



Risto Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo, Ali Lattunen & Ari Virtanen

Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä

| Kokeilu Hanko–Hyvinkää-rataosalla

Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä

Kokeilu Hanko–Hyvinkää-rataosalla

Risto Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo,
Ali Lattunen & Ari Virtanen

VTT



ISBN 978-951-38-7792-7 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7793-4 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2011

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Marika Leppilähti

Kopijyvä Oy, Kuopio 2011

Risto Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo, Ali Lattunen & Ari Virtanen. Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä. Kokeilu Hanko–Hyvinkää-rataosalla [In-Vehicle Warning System for Railway Level Crossings. Pilot Tests on Hanko–Hyvinkää Railway Line]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2603. 106 s. + liitt. 30 s.

Avainsanat in-vehicle, warning system, level crossing, evaluation, field test, ITS, cooperative system

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli edistää autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän yhteiskunnallista ja kaupallista hyödynnettävyyttä tuottamalla tietoa sen teknisestä toimivuudesta, käyttövarmuudesta ja luotettavuudesta sekä sen vaikutuksista, hyödyistä ja kustannuksista. Lisäksi tavoitteena oli tuottaa tietoa mahdollisista muista sovellusalueista sekä potentiaalisista liiketoimintamalleista. Hankkeessa tunnistettiin järjestelmän keskeisimmät toiminnalliset vaatimukset ja toteutettiin rajatulla maantieteellisellä alueella toimiva koejärjestelmä, jota pilotoitiin yhdessä loppukäyttäjien kanssa. Pilotin aikana tietoja kerättiin havainnoimalla järjestelmän toimintaa tienvarressa, tallentamalla lokitietoja järjestelmän toiminnasta sekä haastatteleamalla järjestelmän käyttäjiä.

Järjestelmän toteuttamisesta aiheutuvia kustannuksia arvioitaessa hyödynnettiin pilotin aikana kerättyjä kustannustietoja. Tuotantovaiheen järjestelmän potentiaaliset vaikutukset arvioitiin kirjallisuudessa esiintyvien tietojen sekä tasoristeysonnettomuuksiin liittyvien tilastotietojen ja yksikkökustannusarvojen perusteella. Järjestelmän käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskeva arvio perustuu sen toteuttajille ja sidosryhmille järjestetyissä työpajoissa sekä pilotoinnin aikana kerättyihin tietoihin.

Pilotoinnin tulosten perusteella todettiin, että hankkeen koejärjestelmä on toteuttanut siltä odotetun toiminnallisuuden eli auton kuljettajan varoittamisen junasta tasoristeyksessä. Ennen kaupalliseen tuotantovaiheeseen siirtymistä tarvitaan kuitenkin parannuksia järjestelmän toiminnan luotettavuuteen sekä mahdollisesti myös joitakin muutoksia sen toiminnallisuuteen. Järjestelmän toiminnan luotettavuutta voidaan parantaa muun muassa junalaitteiden ja niiden tietoliikenneyhteyksien kahdentamisella, vikaantuneet junalaitteet automaattisesti havaitsevalla toiminnolla sekä järjestelmän toiminnallisten määrittelyiden ja järjestelmän ylläpitoon liittyvien prosessien kehittämisellä.

Järjestelmän on arvioitu vähentävän vuositasolla noin neljä henkilövahinko-onnettomuutta tilanteessa, jossa puolet ajoneuvokannasta on varustettu järjestelmää hyödyntävällä päätelaitteella. Järjestelmän arvioitiin olevan yhteiskuntataloudellisesti kannattava tietyin raportissa esitetyin edellytyksin. Sille luonnosteltiin työssä myös muita sovellusalueita, ja järjestelmän potentiaalisina liiketoimintamalleina nähtiin lähinnä yksityisen ja julkisen toimijan yhteistyöhön perustuva PPP-malli tai suuremman julkisen sektorin roolin sisältävä viranomaisjohtoinen malli.

Jatkotutkimustarpeina havaittiin tarkempi analyysi pilotin aikana toteutumatta jääneiden hälytysten syistä ja näihin liittyvistä mahdollisuuksista parantaa järjestelmän toimivuutta. Jatkotutkimuksen kohteita ovat lisäksi kolmannen ja neljännen sukupolven matkaviestinverkkojen tekniikoiden soveltaminen järjestelmän toteutukseen sekä mahdollisten toiminnallisuuteen tarvittavien muutosten tunnistaminen.

Risto Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo, Ali Lattunen & Ari Virtanen. In-vehicle Warning System for Railway Level Crossings. Pilot Tests on Hanko–Hyvinkää Railway Line [Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä. Kokeilu Hanko–Hyvinkää-rataosalla]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2603. 106 p. + app. 30 p.

Keywords in-vehicle, warning system, level crossing, evaluation, field test, ITS, cooperative system

Abstract

The main objective of the project was to facilitate the development and deployment of in-vehicle warning system for railway level crossings by studying the technical functioning, reliability and dependability and socio-economic benefits and costs of the system as well as user experience, potential other application areas and business models related to the system. The project was started by defining functional and other requirements for the system. A pilot system was then realised and tested with real end-users to obtain empirical data about the system. During the pilot, information was collected with roadside observations of the functioning of the system, data logging features implemented in the system itself and interviews with end-users.

Probable costs of a full-scale implementation of the system in Finland were estimated on the basis of cost data collected during the implementation of the pilot system. Potential impacts of the system on the safety of road users were estimated on the basis of a brief literature study and statistics related to level crossing accidents in Finland.

The results of the project showed that the system has realised the expected functionality but the reliability of the system has to be improved before full-scale implementation of the system can start. It is also possible that some changes to the functionality provided by the system will be needed. Among other possible measures, the reliability of the system can be improved by duplicating the positioning units installed in trains and their data links, implementing automatic failure detection of positioning units, updating the specification of the system on the basis of experiences from the pilot and developing better operating and maintenance procedures for the system.

A full-scale implementation of the system was estimated to reduce the number of level crossing accidents involving injury or death annually by four accidents in Finland in a situation in which a half of the vehicle fleet is equipped with an in-vehicle unit connected to the system. Two potential business models were recognised for the system: business model based on public-private partnership and business model driven by public authorities.

The main needs for future research were found to be a more detailed analysis of the causes of unsuccessful alarms observed during the pilot and possible ways to improve the reliability of the system, impact of 3G and 4G mobile communication technologies on the technical functioning and reliability of the system and identification of changes required to the functionality of the system.

Alkusanat

Tässä julkaisussa esitetään ”Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – teknisen toteutuksen testaus” -projektin tulokset. Hanke käynnistettiin vuoden 2008 alussa osana Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen (Tekes) Turvallisuus-teknologiaohjelmaa, ja se päättyi syksyllä 2011. Hankkeen rahoitukseen osallistui Tekesin ja Teknologian tutkimuskeskus VTT:n lisäksi yrityksiä (Mitron Oy, Mobisoft Oy, Semel Oy ja Sunit Oy) ja viranomaisia (Liikennevirasto ja Liikenteen turvallisuusvirasto).

Hankkeen pääasiallinen toteuttaja oli VTT, ja oman tärkeän panoksensa antoivat myös VTT:n yhteistyökumppanit Semel Oy, VR Oy ja Itella Oy. Raportin esitarkastajina toimivat TkT Timo Laakko sekä DI Armi Vilkman VTT:sta.

Vielä lopuksi haluan lausua kiitokset kaikille hankkeen toteutukseen VTT:n, Semelin, VR:n ja Itellan palveluksessa osallistuneille ja raportin läpikäyneille esitarkastajille.

Espoossa 6.10.2011

Risto Öörni

Sisällysluettelo

Abstract.....	4
Alkusanat	5
Symboliluettelo.....	8
1. Tausta ja tavoitteet.....	9
2. Menetelmät.....	10
2.1 Järjestelmän määrittely ja toteutus.....	10
2.2 Järjestelmän toimivuuden ja luotettavuuden arviointi	11
2.2.1 Järjestelmän toiminnan luotettavuuden arviointi käyttäjän näkökulmasta.....	11
2.2.2 Järjestelmän toiminnan havainnointi	13
3. Järjestelmän toteutus.....	17
3.1 Järjestelmälle asetetut vaatimukset	17
3.1.1 Varoituksen oikea-aikaisuus	18
3.1.2 Varoitustiedon oikeellisuus ja merkityksellisyys käyttäjälle	20
3.1.3 Käyttöturvallisuus.....	20
3.1.4 Tietoturva	22
3.1.5 Luotettavuus ja käyttövarmuus	23
3.1.6 Tiedonkeruu- ja analysointiominaisuudet.....	24
3.2 Järjestelmän toimintaperiaate ja toiminnallinen arkkitehtuuri	24
3.2.1 Käyttötapaukset	24
3.2.2 Junavaroitussjärjestelmän toiminnallinen arkkitehtuuri.....	27
3.2.3 Lähtökohtia algoritmien suunnitteluun	29
3.2.4 Junavaroitussjärjestelmän tekninen arkkitehtuuri.....	29
3.3 Junavaroitussjärjestelmän osakomponentit ja laiteasennukset.....	33
3.3.1 Ajoneuvolaitteet	33
3.3.2 Junalaitteet ja laiteasennukset juniin	36
3.3.3 Rataverkon kuvaustietokanta ja Junavaro-palvelinsovellus	43
3.3.4 Junavaro-www-käyttöliittymä	45
3.3.5 Junavaro-sovellusprotokolla	49
3.3.6 Junavaro-ajoneuvosovellus	52
3.3.7 Havainnot toteutuksen aikana.....	53
4. Järjestelmän tekninen toimivuus	57
4.1 Järjestelmän mallinnus.....	57
4.2 Palvelimen ja junalaitteiden välinen tietoliikenne.....	58
4.2.1 Aineiston käsittely	58
4.2.2 Tietoliikenteen viiveet pilottialueella pilotin aikana lähetetyille paikannusviesteille	59
4.2.3 Tietoliikenteen viiveen riippuvuus junan nopeudesta.....	61
4.2.4 Tietoliikenteen viiveen paikkariippuvuus.....	64
4.3 Junalaitteiden toimivuus	68
4.4 Satelliittipaikannus junalaitteissa.....	68

5. Järjestelmän toiminnan luotettavuus	73
5.1 Havainnoinnin tulokset	73
5.2 Menetelmän rajoitteet	75
6. Järjestelmän turvallisuus- ja riskianalyysi	76
6.1 Euroopan rautatieviraston suosituksia	76
6.1.1 Vaaraloki	78
6.2 Riskianalyysin menetelmät	79
6.3 Toteutus ja tulokset	82
7. Järjestelmän hyödyt ja kustannukset	84
7.1 Järjestelmän vaikuttavuus	84
7.2 Järjestelmän potentiaaliset hyödyt	84
7.3 Järjestelmän kustannukset	84
7.4 Järjestelmän yhteiskuntataloudellinen kannattavuus	85
8. Käyttäjien kokemukset	87
8.1 Yleistä	87
8.2 Tulokset	87
8.3 Haastatteluiden tulosten arviointia ja päätelmiä	90
9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit	92
9.1 Muut sovellusalueet	92
9.2 Mahdolliset liiketoimintamallit	97
9.2.1 PPP-pohjainen palvelu	97
9.2.2 Viranomaisjohtoinen malli	98
10. Johtopäätökset ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi	99
10.1 Järjestelmän toteutus	99
10.2 Järjestelmän tekninen toimivuus	99
10.3 Toteutetun järjestelmän luotettavuus	101
10.4 Järjestelmän vaikutukset ja kannattavuus	102
10.5 Jatkotutkimustarpeita	103
Lähdeluettelo	105

Liitteet

Liite A: Tietoturva koskevat vaatimukset ja järjestelmän toimintaan liittyvät uhkamallit

Liite B: EU:n ESoP-suosituksesta seuraavat toimenpiteet tai vaatimukset autossa toimivalle junavaroitussjärjestelmälle

Liite C: Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – toiminnallinen arkkitehtuuri.

Liite D: Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – Tietoa tuottavat, välittävät ja jalostavat toiminnot.

Liite E: Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – Toimintojen väliset tietovirrat.

Liite F: Junavaro-ajoneuvosovelluksen toiminnallinen kuvaus

Liite G: Vaara- ja riskiloki

Symboliluettelo

3G	Kolmannen sukupolven matkaviestinverkkojen teknologia
ADSL	Asymmetrical digital subscriber line
AGPS	Assisted GPS
AINO	Ajantasaisen liikenneinformaation T & K -ohjelma
ASCII	American standard code for information interchange
CSM	Common safety methods
ERA	European Railway Agency
EsOP	Commission recommendation of 22 December 2006 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: Update of the European Statement of Principles on human machine interface
GPRS	General packet radio service
GPS	Global positioning system
GSM	Global system for mobile communications
IP	Internet protocol
J2ME	Java 2, Micro Edition
JSR-179	Java specification release 179
Juse	Junien seuranta -järjestelmä
LAN	Local area network
LTE	Long term evolution
MSMQ	Microsoft message queue
MTBF	Mean time between failure
MTTR	Mean time to repair
PAL	Phase alternate line
PPP	Public-private partnership
RHK	Ratahallintokeskus (nykyisin: Liikennevirasto)
S60	Series 60 -mobiilialusta
SQL	Structured query language
TCP	Transmission control protocol
UMTS	Universal mobile telephone system
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT
WGS84	World geodetic system 1984
XML	Extended markup language

1. Tausta ja tavoitteet

Varoituslaitteettomissa tasoristeyksissä tapahtuu vuosittain merkittävä määrä kuolemaan tai vakavaan loukkaantumiseen johtavia onnettomuuksia. Tällaisia tasoristeyksiä on Suomessa noin 3 600. Ne ovat tyypillisesti vähäliikenteisiä, ja niiden varustaminen kiinteillä junan tulosta varoittavilla puomeilla tai ääni- ja valovaroituslaitteilla on erittäin harvoin mahdollista käytettävissä olevin resurssein. Kustannustehokkailla turvallisuustoimenpiteillä varoituslaitteettomien tasoristeysten turvallisuuden parantamiseksi on kysyntää globaalisti. Satelliittipaikannukseen ja langattomaan tiedonsiirtoon perustuva autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä vastaa tähän kysyntään. Euroopan unionin alueella tasoristeysonnettomuuksissa kuolee vuosittain noin 400 ihmistä (Eurostat 2007), Japanissa 150 ja Yhdysvalloissa noin 300 (Federal Highway Administration 2007). Tiedot eri maiden vartioimattomien tasoristeysten ja niissä tapahtuvien onnettomuuksien määristä ovat puutteellisia. Voidaan kuitenkin arvioida, että vartioimattomia tasoristeyksiä on maailmassa jopa useita miljoonia ja niissä tapahtuvissa onnettomuuksissa kuolee tuhansia ihmisiä vuodessa. Pelkästään Yhdysvalloissa vartioimattomia tasoristeyksiä on lähes 150 000. Tasoristeysonnettomuuksista maailmassa aiheutuvien menetysten hinnaksi voidaan silloin arvioida vähintään satoja miljoonia tai jopa useita miljardeja euroja. Autossa toimivaa junavaroitusjärjestelmää kehitettiin ja pilotoitiin keväällä 2006 osana liikenne- ja viestintäministeriön AINO-ohjelmaa. Työn tavoitteeksi asetettiin valmistella autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän kaupallista ja yhteiskunnallista hyödyntämistä. Järjestelmä varoittaa tasoristeystä lähestyvän auton kuljettajaa samanaikaisesti lähestyvistä junasta.

Tavoitteena oli selvittää ja kehittää edelleen järjestelmän käyttövarmuutta ja luotettavuutta sekä koota tietoa käyttäjien kokemuksista. Järjestelmän toteutuksessa tavoitteeksi asetettiin teknisen toimivuuden lisäksi järjestelmän ajoneuvolaitteen selkeys ja helppokäyttöisyys. Lisäksi pyrittiin arvioimaan järjestelmän vaikutuksia tasoristeyksissä tapahtuviin onnettomuuksiin Suomessa ja muualla.

Työssä pyrittiin selvittämään järjestelmän käyttöönoton hyödyt ja kustannukset, kartoittamaan sen rautatiesektorin ulkopuoliset sovellusalueet sekä luonnostelemaan järjestelmän kaupallista hyödyntämistä koskeva liiketoimintasuunnitelma.

Yhdellä autolla yhtenä päivänä kahdessa tasoristeyksessä tehdyissä kenttäkokeissa järjestelmä toimi suunnitellulla tavalla. Hankkeen raportti on saatavilla jo päättyneen AINO-ohjelman www-sivulta (Öörni, Virtanen 2006). Raportissa ehdotettiin jatkotoimenpiteeksi koejärjestelmän toteuttamista rajatulle maantieteelliselle alueelle, jotta järjestelmän konsepti voidaan verifioida ja sen käytettävyydestä ja vaikutuksista saataisiin tutkittua tietoa.

2. Menetelmät

Työn lähtökohdaksi otettiin liikenne- ja viestintäministeriön AINO-ohjelmassa toteutettu ja päivän mittaisissa testeissä toimivaksi todettu prototyyppi. Hankkeessa järjestetyn kenttäkokeen avulla pyrittiin kehittämään ja varmistamaan järjestelmän käyttövarmuutta ja luotettavuutta sekä kokoamaan tietoa käyttäjien kokemuksista. Aiempien alan tutkimusten sekä tasoristeys- ja onnettomuustietokantojen perusteella pyrittiin arvioimaan järjestelmän vaikutuksia tasoristeysonnettomuuksiin Suomessa ja ulkomailta. Järjestelmän käyttöönoton hyötyjä ja kustannuksia selvitettiin hankkeessa kerättyjen kustannustietojen ja tehtyjen vaikutusarviointien mukaan. Järjestelmän mahdollisia muita sovellusalueita tarkasteltiin tekijöiden oman kokemuksensa perusteella laatimien luonnosten kautta.

2.1 Järjestelmän määrittely ja toteutus

Koska vastaavan kaltaista järjestelmää ei ollut aikaisemmin toteutettu muualla, ei työssä ollut mahdollista suoraan nojautua aikaisemmin kehitettyihin käytäntöihin tai toteutustapoihin. Järjestelmän määrittely ja toteutus jouduttiin aloittamaan määrittelemällä käyttäjien esille tulleiden tarpeiden pohjalta järjestelmän toiminnalliset ja muut vaatimukset. Järjestelmälle asetettavien vaatimusten sekä aikaisemman suppean prototyypin pohjalta sille määriteltiin TelemArk-kuvaustavan mukainen toiminnallinen ja tekninen arkkitehtuuri. Ennen toteutuksen aloitusta laadittiin järjestelmäkuvaus, joka sisälsi järjestelmälle asetettavat vaatimukset sekä sen toiminnallisen ja teknisen arkkitehtuurin.

Järjestelmäkuvausten laatiminen aloitettiin määrittelemällä järjestelmältä edellytettävät varoitus-toiminnot sekä pilottijärjestelmään kuuluvat tiedonkeruu- ja analysointitoiminnot. Sen jälkeen koottiin yhteen järjestelmän luotettavuudelle ja käyttövarmuudelle sekä tietoturvalle asetetut vaatimukset. Tämän jälkeen laadittiin järjestelmän toiminnallinen ja tekninen arkkitehtuuri. Järjestelmän toiminnallista arkkitehtuuria laadittaessa hyödynnettiin TelemArk-arkkitehtuurimenetelmää (Leviäkangas ym. 2000), jota on aikaisemmin hyödynnetty muun muassa Ajantasaisen liikennetiedon arkkitehtuuria laadittaessa (Siponen ym. 2005). Soveltuvin osin hyödynnettiin myös muita kuvaustapoja, kuten käytötapauksia ja virhetilanteiden käsittelyä havainnollistavia sekvenssidiagrammeja.

Järjestelmän tekninen arkkitehtuuri kuvattiin erillisillä kaavioilla, ja se laadittiin kirjoituspöytätyönä edellä mainittujen menetelmien, prototyypin testauksessa saatujen kokemusten sekä työn tekijöillä olleiden tietojen perusteella. Järjestelmän toteutuksen valmistuttua laadittiin toteutuskuvaus, joka sisälsi järjestelmän toiminnallisen ja teknisen arkkitehtuurin lisäksi kuvaukset sen eri osien välisistä rajapinnoista.

2.2 Järjestelmän toimivuuden ja luotettavuuden arviointi

Hankkeessa toteutetun järjestelmän teknistä toimivuutta arvioitiin kuvaamalla se luotettavuuden arviointia tukevan lohkokaaavion avulla sekä tarkastelemalla järjestelmän tuottamien tietojen laatua palveluketjun eri vaiheissa. Tavoitteena oli saada kokonaiskuva järjestelmän toiminnan luotettavuudesta nykytilanteesta sellaisena kuin se näkyy loppukäyttäjälle sekä selvittää järjestelmän luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Järjestelmän toiminnan luotettavuutta loppukäyttäjän näkökulmasta arvioitiin havainnoimalla sen toimintaa, vertaamalla sen antamia varoituksia junien liikkeisiin tasoristeyksissä sekä hyödyntämällä sen keräämiä lokitietoja arvioinnin tukena (Öörni 2011).

2.2.1 Järjestelmän toiminnan luotettavuuden arviointi käyttäjän näkökulmasta

Järjestelmän toiminnan luotettavuuden arviointi perustui jo aiemmin kuljettajan tukisovellusten luotettavuuden arvioinnissa käytettyyn arviointikehikkoon (Gietelink 2007). Tapahtumien luokitteluun käytetty matriisi on esitetty taulukossa 1. Taulukon 1 lukujen perusteella laskettavat järjestelmän luotettavuutta kuvaavat tunnusluvut ovat taulukossa 2.

Taulukko 1. Tapahtumien luokitteluun käytetty matriisi (Gietelink 2007, alun perin teoksesta Lee & Peng 2005).

		Actual data	
		Negative (safe)	Positive (threat)
Prediction	Negative (safe)	N_{TN}	N_{FN}
	Positive (threat)	N_{FP}	N_{TP}

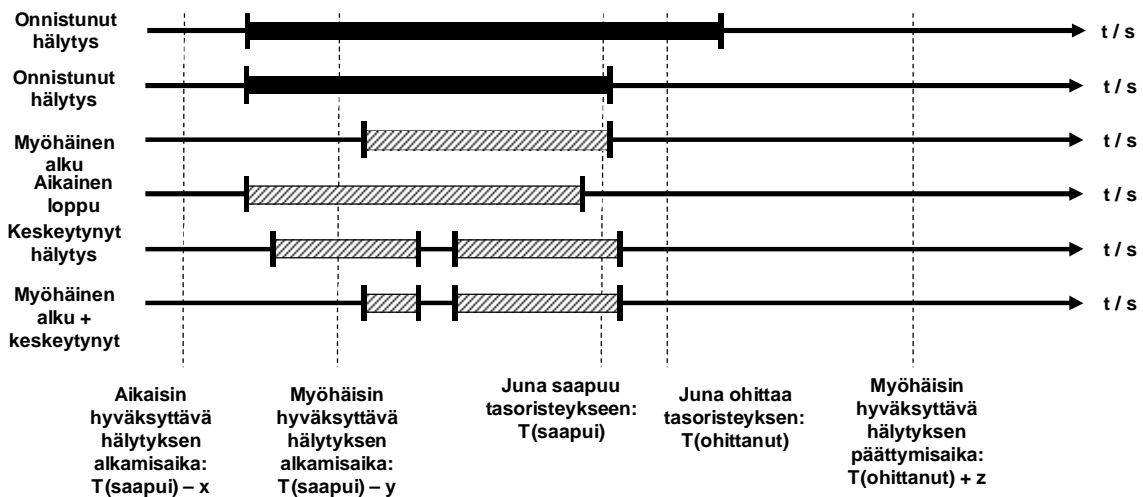
Taulukko 2. Järjestelmän luotettavuudelle laskettavia tunnuslukuja.

Rate	Definition
Real occurrence rate p	$(N_{FN} + N_{TP}) / (N_{TN} + N_{FP} + N_{FN} + N_{TP})$
Accuracy $p_{accuracy}$	$(N_{TN} + N_{TP}) / (N_{TN} + N_{FP} + N_{FN} + N_{TP})$
Precision p_{CP}	$N_{TP} / (N_{FP} + N_{TP})$
True positive rate p_{TP}	$N_{TP} / (N_{FN} + N_{TP})$
False negative rate p_{FN}	$N_{FN} / (N_{FN} + N_{TP})$
True negative rate p_{TN}	$N_{TN} / (N_{TN} + N_{FP})$
False positive rate p_{FP}	$N_{FP} / (N_{TN} + N_{FP})$
Reliability p_{rel}	$\sqrt{N_{TP}^2 / (N_{FP} + N_{TP})(N_{FN} + N_{TP})}$

2. Menetelmät

Tarkastelujakson aikana esiintyneet tapahtumat luokiteltiin onnistuneisiin hälytyksiin, joiden lukumäärää taulukoissa esittää muuttuja N_{TP} , toteutumatta jääneisiin tai laatukriteereitä täyttämättömiin hälytyksiin, joiden lukumäärää taulukoissa esittää N_{FN} , aiheettomiin eli väärin hälytyksiin, joiden lukumäärää esittää muuttuja N_{FP} , sekä muihin tapahtumiin. Koejärjestelyn luonteen vuoksi N_{TN} :lle ei ollut määriteltävissä yksikäsitteistä tulkintaa. Tästä syystä kehikkoa jouduttiin mukauttamaan, ennen kuin sitä voitiin hyödyntää tulosten analysointiin. Kyseinen rajoite jouduttiin huomioimaan myös kehikon avulla käsiteltyjä tuloksia tulkittaessa.

Jotta erityyppisten hälytystilanteiden luokittelu olisi ollut mahdollista, tarvittiin määritelmä onnistuneelle hälytykselle. Onnistuneeksi laskettava hälytys määriteltiin olennaisilta osiltaan työn vaatimusmäärittelyjä vastaavaksi: hälytyksen tulee alkaa riittävän pitkä aika ennen junan saapumista tasoristeykseen, hälytys ei saa alkaa määriteltyä aikarajaa ennen ja hälytyksen tulee päättyä määritellyn aikarajan kuluttua hetkestä, jona juna ohitti tasoristeyksen. Esimerkki hälytystilanteiden luokittelusta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Esimerkki hälytystilanteiden luokittelusta: kaksi onnistunutta ja neljä laatukriteereitä täyttämättöä hälytystä.

Onnistuneiksi määriteltiin hälytykset, jotka alkoivat määritellyn aikaikkunan sisällä ($x = 4$ min ja $y = 25$ s) ja päättyivät aikaisintaan junan saavuttua tasoristeykseen mutta kuitenkin ennen hälytyksen myöhäisintä hyväksyttävää päättymisaikaa ($z = 20$ s). Vääriksi negatiivisiksi N_{FN} luokiteltiin tapahtumat, joissa juna ohitti tasoristeyksen, mutta järjestelmä ei antanut edellä mainitut kriteerit täyttävää varoitusta.

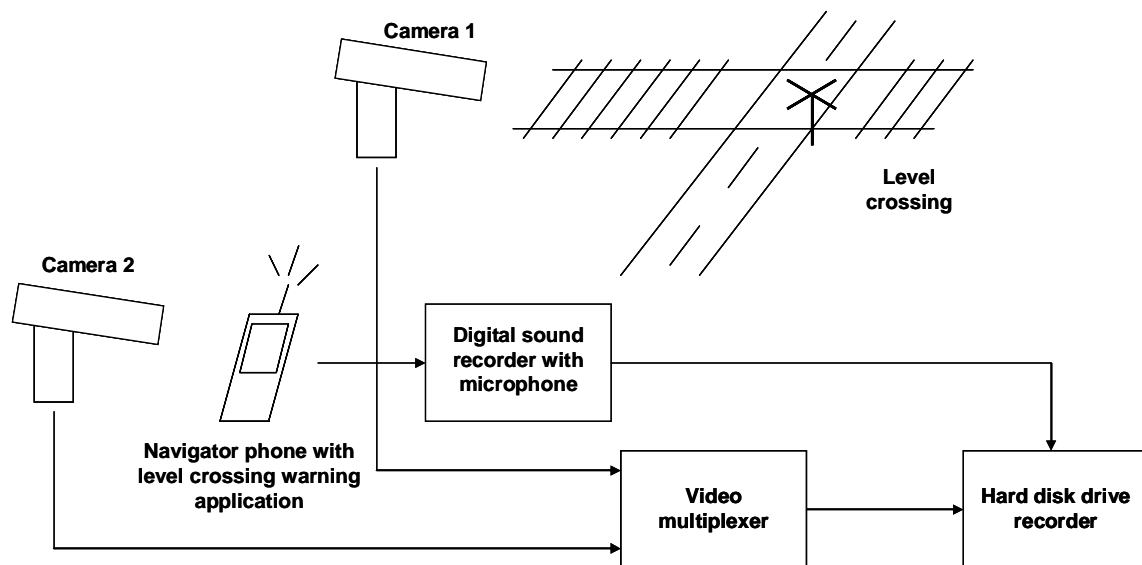
Kehikossa esiintyvälle luvulle N_{TN} ei voitu määrittää yksikäsitteistä tulkintaa koejärjestelyn luonteen vuoksi. Järjestelmän toiminnan luotettavuuden havainnoimiseksi tarpeellinen joidenkin vuorokausien mittainen havainnointijakso ei käytännössä ollut toteutettavissa koejärjestelyllä. Koejärjestelyssä olisi henkilöautolla toistuvasti ajettu kohti tasoristeystä, käännytty ylityksen jälkeen ympäri ja palattu paikkaan, josta lähestyminen aloitettiin. Tällöin olisi voitu määrittää arvo myös N_{TN} :lle, mutta järjestely olisi käytännössä vaatinut runsaasti työaikaa tai johtanut lyhyemmän havainnointijakson valintaan, jolloin N_{TP} olisi jäänyt pieneksi. Koska kehikon luvulle N_{TN} ei ollut määritettävissä yksikä-

sitteistä tulkintaa, kehikkoon kuuluvia lukuja p_{FN} ja p_{TN} ei voitu määrittää aineiston perusteella. Kehikon ensimmäisessä kaavassa, jossa määritellään tarkasteltavan tapahtuman yleisyyttä kaikista tapahtumista kuvaava p , esiintyy N_{TN} osana kaikkien relevanttien tapahtumien joukkoa lausekkeen nimittäjässä. Tilanne, jossa N_{TN} -arvoksi muodostuu nolla, ei tällöin estä kyseisen tunnusluvun laske-
mista. Sen sijaan $P_{accuracy}$:n arvolle ei voida määrittää mielekäästi tulkintaa tilanteessa, jossa ”todellisten negatiivisten” määrä ei ole mielekkäästi laskettavissa.

Kehikossa esiintyvä tunnusluku p_{rel} on tunnusluku, jonka tarkoituksena on kuvata järjestelmän toiminnan luotettavuutta. Kyseessä on toiminnan luotettavuutta kuvaava tunnusluku, mutta ei kuitenkaan todennäköisyys, että järjestelmä toimii oikein jossakin määritellyssä tilanteessa. Kehikossa p_{rel} on määritelty tunnuslukujen p_{CP} ja p_{TP} geometrisena keskiarvona.

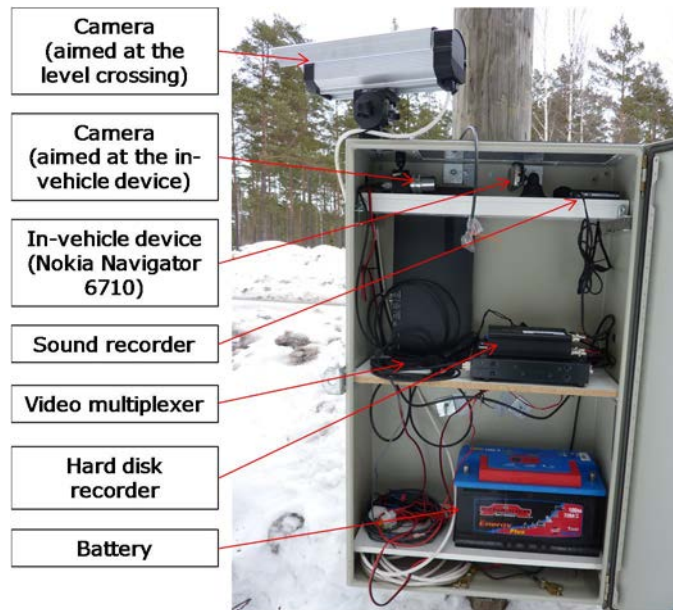
2.2.2 Järjestelmän toiminnan havainnointi

Järjestelmän toimintaa havainnoitiin videoimalla samanaikaisesti päätelaitteen näyttöä sekä tasoris-
teystä, jonka lähelle ajoneuvolaite oli sijoitettu (kuva 2). Videosignaalit päätelaitteen näyttöä ja tasoris-
teystä kuvaavista kameroista yhdistettiin yhdeksi PAL-laatuiseksi videokuvaksi ja tallennettiin kova-
levytallentimen avulla. Havainnointiin käytetty laitteisto on esitetty kuvassa 3.



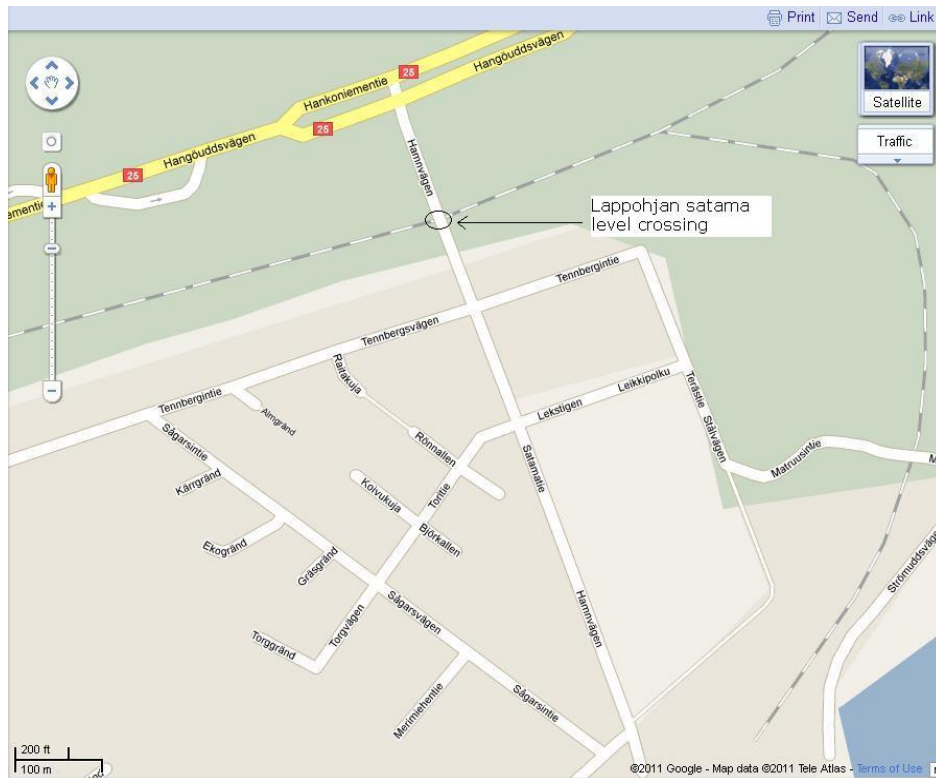
Kuva 2. Järjestelmän toiminnan havainnointiin liittyvä koejärjestely (Öörni 2011).

2. Menetelmät



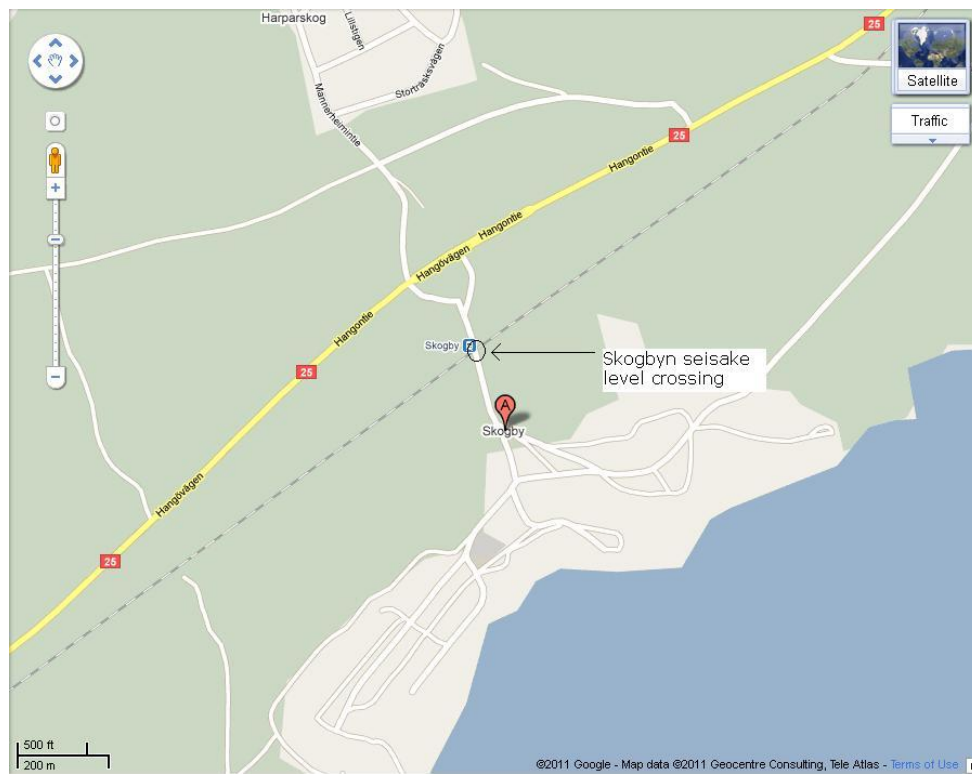
Kuva 3. Järjestelmän toiminnan havainnointiin käytetty laitteisto maastoon asennettuna (Öörni 2011).

Järjestelmän toimintaa havainnoitiin noin 11 päivän ajan kahdessa eri tasoristeyksessä, jotka olivat Lappohjan satama ja Skogbyn seisake. Molemmat sijaitsevat Raaseporin kunnassa Hanko–Karjaarataosalla. Lappohjan sataman tasoristeyksessä (kuva 4) tarkastelujakson aikainen junaliikenne koostui tasoristeyksen ohittavista tavarajunista ja kiskobusseista sekä vaihtotyötä tekevistä dieselvetureista. Skogbyn tasoristeyksessä (kuva 5) junaliikenne koostui tasoristeyksen ohittavista tavarajunista sekä viereisellä Skogbyn seisakkeella pysähtyvistä kiskobusseista.



Kuva 4. Lappohjan sataman tasoristeys (kartta: <http://maps.google.com>).

2. Menetelmät



Kuva 5. Skogbyn seisakkeen tasoristeys (kartta: <http://maps.google.com>).

3. Järjestelmän toteutus

3.1 Järjestelmälle asetetut vaatimukset

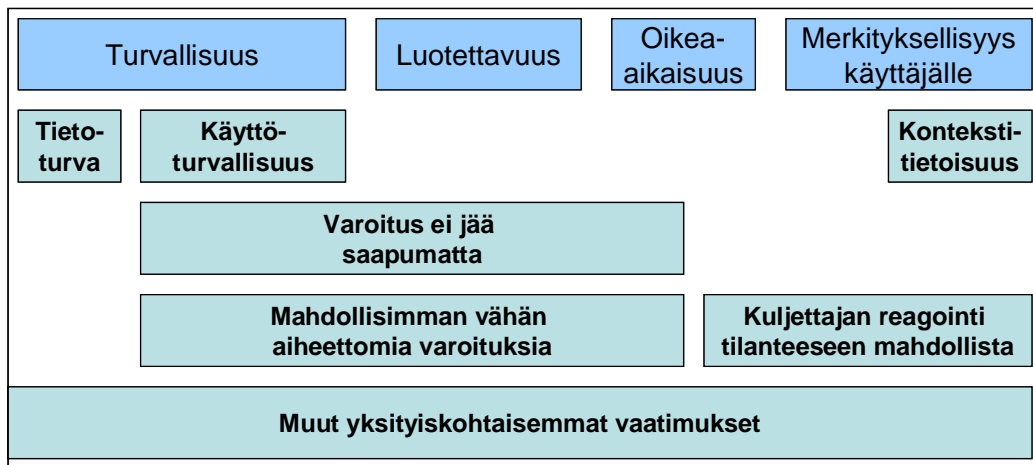
Autossa toimivalle junavaroitusjärjestelmälle asetettavia vaatimuksia on yleisellä tasolla käsitelty asiaan liittyvässä esiselvityksessä (Öörni & Pajunen, 2005) sekä prototyyppejä ja sen kokeilua käsittelevässä raportissa (Öörni & Virtanen, 2006). Lähtökohtana esitettiin, että järjestelmässä tulee olla tasoristeysten turvallisuutta parantava varoitustoiminto, joka varoittaa ajoneuvon kuljettajaa tasoristeystä samaan aikaan lähestyvistä junasta. Samalla todettiin, että järjestelmän tulisi antaa mahdollisimman vähän vääriä hälytyksiä. Järjestelmän tulisi myös soveltua kaikenlaisiin tasoristeysmaihin Suomessa.

Prototyyppejä käsittelevässä raportissa (Öörni & Virtanen 2006) ehdotettiin myös, että tuotantovaiheen järjestelmään tulisi toteuttaa toiminto, joka varoittaa loppukäyttäjiä järjestelmän mahdollisissa virhetilanteissa. Tällaisia tilanteita voi syntyä esimerkiksi silloin, kun järjestelmän osien väliset tietoliikennetyhteudet eivät toimi tai ajoneuvon tai junien paikannus ei onnistu.

Järjestelmälle asetettavia vaatimuksia on hyödyllistä tarkastella yksityiskohtaisemmin, jotta järjestelmä vaikuttaisi parhaalla mahdollisella tavalla tasoristeysturvallisuuteen ja liikenneturvallisuuteen yleensä. Jotta autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä vaikuttaisi turvallisuuteen myönteisesti ja olisi käyttäjien näkökulmasta hyväksyttävä, sen tulee antaa oikeellista ja käyttäjälle merkityksellistä tietoa oikeassa paikassa, oikealla tavalla ja oikeaan aikaan. Järjestelmän tulee myös toimia luotettavasti ja olla turvallinen käyttäjilleen ja muille osapuolille.

Yleiskuva autossa toimivalle junavaroitusjärjestelmälle ja sen tuottamalle varoitustiedolle asetettavista vaatimuksista on esitetty kuvassa 6.

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 6. Yleiskuva autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän ja sen tuottamien tietojen vaatimuksista.

Toiminnallisia vaatimuksia on kuvattu tarkemmin erillisinä alalukuina. Nämä vaatimukset liittyvät seuraaviin: käyttäjälle esitettävän junavaroituksen ajoittuminen suhteessa hetkeen, jolla ajoneuvo tai juna ohittaa tasoristeyksen, varoitustiedon merkityksellisyys käyttäjälle, järjestelmän käyttöturvallisuus ja tietoturva, käyttövarmuus ja luotettavuus sekä järjestelmään toteutettavat tiedonkeruu- ja analysointiominaisuudet. Alaluvut vastaavat löyhästi kuvassa 6 esiintyviä ylätasoa elementtejä.

3.1.1 Varoituksen oikea-aikaisuus

Varoituksen tulee olla mahdollisimman oikea-aikainen. Liian myöhään saapuva varoitus ei anna kuljettajalle mahdollisuutta muuttaa käyttäytymistään. Liian aikaisin saapuvan varoituksen käyttäjä taas voi tulkita vääräksi hälytykseksi. Aikaisin annettua varoitusta voi myös olla vaikea kohdistaa oikein vain niille kuljettajille, jotka pyrkivät ajoneuvollaan ylittämään tasoristeyksen.

Jotta varoitus voisi vaikuttaa kuljettajan käyttäytymiseen, sen täytyy tulla riittävän ajoissa ennen ajoneuvon saapumista tasoristeykseen. Varoituksesta ei ole hyötyä, ellei kuljettajalle jää riittävästi aikaa havaita varoitus, havainnoida ympäristöään ja jarruttaa ennen tasoristeykseen saapumista. Tämä asettaa alarajan sille, miten paljon ennen ajoneuvon saapumista tasoristeykseen käyttäjän päätelaitteen tulee viimeistään siirtyä varoitustilaan tilanteessa, jossa tasoristeystä lähestyy juna.

Jotta järjestelmän antama varoitus olisi käyttäjälle merkityksellinen, sen tulee kohdistua mahdollisimman hyvin vain niille autoilijoille, jotka pyrkivät ylittämään tasoristeyksen. Aiheettomien varoitusten osuus kaikista käyttäjän saamista varoituksista tulee olla mahdollisimman alhainen, jotta varoitus vaikuttaisi toivotulla tavalla. Muussa tapauksessa on olemassa riski, että käyttäjien luottamus järjestelmään menetetään.

Autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän varoitustoiminnon ajoitukseen liittyviä vaatimuksia voidaan tarkastella myös siitä näkökulmasta, millaisia vaatimuksia on asetettu tasoristeykseen kiinteästi asennettaville varoituslaitteille. Tasoristeyksen ja tasoristeykseen asennetun varoituslaitteiston tilan määrittelyä käsitellään Ratahallintokeskuksen julkaisemien Ratateknisten määräysten ja ohjeiden turvalaitteita käsittelevässä osassa (RHK 2007). Ratahallintokeskuksen julkaisemissa ohjeissa on määriteltä, miten paljon ennen junan saapumista tasoristeykseen asennettujen valo- tai äänivaroituslaitteiden

tulee aktivoitua ja puomien laskeutua (RHK 2007). Puomeilla varustetun tasoristeyksen hälytyksen pituus ja eri toimintojen järjestys on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Puomilaitoksen hälytyksen pituus ja toimintojen järjestys ennen raiteen nopeusrajoituksen mukaista nopeutta ajavan yksikön saapumista tasoristeykseen (RHK 2007).

	Toiminto	Vaadittu aika	Huomautus
1.	Etusoittoaika	≥ 10 s	Huomioitava puomien keskinäinen etäisyys
2.	Puomien laskeutumiselle varattu aika	10 s	
3.	Tasoristeyksestä pois johtavan kais-tan sulkevan puomin laskeutumiselle varattu aika	8 s	Vain paripuomeilla varustetulla varoituslaitoksella
4.	Varoaika	10 s	

Puomilaitoksen osalta on siis määritelty, että lyhyin mahdollinen aika, jota ennen tienkäyttäjää tulee varoittaa ennen junan saapumista tasoristeykseen, on 38 sekuntia. Ohjeen toisessa kohdassa otetaan suuntaa antavasti kantaa myös siihen, miten paljon ennen puomilaitos saa varoittaa tienkäyttäjää ennen junan saapumista tasoristeykseen. Ohjeessa todetaan, että puomilaitoksen hälytystila saa kestää enintään 20 sekuntia taulukossa 3 määriteltyä aikaa pidempään, ennen kuin radalla voimassa olevan nopeusrajoituksen mukaista nopeutta käyttävä yksikkö saapuu tasoristeykseen. Tällöin varoitus tienkäyttäjille tulee enintään 58 sekuntia ennen junan saapumista tasoristeykseen.

Ratateknisten ohjeiden tasoristeyksiä käsittelevään lukuun sisältyy myös ohjeita tienkäyttäjille tarkoitettujen varoitusvalojen ja liikennemerkkien sijoituksesta tasoristeyksiin. Näistä todetaan, että tienkäyttäjille tarkoitetut tasoristeyksen valo-opastimet tulee suunnata siten, että ne ovat tasoristeykseen saapuvan tienkäyttäjän nähtävissä vähintään kymmenen sekunnin ajan hänen lähestyessään tasoristeystä suurimmalla sallitulla nopeudella (RHK 2007).

Ratahallintokeskuksen ohjeissa esiintyvää kymmentä sekuntia voidaan siis pitää käytännössä minimiaikana, jota ennen junan saapumista tasoristeykseen sitä lähestyvän tienkäyttäjän tulisi saada varoitus. Tätä kymmentä sekuntia voidaan myös arvioida siitä näkökulmasta, millaisesta nopeudesta lähestyvä ajoneuvo ehtii pysähtyä ennen saapumistaan tasoristeykseen.

Jos oletetaan, että ajoneuvon hidastuvuus jarrutuksessa on 3 m/s^2 , ajoneuvon nopeus on 80 km/h ($22,22 \text{ m/s}$) ja ajoneuvon hidastuvuus on tasainen, ajoneuvon pysähtymisajaksi saadaan $7,41 \text{ s}$. Kun lasketaan mukaan ajoneuvon kuljettajan reaktioaika, noin $1,5 \text{ s}$, tulokseksi saadaan $8,91 \text{ s}$. Kuljettajan reaktioon ja ajoneuvon pysäyttämiseen yhteensä kuluva laskettu aika on siis lyhyempi kuin edellä mainittu kymmenen sekuntia. Esimerkissä käytetty nopeus perustuu suurimpaan nopeusrajoituksen arvoon, jonka on oletettu olevan voimassa teillä, joilla Suomen tieverkolla on tasoristeyksiä. Kiihtyvyyden arvo vastaa verrattain voimakasta jarrutusta, joka on suoritettavissa myös märällä tai lumisella tienpinnalla. Kymmentä sekuntia voidaan siis pitää karkeana arviona lyhimmästä mahdollisesta ajasta, joka saa kulua käyttäjän päätelaitteen siirtymisestä hälytystilaan hetkeen, jona juna saapuu tasoristeykseen.

Pisin aika, jota ennen junan saapumista tasoristeyksen tila saa muuttua järjestelmässä hälytystilaksi, on jotain edellä mainitun tasoristeysten valo-opastimien näkyvyydelle asetetun kymmenen sekunnin minimin ja puolipuomilaitoksen hälytyksen kestolle asetetun 58 sekunnin maksimin välillä. Käytännössä 58 sekuntia on yläraja varoituksen alkamisen ja junan tasoristeykseen saapumisen välillä. Varoi-

3. Järjestelmän toteutus

tuksen kestäessä pitkään käyttäjä saattaa turhautua tai tulkita varoituksen vääräksi hälytykseksi ja lähteä ylittämään tasoristeystä laitteen antamasta varoituksesta huolimatta.

3.1.2 Varoitustiedon oikeellisuus ja merkityksellisyys käyttäjälle

Jotta järjestelmä vaikuttaisi toivotulla tavalla kuljettajien käyttäytymiseen, sen tuottaman varoitustiedon tulee olla mahdollisimman oikeaa. Varoitustiedon oikeellisuuden kriteeri on tässä yhteydessä varoituksen saapuminen käyttäjälle kaikissa ja vain niissä tilanteissa, joissa käyttäjä lähestyy tasoristeystä. Jotta varoituksen voidaan katsoa saapuvan käyttäjälle suunnitellulla tavalla, sen pitää tulla käyttäjän tasoristeystyksen saapumista ja junan tasoristeystyksen saapumista koskevien aikarajojen sisällä.

Jotta tienkäyttäjä kokisi järjestelmän hyödylliseksi ja hyväksyttäväksi, tulee sen antaman tiedon olla hänelle merkityksellistä. Tässä yhteydessä merkityksellinen tieto voidaan määritellä esimerkiksi tiedoksi, joka liittyy käyttäjän parhaillaan suorittamaan tehtävään eli ajoneuvon kuljettamiseen suunniteltua reittiä kohti valittua määränpäättä.

Käyttäjälle annetun aiheettoman varoituksen haitallisuusarvon voidaan katsoa olevan selkeästi pienempi kuin antamatta jääneen aiheellisen varoituksen. Aiheettomat varoitukset voivat vähentää käyttäjän luottamusta järjestelmää kohtaan, mutta ne eivät todennäköisesti johda vaarallisiin tilanteisiin. Antamatta jäänyt aiheellinen varoitus taas saattaa johtaa tilanteeseen, jossa tienkäyttäjä lähtee ylittämään tasoristeystä tietämättä tilannetta vaaralliseksi.

3.1.3 Käyttöturvallisuus

Jotta järjestelmä olisi laajasti toteutettuna hyväksyttävä, sen tulee vaikuttaa myönteisesti liikenneturvallisuuteen ja täyttää eri osapuolten tietoturvaa koskevat vaatimukset. Autossa toimivan junavaroitusturvallisuuden yhteydessä käyttöturvallisuus tarkoittaa yksinkertaisimmillaan sitä, ettei järjestelmä tai sen käyttö tuota uusia riskejä rautatieosapuolille, tienkäyttäjille tai muille toimijoille.

EU:n komissio julkaisi vuoden 2006 joulukuussa ajoneuvoon asennettavien telemaattisten laitteiden käyttöliittymiä koskevat suosituksensa (Commission of the European Communities 2006). Siinä esitetään suosituksia ajoneuvossa käytettävien liikennetelemaattisten laitteiden ja palveluiden yleisiksi suunnitteluperiaatteiksi, laitteiden asennuksessa noudatettaviksi periaatteiksi, tiedon esitystavoiksi ja käyttöliittymän vuorovaikutteisuuden suunnitteluperiaatteiksi. Lisäksi suosituksia annetaan järjestelmän tai palvelun käyttäytymiselle eri tilanteissa ja järjestelmästä käyttäjälle annettaville tiedoille.

Jotta järjestelmän käyttö ajoneuvossa vaikuttaisi tienkäyttäjien turvallisuuteen myönteisesti, tarkasteltiin erillisen taulukon avulla (liite B), millaisia vaatimuksia järjestelmälle seuraa edellä mainittujen suositusten toteuttamisesta. Näihin liittyvät toimenpiteet tai vaatimukset järjestelmälle on kuvattu alla lyhyesti (taulukko 4).

Taulukko 4. Käyttöliittymää koskevasta EU:n komission suosituksesta seuraavat vaatimukset järjestelmälle.

1	Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä tarjoaa kuljettajalle vain ajoneuvon kuljettamiseen liittyvää, turvallisuuden kannalta merkityksellistä informaatiota.
2	Järjestelmän käyttöliittymän suunnittelussa on huomioitava se, ettei järjestelmä saa häiritä kuljettajan tarkkaavaisuutta ajon aikana.
3	Junavaroitusjärjestelmän asettamien vaatimusten kuljettajan tarkkaavaisuudelle tulee olla suhteessa ajotilanteen vaativuuteen. Käytännössä tämä merkitsee junavaroitusjärjestelmän kuljettajalle antaman varoituksen toteuttamista äänimerkinä ja sovelluksen käyttöliittymän suunnittelua siten, ettei sovelluksen käyttö ajon aikana vaadi kuljettajalta käsien käyttöä.
4	Järjestelmän merkki- ja varoitusaänien tulee olla selkeästi erotettavissa muiden ajoneuvossa jo olevien järjestelmien varoitus- ja merkkiäänistä.
5	Oikeudellisesti sitovat säädökset tulee huomioida valittaessa järjestelmän ajoneuvolaitetta.
6	Pilotissa tulee käyttää ajoneuvolaitteen asennukseen laitteen valmistajan toimittamia tai hyväksymiä asennustarvikkeita tai on varmistuttava siitä, että asennus on voimassa olevan lainsäädännön ja standardien mukainen.
7	Järjestelmän autolaite tulee sijoittaa ajoneuvoon siten, ettei se estä kuljettajaa näkemästä eteen, sivulle tai taakse.
8	Autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän autolaite tulee sijoittaa siten, ettei se estä tai vaikeuta ajoneuvon hallintalaitteiden tai turvallisuudelle merkityksellisten mittareiden tai merkkivalojen käyttöä.
9	Autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän käyttöliittymänä toimiva laite on sijoitettava lähelle kuljettajan tavanomaista näkökenttää tai kuljettajalle on esitettävä vain hyvin vähän visuaalista informaatiota ajon aikana.
10	Häikäistymisen ja valon heijastumisen mahdollisuus tulee huomioida valittaessa pilotissa käytettävää järjestelmän autolaitetta.
11	Ajon aikana kuljettajalle esitetään visuaalista informaatiota vähän ja selkeästi tai ei lainkaan.
12	Tasoristeyksiin liittyvät liikennemerkkit ja terminologia huomioidaan järjestelmän käyttöliittymää ja käyttäjille laadittavaa ohjeistusta toteutettaessa.
13	Junavaroitusjärjestelmän tarjoaman tiedon tulee olla tarkkaa ja oikea-aikaista.
14	Järjestelmän autolaitteessa on oltava mahdollisuus äänenvoimakkuuden säätöön.
15	Järjestelmän autolaitteen käyttöliittymä tulee toteuttaa siten, ettei se vaadi toimintojen tai toimintojen sarjojen suorittamista loppuun lyhyen ajan sisällä.
16	Järjestelmän autolaitteen tulee antaa selkeää palautetta, kun käyttäjä muuttaa laitteen asetuksia tai syöttää laitteelle tietoa.
17	On määriteltävä selkeästi, mitkä järjestelmän autolaitteen toiminnot on tarkoitettu käytettäväksi ajon aikana ja mitkä eivät. Käyttäjää ohjeistetaan käyttämään ajon aikana vain ajon aikana käytettäväksi tarkoitettuja toimintoja.
18	Junavaroitusjärjestelmään toteutetaan ominaisuudet, joiden avulla mahdollisimman monet järjestelmän virhetilat tunnistetaan ja joiden avulla järjestelmän autolaite informoi käyttäjäänsä järjestelmän virhetiloista.
19	Autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän pilottiin osallistuville loppukäyttäjille ja myöhemmän tuotantovaiheen järjestelmän käyttäjille laaditaan järjestelmästä riittävän laajat ja seikkaperäiset käyttöohjeet, jotka ovat sisällöltään oikeat ja helposti ymmärrettävät, jotka kattavat myös järjestelmän käyttöönoton ja ylläpidon ja jotka on kirjoitettu kohderyhmän ymmärtämällä kielellä.

3. Järjestelmän toteutus

20	Järjestelmän käyttöohjeissa tulee kuvata riittävän oikein ja tarkasti järjestelmän toiminnallisuus.
21	Järjestelmän käyttöohjeissa tulee mainita, mikäli järjestelmä ei sovellu jollekin tietylle käyttäjäryhmälle. Kartoitetaan ne mahdolliset käyttäjäryhmät, joiden käytettäväksi hankkeessa pilotoitava autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä ei sovellu.
22	Järjestelmän tai sen ajoneuvolaitteen käyttöä koskevat kuvaukset eivät saa luoda käyttäjälle järjestelmään liittyviä epärealistisia odotuksia.

3.1.4 Tietoturva

Järjestelmän tietoturvalle asetettavia vaatimuksia tarkasteltiin tiedon luottamuksellisuuden (confidentiality), eheyden (integrity) ja saatavuuden (availability) näkökulmasta. Vaatimukset kartoitettiin määrittelemällä suojattavat tiedot ja toiminnot, mallintamalla todennäköisimmät järjestelmään kohdistuvat tietoturvauhat sekä määrittelemällä toimenpiteet ja ominaisuudet, joiden avulla esille tullessiin uhkiin vastataan ja suojattavat tiedot ja toiminnot turvataan. Tietoturvaa koskevan tarkastelun tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä A.

Tietoturvaa koskevat vaatimukset näyttäisivät liittyvän ensisijaisesti käyttäjille tarjottavan varoitustiedon saatavuuden ja eheyden varmistamiseen, järjestelmässä käsiteltävien junien sijaintitietojen luottamuksellisuuden ja eheyden turvaamiseen sekä palvelun käyttäjien yksityisyyden suojaan, kuten sijainti- ja henkilötietojen luottamuksellisuuteen.

Käyttäjien henkilö- ja sijaintitietojen suojan toteutustapa palvelussa riippuu tuotantovaiheen järjestelmän toteutustavasta ja liiketoimintamallista. Teknisesti on mahdollista toteuttaa tuotantovaiheen järjestelmä siten, ettei käyttäjän päätelaitteesta välitetä eteenpäin tietoja, joista olisi mahdollista tunnistaa yksittäinen käyttäjä tai hänen ajoneuvonsa.

Tietoturvaa koskevat tärkeimmät vaatimukset järjestelmälle ja sen toteutukselle on koottu taulukoon 5.

Taulukko 5. Autossa toimivan junavaroitussjärjestelmän tietoturvaan koskevat vaatimukset.

Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – tietoturvaan koskevat vaatimukset				
Suojattava tieto tai toiminto	Suojattava ominaisuus			Vaatimukset järjestelmälle
	Eheys	Luottamuksellisuus	Saataavuus	
Junalaitteiden tuottama ja lähetetty junien sijaintitieto	X	X	X	– Junalaitteiden ja palvelimen autentikointi toisilleen. – Mahdollisesti myös junalaitteiden ja palvelimen välisen tiedonsiirron salaus tehokkaalla salauksella.
Palvelimen tuottama tasoristeysten tilatieto	X		X	– Järjestelmä varoittaa käyttäjiä, jos rataverkolla on paikantamattomia kohteita tai jos järjestelmä muusta syystä havaitsee tuottamansa tiedot epäluotettaviksi – Tuotantovaiheen järjestelmässä: järjestelmän eri osien kahdentaminen.
Käyttäjien palvelimelle lähettämät tasoristeysten numerolla varustetut kyselyt	X		X	– Varoitetaan käyttäjää tiedonsiirron tai palvelimen virhetilanteissa. – Kyselyjen uudelleenlähetys IP-pakettien rikkoutuessa tai kadotessa. – Mahdollistetaan palvelun anonyymi käyttö.
Tiedot käyttäjien sijainnista tai henkilöllisyydestä	–	–	–	– Mahdollistetaan palvelun käyttö anonyymisti tai vaihtuvalla käyttäjätunnuksella.

3.1.5 Luotettavuus ja käyttövarmuus

Autossa toimivalla junavaroitussjärjestelmällä pyritään parantamaan tasoristeysten turvallisuutta tienkäyttäjille ja rautatieliikenteelle varoittamalla tienkäyttäjää tasoristeystä samanaikaisesti lähestyvistä junasta. Jotta järjestelmän vaikuttavuus olisi paras mahdollinen, sen tulisi toimia suunnitellulla tavalla mahdollisimman suuren osan ajasta ja koko sillä maantieteellisellä alueella, jolla palvelua tarjotaan tienkäyttäjille. Järjestelmän ei tulisi tuoda uusia riskejä rautatieoperaattorille, tienkäyttäjälle tai muille toimijoille.

Järjestelmä ei saa synnyttää ”väärää turvallisuuden tunnetta”, jotta se ei toisi uusia riskejä tienkäyttäjälle. Kuljettajan tulee siis itse säilyttää vastuu ympäristön havainnoinnista eikä siirtää sitä ulkopuoliselle varoitussjärjestelmälle. Potentiaalisesti vaarallisia tilanteita väärän turvallisuuden tunteen myötä olisivat esimerkiksi sellaiset, joissa junavaroitussjärjestelmä ei syystä tai toisesta toimi, joissa järjestelmää käyttämään totuneella kuljettajalla ei syystä tai toisesta ole autolaitetta ajoneuvossaan tai jossa järjestelmään totunut kuljettaja ylittää tasoristeuksen järjestelmän maantieteellisen toiminta-alueen ulkopuolella.

Väärän turvallisuuden tunteen syntymiseen liittyvää riskiä voidaan hallita informoimalla käyttäjää junavaroitussjärjestelmän toimintaperiaatteesta ja sen toimivuuteen liittyvistä reunaehdoista, kuten riippuvuudesta tietoliikenteen ja paikannuksen toiminnasta sekä rajatusta maantieteellisestä toiminta-

3. Järjestelmän toteutus

alueesta. Käyttäjää tulee myös informoida siitä, ettei järjestelmä poista kuljettajan vastuuta ympäristön havainnoinnista tai ajoneuvon kuljettamisesta.

Väärän turvallisuuden tunteen syntyä voidaan ehkäistä myös varoittamalla käyttäjää tilanteissa, joissa järjestelmä ei toimi luotettavasti. Kesällä 2006 toteutetun kokeilun raportissa hahmoteltiin alustavasti tapoja, joilla virhetilojen hallinta voitaisiin toteuttaa järjestelmässä (Öörni, Virtanen 2006). Järjestelmään kuuluvan autolaitteen ja palvelimen tulee siis kyetä tunnistamaan tavanomaisimmat ennakoitavissa olevat virhetilanteet ja informoida käyttäjää tämän lähestyessä tasoristeystä. Käyttäjää voisi esimerkiksi varoittaa tilanteissa, joissa järjestelmä ei syystä tai toisesta toimi tai sen tiedot ovat epätarkkoja. Yleisesti voidaan siis sanoa, että järjestelmän tulisi kyetä itse tunnistamaan yleisimmät ennakoitavissa olevat virhetilanteet ja informoimaan niistä käyttäjänsä.

Jotta järjestelmän vaikuttavuus olisi paras mahdollinen, tulisi sen olla mahdollisimman helppokäyttöinen. Jotta järjestelmä voisi vaikuttaa toivotulla tavalla tasoristeysturvallisuuteen, tulisi sen käyttöön soveltuvan päätelaitteen olla tienkäyttäjän mukana aina tai lähes aina tämän ylittäessä tasoristeystä ajoneuvollaan. Käyttäjän päätelaitteen ja siinä toimivan tasoristeyssovelluksen on myös oltava toimintavalmiina verrattain lyhyen ajan sisällä käyttäjän lähdettyä liikkeelle ajoneuvollaan. Esimerkiksi sellaista ratkaisua tulisi välttää, jossa käyttäjän tulee ajoneuvon lisäksi käynnistää erikseen junavaroitussjärjestelmän käyttöön soveltuva päätelaite tai sovellus.

3.1.6 Tiedonkeruu- ja analysointiominaisuudet

Jotta hankkeessa toteutettavan järjestelmän toiminnasta saataisiin mahdollisimman paljon kokemusperäistä tietoa, on perusteltua toteuttaa järjestelmään kuuluvaan palvelimeen sekä käyttäjien päätelaitteisiin hanketta palvelevia tiedonkeruu- ja analysointiominaisuuksia.

Tiedonkeruu- ja analysointiominaisuuksien avulla voidaan saada tietoa järjestelmän ja sen osien teknisestä toimivuudesta, järjestelmän vaikutuksista käyttäjiin sekä tietoja järjestelmän käyttövarmuuden ja luotettavuuden analysoinnin tueksi. Tallennettavan tiedon määrää rajoittaa muun muassa järjestelmään kuuluvan palvelimen tallennuskapasiteetti.

Edellä mainitut tavoitteet voidaan saavuttaa toteuttamalla järjestelmään kuuluvaan palvelimeen ominaisuus, joka kerää lokitiedostoja palvelimen lähettämästä ja vastaanottamasta tietoliikenteestä sekä järjestelmän ja sen osien tilan muutoksista.

3.2 Järjestelmän toimintaperiaate ja toiminnallinen arkkitehtuuri

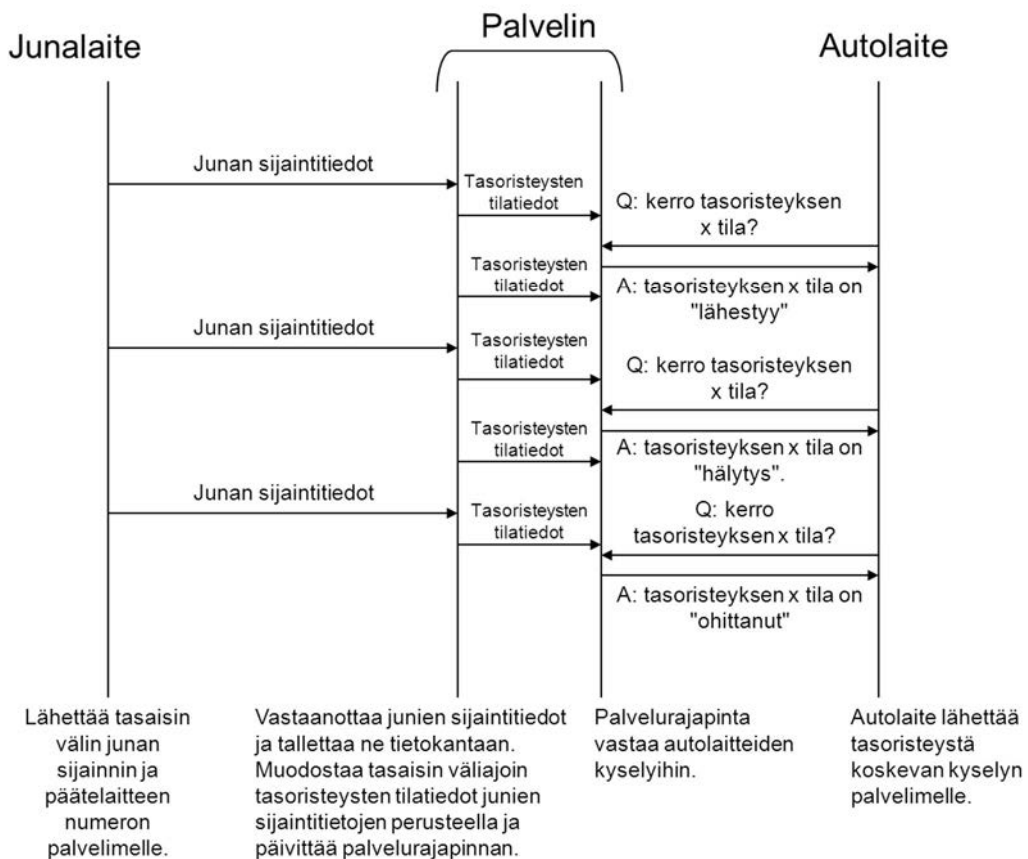
3.2.1 Käyttötapaukset

Hankkeessa toteutettavan järjestelmän toimintaperiaatetta määriteltäessä lähtökohtana oli vuonna 2006 suppeassa kenttäkokeessa kokeiltu järjestelmä (Öörni 2006). Kyseessä olevassa järjestelmässä tarvittava tietojenkäsittely toteutetaan osin keskitetysti järjestelmään kuuluvalla palvelimella ja osin hajautetusti järjestelmän tarjoamaa palvelua hyödyntävissä ajoneuvolaitteissa.

Järjestelmän ajoneuvolaite tunnistaa ajoneuvon sijaintitietojen ja tasoristeysten koordinaattitietojen perusteella tilanteen, jossa ajoneuvo lähestyy tasoristeystä. Järjestelmään kuuluva palvelin puolestaan laskee ajantasaisesti tilan järjestelmään kuuluville tasoristeyksille junien sijaintitietojen, tasoristeysten

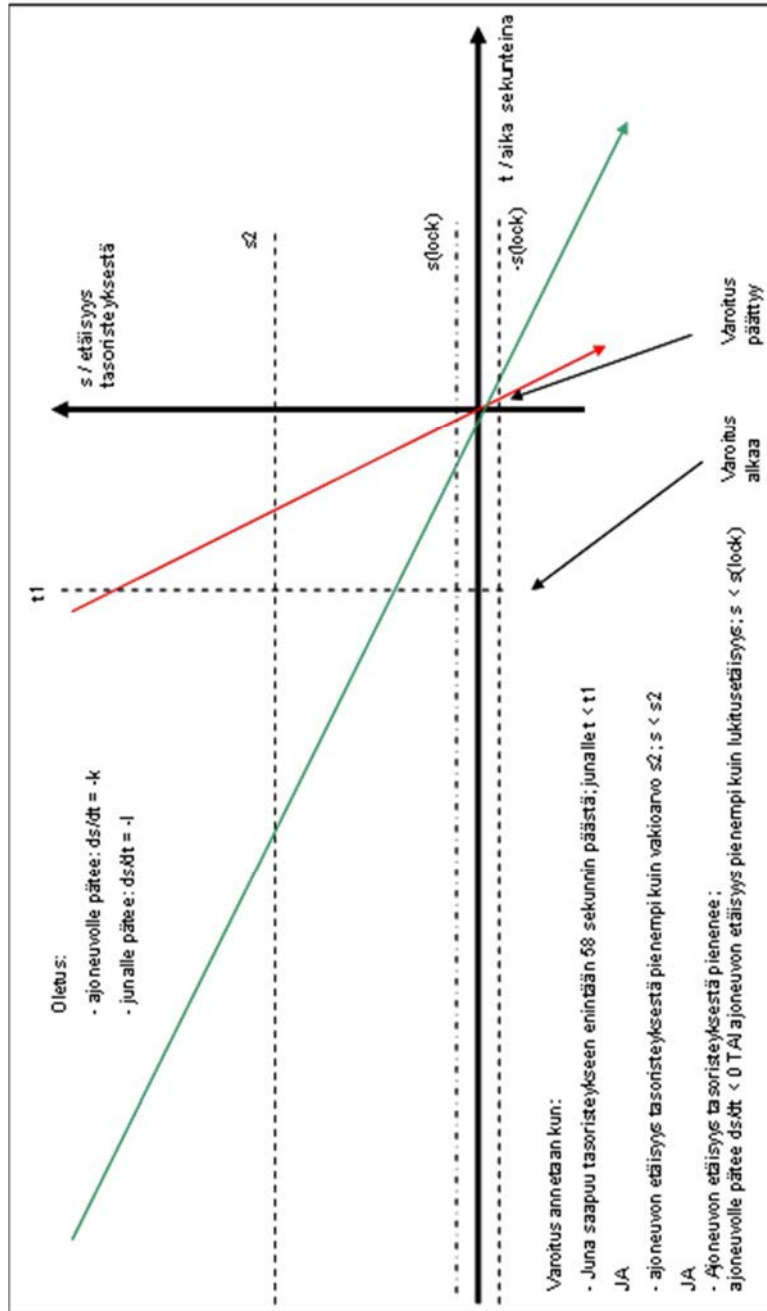
3. Järjestelmän toteutus

koordinaattien sekä mahdollisten muiden tietojen perusteella. Järjestelmän varoitustoiminnallisuuden tavanomainen käyttötapaus on esitetty alla olevassa kuvassa sekvenssidiagrammina (kuva 7). Järjestelmän yksinkertaista käyttötapausta on havainnollistettu myös s/t-koordinaatistossa (kuva 8).



Kuva 7. Järjestelmän tavanomainen käyttötapaus.

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 8. Järjestelmän yksinkertainen käyttötapaus s/t-koordinaatistossa.

Järjestelmän käyttäytymistä muutamissa tavanomaisimmissa virhetilanteissa on havainnollistettu sekvenssidiagrammien avulla esitettyinä käyttötapauksina. Tilanteessa, jossa junalaite paikannuksen tai tietoliikenneyhteyden katkeamisen vuoksi ei kykene lähettämään junan sijaintitietoa palvelimelle, palvelimen tulisi kyetä määrittämään rataosat, joilla paikantamattomia yksiköitä liikkuu tai voi liikkua. Tällöin järjestelmä kykenisi informoimaan ja varoittamaan käyttäjiä, kun järjestelmän tuottama tieto on epätarkkaa (kuva 9).

3. Järjestelmän toteutus

Eri toimijoiden rooleina tunnistettiin seuraavat:

- tienkäyttäjä
- junavaroituspalvelun tarjoaja
- rautatieoperaattori
- junayksikkö
- rautatieinfrastruktuurin haltija
- rautatieviranomainen
- karttapalvelun tarjoaja.

Järjestelmän tietomallia muodostettaessa oletettiin, että

- yksittäinen **junalaite** voi olla asennettuna yhteen tai ei mihinkään **yksikköön**
- jokaisella **junalaitteella** on tila, sijainti ja yksikäsitteinen laitteen numero
- radalla itsenäisesti liikkuvalla **yksiköllä** voi olla asennettuna yksi **junalaite** tai ei lainkaan junalaitetta.
- jokaisella **yksiköllä** on yksikäsitteinen numero ja yksikön tyyppi
- jokaista järjestelmän tuntemaan aikataulun mukaan radalla liikennöitävää **vuoroa** liikennöidään yhdellä tai useammalla **yksiköllä**
- jokaisella **tasoristeyksellä** on yksikäsitteinen numero, sijainti koordinaatteina sekä tasoristeystä koskevan tiedon tarkkuuden kertova tilamuuttuja.

Autossa toimivan junavaroitussjärjestelmän pelkistetty tietomalli on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Autossa toimivan junavaroitussjärjestelmän pelkistetty tietomalli.

Autossa toimivan junavaroitussjärjestelmän pelkistetty tietomalli				
Objekti	Avain tai avaimet	Pakolliset attribuutit	Muut attribuutit	Relaatiot
Junalaite	– Päätelaitteen numero	– Päätelaitteen numero – Yksikön numero – Päätelaitteen tila – Sijainti		– Päätelaitte voi olla asennettuna yhteen tai ei ainoakaan yksikköön .
Yksikkö	– Yksikön numero (esim työkoneen tai veturin numero)	– Yksikön numero (esim työkoneen tai veturin numero)	– Yksikön tyyppi	– Yksiköllä voi olla asennettuna yksi tai ei ainuttakaan junalaitetta . – Yksikkö voi liittyä yhteen, ei ainoakaan tai useisiin aikataulultaan tunnettuihin vuoroihin .
Vuoro	– Vuoron numero (esim. junannumero)	– Vuoron numero (esim. junannumero) – Aikataulu (reittipisteet lähtö- ja saapumisaikoihin)		– Vuoro voi liittyä yhteen, ei ainoakaan tai useisiin yksiköihin .
Tasoristeys	– Tasoristeyksen numero	– Tasoristeyksen numero – Sijainti – Tila – Tiedon tarkkuus	– Rataosa	

Autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän prosessikuvaus on esitetty liitteessä C. Prosessikuvauksessa esiintyvät toiminnot on kuvattu sanallisesti yksityiskohtaisemmin liitteessä D. Eri toimintojen väliset tietovirrat on kuvattu sanallisesti liitteessä E.

3.2.3 Lähtökohtia algoritmien suunnitteluun

Matemaattisesti tarkasteltuna tasoristeyksen lähestyminen voidaan määritellä tilanteeksi, jossa tienkäyttäjä on tasoristeyksen lähistöllä jonkin määritellyn etäisyyden sisäpuolella ja tasoristeyksen ja tienkäyttäjän välinen etäisyys pienenee tai pysyy samana ajan funktiona. Matemaattisen määritelmän toteutuminen ei kuitenkaan takaa sitä, että tienkäyttäjän pyrkimyksenä on ylittää tasoristeys.

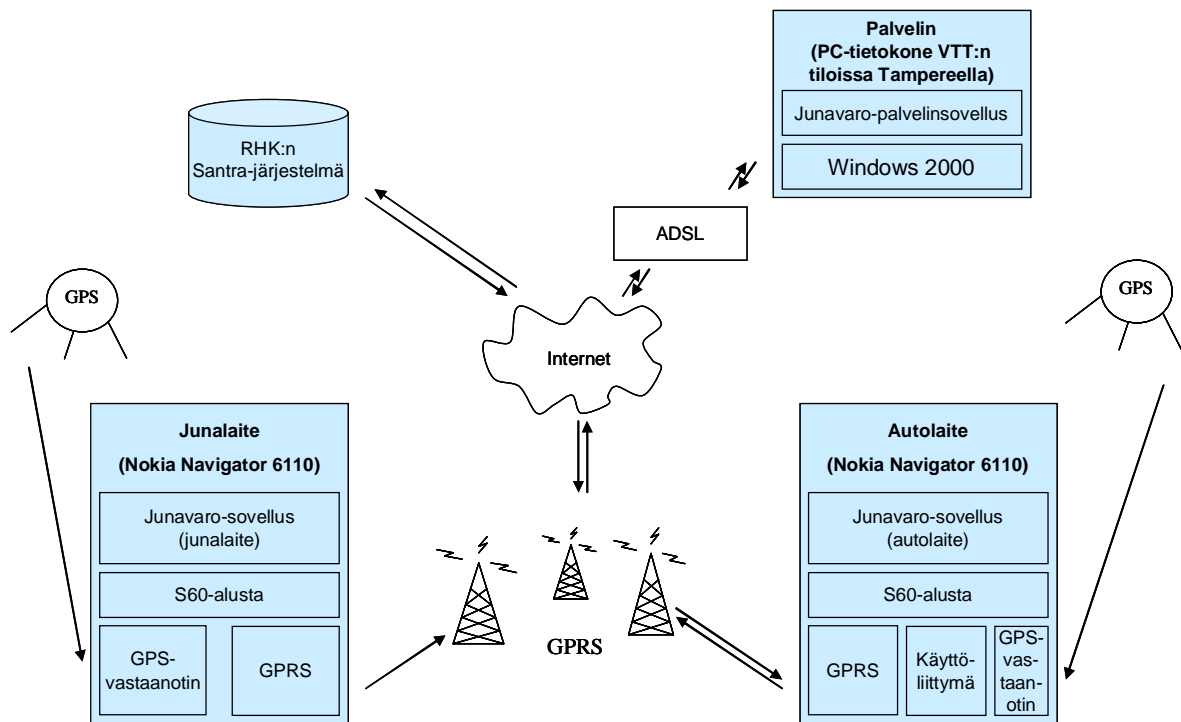
Tienkäyttäjän ja tasoristeyksen välisen etäisyyden pieneneminen voidaan määritellä tilanteena, jossa uudet etäisyyden arvot ovat yhtä suuria tai pienempiä kuin vanhat arvot. Käytännössä etäisyyden pienenemistä voi olla vaikea päätellä GPS:n tuottaman sijaintitiedon perusteella tilanteissa, joissa ajoneuvo on pysähtynyt. Tällöin GPS antaa paikannustuloksia, joiden etäisyys tasoristeyksestä poikkeaa toisistaan, vaikka tienkäyttäjä on paikallaan pysähtyneenä. Tästä syystä järjestelmään on toteutettava eräänlainen lukitusominaisuus, joka ”lukitsee ajoneuvon tasoristeykseen”, kun etäisyys tasoristeyksestä on riittävän lyhyt.

Tasoristeystä lähestyvän ajoneuvon reittiä tai määränpäättä ei yleensä voida olettaa tunnetuksi. Pelkän tasoristeyksen ja käyttäjän välisen etäisyyden perusteella ei myöskään aina voida päätellä sitä, pyrkiikö käyttäjä ylittämään lähistöllä olevan tasoristeyksen vai ei. Mahdollinen on esimerkiksi tilanne, jossa tienkäyttäjä lähestyy T-risteystä, jonka toisen haaran takana on järjestelmään kuuluva tasoristeys. Varoitustieto voi siis olla oikeaa kaikkien T-risteystä lähestyvien näkökulmasta mutta merkityksellistä vain tasoristeyksen suuntaan risteyksestä kääntyville tienkäyttäjille. Järjestelmän algoritmien suunnittelussa joudutaan siis huomioimaan myös mahdollisuus kohdistaa varoitus vain niille kuljettajille, joille tasoristeystä koskeva varoitustieto on merkityksellistä.

3.2.4 Junavaroitusjärjestelmän tekninen arkkitehtuuri

Hankkeen alkuvaiheessa laadittu suunnitelma järjestelmän tekniseksi arkkitehtuuriksi on esitetty kuvassa 10. Kyseessä on hankkeen alkuvaiheessa laadittu suunnitelma, joka täsmentyi järjestelmän toteutuksen aikana.

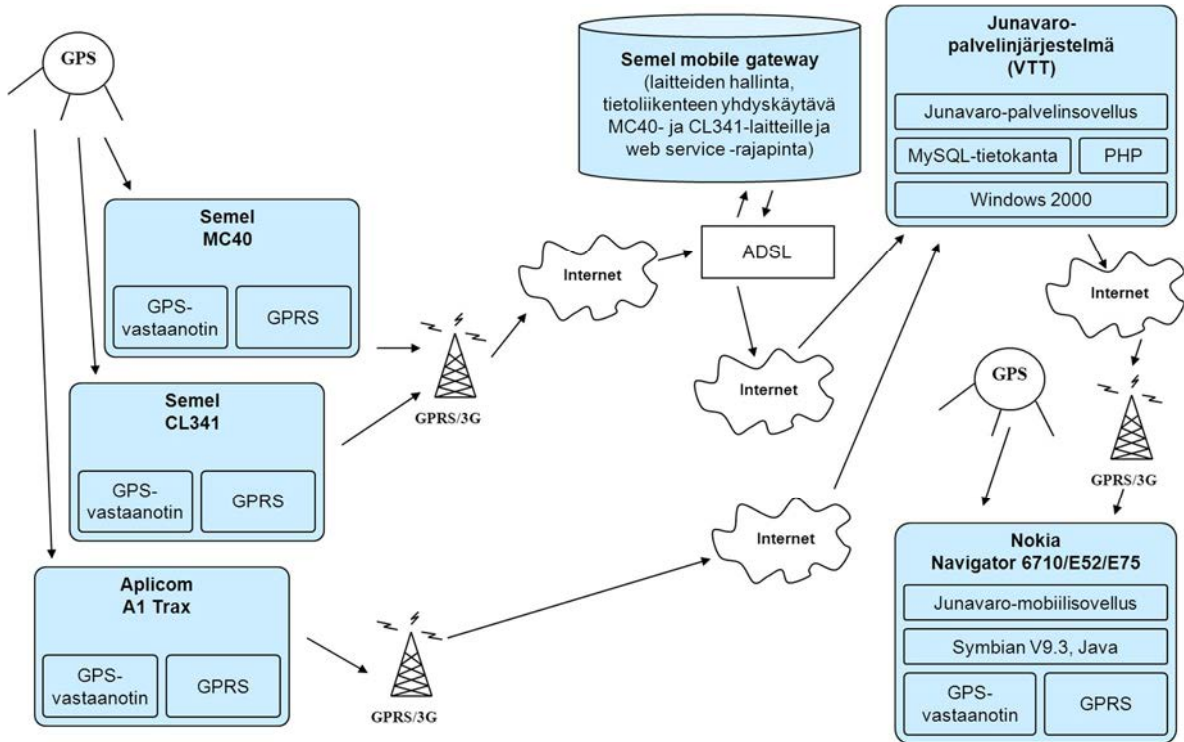
3. Järjestelmän toteutus



Kuva 10. Suunnitelma järjestelmän tekniseksi arkkitehtuuriksi.

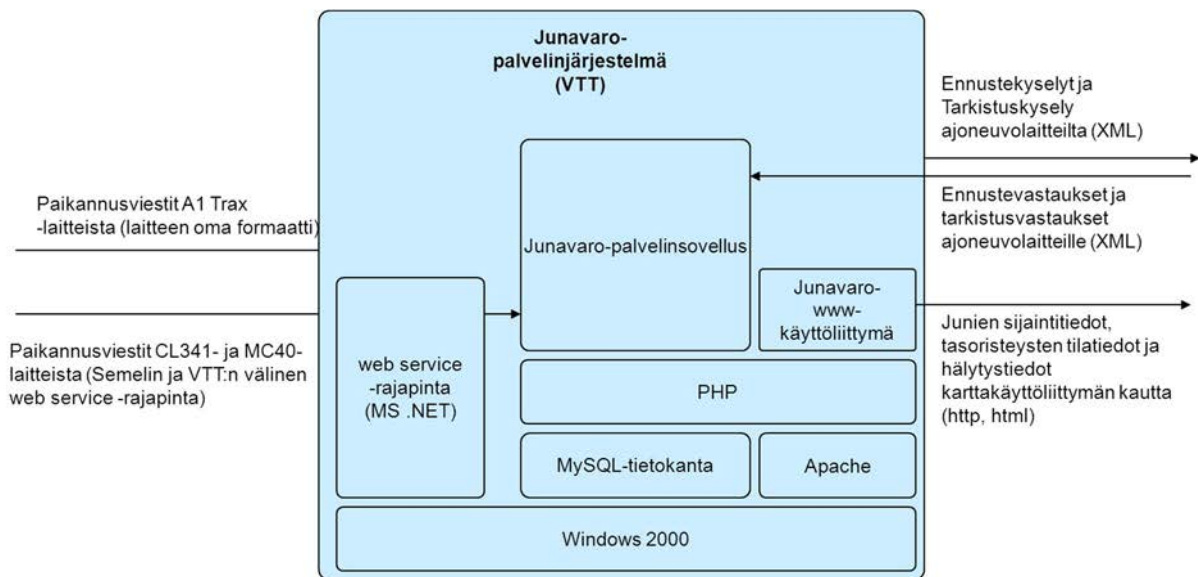
Hankkeessa toteutetun autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän tekninen arkkitehtuuri esitettiin va-paamuotoisilla kaavioilla. Niillä pyrittiin esittämään laite- ja ohjelmistokomponentit, joiden avulla järjestelmän toiminnallisuus on toteutettu. Järjestelmän teknistä arkkitehtuuria koskeva yleiskuva on esitetty kuvassa 11.

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 11. Junavaroitusjärjestelmän tekninen arkkitehtuuri.

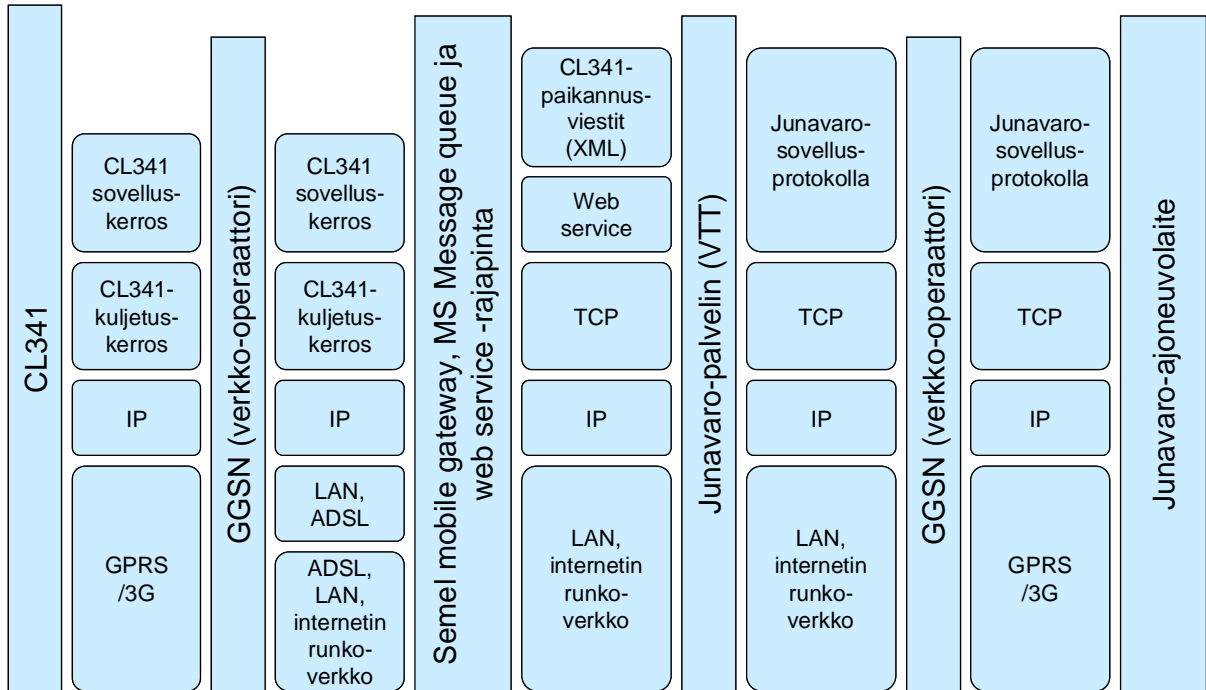
Hankkeessa toteutettu Junavaro-palvelinjärjestelmä tuottaa junien ajantasaisten sijaintitietojen perusteella taseuristeysten tilatiedot. Palvelinjärjestelmän toteutusta ja rakennetta on havainnollistettu kuvassa 12.



Kuva 12. Junavaro-palvelinjärjestelmä.

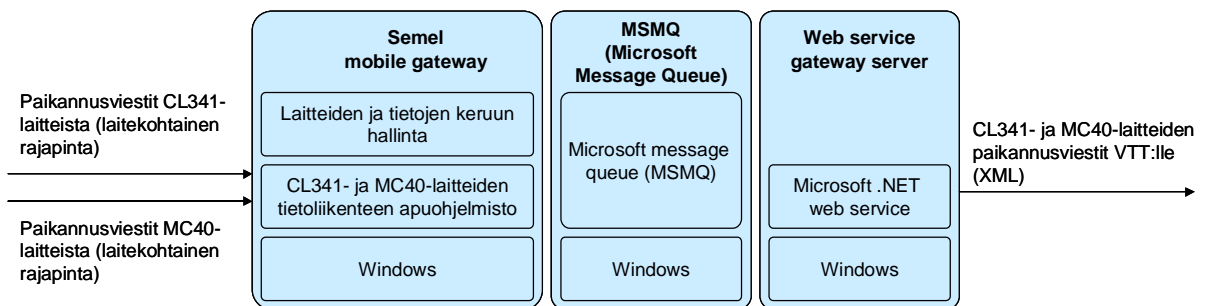
3. Järjestelmän toteutus

Järjestelmään liitetyistä paikannuslaitteista (junalaitteet) osa lähettää sijaintinsa suoraan VTT:n Junavaro-palvelimelle ja osa lähettää viestinsä Semelin palvelimen kautta VTT:lle. Junavaro-järjestelmän protokollapinot on esitetty erillisinä kuvina molemmissa edellä mainituissa tapauksissa (kuvat 13 ja 15).

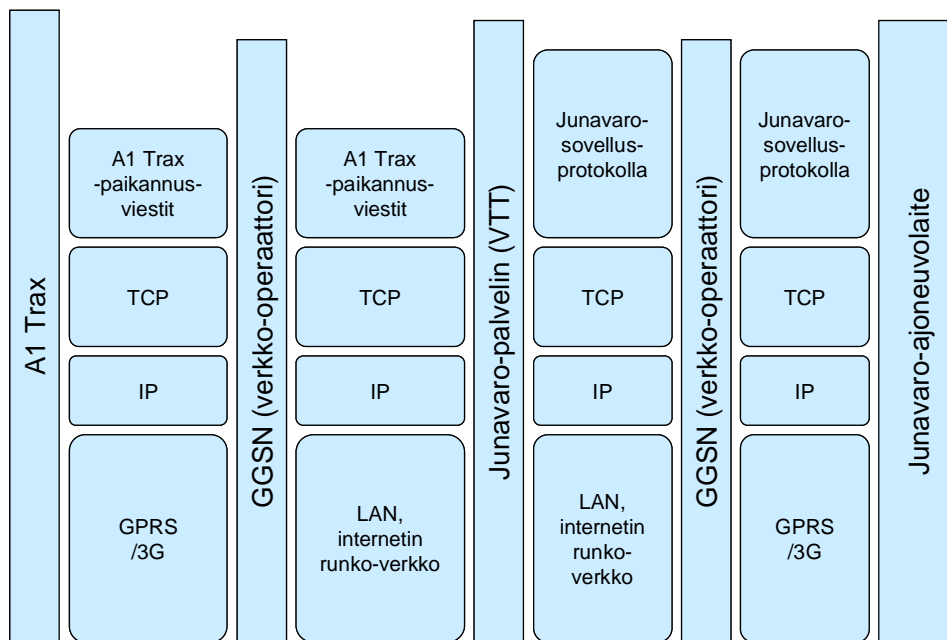


Kuva 13. Junavaroitusjärjestelmän yksinkertaistettu protokollapino (CL341- ja MC40-laitteet).

CL341- ja MC40-laitteiden viestejä VTT:lle välittäneen Semelin palvelinjärjestelmän rakenne on pääpiirteissään esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Semelin palvelinjärjestelmän rakenne.



Kuva 15. Junavaro-järjestelmän yksinkertaistettu protokollapino (A1 Trax -laitteet).

3.3 Junavaroitusjärjestelmän osakomponentit ja laiteasennukset

3.3.1 Ajoneuvolaitteet

Laitealustan valinta

Järjestelmän ajoneuvolaitteen valinnan tueksi kerättiin internetin välityksellä tietoja markkinoilla olevista autonavigaattoreista, matkapuhelimista ja muista tarkoitukseen mahdollisesti soveltuvista päätelaitteista. Tietoa haettiin matkapuhelin- ja atk-tarvikekauppioiden sekä autotarvikeliikkeiden verkkosivuilta. Tavoitteena oli löytää päätelaite tai laitekoonpano, joka parhaiten soveltuisi käytettäväksi pilotin ajoneuvolaitteistona.

Tiedonhaku suunnattiin erityisesti päätelaitteisiin, joiden avulla voidaan toteuttaa junavaroitusjärjestelmän ajoneuvolaitteelta vaadittava toiminnallisuus, kuten paikannus, tietoliikenne, tietojenkäsittely, taseysteysten tilatiedon nouto tietoliikenneyhteyden yli ja käyttäjän varoittaminen äänimerkillä. Laitteiden toimintojen ja hintojen lisäksi kiinnitettiin huomiota siihen, millä tavalla laite on asennettavissa ajoneuvoon ja millaiset rajapinnat se tarjoaa ohjelmistokehitykselle. Tiedot kerättiin pian hankkeen käynnistyttyä, vuoden 2008 alussa. Tiedonkeruun tuloksena saatiin kolme eri laiteistokokoonpanoa, joilla olisi todennäköisesti voitu toteuttaa järjestelmän ajoneuvolaitteisto (taulukko 7).

3. Järjestelmän toteutus

Taulukko 7. Analysoidut laitteistokokoonpanot.

Analysoidut laitteistokokoonpanot			
	Matkapuhelin ja erillinen GPS-vastaanotin	Windows-käyttöjärjestelmällä varustettu navigaattori ja GPRS-modeemi	Navigaattorina toimiva matkapuhelin
Tarvittavat laitteet	Käyttäjän matkapuhelin ja ajoneuvoon sijoitettu GPS-vastaanotin	Ajoneuvoon asennettu navigaattori ja navigaattoriin kytketty GPRS-modeemi	Ajoneuvoon asennettu navigaattorina toimiva matkapuhelin
Tarvittavat asennustarvikkeet	– matkapuhelimen autoteline – tupakansytyttimeen kytkettävä puhelimen autolaturi (ei asennustarvikkeita vaihtoehdossa, jossa puhelin kuljettajan taskussa)	– navigaattorin kiinnike ajoneuvon rakenteisiin – GPRS-modeemin ja navigaattorin välinen datakaapeli – GPRS-modeemin virtajohto – auton tupakansytytintään haaroitin – auton tupakansytyttimeen kytkettävä navigaattorin virtajohto – auton tupakansytyttimeen kytkettävä GPRS-modeemin virtajohto	– matkapuhelimen autoteline – tupakansytyttimeen kytkettävä puhelimen autolaturi
Ohjelmointirajapinnat	Matkapuhelinvalmistajan tarjoamat rajapinnat (tyypillisesti S60)	Windows mobile –käyttöjärjestelmän tarjoamat rajapinnat, jotka voivat vaihdella laitteittain.	Matkapuhelinvalmistajan tarjoamat rajapinnat (tyypillisesti S60)
Potentiaalisia laitteita	Nokia 6021 + Insmat Bluetooth GPS InsSif III	Hakkapeliitta-navigaattori + Huawei 220 USB-modeemi	Nokia navigator 6110
Vahvuudet	– autolaitteena käytettävä matkapuhelin voidaan valita melko vapaasti – mahdollisuus hyödyntää kuljettajan taskussa olevaa puhelinta	– autonavigaattorin mukana toimitetaan usein myös asennustarvikkeet – autonavigaattori on nimenomaan ajoneuvokäyttöön suunniteltu laite ja todennäköisesti kestävä matkapuhelinta paremmin ajoneuvokäytön olosuhteita	– sisäänrakennettu GPS, ei erillisen GPS:n ongelmia – ohjelmointirajapinnat olemassa, dokumentaation saatavuus kohtalaisen hyvä – mahdollisuus hyödyntää laitteen valmistajan AGPS-palvelua paikannuksen käynnistymisen nopeuttamiseksi
Heikkoudet	– bluetooth-yhteys GPS-vastaanottimen ja puhelimen välillä voi jäädä muodostumatta tai vaatia konfigurointia – erillinen bluetooth-GPS vaatii tupakansytyttimen liitännään kytkettävän virtajohtojen, akun lataamista tai paristojen vaihdon kenttäkokeen aikana	– ohjelmointirajapinnat ovat olenassa, dokumentaation saatavuus on rajallista – edullisten Windows-käyttöjärjestelmällä varustettujen navigaattoreiden toimitusaika voi olla pitkä – joidenkin navigaattoreiden mukana toimitettavat asennustarvikkeet eivät voimassa olevien säädösten mukaisia	– valmistajan omien asennustarvikkeiden hinnat ovat korkeat

Potentiaalisia ajoneuvolaitteita kartoitettaessa tavoitteena oli laitteisto, jonka avulla voidaan saavuttaa luotettava toiminta pilotin aikana ja joka ei vaadi käyttäjältään erityistä huoltoa tai muita toimenpiteitä. Edellä mainituista syistä jouduttiin luopumaan esimerkiksi matkapuhelimeen bluetooth-tekniikalla kytkettävien erillisten GPS-vastaanottimien käytöstä. Tämä olisi edellyttänyt GPS-vastaanottimen

paristojen vaihtamista tai akkujen lataamista säännöllisesti, mikä olisi ollut vastoin järjestelmälle asetettua helppokäyttöisyyden vaatimusta.

Kerättyjen tietojen perusteella muodostettiin kolme vaihtoehtoista toteutustapaa järjestelmän ajoneuvolaitteistolle. Niistä ensimmäinen käytti erillistä matkapuhelimeen liitettävää GPS-vastaanotinta. Vaihtoehtoista toinen oli Microsoftin Windows-käyttöjärjestelmällä varustettu autonavigaattori, johon liitettiin erillinen GPRS-modeemi. Vaihtoehtoista kolmas oli navigaattorina toimiva matkapuhelin, joka sisälsi itsessään kaikki ajoneuvolaitteiston ominaisuudet.

Kolmas vaihtoehto perustui navigaattorina toimivaan matkapuhelimeen. Puhelin asennettiin navigaattorin tapaan ajoneuvoon. Etuna muihin vaihtoehtoina nähtiin se, ettei mitään erillisiä apulaitteita tarvittu. Tämä tukee ajoneuvolaitteiston luotettavuutta ja helppokäyttöisyyttä. Kaikkien toimintojen toteuttaminen samalla laitteella auttaa myös hallitsemaan ohjelmistokehityksen kustannuksia ja pitämään laitteiden asennuksesta ja käyttäjien tuesta aiheutuvat kustannukset kohtuullisissa rajoissa.

Edellä mainituista syistä hankkeen alkuvaiheessa junavaroitussjärjestelmän ajoneuvolaitteeksi valittiin Nokia 6110 Navigator ja ohjelmistokehityksen alustaksi Java-tuella ja tarvittavilla rajapinnoilla varustettu S60-ohjelmistoalusta. Taulukossa mainittu esimerkkilaitte Nokia 6110 Navigator tuli markkinoille vasta hankkeen aikana. Ajoneuvolaitteen toteuttamisen Java-ohjelmistona nähtiin tukevan mahdollisuutta hyödyntää toteutettavaa ajoneuvolaitteen ohjelmistoa myös sen jälkeen, kun yksittäisen laitemallin elinkaari päättyy.

Satelliittipaikannuksella varustettujen mobiililaitteiden ja navigaattoreiden markkinat kehittyvät nopeasti, ja yksittäisen laitemallin elinkaari on rajallinen. Tästä syystä edellä mainitun kartoituksen tulos olisi ollut olennaisesti erilainen, jos se olisi tehty uudelleen hankkeen loppuvaiheessa tai hankkeen päätyttyä vuoden 2011 aikana.

Junavaro-ajoneuvosovelluksen ohjelmistokehitys aloitettiin Nokia 6110 Navigatoria laitealustana hyödyntäen. Pian tämän jälkeen Nokia 6110 Navigator -puhelimien saatavuus päättyi ja kyseinen malli korvautui uudemmilla versioilla (Nokia 6210 Navigator ja Nokia 6710 Navigator), jotka olivat monessa suhteessa samanlaisia kuin edeltäjänsä. Junavaro-ajoneuvosovelluksen kehitystyön ollessa loppusuoralla loppui myös Nokia 6710 Navigator -puhelimien saatavuus. Junavaro-asiakasohjelmisto soveltuu kuitenkin käytettäväksi myös useissa muissa Nokian valmistamissa ohjelmistokokoonpanoltaan samankaltaisissa ja GPS:llä varustetuissa puhelimissa. Tuotantovaiheen järjestelmässä autolaitte voidaan toteuttaa esimerkiksi navigaattorin tai jonkin muun ajoneuvossa jo olevan laitteen lisäominaisuutena.

Kenttäkokeessa hyödynnetty ajoneuvolaitteisto

Järjestelmän ajoneuvolaitteena pilotissa hyödynnettiin Nokian E52-matkapuhelimia, jotka on varustettu sisäisellä GPS-vastaanottimella ja S60-ohjelmistoalustalla. Itse puhelimen lisäksi ajoneuvolaitteisto koostui ajoneuvon tuulilasiin asennettavasta kiinnikkeestä sekä ajoneuvon tupakansytytinliitäntään kytkettävästä laturista. Pilotissa hyödynnetty tiedonsiirto toteutettiin Sonera Oyj:n liittymien avulla. Ajoneuvolaitteiston osat on esitetty kuvassa 16. Ajoneuvolaitteisto asennettiin kenttäkokeessa yhteensä neljään ajoneuvoon.

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 16. Junavaroitusjärjestelmän kokeilussa hyödynnetty ajoneuvolaitteisto.

3.3.2 Junalaitteet ja laiteasennukset juniin

Järjestelmän toiminta perustuu junien sijaintitietojen keräämiseen palvelimelle, jolla lasketaan tasoris-teyksille tilatiedot. Laitteiden asennuksia suunniteltaessa jouduttiin huomioimaan pilottialueella eli Hanko–Hyvinkää-rataosalla liikkuvan kaluston ominaisuudet, asennusten toimivuus ja organisointi sekä käytettävissä olevien paikannuslaitteiden ominaisuudet.

Juniin tehtyjen asennusten määrät

Asennuksia suunniteltaessa pyrittiin siihen, että kaikki alueella säännöllisesti liikkuva kalusto olisi liitetty järjestelmään. Junalaite voitiin asentaa vain osaan VR-Yhtymä Oy:n kalustosta, jotta järjestel-män toteuttamiseen liittyvät kustannukset olisivat pysyneet kohtuullisina. Hankkeen toteutusta suunni-teltaessa päädyttiin vaihtoehtoon, jossa junalaitteilla varustettiin Hanko–Hyvinkää-rataa säännöllisesti käyttävät Tampereelle sijoitetut Dv12-veturit sekä osa Dm12-kiskobusseista, joita käytetään muun muassa Karjaa–Hanko-radon matkustajaliikenteessä. Dv12-dieselvetureihin asennettiin pääsääntöisesti CL341- ja MC40-laitteita. Kaikki kiskobusseihin asennetut laitteet olivat A1 Trax -tyyppisiä. Asen-nusten määrät tarkentuivat hankkeen aikana. Hankkeen aikana korvattiin joitakin rikkoutuneiksi todet-tuja tai epäiltyjä laitteita uusilla. Asennusten määrät kalusto- ja laitetyypeittäin vuoden 2010 lopulla on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 8).

Taulukko 8. Juniin toteutettujen asennusten määrät 1.11.2010.

Toteutetut asennukset kalusto- ja laitetyypeittäin			
	Dv12	Dm12	Yhteensä
CL341	27	-	27
MC40	20	-	20
A1 Trax	2	5	7
Yhteensä	49	5	54

Aplicom A1 Trax

Aplicom A1 Trax on alun perin tieliikenteessä kalustonhallinnan sovelluksiin ja paikannukseen suunniteltu laite. Laitteita asennettiin hankkeessa aluksi Dm12-kiskobusseihin ja sen jälkeen rikkoutuneiden laitteiden tilalle joihinkin Dv12-dieselvetureihin.

Dm12-kiskobusseissa laite asennettiin matkustamossa sijaitsevaan kojekaappiin ja kiinnitettiin siellä DIN-kiskoon erillisellä asennusraudalla (kuva 17). Laitteelle otettiin käyttöjännite (24 V, tasajännite) kojekaapissa sijaitsevasta riviliittimistä. Laite kiinnitettiin asennusrautaan ja se kiinnitettiin kojekaappiin koneruuveilla. Laitteen GSM- ja GPS-antennit asennettiin kiskobussin katolle. Antennit asennettiin keskellä kiskobussin kattoa sijaitsevan antenniläpiviennin kautta (kuva 18). Antennit asennettiin etukäteen valmiiksi katolle asennettuun antennijalkaan ja suojattiin säältä suojakuvulla (kuva 19). Antennien johdot pujotettiin ulkoapäin kattoläpiviennin reiästä sisätiloihin, ja antennijalka kiinnitettiin pulteilla läpiviennin kiinnitysreikiin. VR:n henkilökunta asensi laitteet kiskobusseihin VR:n toimipisteissä Pieksämäellä ja Tampereella.

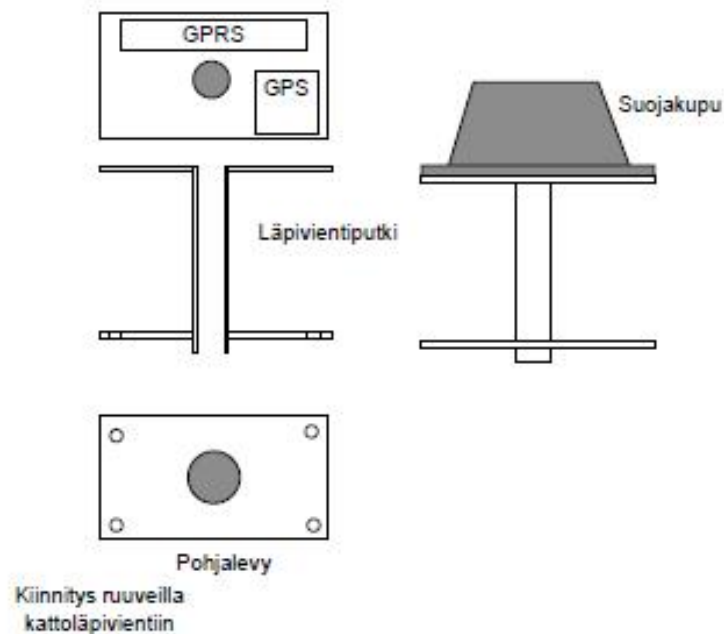
3. Järjestelmän toteutus



Kuva 17. Apicom A1 Trax paikallaan Dm12-kiskobussissa.



Kuva 18. Antenniläpivienti Dm12-kiskobussin katolla.



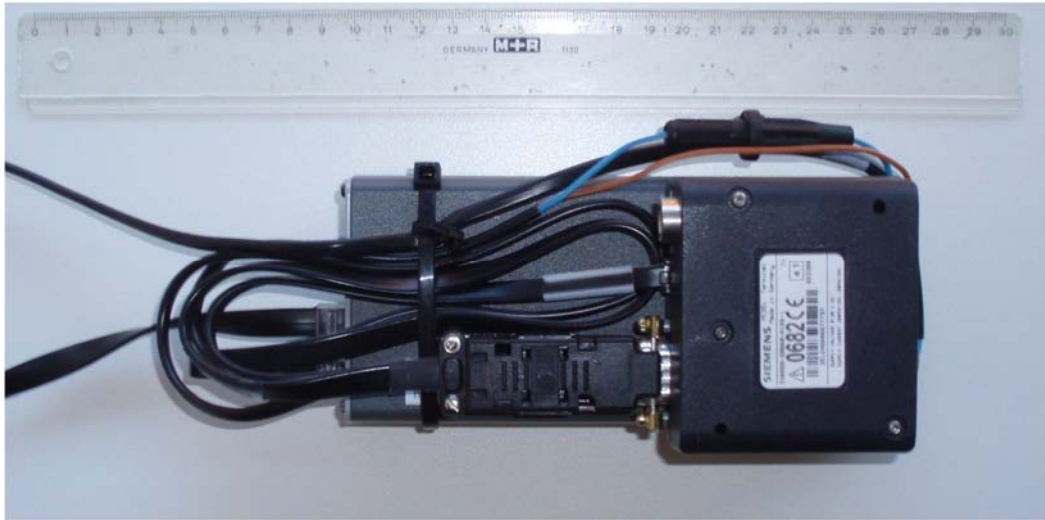
Kuva 19. A1 Trax -laitteen antennien asennustapa Dm12-kiskobussiin, kiskobussiin kiinnitettävä antennielementti.

Aplicom A1 Trax -laitteiden sisältämä, laitteen toimintaa ohjaava ohjelmisto on päivitettävissä laitevalmistajalta saatavilla olevan erillisen työkaluohjelman avulla. Kenttäkokeen aikana havaittiin, että laitteiden luotettava toiminta edellytti laitteen uudelleenkäynnistystä säännöllisin väliajoin. Uudelleenkäynnistys toteutettiin laitevalmistajan ohjeiden perusteella VTT:llä tehdyllä muutoksella laitteen ohjelmistoon.

Semel CL341

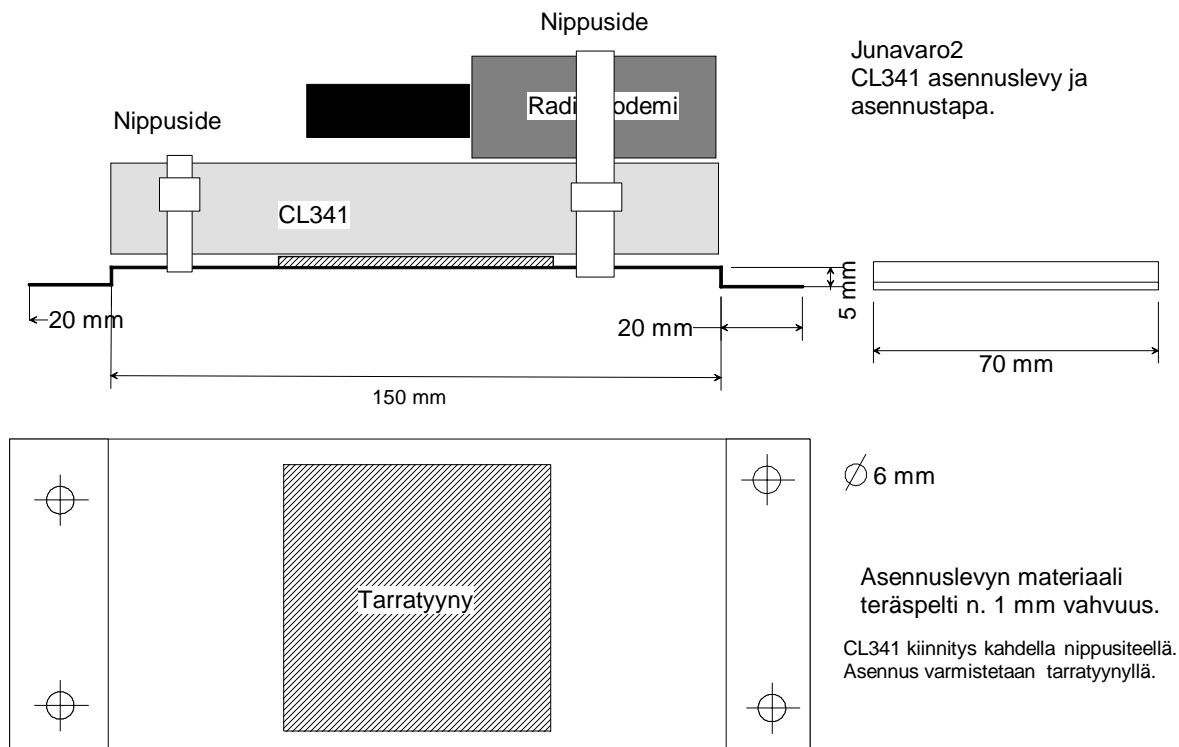
Semel CL341 on paikannuslaite ja ajoneuvokäyttöön suunniteltu tietokone, johon voidaan tarvittaessa liittää erillinen modeemi. Laitetta käytettiin kenttäkokeessa yhdessä Siemensin MC35i-modeemin kanssa. Alla olevassa kuvassa on esitetty laite modeemilla varustettuna (kuva 20).

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 20. CL341-paikannuslaite ja MC35i-modeemi.

Hankkeessa käytetyt CL341-paikannuslaitteet modeemeineen saatiin lainaksi hankkeessa mukana olevalta VTT:n yhteistyökumppanilta, Semel Oy:ltä. Laitteissa käytettiin erillisiä GSM- ja GPS-antenneja. Laitteet kiinnitettiin ensin erilliseen asennusrautaan, joka puolestaan kiinnitettiin veturiin (kuvat 21 ja 22).



Kuva 21. CL341-laitteiden asennustapa Dv12-dieselvetureissa.

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 22. Laitteen asennuspaikka ns. X-kaapin kyljessä (2700-sarjan veturit).

Laitteiden antennit asennettiin veturin ohjaamoon ja kiinnitettiin ikkunan lähetyville magneettisesti tai liimaamalla (kuva 23).



Kuva 23. CL341-laitteen antennien asennuspaikka Dv12-dieselveturin ohjaamossa.

3. Järjestelmän toteutus

Tuotantovaiheen järjestelmässä junalaite todennäköisesti toteutettaisiin erillisen paikannuslaitteen avulla tai yksikköön jo asennettujen laitteiden tuottamaa paikannustietoa hyödyntämällä.

Semel MC40

Semel MC40 on ajoneuvokäyttöön suunniteltu paikannuslaite, joka on varustettu sisäisellä GPS-vastaanottimella ja GPRS-modeemilla. Laitteen käyttöjärjestelmä on Windows CE. Paikannukseen, laitteen tietoliikenteeseen ja laitehallintaan liittyvä toiminnallisuus oli toteutettu Semelin tai sen yhteistyökumppanin ohjelmistoilla. Laitteita asennettiin joihinkin Dv12-dieselvetureihin, ja niiden asennustapa oli olennaisilta osiltaan sama kuin CL341-laitteiden.

Laitteisiin toteutetut muutokset ja parannukset

Kaikki järjestelmän toteutuksessa hyödynnetyt laitetypit lähettävät viestiensä mukana tiedon laitteen toteuttaman GPS-paikannuksen onnistumisesta. Paikannuksen onnistumista koskevan tiedon tarkoituksena on mahdollistaa virheellisten tai tarkkuudeltaan heikkojen paikannustulosten erottaminen luotettavista paikannustuloksista. Järjestelmän toteutuksessa hyödynnetyt laitteet paikansivat itsensä vähintään kerran sekunnissa ja lähettivät sijaintitietonsa palvelimelle pääsääntöisesti viiden sekunnin välein.

Järjestelmää toteutettaessa havaittiin, ettei CL341-laitteiden GPS-paikannuksen saatavuus vastannut paikannuksen toimintaa uudemmissa laitetyypeissä. Tarkkailtaessa paikannuksen toimintaa CL341-laitteiden lähettämistä paikannusviesteistä jopa 10–20 % saattoi olla sellaisia, joissa GPS-paikannuksen onnistumista kuvaava muuttuja GPSTFix sai arvon nolla (0 = paikannus epäonnistunut, 1 = onnistunut paikannus). Osana paikannuksen onnistumista tarkasteltiin myös laitteen raportoimaa, sen paikannushetkellä näkemien satelliittien määrää. Aineistossa esiintyi myös tilanteita, joissa CL341-laite näki useita satelliitteja, mutta paikannus ei kuitenkaan onnistunut. Syyksi edellä mainitun kaltaiseen ilmiöön epäiltiin virhettä paikannustuloksen laskennassa tai laitteen signaalinkäsittelyssä sekä laitteen GPS-vastaanottimen nykyisiä vastaanottimia vähäisempää herkkyyttä.

Viestit, joissa paikannuksen tulos ei ollut luotettava (GPSTFix = 0), tallennettiin palvelimelle tietokantaan, mutta niiden perusteella ei laskettu ohitusennusteita tasoristeyksiin. Laitteen lähettämissä viesteissä GPSTFix sai arvon nolla myös niissä tilanteissa, joissa jokin edellisen viisi sekuntia sitten lähteneen viestin jälkeinen paikannus oli onnistunut, mutta viimeisin paikannus ennen viestin lähtöä epäonnistui. Laitteen ohjelmistoa muutettiin siten, että GPSTFix sai arvon 1, jos yksikin edellisen viestin jälkeisistä paikannuksista oli onnistunut. Korjauksen avulla pyrittiin varmistamaan, että myös 1–4 sekuntia vanhat paikannustiedot tulivat hyödynnetyiksi järjestelmään kuuluvan palvelimen tekemässä laskennassa.

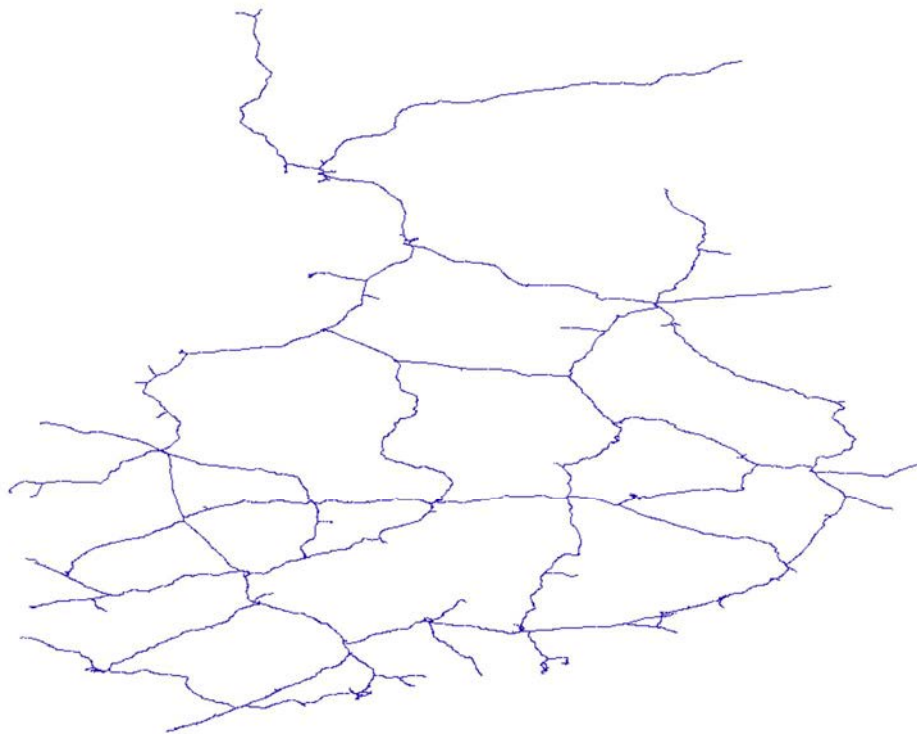
Toteutuksen aikana havaittiin myös, että A1 Trax -laitteiden luotettava toiminta edellytti laitteen säännöllistä uudelleenkäynnistämistä. Laitteen konfiguraatiota muuttamalla siihen toteutettiin ohjelmallisilla keinoilla uudelleenkäynnistys kerran vuorokaudessa.

MC40-laitteissa havaittiin toteutuksen aikana ohjelmistovirhe, joka aiheutti laitteesta lähetettyjen paikannusviestien aikaleimoihin karkeita virheitä. Ongelmasta informoitiin Semeliä, joka vian paikann-

nettuaan toteutti MC40-laitteisiin ohjelmistopäivityksen. Ohjelmistopäivitys asennettiin verkon kautta laitteisiin, mikä poisti aikaleimoissa esiintyvät virheet useimmista MC40-laitteista.

3.3.3 Rataverkon kuvaustietokanta ja Junavaro-palvelinsovellus

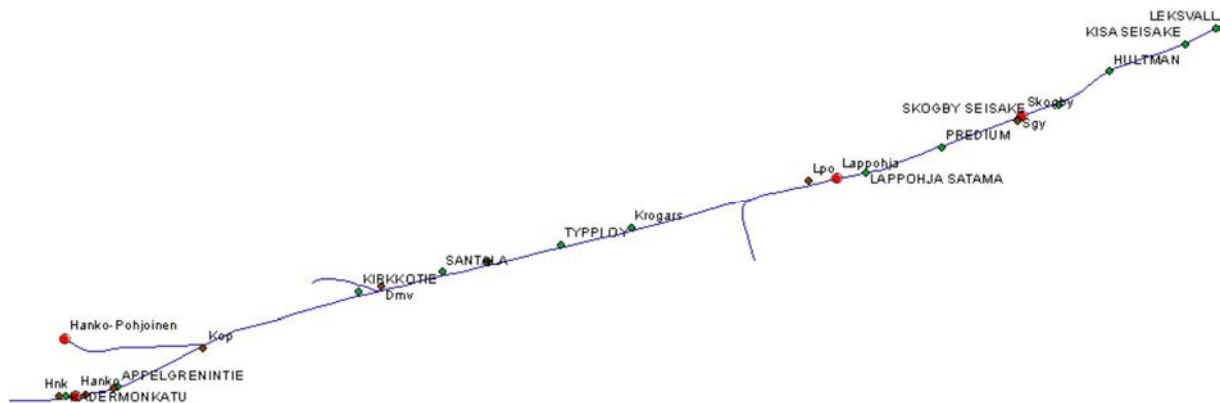
Projektin käyttöön saatiin RHK:lta ratatietokanta sekä listat rautatieasemista, liikennepaikoista, liikenneväleistä ja tasoristeyksistä. Tiedot olivat huhtikuulta 2008. Ratatietokanta sisälsi vajaat 100 000 koordinaattipistettä (kuva 24). Tietokannasta puuttuivat muun muassa valtion rataverkkoon kuulumattomat yksityisraiteet.



Kuva 24. Suomen rataverkko.

Tietokannassa rata oli alun perin jaettu 6 157 erilliseen osaan. Rautatieasemia oli aineistossa 225, liikennepaikkoja 541, liikennevälejä 547 ja tasoristeyksiä 3 529 kappaletta. Rataverkon tietokannan tietoja osasta pilottialuetta on esitetty kuvassa 25.

3. Järjestelmän toteutus



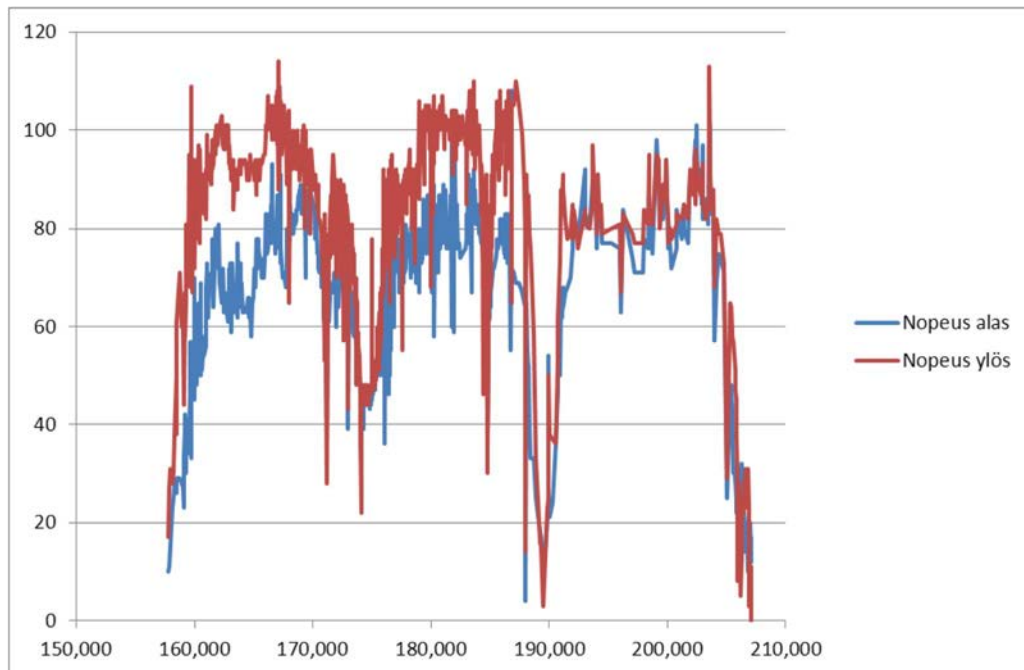
Kuva 25. Rataverkon tietokannan tietoja pilottialueelta. Asemat on merkitty punaisella ympyrällä, liikennepaikat ruskealla vinoneliöllä ja tasoristeykset vihreällä vinoneliöllä.

Tietokantaa muokattiin paremmin toimintaan sopivaksi. Santra-aikataulujärjestelmästä saatava junan reitti annetaan niiden liikennepaikkojen listana, joiden kautta juna kulkee. Rataverkko jaettiin liikennevälien mukaisesti rataväleihin. Näin Santran antamasta reitistä olisi voitu suoraviivaisesti muodostaa tarkka reittikuvaus poimimalla ratavälitaulut tietokannasta. Myös tasoristeykset sijoitettiin rataväleille. Näin menetellen oli yksinkertaista tehdä lista niistä tasoristeyksistä, jotka osuivat junan reitille. Kuvaustietokantaan talletettiin liikennepaikkataulu, liikennevälitaulu, tasoristeystaulu sekä ratavälitaulu. Sijaintitiedon käsittelyn nopeuttamiseksi rataväleistä muodostettiin myös ”bounding box” -taulu, jossa oli kunkin ratavälin maksimi- ja minimikoordinaattien muodostama suorakaide.

Palvelimen tehtävänä oli ottaa vastaan junalaitteilta sijaintitieto ja laskea sen perusteella sekä hälytys- että saapumisaajan ennustetieto. Tiedot päivitettiin tietokannan tasoristeysten tilatiedot sisältävään tauluun. Kiskobusseihin asennetut Aplicom-laitteet konfiguroitiin lähettämään tietonsa suoraan palvelimelle. Dieselveureiden Semel-laitteiden tiedonsiirto kulki Semel Oy:n kautta. Tätä varten tehtiin web service -rajapinta, joka oli yhteydessä Semelin palvelimeen. Rajapinnan kautta saapuva viestiliikenne käännettiin edelleen varsinaiselle palvelimelle.

Palvelin mitoitettiin noin 100 junalaitteelle. Palvelinohjelmisto tehtiin itse. Ohjelmistossa oli reaaliaikainen kerros, joka käytti tietokantaa vain varastona. Laskentaa varten tarvittava tieto säilytettiin ohjelman sisäisessä muistissa. Kun sijaintitieto kultakin laitteelta saatiin 5 sekunnin välein, jäi yhden viestin käsittelylle aikaa alle 50 millisekuntia. Palvelin myös kykeni tähän, kunhan tietokannan käyttöä hieman optimoitiin. Palvelin selviytyi hyvin ja kaatumatta myös tietoliikennekatkosten jälkeisestä viestitulvan purkamisesta. Yhden vanhentuneen viestin käsittely vaati keskimäärin 3 millisekuntia. Viestit talletettiin sellaisenaan myös tietokannan lokitauluun.

Ennusteen laskentaa varten järjestelmä keräsi myös tietoa junien nopeuksista. Keräys oli toiminnassa vain pilottirataosilla 141 ja 142. Nopeusprofiili laskettiin erikseen molempiin suuntiin (kuva 26). Tarkempi tulos olisi saavutettu erottelemalla matkustaja- ja tavarajunat toisistaan. Junan sijainnin perusteella laskettiin etäisyys rataa pitkin tasoristeykseen. Samalla integroitiin matkaan kuluva aika ottaen huomioon keskimäärin toteutunut nopeus ratapisteiden välillä. Kertynyt aika lisättiin mittaushetken aikaan ja tallennettiin saapumisaikaennusteena tasoristeysten tila -tauluun.



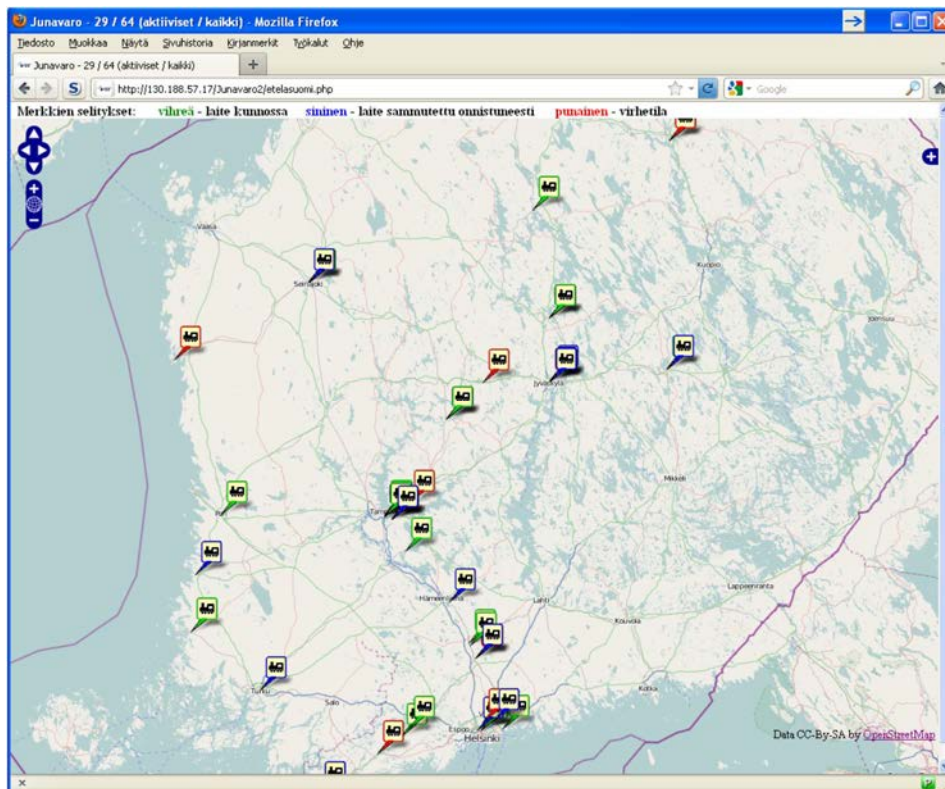
Kuva 26. Toteutunut nopeusprofiili rataosalla 142 Karjaa–Hanko.

3.3.4 Junavaro-www-käyttöliittymä

Järjestelmän ylläpidon helpottamiseksi ja toiminnan visualisoimiseksi toimistoympäristössä erillisen www-palvelinsovelluksen tarve oli ilmeinen. Palvelinsovelluksessa ajantasainen junien tila-, paikka- ja nopeustieto esitetään kartalla. Valittavissa on Etelä-Suomi tai vaihtoehtoisesti Hanko–Hyvinkää-rataosuus tasoristeyksineen. Kuva 27 esittää tyypillisen kuvan Etelä-Suomesta. Junaikoneihin on sisällytetty värikoodi, joka kertoo junalaitteen senhetkisen tilan seuraavasti:

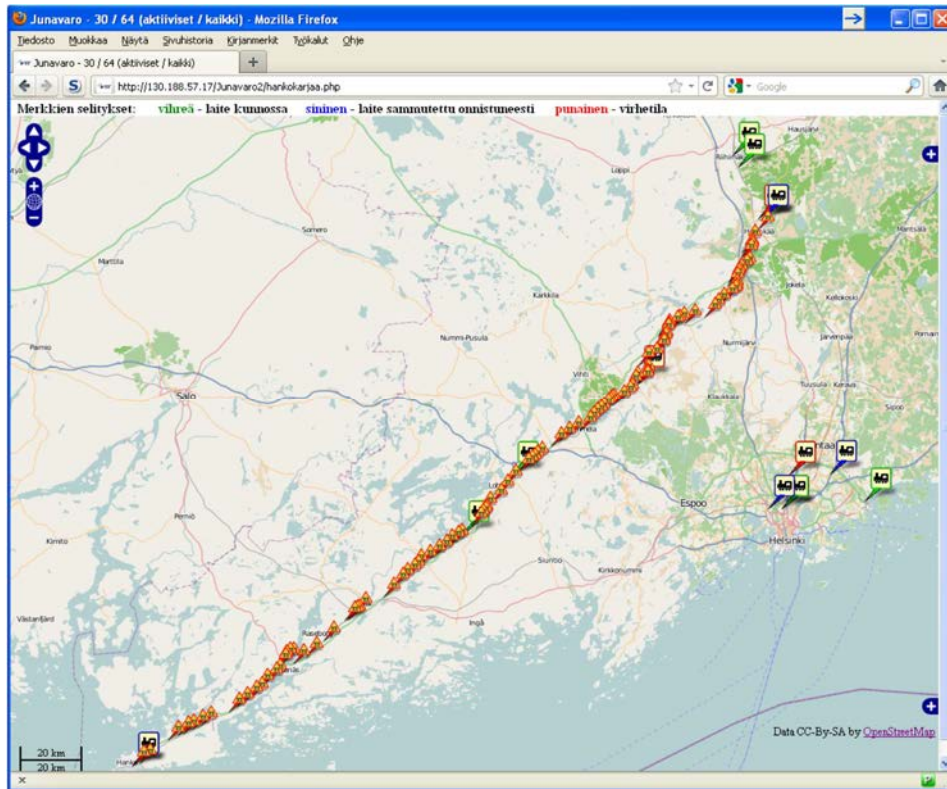
Vihreä	Junalaite on kunnossa.
Sininen	Junalaite on sammutettu onnistuneesti.
Punainen	Junalaite on virhetilassa.

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 27. Junavaro-www-käyttöliittymä: Etelä-Suomea esittävä www-näyttötila.

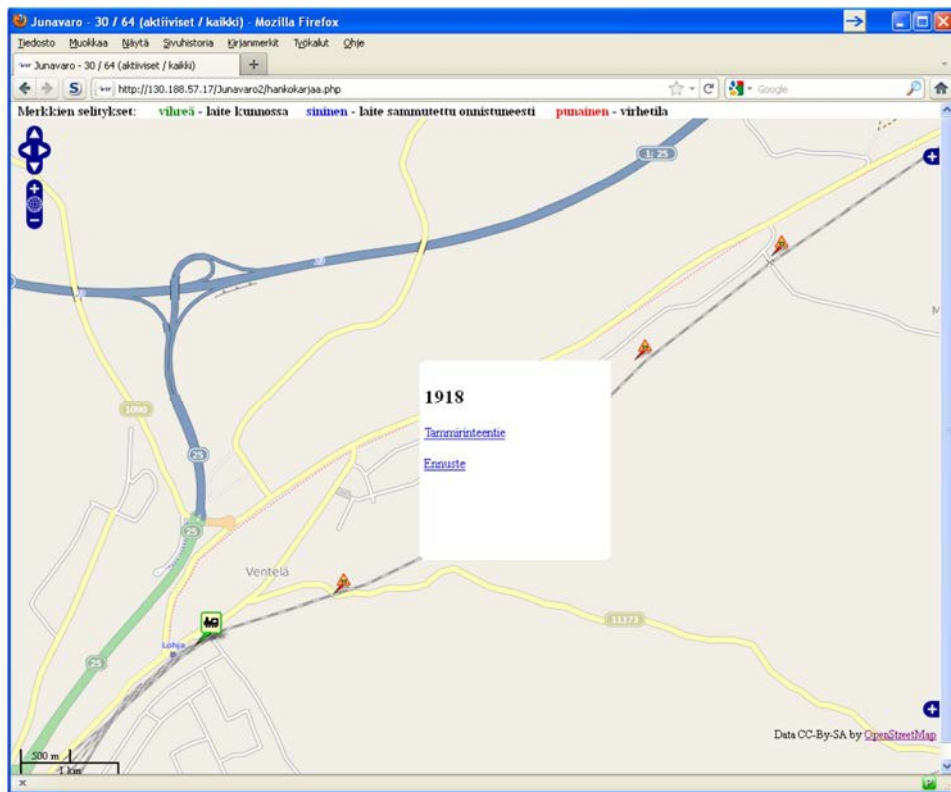
Hanko–Hyvinkää-ratavälille esitetään ennusteita jokaiselle tasoristeykselle. Kuva 28 esittää koko kyseisen ratavälin näkymän. Jokainen ratavälin tasoristeuksen paikka on merkitty tasoristeysikonilla.



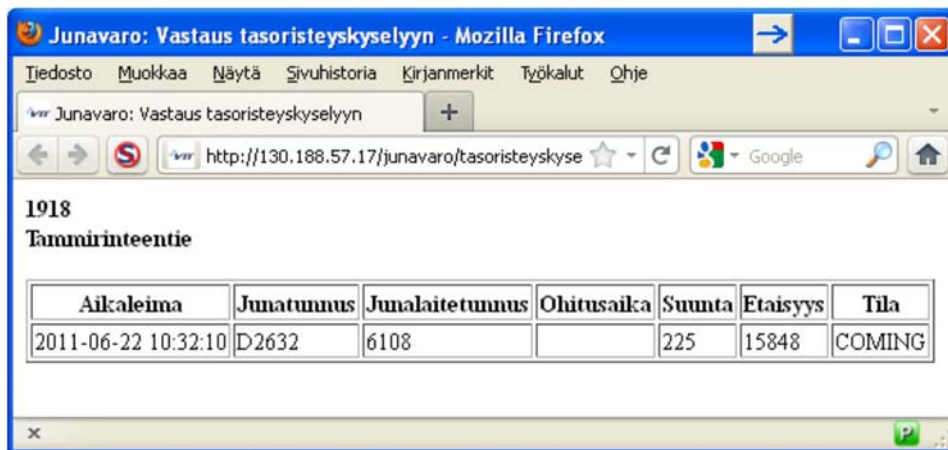
Kuva 28. Junavaro-www-käyttöliittymä: Hanko–Hyvinkää-rataosaa esittävä www-näyttötila.

Tasoristeysikonkia klikattaessa järjestelmä näyttää tarkempia tietoja kyseisestä tasoristeuksesta (kuva 29). Tässä esimerkissä juna on lähestymässä lounaan suunnasta tasoristeystä numero 1918, Tammirinteentie. Sekä tasoristeuksen nimi että ennuste ovat hyperlinkkejä, joista ensimmäisestä ohjaututaan www.tasoristeys.fi-palveluun kyseisen tasoristeuksen tarkempiin tietoihin ja jälkimmäisestä aukeaa kyseiselle tasoristeykselle laskettava ennustenäyttö (kuva 30).

3. Järjestelmän toteutus



Kuva 29. Junavaro-www-käyttöliittymä: tasoristeyksen tiedot.



Kuva 30. Junavaro-www-käyttöliittymä: tasoristeyksen ennustenäyttö.

Ennustenäyttö kertoo jokaiselle lähestyvälle junalle junatunnuksen, junalaitetunnuksen, kompassisuunnan, josta juna on lähestymässä tasoristeystä, junan etäisyyden metreinä ja järjestelmän tilan.

Mahdolliset järjestelmän tilat ovat:

COMING	Juna on lähestymässä tasoristeystä.
ALARM	Ajoneuvolaitteelle lähetetään hälytyskäskyä.
PASSED	Juna on ohittanut tasoristeuksen.
DELETE	Juna poistetaan ennustenäytön tiedoista.

Tämä www-käyttöliittymän toiminnallisuus on toteutettu PHP-ohjelmointikielellä ja Apache-http-palvelinympäristöllä.

3.3.5 Junavaro-sovellusprotokolla

Junavaro-palvelimen ja klientin välisellä Junavaro-sovellusprotokollalla on kolme erillistä tehtävää: välittää palvelimelle ajoneuvolaitteen tilatiedot sekä palvelimen tilatieto ajoneuvolaitteelle, välittää palvelimelta ajoneuvolaitteelle tasoristeysten tilatiedot sekä välittää tasoristeysten ylitystiedot ajoneuvolaitteelta palvelimelle.

Tarkistuskysely ja tarkistusvastaus

Tarkistuskyselyn tarkoituksena on sekä aika ajoin varmistaa Junavaro-palvelimen tila että viestiä palvelimelle ajoneuvolaitteen tila. Tarkistuskyselyä vastaava XML-sanoma on seuraavaa muotoa:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Tarkistuskysely>
<Aikaleima>TIMESTAMP</Aikaleima>
<Kayttaja>
<Sijainti>
<Latituudi>LATITUDE</Latituudi>
<Longituudi>LONGITUDE</Longituudi>
<Suunta>COURSE</Suunta>
<Nopeus>SPEED</Nopeus>
<Tarkkuus>ACCURACY</Tarkkuus>
</Sijainti>
<Laitte>
<Tunniste>IMEI</Tunniste>
<SignaaliVoimakkuus>NETWORK_SIGNAL</SignaaliVoimakkuus>
<VerkonTila>NETWORK_AVAILABILITY</VerkonTila>
<VarausTila>BATTERY_LEVEL</VarausTila>
</Laitte>
</Kayttaja>
</Tarkistuskysely>
```

Tarkistuskyselysanoman tietokentät on selitetty alla olevassa taulukossa.

3. Järjestelmän toteutus

Taulukko 9. Ajoneuvolaitteen lähettämän tarkistuskyselysanoman tietokentät.

Tietokenttä	Merkitys
TIMESTAMP	Kyselyviestin kokoamisen aikaleima ajoneuvolaitteen kellon mukaan
LATITUDE	Ajoneuvolaitteen sijainnin latitudi (WGS-84)
LONGITUDE	Ajoneuvolaitteen sijainnin longitudi (WGS-84)
COURSE	Ajoneuvolaitteen kulkusuunta (0–360 astetta)
SPEED	Ajoneuvolaitteen nopeus (km/h)
ACCURACY	Ajoneuvolaitteen ilmoittama sijainnin tarkkuus (m)
IMEI	Ajoneuvolaitteen uniikki laitekoodi
NETWORK_SIGNAL	Ajoneuvolaitteen mitaama kentän voimakkuus
NETWORK_AVAILABILITY	Ajoneuvolaitteen havaitsema verkon saavutettavuus
BATTERY_LEVEL	Ajoneuvolaitteen akun varaustilanne

<Sijainti>-elementtejä voi olla useampia, sillä lähellä tasoristeystä ajoneuvosovellus puskuroida sijaintitietoja kyselyiden välillä. Tarkistusvastaus on muotoa:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Tarkistusvastaus>
<Aikaleima>TIMESTAMP</Aikaleima>
<Tila>STATE</Tila>
<Tiedonkeräysmoodi>MODE</Tiedonkeräysmoodi>
</Tarkistusvastaus>
```

Tarkistusvastaussanoman tietokentät on selitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 10. Palvelimen autolaitteelle lähettämän tarkistusvastaussanoman tietokentät.

Tietokenttä	Merkitys	Toimenpide
TIMESTAMP	Vastauksen aikaleima palvelimen kellon mukaan	Ei tarkisteta ajoneuvosovelluksessa.
STATE	Palvelimen tila, "OK", jos kaikki on kunnossa.	Näytetään käyttöliittymässä.
MODE	Tiedonkeräysmoodi: 0 = normaali moodi, 1 = vain tiedonkeruu, ei hälytyksiä.	Muutetaan tiedonkeräysmoodi tarpeen mukaan.

Ennustekysely ja vastaus

Ennustekyselyn tarkoituksena on selvittää valittuun tasoristeykseen saapuvien junien tiedot Junavaro-palvelimen laskemana ennusteena. Ennustekysely on muotoa:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Ennustekysely>
<Aikaleima>TIMESTAMP</Aikaleima>
```

```

<Kayttaja>
<Sijainti>
<Latituudi>LATITUDE</Latituudi>
<Longituudi>LONGITUDE</Longituudi>
<Suunta>COURSE</Suunta>
<Nopeus>SPEED</Nopeus>
<Tarkkuus>ACCURACY</Tarkkuus>
<Aikaleima>LOCATION_TIMESTAMP</Aikaleima>
</Sijainti>
<Laite>
<Tunniste>IMEI</Tunniste>
<SignaaliVoimakkuus>NETWORK_SIGNAL</SignaaliVoimakkuus>
<VerkonTila>NETWORK_AVAILABILITY</VerkonTila>
<VarausTila>BATTERY_LEVEL</VarausTila>
</Laite>
</Kayttaja>
<Tasoristeys>
<Tunnus>LC_IDENTIFIER</Tunnus>
<Nimi>LC_NAME</Nimi>
<HalytysAikaleima>LC_ALARM_TIMESTAMP</HalytysAikaleima>
</Tasoristeys>
</Ennustekysely>

```

Ennustekyselysanoman tietokentät elementeissä <Sijainti> ja <Laite> ovat identtiset tarkistuskyselyn kanssa. Muut elementit on selitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 11).

Taulukko 11. Ajoneuvolaitteen palvelimelle lähettämän ennustekyselyn tietokentät.

Tietokenttä	Merkitys
TIMESTAMP	Kyselyviestin kokoamisen aikaleima ajoneuvolaitteen kellon mukaan
LC_IDENTIFIER	Tasoristeyksen uniikki tunniste
LC_NAME	Tasoristeyksen nimi
LC_ALARM_TIMESTAMP	Kyseiseen tasoristeykseen havaitun lähestyvän junan vuoksi annetun hälytyksen alkamisaika

Ennustevastaus on muotoa:

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Ennustevastaus>
<TunnusLC_IDENTIFIER</Tunnus>
<Nimi>LC_NAME</Nimi>
<JunaTieto>
<Aikaleima>TIMESTAMP</Aikaleima>
<Junatunnus>TRAIN_ID</Junatunnus>

```

3. Järjestelmän toteutus

```
<Ohitusaika>PASSING_TIME</Ohitusaika>  
<Suunta>PASSING_DIRECTION</Suunta>  
<Tila>TRAIN_STATE</Tila>  
<Etäisyys>TRAIN_DISTANCE</Etäisyys>  
</JunaTieto>  
<EnnusteTila>ESTIMATION_STATE</EnnusteTila>  
</Ennustevastaus>
```

Ennustevastaussanomien tietokentät on selitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Palvelimen ajoneuvolaitteelle lähettämän ennustevastaussanomien tietokentät.

Tietokenttä	Merkitys	Toimenpide
LC_IDENTIFIER	Tasoristeyksen uniikki tunniste	Tarkistetaan, vastaako kyselyssä annettua tunnistetta.
LC_NAME	Tasoristeyksen nimi	Ei tarkisteta ajoneuvosovelluksessa.
TIMESTAMP	Junakohtaisen ennusteen laske- misaika palvelimen kellon mukaan	Ei tarkisteta ajoneuvosovelluksessa.
TRAIN_ID	Junan tunniste	Näytetään käyttöliittymässä.
PASSING_TIME	Junan ohitusaika	Ei tarkisteta ajoneuvosovelluksessa.
PASSING_DIRECTION	Junan kulkusuunta (0–360 astetta)	Ei tarkisteta ajoneuvosovelluksessa.
TRAIN_DISTANCE	Junan etäisyys	Näytetään käyttöliittymässä.
TRAIN_STATE	Junan tila: joko COMING, ALARM tai PASSED	Näytetään käyttöliittymässä ja ohjataan hälytystä.
ESTIMATION_STATE	Ennustetilä: 1 = ennuste on luotettava	Näytetään käyttöliittymässä.

Ennustevastaus voi sisältää 0–9 kappaletta <JunaTieto>-elementtejä.

3.3.6 Junavaro-ajoneuvosovellus

Tienkäyttäjää junasta varoittava ajoneuvosovellus toteutettiin S60-ohjelmistoalustaa käyttäville älypuhelimille. Ajoneuvosovellus toteutettiin hankkeen alkuvaiheessa laaditun suunnitelman perusteella. Keskeisenä lähtökohtana junavaroitussovelluksen suunnittelussa oli sovelluksen käytön helppous kuljettajalle: sovellus pyrittiin suunnittelemaan ja toteuttamaan siten, että sen tavanomainen käyttö vaatisi kuljettajalta mahdollisimman vähän toimenpiteitä. Tavoitteeksi asetettiin se, ettei kuljettajan tarvitsisi esimerkiksi muistaa päätelaitteen mukaan ottamista tai sovelluksen käynnistämistä ajoneuvolla liikelle lähtiessään.

Kuljettajaa tasoristeyksistä ja niihin saapuvista junista varoittava sovellus (työnimi ClientSW) toteutettiin J2ME-sovelluksena. Kyseiseen sovellukseen viitataan tekstissä jatkossa termillä ajoneuvosovel-

lus. Ajoneuvosovelluksen toiminta lyhyesti sanottuna on verrata sijaintiaan suhteessa ajoneuvolaitteeseen talletettuihin tietokannan tasoristeyksiin, varoittaa kuljettajaa tasoristeyksestä, suorittaa ennustekyselyitä tasoristeykseen saapuvista junista Junavaro-palvelimelle, näyttää saapuviksi ennustettujen junien tiedot ja hälyttää lähitulevaisuudessa lähimpään tasoristeykseen saapuvista junista.

Lisäksi jokaiseen ajoneuvolaitteeseen asennettiin tasoristeystiedot erillisellä LevelCrossings-ohjelmalla. Seuraavassa kuvataan olennaisilta osiltaan ClientSW-ajoneuvosovellus ja LevelCrossings-sovellus sekä näiden toteutus.

Sovelluksen käyttö

Ajoneuvosovellus ei vaadi käyttäjältä mitään toimenpiteitä. Sovellus käynnistyy automaattisesti, kun puhelimeen kytketään laturi tai ajoneuvo käynnistetään puhelimen ollessa kiinni autolaturissa. Vastavasti sovellus sammuu, kun laturi poistetaan tai ajoneuvo sammutetaan puhelimen ollessa kiinni autolaturissa.

Ajoneuvosovelluksen automaattisesta käynnistämisestä ja sammuttamisesta huolehtii laitteeseen asennettu Symbian-alustalle toteutettu natiivi Starter-sovellus. Mikäli Starter on poistettu puhelimesta, ajoneuvosovellus voidaan käynnistää manuaalisesti ja sammuttaa "Poistu"-komennolla (vain testiversiossa).

Starter-sovellus huolehtii lisäksi ajoneuvosovelluksen pitämisestä aktiivisessa tilassa, taustavalon päällä pysymisestä ja näppäinlukon pysymisestä pois päältä. Varsinaisen loppukäyttäjän ei tarvitse käyttää LevelCrossings-sovellusta lainkaan. Riittää, että ajoneuvolaitteen käyttökuntoon konfiguroiva henkilö suorittaa sovelluksen kerran sen asennuksen jälkeen. Tasoristeyksiä on noin 3 500, ja niiden tallettaminen vie useita minutteja. Toimenpiteen valmistuttua sovelluksen voi sulkea ja jopa poistaa ajoneuvolaitteesta.

Ajoneuvosovelluksen toiminta ja käyttö on kuvattu tarkemmin liitteessä F.

Ulkoiset liitynnät

Java Mobile Edition -alustan peruskirjastojen ohella ClientSW- ja LevelCrossings-sovellukset hyödyntävät J2ME-alustan JSR-179-paikannuskirjastoa (javax.microedition.location). Ajoneuvosovellus kommunikoi Junavaro-palvelimen kanssa itse luomansa TCP/IP-yhteyden kautta. Kommunikaatiossa välitetyt sanomat ovat XML-muotoisia ASCII-sanomia. Sanomia on kahta tyyppiä: tarkistus-sanoma, johon ajoneuvosovellus saa palvelimelta tarkistusvastaus-sanoman, sekä ennustesanoma, johon ajoneuvosovellus saa palvelimelta ennustevastaus-sanoman. Sanomien sisältö on kuvattu tarkemmin Junavaro-sovellusprotokollaa käsittelevässä luvussa (3.3.5).

3.3.7 Havainnot toteutuksen aikana

Uutta junalaitetyyppiä käyttöönotettaessa tarkasteltiin aluksi koeasennuksen antamien tulosten avulla laitteen tiedonsiirron toimintaa ja paikannuksen onnistumista. Kaikkiin kolmeen hankkeeseen hyödynnettyyn laitetyyppiin jouduttiin tekemään parannuksia tai muita muutoksia laitteen asetuksiin tai oh-

3. Järjestelmän toteutus

jelmistoon, ennen kuin laitteita voitiin hyödyntää hankkeessa. Laitteisiin toteutettuja muutoksia on käsitelty tarkemmin laitetyypit esittelevässä luvussa (3.3.2).

Edellä mainittujen parannusten jälkeenkin kenttäkokeessa käytettäviin laitteisiin jäi puutteita, joiden syitä ei saatu selvitettyä täydellisesti. Marraskuussa 2010 järjestelmässä esiintyi vikatilanne, jossa osassa CL341-laitteiden ja MC40-laitteiden lähettämiä viestejä oli virheellinen aikaleima. Vikatilanne paljastui vertaamalla A1 Trax -laitteiden lähettämien viestien viivettä CL341- ja MC40-laitteiden lähettämien viestien viiveisiin. Virhetilanteen syytä ei toistaiseksi ole saatu selvitettyksi.

Toteutuksen aikana rikkinäisiä junalaitteita toimiviin vaihdettaessa havaittiin, että yhden Dv12-veturiin asennetun CL341-laitteen toimimattomuuden aiheutti laitteeseen liitetyn virtalähteen vikaantumisen. Tämän lisäksi havaittiin joitakin vikaantuneita CL341-laitteita, joiden vikaantumismekanismi ja vikaantumisen alkuperäinen syy jäivät tuntemattomiksi. Mahdollisia vikaantumisen syitä edellä mainituissa tapauksissa ovat esimerkiksi käyttöjänniteliitännän kautta laitteeseen kytkeytynyt ylijännitepiikki, mekaaninen rasitus, kuten tärinä, tai satunnaisesti ilmenevät laitteiden komponenttivyöt.

Paikannusongelmat

Junalaitteiden lähettämää dataa tarkastelemalla todettiin, että rataverkolla on joitakin kohteita, joissa junalaitteiden GPS-paikannus toimii heikosti tai ei lainkaan. Esimerkiksi varikkojen halleissa GPS:n signaali voi olla liian heikko, jotta paikannus voisi onnistua. Paikannuksen onnistumista on käsitelty tarkemmin järjestelmän teknistä toimivuutta käsittelevässä luvussa (4.4).

GPRS-tiedonsiirto

Järjestelmän toteutuksen aikana todettiin, että GPRS-tiedonsiirron toiminta aiheuttaa järjestelmän toiminnalle tiettyjä rajoitteita. GPRS-tiedonsiirron toimintaa tarkasteltiin erityisesti junalaitteista lähetettyjen paikannusviestien viiveen sekä järjestelmää kokeiltaessa havaittujen tiedonsiirrosta johtuvien ongelmatilanteiden perusteella. GPRS-tiedonsiirrossa esiintyvien viivettä tai pakettien katoamista aiheuttavien tilanteiden analysoinnin tueksi tehtiin lyhyt aiheeseen liittyvä kirjallisuustutkimus.

GPRS-tiedonsiirrossa tietoliikenneyhteydelle ei kyetä takaamaan mitään aina toteutuvaa, tiukasti määriteltyä palvelutasoa esimerkiksi kadonneiden pakettien osuuden tai yhteyden viiveen perusteella. Pakettien katoamiseen ja viiveeseen vaikuttavat muun muassa matkaviestinverkon muu kuormitus sekä vaihdot radioverkon solusta toiseen ja tukiaseman alueelta toiselle käyttäjän liikkua (ns. handover). Toteutuksen aikana todettiin, että verkon kuormituksen ja tukiasemasta toiseen siirtymisen lisäksi GPRS-yhteyksien toimintaan vaikuttivat myös matkaviestinverkon operaattorin aikataulutamat huoltokatkot, jotka yleensä ajoittuivat myöhäiseen iltaan ja kestivät tyypillisesti joitakin minuutteja.

Tarkasteltaessa junalaitteiden lähettämien, viiveellä perille saapuneiden pakettien sijoittumista maantieteellisesti (paikannustuloksen perusteella) todettiin, että ne ”kasautuvat” samoihin maantieteellisiin paikkoihin. Kyseinen ilmiö viittaisi siihen, että pakettien viivästymiset aiheutuivat ainakin osin tilanteista, joissa laite siirtyi yhden tukiaseman alueelta toiselle.

Juna- ja ajoneuvolaitteiden ja palvelimen välisen tiedonsiirron onnistumista on käsitelty tarkemmin järjestelmän toimivuuden arviointia käsittelevässä luvussa (2.2).

Palvelinjärjestelmän suorituskykyongelmat

Järjestelmän toteutuksen aikana Semelin ja VTT:n palvelinten yhdessä muodostamassa järjestelmässä havaittiin aluksi suorituskykyongelmia. Syiksi paljastuivat muun muassa muut CL341- ja MC40-laitteiden paketteja välittävän web servicen kanssa Semelissä samalla alustalla olevat sovellukset, jotka aiheuttivat prosessorikuormaa, sekä samaa ADSL-yhteyttä suurten eräajojen aikana ruuhkauttava Semelin muu tietoliikenne. Ongelma korjattiin siirtämällä web service -rajapinta Semelissä omalle laitealustalleen ja siirtämällä kyseinen palvelin oman, muusta Semelin tietoliikenteestä erillisen ADSL-yhteyden taakse.

Toteutuksen aikana havaittiin myös suorituskykyongelma, joka todennäköisesti liittyi Microsoft.NET-ohjelmistopakettien avulla toteutetun web service -rajapinnan tai MSMQ:n aiheuttamaan resurssien kulutukseen niitä ajavissa palvelimissa tai web service -rajapinnan asetuksissa. Aluksi kokeiltu toteutus lähetti jokaisen Semelin kautta tulevan paikannusviestin saman tien eteenpäin VTT:lle. Kyseinen toteutustapa havaittiin suorituskyvyltään heikommaksi kuin toteutus, jossa useita junalaitteiden paikannusviestejä paketoitiin saman XML-koodatun web service -rajapinnan kautta välitettävän viestin sisään. Toteutuksista ensimmäisessä pakettien viive kasvoi jopa kymmeniin minutteihin tai tunteihin muutaman tunnin ajaksi vuorokaudessa.

Palvelinjärjestelmän tietokantaongelmat

Järjestelmää toteutettaessa ja kokeiltaessa havaittiin, että toisen junavaroitussuoritusjärjestelmän kanssa samaa MySQL-tietokantaohjelmistoa hyödyntävän sovelluksen toiminta saattoi kaataa tietokantaohjelmiston kokonaan. Ongelma havaittiin, kun samalla palvelimella junavaroitussuoritusjärjestelmän kanssa kokeiltiin erästä toiseen hankkeeseen liittyvää palvelua. Ongelma ratkaistiin siirtämällä Junavaro-palvelinsovelluksen MySQL-tietokanta erilliselle, tarkoitusta varten pystytetylle palvelimelle.

Toteutuksen aikana tehtyjen havaintojen perusteella näytti siltä, että MySQL-tietokantaohjelmisto toimi kohtuullisen hyvin sovelluksessa, jossa käsiteltiin kooltaan huomattavasti kasvavia tietokantoja ja joka edellytti tietojen käsittelyä ajantasaisesti mahdollisimman lyhyin viivein.

Muut tietoliikenneongelmat

Järjestelmän toteutuksen alkuvaiheessa havaittiin vikatilanne, jossa Junavaro-palvelimen toiminta häiriintyi lähiverkon konfigurointivirheen vuoksi. Vian aiheutti saman IP-osoitteen konfigurointi saman aliverkon sisällä samanaikaisesti kahdelle eri tietokoneelle, mikä häiritsi pakettien reititystä lähiverkossa. Vika poistettiin korjaamalla virhe, eikä se toistunut toteutuksen tai kenttäkokeen aikana.

Organisatoriset kysymykset järjestelmän toteutuksessa

Järjestelmän kokeellisen luonteen ja hankkeen rajallisen keston vuoksi siinä ei päästy normaaliin ylläpidon sykliin eikä sille päästy kehittämään tuotantojärjestelmää vastaavia ylläpidon prosesseja. Toteutukseen osallistui lukuisia toimijoita, mikä hidasti järjestelmän vikatilanteiden ja muiden ongelmien selvittelyä.

3. Järjestelmän toteutus

Pilotin kesto

Elektroniikalle ja mekaanisille laitteille tyypillisiä ovat U-kirjaimen muotoiset vikaantumisen todennäköisyyttä ajan funktiona kuvaavat vikaantumiskäyrät. Esimerkiksi monet elektroniikan laiteviat ilmenevät pian laitteen tai komponentin asennuksen tai käyttöönoton jälkeen ja yleistyvät uudelleen laitekannan ikääntyessä. Jo joitakin vuosia käytössä olleita CL341-laitteita lukuun ottamatta järjestelmän komponentit olivat todennäköisesti ”U:n laskevalla reunalla” käyttöönotosta tai asennuksesta aina hankkeen päättymiseen ja järjestelmän purkamiseen saakka.

Mobiilisovellusta koskevat havainnot

Kehitystyön aikana havaittiin, että S60-alustalle kehitetyn mobiilisovelluksen toiminta voi estyä erilaisten sovellukseen, ohjelmistoalustaan tai käyttöolosuhteisiin liittyvien syiden vuoksi. Mahdollisiksi havaittiin esimerkiksi tilanteet, joissa tietoliikenteessä esiintyvä virhe, kuten rikkinäisenä mobiilisovelluksen kyselyyn palvelimelta saapuva vastaus, kaataa sovelluksen kokonaan. Edellä mainituista ongelmista osa poistettiin parantamalla sovelluksen käsiteltäväksi annettavien tietojen validointia sekä toteuttamalla Symbian-ohjelmistoalustaa hyödyntävä sovellus, joka tietyn ajan kuluttua käynnisti Java-kielellä toteutetun junavaroitussovelluksen automaattisesti uudelleen tilanteissa, joissa sovellus oli päässyt parannuksista huolimatta kaatumaan.

Junalaitteiden vikojen havaitsemisesta

Koska järjestelmän junalaitteissa esiintyi ajoittain laitevikoja, todettiin niiden nopea havaitseminen tärkeäksi järjestelmän toimivuuden kannalta.

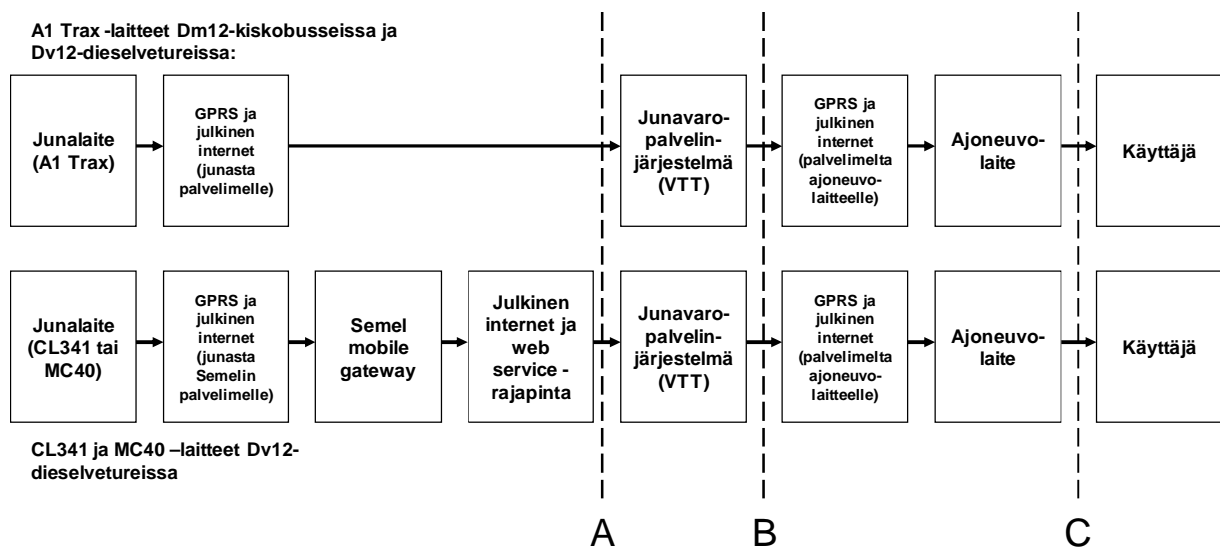
Hankkeessa ei saatu käyttöön eri rataosilla liikkuvaa kalustoa koskevia Liikenneviraston Santra-järjestelmän tietoja. Tästä syystä hankkeessa ei voitu suorittaa paikannuksen avulla saaduille tiedoille ristiintarkistusta rataverkon liikenteenohjauksesta saatujen tietojen kanssa, kuten alun perin oli suunniteltu.

Vikaantuneet laitteet pyrittiin järjestelmän toteutuksen ja kokeilun aikana havaitsemaan junalaitteiden palvelimelle lähettämien tietojen perusteella. Esimerkiksi tilanteissa, joissa laitteen lähettämästä viimeisimmästä paikannusviestistä oli kulunut pitkä aika, laitetta epäiltiin yleensä alustavasti vialliseksi. Kun palvelimelle tallennetuista tiedoista oli poimittu useita viikkoja myöskinä olleet laitteet, verrattiin kyseisten laitteiden tietoja VR:n järjestelmästä saatuihin kaluston sijoituspaikkoja koskeviin tietoihin. Vertailu jouduttiin tekemään manuaalisesti VR:ltä puhelimitse tai sähköpostitse pyydettyjen tietojen avulla. Laitteen viallisuudesta syntyi käytännössä vahva epäily myös silloin, kun laite oli lähettänyt viimeisimmän paikannusviestinsä huomattavalla nopeudella liikkueensa.

4. Järjestelmän tekninen toimivuus

4.1 Järjestelmän mallinnus

Hankkeessa tarkasteltiin järjestelmän tuottamia tietoja kahdessa eri palveluketjun pisteessä (pisteet A ja C, kuva 31), jotta sen toimivuudesta saataisiin parasta mahdollista tietoa. Järjestelmän tuottamien varoitusten onnistumista tarkasteltiin luvussa 5. Tässä luvussa tarkastellaan Junavaro-palvelinjärjestelmän vastaanottamien, junista kerättyjen paikannustietojen laatua paikannusviesteissä esiintyneiden viiveiden sekä satelliittipaikannuksen onnistumista koskevien tilastollisten muuttujien ja kuvaajien avulla.



Kuva 31. Järjestelmän luotettavuutta kuvaava lohkokkaavio.

4.2 Palvelimen ja junalaitteiden välinen tietoliikenne

4.2.1 Aineiston käsittely

Junalaitteiden lähettämistä paikannustiedoista koostuva aineisto irrotettiin Junavaro-palvelinjärjestelmän SQL-tietokannasta tekstitiedostoiksi, joista se luettiin SPSS-ohjelmaan analysoitavaksi. Koska aineiston koko oli varsin suuri, se jouduttiin irrottamaan SQL-tietokannasta useassa eri osassa. Tietokannasta aineistoa irrotettaessa se rajattiin karkeasti maantieteen ja ajan perusteella alla olevan kaltaisilla SQL-lauseilla:

```
"SELECT * FROM rata.devicedata d where Lat>'59.75' and Lat<'60.638' and Lon>'23.11' and Lon<'24.86' and Date > '2011-05-31' and Date < '2011-06-16';"
```

Tarkasteltavaksi valittiin siis pilottialueelta saapuneet viestit pilotin alkamispäivästä 7.3.2011 sen päätymiseen 15.6.2011. Tietoja irrotettaessa aineisto rajattiin alustavasti koordinaattien N59,75; E23,11 ja N60,638; E24,86 virittämän nelikulmion perusteella. Tarkempi maantieteellinen rajaus tehtiin SPSS-ohjelmalla ennen aineiston analyysiä. Nelikulmion sisälle osuneesta aineistosta rajattiin pois paikannusviestit, joita olisi voinut saapua muilta nelikulmion sisälle sijoittuvilta rataosilta, kuten Helsinki–Turku- tai Helsinki–Tampere-rataosilta.

Aluksi laskettiin viiveen tunnusluvut laitteittain hyödyntäen palvelimen laskemaa ”delay”-muuttujaa. Tämän viivettä kuvaavan muuttujan arvo laskettiin Junavaro-palvelinjärjestelmässä, ja se määriteltiin palvelimen oman kellon ja viestissä esiintyvän GPS-paikannuksen tuottaman aika-leiman erotuksena. Viive esitettiin sekunteina lähimpään kokonaislukuarvoon pyöristettynä. Kun laitekohtaiset viiveen tunnusluvut oli laskettu, laskettiin päivittäiset viiveen tunnusluvut koko aineistolle ja eri laitetyypeille. Laskennan tarkoituksena oli auttaa selvittämään erilaisten aineistossa esiintyvien virheiden syitä ja ajoittumista tarkastelujakson aikana. Kun laite- ja päiväkohtaiset viiveen tunnusluvut oli laskettu, analysoitavasta aineistosta rajattiin pois viestit, joissa viestin aikaleima oli selvästi virheellinen (viive pienempi tai yhtäsuuri kuin -1) ja joita ei tämän puutteen vuoksi voitu käyttää tasoristeyksen ohitusennusteiden laskentaan.

Aineistoa analysoidessa tarkasteltiin ensin paikannusviestien viiveen kertymäfunktioita. Sen jälkeen laskettiin viiveen tunnusluvut – minimi, maksimi, keskiarvo ja mediaani – laitetyypeittäin kaikille pilotin alueelta pilotin aikana saapuneille paikannusviesteille, joita ei analyysin alkuvaiheessa ollut rajattu pois. Tämän jälkeen laskettiin samat viiveen tunnusluvut nopeusluokittain sekä maantieteellisen sijainnin perusteella. Lopuksi tarkasteltiin kaikkien pilottialueelta pilotin aikana lähetettyjen viestien viiveen tunnuslukuja päiväkohtaisesti, jotta mahdollisten anomalioiden syistä saataisiin tarkempaa tietoa. Päiväkohtaisia tunnuslukuja ei esitetä raportissa, koska niiden esittämien taulukkona tai kuvajina veisi runsaasti tilaa.

4.2.2 Tietoliikenteen viiveet pilottialueella pilotin aikana lähetetyille paikannusviesteille

Tietoliikenteen viiveiden analysointi aloitettiin taulukoimalla viiveen maksimi, minimi, mediaani ja keskiarvo kaikille pilottialueelta pilotin aikana lähetetyille paikannusviesteille. Viiveen tunnusluvut laitteittain on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Viiveen tunnusluvut laitteittain – kaikki pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit.

Viiveen tunnusluvut laitteittain

Delay	Mean	Median	Minimum	Maximum	N
5975	-3,66	1,00	-3452	135	57632
5979	2,88	3,00	1	17	59
5981	-556,84	,00	-3599	320	148804
5985	-2911,96	-3599,00	-3599	49	78666
5992	-17,69	1,00	-3391	327	41666
6032	-762,90	1,00	-3599	256	70853
6033	3,55	2,00	-1	177	40053
6080	8,66	2,00	-3598	3594	31903
6083	-7,93	2,00	-3599	3605	9533
6084	-77,52	2,00	-3599	2016	173172
6086	2,60	2,00	-1	178	71404
6089	-1282,79	1,00	-3599	219	104869
6091	-2228,73	-3597,00	-3599	131	108766
6097	-723,09	2,00	-3599	200	89726
6099	-45,62	1,00	-3400	327	16932
6108	2,32	2,00	-3599	483	38919
6116	-499,26	2,00	-3599	174	130959
6190	-1265,90	1,00	-3599	214	100035
6192	5,08	2,00	-3	144	10692
6193	3,66	2,00	-10	164	62418
7000	21,27	32,00	0	359	15425
7001	-1688,44	-22,50	-3599	1362	48946
7002	47,52	3,00	1	3600	35922
7003	-304,44	2,00	-3599	648	50106
7004	4,06	2,00	-1	517	20055
7005	-9,29	,00	-3598	66	2647
7007	3,19	2,00	1	344	27136
7009	2,02	,00	-169	421	11026
7010	-1795,23	-70,00	-7219	9511	115628
7012	-239,98	-225,00	-3863	408	15371
7013	4,91	2,00	1	456	42038
7014	4,46	2,00	1	362	31293
7015	-1909,20	-3595,00	-3599	15304	94111
7017	3,23	2,00	-3	558	7374
7018	-350,92	-277,00	-3784	-147	1736
7019	-2659,44	-3598,00	-3599	358	23100
358244014576898	7358,75	5,00	0	80479	72406
358244014579249	15429,30	15431,00	15406	15448	10
358244014579454	2931,27	4,00	0	81242	263658
358244014588471	673,02	5,00	-14	32597	192572
358244014599882	2730,94	5,00	0	77336	144439
Total	102,81	2,00	-7219	81242	2602060

4. Järjestelmän tekninen toimivuus

Pilotin aikana (7.3.–15.6.2011) pilottialueelta vastaanotettiin yhteensä 2 602 060 paikannusviestiä. Todellinen pilottialueelta junista lähetettyjen viestien määrä lienee suurempi, koska ilman GPS-paikannuksen tuottamia koordinaatteja lähetettyjä viestejä ei ole voitu yhdistää pilottialueeseen.

Tämän jälkeen aineistosta poistettiin viestit, joiden aikaleimat olivat selkeästi virheellisiä. Aineistosta poistettiin viestit, joissa paikannuksen aikaleima sijoittui vähintään sekuntia myöhäisemmäksi kuin palvelimen kellon mukainen aika (viive ≤ -1). Kyseiset viestit vastaanotettiin palvelimelle ja tallennettiin tietokantaan, mutta niiden perusteella ei laskettu ohitusennusteita tasoristeyksiin. Viestit jätettiin huomiotta analyysissä, koska niitä ei voitu hyödyntää ohitusennusteita laskettaessa ja niiden esiintyminen viittasi virhetilaan junalaitteissa tai palvelimissa. Analyysillä pyrittiin tarkastelemaan erityisesti matkaviestinverkon toiminnasta ja GPRS-tiedonsiirron rajoitteista aiheutuvia viiveitä sekä paikannuksen onnistumista.

Jotta junista vastaanotettujen viestien ajantasaisuudesta saataisiin mahdollisimman tarkka kokonaiskuva, laskettiin aluksi viiveen keskiarvo, mediaani, minimi ja maksimi kaikille jäljelle jääneille paikannusviesteille. Laskennan tulokset on koottu taulukkoon 14.

Taulukko 14. Viiveen tunnusluvut aineistossa – pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit, joilla viive ≤ -1 .

Statistics

Delay		
N	Valid	2076523
	Missing	0
Mean		885,73
Median		2,00
Std. Deviation		6576,420
Minimum		-1
Maximum		81242
Percentiles	10	1,00
	20	1,00
	30	2,00
	40	2,00
	50	2,00
	60	3,00
	70	4,00
	80	5,00
	90	13,00
	95	205,00
	96	3602,00
97	3604,00	
98	3606,00	
99	42893,00	

Taulukosta voidaan havaita, että huomattavalle osalle viesteistä palvelimella lasketun ”delay” -muuttujan arvo on ollut pienempi tai yhtäsuuri kuin -1. Kun tällaiset viestit oli poistettu, jäljellä oli 2 076 523 paikannusviestiä. Suodatuksessa poistettiin 525 537 paikannusviestiä

(2 602 060 – 2 076 523 = 525 537) eli noin 20 % alkuperäisistä viesteistä. Tuloksista on havaittavissa myös se, että noin 5 %:ssa viesteistä palvelimella lasketun viiveen arvo oli useiden minuuttien luokkaa (205 s) tai enemmän.

Kun palvelimen tai junalaitteiden virhetiloihin liittyvistä viesteistä oli suodatettu pois ne, joissa viive oli pienempi tai yhtäsuuri kuin -1, laskettiin vielä viiveen tunnusluvut laitetyypeittäin (taulukko 15).

Taulukko 15. Viiveen tunnusluvut aineistossa – pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit, joilla viive ≤ -1 .

Viive laitetyypeittäin

Delay					
Device type	Median	Mean	Minimum	Maximum	N
CL341	2,00	5,13	-1	3605	1088935
MC40	2,00	11,95	-1	15304	314826
A1 Trax	5,00	2719,96	-1	81242	672762
Total	2,00	885,73	-1	81242	2076523

Taulukosta voidaan havaita, että viiveen mediaani on CL341- ja MC40-laitteille varsin samanlainen. Sen sijaan laitteiden keskiarvot eroavat toisistaan.

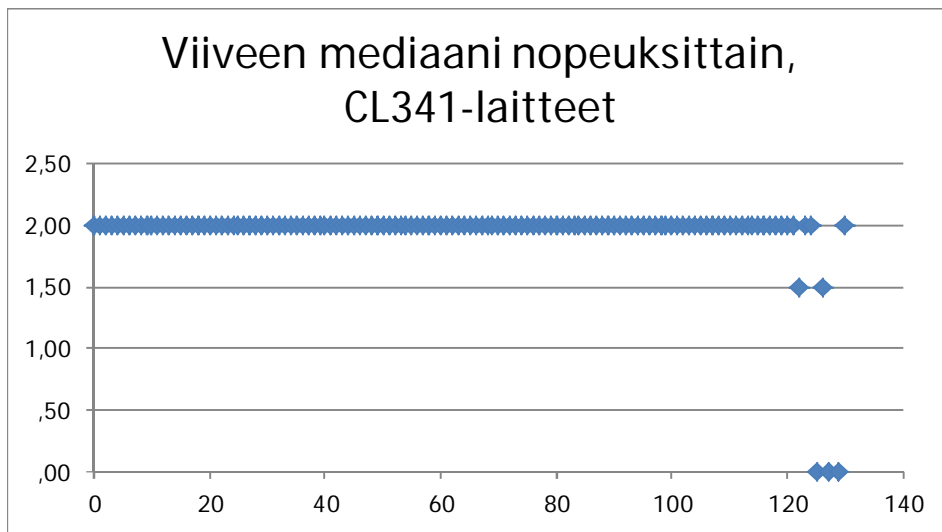
4.2.3 Tietoliikenteen viiveen riippuvuus junan nopeudesta

Osana analyysiä pyrittiin selvittämään myös paikannusviestien välittymisessä ilmenevän viiveen riippuvuutta junan nopeudesta. Jokaisesta laitetypistä laskettiin viestien viiveelle nopeusluokittain mediaani, keskiarvo, minimi ja maksimi. Nopeusluokkana käytettiin kaikissa laitteissa paikallisesti paikannuslaitteessa laskettua nopeuden arvoa kilometreinä tunnissa.

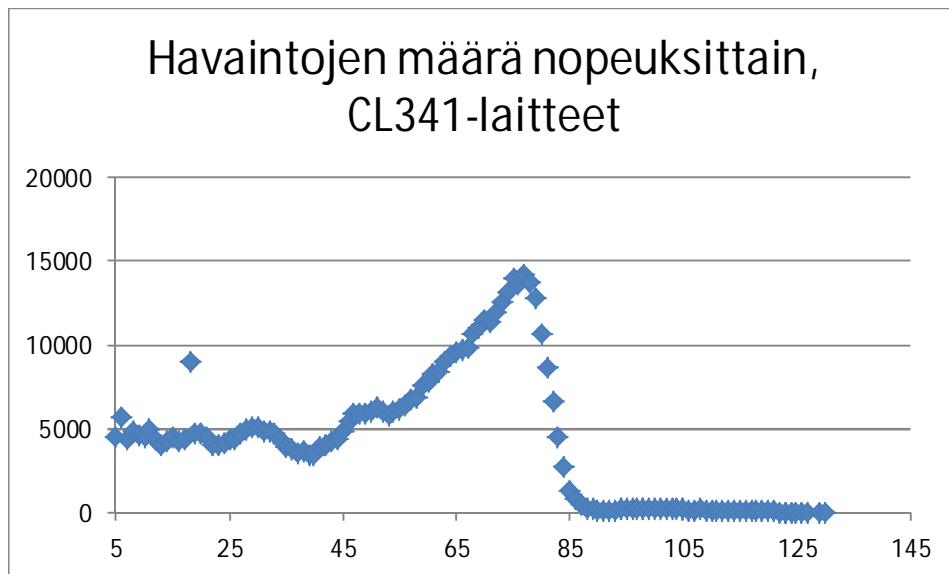
Eri laitetyypeille lasketut tulokset esitettiin kuvaajina, joissa x-akselia vastasi yksikön nopeus ja y-akselia kyseistä nopeusluokkaa vastaavien paikannusviestien viiveen mediaani (kuvat 32, 34 ja 36). Eri nopeusluokkiin sijoittuvien paikannusviestien määrät esitettiin erillisten kuvaajien avulla eri laitetyypeille (kuvat 33, 35 ja 37).

Paikannusviestien määriä nopeuksittain esittävästä kuvaajista on selkeyden vuoksi jätetty pois viestien määrä tilanteissa, joissa junan nopeus on ollut vähemmän kuin 5 km/h.

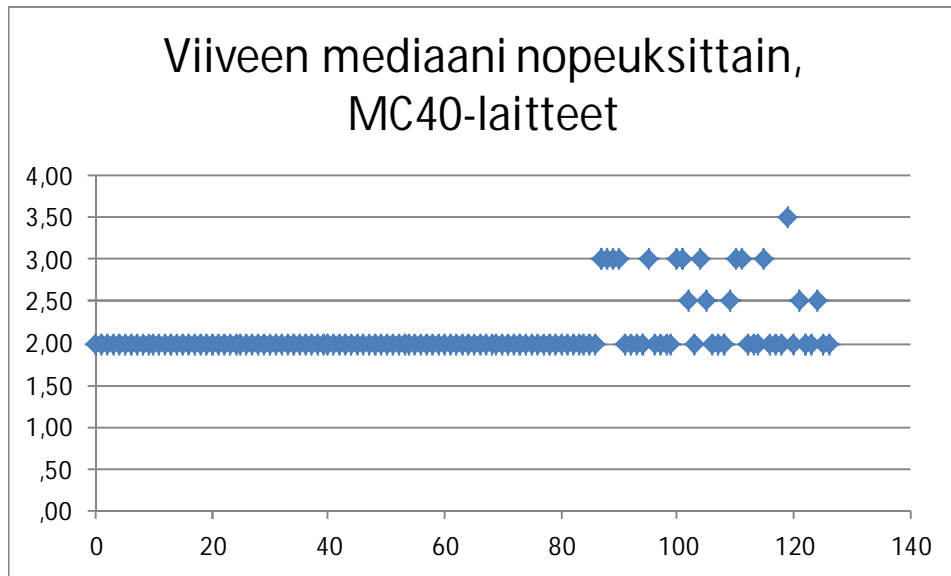
4. Järjestelmän tekninen toimivuus



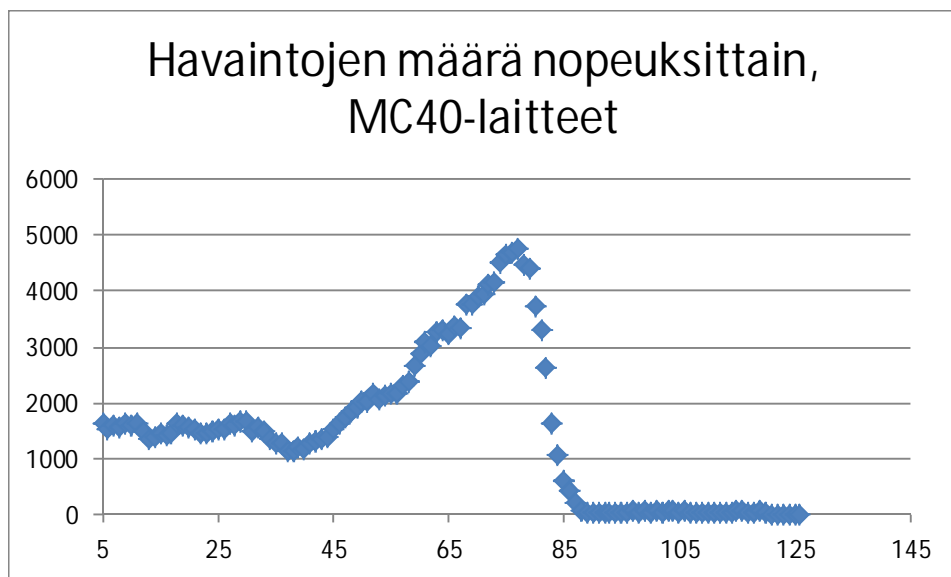
Kuva 32. Viiveen mediaani nopeusluokittain, CL341-laitteet.



Kuva 33. Paikannusviestien määrä nopeusluokittain, CL341-laitteet.

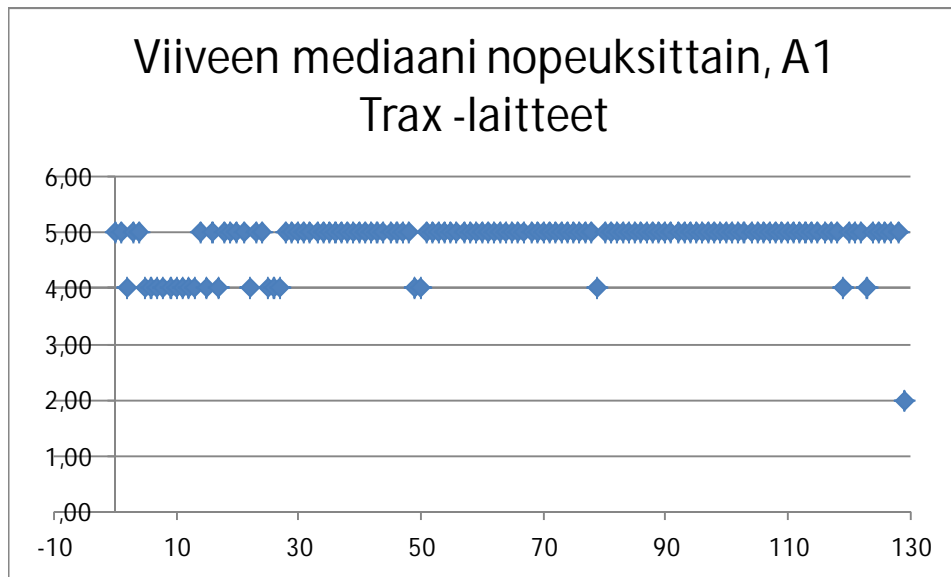


Kuva 34. Viiveen mediaani nopeusluokittain, MC40-laitteet.

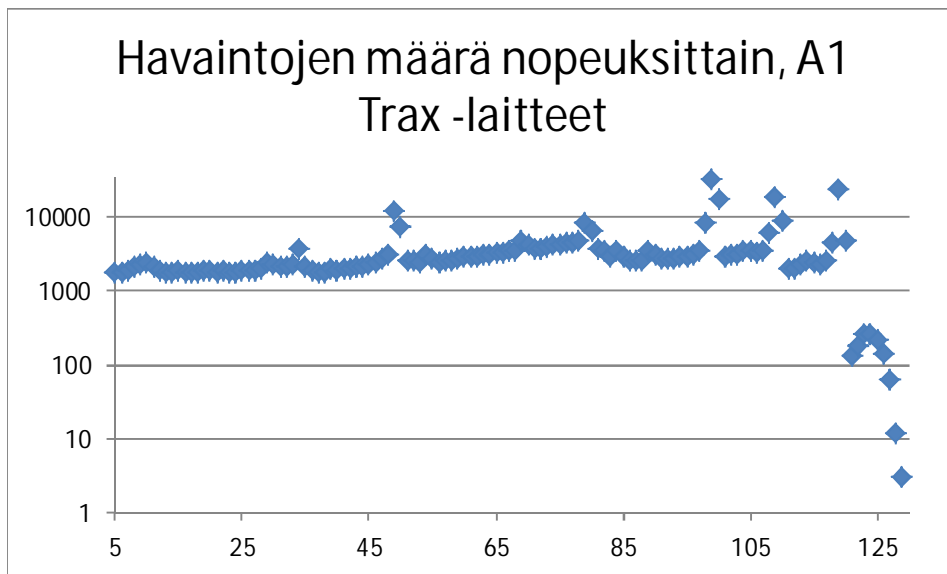


Kuva 35. Paikannusviestien määrä nopeusluokittain, MC40-laitteet.

4. Järjestelmän tekninen toimivuus



Kuva 36. Viiveen mediaani nopeusluokittain, A1 Trax -laitteet.

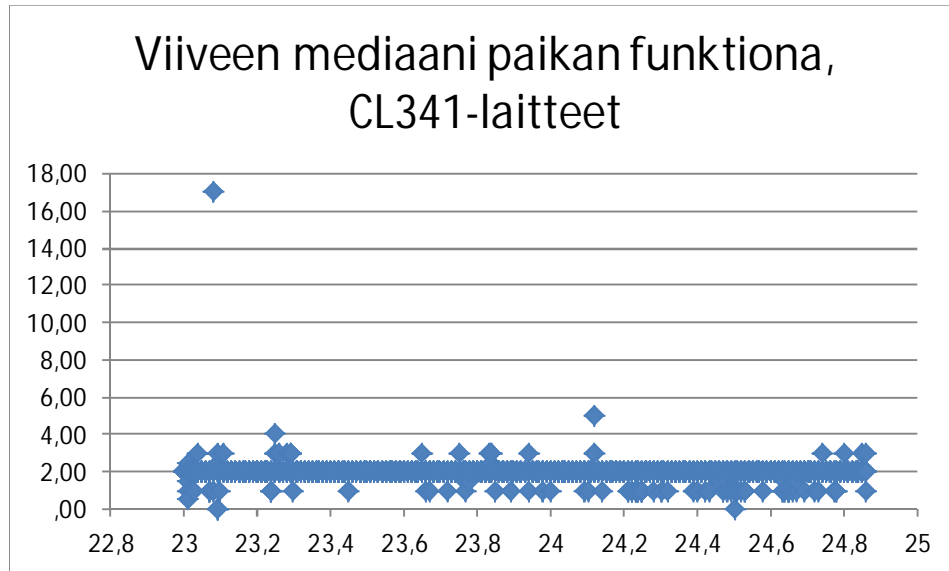


Kuva 37. Paikannusviestien määrä nopeusluokittain, A1 Trax -laitteet.

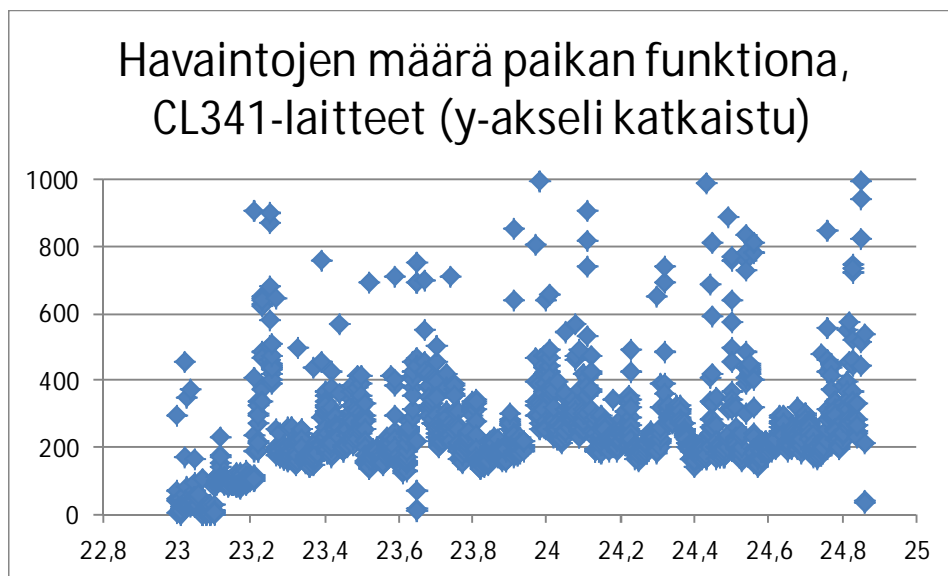
4.2.4 Tietoliikenteen viiveen paikkariippuvuus

Tietoliikenteen viiveiden riippuvuutta paikasta tarkasteltiin jakamalla kokeilualue WGS84-koordinaatistossa 0,001 asteen levyisiin, etelästä pohjoiseen ulottuviin siivuihin ja laskemalla viiveen tunnusluvut (keskiarvo, mediaani, maksimi ja minimi) erikseen jokaiselle näin saadulle osa-alueelle. Laskenta tehtiin erikseen jokaiselle laitetyypille, jotta erityyppisen kaluston käyttö eri osissa pilottialuetta ei vaikuttaisi tuloksiin. Tietoliikenteen viiveen mediaani paikan funktiona esitettiin erillisinä ku-

vaajina eri laitetyypeille (kuvat 38, 40, 42 ja 43). Tulosten tulkinnan helpottamiseksi laskettiin myös eri osa-alueilta lähetettyjen paikannusviestien määrät ja esitettiin ne kuvaajina (kuvat 39, 41 ja 44).

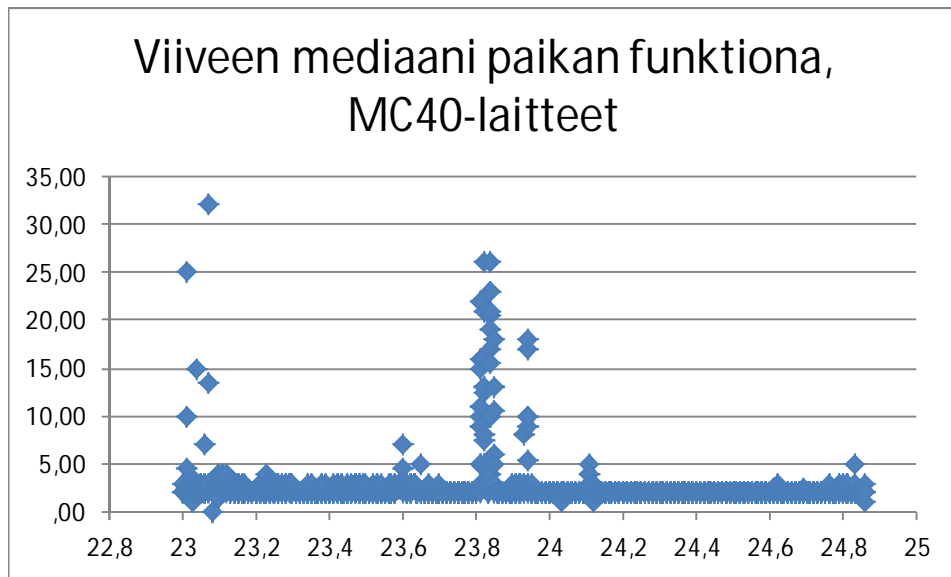


Kuva 38. Viiveen mediaani osa-alueittain, CL341-laitteet.

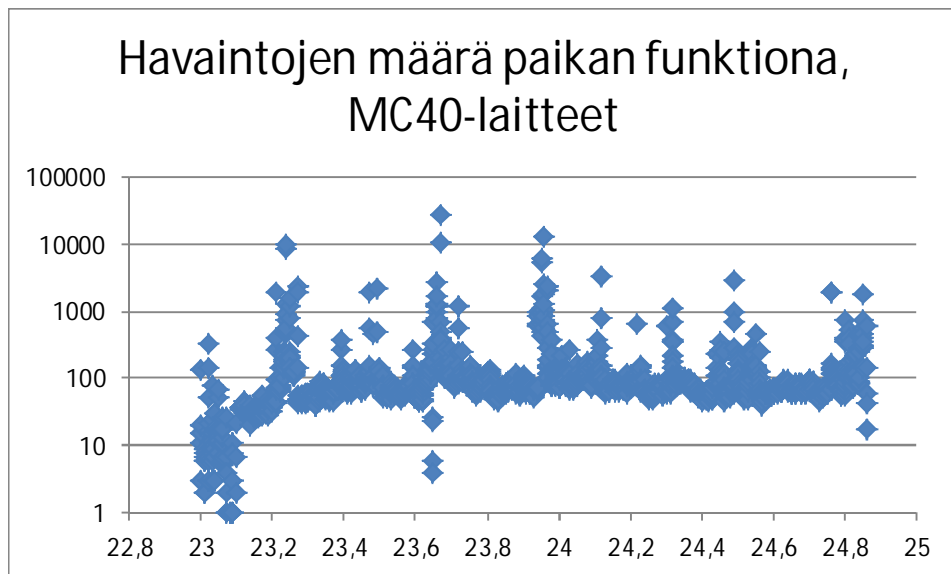


Kuva 39. Paikannusviestien määrät osa-alueittain, CL341-laitteet (y-akseli on katkaistu).

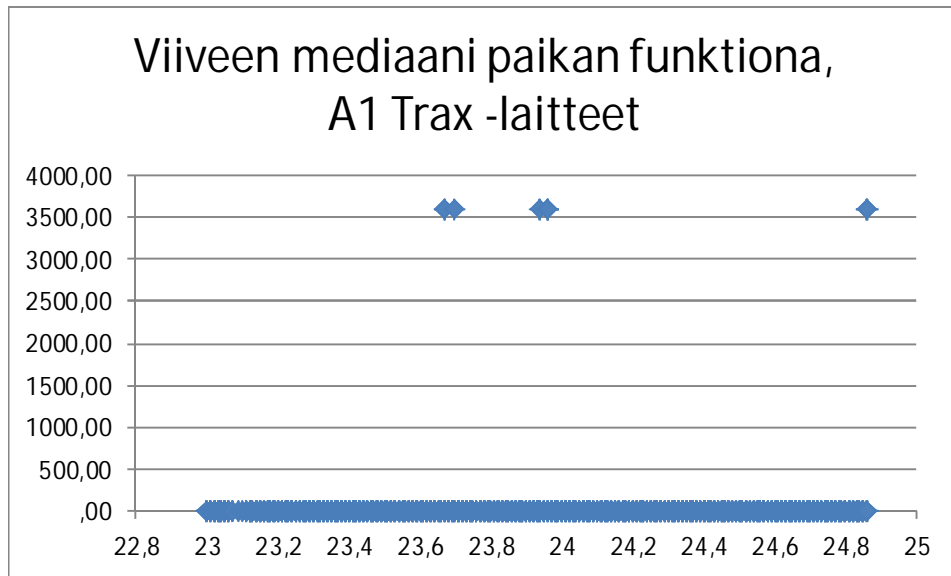
4. Järjestelmän tekninen toimivuus



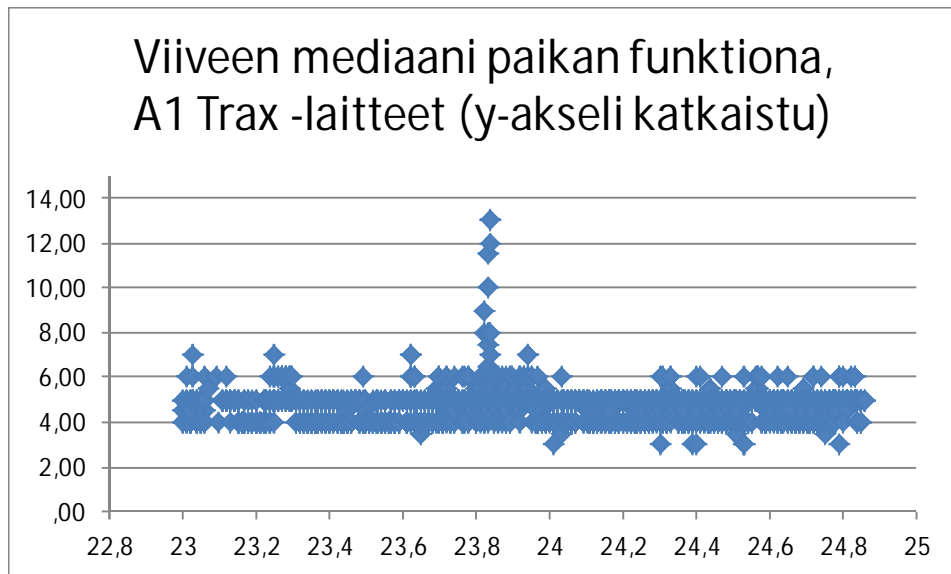
Kuva 40. Viiveen mediaani osa-alueittain, MC40-laitteet.



Kuva 41. Paikannusviestien määrä osa-alueittain, MC40-laitteet.

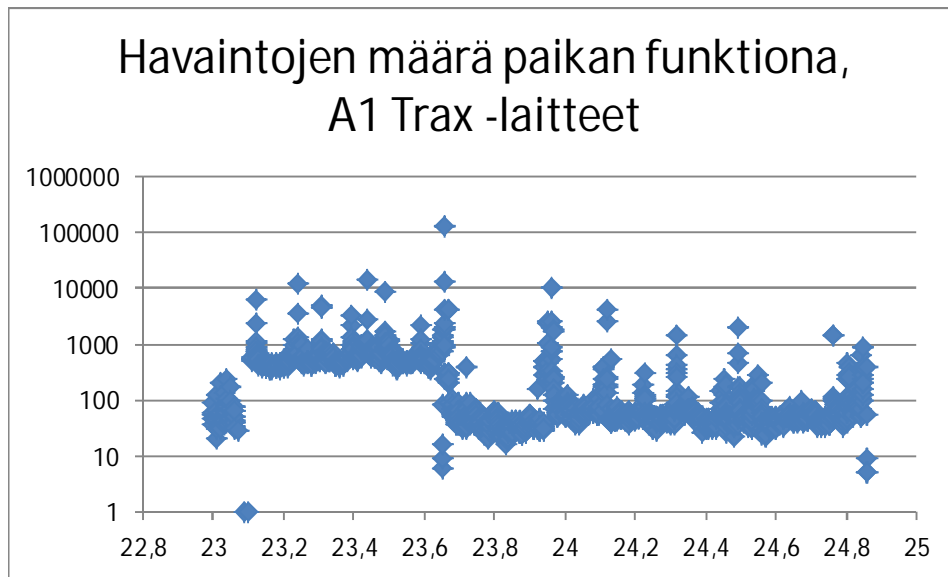


Kuva 42. Viiveen mediaani osa-alueittain, A1 Trax -laitteet.



Kuva 43. Viiveen mediaani osa-alueittain, A1 Trax -laitteet (y-akseli on katkaistu).

4. Järjestelmän tekninen toimivuus



Kuva 44. Paikannusviestien määrä osa-alueittain, A1 Trax -laitteet.

4.3 Junalaitteiden toimivuus

Resurssien rajallisuuden vuoksi hankkeessa ei voitu toteuttaa järjestelmään toimintoa, jonka avulla viallisten junalaitteiden automaattinen havaitseminen olisi ollut mahdollista. Rikkoutuneen laitteen luokse pääseminen välittömästi tapahtuman havaitsemisen jälkeen ei myöskään ollut kenttäkokeen järjestelyissä mahdollista.

Edellä mainituista syistä pilotin aikana kaikkia junalaitteiden rikkoutumisia ei voitu todeta välittömästi eikä rikkoutuneita laitteita päästy vaihtamaan heti tapahtuman havaitsemisen tai epäilemisen jälkeen. Lopullista analyysiä rikkoutuneiden laitteiden määristä ja rikkoutumisten syistä ei voitu tehdä hankkeen aikana, koska järjestelmään kuuluvia laitteita ei poistettu junista välittömästi pilotin päättymisen jälkeen.

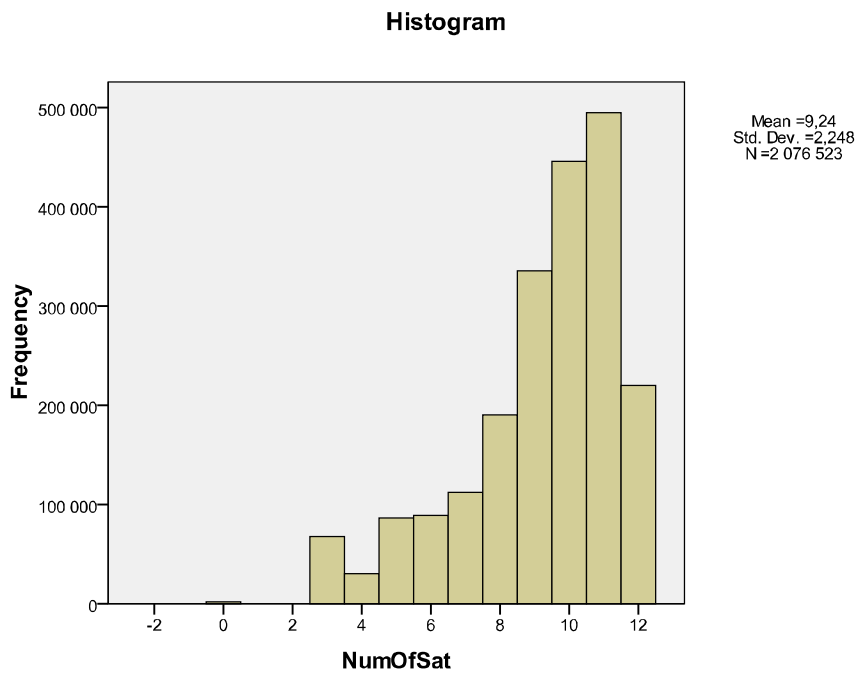
4.4 Satelliittipaikannus junalaitteissa

Järjestelmän toimivuutta ja sen tuottamien raakatietojen laatua arvioitiin välillisesti myös tarkastelemalla satelliittipaikannuksen onnistumista paikannuslaitteissa. Kaikki kokeessa käytetyt laitetyypit lisäsivät paikannusviesteihinsä tiedon siitä, miten monta satelliittia oli näkyvissä paikannusviestin muodostamishetkellä. Kaikille pilottialueelta lähetetyille, validin aikaleiman ($\text{delay} > -2$) saaneille viesteille tehdyn analyysin tulokset on koottu taulukkoon 16, ja ne esitetty myös erillisenä kuvaajana (kuva 45).

4. Järjestelmän tekninen toimivuus

Taulukko 16. Paikannusviestien määrät laitteen näkemän satelliittien määrän perusteella jaoteltuna – pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit, joilla viive > -2.

		NumOfSat			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	0	2117	,1	,1	,1
	3	67894	3,3	3,3	3,4
	4	30188	1,5	1,5	4,8
	5	86887	4,2	4,2	9,0
	6	89186	4,3	4,3	13,3
	7	112251	5,4	5,4	18,7
	8	190709	9,2	9,2	27,9
	9	335928	16,2	16,2	44,1
	10	445743	21,5	21,5	65,5
	11	495147	23,8	23,8	89,4
	12	220473	10,6	10,6	100,0
	Total	2076523	100,0	100,0	



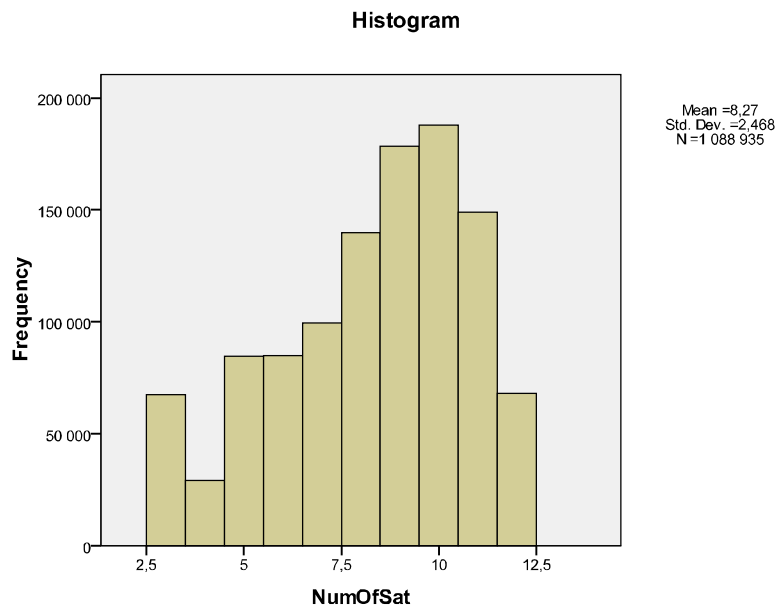
Kuva 45. Junalaitteen näkemien satelliittien määrä, kaikki paikannusviestit.

Vastaavanlainen analyysi tehtiin myös erikseen eri laitetypyeille (taulukot 17, 18 ja 19 sekä kuvat 46, 47 ja 48).

4. Järjestelmän tekninen toimivuus

Taulukko 17. Paikannusviestien määrät laitteen näkemän satelliittien määrän perusteella jaoteltuna – pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit, joilla viive > -2, vain CL341-laitteet.

NumOfSat					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	3	67468	6,2	6,2	6,2
	4	29119	2,7	2,7	8,9
	5	84772	7,8	7,8	16,7
	6	84868	7,8	7,8	24,4
	7	99564	9,1	9,1	33,6
	8	139764	12,8	12,8	46,4
	9	178365	16,4	16,4	62,8
	10	187950	17,3	17,3	80,1
	11	148872	13,7	13,7	93,7
	12	68193	6,3	6,3	100,0
Total		1088935	100,0	100,0	

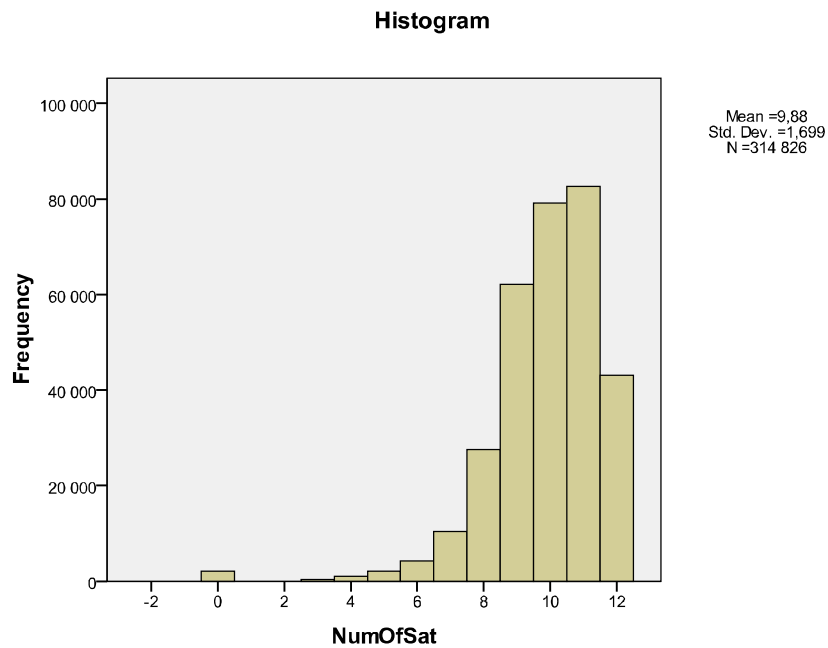


Kuva 46. Junalaitteen näkemien satelliittien määrä, CL341-laitteet.

Taulukko 18. Paikannusviestien määrät laitteen näkemän satelliittien määrän perusteella jaoteltuna – pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit, joilla viive > -2, vain MC40-laitteet.

NumOfSat

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 0	2117	,7	,7	,7
3	426	,1	,1	,8
4	1069	,3	,3	1,1
5	2114	,7	,7	1,8
6	4258	1,4	1,4	3,2
7	10421	3,3	3,3	6,5
8	27546	8,7	8,7	15,2
9	62096	19,7	19,7	35,0
10	79110	25,1	25,1	60,1
11	82582	26,2	26,2	86,3
12	43087	13,7	13,7	100,0
Total	314826	100,0	100,0	

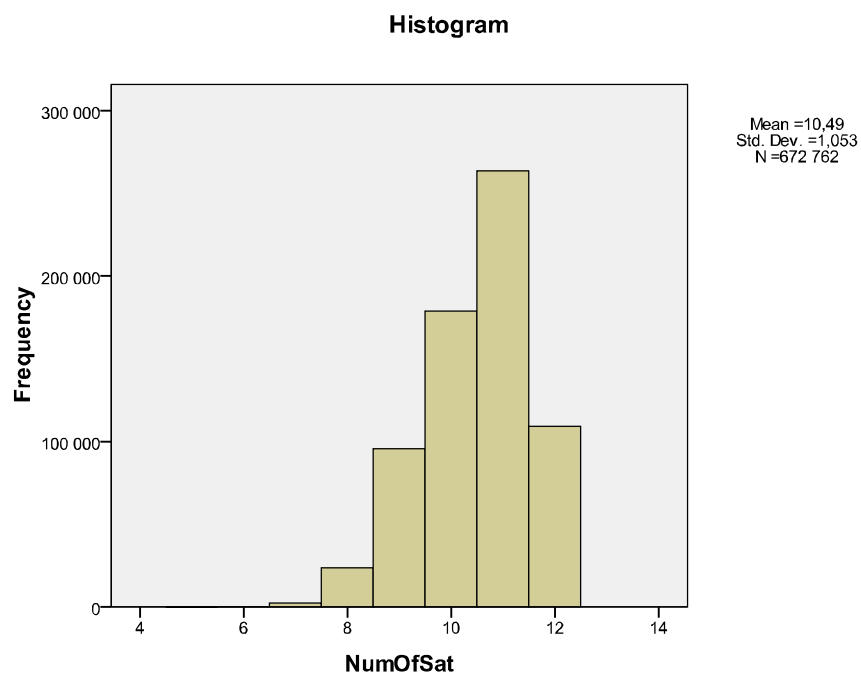


Kuva 47. Junalaitteen näkemien satelliittien määrä, MC40-laitteet.

4. Järjestelmän tekninen toimivuus

Taulukko 19. Paikannusviestien määrät laitteen näkemän satelliittien määrän perusteella jaoteltuna – pilottialueelta pilotin aikana lähetetyt paikannusviestit, joilla viive > -2, vain A1 Trax -laitteet.

NumOfSat				
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 5	1	,0	,0	,0
6	60	,0	,0	,0
7	2266	,3	,3	,3
8	23399	3,5	3,5	3,8
9	95467	14,2	14,2	18,0
10	178683	26,6	26,6	44,6
11	263693	39,2	39,2	83,8
12	109193	16,2	16,2	100,0
Total	672762	100,0	100,0	



Kuva 48. Junalaitteen näkemien satelliittien määrä, MC40-laitteet.

5. Järjestelmän toiminnan luotettavuus

5.1 Havainnoinnin tulokset

Autossa toimivan junavaroitussjärjestelmän toimintaa havainnoitiin noin 11 vuorokauden ajan. Havainnoinnin tulokset on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Tulokset järjestelmän toiminnan havainnoinnista.

	Onnistuneet hälytykset	Laatukriteerejä täyttämättömät hälytykset	Toteutumattomat hälytykset	Väärät hälytykset
7.3.2011			7	
8.3.2011, 00.00–07.46			6	
8.3.2011, 07.46–13.38	1	2	8	
8.3.2011, 13.38–24.00			7	
9.3.2011			31	
10.3.2011			29	
11.3.2011, 00.00–12.17			14	
11.3.2011, 12.17–24.00	6	2	5	
12.3.2011	6	3	10	
13.3.2011	6	7	5	
14.3.2011	8	16	6	7
15.3.2011	11	10	7	6
16.3.2011	18	2	2	
17.3.2011	5	3	10	
18.3.2011	2	2	3	

Laatukriteerejä täyttämättömät hälytykset on eritelty tarkemmin taulukossa 21.

5. Järjestelmän toiminnan luotettavuus

Taulukko 21. Yhteenveto toteutuneista mutta laatukriteerejä täyttämättömistä hälytyksistä.

	Myöhäinen alku	Keskeytynyt hälytys	Myöhäinen alku + keskey- tys	Myöhäinen loppu	Ennenaikainen alku	Ennenaikainen loppu	Myöhäinen loppu + kes- keytys	Myöhäinen alku + myö- häinen loppu
7.3.2011								
8.3.2011, 00.00–07.46								
8.3.2011, 07.46–13.38		1	1					
8.3.2011, 13.38–24.00								
9.3.2011								
10.3.2011								
11.3.2011, 00.00–12.17								
11.3.2011, 12.17–24.00	1			1				
12.3.2011				2			1	
13.3.2011	2	1		4				
14.3.2011	2	6		4	1	2		1
15.3.2011	2	4		1		3		
16.3.2011		2						
17.3.2011		2		1				
18.3.2011		2						

Havainnoinnista saatujen tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 22. Suuri osa toteutumatta jääneistä hälytyksistä ajoittuu havaintojakson alkuun, jolloin junavaroitussjärjestelmä ei ollut käytettävissä järjestelmään kuuluvan palvelimen kaatumisen vuoksi. Järjestelmään kuuluvan, VTT:llä toimivan palvelimen kaatumiset ovat verrattain harvinaisia, ja kenttäkokeen ja järjestelmän kehitystyön aikana saatujen kokemusten perusteella niitä tapahtuu vain muutamia vuodessa. Edellä mainitusta syystä 11 päivän tarkastelujaksolla saadut tulokset eivät anna oikeaa kuvaa palvelimen luotettavuuden vaikutuksesta järjestelmän toiminnan luotettavuuteen. Tästä syystä VTT:n palvelinjärjestelmän kaatumisesta aiheutuneita toteutumattomia hälytyksiä aikajaksolla 6.3.2011 (22.36) – 11.3.2011 (12.17) ja 8.3.2011 (13.38) – 11.3.2011 (12.17) ei sisällytetty taulukossa 22 esitettyihin tuloksiin.

Taulukko 22. Havaintojakson aikana toteutuneet tilanteet.

		Toteutuneet tapahtumat	
		Ei havaittu junaa	Juna havaittu
Järjestelmän antama tieto	Ei varoitusta	Ei sovellettavissa	103
	Varoitus	13	63

Järjestelmän luotettavuuden eri tunnusluvut on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. Järjestelmän luotettavuutta kuvaavat tunnusluvut.

Symboli	Määritelmä	Arvo
P	$(N_{FN} + N_{TP}) / (N_{TN} + N_{FP} + N_{FN} + N_{TP})$	92,7 %
$P_{accuracy}$	$(N_{TN} + N_{TP}) / (N_{TN} + N_{FP} + N_{FN} + N_{TP})$	35,2 % (ei sovellettavissa)
P_{CP}	$N_{TP} / (N_{FP} + N_{TP})$	82,9 %
P_{TP}	$N_{TP} / (N_{FN} + N_{TP})$	38,0 %
P_{FN}	$N_{FN} / (N_{FN} + N_{TP})$	62,0 %
P_{TN}	$N_{TN} / (N_{FN} + N_{FP})$	0 % (ei sovellettavissa)
P_{FP}	$N_{FP} / (N_{TN} + N_{FP})$	1 % (ei sovellettavissa)
P_{rel}	$\sqrt{N_{TP}^2 / (N_{FP} + N_{TP})(N_{FN} + N_{TP})}$	56,1 %

5.2 Menetelmän rajoitteet

Videokuvasta havainnointi vaatii verrattain runsaasti työtä suhteessa havaintojakson pituuteen. Tästä syystä havainnointijakson pituus jouduttiin rajoittamaan noin 11 vuorokauteen ja havainnoinnin maantieteellinen kattavuus kahteen tasoristeykseen. Edellä mainituista syistä tuloksia tulee tulkita varovasti silloin, kun kyse on järjestelmän vikatilanteista, joiden keskimääräinen esiintymistiheys (MTBF) tai korjausaika (MTTR) on samaa luokkaa tai pidempi kuin havaintojakso.

Havainnoinnin kohteena ollut junavaroitussjärjestelmä on laaja ja monimutkainen järjestelmä, jonka toiminta perustuu olennaiselta osaltaan sitä tukevien järjestelmien, kuten satelliittipaikannuksen ja matkaviestinverkon, toimintaan. Edellä mainituista syistä on mahdollista, että järjestelmässä on piilevänä vikaantumistapoja, jotka eivät ilmenneet 11 päivän mittaisen tarkastelujakson aikana havainnointaessa järjestelmän toimintaa kahdessa tasoristeyksessä. Todennäköistä kuitenkin on, että havainnoinnilla kyettiin toteamaan ne vikaantumistavat, jotka yleisimmin esiintyvät järjestelmän tavanomaisen toiminnan aikana ja joilla mitä todennäköisimmin on myös suurin vaikutus toteutetun järjestelmän luotettavuuteen.

6. Järjestelmän turvallisuus- ja riskianalyysi

Autossa toimivalle junavaroitussjärjestelmälle tehtiin turvallisuus- ja riskianalyysi. Tämä kvalitatiivinen analyysi sisältää järjestelmän vikatilanteiden ja vaarallisten tapahtumien (järjestelmä pois käytöstä) kuvauksen sekä niiden mahdolliset syyt ja seuraukset. Analyysi kattaa järjestelmän autolaitteisiin antamien varoitusten analyysin, toisin sanoen mahdolliset tilanteet, joissa juna ajoi tasoristeykseen ilman että järjestelmä varoitti tai sillä oli valmius varoittaa tasoristeystä samanaikaisesti lähestyviä tienkäyttäjiä. Riskianalyysi perustuu tässä järjestelmäkuvaukseen. Seuraavassa tarkastellaan Euroopan rautatieviraston suosituksia sekä riskianalyysin menetelmiä ja saatuja tuloksia tarkemmin.

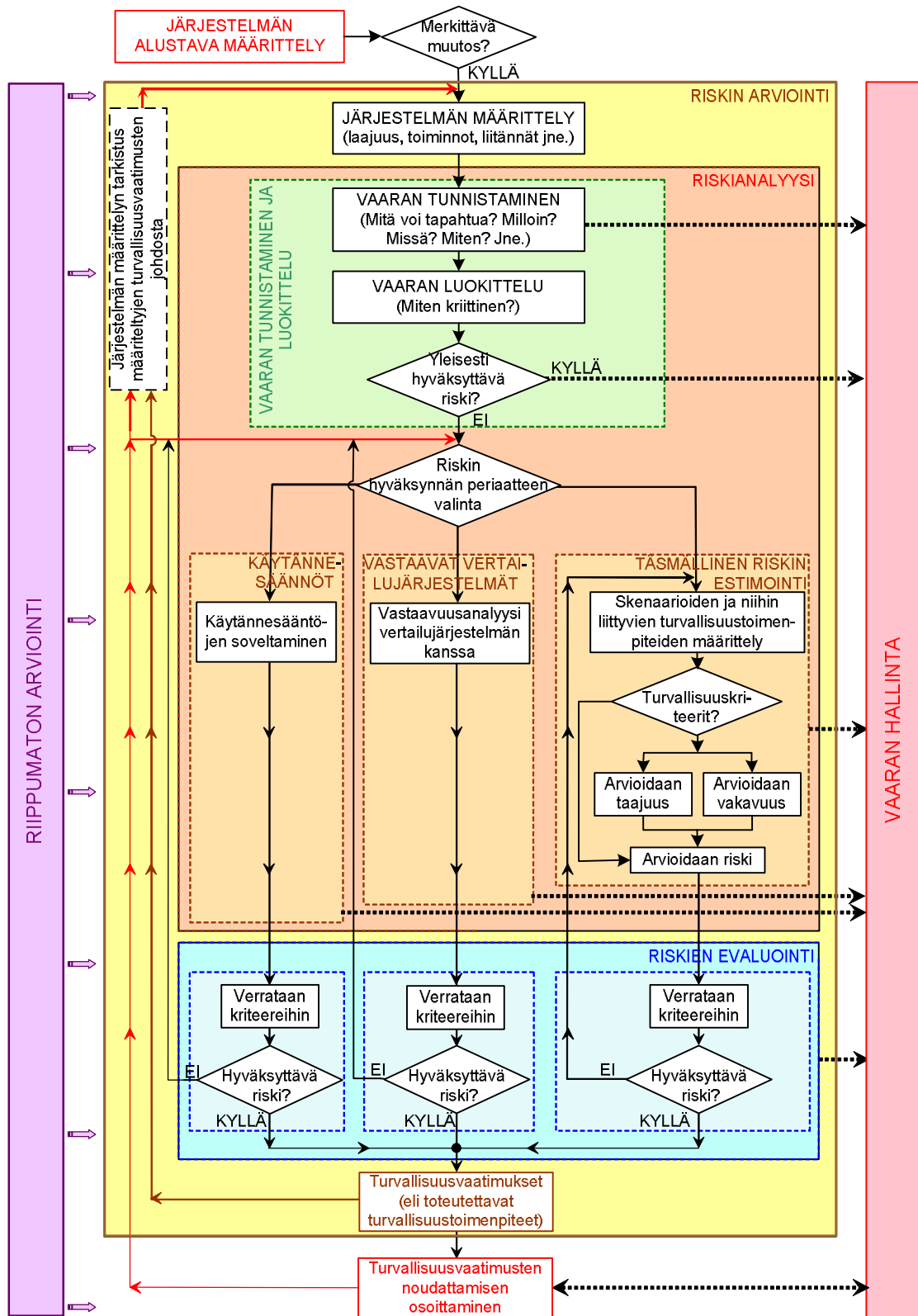
6.1 Euroopan rautatieviraston suosituksia

Euroopan rautatievirasto ERA (European Railway Agency) kehittää yhteisiä turvallisuusmenetelmiä (Common Safety Methods, CSM) ja yhteisiä turvallisuustavoitteita rautatiejärjestelmien ja niiden osien turvallisuuden arvioimiseksi ja varmistamiseksi. Yhteiset turvallisuusmenetelmät kuvaavat, miten turvallisuuden tasoa, turvallisuustavoitteiden saavuttamista ja turvallisuusvaatimusten noudattamista arvioidaan. Yhteisiin turvallisuusmenetelmiin kuuluvat (Kallionpää ym. 2008):

- riskien arviointimenetelmät
- menetelmät, joilla arvioidaan turvallisuustodistusten ja turvallisuuslupien vaatimusten noudattamista
- menetelmät, joilla valvotaan, että Euroopan laajuisten rautatiejärjestelmien rakenteellisia osajärjestelmiä käytetään ja ylläpidetään niitä koskevien olennaisten vaatimusten mukaisesti, mikäli näistä ei ole vielä olemassa yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä (YTE). (Direktiivi 2004/49/EY.)

Rautatiejärjestelmien turvallisuuden ja riskien arviointi- ja hallintaprosessi etenee ERA:n suositusten perusteella esitetyn kaavion mukaisesti (kuva 49) (European Railway Agency 2007). Kaavio esittää riskinhallintaprosessiin sovellettavat yleiset periaatteet.

6. Järjestelmän turvallisuus- ja riskianalyysi



Kuva 49. Riskienhallintaprosessi (European Railway Agency 2007, Euroopan komissio 2009, Jovicic 2008).

6. Järjestelmän turvallisuus- ja riskianalyysi

6.1.1 Vaaraloki

Euroopan rautatieviraston ERA:n suosituksissa esitetään, että rautatiejärjestelmiin liittyvistä riskeistä ja vaaroista pidetään niin sanottua vaaralokia (Hazard log). Tätä kutsutaan rautateiden turvallisuudesta annetussa direktiivissä (2004/49/EY, liite D002768/03) myös vaararekisteriksi (Euroopan komissio 2009). Se on dokumentti, jonne tallennetaan tai referoidaan kaikki tieto turvallisuusjohtamisen toimenpiteistä, tunnistetuista vaaroista, tehdyistä päätöksistä ja hyväksytyistä ratkaisuista (EN 50129).

ERA:n suosituksesta (European Railway Agency 2007) ei suoraan ilmene, mitä asioita vaaralokin tulee sisältää. Seuraavassa on eri lähteistä koottu esimerkki siitä, mitä tietoa tai taulukon sarakkeita vaaraloki voi sisältää:

- vaaran numero
- vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus
- vaaran alkuperä tai syy
- seuraus
- riskin estimointi:
 - vaaran seurausten vakavuus (tasot 1, 2, 3 ja 4, ks. taulukko 25)
 - vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyys (tasot a, b, c, d, e ja f, ks. taulukko 26)
- riski (tasot A, B, C ja D, ks. taulukko 27 ja taulukko 28)
- luokittelu, esimerkiksi
 - henkilöturvallisuusriski
 - käyttövarmuusriski
 - ympäristöriski
 - tietoturvariski
- oma arvio riskin merkittävyydestä sanallisesti kuvattuna
- päivämäärä (jolloin riskin kuvaus on lisätty lokiin)
- kuka kirjannut
- kuvaus riskin vähennystoimenpiteistä; näitä voi olla useita, esimerkiksi
 - riskin pienentäminen suunnitteluun liittyvin toimenpitein
 - riskin pienentäminen turvalaitteita käyttäen
 - varoituksella hoidettava riskin pienennys
 - ohjeistuksella hoidettava riskin pienennys
 - harjoitusten avulla hoidettava riskin pienennys
- koulutus tai valmennus
- huomautukset (esim. koekäytön aikana tehtyjä havaintoja).

Tässä tutkimuksessa tehtiin autossa toimivalle junavaroitusjärjestelmälle vaaraloki (ks. liite G), jossa on koottu turvallisuusriskejä ja vaarakuvauksia pääasiassa henkilöturvallisuuden ja järjestelmän käytövarmuuden näkökulmasta. Kerättyjen vaara- ja riskikuvausten joukossa on myös joitakin tietoturvalisuuteen liittyviä riskejä. Myös esimerkiksi ympäristöriskit on mahdollista kerätä vaaralokiin, vaikkakaan nämä eivät tässä analyysissä olleet tarkastelun kohteena. Inhimilliset tekijät otettiin vaarojen ja riskien kuvauksessa huomioon. Vaaran kuvausten lisäksi vaaralokiin kerättiin tiedot vaarojen syistä,

seurauksista ja mahdollisista riskin vähentämisen toimenpiteistä sekä esitettiin tarvittaessa huomautuksia.

6.2 Riskianalyysin menetelmät

Ensimmäiset yhteiset turvallisuusmenetelmät, jotka koskevat teknisten järjestelmien riskin ja sen merkityksen arviointia, olivat projektin kuluessa työn alla. Euroopan rautatieviraston raportissa (Jovicic 2008) annetaan karkeat rajat riskin hyväksymiskriteereille. Siinä on ehdotettu teknisten järjestelmien riskien hyväksymiskriteeriksi seuraavaa:

”Mikä tahansa toiminnon vikamuoto, jolla on välitön mahdollisuus katastrofaalisia seurauksia aiheuttavaan onnettomuuteen, ei saa esiintyä tiheämmin kuin 10^9 kertaa toimintatuntia kohden.”

Kerätyille riskeille ja vaarojen kuvauksille voidaan tarvittaessa tehdä riskien estimointi kuvassa esitetyllä tavalla (kuva 49).

Järjestelmän riskien hyväksyttävyys voidaan esittää riskimatriisin avulla. Taulukko 24 esittää tyypillisen esimerkin kalibroidusta riskimatriisista. Tämä taulukkoesimerkki on esitetty alun perin ERA:n dokumentissa (Jovicic 2008). Siinä käytetyt merkinnät tarkoittavat seuraavaa:

Sietämätön riski	Riski on eliminoitava.
Siedettävä riski	Riski on hyväksyttävissä riittävän valvonnan ja vahvan oikeutuksen kera.
Hyväksyttävä riski	Riski on hyväksyttävissä ilman tarvetta vahvaan oikeutukseen. Riippumat arviointi vaaditaan.

Taulukko 24. Teknisille järjestelmille tarkoitettu kalibroitu riskimatriisi (Jovicic 2008).

Onnettomuuden esiintymistäajuus (vaaran aiheuttama)	Riskitasot			
	Merkityksetön	Marginaalinen	Kriittinen	Katastrofaalinen
Yleinen, toistuva ($10^{-4}/h$)	Sietämätön	Sietämätön	Sietämätön	Sietämätön
Todennäköinen ($10^{-5}/h$)	Sietämätön	Sietämätön	Sietämätön	Sietämätön
Satunnainen ($10^{-6}/h$)	Siedettävä	Sietämätön	Sietämätön	Sietämätön
Vähäinen ($10^{-7}/h$)	Hyväksyttävä	Siedettävä	Sietämätön	Sietämätön
Epätodennäköinen ($10^{-8}/h$)	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	Siedettävä	Sietämätön
Uskomaton ($10^{-9}/h$)	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	Hyväksyttävä	Siedettävä
	Merkityksetön	Marginaalinen	Kriittinen	Katastrofaalinen
	Vaaran seurauksen (onnettomuus) vakavuusluokat			

Riskien merkittävydestä on suositeltavaa tehdä oma arvio, sillä riskien arviointi riskimatriisin avulla ei aina välttämättä tuota toivottua lopputulosta. Autossa toimivalle junavaroitussjärjestelmälle ei tehty riskien estimointia seurausten vakavuuden ja vaarojen esiintymistäajuuden suhteen, sillä vaarojen esiintymistäajuuksista ei ollut käytettävissä riittävästi tietoa. Toisaalta myös seurausten vakavuus tällaisessa sovelluksessa on tarpeen arvioida pahimman mahdollisuuden mukaan, joka tässä tapauksessa on lähes aina katastrofaalinen (ks. taulukko 25) – toisin sanoen, jos autossa toimivaan junavaroitussjärjestelmään tulee syystä tai toisesta toimintahäiriö, jonka seurauksena hälytys ei tule. Jos auton kuljetta-

6. Järjestelmän turvallisuus- ja riskianalyysi

ja tällöin luottaa sokeasti tähän tekniseen järjestelmään, voi seurauksena olla junan alle jääminen tasoristeyksessä. Taulukko 25 esittää rautatiesovelluksia koskevassa standardissa EN 50126 esitetyt vaaran seurausten vakavuustasot.

Taulukko 25. Vaaran seurausten vakavuustasot.

Vakavuustaso	Numero	Seuraus henkilöille tai ympäristölle	Seuraus palvelulle
Katastrofaalinen	4	Kuolemantapaus (tai useita) ja/tai useita vakavia loukkaantumisia ja/tai merkittävä vahinko ympäristölle	
Kriittinen	3	Yksittäinen kuolemantapaus ja/tai vakava loukkaantuminen ja/tai merkittävä ympäristövahinko	Merkittävä järjestelmän menetys
Marginaalinen	2	Vähäinen vamma ja/tai merkittävä uhka ympäristölle	Vakava järjestelmävahinko
Merkityksetön	1	Mahdollinen vähäinen vamma	Vähäinen järjestelmävahinko

Taulukko 26 esittää vaarallisten tapahtumien esiintymistajuuksia ja todennäköisyyksiä. Tiedot ovat peräisin useasta eri lähteestä. Taulukon sarakkeen ”Esiintyminen järjestelmän toiminnallisen elinkaaren aikana” tiedot ovat peräisin standardista EN 50126. Tämä standardi ei esitä lainkaan numeerisia raja-arvoja vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyydelle, vaan ainoastaan sanalliset kuvaukset. Taulukon sarakkeen ”Tapahtumia elinaikana” tiedot ovat peräisin Wun väitöskirjasta (Wu 2008) ja sarakkeen ”Esiintymistajuuksia tuntia kohden” ERA:n laatimasta teknisille järjestelmille tarkoitettua riskien hyväksymiskriteereistä (Jovicic 2008). Numeeriset arvot ovat suuntaa antavia esimerkkejä.

Taulukko 26. Vaarallisten tapahtumien esiintymistajuuksia tai -todennäköisyyksiä.

Todennäköisyys tai tajuus	Taso	Esiintyminen järjestelmän toiminnallisen elinkaaren aikana	Tapahtumia elinaikana	Esiintymistajuuksia tuntia kohden
Yleinen, toistuva	a	Onnettomuus tai vaarallinen tapahtuma tapahtuu todennäköisesti toistuvasti. Vaara tullaan läpikäymään jatkuvasti järjestelmän elinkaaren aikana.	> 100	10^{-4}
Todennäköinen, ilmeinen	b	Onnettomuus tai vaarallinen tapahtuma tulee ilmenemään useita kertoja. Vaaran voidaan olettaa ilmenevän usein järjestelmän elinkaaren aikana.	10–50	10^{-5}
Satunnainen	c	Onnettomuus tai vaarallinen tapahtuma ilmenee todennäköisesti useita kertoja. Vaaran voidaan olettaa ilmenevän useita kertoja järjestelmän elinkaaren aikana.	1–5	10^{-6}
Vähäinen	d	Onnettomuus tai vaarallinen tapahtuma on epätodennäköinen järjestelmän elinkaaren aikana, mutta sen tapahtumista on perusteltua odottaa.	0,1–0,5	10^{-7}
Epätodennäköinen	e	Onnettomuus tai vaarallinen tapahtuma on hyvin epätodennäköinen järjestelmän elinkaaren aikana, mutta sen tapahtuminen on mahdollinen.	0,001–0,05	10^{-8}
Uskomaton	f	Onnettomuuden tai vaarallisen tapahtuman esiintyminen on äärimmäisen epätodennäköistä, ja voidaan olettaa, että sitä ei järjestelmän elinkaaren aikana tapahdu.	$\leq 0,0005$	10^{-9}

Seuraavissa taulukoissa esitetään vertailun vuoksi standardissa EN 50126 esitetty riskimatriisi ja kvalitatiiviset riskikategoriat (taulukko 27 ja 28).

Taulukoiden perusteella voidaan havaita poikkeavuus ERA:n dokumentteihin nähden.

6. Järjestelmän turvallisuus- ja riskianalyysi

Taulukko 27. Riskimatriisi ja esimerkki riskin arvioinnista ja hyväksynnästä (EN 50126, IEC 60812).

Vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyys		Riskitasot			
		1 Merkityksen	2 Marginaalinen	3 Kriittinen	4 Katastrofaalinen
Yleinen, toistuva	a	B	A	A	A
Todennäköinen, ilmeinen	b	C	B	A	A
Satunnainen	c	C	B	B	A
Vähäinen	d	D	C	B	B
Epätodennäköinen	e	D	D	C	C
Uskomaton	f	D	D	D	D

Taulukko 28. Kvalitatiiviset riskikategoriat (EN 50126).

Riskiluokka	Riskin kuvaus	Toimenpiteet
A	Sietämätön riski	Eliminoitava
B	Epämieluisen riski	Voidaan hyväksyä vain, kun riskin pienentäminen on mahdoton toteuttaa ja rautatieviranomainen tai turvallisuutta säätelevä viranomainen hyväksyy, kuten on tarkoituksenmukaista.
C	Siedettävä riski	Hyväksyttävissä riittävässä valvonnassa ja mikäli rautatieviranomainen hyväksyy.
D	Merkityksetön	Hyväksyttävissä ilman rautatieviranomaisen hyväksyntää

6.3 Toteutus ja tulokset

Riskien ja vaarojen kuvaukset saatiin työpajatyöskentelyn tuloksena, ja nämä on esitetty tämän raportin liitteessä G. Riskejä tarkasteltiin etupäässä henkilöturvallisuuden näkökulmasta, mutta työpajassa tuli esiin myös joitakin järjestelmän käyttövarmuuteen ja tietoturvallisuuteen liittyviä riskejä. Usean liitteessä esitetyn vaaran tai riskin pahin mahdollinen seuraus on se, että lähestyvä juna saattaa jäädä havaitsematta autossa toimivaan junavaroituksjärjestelmään tulleen toimintahäiriön tai vian seurauksena. Seuraukset voivat ovat katastrofaaliset, jos käyttäjä luottaa sokeasti tähän tekniseen järjestelmään eikä tarkkaile tasoristeysliikennettä.

Riskin estimoinnin on muissa tutkimuksissa todettu antavan subjektiivisia tuloksia (Hietikko ym. 2001), mikä voi olla jossain määrin ongelmallista tuotteen tai järjestelmän vaatimusmäärittelyn kannalta. Arvioijien tekemä riskin estimointi saattaa tuottaa turvallisuudesta vastaaville järjestelmän toimintoille erilaisia turvallisuusvaatimuksia. Riskin estimoinnin subjektiivisuus, käytettävissä olleet rajalliset resurssit, useimpien vaarakuvausten katastrofaaliset seuraukset sekä numeerisen tiedon puuttuminen esiintymistodennäköisyyksistä olivat syinä siihen, miksi riskien estimointia luvussa 1.2 esitetyllä tavalla ei tässä toteutettu.

7. Järjestelmän hyödyt ja kustannukset

7.1 Järjestelmän vaikuttavuus

Järjestelmän potentiaaliset vaikutukset arvioitiin tasoristeysten nykyisen turvallisuustilanteen sekä vastaavan kaltaisen toiminnallisuuden tarjoamalle järjestelmälle käytävissä olleen vaikutustiedon perusteella. Turvallisuusvaikutuksia koskeva arvio tehtiin alun perin hankkeessa ”Älyliikenteen strategian vaikutusarviointi” (Rajamäki ym. 2011). Hankkeessa laadittu vaikutusarvio ja sen yleiset perusteet esitetään alla.

Kiinteästi tasoristeykseen asennetun ja junan saapuessa valoa vilkuttavan varoituslaitteen on arvioitu vähentävän onnettomuuksia 54 % verrattuna vartioimattomaan tasoristeykseen. Viime vuosien tasoristeysonnettomuuksista noin 80 % on tapahtunut vartioimattomissa tasoristeyksissä. Laskelmassa oletettiin myös, että puolet ajoneuvokannasta on varustettu järjestelmän ajoneuvolaitteella. Edellä mainituin perustein järjestelmän arvioitiin vähentävän tasoristeysonnettomuuksia sekä onnettomuuksissa kuolleiden ja loukkaantuneiden määrää 22 %. 2000-luvun vuosina tasoristeyksissä tapahtui keskimäärin 20 henkilövahinko-onnettomuutta. Edellä mainituilla lähtötiedoilla ja oletuksilla saadaan tulokseksi noin neljän (4,2) henkilövahinko-onnettomuuden vähennys vuodessa.

7.2 Järjestelmän potentiaaliset hyödyt

Järjestelmän on arvioitu vähentävän vuosittaisia henkilövahinko-onnettomuuksia noin neljällä (4,2) tilanteessa, jossa 50 % ajoneuvokannasta on varustettu järjestelmän ajoneuvolaitteella. Liikenneviraston julkaisemien yksikköarvojen mukaan tieliikenteen henkilövahinko-onnettomuuden yhteiskuntataloudellinen kustannus on 493 000 euroa onnettomuutta kohti (Tervonen ja Ristikartano 2010). Oletettavissa on, että henkilövahinkoja aiheuttaneessa tasoristeysonnettomuudessa yksikkökustannus on edellä mainittua arvoa suurempi. Tasoristeysten turvallisuuden paranemiseen liittyviksi järjestelmän yhteiskuntataloudelliseksi hyödyiksi voidaan siis arvioida vuositasolla noin 2,1 miljoonaa euroa.

7.3 Järjestelmän kustannukset

Eräänä työn tavoitteena oli arvioida järjestelmän yhteiskuntataloudelliset kustannukset tällä hetkellä käytävissä olevien tietojen ja teknisten ratkaisujen perusteella. Järjestelmän toteuttamiseen liittyvät

kustannukset riippuvat olennaisesti ajoneuvolaitteen toteutustavasta sekä ajoneuvolaitteiden tietoliikennekuluista, joihin vaikuttaa järjestelmän käyttäjien määrä.

Järjestelmän toteuttamisesta aiheutuva investointikustannus sisältää tasoristeysten tilatietoja tuottavan palvelinjärjestelmän, palvelinjärjestelmän ohjelmistokehityksen sekä rautatiekaluston junalaitteet asennuksineen, mutta ei käyttäjien ajoneuvolaitteita. Järjestelmän toteuttamisesta aiheutuvan investointikustannuksen on arvioitu olevan noin 2 miljoonaa euroa.

Investointikustannusta arvioitaessa lähtökohtana on ollut kahdennetun paikannuslaitteen asennus 1 000 kalustoyksikköön. Yksittäisen paikannuslaitteen laitekustannuksen on näin suurena määränä hankittuna arvioitu olevan noin 200 euroa kappaleelta. Kalustoyksikköä kohti asennuksiin on arvioitu kuluvan kolme työtuntia, joiden yksikkökustannukseksi on arvioitu 40 euroa tunnilta. Junalaitteiden hankintaan ja asennuksiin on siis arvioitu kuluvan noin 520 000 euroa. Lopun noin 1,5 miljoonan euron on arvioitu riittävän tuotantovaiheen palvelinjärjestelmän ohjelmistokehitykseen, palvelinjärjestelmän laitehankintoihin, järjestelmän laadunvarmistukseen sekä järjestelmän ylläpitoa koskevien prosessien määrittelyyn.

Investointikustannuksen lisäksi järjestelmän toteutukseen liittyy vuosittaisia ylläpito-, kehitys- ja tietoliikennekuluja sekä kustannuksia järjestelmän tietojen laaduntarkkailusta ja käyttäjien tuesta. Edellä mainittuihin kustannuksiin sisältyvät muun muassa käytössä rikkoutuneiden junalaitteiden vaihtaminen uusiin, junalaitteiden tietoliikennekulut, palvelun laadun seuranta, palvelinjärjestelmän ylläpito, palvelun toiminnassa havaittujen puutteiden korjaaminen kiireellisyysjärjestyksessä sekä www-sivuina tai puhelimitse tarjottava käyttäjien tuki. Järjestelmän vuosittain toistuviksi kustannuksiksi on alustavasti arvioitu noin 600 000 euroa.

Vuosittain toistuvia kustannuksia arvioitaessa on oletettu, että noin 1 000 kalustoyksikköä varustetaan kahdennetulla paikannuslaitteella. Vuosittain rikkoutuvien laitteiden osuudeksi on arvioitu 10 % ja laitekohtaiseksi tietoliikenteen kustannukseksi 10 euroa kuukaudessa. Kustannus uushankinnasta ja asennuksesta rikkoutunutta laitetta kohti on arvioitu olevan noin 300 euroa. Edellä mainituilla oletuksilla kustannukset junalaitteiden tietoliikenteestä olisivat 240 000 euroa ja rikkoutuneiden junalaitteiden vaihtamisesta 60 000 euroa. Lopun 300 000 euron on arvioitu riittävän palvelun laadun seurannasta, palvelinjärjestelmän ylläpidosta, palvelussa havaittujen puutteiden korjaamisesta sekä käyttäjien minimitason tuesta aiheutuviin kustannuksiin.

Järjestelmän käyttäjien ajoneuvolaitteista ja tietoliikenteestä aiheutuneita kustannuksia ei sisällytetty laskelmaan, koska ajoneuvolaitteista aiheutuva kustannus riippuu voimakkaasti laitteen toteutustavasta. Todennäköistä on, että järjestelmän ajoneuvolaitteella käytetään myös muita älykkään liikenteen sovelluksia, ja tällöin kaikkia laitealustan kustannuksia ei ole perusteltua kohdistaa vain yhdelle sovellukselle. Koska käyttäjien saatavilla olevat palvelukokonaisuudet eivät ole vielä vakiintuneet, ei ajoneuvolaitteena toimivan laitealustan kustannuksia voitu tällä hetkellä käytettävissä olevien tietojen pohjalta jakaa eri sovelluksille vaikeuksitta.

7.4 Järjestelmän yhteiskuntataloudellinen kannattavuus

Koska järjestelmän toteutukseen liittyy varsin paljon tuntemattomia tekijöitä, siitä ei laadittu laajaa hyöty-kustannusanalyysiiä. Alustavan tarkastelun perusteella näyttää kuitenkin siltä, että aikaisemmissa luvuissa esitetyillä oletuksilla järjestelmän hyöty-kustannussuhde olisi yli yksi, mikäli käyttäjien

7. Järjestelmän hyödyt ja kustannukset

ajoneuvolaitteista ei aiheudu lisäkustannuksia järjestelmää toteutettaessa. Arvon yksi ylittävä hyöty-kustannussuhde ilmaisee, että hankkeen yhteiskuntataloudelliset hyödyt ylittävät sen kustannukset.

Järjestelmän avulla tavoitellut turvallisuusvaikutukset ja sitä kautta järjestelmän yhteiskuntataloudelliset hyödyt voivat toteutua, jos seuraavat oletukset ovat voimassa:

- Järjestelmä toteuttaa sille suunnitellun toiminnallisuuden riittävällä luotettavuustasolla.
- Järjestelmän ajoneuvolaite onnistutaan toteuttamaan selkeänä ja helppokäyttöisenä.
- Järjestelmä kyetään integroimaan käyttäjien ajoneuvoissa laajasti käytössä oleviin päätelaite-tyyppeihin, ja se otetaan käyttöön onnistuneesti.
- Järjestelmän toiminnassa havaitut puutteet korjataan viipymättä.
- Ajoneuvojen liikennemäärät vartioimattomien tasoristeysten yli eivät merkittävästi vähene.

8. Käyttäjien kokemukset

8.1 Yleistä

Järjestelmän käyttäjien kokemuksia selvitettiin haastattelemalla pilottiin osallistuneita koekäyttäjiä pian sen päättymisen jälkeen. Haastattelut toteutettiin antamalla vastaajalle täytettäväksi kyselylomake ja esittämällä sen jälkeen tarvittaessa tarkempia kysymyksiä. Haastatteluilla pyrittiin selvittämään käyttäjien kokemuksia järjestelmän toiminnasta ja pilottiin osallistumisesta. Lisäksi selvitettiin järjestelmän vaikutuksia käyttäjään, tasoristeyksen ylityksen kokemista liikennetilanteena, näkemyksiä järjestelmän hyödyllisyydestä itselle ja muille sekä junavaroituspalveluun liittyvää maksuhalukkuutta esimerkiksi ajoneuvossa käytettävän päätelaitteen hankinnan yhteydessä. Koehenkilöiden yksityisyyden suojaamiseksi haastatteluiden vastauksista esitetään vain yhteenveto siten, etteivät yksittäisen käyttäjän antamat vastaukset ole suoraan tunnistettavissa.

Koehenkilöinä toimineille kuljettajille vastattavaksi annettu lomake sisälsi yhteensä 12 kysymystä. Niistä kahdeksan oli monivalintakysymyksiä ja neljä avoimia kysymyksiä, joihin oli mahdollista vastata muutamien rivien mittaisella vapaamuotoisella tekstillä. Järjestelmää käytti kokeilun aikana yhteensä viisi eri kuljettajaa. Koska yhtä kuljettajaa ei tavoitettu sairausloman vuoksi, haastatteluihin osallistui neljä järjestelmää käyttänyttä kuljettajaa.

8.2 Tulokset

Lomakkeen sisältämät monivalintakysymykset sekä käyttäjien vastauksista laadittu yhteenveto on koottu taulukoihin 29 ja 30.

8. Käyttäjien kokemukset

Taulukko 29. Yhteenveto vastauksista kysymyksiin 1–4 ja 6–9.

Yhteenveto vastauksista kysymyksiin 1-4 ja 6-9					
	päivittäin	viikoittain	kerran kuussa	silloin tällöin	ei lainkaan
Kuinka usein olette käyttänyt autossa toimivaa junavaroitussovellusta kokeilun aikana?	III				
	useita päivässä	päivittäin	viikoittain	kerran kuussa	ei lainkaan
Kuinka usein järjestelmä antoi varoituksia 11.4.2011 jälkeen?		III			I
	aina	silloin tällöin	joskus	harvoin	ei lainkaan
Ovatko järjestelmän antamat varoitukset olleet mielestänne hyödyllisiä ja oikeaan osuvia?		I	I		I
	1 = erittäin heikosti	2	3	4	5 = erittäin hyvin
Kuinka hyvin koette järjestelmän toimineen kokeilun aikana?	I	I	II		
	1 = erittäin hyödyllisenä	2	3	4	5 = täysin hyödyttömänä
Kuinka hyödyllisenä itsellenne pidätte testaamaanne junavaroitussovellusta?		I	II		I
Kuinka hyödyllisenä muille kuljettajille pidätte testaamaanne junavaroitussovellusta?		I	III		
	1 = ehdottomasti	2	3	4	5 = en missään tapauksessa
Haluaisitteko käyttää testaamaanne tai vastaavaa junavaroitussovellusta vapaa-ajalla omassa autossanne?			I	I	II
	1 = en missään tapauksessa	2	3	4	5 = varmasti
Olisitteko valmis maksamaan junavaroitussovelluksesta (esimerkiksi joitakin euroja navigaattoripuhelimen tai autonavigaattorin hintaan lisättyä laitetta ostettaessa)?		I	I	I	I

Taulukko 30. Yhteenveto vastauksista kysymykseen 10.

Vastaukset kysymykseen 10: Tasoristeyksen kokeminen liikennetilanteena						
	erittäin vaaralliseksi	vaaralliseksi	jossakin määrin vaaralliseksi	ei vaaralliseksi eikä turvalliseksi	turvalliseksi	erittäin turvalliseksi
Millaiseksi liikennetilanteeksi koette vartioimattoman tasoristeyksen ylityksen?	I	I	I	I		
Millaisena liikennetilanteeksi koette puomeilla varustetun tasoristeyksen ylityksen?	I		II	I		

Lomake sisälsi myös avoimia kysymyksiä, joihin oli mahdollista vastata vapaamuotoisella, muutaman rivin mittaisella tekstillä. Yhteenveto vastauksista avoimiin kysymyksiin on esitetty taulukoissa 31–34. Haastateltavilla oli halutessaan mahdollisuus vastata myös ruotsiksi. Näissä tapauksissa yhteenvedossa on esitetty vastauksen jälkeen esitetty haastattelijan oma suomennos hakasulkeissa.

Taulukko 31. Yhteenveto vastauksista kysymykseen 3.

Yhteenveto vastauksista kysymyksen 3 (Ovatko järjestelmän antamat varoitukset olleet mielestänne hyödyllisiä ja oikeaan osuvia?) vapaiden kommenttien osaan
Tappa nätet (Sonera) / stänga och starta på nytt för att hitta nätet Sonera funka inte Vallasvedja [Päätelaite hukkaa verkon, ja sen joutuu käynnistämään uudelleen. Soneran verkon kanssa ollut ongelmia osalla aluetta (Vallasvedja)]
-
-
-

Taulukko 32. Yhteenveto vastauksista kysymykseen 5.

Yhteenveto vastauksista kysymykseen 5: järjestelmän toimintaa ja varoituksen esitystapaa koskevat parannusehdotukset
Varnar ej för alla tåg! [Järjestelmä ei varoita kaikista junista!]
-
Bättre signal och bättre ljud [Parempi visuaalinen esitystapa ja äänimerkki]
Pitää olla iso punainen valomerkki

Taulukko 33. Yhteenveto vastauksista kysymykseen 11.

Yhteenveto vastauksista kysymykseen 11: Ovatko ajoneuvolaitteen antamat tiedot kuten varoitukset vaikuttaneet ajamiseenne jollakin tavalla?
Ei
Fundera mera när man kommer till obehållad korsning [lisääntynyt tarkkaavaisuus vartioimattomaan tasoristeykseen saavuttaessa]
Även om varnaren är i bilen så ser man nog ändå om det kommer tåg. Saktar in precis som förut. [Juna on havaittavissa, vaikka varoituslaite olisi autossa. Hidastan kuten tavallisesti.]

8. Käyttäjien kokemukset

Taulukko 34. Yhteenvedo vastauksista kysymykseen 12.

Yhteenvedo vastauksista kysymykseen 12: Miten yleisesti olette kokeneet järjestelmän toiminnan ja kokeiluun osallistumisen?
Tågvarnaren är en bra idé. Viktigaste nu ar att den bör varna for ALLA tåg som den inte gör nu. [Junavaroitusjärjestelmä on hyvä idea. Tärkeintä on, että sen tulee varoittaa KAIKISTA, junista, mitä se ei tällä hetkellä tee.]
Hyvä
Helt Ok
-

8.3 Haastatteluiden tulosten arviointia ja päätelmiä

Koska haastatteluihin osallistui vain pieni määrä vastaajia, tuloksia tulkittaessa jouduttiin käyttämään ensisijaisesti laadullisia menetelmiä. Haastatteluihin osallistuneet koehenkilöt olivat käyttäneet järjestelmää päivittäin, ja neljästä vastaajasta kolme oli saanut kokemuksia järjestelmän tasoristeyksessä antamasta varoituksesta.

Syy, jonka vuoksi yksi vastaajista ei kertonut saaneensa lainkaan varoituksia, liittyy todennäköisesti kokeilun järjestelyihin. Kokeeseen osallistuneet kuljettajat liikkuvat yleensä samoihin vuorokaudenaikoihin samoissa tasoristeyksissä, ja rataosalla liikkuvista junista suurin osa on aikataulun mukaisesti liikennettä. Tällöin on mahdollista, etteivät vastaajan tavanomaiset ylitysajat eri tasoristeyksissä välttämättä osuneet ajankohtiin, jolloin kyseistä tasoristeystä lähestyi järjestelmän laitteella varustettu juna. Mahdollista ja palvelimelle kertyneiden lokitietojen perusteella myös todennäköistä on, että varoitus on jäänyt joissakin tilanteissa havaitsematta esimerkiksi ajoneuvossa olevan melun vuoksi.

Heikoimmat arvosanat järjestelmän toiminnalle taulukon 29 kolmannessa ja neljännessä kysymyksessä antoi vastaaja, joka ei kertonut saaneensa lainkaan varoituksia järjestelmältä. Haastattelun tulosten perusteella näyttäisi siltä, että vastaaja on kokenut varoitusten puuttumisen merkiksi järjestelmän toimimattomuudesta. Kyseinen vastaaja myös painotti kuljettajalle esitettävän varoituksen havaittavuuden merkitystä haastattelun vapaamuotoisessa osassa. Jotta käyttäjälle ei syntyisi kokemusta tai mielikuvaa järjestelmän toimimattomuudesta, ajoneuvolaitteen antaman varoituksen havaittavuuteen ja varoituksen esitystapaan tulee kiinnittää erityistä huomiota järjestelmän käyttöliittymää suunniteltaessa.

Muilta osin taulukon 29 kolmanteen ja neljänteen kysymykseen annetut vastaukset viittaavat siihen, että koehenkilöt ovat saaneet kokemuksia sekä enemmän että vähemmän oikeaan osuneista varoituksista niissä tilanteissa, kun järjestelmä on varoittanut junasta. Syyt enemmän ja vähemmän onnistuneisiin käyttötilanteisiin ovat moninaisia. Avoimiin kysymyksiin annetuissa vastauksissa esiin tulivat esimerkiksi tietyissä maantieteellisissä paikoissa esiintyvät verkko-ongelmat sekä verkko-ongelmiin liittyvät tilanteet, joissa päätelaitteena käytetty navigaattoripuhelin reagoi mobiilidatayhteydessä esiintyviin virhetiloihin käynnistämällä itsensä uudelleen (taulukko 31). Päätelaitteen edellä mainittu käyttäytyminen mobiilidatayhteyden virhetilanteissa todettiin myös havainnoitaessa järjestelmän toimintaa.

Lomakkeen lisäksi käydyssä vapaamuotoisessa keskustelussa eräs vastaajista mainitsi ongelmalliseksi myös tilanteet, joissa järjestelmä oli antanut varoituksia jo poistettuun, mutta junavaroitusjärjestelmässä edelleen esiintyvään tasoristeykseen saapuvista junista.

Kysymyksiin 5 ja 12 annetuissa vastauksissa tuotiin esille tilanteet, joissa järjestelmä ei ollut varoit-
tanut kaikista tasoristeykseen saapuvista junista. Tarkempaa yksittäisen käyttäjän tason analyysiä ei
hankkeessa tehty, mutta varoittamatta jääneiden junien syyt ovat mitä todennäköisimmin samat kuin
järjestelmän toiminnan seurannassa (luku 6) sekä järjestelmän pilotin aikaisessa ylläpitotoiminnassa
havaitut syyt: lyhytaikaiset tietoliikenteen katkot, alueella liikkuneet laitteettomat junat, pilotin aikana
rikkoutuneet junalaitteet sekä järjestelmään kuuluneiden palvelinten vikatilanteet.

Yleisesti voidaan todeta, että käyttäjien haastatteluissa antamat vastaukset järjestelmän toimivuutta
koskeviin kysymyksiin 3–4 ovat linjassa järjestelmän toiminnan havainnoinnista (luku 6) saatujen
tulosten kanssa: järjestelmä on toteuttanut siltä vaaditun toiminnallisuuden, mutta toiminnan luotetta-
vuus kaipaa edelleen parannuksia.

Käyttäjien käsitykset järjestelmän hyödyllisyydestä itselleen ja muille kuljettajille (vastaukset ky-
symyksiin 6–7, taulukko 29) olivat verrattain neutraaleja, ja suuri osa vastauksista sijoittui molemmis-
sa kysymyksissä asteikon keskivaiheille. Neljästä vastaajasta kolme ei kuitenkaan olisi valmis käyttä-
mään nykyisen kaltaista tai vastaavaa järjestelmää. Näihin vastauksiin voi olla olemassa useita eri
syytä. Todennäköistä on, että taustalla on järjestelmän toiminnassa kokeilun aikana esiintyneitä ja
myös haastatteluiden vastauksissa esille tulleita puutteita. Vastaukset saattavat ainakin osin heijastaa
myös pilotin toteutustapaa. Pilotissa koehenkilöt olivat ammattikuljettajia ja ottivat aina ajoon lähties-
sään mukaan navigaattoripuhelimen, johon junavaroitussovellus oli ladattu. Omalla vapaa-ajallaan
vastaajat eivät välttämättä olisi kokeneet edellä mainittua toimintatapaa luontevaksi.

Yksi haastattelulomakkeen kysymyksistä koski käyttäjän kokemia vaikutuksia ajotehtävän suoritus-
seen. Neljästä vastaajasta kaksi totesi, ettei järjestelmä ollut vaikuttanut ajamiseen millään konkreetti-
sella tavalla. Yksi vastaajista totesi, että juna on katsomalla havaittavissa, vaikka autossa on varoitus-
laite. Yksi vastaajista puolestaan mainitsi järjestelmän lisänneen tarkkaavaisuutta tasoristeystä ylitettä-
essä. Kysymykseen annetuissa vastauksissa ei ollut havaittavissa viitteitä ajoneuvon kuljettajan vas-
tuun siirtämisestä järjestelmälle.

Haastattelussa pyrittiin selvittämään myös käyttäjien maksuhalukkuutta junavaroitussovelluksesta
esimerkiksi osana ajoneuvon hankittavan päätelaitteen hintaa. Koska vastaajia oli varsin vähän ja
maksuhalukkuutta koskevan kysymyksen vastaukset hajautuivat eri vastausvaihtoehtoihin, ei vastauk-
sista voi tehdä kovin vahvoja päätelmiä. Vastausten perusteella näyttää siltä, etteivät tulokset ainakaan
sulje pois mahdollisuutta, että käyttäjät olisivat valmiita maksamaan sovelluksesta osana päätelaitteen
hintaa. Eräs vastaajista kuitenkin totesi lomakkeen täytön jälkeen käydyssä vapaamuotoisessa keskus-
telussa, että maksuhalukkuuden edellytyksenä on palvelun tekninen toimivuus.

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

9.1 Muut sovellusalueet

Hankkeessa tunnistettiin neljä eri aihiota järjestelmän muiksi sovellusalueiksi. Aihiot ja niihin liittyvät alustavat päätelmät ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi on esitetty taulukoissa 35–38.

Taulukko 35. Muut sovellusalueet: Junaliikenteen sujuvuuden ja joukkoliikennepalvelun luotettavuuden automaattinen tilastointi.

Junaliikenteen sujuvuuden ja joukkoliikennepalvelun luotettavuuden automaattinen tilastointi	
Sovelluksen kuvaus	Junaliikenteen sujuvuutta ja rautateiden tarjoaman joukkoliikennepalvelun luotettavuutta koskevia tilastoja voidaan tuottaa automaattisesti, mikäli saatavilla on ajantasainen tai historiatieto rataverkolla liikkuvien yksiköiden sijainneista sekä tieto siitä, millä yksiköillä eri vuorot liikennöidään.
Sovelluksen tekninen toteutus	Keräämällä yksiköiden sijaintitiedot ja yhdistämällä ne Liikenneviraston Santra-järjestelmästä saataviin junien numeroihin ja rautatieoperaattorilta saataviin aikataulutietoihin voidaan tuottaa tieto junavuoron kulusta aikataulun mukaisesti, tieto aikataulusta poikkeamisesta tai vuoron ajamatta jäämisestä.
Sovelluksella saavutettavat hyödyt	<ul style="list-style-type: none">– Manuaalisesti tehtävä hallinnollinen työ vähenee (junien lähtöaikojen kirjaaminen käsin Juse-järjestelmään poistuisi).– Aikatauluista poikkeamisten analysointi helpottuu: poikkeamatietoja on mahdollista käsitellä automaattisesti (esim. automatisoitu myöhästymisten analyysi asema-, rataosuu- tai vuorokohtaisesti).– Tarkan ja ajantasaisen tilastoinnin piiriin saataisiin myös vähäliikenteisten rataosien liikenne.– Junien kulkua koskevien tietojen ajantasaisuus todennäköisesti paranisi; vaikutuksia tiedon hyödynnettävyyteen on vaikea arvioida.
Potentiaalisimmat hyödyntäjät	<ul style="list-style-type: none">– Rautatieoperaattori– Kapasiteettia jakava rautatieinfrastruktuurin haltija– Joukkoliikenneviranomaiset

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

Toteutukseen osallistuvat toimijat	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieoperaattori – Tietojenkäsittelypalvelun tarjoaja tai järjestelmäintegroija
Mahdolliset liiketoimintamallit	<ul style="list-style-type: none"> – Toteutus rautatieoperaattorin sisäisenä toimintana, jossa rautatieoperaattori vastaa kustannuksista ja saa myös oikeudet keräämäänsä tietoon sekä mahdollisuuden käyttää sitä rajoituksetta omassa toiminnassaan. Rautatieoperaattori voi halutessaan myydä tietoa ulkopuolisille ja toteuttaa tarpeelliseksi katsomiaan palveluita. – PPP-malli, jossa rataverkon käyttöä ja rautatieoperaattoreiden palveluntarjontaa seuraava viranomaisen vastaa osaltaan palvelun kustannuksista (ml. ajantasaisen seurantatiedon kerääminen) muiden kustannusten jäädessä järjestelmää operoivalle palveluntarjoajalle. Viranomaisen saa tällöin käyttöönsä automaattisesti laaditut, ajantasaiseen tietoon perustuvat tilastot junaliikenteen sujuvuudesta, ratakapasiteetin käytöstä sekä eri rautatieoperaattoreiden vuorojen aikataulussa pysymisestä. Tiedonkeruusta huolehtiva palveluntarjoaja voi hyödyntää kerättyjä raakatietoja myös muiden tietopalveluiden tuottamiseen (esim. tietopalvelut rautatiealan toimijoille: rautatieoperaattorit, viranomaiset, suunnittelutoimistot, urakoitsijat).
Arvio toteutettavuudesta (tekni- nen toteutettavuus ja liiketoiminta- malli)	<ul style="list-style-type: none"> – Jossakin määrin avoin kysymys on, tarjoaako ajantasainen seurantatieto riittävästi lisäarvoa suhteessa nykyiseen tilanteeseen. Hankkeessa ei arvioitu yksityiskohtaisesti, millaisia hyötyjä automaattisen ja ajantasaisen tilastoinnin avulla yleensä voidaan saavuttaa. – Teknisessä toteutettavuudessa ei ole merkittävää riskiä. – Toteutus edellyttää rautatieoperaattorin tai -operaattoreiden osallistumista.
Ehdotukset jatkokotoimenpiteiksi	<ul style="list-style-type: none"> – Harkitaan toteutusta erillisenä tutkimus- ja kehitysprojektina.
Muuta huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> – VR on toteuttanut ajantasaisen tiedonkeruun huomattavasta osasta kalustoaan, junien paikannustietojen keräämisen palvelimelle sekä liikenteessä olevat henkilöliikenteen junavuorot kartalla näyttävän palvelun. – Junaliikenteen ja joukkoliikennepalveluiden luotettavuus on ollut viime aikoina entistä useamman ihmisen mielenkiinnon kohteena. – Rautateiden henkilöliikenne on EU:ssa vapautumassa kilpailulle, ja juna kilpailee jo nyt bussin ja henkilöauton kanssa. Yhtenä tärkeänä tekijänä kilpailussa on joukkoliikennepalvelun luotettavuus. – Tarpeet luotettavalle ja nopealle sujuvuuden ja palvelun luotettavuuden tilastoinnille kasvavat.

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

Taulukko 36. Muut sovellusalueet: Junaliikenteen ajantasaisten kulkutietojen tuottaminen joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalveluiden käyttöön.

Junaliikenteen ajantasaisten kulkutietojen tuottaminen joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalveluiden käyttöön	
Sovelluksen kuvaus	Junavaro-järjestelmässä yhdistetään rataverkolla liikkuvien yksiköiden tiedot Liikenneviraston Santra-järjestelmästä saataviin junien aikataulutietoihin. Santra-järjestelmän aikataulutiedot taas ovat yhdistettävissä rautatieoperaattoreiden julkaisemiin aikataulutietoihin, joita hyödyntävät perinteisten tiedotuskanavien lisäksi myös automaattiset joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalvelut. Junavaro-järjestelmän keräämien vuorojen ajantasaisten sijaintitietojen avulla voitaisiin siis tuottaa vuorokohtaisia poikkeamatietoja ja arvioita vuorojen saapumisajoista eri asemille. Poikkeama-, saapumisaika- ja sijaintitietoja taas voitaisiin hyödyntää matkustajille yhteyksiä etsivissä joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalveluissa.
Sovelluksen tekninen toteutus	Junavaro-järjestelmän palvelin kerää tiedot rataverkolla liikkuvien yksiköiden sijainneista. Todennäköisimmässä toteutusvaihtoehdossa Junavaro-järjestelmän palvelimeen toteutettaisiin rajapinta, jonka kautta muut sovellukset voisivat saada rataverkolla liikkuvien yksiköiden sijaintitietoja Junavaro-järjestelmästä. Tässä vaihtoehdossa vasta tietoa hyödyntävä reitinsuunnittelupalvelu yhdistäisi yksiköiden numerot niillä liikennöitäviin vuoroihin.
Sovelluksella saavutettavat hyödyt	<ul style="list-style-type: none"> – Liikkujat saavuttaisivat aikasäästöjä junaliikenteen häiriötilanteissa, jos ajantasaista tietoa hyödyntävä reitinsuunnittelupalvelu, kuten matka.fi, huomioisi tilanteet, joissa vuoro ei kulje aikataulussa tai sitä ei liikennöidä lainkaan. – Ajantasaiseen tietoon perustuva reitinsuunnittelu varsinkin häiriötilanteissa todennäköisesti lisäisi liikkujan kokemaa mukavuutta sekä tunnetta, että hän hallitsee matkansa ja voi luottaa tarjottuun liikennepalveluun sekä sitä koskevaan tiedotukseen. – Ajantasaista tietoa hyödyntävästä reitinsuunnittelusta saattaa tulla uusi kilpailutekijä reitinsuunnittelupalveluiden välille.
Potentiaalisimmat hyödyntäjät	<ul style="list-style-type: none"> – Joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalveluiden tarjoajat (Destia, Logica CMG) – Rautatieoperaattori
Toteutukseen osallistuvat toimijat	<ul style="list-style-type: none"> – Junavaro-järjestelmän haltija (liityntä junien sijaintitiedon jakelulle) – Rautatieoperaattori (laitteiden asennus kalustoon, aikataulutietojen toimitaminen) – Joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalvelun tarjoaja (Santran ja Junavaron tuottamien tietojen hyödyntäminen reitinsuunnittelupalvelussa) – Rautatieinfrastruktuurin haltija (junien aikataulutietojen toimittaminen, liityntä Santraan)
Mahdolliset liiketoimintamallit	<ul style="list-style-type: none"> – Junavaro-järjestelmää operoiva yritys myy rautatieoperaattoreille palveluna ajantasaista tiedonkeruuta ja tietojen jakelua reitinsuunnittelupalveluille tai tietojen keräämistä rautatieoperaattorin oman reitinsuunnittelupalvelun käyttöön. – Junavaro-järjestelmää operoiva yritys myy junaliikenteen ajantasaisia kulkutietoja joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalveluiden käyttöön (reittiopas.fi, matka.fi, bahn.de) mahdollisesti myös yhdistäen niitä muihin keräämiinsä tietoihin. – Rautatieoperaattori tai rautatieoperaattoreiden yhteisyritys toteuttaa Juna-

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

	<p>varo-järjestelmän ja huolehtii myös vuorojen kulkutietojen jaosta reitinsuunnittelupalveluille. Rautatieoperaattorin asiakkailleen tarjoama palvelu paranee, ja tasoristeysten turvallisuuden parantamiseksi myös viranomaisen osallistuu Junavaro-järjestelmän toteutuksesta aiheutuviin kustannuksiin (PPP-malli).</p>
<p>Arvio toteutettavuudesta (tekninen toteutettavuus ja liiketoimintamalli)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Tarkemmin selvittämättä on jäänyt se, millaista lisäarvoa paikannustietoon perustuva vuorojen ajantasainen sijainti-, poikkeus- ja saapumisaikatieto tarjoaa suhteessa nykyiseen Juse-järjestelmän tietoon. Järjestelmän tuottamien tietojen kanssa kilpailevat markkinoilla todennäköisesti maksutta saatavat Juse-järjestelmän tiedot. – Etukäteen on vaikea selvittää, millainen todellisuudessa on rautatieoperaattoreiden valmius maksaa ajantasaisen tiedon keräämisestä ja jakelemisesta ja reitinsuunnittelupalveluiden tarjoajien valmius maksaa ajantasaisista junaliikenteen kulkutiedoista. – Ajantasaisen tiedon jakelu ei merkittävästi lisäisi Junavaro-järjestelmän kustannuksia. – Toteutukseen ei sisälly kovin merkittävää teknistä riskiä.
<p>Muuta huomioitavaa</p>	<ul style="list-style-type: none"> – VR on toteuttanut ajantasaisen tiedonkeruun huomattavasta osasta kalustoaan, junien paikannustietojen keräämisen palvelimelle sekä liikenteessä olevat henkilöliikenteen junavuorot kartalla näyttävän palvelun. – Joukkoliikenteen reitinsuunnittelupalvelut ovat lyöneet itsensä läpi: nykyisin sellainen on melkein kaikissa Suomen mitassa suurissa kaupungeissa, ja monet liikennepalveluiden tarjoajat ovat toteuttaneet myös omia järjestelmiään. – Liikennemuotokohtaisten palveluiden (vr.fi ja bahn.de) lisäksi junaliikenteen tietoja Suomessa tarjoavat matka.fi sekä YTV:n reittiopas. – Tietoa kaukoliikenteen yhteyksistä tarjoavat vr.fi, matka.fi ja matkahuolto.fi. – Joukkoliikenteen informaatioissa ja reitinsuunnittelupalveluissa on havaittavissa suunta kohti ajantasaisuutta. – Onko ajantasaisesta tiedosta tulossa seuraava kilpailutekijä reitinsuunnittelupalveluiden välillä?

Taulukko 37. Muut sovellusalueet: Radalla työskentelevien turvallisuuspalvelu.

Radalla työskentelevien turvallisuuspalvelu	
<p>Sovelluksen kuvaus</p>	<p>Monet ratatyöt tai muut kunnossapitotyöt tehdään nykyisin katkaisematta junaliikennettä kyseisellä rataosalla. Rautatieoperaattorin henkilökunnan lisäksi rautatieympäristössä työskentelee myös muiden toimijoiden henkilökuntaa (esimerkiksi vaihtotyöt). Tällöin työskentelykohteen kautta kulkevat junat voivat aiheuttaa vaaratilanteita. Junavaro-järjestelmän tietojen avulla voidaan toteuttaa erityinen varoituspalvelu, joka varoittaa määritellyssä kohteessa työskenteleviä henkilöitä junan lähestyessä kohdetta. Varoituksen lisäksi palvelu voi jakaa Liikenneviraston Santra-järjestelmästä noudettavaa junien aikataulu- ja kokoonpanotietoa kyseiseen rataverkon pisteeseen sovellettuna.</p>
<p>Sovelluksen tekninen toteutus</p>	<p>Junavaro-järjestelmän palvelimelle lisätään kiinteiden, RHK:n tietokannasta löytyvien tasoristeysten rinnalle "keinotekoinen tasoristeys", jonka tilan radalla työskentelevien käyttäjien päätelaitteet tarkistavat säännöllisin väliajoin. Keinotekoisesta tasoristeysten sijainti rataverkolla on sama kuin kyseessä olevan työskentelykohteen sijainti.</p>

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

Sovelluksella saavutettavat hyödyt	<ul style="list-style-type: none"> – Radalla työskentelevän henkilökunnan työturvallisuus paranee käyttöön tulevan uuden palvelun myötä.
Potentiaalisimmat hyödyntäjät	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieinfrastruktuurin ylläpidosta huolehtivat urakoitsijat (VR Track Oy, Destia). – Rautatieinfrastruktuurin haltija (Liikennevirasto) – Rautatieoperaattori (VR Oy)
Toteutukseen osallistuvat toimijat	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieoperaattori (VR Oy) – Tietojenkäsittelypalvelun tarjoaja tai järjestelmäintegroija
Mahdolliset liiketoimintamallit	<ul style="list-style-type: none"> – Urakoitsija, rautatieinfrastruktuurin haltija tai rautatieoperaattori hankkii palvelun radalla työskentelevän henkilökuntansa käyttöön Junavarojärjestelmää ylläpitävältä yritykseltä tai muulta palveluntarjoajalta.
Arvio toteutettavuudesta (tekninen toteutettavuus ja liiketoimintamalli)	<ul style="list-style-type: none"> – VR on toteuttanut ajantasaisen tiedonkeruun huomattavasta osasta kalustoaan, junien paikannustietojen keräämisen palvelimelle sekä liikenteessä olevat henkilöliikenteen junavuorot kartalla näyttävän palvelun. – Jossain määrin avoin kysymys on se, missä määrin rautatieympäristössä työskentelevät toimijat olisivat valmiita maksamaan henkilökunnan turvallisuutta lisäävästä sovelluksesta. – Sovellusta ei ole tähän mennessä testattu. Sovelluksen tekniseen toteutettavuuteen liittyvät riskit muistuttavat merkittävältä osaltaan junavaroitusjärjestelmän toteutettavuuteen liittyviä riskejä.
Muuta huomiotavaa	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieliikenteessä on selvä pyrkimys kohti liikenneturvallisuuden riskien nollavisiota.

Taulukko 38. Muut sovellusalueet: VAK-kuljetusten seuranta.

VAK-kuljetusten seuranta	
Sovelluksen kuvaus	<p>Vaarallisia aineita kuljetetaan merkittäviä määriä myös rautateillä. VAK-kuljetusten tarkan sijainnin tunteminen ajantasaisesti on tärkeä edellytys sille, että tarvittavat toimenpiteet voidaan onnettomuustilanteessa aloittaa nopeasti ilman tarpeetonta viivytystä. Junavarojärjestelmä tuottaa ajantasaisen sijaintitiedon jokaisesta rataverkolla liikkuvasta yksiköstä. Tähän tietoon voidaan yhdistää junan aikataulu- ja kokoonpanotietoja sekä tiedot kuljetukseen mahdollisesti sisältyvistä vaarallisista aineista. Mahdollisessa onnettomuus- tai muussa vaaratilanteessa rautateiden liikenteenohjauksen ja muiden viranomaisten tiedossa on heti alusta lähtien tiedossa onnettomuuteen joutuneen junan tarkka sijainti sekä kokoonpano.</p>
Sovelluksen tekninen toteutus	<p>Jokaiselle rataverkolla liikkuvalla junalla ilmoitetaan aikataulu sekä junan kokoonpano Liikenneviraston Santra-järjestelmään. Tähän tietoon voidaan yksikön numeron perusteella yhdistää Junavarojärjestelmän tuottama ajantasainen tieto kyseisen junan sijainnista. Muista erikseen selvitettävistä järjestelmistä voidaan junan numeron perusteella hakea tiedot mahdollisista junassa kuljettavista vaarallisista aineista.</p>

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

Sovelluksella saavutettavat hyödyt	<ul style="list-style-type: none"> – VAK-kuljetusten turvallisuus paranee mahdollisten onnettomuuksien seurausten jäädessä vähäisemmiksi. Koska onnettomuuteen joutuneen junan sijainti ja kokoonpano tunnetaan tarkasti heti alusta lähtien, voidaan tarvittavat toimenpiteet aloittaa nykyistä lyhyemmällä viiveellä ja kohdentaa maantieteellisesti tarkemmin.
Potentiaalisimmat hyödyntäjät	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieoperaattori – Rautatieinfrastruktuurin haltija (liikenteenohjaus) – Muu viranomainen
Toteutukseen osallistuvat toimijat	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieoperaattori – Tietojenkäsittelypalvelun tarjoaja tai järjestelmäintegroija – Liikennevirasto
Mahdolliset liiketoimintamallit	<ul style="list-style-type: none"> – Rautatieinfrastruktuurin haltija tai rautatieturvallisuudesta vastaava viranomainen hankkii kaikkien rautatieoperaattoreiden käyttöön ajantasaisen seurantapalvelun VAK-kuljetuksia sisältäviä junia liikenneöville yksiköille. Tieto VAK-kuljetusten sijainneista tai niitä sisältävien junien kokoonpanoista toimitetaan rautateiden liikenteenohjauksen käyttöön, josta käsin se on hätäkeskuksen saatavilla mahdollisessa onnettomuustilanteessa. Toimenpiteellä nopeutetaan mahdollisiin vaarallisten aineiden onnettomuuksiin liittyvien pelastustoimien aloittamista ja parannetaan VAK-kuljetusten turvallisuutta.
Arvio toteutettavuudesta (tekninen toteutettavuus ja liiketoimintamalli)	<ul style="list-style-type: none"> – Sovelluksen toteutuksessa ei ole merkittävää teknistä riskiä. – Sovelluksen hyötyjä ei tarkemmin arvioitu hankkeessa.
Muuta huomioitavaa	<ul style="list-style-type: none"> – VR on toteuttanut ajantasaisen tiedonkeruun huomattavasta osasta kalustoaan, junien paikannustietojen keräämisen palvelimelle sekä liikenteessä olevat henkilöliikenteen junavuorot kartalla näyttävän palvelun. – Rautateiden liikenteenohjaus mahdollisesti eriytetään tulevaisuudessa rautatieoperaattorina toimivasta yrityksestä.

9.2 Mahdolliset liiketoimintamallit

9.2.1 PPP-pohjainen palvelu

Eräs junavaroituspäalvelulle mahdollisista liiketoimintamalleista on yksityisten ja julkisten toimijoiden yhteistyöhön perustuva malli. Siinä palvelun toteuttajana ja päävastuullisena ylläpitäjänä on yksityinen palveluntarjoaja, joka saa osan palvelun toteutukseen ja ylläpitoon tarvittavasta rahoituksesta viranomaiselta. Public Private Partnership -mallissa (PPP) päävastuu palvelun toteutuksesta on yksityisellä toimijalla, mutta viranomainen yleensä tukee palvelua taloudellisesti tai muulla tavalla.

Kyseisessä mallissa junavaroituspäalvelun toteuttava palveluntarjoaja vastaa palvelun ylläpidosta ja saa junavaroituspäalvelun toteutuksen vuosittaisesta ylläpidosta rahoitusta viranomaiselta. Palvelun ylläpidon ja raakatiedon keruun lisäksi palveluntarjoaja hankkii tarvittavat junalaitteet ja tietoliikenneyhteydet sekä tekee tarvittavat tiedonkeruuta koskevat sopimukset rautatieoperaattoreiden kanssa. Käytännössä junavaroituspäalvelun toteuttava palveluntarjoaja voisi olla esimerkiksi yksi rautatieope-

9. Järjestelmän muut sovellusalueet ja mahdolliset liiketoimintamallit

raattoreista, rautatieoperaattoreiden yhteisyritys tai paikkasidonnaisia palveluita tai älykkään liikenteen palveluita tarjoava yritys.

Junalaitteiden asennuksesta rautatiekalustoon, laitteiden ylläpidosta sekä rikkoutuneiden laitteiden vaihtamisesta uusiin huolehtii rautatieoperaattori palveluntarjoajan kanssa tekemänsä sopimuksen mukaisesti. Vastineena tästä toiminnasta rautatieoperaattori voi saada esimerkiksi junista kerätyt paikannustiedot käyttöönsä raakatietoina tai jalostetussa muodossa.

Juniin asennettavat laitteet ja tietoliikenneyhteydet hankkiva palveluntarjoaja saa käyttöönsä rataverkolla liikkuvien yksiköiden ajantasaiset sijaintitiedot, joita se käyttää junavaroituspalvelun toteuttamiseen. Tämän lisäksi palveluntarjoaja voi hyötyä keräämistään raakatiedoista monilla muilla tavoin. Valitsemansa strategian mukaan tietoja keräävä palveluntarjoaja voi esimerkiksi hyödyntää niitä olemassa olevassa liiketoiminnassaan, kuten automaattisen reitinsuunnittelupalvelun yhteydessä. Lisäksi palveluntarjoaja voi tehdä viranomaisen kanssa sopimuksen raakatietojen viranomaiskäytöstä tai toteuttaa uusia palvelutuotteita yhdistelemällä junien ajantasaisia sijaintitietoja sekä eri lähteistä kerätyjä muita tietoaineistoja.

Palveluntarjoajan tehtäviin kuuluu tässä mallissa myös ylläpitää tasoristeysten tilatiedot jakavaa palvelurajapintaa palvelua hyödyntäville päätelaitteille, tarjota yksityishenkilöille ja ammattikäyttäjille päätelaitteeseen asennettavaa ohjelmistoa, jonka avulla palvelun käyttö ajoneuvossa on mahdollista, sekä tarjota palvelua koskevaa tietoa ja käyttäjien tukea esimerkiksi www-sivustolla.

Ajoneuvolaitteisto, jolla palvelua käytetään, olisi tässä mallissa käyttäjän itsensä hankkima tai erillisen palveluntarjoajan toimittama. Käyttäjän päätelaitteeseen asennettava junavaroitussovellus voisi olla esimerkiksi osa laajempaa erikseen hankittavaa älykkään liikenteen palvelukokonaisuutta tai saatavilla erillisenä sovelluksena mobiililaitteisiin sovelluksia myyvien verkkokauppojen kautta.

9.2.2 Viranomaisjohtoinen malli

Viranomaisjohtoisessa mallissa palvelun toteutuksen eteneminen perustuu olennaiselta osaltaan viranomaisen tahtotilaan ja toimenpiteisiin. Kyseisessä mallissa viranomainen tilaa valitsemaltaan yritykseltä palveluna sekä junien sijaintia koskevan raakadatan keräämisen että junavaroituspalvelun tuottamisen sekä velvoittaa kaikki rataverkolla liikennöivät rautatieoperaattorit liittymään järjestelmään.

Vastineeksi panostukselleen palvelun toteutuksessa viranomainen saa ajantasaisen tiedon eri operaattoreiden kaluston sijainnista rataverkolla hyödynnettäväksi toiminnassaan. Viranomainen voi myös päättää, että ajantasainen tieto junien sijainnista rataverkolla on saatavilla maksutta kaikille sen hyödyntämisestä kiinnostuneille – mukaan lukien rautatieoperaattorit. Tietojen luovuttamisesta ja hyödyntämisestä palvelutoiminnassa perittäisiin vain irrottamiskustannus.

Käytännössä junavaroitussjärjestelmän toteuttaminen viranomaisjohtoisen mallin kautta muistuttaisi monessa suhteessa tie- ja katuverkon tietojärjestelmä Digiroadin yhteydessä sovellettua mallia. Ajoneuvolaitteiston osalta ratkaisu on olennaisesti samanlainen kuin edellä kuvatussa PPP-mallissa.

10. Johtopäätökset ja ehdotukset jatkoktoimenpiteiksi

10.1 Järjestelmän toteutus

Järjestelmän toteutus poikkesi jonkin verran alun perin suunnitellusta. Tärkeimmät erot hankkeen alkuvaiheessa tehdyn suunnitelman ja toteutetun järjestelmän välillä liittyivät järjestelmän keräämien paikannustietojen ristiintarkistukseen rautateiden liikenteenohjauksesta saatavien tietojen kanssa, käytössä rikkoutuneiden junalaitteiden automaattiseen havaitsemiseen, käytössä olleiden junalaitetyyppien määrään sekä VTT:n ulkopuolisen palvelimen (mobile gateway) sisällyttämiseen järjestelmään.

Koska rautateiden liikenteenohjauksen tuottamia junien kulkutietoja ei saatu hankkeen käyttöön, ei siinä voitu toteuttaa automaattista ristiintarkistusta järjestelmän itse keräämien sekä liikenteenohjauksesta saatavien junien paikannustietojen välillä. Tämä hidasti rikkiinäisten tai virheellisesti toimivien junalaitteiden havaitsemista kenttäkokeen aikana. Koska toimimattomilla tai virheellisesti toimivilla junalaitteilla on merkittävä vaikutus järjestelmän luotettavuuteen, on niiden automaattinen havaitseminen tärkeä luotettavuutta parantava ja ylläpidettävyyttä lisäävä ominaisuus mahdollisessa tuotantovaiheen järjestelmässä.

Junien reittitiedon hyödyntäminen olisi parantanut myös järjestelmän toiminnan luotettavuutta tilanteissa, joissa junalaitteen ja palvelimen välinen tietoliikenneyhteys katkeaa lyhyeksi ajaksi.

Paikannusviestien kulku VTT:n ulkopuolisen palvelimen kautta ennen niiden saapumista VTT:lle ei kenttäkokeen aikana estänyt kyseistä reittiä vastaanotettujen tietojen hyödyntämistä tasoristeysten tilan laskennassa VTT:n palvelinjärjestelmässä. Kyseinen järjestely kuitenkin joiltakin osin monimutkaisti järjestelmän toiminnassa esiintyneiden ongelmatilanteiden selvittämistä.

10.2 Järjestelmän tekninen toimivuus

Järjestelmän teknistä toimivuutta arvioitiin sen tuottaman varoitustiedon laadun sekä sen keräämien raakatietojen laadun perusteella. Järjestelmän toiminnan luotettavuuteen vaikuttivat tietoliikenteen viiveiden ja muiden tekijöiden ohella myös ajan synkronoinnin ongelmat järjestelmän eri osien välillä sekä junalaitteissa esiintyneet viat.

Junien sijaintitietojen keruun onnistumiseen ovat vaikuttaneet juniin asennettujen laitteiden rikkoutumiset. Joitakin CL341-laitteita sekä yksi A1 Trax -laite jouduttiin vaihtamaan uusiin jo kokeilun

10. Johtopäätökset ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi

aikana. Käytön aikana ilmenevien vikojen, kuten elektroniikkavikojen tai mekaanisten vaurioiden, lisäksi kokeilua aloitettaessa ja sen aikana havaittiin mahdollisiksi myös konfigurointi- ja asennusvirheet. Koska junalaitteiden vikoja esiintyy todennäköisesti myös järjestelmän toimiessa normaalisti ja järjestelmän toiminta on riippuvainen junista kerättyjen paikannustietojen laadusta, järjestelmään tulee toteuttaa junalaitteiden virhetilat automaattisesti havaitseva toiminto.

Rautatieympäristön erityispiirteiden vuoksi järjestelmään kuuluvan junalaitteen luokse ei välttämättä ole mahdollista päästä heti, kun laitteen rikkoutuminen on havaittu. Rikkoutuneen laitteen luo pääseminen voi olla käytännössä mahdollista vasta tuntien tai useiden päivien päästä. Käytännössä ei voida hyväksyä tilannetta, että järjestelmän tuottamat tiedot olisivat koko tämän ajan epätarkkoja edes jollakin tietyllä maantieteellisellä alueella. Edellä mainituista syistä juniin asennettavien paikannuslaitteiden sekä laitteiden hyödyntämien tietoliikenneyhteyksien kahdentamista voidaan pitää perusteltuna. Laitteiden kahdentaminen mahdollistaa rikkoutuneiden laitteiden automaattisen havaitsemisen ja järjestelmän toiminnan jatkumisen ennallaan useissa vikatilanteissa, mikä vähentää tietoliikenteen ongelmien vaikutusta järjestelmän toimintaan.

Pilotin aikana järjestelmään kuuluvien palvelinten siirtymisestä kesäajasta talviaikaan ja päinvastoin jouduttiin huolehtimaan manuaalisesti. Eri käyttöjärjestelmät saattavat myös käyttää erilaisia aika-asetuksia ja määritelmiä ajalle. Erityisesti tilanteissa, joissa junista lähetettyjen paikannusviestien kulureitillä on useita niitä käsitteleviä palvelimia, voi järjestelmän eri osissa käytössä olevista, keskenään erilaisista ajan määritelmistä aiheutua ongelmia. Aineistossa esiintyvät noin tunnin mittaiset viiveet viittaavat ongelmiin kesäajasta talviaikaan siirtymisessä tai muihin ongelmiin ajan synkronoinnissa.

CL341- ja MC40-laitteiden osalta ei havaittu merkittävää yhteyttä junan nopeuden ja paikannusviesteille aiheutuvan viiveen välillä. Sen sijaan A1 Trax -laitteilla viiveen mediaani kasvoi, kun junan nopeus ylitti noin 30–40 km/h. Syynä tähän on todennäköisesti TCP-protokollaa tiedonsiirrossa hyödyntävän A1 Trax -laitteen hitaampi toipuminen GPRS-tiedonsiirron tarjoavassa GSM-verkossa esiintyvistä tietoliikenteen lyhyistä katkoista.

CL341-laitteiden viesteistä ei havaittu merkittävää yhteyttä maantieteellisen paikan ja viestien välityksessä esiintyneen viiveen välillä. MC40-laitteilla sen sijaan viiveen mediaani oli selkeästi suurempi joissakin pilottialueen osissa. Koska CL341- ja MC40-laitteet käyttävät samanlaisia tietoliikenneprotokollia, ei laitteiden väliselle erolle löydetty selkeää syytä. Kyse voi olla esimerkiksi eroista laitteiden toiminnassa joissakin virhetilanteissa. A1 Trax -laitteilla havaittiin jonkin verran eroa viiveen mediaanissa pilottialueen eri osien välillä. Erot selittyvät ainakin osin junan nopeuden vaihtelulla tarkastelujakson eri kohdissa. Muita mahdollisia syitä ovat alueet, joilla laitteen tietoliikenneyhteys katkeaa tilapäisesti laitteen siirtyessä tukiaseman tai matkaviestinverkon keskuksen alueelta toiselle, tai alueet, joilla matkaviestinverkko on tavanomaista raskaammin kuormitettu eikä kaikkia GPRS-palvelun kautta siirrettäviä paketteja voida välittää verkossa ajantasaisesti. Erojen syiden tarkempi selvittäminen on kuitenkin perusteltua, jotta järjestelmän toimintaan vaikuttaneista tekijöistä saadaan paras mahdollinen kokonaiskuva.

Kun järjestelmän määrittelydokumenteja kehitetään edelleen, tulisi pyrkiä kohti yksikäsitteistä laitealustasta ja käyttöjärjestelmästä riippumatonta ajan määritelmää. Yksi mahdollisuus onkin siirtyä GPS:n käyttöön aikareferenssinä sekä junalaitteissa että palvelimissa.

Järjestelmän toiminta olisi todennäköisesti ollut luotettavampaa, jos käytettävissä olisi ollut tieto rataverkolla liikkuvien junien suunnitelluista reiteistä ja aikatauluista. Jos kyseiset tiedot olisivat olleet käytettävissä, tasoristeysten tilatiedot laskeva algoritmi olisi toteutettu joiltakin osin eri tavalla.

Järjestelmän keräämien junien sijaintitietojen laatua koskevat tulokset ovat yleisesti ottaen linjassa järjestelmän toiminnan luotettavuutta koskevien tulosten kanssa.

10.3 Toteutetun järjestelmän luotettavuus

Järjestelmä tuotti onnistuneen, laatukriteerit täyttäneen varoituksen 38,0 %:lle tasoristeysten havaintojakson aikana ohittaneesta 166 junasta. Mikäli myös toteutuneet, mutta kaikkia laatukriteerejä täyttämättömät hälytykset lasketaan onnistuneiksi, onnistuneiden hälytysten osuus kaikista tasoristeysten ohittaneista junista nousee 66,3 %:iin.

Monet hälytykset, jotka arviointiin käytetty kehikko luokitteli epäonnistuneiksi (ns. vääriksi negatiivisiksi), olivat oikeastaan toteutuneita järjestelmän antamia varoituksia, jotka tosin eivät täyttäneet yhtä tai useampaa järjestelmän antamalle hälytykselle asetettua laatukriteeriä. Tästä huolimatta ne voivat kuitenkin antaa kuljettajalle hyödyllistä tietoa. Todennäköistä on, että erityyppisten laatukriteerejä täyttämättömien hälytysten merkitys tienkäyttäjän turvallisuudelle ja järjestelmän tarjoamalle käyttäjäkokemukselle on varsin erilainen. Tietyt virheoiminnot, kuten liian myöhään päättyvät hälytykset, voivat lähinnä turhauttaa käyttäjää, mutta toiset taas voivat vaarantaa käyttäjän turvallisuutta. On myös mahdollista, että uuden palvelun tapauksessa käyttäjät saattavat hyväksyä tietyn osuuden virheellisiä hälytyksiä ja saattavat haluta jatkaa palvelun käyttämistä niistä huolimatta.

Järjestelmä antoi vain 13 aiheutonta hälytystä noin 11 vuorokauden mittaisen tarkastelujakson aikana. Tämä on melko vähäinen määrä suhteutettuna 63 onnistuneeseen hälytykseen ja tasoristeysten ohittaneiden junien määrään (166 junaa). Erilaisten hälytys- ja varoitusjärjestelmien suunnittelussa joudutaan usein etsimään tasapainoa havaitsematta jääneiden tilanteiden osuuden sekä aiheuttomien hälytysten määrän välillä.

Tulokset osoittavat, että tavoitteena ollut toiminnallisuus on kyetty toteuttamaan järjestelmän avulla, mutta nykyisessä tilassaan järjestelmän luotettavuus ei täytä kaupallisesti tarjottavalle kuljettajan tukisovellukselle tai liikennetietopalvelulle asetettavia vaatimuksia. Haasteena järjestelmän kehittämisessä näyttäisi olevan lähinnä havaitsematta jääneiden junien eli toteutumatta jääneiden hälytysten osuus, jota tulisi saada pienennettyä olennaisesti.

Kaikkiaan 56 tapauksessa järjestelmä ei varoittanut lainkaan tasoristeykseen saapuvasta junasta. Näiden tilanteiden taustalla olleet syyt analysoitiin alustavasti. Edellä mainitusta 56 tilanteesta 12:n havaittiin suurella todennäköisyydellä aiheutuneen veturista, kiskobussista tai ratatyökoneesta, joka liikkui kokeilualueella ilman järjestelmään kytkettyä junalaitetta. Jäljelle jääneestä 44 tilanteesta 15:n havaittiin aiheutuneen junalaitteen ja palvelimen tai junalaitteen ja mobile gateway -palvelimen välisen tietoliikenteen lyhytaikaisesta katkosta. Edellä mainitut GPRS-yhteyden ja samalla tiedonsiirron katkot ovat mitä todennäköisimmin aiheutuneet junalaitteen siirtymisestä yhden GSM-verkon solun tai tukiaseman alueelta toiselle (ns. handover).

Handover-tilanteet ja muut lyhytaikaiset katkot kyettiin toteamaan tarkastelemalla viivettä, jolla junista lähetetyt paikannusviestit saapuivat VTT:n palvelinjärjestelmään. VR Oy:n toimittamia Dm12-kiskobussien ja Dv12-veturien käyttöä koskevia lokitietoja ja junavaroitusjärjestelmän päätelaiterekis-

10. Johtopäätökset ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi

teriä verrattiin järjestelmän tuottamiin paikannustietoihin. Näin voitiin todeta havainnoinnin kohteena olleen tasoristeyksen ohittaneet laitteettomat yksiköt. Tarkemman analyysin ja parannetun tietojenyhdistelymenetelmän perusteella olisi ehkä mahdollisesti voitu tunnistaa vielä useampia tilanteita, joissa tasoristeyksen ohittaneessa junassa ei ole ollut yhtäkään laitteellista yksikköä, kuten veturia tai kiskobussia.

Laitteettomien yksiköiden ja handover-tilanteiden lisäksi kokonaan toteutumatta jääneiden hälytysten taustalla oli myös muita syitä, joista kaikkia ei voitu selvittää hankkeessa ongelmitta. Ainakin osa edellä mainituista tapauksista oli mitä todennäköisimmin aiheutunut veturiin asennetun junalaitteen rikkoutumisesta pilotin aikana. Enemmän tietoa käytössä rikkoutuneiden laitteiden vaikutuksista tuloksiin saadaan, kun junavaroitussjärjestelmän pilotointiin käytetyt laitteet on purettu kalustosta pois ja palautettu VTT:lle testattaviksi. Joissakin tapauksissa toteutumattoman hälytyksen syynä oli pitkä viive pakettien välittymisessä mobile gateway -palvelimelta VTT:n palvelinjärjestelmään, ajoneuvolaitteen ohjelmiston jumituminen tai ajoneuvolaitteen automaattinen uudelleenkäynnistys.

Tämän lisäksi voidaan todeta, ettei lyhyen havainnointijakson aikana saaduista tuloksista voida tehdä päätelmiä vain harvoin esiintyvien tapahtumien todennäköisyydestä. Esimerkiksi palvelimen kaatumisen aiheuttama tilanne havainnointijakson alkupuolella jouduttiin tästä syystä jättämään aineistosta pois, eivätkä tulokset sisällä palvelinjärjestelmän luotettavuuden vaikutusta koko järjestelmän luotettavuuteen.

10.4 Järjestelmän vaikutukset ja kannattavuus

Junavaroitussjärjestelmän on arvioitu vähentävän vuosittaisia henkilövahinko-onnettomuuksia tasoristeyksissä noin neljällä (4,2) tilanteessa, jossa 50 % ajoneuvokannasta on varustettu järjestelmän ajoneuvolaitteella. Edellä mainitussa tilanteessa järjestelmän yhteiskuntataloudelliseksi hyödyiksi arvioitiin vuositasona noin 2,1 miljoonaa euroa. Järjestelmän toteutukseen liittyväksi investointikustannukseksi on arvioitu 2,0 miljoonaa euroa ja vuosittain toistuviksi ylläpito- ja kehittämiskustannuksiksi noin 600 000 euroa.

Alustavan tarkastelun tulosten mukaan näyttäisi siltä, että järjestelmä on yhteiskuntataloudellisesti kannattava, mikäli sen kustannukset ja vaikutukset toteutuvat suunnitellun suuruisina eikä käyttäjien ajoneuvolaitteista aiheudu lisäkustannuksia järjestelmää toteutettaessa.

Järjestelmän avulla tavoitellut turvallisuusvaikutukset ja sitä kautta järjestelmän yhteiskuntataloudelliset hyödyt voivat toteutua, jos seuraavat oletukset ovat voimassa:

- Järjestelmä toteuttaa sille suunnitellun toiminnallisuuden riittävän luotettavasti.
- Järjestelmän ajoneuvolaite onnistutaan toteuttamaan selkeänä ja helppokäyttöisenä.
- Järjestelmä kyetään integroimaan käyttäjien ajoneuvoissa laajasti käytössä oleviin päätelaite-tyyppeihin, ja se otetaan käyttöön onnistuneesti.
- Järjestelmän toiminnassa havaitut puutteet saadaan korjattua.
- Ajoneuvojen liikennemäärät vartioimattomien tasoristeysten yli eivät merkittävästi vähene.

10.5 Jatkotutkimustarpeita

Jotta järjestelmän toimintaa ja mahdollisuuksia luotettavuuden parantamiseen voitaisiin arvioida tarkemmin, tulisi havaintojakson aikana esiintyneiden toteutumattomien ja laatukriteerejä täyttämättömiin hälytysten syistä tehdä tarkempi analyysi. Analyysissä olisi tärkeää selvittää se, mitkä edellä mainituista tilanteista aiheutuvat syistä, jotka todennäköisesti olisivat olemassa myös tuotantovaiheen järjestelmässä, ja mitkä taas liittyvät resursseiltaan ja mittakaavaltaan rajallisen kenttäkokeen järjestelyihin, kuten ilman junalaitetta alueella liikkuneet yksiköt.

GPRS-tietoliikenteen toiminnalla tai toimimattomuudella havaittiin olevan merkittävä vaikutus järjestelmän toiminnan luotettavuuteen ja sen tuottaman tiedon laatuun. Erityisesti tilanteet, joissa junalaite siirtyi GSM-verkon solun tai mobiiliverkon keskuksen alueelta toiselle, sekä pitkät viiveet paketin kulussa vaikuttivat merkittävästi järjestelmän toiminnan luotettavuuteen. Tiedonsiirron osalta voidaan esittää kaksi järjestelmän jatkokehityksen näkökulmasta merkittävää kysymystä.

Ensimmäinen kysymys on, miten paljon GPRS-tiedonsiirtoon liittyvien rajoitteiden vaikutusta järjestelmän toimintaan voidaan vähentää parantamalla järjestelmän eri osien välillä käytettyjä tietoliikenneprotokollia sekä järjestelmän eri osissa tietojenkäsittelyssä hyödynnettäviä algoritmeja ja kuinka paljon järjestelmän luotettavuutta voidaan näillä keinoin parantaa.

Esimerkiksi niin sanotut handover-tilanteet tapahtuvat yleensä samoissa maantieteellisissä paikoissa, ja junan liikkeiden ennustaminen historiallisen tiedon perusteella lyhyellä aikavälillä saattaisi ehkäistä kokonaan tilanteen, jossa palvelinjärjestelmä ei kykene laskemaan ohitusennusteita ja tuottamaan varoitusta junan kulkusuunnassa oleviin tasoristeyksiin.

Lyhyen aikavälin ennusteita junan sijainnille rataverkolla laskeva algoritmi voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. On esimerkiksi mahdollista sovittaa junan aikaisemmin lähetämiin paikannusviesteihin sisältyvät koordinaatit junaa koskeviin aikataulutietoihin ja aikaisemmin mitattuihin kyseistä kalustotyyppiä tai junavuoroa koskeviin paikkasidonnaisiin nopeusprofiileihin. Tilanteessa, jossa on käytettävissä kaksi eri GSM-verkkoa tai muuta mobiiliverkkoa, on mahdollista kokeilla paikannuksen ja tiedonsiirron luotettavuutta myös tilanteessa, jossa junalaite on kahdennettu ja samaan yksikköön sijoitettu yhtä aikaa toimivat junalaitteet käyttävät tiedonsiirtoon eri verkkoja. Kenttäkokeessa junalaitteina käytetyt A1 Trax -laitteet kommunikoivat palvelimen kanssa hyödyntäen TCP-protokollaa tiedonsiirron kuljetuskerroksen protokollana. On todennäköistä, että TCP:n korvaaminen jollakin muulla kuljetuskerroksen protokollalla nopeuttaisi toipumista tilanteista, joissa yhteys junalaitteen ja palvelimen välillä syystä tai toisesta katkeaa.

Toinen merkittävä kysymys on, millaisia vaikutuksia uusilla 3G- ja LTE-verkkojen tarjoamilla palveluilla on järjestelmän tiedonsiirtoon ja luotettavuuteen. On todennäköistä, että GPRS-tiedonsiirtoa lyhyemmät viiveet ja vähäisempi kadonneiden pakettien osuus parantavat järjestelmän toimintaa. On kuitenkin vaikeaa ennustaa, miten operaattoreiden verkot sekä erityyppiset päätelaitteet käyttäytyvät tilanteissa, joissa päätelaite siirtyy GPRS-tiedonsiirtoa hyödyntävästä tilasta UMTS-tiedonsiirtoon tai päinvastoin (ns. vertical handover) paikannusviestejä lähettäessään. Asian selvittäminen edellyttäisi todennäköisesti empiirisen tiedon keräämistä, kuten mittauksia ja rajatussa mittakaavassa toteutettavaa systemaattista testausta.

10. Johtopäätökset ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi

Kolmas mahdollisuus järjestelmän jatkokehityksessä on muutosten tekeminen järjestelmän toiminnallisuuteen. Todennäköistä on, että järjestelmän kehittäminen kaupallistettavaksi tuotteeksi edellyttää sekä parannuksia tekniseen toteutukseen että muutoksia järjestelmän toiminnallisuuteen.

Lähdeluettelo

- Commission of the European Communities 2006. Commission recommendation of 22 December 2006 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: Update of the European Statement of Principles on human machine interface.
http://www.esafetysupport.org/download/working_groups/hmi_esop221206_en.pdf [viitattu 9.1.2012].
- EN 50126. Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). European standard EN 50126.
- Euroopan komissio 2009. D002768/03. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2004/49/EY 6 artiklan 3 kohdan a alakohdassa tarkoitettujen riskien arviointia koskevan yhteisen turvallisuusmenetelmän hyväksymisestä. Euroopan komissio. 14.1.2009.
- European Railway Agency. 2007. ERA-REC-02-2007-SAF. European Railway Agency Recommendation on the 1st set of Common Safety Methods.
- Eurostat 2007. Rail transport accidents in the European Union in 2004–2005.
- Federal Highway Administration 2007. Railroad-Highway Grade Crossing Handbook. Federal Highway Administration, Yhdysvallat.
- Gietelink, O. 2007. Design and Validation of Advanced Driver Assistance Systems, Doctoral thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
http://www.dcsc.tudelft.nl/~deschutt/research/phd_theses/phd_gietelink_2007.pdf [viitattu 9.1.2012].
- Hietikko, M., Malm, T. & Alanen, J. 2011. Risk estimation studies in the context of a machine control function. Reliability Engineering and System Safety. 96(7), s. 767–774. doi-link: 10.1016/j.ress.2011.02.009.
- IEC 60812. 2006. Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
- Jovicic, D. 2008. Risk acceptance criterion for technical systems in the CSM recommendation. European Railway Agency. Working Document. Note 07/06, version 1.0. 17/01/2008.
- Kallionpää, E., Mäkelä, T., Salkonen, R. & Sinisalo, E. 2008. Rautatiekuljetusten riskienhallinta. Esi selvitys. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 18/2008. 66 s. + liitt. 4 s.
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_2008-a18_rautatiekuljetusten_riskienhallinta_web.pdf [viitattu 9.1.2012].
- Lee, K. & Peng, H. 2005. Evaluation of automotive forward collision warning and collision avoidance algorithms. International Journal of Vehicle System Dynamics, 43(10), s. 735–751.
- Leviäkangas, P., Lähesmaa, J., Lehtonen M., Oinas, J., Ristola, T., Appel, K., Mäkinen, P. & Ruoti, K. 2000. Liikennetelematiikan kansallinen järjestelmäarkkitehtuuri. Tiivistelmä. Liikenneministeriön mietintöjä ja muistioita B1/2000.

- Rajamäki, R., Kulmala, R. Pilli-Sihvola, E., Rämä, R. & Sihvola, N. 2011. Älyliikenteen strategian vaikutusarviointi. Julkaisematon laskelma, versio 12.7.2011. Espoo, VTT.
- RHK 2007. Ratatekniset ohjeet (RAMO), Osa 6: Turvalaitteet. (Ohjeet päivitetty 11.12.2009.) Ratahallintokeskus, Helsinki. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_6_turvalaitteet.pdf [viitattu 9.1.2012]
- Siponen, A., Higgins, A., Lehtonen, M. J., Levo J., Lähesmaa, J., Mäkinen P. & Öörni R. 2005. Ajantasaisen liikennetiedon arkkitehtuuri. Loppuraportti. AINO-julkaisuja 20/2005. ISBN 952-201-972-0. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Tervonen, J. & Ristikartano, J. 2010. Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2010. Liikenneviraston ohjeita 21/2010. http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-21_tieliikenteen_ajokustannusten_web.pdf [viitattu 9.1.2012].
- Wu, J.Y.L. 2008. Tillämpning Av Riskhantering För Spårburna Fordon. Master Thesis. KTH Vetenskap och konst, KTH Electrical engineering, Tukholma. http://www.ee.kth.se/php/modules/publications/reports/2008/XR-EE-ICS_2008_015.pdf [viitattu 9.1.2012].
- Öörni, R. 2011. Reliability of in-vehicle warning system for railway level crossings – a user-oriented analysis. ECTRI Young Researchers Seminar 2011. 6.–10.6.2011, Kööpenhamina.
- Öörni, R. & Pajunen, K. 2005. Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä. Esiselvitys. AINO-julkaisuja 17/2005. ISBN 952-201-969-0. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Öörni, R. & Virtanen, A. 2006. Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä, teknisen toteutuksen testaus. AINO-julkaisuja 31/2006. ISBN 952-201-983-6. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Öörni, R. & Virtanen, A. 2007. In-vehicle warning system for railway level crossings. Proceedings of the 6th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, 2007, Aalborg, Tanska.

Liite A: Tietoturvaan koskevat vaatimukset ja järjestelmän toimintaan liittyvät uhkamallit

Autossa toimiva junavarotusjärjestelmä - Tietoturvaan koskevat vaatimukset				
Suojattava tieto tai toiminto	Suojattava ominaisuus			Vaatimukset järjestelmälle
	Eheys	Luottamuksellisuus	Saataavuus	
Junalaitteiden tuottama ja lähetämä junien sijaintitieto	X	X	X	- Junalaitteiden ja palvelimen autentikointi toisilleen. Mahdollisesti myös junalaitteiden ja palvelimen välisen tiedonsiirron salaus tehokkaalla salauksella.
Palvelimen tuottama tasoristeysten tilatieto	X		X	- Järjestelmä varoittaa käyttäjiä, jos rataverkolla on paikantamattomia kohteita tai jos järjestelmä muusta syystä havaitsee tuottamansa tiedot epäluotettaviksi - Tuotantovaiheen järjestelmässä: järjestelmän eri osien kahdentaminen
Käyttäjien palvelimelle lähettämät tasoristeysten numerolla varustetut kyselyt	X		X	- Varoitetaan käyttäjää tiedonsiirron tai palvelimen virhetilanteissa - Kyselyjen uudelleenlähetys IP-pakettien rikkoutuessa tai kadotessa - Mahdollistetaan palvelun anonyymi käyttö
Tiedot käyttäjien sijainnista tai henkilöllisyydestä	-	-	-	- Mahdollistetaan palvelun käyttö anonyymisti tai vaihtuvalla käyttäjätunnuksella

Liite A: Tietoturva koskevat vaatimukset ja järjestelmän toimintaan liittyvät uhkamallit

Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä - Uhkamallit					
Uhka		Uhan kohdistuminen			
Kuvaus	Hyökkääjän oletettu motiivi	Eheys	Luottamuk-sellisuus	Saata-vuus	Vaatimukset järjestelmälle tai sen toteutukselle
Hyökkääjä esiintyy järjestelmään kuuluvana junalaitteena ja pyrkii kytkeytymään järjestelmään syöttääkseen sinne väärää tietoa	Ilkivalta	X			- Junalaitteiden ja palvelimen autentikointi toisilleen
Junien sijaintitietoja vastaanottavaan tai tasoristeysten tilatietoja käyttäjille jakavaan palvelimeen kohdistetaan palvelunestohyökkäys	Ilkivalta, kiristys			X	- Huomioidaan palvelunestohyökkäyksen mahdollisuus tuotantovaiheen järjestelmää suunniteltaessa ja toteutettaessa (saapuvan IP-liikenteen suodatus, kriittisten komponenttien kahdentaminen) - Tuodaan esille palvelun luonne liikenneturvallisuuden parantajana ja ihmishengen turvaajana (ihmishengen turvaamiseksi harjoitettua viestintää häiritsevää törkeää tietoliikenteen häirinnästä rangaistus aina vankeutta)
Käyttäjien sijainti- tai tai henkilötietoja varastetaan tai ne joutuvat muulla tavoin väärin käsiin	Kaupalliset motiivit, muu motiivi		X		- Toteutuksen tulee mahdollistaa palvelun käyttö anonyyminä tai vaihtuvalla käyttäjätunnuksella. Tuotantovaiheen järjestelmään kuuluva palvelin ei käsittele tietoja, jotka paljastaisivat henkilön tai ajoneuvon sijainnin tai identiteetin - Vaihtoehtoisesti: ajoneuvolaitteiden ja palvelimen välisen viestinnän salaus tehokkaalla salauksella
Hyökkääjä murtautuu järjestelmään kuuluvalla palvelimelle varastaakseen junien sijaintitietoja tai katkaistakseen palvelun toiminnan	Teollisuusvakoilu, ilkivalta		X	X	- Pilotin ja tuotantovaiheen järjestelmien laitealustoina toimivilla tietokoneilla on vastuullinen ylläpitäjä, joka huolehtii tehtävistään kuten tietoturvapäivitysten asentamisesta - Käytössä on palomuuuri, jonka avulla voidaan suodattaa tarpeeton liikenne pois ennen sen saapumista palvelimelle - Hyviksi todetut käytännöt ohjelmoinnissa (syötteen validointi, eksplisiittisesti määritelty toiminta virhetilanteissa, jne.)
Satelliittipaikannus tai käyttäjän GPRS-yhteys ei toimi. Käyttäjän päätelaite ei saa yhteyttä palvelimeen tai paikannus ei onnistu	- (tekninen vika, tahaton virhe)			X	- Ilmaistaan käyttäjälle järjestelmän toimimattomuus ja toimimattomuuden syy (paikannus ei onnistu / palvelin ei vastaa)
Järjestelmään kuuluva palvelin jakaa käyttäjille vanhentunutta tai virheellistä tietoa ohjelmistovirheen tai muun syyn vuoksi	- (tahaton virhe, tekninen vika)				- Tuotantovaiheessa: palvelun säännöllinen ja mahdollisesti automatisoitu testaus
Järjestelmän osana toimiva junalaite rikkoutuu tai asennetaan väärin, eikä se kykene paikannukseen tai tietojen lähettämiseen. Palvelin ei kykene määrittämään tasoristeysten tiloja, koska rataverkolla on paikantamaton kohde.	- (tekninen vika)	X			- Verrataan Juse-järjestelmän ja tarvittaessa muiden järjestelmien tietoja junien paikannuksella saatuihin tietoihin - Varoitetaan käyttäjiä, mikäli rataosuudella on paikantamattomia kohteita ja järjestelmän tuottama tieto on epätarkkaa - Vaihdetaan junalaite mahdollisimman pikaisesti rikkoutumisen tapahduttua; järjestelmän tulee mahdollistaa rikkoutuneen laitteen löytäminen mahdollisimman helposti ja nopeasti

Liite B: EU:n ESoP-suosituksesta seuraavat toimenpiteet tai vaatimukset autossa toimivalle junavaroitusjärjestelmälle

EU:n ESoP-suosituksesta seuraavat toimenpiteet tai vaatimukset autossa toimivalle junavaroitusjärjestelmälle (mukailtu Commission of the European Communities 2006)			
	Principle	Periaate (kirjoittajan oma suomenos)	Tarvittavat toimenpiteet tai huomautukset
<i>4.3.1 Overall design principles</i>			
4.3.1.1	The system supports the driver and does not give rise to potentially hazardous behaviour by the driver or other road users.	Järjestelmä tukee kuljettajaa eikä edistä potentiaalisesti vaarallista käyttäytymistä liikenteessä.	Ei tiedossa.
4.3.1.2	The allocation of driver attention while interacting with system displays and controls remains compatible with the attentional demand of the driving situation.	Kuljettajan tarkkaavaisuuden jakautuminen järjestelmän käytön ja muun toiminnan välillä vastaa liikennetilanteen vaatimuutta.	– Järjestelmän antaman varoituksen tulee olla äänimerkki, ellei laitetta voida sijoittaa lähelle kuljettajan näkökenttää. – Järjestelmä ei vaadi kuljettajalta käsien käyttöä ajon aikana.
4.3.1.3	The system does not distract or visually entertain the driver.	Järjestelmä ei suuntaa kuljettajan tarkkaavaisuutta väärin kohteisiin tai tarjoa kuljettajalle visuaalista viihdesisältöä.	– Järjestelmä antaa kuljettajalle ajon aikana vain turvallisuuden kannalta merkityksellistä informaatiota. – Järjestelmän kuljettajalle antamat visuaaliset tai äänimerkit ovat selkeitä.
4.3.1.4	Interfaces and interface with systems intended to be used in combination by the driver while the vehicle is in motion are consistent and compatible.	Ajoneuvon liikkeessä ollessa samanaikaisesti käytettävien järjestelmien käyttöliittymät ja rajapinnat ovat keskenään yhteisiä ja yhteen sovitettavissa	– Laitteen antamat äänivaroitukset suunnitellaan niin, että ne poikkeavat selkeästi muiden ajoneuvossa olevien laitteiden varoitusäänistä.
<i>4.3.2 Installation principles</i>			
4.3.2.1	The system should be located and securely fitted in accordance with relevant regulations, standards and manufacturers' instructions for installing system in vehicles.	Järjestelmä tulee sijoittaa ja turvallisesti kiinnittää ajoneuvoon asiaan liittyvien säädösten, standardien ja valmistajan asennusohjeiden mukaisesti.	– Ajoneuvoihin asennettavista laitteista annetut oikeudellisesti sitovat säädökset huomioidaan järjestelmän autolaitteen valinnassa. – Ajoneuvolaitteen valmistaja vastaa laitteen asennuksen oikeellisuudesta ja vaatimustenmukaisuudesta.
4.3.2.2	No part of the system should obstruct the driver's view of the road scene.	Mikään järjestelmän osa ei saa estää kuljettajaa näkemästä eteen, sivulle tai taakse.	– Ajoneuvolaite tai sen osa ei saa peittää kuljettajan näkökenttää eteen, sivulle tai taakse.
4.3.2.3	The system should not obstruct vehicle controls and displays required for the primary driving task.	Järjestelmä ei saa estää kuljettajaa käyttämästä ajoneuvon hallintalaitteita tai mittareita tai merkkivaloja.	– Ajoneuvolaite ei saa estää kuljettajaa käyttämästä ajoneuvon hallintalaitteita, mittareita tai merkkivaloja.
4.3.2.4	Visual displays should be positioned as close as practicable to the driver's normal line of sight.	Järjestelmään kuuluva näyttölaite tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle kuljettajan tavanomaista näkökenttää.	– Järjestelmän ajoneuvolaite sijoitetaan lähelle kuljettajan tavanomaista näkökenttää tai visuaalisen informaation käyttö ajon aikana minimoidaan järjestelmän käyttöliittymässä.

Liite B: EU:n ESoP-suosituksesta seuraavat toimenpiteet tai vaatimukset autossa toimivalle junavaroitussjärjestelmälle

4.3.2.5	Visual displays should be designed and installed to avoid glare and reflections.	Järjestelmään kuuluvat näyttölaitteet tulee suunnitella siten, että mahdollisuus häikäistymiseen ja valon heijastumiseen näytöstä minimoituu.	– Autolaitteen valinnassa huomioidaan häikäistymisen ja valon heijastumisen mahdollisuus. Näytön ei tulisi olla pimeään olosuhteissa häiritsevän kirkas, mutta sen tulisi olla luettavissa myös päivänvalossa.
4.3.3 Information presentation principles			
4.3.3.1	Visually displayed information presented at any time by the system should be designed such that the driver is able to assimilate the relevant information with a few glances which are brief enough not to adversely affect driving.	Visuaalisesti esitetyn informaation tulee olla niin selkeää, että kuljettaja voi sisäistää esitetyn informaation riittävän lyhyessä ajassa ilman haitallista vaikutusta ajotehtävään.	– Järjestelmä esittää ajon aikana visuaalista informaatiota vähän ja selkeästi tai ei lainkaan.
4.3.3.2	Internationally and/or nationally agreed standards relating to legibility, audibility, icons, symbols, words, acronyms and/or abbreviations should be used.	Kansainvälisesti tai kansallisesti standardeja tulee käyttää esitettävässä tiedossa äänien, ikonien, symbolien, sanojen tai lyhenteiden avulla.	– Tasoristeyksiin liittyvät liikennemerkki ja terminologia huomioidaan järjestelmän käyttöliittymää ja käyttäjille jaettava ohjeistusta suunniteltaessa.
4.3.3.3	Information relevant to driving task should be accurate and provided in a timely manner.	Ajotehtävään liittyvän tiedon tulee olla tarkkaa ja oikeaan aikaan tarjottua.	– Junavaroitussjärjestelmän määrittelyssä on huomioitu tiedon oikeellisuuden ja oikea-aikaisuuden vaatimukset.
4.3.3.4	Information with higher safety relevance should be given higher priority.	Turvallisuuden kannalta merkittävemmän tiedon tulee olla ensisijaisista suhteesta vähemmän merkittävään.	– Turvallisuuden kannalta olennaisen tiedon ensisijaisuus huomioidaan järjestelmän autolaitetta toteutettaessa ja laadittaessa ohjeistusta järjestelmän autolaitteiden kehittäjille.
4.3.3.5	System generated sounds, with sound levels that can not be controlled by the driver, should not mask audible warnings from within vehicle or outside.	Järjestelmän muodostamat äänet, joiden tasoa kuljettaja ei voi kontrolloida, eivät saa peittää ajoneuvon sisä- tai ulkopuolelta tulevia äänivaroituksia.	– Junavaroitussjärjestelmän autolaitteeseen toteutetaan mahdollisuus äänen voimakkuuden säätöön.
4.3.4 Interface with displays and controls			
4.3.4.1	The driver should always be able to keep at least one hand on the steering wheel while interacting with the system.	Kuljettajan tulee aina olla mahdollista pitää yksi käsi ohjauspyörällä käyttäessään järjestelmää.	– Autolaitteen käyttöliittymä toteutetaan pilotissa yhdellä kädellä käytettävänä.
4.3.4.2	The system should not require long and uninterruptible sequences of manual-visual interfaces. If the sequence is short, it may be uninterruptible.	Järjestelmä ei saa edellyttää pitkiä ja keskeytymättömiä toimenpiteiden sarjoja.	– Järjestelmän autolaitteen käyttöliittymä toteutetaan siten, ettei se vaadi toimintojen suorittamista loppuun lyhyiden aikajaksojen sisällä (esim. konfigurointi). – Vaihtoehtoisesti: toiminnot suunnitellaan vain lyhyitä toimenpiteiden sarjoja vaativiksi.
4.3.4.3	The driver should be able to resume an interrupted sequence of interfaces with the system at the point of interruption or at another logical point.	Kuljettajan tulee voida jatkaa kesken jäänyttä toimenpiteiden sarjaa kesken jääneestä kohdasta tai muusta loogisesti selkeästä kohdasta.	– Käyttöliittymässä ei käytetä lainkaan ajastimia tai käyttöliittymä palautetaan käyttäjälle loogiseen kohtaan ajastimen kuluttua loppuun.
4.3.4.4	The driver should be able to control the pace of interface with the system. In particular the system should not require the driver to make time-critical responses when providing inputs to the system.	Kuljettajan tulee voida kontrolloida vuorovaikutustaan järjestelmän kanssa. Järjestelmän ei tulisi edellyttää kuljettajalta ajan suhteen kriittisiä toimintoja tämän syöttäessä järjestelmälle tietoa.	– Käyttöliittymässä ei käytetä lainkaan ajastimia tai käyttöliittymä palautetaan käyttäjälle loogiseen kohtaan ajastimen kuluttua loppuun.

Liite B: EU:n ESoP-suosituksesta seuraavat toimenpiteet tai vaatimukset autossa toimivalle junavaroitussjärjestelmälle

4.3.4.5	System controls should be designed such that they can be operated without adverse impact on the primary driving controls.	Järjestelmän käyttöliittymä tulee suunnitella siten, että sitä voidaan käyttää ilman, että ajoneuvon hallintalaitteiden käyttö samalla häiriintyy.	– Mahdollisuus ajoneuvon hallintalaitteiden käytön häiriintymiseen huomioidaan valittaessa ajoneuvolaitetta ja sen sijoituspaikkaa ajoneuvossa.
4.3.4.6	The driver should have control of the loudness of auditory information where there is likelihood of distraction.	Kun tietoa esitetään äänen avulla, kuljettajalla tulee olla mahdollisuus vaikuttaa äänenvoimakkuuteen, mikäli kuljettajan tarkkaavaisuus voi äänen vuoksi häiriintyä.	– Laitteen antamalle varoitukselle toteutetaan helppokäyttöinen äänenvoimakkuuden säätö.
4.3.4.7	The system's response (e.g. feedback, confirmation) following driver input should be timely and clearly perceptible.	Järjestelmän palaute kuljettajan toimenpiteistä tulee olla selkeästi havaittavaa ja oikea-aikaista.	– Sovelluksen tulee antaa selkeää palautetta, kun kuljettaja käyttää sen eri toimintoja tai syöttää tietoa.
4.3.4.8	Systems providing non-safety related dynamic visual information should be capable of being switched into a mode where that information is not provided to the driver.	Muuta kuin turvallisuuteen liittyvää visuaalista informaatiota tarjoavat järjestelmät tulee olla kytkettävissä tilaan, jossa visuaalista informaatiota ei tarjota kuljettajalle.	– Junavaroitussovellus tarjoaa kuljettajalle vain turvallisuuden kannalta merkityksellistä tietoa.
4.3.5 System behaviour principles			
4.3.5.1	While the vehicle is in motion, visual information not related to driving that is likely to distract the driver significantly should be automatically disabled, or presented in such way that the driver cannot see it.	Kun ajoneuvo on liikkeessä, ajoneuvon kuljettamiseen liittymätöntä visuaalista informaatiota tarjoavan laitteen tulee automaattisesti kytkeytyä pois päältä, mikäli on todennäköistä, että kuljettajan tarkkaavaisuus merkittävästi häiriintyy. Vaihtoehtona automaattiselle pois päältä kytkeytymiselle laite voi myös esittää visuaalisen informaation siten, ettei ajoneuvon kuljettaja voi nähdä sitä.	– Junavaroitussjärjestelmä tarjoaa vain ajoneuvon kuljettamiseen liittyvää tietoa.
4.3.5.2	The behaviour of the system should not adversely interfere with displays or controls required for the primary driving task or road safety.	Järjestelmän toiminta ei saa haitallisesti häiritä näyttö- tai hallintalaitteita, joita tarvitaan ajoneuvon kuljettamiseen tai liikenneturvallisuuden varmistamiseen.	– Junavaroitussjärjestelmä toteutetaan pilotissa erillään ajoneuvon järjestelmästä. – Junavaroitussjärjestelmän autolaitte sijoitetaan siten, ettei se häiritse ajoneuvon hallintalaitteiden käyttöä.
4.3.5.3	System functions not intended to be used while driving should be made impossible to interact with while the vehicle is in motion, or, as a less preferred option, clear warnings should be provided against the unintended use.	Muiden kuin ajon aikana käytettäväksi tarkoitettujen järjestelmän toimintojen käyttö tulee estää ajoneuvon ollessa liikkeessä. Toissijainen vaihtoehto käytön estämiselle on järjestelmän väärinkäytöstä varoittaminen.	– Junavaroitussjärjestelmän autolaitteen käyttöohjeessa tulee selkeästi ohjeistaa, mitkä laitteen toiminnot on tarkoitettu ajon aikana käytettäväksi. – Junavaroitussjärjestelmästä tulee selkeästi määritellä ajon aikana käytettävissä olevat tai käytettäväksi tarkoitetut järjestelmän toiminnot.
4.3.5.4	Information should be presented to the driver about current status, and any malfunction within the system that is likely to have an impact on safety.	Kuljettajaa on informoitava ajantasaisesti järjestelmän tilasta ja kaikista virhetiloista, joilla todennäköisesti on vaikutuksia turvallisuuteen.	– Junavaroitussjärjestelmään toteutetaan ominaisuudet, joiden avulla mahdollisimman monet järjestelmän virheet tunnistetaan ja joiden avulla järjestelmän autolaitte informoi käyttäjänsä järjestelmän virhetiloista.

Liite B: EU:n ESoP-suosituksesta seuraavat toimenpiteet tai vaatimukset autossa toimivalle junavaroitussjärjestelmälle

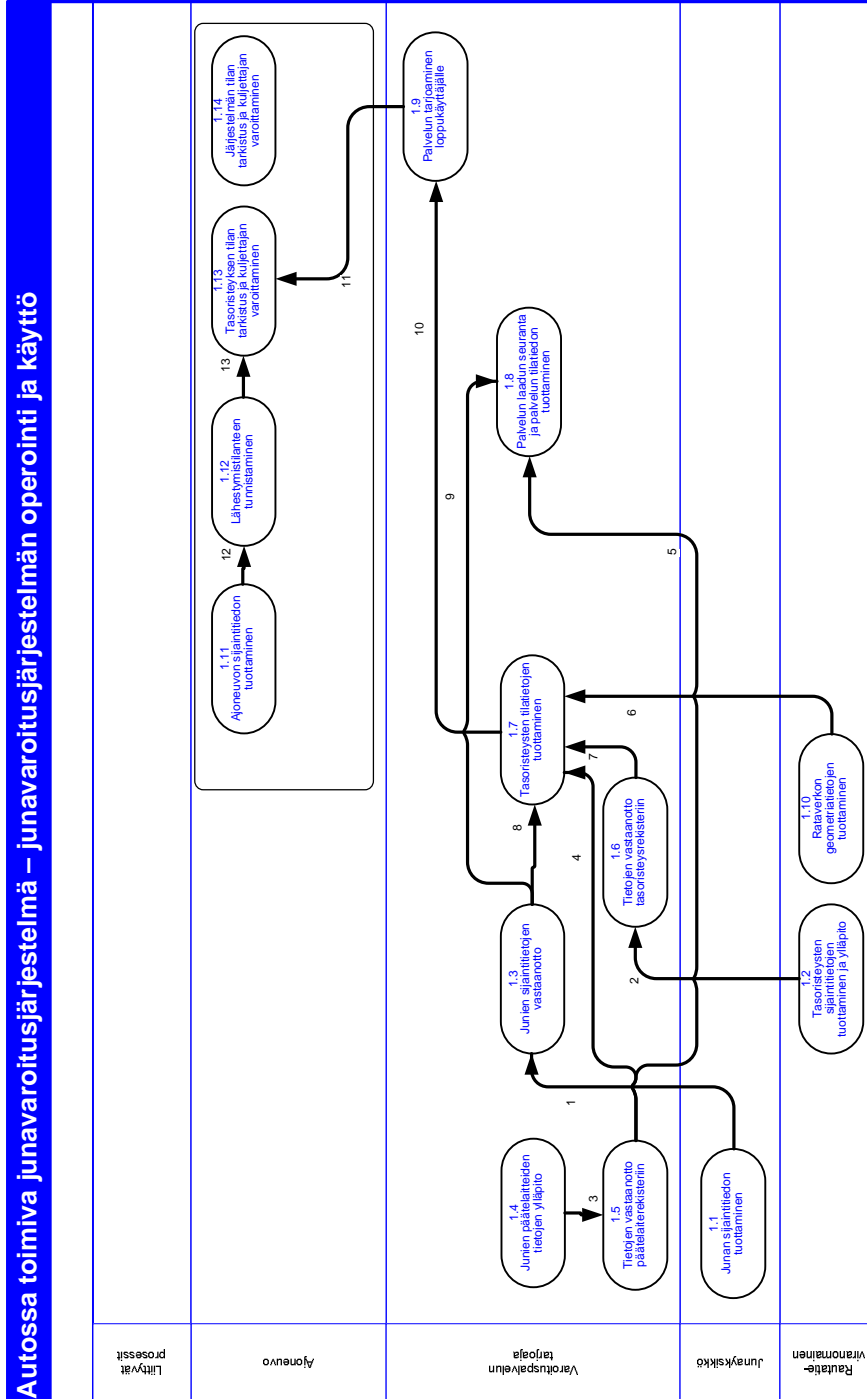
4.3.6 Information about the system			
4.3.6.1	The system should have adequate instructions for the driver covering use and relevant aspects of installation and maintenance.	Järjestelmästä tulee olla kuljettajien saatavilla riittävän laajat ja seikkaperäiset käyttöohjeet, jotka kattavat järjestelmän käytön lisäksi asennuksen ja ylläpidon.	– Käyttöohjeille asetettavat vaatimukset huomioidaan pilotin koehenkilöiden ohjeistamisessa ja mahdollista tuotantovaiheen järjestelmää koskevissa toimenpide-ehdotuksissa.
4.3.5.2	System instructions should be correct and simple.	Järjestelmän käyttöohjeiden tulee olla sisällöltään oikeat ja helposti ymmärrettävät.	– Käyttöohjeiden oikeellisuudelle ja ymmärrettävyydelle asetettavat vaatimukset huomioidaan pilotin koehenkilöiden ohjeistamisessa ja tuotantovaiheen järjestelmää koskevissa toimenpide-ehdotuksissa.
4.3.6.3.	System instructions should be in languages or forms designed to be understood by the intended group of drivers.	Järjestelmän käyttöohjeet tukee esittää kielillä ja esitystavoilla, joita kohderyhmään kuuluvat kuljettajat ymmärtävät.	– Käyttöohjeiden kieli ja esitystapa huomioidaan laadittaessa pilotin loppukäyttäjien ohjeistusta ja itse tuotantovaiheen järjestelmää.
4.3.6.4.	The instructions should clearly state which functions of the system are intended to be used by the driver while driving and those which are not.	Käyttöohjeiden tulee selkeästi ilmaista se, mitkä järjestelmän toiminnot on tarkoitettu ajon aikana kuljettajan käytettäväksi ja mitkä eivät.	– Se, mitkä junavaroitussjärjestelmän autolaitteen toiminnot on tarkoitettu kuljettajalle ajon aikana käytettäväksi ja mitkä eivät, määritellään selkeästi ja kirjoitetaan pilotin osallistujille jaettaviin käyttöohjeisiin. – Edellä mainittu huomioidaan myös jatkotoimenpide-ehdotuksissa.
4.3.6.5	Product information should be designed to accurately convey the system functionality.	Tuotteesta käyttäjälle annettavan informaation tulee kuvata riittävän tarkasti järjestelmän toiminnallisuus.	– Informaation yksikäsitteisyyden ja sisällöllisen oikeellisuuden vaatimukset huomioidaan pilotin loppukäyttäjille suunnattua ohjeistusta laadittaessa. – Edellä mainittu huomioidaan myös jatkotoimenpide-ehdotuksissa.
4.3.6.6	Product information should make it clear if special skills are required to use the system as intended by the manufacturer or if the product is unsuitable for particular users.	Tuotteen mukana käyttäjälle jaettavasta informaatiosta tulee käydä ilmi, tarvitaanko järjestelmän käyttämiseen valmistajan suositusten mukaisesti erityisiä taitoja tai onko tuote soveltumaton joillekin tietyille käyttäjäryhmille.	– Tarkastellaan, onko olemassa jotain sellaisia käyttäjäryhmiä, joiden käyttöön hankkeessa pilotoitava järjestelmä ei sovellu. Mikäli tällaisia ryhmiä löydetään, tämä huomioidaan koehenkilöitä pilottiin valittaessa ja jatkotoimenpide-ehdotuksena mahdollista tuotantovaiheen järjestelmää silmällä pitäen.
4.3.6.7	Representations of the system use (e.g. descriptions, photographs and sketches) should neither create unrealistic expectations on the part of potential users nor encourage such use.	Kuvaukset järjestelmän käytöstä (kuvaukset tekstinä, valokuvat, piirrookset) eivät saa luoda epärealistisia odotuksia käyttäjille eivätkä edistää järjestelmän turvainta käyttöä.	– Junavaroitussjärjestelmän toiminnallisuutta, todennäköistä toimintaa ja käyttöä on kuvattava realistisesti pilottiin osallistuville loppukäyttäjille laadittavassa ohjeistuksessa sekä myöhemmin mahdollisen tuotantovaiheen järjestelmän käyttäjille laadittavassa käyttöohjeessa.

Lähde

Commission of the European Communities 2006. Commission recommendation of 22 December 2006 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: Update of the European Statement of Principles on human machine interface.

http://www.esafetysupport.org/download/working_groups/hmi_esop221206_en.pdf [viitattu 9.1.2012].

Liite C: Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä – toiminnallinen arkkitehtuuri



Liite D: Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – tietoa tuottavat, välittävät ja jalostavat toiminnot

Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä - Tietoa tuottavat, välittävät ja jalostavat toiminnot			
Numero	Toiminto	Toiminnon kuvaus	Huomautukset
1.1	Junan sijaintitiedon tuottaminen	Rataverkolla liikkuvaan yksikköön sijoitettu järjestelmään kuuluva junalaite tuottaa satelliittipaikannuksen avulla tietoa yksikön sijainnista ja lähettää tämän tiedon järjestelmään kuuluvalle palvelimelle.	
1.2	Tasoristeystietojen sijaintitietojen tuottaminen ja ylläpito	Rautatieviranomaisen tuottaa tiedot toiminta-alueensa tasoristeysten sijainneista ja ylläpitää tuottamia sijaintitietoja	
1.3	Junien sijaintitietojen vastaanotto	Varoitusspalvelun tarjoaja vastaanottaa junien sijaintitiedot junalaitteilta	
1.4	Junien päätelaitteiden tietojen ylläpito	Varoitusspalvelun tarjoaja asentaa tai asennuttaa rautatieoperaattorin kalustoon junalaitteet ja toimittaa päätelaitteiden tunnistus- ja ominaisuustiedot päätelaiterekisterin ylläpitäjälle	Asennuksen tehnyt toimija tuottaa päätelaiterekisteriin tiedon siitä, mihin yksikköön päätelaite on asennettu
1.5	Tietojen vastaanotto päätelaiterekisteriin	Junavaroitusspalvelun tarjoaja pitää kirjaa vetureihin asennettujen päätelaitteiden tiloista ja kirjaa lokiin päätelaitteiden tiloissa tapahtuneet muutokset.	
1.6	Tietojen vastaanotto tasoristeysrekisteriin	Junavaroitusspalvelun tarjoaja noutaa rautatieviranomaiselta uusimman luettelon tasoristeysten sijainti- ja ominaisuustiedoista	Pilotissa: vain tasoristeysten koordinaattitiedot; muilla tiedoilla voidaan parantaa palvelun tasoa
1.7	Tasoristeysten tilatietojen tuottaminen	Jokaiselle tasoristeykselle lasketaan tila junien ajantasaisten sijaintitietojen, tasoristeysten sijaintitietojen sekä rataverkon geometriatietojen perusteella	
1.8	Palvelun laadun seuranta ja palvelun tilatiedon tuottaminen	Varoitusspalvelun tarjoaja seuraa palvelunsa toimintaa ja ryhtyy tarvittaessa korjaaviin toimenpiteisiin	
1.9	Palvelun tarjoaminen loppukäyttäjälle	Jaetaan käyttäjille ajantasaista tietoa tasoristeysten tiloista, tieverkolla olevien tasoristeysten sijainneista sekä järjestelmästä saatavan tiedon luotettavuudesta	Toteutettu mahdollisuus jakaa palvelun tilatietoa; ei toteutettu mobiiliklientissä
1.10	Rataverkon geometriatietojen tuottaminen	Rautatieviranomaisen kokoaa yhteen toiminta-alueensa rataverkon tuottaa oman rataverkonsa geometriatiedot	Pilotissa hyödynnettiin RHK:n Ratapurkki-aineistoa
1.11	Ajoneuvon sijaintitiedon tuottaminen	Ajoneuvon sijaintitieto tuotetaan avustetun GPS-paikannuksen (AGPS) avulla.	
1.12	Lähestymistilanteen tunnistaminen	Käyttäjän päätelaite tunnistaa tasoristeysten sijaintitietojen ja ajoneuvon ajantasaisen sijaintitiedon perusteella tilanteen, jossa ajoneuvo lähestyy tasoristeystä	
1.13	Tasoristeuksen tilan tarkistaminen ja kuljettajan varoittaminen	Käyttäjän päätelaite tarkistaa palvelimelta tasoristeuksen tilan ja varoittaa kuljettajaa, mikäli kyseistä tasoristeystä lähestyy parhaillaan juna	
1.14	Järjestelmän tilan tarkistus ja kuljettajan varoittaminen	Käyttäjän päätelaite tarkkailee omaa tilaansa sekä vastaanottaa palvelimelta järjestelmän tilatietoa. Käyttäjän päätelaite varoittaa kuljettajaa, mikäli järjestelmä ei toimi suunnitellulla tavalla tai järjestelmän tuottama tieto on epätarkkaa.	

Liite E: Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä – toimintojen väliset tietovirrat

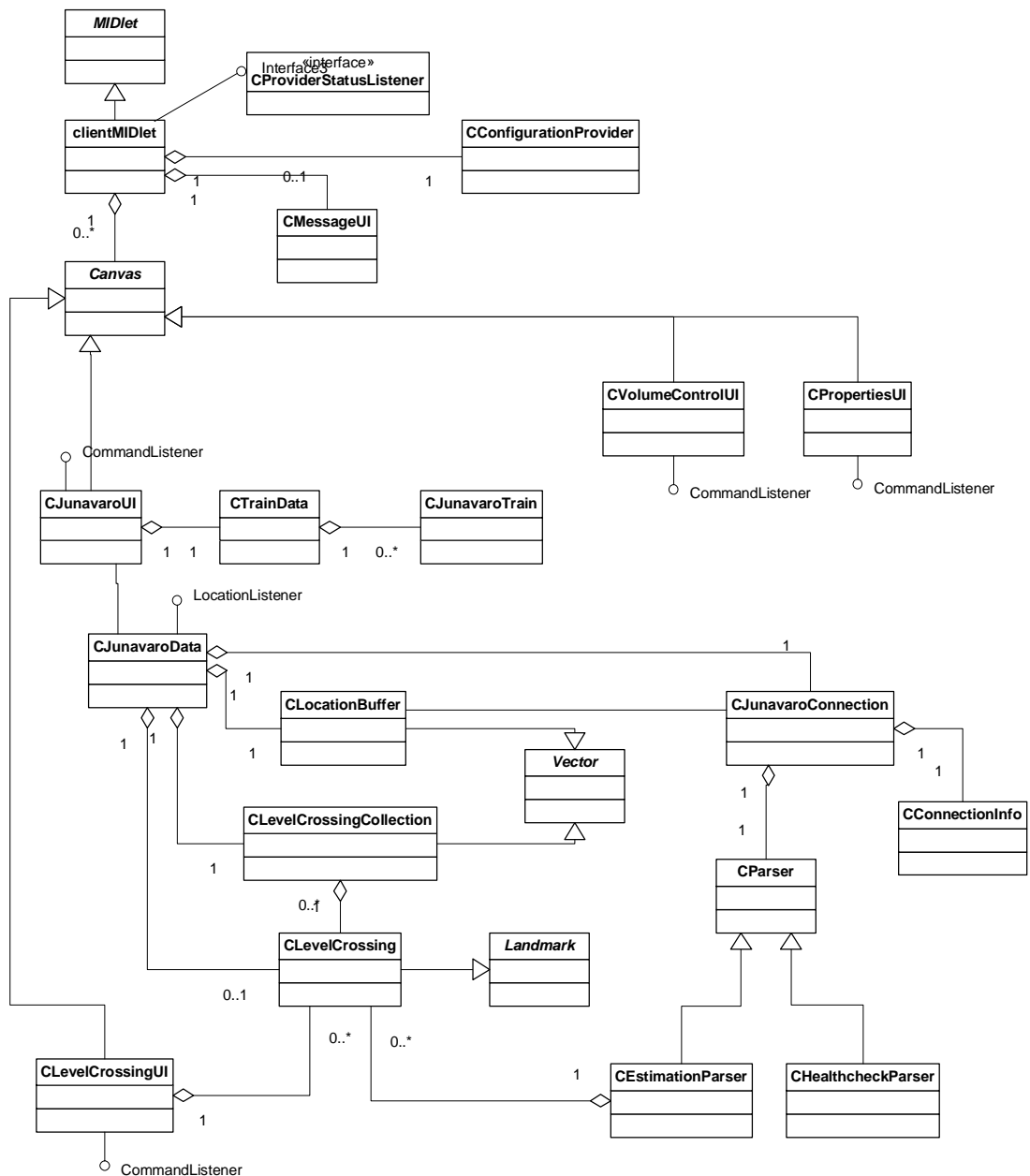
Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä - toimintojen väliset tietovirrat				
Nro	Alku	Loppu	Sisältö	Rajapinta tai esitystapa
1	1.1 Junan sijaintitiedon tuottaminen	1.3 Junien sijainti-, aikataulu- ja reittitietojen vastaanotto	Junan sijaintitieto, junan päätelaitteen tunnistiedot, päätelaitteen tilatieto	Käytössä eri rajapinnat A1 Trax -laitteilla oma ja CL341- ja MC40-laitteilla yhteinen rajapinta (ks. teksti).
2	1.2 Tasoristeystietojen sijaintitietojen tuottaminen ja ylläpito	1.6 Tietojen vastaanotto tasoristeysrekisteriin	Tasoristeysten nimet sekä rataosa- ja koordinaattitiedot	Siirretty tekstitiedostoina
3	1.4 Junien päätelaitteiden tietojen ylläpito	1.5 Tietojen vastaanotto päätelaiterekisteriin	Tieto siitä, mihin raiteilla liikkuvaan yksikköön päätelaite on asennettu vai onko päätelaite lainkaan kalustoon asennettuna.	Tietojen toimitus sähköpostilla tai puhelimitse
4	1.5 Tietojen vastaanotto päätelaiterekisteriin	1.7 Tasoristeysten tilatietojen tuottaminen	Tieto siitä, mihin raiteilla liikkuvaan yksikköön päätelaite on asennettu	Tasoristeyksille tilatietoja laskeva toiminto lukee SQL-tietokannan taulusta päätelaitteiden tilatiedot.
5	1.5 Tietojen vastaanotto päätelaiterekisteriin	1.8 Palvelun laadun seuranta ja palvelun tilatiedon tuottaminen	Tieto päätelaitteiden tiloista	Tieto esitetään erillisen www-käyttöliittymän avulla.
6	1.10 Rataverkon geometriatietojen tuottaminen	1.7 Tasoristeysten tilatietojen tuottaminen	Ratalinjausten geometriatiedot	Tietojen tuominen junavaroitussjärjestelmälle manuaalisena päivityksenä. Tiedot siirretty Esri shape -muodossa.
7	1.6 Tietojen vastaanotto tasoristeysrekisteriin	1.7 Tasoristeysten tilatietojen tuottaminen	Tasoristeysten koordinaattitiedot	Tasoristeyksille tilatietoja laskeva toiminto lukee SQL-tietokannan taulusta tasoristeysten koordinaattitiedot
8	1.3 Junien sijaintitietojen vastaanotto	1.7 Tasoristeysten tilatietojen tuottaminen	Junien sijaintitiedot	Palvelinohjelmiston sisäinen rajapinta
9	1.3 Junien sijaintitietojen vastaanotto	1.8 Palvelun laadun seuranta ja palvelun tilatiedon tuottaminen	Junien sijaintitiedot	Tieto esitetään erillisen www-käyttöliittymän avulla.
10	1.7 Tasoristeysten tilatietojen tuottaminen	1.9 Palvelun tarjoaminen loppukäyttäjälle	Tasoristeysten tilatiedot	Palvelinohjelmiston sisäinen rajapinta; tasoristeysten ajantasaiset tilatiedot tallennetaan SQL-tietokantaan.
11	1.9 Palvelun tarjoaminen loppukäyttäjälle	1.13 Tasoristeuksen tilan tarkistus ja kuljettajan varoittaminen	Tasoristeuksen ajantasainen tilatieto	Junavaro-asiakasohjelmiston ja palvelimen välinen XML-rajapinta (ks. teksti).
12	1.11 Ajoneuvon sijaintitiedon tuottaminen	1.12 Lähestymistilanteen tunnistaminen	Ajantasainen ajoneuvon sijaintitieto	Rajapinnan toteutus riippuu autolaitteen laitealustana käytettävästä laitteesta. Hankkeen toteutuksessa hyödynnetty rajapinta: Java JSR 179 Location API for J2ME 1.0
13	1.12 Lähestymistilanteen tunnistaminen	1.13 Tasoristeuksen tilan tarkistus ja kuljettajan varoittaminen	Tieto siitä, lähestyykö ajoneuvo parhaillaan tasoristeystä. Sen lisäksi sen tasoristeuksen numero, jota ajoneuvo lähestyy	Autolaitteen ohjelmiston sisäinen rajapinta

Liite E: Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä – toimintojen väliset tietovirrat

Autossa toimivan junavaroitusjärjestelmä - yksinkertaistettu tietomalli				
Objekti	Avain	Pakolliset attribuutit	Muut attribuutit	Relaatiot
Junalaite	- päätelaitteen numero	- päätelaitteen numero - yksikön numero - päätelaitteen tila - sijainti		- Päätelaite voi olla asennettuna yhteen tai ei ainoakaan yksikköön
Yksikkö	- yksikön numero (esim työkoneen tai veturin numero)	- yksikön numero (esim työkoneen tai veturin numero)	- Yksikön tyyppi	- Yksiköllä voi olla asennettuna yksi tai ei ainuttakaan junalaitetta
Taso- risteys	- tasoristeyksen numero	- Tasoristeyksen numero - Sijainti - Tila - Tiedon tarkkuus	- Rataosa	
Ohitus-ennuste	- ohitusennusteen numero	- tasoristeysnimi - tasoristeystunnus - junatunnus - junalaitetunnus - etäisyys - suunta - ohitusaika - tila (COMING/ALARM/PASSED/DELETED)		- Yksi ohitusennuste voi liittyä vain yhteen junalaitteeseen - Yhteen tasoristeykseen voi liittyä yksi tai useampia ohitusennusteita
Ennustekysely	- Ennuste- kyselyn numero	- aikaleima - käyttäjä - tasoristeys (tasoristeystunnus ja tasoristeysnimi)		- Yksi ennustekysely voi kohdistua vain yhteen tasoristeykseen ja liittyä vain yhteen käyttäjään
Käyttäjä	Ennustekyselyn sisäinen elementti	- sijainti - laite		- Ennustekyselyn sisällä yksi käyttäjä voi omata yhden tai useamman sijainnin ja yhden laitteen tiedot
Sijainti	Ennustekyselyn sisäinen elementti	- leveysasteet - pituusasteet - suunta - nopeus - paikannuksen tarkkuus - sijainnin aikaleima)		
Laite	Ennustekyselyn sisäinen elementti	- laitteen tunniste - verkon signaalinvoimakkuus - verkon tila - akun varaustila		- Laitteen tieto voi sisältää yhden arvon kutakin laitteen tilamuuttujaa
Ennustevastaus	- Ennustevastauksen numero	- tasoristeystunnus - tasoristeysnimi	- junatieto	- Yksi ennustevastaus voi liittyä vain yhteen tasoristeykseen - Yhteen ennustevastaukseen voi liittyä yksi tai useampia junatietoja
Junatieto	Ennustevastauksen sisäinen elementti	- junatunnus - suunta - etäisyys - tila	- aikaleima - ohitusaika	
Tarkistuskysely	- Tarkistus- kyselyn numero	- aikaleima - käyttäjä		- Yksi tarkistuskysely sisältää yhden aikaleiman ja käyttäjän tiedot
Tarkistusvastaus	Ei avainta	- aikaleima - palvelun tila - tiedonkeräysmoodi		

Liite F: Junavaro-ajoneuvosovelluksen toiminnallinen kuvaus

Java-kielellä toteutetun Junavaro-ajoneuvosovelluksen luokkakaavio on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 1. Junavaro-ajoneuvosovelluksen luokkakaavio.

CJunavaroData-luokka

CJunavaroData-luokka on ajoneuvosovelluksen ”moottori”, joka vastaanottaa paikannustiedot ja toimii edelleen sen mukaan käynnistäen tarvittaessa kommunikaation palvelimen kanssa ja informoiden käyttöliittymää muutoksista.

Saadessaan uuden paikkatiedon (locationUpdated-metodi) CJunavaroData-objekti tarkistaa ensin, oliko tämä ensimmäinen saatu sijainti joko ohjelman käynnistämisen tai sijainnin hukkautuksen jälkeen. Mikäli oli, objekti käynnistää ProximityListener-ajastimen, joka käynnistyyessänsä ja sen jälkeen 225 000 millisekunnin (3 min 45 s) välein hakee Landmark-taltiosta kokoelman nykyistä sijaintia lähimpänä olevia tasoristeyskohteita ja luo niistä CLevelCrossingCollection-luokan esiintymän. Tasoristeyskohteiden valintakriteerinä käytetään noin 20 x 20 kilometrin aluetta, joka rajataan nykyisen sijainnin suhteen ± 0.09 asteen väliltä latitudin suhteen ja ± 0.2 asteen väliltä longitudin suhteen.

CJunavaroData-objekti myös tarkistaa, mikä kokoelmassa olevista tasoristeyskohteista on lähin, laskee etäisyyden siihen ja asettaa sen aktiiviseksi tasoristeyskohteeksi. Mikäli nykyinen sijainti on 1 200 metriä lähempänä lähintä tasoristeyskohteesta, käynnistetään ajastin suorittamaan ennustekyselyitä.

Mikäli ajoneuvolaitteen etäisyys tasoristeyskohteesta on vähemmän kuin 1 200 metriä ja ajoneuvolaitte lähenee tasoristeyskohteesta, ennustekyselyitä tehdään 15 000 millisekunnin välein. Mikäli taas ajoneuvolaitteen etäisyys tasoristeyskohteesta on vähemmän kuin 200 metriä, ennustekyselyitä tehdään 5 000 millisekunnin välein riippumatta siitä, lähennyttäänkö tasoristeyskohteesta vai loitonnutaan-ko siitä. Objekti myös tallettaa aina uusimman sijaintitiedon jäsenmuuttujaansa, johon luokalla on julkinen kyselyrajapinta.

CJunavaroData-objekti luo myös ajastimen tarkistuskyselyiden tekemiseen 1 800 000 millisekunnin (30 min) välein. Tarkistuskyselyiden tekstimuotoinen vastaus näytetään sellaisenaan ajoneuvosovelluksen käyttöliittymässä alimmaisella rivillä. Palvelinyhteys muodostetaan ja on aina päällä, kun ajoneuvolaitteen etäisyys tasoristeyskohteesta on vähemmän kuin 1 200 metriä, jolloin ennustekyselyiden – lukuun ottamatta ensimmäistä ennustekyselyä – viive ei kasva yhteydenmuodostukseen kuluvalle ajalle.

Tarkistuskyselyissä palvelinyhteys muodostetaan jokaista kyselyä varten erikseen ja suljetaan kyselytoiminnon päättymisen jälkeen.

CJunavaroUI-luokka

CJunavaroUI-luokka on ajoneuvosovelluksen pääkäyttöliittymä, jonka näkymä heijastaa sovelluksen kunkin hetkistä tilaa. Pääkäyttöliittymässä on kaksi sisäistä päätilaa: vakionäkymä ja hälytysnäkyvä. Vakionäkymää näytetään silloin, kun ajoneuvolaitteen etäisyys on enemmän kuin 1 200 metriä lähimmästä tasoristeyskohteesta, ja myös silloin, kun ajoneuvolaitte loitonnee tasoristeyskohteesta etäisyyden tasoristeyskohteeseen ollessa suurempi kuin 200 metriä. Vakionäkymässä näkyy kompassiruusu kulkusuunta ja sen alapuolella ajonopeus kilometreinä tunnissa.



Kuva 2. ClientSW käynnistyy vakionäkymään.

Kuvan 2 vasemmalla puolella ollaan muodostamassa palvelinyhteyttä ja lähettämässä tarkistuskyselyä. Oikeanpuoleisessa kuvassa palvelimelta on saatu tarkistusvastaus "OK". GPS-paikannus ei ole vielä löytänyt sijaintia, jota osoittaa punainen lippu oikeassa yläkulmassa.

Hälytysnäkömää näytetään silloin kun ajoneuvolaite lähestyy tasoristeystä etäisyyden tasoristeykseen ollessa suurempi kuin 1 200 metriä tai on tasoristeyksestä alle 200 metrin etäisyydellä. Hälytysnäkömässä näytetään tasoristeystä kuvaava liikennemerkki ja sen alapuolella lähestyttävän tasoristeyksen nimi ja etäisyys kyseiseen tasoristeykseen. Mikäli ennustevastauksessa ennusteen kerrotaan olevan epäluotettava, tasoristeystä kuvaavan liikennemerkkin molemmin puolin näytetään vielä "Muu vaara"-liikennemerkkit.

Mikäli ennustevastaus sisältää tietoja tasoristeykseen saapuvista junista, niiden tiedot näytetään listassa hälytysnäkömässä. Junien tiedoista näytetään junatunnus, junan tila (lähestyy, hälytys tai ohittanut) ja saapuvan junan etäisyys tasoristeyksestä. Hälytystilassa olevien junien tiedot näytetään punaisella, lähestyy-tilassa olevien oranssilla ja ohittanut-tilassa olevien vihreällä. Junat järjestetään listassa siten, että hälytystilassa olevat junat näytetään ylimpänä, sitten lähestyy-tilassa olevat junat ja viimeisenä ohittanut-tilassa olevat junat.

Riippumatta siitä, onko näkyvissä hälytys- tai vakionäkymä, ruudun alareunassa näytetään tietoja paikannuksen tilasta, lähistöllä olevien tasoristeyksien tarkkailusta ja palvelimen tilasta. Mikäli laite ei ole vielä saanut lukittua sijaintiaan, ylimpänä alareunassa on teksti "Tarkkailu: Ei sijaintitietoa". Mikäli laite on lukinnut sijainnin ja lähistöllä ei ole tasoristeysksiä, ylimpänä alareunassa lukee "Tarkkailu: Ei tasoristeysksiä". Mikäli taas lähistöllä eli lähempänä kuin noin 15 kilometrin päässä on tasoristeysksiä, ylimpänä alareunassa näkyy näiden tarkkailussa olevien tasoristeysten lukumäärä. Toinen alareunassa näkyvä tieto on palvelimen tila, joka kerrotaan siinä muodossa kuin se saadaan tarkistusvastauksesta.

Sekä vakio- että hälytysnäkömän oikeassa yläreunassa on indikaattorina lippu, joka kertoo, onko sijaintitieto lukittu (vihreä lippu) vai ei (punainen lippu), eli saako ajoneuvosovellus sijaintitietoa.

Liite F: Junavaro-ajoneuvosovelluksen toiminnallinen kuvaus

CJunavaroUI:n vastuulla on myös soittaa tasoristeuksesta varoittavaa hälytysääntä. Hälytysääni soitetaan vain silloin, kun ennustekyselyn perusteella tasoristeukseen on tulossa hälytystilassa olevia junia. Mikäli ajoneuvolaitteen etäisyys tasoristeukseen on vähemmän kuin 1 200 metriä mutta enemmän kuin 200 metriä, hälytysääni soitetaan vain ensimmäisen kyselyn kohdalla sekä kun käännytään kohti tasoristeystä sen jälkeen, kun on ensin loitonnuttu siitä. Ajoneuvolaitteen etäisyyden tasoristeuksesta ollessa pienempi kuin 200 metriä hälytysääntä soimitaan koko ajan hälytystilassa oleville junille.



Kuva 3. Ajoneuvosovelluksen hälytysnäkyvä. Näkyvä kertoo, että olemme tasoristeuksessa (neljän metrin päässä), jonka nimi on "VTT Tampere" eikä tasoristeukseen ole ennustettu saapuvan junia.



Kuva 4. Ajoneuvosovelluksen hälytysnäkyvä. Näkyvä kertoo, että olemme 65 metrin päässä tasoristeyksestä nimeltä "VTT Tampere". Tasoristeykseen on saapumassa 0,8 km etäisyydellä juna tunnuksella VTT1 ja toinen juna VTT2 on 1,3 km etäisyydellä. Kaksi juna – tuntematon ja VTT3 – on juuri ohittanut tasoristeuksen. Koska ennuste on palvelimen kertoman mukaan ollut epäluotettava, näkyvän yläreunassa on "Muu vaara" -liikennemerkkin kuvat.

Kaikki ajoneuvosovelluksen näkymät näytetään kokonäyttötilassa (full screen), jolloin informaatiolle on eniten tilaa. Valikon saa näkyviin painamalla puhelimen valintanäppäintä. Vakiotilassa valikosta löytyvät komennot äänenvoimakkuuden säätämiseen, laitetietojen näyttämiseen ja tarkkailussa olevien tasoristeysten listaamiseen (kuva 5). Hälytystilassa ei ole valikkoa lainkaan. Testiversiossa on molemmissa näkymissä lisäksi komento "Poistu", mutta se poistetaan lopullisesta versiosta.



Kuva 5. Vakionäkymän valikkokomennot. Poistu-komentoa ei ole lopullisessa versiossa lainkaan.

CJunavaroConnection-luokka

CJunavaroConnection huolehtii kaikesta ajoneuvosovelluksen ja palvelimen välisestä kommunikaatiosta. Yhteystyyppi on TCP/IP socket -yhteys. CJunavaroConnection sisältää myös metodit sekä tarkistus- että ennustekyselyiden kokoamiseen tyhjien XML-muotoisten kyselypohjien avulla. Palvelinkommunikaatio on toteutettu synkronisesti eli vastausta odotetaan tietyn ajan sen jälkeen kun sitä on palvelimelta pyydetty. Kun tarkistus- tai ennustekysely lähetetään palvelimelle, ajoneuvosovellus pollaa vastausta heti, ja mikäli vastaus on saapunut, se luetaan heti. Mikäli vastaus ei ole saapunut, odotetaan 100 ms ja kokeillaan uudelleen. Mikäli vastaus ei edelleenkään ole saapunut, odotetaan 200 ms ja yritetään uudelleen. Näin jatketaan lisäten odotusaikaa 100 millisekunnilla aina 800 millisekuntiin saakka, kunnes luovutetaan, mikäli vastaus ei ole saapunut. Näin vastauksen maksimiodotusaika on 36 000 ms. Uudelleenyritysten määrää ja siten odotusaikaa on helppo muuttaa.

Yhteyden muodostamiseen liittyy yksi sovelluksen heikko kohta. Mikäli palvelimeen ei saada yhteyttä, J2ME:n synkroninen yhteydenmuodostuskomento yrittää kuitenkin yhteyttä pitkähkön aikaa. Tällä välin ajoneuvosovellus näyttää ja tuntuu olevan jumissa eli ei vastaa käyttäjän komentoihin eikä päivitä käyttöliittymäänsä. Tähän ei ole löytynyt ratkaisua, sillä yhteydenmuodostuksen timeout-aikaa ei voi asettaa ohjelmallisesti, ja toisaalta kauan kestävästä yhteydenmuodostussäiettä ei voi lopettaa, sillä J2ME ei tue säikeiden lopettamista niiden ulkopuolelta.

CLevelCrossing- ja CLevelCrossingCollection-luokat

Kaikki Suomen tasoristeykset on tallennettu LevelCrossings-sovelluksella puhelimen maamerkitaltioon, koska tällöin JSR-179 tarjoaa käyttökelpoisia metodeja niiden käsittelemiseen. CLevelCrossing-luokka sisältää tasoristeyksen tiedot. Luokka on erikoistettu JSR-179:n Landmark-luokasta. CLevelCrossingCollection-luokka sisältää joukon tasoristeyksiä, jotka ovat lähempänä kuin noin 15 km ajoneuvolaitteen sijainnista.

CVolumeControlUI-luokka

CVolumeControlUI-luokan avulla on toteutettu mahdollisuus muuttaa ajoneuvosovelluksen hälytysäänen voimakkuutta (kuva 6).



Kuva 6. Hälytysäänen voimakkuuden säätö. Asteikko on suhteellinen 0–100.

CPropertiesUI-luokka

CPropertiesUI-luokan näkymässä näytetään ajoneuvolaitteen ominaisuudet ja lisäksi sen sijaintiin liittyvät tiedot (kuva 7). Sijaintitiedoista näytetään leveysaste, pituusaste, korkeus merenpinnasta sekä sijainnin tarkkuus maanpinnan ja maanpinnan normaalin tasossa, nopeus ja kulkuuunta. (Alla olevassa kuvassa laitteella ei ole kiinnitettyä sijaintia.) Laitetiedoista näytetään IMEI-koodi, verkon tila, signaalin voimakkuus ja akun varaustila. Nämä kaikki ovat sellaisia tietoja, jotka välitetään palvelimelle sekä tarkistus- että ennustekyselyissä.

Liite F: Junavaro-ajoneuvosovelluksen toiminnallinen kuvaus



Kuva 7. Ajoneuvosovelluksen laite- ja sijaintitietonäkymä.

LevelCrossings-sovellus

LevelCrossings-sovelluksen rakenne ja toiminta ovat varsin yksinkertaiset. Sovellus koostuu vain yhdestä MIDlet-luokasta johdetusta levelcrossingsMIDlet-luokasta. LevelCrossings-sovellus luo uuden maamerkkitaltion (LandmarkStore) nimeltään LEVELCROSSINGS ja tallentaa siihen tekstitiedostosta lukemansa tasoristeykset. Toiminnon lopuksi ohjelma ilmoittaa, kuinka monta tasoristeystä taltioon lisättiin. Tasoristeykset kuvaavan tekstitiedoston riviformaatti on seuraava:

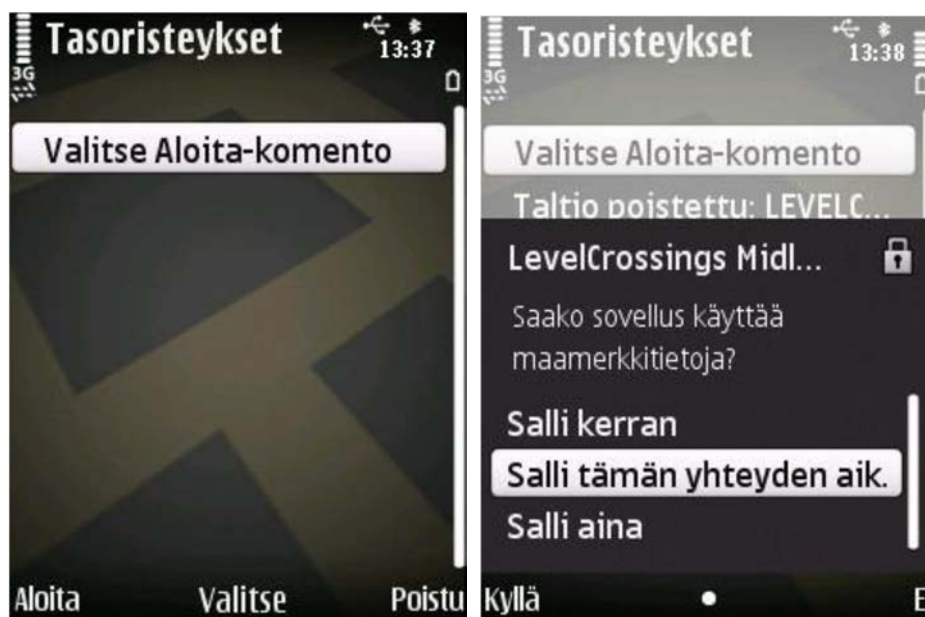
```
TASORISTEYKSEN_TUNNUS<TAB>TASORISTEYKSEN_NIMI<TAB>LATITUUDI<TAB>  
AB>LONGITUUDI<CR><LF>
```

eli esimerkiksi:

```
1946 RAASEPORI 60.01496 23.54325
```

Ajoneuvosovelluksen asennus ja konfigurointi

Junavaro-ajoneuvosovelluksen kokonaisasennus käsittää oikeastaan kolmen erillisen sovelluksen asentamisen: Starter, ClientSW ja LevelCrossings. Sovellusten asennus puhelimeen on helppoa tehdä Nokia PC Suite -ohjelmalla. Sovellusten asentamisjärjestyksellä ei ole väliä. Asennuksen jälkeen ajetaan puhelimesta ensin sovellus LevelCrossings, joka tallentaa tasoristeykset. Painettaessa ”Aloita”-komentoa sovellus kysyy, saako se käyttää maamerkkitietoja (kuva 8). Tasoristeyksiä asennettaessa valitaan vaihtoehto ”Salli tämän yhteyden aikana”, jolloin tasoristeyksien asennus käynnistyy (kuvat 8 ja 9).



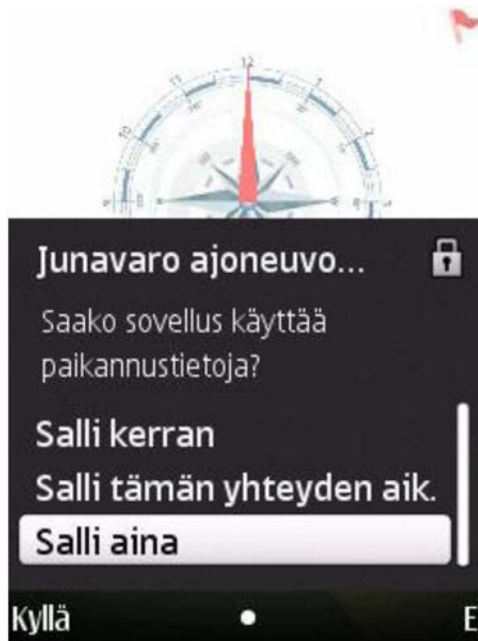
Kuva 8. LevelCrossings-ohjelma kysyy lupaa käyttää maamerkkিতietoja tasoristeyksien asentamisessa.



Kuva 9. Tasoristeysten asentaminen ajoneuvolaitteen maamerkeiksi voi kestää useita minuutteja.

Puhelin käynnistetään tämän jälkeen uudelleen, jolloin Starter-sovellus käynnistyy. Kun puhelin kytketään laturiin, ClientSW-ajoneuvosovellus käynnistyy. Ajoneuvosovellus kysyy aluksi, saako se käyttää paikannustietoja. Käyttäjän vastattua kysymykseen ”Salli aina” sovellus ei enää koskaan kysy uudelleen lupaa käyttää paikannustietoja (kuva 10).

Liite F: Junavaro-ajoneuvosovelluksen toiminnallinen kuvaus



Kuva 10. ClientSW kysyy, saako se käyttää paikannustietoja.

Seuraavaksi ClientSW kysyy, saako se käyttää maamerkkিতietoja. Ennen kuin sovellusta voi käyttää, on sille annettava lupa käyttää maamerkkিতietoja valitsemalla vaihtoehto "Salli aina" (kuva 11).



Kuva 11. ClientSW kysyy, saako se käyttää maamerkkিতietoja.

Lopuksi ClientSW kysyy, saako se käyttää tietoliikenneverkkoa. Käyttäjän on annettava sovellukselle lupa tietoliikenneverkon käyttöön valitsemalla vaihtoehto "Salli aina" (kuva 12).



Kuva 12. ClientSW kysyy, saako se käyttää tietoliikenneverkkoa.

Ajoneuvosovellus on testattu seuraavissa puhelinmalleissa: Nokia 6210 Navigator ja Nokia 6710 Navigator, Nokia E75 ja Nokia E52.

Ajoneuvosovelluksen toiminta muissa puhelinmalleissa riippuu seuraavista seikoista:

- JSR-179 -paikannusrajäpinnan tuki ja toteutus
- CLDC versio 1.0 -tuki
- seuraavien Nokia-spesifisten laiteominaisuuksien (system properties) tuki:
 - o com.nokia.mid.imei
 - o com.nokia.mid.networkavailability
 - o com.nokia.mid.networksignal
 - o com.nokia.mid.batterylevel.

Liite G: Vaara- ja riskiloki

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
1	Rataverkolla liikkuvaan junaan asennetun junalaitteen ja palvelimen välinen tietoliikennetyö katkeaa (katkon pituus > 5 s). Palvelin tunnistaa liikkuvan junan sijaintiedon puuttumisesta.	- GSM-tiedonsiirron ongelmat GSM-verkossa - Internetin runkoverkon toimimattomuus	Järjestelmän tieto kyseiseltä rataosalta muuttuu epätarkaksi. Järjestelmän tietojen olesse epätarkkoja autoilaitte varoittaa kaikkia tasoristeysta kyseisellä rataosalla lähestyviä kuljettajia erityisellä merkkiänelä. Usein toistuvat tai pitkäaikaan jatkuvat virheetilät voivat vähentää käyttäjien luottamusta järjestelmän toimintaan ja sitä kautta myös järjestelmän vaikuttavuutta.	
2	Rataverkolla liikkuvaan junaan asennetun junalaitteen ja palvelimen välinen tietoliikennetyö katkeaa (katkon pituus > 5 s). Palvelin ei tunnista liikkuvan junan sijaintiedon puuttumisesta.	- GSM-tiedonsiirron ongelmat GSM-verkossa - Internetin runkoverkon toimimattomuus	Järjestelmän tieto kyseiseltä rataosalta muuttuu virheelliseksi. Ajoneuvoilaitte ei varoita ajoneuvon kuljettajaa, vaikka tasoristeystyö on juna tulossa. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palveluun sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeystyöksessä.	
3	Yksi tai useampia järjestelmän junalaitteista rikkoutuu tai joutuu muusta syytä pois toimintakunnosta. Palvelin tunnistaa yhden tai useamman junan sijaintiedon tai -tietojen puuttumisesta.	- ongelmat käyttöjärjestelmän syötössä - antennien irtoaminen kiinnityksestään tai sähköisistä liittämöistä tai niiden mekaaninen rikkoutuminen - junalaitteen rikkoutuminen komponenttien, ylijännitteen tai mekaanisen rasituksen vuoksi - virheet laitteen asennuksessa tai konfiguroinnissa - virheet junalaitteen ohjelmistossa	Järjestelmän tieto kyseiseltä rataosalta muuttuu epätarkaksi. Järjestelmän tietojen olesse epätarkkoja autoilaitte varoittaa kaikkia tasoristeysta kyseisellä rataosalla lähestyviä kuljettajia erityisellä merkkiänelä. Usein toistuvat tai pitkäaikaan jatkuvat virheetilät voivat vähentää käyttäjien luottamusta järjestelmän toimintaan ja sitä kautta myös järjestelmän vaikuttavuutta.	

Liite G: Vaara- ja riskiloki

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
4	Yksi tai useampia järjestelmän junalaitteista rikkoutuu tai joutuu muusta syystä pois toimintakunnosta. Palvelin ei tunnista yhden tai useamman liikkuvan junan sijaintitiedon tai -tietojen puuttumista.	<ul style="list-style-type: none"> - ongelmat käyttöjärjestelmän syötössä - antennien irtoaminen kiinnityksestään tai sähköisistä liitännöistään tai niiden mekaaninen rikkoutuminen - junalaitteen rikkoutuminen komponenttien, ylijännitteen tai mekaanisen rasituksen vuoksi - virheet laitteen asennuksessa tai konfiguroinnissa - virheet junalaitteen ohjelmistossa 	<p>Järjestelmän tieto kyseiseltä rataosalta muuttuu virheelliseksi. Ajoneuvolaite ei varoita ajoneuvon kuljettajaa, vaikka tasoristeykseen on juna tulossa. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palveluun sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeyksessä.</p>	
5	Junalaite ei kykene määrittämään omaa sijaintiaan GPS-järjestelmän avulla. Palvelin tunnistaa junalaitteen lähettämän tunnista junalaitteen lähettämän 5 paikannustiedon virheelliseksi.	<ul style="list-style-type: none"> - GPS-paikannuksen toiminnalle haastavat kohteet rataverkolla (tunnelit, maanalaiset asemat) - Sähkömagneettiset häiriöt - rautatiekalustosta, sähköistetyn radan rakenteista tai muusta häiriölähteestä 	<p>Palvelin olettaa junan liikkuvan jossakin muualla tai pysyvän paikallaan. Järjestelmän tiedot muuttuvat virheellisiksi. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palveluun sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeyksessä.</p>	
6	Junalaite ei kykene määrittämään omaa sijaintiaan GPS-järjestelmän avulla. Palvelin ei tunnista junalaitteen lähettämän 6 paikannustiedon virheellisyyttä.	<ul style="list-style-type: none"> - GPS-paikannuksen toiminnalle haastavat kohteet rataverkolla (tunnelit, maanalaiset asemat) - Sähkömagneettiset häiriöt - rautatiekalustosta, sähköistetyn radan rakenteista tai muusta häiriölähteestä 	<p>Autolaite ilmaisee virhetilanteen käyttäjälle visuaalisesti tai merkkiäänellä. Käyttäjä havaitsee palvelun toimimattomuuden, ja saa mahdollisuuden muuttaa käyttäytymistään muuttuneen tilanteen mukaiseksi esimerkiksi lisäämällä tarkkaavaisuuttaan. Usein toistuvat virheetilavat heikentää luottamusta palvelun toimintaan ja sitä kautta myös palvelun vaikuttavuutta. Merkkiäänä käytettäessä: usein toistuvat paikannusongelmista kertovat merkkiäänänet voivat ärsyttää kuljettajaa vähentäen tämän halua käyttää palvelua tai häiritä tämän keskittymistä ajoneuvon kuljettamiseen.</p>	
7	Autolaite ei kykene määrittämään omaa sijaintiaan GPS-järjestelmän avulla. Autolaite tunnistaa virhetilan paikannuksen 7 toiminnassa.	<ul style="list-style-type: none"> - GPS-paikannuksen toiminnalle haastavat kohteet tieverkolla (tunnelit, kallioleikkaukset, kaupunkiympäristöt) - Sähkömagneettiset häiriöt - rautatiekalustosta, sähköistetyn radan rakenteista tai muusta häiriölähteestä 	<p>Autolaite ilmaisee virhetilanteen käyttäjälle visuaalisesti tai merkkiäänellä. Käyttäjä havaitsee palvelun toimimattomuuden, ja saa mahdollisuuden muuttaa käyttäytymistään muuttuneen tilanteen mukaiseksi esimerkiksi lisäämällä tarkkaavaisuuttaan. Usein toistuvat virheetilavat heikentää luottamusta palvelun toimintaan ja sitä kautta myös palvelun vaikuttavuutta. Merkkiäänä käytettäessä: usein toistuvat paikannusongelmista kertovat merkkiäänänet voivat ärsyttää kuljettajaa vähentäen tämän halua käyttää palvelua tai häiritä tämän keskittymistä ajoneuvon kuljettamiseen.</p>	

Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
<p>Nro</p> <p>Autolaite ei kykene määrittämään omaa sijaintiaan GPS-järjestelmän avulla. Autolaite tunnistaa virhetilan paikannuksen toiminnassa.</p> <p>8</p>	<p>Vaaran alkuperä tai syy</p> <ul style="list-style-type: none"> - GPS-paikannuksen toiminnalle haastavat kohteet tieverkolla (tunnelit, kallioleikkaukset, kaupunkiympäristöt) - Sähkömagneettiset häiriöt - rautatiekalustosta, sähköistetyin radan rakenteista tai muusta häiriölähteestä - Autolaitteen virheellinen asennus tai ongelmat GPS-signaalin etenemisessä ajoneuvon sisälle 	<p>Autolaite ilmaisee virhetilanteen käyttäjälle, mutta kuljettaja ei havaitse merkkiä. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palvelun toimintaan sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeyksessä.</p>	
<p>Autolaitteen tietoliikennetyhteys järjestelmään kuuluvaan palvelimeen katkeaa tai ei muodostu lainkaan. Autolaite tunnistaa tilanteen, jossa yhteys ei muodostu tai se katkeaa.</p> <p>9</p>	<ul style="list-style-type: none"> - GPRS-tietoliikenteen ongelmat GSM-verkossa - Internetin runkoverkon toimimattomuus - Palvelimeen kohdistuva palveluneustohyökkäys tai tietomurto - GPRS-tietoliikenteen ongelmat GSM-verkossa - Internetin runkoverkon toimimattomuus - Palvelimeen kohdistuva palveluneustohyökkäys tai tietomurto 	<p>Autolaite ilmaisee virhetilanteen käyttäjälle visuaalisesti tai merkkiäänellä. Käyttäjä havaitsee palvelun toimimattomuuden, ja saa mahdollisuuden muuttaa käyttäytymistään muuttuneen tilanteen mukaiseksi esimerkiksi lisäämällä tarkkaavaisuuttaan. Usein toistuvat virhetilat voivat heikentää luottamusta palvelun toimintaan ja sitä kautta myös palvelun vaikuttavuutta. Merkkiääntä käytettäessä, usein toistuvat tietoliikenneongelmista kertovat merkkiäännet voivat arsyttää kuljettajaa vähentäen tämän halua käyttää palvelua tai häiritä tämän keskittymistä ajoneuvon kuljettamiseen.</p>	
<p>Autolaitteen tietoliikennetyhteys järjestelmään kuuluvaan palvelimeen katkeaa tai ei muodostu lainkaan. Autolaite tunnistaa tilanteen, jossa yhteys ei muodostu tai se katkeaa.</p> <p>10</p>	<ul style="list-style-type: none"> - GPRS-tietoliikenteen ongelmat GSM-verkossa - Internetin runkoverkon toimimattomuus - Palvelimeen kohdistuva palveluneustohyökkäys tai tietomurto 	<p>Autolaite ilmaisee virhetilanteen käyttäjälle, mutta kuljettaja ei havaitse merkkiä. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palvelun toimintaan sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeyksessä.</p>	

Liite G: Vaara- ja riskiloki

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
11	<p>Autolaite ei kykene määrittämään omaa sijaintiaan GPS-järjestelmän avulla. Autolaite ei tunnista paikannuksen toimimattomuutta.</p>	<p>- Autolaitteena toimivan laitealustan ominaisuudet - Ohjelmistovirhe junavaro-asiakasohjelmiston toteutuksessa - Lisäksi: paikannuksen virhetilanne</p>	<p>Autolaite ei tunnista tasoristeyksen lähestymistä eikä myöskään kykene ilmaisemaan palvelun toimimattomuutta ajoneuvon kuljettajalle. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palvelun toimintaan sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeyksessä.</p>	
12	<p>Autolaitteen tietoliikenneyhteys järjestelmään kuuluvaan palvelimeen katkeaa tai ei muodostu lainkaan. Autolaite ei tunnista tietoliikenteen toimimattomuutta tai ei tunnista sitä riittävän ajoissa.</p>	<p>- Autolaitteena toimivan laitealustan ominaisuudet - Ohjelmistovirhe junavaro-asiakasohjelmiston toteutuksessa - Mahdollisesti myös GPRS-runkoverkon toimimattomuus tai syytä tai toisesta aiheutunut palvelimen käyttökato</p>	<p>Autolaite ei kykene noutamaan tasoristeyksen tilitietoa palvelimelta. Koska tietoliikenteen ongelmaa ei havaita, ei palvelun toimimattomuudesta voida myöskään varoittaa käyttäjää, tai eikä autolaite myöskään voi siirtyä toimimaan turvallisiksi katsotulla tavalla kyseisessä vikatilanteessa. Varoitus junasta tai tasoristeyksen lähestymisestä voi tällöin jäädä tulematta. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palvelun toimintaan sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle tasoristeyksessä.</p>	
13	<p>Palvelimen autolaitteelle toimittama tasoristeyksen tilitieto on virheellistä. Palvelin antaa tasoristeyksen tiliksi "hälyty", vaikka junia ei ole tulossa tasoristeykseen. Virhetta ei ole havaittu palvelimen päässä riittävän ajoissa tai lainkaan.</p>	<p>- Suunnitteluvirhe tasoristeysten tilitietojen muodostamiseen käytettävässä algoritmossa (esim. loogiset virhepäätelmät tai paikkansa pitämättömät oletukset, joita hyödynnetty järjestelmää suunniteltaessa) - Ohjelmistovirhe palvelimen toteuttamiseen käytetyissä tai laadituissa ohjelmistoissa</p>	<p>Palvelin palauttaa virheellistä tietoa vastauksena autolaitteen lähetämään tasoristeyksen tilikyselyyn. Ajoneuvolaite varoittaa kuljettajaa, vaikka junia ei ole tulossa tasoristeykseen. Aiheettomat varoitukset vievät käyttäjän luottamuksen järjestelmää kohtaan, eikä järjestelmä näin ollen vaikuta toivotulla tavalla käyttäjänsä.</p>	

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
14	Palvelimen autolaitteelle toimitama taseuristeyksen tila tieto on virheellistä. Palvelin ei siirrä taseuristeystä hälytystilaan, vaikka yksi tai useampia junia on tulossa taseuristeykseen. Virhettä ei ole havaittu palvelimen päässä riittävän ajoissa tai lainkaan.	- Suunnitteluvirhe taseuristeyksen tilatietojen muodostamiseen käytettävässä algoritmossa (esim. loogiset virhepaiteimat tai paikkansa pitämättömät oletukset, joita hyödynnetyt järjestelmät suunniteltaessa) - Ohjelmistovirhe palvelimen toteuttamiseen käytetyissä tai laadituissa ohjelmistoissa	Palvelin palauttaa virheellistä tietoa vastaavaksi autolaitteen lähettämään taseuristeyksen tilatietoon. Ajoneuvolaitte ei varoita kuljettajaa, vaikka juna tai junia on tulossa taseuristeykseen. Mikäli ajoneuvon kuljettaja luottaa palvelun toimintaan sokeasti eikä riittävän huolellisesti tarkista junan tuloa ennen ylitystä, voi hän jäädä junan alle taseuristeyksessä. Rautatieoperaattori tai -operaattorit menettävät luottamuksen järjestelmään, ja kieltäytyvät toimittamasta siihen junien ajantasaisia sijaintitietoja. Mikäli yksikin rataosalla liikennöivä operaattori ei toimita järjestelmään tietojen, on järjestelmä sillä rataosalla käyttökelvoton varsinaiseen tarkoitukseensa. Muut seuraukset riippuvat varastettujen tietojen laadusta ja määrästä sekä hyökkääjän motiiveista.	
15	Järjestelmään kuuluvalle palvelimelle tehdään tietomurto, jonka myötä junien ajantasaisia tai historiallisia sijaintitietoja varastetaan.	- Tietomurto, jonka motiivina ilkkivalta, tietojen kaupallinen käyttö tai tiedustelu - Tietomurto, jonka motiivina on ilkkivalta tai tietojen väärinkäyttö kaupallisiin tai rikollisiin tarkoituksiin - Onnistunut tietomurto edellyttää järjestelmään kuuluvassa palvelimessa olevaa haavoittuvuutta tai palvelimen toteuttajien tai ylläpitäjien myötävaikutusta	Käyttäjien henkilötietojen väärinkäyttö on mahdollista, jolloin järjestelmän käyttäjien yksityisyys vaarantuu ja käyttäjät saattavat menettää luottamuksen palveluun ja kieltäytyä käyttämästä sitä.	Käyttäjille aiheutuva haitta riippuu siitä, mihin tarkoitukseen varastettuja henkilötietoja käytetään.
16	Mobiliilaitte menee laiteresurssista aiheutuvan ongelman vuoksi tilaan, jossa päätelaitesovelluksen suoritus keskeytyy	- Laittealusta	Junavaro-asiakassovelluksen suoritus keskeytyy.	
17	Kuljettajan päätelaitteen laturi irtaota, jolloin näyttö menee virransaastotilaan eikä hälytystä huomata.		Lahestya juna voi jäädä havaitsematta	

Liite G: Vaara- ja riskiloki

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
19	Käyttäjät eivät kuule tai huomaavat tasoristeilyhälytyksiä	Käyttäjä on asettanut mobiilisovelluksen hälytysäänän aineettomaan tilaan, jolloin hälytysäänä ei kuulu, ja hälytys voi jäädä huomaamatta Käyttäjä ei näe/seuraa näyttöä (radio tai muut häiriötekijät)	Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
20	Laitteen näytöruutu on niin pieni ja teksti myös, että sen tulkinta ajon aikana on vaikeaa ja vie huomion ympäristön tarkkailulta		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
21	Kuljettajan päätteite ja ajoneuvo on kauan käyttämättä, jolloin ajoneuvon ja päteiteiteen akut tyhjenevät ja laite sammuu.		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	Sovellus ei käynnisty automaattisesti, jos päteiteite sammuu tai sammutetaan. Sovellus ei käynnisty automaattisesti, kun virta kytketään uudelleen (pilotin toteutuksessa).
22	Sovellus ilmoittaa junan saapuvan vaarasta suunnasta tai vaaraan aikaan, vaikka hälytys tulisi oikeaan aikaan.		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
23	Tienkäyttäjä luottaa järjestelmään ja delegoi vastuun ajamisesta järjestelmälle vähentäen samalla tarkkaavaisuuttaan		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
24	Virtakatkos palvelimella	Palvelimen päivitykset, muista palvelimella toimivista sovelluksista johtuvat katkokset, palvelimen uudelleenkäynnistykset, sähkökatko	Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
25	Käyttäjän autoon murtaudutaan, ja autolaitteena toimiva päätelaite varastetaan	Käyttäjän autoon murtautuminen	Seuraus Palvelun käyttö keskeytyy ja käyttäjälle aiheutuu päätelaitteen menettämisen arvoa vastaava taloudellinen vahinko ja ajoneuvoon murtautumisen lisäksi ainakin korjauskulujen suuruinen vahinko. Käyttäjän kokema riski joutua rikoksen uhriksi saattaa vähentää halua hankkia päätelaite autoonsa ja käyttää palvelua	
26	Käyttäjä käyttää samaa päätelaitetta myös muihin sovelluksiin kuten www-selaukseen. Käyttäjän toiminnan ansiosta autolaitteeseen latautuu viruksia tai troijalaisia, jotka heikentävät laitteen toimintaa tai estävät sen kokonaan, tai käyttäjä muuttaa epähuomiossa laitteen asetuksia		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
27	Järjestelmään kuuluvan palvelimen toiminta keskeytyy virusongelmien vuoksi.	Esim. virusongelma	Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	Virustartunta voi estää palvelimen toiminnan tai heikentää sitä
28	Autolaitteella varustettujen ja laitteettomien tienkäyttäjien vuorovaikutus: muut tienkäyttäjät eivät välittämättä ympärillä olevia käyttävien kulkijoiden toimintaa, ja saattavat esimerkiksi painostaa ylitämään tason tasoristeys varoituksesta huolimatta		Onnettomuusvaara	
29	Autolaitteen ylikuormittuminen ja siitä seuraava laitteen jumittuminen siten, että halytystiedon välittyminen estyy.		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	

Liite G: Vaara- ja riskiloki

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
30	Viive	Puhelin vaihtaa verkkoa tai verkon solua	Tietoliikenneyhteyden katkeaminen ja autolaitten välillä => lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
31	Autolaitte putoaa telineestä	Useita erilaisia syitä	Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
32	Kuljettajan keskittyminen muihin asioihin	Useita erilaisia syitä, inhimillinen tekijä, auton sisäiset ja ulkoiset syyt	Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
33	Laitte unohtuu kotiin	Inhimillinen tekijä	Kuljettajan havainnointiava tasoristeyssiikennetta	Voidaan ottaa yhteyttä ja kysyä, missä laite on, jos sitä ei ole käytetty pitkäaikaan
34	Autolaitte ei toimi	Tekninen vika	Kuljettajan havainnointiava tasoristeyssiikennetta Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	Vrt. kohta 29
35	Veturissa kiinni oleva laite ei toimi	Tekninen vika, johto irronnut	Kulkutiedot on silti olemassa, pystytään vertaamaan suunniteltua tietoa toteutukseen ja vertaamaan seurantatietoon ja siten pystytään havaitsemaan tulossa oleva juna (tämä ominaisuus tuotantoversioon)	Yhdistelmätiedon saaminen suhteen kehittämistarvetta (ei toimi pilotissa); jäljitettävyyden suhteen kehittämistarvetta.
36	Järjestelmän junalaitte ei toimi, ja toimimattomuutta ei havaita		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
37	Järjestelmän toiminta-alueella radalla liikkuu veturi tai työkone tai muu junalaitteeton kalustoyksikkö		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	Tuotantovaiheessa tilannetta ei pääse syntymään, pilot-vaiheessa voi olla.
38	Tasoristeystiedot eivät ole ajan tasalla, jokin tasoristeystieto puuttuu (ongelmallisia ovat erityisesti yksitysrasteet)	Palvitysväli liian pitkä	Yksittäisen tasoristeyksen tiedot voivat puuttua => järjestelmä ei anna hälytystä. Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	Tietojen täydellisyyteen ja eheyteen kiinnitettävä huomiota; kaikille tasoristeyksille ennusteet. Huolehtiminen listojen päivittämisestä
39	Kuljettaja sulkee epähuomiossa autolaitteen	Inhimillinen virhe	Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	
40	Ihminen ei usko siihen tietoon, mitä autolaitte antaa		Lähestyvä juna voi jäädä havaitsematta	

Nro	Vaaran tai vaarallisen tapahtuman kuvaus	Vaaran alkuperä tai syy	Seuraus	Riskin pienennystoimenpiteet ja huomautukset
41	Palvelimen ylikuormittuminen	GPRS-verkon ominaisuus	Viivettä tiedonvälityksessä ja osa tiedoista voi puuttua	Järjestelmä laskee tarkistussummia, viestin ikä saadaan selville aikaleimojen avulla (vanhat paketit siirretään lokiin). Vrt. kohta 17
42	Rata ja tie ovat rinnakkain ja ajetaan radan vieressä; turhia hälytyksiä voi tulla (jos ei ole tarkoitukseen ajaa radan yli)			Voidaan tehdä poikkeuskohtainen järjestelmä erittäin harvinaisia tapauksia varten; nopeuden rajoitusmenettely
43	GPS-häiriöitä tunneleissa ja kallioleikkauksissa		Paikkatieto voi puuttua	GPS:lle voidaan rakentaa luotettava varajärjestelmä, jolloin Paikkatieto pysyytään pitämään, vaikka GPS menisi toimimattomaksi

Tekijä(t) Risto Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo, Ali Lattunen & Ari Virtanen		
Nimeke Autossa toimiva junavaroitusjärjestelmä Kokeilu Hanko–Hyvinkää-rataosalla		
Tiivistelmä Työn tavoitteena oli edistää autossa toimivan junavaroitusjärjestelmän yhteiskunnallista ja kaupallista hyödynnettävyyttä tuottamalla tietoa sen teknisestä toimivuudesta, käyttövarmuudesta ja luotettavuudesta, vaikutuksista, hyödyistä ja kustannuksista sekä sen mahdollisista muista sovellusalueista sekä potentiaalisista liiketoimintamalleista. Hankkeessa tunnistettiin järjestelmän keskeisimmät toiminnalliset vaatimukset ja toteutettiin rajatulla maantieteellisellä alueella toimiva koejärjestelmä, jota pilotoitiin yhdessä loppukäyttäjien kanssa. Pilotin aikana tietoja kerättiin havainnoimalla järjestelmän toimintaa tienvarressa, tallentamalla lokitietoja järjestelmän toiminnasta sekä haastattelemalla järjestelmän käyttäjiä. Järjestelmän toteuttamisesta aiheutuvia kustannuksia arvioitaessa hyödynnettiin pilotin aikana kertyneitä kustannustietoja. Tuotantovaiheen järjestelmän potentiaaliset vaikutukset arvioitiin kirjallisuudessa esiintyvien tietojen sekä tasoristeysonnettomuuksiin liittyvien tilastotietojen ja yksikkökustannusarvojen perusteella. Järjestelmän käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskeva arvio perustuu sen toteuttajille ja sidosryhmille järjestetyissä työpajoissa sekä pilotoinnin aikana kerättyihin tietoihin. Pilotoinnin tulosten perusteella todettiin, että hankkeen koejärjestelmä on toteuttanut siltä odotetun toiminnallisuuden eli auton kuljettajan varoittamisen tasoristeystä lähestyvistä junasta. Ennen kaupalliseen tuotantovaiheeseen siirtymistä tarvitaan kuitenkin parannuksia järjestelmän toiminnan luotettavuuteen sekä mahdollisesti myös joitakin muutoksia sen toiminnallisuuteen. Järjestelmän toiminnan luotettavuutta voidaan parantaa muun muassa junalaitteiden ja niiden tietoliikenneyhteyksien kahdentamisella, vikaantuneet junalaitteet automaattisesti havaitsevalla toiminnolla sekä järjestelmän toiminnallisten määrittelyiden ja sen ylläpitoon liittyvien prosessien kehittämisellä. Järjestelmän on arvioitu vähentävän vuositasolla noin neljä henkilövahinko-onnettomuutta tilanteessa, jossa puolet ajoneuvokannasta on varustettu järjestelmää hyödyntävällä päätelaitteella. Järjestelmän arvioidaan olevan yhteiskuntataloudellisesti kannattava tietyin julkaisussa esitetyin edellytyksin. Sille luonnosteltiin työssä myös muita sovellusalueita, ja järjestelmän potentiaalisina liiketoimintamalleina nähtiin lähinnä yksityisen ja julkisen toimijan yhteistyöhön perustuva PPP-malli tai suuremman julkisen sektorin roolin sisältävä viranomaisjohtoinen malli. Jatkotutkimustarpeina havaittiin tarkempi analyysi pilotin aikana toteutumatta jääneiden hälytysten syistä ja näihin liittyvistä mahdollisuuksista parantaa järjestelmän toimivuutta. Jatkotutkimuksen kohteita ovat lisäksi kolmannen ja neljännen sukupolven matkaviestinverkkojen tekniikoiden soveltaminen järjestelmän toteutukseen sekä järjestelmän toiminnallisuuteen mahdollisesti tarvittavien muutosten tunnistaminen.		
ISBN 978-951-38-7792-7 (nid.) 978-951-38-7793-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero
Julkaisuaika Joulukuu 2011	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 106 s. + liitt. 30 s.
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t)
Avainsanat in-vehicle, warning system, level crossing, evaluation, field test, ITS, cooperative system		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374



Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2603
VTT-TIED-2603

Author(s) Risto Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo, Ali Lattunen & Ari Virtanen		
Title In-vehicle Warning System for Railway Level Crossings Pilot tests on Hanko–Hyvinkää Railway Line		
Abstract <p>The main objective of the project was to facilitate the development and deployment of in-vehicle warning system for railway level crossings by studying the technical functioning, reliability and dependability and socio-economic benefits and costs of the system as well as user experience, potential other application areas and business models related to the system. The project was started by defining functional and other requirements for the system. A pilot system was then realised and tested with real end-users to obtain empirical data about the system. During the pilot, information was collected with roadside observations of the functioning of the system, data logging features implemented in the system itself and interviews with end-users.</p> <p>Probable costs of a full-scale implementation of the system in Finland were estimated on the basis of cost data collected during the implementation of the pilot system. Potential impacts of the system on the safety of road users were estimated on the basis of a brief literature study and statistics related to level crossing accidents in Finland.</p> <p>The results of the project showed that the system has realised the expected functionality but the reliability of the system has to be improved before full-scale implementation of the system can start. It is also possible that some changes to the functionality provided by the system will be needed. Among other possible measures, the reliability of the system can be improved by duplicating the positioning units installed in trains and their data links, implementing automatic failure detection of positioning units, updating the specification of the system on the basis of experiences from the pilot and developing better operating and maintenance procedures for the system.</p> <p>A full-scale implementation of the system was estimated to reduce the number of level crossing accidents involving injury or death annually by four accidents in Finland in a situation in which a half of the vehicle fleet is equipped with an in-vehicle unit connected to the system. Two potential business models were recognised for the system: business model based on public-private partnership and business model driven by public authorities.</p> <p>The main needs for future research were found to be a more detailed analysis of the causes of unsuccessful alarms observed during the pilot and possible ways to improve the reliability of the system, impact of 3G and 4G mobile communication technologies on the technical functioning and reliability of the system and identification of changes required to the functionality of the system.</p>		
ISBN 978-951-38-7792-7 (soft back ed.) 978-951-38-7793-4 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number
Date December 2011	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 106 p. + app. 30 p.
Name of project		Commissioned by
Keywords in-vehicle, warning system, level crossing, evaluation, field test, ITS, cooperative system		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

- 2588 Häkkinen, Kai. Alihankintayhteistyön johtamisesta metalliteollisuudessa. 2011. 71 s.
- 2589 Pasi Ahonen. Constructing network security monitoring systems (MOVERTI Deliverable V9). 2011. 52 p.
- 2590 Maija Ruska & Lassi Similä. Electricity markets in Europe. Business environment for Smart Grids. 2011. 70 p.
- 2591 Markus Jähi. Vartiointipalvelujen arvonmuodostus asiakkaan näkökulmasta. 2011. 91 s. + liitt. 6 s.
- 2592 Jari M. Ahola, Jani Hovila, Eero Karhunen, Kalervo Nevala, Timo Schäfer & Tom Nevala. Moni-teknisen piensarjatuotteen digitaalinen tuoteprosessi. 2011. 121 s. + liitt. 37 s.
- 2593 Mika Nieminen, Ville Valovirta & Antti Pelkonen. Systemiset innovaatiot ja sosiotekninen muutos. Kirjallisuuskatsaus. 2011. 80 s.
- 2594 Katri Valkokari, Tapio Koivisto, Raimo Hyötyläinen, Maarit Heikkinen, Magnus Simons, Maaria Nuutinen, Tiina Apilo & Juha Oksanen. Management of future innovative firms and networks. Espoo 2011. 179 p.
- 2595 Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen, Satu Helynen & Kai Sipilä. Kivihillen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. 2011. 65 s. + liitt. 33 s.
- 2596 Aki-Petteri Leinonen. Identity management for web-enabled smart card platform. 2011. 64 p. + app. 2 p.
- 2597 Markku Kiviniemi, Kristiina Sulankivi, Kalle Kähkönen, Tarja Mäkelä & Maija-Leena Merivirta. BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction. 2011. 123 p.
- 2598 Heidi Korhonen, Tiina Valjakka & Tiina Apiolo. Asiakasymmärrys teollisuuden palveluliiketoiminnassa. Tavoitteena ostava asiakas. 2011. 111 s.
- 2599 Riikka Juvonen, Vertti Virkajärvi, Outi Priha & Arja Laitila. Microbiological spoilage and safety risks in non-beer beverages produced in a brewery environment. 2011. 107 p. + app. 3 p.
- 2600 Juha Luoma. Keski-Euroopan olosuhteisiin suunniteltujen kitkarenkaiden yleisyys Suomessa. 2011. 16 s..
- 2601 Timo Malm, Matti Vuori, Jari Rauhamäki, Timo Vepsäläinen, Johannes Koskinen, Jari Seppälä, Heikki Virtanen, Marita Hietikko & Mika Katara. Safety-critical software in machinery applications. 2011. 111 p. + app. 10 p.
- 2602 Kari Rönkä. FACESS, Flexible autonomous cost efficient energy source and storage. Deliverable 7.13. Final report. 2011. 64 p. + app. 4 p.
- 2603 Ristö Öörni, Marita Hietikko, Kimmo Kauvo, Ali Lattunen & Ari Virtanen. Autossa toimiva junavaroitussjärjestelmä. Kokeilu Hanko-Hyvinkää-rataosalla. 2011. 106 s. + liitt. 32 s.