



Tuukka Varjoranta

# Suojavälimitoituksen optimointi ETCS HTD -konseptissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

27.4.2023

## Tiivistelmä

Tekijä: Tuukka Varjoranta  
Otsikko: Suojavälimitoituksen optimointi ETCS HTD -konseptissa  
Sivumäärä: 65 sivua + 2 liitettä  
Aika: 27.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka  
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio  
Ohjaajat: Tekninen asiantuntija, Teppo Hulkko, Proxion Oy  
Lehtori, Heikki Paavilainen, Metropolia

---

Tässä insinööriyössä käsitellään ETCS-junienkulunvalvontajärjestelmän virtuaalisten suojavälien optimointia ETCS Hybrid Train Detection -konseptissa. Työn tavoitteena oli saada kerättyä tuloksia siitä, miten virtuaalisia suojavälejä voitaisiin paremmin optimoida rataosakohtaisesti. Työn toimeksiantajina toimivat Digirata ja Fintraffic Raide Oy. Tutkimuksen tulosten tarkoituksena on toimia tukena Suomen kansallisen ETCS-suunnitteluohjeen RATO22:n kirjoittamiselle.

Insinööriyön pohjaksi kerättiin tietoa alan eri julkaisuista ja tutkimuksista yleiskuvan muodostamiseksi ETCS HTD -konseptin nykytilasta. ERTMS Users Groupin julkaiseman virallisen HTD -konseptin eri versioita yhdisteltiin kattavan teorian muodostamiseksi, sillä konsepti on edelleen kehitysasteella. Työkaluina työssä hyödynnettiin Väyläviraston tietokantojen ratateknisiä dokumentteja, Euroopan rautatieviraston kehittämää Excel-työkalua jarrutuskäyrien laskennassa ja suojavälien laskentaan kehitettyjä kaavoja. Työssä vertailtiin liikenteeltään kahta erityyppistä rataosaa, jotta saatiin selvitettyä, mitä vaikutuksia rataosan ominaisuuksilla on HTD-konseptin suunnittelussa. Ensimmäinen kohde oli vilkasliikenteinen suuren kapasiteetin kaksiraiteinen rataosa ja toinen pääosin yksiraiteinen pienemmän kapasiteetin omaava rataosa. Näitä kohteita tarkasteltiin ymmärryksen luomiseksi rataosille ominaisista teknisistä rajoitteista koskien virtuaalisten suojavälien sijoittelua. Tarvittavat tiedot kerättiin Väyläviraston tietokannoista, aiheen tutkimuksista ja virallisista HTD-konseptin julkaisuista. Näitä kaikkia tietoja sovellettiin yhteen ja tietojen avulla suoritettiin laskelmia. Laskelmien pohjalta saavutettiin uusia tutkimustuloksia ja päätelmiä.

Työn tuloksina todettiin, että useat radan järjestelmät vaikuttavat HTD-konseptin virtuaalisten suojavälien sijoitteluun. Todettiin, että useat sähköradan kohteet aiheuttavat rajoitteita virtuaalisten suojavälien suunnitteluun monimutkaisemmin kuin työn alussa oletettiin. Rajoitteita ovat mm. imumuuntajat sekä erotusjaksot, joiden vaikutusalueelle ei voida sijoittaa virtuaalisen suojavälin rajakohtaa. Tämän lisäksi pohdittiin HTD-ajastinten arvojen määrittämistä ja niiden käyttöönottamisen vaikutuksia HTD:n kapasiteettihyötyihin. Lopputuloksena todettiin, että HTD-konseptin tarkempaa optimointia varten vaaditaan edelleen lisää tutkimusta ja simulointeja, jotta HTD-konseptista saataisiin mahdollisimman suuret hyödyt rataosan kapasiteetille.

Avainsanat: ERTMS, ETCS, HL3, HTD, TMS, optimointi, virtuaalinen suojaväli, VSS

## Abstract

Author: Tuukka Varjoranta  
Title: Optimization of Block Sectioning on ETCS HTD Concept  
Number of Pages: 65 pages + 2 appendices  
Date: 27 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Degree Programme in Mechanical Engineering  
Professional Major: Machine Automation  
Supervisors: Teppo Hulkko, Technical Specialist, Proxion Oy  
Heikki Paavilainen, Senior Lecturer, Metropolia

---

The objective of this Bachelor's thesis was to determine how the virtual sub-sections of the ETCS Hybrid Train Detection Concept could be optimized to better suite the railway lines. The aim of the work was to obtain results for optimizing virtual sub-sections in the Hybrid Train Detection Concept. This thesis was commissioned by Digirail and Fintraffic Raide Ltd. to support the ongoing work to develop rules for planning ETCS in Finland better known as RATO22.

Firstly, the topic-related releases and research papers were studied to create an overview of the HTD concept. While the concept is still under development different releases of the official concept had to be combined to create a basis for the research. Theory for optimization of block sections was gathered from releases on capacity and ETCS block sectioning. Excel-based tools were used to determine suitable lengths of the virtual sub-sections. One being a braking curve calculation tool developed by the European Railway Agency and others being derived from formulas in one of the research papers. Furthermore, the thesis utilized a comparison of two railway lines in Finland. The first one being a high-capacity commuter rail line with double track and the second being a mostly single-track line with lower capacity and varying traffic. These two lines were examined to establish an understanding of the requirements for determining the virtual sub-sections on a specific railway line. The required data were collected from the Finnish Transport Infrastructure Agency's databases and the Excel tools. Finally, with the required data various calculations were performed to find out what restrictions the trackside infrastructure has for the HTD concept.

As a result, calculations on the two railway lines suggested that several technical systems must be considered when designing and optimizing virtual sub-sections. These include restrictions for placing virtual sub-sections around draining transformers and neutral sections. In addition, the type of traffic, occupation rates of the track between the HTD sections and the overall percentage of the TIMS equipped trains on a railway line greatly affect the efficiency of the concept. Conclusions were made and suggestions were given for RATO22 based on the findings. However, further studies and simulations are required to find suitable solutions for optimizing the block sections on the Hybrid Train Detection concept of ETCS.

Keywords: ERTMS, ETCS, HL3, HTD, TIMS, Optimization, Virtual Sub-Section, VSS

# Sisällys

Lyhenteet

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen lähtökohdat	2
2.1	Lähtökohdat	2
2.2	Nykytilanne kulunvalvonnassa	3
3	HTD-konseptin pääperiaatteet	4
3.1	Yleistä	4
3.2	VSS-tilat	7
3.3	Yksikön sijainnin määrittäminen ja paikannus ETCS-järjestelmässä	11
3.3.1	Yksikön etuosan sijainnin vaikutus VSS-osuuksiin	14
3.3.2	Varmistettu yksikön takaosan sijainti	15
3.3.3	Oletettu yksikön takaosan sijainti	17
3.4	HTD-ajastimet	18
3.4.1	Odotusajastimet yleisesti	19
3.4.2	Etenemisen ajastimet yleisesti	21
3.5	Ratalaitteiden määrittämä yksikön eheyden taso	23
3.5.1	Yksikkö jota käsitellään eheyden varmistaneena	24
3.5.2	Yksikkö jota ei käsitellä eheydensä varmistaneena	26
3.5.3	Eheystiedon menettänyt yksikkö	26
3.5.4	Ratalaitteisiin yhteyden menettänyt yksikkö	28
3.5.5	Virtuaalisen suojavälin manuaalinen vapautus	30
3.5.6	Saapuminen ja poistuminen HTD-varustellulle radalle/-lta	31
4	Suojavälimitoituksen optimointi	32
4.1	Suojavälimitoituksen perusteet	32
4.2	Suojavälien tasainen varautuminen	33
4.3	Pistemäisen ja jatkuvatoimisen kulunvalvonnan erot suojavälimitoituksessa	36
4.4	Suojavälimitoitus HTD-varustellulla radalla	38
4.5	Teknisesti lyhimmän mahdollisen suojavälin määrittäminen	45
4.6	Tarkasteltavat rataosat	48

4.6.1	Kehärata (ml. Pasila-Vantaankoski ja Havukoski-Pasila)	48
4.6.2	Lielähti-Rauma/Pori	50
5	Päätelmät	52
5.1	Virtuaalisten suojavaalien toteuttamisen mahdollisuudet	52
5.2	Virtuaalisten suojavaalien optimoinnista saavutettavat hyödyt	56
5.3	HTD-ajastimien määritysten suositukset	57
5.4	HTD:n vaikutukset sähköraitafran suunnitteluun	61
6	Yhteenveto	64
	Lähteet	1
	Liitteet	
	Liite 1: RATO 22 – G.3.1.1 Taulukko 1	
	Liite 2: EUG HL3 Principles – Lista VSS-tilatietogeneraattorin ehdoista	

## Lyhenteet

ATC:	Ruotsin kansallinen automaattinen junien kulunvalvontajärjestelmä
CR:	<i>Change Request</i> , muutospyyntö
EoA:	<i>End of Authority</i> , ajoluvan päätekohta
EoM:	<i>End of Mission</i> , lopputarkastus
EU:	Euroopan Unioni
FS:	<i>Full Supervision</i> , täysvalvontainen ETCS-toimintatila
HL3:	<i>Hybrid Level 3</i>
HTD:	<i>Hybrid Train Detection</i>
ERTMS:	<i>European Rail Traffic Management System</i> , eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä
ETCS:	<i>European Train Control System</i> , yhteiseurooppalainen junien kulunvalvontajärjestelmä
EVC:	<i>European Vital Computer</i> , ETCS-keskusyksikkö
JKV:	Kansallinen junien kulunvalvontajärjestelmä
LRBG:	<i>Last Relevant Balise Group</i> , referenssibaliisiryhmä, yksikön viimeksi ylittämä baliisiryhmä
MA:	<i>Movement Authority</i> , ajolupa
OBU:	<i>On-Board Unit</i> , ETCS-veturilaite

PSA: *Permanent Shunting Area*, pysyvä vaihtotyöalue

PTD: *Positive Train Detection*, sijaintiraportteihin perustuva paikannus

RBC: *Radio Block Centre*, radiosuojastuskeskus

SMB: *Stop Marker Board*, ajolupamerkki

SoM: *Start of Mission*, lähtötarkastus

SR: *Staff Responsible*, Kuljettajan vastuulla ajo, ETCS-toimintatila

TEN-T: Euroopan laajuinen liikenneverkko

TIMS: *Train Integrity Monitoring System*, yksikön eheydenvalvontajärjestelmä

TPR: *Train Position Report*, yksikön sijaintiraportti

TSA: *Temporary Shunting Area*, väliaikainen vaihtotyöalue

TTD: *Trackside Train Detection*, ratalaitteisiin perustuva yksikön paikannus

VBF: *Virtual Block Function*, virtuaalinen suojavälitoiminnallisuus (ks. VSS)

VMB: *Virtual Marker Board*, virtuaalinen ajolupamerkki

VSS: *Virtual Sub-Section*, virtuaalinen suojaväli

## Käsitteet

- Ajolupa:** RBC:n tai ETCS-ratalaitteiden yksikölle muodostama lupa liikkua sille määritelty reitti pisteestä A pisteeseen B.
- Ajolupamerkki:** Fyysinen ratamerkki, joka määrittää junakulkutien aloitus- ja päätekohtan. Se turvaa merkin takana sijaitsevaa turvattavaa kohtaa, joka voi olla vaihde tai varattu kulkutie.
- Akselinlaskija:** Ratalaite, jolla valvotaan raideosuuden vapaanaoloa. Laite laskee ohittavien akselien lukumäärän raideosuuden alussa ja vähentää lasketun akselien määrän jälkimmäisellä laskentapisteellä raideosuuden lopussa. Akselimäärän ollessa nolla lopputilanteessa, raideosuus vapautuu uudelleen käyttöön.
- Asetinlaite:** Järjestelmä, jota käytetään radalla liikkuvien yksiköiden kulkuteiden varmistamiseen. Kulkutien muodostamiseksi asetinlaite ohjaa radan vaihteita, opastimia ja muita radan komponentteja sekä varmistaa raideosuuk-sien varautumistiedot kulkutie-ehtojen toteuttamiseksi. Asetinlaite voi olla tyypiltään tietokone-, rele- tai mekaaninen asetinlaite.
- Baliisi:** ETCS-järjestelmän ratalaite, joka aktivoituu yksikön baliisiantennin ylittäessä sen. Baliisin tehtävänä on toimia yksikön sijainninkorjaamispisteenä ja pisteenä, josta välitetään yksikölle tietoa tulevista ajoluvan rajoituksista baliisisanomalla.
- Baliisiryhmä:** Koostuu 1–4 peräkkäin rataan sijoitetusta baliisista. Baliisiryhmä välittää baliisisanomaa ETCS-veturilaitteelle.



DMI:	<i>Driver Machine Interface</i> on yksikön ohjaamoon asennettu kuljettajan käyttöpaneeli, jonka kautta kuljettaja saa tiedon muun muassa ajoluvasta sekä sallitusta nopeudesta. DMI:n kautta kuljettaja voi suorittaa veturilaitteen toimintoja.
Doppler-tutka	Hyödyntää Doppler-ilmiötä, jossa tutka lähettää mikroaalloja raiteiden väliin, josta ne heijastuvat takaisin. Lähetetyn ja vastaanotetun signaalin taajuusero lasketaan suhteessa yksikön nopeuteen ja näin saadaan tieto, kuinka pitkälle yksikkö on edennyt.
EUG:	<i>ERTMS Users Group</i> on organisaatio, joka edustaa ERTMS-järjestelmän käyttäjiä. Sen tarkoituksena on ajaa ERTMS:n käyttöönottoa sekä jakaa tietoa parhaista käytännöistä järjestelmän suunnitteluun ja rakentamiseen.
EVC:	<i>European Vital Computer</i> on ETCS-veturilaitteen keskusyksikkö, joka sijaitsee veturissa tai muussa radalla liikkuvassa yksikössä. Se suorittaa muun muassa kaikki ajoluvan vaatimat laskelmat jarrukäyristä ja prosessoi DMI:llä tapahtuvat tehtävät.
FS-tila:	ETCS-veturilaitteen toimintatila, jossa valvotaan kaikkia ajoluvassa määritettyjä rajoitteita, kuten nopeusrajoitusta, ajoluvan jäljellä olevaa matkaa ja yksikölle sallittua suurinta nopeutta.
HL3:	ETCS-tasojen 2 ja 3 hybriditoteutus, joka hyödyntää tason 3 ominaisuuksia tason 2 radalla, mahdollistaen molempien tasojen yksiköiden liikennöinnin samalla radalla. HL3 mahdollistaa radan kapasiteetin lisäämisen.

HTD:	Hybriditoiminnallisuus, jossa yksikön paikantamiseen radalla hyödynnetään sekä sijaintiraportteja että ratalaitteiden ilmoittamaa raiteen varautumistietoa.
Jarrutuskäyrä:	Matemaattinen malli, jolla arvioidaan yksikön hidastuvuutta radan ominaisuuksien ja yksikön jarrutuskyvyn perusteella. Käyrä lasketaan OBU:n toimesta useita kertoja sekunnissa, jotta yksikkö pysyy sille määrättyissä nopeuden ja sijainnin rajoissa ennakoimalla yksikön hetkellistä kiihtyvyyttä.
Kilometripylväs:	Ratakilometrin merkitsemiseen tarkoitettu pylväs, jossa ratakilometri on ilmoitettu numeroin.
Liikennepaikka:	Junien liikenteenohjausta tai asiakaspalvelua varten nimetty paikka, joka voi sisältää henkilö- tai tavaraliikenteen palveluita, kuten ratapihan vaihteineen tai se voi olla sijainti rataosalla sisältäen vain vaadittavan infran junaliikenteen ohjaamista varten.
Liikkuva suojaväli:	Yksiköiden välillä dynaamisesti määrittyvä suojaväli, joka perustuu yksiköiden nopeuteen, kiihtyvyyks- ja jarrutusarvoihin sekä eheystietoon (TIMS-järjestelmä). Liikkuvaa suojaväliä käytetään ETCS-tasolla 3.
OS-tila:	ETCS-veturilaitteen toimintatila, jossa edetään kuljettajan näkemän varassa, mutta osia ajoluvasta kuitenkin valvotaan. Veturilaitte valvoo tilan suurinta sallittua nopeutta. Toimintatilan suurin sallittu nopeus Suomessa on 35 km/h.
Perusversio:	<i>Baseline</i> . Termillä tarkoitetaan ETCS-järjestelmäversiota. Versio esitetään numeerisesti esimerkiksi 3.6.0.

Eri järjestelmäversiota käyttävät osajärjestelmät eivät välttämättä ole yhteensopivia toistensa kanssa.

- Raidevirtapiiri:** Ratalaite, jolla valvotaan raideosuuden vapaanaoloa. Raidevirtapiiri on eristysjatkosten rajaama raideosuus. Se toimii oikosulkuperiaatteella siten, että raidevirtapiirin alueella sijaitseva akseli oikosulkee osuuden ja ilmoittaa raideosuuden varautumisesta asetinlaitteelle.
- Ratakilometri:** Määrämittainen osuus radasta, jonka pituus on kahden peräkkäisen kilometripylvään väli raidetta pitkin mitattuna. Ratakilometri ei ole välttämättä pituudeltaan tuhatta metriä, vaan se voi poiketa tästä rataverkolla eri liikennepaikoilta aloitetun kilometrilaskennan tuloksena. Ratakilometri ilmoitetaan muodossa xxx+xxx, jossa ensin kilometrit ja +:n jälkeen metrit.
- Ratalaite:** Kiinteästi ratainfraan liitetty laite tai järjestelmä, joka voi olla mm. akselinlaskija, raidevirtapiiri, baliisi tai vaihde.
- RATO:** Ratatekniset ohjeet eli sarja Väyläviraston julkaisemia ohjeita rautateiden suunnittelua, rakentamista ja ylläpitoa varten. Ohjeet kattavat kaikki rautatieliikenteen osat alueet ja tekniset järjestelmät.
- SR-tila:** ETCS-veturilaitteen toimintatila, jossa kuljettaja on osin vastuussa yksikön kuljettamisesta. Riippuen kansallisista arvoista, veturilaite voi valvoa tilan suurinta sallittua nopeutta ja ylitettäviä baliiseja. Toimintatilan suurin sallittu nopeus Suomessa on 35 km/h.
- Taso 2:** ETCS-kulunvalvonnan taso, joka perustuu radioverkko-pohjaiseen tiedonsiirtoon yksikön ja RBC:n välillä. Yksikön ajolupa alkaa ja päättyy ajolupamerkillä. Yhdellä

fyysisellä suojavälillä voi sijaita kerrallaan vain 1 yksikkö.

**Taso 3:** ETCS-kulunvalvonnan taso, joka perustuu radioverkko-pohjaiseen tiedonsiirtoon yksikön ja RBC:n välillä. Yksikön ajolupa perustuu liikkuvaan suojaväliin, jossa yksiköiden etäisyys on mahdollisimman lyhyt. Turvallisen etäisyyden varmistamiseksi tarvitaan TIMS-järjestelmä.

**TIMS:** Yksikön eheydenvalvontajärjestelmä, joka valvoo veturiin kytkettyjen vaunujen tai moottorijunayksiköiden pysymistä kiinni toisissaan. Järjestelmän tuottama yksikön eheystieto päivitetään jatkuvasti sijaintiraportin välityksellä RBC:lle.

**Valvontanopeus:** Ajoluvassa sekä ETCS:n kansallisissa arvoissa määritetty ETCS-veturilaitteen valvoma suurin sallittu nopeus, jolla yksikkö voi lähestyä ajoluvan päätekohtaa (EoA). Yksikkö saa lähestyä ajoluvan päätekohtaa korkeintaan valvontanopeudella.

**Virtuaalinen suojaväli:** On fyysisestä suojavälistä virtuaalisesti jaettu osa. Virtuaalista suojaväliä voidaan hyödyntää lisäämään radan kapasiteettia, jos yksikkö on varustettu TIMS-järjestelmällä.

**VSS-tilatietogeneraattori:**

On RBC:n työkalu virtuaalisen suojavälin tilatiedon määrittämiseen. VSS-tilatietogeneraattori käy läpi sekvenssin tilatiedon määrittämiseksi. Lopputuloksena saadaan ajantasainen tilatieto virtuaalisen suojavälin senhetkisestä tilasta.

# 1 Johdanto

Suomen rataverkolla liikennöivän junaliikenteen turvallista kulkua turvataan junien kulunvalvontajärjestelmällä. Nykyinen junien kulunvalvontajärjestelmä JKV, joka on otettu käyttöön vuosien 1995–2005 aikana, on tulossa pian elinkaarensa päähän ja se on tarpeellista korvata uudella kulunvalvontajärjestelmällä. Nykyinen järjestelmä tullaan korvaamaan uudella yhteiseurooppalaisella junien kulunvalvontajärjestelmällä ETCS:llä, joka on tällä hetkellä käytössä laajalti ympäri Eurooppaa. ETCS on yleistynyt myös muualla maailmassa muun muassa Aasiassa ja Oseaniassa. (1.) ETCS-kulunvalvontajärjestelmä suojaa junien turvallista liikennöintiä rataverkolla ja estää mahdollisten vaaratilanteiden syntymisen puuttamalla kuljettajan toimintaan, jos kuljettaja ei tee toimia yksikön pysäyttämiseksi. ETCS-veturilaite ottaa yksikön hallinnan ja jarruttaa yksikön turvallisesti nopeus- ja muiden rajoitusten mukaisesti, tarvittaessa myös pysähdyksiin saakka.

ETCS-järjestelmässä on useita eri kulunvalvonnan tasoja. Taso 1 perustuu pistemäiseen kulunvalvontaan. Tasot 2 ja 3 perustuvat jatkuvatoimiseen radioverkko pohjaiseen ratkaisuun tiedonvälityksessä junien ja radiosuojastuskeskusten (RBC) välillä. Taso 2 toimii pohjana Suomessa käyttöönotettavalle ETCS-kulunvalvonnalle, sillä sen todettiin Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) raportissa olevan kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna paras ratkaisu Suomen rataverkolle. (2.) ETCS-tasoa 2 voidaan päivittää lisäämällä siihen toiminnallisuuksia HTD-konseptin avulla. Radan kapasiteettia voidaan HTD-toiminnallisuudella sopivissa olosuhteissa kasvattaa, kun käytössä on lisäksi yhteensopivaa junakalustoa.

Tilajana tälle insinööryölle toimii Digirata ja Fintraffic Raide Oy. Digirata on perustettu vuonna 2019 Suomeen rakennettavan ERTMS/ETCS-järjestelmän suunnittelua, rakentamista ja käyttöönottoa varten. Sen alaisuudessa toimii noin 200 asiantuntijaa eri tehtävissä. Insinööryön pohdintojen ja päätelmien on tarkoitus tukea ohjeistusta suojavälien optimoinnista HTD-konseptissa Väyläviraston julkaisemassa kansallisessa RATO22-ohjeessa, joka koskee ETCS-

suunnittelua Suomessa. Työssä perehdytään tarkemmin HTD-konseptin virtuaalisten suojavaleihin ja niiden toimintaan ETCS-kulunvalvonnassa. Lähteinä työlle on käytetty aikaisemmin julkaistuja tutkimuksia HTD-konseptista. Näiden tuloksia hyödynnetään virtuaalisten suojavaalien optimoinnin määrittämiseen tässä insinööriyössä. Työn alussa käydään läpi HTD-toiminnallisuuden kannalta olennaisten järjestelmien ja ominaisuuksien toimintaa, joilla pohjustetaan lukijalle HTD-konseptin toimintaa ennen siirtymistä tarkemmin suojavaalien optimointiin HTD-konseptissa. Insinööriyön aihe valikoitui, sillä HTD-konseptin käyttöönotto tulevilla ETCS-varustelluilla rataosilla on Digiradan nykyisenä tavoitteena. Tämän myötä aiheesta tarvittiin tarkempaa tarkastelua, jota tässä työssä on tehty.

## **2 Tutkimuksen lähtökohdat**

### **2.1 Lähtökohdat**

Suomen ensimmäinen kaupallinen ETCS-kulunvalvontajärjestelmä tullaan ottamaan käyttöön niin sanotulla EKA-radalla arviolta vuonna 2026. EKA-rata käsittää rataosuudet Lielähti-Kokemäki-Pori ja Kokemäki-Rauma. Kyseisten rataosien tavoitteena on ETCS-tason 2 varustelu sisältäen HTD-toiminnallisuuden. Rataosilla liikkuu paljon tavarajunia ja muuta kalustoa, joihin HTD-toiminnallisuuden vaatima eheydenvalvontajärjestelmä on haastavampaa toteuttaa. Siten on todennäköistä, että EKA-radalla tullaan aluksi liikennöimään alkuun ilman HTD-toiminnallisuuden hyödyntämistä. Mukana olevat rataosat on kuitenkin suunniteltu alusta lähtien siten, että HTD-toiminnallisuuden lisääminen on mahdollista toteuttaa ilman suuria muutoksia. (2;3.)

EKA-rata valikoitui tämän työn toiseksi tarkastelukohteeksi sen ajankohtaisen suunnittelutilanteen takia. EKA-radalla on meneillään aktiivinen suunnitteluvaihe, jossa ETCS-kulunvalvontaa ollaan jo suunnittelemassa. Toiseksi tarkastelukohteeksi valittiin Kehärata. Rataosa eroaa monelta osin EKA-radasta, joten sen todettiin olevan sopiva vertailukohde. Kehärata on 18 kilometriä pitkä vilkasliikenteinen kaksiraiteinen rataosuus, joka käsittää osuuden välillä

Vantaankoski-Havukoski. Lähtökohtana on myös, että tulevat ETCS-rakentamissuunnitelmat vaativat nykyiseen HTD-toiminnallisuuden ohjeistukseen täydentämistä, jotta suunnittelijoilla olisi käytettävissään ajantasaiset ja kattavat tiedot HTD-varustellun radan suunnittelemiseksi. (3;4.)

## 2.2 Nykytilanne kulunvalvonnassa

Suomen nykyinen kansallinen junien kulunvalvontajärjestelmä (JKV) on ollut käytössä 1990-luvun puolivälistä alkaen ja se kattaa nykyisin kaikki rataosuudet, joilla on säännöllistä henkilö- ja tavaraliikennettä sekä osan sivuradoista. JKV-järjestelmä on tulossa elinkaarensa päähän arviolta 2030-luvulla ja nykyisten baliisien saatavuus on turvattu arviolta vuoden 2026 loppuun asti. Vanhoja baliiseja alkaa kerääntyä varastoon ETCS-järjestelmän käyttöönoton edetessä, joka osaltaan pidentää JKV:n käyttöikää ja turvaa varaosien saantia. Lisäksi JKV-baliisien laitetoimittaja Bombardier on kehittämässä uutta Smart Balise-sarjabaliisia, jolla voidaan välittää sekä JKV- että ETCS-baliisisanomioita. Tämän tuotteen avulla JKV-järjestelmän toiminta voitaisiin varmistaa myös ETCS-siirtymäaikana. (2.)

Jotta turvallinen liikennöinti voidaan turvata myös tulevaisuudessa, on JKV korvattava uudella järjestelmällä. Euroopan unioni päätti vuonna 2009, että kaikki EU:ssa rakennettavat uudet ja päivitettävät rataosuudet, jotka saavat EU-tukia tai ovat osa TEN-T-liikenneverkkoa tulee varustaa uudella yhteiseurooppalaisella junien kulunvalvontajärjestelmällä ETCS:llä. Vaihtoehtoisesti jäsenmaat voivat asentaa uutta kulunvalvontajärjestelmää turvalaitetekniikan yhteensopivuuden takaamiseksi. (1.) Suomessa tavoitteena on ETCS-taso 2, joka perustuu niin sanottuun jatkuvatoimiseen kulunvalvontaan. Tällä tasolla yksikkö vastaanottaa ajoluvan päivitykset reaaliaikaisesti RBC:ltä. Tason 2 päälle tuodaan HTD-toiminnallisuus parantamaan kapasiteettia. (2;6.)

### 3 HTD-konseptin pääperiaatteet

#### 3.1 Yleistä

*Hybrid Train Detection* -konsepti entiseltä nimeltään *Hybrid Level 3*, on ETCS-järjestelmän hybridiratkaisu yksiköiden paikantamiseen ETCS-kulunvalvonnan alaisella radalla. Konsepti on ollut kehityksessä vuodesta 2016 alkaen ja uusin EUG:n julkaisema ohjeistus HTD-konseptista on julkaistu vuoden 2022 lopussa. Julkaisu lisää tähän hybridiratkaisuun uusia korjauksia ja päivityksiä. (7;8.) EUG on organisaatio, joka edustaa ERTMS-järjestelmän käyttäjiä ja edistää järjestelmän käyttöönottoa sekä jakaa tietoa parhaista käytännöistä suunnitella ETCS-kulunvalvontaa. EUG:n ohjeet on toteutettu siten, että suunnittelussa on mahdollista tehdä projektikohtaisia ratkaisuja hyvin joustavasti. Uusin HTD-konseptin ratkaisu pohjautuu perusversion 3 (*Baseline*) julkaisun 2 (*System version*) vaatimuksiin sekä niitä korjaavaan muutospyyntöön CR940 (9).

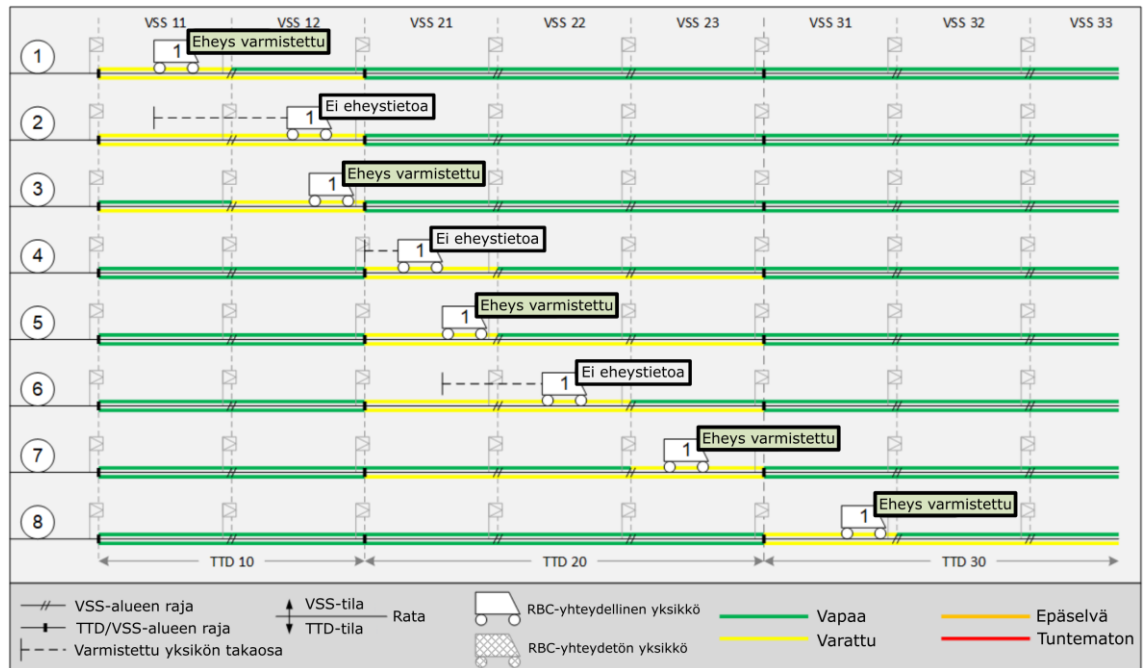
HTD-konsepti perustuu ETCS:n radioverkkopohjaisen jatkuvan kulunvalvonnan tasoon 2 ja sekä HTD-toiminnallisuuteen, jonka avulla yksiköiden paikannusta voidaan tarkentaa. HTD-varustellulla radalla voivat liikennöidä tason 2 yksiköt, jotka on varusteltu joko TMS-järjestelmällä tai ilman. Jotta takana kulkeva yksikkö voi hyödyntää virtuaalisia suojavälejä, vaaditaan edellä kulkevalta yksiköltä jatkuvaa eheydenvalvontaa. Eheydenvalvonta tarkoittaa sitä, että yksikkö ilmoittaa RBC:lle jatkuvasti yksikön kokoonpanon todenmukaisuuden eli sen, että kaikki kokoonpanoon kuuluvat vaunut tai yhteen kytketyt yksiköt ovat varmistetusti kiinni toisissaan. Yksikön eheydenvalvonnasta vastaa järjestelmä nimeltä TMS eli *Train Integrity Monitoring System*. (6;7.) Järjestelmä on edelleen kehitysasteella ja tällä hetkellä muuttuvan kokoonpanon yksikölle (*variable composition*), etenkin tavarajunille, ei ole tämän työn julkaisuhetkellä olemassa todistettavasti toimivaa ratkaisua yksikön eheydenvalvontaan (7).

Raiteen vapaanaolon varmistaminen on olennaista raideliikenteen turvallisuuden varmistamiseksi. Menetelmällä voidaan varmistua, että tietty osuus on täysin vapaa ennen kuin sinne voidaan päästää uusi yksikkö. Raiteen



vapaanaolonvalvonta voidaan toteuttaa joko akselinlaskijoin tai raidevirtapiirein. Kumpiakin järjestelmiä käytetään nykyisellään Suomessa varmistamaan raiteiden vapaanoloa. Kun fyysinen suojaväli eli TTD-osuus on vapaa, voidaan osuudelle muodostaa kulkutie TIMS-varustetulle tai varustamattomalle yksikölle. Erona TIMS-varustettuun yksikköön on, että TIMS-varustamattomalle yksikölle voidaan muodostaa ajolupa, joka päättyy fyysisen suojavälin rajaavalle ajolupamerkille (TTD-rajakohta). TTD-rajakohtien vapaanolo perustuu mainittuihin perinteisiin raiteen vapaaksi varmistamisen menetelmiin, joilla yksikön sijainti voidaan varmentaa ilman eheystiedon tarvetta. TIMS-varustamaton yksikkö ei siis voi hyödyntää virtuaalisia suojavälejä, jotka ovat osa TTD-osuuden varrella. Varustamaton yksikkö vapauttaa perässään ainoastaan fyysiset suojavälit (TTD), mikä aiheuttaa sen, että takana seuraava yksikkö voi hyödyntää virtuaalisia suojavälejä (VSS) vain TTD-rajaan asti. (7.)

TIMS-varustettu yksikkö pystyy hyödyntämään virtuaalisten suojavälien tuomaa lisäkapasiteettia (kuva 19). Saapuessaan VSS-osuudelle yksikkö varaa sen ja VSS-osuus asettuu varattuun tilaan. Välittömästi sen jälkeen, kun yksikön takaosa on ohittanut virtuaalisen suojavälin rajan, vapauttaa yksikkö takanaan sijaitsevan virtuaalisen suojavälin (kuva 1). Mikäli TIMS-varustetun yksikön edellä kulkee kuitenkin TIMS-varustamaton yksikkö, voi TIMS-varustettu yksikkö hyödyntää virtuaalisia suojavälejä vain TTD-rajaan asti, jonka edellä kulkeva varustamaton yksikkö on viimeksi ohittanut (kuva 11). Alla olevassa kuvassa 1 esitetään TIMS-varustellun yksikön normaali kulku virtuaalisilla suojaväleillä. Yksikkö kulkee kuvassa vasemmalta oikealle varaten VSS-osuuksia etenemisjärjestyksessä. VSS:n varautumisaika riippuu yksikön eheystiedon ajantasaisuudesta sekä yksikön nopeudesta. (7.)

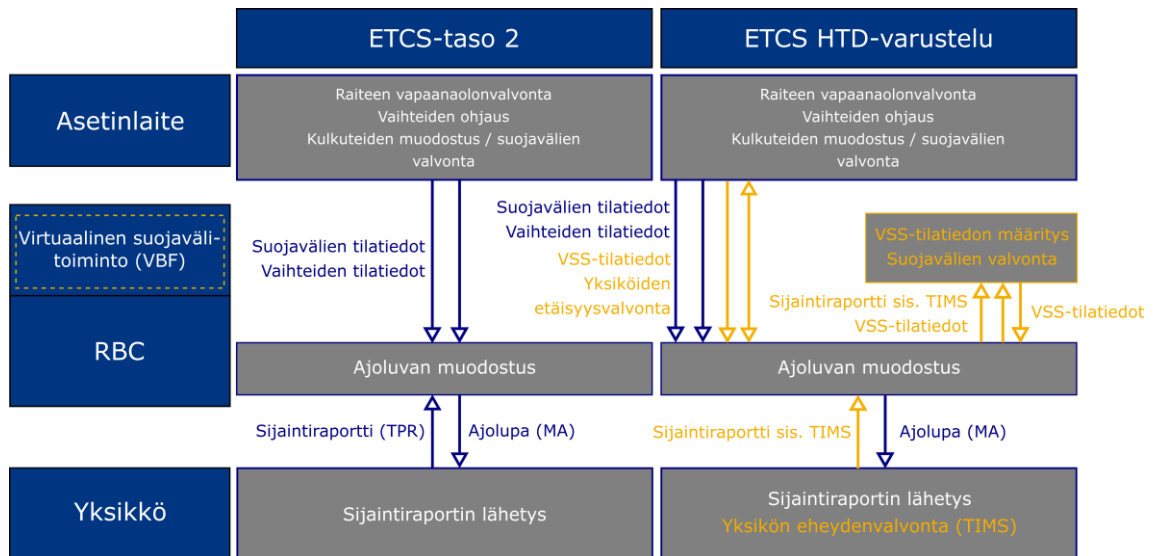


Kuva 1. Yksikön normaali kulku virtuaalisilla suojaväleillä eheystiedon kanssa ja ilman (7). Kuva käännetty lähteestä.

Eheydenvalvonnan ansiosta HTD-varustellulla radalla yksikön sijaintia määrittävien ratalaitteiden määrää on mahdollista vähentää verrattuna HTD-varustelemattomaan rataan. Ratalaitteiden vähentämisellä on mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä riippuen rataosasta. TIMS-varustelemattomat yksiköt voivat edelleen liikkua HTD-varustellulla radalla, jonka fyysisten suojavälien määrää on vähennetty. Tämä kuitenkin tarkoittaa radan heikompa välityskykyä verrattuna tilanteeseen, jossa kaikki radalla liikkuvat yksiköt ovat TIMS-järjestelmällä varustettuja. HTD:n hyötynä on nopeampi raideosuuksien vapautuminen, kun radalle sijoitetaan sopivin välimatkoin TTD-osuuksia täydentämään vapaa-naolonvalvontaa sijaintiraporttien (TPR) kanssa. (7.)

Seuraavassa kuvassa 2 esitellään erot ETCS-tason 2 ja HTD-toiminnallisuuden välillä. Virtuaalisella suojavälitoiminnolla (VBF) viitataan virtuaalisiin suojaväleihin (VSS). (10;11.) Vasemman reunan pystysuuntaisella rivillä esitetään ETCS:n osajärjestelmät. Jokaisen osajärjestelmän kohdalla vaakarivillä nähdään toiminnot, joita kyseinen järjestelmä hoitaa kullakin ETCS-tasolla.

Virtuaalisen suojavälitoiminnon ympäröivä keltainen katkoviiva tarkoittaa, että osajärjestelmä on aktiivisena ainoastaan HTD-varustellulla radalla.

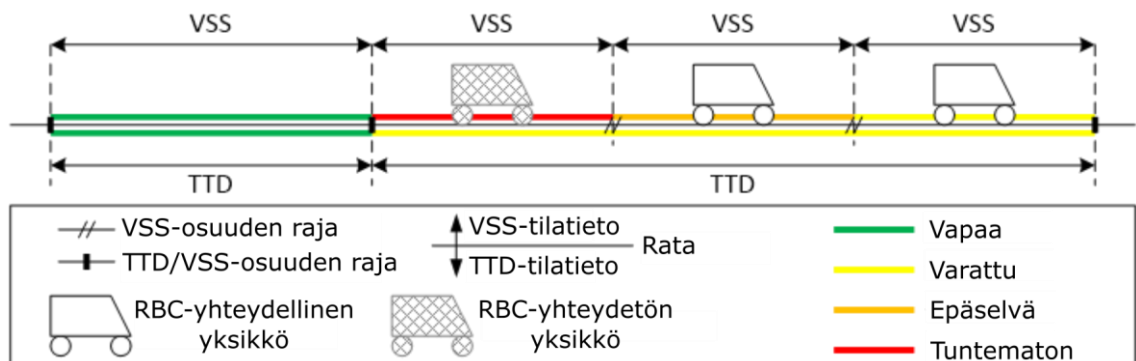


Kuva 2. ETCS-tason 2 ja HTD-varustelun vertailu (11). Kuva käännetty lähteestä.

### 3.2 VSS-tilat

Virtuaalisen suojavälin tilatieto on jatkuvasti RBC:n tiedossa. RBC eli radiosuojastuskeskus määrittää VSS-tilatiedot vallitsevien ehtojen mukaisesti. Se, miten tilatieto muodostetaan, riippuu siitä, onko VSS:llä sijaitsevalla yksiköllä RBC:hen muodostettu yhteys vai ei ja onko yksikkö varmistanut eheystietonsa vai ei. Näiden tietojen pohjalta RBC päättää, missä tilassa virtuaalinen suojavaali on. Virtuaalisella suojavälillä on käytössä neljä mahdollista tilatietoa (kuva 3). Asetinlaite tietää ainoastaan sen, onko TTD-osuus varattu vai ei. Asetinlaitteen tehtävänä on ohjata radan opastimia, vaihteita ja muita laitteita. Kaksi tilatiedoista ilmoittavat yksiselitteisesti, onko VSS-osuus vapaa vai ei. Nämä tilat ovat *free* (vapaa) ja *occupied* (varattu). Ne kertovat RBC:lle virtuaalisen suojavälin varautumistilan ratalaitteilta sekä yksikön eheystiedon sisältävistä sijaintiraporteista saaduista tiedoista. Vaikka tilatieto 'vapaa' teoriassa tarkoittaa, että VSS on vapautunut yksikön siltä poistuttua, säilyy fyysinen suojavaali edelleen

varattuna, kunnes kaikki fyysisellä suojavälillä liikkuvat yksiköt ovat siltä kokonaan poistuneet (kuva 1). (7.)



Kuva 3. VSS-tilatietojen selitteet (7). Kuva käännetty lähteestä.

Toiset kaksi tilatietoa kertovat virtuaalisen suojavälin varautumisen varmuusasteesta. Tilatietoa *ambiguous* (epävarma) käytetään tilanteessa, jossa RBC ei kykene varmistumaan, onko samalla VSS:llä vahvistetun yksikön lisäksi jokin toinen yksikkö, joka ei ole yhteydessä RBC:hen. *Unknown* (tuntematon) tilatietoa käytetään silloin, kun RBC ei voi varmistua, sijaitseeko VSS:llä yksikköä ollenkaan. (7.) Viitattaessa VSS-tiloihin myöhemmin tässä dokumentissa, viitataan tilatietoon heittomerkein, esimerkiksi 'tuntematon'. Tilatiedon määrittämisen hoitaa RBC:n osajärjestelmä VSS-tilatietogeneraattori (*state machine*), joka käynnistyy uuden tapahtuman ilmetessä eli yksikön lähettäessä sijaintiraportin ja kun kaikki liittyvät HTD-ajastimet ovat ensin umpeutuneet. Ajastimen kesto vaikuttaa siihen, milloin RBC saa uutta tietoa yksikön sijainnista. Aiheesta kerrotaan lisää kappaleessa 3.4.

Taulukko 1. VSS-tilatietojen kuvaukset (7).

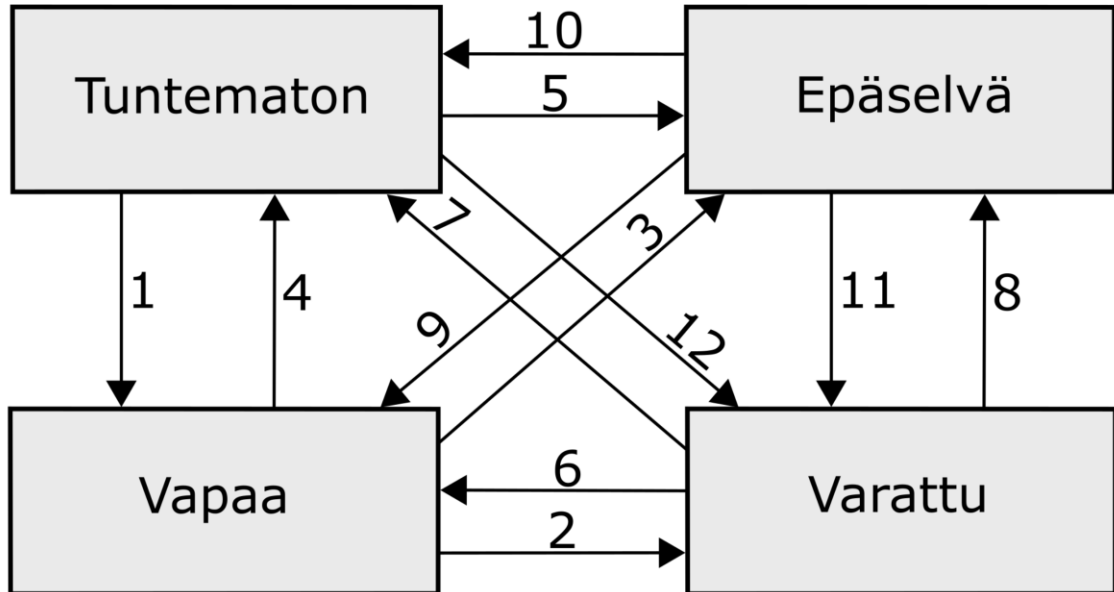
VSS-tila	Tilan kuvaus
Vapaa (Free)	RBC voi varmistua yksikön sijaintiraporttien ja ratalaitteiden tietojen perusteella, että virtuaalisella suojavälillä ei sijaitse yksikköä.
Varattu (Occupied)	RBC voi varmistua yksikön sijaintiraporttien ja ratalaitteiden tietojen perusteella, että yksikkö on varannut VSS:n. RBC on varmistanut, että VSS:llä ei ole toista yksikköä samalla virtuaalisella suojavälillä ensin varanneen yksikön kanssa.
Epäselvä (Ambiguous)	RBC ei kykene varmistumaan yksikön sijaintiraporttien ja ratalaitteiden tietojen perusteella, että yksikkö sijaitsee VSS:llä. RBC ei voi varmistua siitä, onko VSS:llä toista yksikköä ensimmäisenä varanneen kanssa. Tunnistamaton yksikkö ei ole välittänyt sijaintiraporttia RBC:lle, mutta näkyy asetinlaitteella varanneen TTD:n.
Tuntematon (Unknown)	RBC ei kykene varmistumaan yksikön sijaintiraporttien ja ratalaitteiden tietojen perusteella onko VSS:llä yksikköä. RBC ei voi varmistua siitä, että virtuaalinen suojaväli olisi vapaa.

Taulukossa 2 esitetään VSS-tilatiedon määrittämiseen vaadittavat toimenpiteet. VSS-tilatiedon määrittäminen alkaa, kun yksi alla lueteltavista tapahtumista ilmenee. Tämän jälkeen suoritetaan toimintosarja, jonka jälkeen VSS-tilatietogeneraattorista saadaan tilanteeseen sopiva ehtojen mukainen VSS-tilatieto. (7.)

Taulukko 2. VSS-tilatiedon määrittämisen prosessi (7).

Tapahtuma	Toimintosarja
Sijaintiraportti tai RBC-yhteyden katkaisemiskäske vastaanotetaan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Palautetaan yksikön sijainti OBU:n muistista (mikäli mahdollista)</li> <li>2. Päivitetään yksikön etuosan sijainti ja käsitellään HTD-ajastimien aloitus- ja lopetusehdot</li> <li>3. Päivitetään VSS-tilatiedot (VSS-tilatietogeneraattori käy läpi tilatiedon määrittämisen sekvenssin)</li> <li>4. Päivitetään yksikön takaosan sijainti ja käsitellään HTD-ajastimien aloitus- ja lopetusehdot</li> <li>5. Päivitetään VSS-tilatiedot (VSS-tilatietogeneraattori käy läpi tilatiedon määrittämisen sekvenssin)</li> </ol>
TTD-tieto (varattu/vapaa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Päivitetään yksikön etuosan sijainti ja käsitellään HTD-ajastimien aloitus- ja lopetusehdot</li> <li>2. Päivitetään VSS-tilatiedot (VSS-tilatietogeneraattori käy läpi tilatiedon määrittämisen sekvenssin)</li> <li>3. Päivitetään yksikön takaosan sijainti ja käsitellään HTD-ajastimien aloitus- ja lopetusehdot</li> <li>4. Päivitetään VSS-tilatiedot (VSS-tilatietogeneraattori käy läpi tilatiedon määrittämisen sekvenssin)</li> </ol>
Ajastin umpeutuu	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Käsitellään HTD-ajastimen aloitus- ja lopetusehdot</li> <li>2. Päivitetään HTD-ajastimien aloitus- ja lopetusehdot</li> <li>3. Käsitellään HTD-ajastimen aloitus- ja lopetusehdot</li> </ol>

Kuvassa 4 on esitetty VSS-tilatiedon generaattori, joka suorittaa sekvenssin, jolla saadaan määritettyä ehtoihin sopiva tilatieto. Numerot viittaavat ehtoihin, jotka ohjailevat sitä mitkä skenaariot ovat mahdollisia ja mitkä eivät. Lista ehdoista löytyy liitteestä 2.



Kuva 4. VSS-tilatietogeneraattori ja sen suorittamat sekvenssit tilatiedon määrittämiseksi (6).

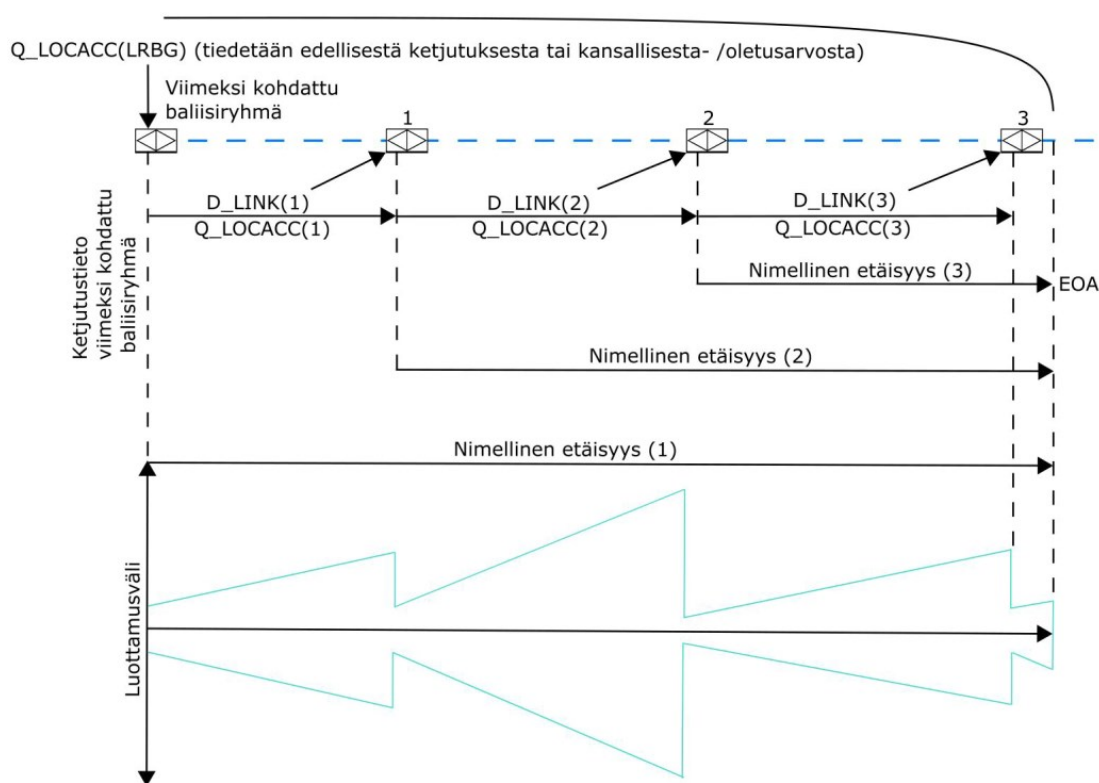
### 3.3 Yksikön sijainnin määrittäminen ja paikannus ETCS-järjestelmässä

Sijainnin määrittäminen perustuu ETCS:ssä etäisyyden edellisestä yksikön kohtaan baliisiryhmästä (LRBG) ja arvioon yksikön luottamusvälistä (kuva 5). Baliisiryhmän tulee Suomessa koostua 1–4 ohjaamattomasta baliisista. Ohjaamattoman baliisi lähettää ainoastaan vakiosanomaa, eikä se välitä muita vaihtuvia sanomia yksikölle. Etäisyyden laskenta perustuu ETCS:ssä yksikköön asennettuun odometriin. Odometriä voidaan täydentää tarvittaessa myös muilla tutkilla, kuten Doppler-tutkilla, mittaustuloksen tarkentamiseksi. (6.)

Etäisyyden tarkkuus laskee suhteessa kuljettuun matkaan LRBG:stä, tätä kutsutaan luottamusväliksi. Luottamusväli nollautuu aina yksikön kohdattua uuden baliisiryhmän, joka määräytyy uudeksi LRBG:ksi, ja jonka perusteella luottamusväliä lasketaan (kuva 5). Luottamusvälin suuruuden ja baliisien sijainnin tarkkuuden (Q\_LOCACC) rajaamisella on vaikutusta radan kapasiteettiin erityisesti silloin, jos yksikkö liikkuu rataosalla, joka on kapasiteettinsa rajoilla. Luottamusvälin pienentäminen onnistuu lisäämällä linkitettyjä sijainninkorjausbaliiseja rataa tiiviimmin ja tasaisin välimatkein. Sijainninkorjausbaliisit ovat niin

ikään myös baliisiryhmiä, vaikka sellainen koostuisi vain yhdestä sijainninkorjausbaliisista. Sijainninkorjauspisteitä voidaan lisätä tarkentamaan luottamusväliä. Tällainen kohde voi olla esimerkiksi ajoluvan päätekohdan lähellä, jossa luottamusvälin tarkkuudella on vaikutusta kuljettajalle ilmoitetussa etäisyydessä EoA:han. Kuljettaja sekä OBU perustavat yksikön pysäyttämisen ennen ajoluvan loppua laskettuun etäisyyteen EoA:sta (kuva 5). (12;13;14.)

Linkityksellä (D\_LINK) tarkoitetaan, että yksikön ETCS-veturilaite (OBU) tietää, missä sijainneissa seuraavat sijainninkorjauspisteet tai baliisiryhmät sijaitsevat. Tällä voidaan varmistaa, että kaikki radalle asennetut baliisit varmasti löytyvät radasta. (12.)

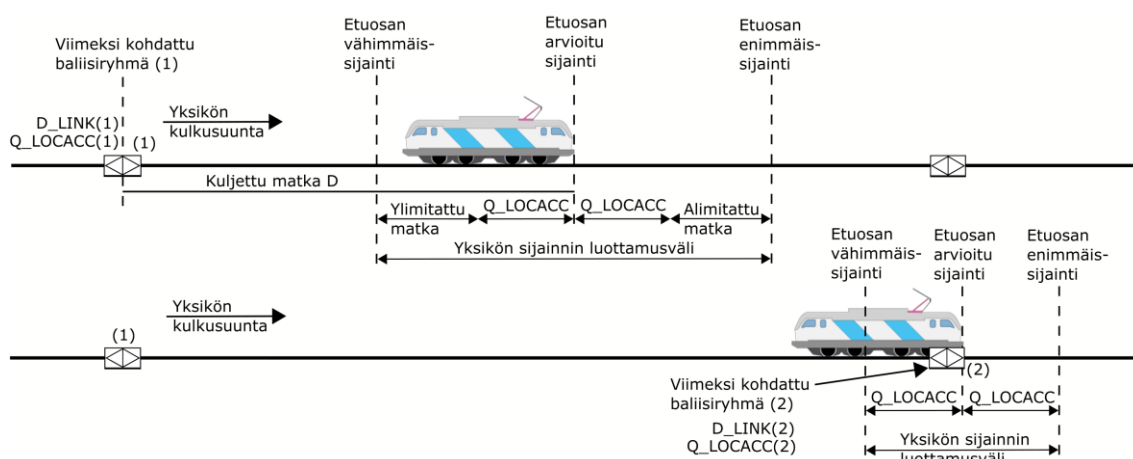


Kuva 5. Yksikön uudelleen paikantaminen ja luottamusvälin nollaus viimeksi kohdatun LRBG:n mukaan (6).

Yksiköiden paikannus radalla tapahtuu perinteisesti joko akselinlaskijoiden tai raidevirtapiirien avulla. Tämä rajoittaa paikannuksen tarkkuutta muun muassa pitkillä linjaosuuksilla liikennepaikkojen välillä, jotka voivat olla Suomessa



pisimmillään useita kymmeniä kilometrejä. HTD-varustellulla radalla yksikön paikantamiseen käytetään edelleen samoja keinoja kuin tason 2 ratkaisussa, mutta näiden lisäksi käytössä on VSS-osuuksien tilatiedot TIMS-varustelluilta yksiköiltä. Paikannuksen tarkkuus paranee TIMS-varusteltujen yksiköiden osalta virtuaalisten suojavälien tilatietojen avulla. Näin RBC saa tarkemman sekä ajantasaisemman kuvan yksikön sijainnista verrattuna pelkkään ratalaitteiden muodostamaan kuvaan raideosuuksien varautumisesta TIMS-varustamattomalla yksiköllä. VSS-tilatieto kertoo RBC:lle, onko yksikkö varannut virtuaalisen raideosuuden vai ei. Mikäli asiasta ei voida varmistua, kertoo tilatieto, millä tavalla tieto on varmistamaton (kuva 3). Merkittävin ero syntyy RBC:n havaitsemassa yksiköiden sijainnintarkkuudessa eheyden varmistaneen ja varmistamattoman yksikön välillä. Paikannustarkkuus, joka RBC:llä on käytössä TIMS-varustellusta yksiköstä, jolla on varmistettu eheystieto, on yksi virtuaalinen suojavaali (VSS). TIMS-varustamattoman yksikön tai TIMS-varustetun yksikön paikannustarkkuus on pienempi eli yksi fyysinen suojavaali (TTD), jos eheystietoa ei ole saatavilla (kuva 10). HTD-varustellulla radalla yksikön sijaintiraporteissa ilmoitetun yksikön varmistetun eheystiedon avulla RBC voi todeta yksikön sijainnin yhden VSS-osuuden tarkkuudella (kuva 3). (7.)



Kuva 6. Yksikön sijainnin luottamusvälin määräytyminen (6).

Yksikön takaosan sijainnin määrittämisen luotettavuus riippuu siitä, onko yksikön eheystieto varmistettu. Mikäli yksikön eheys on varmistettu, voidaan oletettu takaosan sijainti korvata varmistetulla tiedolla yksikön takaosan sijainnista. Kun

yksikön takaosan sijainti voidaan varmistaa suurella tarkkuudella, mahdollistaa se virtuaalisten suojavälien käytön. Yksikön etuosan sijainti taas ei riipu yksikön eheydenvalvonnan tilasta, vaan se perustuu aina arvioon. Kerrallaan käytössä voi olla ainoastaan yksi paikannuksen luotettavuusaste, joko varmistettu tai oletettu yksikön takaosan sijainti. Esimerkkinä tilanne, jossa yksiköllä on lähtötilanteessa varmistettu yksikön eheystieto ja siten takaosan sijainti on varmistettu. Matkan aikana eheystieto kuitenkin menetetään. Tässä tilanteessa siirrytään välittömästi käyttämään oletettua takaosan sijaintia ja takana seuraavan yksikön ajolupa rajataan viimeiselle TTD-osuuden rajalle, jonka eheystiedon menettänyt yksikkö on ohittanut. Kun edellä kulkeva yksikkö varmistaa uudelleen takaosan sijaintinsa ja vapauttaa siten takanaan sijaitsevat virtuaaliset suojavälit käyttöönsä, voidaan perässä seuraavan yksikön ajolupaa jatkaa viimeiselle vapaalle VSS:lle (kuva 11).

Yksikön sijaintiraportti on voimassa ainoastaan niin kauan, kun yksikkö on yhteydessä RBC:hen. Mykistysajastimen umpeuduttua yksikön sijaintitieto poistuu RBC:ltä, mutta viimeisin tilatieto jää edelleen VSS-tilatietogeneraattorin käyttöön. Mykistysajastin on yksi HTD-ajastimista. Sitä käytetään asettamaan VSS-tilatieto rajoittavampaan tilaan, kun yksikkö on ollut radioyhteyden menettäneenä pidempään kuin vain lyhyen väliaikaisen yhteyskatkon ajan. Ajastimista kerrotaan lisää kappaleessa 3.4. (7.)

### 3.3.1 Yksikön etuosan sijainnin vaikutus VSS-osuuksiin

Kun RBC vastaanottaa tiedon HTD-varustellun radalla yksikön ensimmäisestä VSS-osuuden rajan ylityksestä (yksikön etuosan enimmäissijainti ylittää rajan), tulkitsee RBC yksikön olevan virtuaalisella suojavälillä. Ensimmäinen virtuaalinen suojaväli, jonka yksikkö varaa ja sitä mahdollisesti edeltävät VSS-osuudet asettuvat tilaan 'varattu'. Tähän protokollaan on olemassa kaksi poikkeusta. (7.)

Poikkeus 1: Jos yksikön etuosan enimmäissijainti sijaitsee EoA:n takana, mutta etuosan vähimmäissijainti on kuitenkin EoA:n edessä, tulee varmistaa, ettei yksikkö varaa EoA:n takana sijaitsevaa VSS-osuutta. Tarkoituksena on välttää

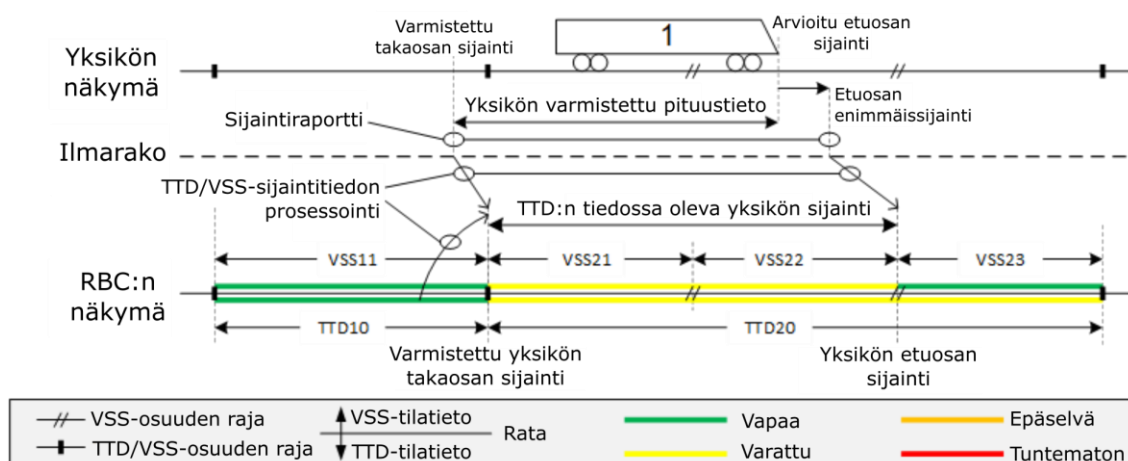
tilanne, jossa yksikön edessä sijaitseva seuraava VSS varautuisi ja estäisi siten uuden täysvalvontaisen ajoluvan (FS MA) myöntämisen yksikölle. Haittapuolena tässä on, että vaikka yksikkö siirtyy VSS:lle, se pysyy tilassa 'vapaa', kunnes etuosan vähimmäissijainti ylittää VSS-rajakohtan. Tämän aiheuttamaa riskiä voidaan vähentää asettamalla valvontanopeus 0 km/h:ssa tai estämällä vastakkaisesta suunnasta tulevan liikenteen mahdollisuus VSS:n rajalle. TTD-osuuksia tämä poikkeus ei kosketa, sillä raideosuus varautuu yksikön akselin ylittäessä TTD-rajakohtan. (7.)

Poikkeus 2: Niin pitkään kun TTD-osuus on varmistettu vapaaksi tai se vapautuu edellä kulkevan yksikön siltä poistuttua, ei yksikön sijaintia tule ulottaa VSS:lle, joka on osa tätä vapaata TTD-osuutta. Tällä tavoin vältetään VSS:n asettuminen tilaan 'varattu' ennen kuin yksikkö fyysisesti sijaitsee VSS:n alueella. Tämä on hyödyksi tilanteissa, jossa yksikön kulkutie on tarpeen purkaa tai muuttaa yksikön kulkusuuntaa. (7.)

Yksikön sijainnin päivitys ei ole riippuvainen yksikön eheystiedon tilasta sijaintiraportissa. Mikäli RBC vastaanottaa tiedon, että yksikön etuosan enimmäissijainti on siirtynyt taaksepäin edellisen luottamusvälin aikana (voi johtua myös yksikön sijainnin tarkennuksesta), tulee yksikön edellä ennen sijainnin muutosta sijainnut VSS pitää edelleen varattuna. Näin varmistetaan, että virtuaaliset suojavälit päivittyvät ainoastaan, jos yksikön liike taaksepäin on merkittävä. (7.)

### 3.3.2 Varmistettu yksikön takaosan sijainti

Eheydensä varmistaneen yksikön varmistettu takaosan sijainti perustuu yksikön arvioon etuosan sijainnista, viimeisimpään sijaintiraportin varmistettuun yksikön pituuteen, jossa yksikön eheystieto on todennettu sekä ratalaitteiden varmistettuun tietoon yksikön sijaitsemisesta TTD:llä. Näitä kolmea keinoa käytetään yksikön tarkan sijainnin määrittämiseksi HTD-konseptissa. (7.)

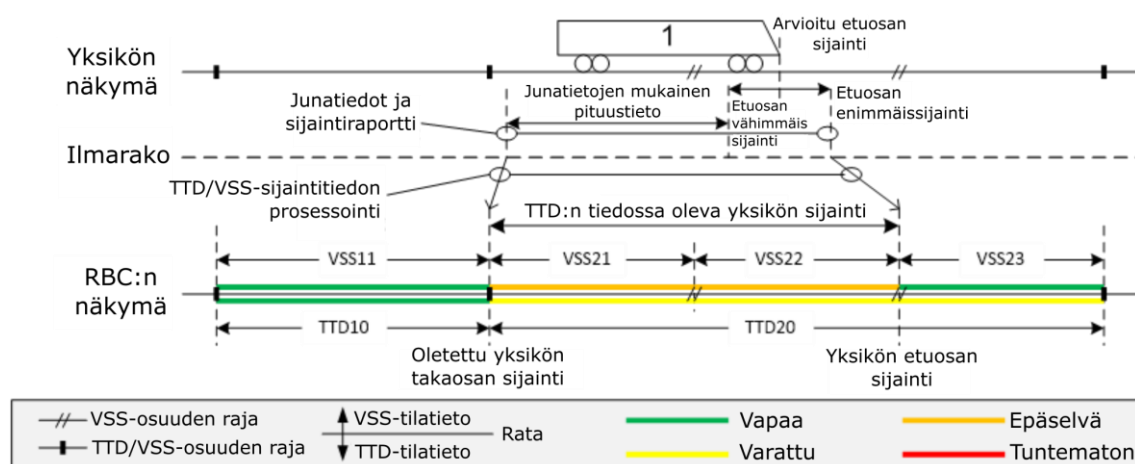


Kuva 7. Eheyden varmistaneen yksikön sijainti (7). Kuva käännetty lähteestä.

Yksikön voidaan todeta poistuneen nykyiseltä ja sitä edeltäviltä virtuaalisilta suojaväleiltä, kun RBC vastaanottaa tiedon yksikön varmistetun takaosan poistumisesta virtuaaliselta suojaväililtä. Jos yksikkö raportoi RBC:lle eheystiedon tilan olevan kadonnut tai jos tietoa ei saatavilla, varmistettua takaosan sijaintia ei koskaan päivitetä. Mikäli ratalaitteilta saadun tiedon mukaan päivittynyt varmistettu yksikön takaosan sijainti aiheuttaisi yksikön sijainnin siirtymisen pois virtuaaliselta suojaväililtä, tulee sijaintitieto käsitellä siten, että yksikkö varaa seuraavan varatun TTD:n alaisen ensimmäisen virtuaalisen suojavälin. Näin varmistetaan yksikön sijaintitiedon jatkuvuus sijaintiraportin viiveistä johtuen eikä yksikön sijainti "hyppää" eteenpäin myöhästyneen päivityksen yhteydessä. Sijainnin päivitys ei saa myöskään aiheuttaa yksikön varmistetun takaosan sijainnin epäjohdonmukaista päivittymistä eli varmistetun takaosan sijainnin "hyppäämistä" yksikön etuosan arvoidun sijainnin edelle. Tilanne aiheutuu, kun edeltävän ja seuraavan fyysisen suojavälin varautumisessa on viivettä. Jos varmistettu takaosan sijainti on siirtynyt eteenpäin TTD:n muututtua tilaan 'vapaa' ja tämän jälkeen varautuu vielä uudelleen (perässä seuraavan yksikön toimesta), on mahdollista, että yksikkö raportoidaan uudelleen kyseisen TTD:n alaiselle virtuaaliselle suojaväilille. Tässä tapauksessa varmistettu takaosan sijainti tulee päivittää vain, jos uuden sijaintiraportin yhteydessä sijainnin voidaan todeta oikeasti olevan aikaisemman sijaintiraportin ilmoittaman sijainnin takana (yksikkö on oikeasti liikunnut reilusti taaksepäin). Tällä tavoin vältetään turhat VSS:ien päivitykset. (7.)

### 3.3.3 Oletettu yksikön takaosan sijainti

Mikäli yksikkö ei voi varmistaa eheystietoaan, käytetään takaosan sijainnin määrittämiseen tällöin yksikön oletettua takaosan sijaintia, joka pohjautuu arvioituun sijaintiin yksikön takaosasta. Oletettua yksikön takaosan sijaintia voidaan käyttää myös eheydensä varmistaneiden yksiköiden takaosan sijainnin määrittämisessä. (7.)



Kuva 8. Oletettu yksikön takaosan sijainti (7). Kuva käännetty lähteestä.

Yksikön oletettu takaosan sijainti perustuu yksikön raportoimaan pituustietoon ja yksikön takaosan vähimmäissijaintiin sijaintiraportista sekä lisäksi ratalaitteiden raportoimaan tietoon siitä, että yksikkö ei sijaitse tietyllä VSS:llä. Yksikön voidaan todeta poistuneen nykyiseltä sekä sitä edeltäviltä virtuaalisilta suojaväleiltä, kun RBC vastaanottaa tiedon yksikön oletetun takaosan sijainnin poistumisesta virtuaaliselta suojaväliltä. Ottaen huomioon, että yksikön takaosan sijainti on todella vain oletettu, sitä ei voida missään tapauksessa käyttää virtuaalisen suojavälin vapaaksi varmistamisessa. Siten VSS, jolta yksikkö poistuu käyttäen oletettu takaosan sijaintia, ei asetu tilaan 'vapaa', vaan sen sijaan siirtyy tilaan 'tuntematon'. (7.)

Mikäli sijainnin päivitys ratalaitteiden raportoimana aiheuttaisi sen, että yksikön sijainti ei olisikaan enää VSS:n alueella, RBC:n tulee todeta yksikön sijaitsevan seuraavan TTD:n alaisella VSS:llä. Näin vältetään yksikön sijainnin katoaminen

sijaintiraportin viiveistä johtuen. Sijainnin päivitys ei saa myöskään aiheuttaa yksikön oletetun takaosan sijainnin epä johdonmukaista päivittymistä eli oletetun takaosan sijainnin ”hyppäämistä” yksikön etuosan arvoidun sijainnin edelle. Tilanne aiheutuu, kun edeltävän ja seuraavan fyysisen suojavaalin varautumisessa on viivettä. Jos oletettu takaosan sijainti on siirtynyt eteenpäin TTD:n muututtua tilaan ’vapaa’ ja tämän jälkeen varautuu vielä uudelleen (perässä seuraavan yksikön toimesta), on mahdollista, että yksikkö raportoidaan uudelleen kyseisen TTD:n alaiselle VSS:lle. Tässä tapauksessa varmistettu takaosan sijainti tulee päivittää vain, jos uuden sijaintiraportin yhteydessä sijainnin voidaan todeta oikeasti olevan aikaisemman sijaintiraportin ilmoittaman sijainnin takana (yksikkö on oikeasti liikkunut reilusti taaksepäin). Tällä tavoin vältetään turhat VSS-osuuksien päivitykset. (7.)

Tilanteessa, jossa VSS on tilassa ’epäselvä’, on yksikön oletettua takaosan sijaintia käytettävä yksikön paikantamiseen. Tämä on tarpeellista, jotta eheytensä varmistanut yksikkö ei käyttäisi varmistettua yksikön pituutta (RBC-sijaintiraportin viestin muuttuja *L\_TRAININT*) RBC-yhteyden menettäneen yksikön ajastimen kanssa yksikön poistuessa TTD:ltä. Muuttujalla *L\_TRAININT* määritellään yksikön varmistettu pituus metreinä. Tämä arvo voi olla eri kuin kuljettajan lähtötarkastuksen yhteydessä veturilaitteelle syöttämä yksikön pituustieto. Näin vältetään yksikön pituustiedon muutos, jos eheystietoa ei hetkellisesti ole saatavilla. (7.)

### 3.4 HTD-ajastimet

ETCS-kulunvalvontajärjestelmään kuuluvat ajastimet ovat osa ajoluvan ominaisuuksia. Ajastimilla vaikutetaan yksikön kulun sujuvuuteen ja turvallisuuteen asettamalla ajastimille eri kestoja. HTD-varustellulla radalla on käytössä muiden ETCS-ajastimien lisäksi uudet HTD-ajastimet, joiden raja-arvot määritellään ETCS:n kansallisiin arvoihin EUG:n ohjeissa ilmoitettujen tietojen ja suositusten mukaan. Kansallisilla arvoilla vaikutetaan niin ikään turvallisuuden tasoon kansallisella tasolla ETCS-järjestelmässä. ETCS-radon suunnittelun CAE-dataan

voidaan määrittellä tarkemmin sopivat arvot HTD-ajastimille projektikohtaisesti. EUG:n antamista suosituksista lisää Päätelmät-osiossa kappaleessa 5.3. (7.)

Ajastimet voidaan jakaa kategorioihin seuraavasti:

- Odotusajastimet
  - Mykistysajastin
  - Eheystiedon odotusajastin
  - RBC-yhteydettömän yksikön ajastin
- Etenemisen ajastimet
  - Yhteyskatkon etenemisen ajastin
  - RBC-yhteydettömän yksikön etenemisen ajastin
  - Eheystiedon menetyksen etenemisen ajastin

### 3.4.1 Odotusajastimet yleisesti

Odotusajastien hyödyntämisellä voidaan välttyä virtuaalisten osuuksien tilatietojen turhilta muuttumiselta, mikäli yksikön sijainti-, eheystieto tai raiteen vapaa-  
naolon tilatieto eivät vastaa toisiaan. Järjestelmä odottaa, kunnes odotusajastin  
umpeutuu ennen osuuksien tilatietojen muuttumista. Odotusajastimilla on mah-  
dollista parantaa radan välityskykyä ja välttyä poikkeustilanteiden negatiivisilta  
vaikutuksilta operointiin. (7.)

#### **Mykistysajastin**

Mykistysajastimen avulla annetaan yksikölle aikaa palautua yhteyskatkotilan-  
teesta ennen virtuaalisten osuuksien tilatietojen muuttumista rajoittavampaan  
tilatietoon. Mykistysajastin on jatkuvasti laskettava ajastin, joka nollautuu aina  
yksikön ilmoitettua, että sillä on yhteys radioverkkoon.

RBC saa tiedon yksikön radioyhteyden katkeamisesta vain, jos radioyhteyden  
ongelmat pitkittyvät ja ajastin siten ehtii kulua loppuun. Ajastimen käyttö on  
oleellista liikenteenohjaajalle, jotta hän pystyy ilmoittamaan mahdollisista yksi-  
kön yhteysongelmista eteenpäin kunnossapitoon. Ajastimen umpeuduttua tulee

senhetkinen virtuaalinen suojaväli ja ajoluvan matkalla sijaitsevat muut suojaväli, asettaa tilaan 'tuntematon' seuraavaan raideosuuden rajaan asti. Tällä ilmoitetaan yksikön sijainnin varmuuden muutoksesta. (7.)

Jos ajastin asetetaan liian pitkäksi, on mahdollista, että yksikkö voi liikkua muille VSS-osuuksille RBC:n tietämättä asiasta (aikaisemmin annetun EoA:n takana). Mahdollinen skenaario on, että kulkutie näiden raiteiden kautta perutaan ja otetaan käyttöön jollekin muulle yksikölle. (8.)

### **Eheystiedon odotusajastin**

Eheystiedon odotusajastimen tarkoituksena on ilmoittaa RBC:lle yksikön eheystiedon puuttuminen ajastimen umpeuduttua eheystiedon katketessa. ETCS-veturilaitte ilmoittaa eheystietonsa aina sijainnin raportoinnin yhteydessä. Mikäli ETCS-veturilaitteen ilmoittamat eheys- ja sijaintitieto eivät täsmää, raportoi yksikkö silloin RBC:lle, ettei eheyttä ei voida varmistaa. Ajastimen umpeuduttua, tulee virtuaalinen suojaväli, jolla yksikkö sijaitsee, asettaa tilaan 'tuntematon' merkitsemään yksikön eheyden muutosta. Ajastimen toiminta ei aiheuta turvallisuusriskiä junaliikenteelle, sillä yksikön perässä sijaitsevat virtuaaliset suojaväli vapautuvat vasta, kun yksikön eheystieto on päivittynyt. Eheystiedon odotusajastimen määrittelyssä tulee ottaa huomioon yksikön eheystiedon välittämisen viiveet. (7.)

### **RBC-yhteydettömän yksikön ajastin**

Virtuaalisen osuuden tilatieto tulee asettaa tilaan 'epäselvä' ensimmäisenä kulkevan yksikön takana sijaitseville VSS-osuuksille, mikäli RBC-yhteydellisen yksikön perässä voi sijaita yksikkö ilman RBC-yhteyttä. RBC-yhteydettömän yksikön ajastimen tarkoituksena on palauttaa virtuaalinen suojaväli (VSS) tilasta 'epäselvä' tilaan 'varattu'. Ajastin määritetään molempiin kulkusuuntiin jokaiselle fyysiselle raideosuudelle sekä jokaiselle yksikölle erikseen. Ajastin käynnistyy, jos radioyhteyden omaavalta yksiköltä vastaanotetaan sijaintitieto, joka ilmoittaa, että yksikön takaosan enimmäissijainti on ohittanut raideosuuden rajan, mutta edellinen virtuaalinen osuus on jäänyt edelleen varatuksi. Jos ajastimen



aikana edellinen raideosuus vapautuu ja yksikkö ilmoittaa sijainti- ja eheystietonsa uudelta raideosuudelta, ei viimeistä virtuaalista osuutta muutetta tilaan 'epäselvä'. Tällöin voidaan olettaa, että edellä kulkevaa yksikköä ei seuraa RBC-yhteydetön yksikkö. (7.)

### 3.4.2 Etenemisen ajastimet yleisesti

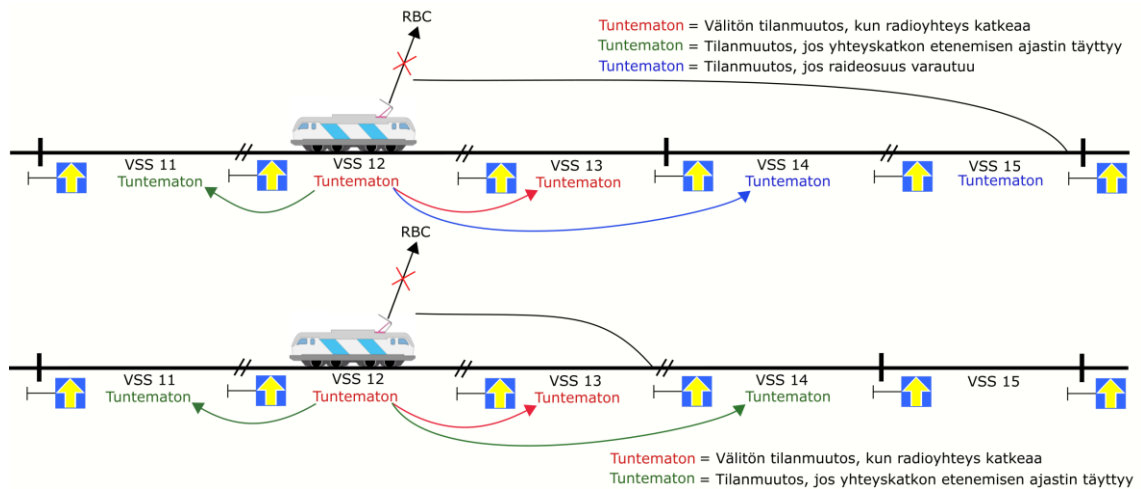
Kun virtuaalinen tilatieto muuttuu tuntemattomaksi, alkaa etenemisen ajastimien laskenta. Tällä ajastintyypillä voidaan välttää virtuaalisen suojavälin tilatiedon 'tuntematon' leviäminen tarpeettomasti seuraaville virtuaalisille suojaväleille. Ajastimilla estetään tilatiedon siirtyminen osuuksille, joilla ei ole välitöntä riskiä yksikön etenemisestä kyseiselle osuudelle. Etenemisen ajastimien käytöllä voidaan estää 'tuntematon' tilatiedon eteneminen välittömästi seuraaville osuuksille. Ajastimilla voidaan pienentää 'tuntematon' tilatiedon negatiivisia vaikutuksia radan välityskykyyn. (7.)

#### **Yhteyskatkon etenemisen ajastin**

Yksikön yhteyskatkosta johtuen virtuaalisen suojavälin tilatiedon tulee muuttua tuntemattomaksi. Koska yksikkö voi liikkua yhteyskatkon jälkeen ilman, että RBC on tietoinen asiasta, tulee 'tuntematon' tilatieto laajentua heti viereisille VSS-osuuksille, kun yhteyskatkon etenemisen ajastin täyttyy. Mikäli virtuaalinen osuus, joka on osittain tai kokonaan osa ajolupaa, varautuu ennen yksikön radioyhteyden katkeamista, tulee virtuaalisten osuuksien muuttua tuntemattomaksi osuuden rajalle asti. Yhteyskatkon etenemisen ajastin käynnistyy, kun mykistysajastin on päättynyt tai yksikkö on katkaissut yhteytensä RBC:hen istunnon päätyttyä (EoM). Määritetyn arvon tulee olla suurempi kuin mykistysajastimen arvo ja siinä tulee ottaa huomioon radioyhteyden palauttamiseen sisältyvät viiveet. (7.)

HTD-radon suunnittelussa on myös huomioitava tilatiedon etenemisen vaikutus radalla sijaitsevien elementtien varautumiseen. Esimerkiksi vaihdealueella tai tasoristeyksen alueella sijaitsevan VSS-osuuden asettuminen tilaan

'tuntematon' voi aiheuttaa epätoivottuja ja yllättäviä tilanteita, kuten tasoristeys-  
sen sulkeutumisen odottamattomasti. (8.)



Kuva 9. Yhteyskatkon etenemisen ajastimen toiminta havainnollistettuna (6).

Jos ajastin asetetaan liian pitkäksi, on mahdollista, että yksikkö voi liikkua muille VSS-osuuksille RBC:n tietämättä asiasta (aikaisemmin annetun EoA:n edessä tai yksikön rullatessa taaksepäin). RBC:lle näkymättömän liikkeen mahdollisuus riippuu M\_NVCONTACT-arvosta, jolla määritellään aika, jonka jälkeen yksikön todetaan kadottaneen radioyhteytensä RBC:hen (tämä ei vielä poista yksikön ajolupaa). Mikäli kuljettaja suorittaa radioyhteyden kadottamisen jälkeen loppu-tarkastuksen (EoM), ehdotetaan kuljettajalle siirtymistä SR-tilaan uuden lähtö-tarkastuksen (SoM) yhteydessä radioyhteyden kadottamisen takia. Mahdollinen riskitilanne on, että yksikkö liikkuu eteen- tai taaksepäin VSS-osuudelle, joka on varattu, jollekin toiselle yksikölle. TTD-osuuksien tilatiedon hyödyntämisellä voidaan rajoittaa haittavaikutuksia operointiin. (8.)

### RBC-yhteydettömän yksikön etenemisen ajastin

Tilanne, jossa RBC havaitsee tuntemattoman yksikön varanneen raideosuuden, tulee jokaisen virtuaalisen osuuden kyseisellä fyysisellä suojavälillä muuttua tuntemattomaksi, kunnes voidaan varmistua, että raideosuus on varmasti vapaa (kuva 9). RBC-yhteydettömän yksikön etenemisen ajastimella varmistetaan,

ettei 'tuntematon' tilatieto leviä välittömästi viereisiin osuuksiin. Ajastimen arvoksi voidaan asettaa arvioitu aika, joka RBC-yhteydettömältä yksiköltä menee yhden fyysisen suojavälin kulkemiseen SR- tai SH-tilassa. Näin varmistutaan, että VSS-osuuksille ei pääse muita yksiköitä, kunnes RBC-yhteydetön yksikkö on poistunut TTD:ltä (kuva 10). (7.)

### **Eheystiedon menettämisen etenemisen ajastin**

Eheystiedon menettämisen etenemisen ajastimella on tarkoitus hallita liikkeellä olevan yksikön katkenneen vaunukokoonpanon mahdollisesti vapaasti rullavien tai taaksepäin liikkuvien vaunujen aiheuttamaa vaaraa. Ajastin voidaan määritellä kestoaltaan pitkäksi ja sijaintiriippuvaiseksi. Jokaiselle virtuaaliselle suojavälille määritellään oma ajastimensa, joka käynnistyy vain, jos virtuaaliseen osuuden tilatieto muuttuu tiloihin 'varattu' tai 'epäselvä'. Ajastimen umpeututtua fyysisen raideosuuden virtuaalisten osuuksien tulee siirtyä tilaan 'tuntematon', siellä missä yksikön eheystieto kadotettiin. Joissain tilanteissa voi olla liikenteellisistä syistä järkevää jättää käyttämättä ajastinta, esimerkiksi asema-alueella, jossa yksiköiden erottaminen toisistaan on säännöllinen käytäntö esim. Helsingin tai Tampereen asemalla. Ehtona ajastimen määrittämiselle on, että sen tulee olla suurempi kuin eheystiedon odotusajastimen arvo. Ajastimen arvon tulee olla suurempi kuin eheyden odotusajastimen arvo, jonka tulee umpeutua ennen eheyden menettämisen etenemisen ajastinta. Ajastimien välillä tulee olla viivettä, jotta yksikkö ehtii palautua eheystiedon katoamisesta ja raportoida tämän RBC:lle ennen kuin ajastimen umpeutuminen aiheuttaisi haittaa radan välityskyvylle. (7.)

### **3.5 Ratalaitteiden määrittämä yksikön eheyden taso**

RBC:n ratalaitteilta vastaanottamat tiedot yksiköstä määrittävät käsitelläänkö yksikkö yhteytensä eheydensä varmistaneena (*integer train*) vai eheydensä varmistamattomana (*non-integer train*). Jos yksikkö kykenee vahvistamaan sijaintiraporttinsa yhteydessä kokoonpanonsa eheyden ja tarkistushetkellä ei ole olemassa riskiä yksikköä perässä seuraavasta RBC-yhteydettömästä ja eheydensä

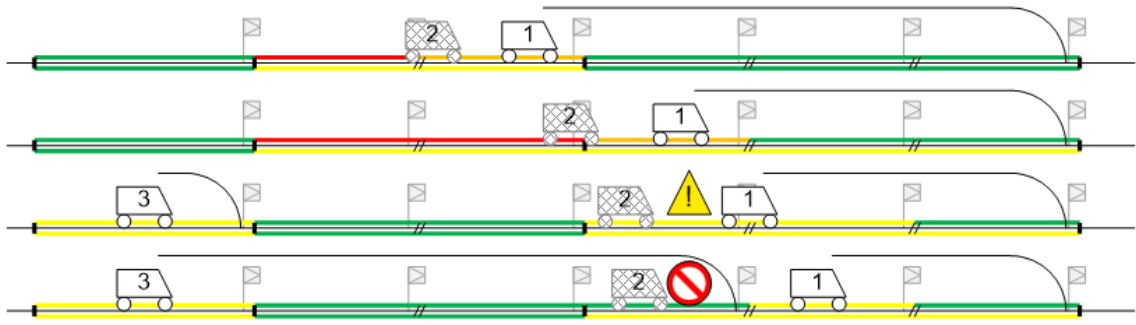
varmistamattomasta yksiköstä, käsitellään yksikkö silloin eheydensä varmistaneena. (7.)

Seuraavien tapahtumien yhteydessä, RBC ei käsittele yksikköä yhteyden muodostaneena ja eheydensä vahvistaneena:

- Yksikkö raportoi eheystiedon puuttuvan
- Sijaintiraportin yhteydessä ei ilmoiteta eheystietoa saapuneeksi eheystiedon ajastimen umpeuduttua
- Yksikkö raportoi pituustietonsa muuttuneen
- Yksikkö sijaitsee VSS:llä, jolla sijaitsee samanaikaisesti myös toinen yksikkö
- VSS, joka sijaitsee yksikön takana, varautuu ja asettuu tilaan 'tuntematon' tilatiedon etenemisen myötä
- Etenemisen ajastin yksikön takana sijaitsevalla VSS-osuudella umpeutuu

### 3.5.1 Yksikkö jota käsitellään eheyden varmistaneena

Kun RBC vastaanottaa yksiköltä sijaintiraportin, jonka mukaan yksikön kokoonpano on varmistettu olevan yhtenäinen, voi RBC vapauttaa virtuaaliset suojaväliä takaisin käyttöön, jolloin osuuksien tilatieto on 'vapaa'. Virtuaalisia suojavälejä voivat hyödyntää TIMS-varustellut yksiköt, joiden eheystieto on varmistettu. Virtuaalinen suojaväli, jolta yksikkö poistuu, asettuu tilaan 'vapaa', mikäli raideosuudella ei ole olemassa riskiä yksikköä perässä seuraavasta RBC-yhteydettyä ja eheydensä varmistamattomasta yksiköstä "*shadow train*" (kuva 10). (7.)



Kuva 10. RBC-yhteydetön ja eheystiedon menettänyt yksikkö havainnollistettuna (yksikkö nro 2). Yksiköt nro 1 & 3 ovat yhteydessä RBC:hen. (7.)

Jos yksikkö raportoi ensin RBC:lle, että sillä on vahvistettu eheystieto ja tämän jälkeen raportoi RBC:lle menettäneensä eheystiedon, käsitellään yksikkö RBC:n näkökulmasta eheydensä varmistaneena, elleivät ratalaitteet ilmoita RBC:lle muutoksista yksikön eheystiedossa. Tämän tarkoituksena on, että radan ope-  
rointiin ei aiheutuisi häiriötä tilanteessa, jossa yksikkö lähettää sijaintiraportin ilman eheystietoa, niin että se vastaanotetaan kahden muun eheystiedon omaavan sijaintiraportin välissä. EUG:n ohjeen mukaisesti tilanne voidaan hoitaa eheyden odotusajastimella, joka voidaan asettaa suhteellisen pitkäksi, esim. 1 minuuttiin, sillä eheystiedon viivästyneellä vastaanottamisella ei ole välitöntä vaikutusta turvallisuudelle. (7.)

Eheyden varmistaneen yksikön siirtyessä pois VSS:ltä esiintyy pieni viive VSS:n vapaaksi varmistamisessa. Tällä on suora vaikutus ratasosuuden välityskykyyn, ja sitä vaikutusta voidaan säädellä määrittämällä sijaintiraporttien ja sen sisältävän eheystiedon lähetystiheydellä. Optimaalisen tehokkuuden saavuttamiseksi RBC:n ratalaitteiden tulee pyytää tiheämpää sijaintiraporttien ilmoittamistiheyttä yksiköltä. Tämä tiheys voidaan määritellä järjestelmäkohtaisesti, sillä tiheyttä ei ole standardisoitu. Eheystiedon ilmoitustiheyden tulisi olla määritetty radan kapasiteetin ja muiden operatiivisten seikkojen kuten tasoristeysten vapauttamisen vaatimien tilanteiden perusteella. (7.) Tämän lisäksi muutospyyntö CR940:n mukaan, eheystiedon raportoinnin tiheyden tulee olla tiiviimpi kuin sijaintiraporttien ilmoitustiheyden, jotta vältetään tilanteet, jossa päivitettyä eheystietoa ei olekaan saatavilla sijaintiraportin yhteydessä (8;9).

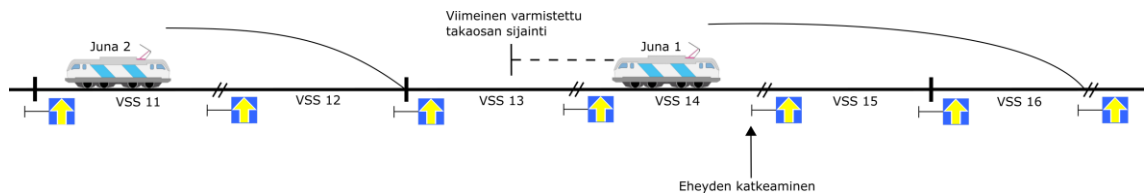
### 3.5.2 Yksikkö jota ei käsitellä eheydensä varmistaneena

RBC ei vapauta raideosuuksia eheystiedon menettäneen yksikön sijaintiraportteihin perustuen. Kun yksikkö poistuu 'epäselväksi' ilmoitetulta VSS:ltä ja yksikön ilmoittama oletettu takaosan sijainti siirtyy edelliseltä VSS:ltä seuraavalle VSS:lle, asettuvat molemmat virtuaaliset suojavälit tilaan 'tuntematon'. Koska yksikön eheyttä ei ole voitu varmistaa, siirtyy virtuaalinen suojaväli turvallisimpaan mahdolliseen tilaan, jonka jälkeen VSS-osuuksille ei voida ottaa uutta yksikköä. VSS-osuudet vapautuvat vasta, kun koko TTD-osuus on vapaa yksiköistä eli kuten tilanteessa, jossa yksikkö liikkuu HTD-varustellulla radalla ilman TIMS-varustelua, jolloin yksikkö voi hyödyntää ainoastaan fyysisiä suojavälejä. (7.)

### 3.5.3 Eheystiedon menettänyt yksikkö

Yksikön raportoitua eheydensä kadonneen, ei sitä enää käsitellä eheydensä vahvistaneena, mutta se voi kulunvalvonnan näkökulmasta jatkaa matkaansa. Mikäli yksikön vaunut ovat todella fyysisesti irronneet toisistaan eikä kyseessä ole TIMS-järjestelmän vika, jokainen yksikön vaunu tulee pysähtyä pysähdyksiin saakka kuten EU-komission asetuksissa n:o 1302/2014 sekä 321/2013 on määrätty (2;3). Lisäksi yksikön jarrujärjestelmän pääsäiliön tulee laskea kokonaan tyhjäksi ja järjestelmän tulee pitää yksikkö paikallaan myös pysähdyksen jälkeen. Kuvassa 11 nähdään kaksi yksikköä HTD-varustellulla radalla. Edellä kulkeva yksikkö nro 1 menettää eheystiedon matkalla ja ilmoittaa RBC:lle vaihtaneensa yksikön käyttämää takaosan sijainnin tyyppiä varmistetusta takaosan sijainnista oletettuun takaosan sijaintiin. Tämä ei vaikuta yksikön 1 kulkuun, mutta perässä seuraavan yksikön nro 2 voimassaolevaa ajolupaa ei voida jatkaa VSS 12:sta eteenpäin, sillä yksikön 1 viimeinen varmistettu takaosan sijainti on edelleen VSS 13:lla, vaikka yksikkö onkin todellisuudessa siirtynyt VSS 14:lle.

Yksikkö nro 2 joutuu odottamaan, kunnes ajolupa voidaan jatkaa TTD-osuuden rajalta pidemmälle (kuvassa 11 paksu pystyviiva). (7.)



Kuva 11. Eheystiedon menettämisen havainnollistava kuva (6).

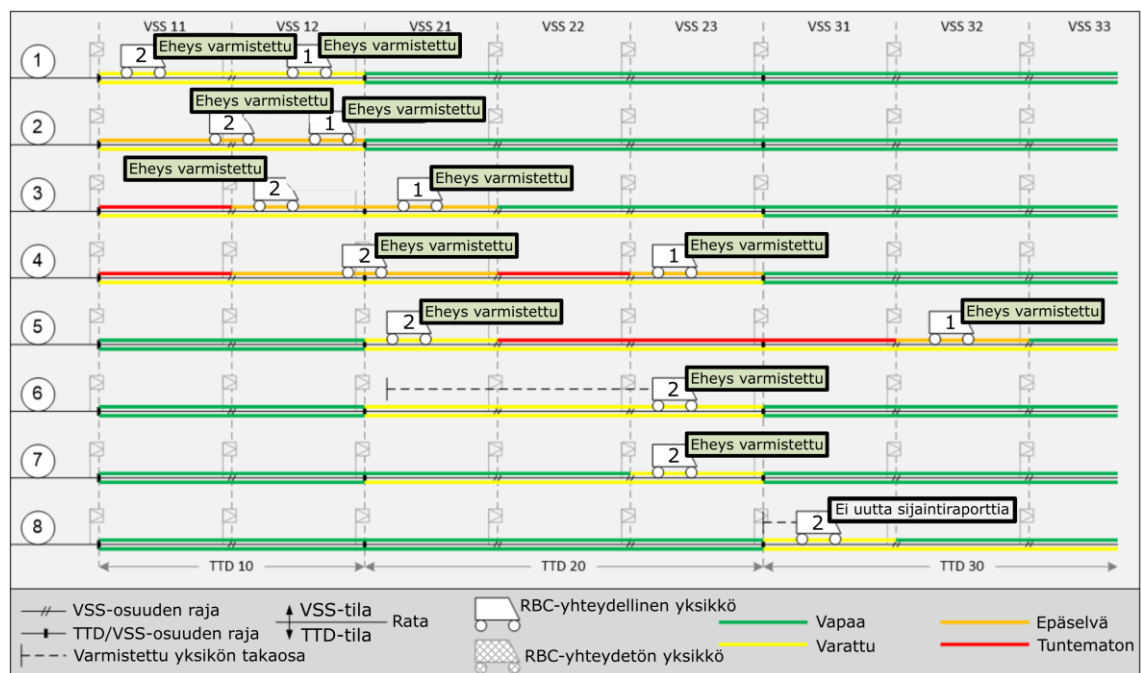
Jos yksiköllä 2 ei ole ajolupaa, joka päättyisi TTD-osuudelle, jossa myös yksikkö 1 sijaitsee, on vaikutus yksikölle 2 sama kuin yksikölle, joka liikkuu ilman varmistettua eheystietoa eli tämän ajolupa päättyisi TTD-rajalle VSS-osuuksien 12 ja 13 välissä. (7.)

Tilanteessa, jossa yksikön 2 ajolupa ylettyy samalle TTD-osuudelle, jossa myös yksikkö 1 sijaitsee, voi yksikön 2 ajolupaan tulla rajoitteita. Hetki, jolloin yksikkö raportoi menettäneensä eheystiedon, muuttuneen yksikön pituustiedon tai eheystiedon puuttumisen, asettuvat virtuaaliset suojavälit, joilla yksikkö sijaitsee tilaan 'epäselvä' ilmaisemaan VSS-osuuden varmistamattomasta tilasta. Tämä tapahtuu kuitenkin vasta eheystiedon odotusajastimen umpeutumisen jälkeen, jolloin tilanne ilmenee vain eheystiedon kadotessa. Yksikön poistuttua varattuna olleilta virtuaalisilta suojaväleiltä muuttuu VSS-tilatieto niissä tilaan 'tuntematon', sillä osuuksia ei ole voitu varmistaa vapaiksi (perustuen oletettuun yksikön takaosan sijaintiin). (7.)

Seuraavat kaksi tilannetta ovat mahdollisia (7):

- a) Yksikkö 2 (kuvassa 12 rivit 7–8) vapauttaa koko TTD-osuuden. Tapauksessa, jossa TTD:n alaiset VSS-osuudet muuttuvat vapaiksi, voidaan täysvalvontainen ajolupa pidentää TTD-osuuden loppuun saakka. Vaikutus tässä on yksikölle sama kuin tilanteessa, jossa seurataan yksikköä, ja ei ole raportoinut varmistettua eheystietoa RBC:lle.

- b) Yksikkö 2 (kuva 12) siirtyy samalle TTD-osuudelle edellä kulkevan yksikön 1 kanssa ennen kuin tämä TTD-osuus ehtii vapautua. Tilanteessa, jossa virtuaaliset suojavälit jäävät jostain syystä edelleen tilaan 'tuntematon', tulee yksikön 2 silloin jatkaa matkaansa OS- tai SR-tilassa kuluvan TTD:n loppuun saakka. Mikäli yksikkö 2 on varmistanut eheytensä, suorittaa yksikkö raideosuuden virtuaalisten suojavälien manuaalisen vapautuksen (sweeping) ja mahdollistaa täysvalvontaisen ajoluvan myöntämisen yksikölle 2. Virtuaalisen suojavälin manuaalinen vapautus on selitetty kappaleessa 3.5.5.



Kuva 12. Esimerkkikuva tilanteesta, jossa VSS-osuudella on samanaikaisesti 2 yksikköä (7). Kuva muokattu lähteestä.

### 3.5.4 Ratalaitteisiin yhteyden menettänyt yksikkö

ETCS-järjestelmän suunnittelua ohjaa Euroopan rautatieviraston lyhennetysti, ERA:n julkaisemat ohjedokumentit eli *Subsetit*. Näistä Subset-026 määrittelee, että yksikön radioyhteys todetaan katkenneeksi RBC:hen, kun on kulunut 5 minuuttia viimeisestä yksiköltä tai ratalaitteilta vastaanotetusta tiedosta. Kyseinen ajastin on alun perin suunniteltu sitä varten, että RBC voi todeta yksikön



menettäneen yhteyden totaalisesti, kun määritetty mykistysajastinta pidempi aika on kulunut. RBC toteaa radioyhteyden menetetyksi, kun ensin umpeutuva mykistysajastin aktivoituu. Suomessa tämän ajastimen kansalliseksi arvoksi on ehdotettu 60 sekuntia, jotta yksiköllä olisi tarpeeksi aikaa palautua hetkellisestä radioyhteyshäiriöstä. Mykistysajastimen umpeuduttua virtuaaliset suojavälit, jotka yksikkö sillä hetkellä on varannut asettuvat tilaan 'tuntematon'. (7;12.)

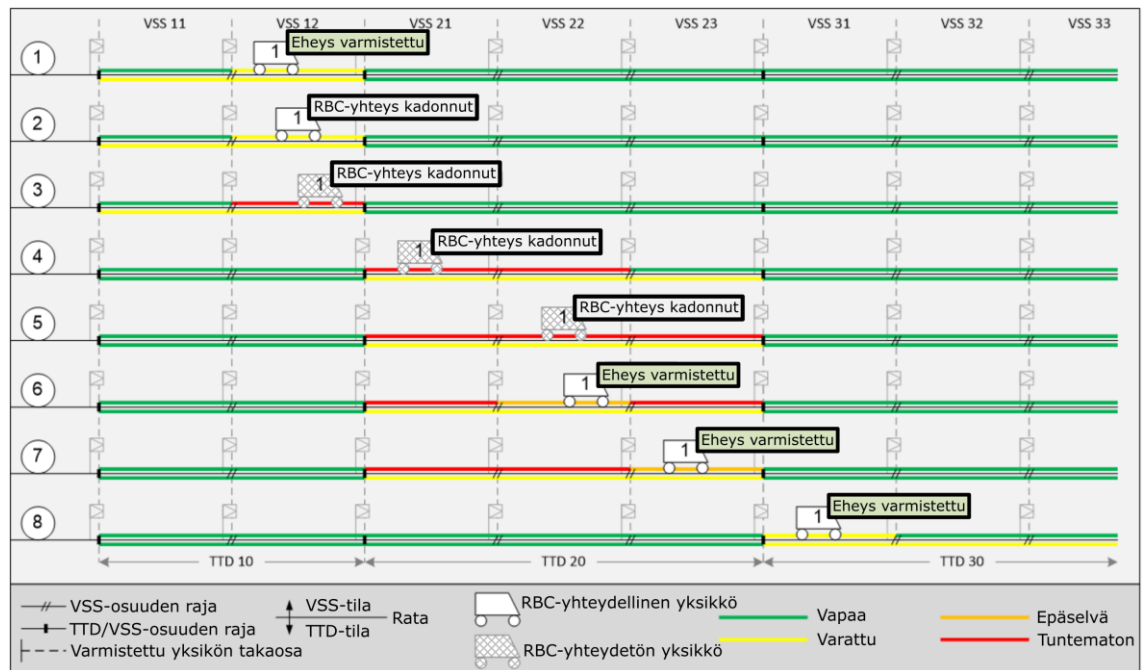
Yksikön menetettyä radioyhteyden RBC:hen mykistysajastimen umpeuduttua, asetetaan kaikki ajoluvan alaiset VSS-osuudet sekä sillä hetkellä varattu TTD-osuus välittömästi tilaan 'tuntematon' ensimmäiseen virtuaaliseen suojaväliin asti, joka on tilassa 'varattu' tai 'epäselvä' (molemmat tilat toisen yksikön takia) (kuva 13). Koska yksikön on mahdollista liikkua mykistysajastimen umpeutumisen jälkeen TTD-osuuden alainen virtuaalinen suojaväli, joka varautuu ajoluvan alueella, siirtyy myös välittömästi tilaan 'tuntematon', koska on mahdollista, että yksikkö varaa kaikki mahdolliset ajoluvan alaiset VSS-osuudet. (7.)

Yksikön muodostettua radioyhteyden uudelleen sen edelleen liikkua samaan suuntaan niin, että mykistysajastin on ehtinyt tässä välissä umpeutua, voidaan VSS-osuudet tilassa 'tuntematon' palauttaa tilaan 'varattu' (kuva 13), mikäli seuraavat ehdot toteutuvat (7):

- a) VSS-osuudet, joilla yksikkö sijaitsee asettuvat tilaan 'varattu', jos yksikkö raportoi varmistaneensa eheystietonsa, OBU:n tiedoissa ei ole muutosta yksikön pituudessa edelliseen sijaintiraporttiin nähden ja ei ole riskiä, että VSS-osuuksilla voisi sijaita toista yksikköä. Jos nämä ehdot eivät täyty, VSS-osuudet jäävät 'tuntematon' tilaan.
- b) VSS-osuudet yksikön edellä, jotka alkuperäinen yksikölle myönnetty ajolupa (MA) kattaa asettuvat tilaan 'vapaa', jos alun perin myönnetty MA on edelleen voimassa tai se kyetään vielä myöntämään uudelleen. Jos nämä ehdot eivät täyty VSS-osuudet jäävät 'tuntematon' tilaan.
- c) VSS-osuudet yksikön takana vapautuvat, jos yksikkö raportoi eheystietonsa varmistuneeksi, OBU:n tiedoissa ei ole muutosta yksikön

pituuksessa edelliseen sijaintiraporttiin nähden ja ei ole riskiä, että näillä VSS-osuuksilla voisi sijaita toista yksikköä. Jos nämä ehdot eivät täyty VSS-osuudet jäävät 'tuntematon' tilaan.

VSS-osuudet vapautuvat aina myös siinä tapauksessa, kun TTD-osuudella ei tunnusteta sijaitsevan mitään yksikköä (7).



Kuva 13. Yksikön radioyhteyden menetys ja palautuminen havainnollistettuna (7). Kuva muokattu lähteestä.

### 3.5.5 Virtuaalisen suojavälin manuaalinen vapautus

Virtuaalisen suojavälin tilatieto 'tuntematon' on mahdollista häiriötilanteissa nolata manuaalisesti ilman TTD-osuuden vapautumisen odottamista. *Sweeping*-toiminto tapahtuu seuraavan protokollan mukaisesti:

- Eheyden varmistanut yksikkö vastaanottaa ajoluvan OS- tai SR-tilassa liikkuaan VSS:n läpi, joka on tilassa 'tuntematon'. OS- ja SR-tilassa suurin sallittu nopeus Suomen kansallisten arvojen mukaan on 35

km/h:ssa, jolla varmistetaan, että yksikkö ehtii pysähtyä kuljettajan näkemän varassa. (6;7.)

- b) Eheyden varmistanut yksikkö siirtyy VSS-osuudelle ja se asettuu tilaan 'varattu', mikäli ei ole riskiä, että osuudella voisi sijaita eheydensä varmistamatonta ja RBC-yhteydensä kadottanutta yksikköä. (7.)
- c) Kun eheydensä varmistanut yksikkö poistuu VSS:ltä, varmistuu virtuaalisen suojavälin vapaanaolo ja VSS muuttuu tilaan 'vapaa'. (7.)

*Sweeping*-toiminto ei ole mahdollinen tilatiedon 'epäselvä' vapauttamisessa.

Tämä perustuu siihen, että VSS-osuuden ensimmäiseksi varannut yksikkö asettaisi VSS-osuuden poistuessaan siltä tilaan 'vapaa', vaikka VSS-osuudella olisi-kin vielä toinen yksikkö, joka olisi suorittamassa manuaalista VSS:n vapautusta. Tilatieto 'epäselvä' on olemassa erityisesti juuri sitä varten, että RBC ei voi varmistua, että VSS-osuudella olisi toinen yksikkö ensimmäisenä kulkevan takana samanaikaisesti. (7.)

*Sweeping*-toimintoa voidaan hyödyntää harkitusti VSS:n manuaalisen vapautuksen lisäksi TTD-osuuksien vapauttamisessa häiriötilanteista, joissa TTD-osuus ei vapaudukaan yksikön viimeisen akselin poistuttua siltä. Tämän toiminnon käyttöönottoa tulee harkita, sillä TTD-osuudet ovat turvallisuustekijä HTD-konseptissa mm. RBC-yhteydettömien yksiköiden tunnistamiseen. (7.)

### 3.5.6 Saapuminen ja poistuminen HTD-varustellulle radalle/-lta

Yksikön saapuessa HTD-varustellulle radalle ja sen ensimmäiselle virtuaaliselle suojavälille, tulee VSS:n asettua tilaan 'epäselvä', koska RBC ei voi heti varmistua, seuraako VSS:lle ensimmäisenä saapunutta yksikköä jokin toinen yksikkö ensimmäisen perässä. Jotta yksikön sujuva saapuminen HTD-varustellulle radalle voidaan varmistaa, tulee käyttöön ottaa liikenteen sujuvuuden varmistavia toimenpiteitä. Kun yksikkö on saapunut koko pituudeltaan ensimmäiselle virtuaaliselle osuudelle ja se on ohitanut HTD-varustellun alueen rajalla olevan TTD-osuuden rajakohdan, tulee VSS-tilatiedon asettua välittömästi tilaan 'varattu'.

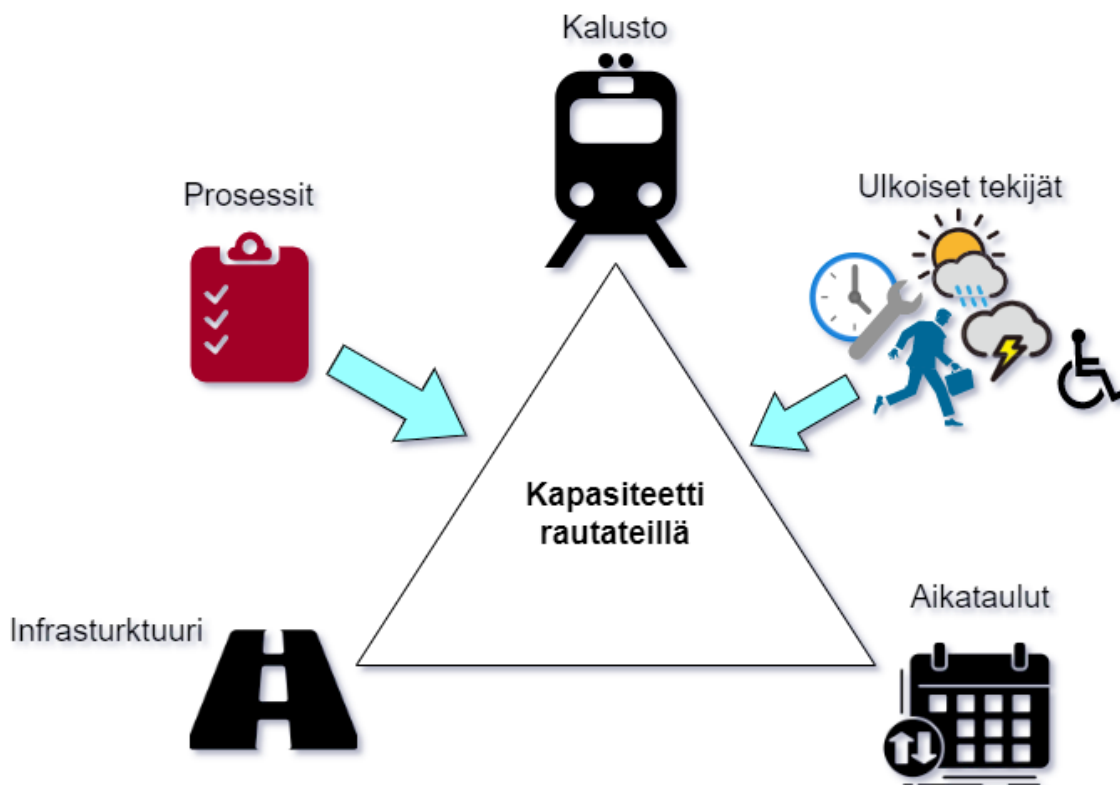
Tällä tavoin vältetään VSS-tilatiedon jääminen tarpeettomasti tilaan 'epäselvä' ja siten saadaan yksi HTD-varustellun radan välityskykyyn vaikuttava tekninen seikka poistettua kokonaisuudesta. HTD-varustellulta radalta poistuttaessa yksikköä koskevien HTD-ajastimien vaikutus yksikköön lakkaa välittömästi, yksikön varmistetun takaosan sijainnin ylittäessä viimeisen VSS-rajakohdan ja sitä varmistavan TTD-osuuden rajan. (7.)

## 4 Suojavälimitoituksen optimointi

### 4.1 Suojavälimitoituksen perusteet

Suojavälimitoituksen lähtökohtana pidetään tasaista, mahdollisimman optimaalista suojavälien varautumista. Suojavälien optimoitu sijoittaminen ennaltaehkäisee liikenteen häiriöitä ja ruuhkautumistilanteita. Varautumisaika on suojavälin yksi peruseräaatteista ja sitä voidaan kuvata helposti positiivisella ja negatiivisella deltalla, jotka kuvaavat suojavälien suhteellisia etäisyyksiä. Aihe avataan kappaleessa 4.2 tarkemmin. Optimaalisella ajolupamerkkien sijoittelulla, jossa suojavälien varautumisaikoja arvioidaan tilannekohtaisesti, pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvä ratakapasiteetti mahdollisimman vähällä vapaa-*naolonvalvonnan järjestelmillä (TTD)* HTD-varustellulla radalla. (6.)

Kuvassa 14 on esitetty ratakapasiteettiin vaikuttavat tekijät. Mikäli kolmion jossakin tekijässä on muutoksia tai häiriöitä, vaikuttaa se heikentävästi radan kapasiteettiin. Jotta HTD-konseptista voidaan saada mahdollisimman paljon hyötyjä irti, tulee kuvassa esitetyt tekijät pitää kunnossa ja haittatekijät pyrkiä minimoimaan. (17.)



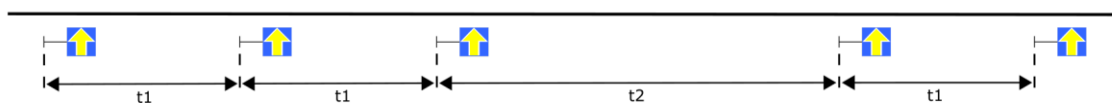
Kuva 14. Kapasteettiin vaikuttavat tekijät rautateillä (17).

#### 4.2 Suojavälien tasainen varautuminen

Tasaisten varautumisaikojen saavuttaminen on suojälimitoituksen tärkein päämäärä. Tämän saavuttamiseksi tulee huomioida poikkeamat suojälimitoituksen homogeenisuudessa eli tarkemmin ETCS-järjestelmästä puhuttaessa, ajolupamerkkien tasaisessa sijoittelussa. Suojälien sijoittelua voidaan kuvata positiivisella ja negatiivisella deltalla. (6.)

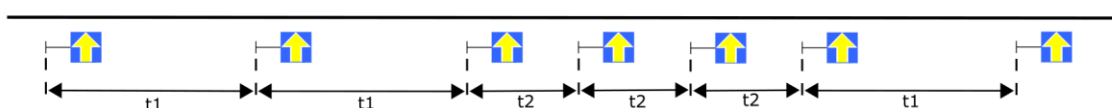
Negatiivisella deltalla tarkoitetaan tilannetta, jossa kahden peräkkäisen fyysisen suojälin keskinäinen etäisyys pitenee. Negatiivinen delta on kahdesta tilanteesta haitallisempi kapasiteetin näkökulmasta, sillä ennen suojälien tasaantumista, raiteen kapasiteetissa nähdään hetkellinen lasku ja syntyy ei-toivottu liikenteen pullonkaula (kuva 15). Yksiköt vapauttavat taakse jääviä suojälejä suhteessa hitaammin. Ensimmäisenä radalla kulkevaa yksikköä seuraava yksikkö joutuu fyysisten suojälien pidentyessä hidastamaan, sillä yksikön

ajolupaa ei voida vielä jatkaa, ennen kuin seuraava pidempi fyysinen suojaväli vapautuu. (6.)



Kuva 15. Negatiivinen delta, jonka kaava on  $t_1 - t_2$  (6).

Positiivisella deltalla tarkoitetaan tilannetta, jossa kahden peräkkäisen fyysisen suojavälin keskinäinen etäisyys lyhenee. Tiivistyneet suojavälit mahdollistavat kapasiteetin lisäämisen ja siten yksiköitä voidaan tuoda lähemmäksi toisiaan. Yksiköt vapauttavat taakse jääviä suojavälejä suhteessa nopeammin, kun yksiköiden oletetaan liikkuvan samaa nopeutta. Tilanne ei aiheuta epäjatkuuskohtaa suojavälien pidentyessä (kuva 16), sillä ensimmäisenä kulkevaa yksikköä takana seuraava yksikkö ei ehdi saavuttaa tätä, mikäli molemmat kiihdyttävät samaan tahtiin. Jos takana seuraava yksikkö kiihdyttää nopeammin kuin edellä kulkeva, voi silloin takana seuraava yksikkö joutua hidastamaan ajoluvan jarrutuskäyrän rajoittaessa yksikön nopeutta. Positiivisen deltan tilanne ei kuitenkaan ole optimaalinen, mutta suotuisampi kuin tilanne negatiivisen deltan kanssa.



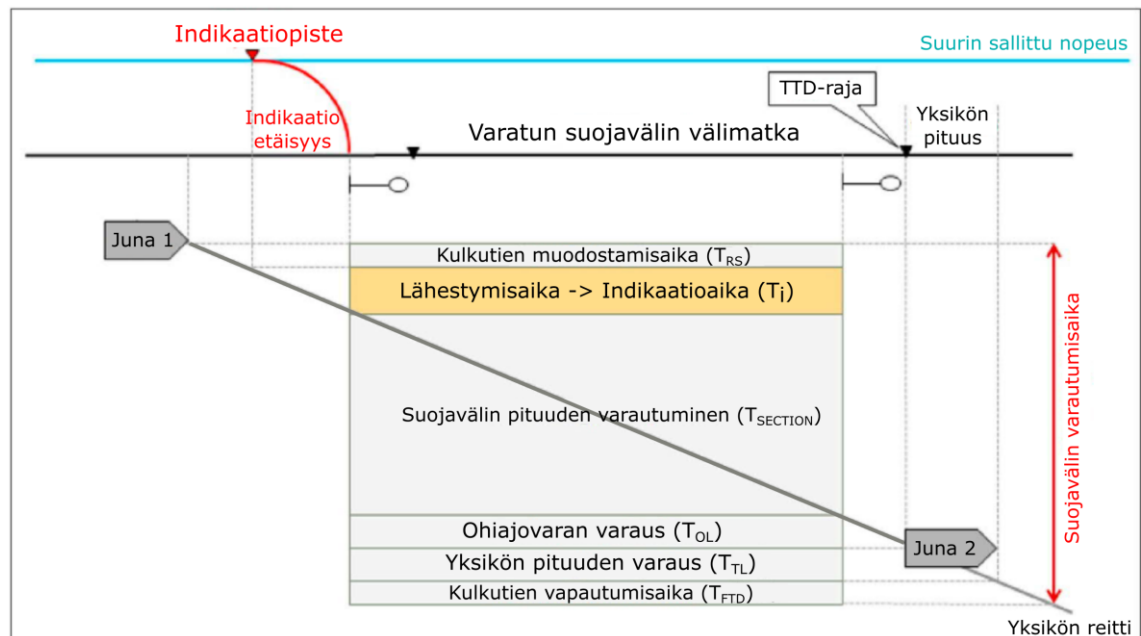
Kuva 16. Positiivinen delta, jonka kaava on  $t_1 - t_2$  (6).

Oikeassa rautatiemaailmassa negatiivisten ja positiivisten deltojen tilanteita ei voida täysin välttää ratateknisten seikkojen, kuten erotusjakso- ja imumuuntaja-sijoittelun sekä liikennepaikoilla pysähtyvien yksiköiden takia. Positiivisesta deltasta voidaan jopa saavuttaa hyötyjä tilanteessa, jossa asemaa lähestyvät peräkkäiset yksiköt suorittavat pysähdysten. Suojavälien tiheämpi sijoittelu ennen

ja jälkeen pysähdyspaikan myöhentää yksikön jarrutuskäyrän valvonnan alkamista, jos oletetaan, että molemmat yksiköt sekä kiihdyttävät ja/tai hidastavat tasaisesti. Jälkimmäisen yksikön ajolupa pitenee sitä mukaa, kun suojavälejä vapautuu edellä kulkevan yksikön vapauttaessa niitä, olettaen että edellä kulkeva yksikkö kiihdyttää nopeammin kuin jälkimmäinen yksikkö. (6.)

Suojavälin varautumisaikaan liittyy useita teknisten rajapintojen viiveitä, jotka tulee ottaa huomioon. Tekijät on esitetty alla kuvassa 17. (6.) Viiveisiin kuuluvat:

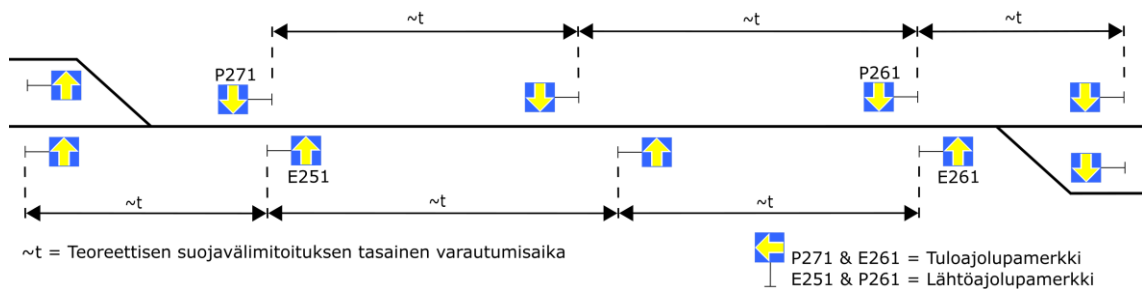
- Kulkutien lukitsemiskomennosta varmistettuun kulkutiehen kuluvan ajan muodostama viive
- Viive ajoluvan lähettämisessä yksikölle radioteitse
- Viive rajapinnassa asetinlaitteen ja RBC:n välillä
- Kulkutien vapautumisen viive
- EVC:n ja kuljettajapaneelin tiedonsiirrosta johtuva viive



Kuva 17. Suojavälin varautumiseen vaikuttavat tekijät ETCS-tasolla 2 (18). Kuva käännetty lähteestä.

Edellä mainituista viiveistä johtuen teoreettista maksimikapasiteettia ei ole mahdollista saavuttaa, sillä mitoitus tulee lisätä viivelisä yllä listattujen viiveiden

päälle. Teoreettinen maksimikapasiteetti perustuu ideaan, että yksiköt liikkuvat radalla mahdollisimman tasaisesti ja ennakoivasti sekä niin, että mikään ulkoinen tekijä ei vaikuta radan kapasiteettiin (kuva 14). Kuvassa 18 on esitetty malli siitä, kuinka suojavälit teoriassa varautuvat tasaisesti. Tasainen varautumisaika on oleellista myös HTD-konseptin virtuaalisilla suojaväleillä, joita voi sijoittaa kuvan fyysisiä suojavälejä tiheämmin. Tämä on otettava huomioon erityisesti, jos HTD-varusteltujen alueiden välillä on epäjatkuvuuskohtia esim. liikennepaikoilla. (6;8.)



Kuva 18. Teoreettisen suojavälimitoituksen tasainen varautumisaika (6).

### 4.3 Pistemäisen ja jatkuvatoimisen kulunvalvonnan erot suojavälimitoituksessa

Nykyinen käytössä oleva junien kulunvalvontajärjestelmä eli JKV perustuu fyysisiin suojaväleihin ja pistemäiseen tiedonsiirtoon baliisien välityksellä. Pistemäisellä tiedonsiirrolla tarkoitetaan sitä, että yksikkö saa tiedon radan opasteista ja nopeusrajoituksista ylitettyään radalla sijaitsevan baliisiryhmän. Baliisiryhmä sijoitetaan pää-, suojastus tai esiopastimien yhteyteen, josta vastaanotetaan tieto seuraavista kulkua rajoittavista opasteista ja nopeusrajoituksista. Baliisiryhmien tiedonsiirto tapahtuu kaapeleita pitkin asetinlaitteelle, joita pitkin tieto kulkuteistä välittyy. Väliaikainen nopeusrajoitus voidaan antaa myös erilliseltä baliisiryhmältä, joka ei välttämättä sijaitse aina opastimen yhteydessä. Suurin tiedonsiirtoetäisyys JKV-järjestelmässä on 3600 metriä, jota käytetään yksikön nopeuden ollessa  $v \geq 160 \text{ km/h}$ . Toistopiste on baliisiryhmä, jonka toimintona on toistaa sama opastetieto, joka on sillä hetkellä seuraavassa pää-, suojastus tai esiopastimessa. Toistopisteitä sijoitetaan usein mm. matkustajalaiturin kohdalle,



josta pysähtynyt yksikkö pääsee nopeammin liikkeelle vastaanottaessaan ajonsallivan opasteen tiedon toistopisteeltä. Toistopisteillä pyritään tasoittamaan pistemäisen kulunvalvonnan rajoitteita parantamalla opastintiedon vastaanottamisen tiheyttä. JKV-veturilaite olettaa aina yksikön pysähtyneenä, että seuraava opastin näyttää seis-opastetta. Mikäli yksikkö on lähestymässä seis-opastetta ja seuraava opastin vaihtuu ajonsallivaan opasteeseen matkan aikana, joutuu yksikkö jarruttamaan edelleen, sillä JKV-veturilaite ei saa tietoa uudesta ajonsallivasta opasteesta ennen seuraavan baliisiryhmän kohtaamista. Vauhtia voidaan nostaa jälleen sallivaa opastintietoa välittävän baliisiryhmän ylittämisen jälkeen. (19.)

Vertaillen nykyistä pistemäistä kulunvalvontajärjestelmää JKV:ta uuteen jatkuvatoimiseen ETCS-kulunvalvontaan, on näiden järjestelmien välillä muutamia merkittäviä eroja. Yksi eroavaisuus järjestelmien välillä on, että suojavälien vähimmäispituuden mitoitus perustuu liikennöivän kaluston jarrutuskykyyn. Jatkuvatomisessa ETCS-järjestelmässä yksikön ja RBC:n välillä on jatkuva yhteys, joka tarkoittaa sitä, että yksikön ajolupa päivittyy jatkuvasti perustuen asetinlaitteen kulkutie-ehdoin eli siihen, miten vaihteet on asetettu ja minne asti kulkutie on muodostettu. Näin ollen yllättäviä tilanteita ei pääse syntymään, kun yksikön jarrutus alkaa yksikkökohtaisesti tarvittavalta etäisyydeltä riippumatta ajolupamerkkien fyysisistä sijainneista radalla. Suojavälimitoituksessa tavoitteena on aina kulunvalvontajärjestelmästä riippumatta, mahdollisimman tasaiset suojavälien varautumisajat. Erona ETCS:ssä kuitenkin on, että yksikön jarrutuskykyä käytetään vain suojavälien optimointiin, ei suojavälin vähimmäisetäisyyteen toisistaan. Esimerkiksi raiteella, jolla liikennöidään säännöllisesti alhaisemmalla nopeudella, voidaan ajolupamerkkejä sijoittaa lähemmäs toisiaan ja lisätä siten kapasiteettia tason 2 ratkaisussa. Raiteella, jolla taas liikennöidään suuremmilla nopeuksilla, suunnitellaan ajolupamerkit kauemmaksi toisistaan. (6.)

Toinen merkittävä ero on opastimen/ajolupamerkin näkemävaatimuksen muutos radan pituussuunnassa. Uuden kulunvalvonnan myötä kuljettajan tarvitsee nähdä ajolupamerkki vasta 70 tai 30 metrin etäisyydeltä merkin koosta riippuen. Tämä sama arvo vaihtelee nykyisessä opastinjärjestelmässä riippuen raiteelle

määritetystä nopeusrajoituksesta. Kun nopeus on  $v \leq 35 \text{ km/h}$  näkemävaatimus kuljettajalle on 100 metriä ja jos radan nopeusrajoitus on  $v = 80 \text{ km/h}$ , on näkemä pyrittävä saamaan vähintään suositeltuun 400 metriin. Jatkuvatoinisen ETCS-järjestelmän ansiosta, kuljettaja näkee reaaliaikaisesti ajoluvan tiedot ja mm. etäisyyden ajoluvan päättävään ajolupamerkkiin suoraan kuljettajaneelistasta, eikä kuljettajan tarvitse perustaa ajamistaan näkyviin opasteisiin tai radan merkkeihin. Näkemävaatimukset ovat silti olemassa, sillä SR-toimintatilassa kuljettaja on vastuussa ajolupamerkin havaitsemisesta ilman etäisyystietoa seuraavaan ajolupamerkkiin. Yksikön kulkiessa toimintatilassa määritettyä suurinta sallittua nopeutta 35 km/h, tulee kuljettajan kyetä pysäyttää yksikkö turvallisesti ajolupamerkin eteen. (6;20.)

#### 4.4 Suojavälimitoitus HTD-varustellulla radalla

Tasolla 2 mitoitus perustuu pelkästään perinteisiin fyysisiin suojaväleihin, jotka alkavat ja päättyvät aina ajolupamerkkeihin. Yhdellä suojavälillä voi sijaita kerrallaan vain yksi yksikkö kerrallaan ja suojaväli vapautuu vasta, kun yksikön on raportoitu poistuneen kokonaisuudessaan TTD-osuudelta. Fyysisen suojavälin vapaanaolon varmistaa joko akselinlaskijoin tai raidevirtapiirein toteutettu järjestelmä, joka valvoo suojavälin varautumista. (6.)

Suojavälien mitoitus HTD-varustellulla radalla vaatii erityishuomioita suunnittelussa. Fyysinen suojaväli voidaan lyhentää lyhyempiin osiin virtuaalisten suojavälien avulla. Yksikkö varaa VSS-osuuden keskimäärin lyhyemmän aikaa kuin TTD-osuuden oletettaessa yksikölle tasainen nopeus. Varautumisajat lyhenevät ja radan välityskyky kasvaa. (6;21.)

Kun suunnitellaan virtuaalista suojavälimitoitusta suunnittelun lähtötietoina, tulisi olla tiedossa seuraavat asiat (6):

- liikennetyyppi (homo- vai heterogeeninen),
- liikennöivän kaluston TMS-ehydenvalvontajärjestelmän prosentuaalinen osuus kaikesta rataosalla liikennöivästä kalustosta (nykyinen sekä arvio tulevaisuuden tilanteesta),

- liikenteen tiheys eli radan käyttöaste (nykyinen sekä arvio tulevaisuuden tilanteesta),
- liikennepaikkojen pääraiteiden varautumisajat, jos niitä ei jaeta virtuaalisiin suojaväleihin.

Radan liikennetyypillä on suora vaikutus HTD-varustelun hyödyntämismahdollisuuksiin. Jos radalla liikennöi sekaisin yksiköitä, jotka liikkuvat eri kokoonpanoilla ja nopeuksilla on liikenne heterogeenistä. Homogeenisessa liikenteessä taas yksiköt ovat samantyyppisiä keskenään eli mm. yksiköiden kyky kiihdyttää ja jarruttaa ovat samankaltaisia. Toisena lähtötietona on liikennöivän kaluston TIMS-varustelun prosentuaalinen osuus kaikesta rataosalla liikennöivästä kalustosta. Tämä vaikuttaa HTD-varustelusta saatavaan kapasiteettihyötyyn. Tällä hetkellä mm. tavarajunille ei ole vielä kaupalliseen käyttöön sopivaa konseptia TIMS-järjestelmästä. Jos esimerkiksi kahden TIMS-varustetun yksikön välissä liikkuu yksi tavarajuna ilman TIMS:iä, estää se tavarajunaa seuraavan yksikön hyödyntämästä virtuaalisia suojavälejä. Kolmas vaikuttava tekijä on liikenteen tiheys, joka antaa indikaation siitä, onko HTD-varustelusta tarkastellulla rataosalla saavutettavissa kapasiteettihyötyjä. Jos liikenne ei ole kovin tiheää ei HTD:stä välttämättä saada tarpeeksi hyötyjä, että sen käyttöönotto olisi kannattavaa. (6.)

Virtuaalisten suojavälien suunnittelussa vaaditaan tiettyjen ratateknisten seikkojen huomioon ottamista. Virtuaalisten suojavälien sijoittamista rajoittavia tekijöitä ovat (6):

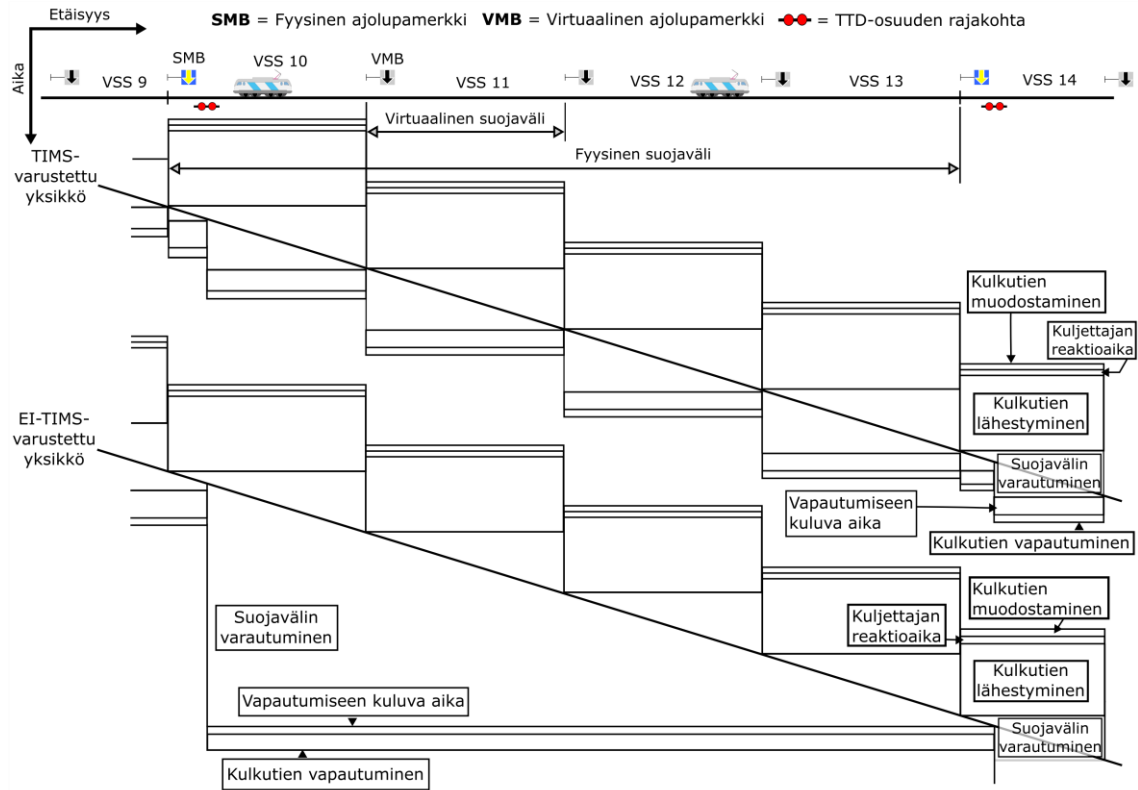
- sähköradan rakenteet (imu-, säästömuuntajat ja erotusjaksot),
- raiteen pituuskaltevuus,
- ETCS-tasonvaihtoalueet,
- vaihtotyöalueiden rajat.

Edellä mainittujen rajoitteiden lisäksi virtuaalisella suojavälillä ei saa sijaita (6):

- TSA-alueen (väliaikainen vaihtotyöalue) raja,
- liikkuvia radan elementtejä kuten nostettavia siltoja,

- ETCS-tasonvaihdon ensimmäistä tai viimeistä fyysistä suojaväliä tason 2 alueella,
- viimeistä fyysistä suojaväliä, joka johtaa PSA-alueelle (pysyvä vaihtotyöalue),
- NRBC-baliisiryhmää eli uuden RBC:n vaihdon aktivoiva baliisiryhmä,
- asetinlaiteriippuvaisia tai kauko-ohjattuja tasoristeysten varoituslaitoksia (itsenäinen linjalla sijaitseva varoituslaitos ei aseta rajoituksia).

Alla esitetyssä kuvassa 19 nähdään, mikä ero on TIMS-varustetun ja varustamattoman yksikön suojavälien varautumisperiaatteessa. Kuvaa luetaan siten, että vinon poikkiviivan yläpuolella on tilanne yksikön perässä ja vinon poikkiviivan alapuolella on tilanne yksikön edellä. EI-TIMS-varustetun yksikön tapauksessa sen edellä olevat virtuaaliset suojavälit ovat hyödynnettävissä, mutta TIMS-laitteiston puuttuessa yksikön jälkeen suojaväli vapautuu vasta, kun koko fyysinen suojaväli on kuljettu TTD-rajan yli. Kuvasta voidaan erottaa, että eheydenvalvonnalla varustettu yksikkö varaa merkittäväsi pienempiä suojavälin osia kuin TIMS-varustamaton yksikkö. TIMS-varustellun yksikön suojavälien varautuminen on siis tasaisempaa kuin TIMS-varustamattoman yksikön kulku HTD-varustellulla radalla. (22.)



Kuva 19. Suojavälien varautumisperiaatteiden vertailu TIMS-varustellun ja TIMS-varustamattoman yksikön välillä (22). Kuva muokattu lähteestä.

Lähtökohtaisesti virtuaalisten osuuksien rajakohtiin ei sijoiteta fyysistä ajolupa-merkkiä merkitsemään VSS-rajakohdan sijaintia maastossa. Virtuaalisen osuuden rajakohdan merkitseminen maastoon rajoittaa virtuaalisen suojavälin (VSS) joustavaa käyttöä, sillä VSS-osuuden hyöty on niiden joustavassa sijoittelussa, joka edellyttää, että niitä ei tarvitse merkitä maastoon. Muutokset virtuaalisiin suojaväleihin liikennemallin tarpeiden mukaan ovat yksinkertaisempia toteuttaa, kun VSS-rajakohdat ovat vain RBC:llä tiedossa. Mikäli virtuaalinen osuus kuitenkin päättyy TTD-rajakohtaan, sijoitetaan silloin kohdalle fyysinen ajolupa-merkki. VMB tulee aina merkitä rakentamissuunnitelmien dokumentteihin havainnollistamaan virtuaalisten osuuksien rajoja. (8.)

Suunniteltaessa HTD-rataa on valittava, halutaanko suojavälimitoituksessa tavoitella kustannussäästöjä vähentämällä TTD-osuuksien määrää ja korvaamalla osan TTD-osuuksista virtuaalisilla suojaväleillä, joiden vapautuminen perustuu eheystiedon sisältäviin yksikön sijaintiraportteihin. Vai halutaanko säilyttää

nykyinen määrä tai jopa paikoin lisätä TTD-osuuksien määrää. Perinteisten TTD-osuuksien määrää ylläpitämällä tai niitä lisäämällä, saavutetaan radan pienempi häiriöherkkyys yksikön sijainnin varmistuksen ollessa kahdennettu monissa paikoissa. Samalla infran ylläpitokustannukset kuitenkin kasvavat. (4.) Toisena suunnittelun lähtökohtana on arvioida vaikutus radan kapasiteettiin häiriötilanteissa, jolloin radan välityskyky laskee jonkin radalla sijaitsevan yksikön menettäessä RBC-yhteytensä ja/tai eheystietonsa. On myös arvioitava, kuinka suuri prosentuaalinen osuus yksiköistä voi hyödyntää HTD-toiminnallisuutta eli yksiköt, jotka ovat varustettu TMS-järjestelmällä. Jos radalla esimerkiksi vain puolet junista voivat hyödyntää virtuaalisia suojavälejä, on TTD-osuuksia järkevämpää olla tiheämmin, jotta radan kapasiteetti pysyisi vähintään samana kuin ETCS-tason 2 ratkaisussa, jossa rataa ei ole varusteltu HTD-toiminnallisuudella. (8;23.)



Kuva 20. HTD:n vapauttama kapasiteetti (21). Kuva muokattu lähteestä.

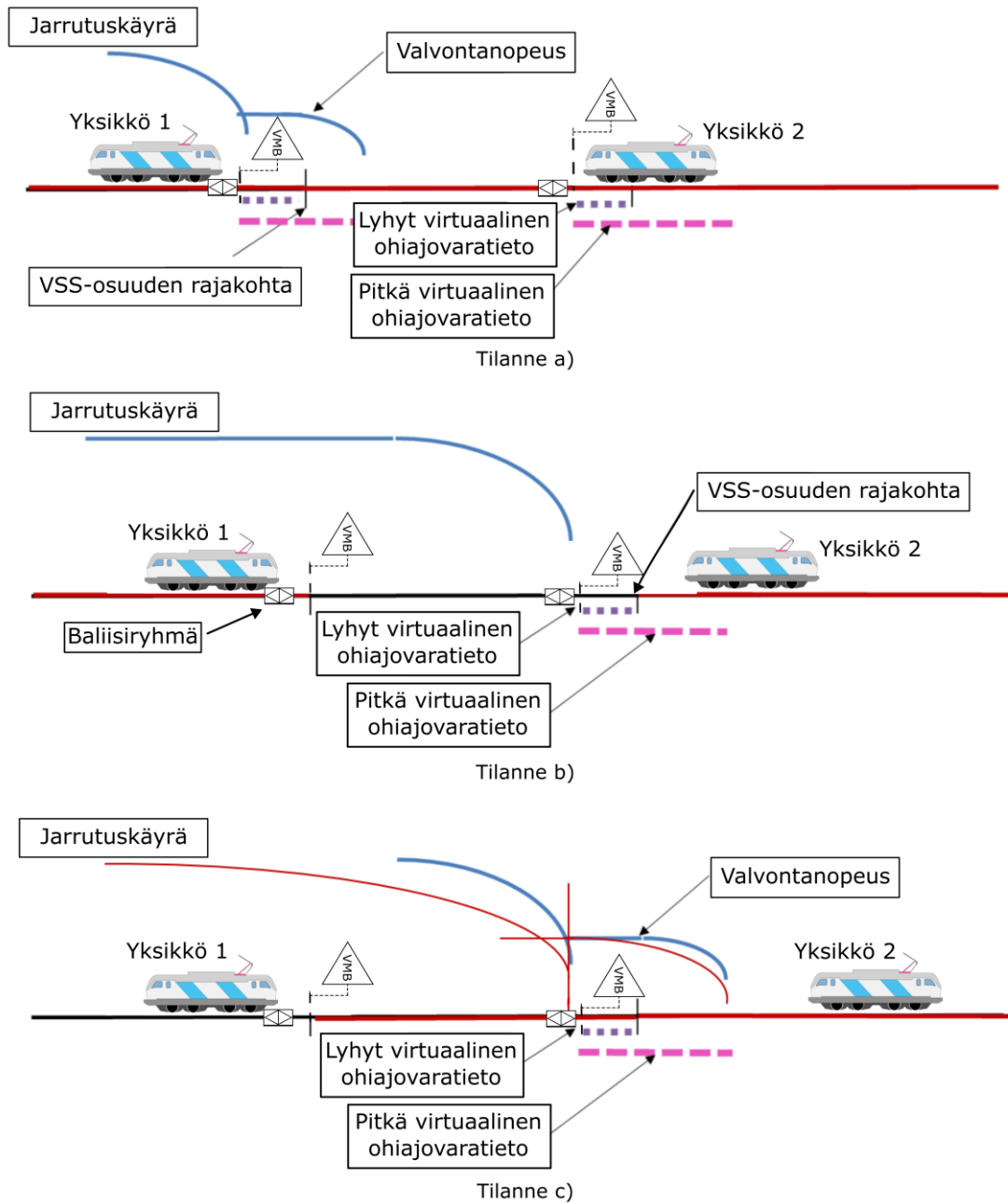
Virtuaalisen suojavälin takana sijaitsevaa vapaata tilaa voidaan hyödyntää virtuaalisina ohiajovaroina ajoluvan päättävän VSS-rajakohtan jälkeen. Kuvassa 21 on esitetty HTD-konseptiin kuuluvat virtuaaliset ohiajovarat. Näitä on kahta eri tyyppiä, joista ensimmäinen toimii lyhyenä virtuaalisena ohiajovaratietona, jonka vapaanaolon on tarkoitus mahdollistaa yksikön ajoluvan ulottaminen virtuaaliseen rajakohtaan saakka (kuvassa 21, tilanne b). Pitkällä ohiajovaratiedolla taas mahdollistetaan yksikölle VSS-rajakohtan suurempi lähestymisnopeus eli valvontanopeus (kuva 21, tilanteet a ja c). (8.)

Tilanne, jossa yksikkö 2 varaa lyhyen virtuaalisen ohiajovaran (kuvassa 21 tilanne a), ei yksikön 1 ajolupaa voida pidentää seuraavalle virtuaaliselle suojavälille, sillä tarvittavaa virtuaalista ohiajovaratietoa ei ole vapaana. Mikäli taas lyhyt virtuaalinen ohiajovara on vapautunut, mutta pitkä virtuaalinen ohiajovara

on vielä varattuna yksikön 2 toimesta, voidaan ajolupa pidentää vain seuraavan VSS-osuuden rajalle ilman valvontanopeutta (kuvassa 21 tilanne b). Tässä tilanteessa yksikön nopeus valvotaan pysähdyksiin saakka, sillä VSS-rajakohtaa ei ole silloin mahdollista ohittaa. (8.)

Mikäli sekä lyhyt että pitkä virtuaalinen ohiajovaratieto ovat vapautuneet yksikön 2 niiltä poistuessa, voidaan yksikön 1 ajolupa pidentää seuraavan VSS-rajakohtaan, niin että yksikön sallitaan lähestyä VSS-rajakohtaa laskennallisella valvontanopeudella (kuvassa 21 tilanne c). Laskennallinen valvontanopeus perustuu yksikön jarrutuskykyyn, ja se on laskettu pitkän virtuaalisen ohiajovaran pituuden mukaan. (8;24.)

Virtuaalisella ohiajovaralla voidaan saavuttaa myös hyötyjä liikenteenhallinnassa. Jos yksikön 2 eheystieto menetetään, jää virtuaalinen ohiajovara varatuksi. Tämä hidastaa automaattisesti yksikön 1 lähestymistä ajoluvan päätekohtaan jo ennalta, ehkäisten liikenteen jonoutumista. Valvontanopeuden käytön tarve virtuaaliselle ohiajovaralle tulee määritellä projektikohtaisesti. (8.)



Tilanne a) yksikkö 2 varaa edelleen lyhyen virtuaalisen ohiajovaran  
Tilanne b) yksikkö 2 varaa edelleen pitkän virtuaalisen ohiajovaran  
Tilanne c) yksikkö 2 on vapauttanut lyhyen ja pitkän virtuaalisen ohiajovaran

Kuva 21. Pitkän ja lyhyen virtuaalisen ohiajovaratiedon käyttötilanteet (8;24).  
Kuva muokattu lähteestä.



#### 4.5 Teknisesti lyhimmän mahdollisen suojavälin määrittäminen

Suojavälin optimaalisimman pituuden määrittämisen apuna voidaan käyttää las-  
kentakaavoja, joiden avulla voidaan määrittää teknisesti lyhin yksiköiden väli-  
matka sekunteina, kun kuljetaan tasaista nopeutta. Seuraavaksi esitettävät kaa-  
vat 1 ja 2 on esitetty tutkimuksessa HL3/HTD-konseptin, ETCS-tason 2 ja Ruot-  
sin kansallisen kulunvalvonnan ATC:n vertailussa vaikutuksista radan kapasi-  
teettiin. Teknisesti lyhin mahdollinen yksiköiden suojaväli ETCS-tasolla 2 sekun-  
teina voidaan laskea seuraavalla kaavalla (23):

$$\text{Lyhin mahdollinen suojaväli } L2 = \frac{S_{RET\ ETCS} + S_D + S_O + S_T}{v_0/3,6} + T_{S\ ETCS\ L2} \quad (1)$$

- Yksikön jarrutusmatka (m): S<sub>RET ETCS</sub>
- Suojavälin pituus (m): S<sub>D</sub>
- Ohiajovara (m): S<sub>O</sub>
- Yksikön pituus (m): S<sub>T</sub>
- Yksikön nopeus lähtötilanteessa (m/s): V<sub>0</sub>
- Järjestelmän reaktioaika (s): t<sub>S ETCS</sub>

Kaavan 1 avulla saatiin selville ETCS-tasolla 2 teknisesti lyhin mahdollinen suo-  
javäli annetuilla parametreilla. HTD-konseptissa teknisesti lyhin mahdollinen yk-  
siköiden suojaväli sekunteina voidaan ratkaista alla esitetyllä kaavalla 2 (23):

$$\text{Lyhin mahdollinen suojaväli } HTD = \frac{S_D/x + S_{RET\ ETCS} + S_O + S_T}{v_0/3,6} + T_{S\ ETCS\ HTD} \quad (2)$$

- Yksikön jarrutusmatka (m): S<sub>RET ETCS</sub>
- Suojavälin pituus (m): S<sub>D</sub>
- Ohiajovara (m): S<sub>O</sub>
- Yksikön pituus (m): S<sub>T</sub>
- Yksikön nopeus lähtötilanteessa (m/s): V<sub>0</sub>
- Järjestelmän reaktioaika (s): t<sub>S ETCS</sub>

Kaavassa 2 yhtälön muuttujassa  $S_D/x$ , esiintyvällä x-merkillä osoitetaan virtuaa-  
listen suojavälien määrää fyysisellä suojavälillä. Taulukossa 3 on esitetty

teknisesti lyhimmän mahdollisen yksiköiden suojavälin esimerkkilaskelma. Esimerkkinä tässä toimii yksikkö, jonka pituus on 100 metriä, liikkuu nopeudella 80 km/h, suojavälin pituus 400 metriä, virtuaalinen ohiajovara 100 metriä, järjestelmän reaktioaika 16 sekuntia ja yksikön jarrutusmatka 660 metriä. Antamalla nämä tarvittavat parametrit kaavaan 2, saadaan vastaukseksi teknisesti lyhin mahdollinen suojaväli yksiköiden välillä sekunteina. Tämä on teoreettinen aika, joka yksiköillä on oltava eroa vaikuttamatta toistensa kulkuun.

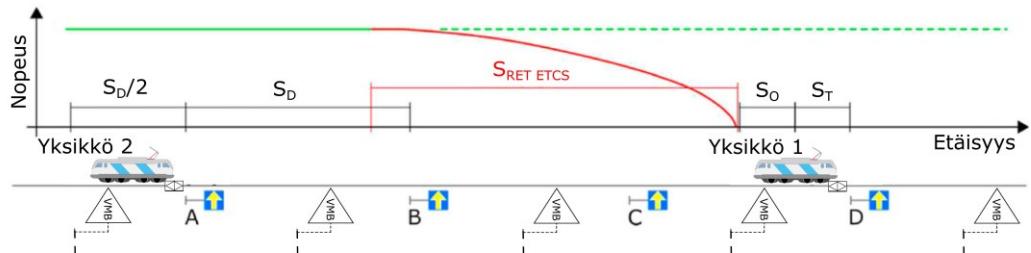
Kaavoissa 1 ja 2 käytetty yksikön jarrutusmatka ( $S_{RET\ ETCS}$ ) koostuu jarrutuskohdan indikaation antamisesta ja jarrujärjestelmän paineiden latautumisesta sekä jarrutusetäisyyden turvallisesta valvonnasta (ETCS-jarrutuskäyrien valvonta). Järjestelmän reaktioaikaan kuuluu HTD-laskelmassa lisäksi 4 sekunnin lisästä tiedonsiirrossa ETCS L2-laskelman alkuperäisen 6 sekunnin tiedonsiirtolisän päälle (6 s + 6 s + 4 s). Tämä 4 sekuntia muodostuu tiedonsiirrosta RBC:n ja yksikön välillä ja paikannustarkkuuden virheen vaikutuksesta VSS-osuuden vapauttamisessa. (23.)

Taulukko 3. Esimerkki teknisesti lyhimmästä mahdollisesta yksiköiden suojavälistä ETCS HTD-konseptissa.

Parametri	Arvo	Yksikkö
Yksikön nopeus alkutilanteessa ( $v_0$ )	22,2222222 (= 80 km/h)	m/s
Yksikön pituus ( $S_T$ )	100	m
Ohiajovara (HTD:ssa virtuaalinen) ( $S_O$ )	100	m
Suojaväli ( $S_D$ )	400	m
Yksikön jarrutusmatka ( $S_{RET\ ETCS}$ )	660	m
Järjestelmän reaktioaika ( $t_{s\ ETCS}$ )	16	s
<b>Tulos</b>		
Teknisesti lyhin mahdollinen yksiköiden suojaväli	64	sekuntia

Kuvassa 22 on havainnollistettu yksiköiden teknisesti lyhimmän mahdollisen suojavälin muodostumisen kaavaa 2 HTD-konseptin radalla virtuaalisia

suojavälejä hyödynnettäessä. Yksiköiden välistä eroa sekunteina voidaan käyttää apuna arvioitaessa sopivaa suojavälitäisyyttä tietyllä nopeustasolla HTD-konseptissa. Tästä on erityisesti hyötyä tiheästi liikennöidyillä rataosilla, kuten Kehäradalla. Kaavalla 2 laskettu yksiköiden vähimmäisetäisyys HTD-varustellulla radalla antaa arvion siitä, minkä pituinen VSS-osuus voisi olla toimiva valituilla parametreilla. (23.)



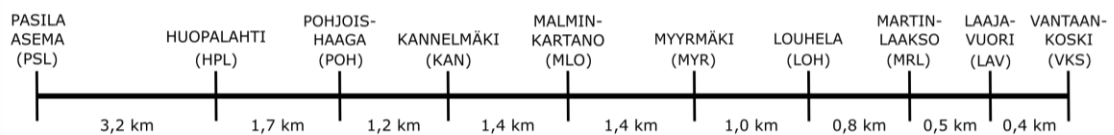
Kuva 22. Teknisesti lyhin mahdollinen yksiköiden suojaväli HTD-konseptissa (23). Kuva muokattu lähteestä.

Tutkimuksen päätelmissä todettiin, että HL3/HTD-konseptilla voidaan saavuttaa sopivissa olosuhteissa 5 sekunnin hyöty teknisesti lyhimmissä mahdollisissa suojavälissä yksiköiden välillä verrattessa sitä ETCS-tasoon 2 ja ATC2-kulunvalvontaan. Teoreettisesti lyhimmäksi suojaväliksi HL3/HTD-vaihtoehdossa saatiin 64 sekuntia, joka on 5 sekuntia sekä tasoa 2 että ATC2:ta parempi tulos. Nämä vertailukohteet saivat tulokseksi 69 sekuntia, joka tarkoittaa HTD-varustelulle 7 prosenttiyksikön parannusta aikojen prosentuaalisessa vertailussa. Tulokset osoittavat, että HL3/HTD-konseptin mukaisella radan varustelulla, voidaan saavuttaa tutkimuksen kohteen mukaisella tiheästi liikennöidyillä rataosilla vain pieniä säästöjä rataosan välityskyvyssä. Tämän suhteellisen pienen aikahyödyn myötä on HTD-varustelun osalta huomioitava, sen hyödyt suhteessa ETCS-tasoon 2 tulevilla HTD-varustelluilla rataosilla Suomessa simulointien avulla. (23.)

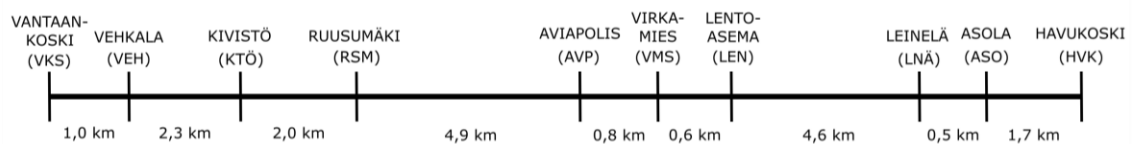
## 4.6 Tarkasteltavat rataosat

### 4.6.1 Kehärata (ml. Pasila-Vantaankoski ja Havukoski-Pasila)

Kehärata on 18 kilometriä pitkä kaksiraiteinen rataosuus, joka käsittää rataosuuden välillä Vantaankoski-Havukoski. Radalla on ainoastaan henkilöliikennettä, jota liikennöidään Pääkaupunkiseudun Junakalusto Oy:n Sm5-yksiköillä. Rataosan suurin sallittu nopeus ( $S_n$ ) on suurilta osin 120 km/h ja sen varrella sijaitsee kaksi rautatietunneliä, Kivistön tunneli (432 m) sekä Lentoaseman tunneli (8260 m). Radan suurinta nopeutta on rajoitettu muutamissa kohteissa 100 kilometriin tunnissa tiukkojen kaarteiden takia. Rataosa on kokonaisuudessaan varustettu JKV-kulunvalvontajärjestelmällä. Nykyisten opastimien suojavaalit ovat pääosin pituudeltaan 1100–1700 metriä. Radalle ominaista ovat jyrkät pystykaltevuudet tasoltaan 40 promillea Leinelän ja Kivistön välillä, mikä rajoittaa rataosalla sallittavia kalustotyyppejä. (4;26.) Radan avaamisesta lähtien säännöllisessä liikenteessä on käytetty ainoastaan Sm5-yksiköitä, mutta radalla on kuitenkin sallittu myös 2-kerroksinen kalusto, sekä Sm3-yksiköt. (25).



Kuva 23. Rataosakaavio liikennepaikkoineen väliltä Pasila-Vantaankoski.



Kuva 24. Rataosakaavio liikennepaikkoineen väliltä Vantaankoski-Havukoski.

Kehäradan nykyinen liikennemalli perustuu pelkästään Sm5-yksiköillä liikennöitävään homogeeniseen lähijunaliikenteeseen. Mikäli rataosalla liikennöidään

jatkossa vain TIMS-järjestelmällä varustetulla kalustolla ja rata on HTD-varusteltu, on rataosan fyysisiä suojavalejä mahdollista harventaa. HTD-varustelu toteutettaisiin siten, että radalla säilytettäisiin sellainen määrä TTD-osuuksia, jolla voitaisiin edelleen liikennöidä kalustolla, jota ei ole varustettu TIMS-järjestelmällä tai, jos järjestelmä on vikatilassa eikä sitä voida käyttää. (4;8.)

Kehärata liittyy läntisestä päästään Helsinki-Leppävaara-rataan ja itäisestä päästään Helsinki-Riihimäki-rataan. Näillä molemmilla on käytössä 1x25 kV sähköratajärjestelmä ja siihen liitetty imumuuntajajärjestelmä. Kehärata sijaitsee paikoin tiiviisti asutetulla alueella, joka tuo mukanaan rajoitteita valittavalle muuntajajärjestelmälle ja siten osaltaan myös virtuaalisten suojavaalien suunnittelulle. Kuten luvussa 5.3 mainitaan säästömuuntajia ei ole usein järkevää asentaa alueelle, joilla tavataan suurempia kosketusjännitteitä ja indusoituneita jännitteitä, jotka vaikuttavat radan varren muuhun kaapelointiin. Kehäradalla käytössä on imumuuntajaratkaisu ja muuntajia sijaitsee RATO5-ohjeen mukaisesti n. 2,6 kilometrin välein (27). Radalla on paikkoja, joissa ilmenee rajoitteita virtuaalisten ajolupamerkkien sijoittelussa imumuuntajien läheisyydessä. (28;29.)

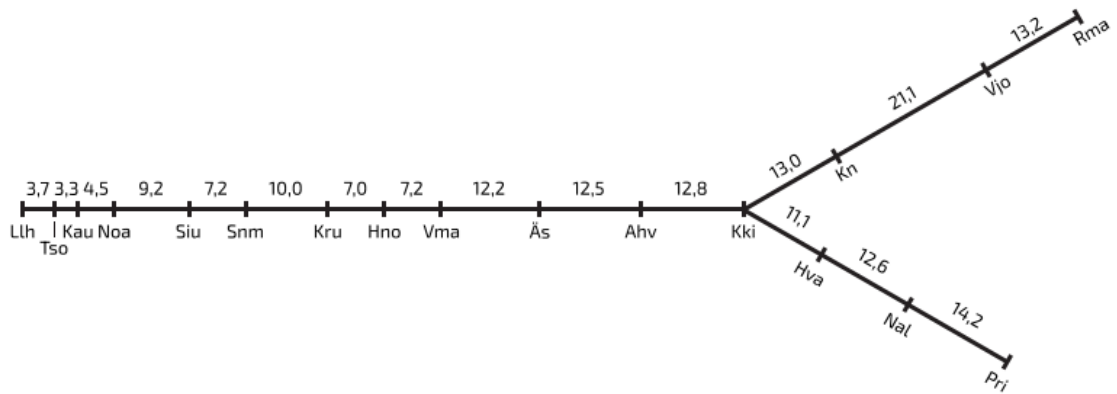
Imumuuntajien sijoittaminen Kehäradalla vaikuttaa merkittävästi siihen, minne virtuaalisia ajolupamerkkejä voidaan sijoittaa. Kehäradalta nousee esiin joitakin esimerkkitalanteita, joissa tasaisesta virtuaalisten ajolupamerkkien sijoittelusta voidaan joutua poikkeamaan. Ensimmäisenä esimerkkinä toimii Lentoaseman tunneli ja Ruskeasannan asemavaraus. Ratakilometrillä 28+516 sijaitseva imumuuntaja sijoittuu raiteella siten, että se estää virtuaalisen ajolupamerkin sijoittamisen asemavarukselle louhitun laiturin kohdalle. Mikäli laiturialue haluttaisiin jakaa useampaan VSS-osuuteen, ei tämä onnistu imumuuntajan rajoitteiden takia. Ratkaisuna tähän on sijoittaa virtuaalisen osuuden rajakohdat RATO22-ohjeen mukaisesti yli 5 metrin etäisyydelle ennen imumuuntajaa. Näin voidaan saavuttaa optimaalisemmat suojavaalit Lentoaseman ja Ruskeasannan välillä. Toinen esimerkki löytyy Petaksen asemavaruksen ja Kivistön aseman väliltä, jossa tasaisten VSS-osuuksien mahdollistamiseksi, on neljän virtuaalisen suojavaalin sijaan käytettävä kolmea virtuaalista suojavaaliä läheisyydessä

sijaitsevan imumuuntajan rajoittavuuden takia. Perusteluna kolmelle virtuaaliselle suojavälille on se, että neljää tai useampaa virtuaalista suojaväliä ei ole mahdollista sijoittaa niin, etteivät ne osuisi imumuuntajakentän vaikutusalueelle. (6;28.)

Erotusjaksoja radalla sijaitsee Huopalahdessa, Myyrmäessä, Leinelässä, Oulunkylässä ja Pasilassa. Näiden kohdalla on otettava virtuaalisten ajolupamerkkien sijoittamisessa huomioon, vaadittava 320 metrin vähimmäisetäisyys erotusjakson takana, ennen ajolupamerkin sijoittamista (kuva 28). Myyrmäen ja Pasilan erotusjaksojen alueella muodostuu haasteita ajolupamerkkien sijoittelussa lähelle matkustajalaitureita. (28;30.)

#### 4.6.2 Lielähti-Rauma/Pori

On rataosuus, joka haarautuu Lielahden liikennepaikalla Tampere-Seinäjoki radasta. Rataosalla on kaksi haaraa, Raumalle ja Poriin, jotka haarautuvat toisistaan Kokemäen liikennepaikalla. Lielähti-Rauma on 138 kilometriä pitkä ja Lielähti-Pori on 129 kilometriä pitkä. Koko rataosa kohtausraiteineen on varustettu JKV-kulunvalvonnalla. Rataosuus on ensimmäinen Suomessa ETCS-kulunvalvonnalla varustettava kaupallisen liikenteen rataosa. Rataosa on pääosin yksiraiteinen ja sen varrella sijaitsevat kohtauspaikat Nokiolla, Siurossa, Suoniemessä, Karkussa, Heinoossa, Vammalassa, Äetsässä, Ahvenuksessa, Kokemäellä, Harjavallassa (Porin haara), Nakkilassa (Porin haara), Kiukaisissa (Rauman haara) ja Vujoella (Rauman haara). (31.) Kohtauspaikaksi sanotaan liikennepaikkaa, jossa yksiköille voidaan järjestää junien kohtaus.



Kuva 25. Liikennepaikkakaavio rataosuuksilta Lielahden-Rauma/Pori (31).

Kyseinen rataosa valittiin tarkasteltavaksi rataosan heterogeenisen liikenteen ja yksiraiteisuuden vuoksi. Rataosa tuo eri näkökulman HTD:n toteuttamiseen verrattuna pääkaupunkiseudun homogeenisen liikenteeseen kaupunkiradoilla. Radalla liikennöi nykyisellään sekä henkilö- että tavarajunaliikennettä. Radalla kulkee päivittäin n. 10–15 tavarajunaa, 10–20 henkilöliikenteen junaa (InterCity) ja muita junia 1–5 kpl päivässä. (4.)

Rataosan liikennepaikkojen väliset etäisyydet vaihtelevat rataosan varrella. Lyhyimmät liikennepaikkavälit ovat Lielahden ja Nokian välillä, jolla esiintyy myös eniten henkilö- ja tavaraliikennettä. Tampereen ja Nokian välillä kulkee nykyisellään lähijunaliikennettä noin tunnin vuorovälillä aamusta iltaan ja liikennettä suunnitellaan lisäävän lähitulevaisuudessa, jolloin kapasiteetin tarve nousee. Rataosan pisimmät liikennepaikkavälit sijaitsevat Kokemäki-Rauma ja Kokemäki-Pori-osuuksilla, joissa fyysiset suojavälit ovat pisimmillään 21,1 km ja 14,2 km vastaavasti. Näillä pisimmillä väleillä virtuaalisten suojavälien mahdollisuudet lisätä radan välityskykyä ovat merkittävät, kun liikennepaikkaväleille saadaan lisättyä kapasiteettia edullisesti. (4.)

EKA-radon tapauksessa virtuaalisia suojavälejä voidaan sijoittaa radalle harvemmin, sillä rataosan liikenteen tiheys ei nykyisellään vastaa Kehäradan liikennemääriä. Rataosalla liikennöivät kaukojunaliikenteen yksiköt ovat usein pidempiä kuin lähiliikenteen yksiköt, joten lyhyitä VSS-osuuksia ( $l \leq 400 \text{ m}$ ) varautuisi

kerralla mahdollisesti useampi. Esimerkkinä fyysinen suojavaali liikennepaikkojen Suoniemi ja Karkku välillä jaetaan neljään virtuaaliseen suojavaaliin ja näin VSS-osuuden pituudeksi saadaan n. 1862 metriä. Osuus on huomattavasti pidempi verrattuna Kehäradalla keskimäärin saavutettavaan VSS-osuuden pituuteen. Fyysinen suojavaali Kehäradalla voidaan siellä säännöllisesti liikennöivien yksiköiden pituuden puolesta jakaa lyhimmillään esimerkiksi vain 325 metriä pitkiin virtuaalisiin suojavaaleihin. 325 metrin pituisen VSS-osuuden varautumisaika on merkittävästi lyhyempi kuin n. 1862 metriä pitkän VSS-osuuden, kun oletetaan yksikön kulkevan rataosan suurinta sallittua nopeutta. (4;8.)

Imumuuntajien ja erotusjaksojen paikat EKA-radalla vaikuttavat monelta osin siihen, kuinka moneen VSS-osuuteen TTD-osuus voidaan jakaa. Radalta nousee esiin joitakin esimerkkitalanteita, joissa tietyt virtuaalisten suojavaalien määrät ja pituudet eivät onnistu sähköradan rajoitteiden takia. Esimerkkinä erään imumuuntajan sijoittaminen Suoniemen ja Karkun liikennepaikkojen välillä. Tässä sijainnissa imumuuntajan vaikutusalue estää VSS-osuuksien tasaisen sijoittamisen, kun käytössä on 7 virtuaalista suojavaalia. Seitsemän VSS-osuuden valitseminen tällä fyysisellä suojavaalilla aiheuttaa sen, että radan toisessa kulku-suunnassa VSS-rajakohta osuukin imumuuntajan rajoitusalueelle, johon sähkövetoisella yksiköllä ei voida pysähtyä. Kuitenkaan toiseen suuntaan VSS-osuuksien rajakohdat eivät osu imumuuntajan rajoitusalueelle. VSS-osuuden määräksi on siis valittava jokin sellainen määrä osuuksia, jolloin kummassakaan suunnassa VSS-rajakohta ei osu imumuuntajan vaikutusalueelle. (8;32.)

## 5 Päätelmät

### 5.1 Virtuaalisten suojavaalien toteuttamisen mahdollisuudet

Virtuaalisten suojavaalien määrää ja pituutta ei rajoiteta EUG:n ohjeistuksessa. Rajoitukset virtuaalisten suojavaalien suunnitteluun tulevat sähköradan rakenteista, raiteen pituuskaltevuuksista, ETCS-tasonvaihtoalueista, tasoristeyksistä ja vaihtotyöalueiden rajoista, jotka rajoittavat VSS-osuuksien sijoittelua. Virtuaalisen suojavaalin vähimmäispituuteen vaikuttaa olennaisesti myös pisin



mahdollinen rataosalla säännöllisesti liikennöivän kalustoyksikön pituus. VSS-osuuksien pituuksia on suositeltavaa tarkastella aina rataosakohtaisesti niiden erotessa toisistaan. (8.)

Fyysinen suojavaali on perusteltua jakaa virtuaalisiin suojaväleihin, joiden pituus vastaa rataosalla säännöllisesti liikennöivän yksikön pituutta. Teoriassa VSS-osuuden pituus voisi nykyisellään olla lyhimmillään noin 20 metriä pitkä, lyhimpien Suomessa liikennöivien vetureiden ollessa pituudeltaan vajaat 20 metriä. Kuitenkin esimerkiksi pääkaupunkiseudun liikenteessä käytettävät Sm5-yksiköt ovat 75 metriä pitkiä ja vaativat siten lyhimmillään tämän pituisen VSS-osuuden käyttöönsä. Kahden Sm5-yksikön pituinen kokoonpano taas varaa jo 150 metriä pitkän VSS-osuuden, jolloin VSS:n tulee olla vähintään 150 metrin pituinen. Kehäradan tapauksessa VSS-osuuden pituus olisi mahdollista määrittää kolmen Sm5-yksikön pituiseksi, sillä se on tällä hetkellä suurin määrä yksiköitä, joita voidaan ajaa yhteen kytkettyinä matkustajaliikenteessä. (33.) Kuitenkin tällainen kolmen Sm5-yksikön kokoonpano (225 m) on tällä hetkellä harvinainen säännöllisessä matkustajaliikenteessä, jolloin VSS-osuuden ei ole perusteltua olla niin pitkä. VSS-osuus vaatii yksikön pituuden lisäksi tilan virtuaalisille ohiajovaroille, joiden pituus lisää VSS-osuuden vähimmäispituutta arviolta 175–275 metrillä. (34.) Aiheesta lisää luvussa 5.2.

Säännöllisessä Kehäradan liikenteessä ajetaan pääasiassa kahden yksikön pituisia Sm5-junia (150 m), jolloin virtuaalisen suojavälin pituus on perusteltua määrittää kahden Sm5-yksikön pituuden mukaan, sillä säännöllistä liikennettä hoidetaan nykyisin ruuhka-aikaan kyseisellä kokoonpanolla. (6.) Kun koko 150 metriä pitkä yksikkö mahtuu virtuaaliselle suojavälille, tulee varmistua, että yksikkö varaa ajoluvan päätekohtaan lähelle pysähtyessään vain yhden virtuaalisen suojavälin eikä kahta tai useampaa kerrallaan. Tämä vaikuttaa teoreettisesti TTD-osuudelle mahtuvaan yksiköiden määrään. Virtuaalisten ohiajovarojen kanssa VSS-osuuden pituus voisi kahdella Sm5-yksiköllä olla vähimmillään noin 325–425 metriä pitkä rataosilla, joilla tiedetään liikennöitävän säännöllisesti korkeintaan tämän pituisella kalustokokoonpanolla. Virtuaalisten ohiajovarojen kanssa yksikön tulisi mahtua kokonaisuudessaan VSS-osuudelle siten, että

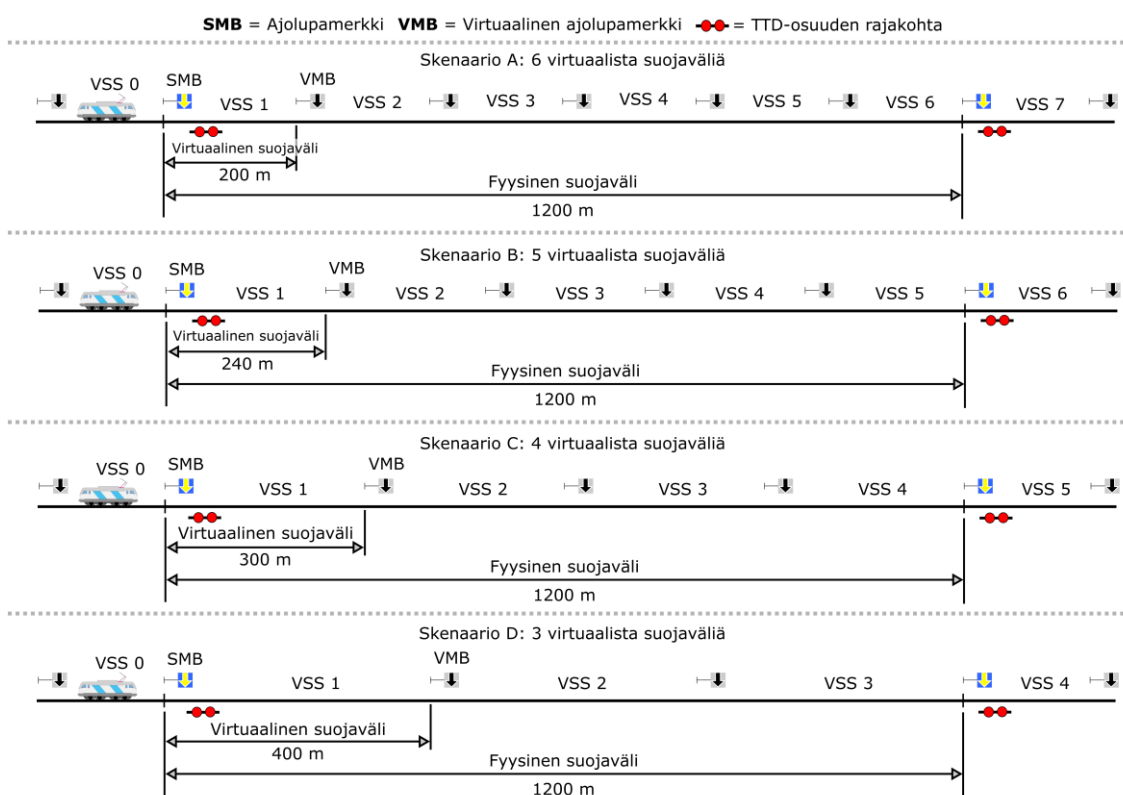
yksikkö ei haittaa osuudelle pysähtyessään takana kulkevan yksikön lähestymistä, jolloin yksikkö voi lähestyä VSS-osuuden rajakohtaa laskennallisella valvontanopeudella. (24;34.)

Riippuen rajoittavista tekijöistä on VSS-osuuksien määrää ja pituutta tarkasteltava rataosakohtaisesti. VSS-osuuksien pituuksien määrittämiseen on useita eri vaihtoehtoja. Järjestelmän tilaajan voidaan antaa määrittää toivotut VSS-osuuksien pituudet ja määrät. Toisena vaihtoehtona on, että VSS-osuuksien pituudet ja määrät määritellään simulointien avulla kaikista optimaalisimman tuloksen saavuttamiseksi. VSS-osuuksien määrän ja pituuksien optimoimiseksi vaaditaan tarkempia simulointeja. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi OpenTrack- tai LUKS-simulointiohjelmistoja. (24.)

Fyysinen suojaväli voidaan jakaa hyvinkin moneen VSS-osuuteen, mikäli radan tekniset seikat eivät luo rajoitteita. Sähköradalla käytettävien imumuuntajien taitia voidaan joutua käyttämään harvemmin sijoitettuja virtuaalisia suojavälejä, kun jokin VSS-rajakohta osuu imumuuntajan tai erotusjakson rajoitusalueelle. VSS-osuuksien määrää TTD-osuudella voidaan silloin joutua muuttamaan. Jos esimerkiksi kuvan 26 skenaarion D esimerkin mukainen määrä VSS-osuuksia onnistuu tarkastellulle fyysiselle suojavälille, mutta skenaarion C mukainen määrä VSS-osuuksia ei toimisi sähköradan rajoitteista johtuen, voidaan käyttää skenaarion D mukaista määrää VSS-osuuksia suojavälien tasaisten etäisyyksien säilyttämiseksi. Virtuaalisten suojavälien harventaminen voi kuitenkin vaikuttaa rataosan kapasiteettiin ja laskea radan välityskykyä paikallisesti, jos VSS:n varautumisaikaa ei saada lyhennettyä muilla keinoilla, kuten nopeuden nostoilla. (8.)

EKA-radalla virtuaalisten osuuksien sijoittelu optimaalisesti vaatii tarkempaa arviointia radalla liikennöivien yksiköiden pituuksiin ja tietoa TIMS-varustellun kaluston prosentuaaliseen osuuteen rataosan liikenteestä, jota ei ole vielä tämän työn julkaisuvaiheessa tiedossa. Tieto tarkentuu, kun radan operaattorit ovat tehneet omat päätökset kalustonsa varustamisesta TIMS-laitteistoilla.

Kuvan 26 esimerkit VSS-osuuksien määrästä fyysiselle suojavälille on esitetty RATO6-ohjeen mukaisen 1200 metrin esiopastinetäisyyden suosituksen mukaisesti, kun raiteella  $v \geq 50 \text{ km/h}$ . Kuvassa 26 esitetään neljä esimerkkiskenaariota VSS-osuuksien sijoittelusta yhdellä fyysisellä suojavälillä. On kuitenkin huomioitava, että fyysisen suojavälin pituus rataverkolla on harvoin 1200 metriä ja pituus vaihtelee Helsingin liikennepaikalla käytettävästä alle 400 metristä yli 1600 metrin fyysisiin suojaväleihin esi- ja pääopastinten välillä. Esimerkkikuvan on tarkoitus toimia suuntaa antavana virtuaalisten suojavälien määrän suunnittelulle. (20.)



Kuva 26. Esimerkit VSS-osuuksien määrästä ja pituuksista.

Rataverkolla on lisäksi useita paikkoja, joissa TTD-osuuksia tarvitaan liikenteen sujuvuuden varmistamiseksi. EKA-radalla sijaitsee huomattava määrä tasoristeyskohtia. Mikäli ajolupa ei ole voimassa tasoristeystä lähestyttäessä ja yksikkö ei ole tällöin yhteydessä RBC:hen (yksikkö joutuu liikkumaan SR-tilassa), varmistavat TTD-osuudet sen, että yksikkö voidaan paikantaa varmasti, ja että

tasoristeys aktivoituu oikein. TTD-osuuksin varmistettu tasoristeyksen vapaa-  
naolonvalvonta takaa tasoristeyksen varman toiminnan ilman riippuvuutta yksi-  
kön sijaintiraportteihin (TPR). (8.)

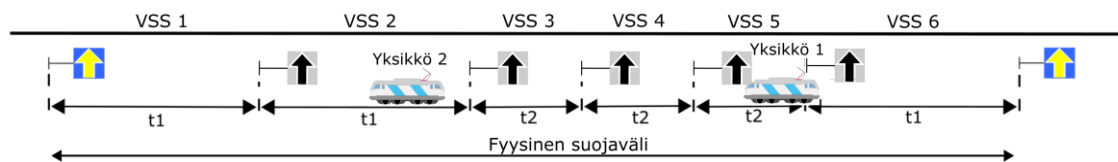
## 5.2 Virtuaalisten suojavaalien optimoinnista saavutettavat hyödyt

Tarkasteltavilla kahdella rataosalla lähtökohdat kapasiteettihyötyjen saavutta-  
miseksi ovat erilaiset. Kehäradalla sijaitsevia ratalaitteita on mahdollista vähen-  
tää HTD-toteutuksen yhteydessä, sillä rataosan kalusto koostuu yksinomaan lähiliikenteen Sm5-yksiköistä. TIMS-eheydenvalvontajärjestelmän asentaminen Sm5-yksiköihin toisi kustannussäästöjä, jos oletetaan että TIMS-järjestelmä toimii luotettavasti ja sen käytettävyyssaste on korkea. (21.) Radalla muun kuin TIMS-varustetun kaluston liikennöinti säännöllisen liikenteen yhteydessä voidaan olettaa vähäiseksi, sillä radan liikennemalli koostuu lähijunaliikenteestä, jota ajetaan pääosin joko yhdellä tai kahdella toisiinsa varmistetusti yhteen kytkeytyllä yksiköllä. Luotettavan TIMS-järjestelmän kehittäminen on mahdollisesti yksinkertaisempaa moderniin Sm5-sarjaan sekä tuleviin sähkömoottorijuniin, jotka Kehäradalla ja muilla kaupunkiradoilla liikkuvat. (4;35.)

Virtuaalisten suojavaalien optimointia tukee virtuaalisen ohiajovaratiedon tarkempi määrittely. Kuten kappaleessa 4.4 on mainittu, virtuaalinen ohiajovaratieto antaa mahdollisuuden lähestyä VSS-osuuden rajaa laskennallisella valvontanopeudella, jos edellä kulkeva yksikkö on vapauttanut sekä lyhyen että pitkän virtuaalisen ohiajovaratiedon. Laskennallinen valvontanopeus lasketaan ETCS-veturilaitteella ja se on riippuvainen yksikön jarrutuskyvystä. (12.) Lyhyt virtuaalinen ohiajovaratieto tulisi asettaa vakiona 25 metriin, ja pitkä virtuaalinen ohiajovaratieto tulisi asettaa välille 150–250 metriä riippuen kaluston ominaisuuksista. Tämä pitkän virtuaalisen ohiajovaratiedon pituus voi vaihdella riippuen rataosalla liikkuvan kaluston jarrutusominaisuuksista. Pidempi vara valitaan tilanteessa, jossa yksikön jarrutuskyky ei olisi niin hyvä. Lyhyempää varaa voitaisiin käyttää, kun jarrutusominaisuudet ovat paremmat. Lyhyen virtuaalisen ohiajovaratiedon osalta pituuden tulisi olla vakio, sillä sen tarkoitus on toimia ensimmäisenä marginaalina, joka vapauttaa VSS-osuuden mahdollisimman pian

seuraavalle yksikölle. Pitkän ohiajovaratiedon tarkoituksena on taas tehostaa lähestymistä virtuaalisen osuuden rajakohtaan valvontanopeuden kanssa, joka mahdollistaa yksikölle sallivammat jarrutuskäyrät. (8.)

VSS-osuuksien tiivistäminen eli positiivisen deltan luominen ennen ja jälkeen suunniteltua pysähdyspaikkaa, voi olla hyödyksi tietyissä kohteissa, joissa yksiköiden tiedetään pysähtyvän säännöllisesti tietyssä paikassa. Positiivisella deltalla saavutetaan radan parempi välityskyky tilanteessa, jossa edellä kulkeva yksikkö on lähtemässä asemalta ja perässä seuraava yksikkö on lähestymässä asemaa siten, että tiivistyneet VSS-osuudet sijaitsevat yksiköiden välillä (kuva 27). Parempi välityskyky saavutetaan, kun yksikön 1 vapauttavat VSS-osuudet pidentävät yksikön 2 ajolupaa, ja siten siirtävät jarrutuskäyrän alkamista yksikölle 2.



Kuva 27. Positiivisen deltan vaikutus pysähdyspaikan kapasiteetin parantamisessa.

### 5.3 HTD-ajastimien määrittysten suositukset

HTD-toiminnallisuuden myötä ETCS-järjestelmään tulee lisää ajastimia, HTD-ajastimien käyttöönoton myötä. EUG:n julkaiseman uuden HTD-ohjeistuksen ohessa annettiin uusia suosituksia ajastinten käytölle. Näiden suositusten tarkoituksena on ohjata ajastinten määrittämistä turvallisempaan suuntaan. Ajastinten arvojen valinnoilla vaikutetaan siihen, miten tiiviillä raportointisyklillä yksiköistä saadaan turvallisuuskriittisiä tietoja HTD-varustellulla radalla liikennöitäessä. Kyseisiä tietoja ovat mm. tieto siitä, kuinka pitkälle yksikkö voi kulkea RBC:n tietämättä, ja se kuinka pitkään RBC odottaa uutta tietoa yksikön eheydestä. (8.)

Mykistysajastimelle on annettu muutamia suosituksia. Nämä koskevat ajastimen kestoa. Jos ajastin on liian lyhyt, yksikön edellä sijaitsevat VSS-osuudet käsitellään RBC:n näkökulmasta tilassa 'tuntematon', vaikka todellista riskiä yksikön sijaitsemisesta näillä osuuksilla ei ole. Koska ajolupa on jo myönnetty yksikölle, VSS-osuuksien asettumisella tilaan 'tuntematon' ei ole vaikutusta radan välityskykyyn. Toisaalta jotkin muut liittyvät ajastimet voivat aktivoitua aikaisemmin mm. yhteyskatkon etenemisen ajastin. Mikäli ajastin on kestoltaan liian pitkä, on mahdollista, että yksikkö voi liikkua RBC:n tietämättä muille VSS-osuuksille. Mahdollinen tilanne on, että kulkutie näiden VSS-osuuksien kautta puretaan, ja siirtyy käyttöön jollekin toiselle yksikölle. Tämän takia ajastin tulee asettaa mahdollisimman lyhyeksi, mutta kuitenkin verrattain optimaaliseksi suhteessa radioyhteyden katkeamisaikaan muuttuja (T\_NVCONTACT). Kansallisten arvojen mukaan 40 sekuntia (tilanne 4/2023). Lisäämällä TTD-osuuksia sopiviin sijainteihin, voidaan pienentää ajastimien vaikutusta kapasiteettiin. (8.)

Yhteyskatkon etenemisen ajastimelle annetut suositukset koskevat vastaavasti myös ajastimen kestoa. Jos ajastin on kestoltaan liian lyhyt, yksikön edessä ja takana sijaitsevat VSS-osuudet, jotka kuuluvat osaksi ajolupaa käsitellään tilassa 'tuntematon', vaikka todellista riskiä yksikön sijaitsemisesta näillä osuuksilla ei ole. Nämä osuudet voivat kuitenkin jo olla varattuna jollekin muulle yksikölle, jolloin tilanne aiheuttaa yksikölle ajoluvan hätävaraisen perumisen ja siten hätäjarrutuksen. Tämän takia ajastimen ei tule olla kestoltaan liian lyhyt. Mikäli ajastin on kestoltaan liian pitkä, on mahdollista, että yksikkö voi liikkua RBC:n tietämättä muille VSS-osuuksille (aikaisemmin myönnetyn ajoluvan edellä tai takana). RBC:lle tuntemattomien liikkeiden mahdollisuus riippuu siitä, mitä kansallisissa arvoissa on määritetty muuttujasta (M\_NVCONTACT). Sillä määritetään, pysähtyykö yksikkö vai jatkaako se matkaansa radioyhteyden ollessa katkenneena  $t \geq 40$  s. Jos radioyhteys on katkenneena, kun kuljettaja suorittaa ajoluvan päätekohdan ohitustoiminnon (Override EoA), ja kuljettaja sulkee/avaa ajopöydän uudelleen, ehdotetaan kuljettajalle SR-tilaa lähtötarkastuksen (SoM) jälkeen. Tässä mahdollinen riski on, että yksikkö liikkuu eteen- tai taaksepäin VSS-osuudelle, joka on jo varattuna toiselle yksikölle. Tämän takia ajastimen kesto tulee määrittää sellaiseksi, että edellä mainitun tilanteen riskit olisivat

mahdollisimman pienet. Lisäämällä TTD-osuuksia sopiviin sijainteihin, voidaan pienentää ajastimen vaikutusta kapasiteettiin. (8;12.)

Eheystiedon odotusajastimelle annetaan suosituksia ajastimen kestolle sekä eheystiedon päivitystiheydelle. Eheystiedon päivittyminen tulisi sitoa yksikön sijaintiraportin tiheyteen, jotta ei pääse syntymään tilannetta, jossa yksiköllä on voimassaoleva eheystieto, mutta se ei epäsynkronoidusta päivitystiheydestä johtuen sisälly sijaintiraporttiin. Tämän takia eheystiedon päivitystiheyden tulee olla vähintään yhtä tiheä kuin sijaintiraportin päivitystiheyden. Ajastimen keston osalta EUG:n suositukset kertovat, että mikäli eheystiedon odotusajastin on kestoaltaan liian lyhyt, yksikkö, jolla on varmistettu eheystieto, raportoi RBC:lle, ettei eheystietoa ole saatavilla liian pienen eheystiedon raportointitiheyden takia. Tällöin yksikkö käsitellään eheystietonsa menettäneenä ja seurauksena osa ajastimeen liittyvistä muista ajastimista voi aktivoitua aikaisemmin, ja vaikuttaa kapasiteettiin. Toisaalta, jos ajastin on kestoaltaan liian pitkä, on mahdollista, että yksikkö menettää eheystiedon ilman, että RBC kykenee tekemään mitään toimenpiteitä. (8.)

Eheystiedon menettämisen etenemisen ajastimelle annetut suositukset koskevat ajastimen kestoa TTD-osuuksien käyttöä. Mikäli ajastin on kestoaltaan liian lyhyt VSS-osuudet yksikön takana, käsitellään tilassa 'tuntematon', vaikka todellista riskiä yksikön sijaitsemisesta VSS-osuuksilla ei ole. Nämä VSS-osuudet voivat kuitenkin olla jo varattuina jonkin muun yksikön liikkeille. Tapahtuessaan tämä aiheuttaa ajoluvan hätävaraisen purkamisen ja siten hätäjarrutuksen. Tämän takia ajastimen ei tule olla kestoaltaan liian lyhyt. Mikäli ajastin on taas kestoaltaan liian pitkä, on mahdollista, että yksikkö voi liikkua RBC:n tietämättä muille VSS-osuuksille. Mahdollinen riski on, että aikaisemmin varatut VSS-osuudet ovat käytössä jo toiselle yksikölle. Tämä voi aiheuttaa vaaratilanteen, jonka takia ajastimen ei tule olla liian pitkä. Ajastimen optimaalinen kesto tulee arvioida rataosakohtaisesti näiden riskitilanteiden minimoimiseksi. Jos suunnittelua halutaan yksinkertaistaa, voidaan päättää käyttää ainoastaan yhtä arvoa koko rataverkolle. Lisäämällä TTD-osuuksia sopiviin sijainteihin, voidaan myös pienentää ajastimen vaikutusta kapasiteettiin. (8.)

RBC-yhteydettömän yksikön odotusajastimelle annetut suositukset koskevat ajastimen kestoa ja käyttöönottoa. Ajastinta ei ole pakollista käyttää tai se voidaan määrittää äärettömäksi, jos riskit RBC-yhteydettömien yksiköiden vääristä havaitsemisista voidaan hyväksyä. Riskejä voidaan myös vähentää asentamalla ylimääräisiä TTD-osuuksia, jotka havaitsevat odottamattomat yksiköiden liikkeet VSS-osuudella aikaisemmin kuin, jos osuudella olisi vain TTD-osuudet fyysisen suojavälin päitä rajaamassa. Tämän suosituksen myötä, on perusteltua harkita rataosakohtaisesti TTD-osuuksien lisäämistä paikkoihin, joissa RBC-yhteydettömän yksikön liikkumisen riski on kohonnut. Jos riskit ovat verrattavissa olevat koko rataverkolla, voidaan harkita vain yhden arvon käyttämistä tässä ajastimessa suunnittelun yksinkertaistamiseksi. Ajastimen keston osalta suositukset annetaan liian lyhyelle ja pitkälle ajastimen arvolle. Jos ajastin on liian lyhyt RBC:n tulee olettaa, että VSS-osuudella sijaitsee RBC-yhteydetön yksikkö ja pitää osuus varattuna, vaikka riskiä ei todellisuudessa olekaan. Seuraavan RBC-yhteydellisen yksikön tulee suorittaa *sweeping*-toiminto osuuden vapauttamiseksi, tai osuus pitää vapauttaa TTD-tilatiedon perusteella. Ajastin ei saa siis olla liian lyhyt, jotta vältetään epätoivotut liikenteen häiriöt. Mikäli ajastin on liian pitkä, on mahdollista, että RBC-yhteydetön yksikkö todella liikkuu VSS-osuudella RBC:n tietämättä. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa seuraava VSS-osuus, jolta yksikkö poistuu eheystieto varmistettuna, käsitellään virheellisesti vapaana ja jokin toinen yksikkö voi saada ajoluvan, joka ulottuu tälle osuudelle. Ajastimen pituus tulee pohtia tarkkaan sellaiseksi, että edellä mainitut riskit voidaan minimoida. (8.)

RBC-yhteydettömän yksikön etenemisen ajastimelle annetut suositukset koskevat ajastimen kestoa ja käyttöönottoa. Ajastinta ei ole pakollista käyttää tai se voidaan määrittää äärettömäksi, jos riskit RBC-yhteydettömien yksiköiden vääristä havaitsemisista voidaan hyväksyä. Jos riskit ovat verrattavissa olevat koko rataverkolla, voidaan harkita vain yhden arvon käyttämistä tässä ajastimessa suunnittelun yksinkertaistamiseksi. Jos ajastin on liian lyhyt, RBC:n tulee olettaa, että VSS-osuudella sijaitsee RBC-yhteydetön yksikkö, ja asettaa kaikki TTD:n alaiset VSS-osuudet myös tilaan 'tuntematon', vaikka riskiä yksiköstä ei todellisuudessa olekaan. Mikäli ajastin on liian pitkä, on mahdollista, että RBC-

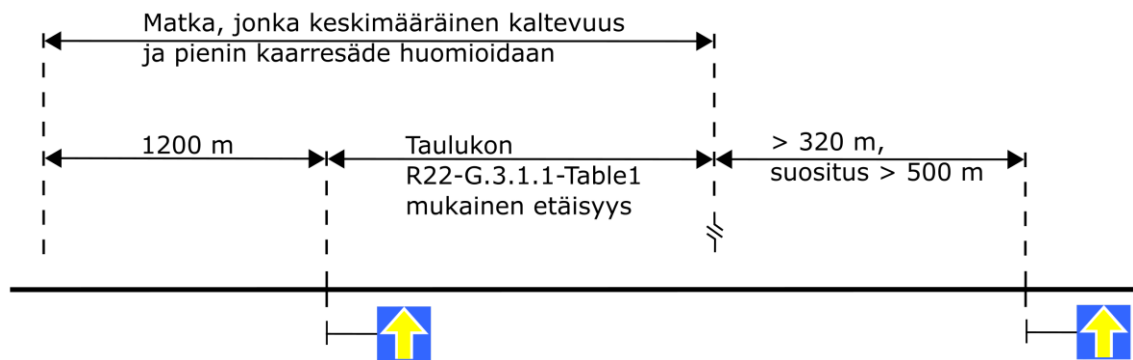


yhteydetön yksikkö on liikkunut toiselle VSS-osuudelle RBC:n tiedostamatta. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa seuraava VSS-osuus, jolta yksikkö poistuu eheystieto varmistettuna, käsitellään virheellisesti vapaana ja jokin toinen yksikkö voi saada ajoluvan, joka ulottuu tälle osuudelle. EUG:n suosituksena on, että ajastimen arvoksi tulee harkita aikaa, joka yksiköltä kestää kulkea TTD-osuus SR- tai SH-tilassa. Tätä suositusta tulisi noudattaa myös Suomessa, sillä sen avulla voidaan varmistaa turvallisuus virtuaalisilla osuuksilla HTD-konseptissa. Toisena turvallisuutta lisäävänä suosituksena olisi perustelua ottaa käyttöön RBC-yhteydettömän yksikön etenemisen ajastin jokaiselle TTD-osuudelle erikseen. Näin voidaan edelleen pienentää riskiä tunnistamattomista yksiköistä. (8.)

#### 5.4 HTD:n vaikutukset sähköraitafran suunnitteluun

Tietyillä sähköradan laitteilla on vaikutusta virtuaalisten suojavälien määrittämisessä. Erotusjakso on sähköradan osa, jota käytetään erivaiheisten syöttöasemavälien jakamisessa. Erotusjaksojen väli on yleensä n. 30–35 kilometriä tai 40–45 kilometriä riippuen siitä, onko rata yksi- vai kaksiraiteinen. Kuitenkin syöttöasemia voi olla tiheämmin kuin edellä mainitusti mm. pääkaupunkiseudulla, jossa erotusjaksojen välimatkat voivat olla lyhyitäkin, muutamista kilometreistä kymmeneen kilometriin. Erotusjakson kautta syötetään valtakunnan sähköverkon jännitteestä muunnettua 25 kV vaihtovirtajännitettä (AC) ajojohtimeen. Jännite siirtyy syöttöasemalta johtimia pitkin ajojohtimeen erotusjakson kohdalla sijaitsevan virrattoman osan kautta. Erotusjakson virrattoman osan kohdalla veturin tai sähkömoottorijunan virroitin ei saa ottaa virtaa ajojohtimesta eli toisin sanoen yksikön pääkatkaisijan tulee olla avattuna tällä alueella. Kuvan 28 mukaisesti erotusjakson edessä sijaitsevalle alueelle ei saa sijoittaa ajolupamerkkiä, jos sähkömoottorijunan tai sähköveturin virroitin sijoittuisi tälle alueelle pysähtyessään ajolupamerkin eteen. Koska virtuaaliselle ajolupamerkille voidaan päättää yksikön ajolupa (EoA) pääopastimen tavoin, tulee uutena suunniteltava erotusjakso sijoittaa siten, että virtuaalinen ajolupamerkki ja samalla VSS-osuuden raja sijaitsee liitteessä 1 esitetyn taulukon mukaisen etäisyyden päässä erotusjakson alusta. Jos sähköraitaan tehdään muutoksia, tulee liitteen 1 mukaisen

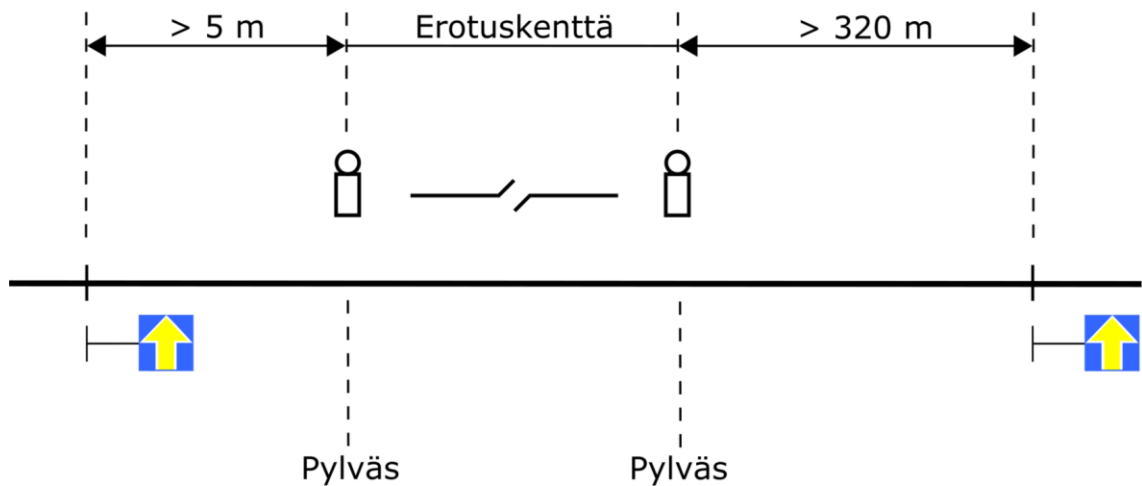
taulukon etäisyyksiä noudattaa. Suomen rataverkolla sijaitsee huomattava määrä erotusjaksoja, jotka aiheuttavat virtuaalisten osuuksien määrittämiselle haasteita. HTD-varusteltua rataa suunniteltaessa on otettava huomioon ole-massa olevien erotusjaksojen sijainti ja tarkistettava ovatko suunnitellut VSS-osuuksien rajakohdat kuvan 28 ja liitteen 1 mukaisesti erotusjakson rajoitusalueella. Jos erotusjakson jälkeinen suositusetäisyys 500 metriä aiheuttaa ongelmia virtuaalisen ajolupamerkin sijoittamiselle, voidaan merkki sijoittaa 320 metrin vähimmäisetäisyyden mukaan. (6;20.)



Kuva 28. Erotusjakson vaikutus ajolupamerkkien sijoittamiseen (6).

Imumuuntaja on sähköradan laite, jonka tehtävänä on vähentää sähköratajärjestelmässä ilmenevien paluuvirtojen aiheuttamia häiriöitä ja vaarallisia jännitteitä pakottamalla paluuvirta kulkemaan paluujohtimessa. Sijoittelussa tulee ottaa huomioon, että sähköveturin tai -moottorijunan virroitin, ei jää suunnitellusti pysähtyessä imumuuntajan kohdalle. (6;27.) Imumuuntajien välinen välimatka raiteella saa olla enintään 2,6 kilometriä, jotta kiskopotentiaali ja induoituneet jännitteet jäävät riittävän alhaisiksi. Väyläviraston luvalla perustellusta syystä voidaan käyttää pidempää väliä. Nämä RATO5 ja RATO22-ohjeissa mainitut vaatimukset aiheuttavat haasteita virtuaalisen ajolupamerkin sijoittamisessa. Koska imumuuntajan vaikutusalueelle ei saa pysähtyä, on virtuaalinen suojaväli suunniteltava siten, että virtuaaliset ajolupamerkit sijaitsevat imumuuntajan vaikutusalueen ulkopuolella kuten kuvassa 29 on esitetty. Suunniteltaessa VSS-osuuksia on mahdollista, että VSS-rajakohta osuu sähköradan rajoitusalueelle yhteen suuntaan, mutta toiseen suuntaan taas ei. Tällöin VSS-osuuksien

määrää on muutettava siten, että VSS-rajakohta ei enää osu rajoitealueelle. Vaikka VSS-osuuksien määrää lisättäisiin tai vähennettäisiin, säilyy osuuksien tasaiset välimatkat. Ainoastaan VSS-rajakohtien paikat muuttuvat. VSS-osuuksien määrän vaihtaminen rajoitteiden takia aiheuttaa väistämättä positiivisen tai negatiivisen deltan syntymisen liikennepaikkavälin fyysisten suojavaalien kesken. Vaikutusta voidaan vähentää valitsemalla sama VSS-osuuksien määrä kaikille liikennepaikkavälin fyysisille suojavaaleille, jos tämä on mahdollista. Tällä on vaikutusta rajoitteita sisältävän liikennepaikkavälin välityskykyyn, mutta ei kuitenkaan muille rataosan liikennepaikkaväleille, jos niillä ei ole VSS-osuuksia rajoittavia tekijöitä. (27.)



Kuva 29. Rajoitteet ajolupamerkkien sijoittamisessa imumuuntajan erotuskentän läheisyydessä (6).

Säästömuuntajajärjestelmä on vaihtoehtoinen järjestelmä imumuuntajille. Siinä ratajohto varustetaan vastajohtimella ja säästömuuntajalla. Suuremman siirtojännitteen myötä järjestelmän tehonsiirtokyky on merkittävästi imumuuntajajärjestelmää parempi ja syöttöasemien välimatka voi siten olla jopa 7 kilometriä. Verrattuna imumuuntajajärjestelmän 2,6 kilometrin välimatkaan, säästömuuntajat mahdollistavat virtuaalisten ajolupamerkkien sijoittelun huomattavasti joustavammin. Toisaalta säästömuuntajajärjestelmää ei ole aina sopivaa käyttää kaikissa kohteissa, esimerkiksi tiheästi asutettujen ratojen, kuten Kehäradan varrella säästömuuntajien isompien kosketusjännitteiden ja suurempien

indusoituneiden jännitteiden vaikuttaessa radan muihin kaapeleihin. Vilkkaasti liikennöidyillä rataosalla imumuuntajat ovat yleensä sopivampi ratkaisu ja syöttöasemia on sopivilla etäisyyksillä. Edellä mainittujen syiden takia virtuaalisten ajolupamerkkien sijoittamisessa on syytä ottaa huomioon rataosan sähköratajärjestelmä HTD-varusteltua rataa suunniteltaessa. Lisäksi ratasuunnitelmia tehtäessä sähköratasuunnittelun ja ETCS-suunnittelun on suositeltavaa tutkia yhteistyössä parasta vaihtoehtoa järjestelmien yhteensovittamiseksi. (27;36.)

## 6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli saavuttaa tutkimustuloksia HTD-konseptin suojavälien optimointia varten vertailemalla kahta erityyppistä rataosaa ja soveltamalla HTD-konseptin teoriaa sekä aikaisempia aiheesta tehtyjä tutkimuksia. Työn edetessä työn aihetta rajattiin, sillä alkuperäinen aihe olisi ollut liian laaja virtuaalisten suojavälien simulointien kanssa. HTD-konseptin optimoinnista löytyi lopulta tarpeeksi teoriaa, jotta työstä saatiin kattava kokonaisuus. Työn lopullinen rajaus jäi koskemaan virtuaalisten suojavälien sijoittelun optimointia, VSS-sijoittelun rajoitteita sekä HTD-ajastinten käytön vaikutuksia suojavälien optimointiin.

Työn teorian pohjana käytettiin EUG:n julkaisemaa virallista konseptia, joka koostuu useasta eri versiosta. Näiden pohjalta koottiin yhteen yksi kattava teoriaosuus. Työn kirjoittamisen aikana uusi HTD-konsepti julkaistiin korvaamaan aikaisemman käytettyä HL3-tason suunnitteluohjeet. Konseptin uudistuksen ohessa myös ETCS-tasojen nimitykset kokivat muutoksia EU-tasolla asti. Muutokset teetettiin kirjoittamisen aikana lisätyötä, mutta lopulta eri versioiden pohjalta saatiin yhdisteltyä ajantasainen teoriakokonaisuus HTD-konseptista.

Työssä teetettiin vertailu kahden rataosan kesken, jotta saatiin selvitettyä mitä eroja rataosilla on, kun ne varustetaan HTD-konseptin mukaisesti. Vertailukohteina toimivat rataosat Lielähti-Pori/Rauma ja Kehärata. Näiden tarkastelu toi esille monia radan teknisten järjestelmien rajoittavia tekijöitä virtuaalisten suojavälien määrittämisessä. Vertailukohteista saatujen havaintojen perusteella

kerättiin työn päätelmien perusta. Päätelmissä todettiin ratateknisten seikkojen vaikutukset HTD-konseptin mukaiseen radan suunnitteluun ja annettiin suosittukset HTD-varustellun radan suunnitteluun.

Koska työstä rajattiin pois simulointiosuus, saatiin virtuaalisten suojavälien optimoinnista selville ainoastaan suuntaa antavat arviot. Jotta kokonaisen rataosan optimointimahdollisuudet saataisiin tehokkaasti selvitettyä, vaatii se rataosan tarkempia simulointeja. Virtuaalisten suojavälien tarkempaan määrittämiseen, voidaan myöhemmin hyödyntää tämän työn tutkimustuloksia tulevissa selvityksissä HTD-konseptin optimoinnista.

## Lähteet

- 1 UNISIG. 2022. ERTMS Deployment Statistics – Overview. Verkkoaineisto. <<https://www.ertms.net/facts-figures/deployment-statistics/>>. Viitattu 17.4.2023.
- 2 Liikenne- ja viestintäministeriö. 2021. Digirata-valmisteluvaiheen loppuraportti. Verkkoaineisto. <[https://digirata.fi/wp-content/uploads/2021/07/Digirata-valmisteluvaiheen-loppuraportti\\_FINAL.pdf](https://digirata.fi/wp-content/uploads/2021/07/Digirata-valmisteluvaiheen-loppuraportti_FINAL.pdf)>. Viitattu 30.1.2023.
- 3 Digirata. Tietoa Digiradasta. 2023. Verkkoaineisto. <<https://digirata.fi/tietoa-digiradasta>>. Viitattu 25.1.2023.
- 4 Juliadata.fi. 2023. Digitraffic-palvelun avoin data. Verkkoaineisto. <<https://juliadata.fi/>> Viitattu 30.1.2023.
- 5 Euroopan komissio. 2009. European ERTMS Deployment Plan. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:194:0060:0074:EN:PDF>> Viitattu 30.1.2023.
- 6 Väylävirasto. 2023. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 22 ERTMS/ETCS. Iteraatio 4. Verkkoaineisto. <[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-22\\_rato22.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-22_rato22.pdf)> Viitattu 25.1.2023.
- 7 ERTMS Users Group. 2022. Hybrid ERTMS/ETCS Level 3. Ref 16E042 Version 1E. Verkkoaineisto. <[https://ertms.be/workgroups/engineering\\_support](https://ertms.be/workgroups/engineering_support)> Viitattu 1.2.2023.
- 8 ERTMS Users Group. 2022. ERTMS/ETCS Hybrid Train Detection Engineering. Ref 21E087 Version 3. Verkkoaineisto. <[https://ertms.be/workgroups/engineering\\_support](https://ertms.be/workgroups/engineering_support)>. Viitattu 22.2.2023.
- 9 X2Rail3. 2018. Deliverable D4.3 Future Moving Block Architectures. Verkkoaineisto. <<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5d71dad58&appId=PPGMS>>. Viitattu 1.3.2023.
- 10 Hansen, Dominik; Leuschel, Michael; Körner, Philipp; Krings, Sebastian; Naulin, Thomas; Nader Nayeri; Schneider, David; Skowron, Frank. 2020. Validation and real-life demonstration of ETCS hybrid level 3 principles using a formal B model. Verkkoaineisto. <<https://doi.org/10.1007/s10009-020-00551-6>>. Viitattu 21.4.2023.
- 11 Hennig, Eike; van Hövell, Madeleine; Büker, Kerstin. 2021. Diskussion zu ausgewählten Aspekten von ETCS Hybrid Level 3. Verkkoaineisto. <<https://www.quattron.com/wp-content/uploads/2021/06/ETR-06->

21\_Diskussion-zu-ausgewaehlten-Aspekten\_Hennig\_vanHoevell\_Bueker\_.pdf>. Viitattu 16.2.2023.

- 12 Euroopan rautatievirasto (ERA). 2016. Subset-026. Verkkoaineisto. <<https://www.era.europa.eu/era-folder/set-specifications-3-ets-b3-r2-gsm-r-b1>>. Viitattu 27.3.2023.
- 13 Rail Delivery Group. 2017. RDG Guidance Note ETCS On-Board Equipment. Verkkoaineisto. <<https://www.raildeliverygroup.com/media-centre-docman/acop/281-rdg-gn-nti-005etcson-boardequipmentv2/file.html>>. Viitattu 27.3.2023.
- 14 Railwaysignalling.eu. 2014. The ERTMS/ETCS signalling system. Verkkoaineisto. <[https://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2016/09/ERTMS\\_ETCS\\_signalling\\_system\\_revF.pdf](https://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2016/09/ERTMS_ETCS_signalling_system_revF.pdf)>. Viitattu 27.3.2023.
- 15 EU-komissio. 2014. Euroopan unionin rautatiejärjestelmän liikkuvan kaluston osajärjestelmää ”veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto” koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä. Asetus 1302/2014. Viitattu 1.3.2023.
- 16 EU-komissio. 2013. Euroopan unionin rautatiejärjestelmän osajärjestelmää ”liikkuva kalusto – tavaraliikenteen vaunut” koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä ja komission päätöksen 2006/861/EY kumoamisesta. Asetus 321/2013. Viitattu 1.3.2023.
- 17 Khadem Sameni, Melody; Landex, Alex; Preston, John. 2011. Developing the UIC 406 Method for Capacity Analysis. Verkkoaineisto. <<https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/5598194/Developing+the+UIC+406+Method+for+Capacity+Analysis.pdf>>. Viitattu 28.3.2023.
- 18 Vignali, Valeria; Cuppi, Federico; Lantieri, Claudio; Dimola, Nicola; Galasso, Tomaso; Rapagnà, Luca. 2019. A methodology for the design of sections block length on ETCS L2 railway networks. Verkkoaineisto. <<https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2019.100160>>. Viitattu 3.4.2023.
- 19 Väylävirasto. 2022. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 10 Junien kulunvalvonta JKV. Verkkoaineisto. <[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2021-40\\_rato10\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-40_rato10_web.pdf)> Viitattu 25.1.2023.
- 20 Väylävirasto. 2021. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6 Turvalaitteet. Verkkoaineisto. <[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2021-18\\_rato6\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-18_rato6_web.pdf)> Viitattu 1.2.2023.

- 21 Kaminsky, Ralf. Siemens. 2022. Suppliers view on implementation of ETCS L3 and ATO. Verkkoaineisto. <[https://www.era.europa.eu/system/files/2022-12/2\\_-\\_suppliers\\_view\\_on\\_implementation\\_of\\_ato\\_and\\_etcs\\_l3\\_-\\_ralf\\_kaminsky.pdf](https://www.era.europa.eu/system/files/2022-12/2_-_suppliers_view_on_implementation_of_ato_and_etcs_l3_-_ralf_kaminsky.pdf)>. Viitattu 16.3.2023.
- 22 Vergroesen, R. 2020. ERTMS/ETCS Hybrid Level 3 and ATO. Verkkoaineisto. <<http://resolver.tudelft.nl/uuid:971cdcde-1a9a-490a-b72c-8490f2f668ed>>. Viitattu 30.1.2023.
- 23 Ranjbar, Vahid; Olsson, Nils O.E.; Sipilä, Hans. 2022. Impact of signalling system on capacity – Comparing legacy ATC, ETCS level 2 and ETCS hybrid level 3 systems. Verkkoaineisto. <<https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2022.100322>>. Viitattu 26.4.2023.
- 24 Baglivo, Stefano; Blateau, Vincent; Senesi, Fabio. 2020. Innovative ETCS-Funktionen für stark beanspruchte Bahnknoten. Verkkoaineisto. <<https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=1688599>>. Viitattu 25.4.2023.
- 25 Väylävirasto. 2015. Rautatietunneleiden hallintaraportti. Verkkoaineisto. Ei julkisesti saatavilla. Viitattu 16.2.2023.
- 26 Väylävirasto. 2023. Rautateiden verkkoselostus 2023. Verkkoaineisto. <<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-907-3>>. Viitattu 16.2.2023.
- 27 Väylävirasto. 2018. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5 Sähköistetty rata. Verkkoaineisto. <[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2018-23\\_rato5\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-23_rato5_web.pdf)>. Viitattu 3.3.2023.
- 28 Väylävirasto. 2022. Ryhmityskaavio Huopalahti-Havukoski. Verkkoaineisto. Ei julkisesti saatavilla.
- 29 Väylävirasto. 2023. Ryhmityskaavio Oulunkylä-Korso. Verkkoaineisto. Ei julkisesti saatavilla.
- 30 Väylävirasto. 2023. Ryhmityskaavio Helsinki-Pasila-Käpylä. Verkkoaineisto. Ei julkisesti saatavilla.
- 31 Väylävirasto. 2022. ERTMS-järjestelmän kapasiteettianalyysi - Optimointi ETCS-tasolla 2. Verkkoaineisto. <<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-963-9>> Viitattu 15.2.2023.
- 32 Väylävirasto. 2023. Ryhmityskaavio Tampere-Pori/Rauma-Mäntyluoto. Verkkoaineisto. Ei julkisesti saatavilla.
- 33 Ratahallintokeskus. 2009. Liikenteellinen ja ratatekninen selvitys Espoo-Kirkkonummi lähijunaliikenteen kehittämisestä. Verkkoaineisto.



<<https://vayla.fi/documents/25230764/0/Liikenteellinen+ja+ratatekninen+selvitys+Espoo-Kirkkonummi+l%c3%a4hiliikenteen+kehittymisestä%c3%a4/5b28982a-db30-4c93-bcaa-444622f722ec>>. Viitattu 22.3.2023.

- 34 Euroopan rautatievirasto. 2023. European Register of Authorised Types of Vehicles. Verkkoaineisto. <<https://eratv.era.europa.eu/Eratv/Search>>. Viitattu 22.3.2023.
- 35 Stadler. 2006. Matalalattiainen sähkömoottorijuna FLIRT, Sm5-junat Pääkaupunkiseudun Junakalusto Oy:lle. Verkkoaineisto. <<https://junakalusto.fi/documents/sm5-flirt-esite.pdf>>. Viitattu 16.3.2023.
- 36 Matinlompola, Juha. Proxion Oy. 2023. Imu- ja säästömuuntajien sijoittaminen rataosakohtaisesti. Keskustelu 7.3.2023.

**Liite 1 RATO 22 – G.3.1.1 Taulukko 1**

Taulukossa esitetään lyhin mahdollinen ajolupamerkin sijoitusetäisyys sen takana sijaitsevasta erotusjaksosta.

<b>Keskimääräinen kaltevuus enintään</b>	<b>Pienin kaarresäde ajolupamerkin ja erotusjakson välisellä matkalla</b>		
	<b>&lt; 1000 m</b>	<b>1000–3000 m</b>	<b>&gt; 3000 m</b>
- 3 ‰	100 m	100 m	100 m
- 2 ‰	130 m	100 m	100 m
- 1 ‰	180 m	100 m	100 m
0 ‰	260 m	130 m	100 m
+ 1 ‰	380 m	180 m	140 m
+ 2 ‰	580 m	260 m	190 m
+ 3 ‰	910 m	380 m	290 m
+ 4 ‰	1670 m	580 m	420 m
+ 5 ‰	4150 m	920 m	670 m
+ 6 ‰	5000 m	1700 m	1120 m
Yli 6 ‰	5000 m	4320 m	2360 m

## Liite 2 - EUG HL3 Principles - Lista VSS-tilatietogeneraattorin ehdoista

VSS-tilatietogeneraattorin lista ehdoista tilatiedon määrittämiseksi

#	Condition	Priority over	Section ref.
#1A	(TTD becomes occupied) AND ((in each direction no FS MA exists covering the first VSS of this TTD) OR (the TTD is part of an MA) AND (the train to which the MA was sent could not have reached the TTD in the time between the last position report and the moment the TTD becomes occupied) ) AND (no train located on this TTD)		4.2.2

#	Condition	Priority over	Section ref.
#1B	(TTD is occupied) AND (the evaluated VSS is part of the MA sent to a train for which the mute timer is expired) AND (the evaluated VSS is located in advance of the VSS of the memorised train location)		3.9.1.3 4.2.1.3
#1C	(TTD is occupied) AND (there is(/are) only "free" or "unknown" VSS or none between the evaluated VSS and the VSS for which the "disconnect propagation timer" is expired) AND (the evaluated VSS is located on the same TTD as the VSS for which the timer is expired)		4.2.1.4
#1D	(TTD is occupied) AND (there is(/are) only "free" or "unknown" VSS on an occupied TTD or none between the evaluated VSS and the VSS for which the "disconnect propagation timer" is expired) AND (the evaluated VSS is not located on the same TTD as the VSS for which the timer is expired) AND (the evaluated VSS is not part of an MA)		4.2.1.4
#1E	(TTD is occupied) AND (there is(/are) only "free" or "unknown" VSS or none between the evaluated VSS and the VSS for which the "integrity loss propagation timer" is expired) AND (the evaluated VSS is located on the same TTD as the VSS for which the timer is expired)		4.3.1.1
#1F	(TTD is occupied) AND (there is(/are) only "free" or "unknown" VSS on an occupied TTD or none between the evaluated VSS and the VSS for which the "integrity loss propagation timer" is expired) AND (the evaluated VSS is not located on the same TTD as the VSS for which the timer is expired) AND (the evaluated VSS is not part of an MA)		4.3.1.1
#1G	(TTD is occupied) AND (there is(/are) only "free" or "unknown" VSS on an occupied TTD or none between the evaluated VSS and the TTD for which the "ghost train propagation timer" is expired) AND (the evaluated VSS is not located on the TTD for which the timer is expired) AND (it cannot be excluded by means of detection at the TTD border that the ghost train has entered the evaluated TTD)		4.2.2
#2A	(TTD is occupied) AND (train is located on the evaluated VSS)	#3	3.3.2.3 4.5.1.6

#	Condition	Priority over	Section ref.
	AND (VSS where the train was located before it was located on the evaluated VSS, was "occupied") AND (VSS where the train was located before it was located on the evaluated VSS, is not in advance of the train)		
#3A	(TTD is occupied) AND (train is located on the evaluated VSS)		3.3.3.6. 1 4.5.1.2
#4A	(TTD is free)		3.1.1.5 5.1.1.4
#4B	(train reconnects with the same train orientation) AND (the evaluated VSS is part of the FS MA sent to this train) AND (the evaluated VSS is in advance of the VSS where the reconnected train is located) AND (the MA sent to this train is still valid)	#5, #12	3.9.1.3. 3
#5A	(train is located on the evaluated VSS)		3.9.1.3. 3 4.5.1.2
#6A	(TTD is free)		3.1.1.5
#6B	(train has left the evaluated VSS) AND (train treated as integer)		3.5
#7A	(the evaluated VSS is part of the memorised train location) AND ((mute timer is expired) OR (communication session terminated))	#8	3.9.1 4.2.1.2
#8A	(train is located on the evaluated VSS) AND (train is not treated as integer)		3.5.1.3 4.2.2.1. 2 4.4.1.1 4.5.1.2
#9A	(TTD is free)		3.1.1.5
#10A	(the evaluated VSS is left by all reporting trains, i.e. the assumed rear end of the train as defined in 3.3.4 is in advance of the evaluated VSS)		3.7 3.8 3.3.4.5
#10B	(the evaluated VSS is part of the memorised train location)		3.9.1

#	Condition	Priority over	Section ref.
	AND ((mute timer is expired) OR (communication session terminated)) AND (no other train is located on the evaluated VSS)		4.2.1.2
#11A	(TTD in rear is free) AND (train treated as integer) AND (the "shadow train timer" of the TTD in rear for this direction and for this train is not expired) AND (train is located on the evaluated VSS)		3.5.1.2 4.5.1.4
#12A	(train reconnects with the same train orientation) AND (VSS where the train was located when the connection was lost, was "occupied") AND (train treated as integer) AND (In rear of the evaluated VSS and subsequent VSS(s) that had become "unknown" because of the lost connection of this train is a "free" VSS on an "occupied" TTD) AND (train is located on the evaluated VSS) AND (the MA sent to this train is still valid)	#5	3.5.1.2 3.9.1.3. 3
#12B	(train is located on the evaluated VSS) AND (VSS where the train was located before it was located on the evaluated VSS, was "occupied") AND (VSS where the train was located before it was located on the evaluated VSS, is in rear of the train) AND (the train is not re-connecting, i.e. the mute timer was not expired) AND (train treated as integer)	#5	3.10.1

Table 2: Transition between states for VSS sections