

Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä Digirata-selvityksen loppuraportti



LIIKENNE- JA
VIESTINTÄMINISTERIÖ

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:6

Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä

Digirata-selvityksen loppuraportti

Liikenne- ja viestintäministeriö

ISBN PDF: 978-952-243-589-7

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2020

Kuvailulehti

Julkaisija	Liikenne- ja viestintäministeriö		2.4.2020
Tekijät	Jari Pylvänäinen, Juha Lehtola, Timo Nieminen, Marjo Brotherus, Esko Sandelin, Johanna Wallin, Juha Artukka		
Julkaisun nimi	Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä – Digirata-selvityksen loppuraportti		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:6		
ISBN PDF	978-952-243-589-7	ISSN PDF	1795-4045
URN-osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-589-7		
Sivumäärä	110	Kieli	suomi
Asiasanat	rautatieliikenne, digitalisaatio, käyttövarmuus, kustannustehokkuus, liikenneturvallisuus, liikenteenohjaus, turvalaite, älyliikenne, Digirata, European Rail Traffic Management System, ERTMS, 5G, Future Railway Mobile Communication System, FRMCS		

Tiivistelmä

Suomen rautatieliikenne on murroksessa. Nykyinen junien kulkua turvaava järjestelmä on tulossa elinkaarensa päähän. Tilalle tarvitaan ERTMS. Suomalaisille parasta mahdollista ERTMS-ratkaisua kartoittamaan käynnistettiin selvitystyö. Selvitystyön alussa havaittiin, että ERTMS on vain alkutekijä ja keskeinen tavoitetila on rautatieliikenteen digitalisaatio kokonaisuudessaan – syntyi Digirata.

Rautatieliikenteen digitalisaation alustaksi on rakennettava tukeva perusta. Se on radioverkkoteknologiaan perustuva ERTMS, joka mahdollistaa rautatieliikenteen kilpailukykyyn lisäämisen, digitalisaation ja automaation täysmittaisen hyödyntämisen sekä lisää turvallisuutta. Rautateiden on aika olla kustannustehokkaan älyliikenteen merkittävä tekijä ja suunnan näyttäjä.

Edessä oleva muutos tulee olemaan merkittävä koko rautatiejärjestelmän kannalta. Ennen kaikkea se on osaamismuutos, joka vaikuttaa läpi kaikkien rautatieorganisaatioiden. Selvitystyössä on havaittu, että teknologista murrosta merkittävämpää on uusien toimintatapojen oppiminen. Nyt jos koskaan pitää asioita tehdä yhdessä kaikkien rautatietoimijoiden kesken, perinteinen yhteistyö ei enää riitä. Digitaalinen kokonaisuus vaatii saumatonta yhdessä tekemistä kaikkien sidosryhmien kesken – mikään taho ei tee tätä muutosta yksin.

Digirata on tämän muutoksen keskiössä.

Yhteyshenkilöt liikenne- ja viestintäministeriössä:
Janne Hauta, puh. 0295 34 2322, janne.hauta@lvm.fi
Mira Karppanen, puh. 0295 34 2094, mira.karppanen@lvm.fi
Suvi Kankare, puh. 0295 34 2105, suvi.kankare@lvm.fi

Kustantaja	Liikenne- ja viestintäministeriö
Julkaisun jakaja/ myynti	Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi Julkaisumyynti: vnjulkaisumyynti.fi

Presentationsblad

Utgivare	Kommunikationsministeriet		2.4.2020
Författare	Jari Pylvänäinen, Juha Lehtola, Timo Nieminen, Marjo Brotherus, Esko Sandelin, Johanna Wallin, Juha Artukka		
Publikationens titel	xxx		
Publikationsseriens namn och nummer	Kommunikationsministeriets publikationer 2020:6		
ISBN PDF	978-952-243-589-7	ISSN PDF	1795-4045
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-589-7		
Sidantal	110	Språk	finska
Nyckelord	järnvägstrafik, digitalisering, driftsäkerhet, kostnadseffektivitet, trafiksäkerhet, trafikledning, signalsäkerhetsanläggning, smart trafik, Digirata, European Rail Traffic Management System, ERTMS, 5G, Future Railway Mobile Communication System, FRMCS		

Referat

Järnvägstrafiken i Finland genomgår nu stora förändringar. Det system som för närvarande säkrar tågdriften börjar nå slutet av sin livscykel. För att ersätta det behöver vi det europeiska trafikstyrningssystemet för tåg (ERTMS). Därför inledde man en utredning för att kartlägga den bästa möjliga ERTMS-lösning för Finland. I början av utredningen konstaterade man att ERTMS endast är en delfaktor i förändringen och att huvudmålet är en genomgripande digitalisering av järnvägstrafiken. Som en följd av detta startades projektet Digirata.

Digitaliseringen av järnvägstrafiken måste byggas på en solid grund. Denna utgörs av ERTMS-systemet som bygger på radionätsteknik och möjliggör en ökad konkurrenskraft inom järnvägstrafiken, fullt utnyttjande av digitalisering, automatisering och dessutom ökad säkerhet. Järnvägarna ska stå i central ställning när det gäller att ta i bruk kostnadseffektiva intelligenta transportsystem och framstå som vägvisare.

Den förestående ändringen blir betydande för hela järnvägssystemet. Framför allt kommer den att innebära en kompetensförändring som påverkar alla järnvägsorganisationer. Inom ramen för utredningen märkte man att tillämpningen av nya tillvägagångssätt är en mer betydande faktor än den tekniska omvälvningen. Nu mer än någonsin måste alla järnvägsaktörer enas om att samarbeta, eftersom det traditionella samarbetet inte längre räcker till. Den digitala helheten kräver att alla intressentgrupper samarbetar på ett smidigt sätt – ingen aktör står nämligen ensam inför förändringen.

Projektet Digirata står i centrum för denna reform.

Kontaktpersoner vid kommunikationsministeriet:
Janne Hauta, tel. 0295 34 2322, janne.hauta@lvm.fi
Mira Karppanen, tel. 0295 34 2094, mira.karppanen@lvm.fi
Suvi Kankare, tel. 0295 34 2105, suvi.kankare@lvm.fi

Förläggare	Kommunikationsministeriet
Distribution/ Beställningar	Elektronisk version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Beställningar: vnjulkaisumyynti.fi

Description sheet

Published by	Ministry of Transport and Communications		2 April 2020
Authors	Jari Pylvänäinen, Juha Lehtola, Timo Nieminen, Marjo Brotherus, Esko Sandelin, Johanna Wallin, Juha Artukka		
Title of publication	Towards digital and intelligent rail transport - Final report of the Digi Rail study		
Series and publication number	Publications of the Ministry of Transport and Communications 2020:6		
ISBN PDF	978-952-243-589-7	ISSN PDF	1795-4045
Website address (URN)	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-589-7		
Pages	110	Language	Finnish
Keywords	railway traffic, digitalisation, service reliability, cost effectiveness, traffic safety, traffic management, signaling system, smart traffic, Digirail, European Rail Traffic Management System, ERTMS, 5G, Future Railway Mobile Communication System, FRMCS		
Abstract The Finnish railway sector is on the verge of change. The system that is currently used to secure train traffic is coming to the end of its lifecycle. The replacement will be European Rail Traffic Management System (ERTMS). A study was done to determine the best possible ERTMS solution for Finland. From the very beginning of the study, it was clear that ERTMS was just the starting point and that the main aim would have to be the digitalisation of the railway sector in Finland. Digirail was born. A firm platform is needed to support the digitalisation of railways. This platform is the radio-based European Train Control System (ETCS). It lays the foundation for enhancing the competitiveness of railways, and it takes fully into account the full potential of digitalisation and automation, in addition to increasing safety. It is time that the railway sector enhances its role and becomes a leader in cost-effective smart traffic solution. The upcoming changes will affect the entire railway sector. Above all, the changes will require new know-how from all stakeholders operating in the sector. The study shows clearly that this is not so much a matter of dramatic changes in technology, but rather that new ways of working need to be learned. It is now time for different railway stakeholders to begin working together, and to recognise that traditional cooperation models are no longer enough. The digitalisation of railways requires that we work seamlessly together – no one will be capable of handling the work alone. Digirail is a central part of this change. Contact persons at the Ministry of Transport and Communications: Janne Hauta, tel. 0295 34 2322, janne.hauta@lvm.fi Mira Karppanen, tel. 0295 34 2094, mira.karppanen@lvm.fi Suvi Kankare, tel. 0295 34 2105, suvi.kankare@lvm.fi			
Publisher	Ministry of Transport and Communications		
Distributed by/ Publication sales	Online version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Publication sales: vnjulkaisumyynti.fi		

Sisältö

Tiivistelmä	9
Lyhenteet ja termit	12
1 Selvityksen tausta	14
2 Selvityksen tavoitteet	15
3 Tarkasteltavat skenaariot	16
4 Teknologioiden nykytila	18
4.1 ERTMS	18
4.2 Radioverkon nykytilan kuvaus	19
4.3 ETCS-tason 1 nykytilan kuvaus	20
4.4 ETCS-tason 2 nykytilan kuvaus	21
4.5 Modernin radiopohjaisen ETCS-järjestelmän nykytilan kuvaus	22
4.6 JKV-järjestelmän nykytilan kuvaus	23
4.7 Liikenteenohjausjärjestelmän (TMS) nykytilan kuvaus	24
4.8 Automaattisten toimintojen nykytilan kuvaus	26
5 Tulokset projektin osa-alueista	28
5.1 Riskienhallinta	28
5.2 Rautatieteknologiat	31
5.2.1 JKV elinkaariselvitys ja RBC-rajapinnat olemassa oleviin asetinlaitteisiin	31
5.2.2 Teknologioiden arviointi	32
5.2.3 Teknologioiden elinkaaren pituus, S-käyrä	34
5.2.4 Markkina-analyysi	37
5.3 Tietoliikenneteknologiat	41
5.3.1 Digiradan tietoliikenne	41
5.3.2 Radioverkon kustannusvaihtoehtojen vertailua	43
5.3.3 Juna-asennukset ja asetinlaittepäivitykset	45
5.3.4 Moderni ETCS-taso 3 tavoitteeksi	46
5.4 Kalusto	47
5.4.1 Tehdyt selvitykset ja niiden tulokset	47
5.4.2 Nykyinen kulunvalvontajärjestelmä kaluston kannalta	48
5.4.3 Rataverkon rajoitteiden käsittely	48

5.4.4	Kalustoa koskevat tiedot	49
5.4.5	Turvallisuushaasteet uusissa ratkaisuissa	49
5.4.6	Kalustoinvestointien huomiointi	50
5.4.7	Edistyneemmän tekniikan kehittymisen seuranta ja osallistuminen.....	50
5.4.8	Kalusto Digiradassa	51
5.5	Juridiikka.....	51
5.5.1	Kansallinen sääntely	52
5.5.2	Yleinen rautajärjestelmän sääntelykehikko ja ERTMS:n käyttöönottoa tukeva sääntely...	54
5.5.3	Euroopan laajuinen liikenneverkko	55
5.5.4	ERA ja osajärjestelmien hyväksynät	55
5.5.5	Kyberturvallisuus ja ERTMS	56
5.5.6	Skenaariot sääntelyn näkökulmasta.....	58
5.5.7	Väyläviraston vai muun tahon toteuttama hankinta	59
5.6	Kansainvälisten hankkeiden kartoitus ja analysointi.....	59
5.6.1	Yhteenveto vierailuista.....	59
5.6.2	Vierailukohteet	60
5.7	Rahoitus- ja kilpailutusmallit.....	65
5.7.1	Hankkeen toteutusmuodon valinta.....	65
5.7.2	Yhteistoiminnallisen DBI- tai yhteistoiminnallisen DBMI-toteutusmuodon eri vaiheet...	67
5.7.3	Hankinta	68
5.7.4	Rahoitusvaihtoehdot.....	69
5.6	Tarveselvitys ja vaikutusarvioinnit.....	71
5.8.1	Ratakapasiteetin pullonkaulat	72
	Tavoitteet liikennetarjonnan kehittämiseksi	73

6	Skenaariot	47
6.1	Moderni radiopohjainen ETCS.....	74
6.1.1	Tilannearvio vuodelle 2030	75
6.1.2	Tilannearvio vuodelle 2050	77
6.2	Skenaario: Yhdistetty ERTMS-ratkaisu tasoille 1 ja 2	77
6.2.1	Tilannearvio vuodelle 2030	78
6.2.2	Tilannearvio vuodelle 2050	80
6.3	Skenaario: JKV:n elinkaaren pidentäminen	81
6.3.1	Tilannearvio vuodelle 2030	83
6.3.2	Tilannearvio vuodelle 2050	83

7	Kustannusanalyysit	85
8	Skenaarioiden tarkastelu tavoitteita vasten	88
8.1	Laadulliset tavoitteet	88
8.2	Kustannustehokkuustavoite	91
8.3	Teknologia tavoitteet	92
9	Digirata-selvityksen suositus tulevaisuuden järjestelmästä	94
10	Jatkotoimenpiteet suositellussa skenaariossa etenemiselle	96
11	Vaikutusten tarkastelu valtakunnalliseen liikennejärjestelmäsuunnitelmaan	99
11.1	Esimerkkitarkastelut	99
11.2	Vaikutukset saavutettavuuteen sekä matkojen ja kuljetusten palvelutasoon	100
11.3	Vaikutukset taloudelliseen kestävyYTEEN	101
11.4	Vaikutukset ekologiseen kestävyYTEEN	102
11.5	Vaikutukset sosiaaliseen kestävyYTEEN	103
11.6	Vaikutukset liikennejärjestelmän turvallisuuteen	103
11.7	Vaikutusten arvioinnin kooste	104
	Liitteet	106

TIIVISTELMÄ

Digirata-selvityksen tehtävänä oli kartoittaa, kuinka nykyisin käytössä olevan junien kulunvalvonnan (JKV) uusiminen tehdään kansallisesti hyödyllisimmällä ja kustannustehokkaimmalla tavalla huomioiden Euroopan unionin sääntely ja tulevaisuuden kehitysnäkömät. Selvitystyö on tehty yhdessä liikenne- ja viestintäministeriön (LVM), Väyläviraston (Väylä), Liikenne- ja viestintäviraston (Traficom), Traffic Management Finland Group Oy:n (TMFG), Finrail Oy:n, VR-Yhtymä Oy:n (VR) ja Helsingin seudun liikenteen (HSL) kanssa. Työ on toteutettu LVM:ön asettaman ohjausryhmän ohjauksessa ja työhön on osallistunut koti- ja ulkomaisia asiantuntijoita.

Olemme rautatiejärjestelmien osalta murroksessa, koska Suomessa käytössä olevan JKV:n luotettava käytettävyys ja taloudellinen käyttöikä on loppumassa niin rata- kuin veturilaitteiden osalta 2020-luvun aikana. Tämän lisäksi Suomen on osana Euroopan yhtenäistä rautatiealuetta huolehdittava säädetyistä velvoitteista yhteentoimivuuden turvaamiseksi muun muassa Euroopan laajuisen liikenneverkon (Trans-European Transport Network, TEN-T) osalta sekä varustamaan rataosat eurooppalaisella raideliikenteen hallintajärjestelmällä (European Rail Traffic Management System, ERTMS), jonka kehitystä EU sääntelee. EU edellyttää myös uusiin ratahankkeisiin, kuten esimerkiksi Tunnin juna ja Suomi-rata, teknologiaksi ERTMS-järjestelmän. Samaan aikaan tiedetään, että tulevaisuudessa tulee lisää pulaa ratakapasiteetista. Teknisiä järjestelmiä parantamalla myös olemassa olevan rataverkon osalta pystytään optimoimaan ratakapasiteetin käyttöä. Investoinnit ovat siis väistämättömiä, jotta junaliikenne voi jatkua edes nykyisen tasoisena Suomessa myös tulevaisuudessa. Investoinnit tulee toteuttaa yhteiskunnan kokonaishyötyjen kannalta parhaalla tavalla.

Digirata-selvitys tutki rautatie- ja tietoliikenneteknologioita sekä sääntelyä ja vaikuttavuutta useista näkökulmista. Selvityksen lopputulos on, että parhaat teknologiset edellytykset korvata JKV-järjestelmä on radioverkkopohjaisella eurooppalaisella junakulunvalvontajärjestelmällä (European Train Control System, ETCS). Tämä tarkoittaa, että Suomen on otettava käyttöön rautateiden seuraavan sukupolven radioverkkojärjestelmä (Future Radio Mobile Communication System, FRMCS). FRMCS pohjautuu 5G-tekнологiaan

ja on tällä hetkellä määrittelyvaiheessa. Tämänhetkinen tilanne tarjoaa Suomelle mahdollisuuden olla teknologinen edelläkävijä ja suunnannäyttävä rautateillä. Muodostunut osaamista voidaan hyödyntää muualla Euroopassa. Itse kulunvalvontajärjestelmän on oltava minimissään ETCS-tason 2 järjestelmä, jossa on jatkuva radioverkkopohjainen kulunvalvonta. ETCS-tason 2 järjestelmiä voidaan hankkia useilta eri toimittajilta jo nykyisin. ETCS-taso 2 on päivitettävissä ETCS-tasolle 3, jonka avulla voidaan rataverkon kapasiteettiominaisuuksia, tasoristeys- ja henkilöturvallisuutta sekä automaatioita viedä tulevaisuudessa parhaalle mahdolliselle tasolle. Nykyistä ja tulevaa rataverkon kapasiteettia on mahdollisuus kasvattaa, koska teknologialla pystytään lyhentämään junavälejä. Ratakapasiteetin lisäys antaa mahdollisuuden lisätä rautatieliikenteen kuljetussuoritteita ja vastata siten mm. ilmastonmuutoksen aiheuttamiin haasteisiin, kun kuljetuksia olisi tarvetta siirtää maanteiltä rautateille. Ratakapasiteetin lisäys ja tehokkaampi käyttö auttaa myös poistamaan rataverkon pullonkauloja, nopeuttaa häiriöistä toipumista, helpottaa aikataulusuunnittelua ja parantaa täsmällisyyttä. Olemassa olevan rataverkon yksiraiteisilla osuuksilla (88% koko rataverkosta) pystytään radioverkkopohjaisella järjestelmällä lisäämään junamääriä joustavasti ja helposti, jos verrataan alemman tason ETCS-vaihtoehtoihin. Lisäksi nykyisellä kaksiraiteisella rataverkolla on paikoin mahdollisuus lisätä junien määrää merkittävästi erityisesti homogeenisessa liikenteessä yhdistämällä järjestelmä uudistus ja muutama tunnistettu edellytysinvestointi. Moderni teknologia varmistaa digitalisaation tarjoamien mahdollisuuksien maksimaalisen hyödynnettävyyden, puhumattakaan hiili-dioksidipäästöjen vähennyspotentiaalista rautatieliikenteen saavutettavuuden ja palvelutason parannuttua. Digirata nostaa osaltaan koko joukkoliikenteen houkuttelevuutta ja siten toimii ilmastonmuutoksen hillitsijänä.

Alustavien kustannusarvioiden mukaan, ETCS-tasojen 1 ja 2 sekä modernin ETCS-tason 3, nykyiset investointikustannukset ovat tasoltaan saman suuruisia, noin 1,7 mrd.€. ETCS-tasoilla 2 ja 3 ratalaitteiden määrä vähenee merkittävästi, kun asetinlaitteet uusitaan samalla investoinnilla. ETCS-tasolla 1 ei ole tarvetta uusien asetinlaitteiden, mutta kun huomioidaan olemassa olevien asetinlaitteiden jatkuva uusimistarve, niin päädytään samaan investointitasoon kaikissa ETCS-tasoissa. Vuosien 2020–2065 välisessä elinkaaritarkastelussa moderni radiopohjainen ETCS ratkaisu on kokonaiskustannustasoltaan 435 milj. € lähintä vertailuvaihtoehtoaan eli ETCS-tasoa 1 edullisempi. Tässäkin tarkastelussa ETCS-tasolla 1 huomioidaan olemassa oleva asetinlaitteiden uusimistarve. Koska kyseessä on erittäin merkittävä investointi, niin rahoitus on oltava varmistettu koko investoinnin ajaksi. Tämä vaatii erityisesti Suomen valtiolta pitkää ja uudentyyppistä sitoutumista rahoitukseen. Jos kulunvalvontajärjestelmää ei uusita yhtenäisesti koko rataverkolla, rautateiden palvelutaso heikkenee ja kokonaiskustannukset kasvavat. Tämä johtuu kokonaisuuden hajautumisesta useaan erilliseen laitteistotyyppiin ja siitä seuraavista erilaisista operointi- ja ylläpitotarpeista. Moderni radiopohjainen ETCS on alusta digitaaliselle älykkäälle rautatieliikenteelle ja ainoa tie tiedon sekä tekoälyn hyödyntämiseen rautateillä tapahtuvan henkilö- ja tavaraliikenteen kehittämisessä.

Suomen JKV-järjestelmän elinkaari on päättymässä ja tarvitsemme ratkaisun korvaavasta järjestelmästä. Euroopassa kehitys keskittyy moderneihin järjestelmiin, jotka mahdollistavat digitalisaatioon perustuvan automaattisen junien operoinnin (ATO). Suomen on päästävä mukaan menossa olevaan kehitykseen. Myös kunnianhimoiset ilmastopäästöjen vähennystavoitteet edellyttävät vaikuttavia toimia raideliikenteen kehittämiseksi. Junaliikenne on ekologis in liikennemuoto päästöillä mitattuna (liikenne kokonaisuutena 21%, junaliikenne alle 1%, markkinaosuus matkustajaliikenteessä 6% ja tavaraliikenteessä 27%) ja auttaa tehokkaasti pääsemään päästövähennystavoitteisiin. Liikennemuotokohtaista kuljettamista varten tarvitaan lisää kapasiteettia sekä toimintavarmuutta. Junaliikenteen lisääminen tarvitsee yhteisiä toimenpiteitä ja Digirata tarjoaa siihen työkalun. Kehittämistoimet edellyttävät kaikkien rautatietojimijoiden tavoitteellista yhteistyötä. Digitaalinen kokonaisuus vaatii saumatonta yhdessä tekemistä kaikkien sidosryhmien kesken – mikään taho ei tee tätä muutosta yksin.

Kulkumuotosiirtymä maanteiltä raiteille on myös EU:n tavoite, joka nostetaan voimakkaasti esille mm. EU:n komission Green Deal -ohjelman tavoitteissa. Ympäristöystävällisenä liikennemuotona raideliikenteen toivotaan pystyvän vastaanottamaan huomattavasti lisää rahtiliikennettä maanteiltä. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi EU:n on otettava raide liikenteen sääntelyssä digiloikka. EU:n komissio onkin yhdessä Euroopan rautatieviraston (European Union Agency for Railways, ERA) kanssa käynnistänyt raideliikenteen säädöksen uudistamisen eli nk. Digital Rail and Green Freight Revision ohjelman.

Digirata-selvityksen osapuolet suosittelevat työn tulosten perusteella JKV-järjestelmän korvaamista modernilla radiopohjaisella ETCS-järjestelmällä, mikä ensimmäisessä vaiheessa tarkoittaa vähintään ETCS-tasoa 2 koko maahan. Tavoitteeksi on asetettu laajemman rakentamisen aloittaminen vuonna 2028. Tämän vuoksi Digirata-selvityksen ohjaus- ja projektiryhmä sekä kaikki tässä työssä mukana olleet organisaatiot suosittavat viipymättä sitä, että Suomen kansallinen ERTMS-täytäntöönpanosuunnitelma päivitetään ja tarvittavat järjestelmien testaukset ja jatkoselvitys käynnistetään.

Lyhenteet ja termit

Lyhenne	Merkitys englanniksi	Merkitys suomeksi
3G		3. sukupolven langaton tiedonsiirtoteknologia
4G		4. sukupolven langaton tiedonsiirtoteknologia
5G		5. sukupolven langaton tiedonsiirtoteknologia
ADIF	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias	Espanjalainen rautatieinfrastruktuuria hallinnoiva valtionyhtiö
ASFA	Anuncio de Señales y Frenado Automático	Espanjassa käytettävä automaattinen junakulunvalvontajärjestelmä
ATO	Automatic train operation	Automaattinen junan operointi
ATP	Automatic train protection	Automaattinen junakulunvalvonta
CAF	Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles	Espanjalainen mm. rautatiekalustoa valmistava yritys
CEF	Connecting Europe Facility	Verkkojen Eurooppa kokonaisuus, jakaantuu kolmeen pääsektoriin: TEN-T (liikenne), TEN-EN (energia) sekä TEN-TELE (tietoliikenne).
CER	Community of European Railways and Infrastructure Companies	Integroitujen rautateiden ja rataverkon haltijoiden rahoittama yhdistys, rautateiden eurooppalainen edustuselin.
CTCS	Chinese train control system	Kiinalainen junakulunvalvontajärjestelmä
CR	Change Request	Muutosehdotus
DB	Design-build	Suunnittele-toteuta
DBM	Design-build-maintenance	Suunnittele-toteuta-kunnossapidä
DBMI	Interoperable Design-build-maintenance	Yhteistoiminnallinen suunnittele-toteuta-kunnossapidä
DBI	Interoperable Design-build	Yhteistoiminnallinen suunnittele-toteuta
ECM	Elettromeccanica CM	Italialainen laite-toimittaja
EIM	European Rail Infrastructure Managers	Rataverkon haltijoiden rahoittama yhdistys, rautateiden eurooppalainen edustuselin.
ERA	European Union Agency for Railways	Euroopan rautatievirasto
ERTMS	European Rail Traffic Management System	Eurooppalainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä sisältäen junakuluvälvönnän ja radioverkon
EU	European Union	Euroopan unioni
EULYNX	European initiative by 13 Infrastructure Managers to standardize interfaces and elements of the signalling systems	Rataverkon haltijoiden projektikonsortio, jonka tavoitteena on standardoida rautatieturvallisuuden rajapintoja ja elementtejä.
ETCS	European train control system	Eurooppalainen junakulunvalvontajärjestelmä
EUG	ERTMS user group	ERTMS-käyttäjien ryhmä
EY	European Community (EC)	Euroopan yhteisö
FRMCS	Future railway mobile communication system	Tulevaisuuden rautatien viestintäjärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System	Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
GoA	Grades of Automation	Automaatioaste
GPS	Global Positioning System	Maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
GSM-R	Global system for mobile communication – Railway	Maailmanlaajuinen matkaviestinjärjestelmä – rautatie
IP	Internet Protocol	Pakettikytkentäisen internetverkon protokolla
JKV	ATP-VR/RHK	Junien kulunvalvonta, perustuu Bombardierin EBICAB 900 teknologiaan
LOC & PAS	Rolling stock subsystem – Locomotives and passenger rolling stock	Liikkuvan kaluston osajärjestelmät – veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto
LTE	Long Term Evolution	Laajakaistaisen internetyhteyden käyttöön suunniteltu langaton tiedonsiirtotekniikka

Lyhenne	Merkitys englanniksi	Merkitys suomeksi
LZB	Linienzugbeeinflussung	Junakulunvalvonnan jatkuvatoiminen järjestelmä, Euroopassa käytössä mm. Espanjassa, Saksassa, Itävallassa
MAL		Helsingin seudun maankäytön, asumisen ja liikenteen suunnitelma
MoU	Memorandum of Understanding	yhteisymmärryspöytäkirja
NIP	National implementation plan	Kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma
NR	New Radio	Radioliityntäteknikka 5G-verkkoon
OCORA	Open CCS Onboard Reference Architecture	Referenssiarkkitehtuuri liikkuvan kaluston ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmälle
OHM	Communication, control and signaling system (CCS)	Ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmä (OHM)
OPE	Operation and traffic management	Käyttötoiminta ja liikenteen hallinta-osajärjestelmä
OSS	ERA One Stop Shop	Euroopan unionin rautatieviraston keskitetty asiointipalvelu
PPP	Public Private Partnership	Elinkaarimalli
RAILI		Rautateiden integroitu liikenneviestintäjärjestelmä
RCA	Reference CCS Architecture	Referenssiarkkitehtuuri ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmälle
RBC	Radio Block Centre	Radiosuojastuskeskus
SaaS	System as a Service	Järjestelmän hankinta palveluna
SIL	Safety Integrity Level	Turvallisuuden eheystaso
STM	Specific transmission module	Sovitustiedonsiirtomoduli
TIMS	Train Integrity Monitoring System	Junan eheydenvalvontajärjestelmä
TMS	Traffic Management system	Liikenteenohjausjärjestelmä
YTE	Technical Specification for Interoperability (TSI)	Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät
TEN-T	Trans-European Transport Network	Euroopan laajuinen liikenneverkko
Virve		Viranomaisverkko
Virve 2.0		Uusi viranomaisverkko

1 Selvityksen tausta

Digirata-selvityksen tehtävänä on selvittää, kuinka nykyisin käytössä olevan Bombardierin EBICAB 900 teknologiaan perustuvan junien kulunvalvonnan (JKV) uusiminen tehdään kansallisesti järkevimmällä tavalla huomioiden tulevaisuuden kehitysnäkymät. Selvityksen lopputuloksena laaditaan ehdotus Suomen kansallisesta modernista eurooppalaisesta raideliikenteen hallintajärjestelmän (European Rail Traffic Management System, ERTMS) implementoinnista, joka sisältää alustavat tekniset ratkaisut, budjettiarvion ja alustavan aikataulun. Ehdotuksen täytäntöönpanosta päätetään erikseen työn valmistuttua.

Selvitystyö on tehty tiiviissä yhteistyössä liikenne- ja viestintäministeriön (LVM), Väyläviraston (Väylä), Liikenne- ja viestintäviraston (Traficom), Traffic Management Finland Group Oy:n (TMFG), Finrail Oy:n (Finrail), VR-Yhtymä Oy:n (VR) ja Helsingin seudun liikenteen (HSL) kanssa. Työ on toteutettu LVM:n asettaman ohjausryhmän ohjauksessa, jonka puheenjohtajana toimi hallitusneuvos Maija Ahokas (LVM) ja jäseninä toimivat liikenneneuvos Maria Rautavirta (LVM), liikenneneuvos Risto Saari (LVM), kehitysjohtaja Raimo Tapio (Väylä), raideliikennejohtaja Markku Nummelin (Väylä), raideliikennejohtaja Yrjö Mäkelä (Traficom), tiiminvetäjä Tomi Anttila (Traficom), toimitusjohtaja Pertti Korhonen (TMFG), toimitusjohtaja Pertti Saarela (Finrail), liikennejohtaja Nina Mähönen (VR), ja osastonjohtaja Tero Anttila (HSL).

Selvitystyön toteutus organisoitiin erillisen hankeorganisaation ja osaprojektien vetäjistä koostuvan projektiryhmän toimesta. Projektiryhmän jäsenet olivat Juha Lehtola (Väylä), Jari Pylvänäinen (Finrail), Timo Nieminen (Finrail), Marjo Brotherus (Finrail), Esko Sandelin (Traficom), Johanna Wallin (HSL) ja Juha Artukka (VR). Hankeorganisaatiossa oli mukana useita asiantuntijoita niin kotimaasta kuin ulkomailta.

2 Selvityksen tavoitteet

Projekti on luonteeltaan tutkimuksellinen selvitys. Selvitystyön on tärkeä vastata asetettuihin tavoitteisiin laadukkaasti. Asetetut tavoitteet ovat muodostuneet alun perin ERTMS-foorumissa (nyk. Digirata-foorumi) esiteltyjen kehityskohtien perusteella ja tavoitteita on selkeytetty, laajennettu sekä tarkennettu selvitysprojektin alussa projektiryhmän toimesta. Asetettujen tavoitteiden mahdollistamista tulevaisuudessa tutkitaan järjestelmä- ja teknisten ominaisuuksien kautta. Joissakin tapauksissa myös muita rautatiejärjestelmään liittyviä kehityskohteita voidaan nostaa esille.

Selvitystyön tavoitteet on jaettu kolmeen eri kategoriaan, joita on tarvittaessa tarkennettu projektin toimesta.

Laadulliset tavoitteet
Kapasiteetin kasvattaminen Etelä-Suomen kaupunkiraitteilla ja pääradalla 20%
Selvitetään automaattisen junien operoinnin (ATO) mahdollisuus kaupunkiradoilla
Mahdollistaa täsmällisyyden 95%+
Toimintavarmuuden parantaminen
Turvallisuustason parantaminen
Positiivisten ympäristövaikutusten ja energiansäästömahdollisuuksien lisääminen
Kompetenssin kehittäminen rautatiealalla
Kustannustehokkuustavoitteet
Kustannusten ja hyötyjen perusteella tehdyt ratkaisuvaihtoehdot
Kokonaiskustannusten teknologinen optimointi Suomi-tasoisesti
Kalustoinvestointien ajoituksen optimointi
Teknologiataavoitteet
Teknologiaaltaan moderni, elinkaarenhallinnan huomioiva ratkaisu.
Mahdollistaa autonomisen liikenteen kaupunkirataosuuksilla, mahdollistaa liikenteenohjauksen optimoinnin tekoälyn avulla
Mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon jalostamisen, jatkuvasti päivittyvät kapasiteetti- ja aikataulutiedot sekä dynaamisen reagoinnin

3 Tarkasteltavat skenaariot

Alustavat skenaariot muodostettiin pohjautuen ERTMS järjestelmään ja eurooppalaisen junakulunvalvontajärjestelmän (European train control system, ETCS) tasoihin 1, 2 ja 3 sekä JKV:an. Alun perin projektisuunnitelmassa asetettiin alustavat 4 eri skenaariota, jotka ovat

- Tulevaisuuden ERTMS-ratkaisu
- ERTMS ETCS-tason 3 ratkaisu
- Yhdistetty ERTMS-ratkaisu ETCS-tasolle 1 ja 2
- JKV-elinkaaren pidentäminen

Selvityksen aikana teknologian maturiteettitarkastelussa selvisi suhteellisen nopeasti, että ETCS-tason 3 tekniset ratkaisut ovat jokseenkin kesken. Tämän vuoksi skenaariotarkastelun kokonaisuutta tarkasteltiin uudelleen.

Selvityksen aikana havaittiin myös, että JKV:n elinkaaren jatkaminen tulee olemaan haastavaa Euroopassa nykyisten vaatimusten valossa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että Euroopan komissio haluaa ohjauksellaan varmistaa jäsenmaiden siirtymisen nopeammin ERTMS-järjestelmien käyttäjiksi. Jotta Suomi voisi jatkaa JKV:n käyttöä edelleen määräämättömän ajan, vaaditaan paljon työtä komission suuntaan. Erityisesti vaatimus koskee uusia ratahankkeita, hankittavaa kalustoa ja niihin liittyviä teknologioita ratkaisuja sekä päivitettävyyttä.

Teknologisesta valmiudesta johtuen ETCS-tason 3 vaihtoehdon tarkastelu yhdistettiin tulevaisuuden ERTMS-ratkaisun kanssa. Sama johtopäätös saatiin tutkimalla erilaisten johtu-
tehtyjen ETCS-tason 3 ratkaisujen toteutuksia. Kaikki vähäiset toteutukset ovat erilaisia, joten standardoinnin voidaan myös todeta olevan jokseenkin kesken. Edellä mainitun vuoksi lopullisten skenaarioiden määrä tiputettiin neljästä kolmeen.

Radiopohjainen ratkaisu on tällä hetkellä modernein toteutuskelpoinen ratkaisu. Kirjoitus-
hetkellä tämä tarkoittaa käytännössä ETCS-tasoa 2. On kuitenkin todettava, että kehityk-
sen kiihtyessä siirtyminen ETCS-tasolta 2 tasoon 3 on huomattavasti helpompaa ja edulli-
sempaa kuin tasolta 1 edettäessä. Moderni radiopohjainen ETCS-skenaario huomioi myös

modernin kehityksen, koska useimmat uudet ratkaisut kehitetään ainoastaan radiopohjaisen järjestelmän pohjalta.

JKV:n elinkaaren pidentämistä haluttiin edelleen tarkastella osana skenaarioita, jotta pysymme realistisesti hahmottamaan järjestelmien hallittavuuden siirryttäessä uudempaan teknologiaan. JKV:n elinkaaren pidentäminen rajattomasti on kuitenkin kirjoitushetkellä epärealistinen ratkaisu, koska kansallisessa järjestelmässä pysyminen ei ole olemassa oleva vaihtoehto yhteisellä eurooppalaisella rautatiealueella.

Lopulliset Digiradassa tarkasteltavat skenaariot ovat

- Moderni radiopohjainen ETCS
- Yhdistetty ERTMS-ratkaisu ETCS-tasolle 1 ja 2
- JKV:n elinkaaren pidentäminen

Vaikutusten ja kustannusten arvioinnissa vertailua on tehty ETCS-tasoa 1 vasten, joka on JKV:a vastaava pistemäinen järjestelmä. Näin saimme arvioinnin perustaksi eurooppalaisittain hyväksyttävän ratkaisun. Arvioinnin pohjana on kaikissa järjestelmissä käytetty kuhunkin tilanteeseen järjestelmän teknisesti optimoitua ratkaisua. Tämä antaa realistisimman kuvan todellisista hyödyistä tarkastelun pohjaksi.

4 Teknologioiden nykytila

Tässä luvussa tehdään katsaus rautatiejärjestelmien teknologioiden nykytilaan yleisesti ja tilanteeseen Suomessa sekä kartoitetaan nähtävissä olevat kehityssuunnat. Historiallinen kehityskulku ei välttämättä kuvaa parhaiten tulevaisuuden kehitystä. Näyttää siltä, että myös rautatiejärjestelmien kehitys on siirtymässä ketterän kehityksen malleihin, mikä nopeuttaa uusien ratkaisujen tuloa markkinoille.

4.1 ERTMS

Eurooppalaisesta raideliikenteen hallintajärjestelmästä odotetaan ratkaisua valtioiden rajat ylittävään liikennöintiin. ERTMS on merkittävin rautatieteknologian kehitystä ohjaavista voimista, ja sitä käytetään rautatiejärjestelmien vaatimuksissa myös Euroopan ulkopuolella.

ERTMS-järjestelmään liittyvät keskustelut aloitettiin jo 1980-luvulla. Tavoitteena oli muun muassa helpottaa valtioiden rajat ylittävää raideliikennettä, tehostaa ratakapasiteetin käyttöä, yhdenmukaistaa liikenteenohjauksen ja turvajärjestelmien toiminnallisia periaatteita sekä tehostaa kilpailua edellä mainittujen järjestelmien hankinnoissa. Euroopan unioni (EU) ja jäsenvaltiot ovat tukeneet standardointia, tekniikan kehitystyötä ja ensimmäisiä toteutushankkeita huomattavilla summilla. Euroopan rautatievirasto (ERA) on asettanut ERTMS:n perusvaatimukset ja määritelmät, valvoen niiden toteuttamista EU:ssa.

ERTMS sisältää virallisesti kaksi pääkomponenttia: ETCS ja rautateiden langattoman matkaviestijärjestelmän (GSM-R). ETCS:llä tarkoitetaan kaikkia niitä toiminnallisia sääntöjä ja teknisiä järjestelmiä, joita tarvitaan junien turvallisessa kulunvalvonnassa. Eurooppalaiset junakulunvalvontajärjestelmät jaetaan kolmelle eri tasolle (1, 2 ja 3). Kahden virallisen komponentin lisäksi kolmas komponentti, jonka merkitys on korostunut entistä enemmän, on operointisäännöt. Valittava kulunvalvontajärjestelmätaso tulee muokkaamaan nykyisiä operointisääntöjä tasosta riippumatta.

4.2 Radioverkon nykytilan kuvaus

Suomessa rautateiden käytössä oleva puheradiojärjestelmä on uudistettu vuosien 2018–2019 aikana. Aiemmin käytössä ollut EU-direktiivien sekä ERA:n määrittelyjen ja vaatimusten mukainen GSM-R-järjestelmä on korvattu viranomaisverkon (Virve) laitteilla ja Android-järjestelmään pohjautuvilla kirjautumissovelluksella varustetuilla matkapuhelimilla. Suomi haki ja sai poikkeuksen (derogaatio) EU:lta, jonka jälkeen GSM-R-verkon korvaaminen oli sallittua Virve-verkon laitteilla. Derogaation periaate on, että Suomi käyttää väliaikaisesti rautateiden järjestelmää, joka poikkeaa ohjaus-, hallinta- ja merkinanto-osajärjestelmän (OHM) yhteentoimivuuden teknisestä eritelmistä (YTE) ja ERA:n vaatimuksista. Kun pian valmistuva laajakaistaisen internetyhteyden käyttöön suunniteltu langattomaan tiedonsiirtotekniikkaan (LTE) perustuva seuraavan sukupolven radioverkkojärjestelmä (Future Radio Mobile Communication System, FRMCS) on saatavissa, Suomi siirtyy käyttämään uutta FRMCS-järjestelmää. FRMCS tulee hyvin todennäköisesti perustumaan teknisesti 5G-standardeille ja on päivitettävissä siitä edelleen 6G-standardiin. FRMCS perustuu Internet Protocol (IP) käyttöön.

Suomessa siirtymä FRMCS-verkkoon on erilainen verrattuna muihin jäsenvaltioihin, koska Suomella ei ole käytössä enää GSM-R-verkkoa. Jos jäsenvaltiot, joilla on käytössään GSM-R, harkitsevat ERTMS-tason 2 käyttöönottoa, joutuvat he useimmiten ensiksi päivittämään GSM-R-verkon. Tämän lisäksi myöhemmin tulee vastaan siirtymä FRMCS-verkkoon GSM-R-verkon teknisen tuen loputtua mahdollisesti vuoteen 2035 mennessä. Näin ollen siirtymä FRMCS-verkkoon Suomessa on helpompi, koska migraatiota GSM-R:n kanssa ei tarvita ja voidaan siirtyä käyttämään uuden teknologian etuja ensimmäisten soveltajien joukossa.

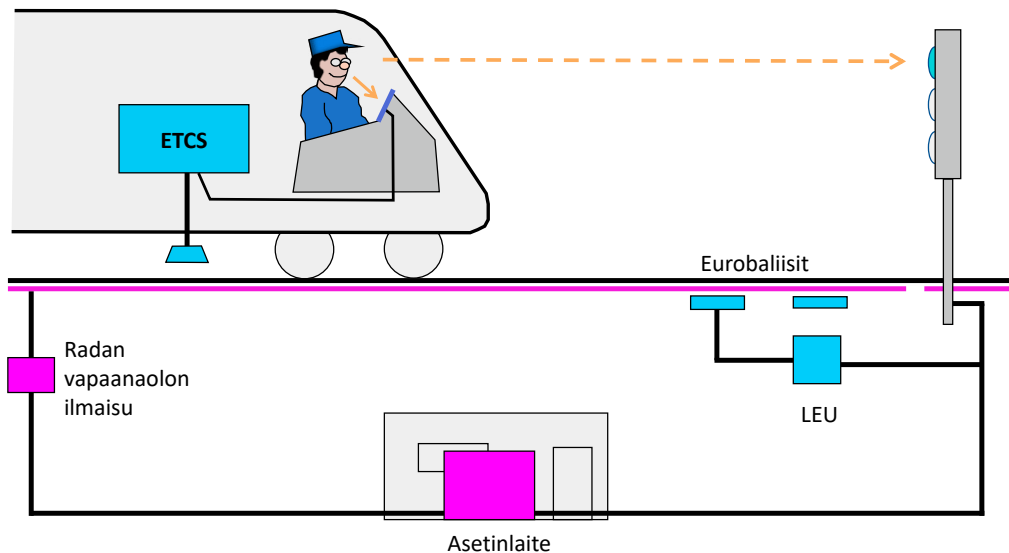


Kuvio 1. Komission FRMCS-etenemissuunnitelma FRMCS-eritelmien ja standardien valmistelulle.

4.3 ETCS-tason 1 nykytilan kuvaus

ETCS-taso 1 tarjoaa nopean tavan siirtyä eurooppalaiseen kulunvalvontaan. ETCS-taso 1 ei kuitenkaan tuo lisähyötyjä operatiiviseen toimintaan tai kapasiteettiin verrattuna JKV:an. Lähtökohtaisesti siirryttäessä ETCS-tasolle 1 vanhentuvaan pistemäiseen kulunvalvontateknologiaan nojaava JKV korvattaisiin toisella pistemäisellä kulunvalvonnalla, jonka toimintaperiaate vastaa hyvin lähelle JKV:n toimintaperiaatetta. Kansallisesti JKV on optimoitu ETCS-tasoa 1 paremmin Suomen tarpeisiin, joten toiminnallisuuksien osalta joudutaisiin Suomessa paikoin tekemään kompromisseja nykytasoon nähden.

Kulunvalvontajärjestelmän muuttumisesta johtuvat lisäinvestoinnit asetinlaitteisiin ja radioverkkoteknologioihin eivät ole välttämättömiä kaikissa tapauksissa uudistettaessa kulunvalvontaa tasolle 1. Olemassa olevat asetinlaitteet vaativat kuitenkin mittavia investointeja, jotta nykyisen järjestelmäkannan kanssa voidaan jatkaa operointia. ETCS-tason 1 järjestelmiä on toimitettu eri puolille Eurooppaa, mutta viime vuosina uusien järjestelmien tilaukset ovat painottuneet pääasiassa ETCS-tasolle 2. Keskustelua ETCS-tason 1 kehityksen lopettamisesta on jo avattu. On todennäköistä, että tason 1 eritelmät ja standardit jäädytetään seuraavassa OHM YTE:n versiossa vuonna 2022. Tämä tarkoittaa sitä, että tason 1 ominaisuuksia ei enää kehitetä tai lisätä EU-tasolla eikä kansallisesti. Turvallisuuteen liittyviä parannuksia tehdään kuitenkin tulevaisuudessakin, jäädyttämisestä riippumatta.



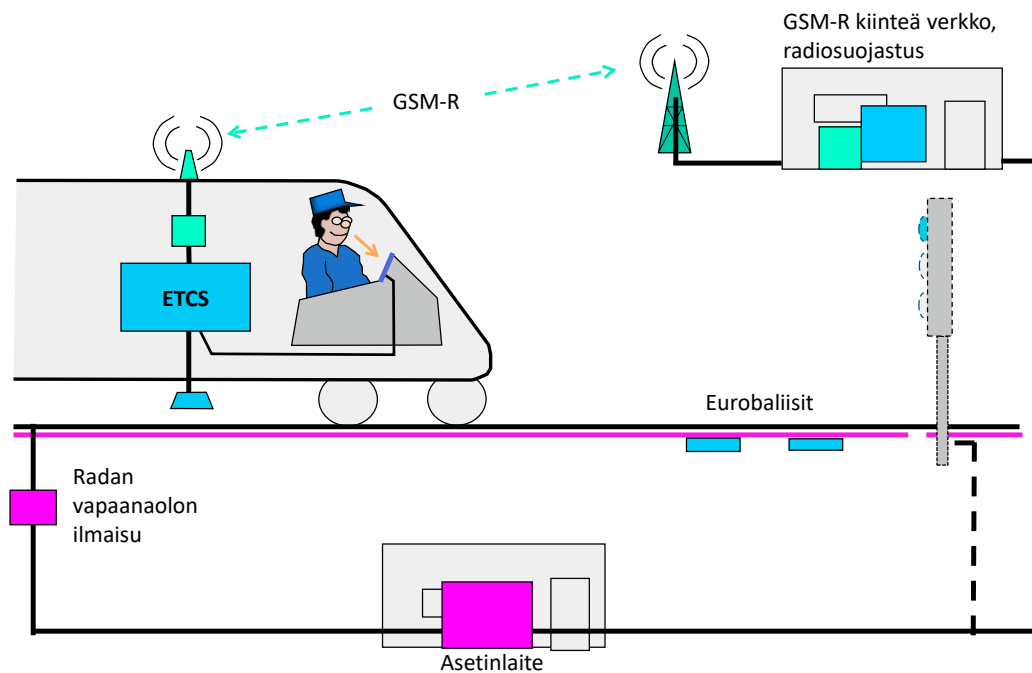
Kuvio 2. ETCS-tason 1 toimintaperiaate.

Kaikki uusi kalusto on nykyisten vaatimusten mukaan tilattava ERTMS-varusteltuna. Tämän vuoksi kaikki viimeaikaiset hankinnat ovatkin sisältäneet ETCS-tason 1 veturilaitteiston sekä sovitustiedonsiirtomoduulin (STM), jonka avulla uutta kalustoa voidaan liikennöidä nykyrataverkolla.

Suomen nykyinen kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma (NIP) on kirjoitettu tavalla, että koko rataverkon junakulunvalvonnan toteutus olisi ERTMS/ETCS-tasolle 1.

4.4 ETCS-tason 2 nykytilan kuvaus

ETCS-tasolla 2 kulunvalvonnan toimintaperiaate muuttuu jatkuvatoimiseksi. Tasolla 2 kulkuluvat junille toimitetaan radioverkon kautta, jolloin järjestelmä mahdollistaa junien liikennöinnin pistemäisiä kulunvalvontajärjestelmiä sujuvammin. Kulkulupien toimittamiseen tarvitaan turvalaitejärjestelmän ja junien välille radiokommunikaation mahdollistava radiosuojastuskeskus (Radio Block Centre, RBC). Jatkuvatoiminen kulunvalvonta pystyy tarjoamaan pistemäiseen kulunvalvontaan verrattuna paremman kapasiteetin ja kulkutiheyden junien saadessa jatkuvatoimisesti tietoa kulkuluvastaan. Siirryttäessä tasolle 2 tulee mahdollisuus luopua näkyvistä opastimista, mikä säästää radan varressa tehtävää huolto- ja asennustyötä. ERTMS ETCS-tason 2 teknologia perustuu tällä hetkellä vanhentuvan teknologian GSM-R-verkkoon, joka ei ole Suomessa enää käytössä. Radioteknologia kehittyy kuitenkin nopeasti ja uutta radioverkkostandardia valmistellaan parhaillaan. Uutta raideliikenteeseen suunnattua radioverkon FRMCS-standardia joudutaan kuitenkin odottamaan vielä vuosia.



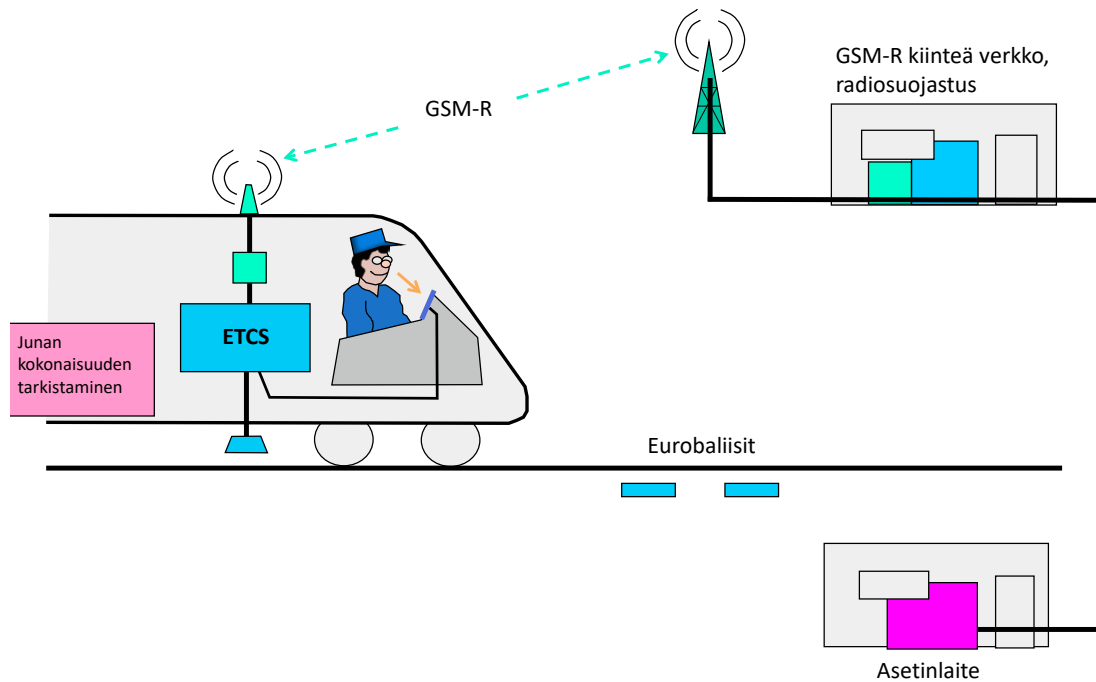
Kuvio 3. ETCS-tason 2 toimintaperiaate.

Tällä hetkellä uudet tilaukset ERTMS-järjestelmiin liittyen ovat Euroopassa painottuneet pääosin ETCS-tasolle 2, minkä perusteella ETCS-tason 2 voidaan todeta olevan nykyisellään halutuin teknologiaratkaisu rataverkon järjestelmien modernisointiin.

Nykyisin myös kaikki uusi kalusto tilataan ERTMS-varusteltuna ETCS-tasolle 1, ja saman peruslaitteiston vuoksi uusimman kaluston päivittäminen ETCS-tasolle 2 on suhteellisen helppoa teknisesti, eikä todennäköisesti vaadi mittavia investointeja.

4.5 Modernin radiopohjaisen ETCS-järjestelmän nykytilan kuvaus

Moderni radiopohjainen ETCS tarkoittaa vuoden 2020 teknologioissa ETCS-tason 2 järjestelmäratkaisua sekä kehittyneitä liikenteenohjausjärjestelmiä ja valmiutta tulevaisuuden päivityksiin. On kuitenkin huomioitava, että ETCS-tason 2 järjestelmät ovat perusperiaatteiltaan samanlaisia tason 3 kanssa, minkä vuoksi siirtymä tasojen välillä on suhteellisen pieni. ETCS-tasolla 3 voidaan vähentää oleellisesti junan tunnistukseen liittyviä ratalaitteita sekä saavuttaa tasoa 2 parempia toiminnallisuuksia. Modernein mahdollinen järjestelmä takaa uusien innovaatioiden hyödyntämisen sijainnista riippumatta. Näin voidaan helpommin tehdä rataverkolla optimointia kustannustehokkaasti tarvittaviin paikkoihin.

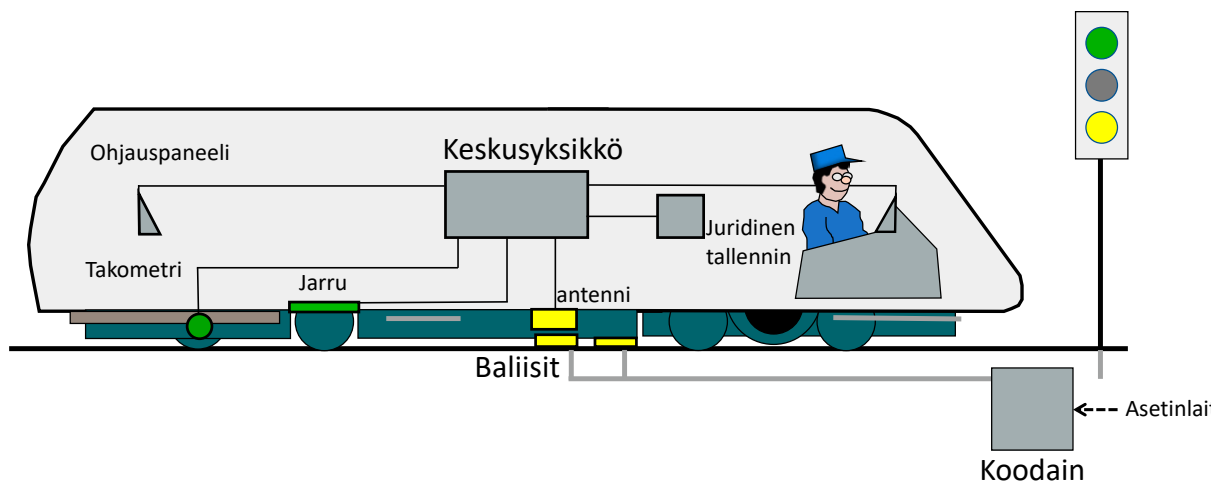


Kuvio 4. ETCS-tason 3 toimintaperiaate.

Uusimmat eurooppalaiset kehitysskenaariot perustuvat radioverkkopohjaisille ETCS-järjestelmille, joiden päälle rakennetaan digitalisaation tarjoamia uusia toimintoja. Esimerkiksi Euroopassa kehittyvä referenssiarkkitehtuuri ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmälle (Reference CCS Architecture, RCA) on hyvä esimerkki kehityksestä. RCA käyttää pohjana ETCS-järjestelmää ja sisältää useita alajärjestelmiä, mukaan lukien muun muassa asetinlaitteet ja ATO. RCA:n tavoitteena on saada kustannustehokkuutta hankintoihin ja maksimoida konseptista saatavia hyötyjä. ERA on mahdollisesti sisällyttämässä RCA-teknologiaa osaksi ERTMS:n toteutusta. Komission ja toimijoiden puoliksi rahoittama Shift2Rail, joka on rautatiesektorin tutkimustoimintaan tarkoitettu yhteisyritys, on aloittanut ERA:n myötävaikutuksella toiminallisen arkkitehtuurin Functional System Architecture -projektin. Tämä voi mahdollistaa RCA-teknologian tuomisen osaksi OHM YTE:ä vuonna 2022. Tulevaisuuden muita selkeitä kehityskohteita tällä hetkellä ovat paikannusteknologiat, kuten satelliittipaikannus, automaattinen junien operointi, energiatehokkuus ja digitalisaation lisääminen ohjauksessa.

Modernin radiopohjaisen ETCS:n vaatimaa FRMCS-järjestelmää ei kuitenkaan voida vielä tänä päivänä ottaa käyttöön, sillä FRMCS:n säädökset, eritelmät ja standardit eivät ole vielä valmiina millekään ERTMS-tasolle. Tarpeellisen säädöspohjan arvioidaan olevan valmis vuonna 2022. Kaupallisten tuotteiden markkinoille tulemiseen arvioidaan menevän lisäksi ainakin 2–3 vuotta.

4.6 JKV-järjestelmän nykytilan kuvaus



Kuvio 5. Kuva 5. JKV-järjestelmä koostuu rata- ja veturilaitteista.

Tällä hetkellä Suomen lähes koko junaliikenteen käyttämä rataverkko on varustettu junien kulunvalvonnan ratalaitteilla, joka vastaa toimintaperiaatteistaan ETCS-tasoa 1. Niin sanottua JKV-rataa on yhteensä noin 4800 km, jolla on noin 26100 JKV-baliisia ja noin 5200 JKV:llä valvottua opastinta. Junaliikenteestä noin 98 % liikennöidään JKV-järjestelmällä varustetuilla rataosuuksilla.

Bombardier Transportationin (jatkossa Bombardier) kanssa vuonna 2007 tehdyn yhteisymmärryspöytäkirjan (Memorandum of Understanding, MoU) perusteella Bombardier on lupautunut toimittamaan JKV-järjestelmän nykyteknologian veturilaitteita vuoteen 2025 saakka. Tämän jälkeen Bombardier ei voi taata komponenttien korjaamista mm. osien saatavuuden heikkenemisen takia. Myös osaamisen ylläpito saattaa olla haastavaa.

Ratalaitteiden saatavuus on taattu vuoden 2026 loppuun Väylän voimassa olevan hankintasopimuksen mukaan. Ratalaitteiden osalta saatavuus ulottuu käytännössä pidemmälle, koska Bombardier on tuomassa markkinoille uuden LEU2000-koodaimen, jolla voidaan korvata JKV-järjestelmän alkuperäiset koodaimet. Bombardier lupaa yleisesti taata tuotteidensa elinkaaren 25 vuoden ajan tuotteen markkinoille tulosta, joten JKV-järjestelmän koodainten elinkaaren/saatavuuden voidaan katsoa ulottuvan minimissään ainakin vuoteen 2035.

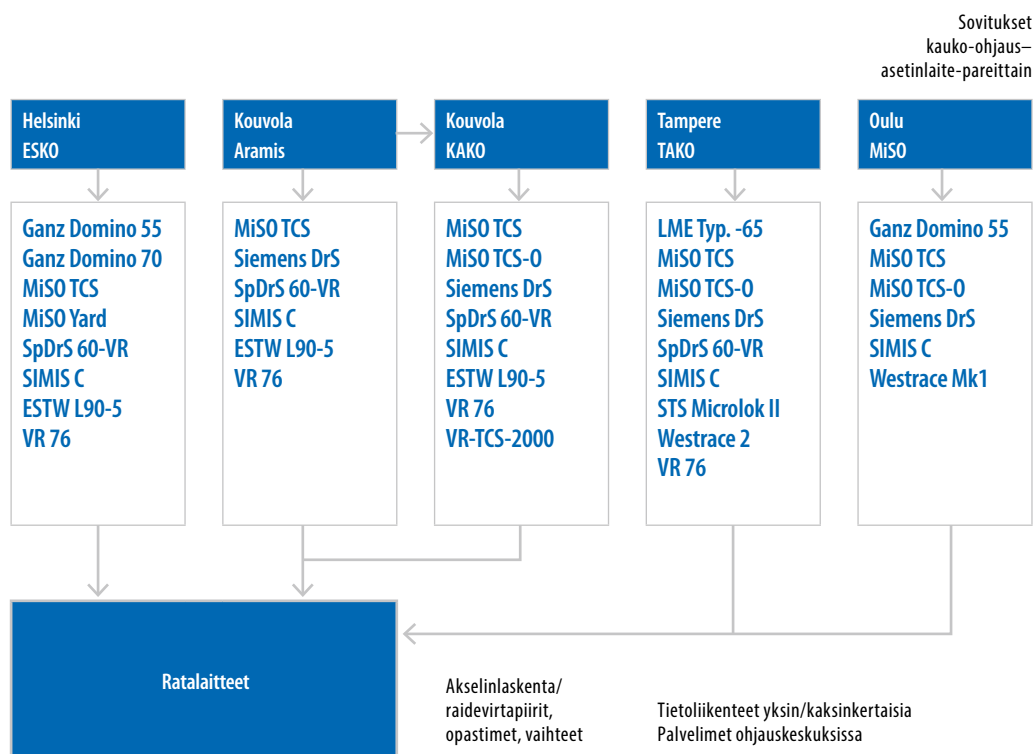
Baliisien osalta Bombardierilla on myös meneillään niin sanottu Smart balise -kehityshanke. Smart balise on sarjabaliisi, jolla voidaan välittää veturiin joko JKV-järjestelmän tai ERTMS-järjestelmän sanomia. Tuotteen on luvattu olevan markkinoilla vuonna 2021, joten JKV-yhteensopivien baliisien saatavuuden voidaan katsoa ulottuvan 2040-luvulle saakka. Myös Suomen rataverkolla käytössä olevan keskitetyn JKV-ohjausjärjestelmän (silmukkatietokone), joka ei perustu koodaimiin, korvaava tuote on suunnitteilla.

Tällä hetkellä työryhmällä on näkemys, että veturilaitteiden saatavuus luo haasteen tulevaisuudessa ja määrittää korvaavan järjestelmän aikataulun. Samaan aikaan vanhan järjestelmän yhtiökohtainen riski tuoteperheen elinkaaren päättämisestä kasvaa. Rautatiealalla on tapahtunut viime aikoina järjestelmätoimittajien fuusioitumista. Myös Bombardier Transportation on valmisteilla olevan yrityskaupan kohteena ja liiketoimintojen uudelleen järjestelyjen kautta fuusioitumista toiseen yhtiöön voidaan pitää riskinä laitteiden saatavuuden kannalta.

4.7 Liikenteenohjausjärjestelmän (TMS) nykytilan kuvaus

Nykyiset kauko-ohjausjärjestelmät tarjoavat käyttöliittymän kulkuteiden tekemiseen sekä rataverkon laitteiden muuhun kauko-ohjaukseen ja valvontaan sekä toisaalta sovituksen monenkirjavaan asetinlaitekantaan. Asetinlaitteiden toiminallisuudet eroavat toisistaan, monimutkaista liikenteenohjauksen työtä erityisesti vikatilanteissa ja toimintaprosessien tehostamisessa. Turvalaitteiden olisikin tarjottava yksi ja yhtenäinen rajapinta liikenteenhallinnan järjestelmille. Turvalaitteiden on lisäksi tuotettava hyvin yksityiskohtaista tietoa ratalaitteista ennakoivan kunnossapidon mahdollistamiseksi. Ennakoiva kunnossapito voi hyödyntää tietomassaa koneoppimismallien pohjaksi. Ratatyön suojaaminen on myös voitava tehdä samalla varmuudella kuin junakulkuteiden. Kaikki turvallisuuskriittinen toiminta on rakennettava turvalaitejärjestelmään turvallisuuden eheystasovaatimuksen (SIL) mukaisesti.

Kuvio 6. Nykyiset kauko-ohjausjärjestelmät sekä niihin liitetyt asetinlaitetyypit.



Koko rataverkon optimaalisen tehokkuuden saavuttamiseksi on tiedettävä, suunniteltava ja optimoitava koko rataverkon junaliikenne vaihtoyhteyksineen sekä kalusto- ja henkilöstökiertoineen. Tällä hetkellä kehityksessä olevat TMS-järjestelmän uudet osat on suunniteltu tällaisen toiminnan pohjaksi. Kehitettävät osat ovat rataverkon laajuinen ennustus-,

optimointi- ja päätöksentekotukijärjestelmä sekä rata- ja ratapihakapasiteetin hallintajärjestelmä. Myös operaattorin ajamista ohjeistava järjestelmä integroidaan osaan kalustoa vuoteen 2021 mennessä energiatehokkuuden optimoimiseksi.

Optimaalisen ratakapasiteetin, täsmällisen liikenteen sekä energiatehokkuuden saavuttamiseksi liikenne on tarpeen suunnitella ja optimoida koko rataverkon tasolla, myös operatiivisissa tilanteissa. Tekniset järjestelmät pystyvät auttamaan tässä todella paljon, joten suurimmaksi haasteeksi muodostuu optimaalisen liikennetavan määrittely. Tietojärjestelmät osaavat laskea ja punnita vaihtoehtoja, kunhan määrittelyt ovat onnistuneet.

Muut liikenteenhallintaan liittyvät järjestelmät ovat elinkaarensa kannalta selvästi pidemmällä. Ne on aikanaan tuotettu räätälöityinä järjestelminä, joten niiden toimittajat eivät tee mitään muuta kuin tilaajan määrittelyjen mukaista kehitystyötä. Ohjelmistojen alkuperäisessä kehityksessä ei ole otettu huomioon tulevaisuuden tuomia muutoksia ja siksi on todennäköistä, että niiden osalta kannattaa aloittaa uusi kehityssykli. Tämä on arvioitava järjestelmäkohtaisesti uusia tarpeita ja mahdollisuuksia vasten.

Tulevaisuuden tarpeita varten äärimmäisen keskeistä on muodostaa tarkka, ajantasainen ja eheä digitaalinen malli ratainfrastrukturalle eli ratainfrastruktuurin digitaalinen kaksonen. Mallin on vastattava ehdottoman tarkasti todellista rataverkkoa ja oltava tarpeeksi tarkka liikenteen simulointiin. Saman digitaalisen mallin on oltava kaikkien järjestelmien toiminnan pohjana, jotta eroavuuksista ei synny turvallisuus- tai liikennehaittariskejä. Tuleva ERTMS-käyttöönotto muodostaa alustan uuden käyttötoiminnan hallinnan ja ylläpidon järjestelmille. Tämän vuoksi todennäköisesti kustannustehokkainta Suomessa on rakentaa kokonaan uusi TMS-järjestelmä tulevaisuuden tarpeisiin.

4.8 Automaattisten toimintojen nykytilan kuvaus

Raideliikenteen automaattitasoja kuvataan viidellä eri automaation asteella (Grades of Automation, GoA). Ensimmäinen automaation aste on nolla, jolla ei ole minkäänlaisia automaattisia toimintoja. Muut automaation asteet esitetään kaluston automaatioasteiden avulla. Automatisointi alkaa avustetusta liikkumisesta GoA-tasoilla 1–2 ja siirtyy GoA-tasoilla 3–4 automaattiseen liikkumiseen. Vuonna 2022 tuleva OHM YTE- sääntelykokonaisuus määrittelee rautateille GoA-tasot 1 ja 2. Metroliikenteessä on yleisimmin käytössä automaation aste 2, mutta myös GoA-tasoa 3 ja 4 on rakennettu laajalti. Rautatieliikenteessä normaali automaation aste on 1, joka on käytössä myös Suomessa. Automaation asteen 2 järjestelmiä on jo rakennettu rautateille ja nykyään tähdätään myös rautateillä entistä korkeammille automaation asteille. Korkeampien automaation asteiden nähdään tuovan selkeitä hyötyjä mm. kapasiteetin ja energiatehokkuuden kautta.

Taulukko 1. Automaation asteet.

Automaation aste	Junan operointi	Liikkeelle lähtö	Pysähtyminen	Ovien hallinta	Operointi häiriön sattuessa
GoA 1	ATP (kulunvalvonta) ja kuljettaja	Kuljettaja	Kuljettaja	Kuljettaja	Kuljettaja
GoA 2	ATP ja ATO kuljettajan kanssa	Automaatio	Automaatio	Kuljettaja	Kuljettaja
GoA 3	Ilman kuljettajaa	Automaatio	Automaatio	Junahenkilöstö	Junahenkilöstö
GoA 4	Ilman henkilöstöä	Automaatio	Automaatio	Automaatio	Automaatio

5 Tulokset projektin osa-alueista

Tässä luvussa esitetään alla mainittujen projektin työryhmien eli osaprojektien selvitysten tiivistelmät. Tässä dokumentissa ei ole erillistä lähdeluetteloja, ja yksityiskohtaisemmat tulokset ovat luettavissa laajemmista osaprojektien raporteista.

5.1 Riskienhallinta

Digiradan riskienhallinnan tavoitteena on ollut tukea selvitysprojektin onnistumista sekä selvitysprojektin toteuttamiseen että hankkeen toteuttamiseen liittyvien riskien ja mahdollisuuksien tunnistamisella. Riskienhallinnalla on pyritty ohjaamaan osaltaan osaprojektien työtä, jotta toteutukseen vaikuttavat merkittävät riskit pystyttäisiin huomioimaan jo tässä selvitysvaiheessa. Mahdollisuuksia on käsitelty osaprojektitasolla tarvittavassa laajuudessa tässä vaiheessa, eikä niitä ole yleisesti tai erikseen arvioitu, sillä niiden toteutuksesta pystytään arvioimaan paremmin hankkeen seuraavissa vaiheissa.

Riskeille, jotka liittyvät koko hankkeen toteutukseen ja ovat vaikutuksiltaan merkittävät, on arvioitu myös kustannusvaikutukset hankkeen kustannuksiin nähden. Kustannusvaikutukset sekä riskien suuruudet on arvioitu riskienhallintatyön lopussa.

Riskityöpajoja on järjestetty yhteensä 13 kpl sekä osaprojekteittain että yhteisesti kaikkien osaprojektien kesken. Lisäksi asioita on käsitelty erillisillä haastatteluilla tarpeen mukaan.

Selvitysprojektin laatimiseen liittyvät riskit on pystytty pitämään hyvin hallinnassa. Lähes kaikki riskit liittyvät Digirata-hankkeen varsinaiseen toteutukseen. Selvitystyöhön liittyvät oleelliset epävarmuustekijät olivat:

- Kustannustiedon saatavuus vertailukelpoisina tasoina on hankalaa, ja kustannustiedon luotettavuus sekä soveltamismahdollisuudet ovat epävarmoja. Alustavan kustannusarvioinnin vaihtoehdot ovat kuitenkin linjassa toisiinsa nähden, joten riski koskee

kustannusarvioita kokonaisuutena. Kyseistä kustannustietoa käytetään kuitenkin pohjana Digirata-hankkeen kustannusten arvioinnissa, joten pienillä muutoksilla voi olla hankkeen kustannusarvioon isot vaikutukset.

- Kaupallisten radioverkkojen hyödyntämisestä ei ole varmuutta. Tällöin valitun ratkaisun toteutusmahdollisuudet saattavat muuttua merkittävästi vaikuttaen niin teknisiin ratkaisuihin, kustannuksiin kuin aikatauluunkin.

Merkittävimmät riskit Digirata-hankkeen varsinaiseen toteutukseen liittyen ovat tiivistetynä seuraavat:

- Henkilöresurssien riittävyys on tulevaisuudessa haasteellista niin Suomessa kuin kansainvälisten laitetoimittajien osalta. Hanke on kokoluokassaan todella paljon nykyisiä turvalaitehankkeita suurempi, joten turvalaiteosaamista tarvitaan enemmän. Osaajat ovat nykyisinkin harvassa, koska rautatiealalle ei ole Suomessa koulutusta. Tekijöitä tarvitaan merkittävästi enemmän niin suunnitteluun ja rakentamiseen kuin asiakkaan projektiorganisaation puolelle. Haasteita tuo lisäksi Suomen nykyisen turvalaitejärjestelmän monimuotoinen tekniikka, siihen liittyvän osaamisen pullonkaulat sekä osaajien eläköityminen. Osaamisen kehittämisen suunnitelma on laadittava kokonaisuutta ajatellen, mikä edellyttää koko toimijaketän tahtotilaa kehittää osaamista.
- Maakohtaiset erityispiirteet ja Suomen erityisolosuhteet on pyrittävä ottamaan toiminnallisissa vaatimuksissa mahdollisimman hyvin huomioon, mutta EU-tason vaatimusmäärittelyt tuovat tähän omat haasteensa. Esimerkiksi junakohtaisia nopeusrajoituksia ei ole mahdollista huomioida täysimääräisesti, vaan niihin pitäisi soveltaa järjestelmän muita ominaisuuksia, jolloin tilanne heikkenee nykyisestä. Lähtötilanne on Suomessa kehittyneempi kuin monessa muussa Euroopan maassa, minkä vuoksi myös vaatimustaso olisi kovempi. Asian eteenpäin vieminen EU-tasolla edellyttää edunvalvontaa monella tasolla.
- ETCS:n minimi hyväksytty jarrupainoprosenttivaatimus 30% rajoittaa tai jopa estää täyteen kuormattujen venäläistavarajunien liikenteen. Tämä saattaa aiheuttaa liikenteelle haasteita, kun kapasiteetti on joillakin rataosuuksilla jo täydessä käytössä.
- Käyttöänoton vaiheistusta suunnitellessa on tehtävä oletuksia monista asioista, kuten investointiaikataulusta tai nykyisen turvalaitejärjestelmän elinkaaresta. Mikäli hankkeen käyttöänoton aikataulu

joiltakin osin muuttuu hankkeen aikana, mikä on näin isossa hankkeessa odotettavissa, on pystyttävä sopeutumaan muutoksiin ja muutettava tarvittaessa käyttöönoton vaiheistusta. Näin voisi käydä esimerkiksi silloin, jos jokin turvalaitejärjestelmä on korvattava suunniteltua aikaisemmin uudella tai jonkin osa-alueen kustannukset nousevat merkittävästi, mikä vaikuttaisi saatavilla olevan investointirahoituksen aikatauluun. Käyttöönoton vaiheistuksella on vaikutusta hankkeen kokonaisaikatauluun, kustannuksiin sekä rautatieyritysten kalustovalintoihin.

- Digirata-hankkeen toteutusaikataulun venyminen on merkittävä riski. Toteutusaikatauluun voi vaikuttaa esimerkiksi se, etteivät laite-toimittajat pysty tarjoamaan halutussa aikataulussa tai jokin hankkeen vaiheistuksessa tai lähtöoletuksissa epäonnistuu.
- Teknisten ratkaisujen kypsyys ja hyväksyttävyyden ovat vielä osittain epävarmalla pohjalla, kun tehdään päätöksiä suurista linjoista. Koke-muksia kaikista uusista teknologioista tai rajapintaratkaisuksista ei ole, minkä lisäksi ratkaisujen hyväksyttävyyden käsittelyyn on EU-tasolla varattava kunnolla aikaa.

Merkittävimmät mahdollisuudet puolestaan liittyvät Digirata-hankkeen toteutuksen jälkeiseen aikaan nykytilaan verrattuna. Mahdollisuudet on osittain kuvattu myös hankkeen tavoitteissa, kuten kapasiteetin kasvattaminen, häiriöiden väheneminen ja kustannus-tehokkuus. Mahdollisuuksien onnistumista pystytään paremmin arvioimaan hankkeen toteutuksen myöhemmissä vaiheissa, jolloin suunnittelun yksityiskohdat tarkentuvat.

Merkittävimmät tunnistetut riskin kustannusvaikutukset ovat hankkeen toteutusaikataulun viivästyminen syystä riippumatta, osaamisen puute, vanhojen järjestelmien ylläpito-kustannukset sekä teknologioihin liittyvät riskit. Viivästymiskustannuksen arviointi tehtiin asiantuntija-arvioina, jota voidaan pitää enintään suuntaa antavana.

- Aikataulun viivästyminen aiheuttaa merkittäviä kustannuksia viivästy-misen syistä riippumatta (n. 3 % / vuosi eli n. 40 M€ / vuosi projek-tin viivästymisestä).
- Resurssien ja osaamisen puute saattaa myös viivästyttää hankkeen toteuttamista merkittävästi (n. 1 % eli n. 13 M€). Tämän lisäksi on lisävaikutuksia välillisinä riskeinä esimerkiksi aikatauluun.
- JKV:n ylläpito tulee loppuvaiheessa maksamaan paljon (n. 5–15 M€ / vuosi eli n. 1 % / vuosi).
- Jos kaupallisia verkkoja ei hyväksytä ERTMS:n käyttöön, on raken-nettava uusi radioverkko, jonka kustannukset olisivat noin 150 M€ (n. 10–15 % hankkeen investointikustannuksista).

Erityisen tärkeää jatkoon kannalta on, että osallistuvat organisaatiot sitoutuvat yhteiseen tavoitteeseen pitkälle tulevaisuuteen. Ajan kuluessa on tavoitetta hyvä tarkastella uudelleen ja tarvittaessa tarkentaa tarpeellisia osa-alueita. Selvityksen riskienhallinnan laajempi kuvaus on esitelty riskienhallinnan raportissa.

5.2 Rautatieteknologiat

Tässä kappaleessa esitetään Rautatieteknologiat-osaprojektin selvitysten tulokset tiivistysti. Tulosten laajempi esittely on tehty työryhmän erillisessä raportissa.

5.2.1 JKV elinkaariselvitys ja RBC-rajapinnat olemassa oleviin asetinlaitteisiin

Tällä hetkellä Suomen lähes koko junaliikenteen käyttämä rataverkko on varustettu JKV:n ratalaitteilla, jotka varmistavat junaliikenteen turvallisuutta. JKV:n nykyistä tilannekuvaa on kuvattu aiemmin tässä raportissa.

ETCS-tason 2 toteutuksessa kustannusten kannalta avainkysymys on asetinlaitteiden mahdollinen uusimistarve. Useissa viimeisimmissä eurooppalaisissa ETCS-tason 2 rakentamispäätöksissä on mukana asetinlaitteiden uusinta. Tähän ratkaisuun ovat päätyneet mm. Tanska ja viimeisimpänä Norja. Päätökseen on näissä maissa vaikuttanut asetinlaitteiden elinkaaren luonnollinen päättymisen, joten asetinlaitteiden korvausinvestointi on hyvin perusteltu.

ETCS-tason 2 liityntä vanhoihin asetinlaitteisiin on teknisesti mahdollista, ja joissakin maissa on strategisena valintana vanhojen asetinlaitteiden hyödyntäminen ainakin osittain, mikäli niillä on jäljellä olevaa elinkaarta riittävästi. Tällainen maa on esimerkiksi Itä-valta. On myös löydettävissä analyysejä, joiden mukaan kustannukset ja haitat ovat liian korkeat vanhojen asetinlaitteiden hyödyntämisessä ETCS-tasolla 2. Jos RBC liitetään vanhoihin asetinlaitteisiin, ei välttämättä saada ETCS-tason 2 kaikkia toiminnallisia hyötyjä ratakapasiteetin kasvuun liittyen.

Teknisenä ratkaisuna RBC:n releasetinlaiteliityntään on ns. liityntätietokone, jollainen on käytössä Suomessakin jo nykyisessä JKV:ssa Spurplan-releasetinlaitteissa. SIMIS-C-asetinlaitteissa käytössä oleva JKV-liityntätapa silmukkatietokoneiden avulla on myös muokattavissa RBC-liityntään toteutustavaksi. On kuitenkin muistettava, että liityntätietokoneet lisäävät järjestelmän komponenttien määrää lisäten potentiaalisia vikapaikkoja. Suomen rataverkolla oleviin Siemensin, Thalesin ja Mipron uusiin asetinlaitteisiin RBC-liityntä ja

tarvittavan ohjelmistokehityksen työkalut sekä osaaminen niiden käyttöön lienee saatavissa suhteellisen helposti, koska nämä tuotteet ovat vasta elinkaarensa alkupäässä.

RBC:n liityntöjen rakentaminen käytössä oleviin asetinlaitteisiin on siis teknisesti mahdollista ainakin uusimpien tietokoneasetinlaitteiden osalta. Käytännössä tämä tarkoittaa usein asetinlaitteen kaltaisen liityntätietokoneen toteutusta asetinlaitteen ja RBC:n välille. Tapauskohtaisesti on harkittava, saavutetaanko ETCS-tason 2 mahdollistamia etuja vanhan asetinlaitteen hyödyntämisellä, kun käytetään olemassa olevan asetinlaitteen mukaisia raideosuuksia ja kulkutietoiminnallisuuksia. RBC:n liityntöjen rakentamisen mahdollisuus tulisi harkita tapauskohtaisesti analysoiden toiminnon vaikutusta kapasiteettiin kokonaistaloudellinen näkökulma huomioiden.

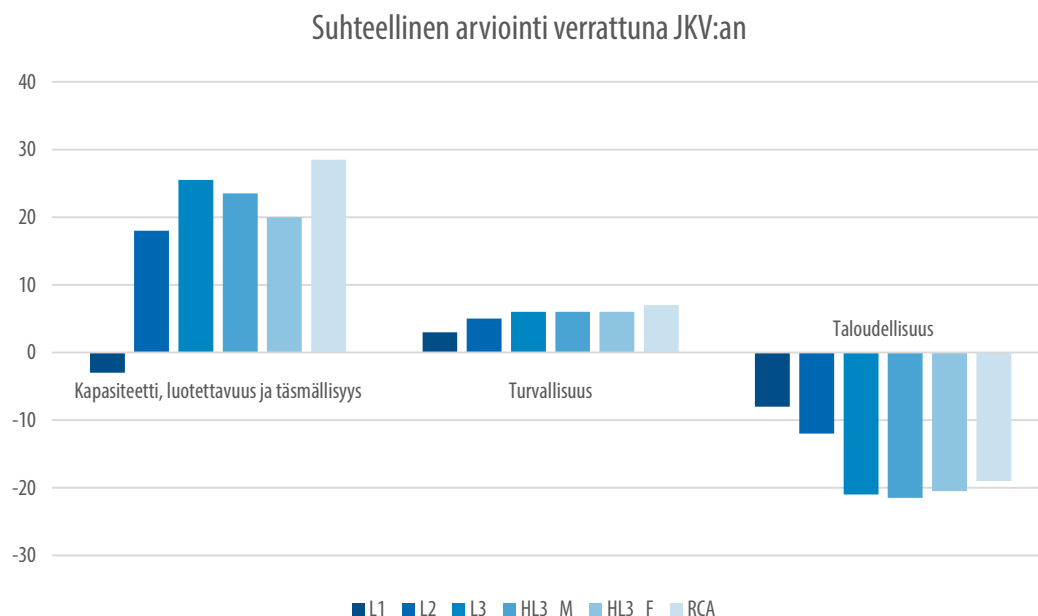
5.2.2 Teknologioiden arviointi

Rautatieteknologioiden (ETCS-tasot 1, 2, 3, 3 hybrid ja RCA) arviointia on tehty asiantuntijatyönä työpajamenettelynä. Työssä verrattiin arvioitavia teknologioita tällä hetkellä Suomessa käytössä olevaan JKV:an. Arvioinnin lähtökohtana käytettiin Digirata-hankkeelle asetettujen tavoitteiden arviointikategorioita. Tulosten paremman luettavuuden ja luotettavuuden kannalta päätettiin analyysin loppuvaiheessa rajata lopullinen arviointi koskemaan tavoitteita:

- kapasiteetti, luotettavuus ja täsmällisyys
- turvallisuus sekä
- taloudellisuus

Teknisen asiantuntijaryhmän osaaminen kohdistui edellä mainittuihin tavoitteisiin, muiden tavoitteiden ollessa tarveselvitys-osaprojektin analysoitavana.

Lopputuloksena saatiin numeerinen arviointi, joka perustuu työpajaan osallistuneiden asiantuntijoiden subjektiivisiin arvioihin. Arviot muodostettiin keskustelujen pohjalta asiantuntijaryhmän yhteisenä näkemyksenä.



Kuvio 7. Asiantuntija-arvioinnin painottamattomat tulokset kuvattuna graafilla. Y-akselin pistearvo kertoo muutoksen vaikutusluokkaa verrattuna nykyiseen kulunvalvontateknologiaan. L1/L2/L3 viittaavat ETCS-tasoon ja HL3_F ja HL3_M viittaavat tason 3 hybridi ratkaisuihin, joko kiinteillä osuuksilla (HL3_F) tai vaihtuvilla osuuksilla (HL3_M).

ETCS-taso 1 ei tuo kapasiteettiä hyötyä verrattuna nykyiseen kulunvalvontajärjestelmään. JKV:an verrattuna ETCS ei huomioi vastaavalla tasolla Suomen rautatieverkon ja kaluston erityistarpeita. Näistä puutteista seuraa kokonaisvaikutuksiltaan lieviä negatiivisia seurauksia radan kapasiteetille JKV:an verrattuna.

ETCS-taso 2 ja sitä korkeampien tasojen tekniikka ovat moderneja **radioverkkopohjaisia ratkaisuja**. Niiden kapasiteettiä hyödyt ovat suurimmat tasalaatuisessa (homogeenisessa) liikenneverkossa. Modernien radioverkkopohjaisten ratkaisujen teknologia perustuu tällä hetkellä vanhentuvan teknologian GSM-R-verkkoon, jota ei Suomessa ole. Radioverkkoteknologia kehittyy kuitenkin nopeasti, ja uutta radioverkkostandardia valmistellaan parhaillaan. Sen odotetaan korvaavan vanhan GSM-R vaatimuksen modernilla teknologialla.

Moderneissa radioverkkopohjaisissa teknologioissa voidaan saada ratojen suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon osalta hyötyä, jos näkyvistä opasteista luovutaan ja laajan alueen turvalaitteita ohjataan yhdestä laitetilasta. Tällöin ylläpito on tehokkaampaa kuin nykyisin, mutta mahdollisissa ongelmatilanteissa viat voivat aiheuttaa laajoja häiriöitä junaliikenteelle. Laitteistojen suunnittelun ja käytön osalta on häiriötilanteita varten tehtävä riittävät varautumissuunnitelmat, ja suunnittelussa on huomioitava erityisesti kahdentamisen tarpeellisuus.

ETCS-tasolla 2 kulunvalvonta radioverkon kautta on jatkuvaa ja suojastusvälien sijoittaminen on joustavaa, sillä opastimien näkyvyys ei ole välttämätöntä. Tasolla 2 on mahdollista saavuttaa paikoittain lyhyemmät suojastusvälit ja enemmän kapasiteettia erityisesti homogeenisessa liikenneympäristössä verrattuna JKV:an.

ETCS-tason 3 järjestelmä tuo teoreettisesti lisäkapasiteettia verrattuna JKV:an. ETCS-taso 3 mahdollistaa junien ajattamisen peräkkäin 'moving block'-toimintaperiaatteella, jossa junien ajolupa voidaan ulottaa lähes edellä ajavan junan perään reaaliaikaiseen sijaintiin. ETCS-tason 3 junan eheydenvalvonta (Train Integrity Monitoring System, TIMS) on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa. ETCS-tasolle 3 siirryttäessä operatiiviset toiminnot on suunniteltava kokonaisuudessaan uudelleen.

RCA on ERTMS-käyttäjien ryhmän (EUG) ja rataverkon haltijoiden projektikonsortion (EULYNX) käynnistämä hanke, jolla on tavoitteenaan yhtenäistää ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmien arkkitehtuuri ja rajapinnat. Tavoitteena on saavuttaa hankintoihin kilpailuetua ja prosesseihin yhtenäisyyttä. RCA perustuu vahvasti ETCS-tasoon 3, mutta ei ota suoraan kantaa tason 2/3 eroon. RCA-arkkitehtuuriin ollaan lisäämässä myöhemmässä vaiheessa implementointisuunnitelmia erilaisille junakulunvalvonnan lähtötasoiille

RCA on radioverkkopohjainen, eikä sisällä näkyviä opasteita. RCA hyödyntää OHM YTE-määrittelyjä ja EULYNX-rajapintamäärittelyjä. Se kuvaa tarvittavat komponentit, niiden tehtävät ja niiden väliset rajapinnat, mutta ei määrää miten komponentin sisäinen toiminta pitäisi tehdä.

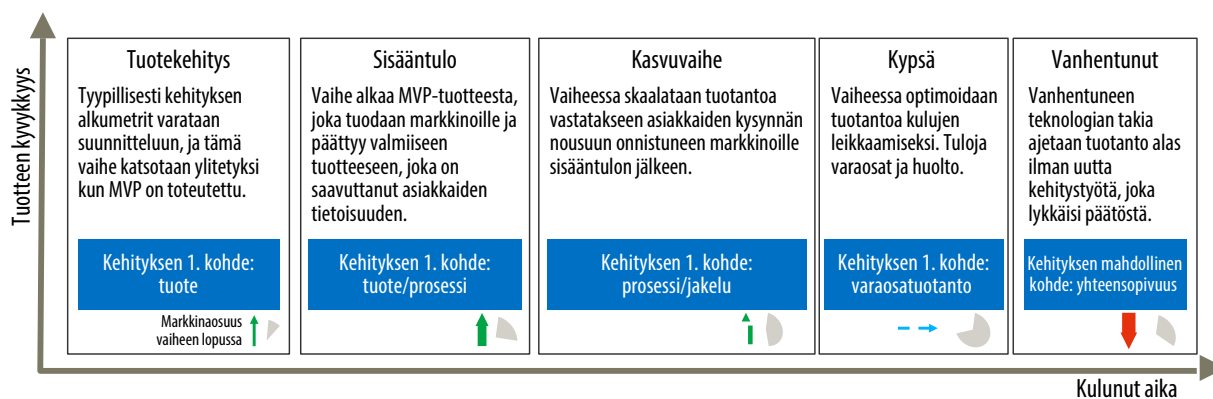
Jarrukäyrien osalta voidaan yleisesti todeta, että jarrukäyrät ovat ETCS-järjestelmässä konservatiivisempia kuin JKV:ssa, mikä johtaa joissain tilanteissa varovaisempaan jarrutuskäyttäytymiseen. Toisaalta kansallisia arvoja ja kalustokohtaisia jarrutusta ohjaavia kertomuksia optimoimalla voidaan kaluston jarrutuskäyttäytymistä ohjata kapasiteetin kannalta parempaan suuntaan. Sopivien kertomien käyttäminen ja kalustokohtainen optimointi on olennainen osa valitun ETCS-tason suunnittelua, koskien kaikkia ETCS-tasoja.

5.2.3 Teknologioiden elinkaaren pituus, S-käyrä

Teknologioiden elinkaarta on tarkasteltu teknologian S-käyrän mukaisessa viitekehityksessä. S-käyrä on laadittu mukaillen Clayton Christensenin teknologian maturiteettikuvaajaa (1996) ja Raymond Vernonin tuotteen elinkaaren teoriaa (1966), sijoittaen S-käyrälle eri elinkaaren vaiheet tuotekehitys, sisäänvalo, kasvuvaihe, kypsä ja vanhentunut. Lopputuloksena on yksinkertainen, tarpeisiin mukautettu käyrä, jolla voidaan kuvata eri rautatie- ja tietoliikenneteknologioiden nykyisyyden ja tulevaisuuden näkymiä.

Käyrälle sijoitettujen teknologioiden osalta sijoittelu on havaintoihin perustuva, pikem-
minkin teknologioiden välistä suhdetta kuin absoluuttista arvioita kuvaava tuotos. Tär-
keämpää kuin sijoittaa teknologia tarkalleen oikeaan pisteeseen, on sijoittaa se tilannetta
oikein kuvaavaan vaiheeseen ja oikeaan sijaintiin suhteessa edeltävään ja/tai seuraavaan
teknologiaan.

Käyrän viimeisen vaiheen katkoviivan merkitys kuvaa lisätyötä, jolla viivästetään tuotteen
vanhenemispistettä, jossa uusi teknologia/tuote ajaa edellisen ohitse kyvykkyydessä.
Vanhenemispistettä voi usein viivästyttää jatkokehityksellä, mutta aina tähän ei ole
tahtotilaa tai se ei ole kannattavaa.



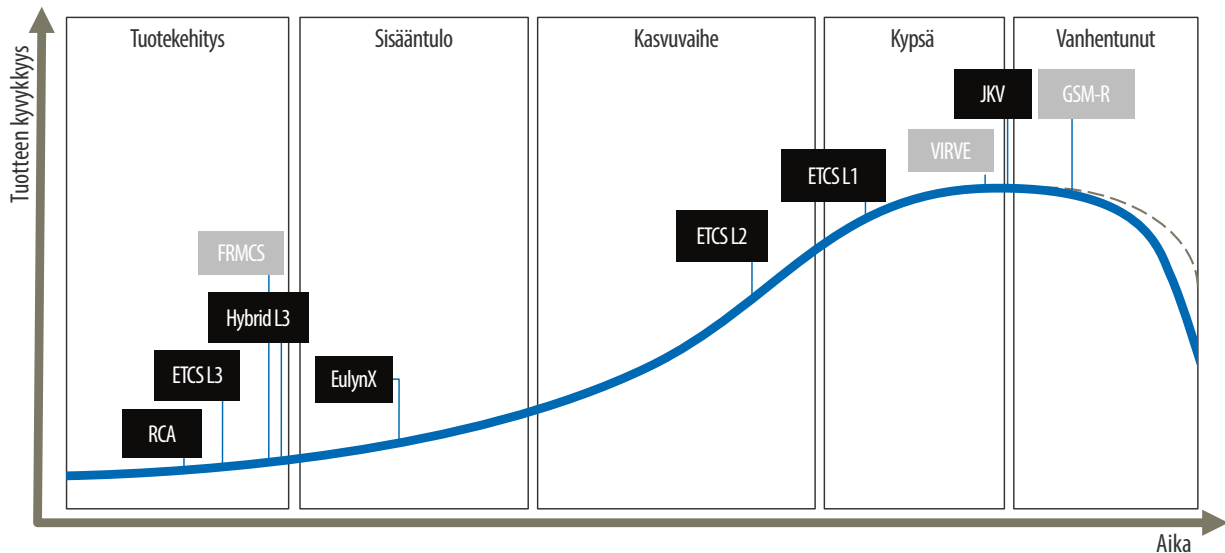
Kuvio 8. Lukuohje laaditulle S-käyrälle.

Sijoitimme teknologiat kahdelle eri kuvaajalle vuosille 2019 ja 2025. Tavoitteena on esittää, mitkä teknologiat näyttäytyvät kypsinä tai ikääntyvinä vaihtoehtoina sekä muutosnopeus tietyille teknologioille.

Teknologioiden S-Käyrä 2019

JKV sekä ETCS-tasot 1 ja 2 ovat operatiivisessa käytössä olevia teknologioita. JKV on ollut markkinoilla jo pitkään, ja järjestelmää tuetaan enää vuosien verran eteenpäin (arvio nyky-
tiedon valossa vuoteen 2030–35 asti). EU on kieltänyt kansallisen järjestelmän jatkokehi-
tyksen, mikä voi hankaloittaa JKV:n edelleen kehittämistä. Näkemys on, että JKV on siir-
tymässä kypsästä teknologiasta vanhentuneeksi. Investoinnit ovat siirtyneet Euroopassa
kautta linjan tasosta 1 tasoon 2. Tason 1 kehitystyö on siis pitkälti tehty, ja sen absoluutti-
nen asema markkinoilla ei juuri enää kasva, toisin kuin taso 2:n, jolla tällä hetkellä nähdään
olevan pidempi elinkaari jäljellä sekä investointeja kasvavassa määrin käynnissä ja tulossa.

Vuoden 2019 tilanne esitetään alla olevassa kuvassa.



Kuvio 9. Alustava teknologioiden kypsyyden tilanne vuonna 2019.

EULYNX, joka on rataverkon haltijoiden yhteiskehitystä rautateiden turvalaitteiden ja ohjausrajapintojen standardointiin, katsotaan olevan kuvaajan alkupään teknologiamäärittelyistä pisimmällä, koska se on osana Norjan investointikokonaisuutta. Voidaan siis todeta, että EULYNX on sisääntulovaiheessa. Muista uudemmissa teknologioista ei ole selvitysprojektin tiedossa vielä varsinaisia implementointeja. Hybridi taso 3 -ratkaisua on tutkittu ja pilotoitu Englannissa ProRailin ja Network Railin toimesta vuodesta 2017 alkaen, ja se on näistä lähimpänä sisääntulovaihetta. Lähtökohtaisesti RCA on konseptivaiheessa ja perustuu ETCS-tason 3 ratkaisuun. RCA on siis tuotekehityksessä aikaisemmassa vaiheessa kuin ETCS-tason 3 teknologiat, joita jo testataan.

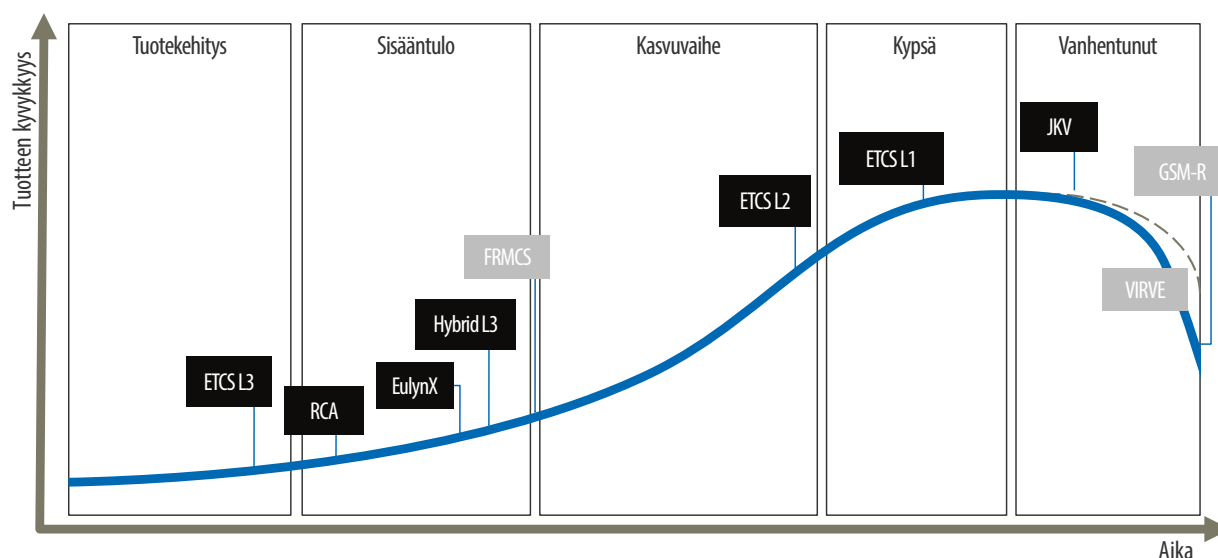
Tietoliikenneteknologioiden osalta GSM-R on varsin vanhaa teknologiaa. Virven käyttö jatkuu asiantuntijoiden arvion mukaan vielä vuoteen 2025. Uusi viranomaisverkko (Virve 2.0) aloittaa asiantuntijoiden arvion mukaan asiakaskäytössä arviolta vuonna 2022, mutta sen käyttö rautatieliikenteessä on vielä epävarmaa, joten sitä ei ole lisätty kuvaajaan. FRMCS:n elinkaari puolestaan on vielä alussa, mutta sen taustalla on voimakas taloudellinen tahtotila ja hyvät kehityssuunnitelmat, joten teknologian ennakoitua siirtyvän pian tuotekehitysvaiheesta sisääntulovaiheeseen.

Teknologioiden S-Käyrä 2025

Vuoteen 2025 mennessä JKV:n ennakoitua siirtyvän pisteeseen, jossa ollaan jo vanhentunut-sarakkeen puolella. Ilman lisäkehitystä vanhenemisen odotetaan kiihtyvän. ETCS-taso

1 pysyy kypsänä teknologiana, mutta sen kehityksen odotetaan vähenevän markkinoiden siirtyessä tilaamaan enenevissä määrin korkeampien tasojen ratkaisuja. Taso 2:n puolelta nähdään olevan vuonna 2025 kasvuvaiheensa huipussa ja siirtymässä kypsäksi ratkaisuksi.

Vuoden 2025 tilannearvio esitetään alla olevassa kuvassa.



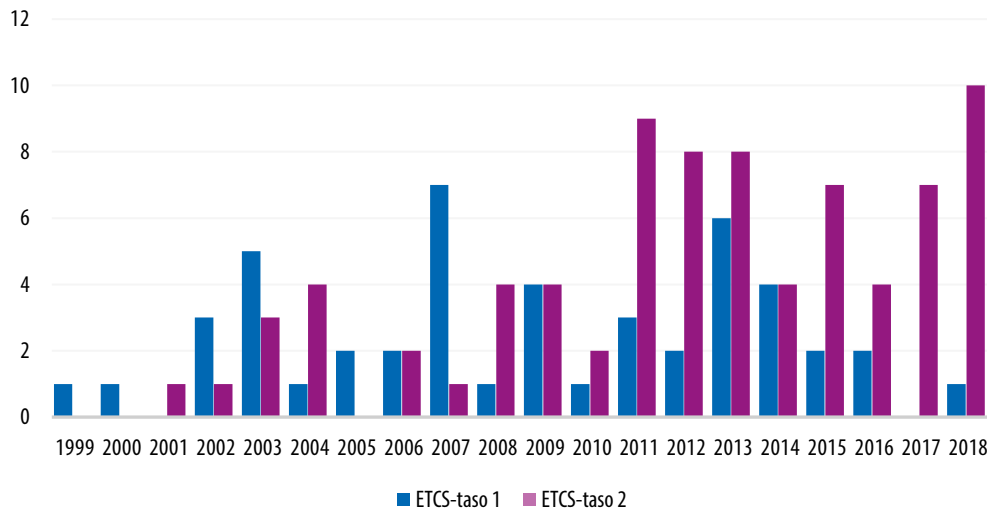
Kuvio 10. Alustava teknologioiden kypsyyden tilanne vuonna 2025.

FRMCS kehittyy nopeasti vuoden 2019 tilanteeseen nähden, koska GSM-R:n vanheneminen painostaa uusien ratkaisuiden kehitykseen. Vuoden 2025 S-käyrässä tason 3 hybridin ja RCA:n kehitysten oletetaan onnistuvan. EULYNX ja ETCS-taso 3 nähdään kehittyvän vakaasti vuoteen 2025 asti. ETCS-tasolla 3 on vielä teknologisia haasteita junan eheydenvalvonnan kanssa, joten on oletettu, ettei taso 3 sellaisenaan poistuisi tuotekehitysvaiheesta vielä vuoteen 2025 mennessä. Mikäli teknologiset haasteet saadaan ratkaistua, kiihtyy kehitys ETCS-tason 3 osalta oletettua nopeammin.

5.2.4 Markkina-analyysi

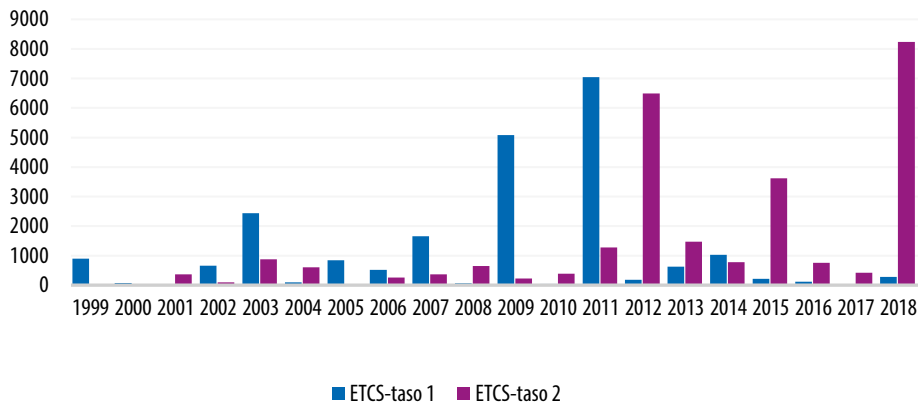
Toteutuneet hankkeet

Toteutuneita ERTMS-hankkeita analysoitiin Unifen eli rautatiealan toimittajien etuja valvovan järjestön ylläpitämiä tietoja käyttäen (ertms.net). Hankkeista kerättiin tiedot ERTMS-toteutusten aloitusvuosista, käyttöönottovuosista ja ratakilometreistä. Tiedoista koostettiin kuvaaja: Euroopassa aloitettujen ERTMS-hankkeiden lukumäärä vuosittain. Kuvaajasta on havaittavissa, että ETCS-tason 1 hankkeita on käynnistetty enimmäkseen vuosina 2007–2013, mutta viime vuosina käynnistyneiden hankkeiden määrä on vähentynyt. Vuoden 2011 jälkeen ETCS-tason 2 hankkeita on käynnistynyt määrällisesti enemmän.



Kuvio 11. Euroopassa käynnistetyt ERTMS-hankkeet.

Euroopassa käynnistettyjen hankkeiden laajuus ratakilometreinä on myös koostettu kaavioon antamaan näkemystä implementointien laajuudesta. Kuvaajasta on havaittavissa, että suurin osa hankinnoista on ratakilometrien näkökulmasta suppeita, ja vain muutamina vuosina hankintoja on ollut edes yhteensä yli 1000 km verran.



Kuvio 12. Euroopassa käynnistettyjen ERTMS/ETCS- hankkeiden ratakilometrit ja tilausvuosi.

Tällä hetkellä ratakilometrit ETCS-tason 1 ja tason 2 välillä ovat suhteellisen tasaiset. Käynnissä olevia hankkeita on kuitenkin ETCS-tason 2 osalta enemmän, ja hankintatrendi vaikuttaa kääntyvän tason 2 suuntaan, joten ero tulee todennäköisesti lähivuosina kasvamaan. ETCS-tason 3 hankkeet ovat vielä toistaiseksi pilotointivaiheessa.

Taulukko 2. Valmistuneet ja käynnissä olevat ERTMS-/ETCS-hankkeet ratakilometreinä Euroopassa.

ETCS-taso 1	ETCS-taso 2
49 ETCS-tason 1 rataprojektia 19 maassa	79 ETCS-tason 2 rataprojektia 16 maassa
► 38 projektia toteutettu	► 57 projektia toteutettu
► 11 projektia käynnissä	► 22 projektia käynnissä
Ratapituus = 21879,8 km	Ratapituus = 23368,7 km
► Toteutusvaiheessa 2905 km	► Toteutusvaiheessa 11326,4 km

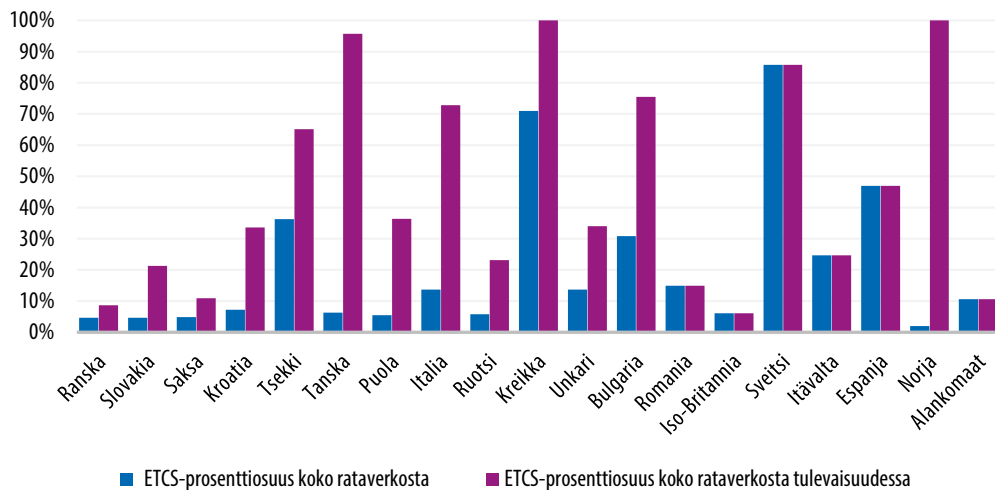
Kansalliset täytäntöönpanosuunnitelmat, NIP

Jokainen EU-jäsenvaltio on toimittanut kansallisen täytäntöönpanosuunnitelman koskien ERTMS/ETCS:n toteutusta. Täytäntöönpanosuunnitelmat on laadittu v. 2016–2018. Täytäntöönpanosuunnitelmien sisältö vaihtelee paljon, eikä niitä ole saatu kaikilta mailta. Osassa suunnitelmissa on hyvinkin yksityiskohtaisesti selitetty eri rataosuuksien tulevaisuuden projektit, kun taas osassa nostetaan esiin ainoastaan valtiontason kokonaissuunnitelma. Yhteisenä trendinä on havaittavissa tietty varoivaisuus tai määrittelemättömyys uusien hankkeiden suhteen. Virallisiin täytäntöönpanosuunnitelmiin on voitu kirjata suppeampia toteutuksia kuin jäsenvaltioiden omiin suunnitelmiin. Vain viisi jäsenvaltiota ilmoittaa laajemmista täytäntöönpanotavoitteista ja tavoittelee virallisessa täytäntöönpanosuunnitelmassa koko rataverkon varustamista ETCS-järjestelmällä (Kreikka, Italia, Tanska, Norja, Sveitsi).

Valtioiden tavoitteena on saavuttaa ETCS:n avulla moderni, turvallinen, kustannustehokas ja kansainvälisen operoinnin mahdollistava kulunvalvontajärjestelmä. ETCS varustamisessa ensisijaisia rataosuuksia ovat Euroopan laajuisen liikenneverkon ydinverkot (Trans-European Transport Network TEN-T), jotka valtiot tulevat ensimmäisenä varustamaan uudella kulunvalvonnalla. Täytäntöönpanosuunnitelmat ovat aikajänteeltään keskimäärin noin 15 vuotta kestäviä ja suurinta osaa tullaan päivittämään ajan kuluessa.

Tällä hetkellä ETCS-varustettujen rataosuuksien määrä valtioiden koko rataverkoissa on vähäinen. Suurimmassa osassa valtioissa alle 10 prosenttia rataosuuksista on ETCS-varusteltuja. Täytäntöönpanosuunnitelmien perusteella vuonna 2030 valtioiden tavoitteena on, että ERTMS kattaa keskimäärin noin 35 prosenttia valtioiden koko rataverkosta. Kansallisten täytäntöönpanosuunnitelmien perusteella voitiin havaita, että tulevaisuudessa tullaan toteuttamaan ETCS-tason 2 projekteja (243 kpl) huomattavasti enemmän kuin ETCS-tason 1 projekteja (118 kpl). Myös ratakilometreiltään tasoa 2 (20 660 km) suunnitellaan enemmän kuin tasoa 1 (8 073 km). Kansallisista täytäntöönpanosuunnitelmista ei löytynyt tietoa suunnitteluista ETCS-tason 3 projekteista. Merkittävä tekijä tason 2 ratkaisuiden onnistumisessa on valtioiden GSM-R-verkon laajuus ja sen kehittäminen. Useiden valtioiden

kohdalla GMS-R-verkko ei kata kuin osan rataverkosta, jolloin ETCS-tason 2 hyödyntäminen on mahdollista vain rajoitetuilla alueilla.



Kuvio 13. ETCS-varusteltujen rataosuuksien prosenttiosuus kokonaisraidepituudesta.

Täytäntöönpanosuunnitelmien perusteella noin kolmannes tulevista toteutuksista on ETCS-tasoa 1 ja reilu puolet ETCS-tasoa 2. Kansallisissa täytäntöönpanosuunnitelmissa on esitetty tulevat ERTMS-työt seuraavasti

- ETCS-tason 1 projekteja 118 kpl, yhteensä 8073 km
- ETCS-tason 2 projekteja 243 kpl, yhteensä 20660 km
- ETCS 1+2 -tasojen projekteja 14 kpl, yhteensä 1125 km
- Sekä 18 projektia, jossa tasoa ei ole vielä määritelty, yhteensä 5049 km

ETCS-hankintojen kustannukset eri valtioiden välillä eroavat paljon toisistaan. Jopa yksikkökustannukset kilometriä kohden eroavat huomattavasti. Kustannukset ja niiden selvittäminen tulevatkin olemaan monen valtion tulevaisuuden projekteja. Hankintakustannuksien odotetaan laskevan paremmalla suunnittelulla ja isompien projektikokonaisuuksien ansioista. Suureen rooliin suunnitelmissa nousivat rajavaltiot ja niiden päätökset liittyen kulunvalvontaan. ETCS:n avulla halutaan lisätä kansainvälistä juna-liikennettä, jolloin valtioiden priorisointilistan kärkipäässä on raja-alueiden varustaminen ETCS:llä. Huomionarvoinen asia täytäntöönpanosuunnitelmista olivat pilotit, joita useat valtiot hyödyntävät pyrkiessään kehittämään toimintaohjeita ja löytämään ongelmatilanteisiin ratkaisuja ETCS-käyttöönottoon liittyen.

5.3 Tietoliikenneteknologiat

Tässä kappaleessa esitetään Tietoliikenneteknologiat-osaprojektin selvitysten tulokset tiivistetysti. Tulosten laajempi esittely on tehty työryhmän erillisessä raportissa.

Raideliikenteen kulunvalvonta on tällä hetkellä toteutettu Suomessa JKV-järjestelmällä, joka toimii ilman junassa olevaa radioperustaista tietoliikennetarkkailua. JKV-järjestelmässä on myös reaaliaikaisen tietoliikenteen kautta yhdistettyjä komponentteja, kuten kauko-ohjattavia baliiseja ja niiden koodaimia, jotka ovat kiinteästi asennettuja ja joihin käytetään pääasiassa kiinteästi asennetuilla kaapeleilla toteutettua tietoliikennenyhteyttä. Ajaessaan baliisin yli juna lukee kulunvalvontatietojen sisältävän nk. ETCS-telegram-viestisisällön. Viestissä junalle kerrotaan mm. suurin sallittu nopeus. Nykyinen JKV-toteutus on ongelmaton, koska kiinteän verkon tietoliikennenyhteydet ovat toimineet jo kymmeniä vuosia eikä tietoliikennetoteutukseen kohdistu merkittävää jatkokehitystarvetta.

Selvitystyön aikana on linjattu, että Suomessa vakavasti harkitaan modernia radiopohjaista ETCS-toteutusta. Tähän asti junien kulunvalvontaan ei ole Suomessa käytetty radio-tietoliikennettä, joten tietoliikenteen käytettävyydestä junakulunvalvontaan on muodostettava arviot ilman käyttökokemuspohjaisia tietoja.

Selvitykselle ja tietoliikennetarkkailulle asetettiin seuraavat tavoitteet.

- Selvityksessä on esitettävä keinot, kuinka tietoliikenne ja tiedonsiirto liikkuvan kaluston, liikenteen hallinnan ja ratainfran välillä toteutetaan
- Riittävän pienellä viiveellä
- Riittävän suurella tiedonsiirtokapasiteetilla
- Riittävän luotettavasti ilman yhteyshäiriöitä ja katvealueita

5.3.1 Digiradan tietoliikenne

Digiradan tavoitteisiin voidaan vastata tietoliikenteen osalta useimmilta osin positiivisesti: tietoliikenne ei rajoita mahdollisuuksia toteuttaa Suomeen moderni radiopohjainen ETCS-kulunvalvontatietoliikenne.

Rautatieliikenteen kapasiteetin kasvu tarkoittaa, että tietoliikenteen pitää välittää enemmän dataa junien määrän kasvaessa. Tietoliikenteen kannalta lisääntyvä kapasiteettitarve ei ole ongelma, koska 20 vuodessa tiedonvälityskyky on kasvanut GSM-R:n noin 9,6 kbit/s tasosta jopa yli kymmenentuhattakertaiseksi, satoihin megabitteihin sekunnissa.

Tietoliikenteen turvallisuus sisältää yhteyden saatavuuden, eheyden ja kyberturvan komponentteja. Saatavuuteen liittyen voidaan todeta, että nykyaikaista tietoliikennettä voidaan varmentaa aiempaa monipuolisemmin muun muassa monikanavareitityksen ja useamman käytettävissä olevan siirtotien avulla. Tietoliikenteen eheyteen ja kyberturvaan liittyen on kuitenkin huomioitava, että IP-protokollaan perustuvissa järjestelmissä kyberturvatoteutus poikkeaa aiemmasta. Tämä esimerkiksi siitä syystä, että verkkoon voidaan kytkeytyä useammalla eri tavalla, minkä vuoksi kyberturva IP-verkoissa vaatii enemmän huomiota perinteiseen piirikytkentäisten tiedonsiirtoverkkojen kyberturvaan verrattuna.

Rautatieliikenteessä on tähän asti käytetty radioverkkona Euroopassa GSM-R-verkkoa, joka on toisen sukupolven jo ikääntynyttä tekniikkaa. GSM-R tullaan korvaamaan vuoden 2022 jälkeen uudella 5G verkon radioliityntäteknikalla (NR) ja LTE- eli 4G- ja 5G-standardeihin perustuvalla, FRMCS-määrittelyjen mukaisella tekniikalla. Tällä hetkellä arvioidaan, että GSM-R-verkkojen korvaaminen FRMCS-tekniikkaan pohjautuvalla järjestelmällä vie Euroopassa noin 10 vuotta. Uutena mahdollisuutena ovat tulevaisuudessa käyttöön otettavat niin sanotut Low-Orbit-satelliittitietoliikenneverkot, jotka määrittelyjensä perusteella vaikuttavat lupaavilta. Kun uudet radiojärjestelmät on otettu käyttöön, yhteysnopeudet ja -varmuus paranevat merkittävästi. Satelliittitietoliikenneverkko on riippumaton mahdollisista maan päällä olevan palvelun häiriöistä, soveltuen hyvin poikkeustilanteissa täydentäväksi tietoliikennejärjestelmäksi.

Tietoliikenteen reaaliaikainen hallinta on nykyään järjestettävissä monella eri tavalla aiempaa helpommin ja tarkemmin palvelutasoa monitoroiden, koska erilaisia mittausohjelmistoja voidaan joustavasti asentaa laitteiden sovelluksien ohien verifioimaan, että tietoliikenneyhteys tarjoaa tarvittavat ominaisuudet jatkuvasti.

Jos käytetään yleistä, yhteistä ja jaettua radioverkkoa sekä junakulunvalvonnan että suuren yleisön tarpeisiin, pitää junan turvallisuuteen liittyvää tietoliikennettä tarvittaessa pystyä priorisoimaan, jotta muiden käyttäjien internetin käyttö ei aiheuttaisi turvallisuuden kannalta liian suuria viiveitä tietoliikenteelle. Dataliikenteen priorisointi on ollut tietyin rajoituksin mahdollista jo kolmannen sukupolven (3G) järjestelmissä. Suomen ja muun Euroopan rautateiden tietoliikenteen suunnitellaan perustuvan vuonna 2022 hyväksyttävään FRMCS-määrittelyyn, joka perustuu neljännen ja viidennen sukupolven tietoliikennestandardiin. Sekä 4G- että 5G-määrittelyissä on mahdollista priorisoida monipuolisesti tilaajia ja taata verkon peittoalueen puitteissa riittävä, tai ainakin ennustettava, tietoliikennekapasiteetti priorisoiduille yksiköille ja yhteyksille.

Tietoliikenneteknologiat-työryhmän näkemyksen perusteella tällä hetkellä näyttää todennäköiseltä, ettei Digiradan tavoitteena olevaa ERTMS-tietoliikennettä varten tarvitse rakentaa erillistä radioverkkoa Suomessa. Muun muassa ERA:n julkaisu ERA 2017 31 OP sisältää tavoitteen käyttää useampia eri radioverkkoja tiedonsiirtoväylänä. Jos kuitenkin

päädyttäisiin tietoliikenneverkkoja käyttämään erillistä radioverkkoa, kustannuksia tulisi merkittävästi enemmän kuin tilanteessa, jossa voidaan tukeutua käytettävissä olevien operaattoreiden palveluihin. Oman erillisen radioverkon käyttöön liittyy kustannusriskien ohella muitakin riskejä, koska on mahdollista, että erityiselle suppean käyttäjämäärän taajuusalueelle ei ole mahdollista saada laitteita joko lainkaan tai niitä on saatavissa vain pitkällä viiveellä.

Suomessa liikenne- ja viestintäministeriön johdolla on valmisteltu rautatieliikenteen tietoliikenteen taajuuksien käyttösuunnitelmaan liittyen ns. valkoinen paperi (White Paper), jossa painotetaan, että Suomen kansallinen tahtotila on, että ERA sallii FRMCS-toteutuksessa useiden eri taajuusalueiden käytön junaliikenteelle varattujen taajuuksien ohella myös kaupallisten operaattoreiden verkoissa.

Kun käytetään jaettuja radioverkkoja, vakavasti harkittava ratkaisu on tukeutua tulevaan laajakaistaiseen viranomaisten mobiiliradioverkkoon. Suomessa turvallisuusviranomaisille ollaan toteuttamassa laajakaistaisia yhteyksiä tarjoavaa niin sanottu Virve 2.0 radioverkkoa, jossa tulee olemaan nykyistä parempi kuuluvuus, pidempikestoinen sähkön varmenus, etuoikeutettujen tilaajien priorisointi ja mahdollisuus kansalliseen verkkovierailuun. Rautatietoimijoiden ja Virven käyttäjien kannattaa pyrkiä yhteistyöhön myös jatkossa, mikäli FRMCS:n toteutusratkaisu sen mahdollistaa. Lisäksi liikenne- ja viestintävirasto päättää Virve 2.0:n käyttäjäryhmistä ja rautatietoimijoiden tulisi tulla nimetyksi käyttäjäryhmäpäätöksessä nykyistä Virven käyttäjäryhmiä koskevaa nimeämistä vastaavasti.

Paras mahdollinen lopputulos sekä yhteysvarmuuden, yhteyden nopeuden ja muiden teknisten ominaisuuksien että kustannusten osalta voisi olla saavutettavissa yhdistämällä rautatietoimijoiden tarpeet ja resurssit turvallisuusviranomaisten laajakaistaisen radioverkon toteuttamisprojektin kanssa.

5.3.2 Radioverkon kustannusvaihtoehtojen vertailua

Väyläviraston työjärjestyksen mukaisesti rautatietekninen yksikkö vastaa ja huolehtii kehittämisestä ja ohjeista, jotka liittyvät useampiin asiakokonaisuuksiin kuten rautateiden viestintäpalveluun ja rautateiden viestintäpalvelun hallinnointiin. Lähtökohta toteutukseen on, että Väylä on mukana radioverkon toteutuksessa ja radioverkkoa tullaan käyttämään puheviestintään ja rautateiden kulunvalvonnan vaatimusten toteuttamiseen.

Kaupalliseen verkkoon tukeutuminen kilpailuttamalla palvelutaso

Edullisin vaihtoehto olisi tukeutua kaupallisiin verkkoihin, mutta työryhmän arvion mukaan tällä hetkellä kaupallisten verkkojen peitto ei riitä rautateiden ETCS-tietoliikenteen tarpeisiin, sillä katvealueita on liikaa. Mahdollisesti tulevaisuudessa 5G-verkoissa

pystytään tarjoamaan palvelutasoja, jotka riittävät rautatietojärjestelmän vaatimuksiin, mutta tällä hetkellä se ei näytä todennäköiseltä. Etenkin autonomisen ja muun älyliikenteen kehittymisen myötä laajentuva 5G-verkkojen ja satelliittiverkkojen tarjonta kuitenkin saat-taa lähivuosina tuoda mukanaan mahdollisuuden saavuttaa riittävä palvelutaso junaliiken-teen kannalta. Junaliikenne voi toimia myös edelläkävijänä mahdollistaen muiden liiken-nemuotojen kehittymisen.

Priorisointiominaisuuksilla varustettuun verkkoon tukeutuminen

Tällä hetkellä houkuttelevin toteutustapa on järjestelmä, jossa kulunvalvonnan tieto-liikenne perustuu Virve 2.0 -toteutukseen liittymiseen. Virve 2.0:n liittymäkohtainen hinta neuvotellaan liittymän tarjoajan kanssa. Väylä voi neuvotella liittymien käytöstä esimer-kiksi siten, että Väylän asiakkuuteen liittyvät sekä puheradiokäyttäjät että kulunvalvonnan tarpeisiin varattujen liittymien määrät yhdistetään yhden asiakkuuden alle.

Kokonaan oman verkon rakentaminen

Väyläviraston aiemmassa raportissa on arvioitu, että erillinen radioverkko maksaa noin 150 miljoonaa euroa. Arvio on karkea ja perustuu aiempaan, noin 430 tukiaseman GSM-R-verkon toteutuksen kustannuksiin sekä kustannusarvioon uuden tekniikan mukai-sen radioverkon toteutuksesta.

Olettama on, että rautateiden integroidussa liikenneviestintäjärjestelmässä (RAILI) olleet 430 tukiasemaa riittävät saman peittotason saavuttamisessa. Jos käytettäisiin paremman kapasiteetin saavuttamiseksi korkeampaa taajuusaluetta, aiemmassa RAILI-radioverkossa olleet 430 tukiasemaa eivät suoraan riitä samanlaisen peiton saavuttamiseksi. LTE 1900 MHz -taajuudella karkealla linkkibudjettilaskennalla voidaan arvioida, että suunniteltu LTE-verkko vaatisi noin 2.67-kertaisen määrän tukiasemia peittääkseen samanlaisen alueen. Alkuperäinen GSM-R-verkko maksoi noin 50 miljoonaa euroa. Tukiasemamäärän lähes kolmikertaistuminen johtaa merkittävästi alkuperäisiä korkeampiin kustannuksiin.

Satelliittitietoliikenteen kustannukset

Niin sanottua Low-Orbit-satelliittitietoliikennetekniikka tarjoaa lupaavan poikkeustilan-teessa täydentävän tietoliikenteen. Kaikissa tapauksissa maanpäällisen radioverkon lisäksi mahdollisesti toteutettava kyvykyys satelliittitietoliikenteen käyttöön tulee lisäämään kustannuksia. Kustannukset muodostuvat junien satelliittiradioista ja niiden antennista sekä satelliittitietoliikennetarjoajan liikennöintimaksuista.

Radioverkon kustannusvaihtoehtotaulukko

Taulukko 3. Yksinkertaistettu yhteenvedotaulukko eri tietoliikennratkaisujen karkeasti arvioituista kustannuksista.

	Tukeutuminen puhtaasti kaupalliseen toteutukseen	VIRVE 2.0 -toteutukseen perustuva	Oma erillinen radioverkko rautateiden erikoistaajuualueella
Investointikulut	Alle 10m€	10–20 m€	N. 500 tukiasemaa > 50–70 m€ 1100 tukiasemaa joista noin 700 uusia > noin 450 m€
Vuosittaiset käyttökulut	Radiotietoliikenne 1000€/vuosi * 1000 veturia = 1 m€ Kiinteän verkon kulut n. 2m€ Satelliittitietoliikenne vähintään 1m€/vuosi Yht. n. 5m€ / vuosi	Radiotietoliikenne 1000€/vuosi * 1000 veturia = 1 m€ Kiinteän verkon kulut n 2m€ Satelliittitietoliikenne vähintään 1m€/vuosi Yht. n. 5m€ / vuosi	20 m€ sekä 5 m€ poistot > 25 m€/ vuosi Satelliittitietoliikenne vähintään 1m€/vuosi Yht. n. 25m€/vuosi, jopa 50m€/vuosi
Junalaitteiden kulut (ETCS-laitteet ja radiomodeemi)	Karkea arvio. Ilman rautateiden erikoistaajuualueen tukea 120k€ * 1000 junaa = 120 m€ Rautateiden erikoistaajuualueen tuen kanssa 150k€-250k€ * 1000 junaa = 150 m€	Karkea arvio. Ilman rautateiden erikoistaajuualueen tukea 120k€ * 1000 junaa = 120 m€ Rautateiden erikoistaajuualueen tuen kanssa 150k€-250k€ * 1000 junaa = 150 m€	Karkea arvio. Rautateiden erikoistaajuualueen tuen kanssa 150k€ * 1000 junaa = 150–250 m€

Kaikissa tapauksissa on todennäköistä, että Suomen juniin tehtävät radiolaitesennukset ovat erikoistaajuualueen toteutuksen sisältäviä. Tällöin voidaan esittää ERA:lle, että Suomessa käytettäisiin junien radioissa samoja taajuualueita kuin muuallakin Euroopassa vaaditaan.

5.3.3 Juna-asennukset ja asetinlaitapäivitykset

Vaikka radioverkosta aiheutuvat tietoliikennesyhteyksikustannukset jäänevät pieniksi, koska pystytään tukeutumaan jo rakennettuihin radioverkkoihin, aiheutuu ERTMS-toteutuksesta suuria tietoliikenteeseen liittyviä kustannuksia. Kustannuksia aiheutuu, kun juniin hankitaan tarvittavat FRMCS-järjestelmän mukaiset modeemit, joiden kautta junan ETCS-keskusyksikköön välitetään kulunvalvontasanomat. Tällä hetkellä kaluston omistajan vastuulla on tehdä radio- ja ETCS-laitteiden asentamiseen liittyvät muutokset ja vastata niiden aiheuttamista kustannuksista. Uudet FRMCS-määrityksien mukaiset modeemit liittyvät junan keskusyksikköön veturityyppikohtaisella sovituksella. Tällä hetkellä Suomessa on noin seitsemän erilaista vetokalustotyyppiä ja jokaiselle näistä pitää tehdä FRMCS-modeemin ja ETCS-laitteen sovitus. FRMCS-laitteiden sovittamisen ja hyväksyntäprosessin kokonaiskustannus seitsemälle eri junatyyppille lienee yhteensä miljoonien eurojen

suuruinen. Kustannukset ovat merkittäviä, vaikka kaluston valmistajan eri maissa ja asiakkailla tekemiä hyväksyntöjä voitaisiin hyödyntää Suomen kaluston asennuksissa. Kaluston omistajien pitää sovitustyön kustannusten jälkeen hankkia FRMCS-radiolaitteet noin tuhanteen Suomessa käytössä olevaan vetokalustolaitteeseen, mistä on arvioitu aiheutuvan myös usean miljoonan euron kustannukset.

Ratainfraan muokkaamisen yhteydessä muodostuu tietoliikenteeseen liittyviä kuluja, kun joihinkin nykyisiin asetinlaitteisiin lisätään radiokommunikaation mahdollistava RBC.

5.3.4 Moderni ETCS-taso 3 tavoitteeksi

Suomen pitää vakavasti harkita modernin radiotietoliikenteeseen perustuva ETCS-järjestelmän toteutusta. Valittava järjestelmä tulee joka tapauksessa olemaan tietoliikenteen osalta moderni, koska mitään vanhaa tietoliikennettä käyttävää järjestelmää ei tule olemaan käytössä. Nyt voidaan valita niin sanotusti puhtaalta pöydältä soveltuvin ratkaisu.

Paikantamisen osalta Suomessa pitäisi pyrkiä käyttämään paikannusmenetelmiä, jotka perustuvat laajasti käytössä oleviin tai nopeasti yleistyviin paikantamistapoihin. Luotettavuusvaatimusten takia paikantaminen toteutetaan usean menetelmän yhdistelmällä eli ainakin satelliittipaikantamisella ja matkamittauksella. Tällä hetkellä konenäkö, hahmontunnistus, laserkeilaus-, tutka- ja 5G-verkkopaikannus vaikuttavat lupaavimmilta täydentäviltä paikannusmenetelmiltä. Ilman kuljettajaa tapahtuvan junaoperaation myötä konenäkö ja hahmontunnistus saattavat pian tulla vallitseviksi junan paikantamisen menetelmiksi. Kehitys on ollut samantapaista kuin maantieliikenteessäkin.

Jos Suomessa tehdään ensimmäiset junan luotettavan paikannuksen toteutukset, voidaan saada etulyöntiasema vientituotteiden kehittämisessä. Euroopan alueen junaoperaation yhteistoimivuuden vaatimukset ja turvallisuushyväksynät tulevat todennäköisesti aiheuttamaan joitain aikatauluviiveitä, mutta Suomella on hyvä tilaisuus olla suunnan näyttäjä FRMCS-järjestelmän käyttöönoton ohella myös modernin paikantamistekniikan soveltajana.

Kyberturvan huomioonottaminen on tärkeä vaatimus, sillä etenkin tietoliikenteen ollessa jaetuissa verkoissa, voi tahallista yhteyksien häirintää yrittää laajempi joukko. Suurimpana riskinä on, että kulunvalvontajärjestelmän kautta junaan asetettaisiin vääriä arvoja, kuten väärä nopeusrajoitus.

5.4 Kalusto

Tässä kappaleessa esitetään Kalusto-osaprojektin selvitysten tulokset tiivistetysti. Tulosten laajempi esittely on tehty työryhmän erillisessä raportissa.

Kalustonomistajien keskeinen tavoite on pystyä käyttämään tehtyjä kalustoinvestointeja mahdollisimman tehokkaasti ja siten toimimaan olemassa olevan ja kehittyvän rataverkon kannalta tehokkaasti, turvallisuusasiat varmistaen sekä kasvattaen olemassa olevaa kapasiteettia hyödyntäen tulevan ERTMS-järjestelmän ominaisuuksia.

Kaluston tarkastelun tarkoitus on tehdä selvitykset sekä kaluston kannalta että huomioiden työtä toteutettaessa myös kaluston käyttö ja turvallisuus. Osaprojekti on muodostunut suuresta määrästä teknisiä selvityksiä ja analyysejä, joita on työn edetessä käyty läpi tarkasti myös Rautatieteknologiat-osaprojektin kanssa, ja niitä on hyödynnetty myös Tarveselvitys-osaprojektin perustyössä. Selvityksissä esille tulleet hyödyt on esitelty Tarveselvitys-osaprojektin osuudessa.

5.4.1 Tehdyt selvitykset ja niiden tulokset

Perustyö Kalusto-osaprojektissa kaupunkiratojen osalta liittyy Helsinki–Hiekkaharju- ja Helsinki–Kerava-välien kapasiteetteihin. Niitä tarkasteltiin perinteisen pistemäisen ja uudemman jatkuvatoimisen kulunvalvontajärjestelmän pohjalta niin, että jaettiin turvalaitteiden suojavälejä jo radalla valmiiksi olevien toimilaitteiden ja radan muiden toimintojen pohjalta. Kapasiteettitarkastelut antoivat merkittävän mahdollisuuden kasvattaa näiden välien kapasiteettia jopa 20–30% ilman merkittäviä ratalaitteisiin tehtäviä muutosinvestointeja, pois lukien jatkuvatoimisuuden vaatimaa uutta RBC:tä. Osa hyödyistä saavutetaan myös suoraan nykyisen asemasuojavälin muuttuessa nykyistä tiheimmäksi. Elokuussa 2019 on myös Ramboll päättänyt konsulttiselvityksessään samaan kapasiteetin lisäykseen. Aikaisemmissa selvityksissä tällaista tarkastelua ei ollut tehty. Pääradan osalta Helsinki–Riihimäki-väli on kohde, joka osoittaa, että useimmiten paras hyöty saadaan toteuttamalla toisiaan tukevia kehitystoimenpiteitä. Saavutettua ratakapasiteetin lisäystä voidaan hyödyntää myös liikenteen joustavuuden ja häiriöistä toipumisen parantamismahdollisuuksiin.

Rataverkon rajoitteiden ja turvallisuuden huomiointi otettiin osaksi tarkastelua, kun havaittiin, että ko. käsittely oli osin jo toteutuneista hankkeistakin saanut liian vähän huomiota. Rataverkon haltija on aktiivisesti pitänyt yllä rataverkon kapasiteettia kohdistaan nopeus-, teli- ja painorajoitukset vain niihin juniin, joissa se on ollut välttämätöntä. Tämä on myös nykyisessä JKV-järjestelmässä huomioitu järjestelmävalvontana.

Myös yksiraiteisen rataverkon osalta tehtiin selvityksiä pääradan pohjoisosassa, Oulun alapuolella nykyisten pullonkaulakohteiden osalta. Havaintona oli, että samaan suuntaan lähtöjen, samasta suunnasta tulojen ja kohtaamisten osalta voidaan saada hyötyjä tason 2 ratkaisulla.

Kalusto-osaprojektin selvitystyö on keskittynyt myös olemassa oleviin ja kehitystyön kohteena oleviin uusiin kalustoratkaisuihin. Niin radanvarren laitteiden, tiedonsiirron kuin kalustolaitteiden kehitystyö etenee hyödyntämällä järjestelmärakenteiden vakioimista ja tiedonsiirron uusia ominaisuuksia. Nykyratkaisujen toteuttamista kalustoon on selvitetty keräämällä tietoa toteutetuista ja meneillään olevista kaluston jälkiasennushankkeista (retrofit).

5.4.2 Nykyinen kulunvalvontajärjestelmä kaluston kannalta

Suomen kalustossa käytössä oleva nykyinen kulunvalvontajärjestelmä on selvästi parempi ja myös turvallisuuden kannalta korkeatasoisempi järjestelmä kuin alun perin siirtymävaiheen järjestelmäksi tarkoitettu ETCS-taso 1.

Suomen JKV-järjestelmä poikkeaa monesta muusta kansallisesta junakulunvalvontajärjestelmästä ominaisuuksiensa osalta muun muassa ilmoittamalla kuljettajalle edessä olevasta opastimesta ja sitä seuraavastakin opastintiedosta etäisyydestä, mikä mahdollistaa ennakoivan ajon. Oleellinen osa on myös JKV:ssa oleva rataverkon rajoitteiden huomiointi järjestelmän valvonnalla. Monissa maissa on käytössä yksinkertaisempia perusjärjestelmiä, joiden tehtävänä on lähinnä huolehtia tarvittaessa junan pysäyttämisestä. Usein myös rajoitteiden huolehtiminen on aikaisemmissa kulunvalvonnoissa saatettu jättää kuljettajan vastuulle. Tämä on osa perusteista, joilla monissa maissa saadaan turvallisuushyötyä ETCS-järjestelmään siirryttäessä.

5.4.3 Rataverkon rajoitteiden käsittely

Rataverkon haltijana Väylä on tehokkaasti huolehtinut rataverkon erilaisten rajoitteiden, esimerkiksi akselipainon, tärinän ja tunnelin mittojen, kohdistamisesta vain sellaisille junille, joita kyseisen rajoitteen tulee koskea. Jos rajoitteita ei kohdistettaisi tarkasti junan ominaisuuksien mukaisesti, menetettäisiin rataverkon kapasiteettia. Kohdistamattomina rajoitteet rajaisivat myös ominaisuuksiltaan sellaisia junia tai sellaisia rataosuuksia (osa reitistä), joita kyseinen rajoite ei koske. Turvallisuutta lisäävänä tekijänä on rajoitekäsittelyt viety myös olemassa olevaan nykyiseen JKV-järjestelmään. Todennäköinen kehityssuunta on, että rajoitteiden määrä saattaa jopa kasvaa tulevaisuudessa.

Rajoitteet pitää jatkossakin käsitellä nyky menetellillä eli järjestelmän on varmistettava tarvittavat rajoitteiden huomioinnit. ETCS-taso 1 ei mahdollista sitä, että järjestelmä

huomioisi kaikki nykyään käytössä olevat rajoitteet, vaan joitakin rajoitteita pitäisi yhdistää. Näin ollen jouduttaisiin tilanteeseen, jossa akselipaino- ja junaluokkatietojen avulla pitäisi tehdä erityisratkaisuja eli ns. kikkailla rajoitekäsittelyn mahdollistamiseksi (osittainen ratkaisu).

ETCS-taso 2 mahdollistaa rajoitteiden junanumerokohtaisen käsittelyn RBC:n avulla. RBC:hen voidaan ohjelmoida erilaisia rajoitteita (speed profiles) junanumerokohtaisesti maakohtaisen määrittelyn yhteydessä. RBC joudutaan aina sovittamaan käytännössä maakohtaisesti.

5.4.4 Kalustoa koskevat tiedot

Selvityksessä on perehdytty tarkemmin Suomessa olevan kaluston määrään ja tulevaan teknologian päivityksen (retrofit). Päivitys kohdistamistuu kalustoon, johon joudutaan tekemään nykyisen JKV-järjestelmän lisäksi lisäpanostuksia. Karkea kokonaisaikataulu retrofitin toteuttamisesta on vahvasti sidoksissa tulevaan radioverkkoratkaisuun. Käytönottosuunnittelu on tehty periaatteella ”Kalusto ja kaluston käyttö ensin”. Tällöin rata-laiteinvestoinnit voidaan toteuttaa joustavasti.

Kaluston osalta on lisäksi selvitetty ETCS-laitteiston rakennetta ja toimilaitteita vetokalustossa sekä käyty läpi STM:n järjestelmän tarkempi kuvaus. Selvää on, että STM-jatkokehittäminen tulevissa uusissa hankkeissa tulee vaatimaan lisää sovitustyötä olemassa olevan STM-ratkaisun edelleen kehittämiseksi. Työn aikana on noussut esille myös vaihtoehto, jossa kulunvalvonnassa ei olisi STM-osuutta vaan toimittaisiin kahdella järjestelmällä, JKV:lla ja ETCS-järjestelmällä. Euroopassa on jo olemassa toimintoja, jossa siirtyminen järjestelmästä toiseen onnistuu täydessä vauhdissa.

5.4.5 Turvallisuushaasteet uusissa ratkaisuissa

ERTMS/ETCS-järjestelmä on tuomassa Euroopassa yleisesti myös turvallisuustason nostoa kulunvalvontajärjestelmän ominaisuuksia kehittäen sekä kuljettajan toimintaa automatisilla valvonnoilla varmistaen. Suomen osalta on nykyiseen junakulunvalvontajärjestelmään jo suunniteltu ja toteutettu valtaosin ne turvallisuusominaisuudet, joita monelle muulle maalle on tulossa vasta ERTMS/ETCS-järjestelmän toteutuksen yhteydessä. Voidaan todeta, että merkittävää kulunvalvonnan turvallisuustason nostoa ei ERTMS/ETCS-toteutus tule tuomaan. Tavoitteena onkin enemmän korkean kulunvalvonnan turvallisuustason säilyttäminen.

Turvallisuuskäyttökohtien kannalta pitää siirtymävaiheen jälkeen samalla rataverkolla olla käytössä mahdollisimman nopeasti vain yksi kulunvalvontajärjestelmä. Suomen nykyisessä tilanteessa alan asiantuntijat painottavat, että ilman todella hyviä syitä ei kannata

ajautua ratkaisuun, jossa jatkossakin olisi käytössä esimerkiksi kaksi eri tasoa (siirtymävaiheessa olisi tuolloin jopa 3 eri järjestelmää).

Vaikka modernin kulunvalvontajärjestelmän ei odoteta merkittävästi nostavan turvallisuustasoa, suurin riskitekijä tämän hetken junaliikenteessä liittyy tilapäisiin nopeusrajoituksiin. Tilapäiset nopeusrajoitukset jakautuvat suunniteltuihin tilapäisiin ja äkillisiin tilapäisiin nopeusrajoituksiin. Väylä on yhteistyössä Finrailin ja operaattoreiden kanssa parantamassa tilapäisten nopeusrajoitusten merkintää, ilmoitusta ja järjestelmätukea. Tilapäiset nopeusrajoitukset ovat kuitenkin aiheuttaneet merkittäviä vaaratilanteita, kun nykyinen baliisijärjestelmään liittyvä prosessi ei toimi moitteettomasti. Tämä johtuu prosessin hitaudesta saada rajoitetta koskeva baliisi rataverkolle oikeaan paikkaan. Esimerkiksi helmikuussa 2020 Suomen rataverkolla oli 101 tilapäistä nopeusrajoitusta.

5.4.6 Kalustoinvestointien huomiointi

ERTMS-järjestelmän toteuttaminen on painottunut järjestelmän alkuvaiheista asti infraa koskevan tukirahoituksen osalle. ERTMS-toteutus on kalusto-omistajien kohdalla ollut vähäistä, koska järkevää syytä kalustoinvestoinneille ei ole ollut näkyvissä.

Viimeisin komission rahoitusehdotus pohjautuu ajatukseen, että tukea kohdistettaisiin kunkin kalustosarjan ensimmäisen ETCS-asennuksen yhteydessä 90% sarjan nk. ensimmäisen kappaleen asennuksesta sisältäen suunnittelukustannuksen, asennuksen toteuttamisen ja hyväksyttämisen prosessin kustannukset. Sarjatoteutuksen osalta tuki voisi olla 50% kustannuksista. Käytännössä tuen pitäisi tulla jäsenvaltiolta, koska ei ole nähtävissä normaaliin ETCS-hankintaan ja asennuskustannuksiin tarkoitettua EU-tasosta rahoituslähettä. Verkkojen Eurooppa (CEF) -rahoitusväline ei pysty olemaan sellainen, vaikka CEF 2 käynnistyisi.

5.4.7 Edistyneemmän tekniikan kehittymisen seuranta ja osallistuminen

Euroopassa on kovat paineet edetä ERTMS/ETCS-käyttöön otossa. Tekniset ratkaisut ovat kuitenkin edelleen päivittymässä. Tämä johtaa vähintään järjestelmäversioiden ohjelmistopäivityksiin (software) ja suurimpien muutosten osalta väistämättä myös laitteistopäivityksiin (hardware). ERA:n määräysten laatimistyön tavoitteena on päivittää YTE:t siten, että vuonna 2022 syntyy mm. ensimmäinen vahvistettu FRMCS-spesifikaatio myös veturilaitteille. Muita keskeisiä kehityskohteita ovat ETCS-tasoon 3 liittyvien eheydenvalvontamäärittelyjen valmistuminen sekä vetokaluston järjestelmäkehitystä tekevä ja referenssiarkkitehtuurin määrittely liikkuvan kaluston ohjaus-, hallinta- ja merkinantojärjestelmälle (OCORA). Kehityshankkeissa ollaan päivittämässä olemassa olevaa, osin toimittajakohdasta rakennetta vakioituksi rakenteeksi ja edelleen yksinkertaistamassa koko vetokalustoon sijoitettua järjestelmärakennetta. Kehitys etenee voimakkaasti, ja uusimpana

ajatuksena on lähdetty voimakkaasti myös ajamaan tavaravaunujen varustamista automaattikytkimin. Tämä on kallis toimenpide, mutta se avasi aivan uudet mahdollisuudet tulevalle ETCS-tason 3 soveltamiselle.

Suomi-tasoisesti tulee yhdessä sopimalla valita keskeiset kohteet, joita seurataan ja joiden kehittämiseen mahdollisesti osallistutaan. Hyviä organisoituja seurantamenettelyjä on hyvä rakentaa myös EUG:n ja Integroitujen rautateiden ja rataverkon haltijoiden rahoittaman yhdistyksen (CER) yhteistyön varaan.

5.4.8 Kalusto Digiradassa

Tehty selvitystyö osoittaa hyvin ERTMS/ETCS-ratkaisujen monitahoisuuden ja monimutkaisuuden. Soveltaminen käytäntöön sekä olemassa olevat nykyratkaisut aiheuttavat merkittävää haastetta kaikelle suunnittelulle ja toteuttamiselle.

Selvitystyössä nousi usein esille, että Suomessa on rakennettu kuljettajaa tukeva hyvin toimiva ja turvallisuustasoltaan korkea kulunvalvontajärjestelmä. Lähtötilanteesta johtuen junakulunvalvonnan turvallisuustasolle ei ole oletettavissa paljonkaan parannuksia, siirtäessä jatkuvatoimiseen moderniin järjestelmään. Turvallisuushyödyt saavutetaan muissa osissa prosessia, ei suoraan kulunvalvonnassa. Ominaisuuksien parantaminen helpottaa ja tehostaa rataverkon haltijan, liikenteenohjauksen ja operaattoreiden työtä.

Teknisten ratkaisujen kehittyminen ja sitä kautta määräysten muuttuminen tulee olemaan alalla jatkuvaa. Haasteena on siirtyä uuteen tekniikkaan maltillisesti niin, että varmistetaan kaikkien toimijoiden tarvittavat osaamistasot. Samalla pystytään huomioimaan tulevat isot muutokset etenkin teknisten järjestelmien ja osajärjestelmien rakenteissa (RCA, OCORA, FRMCS, jne). Uuteen järjestelmään siirtyminen edellyttää osaamisen vaiheittaista rakentamista ja tulee myös muuttamaan nykyisten suunnitteluorganisaatioiden hyödyntämismahdollisuuksia.

Edetessä kohti ERTMS/ETCS-toteutusta on oleellisen tärkeää, että kaikkien osa-alueiden kehitystyöhön, osaamisen kasvattamiseen ja testaukseen panostetaan riittävästi. Uutta rakennettaessa on varmistettava nykyisen kulunvalvontajärjestelmän luotettavuuden säilyminen niin kaluston kuin infran laitteistojen osalta.

5.5 Juridiikka

Tässä kappaleessa esitetään Juridiikka-osaprojektin selvitysten tulokset tiivistetysti. Tulosten laajempi esittely on tehty työryhmän erillisessä raportissa.

Eurooppalaisen rautatiesäätelyn kaksi tärkeintä sääntelyteemaa ovat yhteentoimivuus ja turvallisuus. Yhteentoimivuudesta määrätään yhteentoimivuusdirektiivissä ((EU) 2016/797) ja turvallisuudesta turvallisuudirektiivissä ((EU) 2016/798). Tätä yleistä kehikkoa ja sen mekanismeja hyödyntää myös nyt käsiteltävä ERTMS-säätely.

Rautatiealan oma säätely on kattavaa, mutta rautatietoiminnan hankinnoissa ja kansallisessa organisoinnissa on muistettava myös horisontaalinen säätely, kuten säännökset valtiontuista, kyberturvallisuudesta ja tietosuojasta.

Suurin osa rautatiejärjestelmän täytäntöönpanosta perustuu Euroopan komission antamiin alemman asteisiin säädöksiin, joko päätöksiin tai asetuksiin. Rautatiejärjestelmä koostuu yhteentoimivista osajärjestelmistä ja osatekijöistä. Näiden teknisestä ja toiminnallisesta sisällöstä on säädetty yksityiskohtaisesti osajärjestelmittäin yhteentoimivuuden teknisissä eritelmissä eli YTEissä.

Täytäntöönpanosta poikkeamiseen on EU:n luoma menettely, joka alkaa kansallisella, raideliikennelaissa säädetyllä hakumenettelyllä ja päättyy yhteentoimivuusdirektiivissä säädetyllä tavalla poikkeaman tyypistä riippuen joko tiedoksiantoon komissiolle tai turvallisuudirektiivin mukaisen yhteentoimivuus- ja turvallisuuskomitean ja komission hyväksyntään. Poikkeuksen hakeminen vaatii aikaa ja vaivaa, ja sen saaminen on epävarmaa. TEN-T-verkon osalta myös mahdolliset EU:n tukirahat ovat vaarassa tai niitä ei ehkä saada, jos rataosalle ei tule ERTMS-järjestelmää.

Keskeisimmät ERTMS-järjestelmää tällä hetkellä koskevat YTEt ovat ensinnäkin teknologiaa koskeva OHM YTE (OHM YTE (EU) 2016/919, komission asetus) ja toiseksi käyttötoimintaa ja liikenteen hallintaa koskeva YTE (OPE YTE (EU) 2019/773, komission asetus). ERTMS on otettava käyttöön jäsenvaltioissa, sillä tätä edellyttävät EU:n säädökset, erityisesti asetus unionin suuntaviivoista Euroopan laajuisen liikenneverkon kehittämiseksi 1315/2013 ja sen III luku 39 artikla. Kyseisen artiklan mukaan ydinverkon infrastruktuurin vaatimuksena on, että ERTMS:iä käytetään täysimääräisesti.

5.5.1 Kansallinen säätely

Kansallisesti direktiivit on täytäntöön pantu raideliikennelailla (1302/2018) ja sen nojalla annetuilla säädöksillä, kuten valtioneuvostonasetuksella rautatiejärjestelmän yhteentoimivuudesta (7.3.2019/284).

Kansallisesti raideliikennelaki ja sen nojalla annetut valtioneuvoston asetukset ovat ensisijaisesti EU-lainsäädännön täytäntöönpanoon perustuvia säädöksiä, joilla säädellään EU-lainsäädännön edellyttämällä tavalla mm. rautatiejärjestelmän yhteentoimivuutta ja turvallisuutta, rataverkon haltijan toimintaa, rautatieliikenteen harjoittamista rataverkolla

sekä rautatiemarkkinoiden toimivuutta. Ratalaki (110/2007) sisältää säännökset mm. rata-verkon suunnittelusta, rakentamisesta, ylläpidosta ja kehittämisestä osana liikennejärjestelmää ja kyseisen lain säännökset ovat ensisijaisesti kansallista sääntelyä.

Kansallisen toimeenpanosääntelyn osuus on rajallinen ja koskee lähinnä menettelyiden kansallista osaa, avoimia kohtia ja luokan B järjestelmien teknisiä vaatimuksia. Sitä mukaa, kun unionitasolla annetaan yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä, mahdollisuus ja tarve kansallisten oikeussääntöjen antamiseen on rajatumpi. Unionitasolla annettavat yhteentoimivuuden tekniset eritelmit annetaan pääsääntöisesti komission täytäntöönpanoasetuksina Euroopan parlamentin ja neuvoston hyväksymien direktiivien nojalla. Nämä asetukset ovat suoraan sovellettavaa EU-oikeutta, eikä niistä tarvita kansallista täytäntöönpanolainsäädäntöä. Myös tulevat junien automaattista ajoa koskevat teknologia- ja käyttönormit tulevat täytäntöönpanoasetuksissa tai niissä mainituissa, tai pakollisena noudatettavina, eritelmissä ja standardeissa.

Jos EU:n sääntelyä olisi jostain syystä tarpeen täydentää kansallisin säädöksin, esimerkiksi turvallisuuteen liittyvien parannuksien tekemiseksi vielä käytössä oleviin luokan B järjestelmiin, on kansalliset säädökset notifioidava ennakkoon. Notifioinnin avulla komissio/ERA varmistaa, etteivät yhteentoimivuus ja rautatiemarkkinat vaarannu.

Suomen rataverkon hallinnointi ja liikennöinti on suurelta osin EU:n säädöstoimivaltaan kuuluva asia. Suomen rataverkko on osa yhtenäistä eurooppalaista rautatiealuetta. Rata-verkon rakentaminen, hallinta ja käyttö ovat EU-tasolla säädeltyä toimintaa, jota kansallinen sääntely vähäisessä määrin täydentää. Eurooppalaiset säädökset on tunnettava, kun suunnitellaan, millainen rautatieliikenteen hallintajärjestelmä Suomessa otetaan käyttöön lähitulevaisuudessa. Erityisesti nyt olisi tärkeä myös kartoittaa se, mihin suuntaan eurooppalaista säädöskenttää ollaan kehittämässä. Suomen on vaikutettava aktiivisesti säädösten sisältöön mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta säädökset eivät pakota Suomea ottamaan käyttöön kalliita Suomen oloihin sopimattomia järjestelmiä. Erityisesti tämä koskee seuraavan sukupolven radio- ja tietoverkkoteknologioita ja -taajuuksia. Suomen on myös pyrittävä siihen, että säädökset mahdollistavat innovaatiot ja yleisten teknologioiden hyödyntämisen myös raideliikenteessä.

Muutosta ERTMS-maailmaan voi kuvata hyppäyksellä analogisesta ympäristöstä digitaaliseen maailmaan. Tämän muutoksen mahdollistamiseen on komissio antanut selkeät suuntaviivat Euroopan raideliikennevirasto ERA:lle ja muille ERTMS:n uudistusta suunnitteleville instituutioille. Muutos edellyttää uudistusta suunnitteleville ja seuraaville toimijoille sekä viranomaisille laajaa panostusta resursseihin ja tietotaitoon.

Jäsenvaltioilla on velvollisuus tehdä kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma ERTMS:n käyttöönotosta. Suomi toimitti oman suunnitelmansa kesäkuussa 2017.

Täytäntöönpanosuunnitelma ei ole juridisesti sitova. Vuoden 2022 heinäkuuhun mennessä, jätettävä täytäntöönpanosuunnitelma voi olla edeltäjäänsä huomattavasti tavoitteellisempi. Digirata-selvityksen materiaalia voidaan hyödyntää seuraavan täytäntöönpanosuunnitelman tekemisessä.

5.5.2 Yleinen rautajärjestelmän sääntelykehikko ja ERTMS:n käyttöönottoa tukeva sääntely

Yhteentoimivuus ja turvallisuus – kaksi eurooppalaista päämäärää ja sääntelykohdetta

Yhteentoimivuus- ja turvallisuusedirektiivit luovat periaatteet ja kehyksen. Konkreettinen ja yksityiskohtainen sääntely on delegoitu annettavaksi komission asetuksin ja päätöksin. Säädöksillä on perustettu sekä toimivalta määrittellä rautatieliikenteen hallintajärjestelmien pakolliset tekniset vaatimukset, että ne lupa-, valvonta- ja turvallisuusjohtamisjärjestelmät, joilla varmistetaan, että teknisiä määräyksiä myös noudatetaan.

Rautatieyritysten ja rataverkon haltijan roolit

Rautateiden turvallisuusedirektiivin keskeinen eurooppalainen ratkaisu on säätää kattavasti koko järjestelmää koskevat turvallisuusvaatimukset, mukaan luettuina infrastruktuurin ja liikennöinnin turvallinen hallinnointi sekä rautatieyritysten, rataverkon haltijoiden ja unionin rautatiejärjestelmän muiden toimijoiden välinen vuorovaikutus. Jäsenvaltioiden on varmistettava, että rataverkon haltijat ja rautatieyritykset ovat kukin itselleen kuuluvalla järjestelmän osalta vastuussa unionin rautatiejärjestelmän turvallisesta käytöstä ja siitä aiheutuvien riskien hallinnasta.

Rataverkon haltijalla on laaja itsenäinen vastuu ja toimivalta päättää hallinnoimansa rataverkon osasta. Rataverkon haltijan yleisestä roolista, vastuusta, itsenäisyydestä sekä oikeudesta hallita rataverkkoa ja päättää siitä, mitkä rautatieyritykset on päästettävä ja millä edellytyksillä radoille liikennöimään, on säädetty direktiivissä yhtenäisestä eurooppalaisesta rautatiealueesta.

Turvallisuusjohtamisjärjestelmien keskeinen merkitys

Turvallisuusedirektiivissä säädetään rautateiden turvallisuusvaatimuksista. Sääntelyn kohteina ovat infrastruktuurin ja liikennöinnin turvallisuus sekä rautatieyritysten, rataverkon haltijoiden ja unionin rautatiejärjestelmän muiden toimijoiden vastuut.

Keskeiset toimijat, joille on säädetty velvollisuuksia, ovat rataverkon haltija ja rautatieyritykset. Keskeisin väline, jolla näiden on huolehdittava turvallisuudesta, on organisaatioissa käyttöön otettava turvallisuusjohtamisjärjestelmä. Sen käyttöönotto varmennetaan direktiivin mukaisessa prosessissa, joka päättyy monen vaiheen jälkeen siihen, että liikenne- ja

viestintävirasto viranomaisena antaa turvallisuusluvan rataverkonhaltijalle ja liikenne- ja viestintävirasto tai ERA turvallisuustodistuksen rautatieyrityksille.

5.5.3 Euroopan laajuinen liikenneverkko

TEN-T-verkko on EU:n priorisoima rataverkon osa: uudet tekniikat on otettava niillä käyttöön etupainotteisesti, mitä tuetaan myös taloudellisesti.

TEN-T-verkko muodostuu eurooppalaisittain tärkeistä rataverkon osista, joiden rakentamista ja käyttöönottoa priorisoidaan EU:ssa ja joille on asetettu omia vaatimuksia liittyen uuden tekniikan käyttöönottoon. Verkko koostuu vuoteen 2030 mennessä rakennettavasta ydinverkosta (core network) ja vuoteen 2050 mennessä rakennettavasta kattavasta verkosta (comprehensive network). TEN-T-verkon perussäädös on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus suuntaviivoista Euroopan laajuisen liikenneverkon kehittämiseksi sekä CEF -rahoitusvälineen perustamisesta. CEF-rahoituksen tavoitteena on tukea investointeja uuden liikenneinfrastruktuurin rakentamiseksi Euroopassa sekä tukea investointeja olemassa olevan infran kunnostamiseksi ja parantamiseksi.

5.5.4 ERA ja osajärjestelmien hyväksynnät

Ennen ERTMS-järjestelmän käyttöönottoa sille tulee tehdä EY-tarkastus, jolla tarkoitetaan yhteentoimivuusdirektiivin 15 artiklassa tarkoitetun hakijan toteuttamaa menettelyä, jolla osoitetaan, että osajärjestelmää koskevat unionin oikeuden ja asiaa koskevien kansallisten sääntöjen vaatimukset täyttyvät ja osajärjestelmälle voidaan antaa käyttöönottolupa. Osajärjestelmän sekä myös osatekijöiden vaatimustenmukaisuus osoitetaan EY-tarkastusvakuutuksella silloin kun sovelletaan yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä. Raideliikennelain 8 luku sisältää säännökset yhteentoimivuuden osatekijöiden ja luku 9 osajärjestelmien markkinoillesaattamisesta. Luku 10 sisältää tarkemmat säännökset kiinteiden rakenteellisten osajärjestelmien käyttöönoton edellytyksistä, sekä ERTMS-ratalaitteiden EU:n rautatieviraston ennakkotarkastuksen hakemisesta. Ennakkotarkastuksella pyritään varmistamaan ERTMS-järjestelmän yhdenmukainen käyttöönotto ETA-valtioissa. Raideliikennelain luku 11 sisältää tarkemmat säännökset liikkuvien osajärjestelmien käyttöönotosta. Liikkuvan kaluston markkinoillesaattamislupa, jota haettaisiin yhteentoimivuusdirektiivin edellyttämällä tavalla joko Liikenne- ja viestintävirastolta tai EU-virastolta.

ERA:lle on annettu merkittävä, kansallisista viranomaisista riippumaton rooli ja tehtävä eurooppalaisen rautatiejärjestelmän toimeenpanossa. ERA on yksinomainen tai vaihtoehtoinen viranomainen kansallisille viranomaisille. Tarkemmin tehtävistä on säädetty rautatiealan direktiiveissä ja niitä tarkentavissa säädöksissä.

ERA on perustanut keskitetyn palvelupisteen (One Stop Shop, OSS), jonka kautta hakijat asioivat. Järjestelmä on koko laajuudessaan englanninkielinen, mutta osa sivuista ja lomakkeista on kaikilla unionin kielillä. Se on luotu rautatieyritysten turvallisuustodistusten sekä kaluston osajärjestelmien hyväksyntäprosessia varten. Muista osajärjestelmistä poiketen, sitä käytetään lisäksi ERTMS-ratalaitteiden tarjouspyyntöasiakirjojen hyväksynnän käsittelyyn (Applications for ERTMS trackside approval).

Ratalaitteet

Ennen tarjouskilpailun aloittamista ERTMS-ratalaitteiden tarjouspyyntöasiakirjat on lähetettävä etukäteen hyväksyttäväksi ERA:lle. Hakemukset on jätettävä ERA:n sähköiseen OSS-järjestelmään. Järjestelmässä hakija ja ERA noudattavat kolmivaiheista hyväksyntämenettelyä ERTMS-ratalaitteiden tarjouspyynnöstä ja siihen liittyvistä asiakirjoista. Menettelyn kolme vaihetta ovat:

- a. Alustava vaihe: hakija käynnistää ennen hakemuksen virallista jättämistä viraston kanssa vuoropuhelun hyväksyntämenettelyn helpottamiseksi. Ei määräaikaa, riippuu asian monimutkaisuudesta.
- b. Hakemuksen jättäminen ja tietojen täydellisuuden tarkistaminen:
1 kuukausi
- c. Arviointi ja päätöksenteko: 2 kuukautta + mahdollinen uudelleen käsittely 2 kuukautta.

ERTMS:n ratalaitteiden tarjouspyynnön ennakkotarkastamisen ja hyväksynnän lisäksi osajärjestelmälle tarvitaan yhteentoimivuusdirektiivin ja OHM YTE:n mukainen EY-tarkastusprosessi ja käyttöönottolupa. Tässä prosessissa toimitetaan suunnitelma liikenne- ja viestintävirastolle, joka ilmoittaa toimitetun suunnitelman perusteella tarpeen rautatiehankkeen käyttöönottoluvalle.

Kaluston laitteet

Ennen kuin uutta tai muutettua rautatieliikenteen kalustoyksikköä saa käyttää EU:n rataverkossa, tarvitaan yhteentoimivuusdirektiivin ja YTE:jen mukainen EY-tarkastusprosessi ja tyyppihyväksyntä ja/tai markkinoillesaattamislupa. Hakemukset on jätettävä ERA:n sähköiseen OSS-järjestelmään.

5.5.5 Kyberturvallisuus ja ERTMS

ERTMS:n kyberturvallisuus vaikuttaa olennaisesti koko rautatieliikenteen hallintajärjestelmän kyberturvallisuuteen. Tämän vuoksi YTE:issä on tarpeen asettaa vaatimukset koko ERTMS:n ja erityisesti radioviestijärjestelmän kyberturvallisuudelle. Lisäksi YTEissä voidaan

säättää täydentävistä eritelmistä ja standardeista myös pakollisesti noudatettavaksi. Eurooppalainen sähköalan standardoimisjärjestö CENELEC on laatimassa ERTMS-järjestelmätason kyberturvallisuusstandardia. Euroopan kyberturvallisuusvirasto ENISA osallistuu myös ERTMS:n kehittämistyöhön ja on mahdollista, että se sertifioi järjestelmän. Kansallisella tasolla sertifiointiin voivat osallistua kansalliset toimijat, mukaan lukien Traficom.

Alla esitetystä kuvasta käy ilmi, mitä uusia mahdollisuuksia syntyy, kun rautatieliikenteen hallintajärjestelmä modernisoidaan ottamalla käyttöön ERTMS:n radioviestintään perustuvat ETCS-tasot 2–3. Tämä kokonaisuus pyritään ottamaan huomioon kyberturvallisuuden normeja luotaessa.



Lähde: CENELEC prTS 50701:2019 Railway Applications – Cybersecurity

Kuvio 14. ERTMS:n mahdollistamista toiminnoista ja sisällöstä

Ensimmäiset YTE:t on julkaistu suurten nopeuksien verkolle jo vuonna 2002 ja tavanomaisten nopeuksien verkolle vuonna 2004. Eritelmissä ohjausjärjestelmä jaetaan kansallisiin niin sanottuihin luokan B järjestelmiin ja eurooppalaiseen luokan A järjestelmään, joka on ERTMS. Suomen kansallinen luokan B järjestelmä on JKV.

Osajärjestelmien YTE:jä uudistetaan parhaillaan. Pääosin ratalaitteita koskeva osuus on tulossa OHM YTE:en. Kaluston laitteita koskeva osuus on tulossa veturit ja henkilöliikenteen liikkuva kalusto (LOC & PAS) -YTE:en. OPE YTE uudistetaan myös. Siihen sisältyvät kaikki käyttötoimintaa (ihmisten toimintaa) koskevat määräykset eli liikenteen suunnittelu ja -hallinta, junan kokoonpano, junan jarrutus, junan näkyvyys, tietojen tallennus, vajaa-toimintatilanteet, jne. Uudistamista koordinoi ja johtaa komission antamalla mandaatilla ERA, ja työn on ennakoitu olevan valmis vuonna 2022. Uudistusten tavoitteena on siirtyä Euroopan rautateillä kohti tehokkaampaa liikenteen hallintaa ja automaatiota. Uudistamisen käytännön tavoitteena on ERTMS:n uusien teknologioiden käyttöönotto. Uudistaminen etenee, ja komission tavoitteena on, että YTE-uudistuksissa päästäisiin useamman vuoden sykliin, joten v. 2022 jälkeen seuraava uudistus olisi esim. v. 2025. Uudistaminen tapahtuu säädösteknisesti antamalla uudet komission asetukset YTE:istä. Samalla päivitetään voimassa olevissa asetuksissa olevat viittaukset uusittuihin tai uusittaviin standardeihin ja eritelmiin, joihin YTE:jen toimeenpano yksityiskohdissaan perustuu.

5.5.6 Skenaariot sääntelyn näkökulmasta

ERTMS:n yhteentoimivuus on helpointa toteuttaa, jos kaikki järjestelmän osat, kuten radan turvalaitteet ovat jo hankittuja normit täyttyviä tai hankitaan ja rakennetaan yhtenä kokonaisuutena. Käytännössä rakentaminen tapahtuu kuitenkin joillakin rataosilla olemassa olevaa vanhaa turvalaiteinfrastruktuuria hyödyntäen. Niinpä OHM YTE:ssä on kuvattu ja uudistetussa LOC & PAS YTE:ssä tullaan kuvaamaan vaatimukset laitteille ja rajapinnoille molempia tilanteita, sekä vanhaa että uutta turvalaitteistoa, silmällä pitäen. Vaatimusten toteutuminen tarkastetaan normaalissa EY-tarkastusmenettelyssä.

EU-tasolla on jo hahmoteltu niitä mahdollisia teknologioita, joilla radiopohjainen ERTMS voitaisiin toteuttaa. Varhaisille toteuttajille ennen säännösten voimaantuloa tehdyt teknologiavalinnat muodostavat riskin, sillä ei tiedetä, mitkä teknologiat lopulta tulevat osaksi uudistettavaa ERTMS-sääntelyä.

Ennen valitun skenaarion käyttöönottoa tulee sen mukaiselle liikennöinnille olla käyttö-säännöt. Liikennöinnin käytösäännöt tulee olla tehtyinä ja henkilökunta koulutettuna ennen ERTMS:n mukaisen liikenteenohjausjärjestelmän tai tason käyttöönottoa.

Kehittäminen ja eteneminen kohti ERTMS:n käyttöönottoa voidaan jakaa kahteen erilaiseen vaiheeseen. Ensimmäinen on kansallisesti suoritettava testausvaihe, joka ei johda EY-tarkastusmenettelyyn, eikä edes kaupalliseen koeliikenteeseen. Toinen vaihe on pilotointi, jolloin rakennettaisiin pilotoitava rata/kalusto-yhdistelmä kaupalliseen koeliikenteeseen. Se olisi hyväksyttävä normaalisti EY-tarkastusmenettelyissä.

Kehittäminen ja eteneminen kohti muuta kuin ERTMS:n sääntelyn mukaista järjestelmää on kehittämistä kohti poikkeusmenettelyä. Poikkeukset voivat ensinnäkin olla tapa jatkaa nykyisen, kansallisiin sääntöihin perustuvan infran ja kaluston käyttöä vanhalla tekniikalla. Vaikka ratalaitteet ja kalusto säilyisivät siis nykyisinä, poikkeuksia niiden käytön jatkamiselle olisi haettava jossain vaiheessa, jos niitä uudistetaan tai parannetaan. Toiseen poikkeuksia tarvittaisiin, jos Suomessa päätettäisiin uudistaa tai vaihtaa järjestelmät kokonaan toisenlaiseksi, ja uusi ratkaisu olisi sisällöltään joku muu kuin ERTMS:n sääntelyn mukainen ratkaisu. Sillä, onko uusi teknologia vanhempi, uudempi tai muulla tavalla erilainen kuin ERTMS, ei ole merkitystä. Poikkeusta olisi aina haettava ERTMS:stä poikkeavaan ratkaisuun. Kolmanneksi, jos Suomessa rakennetaan aivan uusia, tietyt kynnyskriteerit ylittäviä ratoja (esim. tunnin junat), niille olisi haettava poikkeus alusta asti, jos järjestelmät eivät olisi ERTMS:n mukaisia.

5.5.7 Väyläviraston vai muun tahon toteuttama hankinta

ERTMS jakaantuu kahteen osaan: kaluston ja ratalaitteisiin. Kaluston uudistaminen on omistajiensa vastuulla ja ratalaitteiden rataverkonhaltijan vastuulla.

Hankintatapaa mietittäessä on otettava huomioon, että rataverkon haltijan mahdollisuus siirtää lakisääteisiä tehtäviään muun tahon hoidettavaksi (vastuun siirto) on rajallista. Rataverkon haltijan lakisääteistä viimekätistä vastuuta rautatieverkon kokonaisvaltaisesta turvallisuudesta ei voida siirtää muulle osapuolelle esimerkiksi sopimuksin. Tämä ei kuitenkaan estä rataverkon haltijaa hankkimasta sopimusteitse palveluita, jotka liittyvät esimerkiksi suunniteluun ja toteutukseen, rataverkon käyttöön, liikenteenohjaukseen tai kunnossapitoon.

5.6 Kansainvälisten hankkeiden kartoitus ja analysointi

Tässä kappaleessa esitetään Kansainvälisten hankkeiden kartoitus ja analysointi -osaprojektin selvitysten tulokset tiivistetysti. Tulosten laajempi esittely on tehty työryhmän erillisessä raportissa.

Selvityksen aikana vierailtiin useassa referenssikohteessa. Vierailuissa muodostui hyvä kokonaisnäkemys kunkin kohteen nykytilanteesta sekä tulevan kehityksen oletetusta suunnasta.

5.6.1 Yhteenveto vierailuista

Useimmat vieraillut maat ovat etenemässä suhteellisen modernilla, mutta tunnetulla teknologialla. Kauttaaltaan rataverkon haltijat seuraavat uusimpien kehityshankkeiden etenemistä ja odotusarvoisesti näkevät kustannushyötyjä hankkeiden toteutuessa laajemmin, minkä vuoksi ovat myös osittain mukana kehityksessä. Kehityksen vauhti on vielä kysymysmerkki, mutta kansainvälisistä vierailuista kerätyn tiedon perusteella se näyttää nopeutuvan myös rautatiealalla.

Rataverkon haltijat jakoivat mielellään omia suunnitelmiaan kansallisesta kehittämisestä, ja niiden avulla voidaan muodostaa myös Suomen kannalta oleellisia johtopäätöksiä. Rataverkon haltijoiden osalta on nähtävissä jokaisessa maassa pieniä eroja operointi- ja suunnittelusäännöissä, mistä voidaan päätellä, että myös Suomen kannattaa tutkia omia malliaan tarkemmin, kun tulevaisuutta suunnitellaan. Tietyistä hypoteeseista liittyen uskomuksiin ja tulevaisuuden kehitykseen keskusteltiin tapaamisten aikana, jotta varmistutaan oikeasta tulkinnasta. Lisäksi käytiin läpi joitakin aiheita valitun järjestelmän kehitykseen ja tehokkaaseen implementointiin liittyen.

Laitetoimittajat kertoivat omista kehityslähtökohdistaan suhteellisen avoimesti. Luonnollista on, että toimittajat haluavat ymmärtää asiakkaan tarpeita, minkä vuoksi kävimme Digirataa jonkin verran tapaamisissa läpi. Saimme kuitenkin suhteellisen hyvän mielikuvan myös toimittajien näkemyksestä, ja pystyimme vertailemaan rataverkon haltijoiden ja toimittajien näkemyseroja, vaikkakaan emme aivan jokaisesta näkökulmasta.

Vierailujen aikana keskusteltiin myös kansainvälisestä yhteistyöstä. Suomelle on nyt nimeytyt osallistajat RCA Coregroup:n kokouksiin, ja tällä tavalla on päästy tutustumaan muun muassa RCA-kehitykseen. Sveitsissä on keskusteltu myös muista yhteistyötavoista. Heidän kanssaan olisi mahdollisuus syventää yhteistyötä esimerkiksi henkilövaihtoon. Myös Viron kanssa on keskustelua avattu ja sovittu kehityksen yhteisestä seurannasta. Yhteistyömahdollisuuksia sopivissa kokonaisuuksissa on tuotu esille myös suoraan Saksan ja Espanjan suunnalta.

Tapaamiset osoittautuivat erittäin hyödyllisiksi, ja ainakin osa jo koetuista haasteista voidaan välttää projektin eri vaiheissa. Suomen kannalta on erityisen tärkeää ymmärtää kokonaisuudessaan hieman tarkemmin tulevaisuuden kehityksen suuntaa sekä joitakin ratkaisevia yksityiskohtia soveltuvissa toteutusmalleissa. Jatkossa vastaavanlaista järjestelmällistä yhteistyötä kannattaa jatkaa kehityksen edetessä ja mahdollisuuksien mukaan osallistua laajemmin eri työryhmien työskentelyyn.

Yhteenveto vierailujen perusteella kerätystä rataverkon haltijoiden ja toimittajien sekä muiden sidosryhmien näkemyksistä on koottu taulukoihin, jotka löytyvät liitteestä.

5.6.2 Vierailukohteet

Tanska: Banedanemark:n koko maan kattava ERTMS, ETCS-taso 2. Hankkeeseen ovat jhtaneet huonokuntoiset asetinlaitteet, joiden vuoksi tehokkuus ja täsmällisyys on ollut huonoa. Vuonna 2024 60% asetinlaitteista olisi vaatinut uusimista. Laajan hankkeen puolesta puhui saavutettava etu kokonaishinnassa. Liikkuvan kaluston asennukset ovat olleet iso kompastuskivi, ja sen vuoksi järjestelmän käyttöönotto on viivästynyt. Kalustossa oli liian monta muokattua veturia eri kalustosarjoissa, mikä aiheutti jokaisessa yksikössä erilaisia haasteita ja vei näin ollen aikaa.

Sveitsi: SBB:n SmartRail ja European Rail Infrastructure Forum 2019. Useissa maissa on tulossa mittavia asetinlaiteinvestointeja, sillä teknologia vanhenee. Investointien on todettu maksavan todella paljon. Myös ETCS-tason 1 ja 2 kapasiteettihyötyjä on parannettava. Tähän haetaan ratkaisua modernien teknologioiden ja ohjelmistojen sekä standardoinnin avulla. Argumentteja onnistumisen edellytyksistä ja vastaan. Sveitsissä työn alla olevat ratkaisut näyttävät olevan kustannustehokkaita (hyvä business case).

Saksa: Tutustuminen Digitale Schiene Deutschland -hankkeeseen, jonka yhteydessä saatiin tietoa kansallisista suunnitelmista ERTMS:n liittyen. Saksa on etenemässä ensimmäisessä vaiheessa ETCS-tason 2 ratkaisulla ja digitaalisella asetinlaitteella. Rautateiden digitalisointiohjelma on nyt yhdistetty ERTMS-kehitysohjelman kanssa, koska digitalisoitumisen hyödyt halutaan saada mahdollisimman hyvin käyttöön implementoinnissa. Läheistä kehitysyhteistyötä Ranskan ja Sveitsin kanssa. Saksassa yhtenä kehityskohteena on ATO-kehitys ja Hampurissa on jo implementointi menossa paikallisliikenteen osalta. Digitalisointiohjelman ja ERTMS-kehityksen kokonaisorganisointiin nähdään Saksassa yli 1000 ihmisen tarve. Viimeisimmän tiedon mukaan Saksa on perustanut erillisen hankeyhtiön vastamaan rautateiden digitalisaation edistämisestä. Hankeyhtiön työ on juuri käynnistynyt.

Alankomaat: Prorail on etenemässä ETCS-tason 2 järjestelmällä minimissään, mutta tutkivat rataosakohtaisesti ETCS-tason 3 hybridi -järjestelmän mahdollisuutta kapasiteetin kasvattamiseen. Hankintaa on ajateltu tehdä RBC- ja asetinlaitekokonaisuus yhdistäen. ATO:a on jo pilotoitu joillakin rataosilla, ja tulevaisuudessa tutkimusta jatketaan tiiviisti kohti modernimpia ratkaisuja. Kaluston osalta tavoitteena on kaksoisvarustella kaikki kalusto ennen infran päivittämistä.

Norja: BaneNOR on käynnistänyt maan kattavan ERTMS-hankkeen, jossa varustetaan kokomaa ETCS-tasolle 2 ja siitä jopa hieman edistyneemmälle tasolle, vastaten miltei ETCS-tason 3 Hybridi -ratkaisua. Hankinta on jaettu kolmeen osa-alueeseen: turvalaitteisiin (ETCS ja asetinlaitteet), kalustoon ja liikenteenohjausjärjestelmään. Hankkeen käynnistämisen taustalla olivat vanhentuneet ja huonokuntoiset turvalaitteet sekä vaara joutua sulkeamaan joitakin rataosia kokonaan. Hankkeesta vastaa yhtiömuotoinen BaneNOR (entinen Jernbaneverket). Ennen hankkeen käynnistämistä Norjassa oli käytettävissä vuonna 2015

rakennettu pilottirataosa, jonka kautta opittiin ETCS-järjestelmistä sekä pystyttiin edistämään kansallista kehitystä mm. suunnittelu- ja operointiohjeita. Norjan rataverkon 4209 kilometristä 94% on yksiraiteista. Koko maan kattavan hankkeen kehityksestä vastuuta on ottanut myös BaneNOR itse, esimerkiksi STM:n kehittämisen sekä testauslaboratorion muodossa.

Ruotsi: Trafikverket:ltä saadun tiedon mukaan maa on etenemässä ETCS-tason 2 järjestelmällä, tutkien samalla digitaalisen asetinlaitteen implementointimahdollisuutta. Ruotsilla on selkeät suunnitelmat etenemiselle seuraaville vuosille vuoteen 2029 saakka, keskittyen malmirataan ja koridoreihin. Lähitulevaisuuden hankkeisiin saadaan osittain rahoitusta EU:lta.

Iso-Britannia Network Rail: Target 190+ kehityshanke (Entinen osa Digital Railway -kokonaisuutta). Hankkeen käynnistymiseen on johtanut korjausvelan suuri kasvu ja sitä kautta omaisuuden arvon väheneminen. Nykyisestä hintatasosta on päästy ETCS-tason 2 avulla laskennallisesti huomattavasti alempaan kustannustasoon. Tulevaisuuden teknologian, kuten rataverkon haltijoiden yhteinen konseptikehitys RCA:n ja muun tulevaisuuden tekniikan, kautta tavoitellaan vieläkin alhaisempaa kustannustasoa. NetworkRail panostaa todella paljon uuden teknologian kehitykseen saavuttaakseen kustannusten tavoitetilan, ja he ovat käynnistäneet 7 erilaista kehitysohjelmaa. Kehitysohjelmat sisältävät mm. kunnonapidon, virransyötön, rakentamisen, turvallisuuden, operoinnin, verkkoteknologian ja junien ohjauksen kehittämisen. Tulevaisuuden suunnittelussa on siirrytty pidemmän aikajänteen suunnitteluun, jopa 20 vuoteen, käsittäen 4 viisivuotista rahoituskautta. Testiradan kautta on saatu hyviä kokemuksia ETCS-järjestelmistä, minkä avulla jatkoa on ollut helpompi suunnitella. Uusimisen on suunniteltu alkavan kalustosta, jonka omistavat pääosin pankit.

Espanja: ADIF, Cedex ja CAF (toimittaja) -tapaamiset toivat laajan näkemyksen espanjalaisen järjestelmien tilasta ja tulevaisuuden kehityssuunnasta. Espanjassa on aloitettu ERTMS-implementoinnit heti 2000-luvun alussa, jolloin ensimmäiset järjestelmät tulivat käyttöön. Nykyään Espanjassa on edelleen kaksi eri raideleveyttä ja useita eri teknisiä järjestelmiä käytössä, kuten ETCS-tasoa 1 (1900 ratakm), ETCS-tasoa 2 (607 ratakm) sekä kansalliset junakulunvalvontajärjestelmät (LZB ja ASFA). Kaikki nopeat junayhteydet varustetaan GSM-R ja ETCS-tason 2 järjestelmällä sekä yleensä myös ETCS-tason 1 ja ASFA-järjestelmillä, jotta varmistetaan kaiken kaluston mahdollisuus liikennöidä rataverkolla. Normaalille rataverkolle, jossa ei liikennöidä nopeilla junayhteyksillä, suunnitellaan ETCS-tasoa 1 sekä maassa jo käytössä olevan radioverkon käyttöä viestintään. Normaalin rataverkon radioverkko ei ole GSM-R-verkkoa. GSM-R-verkon peitto tulee olemaan kokonaisuutena noin 25% rataverkosta. Espanja ei ole halukas lähtemään uusimpiin kehityshankkeisiin, sillä se on raivannut alusta saakka tiensä eri baseline-vaatimusten välillä ja on tyytyväinen nykytilanteeseen.

Belgia: Infrabel on käynnistänyt kattavan ohjelman koko maan ERTMS-varustelusta. Uusinta käsittää turvalaitteet ja ETCS-järjestelmät. Myös kalusto varustellaan Infrabel:n toimesta. Ohjelman perusteena ovat olleet turvallisuuspuutteet rataverkolla sekä heikot olemassa olevat järjestelmät. Tavoitteena on hankkia pääväylille ETCS-tason 2 järjestelmät sekä vähemmän liikennöidyille osuuksille ETCS-tason 1 järjestelmä. Infrabel saa merkittävän parannuksen jo ETCS-tasolla 1, koska vanha järjestelmä on ominaisuuksiltaan suhteellisen rajoitettu. Infrabel on järjestänyt merkittävän määrän asiantuntijoita ERTMS-investointien käyttöön useista organisaation osistaan.

Viro: Viro on etenemässä tällä hetkellä puhtaalla ETCS-tason 1 ratkaisulla, vaikka muutkin korkeamman tason vaihtoehdot kiinnostavat. ETCS-tason 1 implementointi toimii pohjana, kun vetokalusto uusiutuu sähköistyshankkeen johdosta. Virossa ensimmäinen vaihe on modernisoida asetinlaitteita riittävästi, minkä jälkeen ERTMS-implementointi voi alkaa. Viro on kiinnostunut hyödyntämään kaikkia digitalisaation tarjoamia mahdollisuuksia.

Italia: Italialaisen laitetoimittajan (ECM) mukaan Euroopassa edetään pääosin ETCS-tason 2 ratkaisulla, ja myös toimittajalla on tason 2 kehitystyö käynnissä. Toimittaja panostaa itse ETCS-tason 1 ratkaisuun, koska kysyntää on edelleen maailmanlaajuisesti. Toimittajan mukaan he suosivat itse uusissa hankkeissa asetinlaite- ja RBC-yhdistelmää. Kehitystyö on meneillään, ja tavoite on ohjata 80 junaa yhden RBC:n alueella.

Kiina: Kiina on kehittämässä omaa junakulunvalvontajärjestelmää (CTCS), joka on osittain vastaava ETCS:n kanssa. CTCS lähtee tasolta nolla, sisältäen tasot aina neljään saakka. Nykyisellään CTCS on jaettu 5 tasoon, joiden numerot perustuvat osittain ETCS-luokitukseen tasolta 1 tasolle 3. CTCS-taso 0 on junille, joiden nopeus on alle 120 km/h ja jotka toimivat olemassa olevien merkinantolaitteiden kanssa. CTCS-taso 1 on junille, joiden maksiminopeus on välillä 120 km/h ja 160 km/h. CTCS-taso 2, jolla nopeus ylittää 200 km/h, mutta ei ylitä 250 km/h. CTCS-tasolla 3 on GSM-R:n pohjautuva kehittynyt junanhallintajärjestelmän vikasetotilan yhteensopivuus tason 2 kanssa. Tasosta 4 käytetään nimitystä uuden sukupolven CTCS. Siinä on liikkuva suojavälitoiminto junien intervallin hallintaan, GSM-R tai LTE-R-viestintäjärjestelmä tiedon välitykseen junien ja radanvarren välille sekä junien sijainnin tunnistukseen maailmanlaajuiset satelliittipaikannusjärjestelmät (GNSS) kuten maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä (GPS) ja muut vastaavat satelliittipaikannusjärjestelmät. ERTMS-konferenssiesitys Kiinasta vuonna 2016 rinnasti CTCS-tasot numeroltaan yhden pienempään ETCS-tasoon. Toisin sanoen, TCS taso 3 ~ ETCS taso 2, CTCS taso 2 ~ ETCS taso 1.

Japani: Tutustuminen Japanin rautateihin ja operaatioihin. Suuntana hajautuminen eri maanosien välillä teknisesti eli aivan erilainen kuin Euroopassa.

Siemens: Tutustuminen uusimpiin kehitystuloksiin. Nykyisillä järjestelmillä yhdellä junalaitteistolla voidaan liittyä kaikkiin ETCS-tasoihin. Teollisuus on mukana useimmissa uusimmissa kehityshankkeissa. Osittain ratkaisuja mietitään vielä maakohtaisesti. Kansallinen täytäntöönpanosuunnitelma tärkeä dokumentti tiedonvaihdoissa teollisuuden suuntaan.

Thales Zurich: Toimittajan rakentamilla järjestelmillä siirrytään ETCS-tason 1 alueelta ETCS-tason 2 alueelle ilman katkoksia ja toisinpäin. Junalaitteistona toimii sama molemmilla tasoilla, riippumatta junalaitteiston toimittajasta. Siirrokset on voitu toteuttaa ilman häiriötä junille. Toimittaja on panostanut omaan laboratorioon, jossa tehdään SBB:n hyväksyntätestit laitteistolle. Sveitsissä toimii monitoimittajaympäristö, jossa ei ole tiedossa olevia haasteita nykyisellään.

Mipro: Toimittaja aikoo hyödyntää tulevaisuudessa tapahtuvaa järjestelmämodulointia ja näkee esimerkiksi RCA-viitekehityksen hyvänä ajatuksena. Toimittaja on valmistautunut tuleviin ETCS-hankkeisiin ja pystyy tarjoamaan ETCS-ratkaisuja. Kansainvälinen yhteistyö on toimittajalle tärkeää nyt ja tulevaisuudessa.

Bombardier Ruotsi: On kehittämässä uusia järjestelmiä, mutta takaa myös suhteellisen kattavasti tuen olemassa oleville järjestelmilleen, kuten Suomen JKV:lle. Myös TIMS on tulossa. Toimittaja on toteuttanut useita rajapintoja olemassa olevien asetinlaitteiden ja RBC:n välille.

Vierailu Rail&Digital Mobility User konferenssissa Saksassa painotti tietoliikenteen kannalta viestiä, että 5G on tulossa, ja tilaisuus keskittyikin pääosin 5G:n mahdollisuuksiin esimerkiksi ATO-toiminnallisuuden osalta. Tilaisuudessa esiteltiin LivingLab-idea, joka on tehty autenttissa ympäristössä kehitettävien osajärjestelmien testaamiseen oikeilla junilla. Tämän lisäksi moderneja uudenlaisia mahdollisuuksia esiteltiin mm. satelliittipainannuksen suhteen. Tilaisuus oli suhteellisen teollisuuspainotteinen.

EUG ja CER -järjestöjen johtajien tapaamiset Brysselissä. Historiallisesti ETCS-järjestelmä on mukautettu kansallisiin operointisääntöihin. Nyt on havaittu, että operointisäännöstö pitää muuttaa tukemaan ETCS-järjestelmää, jotta yhteentoimivuutta eri maissa voidaan parantaa. EUG:n ja CER:n näkemyksen mukaan Suomella on mahdollisuus hyödyntää asemaansa saarekkeena muuhun Eurooppaan nähden, koska ainoat todelliset paineet järjestelmäusintaan tulevat operointitarpeesta ja vanhenevasta teknologiasta. Mitä tahansa päätetään, business case täytyy olla nähtävissä.

ERTMS/CCRC konferenssin sisältöviesti keskittyi paljon OHM YTE-päivitykseen, kalustoinvestointien mahdollistamiseen, tulevaisuuden radioverkkoratkaisuun ja kyberturvallisuuteen. OHM YTE-päivitys on tulossa vuonna 2022, ja sen odotetaan sisältävän paljon

uudistuksia muun muassa satelliittipaikannukseen, ATO:n mahdollistamiseen, tulevaisuuden radioverkkoratkaisuun, jne. Kalustoinvestointien kansallinen tukeminen pyritään mahdollistamaan nykyistä helpommin ja sääntöjä halutaan selkeyttää. Tulevaisuuden radioverkkojärjestelmän tulee mahdollistaa entistä helpommin verkkoratkaisun kehittäminen sekä mahdollisimman hyvät ja joustavat rakenteet. Kyberturvallisuuden merkitys tulee jatkossa kasvamaan erityisesti järjestelmien kehittyessä ja siirtyessä radioverkkoa hyödyntävään datan siirtoon. Useita kehityshankkeita kyberturvallisuuteen liittyen on käynnissä.

Kaluston osalta tehtiin erikseen vierailuja kalusto-omistajien luokse, joissa selvitettiin erityisesti kalustoon liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia. Näiden vierailujen havainnot on raportoitu muissa kohdissa tätä selvitystä.

5.7 Rahoitus- ja kilpailutusmallit

Tässä kappaleessa esitetään Rahoitus- ja kilpailutusmallit -osaprojektin selvitysten tulokset tiivistetysti. Tulosten laajempi esittely on tehty työryhmän erillisessä raportissa. Osaprojektissa tutkittiin Digirata-hankkeen toteutusmuoto-, hankinta- ja rahoitusmalleja.

Toteutusmuotojen keskinäisen vertailun, riskianalyysin sekä ulkoisen ympäristön analyysin perusteella optimaalisimmaksi toteutusmuotovalinnaksi määritettiin yhteistoiminnallinen Design-build- tai Design-build-maintenance-malli. Valitulle yhteistoiminnalliselle Design-build- tai Design-build-maintenance-mallille kehitettiin oma hankintaprosessi, joka jaettiin ensimmäisen hankinnan enemmän työllistävään prosessiin ja sen jälkeen tehtäviin hankintoihin. Ensimmäisessä hankinnassa on tarkoitus luoda digitaalinen malli radasta, jota voidaan hyödyntää sen jälkeen myöhemmissä järjestelmähankinnoissa.

Rahoituksen kannalta eniten käytetty malli on valtion budjettirahoitus, joka edellyttää Digirata-hankkeen kirjaamista valmisteilla olevaan valtakunnalliseen liikennejärjestelmäsuunnitelmaan (Liikenne 12). Budjettirahoituksen riskinä on rahoituskehyksen poliittinen tarkastelu määräajoin. Budjettirahoituksen vaihtoehtoiksi ja tueksi tulisi suunnitella rahoitusratkaisuja esimerkiksi joko elinkaarihankkeina ja/tai palveluntuottajien oman rahoituksen kautta.

5.7.1 Hankkeen toteutusmuodon valinta

Digirata-hankkeen mahdollisia toteutusmuotoja selvitettiin vertailemalla vaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta hankkeeseen, arvioimalla vaihtoehtojen riskejä sekä tarkastelemalla palveluntuottajien kiinnostusta projektin toteutusmuotoja kohtaan. Rahoituksen mallit

käsitellään erikseen jäljempänä tässä raportissa. Vertailtavat toteutusmuotovaihtoehdot olivat:

- Design-build (DB)
- Design-build-maintenance (DBM)
- Yhteistoiminnallinen Design-build (DBI)
- Yhteistoiminnallinen Design-build-maintenance (DBMI) ja
- System as a Service (SaaS)

Digirata-hankkeen tavoitteiden perusteella optimaalisimmaksi toteutusmuodoksi todettiin yhteistoiminnalliset DBI- ja DBMI-mallit, jotka ovat laajan ja pitkäkestoisen hankkeen näkökulmasta soveltuvimmat toteutusmuodot. Yhteistoiminnallisella DBMI-mallilla voi olla kannustava vaikutus elinkaaren aikaisiin kustannuksiin, kun laitetoimittaja saa vapauksia ratkaista elinkaaren aikana kohtaamiaan haasteita. Tämä voi mahdollistaa esimerkiksi pilvipohjaisten ratkaisujen hyödyntämiseen tulevaisuudessa. Muut hankkeen tavoitteet, kuten turvallisuuteen ja CO₂-päästöjen vähentämiseen liittyvät tavoitteet täyttyvät lähes samoin jokaisessa toteutusvaihtoehdossa.

Hankinnan ominaisuuksia arvioitiin ensin Digirata-hankkeen näkökulmasta, jotta saatiin selville optimitilanne, johon toteutusmuotovaihtoehtoja verrataan. Digirata-hankkeessa liikenteen työnaikainen sujuvuus on erityisen tärkeää. Aikataulun suhteen hankkeen tavoitteena on, että se on helposti yhteensovitettavissa junakaluston ja radioverkon kanssa. Hanke on ainutkertainen ja teknisesti haastava, eli toteutusmuodolta vaaditaan soveltuvuutta ja joustavuutta. Hankkeen ainutkertaisuus tarjoaa innovointimahdollisuuksia, joissa on mahdollisuus saavuttaa hyötyjä.

DB-, DBM- ja SaaS-mallien soveltuvuus ainutkertaan hankkeeseen ja hankkeen teknisiin vaatimuksiin on arvioitu suhteellisen heikoksi sekä laajuus kiinteäksi tiukan sopimuksen vuoksi, kun hankkeen sisältö pitää määritellä tarkasti etukäteen. Yhteistoiminnalliset DBI- ja DBMI-mallit puolestaan soveltuvat ainutkertaan hankkeeseen sekä hankkeen teknisiin vaatimuksiin mallin joustavuuden ansiosta, kun hankkeen laajuus ei ole tiukasti määriteltä ja muutokset ovat mahdollisia. Lisäksi yhteistoiminnallisissa DBI- ja DBMI-malleissa innovointimahdollisuudet vastaavat parhaiten Digirata-hankkeen modernin radioverkko-pohjaisen ETCS-järjestelmähankinnan vaatimuksia sopimusosapuolten vahvan integroinnin ansiosta.

Yhteistoiminnallisten DBI- ja DBMI-mallien toteutuneiden riskien seuraukset ovat kokemuksen mukaan alhaisempia lähes kaikilla osa-alueilla verrattuna DB-, DBM- ja SaaS-malleihin. Yhteistoiminnalliset DBI- ja DBMI-mallit ovat hyvin joustavia, minkä vuoksi riskeihin pystytään reagoimaan paremmin. Näin seuraukset jäävät vähäisemmiksi kuin muissa toteutusmuodoissa.

Selvityksen perusteella palveluntuottajat ovat kiinnostuneita lähes kaikista toteutusmuotovalintoista ja yksi palveluntuottajista mainitseekin olevansa kiinnostunut hankkeesta toteutusmuodosta riippumatta. Eniten epävarmuutta palveluntuottajien keskuudessa aiheuttaa SaaS-malli.

Toteutusmuotojen keskinäisen vertailun, riskianalyysin sekä ulkoisen ympäristön analyysin perusteella optimaalisimmiksi toteutusmuotovalinnoiksi määritettiin yhteistoiminnallinen DBI- ja yhteistoiminnallinen DBMI-mallit.

5.7.2 Yhteistoiminnallisen DBI- tai yhteistoiminnallisen DBMI-toteutusmuodon eri vaiheet

Yhteistoiminnallisissa toteutusmuodoissa (esim. allianssi, IPD ja yhteistoiminnallinen projektihoito) on olennaista palveluntuottajien ja tilaajan välinen yhteistyö, yhteinen toteuttamista edeltävä kehitysvaihe sekä palveluntuottajalle tilaajan tavoitteiden pohjalta laadittu kannustinjärjestelmä. Kehitysvaiheessa osapuolet määrittelevät kannustinjärjestelmän tarkemman sisällön sisältäen muun muassa avaintulosalueet ja niihin liittyvät mittarit sekä tavoitekustannuksen alitukseen tai ylitykseen liittyvän bonus- ja sanktiojärjestelmän. Yhteistyö edellyttää yhteistä päätöksentekoa projektin sisäisissä asioissa kaikilla tasoilla ohjaus- ja johtoryhmästä jokaiseen työryhmään asti.

Hankinta	Kehitysvaihe	Järjestelmän toteutus ja asennustyöt
----------	--------------	--------------------------------------

Kuvio 15. Toteutusmuodon eri vaiheet.

Yhteistoiminnallinen toteutusmuoto edellyttää tilaajalta ja tarjoajalta vahvaa panostusta hankintavaiheessa, koska neuvottelumenettelyn aikana tilaajan tulee aktiivisesti osallistua neuvotteluihin ja neuvotteluiden päätteeksi tehtäviin hankinta-asiakirjojen täsmenämisiin. Kehitysvaiheessa tilaaja ja palveluntuottaja suunnittelevat ”hankkeen parhaaksi” -periaatteella parhaan mahdollisen ratkaisun ja määrittävät yhdessä hankkeen lopullisen sisällön, budjetin, aikataulun, toteutustavan, teknisen määrittelyn sekä muut hankintavaiheessa vielä avoimeksi jääneet asiakohdat. Lisäksi tilaaja ja palveluntuottaja sopivat sitovan hinnan koko turvalaitetoimitukselle, mikäli joitain kustannuksiin vaikuttavia yksityiskohtia on jäänyt hankintavaiheessa avoimeksi. Varsinaisen toimitettavan järjestelmän hinta määräytyisi kokonaishintaisena osana, koska kiinteä osa sisältää mittavan määrän tuotekehitystä, mutta 50–75% kustannuksista muodostuisi korvattavista kustannuksista ja kannustinjärjestelmän kustannuksista.

Tilaajan tulee osallistua riittävällä panostuksella kehitysvaiheen tehtävien toteuttamiseen, jotta kehitysvaiheesta saadaan kaikki hyöty, eikä kehitysvaihe viivästy tilaajan puuttuvien

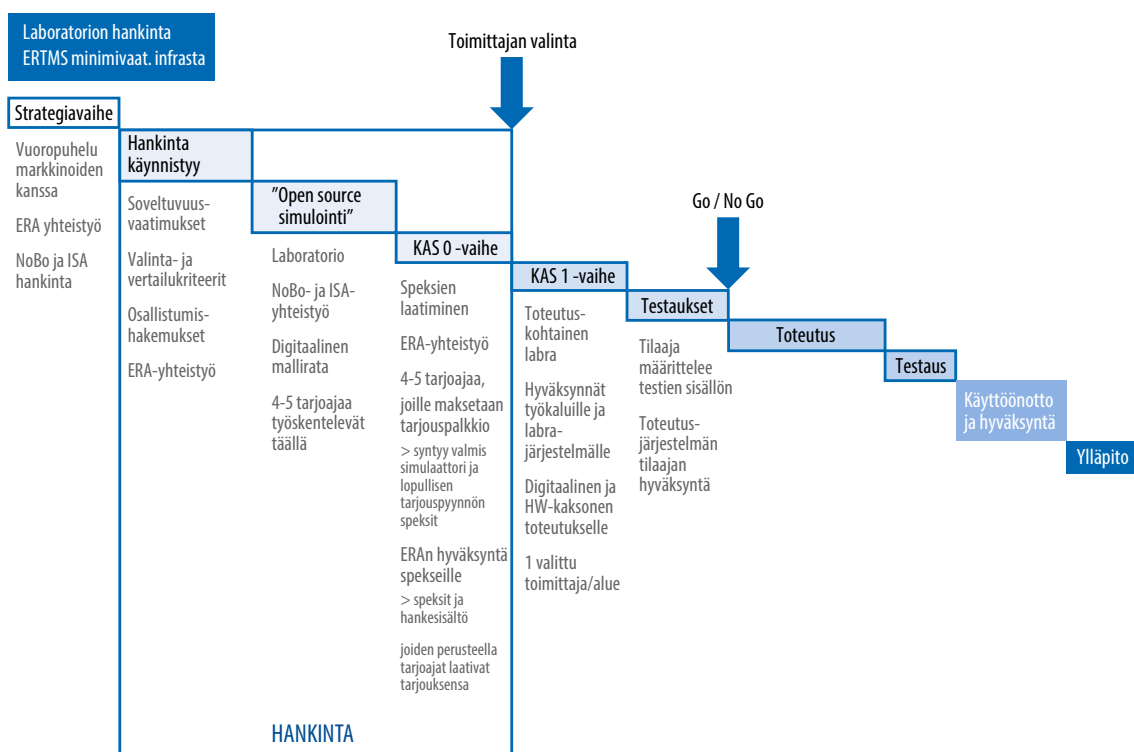
resurssien vuoksi. Yhteistoiminnallisessa mallissa tilaajalla tulee siis olla käytettävissään riittävästi resursseja ja mahdollisuuksia osallistua projektiin. Hankkeessa tulisi hankinnalle organisoida noin 5–10 henkilön ydinryhmä, joka pystyy vetämään hankinta- ja kehitysvaiheen läpi ja jatkamaan myös toteutusvaiheessa.

5.7.3 Hankinta

Koska toteutusmuodoksi suositellaan yhteistoiminnallisia DBI- tai DBMI-malleja, oli luontevaa lähteä selvittämään yhteistoiminnallisuutta tukevaa ja tilaajalle joustavaa hankintaprosessia, jossa hankintamenettelyn aikana tilaajalla on mahdollisuus vielä täsmentää kaupallisia asiakirjoja.

Edellä mainitut ominaisuudet on mahdollista saada neuvottelumenettelyn tai kilpailullisen neuvottelumenettelyn avulla. Mikäli neuvotteluiden tuloksena ei ole järjestelmää koskevan teknisen toteutusvaihtoehdon valinta, on selkeintä käyttää menettelyä tavanomaista neuvottelumenettelyä.

Kaupalliseen liikenteeseen tarkoitetun ensimmäisen järjestelmähankinnan olennaisena osana tulisi olla ERA-yhteistyön aloittaminen, järjestelmää koskevien vaatimusten tarkempi määrittely sekä digitaalisen radan mallin yleisen osion laadinta ns. open source -simuloinnilla. Alla olevassa kuvassa on esitetty ensimmäisen hankinnan prosessi.



Kuvio 16. Ensimmäisen hankinnan hankintaprosessi.

Yhteistoiminnalliseen toteutusmuotoon kuuluu kehitysvaihe, jonka aikana tehdään digitaalisesta radan mallista toteutuskohtainen kaksoiskappale. Kehitysvaiheessa suunnitelmaan järjestelmän toteutus ja toteutuksen vaiheistuksen ja testauksen yksityiskohdat. Kehitysvaiheen jälkeen tilaajalla on mahdollisuus päättää sopimus (Go/No Go -piste), mikäli toteutusjärjestelmä ei täytä testauksessa tilaajan vaatimuksia.

Mikäli vaatimukset täyttyvät, järjestelmätoimittaja aloittaa toteutuksen. Toteutus päättyy testauksiin ja käyttöönottoa edeltäviin hyväksyntöihin. Käyttöönoton jälkeen alkaa ylläpito ja siihen sisältyvät eri mittaiset takuuajat.

Myöhemmin toteutettavissa hankinnoissa voidaan hyödyntää ensimmäisen hankinnan aikana saatuja kokemuksia ja tietoutta sekä hankinnan aikana luotua digitaalista mallia radasta.

5.7.4 Rahoitusvaihtoehdot

Digirata-hankkeen rahoitusvaihtoehdot ovat käytännössä valtion budjettirahoitus ja palveluntuottajan oma tai ulkopuolinen rahoitus. Rahoitusta voidaan toteuttaa eri tavoin, vaikka kaikissa tapauksissa rahoituksen maksaa viime kädessä valtio, pois lukien mahdolliset tuet. Kansainvälisen tarkastelun perusteella voidaan myös todeta, että järjestelmät on pääasiassa rahoitettu valtion budjettirahoituksella, valtion omistaman infrayhtiön kombinaattorahoituksella tai valtion omistaman hankeyhtiön kautta. Lisäksi rahoitukseen voi olla mahdollista saada EU-tukea.

Käytännössä hankkeen rahoittaminen palveluntuottajan toimesta edellyttäisi rahoituksen liittämistä sen toteutusmuotoon.

Jäljempänä esitellään eri rahoitusmalleja yleisellä tasolla. Rahoitusmallin optimaalinen valinta edellyttää vielä jatkoselvityksiä.

Valtion budjettirahoitus

Perinteisesti julkisen liikenneverkon investoinnit on rahoitettu valtion talousarviosta. Menettely on yksinkertainen, koska se hyödyntää valtion budjettiraamia ja on myös lisärahoituskustannuksiltaan edullinen ratkaisu, koska valtio saa markkinoilta rahoitusta muita edullisemmin.

Käytännössä Digirata-hankkeen eteneminen budjettirahoituksella edellyttää sen sisällyttämistä valmisteilla olevaan valtakunnalliseen liikennejärjestelmäsuunnitelmaan (Liikenne

12) ja budjettirahoituksen varmistamista pitkälle tulevaisuuteen. Digirata-hanketta ei pidä nähdä kilpailevana hankkeena suunnitteilla oleville isoille ratahankkeille (Tunnin juna ja Suomi-rata -hankkeet), vaan pitää huomioida, että ETCS on tehtävä joka tapauksessa.

Elinkaarimalli (PPP, Public Private Partnership)

Budjettirahoituksen vaihtoehtona on elinkaarimallilla toteutettava palvelu, jossa tilaaja kilpailuttaa koko hankkeen suunnittelun, toteutuksen, rahoituksen ja kunnossapidon sisältävänä palveluna ja maksaa sen sopimuskauden aikana palvelumaksuina. Mallia kutsutaan usein myös yleisnimellä PPP-malli erotuksena perinteisestä suomalaisesta hankintamallista, jossa tilaaja hankkii vain suunnittelun, toteutuksen ja kunnossapidon, hoitaen rahoituksen itse.

Käytännössä elinkaarimallin käyttö edellyttää projektityhtiön perustamista. Projektityhtiössä muodostetaan hankintayksikön, palveluntuottajien ja rahoittajien välille projektityhtiö hoitamaan tiettyä projektia. Projektityhtiö tekee erikseen sopimuksen palveluntuottajan kanssa järjestelmän suunnittelusta, toteuttamisesta ja kunnossapidosta sekä hankkii tarvittavan rahoituksen rahoituslaitosten lainoina ja omistajiensa sijoituksina. Lisäksi mallissa vaaditaan yleensä tilaajan, projektityhtiön ja rahoittajien välinen sopimus erilaisten riskien varalle.

Järjestelmä palveluna (SaaS)

Elinkaarimallin vaihtoehtona on palveluntuottajan tarjoamana kokonaispalvelu sisältäen palveluntoimittajan tarjoaman suunnittelun, toteutuksen, kunnossapidon ja oman rahoituksen (SaaS) sopimuskauden ajan. Malli eroaa elinkaarimallista siten, että tällä mallilla toimittaessa tilaajan ei tarvitse kilpailuttaa rahoitusta, koska sen järjestää palveluntuottaja itse. Palvelu voidaan ostaa myös olemassa olevalta yhtiöltä esimerkiksi Traffic Management Finland Oy:ltä, joka on valtion 100% omistama yhtiö. SaaS-malli olisi tilaajan kannalta kevyt ja mahdollistaa joustavan toteutuksen valtion talousarviosta riippumatta, mutta toisaalta palvelumaksuina kustannus on hieman korkeampi suoraan budjettirahoitukseen verrattuna.

Hankeyhtiöt

Muita vaihtoehtoisia rahoitusjärjestelyjä voisivat olla tilaajatahon itsensä järjestämä ulkopuolinen rahoitus. Tämä pystyttäisiin toteuttamaan esimerkiksi tilaajan perustaman hankeyhtiön toimesta. Hankeyhtiössä muodostetaan erillinen hankintayksikkö vastaamaan jostain tietyistä isosta kokonaisuudesta. Rahoitus hankeyhtiömallin kautta toimisi siten, että yhtiö hankkisi ensin rahoituksen itse ja kilpailuttaisi tämän jälkeen järjestelmän suunnittelun, toteutuksen ja kunnossapidon. Väylävirastolla ei ole lainsäädäntöön perustuvaa

oikeutta rahoituksen järjestämiseen, joten rahoituksen järjestely olisi tehtävä muilla keinoin.

Vaihtoehtona hankeyhtiön järjestämälle rahoitukselle voisi olla myös valmiin hankeyhtiön myynti sijoittajille sopimuskauden ajaksi. Näin toimittaessa tilaaja käytännössä rahoittaisi ensin palvelun suunnittelun ja toteuttamisen ja myisi yhtiön tämän jälkeen velkoineen sijoittajalle.

Digirata sijoituskohteena

Infrastruktuuri on sijoituskohteena matalariskinen ja tuottovaatimukseltaan pieni. Sijoittajille infrastruktuuri tarjoaa tasaista ja käytännössä inflaatio suojaavaa kassavirtaa. Suuret institutionaaliset sijoittajat ovat kiinnostuneita infrastruktuurista sijoituskohteena, vaikka infra vaatii pitkän 15–50 vuoden sijoitusperiodin, minkä lisäksi se on yleensä erittäin epälikvidi sijoituskohde. Sijoittamisen riskiä pienentää myös se, että vastapuolena on julkinen toimija (kunta tai valtio).

Investointeihin saatavat EU-tuet

Rautatieinvestointeihin on mahdollista hankkia EU-tukea muun muassa CEF, EU Green deal ja Shift2Rail -ohjelmien kautta. Lisäksi tukea on mahdollista hakea Business Finlandin ohjelmien kautta. EU-tuen hankkimisen edellytyksiä tulee selvittää aina avoimeksi tulevan haun perusteella. Erilaisia hakuja tulee lähivuosien aikana, mutta vielä ei tiedetä millä perusteilla niistä voidaan hakea rahoitusta ERTMS:lle. Esimerkiksi vuonna 2020 päättyvä CEF-haku ei mahdollistanut ERTMS-tuen hakemista infralle ollenkaan, vaan ainoastaan liikkuvalle kalustolle oli mahdollista hakea tukea. Vuosille 2021–2028 todennäköisesti tuleva CEF2 Digital -haku on mielenkiintoinen seurattava, josta todennäköisesti ainakin TEN-T-verkon osalle olisi saatavissa 30% rahoitusta digitalisoinnin näkökulmasta.

5.6 Tarveselvitys ja vaikutusarvioinnit

Tässä luvussa esitetään osa Tarveselvitys ja vaikutusarvioinnit -osaprojektin selvitysten tuloksista tiivistetysti, ja osa tuloksista on esitetty muissa tämän raportin luvuissa. Vaikutuksia ja esimerkkitarkasteluja on käsitelty tarkemmin laajassa työryhmän raportissa. Vaikutuksia on kuvattu Valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman vaikutusarviointikehikon mukaisesti erillisessä kappaleessa. Tarveselvitys ja vaikutusarvioinnit -osaprojekti on koonnut tuloksia laajasti yhteen muista osaprojekteista arvioiden tueksi.

Tarveselvitys-osiossa tunnistettiin liikenteelliset tarpeet sekä ongelmat, joita hankkeen avulla pyritään ratkaisemaan. Näitä ovat esimerkiksi elinkaarensa loppupäässä oleva nykyinen kulunvalvontajärjestelmä sekä tarve lisätä ratakapasiteettia ja junaliikennettä kapasiteetin loppuessa. Tarpeet ja ongelmat tunnistettiin koko Suomen tasolle erilaiset liikenne-rakenteet huomioiden, ja ratkaisuihin hyödynnettiin muiden osaprojektien johtopäätöksiä esimerkiksi teknologian, kaluston ja tietoliikennetarkeisujen osalta. Työn tavoitteena oli suunnitella Suomeen parhaiten soveltuva kulunvalvontaratkeaisu ja käyttöönnoton ajoitus liikenteen tarpeet edellä.

Vaikutusarvioinnissa hyödynnettiin Valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman vaikutusarviointikehikkoa sekä Väyläviraston ohjeita ratahankkeiden vaikutusten arvioinnista. Eri kulunvalvontatasojen vaikutuksia ei pystytä laskemaan auki koko Suomen tasolla selvitystyön aikataulussa. Tästä syystä vaikutusten suuntaa ja suuruusluokkaa on selvitetty esimerkkitarkeistelujen avulla. Digirata-työssä on asiantuntija-arviona luotu näkemys liikennetarjonnan kehittymisestä tulevaisuudessa, ja sitä kautta arvioitu rataosuuksia, joilla kapasiteetista voi tulla pulaa ja johon kulunvalvontajärjestelmän uusimisella voitaisiin vaikuttaa. Työskentelyyn on osallistunut asiantuntijoita Väylävirastosta, Finrailista, Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä HSL:stä sekä VR:ltä.

Digiradan tarkoituksena on löytää uusi kulunvalvontajärjestelmä, jolla on hyvä:

- Saavutettavuus ja palvelutaso (kapasiteetti, luotettavuus ja täsmällisyys)
- Taloudellinen kestävyys (kustannustehokas investointi ja elinkaari-kustannukset)
- Liikennejärjestelmän turvallisuus (rautatieturvallisuus, huoltovarmuus (ml. kyberturva, varautuminen), teknologiat)
- Ekologinen kestävyys (pitkä elinkaari, ekologinen ajaminen, ATO, kunnossapidon helppous)
- Sosiaalinen kestävyys (saavutettavuuden kautta)
- Poliittinen näkökulma (mahdollista täyttää EU sääntelykehikko, pää-töksenteko, rahoitus)

5.8.1 Ratakapasiteetin pullonkaulat

Työssä on tunnistettu vähimmäisinvestoinnit, jotka tulisi toteuttaa, jotta uuden kulunvalvontajärjestelmän hyödyt ja erityisesti lisäjunatarjonta voidaan täysimääräisesti saavuttaa. Investoinnit, jotka ovat edellytys liikenteen kehittämiseksi, ovat Espoon kaupunkirata Leppävaarasta Kauklahteen ja Pasila-Riihimäki-rataosan välityskyvyn parantaminen. Myös Riihimäki-Tampere-välin lisäraiteet parantaisivat merkittävästi liikenteen toimintaedellytyksiä ja mahdollistaisivat tarjonnan lisäämisen Tampereelle saakka.

Työssä tunnistettiin kriittiset rataosuudet, joilla on arvioitu liikennetarjonnan kasvaessa ratakapasiteetin vähentyvän heikentäen liikenteen palvelutasoa. Keskeisimmäksi ongelma-kohteeksi on tunnistettu kaupunkiratojen lisäksi kaukoliikenteen raiteet Helsingin ja Tampereen välillä. Merkittäviä kapasiteettipuutteita liikenteen kasvattamiselle on myös Kouvolasta Kotkaan ja Vainikkalaan. Erityisesti yksiraiteisten rataosien pullonkaulojen kapasiteetin parantaminen edellyttää usein myös muita investointeja/parantamishankkeita, kuten kohtaamispaikkojen tai liikennepaikkojen sivuraiteiden lisäämistä. Modernilla radiopohjaisella kulunvalvontaratkaisulla ratainvestoinneista on kuitenkin saatavissa enemmän hyötyä, muun muassa silloin kun henkilöjuna voi ajaa lähempänä tavarajunaa ennen ohituspaikkaa tai yksiraiteisella rataosuudella tavarajunat lähempänä toisiaan samaan suuntaan kuljettaessa.

Tavoitteet liikennetarjonnan kehittämiseksi

Digirata-työssä muodostettiin tulevaisuuden tavoitetilanne liikennetarjonnan kehittämiseksi asiantuntijatyönä. Liikennetarjonnan kehityksessä on huomioitu lähiliikenteen, kaukoliikenteen ja tavaraliikenteen näkökulmat. Liikennetarjonnan kehittymistä on arvioitu muun muassa valtakunnallisen liikenne-ennusteen avulla. Moderni radiopohjainen järjestelmä mahdollistaa junamäärien kasvattamisen tavoitetarjonnan mukaisesti. Liikenteen lisääminen edellyttää kuitenkin pääradan suunnassa Pasila–Riihimäki-rataosan välityskyvyn parantamista ja rantaradan suunnassa Espoon kaupunkirataa.

Taulukko 4. Junaliikenteen henkilöjunatarjonnan lisäämisen tavoitteet Etelä-Suomessa, junatarjonta Helsingistä.

	Nykytilanteen tarjonta	Radioverkkopohjaisen ETCS-järjestelmän mahdollistama tavoitteellinen tarjonta
Helsingin seudun kaupunkirataliikenne	6 junaa / tunti / junalinja (A/E, I, K, P)	8 junaa / tunti / junalinja
Lähijunaliikenne Riihimäelle	2 junaa / tunti, lisäksi ruuhka-ajan lisäjunia (R)	4 junaa / tunti
Lähijunaliikenne Lahteen	1 juna / tunti (Z)	2 junaa / tunti
Helsingin seudun lähijunaliikenne Kirkkonummelle	2 junaa / tunti (U)	4 junaa / tunti
Kaukojunaliikenne Turkuun	1–2 junaa / tunti	1–2 junaa / tunti
Kaukojunaliikenne Tampereelle	2 junaa / tunti	4 junaa / tunti vilkkaimpina aikoina
Kaukojunaliikenne Lahteen	1 kotimaan juna / tunti ja 1 Venäjän juna / tunti	1 kotimaan juna / tunti ja 1 Venäjän juna / tunti

6 Skenaariot

Skenaariotarkastelun taustana on käytetty selvityshankkeen osaprojektien tuloksia hahmottelemaan tulevaisuuden näkymiä. Skenaariotarkastelu on suuntaa antava ja auttaa ehkä käsittelemään helpommin eri etenemisvaihtoehtoja. Tulevaisuuden tarkastelu sisältää luonnollisesti epävarmuustekijöitä.

6.1 Moderni radiopohjainen ETCS

Radiopohjaiset järjestelmät kehittyvät kovaa vauhtia, ja nykypäivän teknologiat ovat suurella todennäköisyydellä jo muutaman vuoden päästä ainakin osittain jatkokehittyneet. Nopeasta kehitystahdista seuraa se, että on luotava teknologiapohja, joka kestää kehityksen ilman kaikkien järjestelmien täydellistä päivittämistä.

Skenaarion tavoitetilana on muodostaa parhaiten toimiva järjestelmäkokonaisuus, joka mahdollistaa uusimpien teknologioiden hyödyntämisen tehokkaasti eteenpäin. Tämä tarkoittaa myös kaikkien asetinlaitteiden päivittämistä uudempiin ratkaisuihin. Suomen tuleva kulunvalvontaratkaisu muodostaa alustan kaikelle tulevaisuuden kehitykselle. Moderni radiopohjainen ETCS ratkaisuskenaariona tarkoittaa järjestelmien päivittämistä minimissään ETCS-tasolle 2 sekä uuden FRMCS-radioverkon käyttöönottoa koko rataverkolla. Radiopohjaisella järjestelmällä voidaan tavoitella junien automaatioasteen nostamista tasolle 3 (vain junahenkilökunta) tai jopa tasolle 4 (ei miehitystä) modernien digitaalisten ratkaisuihin perustuen.



Kuvio 17. Suomen rataverkko, joka varustetaan modernilla radiopohjaisella ETCS-järjestelmällä. Modernilla järjestelmällä voidaan vaikuttaa tehokkaimmin kuvassa näkyviin koko Suomen ratakapasiteetin pullonkauluihin.

6.1.1 Tilannearvio vuodelle 2030

Uudella järjestelmällä varustettujen rataosien jatkuva kulunvalvonta mahdollistaa dynaamisemman liikenteenohjauksen tilannekuvaan perustuen. Muut järjestelmät kulunvalvonnan ja turvalaitteiden ohella ovat kehittyneet mukana samaan suuntaan. Järjestelmän tekninen rakenne on muuttunut näkyvistä opastimista kaluston ohjaamon laitteiden tiedonantoon ja liikkuminen valtuutetaan yksikkökohtaisesti. Kapasiteetin kasvattaminen on kustannustehokkaampaa ja digitalisaation hyödyntämismahdollisuudet ovat kasvaneet merkittävästi. Digitaalinen ETCS-kehitys on kovassa nosteessa ja tekniset spesifikaatiot kehittyvät edelleen.

ETCS-ratkaisut, jotka voisivat hyödyntää satelliittipaikannusta, ovat saaneet vahvaa tukea. Myös ATO on lisääntynyt merkittävästi Euroopassa ja alkaa olla itsestäänselvyys uusissa hankkeissa. Radioverkkopohjainen järjestelmäkehitys on oletusten mukaisesti kiihtynyt Euroopassa. Useita parannuksia järjestelmätasolla on saavutettu ETCS-tasoilla 2 ja 3. Uusien järjestelmien kustannukset ovat kokonaisuutena laskeneet. Parempia ja tehokkaampia konsepteja saadaan käyttöön koko ajan.

Siirtyminen kansallisesta kulunvalvontajärjestelmästä moderniin yleiseurooppalaiseen järjestelmään on avannut markkinoita useammille toimittajille sekä järjestelmän hankinta- että ylläpitovaiheeseen. Olemme myös pystyneet siirtämään kapasiteetin vuoksi tarvittavia ratahankkeita vuosilla eteenpäin.

Digitalisaation tuomat vaikutukset liittyvät ensisijaisesti teknologisiin laitteisiin ja niiden käyttömahdollisuuksiin. Optimoitu ja jopa automaattinen ajo takaa ympäristöystävällisemmän liikennejärjestelmän ja paikannuksen kehitys vähentää ratalaitteiden tarvetta. Kommunikaatio junien, radanvarren työntekijöiden ja kulunhallinnan välillä on saatu kaksisuuntaiseksi varmistamaan turvallisuutta.

ERTMS-veturilaitteisto on päivitetty jokaiseen kalustotyyppiin. Tämän kautta on helppo tehdä infran päivitykset suunnitelman mukaan ja siirtyä jouhevasti uuteen radiopohjaiseen tekniikkaan. Veturien ERTMS-laitteistot ovat perustaltaan samoja riippumatta ETCS-tasosta. Radiopohjaisen järjestelmän hyödyntäminen vaati FRMCS-radiomoduulin laitteistoon, minkä hyväksyntä on vienyt aikaa ja aiheuttanut kustannuksia. Tämä kustannus on kuitenkin ollut kohtuullinen ETCS-laitteistoon verrattuna.

Uusi FRMCS-radioverkkostandardi on käytössä ja kehittynyt Suomelle suotuisaan suuntaan. Suomi on ollut kiinteästi mukana vaikuttamassa kehitykseen. Tämän vuoksi olemme voineet luoda uusia vientimahdollisuuksia yrityksille ja pystyneet kehittämään uutta osamispääomaa. Olemme alkaneet käyttämään, ainakin radioverkon peiton varmistamiseksi, julkisia sekä satelliittipohjaisia verkkoja myös rautatieliikenteessä. Julkisen radioverkon kapasiteettia on priorisoitu junaliikenteen käyttöön. Toinen mahdollisuus kehityskululle on, että rautateiden radioverkko on dedikoitu ainoastaan rautateille, jolloin hankintakustannukset nousevat merkittävästi.

Vuoteen 2030 mennessä nykyinen radioverkko on korvattu FRMCS-verkkoratkaisulla, jossa Suomi on ollut suunnannäyttäjä. Uusi verkko tukee nykyisiä ja tiedossa olevia data- ja puheviestinnän tarpeita. Radioverkko pystyy tukemaan matkustajien ja teollisuuden tarpeita tehokkaassa datan siirrossa.

6.1.2 Tilannearvio vuodelle 2050

Moderni radiopohjainen ETCS-järjestelmä on täysin rakennuttu ja pystyy vastaamaan osaltaan edelleen kasvavaan kapasiteettitarpeeseen. Olemme käyttöönoton aikana pystyneet saamaan aiottua enemmän kapasiteettia tarjolle, koska olemme saaneet hyötyjä jo ETCS-tason 3 teknologioista, tehostetusta laskennasta ja algoritmeista. Järjestelmä on edelleen täysin päivitettävissä, ja esimerkiksi automaatioasteen nostamista tasolta 3 tasolle 4 ollaan tekemässä/harkitaan tehtäväksi koko maan osalta. Pystymme tarjoamaan maksimimäärän junia kullekin rataverkon osalle ja näin ollen varmistamaan mahdollisimman ekologisen liikkumisen.

Olemme pystyneet pääsemään eroon suurimmasta osasta ratalaitteita, joten järjestelmien toimintavarmuus on huippuluokkaa. Tämä on johtanut kunnossapidollisten töiden luonteen muuttumiseen aitoon ennakoivaan kunnossapitomalliin.

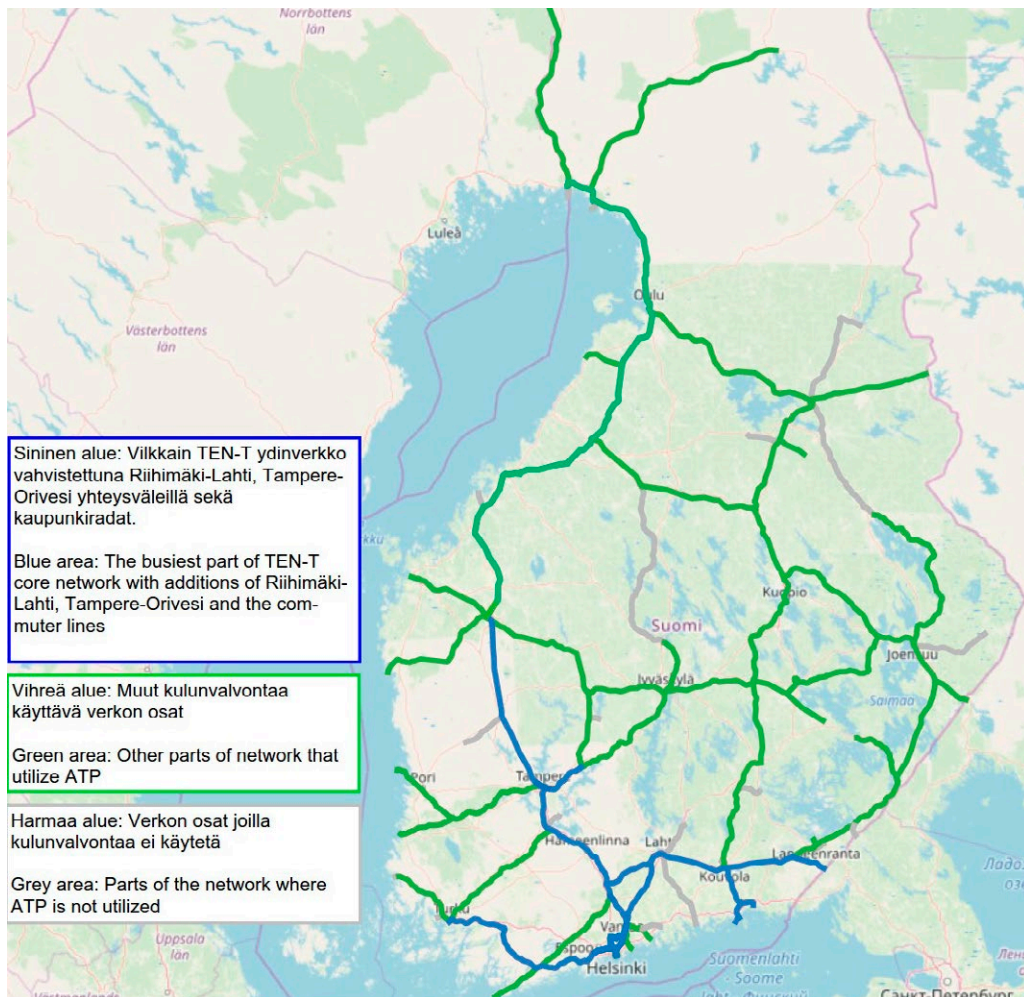
Uudet innovaatiot ovat tuoneet raideliikenteen käyttöön useita sovelluksia, joita hyödyntämällä noin 40% kuljetuksista tapahtuu raiteita pitkin. Innovaatioita on hyödynnetty useilta eri teollisuuden aloilta, minkä vuoksi kehitys on ollut todella nopeaa ja tulee myös jatkumaan sellaisena.

FRMCS on luonut lujan perustan kehitykselle. Radioverkkoteknologia on korvattu useaan kertaan pohjautuen julkisen radioverkon kehitykseen. Tämän vuoksi verkon kapasiteetti on parantunut todella mittavasti, mahdollistaen todella tehokkaan rautatieverkon käytön. Kaikki raideliikenteen toimijat ovat hyötynneet parantuneesta verkosta. Radioverkkoa on hyödynnetty useilla eri tavoilla matkustajan mukavuuden lisäämiseksi. Matka- ja kuljetusketjujen optimointi on toteutettu helposti saatavilla olevan ja nopeasti liikkuvan datan perusteella tehokasta laskentaa hyödyntäen. Suomen rautateillä on puhe- ja dataviestintään vain yksi radioverkko, jota jaetaan kaikkien toimijoiden kanssa liikennemuotorajojen yli.

6.2 Skenaario: Yhdistetty ERTMS-ratkaisu tasoille 1 ja 2

Yhdistetty ERTMS-ratkaisu tasoille 1 ja 2 tarkoittaa ETCS-tasojen 1 ja 2 hyödyntämistä eri osissa rataverkkoa sekä uuden FRMCS-radioverkon käyttöönottoa tarpeellisin osin puhe- ja dataviestintään. FRMCS on otettava käyttöön tasosta riippumatta, koska Suomen poikkeuslupa Virve-radioverkolle loppuu FRMCS:n tullessa markkinoille. Tässä skenaariossa ETCS 2 -tasoa rakennettaisiin vain Etelä-Suomen ja osin TEN-T-verkon kattavaksi huomioiden akuuteimmat kapasiteettitarpeet lähitulevaisuudessa. Tason 2 rataosien asetinlaitteet korvataan moderneilla asetinlaitteilla. Tasoa 1 rakennettaisiin muualle Suomeen pienempien liikennemäärän kasvunäkymien vuoksi. Tason 1 järjestelmissä hyödynnetään nykyistä

asetinlaitekantaa, olemassa olevien asetinlaitteiden uusimistarve huomioiden. Järjestelmistä taso 1 on pistemäinen ja taso 2 mahdollistaa jatkuvan kulunvalvonnan.



Kuvio 18. Sininen alue kuvaa ETCS-tason 2 varustelun ja muut alueet jäävät ETCS-tasolle 1.

6.2.1 Tilannearvio vuodelle 2030

Etelä-Suomen paikallisliikenne kehittyy hyvään suuntaan lisäten junan kulkumuotokoh-
taista osuutta. Muualla Suomessa, jossa ei ole selkeästi tarjolla joustavampaa radiopoh-
jaista järjestelmää, ei esimerkiksi paikallisliikennettä juurikaan pystytä tarjoamaan.

Osaaminen on alkanut jakautumaan kahteen erilaiseen järjestelmään ja osaamisen yllä-
pito vaatii jatkuvaa seurantaa. Järjestelmien suunnittelusäännöt ovat myös erilaiset, minkä
vuoksi yritykset ylläpitävät useampaa osaamiskokonaisuutta varmistaakseen mukanaolon
kaikissa tulevilla hankkeilla. Tilanne on myös operatiivisesti haastava, koska esimerkiksi

liikenteenohjauksen ja kuljettajien on tunnettava useampi toimintamalli varsinkin vika-tilanteista palauduttaessa. Tämä johtaa helposti elinkaaren kustannusten nousuun.

Eurooppalainen ERTMS-järjestelmä on kehittynyt radioverkkopohjaisen ratkaisun ympärille, ja ETCS-tason 1 tulevaisuus näyttää entistä epävarmemmalle. ETCS-tason 1 rataosilla olemassa olevien asetinlaitteiden uusimistarve vaatii investointeja myös jatkossa, pitäen myös pohjajärjestelmät hyvin monimuotoisina ominaisuuksiltaan teknisesti ja toiminnallisesti. Tekninen järjestelmä ei mahdollista tason 1 rataosilla rautatieliikenneverkon kapasiteetin parantamista.

Hankkeet pystytään viemään läpi, ja saatavilla olevat laitteistot ETCS-tasolle 1 takaavat yhteentoimivuuden muun Euroopan kanssa, jolloin EU velvoitteet saadaan kuitattua. Tarvittava ratakapasiteetin optimointi ja lisäys ETCS-tasolla 1 on toteutettu suhteellisen kalliilla opastimien lisäyksillä ja siirroilla sekä raideosuuksia lisäämällä. ETCS-tason 1 rataosilla kapasiteetin lisäämiseen vaaditaan miltei aina uusia kiskoja mm. junakohtauksiin kompensoimaan menetettyjä JKV-järjestelmän ominaisuuksia. Uudet järjestelmät perustuvat radioverkkopohjaiseen ratkaisuun, minkä vuoksi ETCS-tason 1 järjestelmän päivitettävyyks on kehno. Rautatieverkosto Suomessa on tämän vuoksi alkanut selkeästi eriarvoistumaan, ja ilman toimenpiteitä kehityssuunta jatkuu.

Radioverkkopohjainen järjestelmäkehitys on kiihtynyt Euroopassa. Tämä on johtanut useisiin parannuksiin ETCS-järjestelmätasolla 2 ja 3. On havaittavissa myös selkeää rakentamisen kustannusten tehostumista hankinnoissa, koska uusia ja tehokkaampia konsepteja saadaan käyttöön koko ajan.

ETCS-tason 2 rataverkon kapasiteettia on pystytty parantamaan jo rakennettujen ratalinjojen osalta. Tämä on onnistunut jatkuvan kulunvalvonnan ominaisuuksia hyödyntämällä muun muassa tihentämällä suojavälejä, muuttamalla operointisääntöjä, optimoimalla junien liikkumista rataverkon eri pisteissä sekä osittain lisäämällä uusia raiteita. Järjestelmän tarjoama lisäkapasiteetti muiden toimien kanssa on riittävä ETCS-tason 2 rataverkolla tyydyttämään kasvavan käyttäjätarpeen. ETCS-taso 2 tarjoaa hyötyjä vain osaan Suomen rataosista. Tämä on jo nyt kuitenkin auttanut siirtämään isoja ratahankkeita vuosia eteenpäin.

ERTMS-veturilaitteisto on päivitetty jokaiseen kalustotyyppiin. Tämä mahdollistaa jouhevan rakentamisen aikaisen liikennöinnin ja helpottaa siirtymävaihetta uuteen tekniikkaan. Veturien ERTMS-laitteistot ovat perustaltaan samoja riippumatta ETCS-tasosta. Lisäkustannuksia ETCS-tasolla 2 aiheuttaa dataa hyödyntävän radiomoduulin lisääminen veturin laitteistoon.

Junaliikenteen käyttötoiminnan sääntöjen näkökulmasta yhdistetty ratkaisu ETCS-tasolle 1 ja 2 on monimutkainen junaliikenteen kannalta, ja kokonaisuus voi aiheuttaa turvallisuusriskejä. Voimassa ovat samanaikaisesti ERTMS:n käytösäännöt, omat tasolle 1 ja omat tasolle 2 (säännöt OPE YTE:stä), sekä kansalliset liikennöintisäännöt, kuten nykyisin (JKV:n mukaiset).

Uusi FRMCS-radioverkkostandardi on käytössä ja kehittynyt Suomelle suotuisaan suuntaan. Tämän vuoksi olemme pystyneet käyttämään myös rautatieliikenteessä osittain julkisia radioverkkoja, joiden kapasiteettia on priorisoitu junaliikenteen käyttöön. Toinen kalliimpi mahdollisuus kehityskululle on, että rautateiden radioverkko on dedikoitu ainoastaan rautateille, jolloin hankintakustannukset nousevat merkittävästi. Vuonna 2030 on hyvin todennäköisesti jouduttu nykyinen radioverkko korvaamaan FRMCS-verkkoratkaisulla, niin puhe- kuin dataviestinnässä.

6.2.2 Tilannearvio vuodelle 2050

Eurooppalaisissa hankinnoissa ei enää edes harkita ETCS-tasoa 1. Pistemäinen kulunvalvontateknologia on elinkaarensa päässä ilman kansallisia erityisiä toimia. Suomessa valtaosa rataverkosta on varustettu pistemäisellä järjestelmällä. Tämän lisäksi iso osa olemassa olevista asetinlaitteista on uusittu eri aikakausina, ja hankinnat ovat ostaneet parasta mahdollista saatavilla olevaa teknologiaa, joka on pitänyt turvajärjestelmäkokoisuuden pirstaleisena. Rataverkon järjestelmillä ei ole enää päivitettävyyssmahdollisuutta ETCS-tason 1 rataosilla. Käytännössä on aloitettava, jollei ole jo aloitettu, valmistelevaan järjestelmän kokonaispäivittämistä modernimpaan ratkaisuun.

ETCS-tason 2 rataosat on täysin rakennettu, ja ne pystyvät vastaamaan osaltaan kasvavaan kapasiteettitarpeeseen. Järjestelmä on täysin päivitettävissä, ja esimerkiksi automaatioasteiden kasvattaminen 3:een tai jopa 4:ään on käynnistymässä. Uusimmat innovaatiot hyödyntävät radiopohjaisuutta ja useimmat niistä ovat melko suoraviivaisesti hyödynnettävissä ETCS-tason 2 rataosilla. Teknologian kehityksen osalta olemme jo pitkällä lähtöpis- teestä, minkä vuoksi kapasiteetin kasvattamiseksi on tarjolla entistä parempia mahdolli- suuksia, kuten muun muassa satelliittipaikannus ja dynaaminen suojastus. Junan kokonai- suuden valvonnan haasteet on ratkaistu jo useita vuosia aiemmin.

ETCS-tason 2 päivittämistä tasolle 3 tai uuteen radiopohjaiseen konseptiin on ainakin har- kittu, koska investointikustannus on todella maltillinen ETCS-tason 2 rataosilla.

ERTMS-veturilaitteiston huolto- ja kunnossapitotoiminta on jokapäiväistä tekemistä, koska kalusto on ollut ERTMS-varusteltuna jo pitkään. Uusi kalusto tulee varusteltuna ETCS-tason 1 antennilla sekä ETCS-tason 2 radiokortilla hyödyntäen samaa perusjärjestelmää.

Junat liikkuvat sujuvasti eri tasojen rataosuuksilla hyödyntäen ERTMS-spesifikaation mukaista kuljettajan näyttöä. Tämän avulla voidaan ajaa mahdollisimman taloudellisesti ohjeistuksen avulla, ja useissa yksiköissä on jo automaattisen ajamisen mahdollisuus ETCS-tason 2 rataosilla junahenkilöstön vain valvoessa matkustajien turvallisuutta.

FRMCS on luonut lujan perustan kehitykselle. Radioverkkoteknologia on korvattu useaan kertaan pohjautuen julkisen radioverkon kehitykseen. Tämän vuoksi verkon kapasiteetti on parantunut todella mittavasti, mahdollistaen todella tehokkaan rautatieverkon käytön. Myös matkustajat hyötyvät parantuneesta verkosta, jota voidaan hyödyntää useilla eri tavoilla matkustajan mukavuuden lisäämiseksi. Kuljetusketjujen optimointi voidaan tehdä helposti saatavilla olevan ja nopeasti liikkuvan datan perusteella tehokasta laskentaa hyödyntäen. Tässä vaiheessa koko Suomen rautateillä on vain yksi radioverkko puhe- ja dataviestintään.

6.3 Skenaario: JKV:n elinkaaren pidentäminen

Tässä skenaariossa tarkastellaan nykyisen JKV-järjestelmän elinkaaren jatkamista pitkälle tulevaisuuteen. Heti aluksi on kuitenkin todettava, että skenaario on nykyisen tiedon valossa epärealistinen, koska kansallisessa luokan B järjestelmässä pysyminen ei ole vaihtoehto EU:n jäsenmaille. Rajoitteena käytön jatkamiselle OHM YTE:ssä on mainittu nykyiset luokan B järjestelmät (kansalliset järjestelmät), joita saa käyttää vain muuttumattomina siihen asti, kunnes siirrytään luokan A järjestelmään. EU tavoittelee ja komission tehtävänä on toimeenpanna yhtenäinen ja yhteentoimiva eurooppalainen rautatiemarkkina-alue. Näin ollen komissio varjelee tarkoin ja varmistaa, ettei erityisesti Eurooppaan pääse enää syntymään sellaisissa kansallisissa ratkaisuja, jotka vaarantavat yhteentoimivuutta. Tämän vuoksi poikkeuksen saaminen voi olla hyvin hankalaa.

JKV:n elinkaaren tarkastelu nähdään kuitenkin järkevänä, jotta voimme minimissään varautua tulevaisuuden järjestelmien käyttöönottoon riittävästi myös olemassa olevan järjestelmän osalta. Skenaarion mahdollistamiseen liittyy ensisijaisesti teknisten tuotteiden saatavuus, mutta myös tulevaisuuden kehityskulku, joka voi vaikuttaa JKV:n elinkaaren pituuteen oleellisesti.

JKV-ratalaitteiden elinkaaren pidentämistä voidaan lähestyä monelta eri kannalta. Voimme esimerkiksi luottaa toimittajan kaupalliseen intressiin ylläpitää ja jatkokehittää tuotteitaan Suomen tarpeisiin. Tässä vaihtoehdossa käytännössä on vain yksi toimittajavaihtoehto, joka on jo tehnyt toimia elinkaaren parantamiseksi. Tämä tuo kuitenkin myös riskin jatkuvuudelle ja oleellisen riippuvuussuhteen toimittajaan. Hinnoittelu pidemmällä aikajänteellä on myös suuri kysymysmerkki.

Osaaminen JKV-järjestelmästä on luonnollisen kehityskaaren kautta vähenemässä ja kehittäminen on siirtynyt monelta osin ETCS-järjestelmiin. Mahdollista osaamispulaa voidaan vähentää tekemällä pitkät sopimukset palveluntuottajien kanssa osaamisen ylläpidosta.

Lyhemmällä aikavälillä voidaan korvausinvestointien yhteydessä purkautuvaa JKV-materiaalia hyödyntää varaosina ja joissakin tapauksissa myös uudisasennuksissa. On mahdollista, että tämä rajoittaa joitakin uudistuksia ollessaan ainoa vaihtoehto, ja kysymykseksi jää myös kierrätetyn laitteen elinkaaren pituus uudessa kohteessa, vaikka materiaali on miltei ilmaista. Saman tyyppistä ajattelua hyödyntäen voidaan myös lyhyellä aikajänteellä saatavuutta varmistaa ylisuurella varaosavarastolla. Varastointivaihtoehto vaatii suhteellisen isot alkuinvestoinnit, joita voidaan mahdollisesti kohtuullistaa suurella eräkoolla. Varastoitavien komponenttien vanheneminen on pystyttävä ehkäisemään, mikä vaatii erillisen suunnitelman.

JKV:n ympärille voidaan perustaa myös laitetoimittajasta riippumatonta omaa korjaustoimintaa vioittuneiden laitteiden korjauksiin. Toiminnan aloittaminen voi olla laitetoimittajan intresseistä riippuen joko helppoa tai hankalaa, koska käytännössä ollaan tilanteessa, jossa kaikki hyväksynnit raukeavat. Vaihtoehto vaatii tilaajan tai tilaajan edustajan kouluttamista korjaustoimintaan ja uuden osaamisen hankkimista esimerkiksi hyväksyntätestaukseen. Lyhyellä tähtämellä tämän tyyppinen toiminta ei ole kannattavaa nykyisessä tilanteessa.

JKV-veturilaitteiden korvaajaksi on yhtenä vaihtoehtona esitetty ETCS+STM -ratkaisua. Vectron-vetureihin on asennettu STM+ETCS-yhdistelmä. STM on laite, joka lukee JKV-ratalaitteita ja muuntaa tiedon ETCS-veturilaitteelle sen tarvitsemaan muotoon. Tällöin kulunvalvontajärjestelmän toiminta on nykyisen kansallisen JKV:n kaltainen. Ratkaisua ei ole kuitenkaan testattu tai todennettu pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä ja on epäily, että kyseinen ratkaisu tulisi heikentämään kapasiteettia.

JKV-veturilaitteiden saatavuus koskee kaikkia rataverkolla liikkuvia JKV:ta käyttäviä kalustoja. Näin ollen elinkaaren turvaamista voidaan tehdä esimerkiksi keskittämällä tuleva korjaustoiminta ja hankkimalla siihen tarvittava osaaminen. Tämä vaihtoehto nostaa esiin myös korvaavan teknologian kehittämistarpeen, jolla vanhenevat komponentit tullaan korvaamaan.

Käytännössä paras mahdollisuus JKV-veturilaitteiden korjaamisen varmistamiselle on laitteiden valmistajalla. Valmistajalla on myös parhaat edellytykset etsiä ja varmistaa korvaavien komponenttien soveltuvuus tilanteessa, jossa jokin yksittäinen komponentti joudutaan korvaamaan vanhentuneisuuden takia.

6.3.1 Tilannearvio vuodelle 2030

JKV:n elinkaaren jatkaminen näyttää ratkaisulta, jolla ei ole globaalisti tulevaisuutta muiden Euroopan maiden keskittyessä ERTMS-järjestelmän kehittämiseen. Olemassa olevien asetinlaitteiden uusiminen vaatii mittavia investointeja myös jatkossa. Järjestelmän rajat tulevat vastaan Etelä-Suomessa ja tulevaisuudessa vaaditaan aina vain useampia kustannuksiltaan merkittäviä ratahankkeita, joissa fyysistä infraa lisätään.

Ratalaiteteknologiaa on edelleen saatavilla ja kehitetyt laitteistot palvelevat menossa olevia hankkeita siten, että ne pystytään toteuttamaan. Tarvittava ratakapasiteetin optimointi on toteutettu suhteellisen kalliilla opastimien lisäyksillä ja siirroilla sekä raideosuuksia lyhentämällä. Miltei kaikki varat kapasiteetista on nyt käytetty, ja tulevaisuuden tarpeisiin on keksittävä muita kuin teknologisia ratkaisuja.

Junalaitteiden osalta JKV:n huoltaminen on keskittynyt yhden tahon haltuun ja tarvittava kompetenssi on muodostettu. Veturilaitteiden osalta tuki on heikkoa laitetoimittajan puolelta, ja osaamista on siirtynyt paljon palveluntarjoajalle. JKV-laitteistoja on vaikea hankkia ja ne ovat suhteellisen hinnakkaita. STM ja ETCS -yhdistelmä on käytännössä ainut toimiva ratkaisu.

Asetinlaitteita on rakennettu edelleen yksittäin ja tämän vuoksi asetinlaitekanta on edelleen pirstaleinen ja toiminnot eroavat toisistaan. Pirstaleisuus osaltaan haastaa liikenteenohjaajien työtä, joten osaamista on tärkeä ylläpitää koulutuksilla. Liikenteenohjausjärjestelmien toiminnallisuuksia on hankala kehittää turvajärjestelmien erilaisten ominaisuuksien vuoksi. Edessä alkaa olla mietintä, mikä on seuraava järjestelmäkokonaisuus Suomen rautatieverkolla.

Suomi on siirtynyt FRMCS-konseptin käyttäjäksi vasta äskettäin ja Virve-verkon ylläpito on päättymässä. Uuteen radioverkkojärjestelmään siirtyminen on aiheuttanut jonkin verran kustannuksia. Puheliikennettä voidaan hoitaa kaupallisten verkkojen välityksellä, mikä on kustannustehokas malli. Matkustajien yhteydet juniin kärsivät edelleen huonosta peitosta ja kuuluvuuden kattavuudesta.

6.3.2 Tilannearvio vuodelle 2050

Riittävää raidekapasiteettia ei ole enää tarjolla. Ratalaitteiden elinkaari on päättynyt, minkä vuoksi myös hinnat ovat kohonneet. Ratalaitteiden osalta alkaa olla kiire varmistaa jatkuvuus tai raideliikenteen turvallisuustaso putoaa dramaattisesti.

Veturilaitteiden saatavuus on rajoittanut jo vuosia kaluston käyttöä rataverkolla. STM-laitteistoa on jouduttu päivittämään useaan kertaan, jotta pystytään pitämään tarvittava kalusto liikenteessä.

Tarvittavaa raidekapasiteettia ei ole pystytty tarjoamaan enää pitkään aikaan liikennöitsijöille. Suomen rataverkon käyttö on heikentynyt ja kuljetustarpeisiin yritetään vastata muilla keinoilla.

Olemme pakotettuja lisenssiostoihin laitteiden valmistuksen suhteen, mikäli haluamme jatkaa JKV:n kanssa. Suomi on jo aloittanut muodostamaan omaa valmistavaa teollisuuttaan JKV:n ympärille. Kustannukset ovat kohonneet merkittävästi ja kohoavat edelleen. Emme pysty hyödyntämään lainkaan Euroopassa tapahtuvaa kehitystä omissa järjestelmissämme. Rautateiden digitalisaation osalta olemme pitkässä takamatkassa muuhun Eurooppaan nähden.

FRMCS on luonut lujan perustan kehitykselle. Radioverkkoteknologia on korvattu useaan kertaan pohjautuen julkisen radioverkon kehitykseen. Tämän vuoksi verkon kapasiteetti on parantunut todella mittavasti, mahdollistaen todella tehokkaan rautatieverkon käytön. Myös matkustajat hyötyvät parantuneesta verkosta ja sitä voidaan hyödyntää useilla eri tavoilla matkustajan mukavuuden lisäämiseksi.

7 Kustannusanalyysit

Työssä on tehty alustava kustannuslaskelma eri ERTMS-tasoista ja alueellisista skenaarioista. Laskelmassa on huomioitu 45 vuoden elinkaarikustannukset vuodesta 2020 vuoteen 2065. Laskelma kattaa investoinnin ja elinkaarikustannukset sisältäen ylläpidon ja huollon sekä vanhenemisesta johtuvat uudelleen investoinnit. Laskelman pohjana on 12 vuoden käyttöönottoaikataulu, jota edeltää 7 vuoden testaus- ja pilotointijakso. Investoinnin aikajänne on noin 20 vuotta ja käyttöönoton jälkeisen elinkaaren noin 25 vuotta. Uusinvestoinnit alkavat jo käyttöönoton aikana asteittain. Laskelman yksikkökustannukset perustuvat esimerkiksi Norjan, Sveitsin, Tanskan ja Ison Britannian toteutuneisiin investointi- ja ylläpitokustannuksiin. Tarkastelumaiden ERTMS-investoinnit ovat tuoreita, joten ne kuvaavat hyvin eri ERTMS-tasojen nykyistä kustannustasoa. Kustannuslaskelma ei huomioi kuitenkaan eri järjestelmien kustannuskehitystä. Oletuksena on, että tason 1 kustannustaso nousee, kuten myös nykyisen JKV teknologian, kun taas modernin teknologian kustannustaso laskee tulevaisuudessa teknologian ja markkinoiden kypsyessä. Todellisiin investointikustannuksiin vaikuttaa kuitenkin markkinatilanne investoinnin aikana ja esimerkiksi Suomen kokoisen markkinan kiinnostavuus.

ERTMS-investointi on kokonaisuudessaan suuri tasosta ja skenaariosta riippumatta. Täytyy kuitenkin huomioda, että kustannuksissa on mukana paljon sellaisia kustannuskomponentteja, joita maksetaan jo nykyisellään osana nykyisen JKV:n ylläpitoa. Nämä komponentit on haluttu sisällyttää laskelmaan, jotta saadaan paremmin näkyviin erilaisten järjestelmien elinkaarikustannuksen vaikutus koko laskennallisen elinkaaren aikana.

Kustannuslaskelmassa on huomioitu nykyinen olemassa olevien asetinlaitteiden uusimistarve, joka koskee sekä keskusjärjestelmää että ratalaitteita. Vertailuvaihtoehdossa, jossa koko Suomeen rakennetaan ETCS-taso 1 on laskettu korvattavaksi asetinlaitteiden uusimista vaativat kohteet, jotka täytyy tehdä joka tapauksessa. Laskennassa uusintaa vaativien asetinlaitteiden kustannukset sisältyvät investointikuluihin. Modernissa radiopohjaisessa järjestelmässä puolestaan täytyy korvata kaikki asetinlaitteet. Jatkossa myös radioverkko täytyy korvata tasosta riippumatta, koska puheviestintä tarvitaan myös pistemäisellä kulunvalvonnalla ja nykyinen Virve-verkko ei ole käytettävissä enää 2030-luvulla.

FRMCS on toteutettava koko Suomeen, vaikka jatkettaisiin nykyisellä kulunvalvonnalla. Kustannuksissa on huomioitu myös liikenteenohjausjärjestelmän uusiminen kaikilla tasoilla. Nämä investoinnit tulisivat tehtäväksi joka tapauksessa tasosta riippumatta, ja ne on sisällytetty laskelmiin kaikissa tarkasteluskenarioissa. Kaikkiin malleihin on sisällytetty 10% riskivaraus, joka kattaa mahdollisia epävarmuustekijöitä.

Kustannuslaskelman perusteella moderni radiopohjainen järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin, kun huomioidaan kaikki elinkaarikustannuksiin vaikuttavat komponentit. Vaikka moderni radiopohjainen järjestelmä vaatii enemmän esimerkiksi suunnittelu- ja radioverkkokustannuksia, tulee ETCS-tasolla 1 suuremmat kustannukset esimerkiksi kaapelointiin, ratalaitteisiin ja keskusjärjestelmään. Kokonaisuutena moderni radiopohjainen järjestelmä koko Suomeen on elinkaarikustannuksiltaan noin 435 miljoonaa euroa edullisempi kuin vertailuvaihtoehto ETCS-taso 1 koko Suomeen. Puhtaat investointitasot ovat lähellä toisiaan.

Taulukko 5. Skenaarioiden kustannusvaikutukset.

Skenaarioiden kustannusvertailu Elinkaarikustannus 2020–2065 M€	ETCS-taso 1 koko Suomeen	ETCS-taso 1 ja taso 2 yhdistelmä	Moderni radio- pohjainen ETCS
Investointikulut			
Asiakkaan projektikustannus	94	132	168
Toimittajan projektikustannus	126	269	403
Keskusjärjestelmä	263	251	186
Ratalaitteet ja kaapelointi	512	426	109
Tietoliikenne	0	3	11
ETCS-kaapelointi	198	167	60
Vanhon järjestelmien poisto	0	45	81
TMS	204	204	204
Junajärjestelmät	196	211	257
Varauma	159	171	148
Investointikulut yhteensä	1 751	1 879	1 627
Korvausinvestoinnit elinkaaren aikana			
Keskusjärjestelmä	268	217	143
Ratalaitteet ja kaapelointi	133	64	2
Tietoliikenne	0	1	3
ETCS-kaapelointi	2	2	1
TMS			
Junajärjestelmät (LCC)	114	140	191
Varauma	52	43	34
Korvausinvestoinnit yhteensä	570	468	373
Ylläpito- ja huoltokustannus			
Keskusjärjestelmä	162	178	176
Ratalaitteet ja kaapelointi	298	192	50
Tietoliikennepalvelu	150	193	301
ETCS-kaapelointi	29	24	9
TMS-ylläpitopalvelut (LCC)	155	155	155
Junajärjestelmät -> LCC			
Varauma	79	73	69
Ylläpito- ja huoltokustannus yhteensä	874	816	759
Kaikki elinkaarikulut 2020–2065			
Asiakkaan projektikustannus	94	132	168
Toimittajan projektikustannus	126	269	403
Keskusjärjestelmä	693	646	505
Ratalaitteet ja kaapelointi	943	683	161
Tietoliikenne	150	197	315
ETCS-kaapelointi	229	193	69
Vanhon järjestelmien poisto	0	45	81
TMS	359	359	359
Junajärjestelmät	310	351	449
Varauma	290	286	251
Elinkaarikulut yhteensä	3 195	3 163	2 760

8 Skenaarioiden tarkastelu tavoitteita vasten

Tavoitteiden tarkastelu on tehty selvityksen osaprojektien tulosten perusteella. Tarkastelussa olivat mukana kaikki osaprojektit, joita olivat kansainvälisten hankkeiden kartoitus ja analysointi, rautatieteknologiat, kalusto, tietoliikenneteknologiat, tarveselvitys ja vaikutusarvioinnit, rahoitus- ja kilpailutusmallit sekä juridiikka. Tavoitteiden sanalliseen tarkasteluun on sisällytetty riskienarvioinnista nousseita epävarmuuksia. Tavoitteiden tarkastelun yhteensopivuus eri skenaarioihin nähdessä esitetään tiivistettynä yhteenvetona liitteessä.

8.1 Laadulliset tavoitteet

Tavoite **Kapasiteetin kasvattaminen Etelä-Suomen kaupunkirajteilla ja pääradalla 20%** täyttyy parhaiten modernin radiopohjaisen ETCS-skenaariot sekä yhdistetyn ERTMS-ratkaisun tasoille 1 ja 2 kautta. Molemmat skenaariot pystyvät tarjoamaan radiopohjaisen järjestelmän avulla keskimäärin tavoitteen mukaista kapasiteettia ainakin homogeeniselle matkustajaliikenteelle Etelä-Suomen kaupunkiratojen tarpeisiin. Moderni ratkaisu voi tarjota tulevaisuudessa joitakin lisätoimintoja, joita ei tällä hetkellä tiedetä. JKV:n elinkaaren jatkaminen tai ERTMS-ratkaisu tasolle 1 ei auta kapasiteetin lisätarjontaan. Heterogeeniseen sekaliikennemallin junatarjontaan teknologian vaikutukset ovat vähäisemmät, mutta ratakapasiteetin kasvaessa voidaan täsmällisyyttä parantaa sekä häiriöiden vaikutusta minimoida myös heterogeenisessä liikennemallissa.

Kapasiteettitavoitteen saavuttamiseen radiopohjaisilla järjestelmillä liittyy riski radioverkon saatavuuden suhteen, koska emme tiedä tarkalleen, milloin FRMCS-järjestelmä on käytettävissä ERTMS-sovelluksiin. FRMCS-järjestelmän spesifikaatiot voivat myös kääntyä rautateille dedikoidun radioverkon suuntaan, jolloin Suomen on rakennettava rautateille tarkoitettu oma radioverkkonsa. Dedikoidun radioverkon toteuttamiskustannukset arvioidaan olevan noin 150M€ ja riski koskee käytännössä jokaista skenaarioita sekä kaiken tasoisia ETCS-järjestelmiä.

Tavoitteen **selvitetään ATO:n mahdollisuus kaupunkiradoilla** osalta voidaan todeta, että jokaiseen teknologiaan voidaan rakentaa ATO. JKV-järjestelmän, samoin kuin ETCS 1-tason järjestelmän, pistemäinen kulunvalvonta rajoittaa kuitenkin todella paljon saatavia hyötyjä ATO-järjestelmästä erityisesti korkeampien automaatioasteiden osalta. Jatkuvaan kulunvalvontaan perustuvat radiopohjaiset ratkaisut ovat nykyaikaisia ja pystyvät tarjoamaan parhaan pohjan ATO-toiminnoille. Näin ollen automaatiosta saadaan irti paras mahdollinen kapasiteettihyöty. Moderni radiopohjainen ETCS-ratkaisu tarjoaa tulevaisuudessa myös dynaamisen suojastuksen keinovalikoimaan, jonka avulla on mahdollista tehostaa ATO-toimintojen ja ETCS-järjestelmän hyötyä entisestään aina automaation asteelle 4 saakka. Todennäköisin vaihtoehto rautateiden automaation asteeksi on 3, jolloin juna on edelleen miehitetty, mutta ajaa itsenäisesti ilman kuljettajaa. ATO-toiminnot ovat tulossa osaksi Eurooppalaista ERTMS-standardia, joten ETCS-järjestelmiin siirtyminen mahdollistaa toimintojen käytön tulevaisuudessa. Tavoitteeseen ei sisälly uusia riskejä.

Järjestelmä **mahdollistaa täsmällisyyden 95%+** -tavoitteen täyttyminen on mahdollista, kun kapasiteettia lisätään rataverkolle. Tällöin osa ratakapasiteetista voidaan käyttää puskurina viivästymisille. Ratakapasiteetin käyttäminen puskurina auttaa vähentämään viivästymisen kumuloitumista aina vain useampiin kuljetusyksiköihin. Radiopohjaiset järjestelmät sallivat parhaan reagoinnin dynaamisesti, jolloin jokaiseen kuljetusyksikköön voidaan vaikuttaa reaaliajassa optimoiden liikennetilannetta ja minimoiden häiriöiden vaikutusta. Pistemäisessä JKV-järjestelmässä optimointia voidaan tehdä rajoitetummin.

Rautatieliikenteen **toimintavarmuuden parantaminen** -tavoite on parhaiten saavutettavissa yhtenäisen ja uudistetun turvajärjestelmäpohjan avulla. Uusi ja yhtenäinen turvalaitepohja tuo liikennejärjestelmään luotettavuutta, ja laitteiden vikaantuminen on epätodennäköisempää. Modernissa radiopohjaisessa ratkaisussa on vähemmän vikaantuvia komponentteja radan varrella, mikä vaikuttaa parantavasti täsmällisyyteen. Nykyisen asetalitekannan käyttäminen vastaa huonoiten tämän tavoitteen toteutumiseen, mikä tarkoittaa yhdistetyn ERTMS-ratkaisun tason 1 osuutta sekä JKV:n elinkaaren jatkamista kokonaisuudessaan.

Riskinä toimintavarmuuden parantamisessa ovat modernien turvajärjestelmien vikojen vaikutusalueiden laajentuminen, jota voidaan hallita kahdentamalla kriittisimmät komponentit.

Turvallisuustason parantaminen on mahdollista järjestelämäteknisesti muun muassa hyödyntämällä junien tunnistamisen uusia menetelmiä luotettavassa kaluston sijainnin määrittämisessä. Uudet tunnistustavat radioteknologian kanssa yhdessä helpottavat turvalaitevarustamattomien rataosien ja tasoristeysten varustamista turvallisiksi sekä optimoimaan tasoristeysten hälytysaikoja. Hälytysaikojen optimointi estää fataalia liikennekäyttäytymistä, kuten tasoristeysten puomien kiertämistä. Radiopohjainen järjestelmä

yhdessä uudistetun turvalaitekannan kanssa voi toteuttaa myös automaattisen ratatöiden suojausten samoilla mekanismeilla joka paikassa, jolloin ratatyöturvallisuus kasvaa. Tutkittavista skenaarioista tavoitteen täyttää parhaiten moderni radiopohjainen järjestelmä, joka mahdollistaa kaikki turvallisuustason parannukset koko Suomen rataverkolla. Pistemäinen JKV ei tuo uusia turvallisuustasoa parantavia ominaisuuksia. Yhdistetty ERTMS-ratkaisu tasoille 1 ja 2 -skenaario parantaa turvallisuutta Etelä-Suomessa tason 2 rataosilla. Toisaalta useamman järjestelmän käyttö ja ylläpito lisää inhimillisen tekijän riskiä.

Positiivisten ympäristövaikutusten ja energiansäästömahdollisuuksien lisääminen on tehokkainta jatkuvan kulunvalvonnan kautta, jolloin kuljetusyksiköihin voidaan vaikuttaa tehokkaasti paikasta riippumatta. Ympäristövaikutuksien positiiviseen kehitykseen on mahdollista järjestelmäteknisesti vaikuttaa kapasiteettia lisäämällä, jolloin tarjontaa voidaan kasvattaa ja näin ollen lisätä kulkumuotoaikoja kuljetusosuutta. Lisäksi energiatehokas ajaminen ja koko rataverkon kuljetusten optimointi tuo mittavia energiasäästöjä. Kuljetusyksikkökohtaista energiankulutusta on myös mahdollista optimoida merkittävästi. Kapasiteettivaikutuksia on jo kuvattu aiemmin ja moderni radiopohjainen ETCS on paras ratkaisu koko Suomen tasolla kapasiteettia parantamaan. Energiatehokkaan kuljettamisen takaamiseksi järjestelmien on pystyttävä dynaamiseen ohjaukseen, ja sitä kautta parhaat edellytykset ovat jatkuvatoimisella kulunvalvonnalla sekä sen päälle toteutetuilla optimointialgoritmeilla. Koko Suomen tasolla on moderni radiopohjainen ETCS toteutuskelpoinen skenaario tavoitteen saavuttamiseksi. Etelä-Suomen osalta ETCS-tason 2 rataosat yhdistetyssä ERTMS-ratkaisussa palvelevat tätä tarkoitusta. Molemmista skenaarioissa ympäristön kuormitusta pienennetään myös vähentämällä ratalaitteiden määrää, jolloin valmistamisen aiheuttama kuormitus sekä uusimis- ja ylläpitotarve vähenee.

Kompetenssin kehittäminen rautatiealalla on erityisen tärkeää, jotta muut selvityksen tavoitteet ovat saavutettavissa. Digirata-selvityksen kautta on osaamista pystytty Suomen tasolla nostamaan geneerisesti, mutta edelleen on paljon tehtävää. Tulevaisuuden tarpeisiin ja selvitykselle asetettuihin tavoitteisiin nähden näyttäisi tarpeellisin osaamisalue olevan radiopohjainen ETCS-osaaminen ja sen kautta avautuvat jatkuvan kehittämisen mahdollisuudet digitalisaation kautta. NykYTEknologia JKV-järjestelmään liittyen tunnetaan hyvin, mutta se ei enää palvele tulevaisuudessa ison kuvan kehittämistä. JKV-osaamista on ylläpidettävä siirtymäajan tarpeisiin kunnossapidon, järjestelmien rajapintojen ja yhteensovituksen suunnitteluun liittyen. Tärkeintä on kuitenkin varmistaa osaamisen lisääminen tulevaisuuden energiatehokkaisiin ja kulkumuotoa lisääviin järjestelmiin liittyvään suunnitteluun ja optimointiin. Rautatiejärjestelmät ovat yhä enenevässä määrin ICT-järjestelmiä, minkä vuoksi on tärkeää lisätä tieto- ja viestintätekniikan osaamista myös rautatiealalle. Riskinä osaamisen kehittämiselle on globaalisti rajalliset resurssit, joiden avulla oppiminen on ylipäänsä mahdollista.

8.2 Kustannustehokkuustavoite

Tavoitteiden tarkastelussa **kustannusten ja hyötyjen perusteella tehdyt ratkaisuvaihtoehdot** ovat oleellisessa asemassa selvityksen kannalta. Kustannustarkastelun perusteella voidaan todeta, että kustannukset ovat kokonaiselinkaarta tarkastellessa edullisimmat modernien radiopohjaisten järjestelmien osalta. Puhtaat investointikustannukset ovat vain hieman edullisempia modernimpien järjestelmien osalta, kun huomioidaan koko laitekanta, mutta kokonaiselinkaarikustannukset merkittävästi alhaisempia.

JKV:n käyttöön liittyvät asetinlaitteiden uusimisen investoinnit ovat nykyiseen järjestelmäkantaan nähden suhteellisen mittavat, eikä niillä saavuteta juurikaan kokonaishyötyjä. Arvio asetinlaitteiden korvausinvestoinneista on 500M€ seuraavat 10 vuotta ja sen jälkeen 250M€ siitä seuraavat kymmenen vuotta eli yhteensä 750M€. Tämä sama investointipotti kohdistuu skenaariotarkasteluissa yhdistettyyn ERTMS-ratkaisu tasolle 1 ja 2 tason 1 varustuksen osalta, jolloin arvio tarvittavista 20 vuoden asetinlaitteiden korvausinvestoinneista on 490M€, jonka lisäksi tarvitaan lisäinvestointi ETCS-tason 2 järjestelmän rakentamiselle. Mikäli siirrymme suoraan modernien radioverkkopohjaisten järjestelmien rakentamiseen, pystymme saamaan modernin järjestelmän kokonaisedullisemmin kuin teko-hengittämällä vanhenevaa teknologiaa, jota ei voi myöskään kehittää seuraaville tasoille. Modernin järjestelmän hyötyjä on kuvattu muissa osissa tätä dokumenttia. Moderniin järjestelmään liittyvät riskit liittyvät radioverkon toteutukseen. Tässä kustannuslaskennassa radioverkon on oletettu järjestyvän palveluna myös junaliikenteen käyttöön. Modernimpien järjestelmien maturiteetti ei myöskään ole vielä kypsällä tasolla, mutta käytännössä tämä ei estä modernin radiopohjaisen ETCS-järjestelmän rakentamisen aloittamista ETCS-tason 2 teknologian ollessa jo kypsässä vaiheessa. ETCS-tason 2 teknologia voidaan kehittää edelleen tasolle 3 teknologian kypsyessä. Lisäksi riskinä kustannusten osalta korostuvat rahoituksen vakaus, jonka vaihdellessa voi toteutusaika muuttua pidemmäksi ja sitä kautta kustannukset kasvavat. Rahoituksen ollessa epävakaa on vaara ryhtyä osioptimointiin hankkeiden osalta, jolloin kokonaishyödyt uudistuksesta jäävät saamatta. Kustannusten osalta oman riskinsä tuo myös globaali markkinatilanne, joka voi tuoda mukanaan hintatason nousun usean laajan kilpailutuksen toteutuessa samaan aikaan.

Kokonaiskustannusten teknologinen optimointi Suomi-tasoisesti onnistuu elinkaarta ajatellen parhaiten modernilla radioverkkopohjaisella ETCS- ratkaisulla, jonka päivittäminen elinkaaren aikana onnistuu helpoiten ja elinkaarikustannuksia saadaan laskettua muun muassa komponenttien vähentyessä. Käytännössä näyttää siltä, ettei Suomen rata-verkolla kannattaisi pitää useita erilaisia järjestelmiä kokonaiskustannusten optimointia ajatellen. Yhdellä järjestelmällä saamme uusimmasta teknologiasta eniten hyötyjä koko rataverkolle aina liikenteenohjauksesta kapasiteettiin. Tarkasteltaessa kokonaiskustannusta tukevat alustavat laskelmat modernin järjestelmän teknologista mallia koko Suomeen. Tämän tavoitteen riskit ovat yhtenäiset edellisen tavoitteen kanssa.

Tavoitteen **kalustoinvestointien ajoituksen optimointi** analysointi on vaatinut jonkin verran aikaa, mutta kaikin puolin sitoutuminen on vahvaa. Kalustoinvestointeja on Suomessa tulossa enenevässä määrin, minkä vuoksi selkeän tulevaisuuden näkymän tarve on ilmeinen. Kalustoon kannattaa investoida etupainotteisesti niin uushankinnoissa kuin järjestelmän päivityksien osalta infraan nähden, mikä mahdollistaa sujuvan maanlaajuisen käyttöönottovaiheen. On kuitenkin huomattava, että siirtymävaiheessa suureen osaan kalustoa tarvitaan valmius liikennöidä uuden teknologian radalla sekä vanhalla JKV-radalla. Tätä investointia ei voida käytännössä kiertää. Riskiä sisältyy siirtymävaiheessa kaluston osalta kahden erilaisen kulunvalvontajärjestelmän käyttöön. Kaluston kaksoisvarusteluun on kaksi keinoa: STM:n käyttö yhdessä ETCS-laitteiston kanssa tai puhdas JKV- ja ETCS-kaksoisvarustelu. Kaksoisvarusteluun on haettava EU:lta poikkeuslupaa JKV-järjestelmien asentamiseen myös uuteen kalustoon. STM:n riskinä taas on toiminnallisuuden sovittaminen useisiin kalustotyyppeihin, mikä voi olla kokemuksen mukaan yllättävän hankalaa.

8.3 Teknologiatavoitteet

Teknologialtaan moderni, elinkaarenhallinnan huomioiva ratkaisu on selvityksen perusteella oltava perusjärjestelmältään radioverkkopohjaiseen kulunvalvontajärjestelmään ja jatkuvaan kulunvalvontaan perustuva. Skenaarioista sopivin koko Suomen tasolla on moderni radiopohjainen ETCS-skenaario. Riskinä modernin teknologian käytössä on eteneminen maturiteetiltaan liian aikaisella teknologialla. JKV:n osalta riskiä sisältyy vanhenevaan teknologiaan sekä riski nykyisten toimittajien fuusioista, joka voi johtaa nopeastikin tuotteiden alasajoon.

Tavoitteet, jotka **mahdollistavat autonomisen liikenteen kaupunkirataosuuksilla ja mahdollistavat liikenteenohjauksen optimoinnin tekoälyn avulla** tarvitsee parhaiten onnistuakseen jatkuvan kulunvalvonnan, joka pystyy reagoimaan liikennetilanteisiin joustavimmin. Autonominen liikenne on mahdollista myös pistemäisellä järjestelmällä, mutta siitä saatavat hyödyt jäävät alhaisemmiksi verrattuna jatkuvatoimiseen kulunvalvontaan. Tekoälyn hyödyntäminen tehokkaasti liikenteenohjauksen optimointiin tarvitsee eheän ja samat toiminnot omaavan turvalaitekannan koko rataverkolle. Näin ollen säännöstön luominen optimointiin on järjestelmistä johtuen mahdollista ilman poikkeustapauksia. Samalla mahdollistetaan algoritmien paras mahdollinen toiminnallisuus jokaisen liikennetilanteen energiatehokkaaseen optimointiin, esimerkiksi jo nykyään kaivoksissa, taloudessa ja öljynkäsittelyssä käytössä olevien vahvistus- ja oppimisalgoritmien avulla. Riskinä automaattiseen operointiin Suomessa ovat vielä tällä hetkellä mahdolliset vanhan kaluston automatisointitarpeet, tuntemattomat tekijät ihmisten käyttäytymismalleissa ja

kustannukset, joita ei tässä selvityksessä ole otettu mukaan. Liikenteenhallinnan osalta kustannusarvioita on tehty osana selvitystä, mikä pienentää kustannusriskiä.

Mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon jalostamisen, jatkuvasti päivittyvät kapasiteetti- ja aikataulutiedot ja dynaamisen reagoinnin. Reaaliaikainen tiedon jalostaminen on mahdollista kaikissa järjestelmissä, mutta JKV-skenaariossa ja yhdistetyssä ERTMS-ratkaisussa tasoille 1 ja 2 -skenaariossa tason 1 järjestelmien jäädessä nykyisiksi on tiedon laatu ja saatavuus todella vaihtelevaa riippuen järjestelmästä. Tiedon vaihtelevuus tekee reaaliaikaisen tiedon jalostamisesta todella työlästä. Nämä rajoitukset vaikuttavat jatkokehityksen mahdollisuuksiin kapasiteetti- ja aikataulutietojen päivitysmahdollisuuksiin sekä dynaamiseen reagointiin esimerkiksi erilaisten tapahtumien huomiointiin suunnittelussa. Parhaiten vaatimukseen vastaa moderni radiopohjainen ETCS-järjestelmä. Riskinä tiedon hyödyntämiseen ovat oikeanlaisen tiedon saatavuus optimoinnin tarpeisiin sekä lainsäädännön mahdolliset rajoitukset, joita jo nykyisellään koko ajan pyritään helpottamaan.

9 Digirata-selvityksen suositus tulevaisuuden järjestelmästä

Tulevaisuuden visio ”Digitaalinen rautatie – Digirata” on saavutettavissa tehokkaimmin modernin radiopohjaisen ETCS-järjestelmästrategian avulla. Digiradan tavoitteita, kustannuksia ja vaikutuksia vasten tarkasteltuna projektiryhmä siis suosittelee etenemään **Modernilla radiopohjaisella ETCS -ratkaisulla**. Digirata-työn lähtökohdaksi on muodostunut, että junien kulunvalvonta tulee uusia joka tapauksessa ja moderni radiopohjainen järjestelmä mahdollistaa kustannusten lisäksi merkittäviä hyötyjä koko liikennejärjestelmälle. Alkuvaiheessa järjestelmäsuunnittelu tehdään ERTMS-tasolle 2, jonka päivitettävyydestä huolehditaan, ja teknologioiden kypsyessä siirrymme tasolle 3, hyödyntäen uusimmat digitalisaation kehitystulokset.

Modernin radiopohjaisen järjestelmän hyödyt vaikuttavat laajasti koko liikennejärjestelmään ja toimintaympäristöön. Radiopohjaisen järjestelmän dynaaminen kyvykyys laitteiston siirrettävyyden vuoksi sekä kriittisten komponenttien hajautusmahdollisuuksien kautta parantaa esimerkiksi yleistä varautumista häiriöihin sekä harvinaisempien kriisitilanteiden hallintamahdollisuuksia. Hajautettu radiopohjainen järjestelmä hyvällä arkkitehtuurilla tuo myös huoltovarmuutta.

Modernin radiopohjaisen ETCS-ratkaisun tarjoamat ratakapasiteetin lisäysvaikutukset eivät välttämättä ole aina suoria lisäyksiä junatarjontaan, vaan kapasiteettia voidaan käyttää erilaisten vaikutusketjujen kautta. Modernin radiopohjaisen järjestelmän mahdollistama junavälien pienentäminen lisää ratakapasiteettia koko verkolle, mikä helpottaa aikataulusuunnittelua, parantaa täsmällisyyttä ja nopeuttaa häiriöistä palautumista. Junaliikenteen häiriösietoisuuden paraneminen puolestaan pienentää matkustajien kokemaa matkavastusta ja lisää junaliikenteen houkuttelevuutta. Moderni radiopohjainen järjestelmä mahdollistaa yhdessä infratoimenpiteiden ja aikataulurakenteen optimoinnin kanssa selkeän junamäärien lisäämisen. Tämä puolestaan parantaa saavutettavuutta ja tukee kulkumuotosiirtymää kumipyöriltä raiteille, mikä edelleen tukee päästövähennystavoitteiden saavuttamista. Ratakapasiteetin käytön tehostaminen parantaa tavaraliikenteen

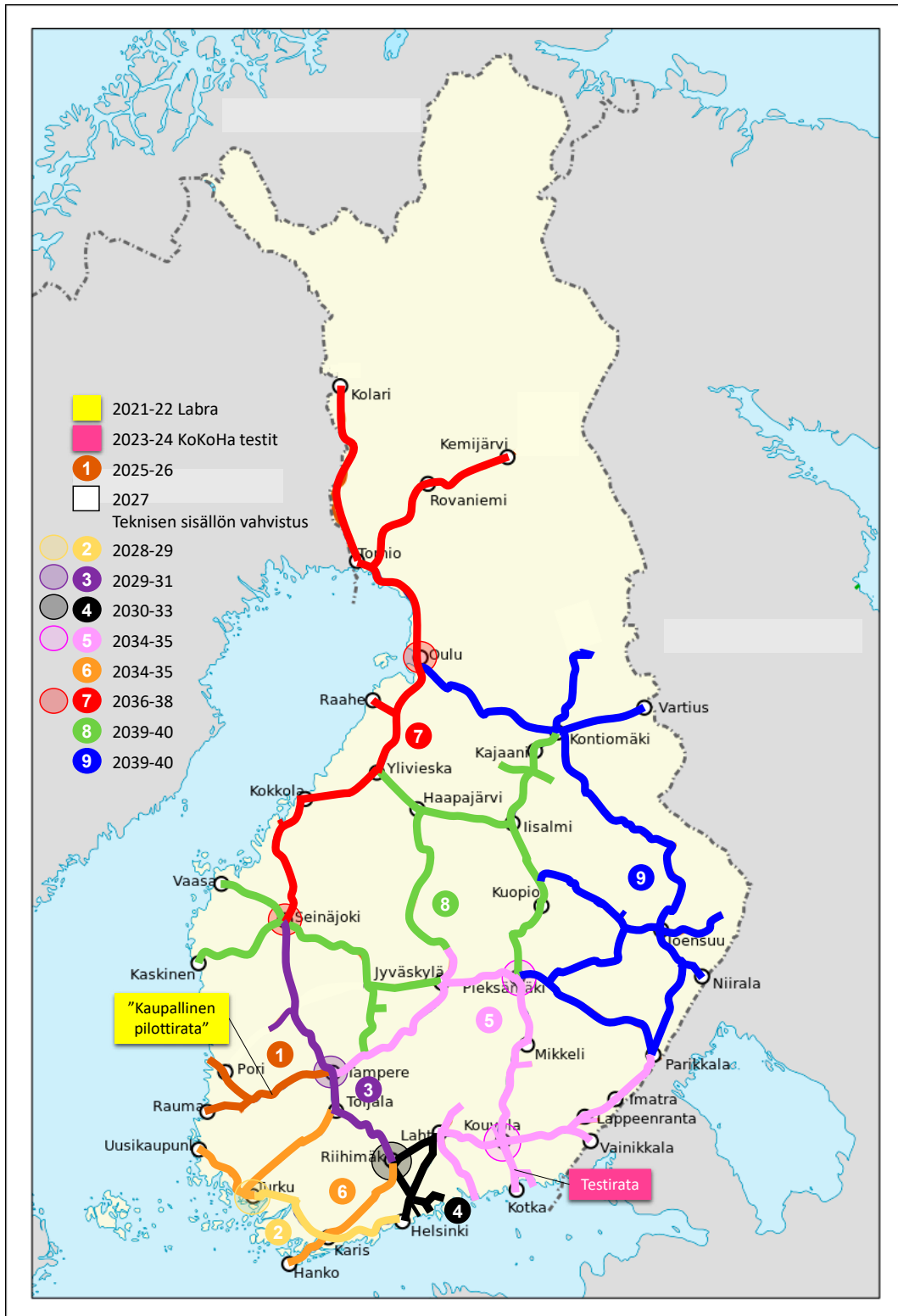
toimintaedellytyksiä, minkä ansiosta positiivinen junaliikenteen kasvu myös Venäjän suuntaan on helpommin saavutettavissa.

Suosittelun skenaarion kannalta on kriittistä, että aloitettua työtä ei jätetä kesken, minkä vuoksi hankkeen jatkuvuus resurssien suhteen on turvattava pitkälle tulevaisuuteen. Investoimalla moderniin teknologiaan vain osittain ajaudumme tilanteeseen, jossa ylläpidettävä laitekantakirjo lisääntyy ja osaaminen on entistä enemmän pirstaloitunut, aiheuttaen kustannuksia sekä vaarantaen tehokkaan liikennöinnin koko rautatiejärjestelmässä. Mitä nopeammin kokonaisuusinta saadaan tehtyä, sitä nopeammin hankkeen hyödyt alkavat konkretisoitua Suomen rautatieverkolla.

10 Jatkotoimenpiteet suositellussa skenaariossa etenemiselle

Alustava etenemissuunnitelma kohti **modernia radiopohjaisella ETCS -ratkaisua** on tehty 12 vuoden käyttöönottoaikataulun mukaisesti. Alustavassa etenemissuunnitelmassa ennen käyttöönottoa on suunniteltu 7 vuoden kehitysaika. Kehitysajan aikana perustetaan Suomeen testaus- ja simulaatiokeskus, jossa voidaan järjestelmäparametrien vaikutusten arviointia tehdä koko rataverkon laajuisesti digitaalisen kaksosen avulla. Lisäksi toteutetaan testirata Kouvola-Kotka-Hamina rataosalle, jossa voidaan uutta radiopohjaista järjestelmää testata realistisissa olosuhteissa oikealla kalustolla. Viimeisessä kehitysvaiheessa toteutetaan pilottirata Tampere-Pori-Rauma rataosalle, jossa uutta järjestelmää käytetään ainoana järjestelmänä ja missä voidaan viimeistellä Suomen kansalliset parametrit. Alustavassa etenemissuunnitelmassa on huomioitu tulevaisuuden liikennöintitarpeet, kaluston uushankinnat, päivittämismahdollisuudet suurelta osin sekä nykyasetinlaitteiden muodostamat rajat. Etenemissuunnitelma on arvio, joka tarkentuu työn edetessä esimerkiksi opeointisääntöjen muokkaustarpeen arvioinnin sekä rataosakohtaisen analysoinnin perusteella. Jotta hankkeen positiivisia vaikutuksia voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti liikennejärjestelmässä, on tärkeä edetä riittävän nopealla aikataululla.

Kulunvalvontajärjestelmä on keskeisin osa rautatieliikenteen turvallisuutta, joten nykyinen kulunvalvontajärjestelmä tulee olemaan käytössä edelleen useita vuosia uuden modernin radiopohjaisen ETCS-ratkaisun käyttöönoton alkamisen jälkeenkin. Tällöin laitteiden ja varaosien saatavuuden varmistaminen pitkälle tulevaisuuteen on elintärkeää, mikä on huomioitu JKV:n elinkaaren jatkamisen skenaariossa. Joissakin maissa on havaittu haasteita yhteensovittaa olemassa olevaa kulunvalvontaa ja ETCS-pohjaista ratkaisua siirtymäajaksi. Havaittuja ongelmia ovat olleet esimerkiksi ratalaitteiden aiheuttamat häiriöt toisilleen. Tämän vuoksi onkin erityisen tärkeää tutkia edistettävän vaihtoehdon häiriöalttius nykyiseen järjestelmään nähden. On huomioitava myös yhtä aikaa käytössä olevien järjestelmien huoltotarve sekä operatiivinen osaaminen, joiden suunnitelmallinen ylläpito on tärkeää uudistamisjakson rinnankäytön ajan.



Kuvio 19. Alustava etenemissuunnitelma modernin radiopohjaisen järjestelmän käyttöönottoon.

Projekti suosittelee jatkamaan lisäselvitysten ja suunnitelmien tekemistä muun muassa seuraavista aiheista:

1. Digiradan yhteensovittaminen valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman ja muiden käynnissä olevien ratahankkeiden suunnittelun kanssa sekä etenemissuunnitelman tarkentaminen.
2. Tarkemmat ja laajemmat rahoitusratkaisuanalyysit sekä kustannusten tarkennetut laskelmat kustannustason varmistamiseksi
3. Testauksen tarpeiden määrittely huomioiden simulointi- ja testauskeskus sekä tuleva testirata
4. Eurooppalaisen yhteistyön tiivistäminen ja työryhmiin osallistuminen sekä tehokas koordinointi, akuuteimpana asiana FRMCS-työryhmät/valmistajat ja Suomen muutosehdotukset (CR)
5. Kotimaisen osaamisen laajempi kehityssuunnitelma, meneillään olevan kehityksen huomioiminen sekä Digiradan ekosysteemimahdollisuuden selvittäminen (painopisteinä entistä enemmän moderni liikenteenhallinta, radioverkko ja kaluston teknologiset ratkaisut)
6. Kansallisten ETCS-operointikonseptin ja -sääntöjen kehittäminen
7. Kokonaisarkkitehtuurin suunnittelu, kuvaaminen ja pilotointi huomioiden ATO, uudet paikannusteknologiat, radioverkko, kyberturvallisuus sekä varautuminen. Muun muassa jo aloitetun modernin jatkuvatoimisen paikannusjärjestelmän jatkekehittäminen.
8. Vastuiden määrittely JKV:n jatkuvuuden varmistamiseksi ja JKV-laitteiden (kalusto- ja ratalaitteet) saatavuuden suunnittelu koko käyttöönnoton ajalle sekä JKV- ja ETCS-laitteiden yhteensovitus suunnittelu.

Hankeorganisaatio tulee tarvitsemaan nopealla aikataululla dedikoituja ja sitoutuneita henkilöitä viemään kokonaisuutta eteenpäin. Ydinryhmään tarvitaan 5–10 henkilöä. Hankeorganisaation käyttöönottovaiheen alustava vuosittainen henkilöstötarve on riippuen hankkeen vaiheesta 35–55 henkilötyövuotta. Alustavan kustannusarvion perusteella arvioidut kehitysvaiheen kustannukset ovat vuosina 2021–2027 yhteensä noin 85M€. Alustavan kustannusarvion perusteella laajemman käyttöönoton aloittamisen jälkeisten kokonaiskustannuksen vuosille 2028–2032 on arvioitu olevan 290M€, jonka jälkeen vuosikustannustaso vuodesta 2033 vuoden 2041 käyttöönoton loppuun saakka on noin 100M€/vuosi.

Projektiryhmä suosittelee myös kansallisen ERTMS-täytäntöönpanosuunnitelman päivittämistä selvityksen mukaiseksi mahdollisimman pian.

11 Vaikutusten tarkastelu valtakunnalliseen liikennejärjestelmäsuunnitelmaan

Tässä kappaleessa on kuvattu vaikutusten arvioinnin menetelmää sekä vaikutuksia Valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman arviointikehikon mukaisesti. Eri järjestelmien vaikutuksia on arvioitu ratakapasiteetin, liikennetarjonnan, täsmällisyyden, häiriösietoisuuden, järjestelmien elinkaaren, taloudellisuuden ja turvallisuuden näkökulmista. Modernin radiopohjaisen järjestelmän mahdollistamaa ratakapasiteetin kasvattamisen vaikutuksia on arvioitu edelleen esimerkiksi alueiden saavutettavuuden ja palvelutason, ekologisen kestävyys sekä taloudellisen kestävyys näkökulmista. Vaikutuksia on kuvattu alla ja tarkemmin Tarveselvitys ja vaikutusarvioinnit -raportissa.

11.1 Esimerkkitarkastelut

Modernin radiopohjaisen järjestelmän vaikutuksia ratakapasiteettiin ja liikennetarjontaan tutkittiin esimerkkitarkastelujen avulla. Ratakapasiteetin lisääminen perustuu mahdollisuuteen lyhentää suojavälejä modernilla radiopohjaisella järjestelmällä, mikä todennettiin tarkemmilla raidetason kapasiteettilaskelmilla. Eri skenaarioiden mahdollistaman ratakapasiteetin vaikutusta arvioitiin junamääriin ja täsmällisyyteen, joiden avulla laskettiin edelleen vaikutuksia esimerkiksi matkustajien aikasäästöihin ja operointikustannuksiin. Junamäärien kasvattamisen hyödyt todennettiin realistisella aikataulusuunnittelulla, jossa saatiin lisää junia aikataulurakenteeseen junavälejä lyhentämällä.

Esimerkkitarkastelujen perusteella myös vilkkaasti liikennöityjen asemien laituriraitteiden käyttämistä voidaan tehostaa, koska junat voivat saapua ja lähteä tiheämmin lyhyempien suojavälien ansiosta. Modernilla radiopohjaisella järjestelmällä saadaan ulosmitattua paljon hyötyjä, kun esimerkiksi pienissä häiriötilanteissa junien kulkua voidaan sujuvoittaa

nykytilanteeseen verrattuna ja siten tehostaa ratakapasiteetin käyttöä ja parantaa häiriösietoisuutta.

Esimerkkitarkasteluja on kuvattu tarkemmin Tarveselvitys-osaprojektissa.

11.2 Vaikutukset saavutettavuuteen sekä matkojen ja kuljetusten palvelutasoon

Digiradan esittämässä tavoiteskenaariossa koko Suomessa olisi käytössä moderni radiopohjainen ETCS. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että alkuvaiheessa tehtäisiin ETCS-tason 2 mukainen järjestelmä, ja tavoitteena olisi ETCS-tason 3 mukainen tilanne, jossa junien sijainnin valvonta on siirtynyt radalta kalustoon.

Modernin radiopohjaisen järjestelmän kapasiteettihyödyt tulevat mahdollisuudesta lyhentää suojavälejä, koska näkyviä opastimia ei tarvita ja kulunvalvonnan tiedonvälitys on jatkuvaa, jolloin junat voivat ajaa lähempänä toisiaan. Tämä mahdollistaa ratakapasiteetin kasvattamisen, mikä taas parantaa täsmällisyyttä ja mahdollistaa junamäärien kasvattamisen tietyillä reunaehdoilla. Pienten häiriöiden vaikutukset eivät pääse kertautumaan ja häiriötilanteita päästään purkamaan nopeammin, kun käytössä on enemmän ratakapasiteettia. Tällä on merkittävä vaikutus erityisesti tiheällä liikenneverkostolla, missä on myös suuret matkustajamäärät ja suuri vaikuttavuus matkustajien kokemaan matkavastukseen. Häiriöiden vaikutuksen pienentyessä matkustajien kokema matkavastus pienenee, mikä parantaa junaliikenteen houkuttelevuutta ja palvelutasoa.

Digirata-työssä tehtyjen kapasiteetti- ja aikataulutarkastelujen perusteella aikataulusuunnittelun lähtökohtana nykyisin pidettävää neljän minuutin minimijunaväliä samaan suuntaan ajettaessa voidaan tiivistää modernilla radiopohjaisella järjestelmällä kolmeen minuuttiin aikataulurakenteen pullonkaulakohdissa ja helpottaa näin aikataulusuunnittelun pakkopisteitä. Yhdessä infratoimenpiteiden kanssa tämä mahdollistaa junamäärien kasvattamisen ja vuorovälien lyhentämisen. Helsingin seudun kaupunkiradoilla moderni radiopohjainen ETCS mahdollistaisi alkuvaiheessa linjakohtaisen vuorovälin tihentämisen kymmenestä minuutista 7,5 minuuttiin, mikä parantaa saavutettavuutta ja junaliikenteen palvelutasoa merkittävästi Helsingin seudulla. Moderni radiopohjainen järjestelmä parantaa myös suunniteltujen ratahankkeiden kannattavuutta.

Rakentamisvaiheessa rakennustyöt voidaan modernilla radiopohjaisella järjestelmällä toteuttaa pienemmillä liikennehäiriöillä kuin alemmat kulunvalvontatasot, sillä radan varressa ei tarvitse tehdä suuria muutostöitä, kuten esimerkiksi mittavaa kaapelointia tai opastinmastojen asentamista.

11.3 Vaikutukset taloudelliseen kestävyYTEEN

Kulunvalvontajärjestelmän uusiminen lähivuosina on joka tapauksessa ajankohtaista, jolloin on oleellista verrata eri skenaarioiden elinkaarikustannuksia toisiinsa. JKV:n elinkaari tulee tiensä päähän sekä kaluston että ratalaitteiden osalta arviolta 2030-luvun puolivälissä, jolloin nykyisen JKV:n elinkaareen jatkaminen ei ole mielekästä taloudellisesti, eikä toiminnallisesta näkökulmasta. Siirtyminen lähitulevaisuudessa ETCS-kulunvalvontajärjestelmään on siis välttämätöntä. EU-tuen saaminen hankkeille edellyttää myös ETCS-kulunvalvontajärjestelmää.

Digirata-työssä on tehty alustava kustannuslaskelma eri ETCS-tasoista ja alueellisista skenaarioista. Laskelmassa on huomioitu elinkaarikustannukset vuodesta 2020 vuoteen 2065. Laskelman yksikkökustannukset perustuvat esimerkiksi Norjan, Sveitsin, Tanskan ja Ison-Britannian toteutuneisiin tuoreisiin investointi- ja ylläpitokustannuksiin. ETCS-investointi on kokonaisuudessaan suuri tasosta ja skenaariosta riippumatta. Täytyy kuitenkin huomioida, että kustannuksissa on mukana paljon sellaisia kustannuskomponentteja, joita maksetaan jo nykyisellään osana nykyisen JKV:n ylläpitoa. Kustannuslaskelmassa on huomioitu nykyisen infran vaatimien asetinlaitteiden uusimistarve, joka koskee sekä keskusjärjestelmää että ratalaitteita. Vertailuvaihtoehdossa, jossa koko Suomeen rakennetaan ETCS-taso 1, on laskettu nykyisten asetinlaitteiden uusimistarpeet mukaan. Modernissa radiopohjaisessa järjestelmässä puolestaan täytyy korvata kaikki asetinlaitteet. Jatkossa myös radioverkko täytyy korvata tasosta riippumatta, koska puheviestintä tarvitaan myös pistemäisellä kulunvalvonnalla, eikä nykyinen Virve-verkko ole käytettävissä enää 2030-luvulla. Kustannuksissa on huomioitu myös liikenteenohjausjärjestelmän uusiminen kaikilla tasoilla.

Kustannuslaskelman perusteella moderni radiopohjainen järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin, kun huomioidaan kaikki elinkaarikustannuksiin vaikuttavat komponentit. Vaikka moderni radiopohjainen järjestelmä vaatii enemmän esimerkiksi suunnittelu- ja radioverkkokustannuksia, tulee ETCS-tasolla 1 suuremmat kustannukset esimerkiksi kaapelointiin, ratalaitteisiin ja keskusjärjestelmään. Kokonaisuutena moderni radiopohjainen järjestelmä koko Suomeen on elinkaarikustannuksiltaan noin 435 miljoonaa euroa edullisempi kuin vertailuvaihtoehto ETCS-taso 1 koko Suomeen.

Kustannushyötyjen lisäksi moderni radiopohjainen ETCS mahdollistaa liikenteen kehittämisen yhdessä muiden toimenpiteiden kanssa, parantaa junaliikenteen täsmällisyyttä sekä mahdollistaa junaliikenteen tarjonnan kehittämisen. Tämä lisää matkustajien aikasäästöjä. Tehokkaammassa käytössä oleva ratakapasiteetti parantaa myös suunniteltujen ratahankkeiden kannattavuutta, kun samalla infrainvestoinnilla saadaan enemmän ratakapasiteettia. Nopeampi palautuminen häiriöistä ja häiriöiden kerrannaisvaikutusten pienentäminen

vaikuttaa suoraan matkustajien kokemaan matkavastukseen. Moderni radiopohjainen järjestelmä mahdollistaa taloudellisemman liikennöinnin.

Aiemmissa käyttöönotoissa Euroopassa on huomattu, että olemassa olevien junien jälkiasennus ETCS-laitteilla on ollut ennakoitua haastavampaa ja kalliimpaa. Tämä koskee kaikkia ETCS-tasoja. Taloudellisesta näkökulmasta keskeinen kalustoon liittyvä haaste on löytää operoiville yhtiöille kannustimet investoida kulunvalvontajärjestelmiin kalustossa. Uusi kulunvalvontajärjestelmä vaatii myös operointisäännösten uusimisen, ja uuden järjestelmän valmistelu vaatii paljon suunnitteluresursseja sekä infran että kaluston osalta.

11.4 Vaikutukset ekologiseen kestävyYTEEN

Ekologisen kestävyYden näkökulmasta moderni radiopohjainen ETCS tarjoaa paljon työkaluja kestäväYn liikkuvuuden kasvattamiseen ja ilmastonmuutoksen hillintään, kun mahdollistetaan ratakapasiteetin tehokkaampi käyttö ja parannetaan eri alueiden saavutettavuutta junatarjontaa lisäämällä. Parempi ja täsmällisempi junatarjonta tukee kulkumuoto-siirtymää kestäviin kulkumuotoihin ja sitä kautta vähentää liikenteen päästö- ja meluvaikutuksia kokonaisuudessa. Modernissa radiopohjaisessa järjestelmässä tarvitaan myös vähemmän ratalaitteita, mikä tarkoittaa pienempää materiaali vaikutusta ja kunnossapitotarvetta. Jatkuvatoimisella kulunvalvonnalla on mahdollista tehdä ajamisesta energia-tehokkaampaa. Moderni radiopohjainen ETCS mahdollistaa myös junaliikenteen automaation tehokkaan hyödyntämisen tulevaisuudessa.

Helsingin seudulla on asetettu 2019 Helsingin seudun maankäytön, asumisen ja liikenteen suunnitelmassa (MAL) päästövähennystavoitteeksi –50% vuoteen 2030 mennessä. Kulkumuoto-siirtymä maanteiltä raiteille on selkä tavoite myös EU:ssa, joka tuodaan voimakkaasti esille erilaisten ohjelmien avulla. Esimerkiksi EU:n Green Deal- ja Digital Rail and Green Freight Revision-ohjelmat pyrkivät tukemaan laajempaa siirtymistä rautatieliikenteeseen. Suomen rautatiejärjestelmää kehittämällä voidaan vaikuttaa oleellisesti päästövähennystavoitteiden saavuttamiseen.

Moderni radiopohjainen ETCS mahdollistaa tiheämmän vuorovälin kaupunkirataliikenteessä ja tukee montaa MAL 2019 -suunnitelman mukaista toimenpidettä päästövähennystavoitteen saavuttamiseksi. Vuorovälin tihentäminen mahdollistaa suuremman matkustajamäärän kuljettamisen junaliikenteessä.

Junatarjonnan lisääminen parantaa saavutettavuutta koko Suomessa ja mahdollistaa maankäytön tiivistämisen ratojen varsille. Tiheämpi vuoroväli houkuttelee myös enemmän matkustajia ja tukee kulkumuoto-siirtymää henkilöautoista kestäviin kulkumuotoihin.

Moderni radiopohjainen ETCS tukee MAL 2019 -suunnitelman mukaisen päästövähennystavoitteen saavuttamista. Koko Suomen tasolla suuri vaikuttavuus päästövähennykseen on nimenomaan Helsingin seudulla, jossa on suurin väestömäärä ja liikennetiheys.

11.5 Vaikutukset sosiaaliseen kestävyYTEEN

Modernissa radiopohjaisessa järjestelmässä, jossa junaliikenteen tarjontaa voidaan lisätä, parannetaan myös sosiaalista kestävyYTEttä, sillä parantunut junatarjonta lisää asukkaiden liikkumismahdollisuuksia. Parantuvat liikkumismahdollisuudet edistävät myös kestäviin kulkumuotoihin tukeutuvan aluerakenteen kehittymistä.

Hyödyt kohdistuvat rataliikenteen vaikutuspiirissä oleville alueille, joilla asuu valtaosa Suomen asukkaista ja joilla sijaitsee myös suurin osa työpaikoista.

11.6 Vaikutukset liikennejärjestelmän turvallisuuteen

Junaliikenne on lähtökohtaisesti Suomessa erittäin turvallista. Kaikki ETCS-tasot ovat turvallisuuden näkökulmasta vähintäänkin vastaavalla tasolla kuin nykyinen JKV. Moderni radiopohjainen ETCS kuitenkin parantaa turvallisuustasoa, sillä jatkuva kulunvalvonta mahdollistaa turvallisempia toimintamalleja. Muun muassa väliaikaiset nopeusrajoitukset ovat välitettävissä heti suoraan veturilaitteelle, eikä rataa tarvitse asentaa tilapäisiä baliiseja, kuten tällä hetkellä. Kehitteillä olevat junien tunnistustavat mahdollistavat lisäksi satelliittipaikannuksen ja radioteknologian avulla turvalaitevarustamattomien rataosien ja tasoristeysten turvallisuustason parantamista kustannustehokkaasti. Paikannusteknologiat yhdessä uudistettujen asetinlaitteiden kanssa avaavat mahdollisuuden luotettavaan automaattisen ratatöiden suojaukseen samoilla mekanismeilla joka paikassa, jolloin ratatyöturvallisuus kasvaa.

Turvallisuuden näkökulmasta järjestelmät, joissa tiedonsiirto digitalisoituu ja siirtyy kaapeliverkoista langattomiin verkkoihin, johtaa uudentyyppisten uhkien käsittelyyn. Keskeistä on varautua huolella kyberuhkiin sekä pitää turvallisuustaso ja varautuminen korkeana myös uusien uhkien osalta.

Radan varrelta tarpeettomaksi jäävä turvalaitekanta parantaa radan turvallisuutta vähentämällä radan varressa tehtävien ratatöiden tarvetta. Tällä on vaikutusta luonnollisesti itse rautatieliikenteen turvallisuuteen, mutta se parantaa myös ratatyöntekijöiden turvallisuutta.

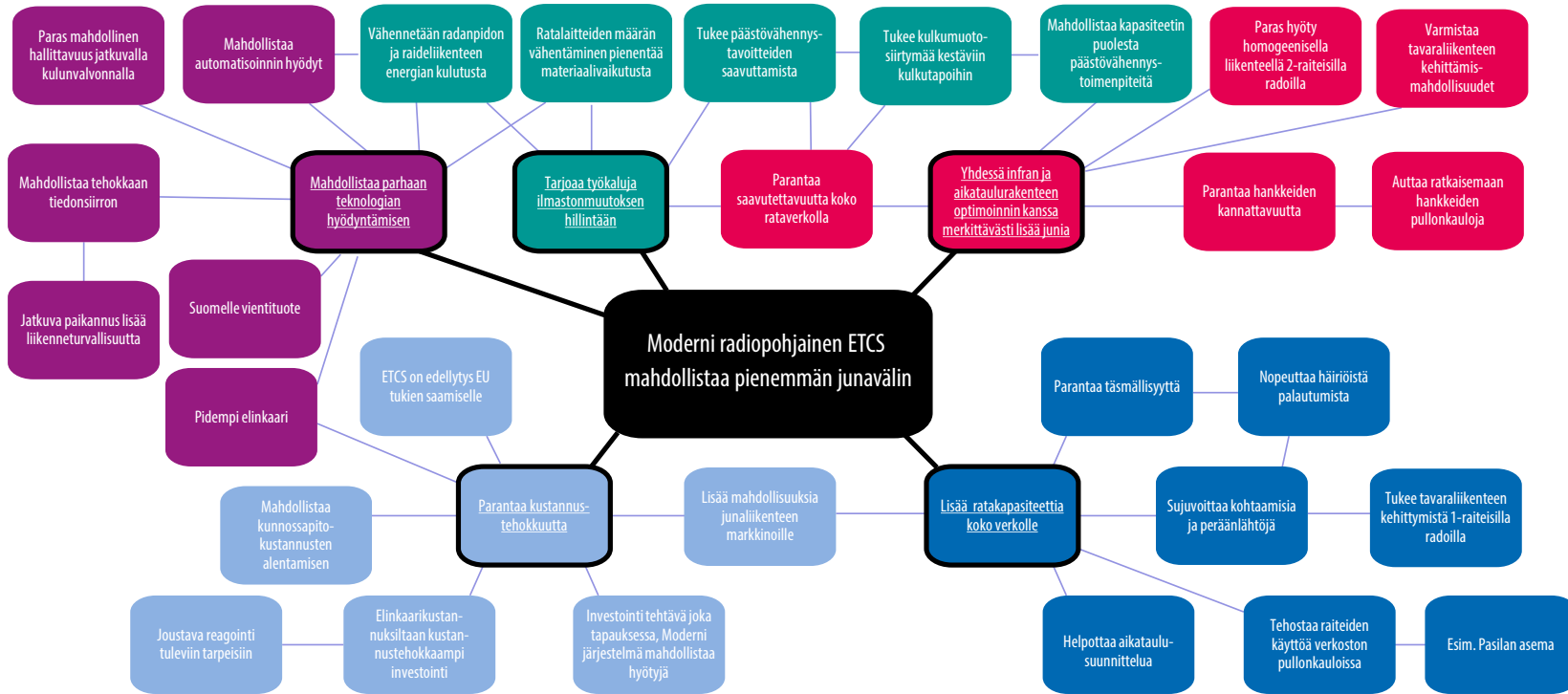
11.7 Vaikutusten arvioinnin kooste

Digiratatyön lähtökohtana on, että JKV on uusittava joka tapauksessa, ja moderni radiopohjainen järjestelmä mahdollistaa kustannusten lisäksi hyötyjä koko liikennejärjestelmälle. Alla on esitetty vaikutusten arvioinnin koostetaulukko.

Taulukko 6. Vaikutusten arvioinnin yhteenveto.

	Moderni radiopohjainen ETCS	ETCS-taso 1 ja taso 2 yhdistelmä	ETCS-taso 1 koko Suomeen
Saavutettavuus ja palvelutaso	Parantaa saavutettavuutta	Parantaa saavutettavuutta suurella osalla Suomea	Saavutettavuus pysyy suunnitellun nykyisellään
Taloudellinen kestävyys, elinkaarikustannus 2020–2065	2 760 M€, josta investointikustannus 1627 M€	3 163 M€, josta investointikustannus 1879 M€	3 195 M€, josta investointikustannus 1751 M€
Liikennejärjestelmän turvallisuus	Turvallisuutta voidaan parantaa nykyisestä	Turvallisuutta voidaan parantaa osalla rataverkkoa	Turvallisuus säilyy vähintään nykyisellään
Ekologinen kestävyys	Edistää ekologista kestävyyttä	Edistää ekologista kestävyyttä suurella osalla Suomea	Ei merkittävää vaikutusta nykyiseen verrattuna
Sosiaalinen kestävyys	Edistää sosiaalista kestävyyttä	Edistää sosiaalista kestävyyttä suurella osalla Suomea	Ei merkittäviä sosiaalisia vaikutuksia

Modernin radiopohjaisen järjestelmän hyödyt vaikuttavat laajasti koko liikennejärjestelmään ja toimintaympäristöön. Alla on havainnollistettu modernin teknologian ja junavälien pienentämisen hyötyjä sekä niiden välisiä vaikutusketjuja. Moderni radiopohjainen järjestelmä mahdollistaa esimerkiksi yhdessä infratoimenpiteiden ja aikataulurakenteen optimoinnin kanssa junamäärien lisäämisen. Tämä puolestaan parantaa saavutettavuutta ja tukee kulkumuotosiirtymää kumipyöriltä raiteille, mikä edelleen tukee päästövähennystavoitteiden saavuttamista. Modernin radiopohjaisen järjestelmän mahdollistama junavälien pienentäminen lisää ratakapasiteettia koko verkolle, mikä helpottaa aikataulusuunnittelua, parantaa täsmällisyyttä ja nopeuttaa häiriöistä palautumista. Junaliikenteen häiriösietoisuuden paraneminen puolestaan pienentää matkustajien kokemaa matkavastusta ja lisää junaliikenteen houkuttelevuutta.



Kuvio 20. Vaikutusketju liikennejärjestelmässä.

Liitteet

Liite 1. Kansainvälisten vierailujen perusteella tehty taulukko rataverkon haltijoiden yhteisistä asioista

ID	Aihealue	Kohteet, joissa samaa asiaa on tuotu esille											
		Infran omistajat											
		Japani	Kiina	Viro	Tanska	Hollanti	Ruotsi	Belgia	Saksa	Norja	Espanja	Sveitsi	Iso-Britannia
1	Operational rulesien osalta on unohdettava vanhat toimintatavat ja ottaa ERTMS:n myötä käyttöön uudet sitä tukevat ohjeet käyttöön				x	x	x	x	x	x		x	(x)
2	L2 hyödyt kapasiteetissa verrattuna missäkin olevaan vanhaan järjestelmään luokkaa 15% (on huomioitava, että vanhat järjestelmät eivät ole yhteismitallisia)	x	ei tiedossa		x	x	x	x	x	x	x		x
3	Nykyisen (L2) toteutussuunnitelman rinnalla valmistellaan/tuokitetaan jo modernimpaa RCA/ATO mahdollisuutta	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Kunhan toimijat saadaan tekemään yhdessä töitä, ei teknologia ja tekniset rajapinnat ole suurikokoinen ongelma	x	ei tiedossa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	Infra ja kalusto on saatava tekemään yhdessä kohti kohti yhteistä maalia	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	Kattavat demo ja simulaattorimahdollisuudet oltava, jotta testausta ei tarvitsisi juurikaan tehdä radalla	x	ei tiedossa	ei tiedossa	x	x	x	ei tiedossa	ei tiedossa	x	x	x	x
7	Laitetoimittajat ovat mukana tekemässä yhteistä eurooppalaista mallia, eikä enää pidetä kiinni "omasta tavasta toteuttaa"				x	x	x	ei tiedossa	x			ei tiedossa	ei tiedossa
8	On oltava kattava kokonaisstrategia ainakin kansallisesti, ei tehdä vain ERTMS-osa-alueita	ei tiedossa	ei tiedossa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	Kansallinen alueellinen tarkastelu eri tasojen tarpeesta on syytä tehdä.	x				x		x	ei tiedossa		x		
10	L1 rakentamista mietittään osana toteutusta			x				x			x		
11	on organisoiduttu selkeästi ja tekemisellä muista toiminnoista erossa oleva identiteetti ja budjetti.	ei tiedossa	ei tiedossa		x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	RBC+IXL hankinta yhtä aikaa (myös asetinlaitteiden keskittäminen samalla)	x	ei tiedossa		x	x	x	x	x	x	x	x	x
13	ATO (GoA2/3/4) on jollain tulossa osaksi rautateitä	x	x	ei tiedossa	x	x			x	x		x	x

Liite 2. Kansainvälisten vierailujen perusteella tehty taulukko toimittajien ja muiden sidosryhmien näkemyksistä

ID	Aihealue	Toimittajat + muut toimijat							
		EUG	CCRC	Siemens	Bombardier	CAF	ECM	Thales	Mipro
1	Operational rulesien osalta on unohtettava vanhat toimintatavat ja ottaa ERTMS:n myötä käyttöön uudet sitä tukevat ohjeet käyttöön	x	ei tiedossa	x	x	ei tiedossa	ei tiedossa	ei tiedossa	
2	L2 hyödyt kapasiteetissa verrattuna missäkin olevaan vanhaan järjestelmään luokkaa 15% (on huomioitava, että vanhat järjestelmät eivät ole yhteismitallisia)								
3	Nykyisen (L2) toteutussuunnitelman rinnalla valmistellaan/tuokitaa jo modernimpaa RCA/ATO mahdollisuutta	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Kunhan toimijat saadaan tekemään yhdessä töitä, ei teknologia ja tekniset rajapinnat ole suurikaa ongelma	ei tiedossa	x	x	x	x	x	x	x
5	Infra ja kalusto on saatava tekemään yhdessä kohti kohti yhteistä maalia	x	x	x	x	x	x	x	ei tiedossa
6	Kattavat demo ja simulaattorimahdollisuudet oltava, jotta testausta ei tarvitsisi juurikaan tehdä radalla			x	x	x	ei tiedossa	x	ei tiedossa
7	Laitetoimittajat ovat mukana tekemässä yhteistä eurooppalaista mallia, eikä enää pidetä kiinni "omasta tavasta toteuttaa"			x					x
8	On oltava kattava kokonaisstrategia ainakin kansallisesti, ei tehdä vain ERTMS saarekkeita	x							
9	Kansallinen alueellinen tarkastelu eri tasojen tarpeesta on syytä tehdä.	x							
10	L1 rakentamista mielestään osana toteutusta								
11	on organisoiduttu selkeästi ja tekemisellä muista toiminnoista erossa oleva identiteetti ja budjetit.								
12	RBC+IXL hankinta yhtä aikaa (myös asetinalaiteiden keskittäminen samalla)								
13	ATO (GoA2/3/4) on jotal on tulossa osaksi rautateitä	x	x	x	x	x	x	x	x

Liite 3. Laadullisten tavoitteiden yhteenveto

Skenaario Tavoite	JKV:n elinkaaren jatkaminen	Yhdistetty ERTMS tasolle 1+2	Moderni
Laadulliset tavoitteet			
Kapasiteetin kasvattaminen Etelä-Suomen kaupunkiraiteilla ja pääradalla 20%	Ei mahdollista	Tukee kapasiteetin kasvattamista tason 2 radalla	Tukee kapasiteetin kasvattamista koko Suomessa
	Suojavälit käytännössä jo optimoitu	Tason 2 järjestelmällä voidaan suojavälejä optimoida edelleen ja lisätä kapasiteettia	radiopohjaisella järjestelmällä voidaan suojaavälejä optimoida ja lisätä kapasiteettia
Selvitetään ATO:n mahdollisuus kaupunkiradoilla	Mahdollista, hyöty pieni	Mahdollista, tasolla 2 hyöty kasvaa	Mahdollista koko Suomessa, hyöty maksimi
	Pistemäinen kulunvalvonta	Taso 1 pistemäinen, Taso 2 jatkuvatoinen	Jatkuvatoinen kulunvalvonta
Mahdollistaa täsmällisyyden 95%+	Ei mahdollisuuksia parantaa	Mahdollista, tasolla 2	Mahdollista koko Suomessa.
	Ei saada lisää kapasiteettia	Taso 2 mahdollistaa kapasiteetin lisäyksen	Kapasiteetin lisäys koko rataverkolla
Toimintavarmuuden parantaminen	Ei mahdollisuuksia	Mahdollista, tasolla 2	Mahdollista koko Suomessa.
	Vanhat järjestelmät	Taso 2 uutta, Taso 1 vanha pohja	Uudet järjestelmät
Turvallisuustason parantaminen	Ei nosta	Tasolla 2 mahdollista	Mahdollista koko Suomessa.
	pistemäinen kulunvalvonta ja junan tunnistus vanhaa	Tasoristeysturvallisuus tasolla 2 sekä jatkuva reagointi	Tasoristeysturvallisuus, jatkuva reagointi sekä tarkka sijainnin määrittäminen
Positiivisten ympäristövaiku- tusten ja energiansäästömah- dollisuuksien lisääminen	Pysyy samana	Tasolla 2 parantaa	Paranee koko Suomessa
	Ajamisen energiansäästämisen mahdollisuus. Koko rataverkon käytön optimointimahdollisuus.	Tasolla 2 vähemmän valmistuskustannuksia. Tason 2 kulkumuoto- osuutta mahdollisuus kasvattaa. Ajamisen energiansäästämisen mahdollisuus, taso 2 osuudella korkea. Hyvä optimointi-mahdollisuus koko rataverkon käytölle.	Vähemmän valmistuskustannuksia koko maassa. Kulkumuoto- osuutta mahdollisuus kasvattaa. Ajamisen energiansäästämisen mahdollisuus korkea. Erittäin hyvä optimointi-mahdollisuus koko rataverkon käytölle.
Kompetenssin kehittäminen rautatietalalla	Pysyy samana	Kehittyy koko Suomessa	Kehittyy koko Suomessa
	Nykyinen osaaminen säilyy	ERTMS osaaminen kasvaa tasolla 1 ja 2 sekä tason 2 osuus vaatii ICT ja radioverkko-osaamista	ERTMS osaaminen kasvaa modernin teknologian suhteen sekä vaatii laajaa ICT- ja radioverkko-osaamista.

Liite 4. Kustannustehokkuustavoitteiden yhteenveto

Skenaario Tavoite	JKV:n elinkaaren jatkaminen	Yhdistetty ERTMS tasolle 1+2	Moderni radiopohjainen ETCS
Kustannustehokkuustavoitteet			
Kustannusten ja hyötyjen perusteella tehdyt ratkaisuvaihtoehdot	Elinkaarikustannus korkea, hyödyt vähäiset.	Elinkaarikustannus korkea. Hyötyjä tason 2 alueella.	Elinkaarikustannus korkea, mutta alhaisin vaihtoehdoista.
	Vertailuvaihtoehto taso 1 vastaa kustannustasoa, asetinlaitteiden uusimistarve huomioitu.	Tason 1 järjestelmä rakentuu olemassa olevan asetinlaittekannan päälle, asetinlaitteiden uusimistarve huomioitu.	Kustannus/hyötysuhde paras, eniten hyötyjä.
Kokonaiskustannusten teknologinen optimointi Suomi-tasoisesti	Elinkaarikustannus korkea ja nouseva.	Elinkaarikustannus korkea.	Elinkaari-kustannus korkea, mutta alhaisin vaihtoehdoista.
	Vertailuvaihtoehto taso 1 vastaa kustannustasoa, ei ketterän päivityksen mahdollisuutta. Osaamisen ylläpito	Tason 2 osuus päivitettävissä, tason 1 järjestelmällä ei ketterän päivityksen mahdollisuutta. Taso 2 optimoi elinkaarikustannuksia laitteiden vähentyessä.	Yksi järjestelmäpohja takaa ketterät päivitykset, optimoi elinkaarikustannuksia laitteiden vähentyessä.
Kalustoinvestointien ajoituksen optimointi	Ei tarvetta investoida, mutta vaatii poikkeusluvan.	Kustannus sama tasosta riippumatta (taso 1/2).	Peruskustannus sama tasosta riippumatta (1/2), lisäkustannus eheyden valvonnasta
	Vaatii EU:n poikkeusluvan	Kaluston varustelu voidaan optimoida	Kaluston varustelu voidaan optimoida, vaatii uutta teknologiaa.

Liite 5. Teknologia tavoitteiden yhteenveto

Skenaario Tavoite	JKV:n elinkaaren jatkaminen	Yhdistetty ERTMS tasoille 1+2	Moderni radiopohjainen ETCS
Teknologia tavoitteet			
Teknologia taan moderni, elinkaarenhallinnan huomioiva ratkaisu.	Vanha teknologia	Tason 1 teknologia iäkäs, tason 2 teknologia kypsä	Teknologinen kehitys kiihtymässä
	Ei kehity	Tason 1 kehitys loppumassa, tason 2 kehitys kiihtymässä	Radioverkkopohjaisen järjestelmän päälle kehittyy uutta kiihtyvällä tahdilla
Mahdollistaa autonomisen liikenteen kaupunkirataosuuksilla, mahdollistaa liikenteenohjauksen optimoinnin tekoälyn avulla	Ei parane nykytilasta, pistemäisyys rajoittaa.	Tasolla 2 hyvät edellytykset.	Hyvät edellytykset koko Suomessa.
	Pistemäinen kulunvalvonta ja pirstaleinen järjestelmäpohja	Tason 1 pistemäinen kulunvalvonta ja pirstaleinen järjestelmäpohja, tason 2 jatkuvatoimisuus ja yhtenäinen järjestelmäpohja	Kulunvalvonnan jatkuvatoimisuus ja yhtenäinen järjestelmäpohja
Mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon jalostamisen, jatkuvasti päivittyvät kapasiteetti- ja aikataulutiedot ja dynaamisen reagoinnin	Ei mahdollisuutta kehittyä	Tasolla 2 hyvät edellytykset.	Hyvät edellytykset koko Suomessa.
	Nykyisen laitekannan tiedon laatu ja saatavuus vaihtelee liikaa, myös pistemäisyys rajoittaa.	Taso 1 nykyisen laitekannan tiedon laatu ja saatavuus vaihtelee liikaa ja pistemäisyys rajoittaa reagointia, tason 2 osalta uusittujen järjestelmien tiedon laatu ja saatavuus sekä reagointi voidaan optimoida.	Uusittujen järjestelmien tiedon laatu ja saatavuus sekä reagointi voidaan optimoida.

