

Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien turvallisuusvaikutukset Suomessa

Rämä Pirkko, Sihvola Niina, Luoma Juha, Koskinen Sami, Aittoniemi Elina, Kulmala Risto

Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien turvallisuusvaikutukset Suomessa

Rämä Pirkko, Sihvola Niina, Luoma Juha, Koskinen Sami, Aittoniemi Elina, Kulmala Risto VTT

ALKUSANAT

Kuljettajan tukijärjestelmien ja ympäristöä havainnoivien anturien kehittyminen avaa uudenlaisia näkökulmia liikenneturvallisuuteen. Tässä raportissa arvioidaan uuden turvallisuustekniikan vaikutuksia vertaamalla kansainvälisissä tutkimuksissa laskettuja turvallisuusvaikutuksia tietoon Suomessa sattuneista onnettomuuksista. Vertailun tuloksena arvioidaan, miten järjestelmiä voidaan hyödyntää Suomessa kuljettajien onnettomuusriskin vähentämisessä. Raportissa arvioidaan myös näiden järjestelmien tuotekehityksen tilannetta ja tuloa markkinoille.

Raportti on tuotettu osana Turvake-projektia (kesäkuu-joulukuu 2008), jossa VTT selvitti kolmea aihepiiriä:

1. Uuden teknologian ja elektronisten toimilaitteiden odotettavissa olevien turvallisuusvaikutusten ennakointi
2. Dieselhenkilöautojen todellisen ympäristöystävällisyyden selvittäminen
3. EU-tutkimuksen seurannan järjestäminen.

Projektin ohjausryhmään kuuluivat Keijo Kuikka, Juhani Intosalmi, Marko Sillanpää, Sami Mynttinen, Henriika Weiste ja Jouko Kunnas, sekä VTT:n edustajana Sami Koskinen. Raportista on vastannut erikoistutkija, TKT Pirkko Rämä VTT:ltä.

Helsingissä, 11. helmikuuta 2009

Juhani Intosalmi

tutkimusjohtaja

Ajoneuvohallintokeskus AKE

FÖRORD

Utvecklingen av stödsystem för föraren och givare som detekterar omgivningen ger nya aspekter på trafiksäkerheten. I denna rapport bedöms den nya säkerhetsteknikens effekter genom att jämföra de säkerhetseffekter som beskrivits i internationella undersökningar med information om olyckor som inträffat i Finland. Som resultat av jämförelsen bedöms hur dessa system skulle kunna utnyttjas i Finland för att minska förarnas olycksrisk. I rapporten uppskattas också statusen för systemens produktutveckling och när de kan lanseras på marknaden.

Rapporten är utarbetad som en del i projektet Turvake (juni-december 2008) i vilket VTT undersökte tre ämnesområden:

1. Prognostisering av förväntade säkerhetseffekter till följd av ny teknologi och elektroniska funktionsenheter
2. Utredning av dieselpersonbilarnas faktiska miljövänlighet
3. Organisering av EU-forskningens uppföljning.

I projektets styrgrupp ingick Keijo Kuikka, Juhani Intosalmi, Marko Sillanpää, Sami Mynttinen, Henriika Weiste och Jouko Kunnas, samt VTT:s representant Sami Koskinen. För rapporten svarade specialforskare TkD Pirkko Rämä vid VTT.

Helsingfors, den 11 februari 2009

Juhani Intosalmi

forskningschef

Fordonsförvaltningscentralen AKE

FOREWORD

The development of driver-supporting systems and sensors observing the environment opens up new perspectives on traffic safety. This report assesses the effects of new safety technology by comparing the safety effect data based on international research with Finnish accident statistics. This comparison results in an assessment on how such systems could be utilised for reducing driver accident risks in Finland. The report also addresses the product development status and market introduction expectations of such systems.

This report has been created as part of the Turvake project (June – December 2008) by the Technical Research Centre of Finland, VTT, which dealt with the following three topics:

1. Predicting the expected safety impacts of new technologies and electronic actuators
2. Analysing the actual level of environmental friendliness of diesel-powered passenger cars
3. Organising follow-up for EU research.

The project steering group comprised Keijo Kuikka, Juhani Intosalmi, Marko Sillanpää, Sami Mynttinen, Henriika Weiste and Jouko Kunnas, as well as Sami Koskinen as VTT's representative. This report is produced by Pirkko Rämä (D.Sc), Senior Research Scientist from VTT.

Helsinki, 11 February 2009

Juhani Intosalmi

Research Director
Vehicle Administration AKE

Sisällysluettelo

Index

Tiivistelmä

Sammanfattning

Abstract

1	Taustaa	17
1.1	Turvajärjestelmien ja kuljettajan tukijärjestelmien tuotekehityksen tilanne	17
1.2	EU:n tutkimus- ja kehityshankkeita	19
1.3	Tietoliikenne ja tiedon siirto	23
1.4	Tuotteiden hyväksyntä ja menettelytapaohjeet	25
1.5	Ympäristön ja kuljettajan monitoroinnin tekniset haasteet	26
1.6	Järjestelmien tulo markkinoille	28
2	Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien vaikutusarviointeja	30
2.1	Älykäs nopeakäyttö	30
2.2	Pimeän ajan tuki	31
2.3	Ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin (ACC)	32
2.4	Ajoneuvojen sisäisten ja kooperatiivisten järjestelmien vertailututkimukset	33
3	Tutkimuksen tavoite	38
4	Turvallisuusvaikutusten arviointimenetelmä	39
4.1	Vaikutusmekanismien kuvaus	39
4.2	Vaikutukset kuljettajan käyttäytymiseen olennaisten turvallisuusmekanismien kannalta	42
4.3	Pääasiallisen onnettomuustyyppien valinta	44
4.4	Numeeristen arvioiden laskeminen Suomen aineistossa	44
4.5	Aineisto	46
5	Turvallisuusvaikutukset	49
5.1	Ajonvakautusjärjestelmän ESC turvallisuusvaikutukset	49
5.2	Koko nopeusalueen kattavan ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan vakionopeuden säätimen turvallisuusvaikutukset	52
5.3	Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän turvallisuusvaikutukset	55
5.4	Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmän turvallisuusvaikutukset	59
5.5	Kaistanvaihdon tuen turvallisuusvaikutukset	62
5.6	Kaistalla pysymisen tuen turvallisuusvaikutukset	65
5.7	Pimeän ajan tuen turvallisuusvaikutukset	67
5.8	Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmän turvallisuusvaikutukset	70
5.9	Automaattisen hätäviestijärjestelmän vaikutukset	73
5.10	Dynaamisen nopeakäytön turvallisuusvaikutukset	76

5.11 Paikallisista vaaroista varoittavan järjestelmän turvallisuusvaikutukset	88
5.12 Risteysajon turvallisuustuki.....	96
6 Yhteenveto järjestelmien turvallisuusvaikutuksista ja tulosten tarkastelua	106
7 Lähdeluettelo.....	113
Liite 1 – Järjestelmäkuvaukset	121

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida ajoneuvojen uusien telemaattisten järjestelmien potentiaalisia vaikutuksia Suomessa perustuen vuosien 2002–2006 tilastoihin liikenteen henkilövahingoista. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin vaikutuksia vuonna 2020 ottaen huomioon järjestelmien yleistymisaikataulu.

Turvallisuusvaikutuksia tarkasteltiin systemaattisesti yhdeksän vaikutusmekanismin avulla. Arviot sovitettiin suomalaisiin olosuhteisiin ja onnettomuusaineistoon.

Tulosten mukaan eniten liikennekuolemia ja loukkaantumisia vähentäisivät ajovaihtokauden hallintajärjestelmä ja kaistalla pysymisen tukijärjestelmä. Verrattaessa vaikutuksia aikaisempiin EU25-alueelle tehtyihin vaikutusarvioihin, näiden kahden järjestelmän vaikutukset ovat Suomessa suuremmat. Seuraavaksi suurimmat potentiaalit vähentää liikennekuolemia olivat eCall-järjestelmällä, dynaamisilla nopeusrajoituksilla ja törmäyksenestojärjestelmällä. Kevyen liikenteen seurauksia vähentävä järjestelmä oli Suomen aineistossa myös tehokkaampi kuin EU25-alueen tarkastelussa. Pimeän ajan tukijärjestelmän ja vakionopeudensäätimen arvioitiin lisäävän hieman liikennekuolemia.

Teoreettinen kokonaisarvio järjestelmien vaikuttavuudesta osoitti, että järjestelmillä voitaisiin merkittävästi vähentää liikennekuolemia ja loukkaantumisia. Järjestelmien yleistymisen on kuitenkin arvioitu edellyttävän erityisiä tukitoimenpiteitä.

SAMMANFATTNING

Undersökningens målsättning var att bedöma de potentiella effekterna av nya telematiska fordonssystem i Finland utifrån statistik över personskador i trafiken under åren 2002–2006. Dessutom utfördes en bedömning av effekterna år 2020 med beaktande av hur snabbt systemen blir allmänna.

Säkerhetseffekterna granskades systematiskt med hjälp av nio effektmekanismer. Bedömningarna anpassades till finländska förhållanden och olycksmaterial.

Elektroniskt stabiliseringssystem och körfältsassistans skulle enligt resultaten mest effektivt minska antalet dödsfall och skador i trafiken. Vid en jämförelse av effekterna med tidigare effektbedömningar inom EU25-området är dessa båda systems effekter större i Finland. De system som därefter har den största potentialen att minska dödsfallen i trafiken är eCall-systemet, dynamisk fartbegränsning och anti-kollisionssystem. Det system som reducerar följderna för gc-trafik är effektivare i det finländska materialet än i granskningen av EU25-området. Stödsystemet för mörkerkörning och konstantfarthållare bedömdes i någon mån öka dödsfallen i trafiken.

Den teoretiska totalbedömningen av systemens effekt visar att det är möjligt att påtagligt minska dödsfallen och olyckorna i trafiken med hjälp av systemen. Bedömningen är dock att speciella stödåtgärder behövs för att öka användningen av systemen.

ABSTRACT

The aim of the study was to assess the potential effects of new telematic vehicle systems in Finland on the basis of statistics on personal injuries in traffic in 2002–2006. Furthermore, the study estimated potential effects valid in 2020 on the basis of the estimated spreading schedule of the systems.

Safety effects were analysed systematically through nine mechanisms. The assessment was adjusted to Finnish conditions and accident statistics.

The study results indicate that electronic stability control systems (ESC) and lane keeping support (LKS) would be the most effective tools in preventing casualties and injury in traffic. In comparison with previous effect assessments on the EU25 region, these two systems have a greater effect in Finland. Following these two in terms of the potential to reduce traffic casualties were the eCall system, dynamic speed limits and emergency braking systems. In addition, the pre-crash protection of vulnerable road users was also found more effective in the Finnish material than in the EU25 region review. Night vision warning and speed range ACC were also estimated to slightly increase traffic casualties.

According to the theoretical overall assessment on the effectiveness of the systems, they could significantly reduce casualties and injuries in traffic. However, special support measures are likely to be needed to promote the spreading of these systems.

1 Taustaa

1.1 Turvajärjestelmien ja kuljettajan tukijärjestelmien tuotekehityksen tilanne

Autot kehittyvät suuntaan, jossa antureiden ja anturijärjestelmien merkitys korostuu kaikessa ajamisen tarkkailussa. Auton ympäristöä havainnoidaan kamera-, tutka- ja lasertekniikoilla, kuljettajan vireyttä ja tarkkaavaisuuden suuntaa seurataan kehon liikkeistä, ja auton liiketilan mittausta sekä itsediagnostiikka tulevat tarkemmiksi. Tekniikka on osin samaa, mitä autonomisten eli itsenäisesti liikkuvien laitteiden ja robottien kehitystyössä on käytetty 1980-luvulta lähtien. Myös lentokoneissa on ympäristön havainnoinnista ja ohjaajan terveydentilan seurannasta pitkä historia. Autoteollisuus on kuitenkin viime vuosina ollut nousumassa jopa edelläkävijän rooliin, etenkin keskihintaisten ja halpojen antureiden kehityksessä.

Kehitystyö on vienyt aikaa, koska anturitekniikka, antureilla kerättyjen tietojen ymmärtäminen ja tiedonkäsittelyn nopeus eivät ole riittäneet nopeasti liikkuvan auton tarpeisiin. Kymmenen viime vuoden aikana suurin harppaus eteenpäin on otettu laskentatehossa. Kasvaneiden laskentatehojen ansiosta voidaan reaaliajassa käyttää aikaisempaa täydellisempiä malleja; esimerkiksi ympäristöä voidaan mallintaa kolmiulotteisesti aiemman kaksiulotteisen sijaan. Ympäristöä havainnoivien antureiden toimintavarmuutta huonoilla keleillä on kehitetty ja esimerkiksi jalankulkijoiden havaitsemisesta on tullut luotettavampaa. Laskentatehon kasvu on edistänyt myös datafuusion käyttöä eli useilla antureilla kerätyn tiedon yhdistämistä ja tulkintaa.

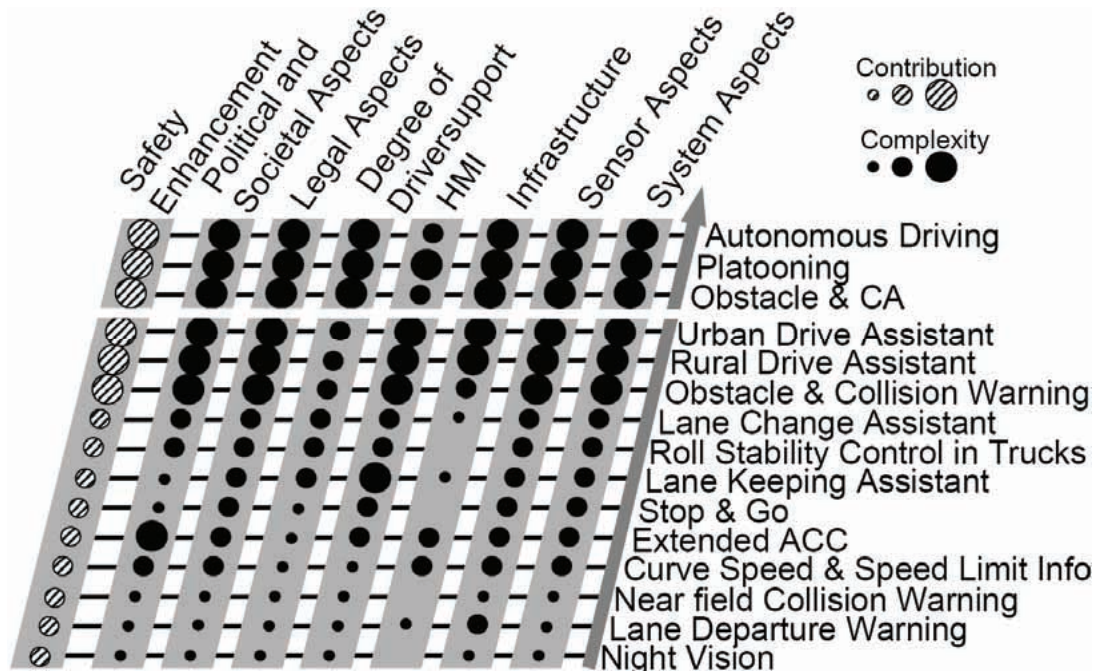
Anturoinnin ja tietotekniikan lisääntyminen vaikuttaa paljon myös autojen järjestelmäarkkitehtuuriin. Koska monissa sovelluksissa käytetään samoja antureita, esimerkiksi kiihtyvyyssantureita, tulisi mittaustietojen olla saatavilla auton tiedonsiirtoväylän kautta useaan eri käyttötarkoitukseen. Tiedonsiirron tarve kasvaa, mikä näkyy autojen väylätekniikoiden kehityksessä. Myös matkapuhelimet, navigaattorit ja musiikkisoihtimet kommunikoivat auton järjestelmien kanssa, toistaen esimerkiksi puhelun tai musiikkia auton kaiuttimista.

Seuraavat askeleet älykkään auton kehityksessä liittyvät ns. kooperatiiviseen ajamiseen, jossa auto kommunikoi muiden autojen kanssa sekä ottaa vastaan tietoa taustajärjestelmistä liikenteen eri osapuolilta, esimerkiksi tienpitäjältä. Muita kehitystavoitteita ovat kuljettajan ominaisuuksiin mukautuva auto ja esimerkiksi pysäköinnin ja ruuhka-ajon automatisointi; ruuhkassa ja taajamaliikenteessä auto pysähtyy tarvittaessa itsestään ja lähtee liikkeelle automaattisesti.

Pidemmällä tulevaisuudessa otetaan jo askelia kohti autonomista eli itsenäisesti liikkuvaa autoa. Jo tämän päivän teknologialla useista reiteistä suoriudutaisiin tietokoneen ohjaamana, mutta vajavainen ympäristön ja etenkin jalankulkijoiden havainnointi, sujuvan toiminnan vaikeus ruuhkaliikenteessä, tuotevastuu onnettomuustilanteissa ja lain asettamat rajoitukset hillitsevät visioita.

Kehittyneimmät kuljettajan tukijärjestelmät edellyttävät kattavia turvallisuustestauksen ja tuotehyväksynnän menettelyjä.

ADASE-projektissa ennustettiin kuljettajan tukijärjestelmien (ADAS, Advanced Driver Assistance Systems) yleistymistä ja luokiteltiin järjestelmät niiden kompleksisuuden mukaan (kuva 1). Yksinkertaiset järjestelmät ovat kuvan alaosassa, autonomiset ylhäällä. Arvioiduista järjestelmistä ACC:n (ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin), pimeänäköjärjestelmien ja kaistavahhtien ensimmäisiä versioita on jo markkinoilla. Aikaennustetta ei kuitenkaan annettu.



Kuva 1. ADASE Road Map¹.

ADAS-järjestelmiä markkinoidaan usein mukavuusjärjestelminä. Tällöin turvallisuusvaikutukset jäävät vähemmälle huomiolle eikä valmistaja välttämättä edes lupaa tukea turvallisuuteen, huolimatta kuljettajaa auttavista toiminnoista.

Samalla kun tulevaisuuden järjestelmät helpottavat ajamista ja pyrkivät mahdollistamaan esimerkiksi vammaisille henkilöille itsenäisen liikkumisen, ne myös muuttavat ajamista. Tästä on esimerkkinä joystick-ohjaus, jossa vammaisen kuljettaja antaisi ajoneuvolle vain summittaisen suunnan ja nopeuden ja auto hoitaisi tarkan ohjauksen kaistalla. Tällaiset semi-autonomiset toiminnot saattavat tulevaisuudessa muuttaa ajamista. Ajamisen on kuviteltu muuttuvan jopa ratsastamisen kaltaiseksi: ratsastaessa hevonen tekee osan päätöksistä ja liikkuminen on yhteistyötä.

Lähitulevaisuuden suurimmat hyödyt saataneen kuitenkin, kun tietokone vain varmistaa ja tarkistaa kuljettajan valintoja valvomalla ympäristöä ja kuljettajan vireystilaa. Vastuu ja hallinta pysyvät YK:n vuoden 1968 yleiskokouksen linja-

¹ <http://www.itsforum.gr.jp/Public/E4Meetings/P01/fremont0903.pdf>

usten mukaisesti kuljettajalla, niin kauan kuin hän on tietokonetta kyvykkäämpi ohjaamaan autoa turvallisesti.²

Taulukkoon 1 on kerätty kuljettajan tukijärjestelmien yleisiä kehitystavoitteita ja niiden teknisiä vaatimuksia.

Taulukko 1. Kuljettajan tukijärjestelmien kehitystavoitteita.

Yleisiä kehitystavoitteita	Käytetty tekniikka
Ympäristön havainnointi ja elektronisen turvavyöhykkeen muodostaminen auton ympärille	Kameratyypiset anturit ja kuvankäsittely, kartat, paikannus ja kommunikaatio muiden tienkäyttäjien kanssa
Kommunikointi ympäristön kanssa.	Auto kommunikoi radiotekniikalla muille tienkäyttäjille vaaranpaikoista, rikkoutumisista yms. ja kokoaa tietoa kartoista ja taustajärjestelmistä
Tilannetietoisuus ja kuljettajan varoittaminen vaaratilanteista	Auton liiketilan mittaaminen, kuljettajan viireystilan seuranta ja ympäristöstä mitatun tiedon yhdistäminen arvioksi kokonaistilanteesta. Kuljettajaa varoitetaan tarvittaessa. "Warning management" tarpeen, jotta ei useita päällekkäisiä varoituksia.
Osittain automatisoitu ohjaus, esimerkiksi pysäköinti, hätäjarrutus ja kaistalla pito. Ikääntyneiden ja vammaisten mahdollisuudet ajaa autoa paranevat.	Perustuu tilanteen arviointiin (hätäjarrutus, nukahtaneen pito kaistalla) tai käyttäjä käynnistää toiminnon (pysäköintiäpu)
Mukavampi ajaa, mukautuu kuljettajan ominaisuuksiin	Käyttäjäprofiilien luonti, asetusten pito muistissa, kuljettajan tunnistaminen, ajamista helpottavat automaatiikat.
Kytkenät nomadiisiin laitteisiin	Esimerkiksi Bluetooth-radioyhteyttä käyttäen musiikin siirto, auton kaiutinjärjestelmän käyttö puhelinsoitoissa, kytkenät navigaatiolaitteisiin

1.2 EU:n tutkimus- ja kehityshankkeita

1.2.1 Yleistä

EU:n aloite älykkäästä ajoneuvosta (Intelligent Car Initiative, ICI) helmikuussa 2007 pyrki vauhdittamaan liikenteen turvallisuutta, ympäristöystävällisyyttä ja tehokkuutta. Se ehdottaa IT-perusteisia ratkaisuja³

1. tukemaan kuljettajaa ajamaan turvallisesti ja taloudellisesti

² http://www.cvisproject.org/download/Presentations/Aalborg07/SS02/SS02_Schwarz.pdf

³ http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/press/docs/press/factsheets/048_esafety_en.pdf

2. estämään onnettomuuksia
3. tuomaan reaaliaikaista liikennetietoa liikenneuhkien vähentämiseksi ja reittien optimoimiseksi.

Tutkimustyö ja tiedottaminen ovat ICI:n muita toimia. eSafety-foorumin kautta se edistää yhteistyötä ja tukee kehitystyötä. Puolessatoista vuodessa ICI on jo saavuttanut merkittävän aseman.

Seuraavassa esitellään tärkeimpiä viime vuosien EU:n tukemia tutkimusaiheita suurten esimerkkiprojektien avulla.

1.2.2 AIDE – Kuljettajan monitorointi ja HMI

Lähtökohtana yli neljän vuoden (2004–2008) ja 28 partnerin integroidulle hankkeelle (IP) olivat tulokset siitä, että kuljettajaa häiritsevät seikat ja keskittymisen herpaantuminen (engl. driver inattention, distraction) ovat tärkeimmät vaikuttavat tekijät jopa 25 prosentissa onnettomuuksista. Kuljettaja saattaa nukahtaa, katsoa oikeaan suuntaan kuitenkin näkemättä, katse voi harhailla tai matkapuhelin saattaa soida vilkkaassa risteyksessä jne.^{4, 5} AIDEssa kehitettiin lukuisia työkaluja valvomaan kuljettajan vireystilaa ja ajotilannetta. Konkreettisimpia niistä olivat testiautoihin asennetut DVE-valvontamoduulit (Driver-vehicle-environment state monitoring):

- Traffic and Environment Risk Assessment Module (TERA) – liikenteen ja ympäristön parametrien riskitason arviointi.
- Driver Characteristic Module (DC) – kuljettajan tyypillisen profiilin määrittäminen
- Driver Availability Estimator (DAE) – ajotehtävän vaativuuden ja kuljettajan työmäärän arviointi
- Driver State Degradation (DSD) – kuljettajan suorituskyvyn heikkeneminen, esimerkiksi väsymys
- Cockpit Activity Assessment (CAA) – katseen kohdistuminen ja harhailu, keskittyminen sekundäärisiin tehtäviin.

Projektin tutkimuskohteita olivat lisäksi auton hälytysten priorisointi ja uudelleenjärjestäminen, eri sovellusten viestien välittäminen samoilla näyttölaitteilla ja tarvittaessa tärkeiden viestien toistaminen. AIDEssa esiteltiin keskusjärjestelmä viestien hallintaan. Tämän järjestelmän kautta hallitaan myös matkapuhelinten toimintaa. Sovelluksina esiteltiin saapuvan puhelun viivästämistä ohitus- ja risteystilanteissa.

AIDEssa esiteltiin varsin viimeistellyjä ja myös uusia modaliteetteja ('aistikanavia', esim. puhe ja värinä) sisältäneitä ajoneuvon hallintalaitteita. Kuvassa 2 on esimerkki AIDEn näyttötekniikasta yhdessä Euroopan edistyneimmistä

⁴ AIDE Project Background, <http://www.aide-eu.org/background.html>

⁵ The role of driver distraction in traffic crashes. Stutts ym. 2001. AAA Foundation for Traffic Safety. <http://www.aaafoundation.org/pdf/distraction.pdf>

ajoneuvoista, Volvo Technologyn demonstraatioihin käyttämässä rekka-autossa.



Kuva 2. Volvon tuotekehityksessä käyttämän rekan mittaristo AIDE-projektista⁶

Uusista modaliteeteista haptiikan (värisevä poljin, ratti, turvavyö) on todettu saavan kuljettajan reagoimaan nopeimmin. Haptiikka on ollut esillä useassa tutkimusprojektissa. Haptiikan etuna on myös se, että hälytyksen saa vain kuljettaja. Välttämättä kuljettaja ei halua esimerkiksi pienistä ajovirheistään johtuvien hälytysten kuuluvan ja näkyvän takapenkille asti.

Puheentunnistuksen kehityksessä ei viime vuosina ole otettu nopeita askelia. Englanninkieliset järjestelmät toimivat jo melko hyvin autoympäristössä englantia äidinkielenään puhuvilla käyttäjillä. Luonnollista puhetta ei kuitenkaan tunnusteta, vaan sovelluksia käytetään rajatulla määrällä käskyjä. Tunnistusalgoritmit suodattavat ja sietävät myös liikenteen melua. Epäselvästi puhutun englannin tunnistus toimii jo paljon epävarmemmin.

Pienten kielten tunnistusvarmuus on valtakielisiä huonompi etenkin silloin, kun ne sisältävät erityispiirteitä. Esimerkiksi suomen kielen sanapäätteet ja tästä seuraava suuri erilaisten sanojen joukko aiheuttaa ongelmia käytettäessä menetelmiä ja algoritmeja, jotka on kehitetty tunnistamaan englannin tai esimerkiksi saksan kieltä. Tunnistusvarmuuden laskiessa liikenteen melu alkaa selvästi haitata järjestelmien käyttöä.

Ensimmäiseksi yleistyykin pelkkä puhesynteesi eli tietokoneen tuottama puhe. Kohtuullisesti toimivia puhesynteesiohjelmistoja on saatavilla kaikille yleisille kielille. Kuuntelukokemuksen miellyttävyys kuitenkin vaihtelee.

⁶ AIDE Final Workshop and Exhibition, Press corner http://www.aide-eu.org/press_corner.html tark 1.8.08

Toisen näkökulman auton käyttöliittymien kehitykseen antavat Bluetooth-profiilit, joista on lisää luvussa 1.3.2.

1.2.3 Kooperatiiviset järjestelmät – SAFESPOT ja CVIS

Kooperatiivinen ('yhteistoiminnallinen') lähestymistapa liikenneturvallisuuden parantamiseen perustuu auton anturitietojen käsittelyyn ja välittämiseen muille tienkäyttäjille. Vastaavasti taustajärjestelmän ja muiden autojen keräämiä tietoja hyödynnetään auton oman tilannekuvan muodostamisessa. Autojen välistä kommunikaatiosta käytetään termiä V2V (Vehicle to Vehicle) ja yhteydestä taustajärjestelmään V2I (Vehicle to Infrastructure).

Kommunikaatiojärjestelmillä pyritään kasvattamaan ns. elektronista horisonttia ja turvamarginaalia (engl. electronic horizon, safety margin). Ajoneuvon ympäristöstä muodostetaan tietokoneessa dynaaminen kartta, jossa yhdistetään staattisia tiekarttatietoja antureilla havaittuihin ja tiedonsiirron kertomiin kohteisiin. Tietojen yhdistäminen samaan karttakuvaan ja yleisesti tilannekuvan luonti on haastavaa paikannusvirheiden, tietojen nopean vanhenemisen ja antureilta huomaamatta jäävien havaintojen vuoksi.

Elektronista horisonttia on tutkimussuunnitelmissa usein visualisoitu HUD-näyttöön (head-up display) heijastettavalla näkymällä mutkan tai esteen "taakse". Tällöin kuljettajan lyhyttä näkökenttää kasvatetaan kartan tiedoilla.

Kooperatiivisten järjestelmien sovellusesimerkkejä ovat hälytys muille, kun

- autolla ajetaan punaista päin
- havaitaan savua tai tulta
- auto liukastelee ulos tieltä tai putoaa
- hälytysajoneuvo lähestyy
- auto hajoaa tai lasti tippuu
- jarrutetaan tiukasti
- törmäyksenestojärjestelmä laskee törmäysvaaran.

Lisäksi kommunikoidaan mittauksia tien kunnosta, kuljettajien aikeista, jalkakäijöistä liikennevaloissa, liikennevalojen vaihtumisesta ja anturihavainnoista. Periaatteessa sovellukset voidaan jakaa määrävälein tai jatkuvasti lähetettäviin viesteihin ja tapahtumien laukaisemaan kommunikointiin.

Kooperatiiviset ratkaisut ja sovellukset ovat vielä varsin alkuvaiheessa huolimatta pelkästään Euroopan alueella käynnissä olevista tai jo toteutetuista noin 30 hankkeesta. Edellä mainituista sovelluksista on esitelty vasta toteutettavuutta.

SAFESPOT ja CVIS ovat noin 40 miljoonan budjeteillaan tämän hetken suurimmat EU-hankkeet kooperatiivisesta liikenneturvallisuudesta. Ne alkoivat vuonna 2006 ja päättyivät 2010. SAFESPOTissa kehitetään varoitusjärjestelmiä – ei siis autonomisia toimintoja. Projekti on edennyt demonstroitavien sovellusten määrittelyihin. CVIS-hankkeessa luodaan tiedonsiirtoon avoin arkkitehtuuri ja keskeisiä työkaluja sovellusten toteuttamiseen. Se käsittelee myös turvallisuutta, vastuuta ja kustannusvaikutuksia.

Keskeisin haaste kooperatiivisen liikenteen esteenä on ollut tiedonsiirtostandardin puuttuminen. On kysytty,

- mikä on sellainen teknologia, joka säilyy riittävän muuttumattomana kymmeniä vuosia
- voisiko autoissa ehkä olla vaihdettava radorajapinta vai kommunikoisivatko ne matkapuhelimen kautta
- miten muodostetaan yhteys kymmeniin autoihin sekunnin murto-osassa ajettaessa moottoritieellä eri suuntiin?

Tärkeimmäksi määrittelyksi on nousemassa IEEE:n standardiluonnos 802.11p, josta lisää seuraavassa luvussa 1.3, Tietoliikenne. Siinä ongelmia on ratkaistum. käyttämällä broadcast-tekniikkaa (tässä: radiolähetys, yhdeltä monelle) erillisten yhteyksien muodostamisen sijaan. Tekniikan säilyminen muuttumattomana on mahdollisesti vain sopimuskysymys.

Tällä hetkellä verkkojen kantama ei kuitenkaan yllä sen pidemmälle kuin parhaiden laserskannereiden, eli noin 250 metriä. Tavoite sovelluskenaarioissa on ollut noin kilometri.

Euroopassa autot on pyritty kehittämään stand alone -tyyppisiksi turvajärjestelmiksi, kun taas Japanissa ja Yhdysvalloissa on pyritty enemmän infra-avusteisiin kooperatiivisiin ratkaisuihin tiehen upotettavien (vain kokeiluja) tai tien varteen rakennettavien tukiasemien välittämän tiedon avulla. Nyt näyttää siltä, että nämä kaksi megatrendiä ovat konvergoitumassa, toisaalta autojen ADAS-tyyppisten järjestelmien osittain jo näytettyjen turvallisuushyötyjen (Scholliers ym. 2008) mutta myös rajoitusten vuoksi. ADAS-järjestelmät eivät täysin tue ennakoivaa ajamista, mihin taas kooperatiiviset ratkaisut tulevaisuudessa tarjoavat hyvät mahdollisuudet.

1.3 Tietoliikenne ja tiedon siirto

1.3.1 Tietoliikenne

Teollisuudessa ja tutkimuslaitoksissa investoidaan paljon kooperatiiviseen liikenteeseen. Mahdollistava teknologia on 5,9 GHz DSRC (Dedicated Short Range Communication), jonka standardisaatiotyötä johtaa IEEE Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) -työryhmä. Standardiksi on nousemassa WLAN-kehitysversio 802.11p. Sen on määrä valmistua vuoden 2009 lopussa⁷. Lisäksi myös ISO TC204WG16 luonnostelee standardia yhdistääkseen ajoneuvo-optimoidun WLAN-tekniikan muiden liityntäteknologioiden kanssa.

Yhdysvalloissa FCC (Federal Communications Commission) on varannut 75 MHz:n kaistan 5,9 GHz:n alueella liikennesovelluksille. Euroopassa ETSI (European Telecommunications Standards Institute) vetää vastaavaa työtä, jotta

⁷ http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm

30 MHz (5.875–5.905 GHz) varattaisiin kriittisille tieturvallisuutta ja liikenteen tehokkuutta parantaville sovelluksille.

Muita keskeisiä toimijoita kooperatiivisen tiedonsiirron standardoinnissa ovat

- Yhdysvalloissa Vehicle Safety Communication Consortium (VSC), Vehicle Infra-structure Integration Initiative (VII) ja Cooperative Intersection Collision Avoidance Systems (CICAS)
- Euroopassa Car2Car Communication Consortium (C2C-CC) ja COME-Safety ohjelma. Seitsemännen puiteohjelman GeoNet tähtää protokollapinon luomiseen tukeakseen muita kooperatiivisia hankkeita eli CVIS, SAFESPOT, Coopers jne.
- Japanin vetämät Advanced Safety Vehicle projekti (ASV), VICS (Vehicle Information and Communication System) ja Internet ITS Consortium.

Tiedonsiirron haasteiksi jo edellisessä luvussa luettiin vaatimus pitkästä elinkaaresta, nopea yhteydenmuodostumisaika ja noin kilometrin kantama. Lisäksi C2C-CC pitää tärkeänä, että:

- kaiken välitetyn informaation tulee olla oikeaa ja luotettavaa (Ad-hoc-verkoissa välittäjät saattavat muuttaa välitettävää informaatiota tai muuten lähettää väärää tietoa. Tietoa pitäisi myös valvoa.)
- tiedonsiirtojärjestelmän pitää toimia vakaasti ilman virhetilanteita
- osallistujien yksityisyys tulee suojata.

Palveluketjuissa voi olla varsin monta osapuolta: ajoneuvojen valmistajat, tieoperaattorit, teleoperaattorit, joukkoliikenne, pelastuspalvelut jne.⁸Tästä syystä tekniikan lisäksi tarvitaan myös julkisten ja yksityisten toimijoiden sopimia liiketoimintamalleja.

On vaikea ennustaa, kuinka kauan näiden lueteltujen ongelmien ratkaisu kestää. Vuosi sitten kehitysinsinöörien keskuudessa puhuttiin jo siitä, kuka ottaisi riskin ja toisi tuotteen markkinoille. Mahdollisesti tuote voisi olla yksinkertainenkin. Toiset arvioivat realistisemmaksi aikatauluksi yli kymmenen vuotta. SAFESPOT ja CVIS-hankkeiden tulokset, jotka saadaan vuonna 2010, antavat varmasti jo tarkemman käsityksen tuotteistamisesta.

1.3.2 Bluetooth

Bluetooth⁹ on tärkein tiedonsiirtotapa matkapuhelimen tai PND-laitteen ja auton välillä. Arvioidaan, että vuonna 2012 kolmasosa myydyistä autoista sisältää Bluetooth-yhteyden ja lukuisia profiileja. Bluetoothin kehitys antaa myös selkeitä vinkkejä siitä, miten auton käyttöliittymät kehittyvät tulevaisuudessa.

Bluetooth SIG Car Working Group (ajoneuvoihin keskittyvä Bluetooth-konsortion ryhmä) johtaa kuuden profiilin kehitystä. Nämä ovat

⁸ http://www.cvisproject.org/download/Articles%20and%20releases/Thinking%20Highways_Mars%202007.pdf

⁹ www.bluetooth.org

1. Hands-free-profiili (engl. Hands-Free Profile Specification, HFP). Ryhmän tärkein profiili, joka sisältää tavallisimmat puhelinten ominaisuudet, kuten puhelun vastaaminen, pitoon laiton ja katkaisun, akun varaustilan ilmaisun, konferenssipuhelut, edelliseen numeroon soittamisen ja tuen puheentunnistukselle. Uusin kehitysversio (2Q08) sisältää push to talk-toiminnon, VoIP:n ja paremman äänenlaadun.
2. Auton käyttö Bluetooth-kuulokkeena (engl. Headset Profile Specification, HSP)
3. Puhelinluettelon hallinta (Phone Book Access Profile Specification, PBAP). Verrattain uusi profiili helpompaan ja täydellisempään puhelinluettelon hallintaan.
4. SIM-kortin hallinta (SIM Access Profile Specification, SAP). Sen avulla voidaan suorittaa SIM-kortin komentoja.
5. (Uusi, valmistelussa) Viestit (Message Access Profile Specification, MAP). Määrittelee viestien siirron, erityisesti matkapuhelimeen tulneiden viestien hallinnan ajoneuvon tai ajoneuvosarjan laitteilla. Lisäksi keskustellaan matkapuhelimen kautta tapahtuvasta tiedonsyötöstä mukaan lukien mainokset ja aikataulut.
6. (Uusi, valmistelussa) Navigointi-informaation siirto (engl. Off-Board Navigation Profile). Määrittää skenaariot koskien mobiililaitteiden ja auton välistä tiedonsiirtoa. Navigaattorin tieto voidaan mahdollisesti esittää ajoneuvon näytöllä. Tiedot valmistelusta eivät ole vielä julkisessa vaiheessa.

Lisäksi viihdesovelluksissa käytetään seuraavia profiileja:

7. Musiikin siirto (engl. Advanced Audio Distribution Profile, A2DP). Korkealaatuisen musiikin stream-toiminnot, tiedonsiirto puhelimesta tai autoradiosta headset-laitteeseen tai vaikka langattomiin kaiuttimiin.
8. Videotoimintojen hallinta (engl. Audio Video Remote Control Profile, AVRCP). TV:n ja radion kaukosäätö.

Tärkein työ profiilien parissa keskittyy hands-free -profiilin kehittämiseen ja matkapuhelimen puhelinnumeroluettelon käsittelyyn. Matkapuhelimen kautta tapahtuva tiedonsyöttö (engl. information push) on uusi ja mielenkiintoinen ajatus samoin kuin kehitystyö, joka liittyy navigaattoreiden näytöllä olevien tietojen siirtämiseen.

1.4 Tuotteiden hyväksyntä ja menettelytapaohjeet

Uusien ADAS-järjestelmien toiminnallisuudet haastavat vanhat testaus- ja hyväksyntämenettelyt. Esimerkiksi EuroNCAP selvittää nyt, kuinka aktiiviset ja preventiiviset turvajärjestelmät voidaan luokitella ja mitä indikaattoreita voidaan mitata. Tavallisesti EuroNCAP hyväksyy jonkin järjestelmän testattuaan sitä olosuhteissa, jotka edustavat vakavia kolarityyppejä. Jatkossa myös tuotekehityksen laatu ja hyväksytyt menetelmät ovat seurannan kohteena; riskejä pyritään tunnistamaan jo tuotekehitysvaiheessa. Koska toimintaohjeet on mainittu myös tuotevastuulaeissa, tällaisilla toimintaohjeilla on merkitystä myös mahdol-

lisissa vastuuoikeudenkäynneissä¹⁰. Ohjeistot ovat tärkeitä myös vakuutusyhtiöille.

PReVENTin (viime vuosien suurin autoteollisuuden EU-tutkimusprojekti) RESPONSE-aliprojektin luoma menettelytapaohjeisto (Code of Practice)¹¹ ottaa huomioon turvallisuusnäkökohdat tuotekehityksessä sekä käsittelee lakiasioita ja tuotevastuuta. Ohjeisto käsittelee tärkeimmät kohdat yhteiskunnan, valmistajan ja loppukäyttäjän näkökulmista. Ohjeistus on saavuttanut nopeasti jalansijaa.

Järjestelmien standardit määrittävät myös testausta ja suorituskysymyksiä eri testiskenaarioissa. ACC-standardi (ISO 15622) on tästä hyvä esimerkki. Se kuvaa, mitä järjestelmän tulee tehdä vikatilanteessa (kytkeä pois ACC), ja suorituskyvyn esimerkiksi niin, että kahdestakymmenestä testistä kahdeksassa-toista pitää järjestelmän havaita 75 metrin etäisyydellä oleva metrin levyinen liikkuva kohde.

1.5 Ympäristön ja kuljettajan monitoroinnin tekniset haasteet

Ympäristönhavainnointiin perustuvien uusien kuljettajan tukijärjestelmien tekniset haasteet ovat järjestelmästä riippumatta samankaltaisia. Haasteet liittyvät lähinnä kohteiden tunnistamisvarmuuteen, vaikeisiin keliolosuhteisiin ja ohjausliikkeisiin käytettävissä olevan kitkan arviointiin. Kuljettajan vireystilan ja aikeiden arviointi on samalla tavoin vaikeaa. Ainoastaan auton liiketila on varmaa tietoa.

Ympäristöä havainnoivan, puhetta tunnistavan tai vastaavan luonnollista signaalia analysoivan järjestelmän ensimmäinen prototyyppi ei yleisen käsityksen mukaan saisi tuottaa enempää kuin noin kymmenen prosenttia virheellisiä havaintoja. Tämä tunnistusvarmuus saavutetaan kohtuullisella työpanoksella, mutta ei kaikissa olosuhteissa. Toiminta rajataan esimerkiksi tiettyyn etäisyyteen, määrämuotoiseen puheeseen jne. Tuotetasoa lähestyessä toimintavarmuutta kehitetään ja väärät havainnot tippuvat ehkä prosentin luokkaan. Yleensä lähes sadan prosentin tunnistukseen ei kuitenkaan päästä ilman olosuhteiden vakioimista. Kamerateknologiassa olosuhteiden vakioiminen tarkoittaisi studiovaloja ja puheentunnistuksessa äänityshuonetta ja uutistekstin selkeyttä. Ihminenkin ei kykene aina tunnistamaan kohteita tai sanoja huolimatta tietokoneeseen verraten ylivoimaisesta tunnistuskyvystä.

Ei ole kestävä lähtökohta, että ympäristöä havainnoivan järjestelmän odotetaan toimivan sataprosenttisesti joka keliolosuhteessa. Toisaalta nimenomaan siihen tulee turvajärjestelmien kehityksessä pyrkiä.

¹⁰ http://www.prevent-ip.org/download/Events/20050601%20ITS%20Hannover%20papers/25043_Schwarz_RESPONSE3.pdf

¹¹ (http://www.prevent-ip.org/en/public_documents/deliverables/d112_code_of_practice_for_the_design_and_evaluation_of_adas.htm)

Ongelmaa lähestytään rajaamalla järjestelmien toiminta-alue esimerkiksi moottorinopeuksiin, jolloin voidaan tehdä lisäoletuksia ja säätää järjestelmä halutusti. Tämäkään ei silti tuo täydellistä toimintavarmuutta. Nykyään lähdetäänkin siitä, että havaintoja käytetään ainoastaan varoittamaan kuljettajaa ja kuljettajalla säilyy vastuu ohjauksesta. Väärien varoitusten määrä minimoidaan, ja käyttökokeilla pyritään korkeaan hyväksyttävyyteen ja ymmärrettävyyteen. Väärät hälytykset häiritsevät ajamista, vähentävät luottamusta järjestelmään ja saattavat johtaa sen pois kytkemiseen. Uuden teknologian ollessa kyseessä käyttäjillä voi olla myös väärä mielikuvia teknologiasta, esimerkiksi havainnointitavoista, antureiden sijainnista ja suorituskyvyn rajoista¹².

Muun muassa PREVENT-projektin järjestelmistä vasta osaa on testattu huo-noissa keliolosuhteissa (lumi, sade, sumu, kura jne.). Lähivuosina järjestelmät saadaan toimimaan yhä vaikeammissa tilanteissa. Jäljelle jäävät kysymykset ovat lopulta laki- ja vakuutusteknisiä: yhteiskunta säästää, kun turvallisuus paranee, mutta kuka maksaa vahingot niissä tilanteissa, joissa yksittäisen onnettomuuden aiheuttaisikin säästöjä tuonut uusi turvajärjestelmä? Tästä aiheesta käydään jo keskustelua: mm. komission Intelligent Car Initiative listaa tavoitteeseen käsitellä ja poistaa lainsäädännöllisiä esteitä¹³.

On tärkeää analysoida, mitä tapahtuu järjestelmän vikaantuessa. Riittääkö, että järjestelmä ei vain hälytä tai tee mitään? Ymmärtääkö kuljettaja ne tilanteet, joissa järjestelmä kytkeytyy pois päältä, vai pitäisikö häntä varoittaa erikseen?

Tietokoneen arvioidessa hälytyksen tarvetta havaitut kohteet ovat yksi lähtökohta. Toinen on eräänlainen aietaso; kuljettajan aktiviteetin, suorituskyvyn, vi-reystilan, aikeiden ja muiden tienkäyttäjien aikeiden arviointi. Mikäli kuljettaja on nukahtamassa tai ei katso oikeaan suuntaan, varoitetaan. Varoitus voidaan antaa myös, kun kuljettaja on kääntymässä vaaralliseen suuntaan tai kun ha-vaitut autot tai jalankulkijat vaihtavat äkillisesti suuntaa jne.

Tietokone ei kuitenkaan kykene ennustamaan esimerkiksi jalankulkijoiden ai-keita yhtä hyvin kuin kuljettaja; näyttääkö jalankulkija olevan aikeissa ylittää tien, onko hän havainnut auton vai katsooko aivan väärään suuntaan. Nykyi-sellä teknologialla tietokone voi arvioida lähinnä vain sitä, ehtisikö jalankulkija juosta auton alle. Tällainen laskenta on ylivaroaista, mutta osoittaa samalla, kuinka isoja teoreettisia riskejä joka päivä liikenteessä otamme ajaessamme jalankulkijoiden läheltä. Varoitusta ei voi antaa kaikista tällaisista tilanteista, mutta täysin autonominen auto olisi pakotettu ohittamaan jalankulkija erittäin hitaasti tai kaukaa.

Kuljettajan kyky esimerkiksi liittyä liikennevirtaan tai ylittää risteys riittävän no-peasti on osa risteysturvallisuutta arvioivia järjestelmiä. Lisäksi maksimikiihty-vyyksiä arvioitaessa tulee tehdä arvio käytettävissä olevasta kitkasta. Merkittä-vä käynnissä oleva ponnistus renkaan ja tien välisen kitkapotentiaalin arvioimi-

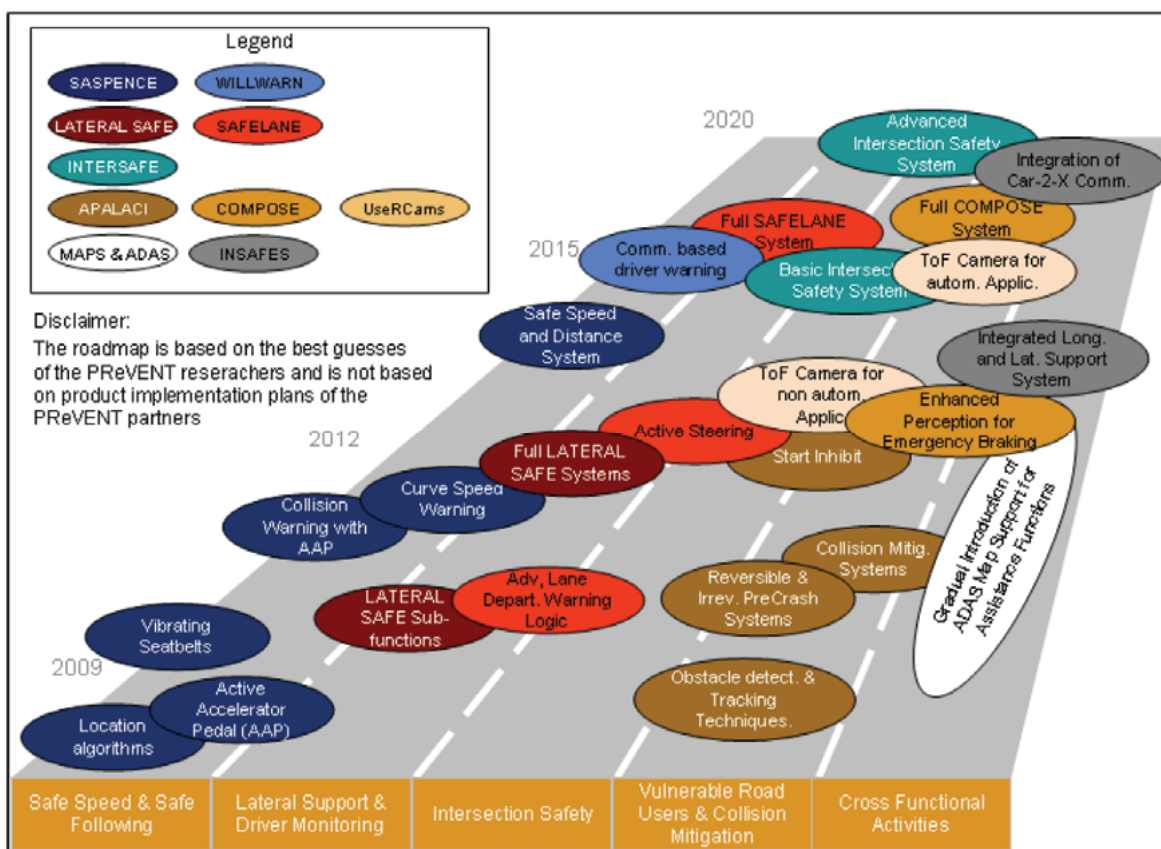
¹² http://www.prevent-ip.org/download/Events/20050601%20ITS%20Hannover%20papers/25043_Schwarz_RESPONSE3.pdf

¹³ http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/icar/index_en.htm

sesta on VTT:n vetämä Friction EU-hanke¹⁴. Kun auto on varustettu keliä mitaavilla ympäristöantureilla, arvio paranee, mutta parhaimmillaankin auto säävuttaa vain saman ymmärryksen, kuin kuljettajalla tavallisesti on; esimerkiksi että on luminen tie ja kitkakerroin kymmenen metriä auton edessä on keskimäärin 0,3–0,6. Useat järjestelmät, kuten hätäjarrutusjärjestelmät, kuitenkin hyötyvät jo tämän tasoisesta arviosta. Jarrutuksen alkuvaihetta liukkaalla jäällä voidaan tehostaa, kun ei jarruteta liikaa.

1.6 Järjestelmien tulo markkinoille

Tällä hetkellä paras arvio uusien kuljettajan tukijärjestelmien markkinoille tulosta löytyy PREVENTin työstämästä roadmapista (kuva 3).



Kuva 3. Figure 1. PREVENT Roadmap (1).

PREVENTin esittelemiä kokonaisuuksia ei ehkä sellaisenaan tule markkinoille, vaan tuotteet voivat olla yksinkertaistettuja. Hankkeessa otettiin kuitenkin tärkeitä askeleita kohti lopputuotteita. Karttaan ja paikannukseen perustuvat järjestelmät ovat tällä hetkellä yleistymässä nopeimmin. Esteiden karkea havainnointi, kaistavahti ja juuri ennen törmäystä tapahtuvat varotoimenpiteet ovat aikajanaalla seuraavina.

Koska yksittäiset järjestelmät ovat kalliita, autoteollisuus luultavimmin hakee tulevaisuudessa entistä hanakammin pakettiratkaisuja. Tällöin samaan pakettiin

¹⁴ <http://friction.vtt.fi/>

sisällytetään monta toimintoa, jotka hyödyntävät samoja antureita ja muita komponentteja. Kuluttajien maksuhalukkuuden ollessa rajallinen paketointi voi tuottaa helpommin myytävän tuotteen kuin toimintojen myyminen erillisinä järjestelminä. Tämä selittää osaltaan aiempaa kehitystä (esimerkiksi ESC hyödyntää ABS-antureita, kehityskulku ACC – Forward Collision Warning – ACC Stop and go – Emergency Braking) ja myös PreVENTin Roadmap-kuvan toteutusjärjestyksiä. Hagleitnerin (2008) mukaan edistynyt jarrujärjestelmä ja seuraamisetäisyysanturit ovat tällä hetkellä avainasemassa järjestelmien markkinoille tulossa. ESC ja Brake Assist (BAS) ovat tulevien turvajärjestelmäpakettien perustana. Mukavuustoiminnon ACC perustalle rakennettaneen monia turvallisuuspaketteja.

Järjestelmien laskennalliset hyödyt ohjaavat rahoitusta ja politiikkaa. Komission tavoitteena on esimerkiksi saavuttaa 100 prosentin ESC:n käyttö uusissa autoissa vuonna 2013 (oli 40 % EU25:ssä vuonna 2005 ja parhaassa maassa, Ruotsissa, 97 % vuoden 2008 syksyllä). ChooseESC!-mainoskampanja auttaa tässä tavoitteessa. Uutena järjestelmänä pyritään saamaan eCall optiona kaikkiin uusiin ajoneuvoihin 2012 alkaen.

Heinäkuussa 2008 BMW ilmoitti tuovansa 7-sarjan autoihinsa ensimmäisenä (tuotantoautona) maailmassa jalankulkijan tunnistusjärjestelmän ja optisesti nopeusrajoitusmerkkejä lukevan nopeusvaroittimen¹⁵. Tässäkin tapauksessa on kyse paketoinnista eli tietyn anturin hyödyntämisestä useammassa sovelluksessa. Auton kerrotaan myös sisältävän parannetun version kaistavahdistusta ja pimeänäköjärjestelmän. Vaikka vastaavia järjestelmiä löytyy myös monen muun valmistajan tuotekehitysosastolta, on markkinoille ehtimisellä paljon mai-nosarvoa. Vielä kun huippuautoja myydään varsin rajallinen määrä (luxus-malleja noin prosentti ja seuraavan luokan malleja kolme prosenttia uusista autoista), on mahdollisesti myös tuotetuki ja loppuviilaus helpompaa, ennen kuin tekniikka yleistyy keskihintaisissa malleissa.

¹⁵ <http://www.autoblog.com/2008/07/04/officially-official-2009-bmw-7-series/>

2 Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien vaikutusarviointeja

EU:n 6. puiteohjelmassa (2008) valmistui useita tutkimushankkeita (CODIA, eIMPACT, PReVAL, TRACE), joissa tutkittiin aikaisempaan kirjallisuuteen, onnettomuustarkasteluihin ja asiantuntija-arvioihin perustuen usean järjestelmän vaikutuksia EU25-alueella. Hankkeissa myös verrattiin eri järjestelmien tehokkuutta toisiinsa (luku 2.4). Tätä aikaisemmissa vaikutusarvioissa on tutkittu erityisen paljon älykkään nopeudensäätelyn vaikutuksia liikenteen turvallisuuteen (luku 2.1). Pimeän ajan tukijärjestelmiä (luku 2.2) on tutkittu paljon ajosimulaattoreissa, mikä otettiin huomioon yleistettäessä tuloksia vaikutusarvioihin todellisessa käytössä. Ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvaa vakionopeudensäädintä (luku 2.3) on tutkittu mm. kenttäkokein Hollannissa.

2.1 Älykäs nopeudensäätely

Ruotsissa toteutettiin laajamittainen kenttäkoe älykkäästä nopeudensäätelystä kaupunkiympäristössä vuosina 1999–2002. Kokeisiin osallistui yli 10 000 kuljettajaa eri ikäryhmistä. Neljässä eri kaupungissa testattiin erilaisia järjestelmiä. Uumajassa kokeiltiin varoittavaa järjestelmää, joka antaa kuljettajalle auditiivisen ja visuaalisen varoituksen, kun nopeusrajoitus ylitetään. Borlängessä käytettiin tiedottavaa järjestelmää. Tämä sisälsi auditiivisten ja visuaalisten varoitusten lisäksi ajoneuvon sisäisen näytön, joka antoi kuljettajalle tietoa vallitsevasta nopeusrajoituksesta. Lundissa testattiin aktiivista kaasupoljinta, joka esti nopeusrajoituksen ylittämisen. Lidköpingissä kokeiltiin sekä tiedottavaa järjestelmää että aktiivista kaasupoljinta. Tulokset osoittavat, että nopeudensäätely paransi huomattavasti liikenneturvallisuutta. Jos kaikissa ajoneuvoissa olisi kyseinen järjestelmä, kaupunkiympäristössä voisi tapahtua 20 prosenttia vähemmän onnettomuuksissa loukkaantumisia. (Biding & Lind 2002)

Eri järjestelmien vaikutukset ajonopeuksiin erosivat melko vähän toisistaan. Kaikki järjestelmät alensivat ajonopeuksia noin 3–4 km/h. Varoittava järjestelmä alensi nopeuksia yhtä tehokkaasti kuin aktiivinen kaasupoljin, sillä auditiivista varoitusviestiä pidettiin niin häiritseväksi, että sen kuulemista pyrittiin välttämään. Ainoa selvä ero järjestelmien välillä oli se, että tiedottavat ja varoittavat järjestelmät pienensivät nopeuksien hajontaa vähemmän kuin aktiivinen kaasupoljin. Uumajassa varoittavan nopeudensäätelyn arvioitiin vähentävän onnettomuuksissa loukkaantumisia noin 3–4 prosenttia, jos 10 prosentissa ajoneuvoista olisi kyseinen järjestelmä. (Biding & Lind 2002)

Nopeudensäätelyjärjestelmän käytön myötä keskinopeudet teillä laskivat selvästi. Ajonopeudet olivat homogeenisempia, mikä luultavasti lisää turvallisuutta vielä enemmän. Myös jalankulkijoiden huomiointi parani. Matka-ajat eivät kuitenkaan muuttuneet alemmista nopeuksista huolimatta. (Biding & Lind 2002)

Aktiivisen kaasupolkimen pitkäaikaisia vaikutuksia tutkittiin Lundissa 1999–2000. Tutkimuksen mukaan loukkaantumisiin johtavat onnettomuudet väheni-

sivät noin neljänneksellä, jos kaikissa ajoneuvoissa olisi kyseinen nopeudensääätelyjärjestelmä. Kuolemaan johtavia onnettomuuksia järjestelmä vähentäisi 32 prosenttia. (Hjälmdahl 2004)

Ruotsissa tutkitussa dynaamisessa nopeudensäätelyjärjestelmässä suositeltu korkein nopeus näytetään kuljettajalle jatkuvasti, jolloin kuljettajan ei tarvitse keskittyä nopeusnäyttöön yhtä paljon kuin perinteisissä järjestelmissä. Kun suositeltu korkein nopeus muuttuu, kuljettajalle annetaan äänimerkki ja muutoksen syy kerrotaan. Myös kaasupoljin antaa palautetta nopeuden lähestyessä rajoitusta. Tämän dynaamisen järjestelmän turvallisuusvaikutus arvioitiin vertaamalla todellisia nopeuksia korkeimpaan sallittuun nopeuteen. Järjestelmän arvioitiin vähentävän loukkaantumiseen johtavia onnettomuuksia Ruotsissa 19–42 prosenttia, jos kaikissa ajoneuvoissa olisi aktiivinen kaasupoljin ja ajosuoritteet säilyisivät ennallaan. (Vårhelyi 2002a.)

Dynaamisen nopeudensäätelyn arvioitiin vähentävän Ruotsissa liukkailla keleillä loukkaantumiseen johtavia onnettomuuksia noin 9–15 prosenttia. Pimeässä järjestelmän arveltiin vähentävän loukkaantumiseen johtavia onnettomuuksia lähes saman verran, 8–16 prosenttia. (Vårhelyi 2002a.)

Tanskassa testattiin tiedottavaa nopeudensäätelyjärjestelmää pienessä projektissa vuosina 1998–2001. Tulokset olivat lupaavia. Nopeudet alenivat 5–6 km/h, mikä vastaa noin 25 prosenttia pienempää onnettomuusriskiä. (Nielsen & Lahrmann 2004)

TAC Safecar -projektissa tutkittu varoittava nopeudensäätelyjärjestelmä (nopea auditiivinen varoitus sekä vilkkuva visuaalinen varoitus) antoi varoituksen, jos ajoneuvo ajoi 2 km/h tai enemmän yli nopeusrajoituksen. Kuljettajat, jotka eivät reagoineet varoitukseen 2 sekunnissa, tunsivat painetta kaasupolkimella, kunnes alensivat nopeutta. Järjestelmän arvioitiin vähentävän kuolemaan johtavia onnettomuuksia jopa 8 % ja vakaviin loukkaantumisiin johtavia onnettomuuksia 6 %. Järjestelmä oli tehokkain alentamaan nopeuksia 60 km/h -alueilla. (Regan ym. 2006.)

Brittiläinen tutkimus summaa (Carsten ym. 2008) tiedottavan, staattisiin nopeusrajoituksiin perustuvan älykkään nopeudensäätelyjärjestelmän vaikutuksia. Nopeussuosituksia antavan järjestelmän on arvioitu vähentävän loukkaantumisiin johtavia onnettomuuksia noin 10 prosenttia ja kuolemaan johtavia onnettomuuksia noin 18 prosenttia (Carsten & Fowkes 2000). Pakottavan tai kuljettajan toimintaan puuttuvan järjestelmän on arvioitu alentavan loukkaantumisiin johtavia onnettomuuksia noin 20 prosenttia ja kuolemia jopa 40 prosenttia (Carsten & Fowkes 1998, Gustafsson 1997, Lind 1997).

2.2 Pimeän ajan tuki

Wardin ym. (1994) mukaan Jaguarin pimeän ajan tukijärjestelmä vähensi nopeuksia noin 5 km/h, mutta samalla nopeuksien hajonta kasvoi. Nopeuksien laskun he selittivät sillä, että järjestelmän käyttö kuormitti kuljettajaa. Gish ym. (2002) raportoivat samansuuruisesta nopeuden laskusta (5 km/h) Cadillacin

järjestelmän kanssa, jossa on erillinen tuulilasiin heijastuva näyttökuva (HUD). Stanton ja Pinto (2000) tutkivat simulaatiokokeessa nopeuksia pimeässä pimeän ajan tuen kanssa ja sitä ilman. Keskinopeus kasvoi noin 20 km/h, kun järjestelmä oli käytössä (40 mph → 55 mph). Nilsson ja Alm (1996) tekivät myös simulaatiokokeen kuljettajan nopeuden valinnasta sumussa tuulilasiin heijastuvan näyttökuvan kanssa ja sitä ilman. Nopeudet kasvoivat merkittävästi (noin 50 %) tukijärjestelmää käytettäessä. Myös nopeuksien hajonta kasvoi merkittävästi.

Kasvava kuljettajan kuormitus on tärkeä asia pimeän ajan tukijärjestelmien mahdollisia vaikutuksia tarkasteltaessa. Joidenkin yllä mainittujen tutkimusten tulosten perusteella on pääteltävissä, että kuormitus on sitä pienempi, mitä parempi järjestelmän käyttämä näyttö on (ja päinvastoin), mutta myös kuljettajien valitsema nopeus kasvaa parempia näyttöjä käytettäessä (Rumar 2002).

2.3 Ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin (ACC)

Hollantilainen liikenneturvallisuustutkimuslaitos SWOV (2008) on koonnut ACC:n turvallisuusvaikutuksia eri tutkimusten tulosten perusteella. ACC kehitettiin ensisijaisesti parantamaan mukavuutta eikä turvallisuutta, mutta sillä odotetaan olevan myös vaikutuksia liikenneturvallisuuteen. Ennustetut turvallisuusvaikutukset kuitenkin vaihtelevat, joten vaikutusten laajuutta on vaikea määritellä.

Useita tutkimuksia on tehty ACC:n vaikutuksista kuljettajakäyttäytymiseen, mutta eri tutkimukset päätyivät erilaisiin tuloksiin. Joidenkin tutkimusten mukaan ACC:lla voisi olla positiivinen vaikutus liikenneturvallisuuteen, kun esimerkiksi keskinopeus ja korkeimmat käytetyt nopeudet alenevat, tai nopeuksien hajonta pienenee sekä hyvin lyhyiden turvavälien osuus vähenevät. Myös negatiivisia turvallisuusvaikutuksia on havaittu, kuten ajoneuvon sijainnin vaihtelevuutta kaistalla, myöhäistä jarruttamista sekä lisääntynyttä seisovaan joon törmäämistä. SWOV (2008)

Erot eri ACC-järjestelmien toiminnallisten ominaisuuksien välillä saattavat johtaa erilaisiin vaikutuksiin ajokäyttäytymisessä. Järjestelmät, jotka huolehtivat suuremmasta osasta ajotehtäviä ja antavat kuljettajille enemmän tukea vaarallisissa tilanteissa, näyttävät johtavan korkeampiin ajonopeuksiin. SWOV (2008)

Pienillä liikennemäärillä keskimääräiset ajonopeudet laskevat ja nopeuksien hajonta pienenee. Toisaalta suurilla liikennemäärillä keskimääräinen ajonopeus kasvaa ja nopeuksien hajontakin kasvaa. Nämä vaikutukset eivät kuitenkaan ole niin selviä kuin pienillä liikennemäärillä. On esitetty, että liikenneturvallisuuden kannalta ACC:n käyttöä tulisi välttää maanteilla, joilla on mutkia ja liittymiä, sekä kaupunkiteillä, sillä näkökentän ulkopuolella olevien pienten ääriiivojen ja ajoneuvojen havainnointi vaikeutuu. SWOV (2008)

Hiljattain toteutetun hollantilaisen kenttäkokeen mukaan ACC voisi vähentää liikenneonnettomuuksien määrää moottoriteillä noin 13 ja maaseudun pääteillä noin 3,4 prosenttia, jos kaikissa ajoneuvoissa olisi ACC. (SWOV 2008)

2.4 Ajoneuvojen sisäisten ja kooperatiivisten järjestelmien vertailututkimukset

EU-hankkeissa CODIA, eIMPACT ja PReVAL tehdyt arviot kattavat yli 20 järjestelmän vaikutukset EU:n tieliikenteessä kuolleiden ja loukkaantuneiden määriin. Vaikutuksia arvioitiin näissä hankkeissa samanlaisella menetelmällä, mikä mahdollistaa järjestelmien keskinäisen vertailun. Menetelmä kehitettiin eIMPACT-hankkeessa ja sitä sovellettiin aluksi eIMPACT- ja PReVAL-hankkeissa. CODIA-hanke teki joitain tarkennuksia menetelmään: arvioissa otettiin aikaisempaa tarkemmin huomioon järjestelmien käyttö määrä ja nk. infra-penetraatiot eli järjestelmien toiminnan edellyttämät asennukset tiehen ja muuhun ympäristöön.

eIMPACT- ja PReVAL-hankkeissa arvioitiin useita PreVENT-hankkeessa kehitettyjä järjestelmiä ja sovelluksia. PReVENT oli viime vuosien isoin (55 M€) autoteollisuuden EU-hanke. Nimi koostuu sanoista preventive and active safety, 'ennalta ehkäisevää ja aktiivista turvallisuutta'. Useimmat PReVENTin järjestelmistä perustuivat ympäristön havainnointiin kameralla, laserilla ja tutkalla. Monitorointitietoa käytettiin pääasiassa kuljettajan varoittamiseen vaaratilanteista. Esitellyistä järjestelmistä onnettomuuden seurauksia lieventävä järjestelmä ja kaistavahti sisälsivät myös toiminnallisuutta, jossa auto jarruttaa itsenäisesti tai pitää ajoneuvoa kaistalla. Myös autojen välistä tiedonsiirtoa demonstroitiin.

Järjestelmät olivat tässä vaiheessa viimeistelemättömiä prototyyppejä. Ensimmäisiä tuotteita odotetaan noin viiden vuoden päästä. Käytettyjen anturijärjestelmien hinta prototyyppisovelluksina nousi vielä kymmeniin tuhansiin euroihin.

Liitteessä 1 on kuvattu tässä tutkimuksessa käsitellyt 12 ajoneuvojärjestelmää, jotka suurelta osin perustuvat PReVENT-hankkeen kehitystyöhön. Liitteessä 2 on esitetty tarkemmin PReVENTin järjestelmiä niillä työnimillä, joita hankkeessa käytettiin (kuvaus perustuu PReVAL-hankkeeseen ja PReVENT IP Exhibition -messutapahtuman käyttökokemuksiin).

Taulukkoon 2 on koottu lyhyet kuvaukset näissä kolmessa EU-hankkeessa käsitellyistä järjestelmistä sekä kerrottu, minkä hankkeen tuloksiin tämän tutkimuksen tulokset Suomen aineistoon vietyinä perustuvat.

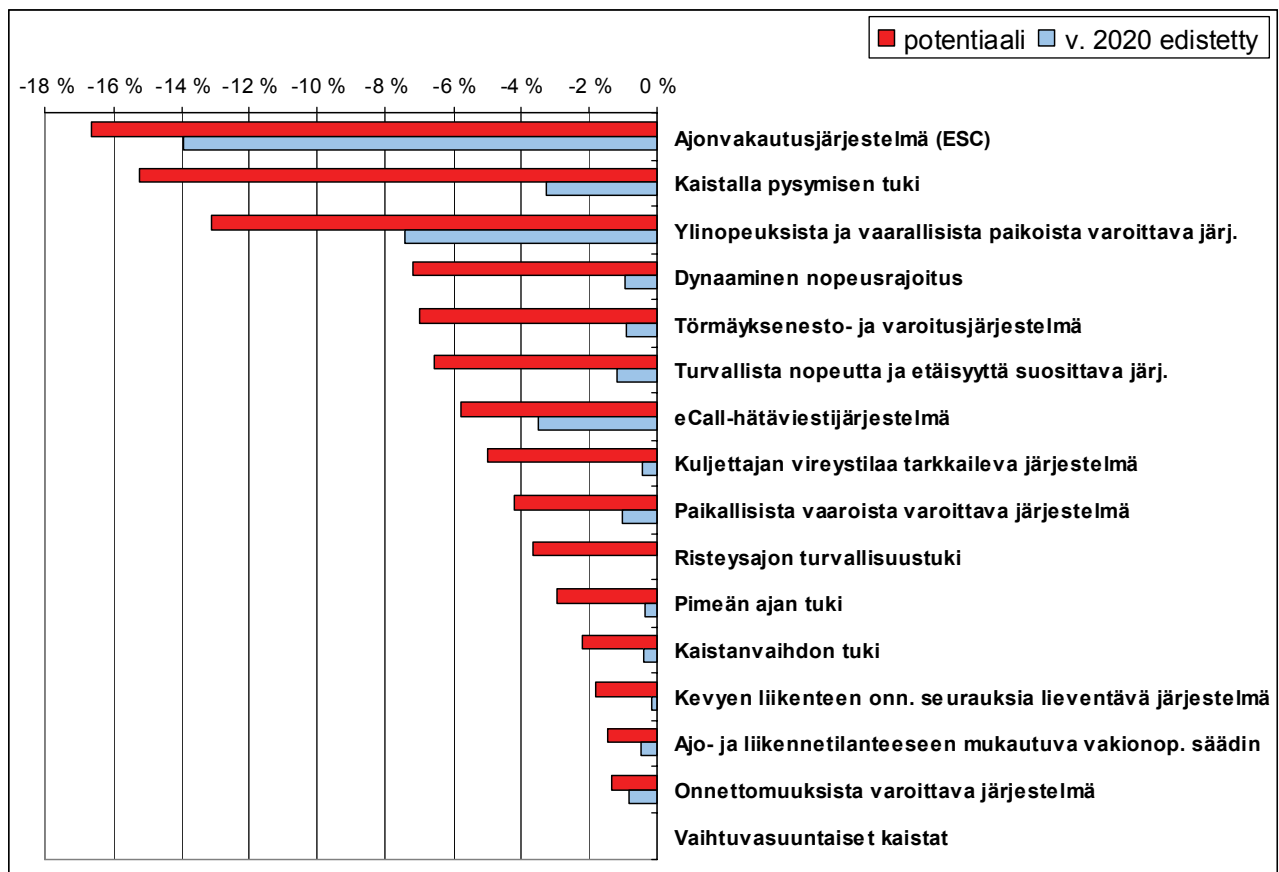
Taulukko 2. Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien nimet, lyhyet kuvaukset sekä projektiviittaus.

Järjestelmän nimi (lyhenne)	Kuvaus toiminnasta (vaikutusarviohanke)
Ajonvakautusjärjestelmä (Electronic stability control, ESC)	Ajonvakautusjärjestelmän tarkoitus on korjata kuljettajan tekemiä ohjausvirheitä ja ehkäistä luisumista aktiivisella jarrujen väliintulolla ja moottorin vääntöä säätelemällä (eIMPACT)
Kaistalla pysymisen tuki (Lane keeping support)	Kaistalla pysymisen tuen aktiivinen ohjaustuki auttaa kuljettajaa pitämään ajoneuvon oikealla kaistalla. (eIMPACT)
Ylinopeuksista ja vaarallisista paikoista varoittava järjestelmä (Maps&Adas-projekti)	Järjestelmä varoittaa kuljettajaa nopeusrajoituksen ylittämisestä sekä onnettomuusalttiista paikoista, kuten tiukoista kaarteista ja jyrkistä mutkista. (PReVAL)
Dynaaminen nopeusrajoitus	Järjestelmä antaa nopeussuosituksen, joka ottaa nopeusrajoituksen lisäksi huomioon kelin, tiellä olevat esteet ja ruuhkatilanteet (CODIA)
Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmässä (Emergency braking)	Järjestelmässä on erilaisia toimintoja, joiden avulla kuljettaja voi välttää törmäyksiä edellä ajavaan. Järjestelmä lieventää sellaisten törmäysten seurauksia, jota ei voida välttää. Toimintoihin kuuluvat ennakoiva jarrutusavustin, ennakoiva törmäysvaroitus, ennakoiva hätäjarrutusavustin (eIMPACT)
Turvallista nopeutta ja etäisyyttä suositava järjestelmä (Saspence-projekti)	Järjestelmä antaa kuljettajalle varoituksia tai suosituksia turvallisen nopeuden ja välimatkan pitämiseksi edellä ajavaan. Järjestelmä ottaa huomioon olosuhteita, kuten tiegeometrian (PReVAL)
Automaattinen hätäviestijärjestelmä eCall	Järjestelmä lähettää hätäviestin ja avaa puheyhteyden lähimpään hätäkeskukseen onnettomuuden sattuessa. (eIMPACT)
Kuljettajan vireystilan tarkkailu (Driver drowsiness monitoring and warning)	Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmä varoittaa kuljettajaa vireystilan heikentyessä. (eIMPACT)
Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä (Wireless local danger warning)	Järjestelmä välittää muihin autoihin dynaamista tietoa havaitsemistaan esteistä, huonosta säästä ja kelistä sekä ruuhkista (CODIA)
Pimeän ajan tuki (Night vision warning)	Auttaa kuljettajaa näkemään ajovalojen valokeilaa pidemmälle ja tarvittaessa myös varoittaa kuljettajaa esteistä ajoradalla. (eIMPACT)
Kaistanvaihdon tuki (Lane change assistant and warning)	Kaistanvaihdon tuki varoittaa lähellä olevista ajoneuvoista (ajoneuvon vieressä tai takana) juuri ennen kaistanvaihtoa. (eIMPACT)
Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä	Järjestelmä tunnistaa suojaattomat tienkäyttäjät ja tarvittaessa varoittaa kuljettajaa ja tekee automaattisen hätäjarrutuksen (ei passiivisen turvallisuuden lisäystä) (eIMPACT)
Koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin (ACC FSR)	Järjestelmä pitää ajoneuvon nopeuden kuljettajan määrittämällä tasolla, tai mikäli edellä ajaa hitaampi ajoneuvo, järjestelmä pitää kuljettajan määrittelemän etäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon. (eIMPACT)
Risteysajon turvallisuustuki (Intersection safety)	Järjestelmä tunnistaa muut risteyksessä olevat tai sitä lähestyvät tienkäyttäjät (lyhyellä aikavälillä muut ajoneuvot, pidemmällä myös jalankulkijat ja pyöräilijät). Törmäyskurssilla olevat tienkäyttäjät sekä törmäyksen läheisyys määritetään, ja kuljettajia varoitetaan tilanteesta. Myös punaisesta liikennevalosta varoitetaan tarvittaessa (CODIA)
Onnettomuuksista varoittava järjestelmä	Järjestelmä havaitsee onnettomuuden ja lähettää tietoa ajoneuvon sijainnista välittömässä läheisyydessä sijaitseville muille ajoneuvoille sekä onnettomuuspaikkaa lähestyville. (CODIA)
Vaihtuvasuuntaiset kaistat	Vaihtuvasuuntaiset kaistat toimivat monikaistaisilla kaupunkiteillä tai moottoriteillä. Järjestelmä optimoi liikenteen kulkua sopeuttamalla kaistojen määrän ja suunnan liikennemäärän mukaiseksi. Tieto kerätään silmukoiden, kameroiden ja ajoneuvojen kautta ja lähetetään liikennekeskukseen käsiteltäväksi. (CODIA)

eIMPACT- ja PreVAL-hankkeet arvioivat sekä ajoneuvojen sisäisten järjestelmien että kooperatiivisten järjestelmien vaikutuksia, CODIA-hanke kohdistui erityisesti kooperatiivisiin järjestelmiin.

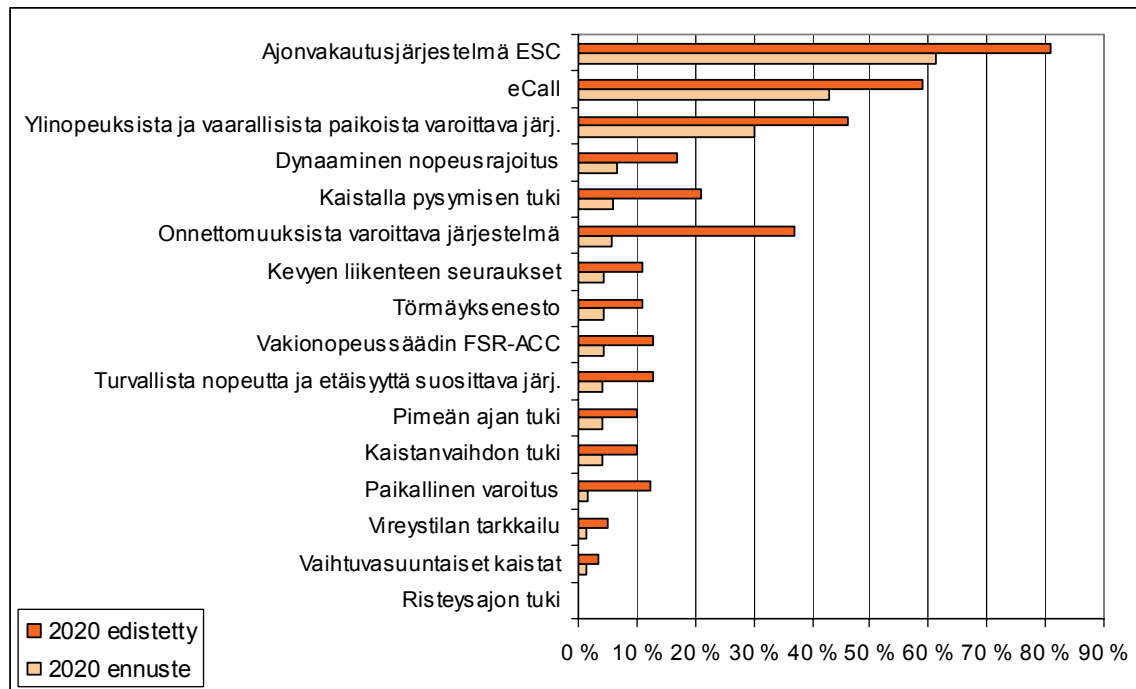
Kun järjestelmät asetettiin paremmuusjärjestykseen sen perusteella, kuinka suuri potentiaali niillä on estää liikennekuolemia, parhaimmiksi järjestelmiksi osoittautuivat ajonvakautusjärjestelmä, kaistalla pysymisen tuki ja ylinopeuksista varoittava järjestelmä (kuva 4). Tilanteessa, jossa kyseisen järjestelmän ajateltiin olevan jokaisessa ajoneuvossa, järjestelmien potentiaali vähentää liikennekuolemia vaihteli yhden ja 17 %:n välillä. Järjestelmien vaikutus loukkaantumisten määrään vaihteli hyvin pienestä kasvusta (0,1 %) noin 9 %:n vähenemiseen.

Kuvassa 4 on esitetty myös arvio turvallisuusvaikutuksista, kun yleistymisaste otetaan huomioon (korkea yleistymisaste eli tuettu skenaario vuodelle 2020). Tällöin parhaiten menestyviä järjestelmiä olisivat ESC, eCall sekä ylinopeuksista ja vaarallisista paikoista varoittava järjestelmä.

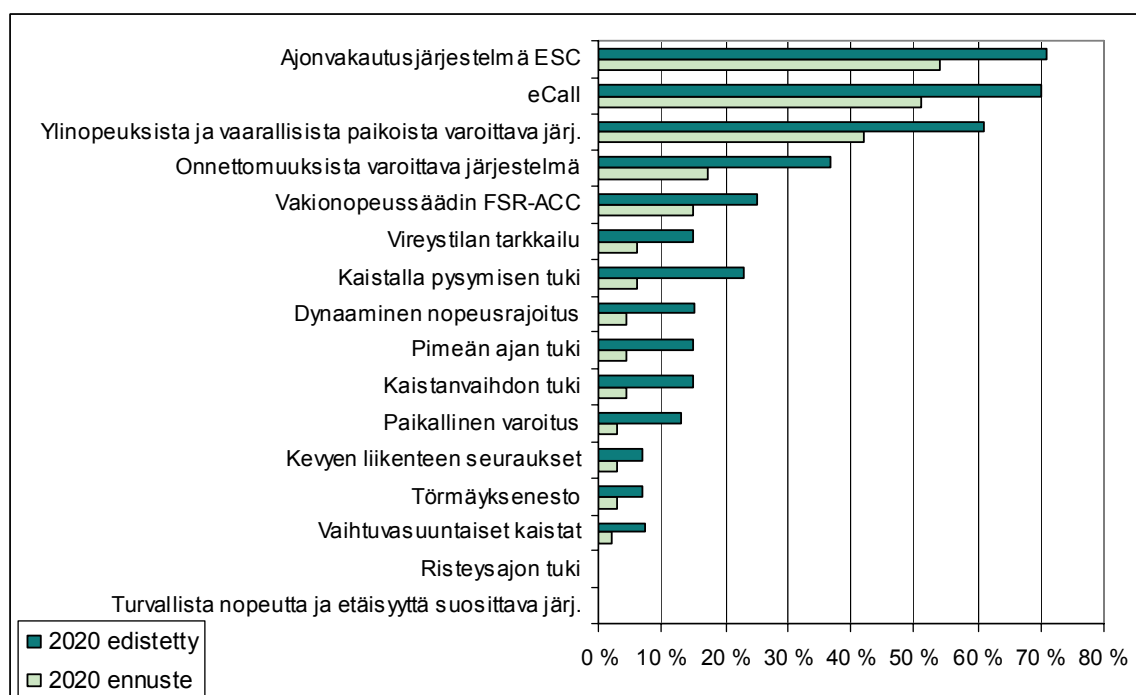


Kuva 4. Eräiden järjestelmien odotettu potentiaalinen turvallisuusvaikutus, jos kyseessä oleva järjestelmä olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin (100 % yleisyys autoissa) sekä turvallisuusvaikutus, jossa on otettu huomioon järjestelmien yleisyys vuonna 2020, mikäli järjestelmien yleistymistä on tuettu. (Wilmink ym. 2008, Scholliers ym. 2008, Kulmala ym. 2008a.)

Tieto järjestelmien yleistymisestä tuotettiin eIMPACT-hankkeessa (kuva 5: Henkilöautot ja kuva 6: Kuorma-autot). Tämä arvio tuotettiin työpajatyöskentelyssä, johon osallistui autoteollisuuden, laitevalmistajien, EU-komission virkamiesten, tutkimuslaitosten ja konsulttien edustajia (Wilmink ym. 2008). Yleistymisestä laadittiin neljä eri skenaariota, jotka olivat oletettu yleistyminen (business as usual) vuosille 2010 ja 2020 sekä toimenpitein tuettu (promoted) yleistyminen vuosille 2010 ja 2020. Tarkastelu osoitti, että vuosi 2010 on vielä liian aikainen useille järjestelmille.

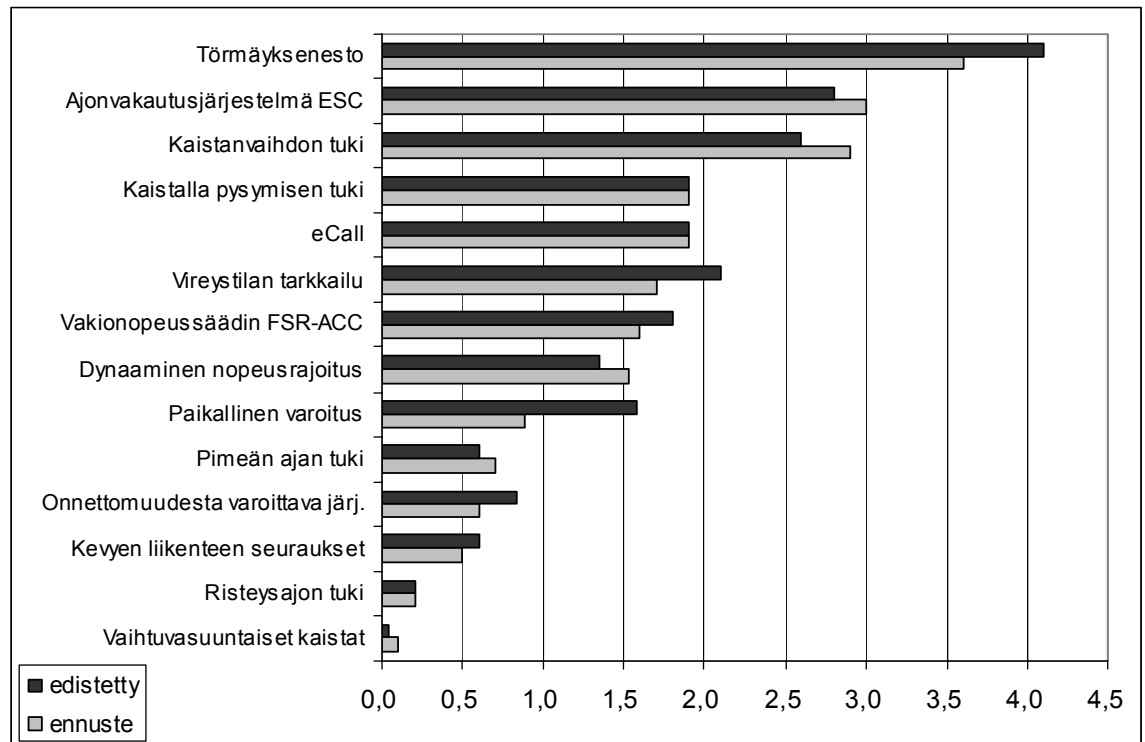


Kuva 5. Järjestelmien yleisyys henkilöautoissa vuonna 2020 (järjestelmällä varustetuilla ajoneuvoilla ajettujen kilometrien osuus kaikista ajetuista kilometreistä).



Kuva 6. Järjestelmien yleisyys raskaissa ajoneuvoissa vuonna 2020 (järjestelmällä varustetuilla ajoneuvoilla ajettujen kilometrien osuus kaikista ajetuista kilometreistä).

CODIA- ja eIMPACT-hankkeisiin sisältyi myös järjestelmien kannattavuuden vertailu (kuva 7.). Näissä tarkasteluissa otettiin huomioon paitsi järjestelmien liikenneturvallisuusvaikutukset myös liikenne- ja ympäristövaikutukset sekä järjestelmien hintatiedot. Hyöty-kustannussuhteeltaan tehokkaimmiksi järjestelmiksi osoittautuivat törmäyksenestojärjestelmä, ajonvakautusjärjestelmä sekä kaistanvaihdon tuki.



Kuva 7. eIMPACT- ja CODIA-hankkeiden hyöty-kustannusarvioita (luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään, eIMPACT: vuosi 2020, CODIA: vuosi 2030).

3 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida ajoneuvojen telemattisten järjestelmien potentiaalisia vaikutuksia Suomessa tapahtuneisiin liikennekuolemiin ja liikenteessä tapahtuneisiin henkilövahinkoihin. Kohteena olevat järjestelmät olivat

- elektroninen ajonvakautusjärjestelmä
- ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin
- törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmä
- kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä
- kaistanvaihdon tuki
- kaistalla pysymisen tuki
- pimeän ajan tuki
- kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmä
- automaattinen hätäviestijärjestelmä
- dynaaminen nopeusrajoitusjärjestelmä
- paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä
- risteysalueiden varoitusjärjestelmät

Yksityiskohtaisia tutkimuskysymyksiä olivat seuraavat:

- Miten järjestelmät vaikuttavat Suomen liikennekuolemiin ja loukkaantumisiin?
- Kuinka paljon liikennekuolemat vuosina 2002–2006 olisivat vähentyneet, jos järjestelmät olisivat olleet käytössä täysimääräisesti?
- Kuinka paljon liikenteessä tapahtuneet loukkaantumiset vuosina 2002–2006 olisivat vähentyneet, jos järjestelmät olisivat olleet käytössä täysimääräisesti?

Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin, mitkä vaikutukset olisivat vuonna 2020, jos järjestelmien arvioitu yleistymisen otetaan huomioon.

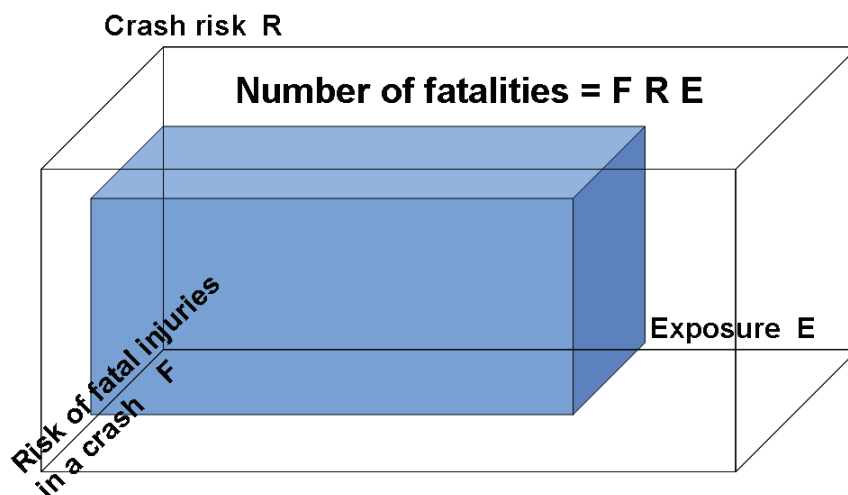
Arvioiden perusteena käytettiin tietoa kunkin järjestelmän vaikutuksista PReVAL-, eIMPACT- ja CODIA-hankkeissa. Arviot sovitettiin suomalaisiin olosuhteisiin ja onnettomuusaineistoon.

4 Turvallisuusvaikutusten arviointimenetelmä

4.1 Vaikutusmekanismien kuvaus

Ajoneuvojärjestelmillä voi olla sekä tarkoitettuja että tarkoittamattomia vaikutuksia. Etukäteen ei ole mahdollista määritellä, minkä tyyppisiin onnettomuuksiin järjestelmä vaikuttaa, vaikka järjestelmän kehittäjät tyypillisesti ottavat lähtökohdaksi tietyn onnettomuusryhmän. Tästä syystä on tärkeää, että ajoneuvojärjestelmien kaikki mahdolliset vaikutukset selvitetään systemaattisesti.

Lähtökohtana on liikenteen järjestelmäluonne. Kun järjestelmän yhteen osaan kohdistuu vaikutus, seurausvaikutukset voivat koskea useita järjestelmän osia ja tasoja sekä välittömästi että pitkällä aikavälillä. Liikenneturvallisuus on kolmen kohtisuoran tekijän tulo: 1. altistuksen, 2. matkan aikaisen onnettomuuden riskin ja 3. loukkaantumisen tai kuoleman riskin onnettomuudessa (kuva 8).



Kuva 8. Liikenneturvallisuuden osatekijät (Nilsson 2004).

Analyseissä tarkasteltiin näitä kolmea päätekijää käsittelemällä yhdeksää käyttäytymismekanismia, joiden avulla ajoneuvojärjestelmät vaikuttavat turvallisuuteen (Draskóczy ym. 1998). Ensimmäiset viisi mekanismia ovat yhteydessä onnettomuusriskiin:

1. Välittömät ajoneuvossa tehtyjen muutoksien vaikutukset ajamiseen
2. Tienvarsijärjestelmien välittömät vaikutukset
3. Välilliset muutokset käyttäjän käyttäytymiseen
4. Välilliset muutokset ei-käyttäjän käyttäytymiseen
5. Muutokset käyttäjän ja ei-käyttäjän vuorovaikutukseen

Toinen ryhmä tarkastelee lähinnä altistusta:

6. Muutokset tienkäyttäjän altistuksessa
7. Muutokset kulkumuodon valinnassa
8. Muutokset reittivalinnassa

Viimeisenä on mekanismi joka käsittelee muutoksia onnettomuuksien seurauksissa:

9. Muutokset onnettomuuksien seurauksissa

Alla seuraa mekanismien lyhyt selitys ja joitakin kuvaavia esimerkkejä. Kaikilla mekanismeilla voi olla myönteinen tai kielteinen vaikutus liikenneturvallisuuteen.

Mekanismi 1: Välittömät ajoneuvossa tehtyjen muutoksien vaikutukset ajamiseen

Ajamistapahtumaan vaikutetaan suoraan antamalla tietoa, neuvoja ja avustamalla tai hoitamalla osa ajamissuorituksesta ajoneuvojärjestelmän avulla. Järjestelmä voi vaikuttaa kuljettajan tarkkaavaisuuteen, henkiseen kuormitukseen ja toimenpidepäätökseen (esim. kuljettajan ajonopeusvalinta) tai järjestelmä voi itse käyttää kaasupoljinta tai jarrujärjestelmää. Mekanismin kriteerinä on, että vaikutukset ovat järjestelmän käytön välittömiä seurauksia; ne ovat välittömiä reaktioita järjestelmän antamiin tuloksiin ja tapahtuvat millisekunneissa tai sekunneissa. Tämä mekanismi käsittää sekä tarkoitukselliset (esim. hidastaminen onnettomuuden ehkäisemiseksi) että tarkoittamattomat vaikutukset (esim. kuljettajan häiritseminen).

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmien välittömät vaikutukset

Tienvarsijärjestelmien välittömät vaikutukset perustuvat tyypillisesti tiedonjakeeseen ja neuvontaan. Koska järjestelmät eivät voi suoraan vaikuttaa kuljettajan tekemiseen tai ajoneuvoon, vaikutukset ovat rajoitetumpia kuin ajoneuvojärjestelmissä. Muuten vaikutukset ovat samanlaisia kuin mekanismilla 1.

Mekanismi 3: Välilliset muutokset käyttäjän käyttäytymiseen

Välillisiä muutoksia käyttäjän käyttäytymiseen esiintyy monilla, enimmäkseen tuntemattomilla tavoilla. Kuljettaja mukautuu aina muuttuvaan tilanteeseen. Tätä kutsutaan usein mukautuvaiseksi käyttäytymiseksi, eikä sitä usein ilmaannu heti, kun järjestelmä on otettu käyttöön. Se voi kuitenkin tulla esiin myöhemmin ja olla erittäin vaikeaa ennustaa. Vaikutus on hyvin tunnettu liikenneturvallisuustutkimuksen piirissä (esim. Elvik & Vaa 2004, Shinar 2007). Mukautuva käytös voi ilmetä monella tapaa esim. seuraamisetäisyyden muutoksena, nopeuden muutoksena, muutoksena oletuksissa muiden liikennekäytöksestä tai tarkkaavaisuuden uudelleenjakona.

Mekanismi 4: Välilliset muutokset ei-käyttäjän käyttäytymiseen

Tällainen käyttäytymisen mukautuminen on jopa vaikeampaa ennustaa, koska se on usein toissijaista. Kuljettajat, jotka eivät käytä järjestelmää, voivat muuttaa käyttäytymistään jäljittelemällä järjestelmän käyttäjien tapoja esimerkiksi ajamalla lähempänä tai nopeammin kuin ilman järjestelmää pitäisi tai hidastamalla, koska järjestelmän omaava kuljettaja edellä tekee niin. Oletetaan, että vaikutus ei-käyttäjien käytökseen on hyvin alhainen silloin, kun järjestelmän peittoaste on pieni, mutta kasvaa maksimiinsa 50 prosentin peittoasteella ja lä-

hentyy taas nollaa, kun järjestelmän peittoaste lähenee sataa prosenttia. Vaikutusta on mallinnettu laskelmissa toisen asteen polynomilla.

Mekanismi 5: Muutokset käyttäjän ja ei-käyttäjän vuorovaikutukseen

Ajoneuvojärjestelmät muuttavat järjestelmää käyttävien tienkäyttäjien välistä kommunikaatiota. Tämä muutos voi vaikuttaa perinteiseen kommunikaatioon ei-käyttäjien kanssa. Enimmäkseen ongelmia voi esiintyä kuljettajien ja kevyen liikenteen välillä. Tämä mekanismi korostaa aktiivista kommunikaatiota tienkäyttäjien välillä verrattuna passiivisempaan matkimiskäyttäytymiseen (mekanismissa 4). Vuorovaikutteisissa järjestelmissä kuljettajan tukena on ajoneuvon ja ympäristön tai ajoneuvojen välinen tiedonsiirto, jonka perusteella kuljettaja saa varoituksia potentiaalisista törmäystilanteista muiden ajoneuvojen kanssa. Tällöin on hyvin todennäköistä, että kuljettajat oppivat tarkkailemaan muita ajoneuvoja, joista he ovat tottuneet saamaan varoituksia, ja jättämään vähemmälle huomiolle kevyen liikenteen. Esimerkiksi risteysturvallisuusjärjestelmissä tämä voi johtaa huonontuneeseen vuorovaikutukseen risteysen haaraa ylittävän jalankulkijan kanssa silloin, kun järjestelmällä varustettu ajoneuvo tulee risteykseen. Ajoneuvojärjestelmät voivat myös parantaa vuorovaikutusta kevyen liikenteen kanssa. Nopeusvaroitintutkimukset osoittavat, että kuljettajat, joita järjestelmä kehottaa hidastamaan, ovat valmiimpia tarkkailemaan kevyttä liikennettä ja antamaan näille tietä risteyksissä (Hjälmdahl 2004). Vuorovaikutuksen vaikutukset voivat koskea myös muita ei-käyttäjiä kuin kevyttä liikennettä. Silloin kun vuorovaikutuksen vaikutukset kohdistuvat ajoneuvoihin, joissa ei ole järjestelmää, vaikutuksia käsiteltiin samalla tavalla kuin mekanismissa 4, eli vaikutukset saavuttavat maksiminsa 50 prosentin peittoasteella ja ovat nolla sekä nollan että sadan prosentin peittoasteen.

Mekanismi 6: Muutokset tienkäyttäjän altistuksessa

Tienkäyttäjän altistus voi muuttua esimerkiksi tiedotuksen, suositusten, rajoitusten, käyttömaksujen tai kohonneen ajomukavuuden seurauksena. Tämä mekanismi koskee vain suoritteen muutoksia, eli päättääkö tienkäyttäjä ajaa enemmän vai vähemmän, tai pitempiä vai lyhyempiä matkoja järjestelmän vuoksi. Ajoneuvojärjestelmän vaikutukset voivat olla suuria, koska vaikutukset eivät koske vain tiettyjä onnettomuustyppejä vaan niitä kaikkia.

Mekanismi 7: Muutokset kulkumuodon valinnassa

Kulkumuotovalintaan voidaan vaikuttaa esimerkiksi ohjaamalla kysyntää (alueelle pääsyn rajoittaminen, tietullit, aluepysäköintistrategiat) tai tarjontaa (kulkumuotojen yhteiskäyttö ja muut joukkoliikennetoimenpiteet sekä matkatietojärjestelmät). Jos henkilöautolla ajamisesta tulee houkuttelevampaa järjestelmän myötä, voivat henkilöautomatkat lisääntyä joukkoliikennematkojen kustannuksella. Eri kulkumuodoilla on eri onnettomuusriskinsä, joten mikä tahansa toimenpide, joka vaikuttaa kulkumuodon valintaan, vaikuttaa myös liikenneturvallisuuteen. On huomattava, että liikenneturvallisuuden vaikutustarkasteluissa on otettava huomioon koko matkaketjun turvallisuusvaikutukset mukaan lukien esimerkiksi kävely linja-autopysäkillä.

Mekanismi 8: Muutokset reittivalinnassa

Muutokset reittivalinnassa voivat olla seurausta kysynnän rajoittamisesta reitinhjauksella, reitinhjausjärjestelmistä, dynaamisista reittitietojärjestelmistä tai häiriöitä tarkkailevista varoitusjärjestelmistä. Tieverkon eri osilla eli eri tieluokilla on erisuuruiset keskimääräiset onnettomuusriskit, joten toimenpiteet, jotka vaikuttavat reitin valintaan ohjaamalla liikennettä eri tieluokan reiteille vaikuttavat myös onnettomuusriskiin.

Mekanismi 9: Muutokset onnettomuuksien seurauksissa

Onnettomuuksien seurauksia voidaan muuttaa älykkäillä vamman vakavuutta lieventävillä ajoneuvojärjestelmillä, nopeilla ja tarkoilla kolari-ilmoituksilla sekä lyhentämällä pelastamisaikaa. Seurauksia voidaan myös lieventää tai pahentaa törmäysnopeutta muuttamalla. Tämä vaikutus on kuitenkin jo otettu huomioon muissa mekanismeissa (yleensä 1 ja 3), eikä sitä ole otettu tässä kohdassa mukaan kaksoislaskennan riskin välttämiseksi.

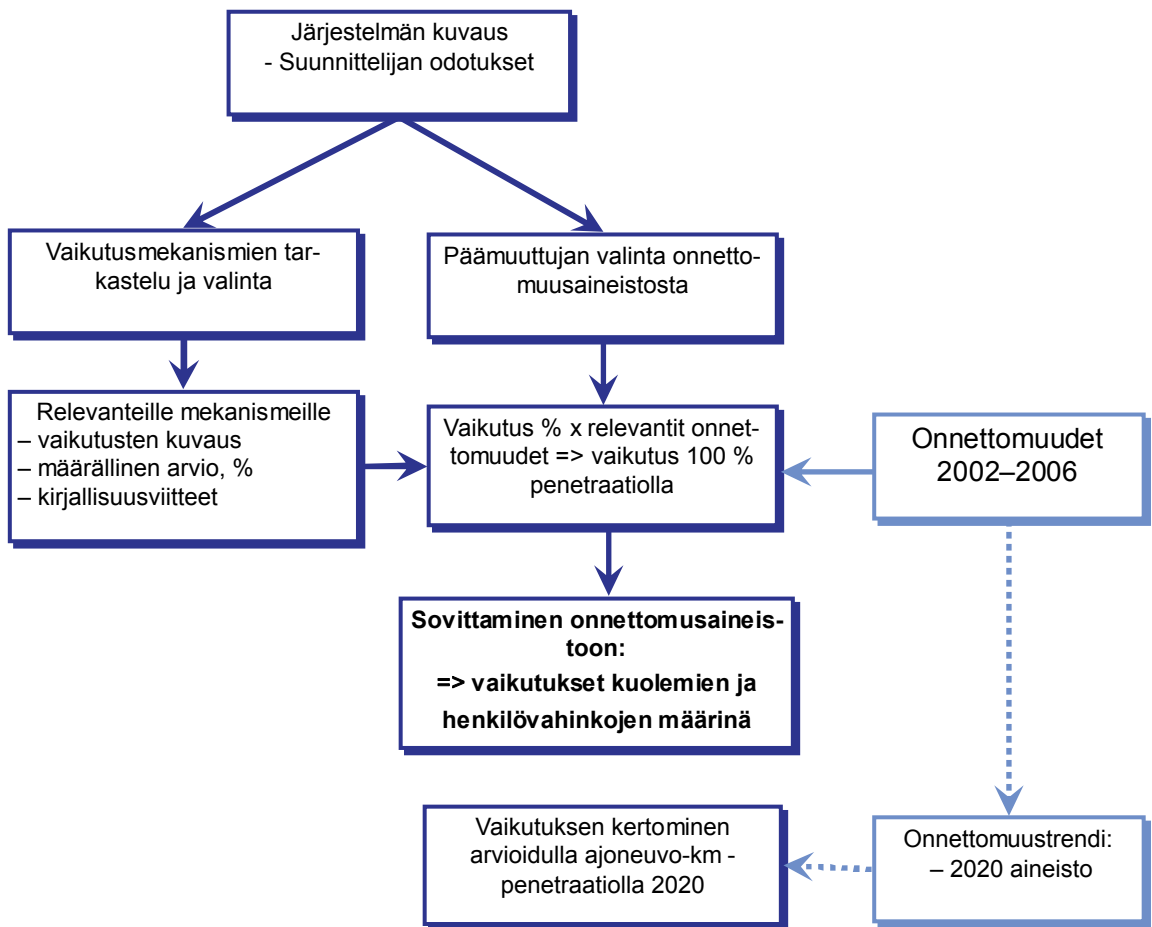
Yhteenvedona voidaan todeta, että analyysien tarkoituksena ei ole ottaa huomioon vain järjestelmien tarkoitettuja välittömiä vaikutuksia vaan myös välilliset ja tahattomat vaikutukset mukaan lukien käyttäytymisen muutokset pitkän käyttöajan mittaan. Lisäksi on otettu huomioon, että vaikutukset muuttuvat tien kunnon ja olosuhteiden mukaan. Tämän pitäisi varmistaa, että analyysit kattavat turvallisuusvaikutukset laajasti.

4.2 Vaikutukset kuljettajan käyttäytymiseen olennaisten turvallisuusmekanismien kannalta

Turvallisuusvaikutusten tarkastelu aloitettiin kohteena olevan järjestelmän määrittelyllä. Järjestelmän määrittelyssä keskeistä oli kuvata järjestelmä suunnittelijan ja käyttäjän tavoitteiden näkökulmasta; kuvata kuljettajan ennakoitua reaktiota ja tavoiteltuja liikennevirtavaikutuksia. Esimerkiksi seuraavat asiat olivat olennaisia järjestelmän turvallisuustoimintoja määriteltäessä:

- Mikä on järjestelmän suunnittelun syy, mihin turvallisuusongelmaan järjestelmä puuttuu ja miten järjestelmän on tarkoitus estää tai lieventää onnettomuuksia? Mikä onnettomuusluokka on järjestelmän kohteena?
- Miten järjestelmä muuttaa kuljettajan käyttäytymistä sekä liikennetilanteiden ja ajoneuvon hallintaa verrattuna tilanteeseen ilman järjestelmää?
- Miten järjestelmä on vuorovaikutuksessa kuljettajan kanssa?
- Mitä vaatimuksia järjestelmä asettaa kuljettajalle, ajoneuville, ympäristölle tai olosuhteille (eli toimiiko järjestelmä kaikissa olosuhteissa vai vain valituissa)?
- Miten järjestelmä on vuorovaikutuksessa muiden sovellusten kanssa?

Kuvassa 9 on yleiskuva vaikutusanalyysin vaiheista.



Kuva 9. Kokonaiskaavio turvallisuusvaikutustarkastelun kulusta.

Turvallisuustoimintojen yksityiskohtaisen kuvauksen jälkeen kullekin ajoneuvojärjestelmälle valittiin asiaankuuluvat turvallisuusmekanismit. Odotettavissa olevat kuljettajan käyttäytymismuutokset kuvattiin. Lisäksi arvioitiin, kuinka paljon kukin turvallisuusmekanismi vaikuttaa prosentuaalisesti kuolleiden ja loukkaantuneiden määriin. Vertailutapauksena pidettiin tilannetta ilman ajoneuvojärjestelmää. Vaikutusten oletettiin kehittyvän lineaarisesti. Arviot perustettiin kirjallisuusviitteisiin ja muuhun lähdeaineistoon. Erilaisia perusteita olivat seuraavat:

- empiriaan perustuva tutkimustieto samankaltaisilla toiminnoilla varustettujen järjestelmien turvallisuusvaikutuksista (tutkitut vaikutukset)
- asiantuntija-arviot turvallisuusvaikutuksista (ennustetut tulokset)
- välilliset todisteet turvallisuusvaikutuksista, jotka perustuivat yleisempään arvioon vaikutuksista kuljettajan käyttäytymiseen, liikennevirtaan sekä analogiat tienvarsitelematiikkaan (potentiaaliset tulokset)

Pääpaino arvioinnissa oli tulevaisuuden järjestelmissä. Tästä syystä vaikutusarviot perustuivat usein välillisiin todisteisiin. Keskeisessä asemassa olivat esimerkiksi AIDE-projektin tulokset (varsinkin Janssen ym. 2004) ja niin kutsuttu potenssimalli (Nilsson 2004), joka kuvaa suhteellisten keskinopeuksien ja

loukkaantumisonnettomuuksien välistä suhdetta. Lisäksi joissain tapauksissa tukeuduttiin oletuksiin, jotka perustuvat yleiseen tietämykseen kuljettajan käyttäytymisestä ja liikenneturvallisuudesta. Analyysissä painotettiin turvallisuusmekanismien selostusten avoimuutta.

Välillisten muutosten arvioinneissa olennaisia olivat myös seuraavat näkökohdat:

- Ensimmäinen piirre on järjestelmän näkyvyys, eli missä määrin kuljettajat voivat havaita järjestelmän toiminnan ja kuinka usein järjestelmä toimii tai antaa tietoa kuljettajalle. Jos järjestelmä on selkeästi näkyvillä tai kuljettajalle on tehty hyvin selväksi järjestelmän taustalla olo (esim. mainosmateriaalin avulla) ja järjestelmä on aktiivinen kuljettajan havaitsemalla tavalla, käyttäytymisen mukautuminen on voimakkaampaa verrattuna ei-näkyvään järjestelmään (OECD 2003, Elvik ja Vaa 2004).
- Toinen piirre on järjestelmän aiheuttaman muutoksen tyyppi. Muutoksia voidaan erottaa (a) käyttäytymisessä ja (b) kuljettajan valppaustasossa. Toisin sanoen: jotkut järjestelmät saavat aikaan enimmäkseen (tai vain) käyttäytymisreaktion, kun taas toiset enimmäkseen tuodittavat kuljettajan yleisen tarkkaamattomuuden tilaan tai olemaan vähemmän varuillaan kuin ennen.

4.3 Pääasiallisen onnettomuustyyppin valinta

Kullekin järjestelmälle valittiin yksi onnettomuusaineiston taustatekijä pääasialliseksi luokittelevaksi tekijäksi. Luokittelevia tekijöitä oli viisi: onnettomuustyyppi, tietyt tyyppi, sääolot, valoisuus ja tapahtumapaikka. Tämän pääasiallisen onnettomuustietojen luokittelumuuttujan valinta perustui saatavilla olevien aineistojen luotettavuuteen. Oletettiin, että jostakin tietystä tilanteesta voidaan todennäköisesti saada todisteita ja että kokonaisvaikutusarvio voidaan kytkeä tähän tilanteeseen. Monessa tapauksessa tärkein luokittelija oli onnettomuustyyppi; tiedettiin esimerkiksi aikaisemmista kenttäkokeista ja kirjallisuudesta, kuinka tehokkaaksi järjestelmä on arvioitu eri onnettomuustyypeille tietyllä Euroopan alueella tai maassa. Joidenkin järjestelmien arviossa lähtökohtana käytettiin tiettyä tyyppiä tai muuta tietoa tapahtumapaikasta (esim. risteysalue).

Numeerisia vaikutusarvioita tuotettiin määrättyihin tilanteisiin perustuen. Esimerkiksi risteysonnettomuuksien oletettiin vähenevän 25 prosenttia, mutta koska vaikutuksen risteysten ulkopuolella arvioitiin olevan vain prosentin, on vaikutus kaikkiin onnettomuuksiin -7 %.

4.4 Numeeristen arvioiden laskeminen Suomen aineistossa

Lähtökohtana turvallisuusvaikutusten arvioinnissa olivat EU25-alueelle aiemmin tehdyt arviot. Näissä arvioissa oli esitetty, kuinka monta prosenttia tietyn tyyppisten onnettomuuksien liikennekuolemien ja henkilövahinkojen arvioitiin vähenevän järjestelmän ansiosta. Nämä prosentteina ilmaistut vaikutukset tarkistettiin ja vietiin sitten tarkistettuina Suomen aineistoon, jonka onnettomuus-

tyyppien jakautuminen poikkesi jonkin verran koko EU25-alueen kattavasta jakaumasta (jakaumat on esitetty luvussa 4.5). Pääasiallisen luokittelumuuttujan jakauma painotti arviota. Painotuksessa vaikutusarvioiden osoittama prosenttimuutos kerrottiin kyseisten onnettomuuksien osuudella (%). Onnettomuusaineiston rakenteeseen ja vaikutusten arviointiin kehitetyllä Excel-työkalulla laskettiin onnettomuusmäärien muutokset.

Taulukossa 3 näytetään kuvitteellinen esimerkki kokonaisvaikutuksen laskemisesta, kun valittujen mekanismien vaikutukset ovat tiedossa. Ensin prosentuaaliset vaikutukset muutetaan vaikutuskertoimiksi (esim. 30 % vähentyminen onnettomuuksissa tarkoittaa, että ko. ryhmän onnettomuusmäärä kerrotaan 0,70:lla). Seuraavaksi kokonaisvaikutus lasketaan kertomalla keskenään kunkin mekanismin vaikutuskertoimet ja muuttamalla tämä prosenteiksi. Samaa menettelyä noudatetaan, mikäli haluttaisiin laskea järjestelmäyhdistelmien vaikutuksia (Huom. ei ole soveliasta vain laskea vaikutuksia yhteen).

Taulukko 3. Kuvaava esimerkki kokonaisvaikutuksen laskemisesta prosenttiker-toimien perusteella.

Mekanismi	Vaikutus louk- kaantumisonnet- tomuuksiin	Vaikutus, % (EC)	Vaikutuskertoin (EF)
Mekanismi 1	vähenee	-30 %	→ 0,70
Mekanismi 3	vähenee	-0,5 %	→ 0,995
Mekanismi 5	kasvaa	+12 %	→ 1,12
Kokonaisvaikutus		-22 %	← 0,70 x 0,995 x 1,12 = 0,78

Turvallisuusvaikutusarviot prosenttimuutoksina arvioitiin tilanteisiin, joissa järjestelmä on asennettu kaikkiin liikenteessä oleviin ajoneuvoihin. Järjestelmän käyttö ei tällöin kuitenkaan välttämättä ole sataprosenttista, vaan kuljettajat voivat halutessaan kytkeä järjestelmän pois päältä. Joidenkin järjestelmien osalta tehtiin lisäksi oletus siitä, kuinka suureen osaan ympäristöä järjestelmä arvioitiin voitavan asentaa.

Todellisuudessa useat järjestelmistä yleistyvät hitaasti. Vuodelle 2020 tehtiin kaksi skenaariota järjestelmien käyttöön tulosta: ennuste (business as usual) ja avustettu ennuste (promoted). Vuoden 2020 skenaarioille tuotettiin erillinen arvio turvallisuusvaikutuksista. Oletettiin, että vaikutusten kehittyminen eri skenaarioissa on lineaarinen. Tässä vaiheessa otetaan huomioon myös onnettomuuksien kehityssuunnat ohjeluokina. Vaikutukset annettiin vältettyjen kuolemien ja loukkaantumisten lukumäärinä sekä sadan prosentin käytölle että ennustetuille vuoden 2020 käyttöasteille.

Tämän lisäksi vaikutus painotettiin muiden muuttajaluokkien mukaan (yllä kuvatun pääasiallisen luokan lisäksi). Näiden analyysien perusteella voitiin tuottaa turvallisuusarviot, jotka osoittavat, missä olosuhteissa saavutetaan suurimmat turvallisuushyödyt. Esimerkiksi arvioitiin, olisiko tietty järjestelmä tehokkaampi maaseudun ja kaupunkialueen teillä kuin moottoriteillä. Tässä käsitte-

lyssä painopiste oli järjestelmän tehokkuudessa estää erilaisia onnettomuuksia tietyissä olosuhteissa, ei kyseessä olevan onnettomuustyyppin yleisyys. Lisäksi taustamuuttujan vaikutuksen painotus voi vaihdella mekanismin mukaan eli esimerkiksi voi olla jokin syy painottaa vaikutusta tieluokan mukaan välittömissä vaikutuksissa (mekanismi 1) mutta ei altistusvaikutuksissa (mekanismi 6). Tässä vaiheessa analyysiä kokonaisvaikutus pidettiin vakiona. Näin esimerkiksi eri ajoneuvoluokkien vaikutus arviot (pakettiautot/henkilöautot) saatiin analysoidua järjestelmällisesti.

4.5 Aineisto

Tutkimusaineistona oli Tilastokeskuksen aineisto poliisille ilmoitetuista henkilövahinko-onnettomuuksista vuosina 2002–2006. Yhteensä aineistossa oli 33 630 onnettomuutta. Onnettomuuksissa oli kuollut yhteensä 1 884 henkilöä ja loukkaantunut 43 598 henkilöä. Aineistoon muodostettiin siinä ennestään olevien tietojen perusteella kuusi uutta tietokenttää: ajoneuvotyyppi, onnettomuustyyppi, paikka, sää, valoisuus, liittymä.

Ajoneuvotyyppien luokittelu:

- kevyt, jos osallisena ei muita autoja kuin 1–2 henkilö- tai pakettiautoa
- raskas, jos osallisena ei muita autoja kuin 1–2 kuorma-, linja- tai erikoisautoa
- kevyt+raskas, jos osallisena 1 kevyt auto ja 1 raskas auto
- muut, jos mukana 3 tai useampia autoja, tai 2 autoa ja sen lisäksi muita osallisia, tai 1 auto ja sen lisäksi useampi muu ajoneuvo tai sekä kevyttä liikennettä että muita ajoneuvoja.

Onnettomuudet luokiteltiin kahdeksaan eri luokkaan seuraavasti:

1. yhden auton ja yhden tai useamman jalankulkijan tai pyöräilijän välinen törmäys
2. yhden auton törmäys johonkin tiellä olevaan esteeseen, kuten eläimeen, pysäköityyn autoon, liikenteenjakajaan jne.
3. muu yhden liikkuvan auton onnettomuus, enimmäkseen tieltä suistumisia
4. kahden auton tai yhden auton ja yhden muun ajoneuvon välinen nokkakolari
5. kahden auton tai yhden auton ja yhden muun ajoneuvon välinen ohi-tusonnettomuus
6. kahden auton tai yhden auton ja yhden muun ajoneuvon välinen kääntymis- tai risteämisonnettomuus
7. kahden auton tai yhden auton ja yhden muun ajoneuvon välinen peräänajo
8. muu kahden auton onnettomuus

Muita ajoneuvoja luokissa 4–8 voivat olla mopo, moottoripyörä, raitiovaunu, traktori, juna, muu moottoriajoneuvo ja muu kulkuneuvo.

Onnettomuudet luokiteltiin myös sen mukaan, missä ne olivat tapahtuneet (moottoritie/taajama/taajaman ulkopuolella, ei moottoritie), millainen sää onnettomuuden tapahtumahetkellä oli ollut (normaali, jos kirkas tai pilvipouta / huono, jos lumisade, vesisade, räntäsade, sumu), miten valoisaa oli ollut (valoisaa / pimeä) ja oliko onnettomuustapahtunut liittymässä vai sen ulkopuolella.

Taulukossa 4 on esitetty onnettomuuksien jakautuminen eri taustamuuttujien suhteen Suomen aineistossa sekä EU25-alueen aineistossa.

Taulukko 4. Onnettomuuksien jakautuminen eri taustamuuttujien suhteen Suomen aineistossa sekä EU25-alueen aineistossa

Kuolleet			Loukkaantumiset		
	Suomi 2002- 2006	EU25 2005		Suomi 2002- 2006	EU25 2005
Onnettomuustyyppi			Onnettomuustyyppi		
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	22 %	15 %	Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	19 %	10 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	2 %	8 %	Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	4 %	7 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	29 %	26 %	Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	28 %	14 %
Kohtaamisonnettomuus	26 %	21 %	Kohtaamisonnettomuus	8 %	12 %
Sivuttainen törmäys	0 %	3 %	Sivuttainen törmäys	1 %	6 %
Kulmittainen törmäys	13 %	18 %	Kulmittainen törmäys	25 %	30 %
Peräänajo	1 %	5 %	Peräänajo	9 %	15 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	6 %	4 %	Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	6 %	6 %
Tietyyppi			Tietyyppi		
Taajama-alue	25 %	32 %	Taajama-alue	47 %	63 %
Moottoritie	2 %	6 %	Moottoritie	2 %	5 %
Maantie	73 %	62 %	Maantie	51 %	32 %
Sääolot			Sääolot		
Huono sää tai keli	15 %	14 %	Huono sää tai keli	16 %	14 %
Normaali sää ja keli	85 %	86 %	Normaali sää ja keli	84 %	86 %
Valoisuus			Valoisuus		
Pimeä	33 %	39 %	Pimeä	27 %	27 %
Päivän valo	67 %	61 %	Päivän valo	73 %	73 %
Paikka			Paikka		
Risteysalue	18 %	23 %	Risteysalue	34 %	51 %
Ei-risteysalue	82 %	77 %	Ei-risteysalue	66 %	49 %

4.5.1 Liikenneympäristöön asentamisen aste

Dynaaminen nopeusrajoitus

On todennäköistä, että alkuvaiheessa dynaamisella nopeusrajoitusjärjestelmällä varustetaan vain moottoritiet ja muut päätiety, ja muut tieverkon osat (kadut ja muut maantiet) otetaan järjestelmän piiriin myöhemmin. On myös luultavaa, että toiset maat ottavat järjestelmän käyttöön muita aikaisemmin. Järjestelmän käyttöönoton on oletettu olevan nopeinta maissa, joissa älykästä nopeudensäätöä jo kokeillaan tai käytetään (esim. Ruotsi, Ranska, Iso-Britannia, Alankomaat, Norja, Tanska, Suomi jne.).

eIMPACTissa (Wilmink ym. 2008) oletettiin, että vuonna 2020 kiinteiden nopeusrajoitusten tietokannat kattaisivat EU25:ssä kaikki päätiety ja 80 prosenttia kaduista ja muista maanteista. Suomessa kiinteiden nopeusrajoitusten tietokannat kattavat periaatteessa kaikki tiet (tosin tieto osin huonolaatuista / huonosti päivitettyä). On oletettu, että vuodesta 2020 tietokantoihin tulisivat mukaan myös vaihtuvat rajoitukset.

EU:n eSafety-ohjelmassa tehdyn raportin (Busch ym. 2008) mukaan noin 20 prosenttia Euroopan moottoriteista voitaisiin varustaa dynaamisella liikenteen ohjausjärjestelmällä. Näin varustetut tieosuudet luultavasti varustettaisiin ensimmäisinä myös dynaamisen nopeusrajoituksen vaatimalla infrastruktuurilla, koska järjestelmän perusosatekijät, kuten ohjaus- ja tiedonvälitysjärjestelmät, olisivat jo olemassa. On myös odotettavaa, että uudet moottoritieosuudet varustetaan enenevässä määrin tällä infrastruktuurilla, koska kustannukset ovat erittäin pienet rakennuskustannuksiin verrattuna. Näin ollen on arvioitu, että 20 prosenttia moottoriteista lienee järjestelmän piirissä vuonna 2020. Muulla tieverkolla käyttöönotto keskittyy niille tieosille, joilla on suurin onnettomuusaste. Oletettavasti vuonna 2020 noin prosentti muista maanteista (vastaa 3 % onnettomuuksista) ja noin 0,2 prosenttia taajamien teistä (0,6 % onnettomuuksista) on varustettu järjestelmillä. Jopa tulevaisuudessa täydellä kattavuudella vain moottoritiet ovat sataprosenttisesti varustettuja. Maaseudun tieverkolla maksimikattavuuden on arvioitu olevan noin 35 prosenttia ja taajamien teillä 5 prosenttia. (Kulmala ym. 2008b)

Risteysajon turvallisuustuki

On todennäköistä, että infrastruktuurijärjestelmien rakentaminen aloitetaan niistä risteyksistä, joissa tapahtuu eniten onnettomuuksia. Voidaan olettaa, että järjestelmällä varustetaan 0,1 prosenttia kaikista risteyksistä, ja näissä tapahtuu kolme prosenttia kaikista risteämisonnettomuuksista vuonna 2020. (Kulmala ym. 2008b)

5 Turvallisuusvaikutukset

5.1 Ajonvakautusjärjestelmän ESC turvallisuusvaikutukset

Ajonvakautusjärjestelmän tarkoitus on korjata kuljettajan tekemiä ohjausvirheitä ja ehkäistä luisumista aktiivisella jarrujen väliintulolla ja moottorin vääntöä säätämällä.

Ajonvakautusjärjestelmän vaikutuksista on olemassa empiiristä ja tilastoihin perustuvaa tietoa.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Järjestelmä vakauttaa ajoneuvon fyysisten rajojen sisällä ja estää luisumisen aktiivisen jarrun ja moottorin vääntövoiman säätelyn avulla. Kuljettajan kyky kontrolloida ajoneuvon liikkeitä paranee merkittävästi, sillä kuljettaja pystyy hallitsemaan ajoneuvoa myös sellaisissa tapauksissa, joissa ajoneuvon hallinta olisi ilman järjestelmää menetetty. Törmäysnopeus on monissa tapauksissa alhaisempi kuin ilman järjestelmää, jolloin törmäyksen seuraukset lievenevät.

Ruotsalaisten (Tingvall ym. 2005), saksalaisten (Sferco ym. 2001, Grömping ym. 2004, Langwieder 2005) ja brittiläisen (Thomas 2007) tutkimusten kesken tehdyn vertailun perusteella todennäköinen suora vaikutus kaikkiin loukkaantumiseen johtaviin onnettomuuksiin näissä maissa olisi noin 12 prosenttia.

Lähtökohtana arviossamme käytimme ruotsalaisten tekemiä arvioita (Lie ym. 2005, Tingvall ym. 2003). Maat ovat maantieteellisesti, liikenneolojen ja sääolojen osalta lähellä toisiaan ja talvikauden onnettomuuskuva on hyvin samanlainen Suomessa ja Ruotsissa (Malmivuo 2004).

Vaikutus erilaisiin onnettomuustyyppeihin perustettiin Fergusonin (2007) meta-analyyysiin, jossa hän kokoaa tiedon ESC:n vaikutuksia koskevista tutkimuksista. Fergusonin (2007) mukaan ESC kohdistuu erityisesti yksittäisonnettomuuksiin, joiden tärkein syy on ajoneuvon hallinnan menetys. Muiden onnettomuustyyppien taustalla on lukuisia erilaisia vaikuttavia tekijöitä. Suomessa on Keski-Eurooppaan verrattuna paljon ajoneuvosuoritetta kaksikaistaisilla teillä, ja tämän vuoksi kohtaamisonnettomuuksien osuus on Suomen aineistossa suuri.

Järjestelmä estää onnettomuuksien synnyn, esimerkiksi tieltä suistumiset ja ajoradan ulkopuolella olevan jalankulkijan päälle ajamisen. Järjestelmä kohdistuu tyypillisesti myös onnettomuuksiin, joissa nopeudet tai törmäävien osapuolten nopeusero on suuri. Tämän vuoksi vaikutukset kuolemiin ovat suurempia kuin loukkaantumisiin. Suurempi vaikutus kuolemiin kuin loukkaantumisiin tulee pääasiassa onnettomuusaineiston kautta (esimerkiksi nokkakolarien frekvenssi).

Osa tutkimuksista on osoittanut järjestelmän vähentävän enemmän liikennekuolemia kuin loukkaantumisia. ESC:n pääasiallinen vaikutus on onnettomuuksien estäminen. Kuolemien oletetaan vähentyvän 9 prosenttia loukkaantumisia enemmän (kuolemat muuttuvat loukkaantumisiksi).

Taulukko 5. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Ajonvakautusjärjestelmä	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	-15,0 %	-13,8 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	-15,0 %	-13,8 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	-44,4 %	-40,7 %
Kohtaamisonnettomuus	-36,0 %	-33,0 %
Sivuttainen törmäys	-2,0 %	-1,8 %
Kulmittainen törmäys	-10,0 %	-9,2 %
Peräänajo	-2,0 %	-1,8 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	-10,0 %	-9,2 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Kuljettajat, joilla on käytössään ESC voivat pitkän ajan kuluessa ruveta ajamaan hieman kovempaa nopeutta luottaessaan siihen, että ESC säilyttää ajoneuvon hallinnan joka tapauksessa. Jotkut kuljettajat saattavat ajaa aiempaa huolimattomammin. Tällainen käyttäytymisen muutos on todennäköisesti suurin huonoissa sää- ja kelioloissa.

Pitkäaikaisia vaikutuksia ei ole vielä todennettu, mutta ne ovat hyvin todennäköisiä. On arvioitu, että pitkällä aikavälillä ESC:tä käyttävien kuljettajien keskinopeus kasvaa 2 km/h huonoissa kelioloissa, jolloin liikennekuolemat lisääntyvät 2,5 prosenttia ja loukkaantumiset 1,5 prosenttia. Tähän arvioon päästiin olettamalla huonojen keliolosuhteiden olevan noin 20–25 prosenttia. Osuus olisi melko suuri EU25-alueelle, mutta arvioitiin sopivaksi Suomen olosuhteisiin.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

- Osa sellaisista kuljettajista, joilla ei ole ESC:tä käytössään, saattaa jäljellä niiden kuljettajien kovempia nopeuksia, joilla on ESC käytössään. Nopeustaso nousee yleisesti, ja kielteinen vaikutus kohdistuu kaikkiin onnettomuustyyppisiin. Vaikutusarvion suuruus on +0,12 prosenttia kuolemiin ja +0,08 prosenttia loukkaantuneisiin.

Tämän mekanismin vaikutuksen ajatellaan olevan suurin, kun laitteettomien osuus on puolet ajoneuvosuoritteesta. Tässä arvioitiin, että perässä ajavien osuus varustamattomista olisi 50 prosenttia, ja näistä 20 prosenttia muuttaa käyttäytymistä eli nostaa ajonopeutta edellä ajavan varustetun ajoneuvon ta-
paan.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutuksia.

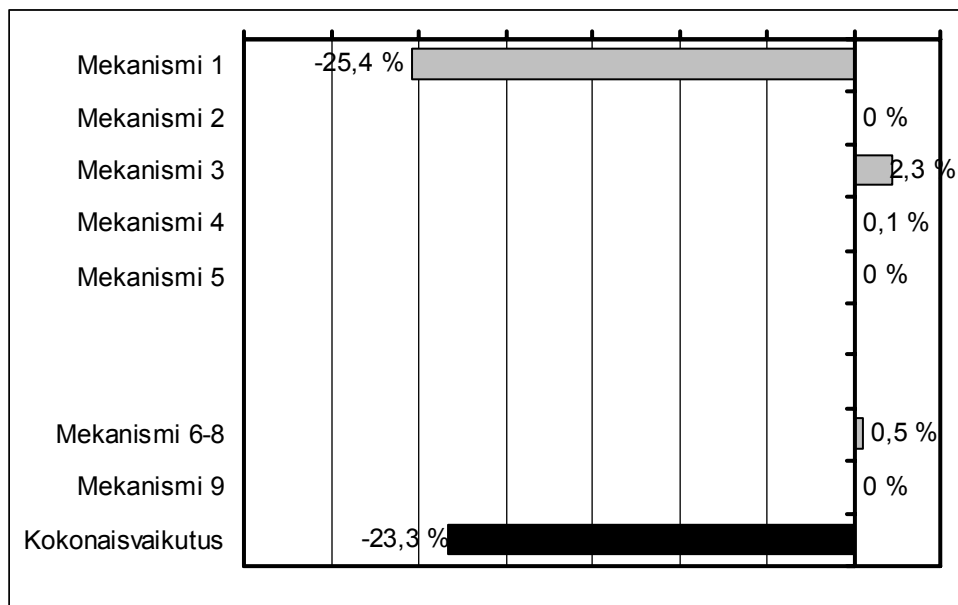
Mekanismi 6–8: Vaikutukset liikkumisen määrään sekä liikennemuodon ja reitin valintaan

- Jotkut kuljettajat saattavat ajaa hieman enemmän huonoissa sää- ja kelioloissa sekä alemmalla tieverkolla luottaessaan ESC:n toimintaan.

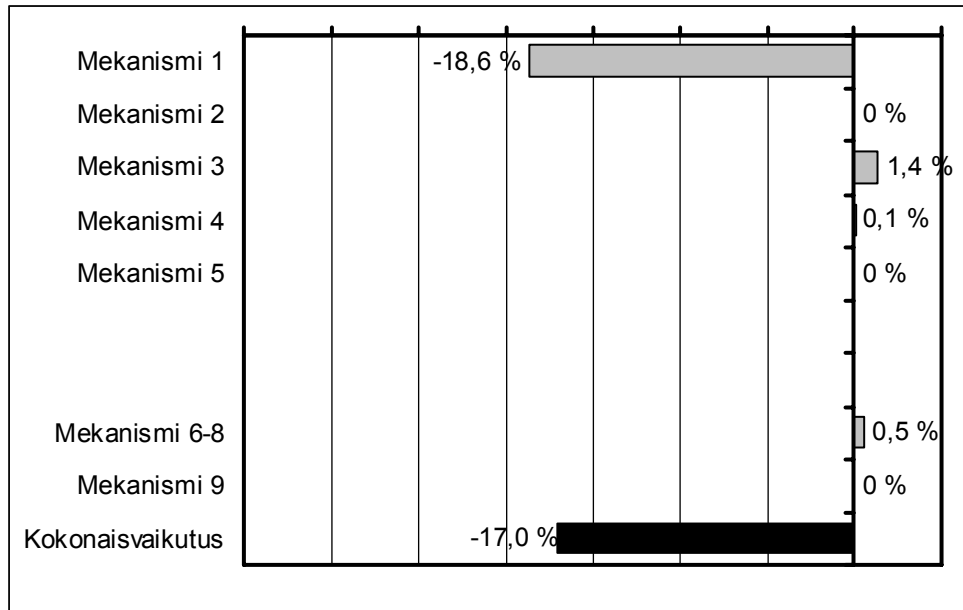
Kuljettajat ovat todenneet, että he harkitsevat matkapäätöksiään, kun kelien-
nuste on huono; 3–4 prosenttia ilmaisi harkinneensa matkan perumista tai joukkoliikenteellä kulkemista henkilöauton asemasta (Sihvola ja Rämä 2008).

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 10. Ajonvakautusjärjestelmän vaikutus kuolemiin.



Kuva 11. Ajonvakautusjärjestelmän vaikutus loukkaantumisiin.

5.2 Koko nopeusalueen kattavan ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan vakionopeuden säätimen turvallisuusvaikutukset

Koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin pitää ajoneuvon nopeuden kuljettajan määrittämällä tasolla, tai mikäli edellä ajaa hitaampi ajoneuvo, järjestelmä pitää kuljettajan määrittelemän etäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon.

Ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan vakionopeuden säätimen vaikutuksista ei ole empiiristä tietoa. Tehty turvallisuusarvio perustuu tavallisesta vakionopeuden säätimestä saatuihin tuloksiin ja ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan järjestelmän osalta arvioituun käyttäytymismuutoksiin.

Järjestelmän oletetaan vaikuttavan erityisesti moottoriteillä kovissa nopeuksissa tapahtuviin peräänajo-onnettomuuksiin. Peräänajo-onnettomuuksissa kuolleiden osuus kaikista liikenneonnettomuuksissa kuolleista on prosentin ja loukkaantuneista 9 prosenttia.

Koska loukkaantumiset korostuvat peräänajo-onnettomuuksissa, järjestelmä vaikuttaa enemmän loukkaantuneiden kuin kuolleiden määrään. Osa peräänajoissa tapahtuneista kuolemista voi muuttua loukkaantumiseksi.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Ajo- ja liikennetilanteeseen mukautuva vakionopeudensäädin ylläpitää jatkuvasti turvallisen välimatkan edellä kulkevaan ajoneuvoon ja vähentää nopeutta tarvittaessa automaattisesti, jos välimatka edellä ajavaan lyhenee. Jarrutuksen alkaminen nopeutuu, sillä jarrutus on automaattista tiettyyn jarrutustasoon asti. Erityisesti järjestelmä vähentää erittäin lyhyiden ajoetäisyyksien määrää jonossa ajettaessa.

- ✚ Yllättävien esteiden kohdalla tai kuljettajan tarkkaavaisuuden laskiessa järjestelmä jarruttaa automaattisesti, minkä ansiosta törmäysnopeus on pienempi ja törmäyksen seuraukset lieventyvät.

Hollantilaisen (Alkim ym. 2007) kenttäkokeen mukaan ajo- ja liikennetilanteeseen mukautuva vakionopeuden säädintä käytettiin 50 prosenttia ajasta ajattaessa vapaassa tilanteessa (free flow), 35 prosenttia ajasta vilkkaassa liikenteessä ja 8 prosenttia ajasta ruuhkassa. Järjestelmän muuttaminen sellaiseksi, että se toimii myös alhaisilla nopeuksilla, lisää järjestelmän käyttöä. Tässä arvioidaan, että järjestelmää käytetään 80 prosentissa tilanteista, joissa peräänajo-onnettomuudet ovat yleisiä.

Hollantilaisessa vakionopeuden säädintutkimuksessa alle 0,7 sekunnin etäisyydet edellä ajavaan vähenivät 70 prosenttia vapaissa ajo-olosuhteissa, 50 prosenttia vilkkaassa liikenteessä ja 30 prosenttia ruuhkassa. Keskimääräinen lyhin etäisyys kasvoi 0,2 sekunnilla vilkkaassa liikenteessä. Tässä arvioidaan, että nämä pätevät myös koko nopeusalueen kattavalle säätimelle.

eIMPACT-projektissa simuloimalla tehdyssä liikennevaikutusten arvioinnissa alle yhden sekunnin etäisyydet edellä ajavaan vähenivät 13 prosenttia, kun 11 prosentissa ajoneuvoista oli koko nopeusalueen kattava vakionopeuden säädin (Wilmink ym. 2008).

Näihin tuloksiin perustuen arvioidaan, että järjestelmä voisi vähentää peräänajo-onnettomuuksista aiheutuvia liikennekuolemia 45 prosenttia. Suomessa ajoetäisyydet ovat kuitenkin keskimäärin pidempiä kuin Hollannissa, ja samalla altistus peräänajoille on pienempi. Tämä näkyy peräänajo-onnettomuuksien pienempänä osuutena Suomessa.

Taulukko 6. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	0,0 %	0,0 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	0,0 %	0,0 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	0,0 %	0,0 %
Kohtaamisonnettomuus	0,0 %	0,0 %
Sivuttainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Kulmittainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Peräänajo	-45,0 %	-30,0 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Järjestelmällä voi olla turvallisuuden kannalta kielteisiä vaikutuksia, jos kuljettajat luottavat siihen liikaa ja suuntaavat liikenteeseen vähemmän huomiota. Kuljettajat voivat tehdä enemmän toissijaisia tehtäviä ajamisen ohessa, kuitenkin enimmäkseen vapaissa ajo-olosuhteissa. Niin kauan, kun ylinopeudesta varoittavaa järjestelmää ei ole liitetty vakionopeuden säätimeen, kuljettajien valitsema nopeus on todennäköisesti hieman korkeampi järjestelmää käytettäessä.
- Tässä oletetaan, että ACC-järjestelmää käyttävät kuljettajat valitsevat 2 km/h korkeamman nopeuden kuin ilman järjestelmää ajavat. Simulaatioihin perustuen nopeusero säilyy vapaissa ajo-olosuhteissa ja vilkkaassa liikenteessä moottoriteillä aina 5000 ajoneuvoon/tunti. On arvioitu, että kaikilla teillä nopeusero lisää liikennekuolemia prosentoin ja loukkautumisia 0,5 prosenttia.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutuksia. Ajoetäisyyksien havaitseminen on niin epätarkkaa, etteivät muutokset toisten kuljettajien toiminnassa vaikuta kuljettajan toimintaan.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Mukavuutta parantavan järjestelmän arvioitiin lisäävän hieman henkilöautolla ajettujen matkojen määrää. Arvioidaan, että kuljettaja tekisi keskimäärin 1 000 matkaa vuodessa ja järjestelmän vaikutuksesta neljä lisämatkaa. Vaikutuksen suuruus olisi tällä perusteella 0,4 prosenttia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

Arvioitiin, että matka tehtäisiin hieman aikaisempaa useammin henkilöautolla joukkoliikenteen sijaan. Arvioidaan, että kuljettaja tekisi keskimäärin 1 000 matkaa vuodessa ja järjestelmän vaikutuksesta kaksi matkaa henkilöautolla joukkoliikenteen sijaan. Vaikutuksen suuruus olisi tällä perusteella 0,2 prosenttia.

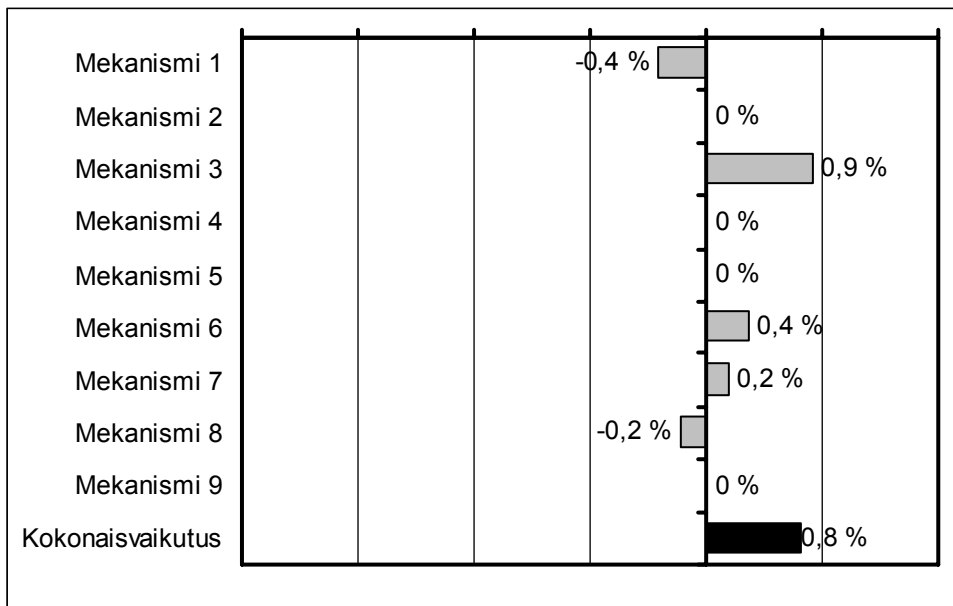
Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

- + Pitkällä aikavälillä kuljettaja saattaa ruveta käyttämään enemmän moottoriteitä, jotka ovat muita tietyyppisiä turvallisempia. Hollantilaisessa vakionopeuden säädintutkimuksessa havaittiin, että vakionopeuden säätimen kanssa moottoriteitä käytettiin aiempaa enemmän ja maakuntateitä (provincial) vähemmän.

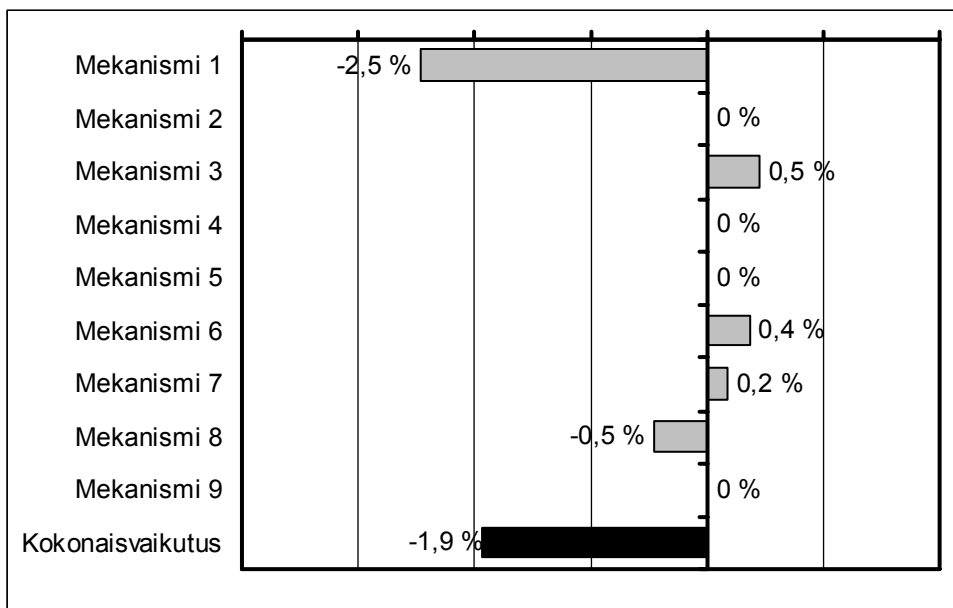
Tässä oletetaan, että ajo- ja liikennetilanteeseen mukautuvan vakionopeuden säätimen kanssa ajavat käyttävät moottoriteitä prosentoin aiempaa enemmän ja muita maanteitä vastaavasti vähemmän.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 12. Ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan vakionopeuden säätimen vaikutus kuolemiin



Kuva 13. Ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan vakionopeuden säätimen vaikutus loukkaantumisiin

5.3 Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän turvallisuusvaikutukset

Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmässä on erilaisia toimintoja, joiden avulla kuljettaja voi välttää törmäyksiä edellä ajavaan sekä lieventää sellaisten törmä-

yksien seurauksia, jota ei voida välttää. Näihin toimintoihin kuuluvat: Ennakoiva jarrutusavustin, ennakoiva törmäysvaroitusta, ennakoiva hätäjarrutusavustin.

Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmä lyhentää jarrutusmatkaa. Mahdollisuus välttää onnettomuus on suurin silloin, kun nopeus on alhainen. Järjestelmän vaikutus loukkaantumisten vähentämiseen arvioidaan tästä syystä olevan suurempi kuin kuolemien vähentämiseen. Järjestelmän avulla osa kuolemista voi muuttua loukkaantumisiksi.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Kun järjestelmä havaitsee tilanteen, jossa mahdollisuus törmätä edellä ajavaan on suuri, sen ennakoiva jarrutusavustin esitäyttää jarrujärjestelmän automaattisesti, jolloin jarrujen käyttö nopeutuu ja tehostuu. Näin ollen jarrutus tapahtuu kaksi kertaa normaalia jarrutusta nopeammin.
- + Ennakoiva törmäysvaroitusta antaa kuljettajalle varoituksen vaarallista tilanteesta (jarrujen aktivoinnista), jolloin kuljettajan huomio siirtyy vaaralliseen tilanteeseen.
- + Ennakoiva hätäjarrutus jarruttaa automaattisesti, jos törmäys ei ole enää vältettävissä.
- + Järjestelmä vähentää törmäysnopeutta vaarallisissa tilanteissa, mikä lisää passiivista turvallisuutta ja lieventää onnettomuuden seurauksia.

Keskipitkän kantaman tutkaan perustuvan järjestelmän oletetaan vähentävän ja lieventävän seurauksia erityisesti edellä ajavaan ja esteeseen törmäyksissä. Teho estää ja lieventää muita onnettomuuksia on vähäinen. Järjestelmän teho välttää törmäys ja lieventää seurauksia on pienin kovissa nopeuksissa. Tutkan kyky havaita uhkaavia törmäyksiä on paras, kun törmäyksen kohteena on liikkuva kohde. Paikallaan olevien kohteiden havaitseminen on vaikeampaa. Järjestelmä toimii myös joissain sivuttaissuuntaisissa törmäyksissä, mutta järjestelmä ei ole suunniteltu estämään tai lieventämään niitä. Järjestelmä hoitaa lisäksi noin 15 prosenttia niistä kahden auton välisistä törmäyksistä, joissa törmätään auton sivuun keulalla risteyksissä tai niiden ulkopuolella. Havaitsemiskyky riippuu valitusta anturiratkaisusta. Esimerkiksi jalankulkijoiden ja sivusuuntaisten törmäysten luotettava havaitseminen lisäisi järjestelmän vaikutuksia.

Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän turvallisuusvaikutusten arvioinnissa on hyödynnetty tietoa jarrutusavustinjärjestelmistä (Brake Assist Systems). Pagen ym. (2005) mukaan 70 prosenttia kuljettajista ei jarruttanut ollenkaan tai ei ainakaan täydellä teholla (7 m/s^2) onnettomuustilanteessa. Jarrutuksen aloitusaika lyhenee törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmää käytettäessä 0,7 sekunnista 0,35 sekuntiin.

Kaiken kaikkiaan määrälliset arviot ovat hajanaisia, joten turvallisuusvaikutusten arviointi on paljon harkinnanvaraista (Wilmink ym. 2008, taulukko 9).

Järjestelmän oletetaan vähentävän enemmän kuolleita kuin loukkaantuneita onnettomuustyyppitasolla (taulukko 7), koska kyse on enimmäkseen törmäysnopeuden vähentymisestä. Sen sijaan kokonaisvaikutukset ovat päinvastaisia (suuremmat vaikutukset kuolleisiin kuin loukkaantuneisiin), kun onnettomuustyyppijakauma otetaan huomioon.

Taulukko 7. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Törmäyksen esto- ja varoitussjärjestelmä	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	0,0 %	0,0 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	-24,0 %	-20,0 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	-12,0 %	-10,0 %
Kohtaamisonnettomuus	0,0 %	0,0 %
Sivuttainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Kulmittainen törmäys	-6,0 %	-5,0 %
Peräänajo	-30,0 %	-25,0 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	-12,0 %	-10,0 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

Käyttäytymiseen liittyvän kompensoinnin vaikutuksien oletetaan olevan vähäisiä, sillä järjestelmä (häätäjarrutus) toimii vain erittäin vaarallisissa tilanteissa (ts. äärimmäisen harvoin) ja myöhemmin, kuin kuljettaja aloittaisi jarrutuksen. Joka tapauksessa oletetaan, että järjestelmä nostaa hiukan nopeuksia, mikä vaikuttaa yhtä paljon kaikkiin onnettomuustyyppeihin. Mekanismi lisää liikennekuolemia 0,2 prosenttia ja vammautumisia 0,1 prosenttia.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Vaikutusten suuruus ja suunta voivat vaihdella niin paljon, että ne jätetään arvioimatta.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Parantunut turvallisuudentunne lisää hiukan liikkumista autolla (1 matka vuodessa). Onnettomuusmäärä lisääntyy siten 0,1 prosenttia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

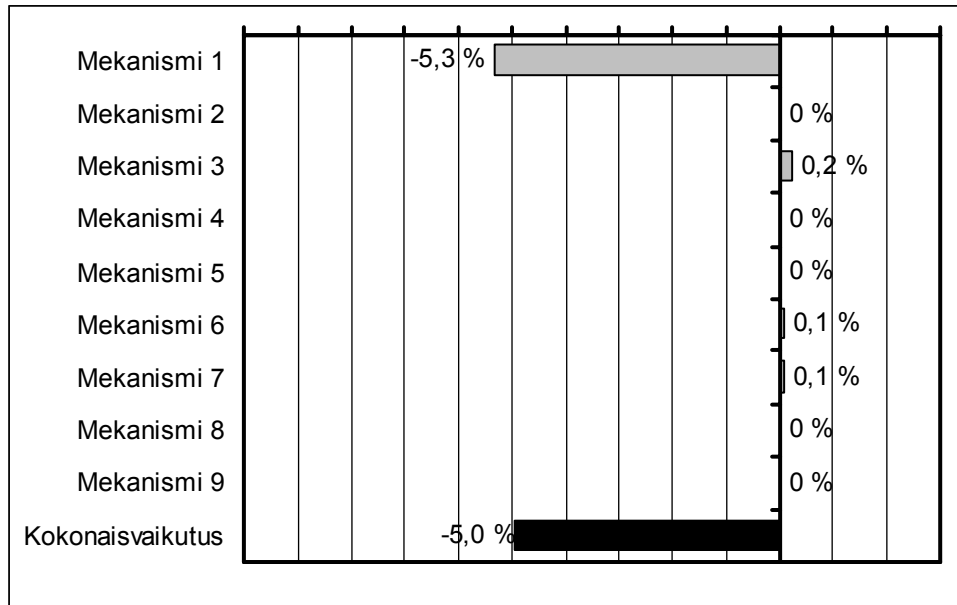
Parantunut turvallisuudentunne lisää hiukan liikkumista autolla (1 matka vuodessa). Onnettomuusmäärä lisääntyy siten 0,1 prosenttia.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

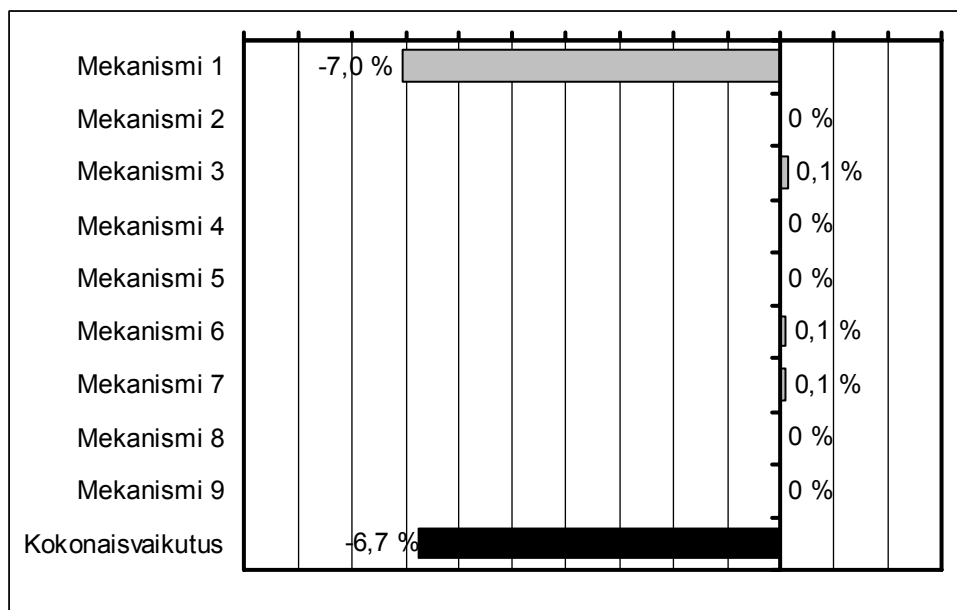
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 14. Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän vaikutus kuolemiin



Kuva 15. Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän vaikutus loukkaantumisiin

5.4 Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmän turvallisuusvaikutukset

Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä tunnistaa suojattomat tienkäyttäjät ja tarvittaessa varoittaa kuljettajaa ja tekee automaattisen hätäjarrutuksen (ei passiivisen turvallisuuden lisäystä)

Turvallisuusvaikutusten arvioinnissa on hyödynnetty tietoja samankaltaisista järjestelmistä, kuten jarrutusavustinjärjestelmistä (Brake Assist Systems). Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä on törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän yksi muunnelma: kevyen liikenteen havaitsemisessa käytetään lyhyen kantaman tutkaa pitkän kantaman tutkan sijaan.

Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmä lyhentää jarrutusmatkaa. Koska järjestelmä on tehokkain onnettomuuksissa, jotka tapahtuvat alle 50 km/h nopeudessa, sen vähentää loukkaantumisia tehokkaammin kuin kuolemia. Toisaalta kuolemien osuus on loukkaantumisia suurempi jalankulkuonnettomuuksissa.

Järjestelmä vähentää ja lieventää erityisesti törmäyksiä tiellä ja tiensivussa oleviin jalankulkijoihin. Fürstenbergin (2005) mukaan näiden onnettomuuksien osuus maailmalla on 24 prosenttia. Järjestelmä tehoaa myös auton ja pyöräilijän välisiin onnettomuuksiin.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Järjestelmä tunnistaa suojattomat tienkäyttäjät ja jarruttaa itsenäisesti, jos kuljettaja ei törmäyksen uhatessa jarruta tarpeeksi tai lainkaan. Järjestelmä havaitsee jalankulkijat 40 metrin etäisyydeltä. Tilanteessa, jossa törmäys on väistämätön, järjestelmä jarruttaa automaattisesti törmäyksen seurausten lieventämiseksi. Kun törmäysnopeus on alempi, onnettomuuden seuraukset ovat lievemmät.

Fürstenbergin (2005) mukaan 38 prosenttia jalankulkijan ja auton välisistä loukkaantumiseen johtaneista törmäyksistä on ollut sellaisia, joissa törmäysnopeus on ollut yli 30 km/h. 80 prosenttia näistä (yhteensä 30 %) jalankulkijan ja auton välisistä loukkaantumiseen johtaneista törmäyksistä on tapahtunut nopeusalueella, jossa kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmä toimii parhaiten (30–50 km/h). 70 prosenttia jalankulkijan ja auton välisistä törmäyksistä on sellaisia, joissa auton etuosa törmää jalankulkijaan. 94 prosenttia jalankulkijoista on törmäyshetkellä liikkeessä. Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä havaitsee juuri nämä kaksi edellä mainittua tapausta. Järjestelmän arvioidaan näin ollen voivan estää noin 20 prosenttia vakavista ajoneuvo–jalankulkuonnettomuuksista.

Kun järjestelmä otetaan käyttöön, sen kyvyn havaita piilossa olevia (hidden) jalankulkijoita oletetaan olevan hyvä. Järjestelmän ei myöskään oleteta varoittavan virheellisesti. Arviossa oletetaan, että ainakin 2/3 vakavaan loukkaantumiseen johtavista onnettomuuksista muuttuu lieviksi loukkaantumisiksi. Monet lievimistä loukkaantumisista voidaan välttää. Kokonaisuudessaan kaikkien loukkaantumisten arvellaan vähentyvän 15 prosenttia.

Koska kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä toimii parhaiten 30–50 km/h nopeudessa, sen mahdollisuudet vähentää kuolemia ovat rajalliset, sillä vain 15 prosenttia kuolemista tapahtuu alle 60 km/h nopeudessa. Jos alle 60 km/h nopeudessa tapahtuvien kuolemaan johtavien onnettomuuksien törmäysnopeus alenisi esimerkiksi 50:stä km/h 30:iin km/h, Meinecke & Obojskin (2005) mukaan kuolemien määrä vähenisi kaksi kolmasosaa (66 %:sta 22 %:iin). Pasasen (1991) mukaan nopeuden muutos 50:stä km/h 30:iin km/h säästäisi 85 prosenttia kuolleista ja vaikeasti loukkaantuneista jalankulkijoista. Kun henkilöauto törmää jalankulkijaan 30 km/h nopeudella, jalankulkija kuolee kuuden prosentin todennäköisyydellä. Jos törmäysnopeus on 60 km/h, kuoleman todennäköisyys on yli 70 prosenttia (Pasanen 1991). Järjestelmä lieventää myös korkeammissa nopeuksissa tapahtuvien törmäysten seurauksia. Lawrence ym. (2006) arvioivat, että jarrutusavustin (Brake Assist system) voi vähentää kuolemia enimmillään 10 prosenttia ja loukkaantumisia 20 prosenttia. Koska kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä on jarrutusavustinta kehittyneempi, sen arvioidaan voivan vähentää kuolemia 10 prosenttia.

Taulukko 8. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	-10,0 %	-15,0 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	0,0 %	0,0 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	-5,0 %	-8,0 %
Kohtaamisonnettomuus	0,0 %	0,0 %
Sivuttainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Kulmittainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Peräänajo	0,0 %	0,0 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutuksia, koska toimii vain äärimmäisissä tilanteissa.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

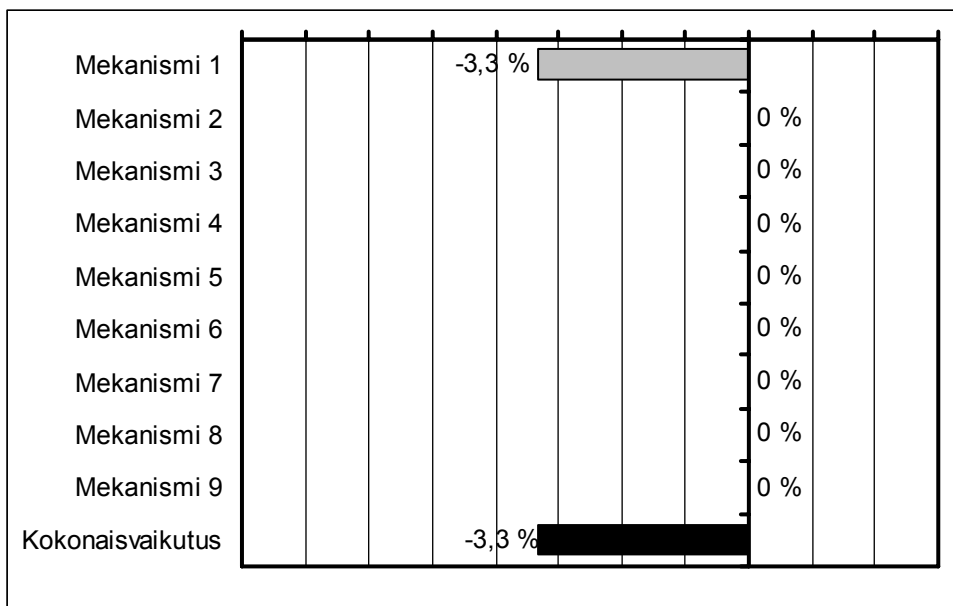
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

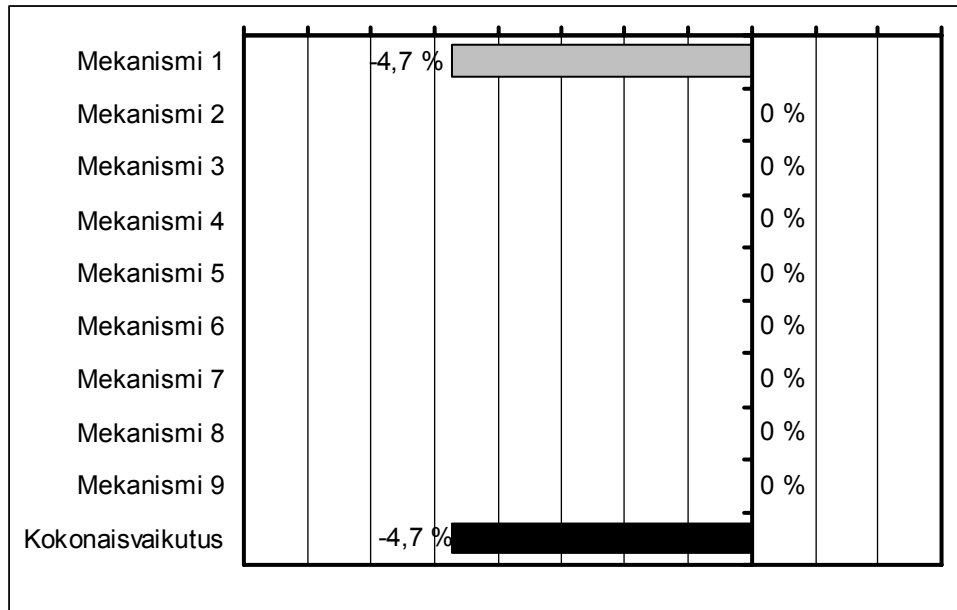
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 16. Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmän vaikutus kuolemiin



Kuva 17. Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmän vaikutus loukkaantumisiin

5.5 Kaistanvaihdon tuen turvallisuusvaikutukset

Kaistanvaihdon tuki varoittaa lähellä olevista ajoneuvoista – ajoneuvon vieressä tai takana olevista – juuri ennen kaistanvaihtoa.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Jos kuljettaja ei kaistanvaihtotilanteessa suuntaa tarkkaavaisuuttaan oikein eli tarkkaile takana ja sivulla mahdollisesti olevia ajoneuvoja peilien ym. avulla, järjestelmä auttaa kuljettajaa suuntaamaan tarkkaavaisuutta varoittamalla kuljettajan ajoneuvon vieressä tai takana olevista ajoneuvoista. Törmäyksen tapahtuessa sen seuraukset ovat lievemmat, sillä väistäminen on mahdollisesti jo aloitettu. Lisäksi on oletettu, että järjestelmän käyttöliittymä on onnistunut. Osa järjestelmän tehosta menetetään sillä, ettei osa kuljettajista aina laittane järjestelmää päälle.

Kenttäkokeissa on huomattu, että kuljettajat eivät aina pidä järjestelmää päällä. Esimerkiksi Mazzae & Garrott (1995) (viittaus Humanist 2006:ssa) eivät mm. juuri tästä syystä havainneet raskaan liikenteen kuljettajien ajamisen parantuneen sivulla olevista esteistä varoittavan järjestelmän takia. Kuljettajat käyttivät järjestelmää mieluummin ajoneuvon omia sivupeilejä.

Järjestelmä vähentää ja lieventää eniten sivuttaissuuntaisia onnettomuuksia. Myös joihinkin peräänajo-onnettomuuksiin voidaan vaikuttaa.

Järjestelmän tehoa on vaikeaa arvioida, ja kirjallisuudesta löytyykin melko paljon toisistaan eroavia arvioita (Bayly ym. 2007). Lisäksi voidaan olettaa, että järjestelmän tehosta riippumatta kokonaisvaikutus jää vähäiseksi, koska ongelman ratkaisemiseksi on jo kehitetty sivupeilejä, joilla kuljettaja voi hävittää

kuolleen kulman takaviistossa olevien ajoneuvojen havaitsemiseksi (Owens ym. 1993, Luoma ym. 2001)

Taulukko 9. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Kaistanvaihdon tuki		
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	0,0 %	0,0 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	0,0 %	0,0 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	0,0 %	0,0 %
Kohtaamisonnettomuus	0,0 %	0,0 %
Sivuttainen törmäys	-80,0 %	-80,0 %
Kulmittainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Peräänajo	-3,0 %	-3,0 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

On arvioitu, että pitkällä aikavälillä järjestelmän käytön myötä kuljettajien kaistanvaihtotapa saattaa muuttua. Järjestelmä vaikuttaa kuljettajien tarkkaavaisuuden suuntaamiseen kaistanvaihtotilanteessa, sillä kuljettajat huomaavat järjestelmän olemassa olon ja toiminnan jatkuvasti jokapäiväisessä ajamisessaan.

- Kuljettaja voi suunnata tarkkaavaisuuttaan aiempaa vähemmän kaistanvaihtoon, jolloin sivuttaissuuntaisten onnettomuuksien määrä hieman kasvaa.
- + Kuljettaja voi suunnata tarkkaavaisuuttaan enemmän eteenpäin, jolloin esimerkiksi peräänajot voivat hieman vähentyä.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei merkittävää vaikutusta.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei merkittävää vaikutusta.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

- Kaistanvaihdon tukijärjestelmästä saattaa lisätä hieman ajamisen määrää.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

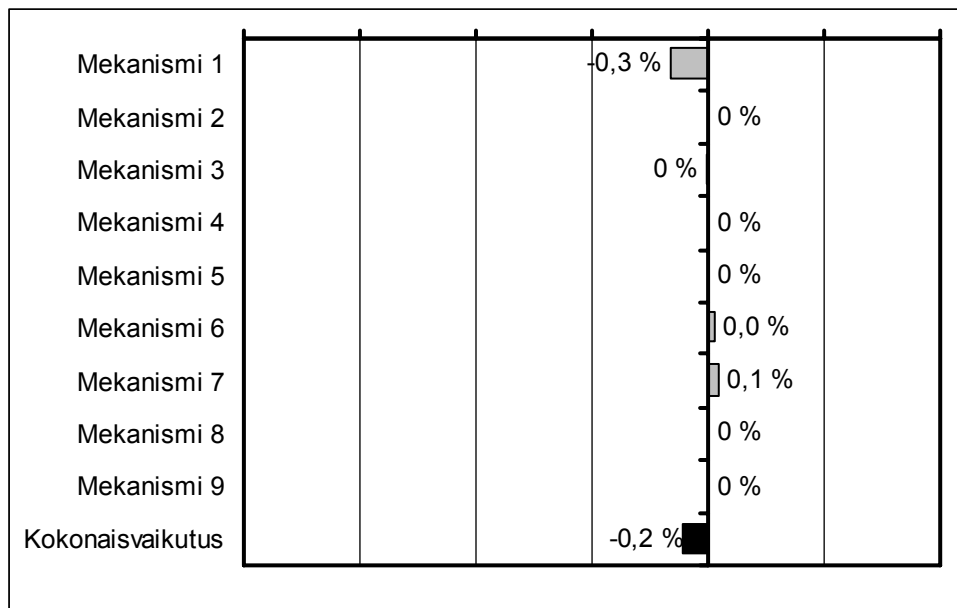
- Järjestelmän käyttöönoton myötä jotkut henkilöt saattavat ryhtyä käyttämään henkilöautoa aiempaa enemmän (vaihtaa joukkoliikenteestä henkilöauton kuljettajaksi) tietäessään järjestelmän auttavan heitä kais-tanvaihtotilanteissa.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

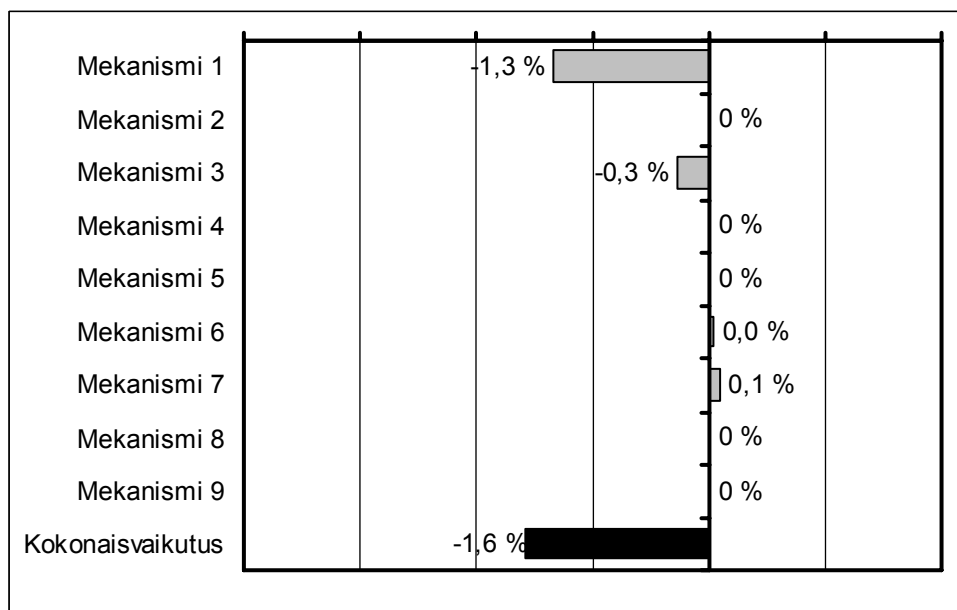
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 18. Kaistanvaihdon tuen vaikutus kuolemiin



Kuva 19. Kaistanvaihdon tuen vaikutus loukkaantumisiin

5.6 Kaistalla pysymisen tuen turvallisuusvaikutukset

Kaistalla pysymisen tuen aktiivinen ohjaustuki auttaa kuljettajaa pitämään ajoneuvon oikealla kaistalla.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Yksittäisonnettomuuksien määrä laskee, jos kuljettaja noudattaa aktiivisen ohjauspyörän signaalia. Arviossa on oletettu, että järjestelmän käyttöliittymä on onnistunut. Osa järjestelmän tehosta menetetään sillä, ettei osa kuljettajista todennäköisesti aina laita järjestelmää päälle (kenttäkokeet, Alkim ym. 2007)
- + Törmäyksen tapahtuessa sen seuraukset voivat olla lievemmät, sillä väistäminen on mahdollisesti jo aloitettu.

ECORYS (2006) arvioi kaistalla pysymisen tuen voivan vähentää 15–35 prosenttia kaikista liikennekuolemista. Tarkka arvio riippuu siitä, yhdistetäänkö samaan järjestelmään muita toimintoja, kuten kaistanvaihdon tuki.

Järjestelmä vähentää ja lieventää seurauksia erityisesti tieltä suistumisonnettomuuksissa. Järjestelmän ei oleteta vaikuttavan onnettomuuksiin taajamissa.

Taulukko 10. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Kaistalla pysymisen tuki	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	0,0 %	0,0 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	0,0 %	0,0 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	-50,0 %	-50,0 %
Kohtaamisonnettomuus	-40,0 %	-40,0 %
Sivuttainen törmäys	-40,0 %	-40,0 %
Kulmittainen törmäys	0,0 %	0,0 %
Peräänajo	0,0 %	0,0 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Järjestelmä vaikuttaa kuljettajan yleiseen valppauteen, sillä kuljettaja huomaa järjestelmän olemassa olon ja toiminnan päivittäisessä ajamisessaan. On arvioitu, että kuljettajan kaistalla pysymisestä tulee huolimattomampaa ja kuljettajan vireys laskee, sillä hän siirtää vastuuta järjestelmälle tietäessään sen korjaavan virheitä. Järjestelmän toimintavarmuus voi Suomen oloissa, kuten lumisilla pikkuteillä, olla huonompi

kuin koko Euroopan alueella, mikä korostaa jonkin verran tätä vaikutusta. EU25-alueelle tämän vaikutuksen arvioitiin olevan +1...+2 prosenttia (Scholliers ym. 2008). Tässä työssä vaikutuksen arvioitiin olevan +4...+6 prosenttia.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Laajassa käytössä luottamus toisten kaistalla pysymiseen saattaa kasvaa, jolloin nopeudet voisivat nousta. Ei kuitenkaan esitetä määrällistä vaikutusarviota.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

- Järjestelmä lisää liikkumisen määrää jonkin verran, sillä kuljettajat lähtevät aiempaa useammin liikenteeseen verrattain huonoissa olosuhteissa. Vaikutusarvio on +0,2 prosenttia kuolemiin ja loukkaantumisiin.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

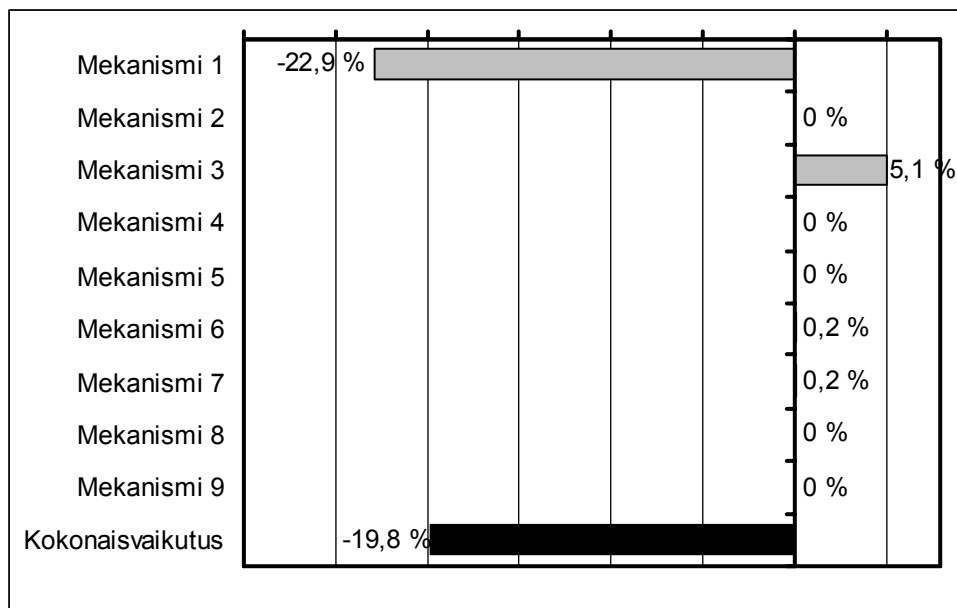
- Jotkut kuljettajat käyttävät henkilöautoa joukkoliikenteen asemasta. Vaikutusarvio on +0,2 prosenttia kuolemiin ja loukkaantumisiin.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

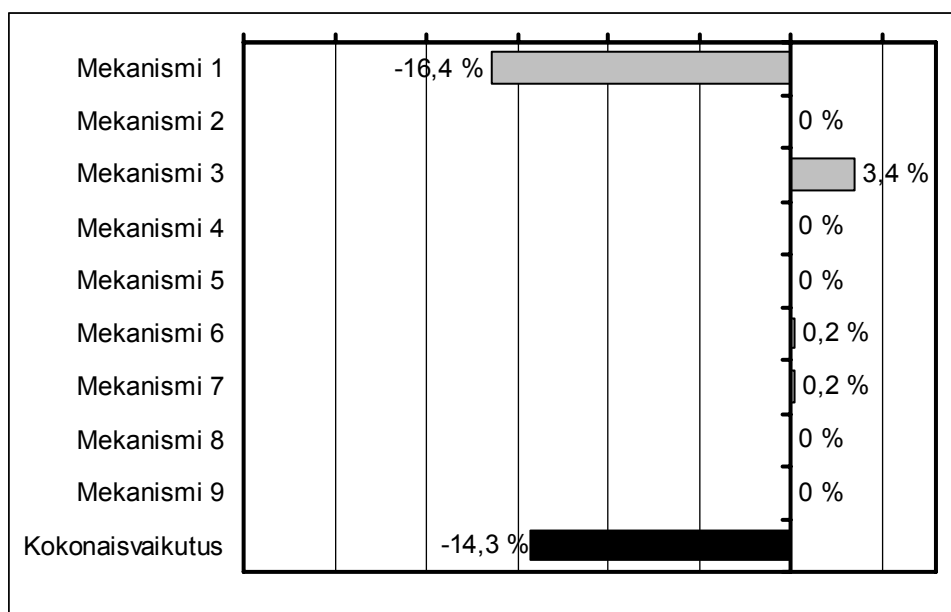
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia



Kuva 20. Kaistalla pysymisen tuen vaikutus kuolemiin



Kuva 21. Kaistalla pysymisen tuen vaikutus loukkaantumisiin

5.7 Pimeän ajan tuen turvallisuusvaikutukset

Pimeän ajan tuki auttaa kuljettajaa näkemään ajovalojen valokeilaa pidemmälle ja tarvittaessa myös varoittaa kuljettajaa esteistä ajoradalla.

Arvion lähtökohtana käytettiin Keski-Euroopan olosuhteita parhaiten kuvaavaa eIMPACT-arviota. Suomessa heijastimen käyttö pimeällä on kuitenkin yleisempää kuin etelämpänä Euroopassa. Pimeässä heijastinta käyttää Suomessa 49 prosenttia ja valaistussakin ympäristössä 43 prosenttia jalankulkijoista¹⁶.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Pimeän ajan tuen käyttämien infrapunasensoreiden avulla kuljettaja voi nähdä esteet ja tienreunat paremmin ajoneuvon sisäiseltä näytöltä.
- + Pimeän ajan onnettomuuksien vakavuus lievenee, sillä lieventävät toimenpiteet on monessa tapauksessa jo aloitettu

Eurooppalaisten, yhdysvaltalaisen ja japanilaisten (Gayko & Tsuji 2006, Owens & Sivak 1996, Tsimhoni ym. 2004, Tsimhoni ym. 2005, Tsuji ym. 2006, Uhler 2006) tilastojen mukaan keskimäärin 20 prosenttia kevyen liikenteen kuolemaan johtaneista onnettomuuksista tapahtuu yöaikaan. Suomessa kevyen liikenteen kuolemaan johtaneista onnettomuuksista tapahtuu 31 prosenttia pimeällä ja 10 prosenttia hämärässä¹⁷.

Arvioitiin pimeässä kuolleiden ja loukkaantuneiden jalankulkijoiden, pyöräilijöiden ja hirvieläinonnettomuuksissa kuolleiden osuudet. Järjestelmän suorat vaikutukset kohdistuvat näihin kohderyhmiin, joiden osuudet kuolleista olivat yh-

¹⁶ http://www.liikenneturva.fi/fi/tutkimus/liikennekayttaytymisen_seuranta/liitetiedostot/heijastimen_kaytto2008.pdf, 21.11.2008

¹⁷ Vakuutusyhtiöiden liikenneturvallisuustoimikunnan (VALT) tutkijalautakunta-aineisto vuosilta 2000–2006.

teensä 29 prosenttia ja loukkaantuneista 35 prosenttia. Näistäkin onnettomuuksista suuri osa voi olla sellaisia, joihin järjestelmän aiheuttama havaitsemisen parantuminen ei auta. Oletettiin, että järjestelmä voisi estää puolet kohdeonnettomuuksista.

Lunenfeld & Stephens (1991) arvioivat, että Yhdysvalloissa järjestelmä voisi enimmillään vähentää 20–25 prosenttia yöaikaan tapahtuvista liikennekuolemista. Tähän arvioon on laskettu myös ajoneuvon kuljettajat, joten vaikutus voi olla liian korkea kevyen liikenteen osallisille. Toisaalta kevyen liikenteen osallisten osuus voi olla Euroopassa Yhdysvaltoja suurempi, sillä Euroopassa on yöaikaan enemmän kevyttä liikennettä.

Taulukko 11. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Pimeään ajan tuki	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Päivän valo	0,0 %	0,0 %
Pimeä	-14,3 %	-17,4 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Kuljettajat saattavat lisätä nopeutta pimeässä ajaessaan, jos he saavat järjestelmän kautta luotettavaa tietoa ja opastusta. Useat ajosimulaattoreilla tehdyt kokeet osoittavat ajonopeuden kasvavan järjestelmää käytettäessä (Stanton ja Pinto 2000, Nilsson ja Alm 1996). Jotkut tutkimukset osoittavat ajonopeuden alentuneen (Ward ym. 1994, Gish ym. 2002), mutta alenemisen on arvioitu johtuvan siitä, että järjestelmän käyttö kuormittaa kuljettajaa. Nopeuden nousun suuruus riippuu näytön laadusta. Jos näyttö on huonolaatuinen, kuljettajien kuormitus lisääntyy eikä nopeus tällöin lisäännä (Rumar 2002). Nopeuden lisääminen lisää onnettomuuksien riskiä. Järjestelmän arvioitiin lisäävän ajonopeutta pimeässä todennäköisimmin 3 km/h, mikä merkitsisi 16 prosentin lisäystä liikennekuolemiin ja 8 prosentin lisäystä loukkaantuneisiin.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

- Osan varustetun ajoneuvon perässä ajavista arvioidaan seuraavan varustettua ajoneuvoa ja myös lisäävän ajonopeutta. Vaikutuksen suuruus arvioitiin samaan tapaan kuin ESC:n osalta. Arvioitiin lisäävän pimeässä kuolemia 0,8 prosenttia ja loukkaantumisia 0,4 prosenttia.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutusta mekanismiin 1 jo sisältyneen kevyen liikenteen paremmasta havaittavuudesta aiheutuneen paremman vuorovaikutuksen lisäksi.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

- Järjestelmä lisää hieman liikkumisen määrää, sillä kuljettajat, jotka eivät pidä pimeässä ajamisesta, saattavat tehdä pimeään aikaan matkoja, jotka ilman järjestelmää jäisivät tekemättä. Järjestelmän arvioitiin lisäävän pimeässä tapahtuvia kuolemia ja loukkaantumisia prosentilla.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

- Järjestelmän helpottaessa pimeässä ajoa jotkut ihmiset, jotka ovat aiemmin käyttäneet pimeään aikaan liikkueensa julkisia kulkuvälineitä, saattavat ruveta käyttämään aiempaa useammin omaa autoa. Tämän vaikutuksen arvioidaan olevan pieni, sillä tällaisia ihmisiä arvioidaan olevan vähän. Järjestelmän arvioitiin lisäävän pimeässä tapahtuvia kuolemia ja loukkaantumisia 0,5 prosenttia.

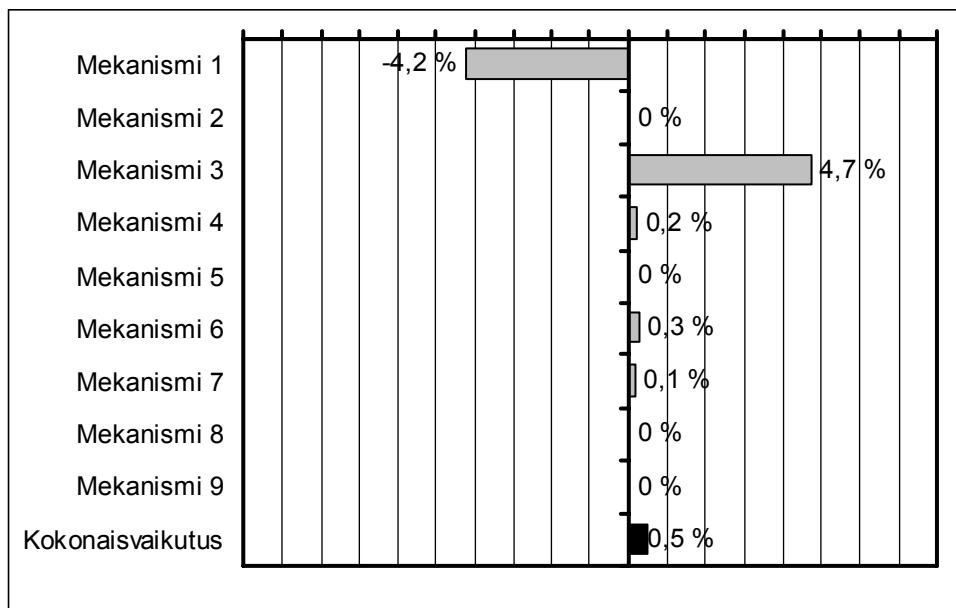
Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

Ei vaikutusta.

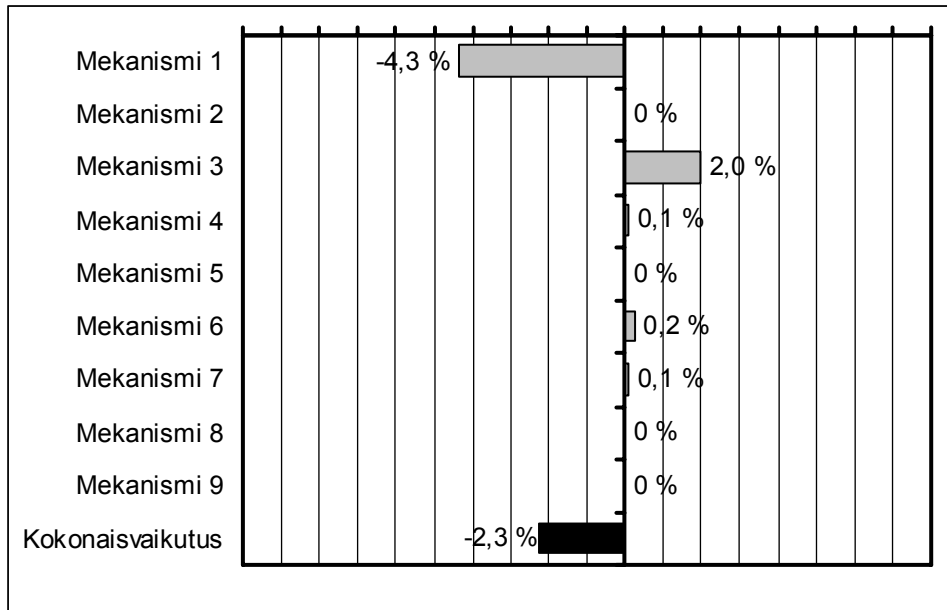
Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.

Järjestelmän tarkoituksena on vähentää tieltä suistumisia sekä törmäyksiä kevyen liikenteen käyttäjiin ja muihin kohteisiin pimeässä. Järjestelmän on tehokkain risteysalueiden ulkopuolella, sillä risteysalueet ovat yleensä jo muutenkin paremmin valaistuja. Järjestelmän vaikutusten arvioidaan olevan hieman suuremmat huonoissa sääoloissa. Vaikutukset kohdistuvat erityisesti valaisemattomille teille, joissa on jalankulkijoita. Näitä löytyy tyypillisesti Suomessa taajamien reuna-alueilta.



Kuva 22. Pimeän ajan tuen vaikutus kuolemiin



Kuva 23. Pimeän ajan tuen vaikutus loukkaantumisiin

5.8 Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmän turvallisuusvaikutukset

Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmä varoittaa kuljettajaa tämän vireystilan heikentyessä.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Järjestelmä varoittaa kuljettajaa, kun hänen vireystilansa laskee tai hän nukahtaa ajaessaan. Jos järjestelmä ei ole luotettava, ts. se joko ei havaitse kaikkia tilanteita tai antaa vääriä hälytyksiä, sen teho estää ja lieventää onnettomuuksia pienenee.

Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmän vaikutuksia on arvioitu AWAKE-projektissa (Final report AWAKE 2004). Arvio ottaa huomioon sen, että järjestelmä ei toimi täydellisesti kaikissa tilanteissa. AWAKE-projektin arvio vastaa muita tehtyjä arvioita (esim. ECORYS 2006).

Järjestelmän arvioidaan vaikuttavan erityisesti pimeään aikaan tapahtuneisiin onnettomuuksiin. Syy tähän on se, että kuljettajan valppaus herpaantuu ja hän saattaa nukahtaa todennäköisimmin ajettuaan pitkään ja alhaisella vireystasolla. Nämä kaksi tekijää yhdistyvät usein nimenomaan pimeässä ajettaessa.

AWAKE-projekti arvioi, että järjestelmä voisi vähentää liikennekuolemia 9 prosenttia. Arviota ei tehty erikseen pimeän ja valoisin ajan onnettomuuksille. Tässä arvioidaan, että järjestelmä olisi 20 kertaa tehokkaampi pimeässä kuin valoisassa.

Järjestelmän arvioidaan olevan erityisen tehokas estämään tieltä suistumisia. Järjestelmän teho estää kaupunkiteillä tapahtuvia onnettomuuksia on pieni, sillä kaupunkiajossa kuljettajan vireystaso pysyy ilman järjestelmääkin korkeamalla kuin maanteillä. Järjestelmän oletetaan olevan erityisen tehokas raskaan

liikenteen onnettomuuksien estämisessä, sillä raskas liikenne on usein yöaikaista ja kuljettajat ajavat pitkiä aikoja ilman taukoja.

Suomen tutkijalautakunta-aineistossa on arvioitu väsymyksen osuutta kuolonkolareissa (Sulander 2008): nukahtaneiden osuus oli 2002–2006 noin 10 prosenttia kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa, lisäksi 10 prosentissa väsymys oli arvioitu riskitekijäksi. Sagberg ym. (2004) raportoivat samansuuntaisen tuloksen: kaikista henkilövahinko-onnettomuuksista noin 5–15 prosentissa väsymys oli taustalla myötävaikuttavana tekijänä. Suurin osa tapauksista on päivällä, mutta yöllä tapahtuvat ovat seurauksiltaan vakavampia kuin päivällä tapahtuvat. Radun ja Radun (2008) selvittivät haastattelututkimuksella nukahtamista rattiin ja havaitsivat nukahtamisia tapahtuvan sekä päiväsaikaan että yöllä. Karkeasti arvioiden 25 prosenttia nukahtamisista raportoitiin tapahtuvan päiväaikaan.

Oletettiin, että järjestelmä estäisi vakavimmat nukahtamisesta aiheutuvat onnettomuudet, joiden seurauksena on kuolema tai loukkaantuminen. Noin neljäsosa vaikutuksista kohdistuu päiväaikaan. Kun onnettomuuksien jakautuminen päivä- ja yöaineistoon otettiin huomioon, mekanismin 1 vaikutusarvio oli -7,4 prosenttia kuolemiin ja -6,8 prosenttia loukkaantumisiin.

Taulukko 12. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmä	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Päivän valo	-3,8 %	-3,8 %
Pimeä	-15,0 %	-15,0 %

Mekanismi 2:

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Aikaisempaa suurempi osa ajosuoritteesta saattaa olla sellaista, että kuljettaja on väsynyt (esimerkiksi pimeydessä ja pitkillä ajomatkoilla), sillä kuljettaja luottaa siihen, että järjestelmä varoittaa häntä tarvittaessa. Kuljettaja saattaa pitää lepotauon myöhemmin kuin ilman järjestelmää. Ajamisesta, etenkin kaistalla pysymistä, tulee näissä olosuhteissa huolimattomampaa. Ilmiö sinällään on epämääräinen, ja järjestelmän luotettavuus ei välttämättä ole hyvä. Vaikutusarvio oli +2,0 ... +2,2 prosenttia (30 % mekanismin 1 vaikutuksesta).

Tiedetään, että kuljettajan vireystason muutoksilla on suuri vaikutus kuljettajan onnettomuusriskiin. Esimerkiksi AIDE-projektissa päädyttiin siihen, että onnettomuusriski kaksinkertaistuu, jos kuljettajan vireystaso putoaa ”erinomaisesta” ”huonoon” (Janssen ym. 2006). Nykyisen järjestelmän ei kuitenkaan oleteta saavan aikaan niin dramaattista muutosta normaalikäyrän huipulla. Tarkkaavaisuuden oletetaan laskevan vasta pitkäaikaisen käytön jälkeen ja erityisesti tietyissä ajo-olosuhteissa.

Huolena on, että kuljettajat luottavat vireystilaa tarkkaileviin järjestelmiin niin paljon, että he jatkavat ajamista väsyneenäkin (OECD 2003). AWAKE-projektin mukaan merkittävä osa (11–38 %) haastatelluista sanoi, että he luultavasti ajaisivat kauemmin kuin normaalisti, jos heillä olisi järjestelmä käytössään.

Vincentin ym. (1998) testiradalla tekemässä kuljettajan väsymyksestä varoittavaa järjestelmää tutkineessa kokeessa tarkkailtiin kuljettajan silmiä ja kasvoja, ajoneuvon nopeutta, ohjausta ja paikkaa kaistalla. Testin mukaan järjestelmän käyttäjät eivät pitäneet pidempiä taukoja eivätkä erottuneet väsymystavoiltaan.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

- Järjestelmä lisää liikkumista jonkin verran, sillä kuljettaja saattaa lähteä järjestelmän turvin matkalle, jolle ei muuten lähtisi. Vaikutusarvio oli +0,1 prosenttia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

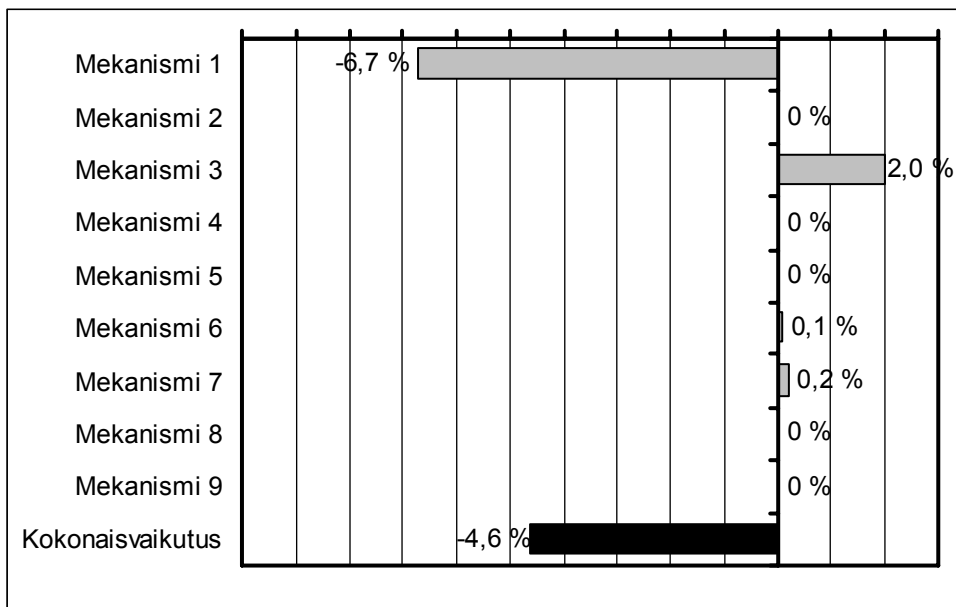
- Jotkut sellaiset matkat, jotka aiemmin tehtiin joukkoliikenteellä, saate- taan järjestelmän käyttöönoton myötä tehdä henkilöautolla. Vaikutusarvio oli +0,1 prosenttia.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

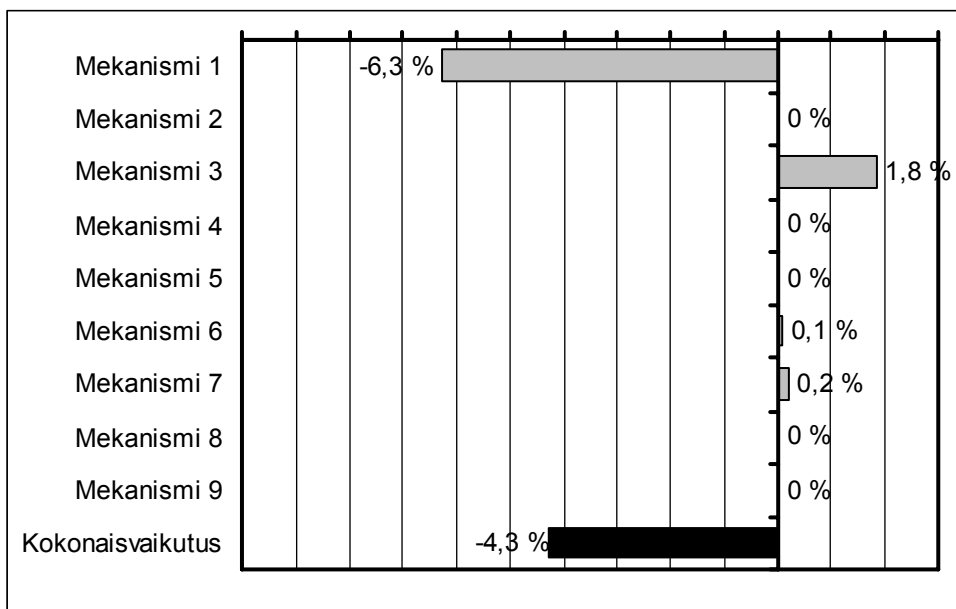
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 24. Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmän vaikutus kuolemiin



Kuva 25. Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmän vaikutus loukkaantumisiin

5.9 Automaattisen hätäviestijärjestelmän vaikutukset

Automaattinen hätäviestijärjestelmä (eCall) lähettää hätäviestin ja avaa puheyhteyden lähimpään hätäkeskukseen onnettomuuden sattuessa.

eCall-järjestelmä eroaa muista arvioiduista järjestelmistä, sillä sen tarkoituksena ei ole vähentää onnettomuuksien määrää vaan lieventää niiden seurauksia. Tästä syystä järjestelmän vaikutukset keskittyvät mekanismiin 9.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

- Kuljettajat luottavat, että järjestelmä lähettää onnettomuuden jälkeen tiedon sijaintipaikasta ja avaa puheyhteyden hätäkeskukseen. Näin ollen

kuljettajat saattavat ajaa aiempaa enemmän syrjäisillä alueilla, jossa ei ole muita ihmisiä lähellä auttamassa ja missä he eivät aina tiedä sijaintiaan. Tämän vaikutuksen oletetaan olevan häviävän pieni.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

- + Järjestelmä vähentää liikennekuolemia ja lieventää loukkaantumisia nopeuttamalla avun saantia onnettomuuspaikalle. Esimerkiksi kuolemat, jotka johtuvat siitä, että avun hälyttäminen onnettomuuden tapahduttua on kestänyt epätavallisen kauan tai onnettomuuspaikan sijainti on ollut epäselvä, voidaan välttää.
- + Nopeampi avun saanti ja tarkka tieto onnettomuuden sijainnista tehostavat tienpitäjän häiriöhallintaa, jolloin onnettomuuden seuraukset (muulle liikenteelle) lievenevät ja seurannaiso onnettomuudet vähenevät. Nopeampi avun saapuminen mahdollistaa lisäksi onnettomuuspaikan nopeamman raivaamisen, jolloin onnettomuudesta johtuvat ruuhkat vähenevät. E-MERGE- ja SEiSS-projekteissa (Geels 2004, Abele ym. 2005) arvioitiin, että eCall voisi vähentää ruuhkia 5–25 prosenttia.

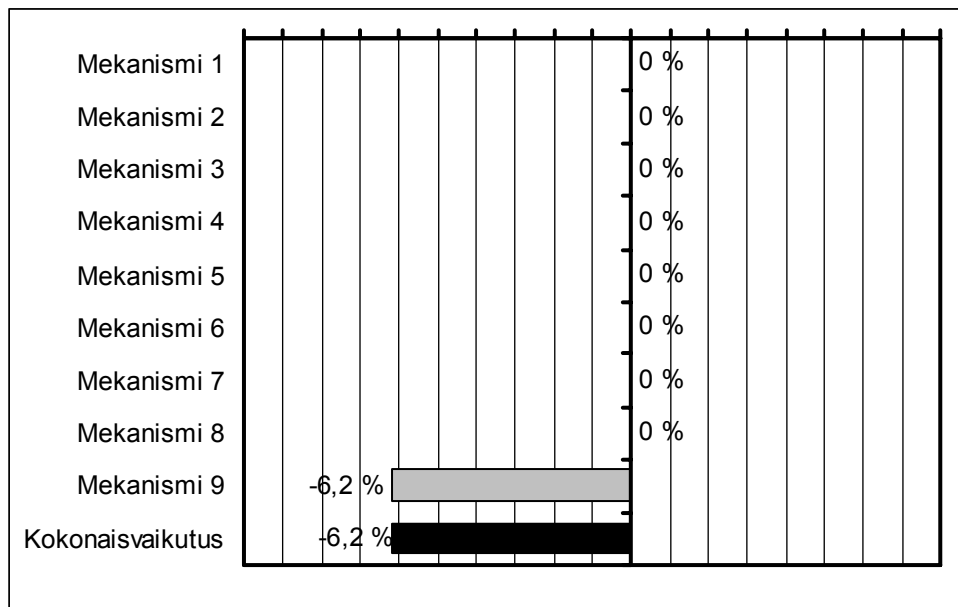
E-MERGE-projekti, eCall Driving Group ja SEiSS-projekti arvioivat, että eCall-järjestelmän laajamittainen käyttöönotto vähentäisi liikennekuolemia ja loukkaantumisia 5–15 prosenttia. Lieviin loukkaantumisiin järjestelmän ei arvioitu vaikuttavan. Ruotsalaisessa tutkimuksessa järjestelmän teho arvioitiin pienemmäksi. Arvion mukaan eCall-järjestelmä voisi vähentää Ruotsissa liikennekuolemia 2–4 prosenttia ja vakavasti loukkaantumisia (pysyviä vammoja) 3–4 prosenttia. (Abele ym. 2005, Bouler 2005, Geels 2004, Lindholm 2004).

Suomalaisessa tutkimuksessa (Virtanen 2005) arvioitiin, että eCall-järjestelmä voisi vähentää 4–8 prosenttia Suomen liikennekuolemista. Arvio perustuu vuosien 2001–2003 liikennekuolemantapausten tarkkaan läpikäymiseen (Virtanen ym. 2006.)

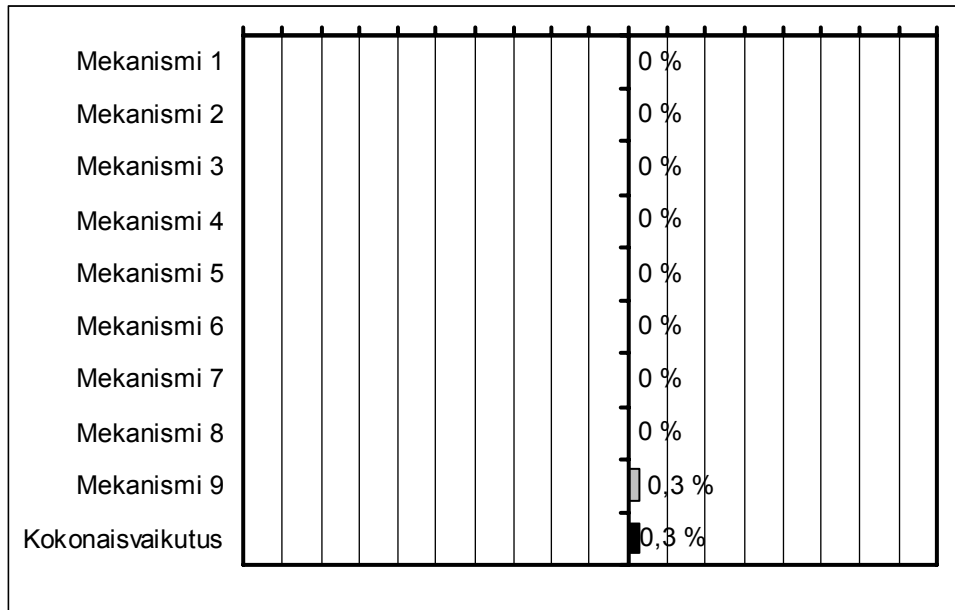
Loukkaantumisten määrän arvioitiin voivan lisääntyä hieman, sillä järjestelmän myötä liikennekuolemat muuttuvat loukkaantumisiksi. Järjestelmä ei vähennä loukkaantumisia lainkaan mutta lieventää loukkaantumisten vakavuutta, tosin vähemmän kuin liikennekuolemia.

Taulukko 13. Mekanismin 9 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Automaattinen hätäviestijärjestelmä - eCall	Mekanismi 9	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Törmäys tiellä olevaan jalankulkijaan	-0,5 %	0,0 %
Törmäys tiellä oleviin muihin esteisiin	-10,0 %	0,3 %
Törmäys tien sivussa olevaan jalkakulkijaan tai muuhun esteeseen tai yksittäisonnettomuus	-20,0 %	0,9 %
Kohtaamisonnettomuus	-1,5 %	0,2 %
Sivuttainen törmäys	-1,0 %	0,0 %
Kulmittainen törmäys	-1,0 %	0,0 %
Peräänajo	0,0 %	0,0 %
Muu kahden ajoneuvon onnettomuus	-1,0 %	0,0 %



Kuva 26. Automaattisen hätäviestijärjestelmän vaikutus kuolemiin



Kuva 27. Automaattisen hätäviestijärjestelmän vaikutus loukkaantumisiin

5.10 Dynaamisen nopeusrajoituksen turvallisuusvaikutukset

Dynaamisen nopeusrajoituksen eri toimintojen turvallisuusvaikutukset on kuvattu erikseen, jolloin eri olosuhteisiin reagoivien toimintojen turvallisuushyöty voidaan laskea lisänä pelkästä nopeusrajoituksesta kertovaan järjestelmään. Turvallisuusvaikutuksia on tarkasteltu erikseen seuraaville toiminnoille:

- pelkkä nopeusrajoitus
- sää- ja keliolot huomioon ottava järjestelmä
- esteet ja ruuhkat huomioon ottava järjestelmä.

Vaikka järjestelmä on kytkettävissä pois toiminnasta, nämä kuvaukset ja arviot suoritetaan kuvaten järjestelmän todennäköistä käyttöä liikenteessä.

5.10.1 Dynaaminen nopeusrajoitus / Nopeusrajoitukset

Järjestelmä kertoo kuljettajalle voimassaolevan nopeusrajoituksen ja varoittaa ylinopeudesta ääni- ja visuaalisella varoituksella.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Järjestelmä lisää kuljettajan tietoisuutta nopeusrajoituksista ja nopeusrajoitusrikkomuksista, jolloin turvallisuus paranee. Tahattomat ylinopeudet, jotka johtuvat siitä, ettei kuljettaja tiedä, mikä tien nopeusrajoitus on, vähenevät. Tahatonta ylinopeutta ajetaan erityisesti tienosilla, joilla nopeusrajoitus vaihtuu useasti lyhyellä matkalla, nopeusrajoitusmerkkejä on harvassa tai missä nopeusrajoitukset eivät ole kuljettajan mielestä loogisia. Järjestelmä myös harmonisoi nopeuksia pitkällä aikavälillä, sillä hiljempaa ajavat kuljettajat yleensä nostavat nopeuksiaan luottaessaan järjestelmän kertovan heille, milloin he ajavat ylinopeutta.

- + Nopeuksien alentaminen alentaa törmäysnopeutta ja näin ollen lieventää onnettomuuksien seurauksia. Koska järjestelmä alentaa keskinopeuksia, voidaan Nilssonin potenssimallia käyttää (Nilsson 2004).

Eurooppalaisissa ISA-kokeiluista saatuja tuloksia (SRA 2002, eSafety Forum 2005, PROSPER 2006) käytettiin arvioitaessa vaikutuksia kuljettajakäyttäytymiseen. Arvioinneissa otettiin huomioon, että järjestelmä on vapaaehtoinen ja kuljettaja voi muuttaa sen asetuksia. Eri tietyypeillä oletettiin seuraava liikennesimulaatiotulosten kanssa yhteneväinen (Wilmink ym. 2008) käyttäytymisen muutos:

- Moottoritiet: Yli 5 km/h ylinopeudet vähenevät 12 prosentista 10 prosenttiin. Keskinopeus laskee 0,5 km/h. Ylinopeutta ajavien keskinopeus laskee 1 km/h.
- Maantiet: Ylinopeudet vähenevät 20 prosentista 15 prosenttiin. Keskinopeus laskee 1 km/h. Ylinopeutta ajavien keskinopeus laskee 2 km/h.
- Taajamatiet (urban roads): Ylinopeudet vähenevät 25 prosentista 20 prosenttiin kaupungeissa (towns). Ylinopeudet vähenevät 15 prosentista 10 prosenttiin kaupungin keskustoissa (cities). Keskinopeus laskee 0,5 km/h. Ylinopeutta ajavien keskinopeus laskee 1 km/h.

Edellä esitetyt on muutettu Nilssonin mallia (Nilsson 2004) käyttämällä Dynaaminen nopeusrajoitus / Nopeusrajoitukset -toiminnon turvallisuusvaikutuksiksi.

Taulukko 14. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuusluokittain.

Dynaaminen nopeusrajoitus / Nopeusrajoitukset	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Moottoritie	-3,0 %	-1,5 %
Maantie	-5,5 %	-2,8 %
Taajama-alue	-6,0 %	-3,0 %

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmien välittömät vaikutukset

- + Vaikka arvioitava järjestelmä ei ole tienvarsijärjestelmä, ainakin yksi tienvarsijärjestelmä vaikuttaa sen turvallisuusvaikutuksiin: nopeusvalvonta. Tahattomaan ylinopeuteen vaikuttavat tiedon puute riskeistä, stressi, kulttuuri ja kuljettajan itsehallinta. Tahattomien ylinopeuksien määrään vaikuttavat myös riski saada sakot sekä sakkojen suuruus. Kamera- ja poliisivalvonta on lisääntynyt ja lisääntynee edelleen. Valvonnan lisäämisen oletetaan kasvattavan järjestelmäs-tä saatavia hyötyjä. Tässä oletetaan samoin kuin eIMPACT-projektissa (Wilmink ym. 2008), että nopeusvalvonnan lisäyksestä johtuen järjestelmä laskee huippunopeuksia 2 km/h lisää. Tämän oletetaan laskevan keskinopeuksia 0,2 km/h, jolloin Nilssonin (2004) mallin mukaan tämä vähentää tietyypeittäin (moottori-

tie/maantie/kaupunkitie) loukkaantumisia 0,4/0,5/0,8 prosenttia ja kuolemia 0,8/1,0/1,6 prosenttia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Lisääntynyt nopeusvalvonta ja siitä seurauksena oleva ylinopeussakkojen kasvava määrä lisäävät kiinnostusta nopeusrajoituksista kertovaa järjestelmää kohtaan. Yhdessä vakionopeuden säätimen kanssa järjestelmä toimii vapaaehtoisena nopeutta rajoittavana järjestelmänä. On todennäköistä, että jotkut kuljettajat käyttävät järjestelmää tällä tavoin välttääkseen ylinopeussakkoja.
- + Nykyinen suuntaus on myös käyttää nopeusvalvontaa yhtenä laadunvalvonnan perusteena. On todennäköistä, että koulu- ja erityisryhmien kuljetuksissa sekä takseissa vaaditaan tulevaisuudessa nopeusrajoitusjärjestelmä. Järjestelmän käyttö saattaa kuulua myös yritysten laatu- ja turvallisuuspolitiikkaan.
- + Näiden yllämainittujen positiivisten vaikutusten arvioidaan yhteensä laskevan keskinopeutta 0,4 prosenttia. Nilssonin mallin mukaan loukkaantumiset vähenevät 0,8 prosenttia ja kuolemat 1,6 prosenttia.
- Ajoittain, esimerkiksi huonoissa kelioloissa, kiinteä nopeusrajoitus voi olla olosuhteisiin nähden turvallista nopeutta korkeampi. Tällöin järjestelmä saattaa nostaa nopeuksia, sillä monet kuljettajat pitävät rajoituksia myös suosituksina. On kohtuullista olettaa, että 3 prosenttia koko vuoden ajamisesta tapahtuu tällaisissa olosuhteissa (Schirokoff ja Aittoniemi 2005) ja että nopeus kasvaa 5 prosenttia (katso Rämä ym. 2001). Tämä lisäisi loukkaantumisia 10 prosenttia ja kuolemia 22 prosenttia ongelmallisissa olosuhteissa. Kaikissa olosuhteissa loukkaantumiset lisääntyisivät 0,3 prosenttia ja kuolemat 0,6 prosenttia.

Mekanismin 3 epäsuora vaikutus kuljettajan toimintaan vähentää kuolemia prosentin ja loukkaantumisia 0,5 prosenttia. Vaikutukset kohdistuvat eri tietyypeille (moottoritie/maantie/kaupunkitie) samaan tapaan kuin mekanismin 1 suorat vaikutukset (−0,7/−1,0/−1,2 % ja −0,3/ −0,4/−0,6 %)

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

- Nykyisessä tilanteessa monet kuljettajat ajavat ylinopeutta. Kuljettaja, jolla on nopeusrajoitusjärjestelmä ja joka noudattaa nopeusrajoituksia, saattaa näin ollen aiheuttaa muiden kuljettajien turhautumista ja varomattomia ohituksia. Samalla keskinopeus kasvaa. Erityisesti näin voi tapahtua silloin, kun järjestelmiä on vasta harvalla. Keskinopeuden kasvu on kuitenkin otettu huomioon mekanismissa 1, jossa on käytetty muiden tutkimusten kenttäkokeissa saatuja tuloksia. Muut kuin nopeusvaikutukset arvioidaan pieniksi.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- + Järjestelmää käyttävien alhaisempi nopeus vaikuttaa perässä ajavien nopeuksiin erityisesti yksiajorataisella kaksikaistaisella maantielä, jossa ohittaminen ei aina ole helppoa. Ruotsissa tehdyissä ISA-kokeissa havaittiin, että jokainen ISA-auto vaikutti keskimäärin yhden ei-ISA-auton nopeuteen (SRA 2002). Tämän vaikutuksen suuruus riippuu järjestelmän yleisyydestä: kun järjestelmä on kaikissa tai lähes kaikissa ajoneuvoissa, vaikutus häviää. Edellä mainittuihin seikkoihin perustuen arvioitiin, että järjestelmällä varustetut ajoneuvot vaikuttavat muihin autoihin kaupunkialueilla ja yksiajorataisilla teillä. Vaikutuksen arvioitiin vähentävän tietyypeittäin (moottoritie/maantie/kaupunkitie) kuolemia 1,2/2,2/2,4 prosenttia ja loukkaantumisia 0,6/1,1/1,2 prosenttia.
- + Ruotsalaisissa tutkimuksissa järjestelmällä varustettujen ajoneuvojen kuljettajat raportoivat ottavansa huomioon kevyen liikenteen merkittävästi aiempaa enemmän. Tosin vain muutamat havainnot vahvistivat tämän. Stressaantuneita bussikuskeja lukuun ottamatta kuljettajat eivät kompensoineet alhaisemman ajonopeudesta aiheutunutta ajanhukkaa sillä, että eivät pysähtyisi suojatiele (Biding and Lind 2002, Vårheli ym. 2004). Tämän vaikutuksen oletetaan vähentävän kokonaisuusriskiä kaupunkialueilla 1,4 prosenttia (10 % vähenemä moottoriajoneuvo–jalankulkijaonnettomuuksissa, mikä tarkoittaa noin 14 % kaupunkionnettomuuksista).

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

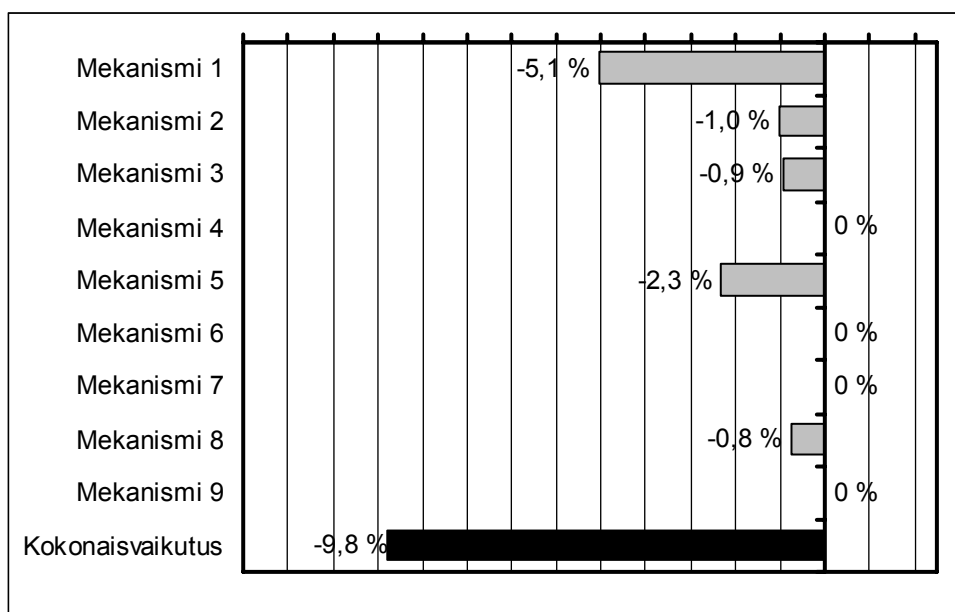
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

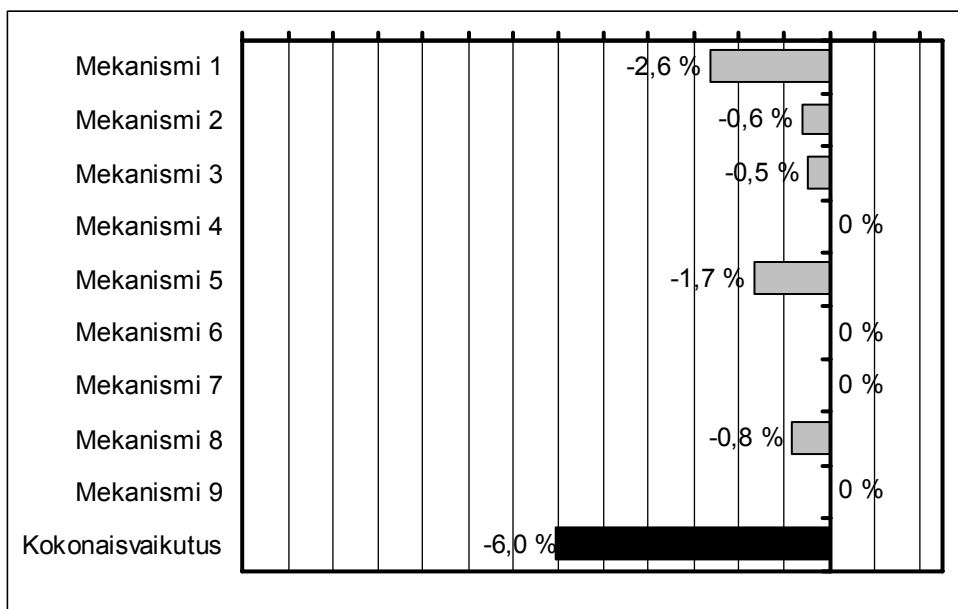
- + Kuljettajilla on tapana valita reiteistä se, jolla on korkeimmat nopeusrajoitukset. Tämä on turvallisuuden kannalta hyvä, sillä korkealuokkaisilla teillä on yleensä alhaisempi onnettomuusaste. Arvioitiin, että muutos käyttää enemmän moottoriteitä vähentää onnettomuuksia kaupunkiteillä ja maanteillä prosentin ja lisää onnettomuuksia moottoriteillä 5 prosenttia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 28. Dynaamisen nopeusrajoituksen vaikutus kuolemiin



Kuva 29. Dynaamisen nopeusrajoituksen vaikutus loukkaantumisiin

5.10.2 Dynaaminen nopeusrajoitus / Huonot sää- ja keliolosuhteet

Järjestelmä antaa nopeussuosituksen, joka ottaa nopeusrajoituksen lisäksi huomioon sään ja kelin.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Kuljettajat alentavat nopeuttaan huonoissa sää- ja kelioloissa saadessaan järjestelmältä suosituksen ajaa hiljempaa. Moottoriteillä keskinopeuden arvioitiin laskevan sumussa noin 7 km/h perustuen Hogeman ja van der Horstin (1997) tutkimukseen muuttuvien nopeusrajoitusten vaikutuksista. Rämän (2001) tekemän sää- ja keliohja-

tun nopeusrajoituksen vaikutuksia selvittäneen tutkimuksen perusteella nopeuden oletetaan alenevan liukkaalla kelillä moottoriteillä 5 km/h. Maanteillä järjestelmän arvioidaan alentavan nopeuksia 6 km/h sumussa ja 4 km/h liukkaalla (Al-Ghamdi 2007 ja Rämä ym. 2001). Suhteellisesti ilmaistuna sumu alentaa keskinopeutta 7 prosenttia ja liukkaus 5 prosenttia.

- + Järjestelmän oletetaan vähentävän nopeuseroja. Niiden ajoneuvojen, joissa järjestelmä huonoissa sää- ja kelioloissa antaa alennetun nopeussuosituksen, nopeuden keskihajonnan oletetaan laskevan noin 10 prosenttia. Samaan aikaan järjestelmällä varustamattomien ajoneuvojen keskihajonta todennäköisesti kasvaa noin 20 prosenttia (Rämä ym. 2001). Nopeushajontavaikutus on merkittävä todennäköisesti vain silloin, kun järjestelmä on yleinen, sillä muulloin varustettujen ja ei-varustettujen ajoneuvojen hajontamuutokset kumoavat suurelta osin toisensa.
- + Nopeusvaikutuksen lisäksi kuljettajien tietoisuus sään ja kelin aiheuttamista riskeistä kasvaa, jolloin esimerkiksi liukkaalla kelillä saateen pitää pidempää väliä edellä ajavaan. Järjestelmän käytön arvioidaan vähentävän lyhyiden aikavälien osuutta 25 prosenttia (Rämä ym. 2001). Sumussa tämän vaikutuksen oletetaan kuitenkin olevan hyvin pieni (Hogema ja van der Horst 1997, Al-Ghamdi 2007). Kuljettajien havainnointi paranee muillakin tavoilla kuin pidemmän etäisyyden pitämisellä, mutta muiden vaikutusten oletetaan sisältävän nopeuden muutosvaikutukseen.

Oletetaan, että Suomessa sumun takia nopeussuositusta muutetaan erittäin harvoin. Tästä syystä arvioissa käytetään liukkaaseen keliin liittyviä arvioita. Nilssonin potenssimallin mukaan (Nilsson 2004) edellä kuvattu nopeusvaikutus vähentää loukkaantumisia 10 prosenttia liukkaalla kelillä ja vastaavasti kuolemia 19 prosenttia. Muissa huonoissa sääoloissa, kuten kovassa sateessa tai tuulessa, vaikutuksen oletetaan olevan sama.

Vaaratilanteiden tiedostaminen ja pidempi etäisyys edellä ajavaan laskevat myös onnettomuusriskiä. AIDE-projektin tulosten (Janssen ym. 2006) mukaan edellä kuvattu vaikutus vähentäisi onnettomuusriskiä 23 prosenttia (tietoisuuden lisääntyminen normaalista hyvään tai erinomaiseen). Nopeuden muutoksesta Nilssonin mallilla lasketuissa turvallisuusvaikutuksissa on osittain mukana jo tietoisuuden lisääntyminen. Jotta nopeuden vaikutusta ei laskettaisi kahden kertaan, tästä vaikutuksesta otetaan huomioon vain puolet eli noin 11 prosenttia. Alle sekunnin etäisyydellä ajavien kuljettajien onnettomuusriski laskee 40 prosenttia (aikaväli kasvaa 1 sekunnista 1,5 sekuntiin, jolloin AIDEn mukaan onnettomuusriski laskee 125:stä 75:een). Rämän (2001) mukaan lyhyen etäisyyden edellä ajaviin pitävien kuljettajien osuus väheni liukkaalla noin 15 prosenttia varoituksen ansiosta. Varoituksen ja nopeusrajoituksen yhdistelmän oletettiin vähentävän lyhyiden osuutta enemmän kuin pelkän varoituksen eli 25 prosenttia. Ilman varoitusta noin 8 prosenttia kuljettajista piti lyhyttä etäisyyttä. Näin ollen etäisyyden muutoksen vaikutus onnettomuusriskiin olisi noin

0,8 prosenttia ($40 \% \cdot 25 \% \cdot 8 \%$). Koska muutkin kuljettajat kasvattavat etäisyyttä noin 0,1 s, onnettomuuden kokonaisriski etäisyydestä johtuen laskee noin 4,5 prosenttia.

Mekanismin 1 yhdistetty onnettomuusriskin muutos on -24% ($0.90 \times 0.89 \times 0.955 = 0.76$) loukkaantumisonnettomuuksissa ja -31 prosenttia ($0.81 \times 0.89 \times 0.955 = 0.69$) kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa.

Taulukko 15. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset onnettomuuksiin huonoissa ja normaaleissa sääolosuhteissa.

Dynaaminen nopeusrajoitus / Huonot sää- ja keliolosuhteet	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Huono	-31,2 %	-23,5 %
Normaali	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmien välittömät vaikutukset

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Kuljettajat oppivat luottamaan järjestelmään ja nostavat ajonopeut-
taan hyvissä sää- ja kelioloissa. Simulaattoritutkimuksessa havaittiin
merkittävä nopeuden kasvu (Peltola 2002), mutta oikeassa liikenteessä
tehdyissä tienvarsijärjestelmien tutkimuksissa vaikutuksen
on arvioitu olevan pienempi; 0,4–1 km/h (Rämä 2001). Koska tämä
vaikutus voi pitää sisällään myös muista tekijöistä johtuvia vaikutuk-
sia, oletetaan, että järjestelmästä aiheutuva nopeuden kasvu voisi
olla 0,2 prosenttia. Nilssonin (2004) potenssimallin mukaan tämä
tarkoittaa, että hyvissä sää- ja kelioloissa loukkaantumiset lisäänty-
vät 0,4 prosenttia ja kuolemat 0,8 prosenttia. Huonoissa sää- ja ke-
lioloissa järjestelmän vaikutus voi laskea ajan myötä, jos kuljettajat
huomaavat, että järjestelmä ei aina toimi oikein. Tämä lisää onnet-
tomuusriskiä prosentilla.

Mekanismi 4 ja 5: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä, sekä vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- ✚ Järjestelmää käyttämättömät kuljettajat joutuvat hiljentämään huo-
noissa sää- ja kelioloissa, jos heidän edellään ajaa järjestelmää
käyttävä kuljettaja, joka säähän tai keliin liittyvän nopeussuosituks-
sen saatuaan hiljentää nopeuttaan. Tämä laskee myös järjestelmää
käyttämättömien onnettomuusriskiä, erityisesti moottoriteiden ulko-
puolella.
- Järjestelmää käyttävän takana ajava järjestelmää käyttämätön kul-
jettaja saattaa lähteä ohittamaan edellä hiljempaa ajavaa ajoneu-
voa, sillä hänelle ei välttämättä ole selvää, miksi edellä ajava ajaa
tienvarressa olevaa nopeusrajoitusta hiljempaa. Yksiajorataisilla

kaksikaistaisilla teillä tämä lisää nokkakolarin ja peräänajon riskiä (kuljettaja saattaa ajaa hyvin lähellä edellä ajavaa).

Tämän mekanismin vaikutus riippuu paljon siitä, kuinka yleinen järjestelmä on. Alla olevat luvut kuvaavat suurimpia vaikutuksia, joiden oletetaan ilmenevän kun 50 % ajoneuvoista on varustettu järjestelmällä. Kun järjestelmä on kaikissa tai lähes kaikissa ajoneuvoissa, vaikutus häviää. Joka tapauksessa positiivisten vaikutusten arvioidaan olevan kielteisiä vaikutuksia suurempia.

Moottoriteillä vaikutuksen arvioidaan olevan liukkaalla kelillä 10 prosenttia mekanismin 1 vaikutuksesta eli liukkaalla loukkaantumiset vähenevät prosentin ja kuolemat 1,9 prosenttia. Maanteillä vaikutuksen arvioidaan olevan liukkaalla kelillä 40 prosenttia mekanismin 1 vaikutuksesta eli liukkaalla loukkaantumiset vähenevät 4 prosenttia ja kuolemat 7,6 prosenttia. Kun otetaan huomioon, että moottoriteiden osuus sekä liikennekuolemista että loukkaantumisista on noin kaksi prosenttia, maksimivaikutus järjestelmän 50 prosentin yleisyysasteella on –3,9 prosenttia loukkaantumisten ja –7,5 prosenttia kuolemien määrään.

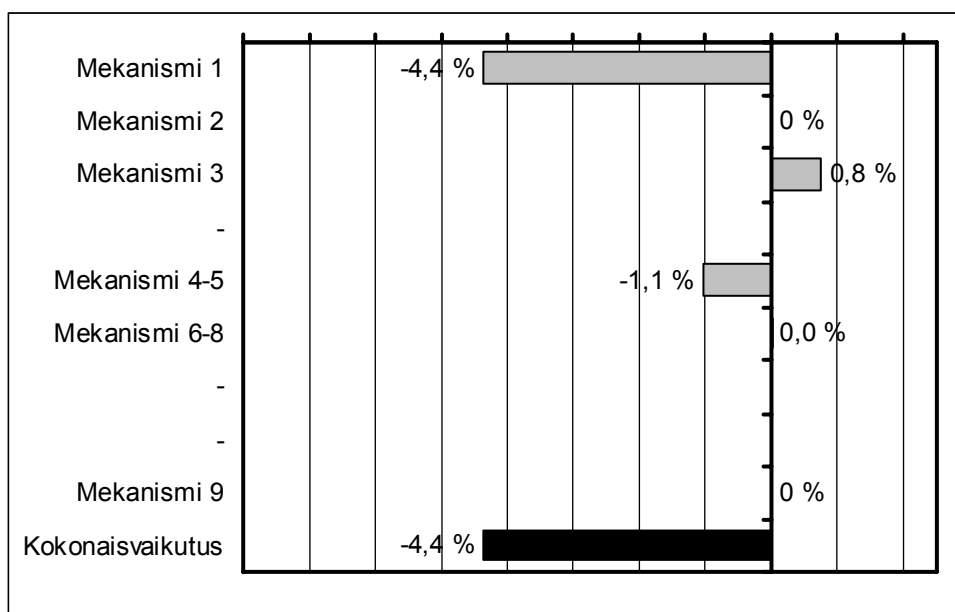
Mekanismit 6–8: Vaikutukset liikkumisen määrään sekä liikennemuodon ja reitin valintaan

- Järjestelmä saattaa lisätä ajamista huonoissa sää- ja kelioloissa, koska kuljettaja luottaa, että järjestelmä opastaa kuljettajaa käyttämään kulloisiinkin olosuhteisiin sopivaa nopeutta. Tämä lisäys voi koostua joko aivan uusista matkoista, jotka ennen olisi jätetty huonoissa oloissa tekemättä, tai vielä todennäköisemmin sellaisista matkoista, jotka aiemmin olisi tehty jollain muulla liikennemuodolla. Jossain tapauksissa kuljettaja saattaa käyttää enemmän sellaisia reittejä, joilla huonojen sää- ja keliolojen todennäköisyys on suurempi, luottaessaan järjestelmän apuun (esim. alempi tienhoitoluokka). Kaikkiaan nämä vaikutukset ovat pieniä ja matkojenlisäys kohdistuu todennäköisesti vähän ajavien kuljettajien vapaaehtoiisiin matkoihin.

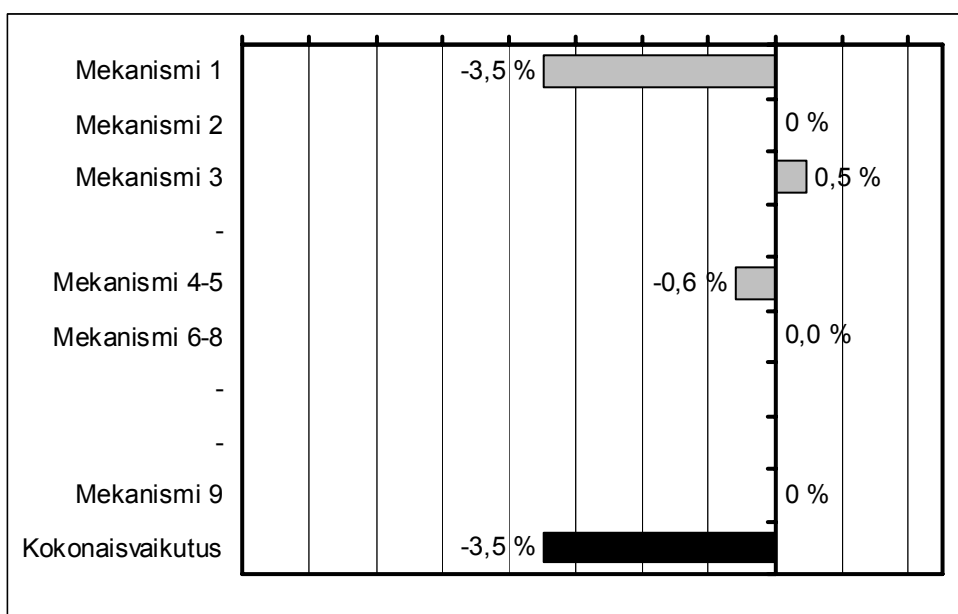
Vaikutuksen arvioidaan lisäävän huonoissa ajo-oloissa tapahtuvia onnettomuuksia kaikkiaan 0,1 prosenttia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 30. Huonon sään ja kelin huomioon ottavan dynaamisen nopeusrajoituksen vaikutus kuolemiin



Kuva 31. Huonon sään ja kelin huomioon ottavan dynaamisen nopeusrajoituksen vaikutus loukkaantumisiin

5.10.3 Dynaaminen nopeusrajoitus / Esteet ja ruuhka

Järjestelmä antaa nopeussuosituksen, joka ottaa nopeusrajoituksen lisäksi huomioon tiellä olevat esteet ja ruuhkatilanteet.

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✚ Kuljettaja alentaa nopeuttaan järjestelmän antamien suositusten mukaisesti, jolloin onnettomuusriski (törmäys paikallaan olevaan esteeseen tai hitaasti liikkuvaan ajoneuvoon) laskee ja onnettomuuden seuraukset lievenevät. Tämän järjestelmän vaikutus on toden-

näköisesti suurempi kuin paikallista vaaroista varoittavan järjestelmän (Noecker ym. 2007), sillä tässä järjestelmässä kuljettajalle annetaan pelkän varoituksen lisäksi nopeussuositus. Järjestelmän arvioidaan vähentävän nopeutta 10 prosenttia. Nilssonin potenssimalin mukaan (Nilsson 2004) tämä muutos tarkoittaa, että loukkaantumiset vähenisivät 19 prosenttia ja kuolemat 34 prosenttia.

- + Kuljettajien tarkkaavaisuus on kohdistunut edessä olevaan tiehen (parempi tilannetietoisuus, situation awareness) ja onnettomuuden riski vähenee. AIDE-projektin tulosten mukaan (Janssen ym. 2006) edellä mainitun seurauksesta onnettomuusriski voisi alentua noin 42 prosenttia (tietoisuuden nousu normaalista erinomaiseen). Jotta nopeuden vaikutusta ei laskettaisi kahteen kertaan, tästä vaikutuksesta otetaan vain puolet eli noin 21 prosenttia.
- + Jos ajoneuvo ajaa jonossa, kuljettajan huomio on keskittynyt ajoneuvoon ja edessä olevaan tiehen. Koska kuljettaja odottaa edellä ajavan ajoneuvon jarruttavan, hän pitää pidempää etäisyyttä ja peräänajon riski vähenee. Jos etäisyys edellä ajavaan kasvaa keskimäärin 0,2 sekuntia, AIDE-analyysin (Janssen ym. 2006) mukaan onnettomuusriski laskee 8 prosenttia. Tämä arvio on samansuuruisen Pestin (2007) raportoiman jonovaroitusjärjestelmän peräänajoja vähentävän vaikutuksen kanssa.
- Kun kuljettaja saa varoituksen esteestä tai ruuhkasta ja nopeussuosituksen, hänen huomionsa ei ole erityisesti keskittynyt liikennetilanteeseen. Häiriövaikutuksen voidaan arvioida olevan huomattava, mutta kestävän hyvin lyhyen matkan, vain muutamia satoja metrejä. Tästä syystä vaikutusta ei oteta huomioon.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Suomalaisiin onnettomuustilastoihin perustuen kaksi prosenttia loukkaantumiseen johtavista onnettomuuksista ja 3 prosenttia kuolemaan johtavista onnettomuuksista maanteillä johtui törmäyksestä kiinteään esteeseen (järjestelmäkuvauksessa mainitun luettelon mukaiset esteet).
- Näistä onnettomuuksista noin kolmannes johtuu toisesta onnettomuudesta. Yleensä seurannaislonnettomuudet ovat huomattavasti yleisempiä moottoriteillä. Yhdysvaltalaisen aineistojen pohjalta (Birriel 2007, Hoffman 2002, Truckflix 2006, Warren 2006) arvioituna noin 25 prosenttia Euroopan moottoriteionnettomuuksista johtuisi toisista onnettomuuksista.

Yllämainittujen prosenttimuutosten yhdistelmä näyttää paikallisesti onnettomuusriskin muutokseksi 41 prosenttia ($0,81 \times 0,79 \times 0,92$) loukkaantumiseen johtavissa onnettomuuksissa ja 52 prosenttia ($0,66 \times 0,79 \times 0,92$) kuolemaan johtavissa. Maanteillä kuolemat vähenisivät täten 1,6 prosenttia ($52 \% \times 3 \%$) ja loukkaantumisonnettomuudet 0,8 prosentilla ($41 \% \times 2 \%$). Moottoriteillä vastaavat vähentymiset ovat 13 prosenttia ($52 \% \times 25 \%$) ja 10,3 prosenttia ($41 \% \times 25 \%$).

Taulukko 16. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset tieluokittain.

Dynaaminen nopeusrajoitus / Esteet ja ruuhka	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Moottoritie	-13,0 %	-10,3 %
Maantie	-1,6 %	-0,8 %
Taajama-alue	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmien välittömät vaikutukset

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Kuljettajat oppivat luottamaan järjestelmään ja nostavat keskimääräistä ajonopeuttaan. Koska järjestelmä todennäköisesti antaa myös jonkun verran vääriä hälytyksiä (nopeussuositus, silloin kun estettä ei ole näkyvissä, tai suositusta ei anneta, vaikka edessä on este), tämä vaikutus ei todennäköisesti ole kovin suuri: nopeuden arvioidaan nousevan prosentilla. Nilssonin mallin mukaan tämä tarkoittaa, että loukkaantumiset lisääntyvät 2 ja liikennekuolemat 4 prosenttia.
- Saadessaan ruuhkasta johtuvan nopeussuosituksen kuljettajat reagoivat siihen eri tavoin: jotkut lisäävät nopeutta voittaakseen aikaa ennen ruuhkaa ja kenties ohittavat autoja vielä ennen sitä, kun toiset taas ajavat rauhallisesti ja noudattavat saamaansa nopeussuositusta, koska joutuvat kuitenkin ruuhkaan. Nämä käyttäytymismallit havaittiin mm. Innamaan ym. (2000) ruuhkan huomioon ottavaa nopeuden hallintajärjestelmää tutkittaessa. Kuljettajien erilainen lähestymismalli aiheuttaa nopeuden hajonnan kasvua ja onnettomuusriskin lisääntymistä. Kaikkiaan arvioidaan, että loukkaantumiset lisääntyvät 0,5 prosenttia ja kuolemat prosentin.

Mekanismin 3 kokonaisvaikutus on näiden kahden yhteisvaikutus eli +5 prosenttia ($0,96 \times 0,99$) kuolemaan johtavissa ja +2,5 prosenttia ($0,98 \times 0,995$) loukkaantumisonnettomuuksissa moottoriteillä. Maanteillä vaikutukset ovat pienempiä: +1 prosentti kuolemaan johtavissa ja +0,3 prosenttia loukkaantumisonnettomuuksissa.

Mekanismi 4 ja 5: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä, sekä vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- ✚ Järjestelmää käyttämätön autoilija, joka lähestyy ongelmapaikkaa, joutuu hidastamaan ajaessaan järjestelmää käyttävän takana, joka hidastaa saatuaan varoituksen ja nopeussuosituksen.
- Jotkut järjestelmää käyttävän takana ajavat autoilijat saattava ohittaa järjestelmää käyttävän ajoneuvon, sillä eivät tiedä syytä voimassa olevaa nopeusrajoitusta hiljempaa ajamiseen.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Kulmala ym. 2008 arvioivat, että 75 prosenttia kuljettajista hidastaa ja 25 prosenttia ohittaa moottoritiellä.
- Peräänajo-onnettomuuksien seuraukset lievenevät, koska ajonopeus on alhaisempi.
- Maanteillä kaikki ajoneuvot hidastavat nopeuttaan, koska ohittamisen todennäköisyys on pieni.
- On otaksuttu (Kulmala ym. 2008b), että hidastamisen aiheuttamat muutokset vähentävät moottoriteillä loukkaantumiseriskä 10 prosenttia ja kuolemanriskiä 19 prosenttia sekä maantieliikenteessä vastaavasti 20 prosenttia ja 36 prosenttia (Nilsson 2004). Koska nämä tilanteet edustavat vain noin kolmea prosenttia maanteiden loukkaantumisonnettomuuksista, vaikutus on $-0,6$ prosenttia maanteiden loukkaantumisonnettomuuksiin. Kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa vastaava vaikutus on $-1,1$ prosenttia. Moottoriteillä neljännes onnettomuuksista liittyy häiriöihin ja siten vaikutus on $-2,5$ prosenttia ($25 \% \times 10 \%$) loukkaantumisonnettomuuksissa ja $-4,8$ prosenttia ($25 \% \times 19 \%$) kuolemaan johtavissa. On huomattava, että kun kyllästymisaste on sata tai hyvin lähellä sitä, vaikutus jää pois.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Ei vaikutuksia, sillä tilanteet tulevat yllättäen ja niitä on vaikea ennustaa.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

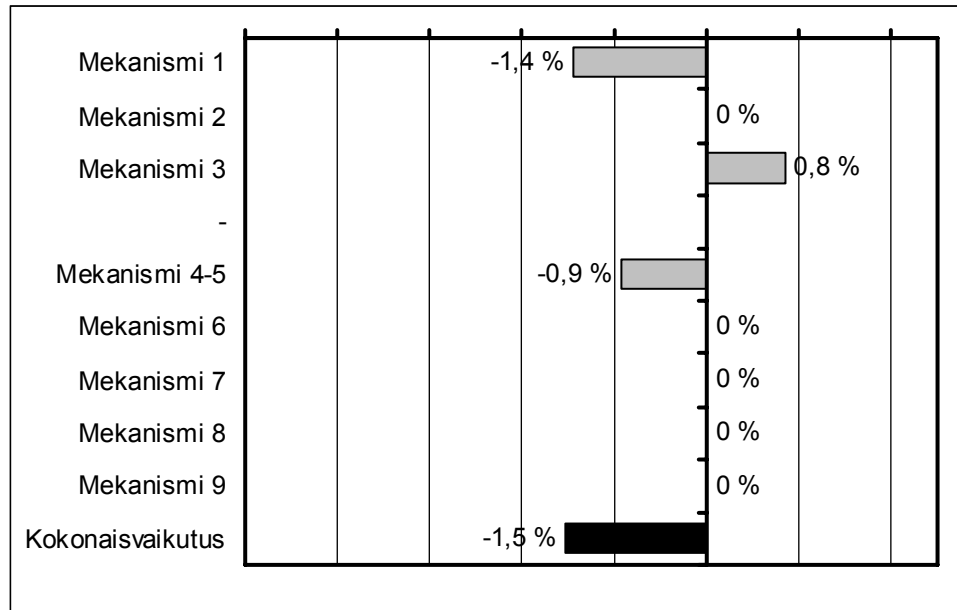
Ei vaikutuksia, sillä tilanteet tulevat yllättäen ja niitä on vaikea ennustaa.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

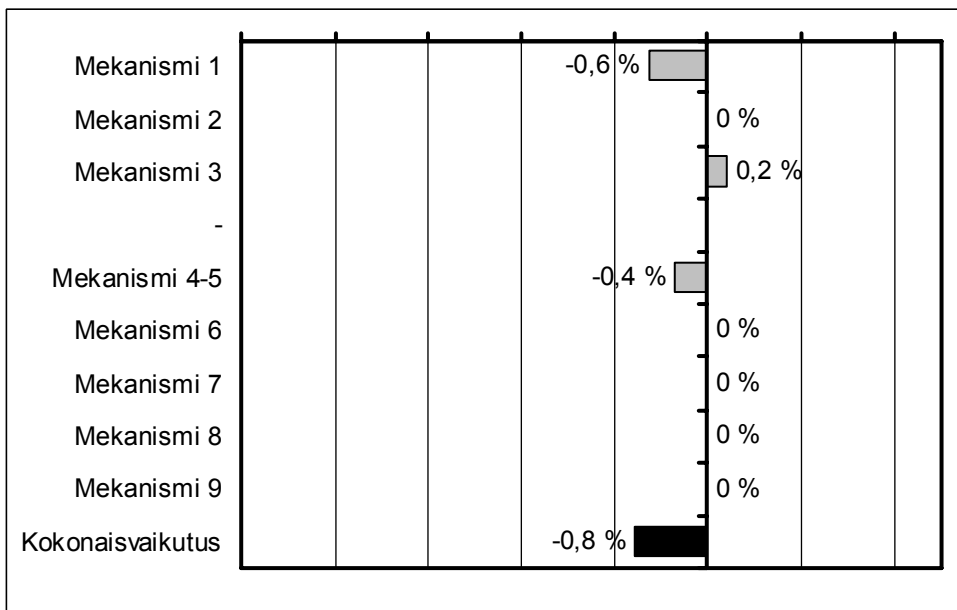
Vaikutus on marginaalinen, sillä varoitus ja nopeussuositus annetaan juuri ennen ongelmakohtaa.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 32. Esteet ja ruuhkan huomioon ottavan dynaamisen nopeusrajoituksen vaikutus kuolemiin



Kuva 33. Esteet ja ruuhkan huomioon ottavan dynaamisen nopeusrajoituksen vaikutus loukkaantumisiin

5.11 Paikallisista vaaroista varoittavan järjestelmän turvallisuusvaikutukset

Järjestelmä välittää muihin autoihin dynaamista tietoa havaitsemistaan esteistä, huonosta säästä ja kelistä sekä ruuhkista.

5.11.1 Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä / Staattinen este

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Kuljettajien tarkkaavaisuus on kohdistunut edessä olevaan tiehen ja onnettomuuden riski vähenee. AIDE-projektin tulosten mukaan (Janssen ym. 2006) edellä mainitun seurauksesta onnettomuusriski voisi alentua noin 42 prosenttia (tietoisuuden nousu normaalista erinomaiseen) Jotta nopeuden vaikutusta ei laskettaisi kahteen kertaan, tästä vaikutuksesta otetaan vain puolet, eli noin 21 prosenttia.
- + Kuljettaja alentaa nopeuttaan aiempaa aikaisemmin. Onnettomuusriski vähenee (törmäys paikallaan olevaan esteeseen tai hitaasti liikkuvaan ajoneuvoon) ja onnettomuuden seuraukset lievenevät. Noecker 2007 totesi simulaattoritutkimuksessaan, että varoituksen saaneet kuljettajat alensivat nopeuttaan 400 metriä aiemmin ja ajoivat 10 km/h alemmalla nopeudella kuin ilman varoitusta. Toinen tutkimus (Demo 2006) osoittivat, että nopeus laskee 10 prosenttia (– 6...–7 km/h), mutta osa näistä vaikutuksista voi olla uutuudesta johtuvia. Tässä arvioidaan, että nopeus voisi laskea 8 prosenttia, jolloin Nilssonin (2004) mallin mukaisesti loukkaantumiset vähenisivät 15 prosenttia ja kuolemat 28 prosenttia.
- + Varoitukset vähentävät nopeuden hajontaa, kuten mm. Pesti (2007) osoitti jonovaroitusjärjestelmätutkimuksessaan. Koska keskinopeuden ja sen hajonnan välillä on vahva korrelaatio, oletetaan, että tämä on jo otettu huomioon keskinopeuden muutoksen turvallisuusvaikutuksessa (Elvik ym. 2004).
- + Jos ajoneuvo ajaa jonossa, kuljettajan huomio on keskittynyt ajoneuvoon ja edessä olevaan tiehen. Koska kuljettaja odottaa edellä ajavan ajoneuvon jarruttavan, hän pitää pidempää etäisyyttä, ja peräänajon riski pienenee. Jos etäisyys edellä ajavaan kasvaa keskimäärin 0,2 sekuntia, AIDE-analyysin (Janssen ym. 2006) mukaan onnettomuusriski laskee 8 prosenttia. Tämä arvio on samansuuruinen Pestin (2007) raportoidun jonovaroitusjärjestelmän peräänajoja vähentävän vaikutuksen kanssa.
- + Kun kuljettaja saa varoituksen esteestä tai ruuhkasta ja nopeussuosituksen, hänen huomionsa suuntautuu hetkeksi pois liikennetilanteesta, jossa ajaa. Häiriövaikutuksen voidaan arvioida olevan huomattava mutta kestävän vain hyvin lyhyen matkan ajan, vain muutamia satoja metrejä. Tästä syystä vaikutusta ei oteta huomioon.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Suomalaisiin onnettomuustilastoihin perustuen 2 prosenttia loukkaantumiseen ja 3 prosenttia kuolemaan johtavista onnettomuuksista maanteillä johtui törmäyksestä johonkin kiinteään esteeseen (järjestelmäkuvauksessa mainitun luettelon mukaiset esteet).

- Näistä onnettomuuksista noin 1/3 johtui toisesta onnettomuudesta. Yleensä seurannaisonnettomuudet ovat huomattavasti yleisempiä moottoriteillä. Yhdysvaltalaisien aineistojen pohjalta (Birriel 2007, Hoffman 2002, Truckflix 2006, Warren 2006) arvioituna noin 25 prosenttia Euroopan moottoritieonnettomuuksista johtuisi toisista onnettomuuksista.
- Yllämainittujen prosenttimuutosten yhdistelmä näyttää paikallisesti onnettomuusriskin muutoksen olevan –38 prosenttia ($0,79 \times 0,85 \times 0,92$) loukkaantumiseen johtavissa onnettomuuksissa ja –48 prosenttia ($0,79 \times 0,72 \times 0,92$) kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa. Maanteillä vaikutus kuolemiin on täten –1,4 prosenttia ($48 \% \times 3 \%$) ja loukkaantumisonnettomuuksiin –0,8 prosenttia ($38 \% \times 2 \%$). Moottoriteillä vastaavat luvut ovat –12 prosenttia ($48 \% \times 25 \%$) kuolemaan ja –9,5 prosenttia ($38 \% \times 25 \%$) loukkaantumiseen johtavissa onnettomuuksissa.

Taulukko 17. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset tieluokittain.

Paikallisista vaaroista varoitettava järjestelmä / Staattinen este	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Moottoritie	-12,0 %	-9,5 %
Maantie	-1,4 %	-0,8 %
Taajama-alue	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmän välitön vaikutus

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Kuljettajat oppivat luottamaan järjestelmään ja nostavat keskimääräistä ajonopeuttaan. Koska järjestelmä todennäköisesti antaa myös jonkun verran väärää hälytyksiä eli varoittaa silloin, kun estettä ei ole näkyvissä, tai ei varoita, vaikka edessä on este, tämä vaikutus ei todennäköisesti ole kovin suuri: nopeuden arvioidaan nousevan prosentilla. Nilssonin (2004) potenssimallin mukaan tämä tarkoittaa, että loukkaantumiset lisääntyvät 2 ja liikennekuolemat 4 prosenttia. Vastaavasti vaikutus vähentää mekanismin 1 vaikutusta 30 prosenttia. Vaikutukset kohdistuvat erityisesti moottoritielle.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei vaikutuksia

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- + Järjestelmää käyttämätön autoilija, joka lähestyy ongelmapaikkaa, joutuu hidastamaan ajaessaan järjestelmää käyttävän takana, joka hidastaa saatuaan varoituksen ja nopeussuosituksen.

- Jotkut järjestelmää käyttävän takana ajavat autoilijat saattava ohittaa järjestelmää käyttävän ajoneuvon, sillä eivät tiedä syytä siihen, miksi se ajaa tienvarren nopeusrajoitusta hiljempaa.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Kulmala ym. 2008 arvioivat, että 75 prosenttia kuljettajista hidastaa ja 25 prosenttia ohittaa moottoritiellä.
- Peräänajo-onnettomuuksien seuraukset lievenevät, koska ajonopeus on alhaisempi.
- Maanteillä kaikki ajoneuvot hidastavat nopeuttaan, koska ohittamisen todennäköisyys on pieni.
- On otaksuttu (Kulmala ym. 2008b) että hidastamisen aiheuttamat muutokset vähentävät moottoriteillä henkilövahinko-onnettomuuden riskiä 10 prosenttia ja kuolemaan johtavan onnettomuuden riskiä 19 prosenttia ja maantieliikenteessä vastaavasti 20 ja 36 prosenttia (Nilsson 2004). Koska nämä tilanteet edustavat vain noin kolmea prosenttia maanteiden loukkaantumisonnettomuuksista, vaikutus on $-0,6$ prosenttia maanteiden loukkaantumisonnettomuuksiin. Kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa vastaava vaikutus on $-1,1$ prosenttia. Moottoriteillä neljännes onnettomuuksista liittyy häiriöihin ja siten vaikutus on $-2,5$ prosenttia ($25\% \times 10\%$) loukkaantumisonnettomuuksiin ja $-4,8$ prosenttia ($25\% \times 19\%$) kuolemaan johtaviin onnettomuuksiin. On huomattava, että kun järjestelmän yleisyysaste on sata tai hyvin lähellä sitä, vaikutus jää pois.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

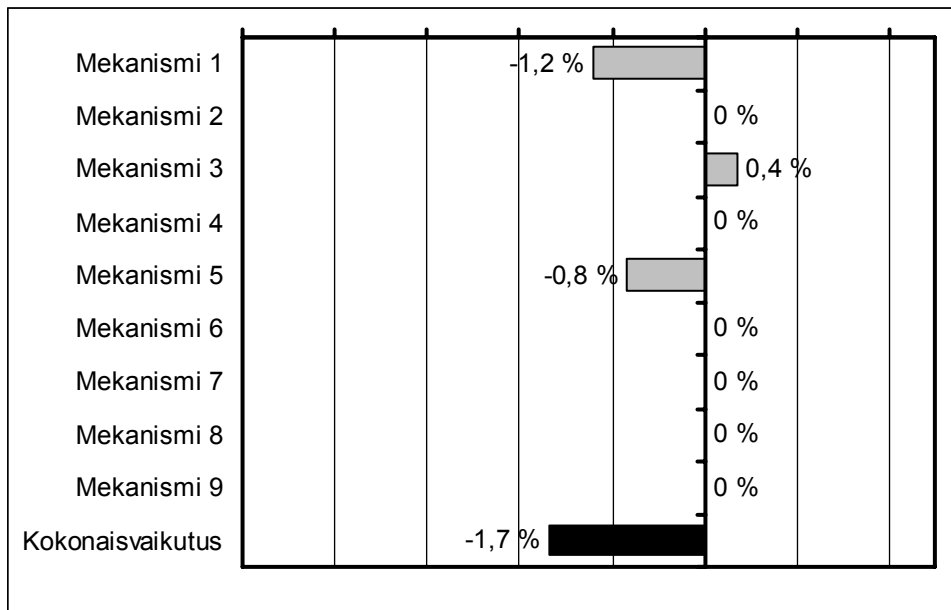
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

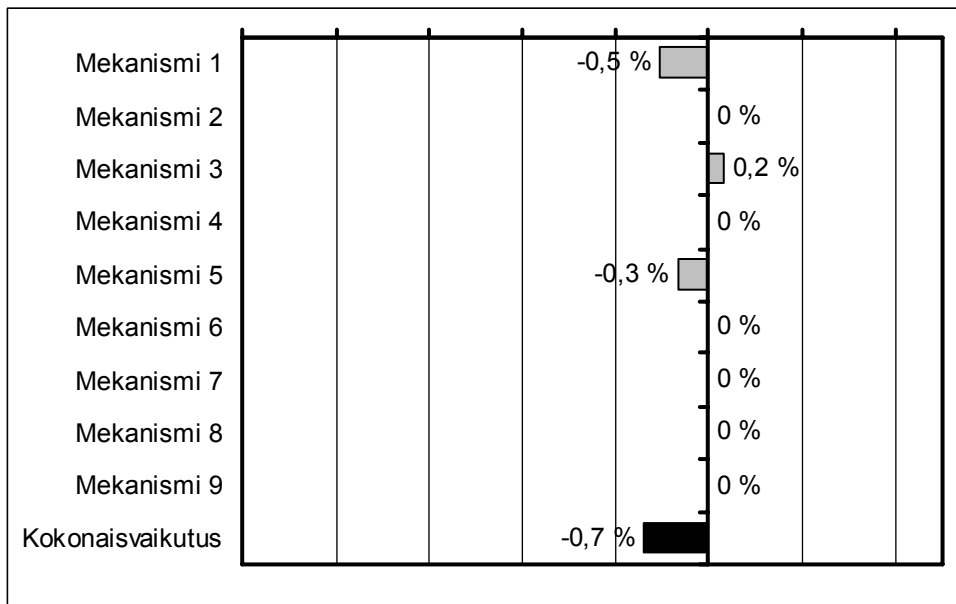
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 34. Paikallisista vaaroista varoittavan järjestelmän vaikutus kuolemiin



Kuva 35. Paikallisista vaaroista varoittavan järjestelmän vaikutus loukkaantumisiin

5.11.2 Paikallista vaaroista varoittava järjestelmä / Varoitus liukkaasta kelistä tai huonosta näkyvyydestä

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- + Kuljettajien tarkkaavaisuus on kohdistunut edessä olevaan tiehen (tilannetietoisuus, situation awareness) ja onnettomuuden riski vähenee.
- + Kuljettaja pitää pidemmän etäisyyden edellä ajavaan ja välttää ohituksia.
- + Jotkut tai kaikki kuljettajat hidastavat nopeuttaan

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Rämän (2001) tutkimuksen perusteella nopeus laski keskimäärin 2,75 km/h (enimmillään 5 km/h) muuttuvan nopeusrajoituksen yhteydessä annetun liukkausvaroituksen jälkeen. Hollantilaisen kenttäkokeen perusteella nopeus laski 8–10 km/h sumuvaroituksen antamisen jälkeen (Hogema ja Van der Horst 1997). Brittiläisen tutkimuksen mukaan tienvarsijärjestelmän sumuvaroitusta laski nopeuksia 3 km/h (Cooper & Sawyer 1993). Näiden tulosten perusteella arvioimme, että varoitus liukkaudesta vähentää nopeutta 2 km/h ja varoitus huonosta näkyvyydestä 5 km/h. Jos perusnopeus on 80 km/h, Nilssonin (2004) kaavan mukaan edellä mainitut nopeusmuutokset tarkoittavat, että liukkaalla keliällä loukkaantumiset vähenisivät 5 ja kuolemat 10 prosenttia.
- Lisääntynyt tietoisuus ja pidempi etäisyys edellä ajavaan laskevat myös onnettomuusriskiä. AIDE-projektin tulosten (Janssen ym. 2006) mukaan edellä kuvattu vaikutus vähentäisi onnettomuusriskiä 23 prosenttia (tietoisuuden lisääntyminen normaalista hyvään/erinomaiseen). Jotta nopeuden vaikutusta ei laskettaisi kahteen kertaan, tästä vaikutuksesta otetaan huomioon vain puolet, eli noin 11 prosenttia. Alla sekunnin etäisyydellä ajavien kuljettajien onnettomuusriski laskee 40 prosenttia (aikaväli kasvaa 1 sekunnista 1,5 sekuntiin, jolloin AIDEn mukaan onnettomuusriski laskee 125:stä 75:een). Rämän (2001) mukaan noin 8 prosenttia varoittamattomista kuljettajista ajoi liukkaalla lähellä edellä ajavaa. Varoitus vähensi lähellä ajavien kuljettajien osuutta noin 15 prosenttia. Näin ollen etäisyyden muutoksen vaikutus onnettomuusriskiin olisi noin 0,5 prosenttia ($40 \% \cdot 15 \% \cdot 8 \%$). Koska myös muut kuljettajat kasvattavat etäisyyttä edellä ajavaan noin 0,1 sekunnilla, kokonaisriski etäisyydestä johtuvaan onnettomuuteen kasvaa noin 4 prosenttia.
- Yhteisvaikutus oli –19 prosenttia loukkaantumisiin ($0,95 \times 0,89 \times 0,96 = 0,81$) ja –23 prosenttia kuolemiin ($0,90 \times 0,89 \times 0,96 = 0,77$).

Taulukko 18. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset huonoissa ja normaaleissa sääolosuhteissa.

Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä / Varoitus liukkaasta kelistä tai huonosta näkyvyydestä	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Huono	-23,1 %	-18,8 %
Normaali	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmän välitön vaikutus

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Hyvin toimiva järjestelmä antaa varoituksia luotettavasti, ja kuljettaja oppii luottamaan ja turvautumaan järjestelmään. Kuljettaja siirtää vastuuta järjestelmälle. Tämä on kielteinen vaikutus, sillä järjestelmä ei aina tun-

nista ja varoita kaikista tilanteista. Vaikutuksen suuruus riippuu paljon laitteen yleisyydestä.

- Mitä yleisempi järjestelmä on, sitä vähemmän kuljettaja itse huomioi tienpinnan olosuhteita. Lisäksi kuljettaja saattaa ajaa kovempaa kuin ilman järjestelmää olosuhteissa, joissa liukkaita saattaa esiintyä.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Vaikutuksen oletetaan lisäävän loukkaantumisia 0,2 prosenttia hyvissä ja 0,4 prosenttia huonoissa olosuhteissa ja vastaavasti kuolemia 0,4 ja 0,8 prosenttia.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei vaikutuksia

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- ✚ Järjestelmää käyttämätön autoilija, joka lähestyy vaarallista paikkaa, joutuu hidastamaan ajaessaan järjestelmää käyttävän takana, joka hidastaa saatuaan varoituksen. Tämä vähentää myös järjestelmää käyttämättömien onnettomuusriskiä.
- Jotkut järjestelmää käyttävän takana ajavat autoilijat saattava ohittaa ajoneuvon, jossa on järjestelmä, sillä eivät tiedä syytä siihen, miksi ajoneuvon kuljettaja hiljentää nopeuttaan. Yksiajorataisilla kaksikaistaisilla teillä ohitukset lisäävät nokkakolarin riskiä. Pysähtyneeseen ajoneuvoon verrattuna huonot sää- ja keliolosuhteet eivät tule toisillekaan ajoneuvoille täytenä yllätyksenä.
- Järjestelmällä varustetun ajoneuvon takana ajavat saattavat ajaa liian lähellä, koska eivät ymmärrä syytä nopeuden hiljentämiseen. Tämä lisää peräänajo-onnettomuuksien riskiä.

Arvioitu vaikutus:

- Vaikutuksen suuruus riippuu järjestelmän yleisyydestä. Tässä kuitenkin arvioidaan, että nopeuden vähentymisen vaikutus on järjestelmää vailla olevilla kuljettajilla 50 prosenttia mekanismin 1 vaikutuksesta eli –11,6 prosenttia kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa ja –9,4 prosenttia loukkaantumisonnettomuuksissa. Vaikutus poistuu, kun järjestelmä on kaikissa ajoneuvoissa.

Mekanismit 6 ja 7: Vaikutukset liikkumisen määrään ja liikennemuodon valintaan

- Järjestelmä saattaa lisätä ajamista huonoissa sää- ja kelioloissa, sillä kuljettajat luottavat, että järjestelmä varoittaa heitä ongelmallisista olosuhteista. Osa joukkoliikennematkoista saatetaan tehdä henkilöautolla. Kaikkiaan tämä vaikutus on pieni ja todennäköisesti vain vähän ajavien kuljettajien vapaaehtoisten matkojen määrä kasvaa hieman.

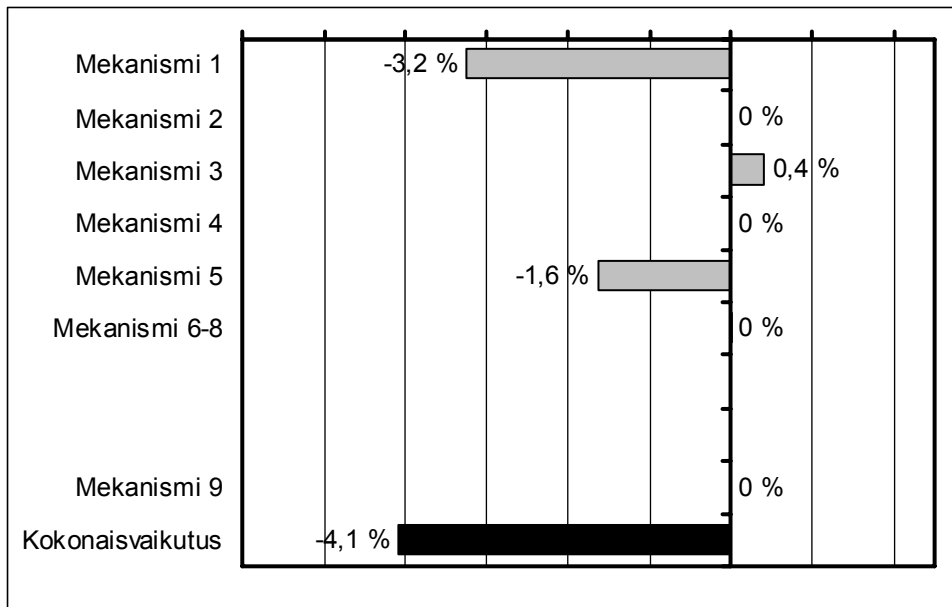
- Vaikutusarvio: +0,1 %

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

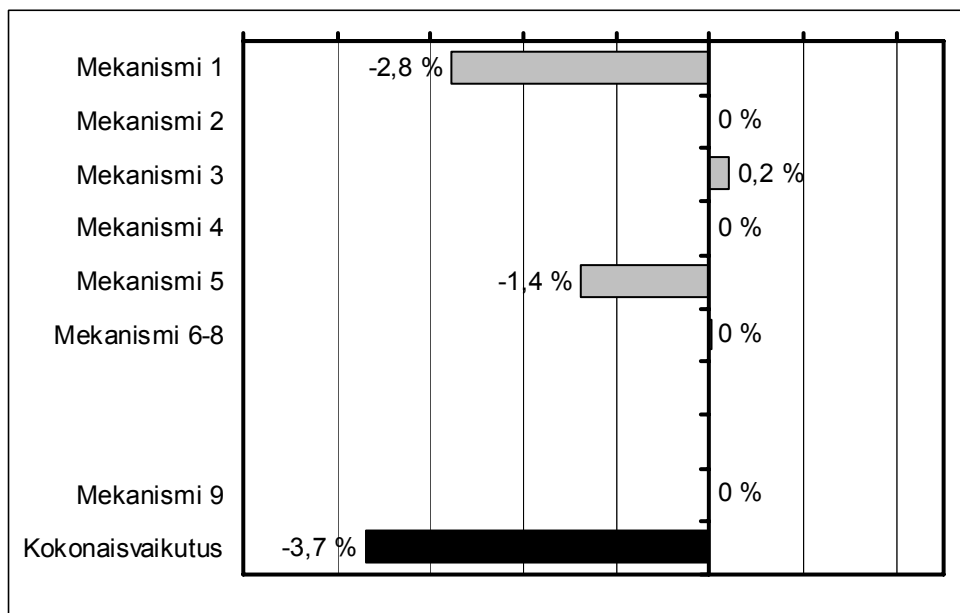
Ei vaikutuksia.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 36. Paikallista vaaroista varoittavan järjestelmän vaikutus kuolemiin (Varoitus liukkaasta kelistä tai huonosta näkyvyydestä)



Kuva 37. Paikallista vaaroista varoittavan järjestelmän vaikutus loukkaantumisiin (Varoitus liukkaasta kelistä tai huonosta näkyvyydestä)

5.12 Risteysajon turvallisuustuki

Järjestelmä havainnoi muita liikkuja risteyksissä ja varoittaa kuljettajaa mahdollisista törmäyksistä, väistämisvelvollisuudesta ja punaisista valoista.

5.12.1 Risteysajon turvallisuustuki / Liikennevalot

Mekanismit 1 ja 2: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan, tienvarsijärjestelmän välittömät vaikutukset

- + Kuljettaja, jolla on liikennevaloista varoittava järjestelmä, voi vähentää nopeutta aiemmin ja välttää viime hetken nopean pysähtymisen. Tämä vähentää peräänajojen riskiä.
- + Järjestelmää käyttävä kuljettaja voi ennakoida, että liikennevalo muuttuu kohta punaiseksi, jolloin edellä ajavan ajoneuvon jarrutus ei tule hänelle yllätyksenä.
- + Järjestelmä vähentää tilanteita, joissa kuljettaja huomaa punaisen valon hyvin myöhään tai ei huomaa valoa ollenkaan ja tahattomasti ajaa päin punaista.
- + Seuraukset lievenevät. Törmäysnopeudet risteyksessä ovat alhaisemmat, koska kuljettaja saa varoituksen aikaisempaa aiemmin.
- Ajotehtävä muuttuu, sillä kuljettaja saattaa aika ajoin vilkaista varoituksia antavaa laitetta. Ajotehtävästä tulee näin ollen jaettava tarkkaavaisuutta vaativa ja siten monimutkaisempi, sillä tärkeitä visuaalisia ärsykeitä on sekä ajoneuvon ulko- että sisäpuolella.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Kuljettajat eivät olleet tietoisia punaisesta valosta noin 25 prosentissa onnettomuuksista, jotka aiheutuivat punaista valoa päin ajamisesta (Garder 2004). Tulos perustuu kuljettajien haastatteluun. On arvioitu, että luku on jonkun verran yliarvioitu johtuen siitä, että kuljettajat haluavat antaa kolarillensa hyväksyttävän syyn. Toisaalta järjestelmästä arvioidaan olevan hyötyä myös tapauksissa, joissa kuljettaja oli tietoinen punaisesta valosta mutta ei reagoinut ajoissa. Tässä tapauksessa varoitus tukisi pysähtymisaikomusta. Kaikkiaan arvioidaan, että punaisia valoja päin ajamisesta johtuvat kolarit vähenisivät järjestelmän avulla 35 prosenttia.
- Tutkimuksessa, jossa selvitettiin onnettomuuksien syitä ja paikkoja, havaittiin, että 22 prosenttiin kaupunkialueiden onnettomuuksista liittyi punaista päin ajaminen (Retting ym. 1995).
- Jos risteysonnettomuuksien osuus kaikista kaupunkialueiden onnettomuuksista on 70 prosenttia (Kulmala 1995), silloin noin 31 prosenttia (22/70) kaikista kaupunkialueiden risteysonnettomuuksista sisältää punaisia päin ajamisen. Näin ollen järjestelmän teho kaikkiin risteysalueiden onnettomuuksiin kaupunkialueilla on 11 prosenttia (35 % * 31 %).

- On arvioitu, että valo-ohjattujen risteysten onnettomuuksien osuus on 50 % kaikista kaupunkialueiden risteysonnettomuuksista ja 4 prosenttia haja-asutusalueiden risteysonnettomuuksista. Kun otetaan huomioon valo-ohjattujen risteysten pienempi osuus kaikista risteyksistä haja-asutusalueella, järjestelmän teho risteysalueiden onnettomuuksiin haja-asutusalueella on 0,9 prosenttia ($11 \% \cdot 4/50$).
- Keskimäärin kokonaisvaikutus risteysonnettomuuksiin on noin 4,5 prosenttia. Tämä on keskiarvo kaupunki- ja haja-asutusalueista, jossa on annettu kuitenkin hieman enemmän painoarvoa haja-asutusalueille, joilla kuolemaan johtavien onnettomuuksien osuus on suurempi.
- Arviota varten laskettiin suhteellinen riski risteyksille ilman järjestelmää ja järjestelmän kanssa.
 - Tarkkaavaisuuden suuntaamisen vaikutus kaupunkialueilla: On arvioitu, että kaupunkialueiden teillä yksi vilkaisu vie keskimäärin 0,2 sekuntia (esim. Luoma 1984) ja että vilkaisujen lukumäärä yhdellä linkillä on 0,2 (10 prosenttia kuljettajista käyttää järjestelmää tällä tavoin ja katsoo laitteeseen kaksi kertaa joka risteyksessä). Onnettomuusriski kasvaa vilkaisujen aikana 90 prosenttia (Janssen ym. 2006), yhden linkin pituus on 150 metriä ja ajoneuvon nopeus on 10 m/s. Näin ollen onnettomuusriski kasvaa kaikkiaan 0,2 prosenttia.
 - Tarkkaavaisuuden suuntaamisen vaikutus haja-asutusalueella: On arvioitu, että yhden vilkaisun kesto on keskimäärin 0,2 sekuntia ja vilkaisujen määrä on 0,2 (10 prosenttia kuljettajista käyttää järjestelmää tällä tavoin ja katsoo laitteeseen kaksi kertaa joka risteyksessä) yhdellä linkillä. Onnettomuusriski kasvaa vilkaisujen aikana 90 prosenttia (Janssen ym. 2006), yhden linkin pituus on 300 metriä ja ajoneuvon nopeus on 15 m/s. Näin ollen onnettomuusriski kasvaa kaikkiaan 0,2 prosenttia.
- Osa järjestelmän vaikutuksista siirtyy myös ei-risteysalueille, sillä yleensä onnettomuustilastoissa risteysalue on määriteltä tarkasti, jolloin siihen ei juuri sisälly lähestymisalueita. Näin ollen arviomme, että vaikutus muulle kuin risteysalueille on 1/10 vaikutuksesta risteyksissä.
- Järjestelmän vaikutus kuolemiin on loukkaantumisia suurempi, sillä nopeuden aleneminen vaikuttaa enemmän kuolemien kuin loukkaantumisten määrään. Järjestelmän arvioidaan vähentävän risteysonnettomuuksissa kuolleiden määrää 2,4 prosenttia. Vaikutus on turvallisuuden kannalta myönteinen olettaen, että järjestelmän järjestelmä ei rohkaise kuljettajia käyttämään aiempaa kovempia lähestymisnopeuksia vihreässä aallossa pysymisen toivossa.

Kokonaisvaikutus:

- Risteyksissä –4,3 prosenttia vähennys loukkaantumisonnettomuuden riskiin ($0,955 \cdot 1,002$) ja –6,7 prosenttia vaikutus kuolemanriskiin

- Risteyksien välillä –0,43 prosenttia ja –0,67 prosenttia vähennykset loukkaantumisonnettomuuden ja kuoleman riskiin (kymmenesosa 4,3 % ja 6,7 %:sta) (taulukko 19)

Taulukko 19. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset risteyksissä ja niiden ulkopuolella.

Risteysajon turvallisuustuki / Liikennevalot	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Risteysalue	-6,7 %	-4,3 %
Ei-risteysalue	-0,7 %	-0,4 %

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Kun kuljettaja oppii luottamaan järjestelmään, se vaikuttaa hänen tapansa lähestyä valo-ohjattuja risteyksiä. Esimerkiksi kuljettajat saattavat lähestyä risteystä aiempaa kovemmalla nopeudella tai he eivät ehkä enää huomioi oikeita risteyksessä olevia liikennevaloja entisessä määrin luottaessaan siihen, että järjestelmä varoittaa heitä hyvissä ajoin punaisesta valosta. Nämä ovat turvallisuuden kannalta kielteisiä muutoksia erityisesti silloin, kun kaikkia risteyksiä ei ole varustettu järjestelmällä. Näihin vaikutuksiin voidaan vaikuttaa sillä, mitä ja miten järjestelmä viestii kuljettajalle.
- Aiempaa kovempi lähestymisnopeus vakavoittaa onnettomuuden seurauksia.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Vastuun siirtäminen järjestelmälle arvioidaan lisäävän 0,05 prosenttia kaikkia risteysonnettomuuksia.
- Risteysalueiden lähestymisstrategian muutoksen arvioidaan lisäävän kaikkia risteysonnettomuuksia 2 prosenttia (tämän vaikutuksen suuruus riippuu siitä, mitä ja miten järjestelmä viestii kuljettajalle), jos keskinopeus risteyksissä nousee prosentilla.
- Seurausten vakavoitumisen arvioitiin olevan +1,2 prosenttia (suuresta nopeudesta aiheutuva lisävaikutus liikennekuolemiin).

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

Ei vaikutuksia

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- Jonossa valo-ohjattua risteystä lähestyvät kuljettajat saattaa yllättyä, jos edellä ajava, järjestelmää käyttävä, kuljettaja yhtäkkiä hidastaa, vaikka liikennevalot ovat edessä (kaukana) vielä vihreät tai valot eivät ole vielä edes näkyvissä.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Vaikutuksen oletetaan olevan +0,02 prosenttia kaikista risteysonnettomuuksista. Yleisyyden lähetessä sataa prosenttia vaikutus häviää.

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

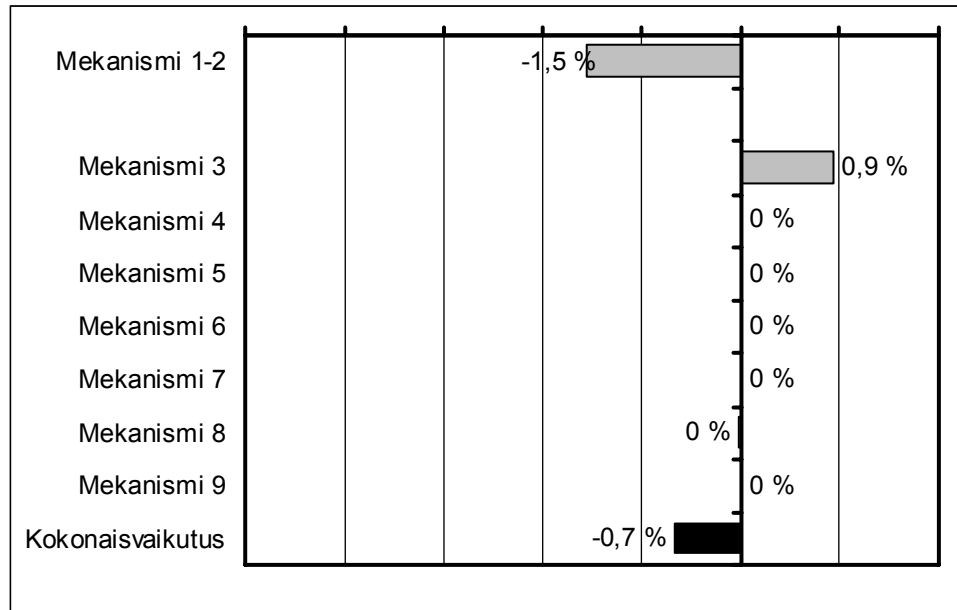
- ✚ Kuljettajat valitsevat mieluummin sellaisia reittejä, joiden risteykset on varustettu järjestelmällä, koska näillä reiteillä liikenne on sujuvampaa (vähemmän yllättäviä pysähdyksiä). Tämä vaikutus koskee vain järjestelmää käyttäviä kuljettajia, ja kun järjestelmä on yleinen, kaikkia kuljettajia.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

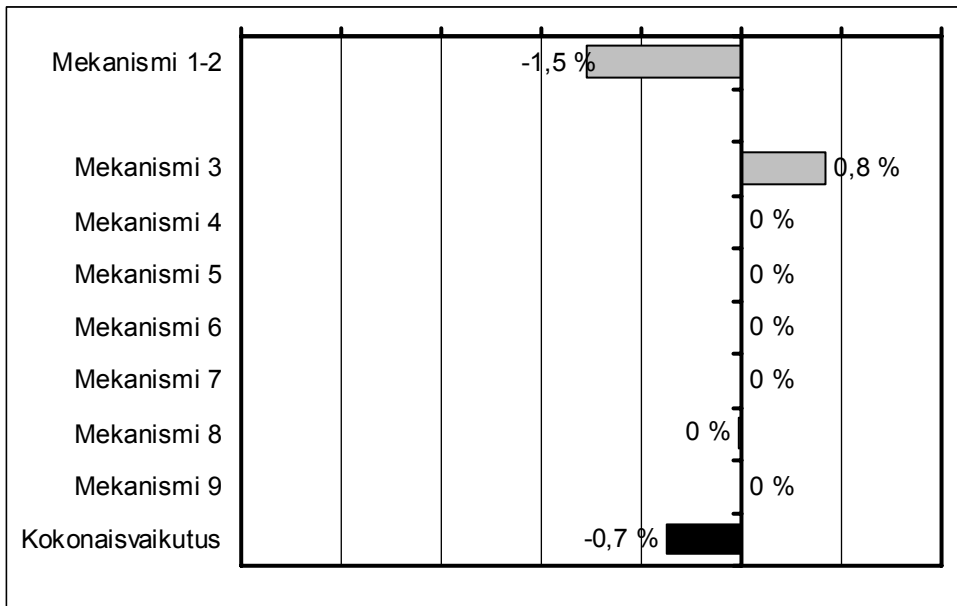
- Vaikutuksen odotetaan tapahtuvan vain kaupunkialueilla, joissa on pitempiä liikenneohjauksella varustettuja reittejä. Voidaan olettaa, että noin 5 prosenttia kaikesta kaupunkiajosta ajetaan näitä reittejä ja niiden vaihtoehtoja pitkin ja että 5 prosenttia näistä kuljettajista vaihtaisi liikenneohjauksella varustettuun. Kokonaisvaikutus on 0,25 prosenttia kaikesta kaupunkiajosta. Jos törmäysriski on 20 prosenttia alempi liikenneohjatulla reitillä, vaikutus on -0,05 prosenttia kaikista kaupunkitörmäyksistä. Jos oletetaan, että 30 prosenttia törmäyksistä tapahtuu kaupunkialueilla, vähennys olisi 0,015 prosenttia kaikista törmäyksistä.

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



Kuva 38. Risteysajon turvallisuustuen vaikutus kuolemiin, valo-ohjattu risteys



Kuva 39. Risteysajon turvallisuustuen vaikutus loukkaantumisiin, valo-ohjattu risteys

5.12.2 Risteysajon turvallisuustuki / ei liikennevalo-ohjausta

Mekanismi 1: Suorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- ✦ Järjestelmä auttaa kuljettajaa havaitsemaan törmäyskurssilla olevat muut tienkäyttäjät (ajoneuvot, jalankulkijat, pyöräilijät) lähestyessään valo-ohjaamatonta risteystä. Järjestelmä auttaa kuljettajaa sekä tilanteissa, joissa kuljettaja on väistämisvelvollinen, että tilanteissa, joissa kuljettajalla on etuajo-oikeus.

- + Järjestelmän avulla kuljettaja on paremmin ja aiemmin tietoinen mahdollisista törmäyksistä, jolloin hän pystyy välttämään törmäyksen tai ainakin törmäyksen seuraukset ovat lievemmat, sillä kuljettaja on jo hidastanut nopeuttaan.
- + Jos myös pyöräilijöillä on järjestelmä tai risteyksessä olevat kamerat pystyvät havaitsemaan pyöräilijät, järjestelmä estäisi tyypillisen pyöräilijän ja autoilijan välisen törmäyksen, jossa ajoneuvo on kääntymässä oikealle ja pyöräilijä lähestyy oikealta.
- Ajotehtävä muuttuu, sillä kuljettaja saattaa aika ajoin vilkaista varoituksia antavaa laitetta. Ajotehtävästä tulee näin ollen jaettua tarkkaavaisuutta vaativa ja siten monimutkaisempi, sillä tärkeää visuaalista informaatiota on sekä ajoneuvon ulkopuolella että sisäpuolella. Kuljettajan pitää myös tietää, mitkä risteykset ovat varustettuja ja mitkä eivät.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Yhdysvalloissa tehdyn naturalistista ajamista tutkineen tutkimuksen (Dingus ym. 2006) mukaan noin 80 prosenttia kaikista onnettomuuksista aiheutuu tarkkaavaisuuden puutteesta (lack of attention). Suomalaiseen onnettomuustutkijalautakunnan aineistoon perustuen (Hakamies-Blomqvist 1994) 40 prosenttia risteysonnettomuuksista sisälsi havaintovirheen (suurimpana selittävänä tekijänä: tarkkaavaisuuden puute noin 30 %, arviointi tai käsittelyvirhe noin 45 %, sairaus, nukahtaminen tai itsemurha noin 20 %). On arvioitu, että koska onnettomuustutkinta tehdään jälkikäteen, edellä kuvattu arvio on ennemminkin liian alhainen kuin liian suuri. Näiden kahden lähteen perusteella on arvioitu, että joka toiseen risteysonnettomuuteen liittyy havainnointivirhe.
- Oletetaan, että järjestelmä varoittaa risteyksessä olevien kameroiden tai muiden sensoreiden avulla tai kevyen liikenteen käyttäjien mukanaan kantamien nomadisten laitteiden avulla myös toisella (auton lähestymissuunnasta katsottuna) suojatiellä olevista jalankulkijoista ja pyöräilijöistä.
- Järjestelmä on varoitusjärjestelmä ja näin ollen se ei estä kaikkia onnettomuuksia. Järjestelmä ei esimerkiksi estä kaikkia sellaisia onnettomuuksia, joissa kuljettaja on ollut päihtynyt tai kuljettaja ei muutoin ole tulkinut varoitusta oikein tai reagoinut siihen oikein. Lisäksi on todennäköistä, että jotkut kuljettajat ärsyntyvät järjestelmän antamiin varoituksiin eivätkä pidä järjestelmää koko ajan päällä.
- Suomessa 80 prosenttia loukkaantumiseen ja 88 prosenttia kuolemaan johtavista risteysonnettomuuksista tapahtuu valo-ohjaamattomissa risteyksissä¹⁸.
- Yhteensä kolmen yllä olevan oletuksen perusteella tämä tarkoittaisi todennäköisimmin $50 \% \times 50 \% \times 80 \% = 20$ prosentin vähennystä loukkaantumiseen johtavissa törmäyksissä ja $50 \% \times 50 \% \times 88 \% =$

¹⁸ Laskettu Tilastokeskuksen onnettomuusaineistosta vuosilta 2003–2005

22 prosentin vähennystä kuolemaan johtavissa risteysonnettomuuksissa. Koska vaikutukset johtuvat alemmasta törmäysnopeudesta, vaikutus kuolemiin kasvaa ylimääräiset 3 prosenttia.

- Arviota varten laskettiin suhteellinen riski risteyksille ilman järjestelmää ja järjestelmän kanssa.
 - Tarkkaavaisuuden suuntaamisen vaikutus kaupunkialueilla: Kaupunkialueiden teillä on arvioitu, että yksi vilkaisu vie keskimäärin 0,2 sekuntia (esim. Luoma 1984), vilkaisujen lukumäärä on 0,4 (10 % kuljettajista käyttää järjestelmää tällä tavoin ja katsoo laitteeseen neljä kertaa joka risteyksessä) yhdellä linkillä. Onnettomuusriski kasvaa vilkaisujen aikana 90 prosenttia (Janssen ym. 2006), yhden linkin pituus on 50 metriä ja ajoneuvon nopeus on 10 m/s. Näin ollen onnettomuusriski kasvaa kaikkiaan 1,4 prosenttia.
 - Tarkkaavaisuuden suuntaamisen vaikutus haja-asutusalueella: On arvioitu, että yhden vilkaisun kesto on keskimäärin 0,2 sekuntia ja vilkaisujen määrä on 0,4 (10 % kuljettajista käyttää järjestelmää tällä tavoin ja katsoo laitteeseen neljä kertaa joka risteyksessä) yhdellä linkillä. Onnettomuusriski kasvaa vilkaisujen aikana 90 prosenttia (Janssen ym. 2006), yhden linkin pituus on 100 metriä ja ajoneuvon nopeus on 20 m/s. Näin ollen onnettomuusriski kasvaa kaikkiaan 1,4 prosenttia.

Mekanismin 1 kokonaisvaikutus arvioidaan olevan risteyksissä –18,9 prosenttia ($0,80 \times 1,014 = 0,811$) loukkaantumiseen johtavissa ja –20,9 prosenttia kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa (taulukko 20).

Taulukko 20. Mekanismin 1 arvioidut vaikutukset risteyksissä ja niiden ulkopuolella.

Risteysajon turvallisuustuki / Valo-ohjaamaton liittymä	Mekanismi 1	
	Kuolemat	Loukkaantumiset
Risteysalue	-20,9 %	-18,9 %
Ei-risteysalue	0,0 %	0,0 %

Mekanismi 2: Tienvarsijärjestelmän välittömät vaikutukset

Ei vaikutuksia.

Mekanismi 3: Epäsuorat vaikutukset kuljettajan toimintaan

- Hyvin toimiva järjestelmä antaa varoituksia luotettavasti ja kuljettaja oppii luottamaan järjestelmään, jolloin kuljettaja siirtää vastuuta järjestelmälle. Tämä on kielteinen vaikutus, sillä järjestelmän luotettavuus ei ole täydellinen, eikä järjestelmä välttämättä huomaa ja varoita kaikista tilanteista risteyksessä. Korkealuokkaisen INTERSAFE-risteystukijärjestelmän väärähälytysaste (false alarm rate) vaihteli 0 ja

10 prosentin välillä riippuen järjestelmäversiosta (Fürstenberg ym. 2007). Järjestelmä havaitsi kaikki tilanteet (no missing alarm) (Fürstenberg ym. 2007), joten järjestelmä on todennäköisesti melko luotettava. Vaikutuksen on arvioitu tässä tapauksessa olevan +1,5 prosenttia.

- Kuljettajat saattavat oppia lähestymään risteyksiä aiempaa kovemalla nopeudella luottaessaan siihen, että järjestelmä varoittaa heitä muista tienkäyttäjistä hyvissä ajoissa. Vaikutusarvio oli +1,5 prosenttia henkilövahinko-onnettomuuksiin ja suuresta nopeudesta aiheutuva lisävaikutus +1,5 prosenttia kuolemiin.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Vaikutuksien arvioidaan olevan +3 prosenttia kaikissa risteysonnettomuuksissa ja +4,5 prosenttia risteyskuolemissa.

Mekanismi 4: Epäsuorat vaikutukset sellaisten kuljettajien ja muiden tienkäyttäjien toimintaan, joilla ei ole järjestelmää käytössä

- ± Järjestelmän käyttäjästä tulee järjestelmää käyttämätön kuljettaja silloin, kun hän ajaa ajoneuvolla, jossa ei ole järjestelmää, tai kun hän laittaa järjestelmän pois päältä omasta autostaan. Ilman järjestelmää, johon hän on tottunut, kuljettajalla saattaa olla vaikeuksia havaita muita tienkäyttäjiä. On myös mahdollista, että järjestelmällä on myönteinen oppimisvaikutus, siten että järjestelmä opastaa kuljettajaa suuntaamaan tarkkaavaisuutta muihin tienkäyttäjiin.

Arvioidut vaikutukset ja oletukset:

- Vaikutuksien arvioidaan olevan +0,01 prosenttia kaikissa risteysonnettomuuksissa. Järjestelmän ollessa käytössä kaikissa autoissa vaikutuksen arvioidaan olevan +0,003 prosenttia.

Mekanismi 5: Vaikutus järjestelmän käyttäjien ja ei-käyttäjien vuorovaikutukseen

- Kuljettaja havaitsee muut tienkäyttäjät aiemmin ja siten ennakoi esimerkiksi tarpeen pysähtyä aiemmin. Järjestelmää käyttävä kuljettaja pystyy näyttämään aikeensa muille kuljettajalle aiemmin. Tämä edellyttää, että varoitus on annettu ajoissa.
- ± Järjestelmää käyttävä kuljettaja voi hiljentää nopeuttaa aiemmin ja hänen ei tarvitse tehdä äkkipysähdyksiä. Tämä vähentää peräänajoriskiä. Toisaalta kuljettaja saattaa luottaa järjestelmään ja lähestyä risteyksiä kovemalla nopeudella. Tällöin muiden voi olla vaikeampi ennakoida kuljettajan käyttäytymistä.
- Koska järjestelmä tukeutuu paljon ajoneuvojen väliseen kommunikointiin, kuljettajan huomio suuntautuu järjestelmän huomaamiin varustettuihin ajoneuvoihin. Tällöin varustamattomat ajoneuvot tai ajoneuvot, joissa järjestelmä on pois päältä, sekä suojattomat tienkäyttäjät saattavat jäädä huomaamatta ajoissa. Törmäysriski havaitsemattomiin tienkäyttäjiin kasvaa todennäköisesti sitä mukaa, kun järjestelmä yleistyy, sillä jo-

kainen järjestelmät havaitsematon tienkäyttäjä tulee kuljettajalle aina suurempana yllätyksenä.

- Törmäysriski kevyen liikenteen kanssa luultavasti kasvaa järjestelmän yleistyessä, koska jokainen havaitsematon kevyen liikenteen käyttäjä tulee enenevässä määrin yllätyksenä kuljettajille, mutta riski havaitsemattoman tienkäyttäjän kohtaamiseen pienenee.

Mekanismin 5 arvioidaan lisäävän risteyksien henkilövahinko-onnettomuuksia 5 prosenttia (sama vaikutus kuolleiden ja loukkaantuneiden määrään). Täysimääräisesti käyttöön otettuna järjestelmän arvioidaan lisäävän henkilövahinko-onnettomuuksia 3,5 prosenttia (tämä lisäys kohdistuu pääasiassa kävelijöihin ja pyöräilijöihin).

Mekanismi 6: Vaikutukset liikkumisen määrään

Järjestelmän sellaisenaan ei oleteta lisäävän ajomukavuutta niin paljon, että se lisäisi matkustamista.

Mekanismi 7: Vaikutukset liikennemuodon valintaan

Järjestelmällä ei todennäköisesti ole vaikutusta liikennemuodon valintaan.

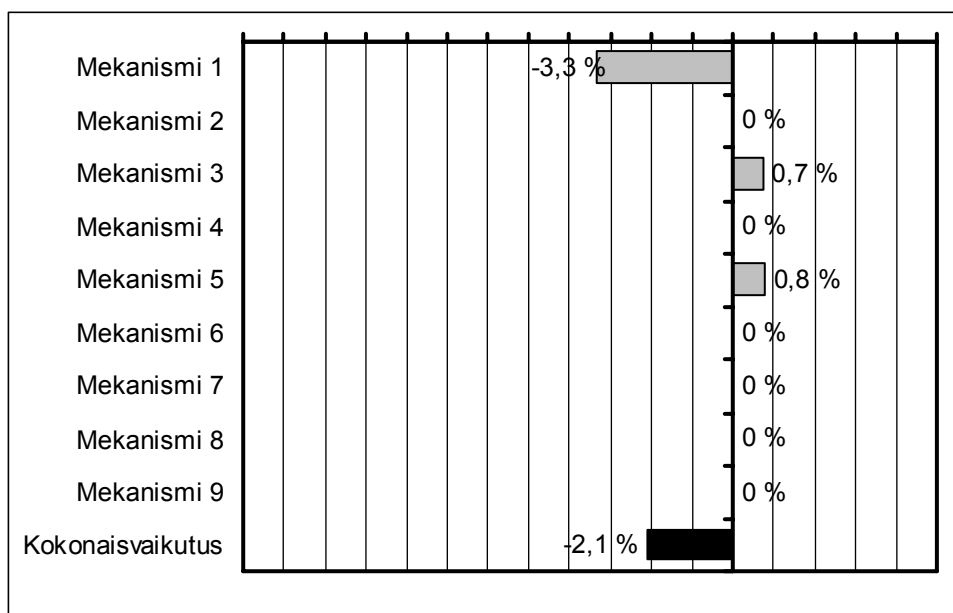
Mekanismi 8: Vaikutukset reitin valintaan

Järjestelmän käytön myötä kuljettajat saattavat alkaa valita aiempaa useammin reittejä, joilla on monimutkaisia valo-ohjaamattomia risteyksiä, jotka sijaitsevat alemmalla tieverkolla ja joiden onnettomuusaste on keskimääräistä korkeampi.

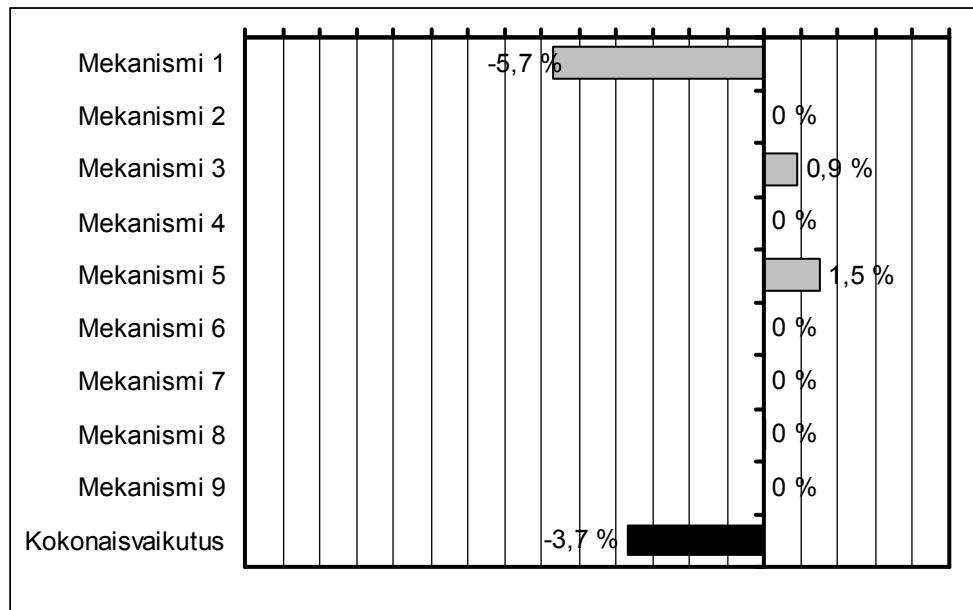
- Vaikutus +0,02 %

Mekanismi 9: Vaikutukset onnettomuuden seurauksiin

Ei vaikutuksia.



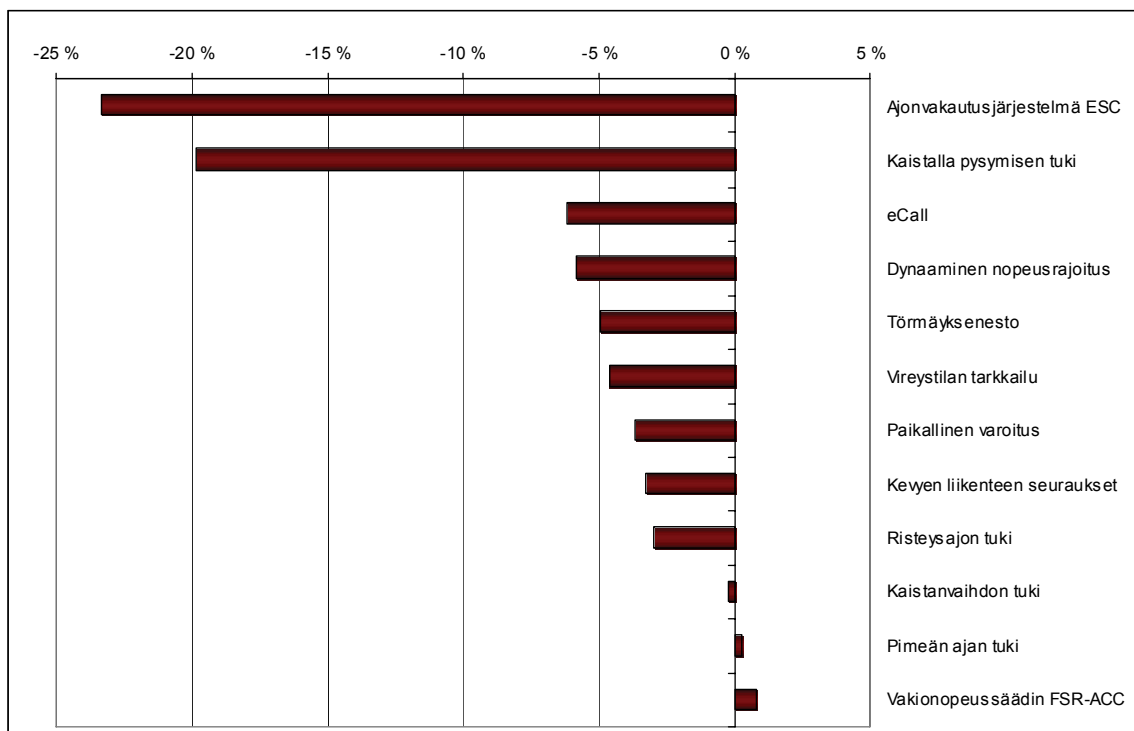
Kuva 40. Risteysajon turvallisuustuen vaikutus kuolemiin, ei valo-ohjausta



Kuva 41. Risteysajon turvallisuustuen vaikutus loukkaantumisiin, ei valo-ohjausta

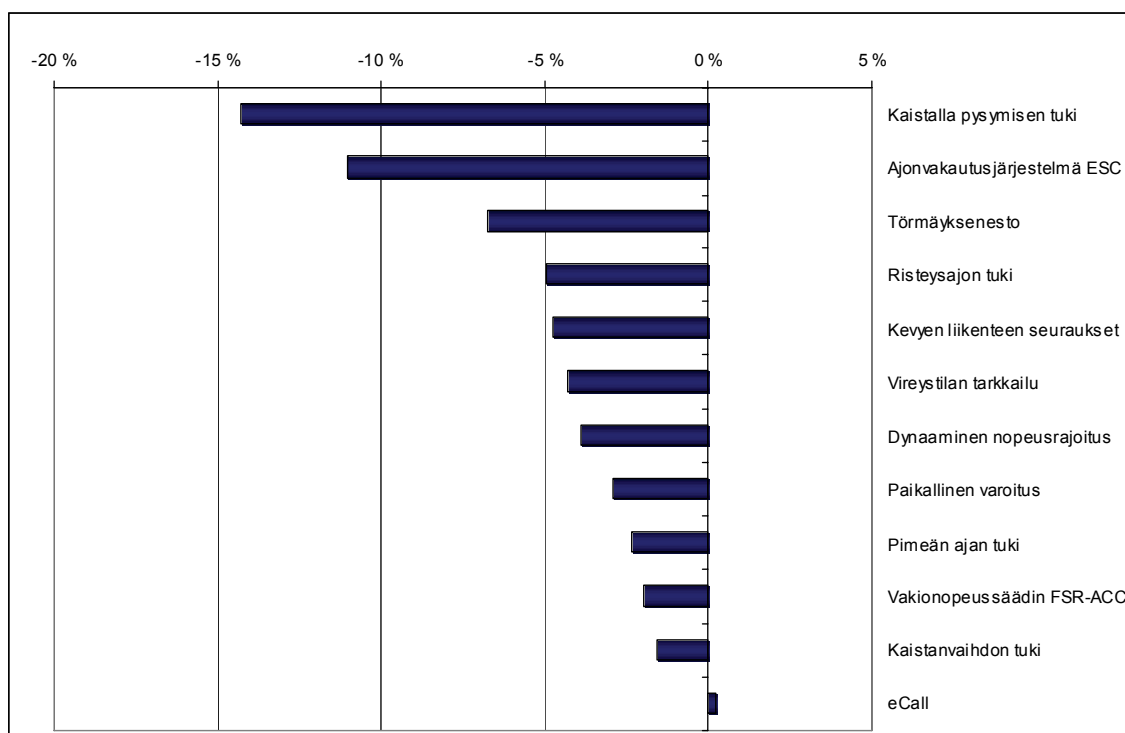
6 Yhteenveto järjestelmien turvallisuusvaikutuksista ja tulosten tarkastelua

Tarkasteltaessa järjestelmien tehokkuutta vähentää liikennekuolemia (kuva 42) tehokkaimmiksi osoittautuivat ajonvakautusjärjestelmä ja kaistalla pysymisen tukijärjestelmä. Kun järjestelmän oletetaan olevan kaikissa autoissa, vaikutus olisi ESC:llä noin 23 prosenttia ja kaistalla pysymisen tuella noin 20 prosenttia. Seuraavaksi suurimmat potentiaalit vähentää liikennekuolemia (5 % luokkaa) olivat eCall-järjestelmällä, dynaamisilla nopeusrajoituksilla ja törmäyksenesto-järjestelmällä ja vireystilan tarkkailulla. Paikallisesta vaarapaikasta varoittava järjestelmä, kevyen liikenteen seurauksia lieventävä järjestelmä ja risteysajon tuki vähentäisivät kukin täysimääräisesti toteutettuina 3–4 prosenttia liikennekuolemia. Kaistanvaihdon tuki ei juuri vähentäisi liikennekuolemia. Pimeän ajan tukijärjestelmä ja vakionopeudensäädin lisäsivät hieman liikennekuolemia Suomen tarkastelussa.



Kuva 42. Eri järjestelmien vaikutus (%) liikennekuolemiin, kun järjestelmät on asennettu kaikkiin ajoneuvoihin.

Tarkasteltaessa vastaavasti vaikutusta loukkaantumisiin (kuva 43) järjestelmien keskinäiset erot olivat jonkin verran pienempiä. Kaikkien järjestelmien, paitsi eCallin, vaikutukset loukkaantumisiin olivat myönteisiä. eCallin loukkaantumisia lisäävä vaikutus johtuu siitä, että osa kuolemista muuttuu loukkaantumisiksi. Risteysajon tuki olisi suhteellisen tehokas järjestelmä vähentämään loukkaantumisia, samoin törmäyksenestojärjestelmä. Risteyksissä nopeudet ovat yleisesti alhaisemmat, ja niissä tapahtuvat onnettomuudet ovat seurauksiltaan lievempiä kuin useissa muissa onnettomuustyypeissä.



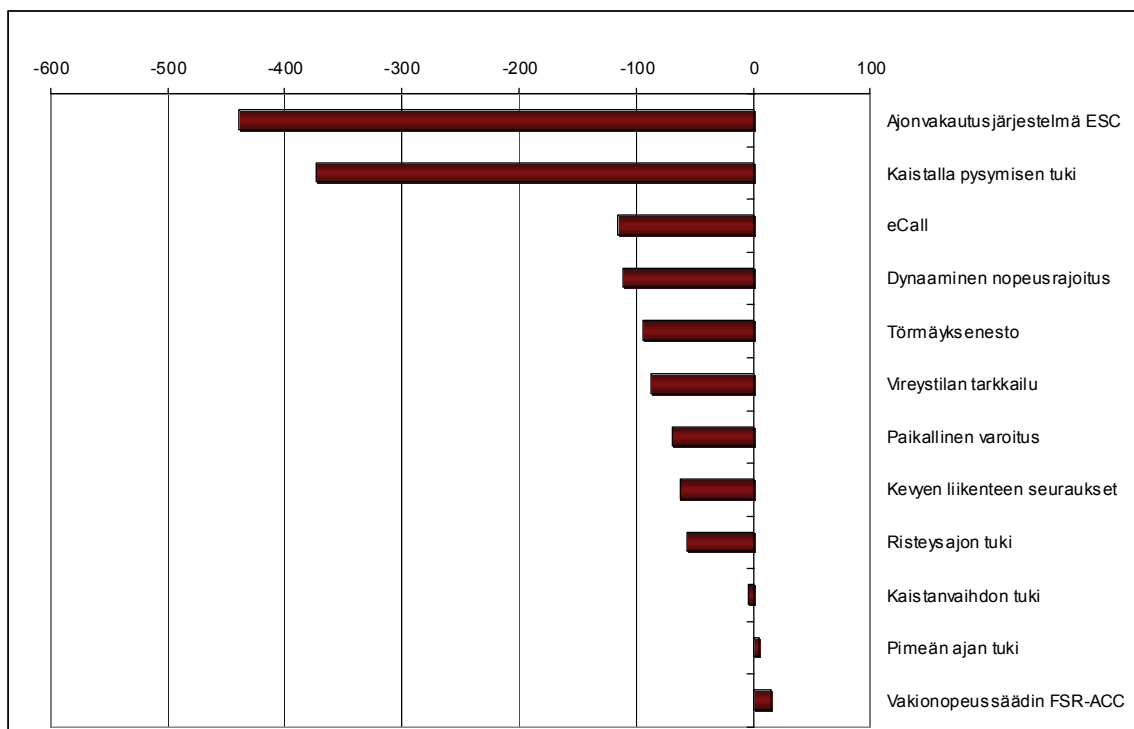
Kuva 43. Eri järjestelmien vaikutus (%) liikenteessä tapahtuneisiin loukkaantumiin, kun järjestelmät on asennettu kaikkiin ajoneuvoihin.

Tulokset olivat enimmäkseen samanlaisia kuin muualla Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa. Joitain eroja voidaan kuitenkin todeta. Suomalaisessa tarkastelussa kaksi tehokkainta järjestelmää erottuivat muista järjestelmistä selvemmin kuin EU25-tarkastelussa: ajonvakautusjärjestelmä oli noin 6 prosenttiyksikköä ja kaistalla pysymisen tukijärjestelmä noin 4 prosenttiyksikköä tehokkaampi kuin EU25-alueen arvioissa. Myös kevyen liikenteen seurauksia vähentävä järjestelmä oli Suomen aineistossa tehokkaampi kuin EU25-alueen tarkastelussa. Dynaaminen nopeusrajoitusjärjestelmä sekä törmäyksenestojärjestelmä olivat jonkin verran heikompia Suomen aineistossa, samoin pimeän ajan tukijärjestelmä ja vakionopeudensäädin, jotka lisäsivät hieman liikennekuolemia Suomen tarkastelussa EU25-alueen tarkastelusta poiketen.

Vaikutusten arvioissa ei juurikaan otettu kantaa järjestelmien tekniseen luotettavuuteen. Pääsääntöisesti oletettiin, että kun järjestelmät tulevat markkinoille, ne myös toimivat luotettavasti. Joidenkin järjestelmien toiminta saattaa kuitenkin olla Suomen pohjoisissa oloissa vähemmän luotettavaa kuin Keski- tai Etelä-Euroopassa, jotka ovat järjestelmien pääasiallista markkina-aluetta ja joiden olosuhteet painottuvat aikaisemmissa vaikutusarvioissa (Wilmink ym. 2008, Scholliers ym. 2008 ja Kulmala ym. 2008). Useissa Suomeen tuotavissa järjestelmissä tulisi siten ottaa huomioon tien kitkan suurempi vaihtelu talviolosuhteissa sekä esimerkiksi kameroiden toiminta olosuhteissa, joissa ajoratamaalaukset eivät näy lumen takia. Käytännössä tämä seikka vähentänee kaistalla pysymisen tuen vaikutuksia Suomessa, koska tässä arvioidun järjestelmän toiminta perustuu reunaviivojen tarkkailuun kameran avulla. Myös sellaisten järjestelmien toiminta, jotka perustuvat pysähtymismatkojen tunnistamiseen, pitäisi erityisesti sovittaa suomalaisiin olosuhteisiin ja kitkan vaihteluun. Esimerkki tällaisesta järjestelmästä on törmäyksenestojärjestelmä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää paitsi järjestelmien arvioitua tehokkuutta myös vaikutusta vuonna 2002–2006 tapahtuneisiin henkilövahinkoihin Suomen liikenteessä. Monesta syystä tällainen arvio on kovin teoreettinen. Arvio voidaan tehdä kuvitellen, että tuolloin 12 ajoneuvojen telemaattista järjestelmää olisivat olleet täysimääräisessä käytössä. Prosentuaalisia vaikutuksia ei saa laskea yhteen, vaan kokonaisvaikutusarvio saadaan kertomalla kunkin järjestelmän vaikutusarviot (prosenttikertoimet) keskenään. Luonnollisesti tämä arvio ei ota huomioon järjestelmien välisiä interaktioita tai sitä, että jotkut järjestelmät vaikuttaisivat samoihin onnettomuustyyppisiin. Arvio ei myöskään ota huomioon sitä, millaisia järjestelmäyhdistelmiä autoteollisuus tulee tarjoamaan. Tämä täysin teoreettinen arvio merkitsisi kuitenkin 60 prosentin vähenemistä liikennekuolemista ja 51 prosentin vähenemistä liikenteessä tapahtuneissa loukkaantumissa. Kun prosentuaaliset arviot sovitetaan viiden vuoden onnettomuusaineistoon (2002–2006), merkitsisi tämä noin 1 140 säästettyä kuolemaa ja 22 550 säästettyä loukkaantumista.

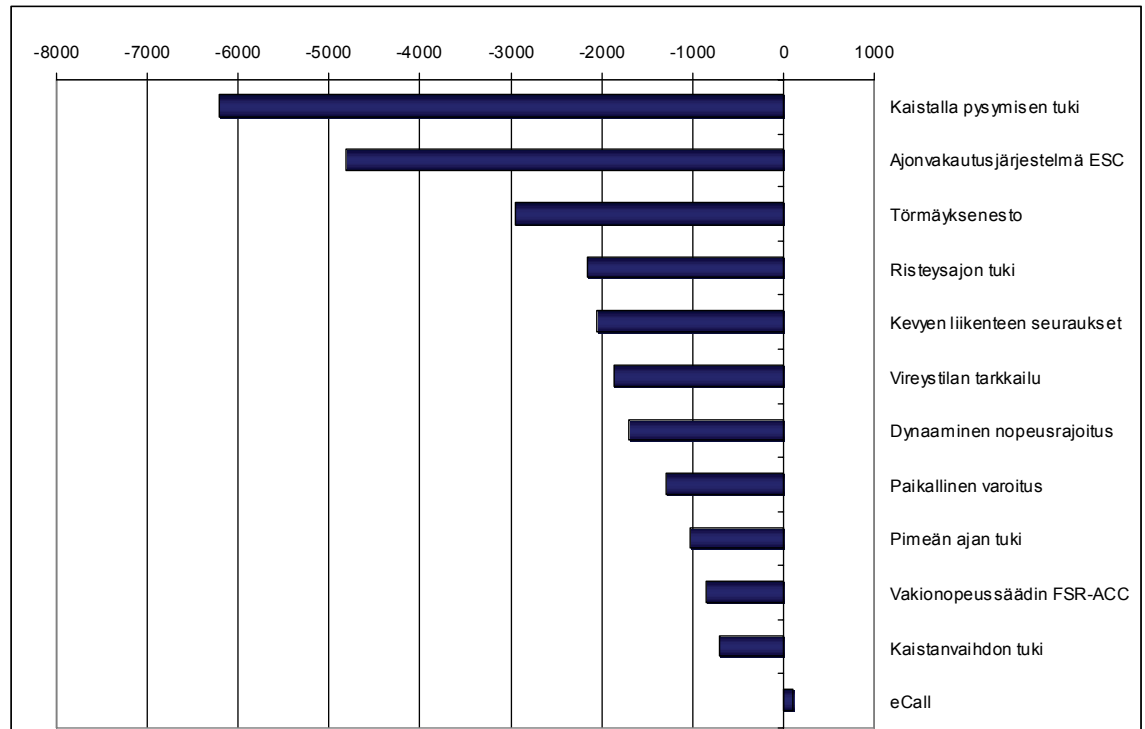
Yksittäisten järjestelmien teoreettisesti vuosina 2002–2006 vähentämien liikennekuolemien määrät on esitetty kuvassa 44. Vastaavat loukkaantuneiden lukumäärien vähennykset on esitetty kuvassa 45. Tällä tarkoitetaan tilannetta, jossa järjestelmät olisivat olleet laajamittaisessa käytössä eli ne olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin ja tarvittaessa liikenneympäristöön (infrapenetraatioista luvussa 4.5.1). Näitä lukuja ei sinällään voida laskea yhteen kokonaisvaikutukseksi.



Kuva 44. Järjestelmien vaikutukset vuosien 2002–2006 liikennekuolemien määrään, jos järjestelmät olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin.

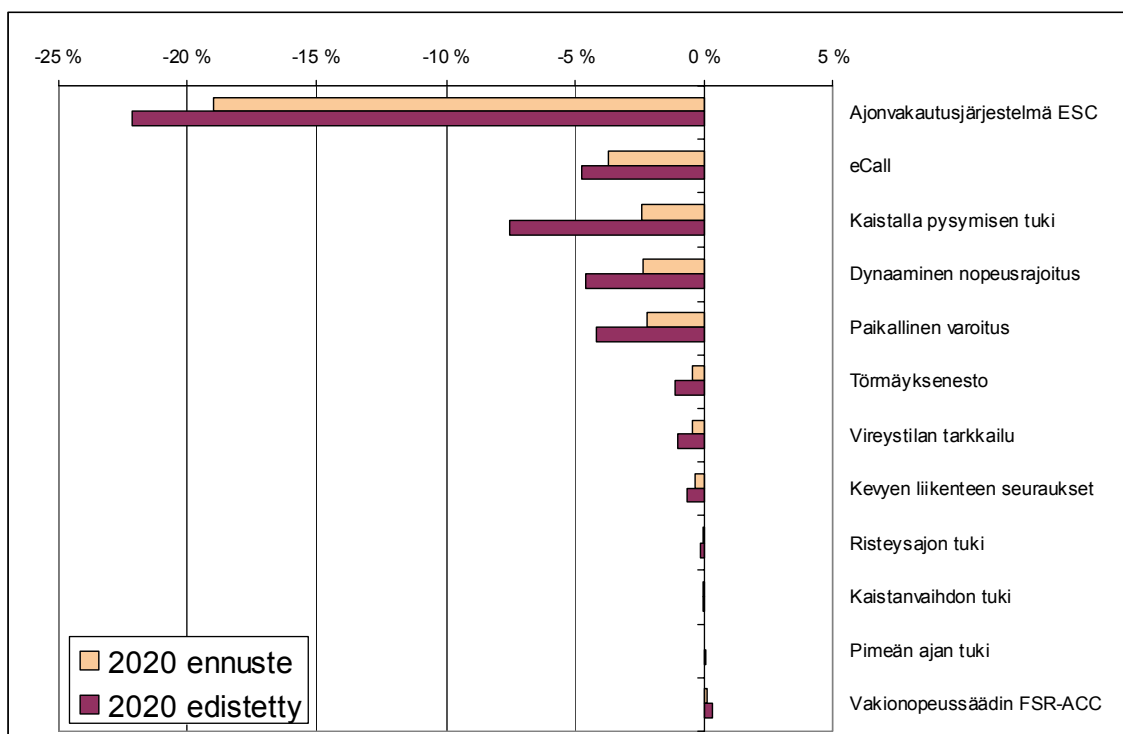
Onnettomuuksissa loukkaantuneiden tarkastelu osoitti suurinta vaikutuspotentiaalia kaistalla pysymisen tukijärjestelmälle, toiseksi suurinta ESC:lle. Tehokkaiden järjestelmien joukkoon kuuluivat myös törmäksenestojärjestelmä, ris-

teysajon tukijärjestelmä sekä kevyen liikenteen seurauksia lieventävä järjestelmä. Kevyen liikenteen seurauksia lieventävä järjestelmä osoittautui tehokkaammaksi suomalaisessa tutkimuksessa kuin EU25-alueen tutkimuksessa.

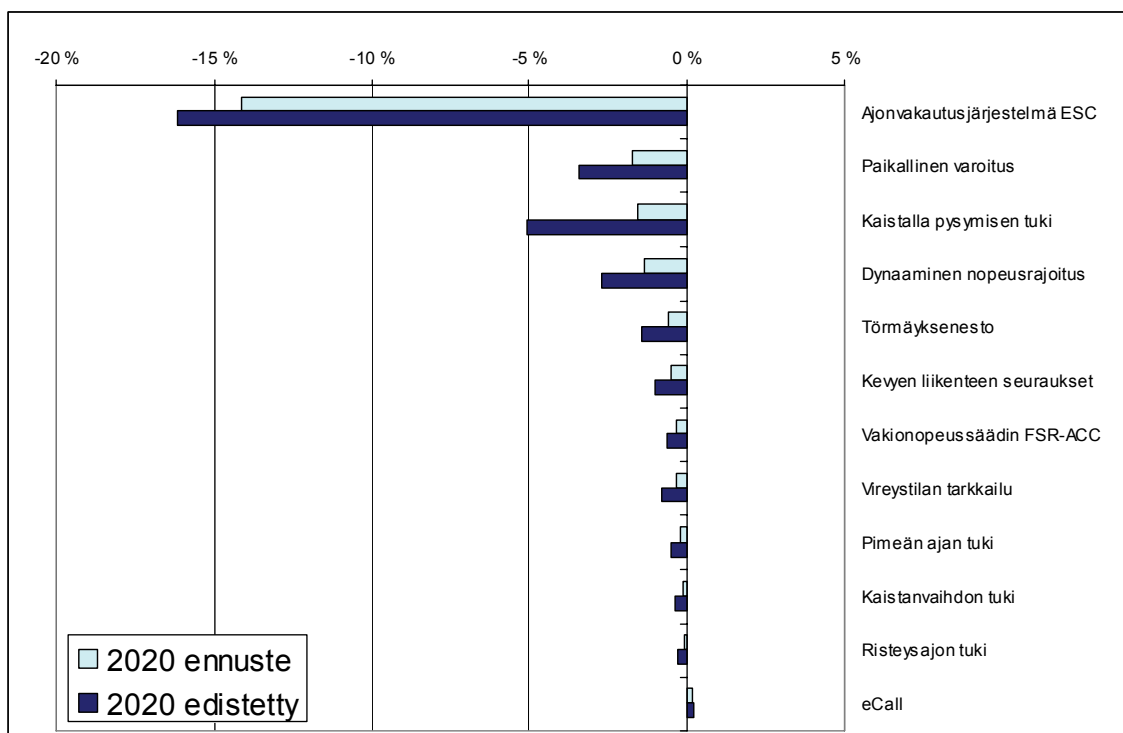


Kuva 45. Järjestelmien vaikutukset vuosien 2002–2006 loukkaantuneiden määrään liikenteessä, jos järjestelmät olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin.

Realistisempi käsitys vaikutuksista saadaan nykyhetken kannalta, kun tarkastellaan tulevaisuuden skenaariota (kuvat 46 ja 47). Tällöin merkittäväksi muodostuu myös se, miten nopeasti kunkin järjestelmän arvioidaan yleistyvän sekä se, millaiseksi yleinen onnettomuuskehitys ilman järjestelmien toteuttamista arvioidaan. Ajovakauden hallintajärjestelmä on tässä tarkastelussa selvästi kärjessä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on arvioitu, että eCall-järjestelmän ja dynaamisten nopeusrajoitusjärjestelmien yleistymistä tuetaan tulevaisuudessa, ja tämän vuoksi myös nämä järjestelmät menestyvät hyvin yleistymisen huomioon ottavassa tarkastelussa. Myös kaistalla pysymisen tukijärjestelmä, dynaamiset nopeusrajoitukset ja paikallisista kohteista varoitettava järjestelmä vähentäisivät merkittävästi liikennekuolemia ja loukkaantumisia, jos niiden yleistymistä edistettäisiin. Kahdentoista järjestelmän kokonaisarvio, jossa otetaan huomioon vuoden 2020 yleistymisen, osoittaa kuolemien vähenemistä 44 prosenttia tuetussa skenaariossa ja 30 prosenttia ilman erityisiä tukitoimia.



Kuva 46. Eri järjestelmien vaikutus (%) liikennekuolemiin vuonna 2020, kun järjestelmien käyttöön ottoa on tuettu eri toimenpitein.



Kuva 47. Eri järjestelmien vaikutus (%) loukkaantumisiin liikenteessä vuonna 2020, kun järjestelmien käyttöön ottoa on tuettu eri toimenpitein.

Vaikuttavuusarvion suuruuteen vaikutti merkittävästi paitsi se, kuinka tehokkaasti järjestelmän arvioitiin vähentävän onnettomuuksia, myös se, kuinka suureen onnettomuusjoukkoon eri vaikutusmekanismit kohdistuvat. Osa vaikutuksista kohdistuu vain rajalliseen joukkoon onnettomuuksia (mekanismit 1, 4, 5, 9) ja osa lähes kaikkiin onnettomuuksiin (mekanismit 3, 6–8). Viime aikoina

vaikuttavuusarvioita on tehty EU25-alueen kattavaan onnettomuusaineistoon, jossa painotettiin erityisesti keskieuropalaista onnettomuusaineistoa. Nyt tarkastelun kohteena olivat Suomen tieliikenneonnettomuudet vuosina 2002–2006, ja niiden jakautuminen vaikutti tuloksiin. Myös joitain lähtöoletuksia tarkistettiin suomalaisten olosuhteiden mukaisiksi.

Taulukossa 21 on verrattu eri järjestelmiä kolmen vaikutusarvioon merkittävästi vaikuttavan tekijän perusteella. Kunkin järjestelmän osalta arvioitiin kolmiporraisella luokituksella, kuinka tehokas järjestelmä on päävaikutukseltaan (mekanismi 1 < 20 %, 20–40 %, >40 %), kuinka suureen onnettomuusjoukkoon järjestelmän päävaikutus kohdistuu (<20 %, 20–50 %, >50 %) sekä arvioitu penetraatio liikennevirrassa (<12 %, 12–50 %, >50 %). Voidaan todeta, että ajovakauden hallintajärjestelmä on ainoa järjestelmä, joka on kaikin puolin tehokas. Kaistalla pysymisen tukijärjestelmän vaikuttavuutta heikentää jonkin verran hidas yleistymisen. Näiden järjestelmien lisäksi merkittävään onnettomuusjoukkoon kohdistuvat kevyen liikenteen seurauksia lieventävä järjestelmä, paikallisista ongelmista varoittava järjestelmä ja dynaamiset nopeusrajoitukset. eCall järjestelmän tehokkuutta parantavat odotetut toimenpiteet yleistymisen lisääntymiseksi. Tällaisen tarkastelun lisäksi on kuitenkin huomattava, että useat epäsuorat sekä suoritevaikutukset kohdistuvat kaikkiin onnettomuuksiin, eivät pelkästään kohdeonnettomuuksiin.

Taulukko 21. Laadullinen analyysi järjestelmien tehokkuudesta. Punainen = vähentää tehokkaasti / onnettomuuksia > 40 % / merkittävä penetraatio Oranssi = vähentää / onnettomuuksia 20–40 % / kohtalainen penetraatio Keltainen = teho pieni / onnettomuuksia < 20 % / pieni penetraatio

Järjestelmä	vaikutus-arvio	kohde-onnettomuudet	penetraatio
Ajonvakautusjärjestelmä ESC			
Vakionopeussäädin FSR-ACC			
Törmäyksenesto			
Kevyen liikenteen seuraukset			
Kaistanvaihdon tuki			
Kaistalla pysymisen tuki			
Pimeään ajan tuki			
Vireystilan tarkkailu			
eCall			
Risteysajon tuki			
Paikallinen varoitus			
Dynaaminen nopeusrajoitus			

Johdannossa (luku 2.4) esiteltiin myös suppeasti aikaisemmissa hankkeissa tehtyjä hyötykustannusarvioita. Törmäyksenestojärjestelmä vaikutti aikaisempien arvioiden perusteella kustannustehokkaimmalta järjestelmältä. Suomen aineistossa sen turvallisuusvaikutukset ovat hieman pienemmät. Yksi syy tä-

hän on jonkin verran pienempi liikennekuolemien osuus pääasiallisissa kohde-onnettomuuksissa (peräänajot) verrattuna eurooppalaiseen aineistoon. Ajonvakautusjärjestelmä on eurooppalaisten arvioiden perusteella myös kustannustehokas järjestelmä.

Kaiken kaikkiaan järjestelmillä voitaisiin merkittävästi vähentää liikennekuolemia ja loukkaantumisia. Järjestelmien yleistymisen on kuitenkin arvioitu edellyttävän erityisiä tukitoimenpiteitä.

7 Lähdeluettelo

- Abele J., Kerlen C., Krueger S., Baum H., Geißler T., Grawenhoff S., Schneider J. & Schulz W.H. (2005). *Exploratory study on the potential socio-economic impact of the introduction of intelligent safety systems in road vehicles*. SEiSS. VDI/VDE In-novation + Technik GmbH and Institute for Transport Economics at the University of Cologne, 2005.
- Al-Ghamdi A. S. (2007). *Experimental evaluation of fog warning system*. *Accident Analysis & Prevention*, 39, 1065-1072.
- Alkim T., Bootsma G. & Looman P. (2007), *The assisted driver*, Rijkswaterstaat, Roads to the Future, Delft.
- AWAKE (2004). *Deliverable 10.2: Project Final Report AWAKE project 2004*. Referoitu teoksessa Wilpink I. ym. (2008). *Impact assessment of Intelligent Vehicle Safety Systems*. eIMPACT Deliverable D4.
- Bayly M., Fildes B., Regan M. & Young K. (2007). *Review of crash effectiveness of Intelligent Transport Systems*. TRACE Deliverable D4.1.1-D6.2.
- Biding T. & Lind G. (2002). *Intelligent Speed Adaptation (ISA), Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999–2002*. Vägverket publication 2002:89, Borlänge, Sweden.
- Birriel E. (2007). *The Drive for Accountability. FDOT's program to measure ITS performance*. Transportation Point, summer 2007.
<http://www.hntb.com/documents/pdf/HNTB-TP-4-2007.pdf>
- Bouler Y. (2005). *Overview of available studies on proven or assessed benefits of e-Call. Clarification paper – BC 1, Ekonomisk värdering av eCall i Sverige*. eSafety Forum, 27.8.2005. Available at http://www.esafetysupport.org/download/socio_economic_studies/papersocioeconomicstudy.pdf
- Busch F., Grošanic S. & Assenmacher S. (2008). *eSafety - Implementation Status Survey 2007*. Technische Universität München, Traffic Engineering and Control, Munich.
- Carsten O. & Fowkes M. (1998). *External vehicle speed control, Phase 1 Results: Executive Summary*. <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/evsc/index.html>
- Carsten O. & Fowkes M. (2000). *External Vehicle Speed Control. Executive summary of Project Results*. University of Leeds and the Motor industry Research Association.
- Carsten, O., Fowkes M., Lai F., Chorlton K., Jamson S., Tate F., Simpkin B. (2008). *ISA - UK. Intelligent speed adaptation. Executive summary of project results*. University of Leeds.

Cooper, B. R.; Sawyer, H. E.; Rutley, K. S. (1992). *Analysis of accidents before and after implementation of improved motorway signalling. Research Report 342. Crowthorne, Berkshire, Transport and Road Research Laboratory.*

Demo (2006). *Actualizing the world's safest roads. Data of Advanced Cruises-Assist Highway System Research Association.*

Dingus, T. A., S.G. Klauer, V.L. Neale, A. Petersen, S.E. Lee, J. Sudweeks, M.A. Perez, J. Hankey, D. Ramsey, S. Gupta, C. Bucher, Z.R. Doerzaph, J. Jermeland, & R.R. Knipling (2006). *The 100-Car Naturalistic Driving Study. Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment. NHTSA, DOT HS 810 593.*

Draskóczy, M; Carsten, O.M.J. and Kulmala, R. (1998). *Road Safety Guidelines. CODE Project, Telematics Application Programme, Deliverable B5.2.*

ECORYS (2006). *Cost-benefit assessment and prioritisation of vehicle safety technologies. Final Report for DG-TREN.*

Elvik, R. & Vaa, Truls (2004). *The handbook of road safety measures. Elsevier, Amsterdam..*

eSafety Forum (2005). *Draft Final Report and Recommendations of the Implementation Road Map Working Group.*

Ferguson S.(2007) *The Effectiveness of Electronic Stability Control in Reducing Real-World Crashes: A Literature Review. Traffic Injury Prevention, Vol 8, s. 329-338.*

Fürstenberg, K. Hopstock, M., Obojski, A., Rössler, B., Chen, J., Deutschle, S., Benson, C., Weingart, J. & Chinea Manrique de Lara, A. (2007). *Final Report (Project Evaluation and Effectiveness of the Intersection Safety System). PreVENT INTERSAFE SP Deliverable 40.75, Version 1.3.*

Fürstenberg (2005). *Pedestrian Protection based on Laserscanners. In: Proceedings of the 12th World Congress on ITS, San Fransisco.*

Garder (2004). *Traffic signal safety strategies: analysis of red-light running in Maine. University of Maine, Report No. ME 02-1.*

Gayko J. & Tsuji T. (2006). *Honda night vision system with pedestrian detection – a system concept for Japanese driving situations. Workshop Fahrerassistenzsysteme, p. 104-111.*

Geels A. (2004). *E-MERGE: compiled evaluation results. E-MERGE Final report, deliverable 6.3. Cap Gemini Ernst & Young. Available at: <http://www.gstforum.org/download/rescue/e-merge%20deliverables/E-MERGE%20compiled%20validation%20results.pdf>.*

Gish K.W., Shoulson M. & Perel M. (2002). *Driver behavior and performance using an infrared night vision enhancement system. Washington D.C. TRB.*

Grömping, U., S. Menzler & U. Weimann (2004). *Split Register Study: A New Method for Estimating the Impact of Rare Exposure on Population Accident Risk, based on Accident Register Data*; ESAR-Conference, Hannover, September 2004.

Gustafsson, P. 1997. *ISA Intelligent Speed Adaptation. Who Wants It? Proceedings, 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, 21-24 October, Berlin, Germany. ITS America, ERTICO & VERTIS.*

Hakamies-Blomqvist (1994). *Older drivers in Finland: traffic safety and behaviour. Reports from Liikenneturva 40/1994. Helsinki: The Central Organisation for Traffic Safety.*

Hjälmdahl, M. (2004). *In-vehicle speed adaptation. On the effectiveness of a voluntary system (Doctoral dissertation). Lund University Dissertations. Lund, Sweden: Department of Technology and Society.*

Hoffmann M. (2002). *Intelligent automatic crash notification (IACN) framework. Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems (CD). Chicago: ITS America, Ertico – ITS Europe, ITS Japan.*

Hogema, J. H., & A.R.A. Van der Horst (1997). *Evaluation of A16 motorway fog-signalling system with respect to driving behaviour. Washington, Transportation Research Record, 1573, 63–67.*

HUMANIST (2006). *An inventory of available ADAS and similar technologies according to their safety potentials. BVT-040827-T1-DA2.*

Innamaa S., Vanhanen K., Pursula M. (2000). *Länsiväylän automaattisen liikenteen ohjausjärjestelmän vaikutukset liikennevirtaan. Finnra Reports 53/2000 Helsinki: Finnish National Road Administration.*

Janssen W.H., Brouwer R.F.T., & Huang Y. (2006). *Risk trade-offs between driving behaviour and driver state. AIDE Deliverable D.2.3.2.*

Janssen W.H., Brouwer R.F.T. and Huang Y. (2004). *Risk trade-offs between driving behaviour and driver state. AIDE Deliverable D2.3.2.*

Kulmala R. (1995). *Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and application of accident prediction models. VTT Publications 233. Espoo, Technical Research Centre of Finland.*

Kulmala R., Leviäkangas P., Sihvola N., Rämä P., Francsics J., Hardman E., Ball S., Smith B., McCrae I., Barlow T., Stevens A. (2008a). *Final study report. CODIA Deliverable 5.*

Kulmala R., Rämä P., Sihvola N., Schirokoff A., Lind G., Janssen W. (2008b), *Safety Impacts of Stand-alone and Cooperative IVSS, WP3300 internal report of the eIM-PACT project, contract no. 027421.*

Kulmala R., Rämä P., Sihvola N. (2008c). *Miten autojen uudet turvajärjestelmät vaikuttavat turvallisuuteen? Tie & liikenne, 7-8, s 9-11.*

Langwieder K. (2005). *Wissenschaftlicher Erkenntnisstand zu ESP. 10 Jahre ESP*, Berlin, February 23.

Lawrence GJL, Hardy BJ, Carroll JA, Donaldson WMS, Visvikis C, Peel DA. (2006) *A study on the feasibility of measures relating to the protection of pedestrians and other vulnerable road users*, UPR/VE/05/17.0.

Lie A., Tingvall C., Krafft M., Kullgren A. (2005). *The Effectiveness of ESC (Electronic Stability Control) in reducing real life crashes and injuries*. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV).

Lind G. (1997) *Strategic assessment of intelligent transport systems – A user-oriented review of models and methods*. Stockholm: Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure and Planning, TRITA-IP FR 97-29.

Lindholm R. (2004). *A Pan-European Automatic Emergency Call (eCall)*. Aalborg University.

Lunenfeld H. & Stephens B.W. (1991). *Human factors considerations in the development of an IVHS system: night vision enhancement*. In *Institute of Transportation Engineers Sixty-First Annual Meeting, Compendium of Technical Papers* (pp. 120-124). Washington D.C., Institute of Transportation Engineers.

Luoma J. (1984). *Autonkuljettajan visuaalisen informaation hankinta: merkityksellisen ja merkityksettömän informaation vuorovaikutus*. Liikenneturvan tutkimuksia 64. Helsinki: Liikenneturva. .

Luoma, J., Flannagan, M.J. & Sivak, M. (2001). *Effects of nonplanar driver-side mirrors on lane change crashes*. *Transportation Human Factors*, 2, 279-289.

Malmivuo, M., (2004). *Talviliikenteen turvallisuus Suomessa ja Ruotsissa*. LINTU-julkaisuja: 5A. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.
(http://www.lintu.info/lintu_SUORUO_FIN.pdf)

Mazzae E.N. and Garrott W.R. (1995). *Human performance evaluation of heavy truck side object detection systems*. SAE Technical Paper No. 95 1011. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Meinecke M.M. & Obojski M.A. (2005) *Potentials and Limitations of Pre-Crash Systems for Pedestrian Protection*. 2nd International Workshop on Intelligent Transportation, Hamburg.

Nielsen B. & Lahrmann H. (2004). *“Traffic Safe Young Car Drivers” – Experiments with Intelligent Speed Adaptation*.

Nilsson G. (2004). *Traffic Safety Dimensions and the Power Model to describe the effect of speed and safety*. Bulletin 221. Department of Technology and Society. Lund University.

Nilsson, L. & Alm, H. (1996). *Effects of a vision enhancement system on drivers' ability to drive safely in fog*. In A.G. Galed (Ed.), *Vision in Vehicles V* (pp. 263-271). Amsterdam, Elsevier.

Noecker, G., M. Strassberger, S. Mammar, A. Hiller, W. Kronjaeger, W. Seibert, H-J. Hilt, A. Hinsberger, I. Karanasiou, G. Mitropoulos, H-J. Reumerman, D. Verburg, K. Malone & D. Willemssen (2007). *WILLWARN Final report. PReVENT SP Deliverable, document PR-22100-SPD-070131-v13_WILLWARN_Final_Report.pdf*, 2007.

OECD (2003). *Road safety: Impact of new technologies*. Paris, France, Organisation for Economic Cooperation and Development, 2003.

Owens D.A. & Sivak M. (1996). *Differentiation of visibility and alcohol as contributors to twilight road fatalities*. *Human Factors*, 38, 680-689.

Owens, D.A., Helmers, G. & Sivak, M. (1993). *Intelligent vehicle highway systems: a call for user-centered design* *Ergonomics*, 36, 363-369.

Page Y., Foret-Bruno, Cuny S. (2005). *Are expected and observed effectiveness of Emergency Brake Assist in preventing road injury accidents consistent? The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Washington D.C. June 6-9, 2005*.

Pasanen, E. (1991). *Ajonopeudet ja jalankulkijan turvallisuus*. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka. Julkaisu 72.

Peltola H. (2002). *Weather related ISA – experience from first Studies*. Workshop on Intelligent Speed Adaptation, Nagoya 19. - 20. 5. 2002 ICTCT, The Nagoya (Extra workshop), papers. The Japanese Association of Traffic Psychology and European Working Group on Speed Control (in co-operation with ICTCT).

Pesti G. (2007). *Improved Techniques for Traffic Control for Freeways and Work Zones*. Texas Department of Transportation.

PROSPER (2006). *Final Report: Speed management methods assessment*. D1.3 Final report of the PROSPER project, contract number GRD2/2000/30217/S12.342799, 2006.

Radun I, Radun J (2008) *Väsyneenä ajaminen. Mikä on tilanne Suomessa?* Helsinki: Liikenneturva. Liikenneturvan tutkimuksia 123/2008

Regan M. Triggs T.J., Young K.L., Tomasevic N., Mitsopoulos E., Stephan K., Tingvall C. (2006). *On-road evaluation of intelligent speed adaptation, following distance warning and seatbelt reminder systems: Final results of the TAC Safecar Project*. Monash University Accident Research Centre.

Retting R.A., Williams A.F., Preusser D.F., & Weinstein H.B. (1995). *Classifying urban crashes for countermeasure development*. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 283-294.

- Rumar K. (2002). *Night vision enhancement systems: what should they do and what more do we need to know? Report UMTRI-2002-12. Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute.*
- Rämä P. (2001). *Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. VTT Publications 447. Espoo: Technical Research Centre of Finland.*
- Rämä P., Raitio J., Anttila V. & Schirokoff A. (2001). *The effects of weather controlled speed limits on driver behaviour. In: Proceedings of the International Conference on Traffic Safety on Three Continents. Moscow, Ministry of Transport of the Russian Federation.*
- Sagberg F., Jackson P., Krüger H-P, Muzet A., Williams A. (2004) *Fatigue, sleepiness and reduced alertness as risk factors in driving. Oslo: TØI. TØI report 739/2004*
- Schirokoff, A. & Aittoniemi, E. (2005). *Liikennesää-tiedotuksen toteutuminen ja arviointi talvikaudella 2003-2004. Tiehallinnon selvityksiä 35. Helsinki: Tiehallinto.*
- Scholliers, J., Kutzner R., Luoma J., Sihvola N., Leanderson S., Netto M., Blosseville J-M, van Noort M., Tango F., Koskinen S., Joshi S., Noecker G., Ljung M., Chen J., Gemou M. (2008). *Project final report and recommendations for future assessments. PREVENT-EU-hankkeen aliprojektin PREVALin loppuraportti. http://prevent-ip.org/download/deliverables/PReVAL/PR-16000-SPD-070208-v11-D16_4_Final_Report.pdf (viitattu 15.1.2009)*
- Sferco R., Page Y., LeCoz J.Y., Fay P. (2001). *Potential Effectiveness of the Electronic Stability Programs (ESP – What European Field Studies Tell Us), 17th International ESV Conference, Amsterdam, June 2001.*
- Shinar, D. (2007). *Traffic safety and human behaviour. Amsterdam, Elsevier.*
- Sihvola, N ja Rämä P (2008). *Kuljettajien käsityksiä kelistä ja kelitiedotuksesta - tienvarsihaastattelu talvikelissä. Tiehallinnon selvityksiä 16/2008. Helsinki: Tiehallinto.*
- SRA (2002) *Intelligent speed adaptation. Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999-2002, Swedish Road Administration, 2002.*
- Stanton N. & Pinto M. (2000). *Behavioural compensation by drivers of a simulator when using a vision enhancement system. Ergonomics, 439, 1359-1370.*
- Sulander, P. (2008) *Väsymys ja päihteet, haaste onnettomuuksien tutkijalle. Esitelmä Vireystilaseminaari, Pasila 27.5.2008.*
- SWOV (2008). *Advanced Cruise Control (ACC). SWOV Fact sheet. Elokuu 2008. www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_ACC_UK.pdf*
- Thomas P. (2007) *Effectiveness of Electronic Stability Control Systems in Great Britain. PPAD 9/33/99 (C), Vehicle Safety Research Centre Loughborough University.*
- Tingvall C, Krafft M., Kullgren A. & Lie A. (2003). *The effectiveness of ESC (Electronic Stability Programme) in reducing real life accidents. Traffic Injury Prevention, 5, 37-41.*

Tingvall C, Krafft M., Kullgren A. & Lie A. (2005). *The effectiveness of ESC (Electronic Stability Control) in reducing real life crashes and injuries*. Article downloaded from: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-01/esv/esv19/05-0135-O.pdf>

Truckflick (2006). *Gridlock bill advances in Kentucky*. Trucking News Article. http://www.truckflick.com/news_article.php?newsid=3405

Tsimhoni O., Bärghman J., Minoda T. & Flannagan M.J. (2004). *Pedestrian detection with near and far infrared night vision enhancement*. Report UMTRI 2004-38. Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute.

Tsimhoni O., Flannagan M.J. & Minoda T. (2005). *Pedestrian detection with night vision systems enhanced by automatic warnings*. Report UMTRI 2005-23. Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute.

Tsuji T., Hashimoto H., Nagaoka N. & Takatsudo I. (2006). *Development of a nighttime pedestrian recognition assistance system*. 2006 SAE World Congress.

Uhler W. (2006). *Nachtsichtunterstützung*, BAIKA Kooperationsforum, 06.04.2006.

Várhelyi (2002). *Dynamic Speed Adaptation In Adverse Conditions - A System Proposal !*

Várhelyi, Hjälmdahl M., Hydén C. & Draskóczy M. (2004). *Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas*, *Accident Analysis and Prevention*, 36, 729–737.

Vincent A., Noy I., & Laing A. (1998). *Behavioural adaptation to fatigue warning systems*. In: *Proceedings of the 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, Windsor, Canada.

Virtanen N. (2005). *Automaattisen hätäviestijärjestelmän vaikutukset onnettomuustilanteissa*. AINO-julkaisu 14/2005. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.

Virtanen N., Schirokoff A., Luoma J. & Kulmala R. (2006). *Impacts of an automatic emergency call system on accident consequences*. Downloaded from http://europa.eu.int/information_society/activities/esafety/doc/esafety_forum/ecall/ecall_safety_effects_finland_summary.pdf (referred 18.9.2006). 15 p.

Ward N.J., Stapleton L. & Parkes A.M. (1994). *Behavioral and cognitive impact of night-time driving with HUD contact analogue infra-red imaging*. In *Proceedings of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of vehicles (ESV)* (pp. 319-324). Munich, Germany.

Warren C. (2006). *Customer Service, Customer Safety: Florida's Turnpike Enterprise Mainline Safety Program*. Publication: Institute of Transportation Engineers. ITE Journal. (<http://64.233.183.104/search?q=cache:CHwfA3h1SNIJ:www.allbusiness.com/public-administration/administration-economic-programs/4101137-1.html+%22secondary+accidents%22+%22percent+of+traffic%22&hl=fi&ct=clnk&cd=2&gl=fi>)

Wilmink I., Janssen W., Jonkers E., Malone K., van Noort M., Klunder G, Rämä P., Sihvola N., Kulmala R., Schirokoff A., Lind G., Benz T., Peters H., Schönebeck S. (2008). Impact assessment of Intelligent Vehicle Safety Systems. eIMPACT Deliverable D4.

Liite 1 – Järjestelmäkuvaukset

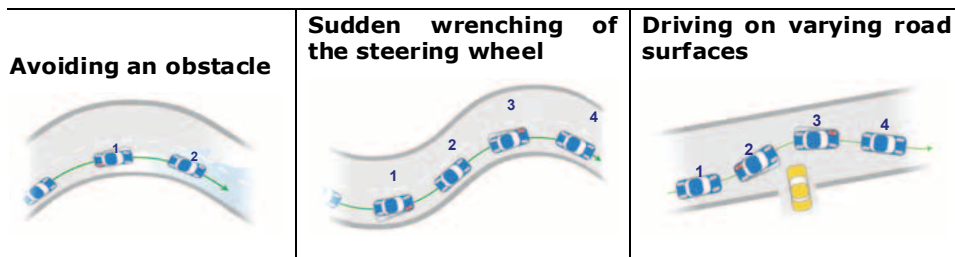
1. Ajonvakautusjärjestelmä (ESC)

Ajonvakautusjärjestelmän tarkoitus on korjata kuljettajan tekemiä ohjausvirheitä ja ehkäistä luistamista aktiivisella jarrujen väliintulolla ja moottorin vääntöä säätämällä.

Ajonvakautusjärjestelmä vertaa kuljettajan valitsemaa ajolinjaa ja ajoneuvon tottelua mittaamalla sivuttaiskiintyvyyttä, kääntymistä ja yksittäisten pyörien nopeutta. Ajonvakautusjärjestelmä jarruttaa tarvittaessa yksittäisiä pyöriä ja/tai vähentää moottorin ylimääräistä tehoa korjatakseen yli- tai aliohjautuvuutta ja auton heitteledintää.

Ajonvakautusjärjestelmä sisältää lukkiutumattomat jarrut ja koko nopeusalueen luistoneston, joka aistii vetävien pyörien luistamista kiihdyttäessä ja erikseen jarruttaa luistavaa pyörää/pyöriä ja/tai vähentää ylimääräistä tehoa kunnes hallinta on palautettu.

Ajonvakautusjärjestelmä ei pysty kumoamaan ajoneuvon fyysisiä rajoituksia. Jos kuljettaja ylittää liikaa ajoneuvon alustan ja ajonvakautusjärjestelmän mahdollisuudet, ei ajonvakautusjärjestelmä voi estää onnettomuutta. Järjestelmä on apuneuvo luistonestoon ja auttaa kuljettajaa säilyttämään auton hallinnan. Järjestelmän toimintaperiaate on kuvattu kuvassa 4.



Kuva 1. Esimerkki ajonvakautusjärjestelmän toimintaperiaatteesta.

Järjestelmä on aktiivinen koko ajan. Se toimii seuraavasti:

- ESC tarkistaa mihin suuntaan kuljettaja haluaa ohjata;
- ESC tarkistaa minne päin ajoneuvo on menossa;
- Ellei toteutunut liikerata vastaa ohjausta, ESC vakauttaa ajoneuvon jarrujärjestelmän avulla ilman kuljettajan toimintaa. Ajoneuvo pysyy turvallisemmin hallinnassa.

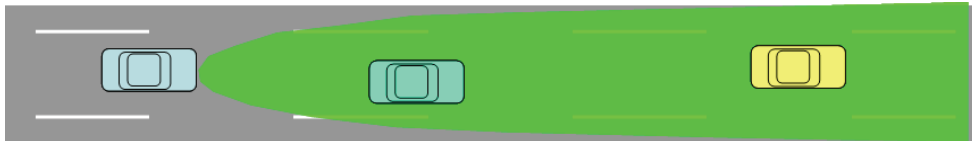
Ajonvakautusjärjestelmän vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- Hydraulisen modulaattoriyksikön, jossa on ECU (Electronic Control Unit)
- Anturit: pyörän nopeus / ohjauskulma / kiertymisnopeus ja sivuttaiskiintyvyyss

Ajonvakautusjärjestelmä on nykyisin yleisessä käytössä ja sitä voidaan käyttää kaikissa ajoneuvojalustoissa.

2. Koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin

Koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin pitää ajoneuvon nopeuden kuljettajan määrittämällä tasolla, tai mikäli edellä ajaa hitaampi ajoneuvo, järjestelmä pitää kuljettajan määrittelemän etäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon (kuva 2). Kuljettajan pitää aktivoida järjestelmä ja mikäli ajoneuvo pysähtyy, järjestelmä on aktivoitava uudelleen. Järjestelmän voi kytkeä pois käytöstä myös jarruttamalla. Järjestelmä on mahdollista ottaa uudelleen käyttöön edellisellä kerralla asetettujen määrittelyjen (haluttu nopeus / etäisyys) mukaisesti.



Kuva 2. Havaintopiiirros ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuvan vakionopeussäätimen toiminnasta.

Järjestelmän tavoitteena on pitää turvallinen etäisyys edellä ajavaan. Tavalliseen vakionopeuden säätimeen verrattuna koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin toimii myös tilanteissa, joissa kuljettaja ei voi vapaasti valita ajonopeuttaan. Järjestelmä toimii laajemmalla nopeuskaalalla kuin tavanomainen järjestelmä. Kun ajoneuvon pitää jarruttaa suuremmalla hidastuvuudella kuin mihin järjestelmä on rajoitettu (noin 4 m/s^2), järjestelmä varoittaa kuljettajaa esimerkiksi äänimerkillä. Peräänajot edellä ajaviin vältetään järjestelmälle sallitun hidastuvuuden rajoissa. Järjestelmä ei estä törmäyksiä muihin paikallaan oleviin esteisiin.

Sopeutuva vakionopeussäädin vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- pitkän kantaman (150 m) tutka säteen muovauksella (leveä kulma ajoneuvon edessä ja kapea pitkällä kantamalla)
- varoitusyksikkö
- näyttölaajennus
- jarrutustoiminto
- ajoneuvon liikeradan arviointi
- kuljettajan toiminnan arviointi.

3. Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmä

Täysin automaattisen törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmän tarkoitus on estää tai lieventää pituussuuntaisia törmäyksiä etukäteen kuljettajaa varoittamalla tai kriittisissä tilanteissa automaattisesti jarruttamalla. Tarkka toteutus vaihtelee: jotkut variaatiot jarruttavat vain, kun törmäys on väistämätön, ja ainoastaan lieventävät sen seurauksia. Yksi ensimmäisistä markkinoille tulleista järjestelmistä, Volvo City Safety puolestaan toimii vain alle 30 km/h nopeuksissa, mutta pysäyttää auton vaaratilanteissa kokonaan.

Lähtökohtaisesti järjestelmät eivät vastuukysymysten vuoksi tee täysjarrutusta niin kauan kuin kuljettajalla on teoreettinen mahdollisuus väistää onnettomuus. Tähän viittaa myös englanninkielinen nimitys Collision Mitigation System (lieventävä) vs. Collision Avoidance (estävä, välttävä, sisältäen myös väistöohjauksen). Tässä dokumentissa on kuitenkin päädytty käyttämään nimitystä törmäyksenesto- ja varoitusjärjestelmä.

Järjestelmä reagoi ajoneuvon lähestyessä edellä ajavaa. Järjestelmän reaktio on kolmivaiheinen:

- 1) Varoitus (visuaalinen ja audio) jos lähestyminen voi johtaa onnettomuuteen.
- 2) Automaattinen osajarrutus, jos välimatka vielä lyhenee.
- 3) Automaattinen täysjarrutus, jos törmäys on väistämätön (tai juuri ja juuri väistettävissä). Syöttötietoina käytetään välimatkaa ja edellä ajavan suhteellista nopeutta (kuva 3).



Kuva 3. Havaintokuva törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmästä.

Järjestelmä vähentää törmäysnopeutta välittömän vaaran uhatessa. Tuloksena on:

- vähentynyt vammautumisriski / lievempi onnettomuus pienentyneen törmäysnopeuden ansiosta.
- lyhyempi jarrutusmatka välittömän jarrutuksen ja mukautetun, paremman hätäjarrutushostuksen ansiosta.
- törmäyksen välttämisen ja lieventämisen tuki.

Järjestelmä toimii seuraavalla tavalla:

- Järjestelmä tarkkailee jatkuvasti edellä ajavien etäisyyttä (tutka).

- Edellä ajavat kohteet luokitellaan. Tässä arviossa oletettiin, ettei järjestelmä tunnista kevyttä liikennettä (vrt. kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä)
- Kohteiden suhteelliset nopeudet lasketaan.
- Lasketaan törmäykset ajoradalla olevien kohteiden kanssa.

Järjestelmä antaa tämän jälkeen tuloksena ajan ennen törmäystä kaikille ajoradalla oleville kohteille ja toimii (varoittaa/jarruttaa) tarvittaessa.

Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- keskipitkän kantaman tutka tai laserskanneri
- jarrutustoiminto
- ajoneuvon liikeradan arviointi
- kuljettajan toiminnan arviointi
- varoitusyksikkö

Järjestelmä voi teknisesti perustua mukautuvaan vakionopeuden säätimeen. Se on myös ensimmäinen askel kohti törmäyksenestojärjestelmän käyttöönottoa.

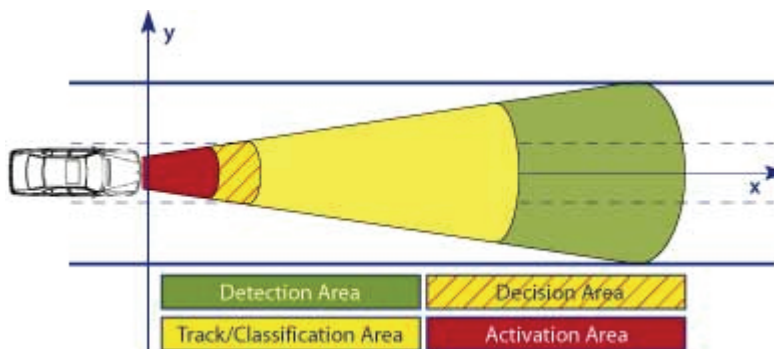
4. Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä

Järjestelmän tarkoitus on havaita kevyt liikenne ja käyttää täysin automaattista hätäjarrutehostinta silloin, kun törmäys on väistämätön. Kyseessä on törmäyksenestojärjestelmän yksi variaatio. Eräissä toteutuksissa käytetään myös aktiivista puskuria ja konepeltiä lieventämään törmäystä hetkellisesti pidentämällä ja laskemalla auton nokkaa.

Järjestelmä on tarkoitettu sekä henkilö- että tavara-autoihin. Se parantaa turvallisuutta suojelemalla ajoneuvon ulkopuolella olevia, kuten jalankulkijoita, pyöräilijöitä ja muita ajoneuvoja. Pääpaino on kohtaamisonnettomuustilanteissa, joissa törmäämiseen on aikaa alle 1–3 sekuntia (valmistajasta riippuen). Jalankulkijat voidaan havaita noin 40 metrin etäisyydeltä. Järjestelmä voi sisältää myös varoituksen törmäyksen kohteelle.

Järjestelmä ottaa ohjat, jos kuljettaja ei jarruta ollenkaan tai riittämättömästi. Koska jarrutus on automaattinen ja/tai tehokkaampi, törmäysnopeus pienenee. Jotkin kuolemantapaukset voidaan täten lieventää vakaviksi tai lieviksi loukkaantumisiksi.

Alla olevasta kuvasta (kuva 4) selviää ajoneuvon edessä olevan alueen jakautuminen havainnointi-, luokittelu-, päätöksenteko- ja toiminta-alueisiin.



Kuva 4. Periaatepiirros kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävän järjestelmän havainnointi- ja toiminta-alueista.

Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- stereovideojärjestelmä
- jarrutustoiminto
- ajoneuvon liikeradan arviointi
- kuljettajan toiminnan arviointi.

Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä eroaa edellä kuvatusta törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmästä seuraavasti:

- Pääpaino on kevyen liikenteen käyttäjissä, joiden havainnointi eroaa usein autojen havainnoinnista käytetyn kamera- ja lämpökameratekniikan vuoksi.
- Laajempi havainnointikulma ja yleensä lyhyempi havainnointiaika.

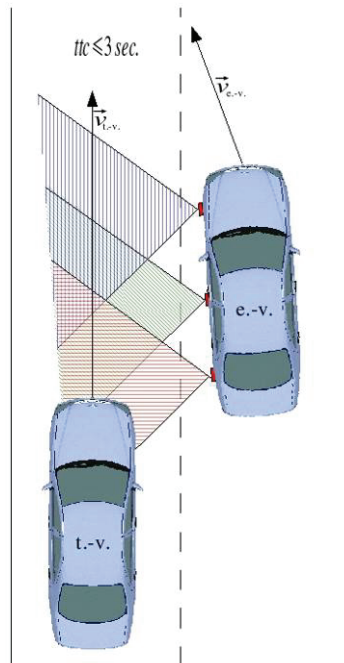
- Jotkin variaatiot sisältävät varoituksen myös törmäyksen kohteelle tai törmäystä lieventävän aktiivisen puskurin

5. Kaistanvaihdon tuki

Kun kuljettaja aikoo vaihtaa kaistaa, järjestelmä tukee kolmella toiminnolla kuljettajan sivusuuntien ja taustan havainnointia ja avustaa kaistanvaihdossa (kaistalta toiselle tai liittymiskaistalta ajokaistalle):

- taustan tarkkailu (ajoneuvot viistosti perässä) ja varoitukset parantavat kuljettajan huomiokykyä ja vähentävät ajoneuvon peräosan törmäyksiä varsinkin, jos näkyvyys on huono tai kuljettaja on ylikuormitettu
- sivusuuntaisen törmäyksen varoitin havaitsee ja seuraa sivulla olevia (yleensä liikkuvia) kohteita ja varoittaa kuljettajaa välittömästi uhkaavasta onnettomuudesta (esim. yhteentörmäys)
- kaistavaihdon tuki sisäänrakennetulla kuolleen kulman havainnoinnilla auttaa kuljettajaa kaistanvaihdossa teillä, joilla on useampi kuin yksi kaista suuntaansa.

Järjestelmä vaikuttaa ajoneuvojen välisiin yhteentörmäyksiin. Kun anturit havaitsevat esteen sivulla tai takana, mukaan lukien kuollut kulma, järjestelmä varoittaa kuljettajaa varoitusvalossa tai varoitusaänellä. Alla oleva piirros kuvaa kaistanvaihdon tukijärjestelmän havainnointia, jossa huomioidaan myös takaa lähestyvän ajoneuvon nopeus (kuva 5).



Kuva 5. Havainnepiirros kaistanvaihdon tukijärjestelmän periaatteesta.¹⁹

Varoitusyksikkö sekä kaksi keskikantaman tutkayksikköä tarkkailemassa yhdessä sivuille ja taaksepäin on demonstraatioissa katsottu riittäväksi kaistanvaihdon tukijärjestelmäksi. Kolmas tutkayksikkö suoraan taaksepäin parantaisi järjestelmää mutta lisäisi myös sen hintaa. Ensimmäisissä markkinoille tulles-

¹⁹ http://www.prevent-ip.org/download/Events/20060613-16_IEEE_IV_Tokyo/LATERAL%20SAFE%20presentation.pdf

sa toteutuksissa, kuten Volvon BLIS (Blind Spot Information System, 'sokean kulman informaatio'), on toimintaa tästäkin yksinkertaistettu.

Kaistanvaihdon tukijärjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla (arvioitu eIMPACT-projektissa):

- Varoitusyksikkö ("Warning Module")
- 2 keskikantaman tutkaa (1 tutka taaksepäin)

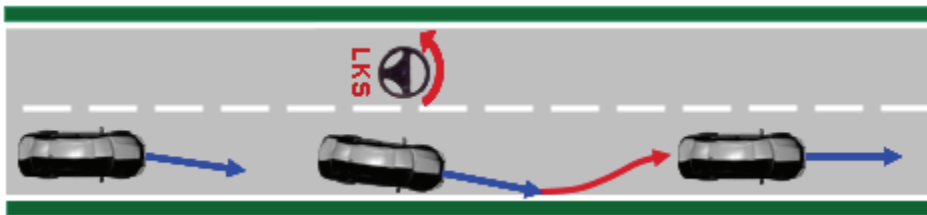
Tässä arvioitavan kaistanvaihdon tukijärjestelmän oletetaan olevan toiminnassa jatkuvasti silloin kun miniminopeus ylittyy. Kaistanvaihdon tukijärjestelmän voisi myös suunnitella siten, että kuljettaja voisi kytkeä sen pois toiminnasta, mutta tätä ei suositella.

Väriävän ohjauspyörän lisääminen järjestelmään nopeuttaisi kuljettajan reagointia, mutta lisäisi myös järjestelmän hintaa ja monimutkaisuutta. Tästä syystä kaistanvaihdon tukijärjestelmän kuvaus ei sisällä tätä toimintoa.

6. Kaistalla pysymisen tuki

Kaistalla pysymisen tukijärjestelmä henkilö- ja tavara-autoille auttaa kuljettajaa pysymään turvallisesti ajokaistan ”rajojen” sisäpuolella. Se määrittelee ajoneuvon suhteellisen aseman kaistamerkintöihin nähden ja yhdistää tämän tiedon kuljettajan aikomuksiin tai käyttäytymiseen (esim. huomioimalla suuntamerkin käytön tai analysoimalla ajoneuvon liikkeen ajonvakaustajajärjestelmällä) estääkseen tahattoman kaistan ylityksen. Järjestelmä on tarkoitettu moottori- ja maantieliikenteeseen ja toimii erilaisissa ajo- ja keliolosuhteissa.

Tutkittavassa järjestelmässä, PReVENT-aliprojekti LATERAL SAFE:n demonstraatioissa, kuljettajaa varoitetaan äänimerkillä tai ohjauspyörän värinällä. Lisäksi kuljettajan kaistalla pysymistä avustetaan aktiivisen ohjauspyörän liikkeiden avulla (kuva 6).



Kuva 6. Kaistalla pysymisen tukijärjestelmän toimintaperiaate.

Kuljettaja voi kytkeä järjestelmän pois päältä ja se sammuttaa itsensä, mikäli kaistamerkintöjä ei voida määritellä tarpeeksi hyvin tai jos nopeus on etukäteen määritellyn tason alapuolella. Kuljettajalle ilmaistaan aina järjestelmän olemassaolo (esim. varoitusyksikköön sisältyvällä näytöllä).

Järjestelmä on ajamiseen puuttuva, mutta se ei automaattisesti pidä ajoneuvoa kaistan keskellä. Kuljettaja on aina vastuussa ajoneuvon suunnasta.

On huomattava, että joitakin kaistalla pysymisen tukijärjestelmiä on jo markkinoilla. Riippuen niiden erityistoiminnoista ne voivat tarvita lisäosia.

Kaistalla pysymisen tukijärjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- Aktiivinen ohjauspyörä
- Varoitusyksikkö
- Kamera (eteen)
- Ajonvakautus

Tässä arvioitavan järjestelmän ei ole ajateltu käyttävän hyväkseen digitaalisia karttatietokantoja tai eteenpäin suunnattuja aktiivisia antureita (tutka/laser). Digitaalisten karttatietokantojen avulla järjestelmä voidaan pitää aktiivisena myös, kun kaistamerkinnot ovat puutteellisia tai epäselviä. Muussa tapauksessa järjestelmä ei tee mitään tällaisessa tilanteessa.

Eteenpäin suunnatut anturit voivat tuottaa tietoa edellä ajavien ajoneuvojen kulkureiteistä. Tällaiset järjestelmät parantaisivat toimivuutta, mutta ne lisäävät myös monimutkaisuutta.

7. Pimeän ajan tuki

Pimeän ajan tuen tarkoitus on pidentää ja täydentää kuljettajan näkökenttää pimeällä. Siihen sisältyy esteiden havainnointi ja varoitus sekä kevyen liikenteen varoitus.

Kuljettajan näkökenttää voidaan pidentää pimeässä vastaan tulijoita häikäisemättä käyttämällä ”näkymätöntä kaukovaloa”. Tämä saadaan aikaan käyttämällä eteenpäin suunnattua infrapunakameraa ja esittämällä sen kuva näyttöruudulla sisällä ajoneuvossa (tai HUD (Head-Up Display) -toteutuksena tuulilasissa). Näytön kuvassa näkyy ajoneuvon etunäkymä pidemmällä kantamalla kuin normaaleilla lähivaloilla (katso kuva 7).

Järjestelmä havaitsee ja varoittaa esteistä sekä kevyen liikenteen käyttäjiä, jos se havaitsee tilanteen olevan kriittinen. Se vähentää kuolemantapauksia ja loukkaantumisia kaiken tyyppisissä onnettomuuksissa pimeän aikaan.



Kuva 7. Pimeän ajan tukijärjestelmän periaatekuva.

Pimeän ajan tukijärjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- Näyttöyksikkö
- Varoitusyksikkö
- Aktiivinen valaistus pimeän ajan tuelle
- Kamerakuvan (yksi infrapunakamera) tulkinta

FIR-teknologiaa (kauko-infrapuna, viittaa taajuuksiin) voidaan hyödyntää, jos estevaroitus (myös muut kuin infrapunakohteet) jätetään pois järjestelmästä.

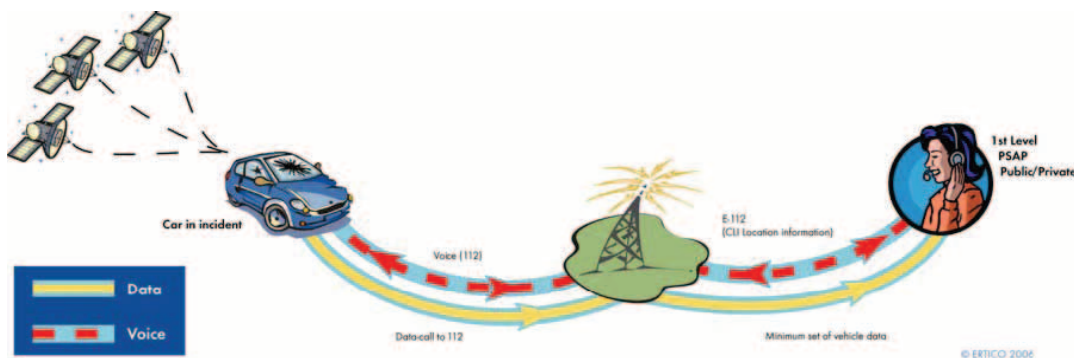
tarvitaan sivusuuntaisen aseman mittaamiseen. Järjestelmän rajoitteena on sen vaatima kaistamerkintöjen näkyvyys.

Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- Varoitusyksikkö
- Ohjausoteanturi
- Kuljettajan valvontakamera
- Kamera kaistatarkkailua varten

9. Automaattinen hätäviestijärjestelmä - eCall

Yleiseurooppalaisen ajoneuvoihin asennettava hätäviestijärjestelmä (eCall) sisältää sekä automaattiseen onnettomuuden tunnistukseen että manuaaliseen hätäpueluun nappia painamalla. Onnettomuuden tapahduttua avataan puheyhteys lähimpään hätäkeskukseen ja ajoneuvon sijainti, tunnistetiedot ja mahdolliset onnettomuuden vakavuudesta kertovat tiedot lähetetään automaattisesti samaan hätäkeskukseen. Onnettomuuden automaattinen tunnistaminen perustuu ajoneuvon omiin antureihin sekä eCall-laitteen antureihin. Anturit voivat havaita esim. ilmatyynyn laukeamisen, rajun hidastuvuuden, ajoneuvon pyörimisen tai äkillisen lämpötilan nousun. Tiedot ajoneuvon sijainnista ja suunnasta onnettomuuden tapahtuessa saadaan satelliittipaikantimelta (kuva 9).



Kuva 9. eCall-järjestelmän kaaviokuva.

eCall-järjestelmän hyödyt perustuvat ensisijaisesti nopeampaan ja tarkempaan lähtötietojen, kuten onnettomuustyyppin ja tarkan sijainnin, välittämiseen. Lyhentyneen vasteajan odotetaan lieventävän liikenneonnettomuuksien vakavuutta. eCall-järjestelmä ei vähennä liikenneonnettomuuksien määrää.

Automaattisen eCallin strategia

- Automaattinen eCall suunnitellaan varmatoimiseksi siten, että väärin hälytysten määrä jää mahdollisimman vähäiseksi.
- Automaattinen eCall-hälytys laukaistaan ajoneuvon sisäisillä antureilla. Nykyään autoteollisuus suosii turvatyynyn laukeamista.
- Järjestelmä suunnitellaan tunnistamaan mahdollisimman useita onnettomuustyyppiejä (esim. kohtaamis-, peräänajo-, sivu- ja pyörimisonnettomuus).

Manuaalisen eCallin strategia

- Manuaalinen eCall suunnitellaan siten, että vahinkoliipaisuja tapahtuu harvoin. Vahingoilta voidaan välttyä monella tapaa. Eräs ratkaisu on, että katkaisinta pitää painaa kahdesti viiden sekunnin sisällä. Asianmukaista koulutusta tarvitaan, jotta manuaaliset turhat hälytykset voidaan minimoida.

Automaattinen hätäviestijärjestelmä vaatii seuraavat komponentit toimiakseen yllämainitulla tavalla:

- Hätäkeskus, Public Service Answering Point (PSAP)
- GPS
- Matkapuhelin ja vastaava operaattorin verkkoinfrastruktuuuri.

Vaaditut teknologiat: Ajoneuvossa tuotettu eCall-viesti, joka sisältää olennaiset onnettomuustiedot (Minimum Set of Data, MSD), lähetetään matkapuhelimella verkko-operaattorin täydentämällä tiedoilla varustettuna hätäkeskukseen (PSAP). Hätäkeskus aktivoi vaaditut toiminnot lähettääkseen hälytysajoneuvot onnettomuuspaikalle.

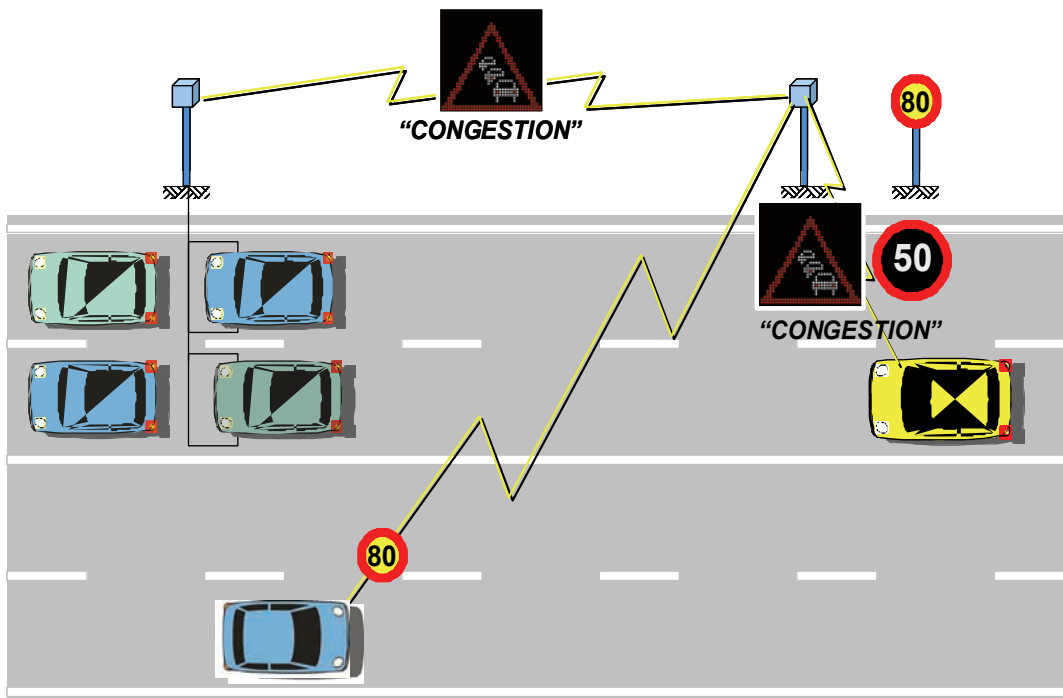
GPS-järjestelmän avulla määritetään onnettomuusajoneuvon sijainti ja se lähetetään osana tietoja (MSD).

10. Dynaaminen nopeusrajoitus (sää- ja keliolot, esteet, ruuhka)

Järjestelmä antaa nopeussuosituksen, joka ottaa nopeusrajoituksen lisäksi huomioon kelin, tiellä olevat esteet ja ruuhkatilanteet. Vallitsevasta tilanteesta kerätään tietoa kameroilla, säätietojärjestelmistä, silmukoilla, mittausautoilla ja pelastuspalveluilta. Tiedot käsitellään liikennekeskuksissa. Tieto suositellusta nopeudesta välitetään kuljettajalle ajoneuvoon eri tiedonsaantikanavia käyttäen (autoon asennettava laite, radio, internet, muuttuvat opasteet yms.). Järjestelmän päätarkoitus on parantaa liikenteen turvallisuutta ja tehokkuutta.

Järjestelmän antama nopeussuositus perustuu kerättyyn tietoon. Tietojen käsittelemisen jälkeen liikennekeskus lähettää ajoneuvoon tiedon suositellusta nopeudesta ja selityksen siitä, miksi nopeussuositus on rajoitusta alempi. Kuljettaja on kuitenkin yksin vastuussa turvallisesta ja oikeasta nopeudesta. Järjestelmä ainoastaan antaa tietoja ja varoituksia, muttei puutu kuljettajan käyttökseen.

Nopeussuositus esitetään ajoneuvoon asennetussa näytössä. Alemman nopeussuosituksen syy esitetään standardoituna kuvakkeena (esim. liukkaan tien tai ruuhkan varoituskolmio). Uuden nopeussuosituksen vastaanotosta varoitetaan kuljettajaa myös äänimerkillä. Jos kuljettaja ajaa ylinopeutta (eli ylittää nopeusrajoituksen tai voimassa olevan suosituksen) järjestelmä tuottaa äänisignaalin (esim. "alenna nopeutta" tai piippaus) ja näkyvän signaalin (vilkkuva valo tai teksti "alenna nopeutta" näytössä nopeussuosituksen ylä- tai alapuolella) (kuva 10).



Kuva 10. Dynaamisen nopeusrajoituksen toimintaperiaate.

Kuljettaja voi kytkeä järjestelmän pois päältä. Tutkimuksessa oletettiin, että järjestelmä olisi käytössä 55 % aietuista kilometreistä. Kuljettaja voi myös valita

ylinopeusvaroituksen tason antamalla luvun (esim. 0–20), jolla nopeussuositus ylitetään ennen kuin järjestelmä antaa varoituksen.

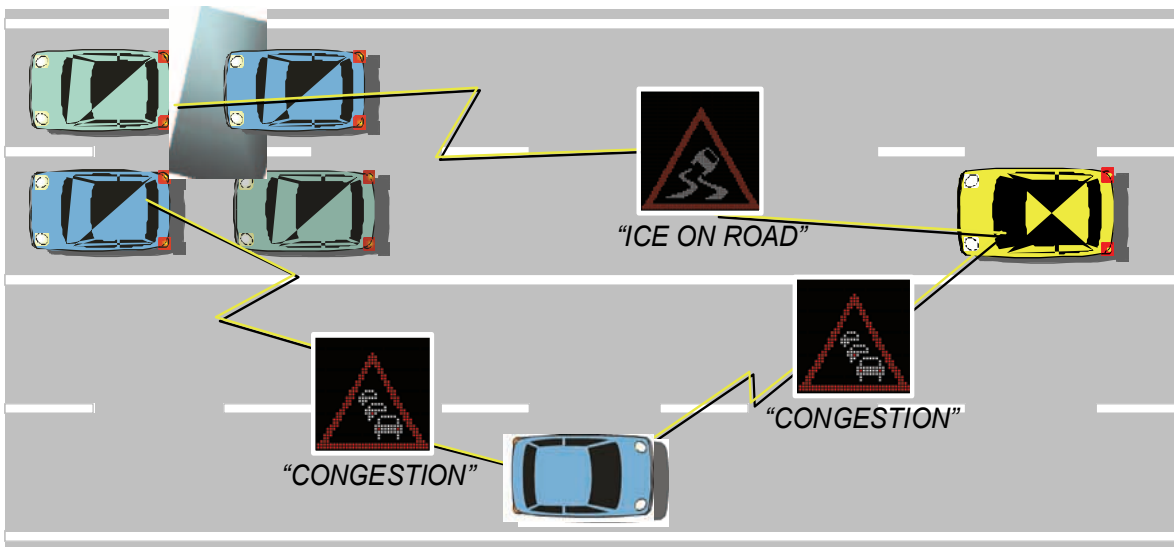
11. Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä

Tässä tutkimuksessa esimerkkinä tulevista kooperatiivisista sovelluksista, joissa ajoneuvot ja infrastruktuuri kommunikoivat tietoja keskenään, on käsitelty PReVENT-aliprojektia Willwarn.

Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä tuottaa ajoneuvoon nk. dynaamista liikennetietoa varoittaakseen kuljettajaa etukäteen vaarallisista olosuhteista.

Järjestelmä tukee kuljettajaa turvallisessa ajamisessa ajoneuvojen välisen tiedottamisen avulla. Aikaiset varoitukset antavat kuljettajalle mahdollisuuden sovitaa ajoneuvon nopeus ja välimatka edellä ajavaan ajoissa. Kun ajoneuvo havaitsee liukkaan paikan (ESC/ABS aktivoituu), alentuneen näkyvyyden tai muita häiriöitä, se varoittaa muita ajoneuvoja.

Järjestelmä havaitsee häiriön omilla antureillaan ja välittää häiriötiedon muille ajoneuvoille ajoneuvojen välisen tiedonsiirron avulla. Viestejä välitetään sekä kohtaavalle että samaan suuntaan menevälle liikenteelle (kuva 11). Viestejä pidetään aktiivisena tieverkolla jonkin aikaa ja matkaa riippuen viestin tyypistä. Varoitus välitetään vain niille kuljettajille, jotka lähestyvät häiriöpaikkaa. Varoitusten oletetaan tulevan noin 10 sekuntia ennen kuin kuljettaja saapuu häiriöpaikalle ja joissakin tapauksissa mahdollisesti jopa minuutteja etukäteen. Järjestelmä ei puutu ajamiseen vaan ainoastaan varoittaa. Järjestelmä on suunniteltu käytettäväksi lähinnä tieverkolla. Jos järjestelmä on riittävän yleisessä käytössä, varoituksia välitetään muille kuljettajille vain mikäli häiriön on vahvistanut huomattava määrä ajoneuvoja.



Kuva 11. Paikallisista vaaroista varoittavan järjestelmän toimintaperiaate.

Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmän havaitsemat häiriöt jaetaan kolmeen ryhmään:

- Liikkumattomat esteet, kuten pudonnut lasti, puut, isot kuolleet eläimet, hajonneet tai kolaroidut ajoneuvot, ruuhkassa seisovat ajo-

neuvot tai ruuhkan tai muun syyn takia erittäin hitaasti liikkuvat ajoneuvot. Esteiden tai hitaiden ajoneuvojen havainnointiin käytetyt anturit ovat pituus- ja sivusuuntaiset kiihtyvyyssanturit, nopeus-, jarru-, varoitusvalo- ja törmäyssanturit.

- Vähentynyt kitka sateesta, kuurasta/lumesta, jäältä tai vesiliirrosta johtuen. Tätä havainnoidaan käsitellyssä järjestelmässä pituus- ja sivusuuntaisilla kiihtyvyyssantureilla, ESC/ABS-järjestelmien toiminnoista, pyyhkijöiden toiminnasta ja lämpötilasta.
- Huonontunut näkyvyys sateesta, lumisateesta tai sumusta johtuen. Tätä havainnoidaan pyyhkijän toiminnasta (mukaan lukien sadetunnistimen anturi), lämpötilasta (sateen ja lumisateen erottamiseen), valojen tilasta (mukaan lukien valokytkimen asento, pitkät ja sumuvalot), takasumuvalon toiminnasta, ajonopeudesta ja ajoneuvon optisista antureista.

Järjestelmän päätarkoitus on lisätä perässä tulevien ajoturvallisuutta saamalla kuljettajat tietoisiksi tilanteesta ja valmistautumaan vaarallisiin olosuhteisiin.

Käyttöliittymä koostuu näkyvistä ja kuuluvista varoitussignaaleista. Varoitukset voidaan antaa kahdessa vaiheessa: 1) muutamia kilometrejä ennen vaaran paikkaa ja 2) lähellä (noin 10 sekuntia) vaaran paikkaa. Ensimmäisessä tapauksessa kuljettajaa varoitetaan äänellä ja näytöllä kertoen vaaran syy, välimatka ennen vaaraa ja vaaran pituus (tiekilometreinä tai viivästyksen kestonä minuuteissa). Toisessa tapauksessa annetaan vain vaaran syy ja etäisyys siihen.

Järjestelmä antaa kuljettajalle mahdollisuuden mukauttaa ajoneuvon nopeus ja välimatkat toisiin ajoneuvoihin ajoissa ja johtaa kohonneeseen tietoisuuteen potentiaalisista arvaamattomista vaaroista. Kuljettaja voi myös valita toisen reitin, mikäli tähän on vielä mahdollisuus. Reitinmuutosvalinnan tekee aina kuljettaja itse; järjestelmä ei siihen kehota.

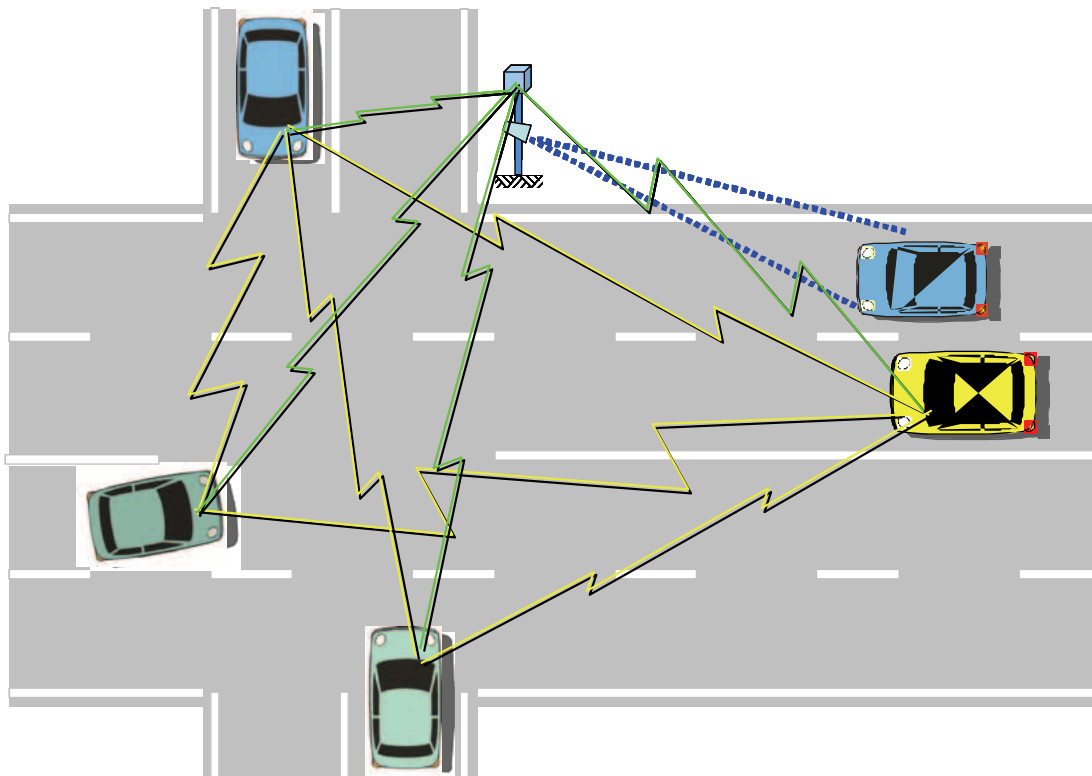
12. Risteysajon turvallisuustuki

Risteysajon tukea esiteltiin PReVENT-aliprojektissa Intersafe. Tekniikka on vielä varsin uutta.

Järjestelmä kykenee

- havainnoimaan muut tiellä liikkujat (lyhyellä aikavälillä ajoneuvot, myöhemmin myös kevyen liikenteen) risteyksessä tai sitä lähestymässä
- päättämään mitkä ajoneuvot ovat vaarassa joutua onnettomuuteen ja törmäyksen läheisyyden
- varoittamaan kuljettajia onnettomuuden välttämiseksi.

Tienkäyttäjien havainnointi vaatii myös päättelyä siitä, onko joku näistä tienkäyttäjistä ”törmäyskurssilla”. Tästä syystä järjestelmään on sisällytetty kaksisuuntaista tiedonsiirtoa ajoneuvojen välillä (ja ajoneuvon ja ympäristön välillä) ja kehittyntä havainnointia, jossa fuusioidaan tietoja laserskannerista, videokamerasta, digitaalisista kartoista, liikennevalojen tiloista ja mahdollisista risteykseen sijoitetuista antureista. Laskennalla selvitetään ajoneuvojen liikkuminen risteyksessä ja arvioidaan riskitasot (kuva 12).



Kuva 12. Risteysajon turvallisuustuki -järjestelmän toimintaperiaate.

Järjestelmän tutkittu versio ei sisältänyt ajoneuvoantureita vaan perustui sen sijaan tarkkaan satelliittipaikannukseen, digitaaliseen karttaan (josta selviää esim. risteuksen etuajo-oikeudet) ja tiedonsiirtoon ajoneuvojen ja ympäristön järjestelmien välillä. Ympäristöanturit ovat kuitenkin käytännössä välttämättö-

miä, ellei kaikkia tienkäyttäjiä ole varustettu sähköisellä tunnistuksella ja paikannuksella.

Ajoneuvon järjestelmä aktivoituu digitaaliselta kartalta löytyvää risteystä lähestyttäessä ja aloittaa tiedonsiirron havaitakseen ja paikantaakseen muut ajoneuvot. Järjestelmä ilmoittaa käyttäjälle onko lähestyttävä risteys varustettu omilla antureilla ja ympäristön ja ajoneuvon välisellä tiedonsiirrolla. Järjestelmä määrittää reaaliajassa ajoneuvon todennäköiset kulkureitit risteyskeskeisen läpi sen kaistan, vilkkujen ja ajoneuvon todellisen sijainnin perusteella. Jos toisen tienkäyttäjän arvioidaan olevan törmäyskurssilla ajoneuvon kanssa, järjestelmä varoittaa kuljettajaa.

Jos käytössä on älykäs käyttöliittymä (kuten esitelty AIDE-EU-FP6-projektissa), se voi mukauttaa käytöstään arvioidun vaaraluokan ja kuljettajan suorituskyvyn perusteella. Tällöin viesti voidaan välittää tehostettuna ellei kuljettaja sillä hetkellä seuraa kojetaulun näytön viestejä. Käyttöliittymän ulkoasu on yleensä ajoneuvokohtainen ja autoteollisuudella on omat lähtökohtansa vaaratilanteen visualisointiin. Varoittamiseen liittyy useita strategioita ja tässä järjestelmässä myös risteyskeskeisen ruuhkautumisen estoalgoritmeja.

Mahdollinen menettely on näyttää yksinkertaistettu kaaviopiirros risteyskeskeisestä ohjaustyyppineen (valo-ohjaus, stop-merkki, karkikolmio, ei ohjausta) näyttöruudulla kaksivärisenä. Kaaviopiirros esitetään useammalla värillä jos risteys on varustettu järjestelmää tukevilla antureilla.

Jos lähestyttävässä risteyskeskeisessä on törmäyskurssilla olevia ajoneuvoja, järjestelmä varoittaa kuljettajaa äänisignaaleilla. Samalla järjestelmä näyttää vaaraa aiheuttavien ajoneuvojen sijainnit (useamman ajoneuvon tapauksessa ensimmäiseksi törmäävän). Jos ajoneuvo on pysähtyksissä, järjestelmä näyttää kaikki havaitut tienkäyttäjät ja estää kuljettajaa lähtemästä liikkeelle mikäli se johtaisi välittömään törmäykseen.

Yhteenvetona, järjestelmä informoi kuljettajaa lähestyvistä risteyskeskeisistä valmis- taakseen häntä. Kuljettajaa varoitetaan ajamasta päin punaista, etuajo- oikeuksien rikkomisista ja välttämään potentiaaliset törmäykset. Vaarana on, jos kuljettajat jättävät toisten tienkäyttäjien tarkkailun liiaksi järjestelmän vastuulle. Jos tienkäyttäjiä ei havaita, liikkeet arvioidaan väärin, risteystä ei ole varustettu antureilla tai järjestelmään tulee vika, liika luottaminen johtaisi kohonneeseen onnettomuusriskiin. On myös hyvin todennäköistä, että jotkut kuljettajat sammuttavat järjestelmän kyllästyessään varoitusten suureen lukumäärään liittymissä. Vastaavasti, jos järjestelmä varoittaa vain kriittisissä tilanteissa ja kuljettaja pitää järjestelmää käyttökelpoisena, järjestelmää tullaan todennäköisesti pitämään aina päällä.

