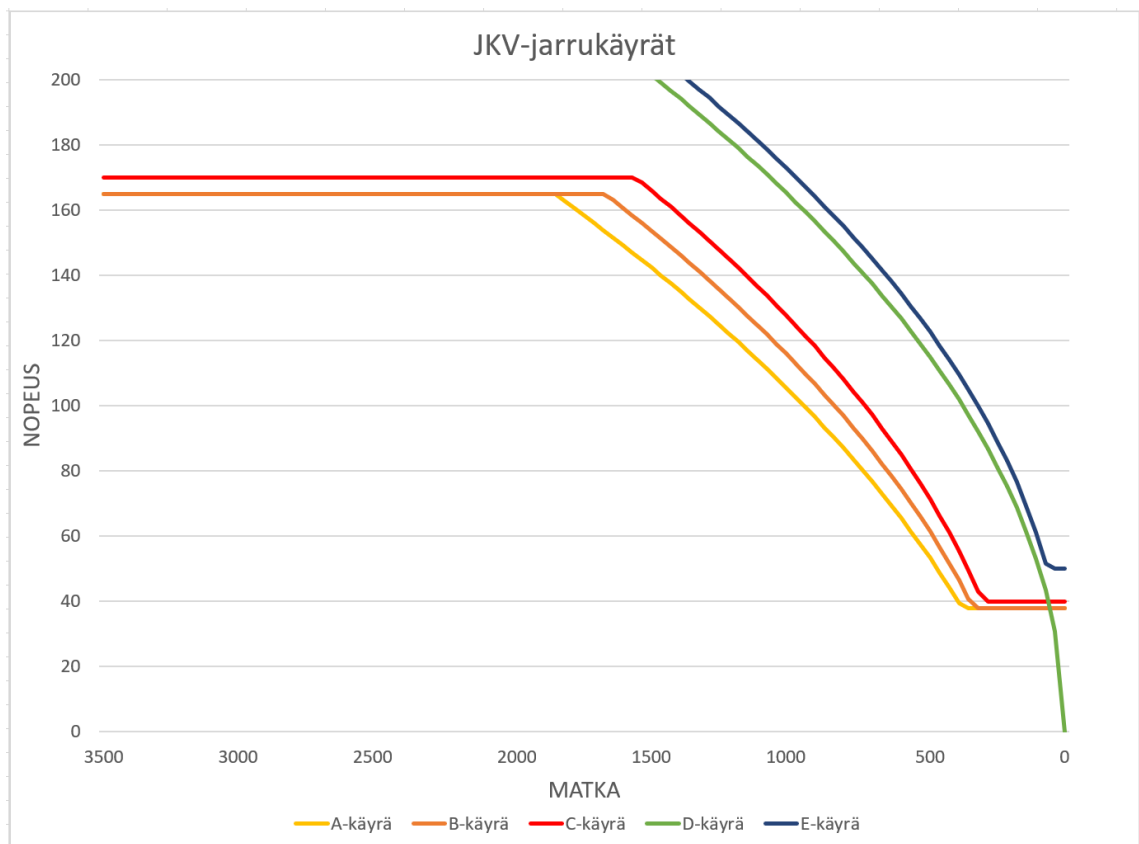
Vastaavasti nopeudesta riippuva kerroin k_v määräytyy taulukon 5 mukaan. Taulukon vasemmassa sarakkeessa on nopeusväli, jolla kerrointa käytetään, ja oikealla itse kerroin kyseiselle nopeusvälille. Laskennassa käytettävä nopeusväli on junan sen hetkinen nopeus kilometreinä tunnissa. Taulukossa on esitetty kertoimet Lambda-junille tarvittavaan nopeuteen 200 km/h asti. [9, s. 34–36; 22, s. 226–232; 23, s. 27–30.]

Taulukko 5. Hidastuvuusarvon b laskennassa käytettävän nopeuden mukaisen korjauskertoimen k_v arvo JKV-järjestelmässä. Muokattu lähteestä [22, s. 227].

V_0 (km/h)	Kertoimen k_v arvo
0–150	1
151–160	0,989
161–170	0,978
171–180	0,967
181–190	0,956
191–200	0,945

D-käyrän avulla lasketaan varsinainen Käyttöjarrutuksen aktivointi -käyrä eli C-käyrä. Sen laskennassa otetaan huomioon erilaiset jarrutuksen viiveet. Mikäli tavoitepisteenä on Seis-opastetta näyttävä opastin, otetaan C- ja D-käyrien välisessä etäisyyden laskennassa lisäksi huomioon S_0 -tekijä. S_0 -tekijän tarkoitus on turvata junan pysähtyminen ennen opastinta siirtämällä käyrää tavoitepisteestä kohti junaa. Matkustajajunilla S_0 :n arvo on maksimissaan 200 metriä ja tavarajunilla 120 metriä.

Kuljettajaa varoittavat A- ja B-käyrät lasketaan C-käyrän perusteella. A-käyrä lasketaan niin, että kuljettajaa varoitetaan ensimmäisen kerran 8 sekuntia ennen kuin C-käyrä kohdattaisiin. B-käyrä taas lasketaan niin, että lisähuomautus tulee 4 sekuntia ennen C-käyrää. Vastaavasti Hätäjarrutus-käyrä eli E-käyrä lasketaan D-käyrän pohjalta siten, että se aktivoidaan 2 sekuntia sen jälkeen, kun junan nopeus on ylittänyt D-käyrän. Kuvassa 15 on esitetty esimerkki JKV:ssa laskettavista jarrukäyristä lähestyttäessä Seis-opastetta. [22, s. 226–232.]



Kuva 15. Esimerkki JKV-järjestelmän jarrukäyristä. Muokattu lähteistä [9; 22].

5.2 ETCS- ja JKV-jarrukäyrälaskennan teoreettiset erot

ETCS- ja JKV-järjestelmien jarrukäyrälaskennan toimintaperiaatteet eroavat toisistaan jonkin verran. ETCS ottaa laskennassaan huomioon enemmän epävarmuustekijöitä ja on tarkempi. Yksi selkeä eroavaisuus on hätä- ja käyttöjarrutuksen käyttämisessä. Siinä missä JKV:ssa käyttöjarrutus on turvallisuuskriittinen,

ja hätäjarru toimii ainoastaan varo-ominaisuutena, on hätäjarru ETCS:ssä taas turvallisuuskriittinen, ja käyttöjarrun käyttö on kansallisesti valittava ominaisuus. Seis-opastetta lähestyttäessä ETCS määrittää myös kaksi erillistä pistettä, joita valvotaan. EoA (End of Authority) eli ajoluvan päätepiste on kohta, johon juna saa ajoluvan puitteissa edetä, ja SvL (Supervised Location) on turvattava kohta EoA:n takana. EBD-käyrä lasketaan ETCS:ssä turvattavaan kohtaan ja SBD-käyrä, mikäli käyttöjarrutus on käytössä, lasketaan ajoluvan päätepiesteeseen. JKV:ssa sekä hätäjarrutuskäyrä että peruskäyränä toimiva käyttöjarrutuskäyrä lasketaan ajoluvan päätepiesteelle. [3, s. 30.]

Myös kelitiedon käyttäminen jarrukäyrälaskennassa eroaa järjestelmien välillä toisistaan huomattavasti. ETCS:ssä kelitiedon välittämisen lähtökohtana on ratalaitteiden välittämä tieto, ja kuljettajan mahdollisuus muokata keliarvoa on kansallisesti valittavissa oleva toiminto. JKV:ssa taas kelitieto annetaan aina kuljettajan toimesta junatietojen syötön yhteydessä ja sitä on myös matkan aikana mahdollista muokata. JKV:ssa kuljettajan syöttämän kelitiedon perusteella järjestelmä muuttaa hidastuvuuden laskennassa kelikerrointa, kun taas ETCS:ssä kelitietona annetaan aina kiinteä kyseiselle junatyypille kuuluva hidastuvuuden arvo (m/s^2). Lisäksi JKV:ssa kelikertoimia on kolme kappaletta, joita kaikkia voidaan käyttää eri junatyypeille ja näin vaikuttaa juuri kyseisen junatyyppin hidastuvuuden laskentaan. ETCS:ssä taas jokaiselle junatyypille on vain yksi mahdollinen liukkaan kelin hidastuvuusarvo. Erityisesti tavarajunilla tämä aiheuttaa ongelmia, sillä taarassa kulkevan tavarajunan, jonka jarrupainoprosentti on 100 %, ominaishidastuvuus on yleensä noin $0,83 \text{ m/s}^2$, mutta kuormassa kulkevalla junalla, jonka jarrupainoprosentti on 50 %, kyseinen ominaishidastuvuus voi olla $0,45 \text{ m/s}^2$. Lisäksi liukkaalla kelillä ominaishidastuvuusarvo alentuu entisestään näistä arvoista. Näin ollen yhden ainoan keliarvon valitseminen kaikille tavarajunille on erityisen vaikeaa. [3, s. 28–30.]

Tämän hetken vaatimusten mukaan ETCS-järjestelmän konversiomallin mukainen laskenta on toimiva ainoastaan silloin, kun junan jarrupainoprosentti on 30–250 % [16, s. 101]. Kuten alaluvun 3.1 taulukosta 2 nähdään, voi Suomessa liikkuvalla kalustolla jarrupainoprosentti alimmillaan olla 18 %. JKV-järjestelmän

jarrukäyrälaskenta toimii näille junille, mutta ETCS:n laskenta ei alle 30 % jarrupainoprosentin omaaville junille päde.

ETCS:n konversiomallin laskenta myös käsittelee jarrulajien R ja P matkustajajunat samalla laskentatavalla, kun taas JKV:ssa P-jarrulajin junilla hidastuvuusarvon laskennassa käytettävä kerroin on pienempi, kuin R-jarrulajin laskennassa, kuten luvussa 5.1 esitellyissä kaavoissa 8 ja 9 nähdään.

6 Vertailu ETCS- ja JKV-jarrukäyrätyökalujen tuloksien välillä

Työssä tarkasteltiin Suomessa nykyisin määriteltyjen kansallisten arvojen antamia laskennallisia jarrutustuloksia suhteessa JKV-järjestelmän tuloksiin sekä muiden pohjoismaiden käytössä olevien kansallisten arvojen pohjalta tehtyjen laskentojen tuloksiin. Jarrukäyrien laskennassa ETCS:n osalta käytettiin ERA:n Excel-työkalua *Braking curves simulation tool v4.2* [24]. Työkalulla voidaan mallintaa junan veturilaitteen jarrukäyrälaskentaa. ETCS-työkalun perusasetukset kaikille maille on nähtävissä kuvasta 16.

Train type	<input type="radio"/> Gamma train <input checked="" type="radio"/> Lambda train	
Brake position	<input checked="" type="radio"/> Passenger train in P <input type="radio"/> Freight train in P <input type="radio"/> Freight train in G	
Traction model: T_traction_cut_off (seconds)	0	
Service brake interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Traction cut off interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Special/additional brake independent from wheel/track adhesion?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Speed inaccuracy (%)		<input type="radio"/> Fixed (Enter) <input checked="" type="radio"/> Subset-041
Position inaccuracy (m + %)	5 5	Abs. value <input type="radio"/> + Rel. value <input checked="" type="radio"/> Subset-041
Train length (m)	255	<input type="text" value="255"/>
Nominal rotating mass (%)		<input type="radio"/> Fixed (Enter value) <input checked="" type="radio"/> Unknown
Distance antenna - train front (m)	2	
Acceleration (m/s ²)	0	

Kuva 16. ETCS-jarrukäyrätyökalussa käytetyt perusasetukset [24].

Sijainninkorjausbaliisien sijoittelu ETCS-jarrukäyrätyökalussa tehtiin Ratatekniset ohjeet osa 22 (RATO 22) ohjeen *Sijainninkorjauspisteiden sijoittaminen linjalla* [25] mukaisesti. JKV:n osalta käytössä oli VR:n kehittämä, myös Excel-pohjainen jarrukäyrälaskenta työkalu *JKV-jarrukäyrälaskentaohjelma ver. 8* [26].

Tarkastelu tehtiin ainoastaan Seis-opastetta lähestyvälle junalle, eli nopeusrajoitusten johdosta tapahtuvat jarrutukset on rajattu työn ulkopuolelle. Ohiajovaranä käytettiin molemmissa työkaluissa 150 metriä. Valvontanopeus asetettiin ETCS-tarkasteluiden osalta kunkin maan kansalliseen arvoon. Suomessa ja Ruotsissa valvontanopeus on määritelty 15 km/h, Norjassa 30 km/h ja Tanskassa 0 km/h. JKV-tarkasteluissa valvontanopeutena käytettiin laskentaohjelman antamaa junakohtaista arvoa, joka perustuu ohiajovaran pituuteen ja junan jarrutuskykyyn. Kaluston osalta tarkasteluun valikoitiin ainoastaan kotimaisella kalustolla varustettuja junia. Tarkastelussa käytetyt junatyypit on esitelty taulukossa 6. Tarkasteluun valittiin mukaan matkustajajunista kolme eri pituista R-jarrulajin junaa sekä yksi P-jarrulajin juna. Tavarajunista valittiin kaksi eripituista junaa, joista molemmista tarkasteltiin jarrutuskäyttäytymistä sekä kuormassa, että taarassa.

Taulukko 6. Jarrukäyrälaskennassa käytetyt junat ja niiden jarrulaji, jarrupainoprosentti, pituus ja jarrutuksen aloitusnopeus.

Juna	Jarrulaji	Jarrupainoprosentti (%)	Pituus (m)	Jarrutuksen aloitusnopeus (km/h)
IC 1	R	135	99	200
IC 2	R	135	125	160
IC 3	R	135	255	200
P 1	P	121	430	120
T 1	G	54	520	80
T 2	G	105	520	80
T 3	G	43	250	80
T 4	G	102	250	80

Laskenta suoritettiin jokaisen junan osalta käyttäen JKV:n kaikkia kolmea keli-kerrointa. Kelikerroimia 1 (hyvä) ja 2 (normaali) verrattiin ETCS:n normaalin keliarvon laskentaan. JKV:n kelikerrointa 3 (huono) taas verrattiin ETCS:n liukaan keliarvon laskentaan. Lisäksi jokaisen junan osalta laskenta tehtiin tasaisen radan kaltevuusarvolla 0 ‰ ja alamäen kaltevuusarvolla -10 ‰. Tulokset on kerätty sekä matkustaja- että tavarajunien osalta vertailutaulukoihin JKV-keliarvojen mukaisesti. Jokaisessa vertailutaulukossa on esitetty jarrukäyrälaskentatyökalujen antamat tulokset, ETCS- ja JKV-laskennan käyrien väliset erot maakohtaisilla kansallisilla arvoilla sekä muiden maiden arvojen antamien tuloksien erot Suomen arvoihin. Jarrukäyristä vertailussa on JKV:n A-, B-, C- ja E-käyrät, joita verrattiin ETCS:n I-, W-, SBI- ja EBI-käyriin. Koska Tanskassa ja Norjassa ei ole käytössä käyttöjarrutusta, on taulukoissa molempien maiden SBI- ja EBI-käyrille annettu sama arvo, joka vastaa EBI-käyrän arvoa. Näin voidaan verrata keskenään myös sitä hetkeä, kun kulunvalvontajärjestelmä puuttuu tilanteeseen jarruttamalla. JKV:ssa sekä Suomen ja Ruotsin ETCS:ssä ensimmäinen jarrutus tapahtuu käyttöjarrutuksen kautta, mutta Tanskassa ja Norjassa jarrutus tapahtuisi suoraan hätäjarrutuksella. Vertailutaulukot on koottu työn liitteisiin, liitteessä 1 on matkustajajunien tulokset ja liitteessä 2 tavarajunien tulokset.

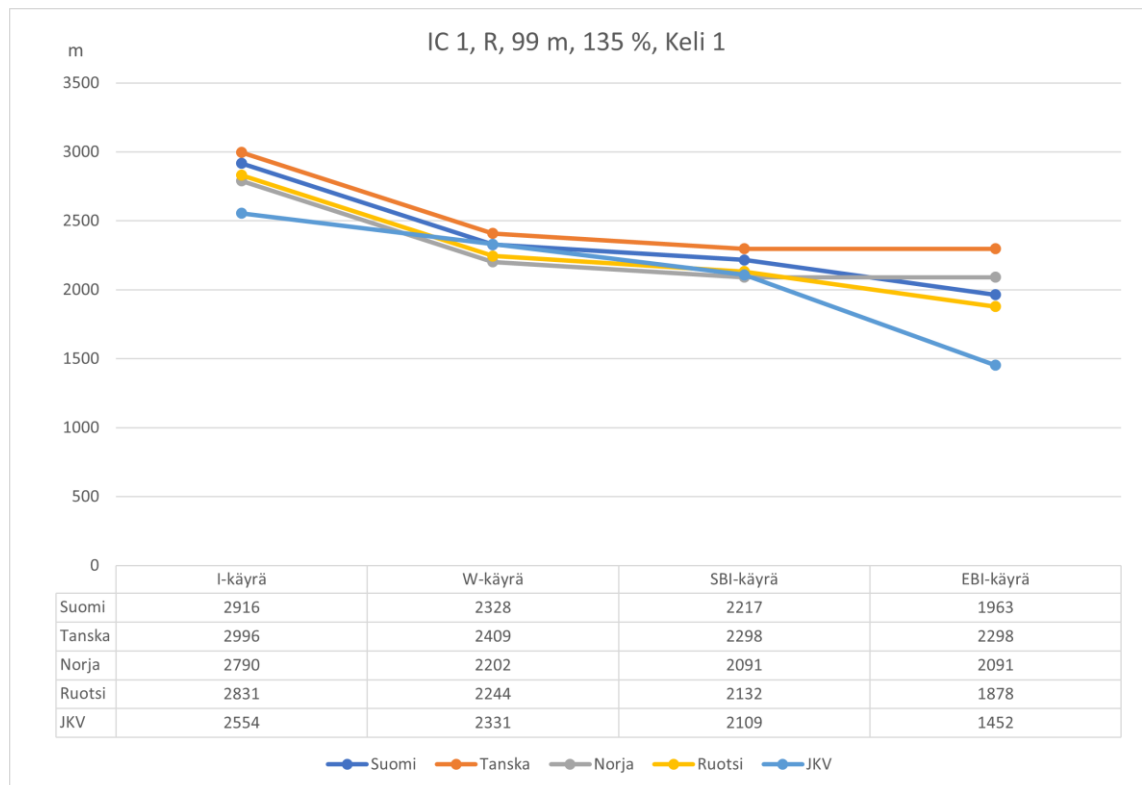
Vaikka jarrukäyrätyökalujen laskemista tuloksista voitaisiinkin todeta junan pysähtyvän turvallisesti oletetussa matkassa, tulisi kaikkien kansallisten arvojen varmistamiseksi suorittaa varsinaiset jarrutuskokeet ETCS-varustetulla kalustolla.

6.1 Matkustajajunien vertailun tulokset

Matkustajajunien osalta tarkempaan vertailuun valittiin taulukon 6 junista *IC1* ja *P1*. Vertailutaulukon tuloksista ja seuraavilla sivuilla olevista kuvista voidaan hyvin havaita ETCS- ja JKV-järjestelmien toimintafilosofioiden erot. Käyrien muodoista voidaan nähdä, kuinka JKV-järjestelmässä ensimmäinen ilmoitus jarrustarpeesta, sitä seuraava varoitus ja lopulta käyttöjarrutuksen aktivointi kohdataan tasaisin väliajoin. JKV siis olettaa kuljettajan jarruttavan jo ennen ensimmäistä indikaatiota. ETCS:ssä taas ilmoitus annetaan hyvissä ajoin, jotta

kuljettaja kykenee reagoimaan riittävän ajoissa ennen jarrujen aktivointia. Sen sijaan ero varoituksen ja jarrujen aktivoinnin välillä on ETCS-järjestelmässä pienempi. Järjestelmä siis olettaa kuljettajan jarruttavan laitteen ohjeistamana jo ensimmäisen ilmoituksen jälkeen.

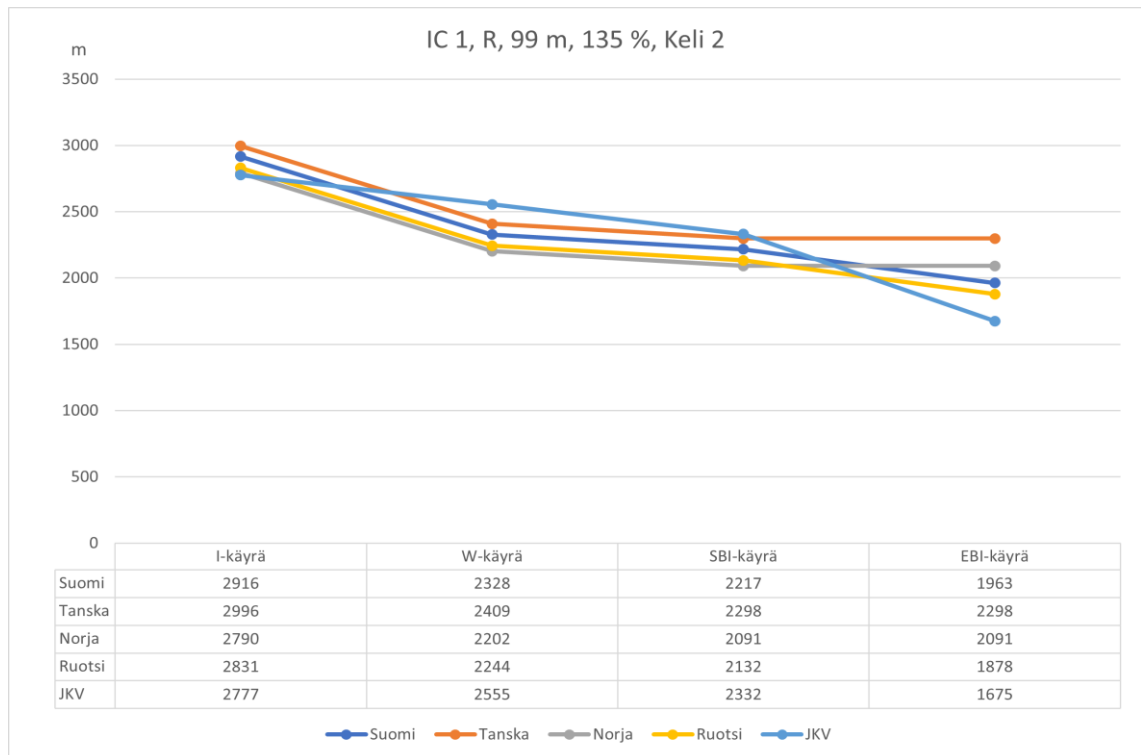
IC1-junan osalta, kuten muidenkin vertailutaulukossa olevien R-jarrulajin junien osalta ETCS-laskenta seuraa pääosin JKV-laskennan käyriä. Kuvassa 17 on nähtävillä vertailu JKV:n kelin 1 ja ETCS:n normaalin kelin välillä. ETCS:n osalta maiden välisten arvojen eroavaisuus ei ole merkittävän suuri. Eroavaisuudet ETCS:n ja JKV:n välillä ovat myös vähäiset. Selvästi on nähtävissä, kuinka ETCS pyrkii opastamaan kuljettajaa antamalla ilmoituksen jarrutustarpeesta hyvissä ajoin.



Kuva 17. Junan *IC1* jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS normaalin kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 1 kertoimella.

Kuvassa 18 vertailu on tehty JKV kelin 2 ja ETCS normaalin kelin osalta. ETCS:n osalta arvot ovat siis vastaavat, kuin edellisessä kuvassa. Kelin 2

arvoilla JKV:n ensimmäinen ilmoitus tulee lähes samaan aikaan, kuin ETCS:n. Varoitus ja käyttäjarrutus kohdataan kelin 2 arvoilla JKV:lla aikaisemmin kuin ETCS:llä. JKV:ssa kuljettaja on vastuussa kelitiedon syöttämisestä järjestelmälle ja valinta keliarvon välillä perustuu kuljettajan omaan arvioon kelistä sillä hetkellä. ETCS jarrukäyrälaskentaan tällä hetkellä määritellyjä arvoja [3] voidaan vertailuiden perusteella pitää toimivina kelin ollessa normaali.

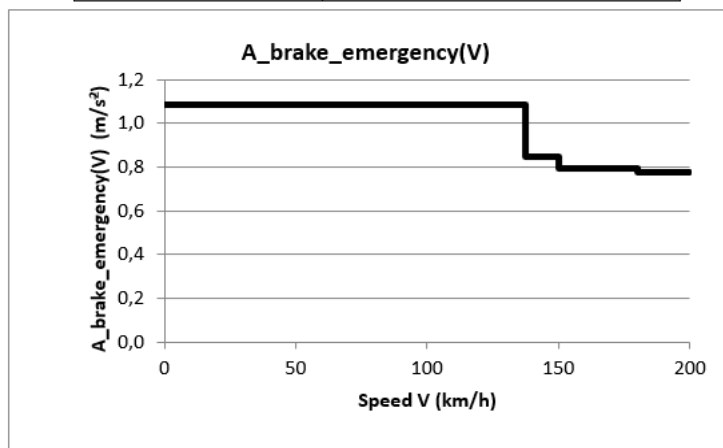


Kuva 18. Junan IC1 jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS normaali kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 2 kertoimella.

Viimeisenä vertailuna IC1-junan osalta on liukkaan kelin arvojen vertailu. Jos ETCS-veturilaite saa joko kuljettajalta tai ratalaitteilta tiedon liukkaasta kelistä, se vertaa junan laskennallista hidastuvuusarvoa ja kansallisissa arvoissa annettua hidastuvuusarvoa keskenään, ja valitsee laskentaan näistä pienemmän. Kuten taulukosta 3 nähtiin, Suomen tämänhetkinen arvo matkustajajunille on $0,7 \text{ m/s}^2$. Kuvassa 19 on esitetty ETCS-jarrukäyrätyökalun laskema hidastuvuusarvo IC1-junalle. Kuvassa näkyvä *A_brake_emergency* vastaa aikaisemmin esiteltyä *A_brake_converted*-arvoa, josta korjauskertoimien *Kv_int* ja *Kr_int* avulla

saadaan laskettua varsinainen hidastuvuusarvo, jota veturilaite vertaa liukkaan kelin kansallisesti asetettuun hidastuvuusarvoon. Kuvasta voidaan nähdä, että junan laskennallinen hidastuvuusarvo on koko nopeusalueen läpi suurempi kuin liukkaan kelin hidastuvuuden arvo. Näin ollen veturilaite käyttää laskennassa kansallisesti asetettua arvoa. Muiden maiden arvoihin verrattaessa Suomen valittu arvo näyttää myös olevan linjassaan, lukuun ottamatta Tanskaa, jossa arvoksi on valittu matkustajajunille hyvin alhainen $0,45 \text{ m/s}^2$.

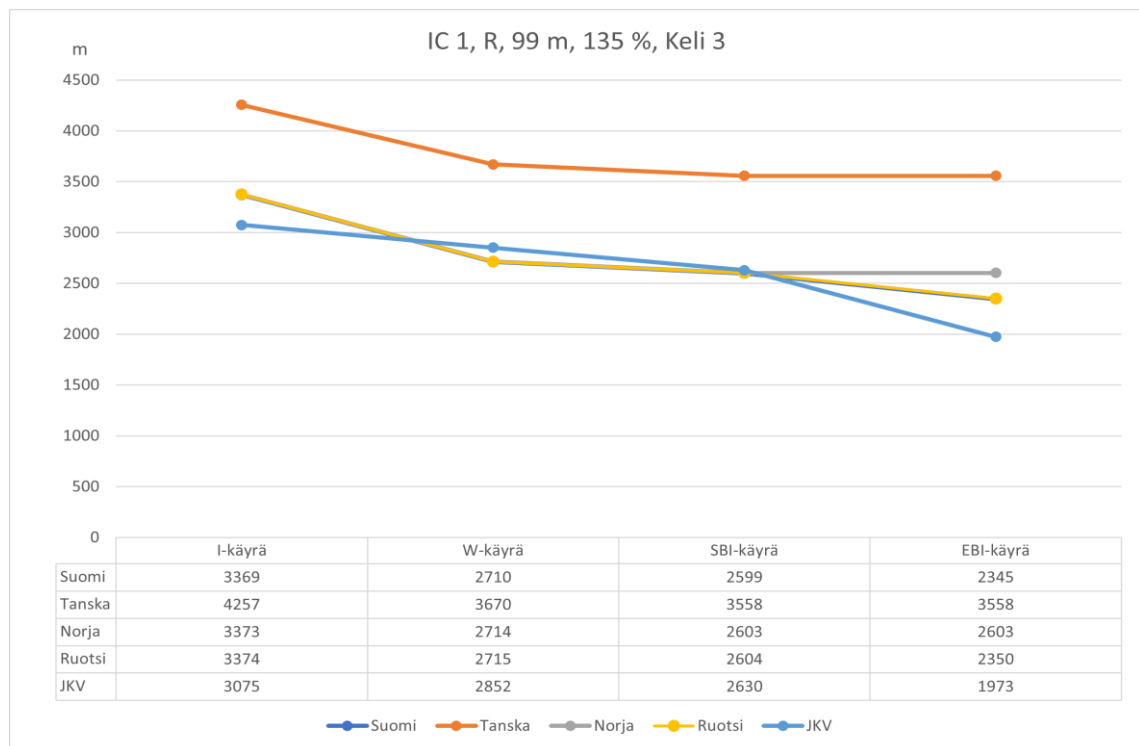
	Speed V (km/h)	A_brake_emergency(V) (m/s^2)
	0	1,0885
V_lim EB	137,53	1,0885
	137,53	0,8463
	150,00	0,8463
	150,00	0,7968
	180,00	0,7968
	180,00	0,7968
	180,00	0,7968
	180,00	0,7968
	180,00	0,7968
	180,00	0,7772
	200,00	0,7772



Kuva 19. Jarrupainoprosentin 135 % omaavan junan laskennallinen hidastuvuusarvo [24].

Kuvassa 20 on vertailu liukkaan kelin arvojen väliltä. Suomen asettama liukkaan kelin arvo $A_{NVMAXREDADH2}$ vastaa hyvin JKV:n keli 3 kertoimella laskettuja arvoja, ja on vertailujen perusteella käyttökelpoinen arvo. Ruotsin ja Suomen arvojen hienoiset erot jarrukäyrissä johtuvat nopeudenkorjauskertoimen Kv_{int}

erosta, joka Suomessa on asetettu arvoon 0,95 ja Ruotsissa 1 molempien maiden hidastuvuusarvon ollessa 0,7 m/s².

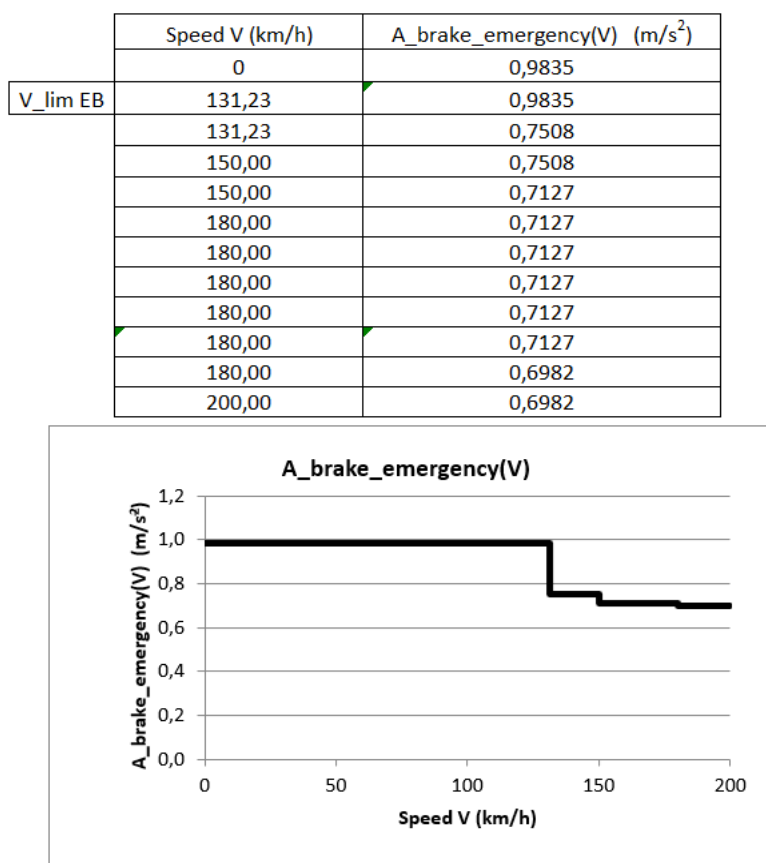


Kuva 20. Junan *IC1* jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS liukkaan kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 3 kertoimella. Ruotsin, Suomen ja Norjan kuvaajat kulkevat lähes päällekkäin kuvassa.

Vertailutaulukoiden ja yllä esitetyn esimerkin perusteella ETCS-jarrukäyrälaskenta toimii R-jarrulajin junilla Seis-opastetta lähestyttäessä, koska suomalaisen matkustajaliikennekaluston jarrupainoprosentin vaihteluväli ei ole kovin suuri. Asia on todettu myös aikaisemmin tehdyssä kansallisten arvojen selvityksessä [3].

Toisena tarkasteltavana matkustajajunana on P-jarrulajin juna *P1*, joka kuvaa esimerkiksi Suomessa kulkevia yöjunia. P-jarrulajin matkustajajunia käsitellään ETCS-järjestelmän laskennassa samalla tavalla kuin R-jarrulajin junia. Näin ollen hidastuvuusarvon laskenta tapahtuu niille molemmille täysin samalla tavalla jarrupainoprosenttiin pohjautuen, kuten kaavassa 4 aikaisemmin on esitetty. JKV:n osalta taas R- ja P-jarrulajien eroavaisuus hidastuvuuden laskennassa

on nähtävissä kaavoissa 8 ja 9. JKV:n hidastuvuusarvon laskenta tuottaa vertailutaulukon P1-junalle R-jarrulajilla hidastuvuusarvon b , joka on $0,783 \text{ m/s}^2$ ja P-jarrulajilla $0,583 \text{ m/s}^2$. ETCS:n laskema hidastuvuudenarvo taas on $0,985 \text{ m/s}^2$, kuten kuvasta 21 voidaan nähdä. Suomen korjauskertoimien jälkeen arvoksi muodostuu noin $0,934 \text{ m/s}^2$.



Kuva 21. ETCS:n laskema hidastuvuusarvo vertailun P-jarrulajin junalle [24].

Teoreettisesti laskennan pohjalta voidaan jo olettaa JKV-järjestelmän toimivan P1-junalle aikaisemmin, kuin ETCS-järjestelmän. Kuvassa 22 nähdään JKV:n kelin 2 arvoilla tehty vertailu kyseisen junan osalta ETCS:n normaaliin keliin. Suomen ja Ruotsin arvoilla ETCS toimii jo selkeästi myöhemmin, kuin JKV. Ja Norjan sekä Tanskan arvoilla ero on jo huomattava. Esimerkiksi W-käyrän ja sitä vastaavan JKV:n B-käyrän välinen ero Norjan ETCS arvojen ja JKV:n välillä on yli 700 metriä. Ajallisesti tämä tarkoittaa 120 km/h nopeudessa yli 20 sekuntia. Tanskan matkustajajunien arvoihin verrattaessa on huomioitava, että

Tanskassa suurin sallittu junapituus matkustajajunille on 400 metriä [27, s. 43]. Lähteenä olevan tutkimuksen [27] mukaan kansalliset arvot on määritelty Tanskassa tämän pohjalta. Matkustajajunien jarrupainoprosentit vaihtelevat Tanskassa selvästi enemmän, kuin Suomessa. Tanskassa lambda-junien jarrupainoprosentit ovat 119 prosentista aina yli 180 prosenttiin [27, s. 33]. Toisaalta Suomessa jarrutuskykyvaatimuksien laskenta ja sitä kautta jarrupainoprosentin määrittäminen tulisi vuonna 2017 tehdyn tutkimuksen [9] mukaan uudistaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin matkustajajunien jarrutuskykyvaatimuksia ja lopputuloksena todettiin, että Suomessa tällä hetkellä käytössä olevat vaatimukset eivät kaikilta osin vastaa nykyisen kaluston parantunutta jarrutuskykyä. Tutkimuksessa tarkastelu keskittyi lähinnä R-jarrulajin juniin. Joten suoraan ei voida todeta, että tässä tarkastellun P-jarrulajin junan todellinen jarrutuskyky saattaisi olla parempi, kuin mitä esimerkiksi JKV-laskenta näyttää.



Kuva 22. Junan P1 jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS normaali kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 2 kertoimella.

Liukkaan kelin arvoilla tarkasteltaessa JKV:n ja ETCS:n välinen ero hieman kaventuu, kuten kuvasta 23 voidaan nähdä. Kuvaan on tehty vertailun vuoksi Tanskan arvoilla kaksi eri versiota. Oranssilla näkyvä käyrä kuvaa Tanskan käytössä olevilla kansallisilla arvoilla laskettua jarrutuskäyttäytymistä. Huolimatta siitä, että Tanskan liukkaan kelin hidastuvuusarvo on $0,45 \text{ m/s}^2$ ja Suomen $0,7 \text{ m/s}^2$, Tanskan jarrukäyrä seuraa melko lähellä Suomen käyrää. Jos taas Tanskan kansalliset arvot pidetään korjauskertoimien ja muiden osalta ennallaan, mutta käyttöjarrutuksen käyttö tavoitenopeuden valvonnassa (*Q_NVS-BTSMPerm*) otetaan käyttöön, siirtyvät huomautus- ja jarrutusajankohdat huomattavasti aikaisemmaksi. Kuvassa Tanskan muokattujen arvojen jarrukäyrä on nähtävissä punaisella värillä. Kyseinen kuva on hyvä esimerkki ETCS-laskennan monimutkaisuudesta ja siitä, miten kansallisten arvojen valinnat vaikuttavat turvallisuuden lisäksi myös kapasiteettiin. Yhden arvon muuttaminen joko käyttöön tai pois muuttaa jarrutustavan (käyttö-/hätäjarrutus) lisäksi laitteen suorittaman jarrutuksen aloituskohtaa noin 400 metriä tai noin 12 sekuntia aikaisemmaksi.



Kuva 23. Junan *P1* jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS liukkaan kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 3 kertoimella. Suomen ja Ruotsin kuvaajat kulkevat päällekkäin kuvassa.

Yhteenvedona matkustajajunien arvojen osalta voidaan todeta, kuten jo aikaisemmassa selvityksessä [3], että Suomen tämän hetken arvot toimivat pääsääntöisesti hyvin veturivetoisille matkustajajunille. Mutta ETCS:n arvojen vahvistaminen vaatii vielä käytännön jarrutuskokeita erityisesti P-jarrulajin kalustolla.

6.2 Tavarajunien vertailun tulokset

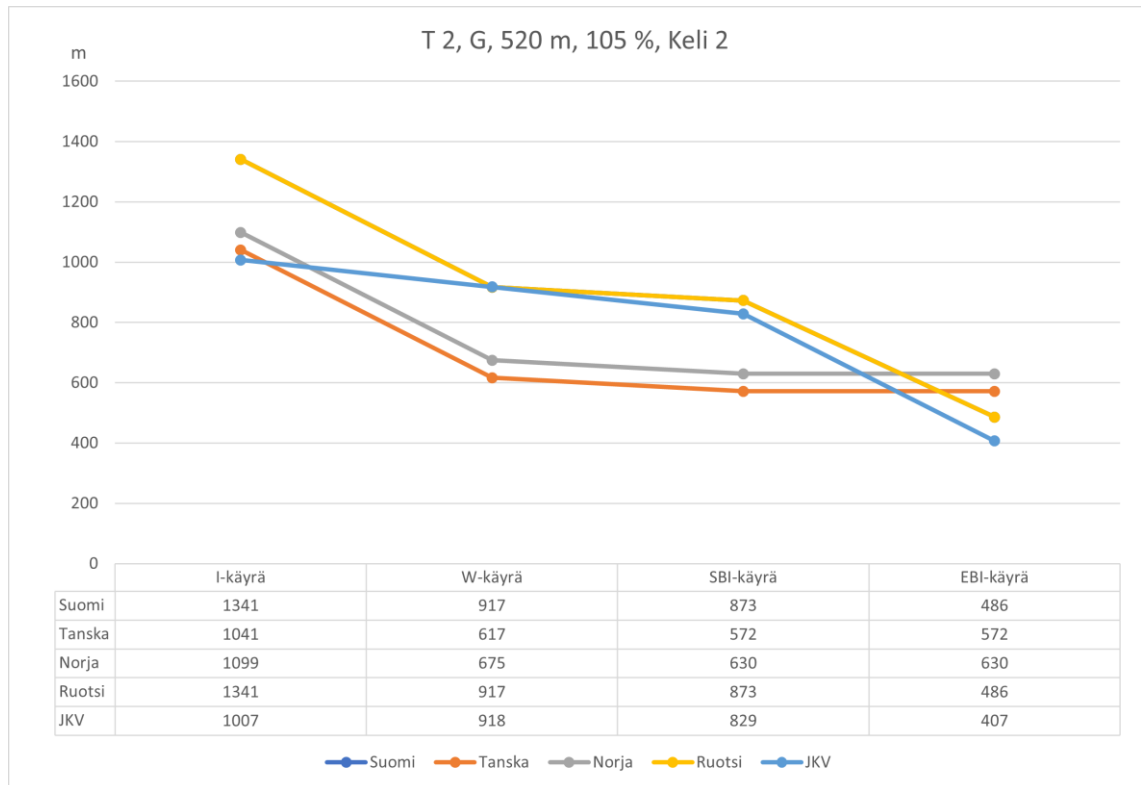
Tavarajunien jarrukäyrä-vertailussa ETCS-laskenta Suomen nykyisillä arvoilla toimii hyvällä ja normaalilla kelillä hyvin JKV:n kanssa vertailtaessa. Tavarajunien osalta ETCS:n ennakoiva tapa ilmoittaa kuljettajalle jarrutuksen aloittamisesta korostuu. Kuvassa 24 on kuormassa kulkevan esimerkkijunan *T1* jarrukäyrien vertailu. Kuvasta voidaan nähdä, että ETCS:n I- ja W-käyrien välinen etäisyys on noin 400 metriä ja 80 km/h nopeudessa se tarkoittaa 18 sekuntia.

JKV:n A- ja B-käyrien välinen etäisyys taas on alle 100 metriä, joka ajallisesti vastaa neljää sekuntia.



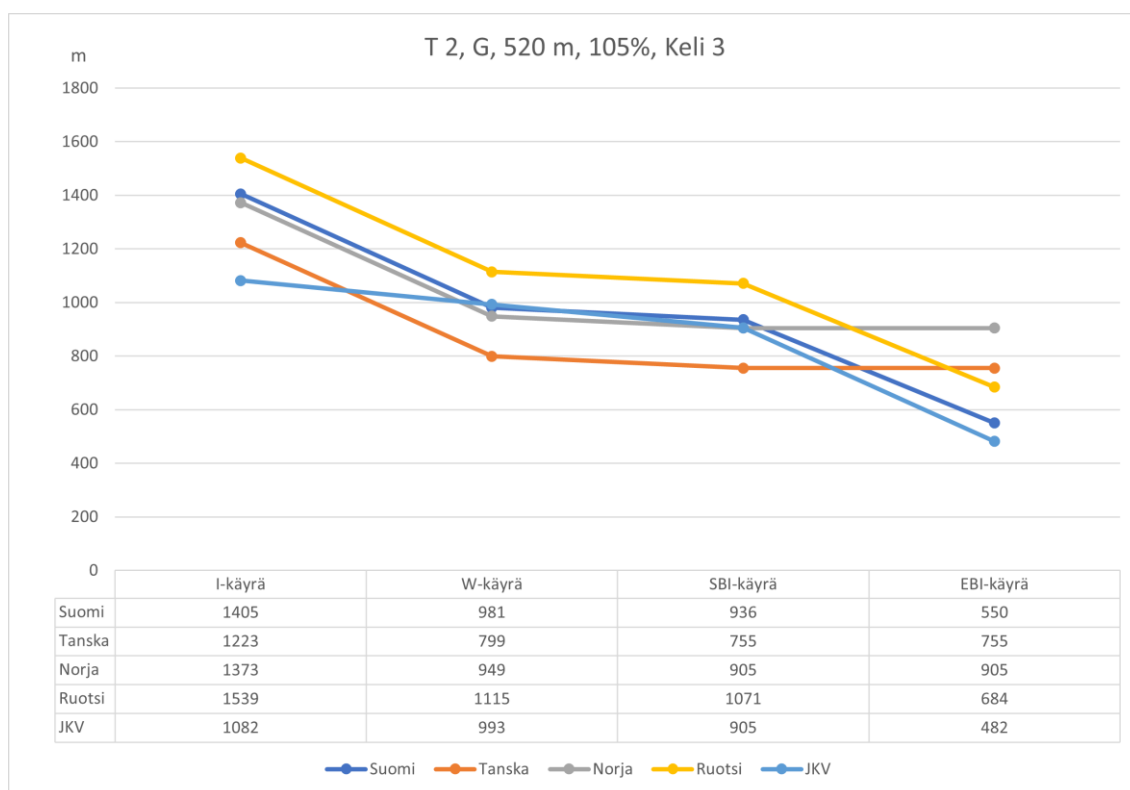
Kuva 24. Junan T1 jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS normaali kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 2 kertoimella. Suomen ja Ruotsin kuvaajat kulkevat päällekkäin kuvassa.

Kuvassa 25 on taarassa kulkevan esimerkkijunan T2 jarrukäyrät. Myös sen osalta ETCS:n toiminta seuraa hyvin JKV:n toimintaa ensimmäistä ilmoitusta lukuun ottamatta.



Kuva 25. Junan T2 jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS normaali kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 2 kertoimella. Suomen ja Ruotsin kuvaajat kulkevat päällekkäin kuvassa.

Tavarajunien osalta suurimman ongelman aiheuttaa liukkaan kelin arvon määrittäminen. Taarassa kulkevien junien, joiden jarrupainoprosentti on suurin piirtein 100 prosenttia, kohdalla nykyinen määritelty arvo $0,7 \text{ m/s}^2$ on toimiva. Kuvassa 26 on esitetty esimerkijunan T2 jarrukäyrät liukkaan kelin arvoilla laskettuna. ETCS toimii jälleen I-käyrää lukuun ottamatta hieman aikaisemmin kuin JKV, mutta esimerkiksi kapasiteetin kannalta kyseessä ei ole ratkaiseva ero.



Kuva 26. Junan T2 jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS liukkaan kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 3 kertoimella.

Kuormassa kulkevien junien osalta ETCS:n keliarvon käyttö ei enää nykyisillä Suomen kansallisilla arvoilla toimi. Esimerkki junan T1 osalta voidaan kuvasta 27 nähdä, että ETCS:n reagointi tapahtuu hieman myöhemmin, kuin JKV:n. Tämän lisäksi junan huonon kelin jarrukäyrät ovat täsmälleen samat, kuin normaalin kelin käyrät. Käyrien yhtenäisyys johtuu ETCS:n tavasta käsitellä keliarvoa. ETCS vertaa laskennallista hidastuvuutta kansallisissa arvoissa asetettuun hidastuvuusarvoon. Kuormassa kulkevien tavarajunien laskennallinen hidastuvuus on selvästi matalampi, kuin tämänhetkinen asetettu liukkaan kelin arvo $0,7 \text{ m/s}^2$. Näin ollen ETCS käyttää laskennassa junan laskettua hidastuvuusarvoa. Tilanteissa, joissa kuljettaja toteaa kelin olevan huono ja asettaa veturilaitteelle liukkaan kelin arvon käyttöön, hän todennäköisesti myös olettaa laitteen reagoivan liukkaan kelin mukaisesti. Jos laite laskee jarrukäyrät täysin samoin kuin hyvällä kelillä, on vaarana, että kuljettaja aloittaa jarrutuksen laitteen ohjeistamana liian myöhään eikä juna pysähdy oletetulla matkalla.



Kuva 27. Junan T1 jarrukäyrät ETCS- ja JKV-laskentatyökaluilla laskettuina. ETCS liukkaan kelin hidastuvuusarvolla ja JKV kelin 3 kertoimella. Suomen ja Ruotsin kuvaajat kulkevat päällekkäin kuvassa.

Liitteen 2 kuvassa 3 olevasta vertailutaulukosta voidaan nähdä, että liukkaan kelin jarrukäyrien ero kasvaa JKV:n ja ETCS:n välillä sitä mukaa, mitä alemmaksi junan jarrupainoprosentti menee. Muiden maiden arvojen osalta nähdään erityisesti Tanskan ja Norjan osalta käyttöjarrutuksen pois jättämisen vaikutus. Esimerkiksi Tanskan liukkaan kelin arvo $0,45 \text{ m/s}^2$ on selvästi matalampi kuin Suomen tämän hetken arvo. Siitä huolimatta Suomen jarrukäyrät ovat paljon konservatiivisemmat kuin Tanskan. Jos Tanskan arvoilla laskenta suoritettaisiin niin, että käytössä on käyttöjarru, kohdattaisiin esimerkiksi T2 junalla W-käyrä 1256 metrin kohdalla 799 metrin sijaan.

Tavarajunien osalta voidaan siis todeta, että Suomen nykyinen liukkaan kelin arvo ei ole toimiva. Kuormassa kulkeville junille kyseinen arvo on liian korkea. Jos arvoa lasketaan paremmin kuormassa kulkeville junille toimivaksi, tulee siitä liian rajoittava taarassa kulkeville. Vaikka tällä muutoksella toisaalta mennään

turvallisempaan suuntaan pysähtymisen osalta, on sillä selviä vaikutuksia rata-verkon kapasiteettiin. Tavarajunien osalta parasta olisi, jos ETCS sallisi kahden erillisen keliarvon käytön esimerkiksi junan jarrupainoprosentin mukaisesti. Mikäli kahden arvon käyttäminen tulevaisuudessa ei ole mahdollista tulisi arvoa laskea niin, että turvallisuus kaikkien junien osalta saavutetaan.

Toisaalta vertailusta nähdään, että Norjassa ja Tanskassa käytössä olevat arvot ovat huomattavasti sallivammat. Tämä johtuu suurelta osin siitä, että kumpikin maa on valinnut tavoitenopeuden valvonnassa käytettäväksi ainoastaan hätäjarrun. Ainakin Tanskassa ETCS-järjestelmä on jo joillain rataosilla käytössä, joten olettaa voisi arvojen olevan toimivat ja turvalliseksi todetut. On kuitenkin huomioitava, että Suomen ja Tanskan ilmastolliset olot, kalusto ja rataverkon toiminnallisuudet eroavat toisistaan. Näin ollen suoraa päättelyä toisen maan arvojen soveltuvuudesta Suomen arvoiksi ei suoraan voida tehdä.

7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli koota yhteen ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa Lambda-junien osalta, ja tehdä vertailua tämän hetken kansallisten arvojen ja muiden pohjoismaiden arvojen välillä suhteessa nykyiseen JKV-järjestelmään. Suomen nykyisiä jarrukäyriin vaikuttavia kansallisia arvoja on tarkasteltu viimeksi vuonna 2015 [3], ja jo silloin on todettu arvojen vaativan lisää tarkastelua sekä todellisia jarrutustestejä. Työ rajattiin koskemaan nimenomaan Lambda-junia ja tarkastelut tehtiin ainoastaan Seis-opastetta lähestyvälle junalle. Mikäli tarkasteluun olisi otettu myös Gamma-junat ja vertailuja tehty eri nopeusrajoituksiin jarrutettaessa, olisi työstä tullut liian laaja.

Vertailun ja jarrukäyrälaskennan teorian lisäksi työssä on esitelty ETCS-järjestelmän toimintaperiaate ja kansallisten arvojen vaikutus jarrukäyrälaskennan eri vaiheisiin. Työssä onnistuttiin hyvin keräämään yhteen ETCS-jarrukäyrälaskennan teoriaa, jota suomenkielisenä on toistaiseksi vähän saatavilla ja se on hyvin pirstaloitunutta eri dokumenttien välille. Vertailujen pohjalta pystytään myös havainnoimaan ETCS- ja JKV-järjestelmien toimintamallien eroavaisuus. ETCS

pyrkii selvästi herkemmin ohjeistamaan kuljettajaa jarrutuksen aloittamisessa verrattuna JKV:hen.

Matkustajajunien osalta Suomen nykyisten arvojen voidaan todeta vertailuiden perusteella olevan toimivat. P-jarrulajin junilla JKV-laskenta on rajoittavampaa kuin ETCS-laskenta. Vaikka jarrukäyrälaskentatyökalujen ja vertailuiden perusteella voitaisiin todeta ETCS:n turvallisuus, tulee kaikelle kalustolle tästä huolimatta suorittaa varsinaiset jarrutuskokeet, joissa järjestelmän turvallisuus ja toiminnallisuus todennetaan.

Tavarajunien osalta suurimman ongelman aiheuttavat liukkaan kelin arvot. Taa-rassa kulkevalle kalustolle asetettu arvo aiheuttaa kuormassa kulkevan kaluston osalta turvallisuusriskin. Jos taas arvo asetetaan sopivaksi kuormassa kulkevalle kalustolle, tulee taarassa kulkeva kalusto muodostamaan kapasiteetin kannalta ongelmia, koska sen jarrukäyrästä muodostuu kaluston jarrutuskykyyn nähden liian rajoittavia. Järjestelmän rajoitteiden vuoksi kaikille tavarajunille toimivaa arvoa on vaikea asettaa. Erityisesti tavarajunien keliarvon osalta ETCS-järjestelmän kansalliset arvot vaativat vielä lisätarkasteluita.

Koska vertailut on tehty vain rajatuilla junatyypeillä ja yhdellä ohiajovaran pituudella määriteltynä, ei tarkasteluista voida tehdä lopullista päätöstä kansallisten arvojen osalta. ETCS-jarrukäyrälaskenta vaatii kansallisten arvojen määrittelyä tulevaisuudessa laajempaa tarkastelua ja todellisten jarrutuskokeiden suorittamista järjestelmää käyttöön otettaessa. Työssä tehtyjä tarkasteluita voidaan käyttää tulevaisuudessa tehtävien tarkasteluiden pohjana tai vertailuarvoina.

Lähteet

- 1 ERTMS — Making the railway system work better for society. 2016. Verkkoaineisto. European Union Agency for Railways. <https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en>. Luettu 4.9.2021.
- 2 Pylvänäinen, Jari; Lehtola, Juha; Nieminen, Timo; Brotherus, Marjo; Sandelin, Esko; Wallin, Johanna & Artukka, Juha. Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä. 2020. Liikenne- ja viestintäministeriö. Verkkoaineisto. <https://digirata.fi/wp-content/uploads/2020/04/Digirata_loppuraportti_02042020.pdf>. Luettu 31.8.2021.
- 3 Suomen kansalliset ERTMS/ETCS-parametrit, yleisohjeistus, Liikenneviraston ohjeita 20/2015. 2015. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-20_suomen_kansalliset_web.pdf>. Luettu 16.9.2021.
- 4 ERTMS – How does it work? 2021. Verkkoaineisto. European Union Agency for Railways. <https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms/how-does-it-work_en>. Luettu 4.9.2021.
- 5 Härkönen, Aki; Aarnio, Lauri; Mantsinen, Janne-Joonas; Neuvonen, Joonas & Hulkko, Teppo. ERTMS/ETCS-tason 2 junien kulunvalvontajärjestelmän toteutusvaihtoehdot Suomessa. 2021. Väylävirasto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2021-16_ertms-etcs_tason_web.pdf>. Luettu 4.9.2021.
- 6 ERTMS factsheets 03 ERTMS Levels. 2021. Verkkoaineisto. UNIFE. <<https://www.ertms.net/wp-content/uploads/2021/06/3-ERTMS-Levels.pdf>>. Luettu 4.9.2021.
- 7 Theeg, Gregor & Vlasenko, Sergej. 2009. Railway Signalling & Interlocking, International Compendium. Hampuri: Eurailpress.
- 8 Härkönen, Aki; Aarnio, Lauri; Hulkko, Teppo; Nieminen, Jussi; Sunnari, Heidi; Tiilikainen, Aapo & Auvinen, Jarno. Esiselvitys ERTMS/ETCS-järjestelmän sanomista. 2021. Väylävirasto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2021-02_esiselvitys_ertms-etcs_web.pdf>. Luettu 6.9.2021.
- 9 Mäntyjärvi, Valtteri. 2017. Kaukoliikenteen henkilöjunien jarrutuskykyvaatimusten tarkastaminen. Liikennevirasto. Verkkoaineisto. <<https://www.doria.fi/handle/10024/144051>>. Luettu 9.9.2021.

- 10 Hölsä, Aapo. 2021. Kiskokaluston jarrujärjestelmän suorituskyvyn määrittäminen EN-standardien mukaisesti. Diplomityö. Oulun yliopisto. Oulun yliopiston julkaisuarkisto.
- 11 Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt), Väyläviraston ohjeet 3/2021. 2021. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-03_jt_web.pdf>. Luettu 10.9.2021.
- 12 Introduction to etcs braking curves. 2020. Verkkoaineisto. European Union Agency for Railways. <https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/introduction_to_etcs_braking_curves_en.pdf>. Luettu 6.9.2021.
- 13 Büker, Thorsten. ETCS and operations, Staff training, Digirail. 2019. Luentomoniste. VIA Consulting & Development GmbH.
- 14 ERTMS/ETCS National Values, RIS-0708-CCS. 2017. Verkkoaineisto. RSSB. <<https://www.jonroma.net/media/signaling/standards/world/uk/ris/RIS-0708-CCS%20Iss%201.pdf>>. Luettu 9.9.2021.
- 15 ETCS driver machine interface, ERA_ERTMS_015560, 3.6.0. 2016. Verkkoaineisto. European Union Agency for Railways. <<https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1>>. Luettu 9.9.2021.
- 16 System Requirements Specification, Subset-026–3, 3.6.0. 2016. Verkkoaineisto. European Union Agency for Railways. <<https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1>>. Luettu 6.9.2021.
- 17 SFS-EN 16834:2019. Railway applications. Braking. Brake performance. 2019. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 System Requirements Specification, Subset-026–7, 3.6.0. 2016. Verkkoaineisto. European Union Agency for Railways. <<https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1>>. Luettu 16.9.2021.
- 19 ERTMS L2 - Generic Operational Test Cases Data Sheets, Definition of the ETCS Operational Scenarios for the Danish ERTMS Program. 2020. Verkkoaineisto. Banedanmark. <https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/etcs_system_compatibility_esc_documents/dk/sp-emo-p2-002008_v3.2_-_generic_data_sheets.pdf>. Luettu 23.9.2021.
- 20 ERTMS Programme, Signalling System, Engineering Process Guideline, Engineering Guidelines. 2020. Verkkoaineisto. BaneNOR.

- <https://www.banenor.no/globalassets/documents/marked/network-statement/erp-30-s-00097_017_007.pdf>. Luettu 23.9.2021.
- 21 KRAV, TRVINFRA-00302, Signalsystem, Signalering, Version 2.0. 2021. Trafikverket.
 - 22 Junien kulunvalvontajärjestelmän JKV:n sovitustiedonsiirtomoduuli STM JKV, toiminnallisen FRS-vaatimuseritelmän päivitys ERTMS/ETCS-pääversioon 3. 2020. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/ohje_2020_stm_jkv_bl3_frs_web.pdf>. Luettu 23.9.2021
 - 23 Lehikoinen, Hannu. JKV-järjestelmän perusteet. 2014. Kurssin jaettava aineisto. Proxion Oy.
 - 24 Braking curves simulation tool v4.2. 2021. ERA. ETCS-jarrukäyrälaskentatyökalu. <https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/era_braking_curves_simulation_tool_en.xls>. Ladattu 20.9.2021.
 - 25 RATO 22, Sijainninkorjauspiste, Iteraatio 1. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://extranet.vayla.fi/wiki/display/RATO22/Sijainninkorjauspiste>>. Luettu 6.10.2021.
 - 26 JKV-jarrukäyrälaskentatyökalu, ver8. 2010. VR OY.
 - 27 Hansen, Thomas; Zickert, Nicholai. Fjernbane Infrastructure East/West Safety margin on ETCS braking curves, SP-FB-ON-INT-011843. 2018. Banedanmark.

JKV- ja ETCS-jarrukäyrätyökalujen tulokset matkustajajunille

Kansalliset anot	Junatiedot						JKV				ETCS				EROT ETCS vs. JKV (m)				EROT ETCS Suomi vs. muut (m)					
	Jarrulaji	Pituus (m)	Jarrupaino prosentti	Nopeus (km/h)	Kaltevuus	A-käyrä	B-käyrä	C-käyrä	E-käyrä	Keli	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	Keli	I / A-käyrä	W / B-käyrä	SBI / C- käyrä	EBI / E- käyrä	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	
Suomi	R	99	135	200	0	2554	2331	2109	1452	1	2916	2328	2217	1963	normaali	362	-3	108	511					
Suomi	R	99	135	200	-10	2730	2508	2285	1628	1	3205	2546	2435	2180	normaali	475	38	150	552					
Suomi	R	125	135	160	0	1803	1625	1447	867	1	1987	1446	1357	1133	normaali	184	-179	-90	266					
Suomi	R	125	135	160	-10	1905	1727	1550	969	1	2100	1630	1541	1318	normaali	195	-97	-9	349					
Suomi	R	255	135	200	0	2716	2494	2272	1506	1	3192	2481	2370	1954	normaali	476	-13	98	448					
Suomi	R	255	135	200	-10	2905	2683	2461	1695	1	3410	2699	2588	2173	normaali	505	16	127	478					
Suomi	P	430	121	120	0	1577	1444	1311	721	1	1592	1112	1045	669	normaali	15	-332	-266	-52					
Suomi	P	430	121	120	-10	1707	1574	1441	852	1	1729	1177	1110	733	normaali	22	-397	-331	-119					
Tanska	R	99	135	200	0	2554	2331	2109	1452	1	2996	2409	2298	2298	normaali	442	78	189	846			-80	-81	-335
Tanska	R	99	135	200	-10	2730	2508	2285	1628	1	3389	2731	2619	2619	normaali	659	223	334	991			-184	-185	-439
Tanska	R	125	135	160	0	1803	1625	1447	867	1	2005	1464	1375	1375	normaali	202	-161	-72	508			-18	-18	-242
Tanska	R	125	135	160	-10	1905	1727	1550	969	1	2191	1721	1632	1632	normaali	286	-6	82	663			-91	-91	-314
Tanska	R	255	135	200	0	2716	2494	2272	1506	1	3048	2409	2298	2298	normaali	332	-85	26	792			144	72	-344
Tanska	R	255	135	200	-10	2905	2683	2461	1695	1	3441	2731	2619	2619	normaali	536	48	158	924			-31	-32	-446
Tanska	P	430	121	120	0	1577	1444	1311	721	1	1296	816	749	749	normaali	-281	-628	-562	28			296	296	-80
Tanska	P	430	121	120	-10	1707	1574	1441	852	1	1378	898	831	831	normaali	-329	-676	-610	-21			351	279	-98
Norja	R	99	135	200	0	2554	2331	2109	1452	1	2790	2202	2091	2091	normaali	236	-129	-18	639			126	126	-128
Norja	R	99	135	200	-10	2730	2508	2285	1628	1	3017	2430	2318	2318	normaali	287	-78	33	690			188	116	-138
Norja	R	125	135	160	0	1803	1625	1447	867	1	1867	1326	1237	1237	normaali	64	-299	-210	370			120	120	-104
Norja	R	125	135	160	-10	1905	1727	1550	969	1	1987	1446	1357	1357	normaali	82	-281	-193	388			113	184	-39
Norja	R	255	135	200	0	2716	2494	2272	1506	1	2841	2202	2091	2091	normaali	125	-292	-181	585			351	279	-137
Norja	R	255	135	200	-10	2905	2683	2461	1695	1	3069	2430	2318	2318	normaali	164	-253	-143	623			341	269	-145
Norja	P	430	121	120	0	1577	1444	1311	721	1	1313	832	765	765	normaali	-264	-612	-546	44			279	280	-96
Norja	P	430	121	120	-10	1707	1574	1441	852	1	1385	904	837	837	normaali	-322	-670	-604	-15			344	273	-104
Ruotsi	R	99	135	200	0	2554	2331	2109	1452	1	2831	2244	2132	1878	normaali	277	-87	23	426			85	84	85
Ruotsi	R	99	135	200	-10	2730	2508	2285	1628	1	3026	2439	2328	2073	normaali	296	-69	43	445			179	107	107
Ruotsi	R	125	135	160	0	1803	1625	1447	867	1	2083	1500	1411	1079	normaali	280	-125	-36	212			-96	-54	54
Ruotsi	R	125	135	160	-10	1905	1727	1550	969	1	2184	1673	1584	1252	normaali	279	-54	34	283			-84	-43	66
Ruotsi	R	255	135	200	0	2716	2494	2272	1506	1	3036	2397	2285	1870	normaali	320	-97	13	364			156	84	84
Ruotsi	R	255	135	200	-10	2905	2683	2461	1695	1	3302	2592	2481	2065	normaali	397	-91	20	370			108	107	108
Ruotsi	P	430	121	120	0	1577	1444	1311	721	1	1564	1084	1017	640	normaali	-13	-360	-294	-81			28	28	29
Ruotsi	P	430	121	120	-10	1707	1574	1441	852	1	1694	1142	1075	699	normaali	-13	-432	-366	-153			35	35	34

Kuva 1. Matkustajajunien vertailutaulukko JKV keli 1, ETCS normaali keli.

Kansalliset arvot	Junatiedot					JKV					ETCS					EROT ETCS vs. JKV (m)					EROT ETCS Suomi vs. muut (m)				
	Jarrulaji	Pituus (m)	Jarrupaino-prosentti	Nopeus (km/h)	Kätevuus	A-käyrä	B-käyrä	C-käyrä	E-käyrä	Keli	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	Keli	I- / A-käyrä	W- / B-käyrä	SBI- / C-käyrä	EBI- / E-käyrä	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä		
																								135	160
Suomi	R	99	135	200	0	2777	2555	2332	1675	2	2916	2328	2217	1963 normaali	139	-227	-115	288							
Suomi	R	99	135	200	-10	2995	2773	2551	1893	2	3205	2546	2435	2180 normaali	210	-227	-116	287							
Suomi	R	125	135	160	0	1939	1761	1584	1003	2	1987	1446	1357	1133 normaali	48	-315	-227	130							
Suomi	R	125	135	160	-10	2075	1897	1720	1139	2	2100	1630	1541	1318 normaali	25	-267	-179	179							
Suomi	R	255	135	200	0	2947	2725	2503	1737	2	3192	2481	2370	1954 normaali	245	-244	-133	217							
Suomi	R	255	135	200	-10	3198	2976	2754	1988	2	3410	2699	2588	2173 normaali	212	-277	-166	185							
Suomi	P	430	121	120	0	1690	1556	1423	834	2	1592	1112	1045	669 normaali	-98	-444	-378	-165							
Suomi	P	430	121	120	-10	1864	1731	1597	1008	2	1729	1177	1110	733 normaali	-135	-554	-487	-275							
Tanska	R	99	135	200	0	2777	2555	2332	1675	2	2996	2409	2298	2298 normaali	219	-146	-34	623			-80	-81	-81	-335	
Tanska	R	99	135	200	-10	2995	2773	2551	1893	2	3389	2731	2619	2619 normaali	394	-42	68	726			-184	-185	-184	-439	
Tanska	R	125	135	160	0	1939	1761	1584	1003	2	2005	1464	1375	1375 normaali	66	-297	-209	372			-18	-18	-18	-242	
Tanska	R	125	135	160	-10	2075	1897	1720	1139	2	2191	1721	1632	1632 normaali	116	-176	-88	493			-91	-91	-91	-314	
Tanska	R	255	135	200	0	2947	2725	2503	1737	2	3048	2409	2298	2298 normaali	101	-316	-205	561			144	144	72	-344	
Tanska	R	255	135	200	-10	3198	2976	2754	1988	2	3441	2731	2619	2619 normaali	243	-245	-135	631			-31	-31	-31	-446	
Tanska	P	430	121	120	0	1690	1556	1423	834	2	1296	816	749	749 normaali	-394	-740	-674	-85			296	296	296	-80	
Tanska	P	430	121	120	-10	1864	1731	1597	1008	2	1378	898	831	831 normaali	-486	-833	-766	-177			351	351	279	-98	
Norja	R	99	135	200	0	2777	2555	2332	1675	2	2790	2202	2091	2091 normaali	13	-353	-241	416			126	126	126	-128	
Norja	R	99	135	200	-10	2995	2773	2551	1893	2	3017	2430	2318	2318 normaali	22	-343	-233	425			188	188	117	-138	
Norja	R	125	135	160	0	1939	1761	1584	1003	2	1867	1326	1237	1237 normaali	-72	-435	-347	234			120	120	120	-104	
Norja	R	125	135	160	-10	2075	1897	1720	1139	2	1987	1446	1357	1357 normaali	-88	-451	-363	218			113	113	184	-39	
Norja	R	255	135	200	0	2947	2725	2503	1737	2	2841	2202	2091	2091 normaali	-106	-523	-412	354			351	351	279	-137	
Norja	R	255	135	200	-10	3198	2976	2754	1988	2	3069	2430	2318	2318 normaali	-129	-546	-436	330			341	341	269	-145	
Norja	P	430	121	120	0	1690	1556	1423	834	2	1313	832	765	765 normaali	-377	-724	-658	-69			279	280	280	-96	
Norja	P	430	121	120	-10	1864	1731	1597	1008	2	1385	904	837	837 normaali	-479	-827	-760	-171			344	344	273	-104	
Ruotsi	R	99	135	200	0	2777	2555	2332	1675	2	2831	2244	2132	1878 normaali	54	-311	-200	203			85	84	84	85	
Ruotsi	R	99	135	200	-10	2995	2773	2551	1893	2	3026	2439	2328	2073 normaali	31	-334	-223	180			179	179	107	107	
Ruotsi	R	125	135	160	0	1939	1761	1584	1003	2	2083	1500	1411	1079 normaali	144	-261	-173	76			-96	-96	-54	54	
Ruotsi	R	125	135	160	-10	2075	1897	1720	1139	2	2184	1673	1584	1252 normaali	109	-224	-136	113			-84	-84	-43	66	
Ruotsi	R	255	135	200	0	2947	2725	2503	1737	2	3036	2397	2285	1870 normaali	89	-328	-218	133			156	156	84	85	
Ruotsi	R	255	135	200	-10	3198	2976	2754	1988	2	3302	2592	2481	2065 normaali	104	-384	-273	77			108	107	107	108	
Ruotsi	P	430	121	120	0	1690	1556	1423	834	2	1564	1084	1017	640 normaali	-126	-472	-406	-194			28	28	28	29	
Ruotsi	P	430	121	120	-10	1864	1731	1597	1008	2	1694	1142	1075	699 normaali	-170	-589	-522	-309			35	35	35	34	

Kuva 2. Matkustajajunien vertailutaulukko JKV keli 2, ETCS normaali keli.

Kansalliset anot	Junatiedot				JKV						ETCS				EROT ETCS vs. JKV (m)				EROT ETCS Suomi vs. muut (m)				
	Jarullaji	Pituus (m)	Jarrupaino-prosenti (km/h)	Kaltevuus	A-käyrä	B-käyrä	C-käyrä	E-käyrä	Keli	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	Keli	Ilmoitus	Varoitus	Käyttö-jarrutus	Hätä-jarrutus	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	
Suomi	R	99	135	200	0	3075	2852	2630	1973	3	3369	2710	2599	2345	liukas	294	-142	-31	372				
Suomi	R	99	135	200	-10	3399	3178	2955	2298	3	3700	3113	3001	2747	liukas	301	-65	46	449				
Suomi	R	125	135	160	0	2121	1944	1766	1185	3	2333	1863	1775	1551	liukas	212	-81	9	366				
Suomi	R	125	135	160	-10	2310	2132	1955	1374	3	2546	2076	1987	1763	liukas	236	-56	32	389				
Suomi	R	255	135	200	0	3255	3033	2811	2045	3	3597	2886	2775	2360	liukas	342	-147	-36	315				
Suomi	R	255	135	200	-10	3605	3383	3161	2395	3	3931	3292	3181	2766	liukas	326	-91	20	371				
Suomi	P	430	121	120	0	1840	1707	1573	984	3	1853	1301	1235	858	liukas	13	-406	-338	-126				
Suomi	P	430	121	120	-10	2085	1952	1818	1229	3	1974	1422	1355	978	liukas	-111	-530	-463	-251				
Tanska	R	99	135	200	0	3075	2852	2630	1973	3	4257	3670	3558	3558	liukas	1182	818	928	1585	-888	-960	-959	-1213
Tanska	R	99	135	200	-10	3399	3178	2955	2298	3	5176	4589	4478	4478	liukas	1777	1411	1523	2180	-1476	-1476	-1477	-1731
Tanska	R	125	135	160	0	2121	1944	1766	1185	3	2897	2347	2259	2259	liukas	776	403	493	1074	-564	-484	-484	-708
Tanska	R	125	135	160	-10	2310	2132	1955	1374	3	3458	2988	2898	2898	liukas	1148	856	943	1524	-912	-912	-911	-1135
Tanska	R	255	135	200	0	3255	3033	2811	2045	3	4416	3705	3594	3594	liukas	1161	672	783	1549	-819	-819	-819	-1234
Tanska	R	255	135	200	-10	3605	3383	3161	2395	3	5303	4664	4553	4553	liukas	1698	1281	1392	2158	-1372	-1372	-1372	-1787
Tanska	P	430	121	120	0	1840	1707	1573	984	3	1915	1363	1296	1296	liukas	75	-344	-277	312	-62	-62	-61	-438
Tanska	P	430	121	120	-10	2085	1952	1818	1229	3	2234	1754	1687	1687	liukas	149	-198	-131	458	-260	-332	-332	-709
Norja	R	99	135	200	0	3075	2852	2630	1973	3	3373	2714	2603	2603	liukas	298	-138	-27	630	-4	-4	-4	-258
Norja	R	99	135	200	-10	3399	3178	2955	2298	3	3762	3175	3064	3064	liukas	363	-3	109	766	-62	-62	-63	-317
Norja	R	125	135	160	0	2121	1944	1766	1185	3	2290	1820	1731	1731	liukas	169	-124	-35	546	43	43	44	-180
Norja	R	125	135	160	-10	2310	2132	1955	1374	3	2540	2070	1981	1981	liukas	230	-62	26	607	6	6	6	-218
Norja	R	255	135	200	0	3255	3033	2811	2045	3	3443	2732	2621	2621	liukas	188	-301	-190	576	154	154	154	-261
Norja	R	255	135	200	-10	3605	3383	3161	2395	3	3835	3196	3085	3085	liukas	230	-187	-76	690	96	96	96	-319
Norja	P	430	121	120	0	1840	1707	1573	984	3	1533	1053	986	986	liukas	-307	-654	-587	2	320	248	249	-128
Norja	P	430	121	120	-10	2085	1952	1818	1229	3	1746	1194	1127	1127	liukas	-339	-758	-691	-102	228	228	228	-149
Ruotsi	R	99	135	200	0	3075	2852	2630	1973	3	3374	2715	2604	2604	liukas	299	-137	-26	377	-5	-5	-5	-5
Ruotsi	R	99	135	200	-10	3399	3178	2955	2298	3	3695	3108	2997	2997	liukas	296	-70	42	444	5	5	5	5
Ruotsi	R	125	135	160	0	2121	1944	1766	1185	3	2332	1862	1773	1773	liukas	211	-82	7	364	1	1	1	2
Ruotsi	R	125	135	160	-10	2310	2132	1955	1374	3	2544	2074	1985	1985	liukas	234	-58	30	387	2	2	2	2
Ruotsi	R	255	135	200	0	3255	3033	2811	2045	3	3597	2886	2775	2775	liukas	342	-147	-36	315	0	0	0	0
Ruotsi	R	255	135	200	-10	3605	3383	3161	2395	3	3931	3292	3181	3181	liukas	326	-91	20	371	0	0	0	0
Ruotsi	P	430	121	120	0	1840	1707	1573	984	3	1853	1301	1235	1235	liukas	13	-406	-338	-126	0	0	0	0
Ruotsi	P	430	121	120	-10	2085	1952	1818	1229	3	1974	1422	1355	1355	liukas	-111	-530	-463	-251	0	0	0	0

Kuva 3. Matkustajajunien vertailutaulukko JKV keli 3, ETCS liukas keli.

JKV- ja ETCS-jarrukäyrätyökalujen tulokset tavarajunille

Kansalliset arvot	Junatiedot										JKV					ETCS					EROT ETCS vs. JKV (m)					EROT ETCS Suomi vs. muut (m)				
	Jarrulaji	Pituus (m)	Jarrupaino-prosentti	Nopeus (km/h)	Kaltevuus	A-läyrä	B-läyrä	C-läyrä	E-läyrä	Keli	I-läyrä	IV-läyrä	SV-läyrä	EBI-läyrä	Keli	Ilmoitus	Varoitus	Käyttö-jarrutus	Häkä-jarrutus	I-läyrä	IV-läyrä	SV-läyrä	EBI-läyrä	I-läyrä	IV-läyrä	SV-läyrä	EBI-läyrä			
Suomi	G	520	54	80	0	1223	1134	1045	623	1	1557	1134	1089	702	normaali	334	0	44	79											
Suomi	G	520	54	80	-10	1470	1381	1292	870	1	1751	1256	1211	824	normaali	281	-125	-81	-46											
Suomi	G	520	105	80	0	951	862	773	351	1	1341	917	873	486	normaali	390	55	100	135											
Suomi	G	520	105	80	-10	1026	937	848	426	1	1375	951	907	520	normaali	349	14	59	94											
Suomi	G	250	43	80	0	1309	1221	1132	739	1	1510	1143	1098	785	normaali	201	-78	-34	46											
Suomi	G	250	43	80	-10	1674	1585	1496	1104	1	1769	1330	1286	973	normaali	95	-255	-210	-131											
Suomi	G	250	102	80	0	930	841	753	360	1	1200	832	788	475	normaali	270	-9	35	115											
Suomi	G	250	102	80	-10	1010	921	832	440	1	1236	868	824	511	normaali	226	-53	-8	71											
Tanska	G	520	54	80	0	1223	1134	1045	623	1	1311	888	843	843	normaali	88	-246	-202	220					246	246	246	-141			
Tanska	G	520	54	80	-10	1470	1381	1292	870	1	1515	1091	1047	1047	normaali	45	-290	-245	177					236	236	165	164	-223		
Tanska	G	520	105	80	0	951	862	773	351	1	1041	617	572	572	normaali	90	-245	-201	221					300	300	300	301	-86		
Tanska	G	520	105	80	-10	1026	937	848	426	1	1095	672	628	628	normaali	69	-265	-220	202					280	280	279	279	-108		
Tanska	G	250	43	80	0	1309	1221	1132	739	1	1360	992	948	948	normaali	51	-229	-184	209					150	150	151	150	-163		
Tanska	G	250	43	80	-10	1674	1585	1496	1104	1	1749	1311	1266	1266	normaali	75	-274	-230	162					20	20	19	20	-293		
Tanska	G	250	102	80	0	930	841	753	360	1	971	604	560	560	normaali	41	-237	-193	200					229	229	228	228	-85		
Tanska	G	250	102	80	-10	1010	921	832	440	1	1030	662	618	618	normaali	20	-259	-214	178					206	206	206	206	-107		
Norja	G	520	54	80	0	1223	1134	1045	623	1	1348	924	880	880	normaali	125	-210	-165	257					209	210	209	209	-178		
Norja	G	520	54	80	-10	1470	1381	1292	870	1	1518	1094	1049	1049	normaali	48	-287	-243	179					233	233	162	162	-225		
Norja	G	520	105	80	0	951	862	773	351	1	1099	675	630	630	normaali	148	-187	-143	279					242	242	242	243	-144		
Norja	G	520	105	80	-10	1026	937	848	426	1	1145	721	677	677	normaali	119	-216	-171	251					230	230	230	230	-157		
Norja	G	250	43	80	0	1309	1221	1132	739	1	1379	1012	968	968	normaali	70	-209	-164	229					131	131	131	130	-183		
Norja	G	250	43	80	-10	1674	1585	1496	1104	1	1715	1276	1231	1231	normaali	41	-309	-265	127					54	54	54	55	-258		
Norja	G	250	102	80	0	930	841	753	360	1	1022	655	610	610	normaali	92	-186	-143	250					178	177	178	178	-135		
Norja	G	250	102	80	-10	1010	921	832	440	1	1071	704	659	659	normaali	61	-217	-173	219					165	165	164	165	-148		
Ruotsi	G	520	54	80	0	1223	1134	1045	623	1	1557	1134	1089	703	normaali	334	0	44	80					0	0	0	0	-1		
Ruotsi	G	520	54	80	-10	1470	1381	1292	870	1	1751	1256	1211	825	normaali	281	-125	-81	-45					0	0	0	0	-1		
Ruotsi	G	520	105	80	0	951	862	773	351	1	1341	917	873	486	normaali	390	55	100	135					0	0	0	0	0		
Ruotsi	G	520	105	80	-10	1026	937	848	426	1	1375	951	907	520	normaali	349	14	59	94					0	0	0	0	0		
Ruotsi	G	250	43	80	0	1309	1221	1132	739	1	1510	1143	1098	785	normaali	201	-78	-34	46					0	0	0	0	0		
Ruotsi	G	250	43	80	-10	1674	1585	1496	1104	1	1769	1330	1286	973	normaali	95	-255	-210	-131					0	0	0	0	0		
Ruotsi	G	250	102	80	0	930	841	753	360	1	1200	832	788	475	normaali	270	-9	35	115					0	0	0	0	0		
Ruotsi	G	250	102	80	-10	1010	921	832	440	1	1236	868	824	511	normaali	226	-53	-8	71					0	0	0	0	0		

Kuva 1. Tavarajunien vertailutaulukko JKV keli 1, ETCS normaali keli.

Kansalliset anot	Junatiedot				JKV						ETCS				EROT ETCS vs. JKV (m)				EROT ETCS Suomi vs. muut (m)					
	Jarulaji	Pituus (m)	Jarrupaino- prosentti	Nopeus (km/h)	Kaltevuus	A-käyrä	B-käyrä	C-käyrä	E-käyrä	Keli	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	Keli	Ilmoitus	Varoitus	Käyttö- jarrutus	Häiriö- jarrutus	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	
Suomi	G	520	54	80	0	1318	1229	1140	718	2	1557	1134	1089	702	normaali	239	-95	-51	-16					
Suomi	G	520	54	80	-10	1659	1570	1481	1059	2	1751	1256	1211	824	normaali	92	-314	-270	-235					
Suomi	G	520	105	80	0	1007	918	829	407	2	1341	917	873	486	normaali	334	-1	44	79					
Suomi	G	520	105	80	-10	1108	1019	930	508	2	1375	951	907	520	normaali	267	-68	-23	12					
Suomi	G	250	43	80	0	1421	1333	1244	851	2	1510	1143	1098	785	normaali	89	-190	-146	-66					
Suomi	G	250	43	80	-10	1931	1843	1754	1361	2	1769	1330	1286	973	normaali	-162	-513	-468	-388					
Suomi	G	250	102	80	0	988	899	810	418	2	1200	832	788	475	normaali	212	-67	-22	57					
Suomi	G	250	102	80	-10	1095	1006	917	525	2	1236	868	824	511	normaali	141	-138	-93	-14					
Tanska	G	520	54	80	0	1318	1229	1140	718	2	1311	888	843	843	normaali	-7	-341	-297	125		246	246	246	-141
Tanska	G	520	54	80	-10	1659	1570	1481	1059	2	1515	1091	1047	1047	normaali	-144	-479	-434	-12		236	165	164	-223
Tanska	G	520	105	80	0	1007	918	829	407	2	1041	617	572	572	normaali	34	-301	-257	165		300	300	301	-86
Tanska	G	520	105	80	-10	1108	1019	930	508	2	1095	672	628	628	normaali	-13	-347	-302	120		280	279	279	-108
Tanska	G	250	43	80	0	1421	1333	1244	851	2	1360	992	948	948	normaali	-61	-341	-296	97		150	151	150	-163
Tanska	G	250	43	80	-10	1931	1843	1754	1361	2	1749	1311	1266	1266	normaali	-182	-532	-488	-95		20	19	20	-293
Tanska	G	250	102	80	0	988	899	810	418	2	971	604	560	560	normaali	-17	-295	-250	142		229	228	228	-85
Tanska	G	250	102	80	-10	1095	1006	917	525	2	1030	662	618	618	normaali	-65	-344	-299	93		206	206	206	-107
Norja	G	520	54	80	0	1318	1229	1140	718	2	1348	924	880	880	normaali	30	-305	-260	162		209	210	209	-178
Norja	G	520	54	80	-10	1659	1570	1481	1059	2	1518	1094	1049	1049	normaali	-141	-476	-432	-10		233	162	162	-225
Norja	G	520	105	80	0	1007	918	829	407	2	1099	675	630	630	normaali	92	-243	-199	223		242	242	243	-144
Norja	G	520	105	80	-10	1108	1019	930	508	2	1145	721	677	677	normaali	37	-298	-253	169		230	230	230	-157
Norja	G	250	43	80	0	1421	1333	1244	851	2	1379	1012	968	968	normaali	-42	-321	-276	117		131	131	130	-183
Norja	G	250	43	80	-10	1931	1843	1754	1361	2	1715	1276	1231	1231	normaali	-216	-567	-523	-130		54	54	55	-258
Norja	G	250	102	80	0	988	899	810	418	2	1022	655	610	610	normaali	34	-244	-200	192		178	177	178	-135
Norja	G	250	102	80	-10	1095	1006	917	525	2	1071	704	659	659	normaali	-24	-302	-258	134		165	164	165	-148
Ruotsi	G	520	54	80	0	1318	1229	1140	718	2	1557	1134	1089	703	normaali	239	-95	-51	-15		0	0	0	-1
Ruotsi	G	520	54	80	-10	1659	1570	1481	1059	2	1751	1256	1211	825	normaali	92	-314	-270	-234		0	0	0	-1
Ruotsi	G	520	105	80	0	1007	918	829	407	2	1341	917	873	486	normaali	334	-1	44	79		0	0	0	0
Ruotsi	G	520	105	80	-10	1108	1019	930	508	2	1375	951	907	520	normaali	267	-68	-23	12		0	0	0	0
Ruotsi	G	250	43	80	0	1421	1333	1244	851	2	1510	1143	1098	785	normaali	89	-190	-146	-66		0	0	0	0
Ruotsi	G	250	43	80	-10	1931	1843	1754	1361	2	1769	1330	1286	973	normaali	-162	-513	-468	-388		0	0	0	0
Ruotsi	G	250	102	80	0	988	899	810	418	2	1200	832	788	475	normaali	212	-67	-22	57		0	0	0	0
Ruotsi	G	250	102	80	-10	1095	1006	917	525	2	1236	868	824	511	normaali	141	-138	-93	-14		0	0	0	0

Kuva 2. Tavarajunien vertailutaulukko JKV keli 2, ETCS normaali keli.

Kansalliset arvot	Junatiedot										JKV					ETCS					EROT ETCS vs. JKV (m)					EROT ETCS Suomi vs. muut (m)				
	Järjelijä	Pituus (m)	Järjelmäno-prosentti	Nopeus (km/h)	Kaiteisuus	A-käyrä	B-käyrä	C-käyrä	E-käyrä	Keli	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	Keli	Ilmoitus	Varoitus	Käyttö-jarrutus	Hätä-jarrutus	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä	I-käyrä	W-käyrä	SBI-käyrä	EBI-käyrä			
																												520	520	520
Suomi	G	520	54	80	0	1445	1356	1268	845	3	1557	1134	1089	702	liukas	112	-222	-179	-143											
Suomi	G	520	54	80	-10	1947	1858	1769	1347	3	1751	1256	1211	824	liukas	-196	-602	-558	-523											
Suomi	G	520	105	80	0	1082	993	905	482	3	1405	981	936	550	liukas	323	-12	31	68											
Suomi	G	520	105	80	-10	1225	1136	1047	625	3	1458	1034	990	603	liukas	233	-102	-57	-22											
Suomi	G	250	43	80	0	1571	1482	1393	1001	3	1510	1143	1098	785	liukas	-61	-339	-295	-216											
Suomi	G	250	43	80	-10	2338	2249	2160	1768	3	1769	1330	1286	973	liukas	-569	-919	-874	-795											
Suomi	G	250	102	80	0	1065	976	887	495	3	1256	888	844	531	liukas	191	-88	-43	36											
Suomi	G	250	102	80	-10	1216	1127	1038	646	3	1309	942	898	585	liukas	93	-185	-140	-61											
Tanska	G	520	54	80	0	1445	1356	1268	845	3	1311	888	843	843	liukas	-134	-468	-425	-2			246	246	246	246	246	-141			
Tanska	G	520	54	80	-10	1947	1858	1769	1347	3	1515	1091	1047	1047	liukas	-432	-767	-722	-300			236	165	164	164	164	-223			
Tanska	G	520	105	80	0	1082	993	905	482	3	1223	799	755	755	liukas	141	-194	-150	273			182	182	182	181	181	-205			
Tanska	G	520	105	80	-10	1225	1136	1047	625	3	1365	941	897	897	liukas	140	-195	-150	272			93	93	93	93	93	-294			
Tanska	G	250	43	80	0	1571	1482	1393	1001	3	1360	992	948	948	liukas	-211	-490	-445	-53			150	151	150	150	150	-163			
Tanska	G	250	43	80	-10	2338	2249	2160	1768	3	1750	1311	1266	1266	liukas	-588	-938	-894	-502			19	19	19	20	20	-293			
Tanska	G	250	102	80	0	1065	976	887	495	3	1145	777	733	733	liukas	80	-199	-154	238			111	111	111	111	111	-202			
Tanska	G	250	102	80	-10	1216	1127	1038	646	3	1287	919	875	875	liukas	71	-208	-163	229			22	23	23	23	23	-290			
Norja	G	520	54	80	0	1445	1356	1268	845	3	1378	954	909	909	liukas	-67	-402	-359	64			179	180	180	180	180	-207			
Norja	G	520	54	80	-10	1947	1858	1769	1347	3	1567	1143	1099	1099	liukas	-380	-715	-670	-248			184	113	112	112	112	-275			
Norja	G	520	105	80	0	1082	993	905	482	3	1373	949	905	905	liukas	291	-44	0	423			32	32	32	31	31	-355			
Norja	G	520	105	80	-10	1225	1136	1047	625	3	1559	1135	1091	1091	liukas	334	-1	44	466			-101	-101	-101	-101	-101	-488			
Norja	G	250	43	80	0	1571	1482	1393	1001	3	1380	1012	968	968	liukas	-191	-470	-425	-33			130	131	130	130	130	-183			
Norja	G	250	43	80	-10	2338	2249	2160	1768	3	1715	1276	1231	1231	liukas	-623	-973	-929	-537			54	54	54	55	55	-258			
Norja	G	250	102	80	0	1065	976	887	495	3	1288	921	876	876	liukas	223	-55	-11	381			-32	-32	-32	-32	-32	-345			
Norja	G	250	102	80	-10	1216	1127	1038	646	3	1474	1107	1062	1062	liukas	258	-20	24	416			-165	-165	-165	-164	-164	-477			
Ruotsi	G	520	54	80	0	1445	1356	1268	845	3	1557	1134	1089	703	liukas	112	-222	-179	-142			0	0	0	0	0	-1			
Ruotsi	G	520	54	80	-10	1947	1858	1769	1347	3	1751	1256	1211	825	liukas	-196	-602	-558	-522			0	0	0	0	0	-1			
Ruotsi	G	520	105	80	0	1082	993	905	482	3	1539	1115	1071	684	liukas	457	122	166	202			-134	-134	-134	-135	-134	-134			
Ruotsi	G	520	105	80	-10	1225	1136	1047	625	3	1722	1227	1183	796	liukas	497	91	136	171			-264	-193	-193	-193	-193	-193			
Ruotsi	G	250	43	80	0	1571	1482	1393	1001	3	1510	1143	1098	785	liukas	-61	-339	-295	-216			0	0	0	0	0	0			
Ruotsi	G	250	43	80	-10	2338	2249	2160	1768	3	1769	1330	1286	973	liukas	-569	-919	-874	-795			0	0	0	0	0	0			
Ruotsi	G	250	102	80	0	1065	976	887	495	3	1390	1023	978	665	liukas	325	47	91	170			-134	-134	-135	-134	-134	-134			
Ruotsi	G	250	102	80	-10	1216	1127	1038	646	3	1502	1135	1090	777	liukas	286	8	52	131			-193	-193	-193	-192	-192	-192			

Kuva 3. Tavarajunien vertailutaulukko JKV keli 3, ETCS liukas keli.