

Aalto-yliopisto  
Teknillinen korkeakoulu  
Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta  
Rakennus- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

## **Kuljettajan tukitoiminnoista automaattiseen ajoon**

Kandidaatintyö

5.5.2010

**Salla Salenius**

AALTO-YLIOPISTO TEKNILLINEN KORKEAKOULU PL 11000, 00076 AALTO <a href="http://www.aalto.fi">http://www.aalto.fi</a>		KANDIDAATINTYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Salla Salenius			
Työn nimi: Kuljettajan tukitoiminnoista automaattiseen ajoon			
Tutkinto-ohjelma: Rakennus- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma			
Pääaine: Liikenne- ja tietekniikka		Pääaineen koodi: R3004	
Vastuopettaja(t): prof. Riku Vahala			
Ohjaaja(t): TkT Iisakki Kosonen, Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu liikennetekniikka			
Tiivistelmä:			
<p>Liikenneonnettomuuksia ja tieverkostoissa jatkuvasti lisääntyviä ruuhkia pidetään 2000-luvulla yhteiskuntien suurimpina huolenaiheina. Tässä Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun opinnäytetyöksi tarkoitettussa kirjallisuustutkimuksessa tarkastellaan ajoneuvoihin asennettavia tukijärjestelmiä ratkaisuna liikenteen ongelmiin. Kuljettajan tukitoiminnot ovat järjestelmiä tai laitteita, jotka parantavat ajoneuvon hallittavuutta ja ajettavuutta sekä auttavat kuljettajaa välttämään vaaratilanteita tai lieventävät niiden seurauksia. Tukitoimintojen käytön tavoitteena on estää onnettomuudet poistamalla kuljettajan ajovirheestä ja reagointiviiveestä aiheutuvat vaaratilanteet sekä lisätä ennakointia liikenteessä. Tukitoiminnot voidaan ryhmitellä esimerkiksi niiden teknisen toimintaperiaatteen tai ensisijaisen toiminnallisen tehtävän mukaisesti. Toiminnallisen tehtävän mukaisesti ryhmiteltynä on olemassa ajamista helpottavia, liikennettä sujuvoittavia, turvallisuutta lisääviä sekä ajamisen tehokkuutta ja kannattavuutta parantavia tukijärjestelmiä.</p> <p>Tukijärjestelmien toiminta perustuu poikkeuksetta ympäristön havainnointiin, joka tapahtuu yleisimmin kameran, tutkan tai lasersäteiden avulla tutkimuksen kohdistuessa magneettien, digitaalisten karttojen ja satelliittipaikantimien hyödyntämiseen. Tukitoiminnoissa hyödynnetään myös sensorifuusiota ja järjestelmäintegroitua, millä taataan tarkka havainnointi läheltä ja kaukaa 360° laajuudelta. Nykyaikainen huippu teknologia yhdistettynä tieto- ja viestintätekniikkaan luo vankan pohjan järjestelmien kehitykselle, joka kulmineituu älykkäisiin maantiejärjestelmiin ja automaattisiin ajoneuvoihin.</p> <p>Tukitoiminnoilla on arvioitu olevan huomattavia positiivisia vaikutuksia esimerkiksi liikennekuolemien määrään tulevaisuudessa. Tavoitteisiin pääseminen edellyttää järjestelmien laajamittaista käyttöä kaikissa ajoneuvoissa. Tukijärjestelmien saaminen massamarkkinoille on kuitenkin vaikea prosessi. Kehityksen hidasteina ovat muun muassa vaillinainen lainsäädäntö ja standardisointi, korkeat kustannukset sekä käyttäjien tietoisuuden puute. Kehitykseen tarvitaan kaikkien osapuolten, kuten hallitusten, viranomaisten ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyötä, jotta järjestelmistä saadaan kaikki hyöty irti ja niiden toiminta täysin luotettavaksi. Täydellinen toimintavarmuus ja langaton kommunikointi ovat edellytyksenä ajoneuvojen automatisoinnille. Järjestelmäkehitys on vielä kesken, mutta useat tutkimusprojektit ja testit ovat osoittaneet automaattisen ajamisen olevan jo nykytodellisuutta.</p>			
Päivämäärä: 5.5.2010		Kieli: suomi	Sivumäärä: 35
Avainsanat: tukitoiminto, älykäs ajoneuvo, älykäs liikennejärjestelmä, sensori, telematiikka, langaton kommunikointijärjestelmä, automaattinen ajoneuvo			

# Sisällysluettelo

1 Johdanto .....	1
1.1 Taustaa ja määritelmät.....	1
1.2 Työn tavoitteet ja sisältö.....	3
2 Kuljettajan tukitoiminnot .....	4
2.1 Tukitoimintojen ryhmittely.....	4
2.2 Ajamisen mukavuutta ja vaivattomuutta lisäävät järjestelmät .....	4
2.2.1 Mukautuva vakionopeuden säädin.....	4
2.2.2 Kaistalla pysymisen tuki .....	5
2.3 Ajamisen tehokkuutta ja kannattavuutta lisäävät järjestelmät.....	6
2.4 Turvallisuusjärjestelmät .....	6
2.4.1 Törmäyksenestojärjestelmät.....	7
2.5 Liikenteen sujuvuutta parantavat järjestelmät .....	8
2.5.1 Kommunikoiva mukautuva vakionopeuden säädin .....	8
3 Tukijärjestelmien tekniset toimintaperiaatteet .....	10
3.1 Kamera .....	10
3.2 Tutka ja laser .....	11
3.3 Magneettiset merkit sekä digitaaliset kartat ja satelliittipaikannus .....	12
3.4 Sensorifuusio .....	13
4 Telematiikan hyödyntäminen.....	15
4.1 Langaton kommunikointi ajoneuvojen ja infrastruktuurin välillä.....	15
4.2 Älykkäät maantiejärjestelmät .....	16
4.3 Risteysajo .....	17
4.4 eSafety ja PReVENT.....	19
5 Kehityksen kannustimet ja hidasteet.....	21
5.1 Tukitoimintojen käytön vaikutukset liikenteeseen.....	21
5.2 Standardisointi.....	23
5.3 Käyttäjien saavutettavuus ja käyttökokemuksia.....	23
5.4 Lainsäädäntö ja vastuunjako.....	25
6 Automaattiset ajoneuvot .....	27
6.1 Automatiikan kehitys.....	27
6.2 Tutkimusprojekteja.....	28

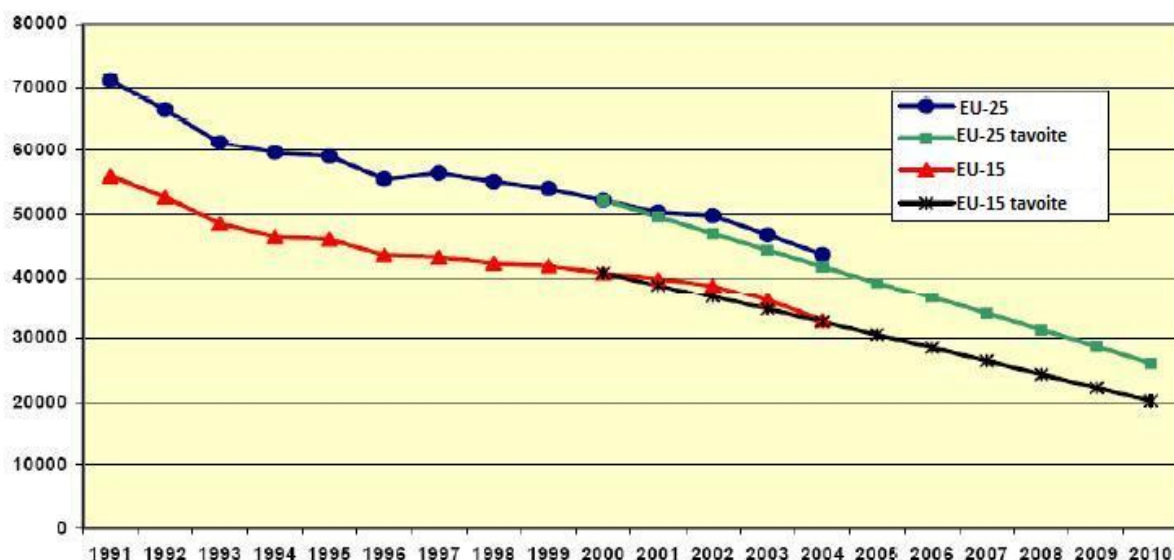
7 Yhteenveto ja johtopäätelmät.....	30
Lähdeluettelo .....	31

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustaa ja määritelmät

Liikenneonnettomuustilastot ovat synkkää luettavaa. Vuosien 2004 – 2008 aikana Suomen tieliikenneonnettomuuksissa loukkaantui keskimäärin 8700 ja kuoli 370 ihmistä vuodessa (Laskettu lähteen Tilastokeskus mukaan). Koko Euroopan unionin alueella vastaavat luvut ovat satakertaisia. Onnettomuuksissa loukkaantuu vuosittain yli 1 700 000 ihmistä ja kuolee 40 000. Onnettomuuksista aiheutuvat kulut ovat arviolta 160 miljardia euroa vuodessa, mikä tarkoittaa noin kahta prosenttia unionin bruttokansantuotteesta. (Europa.)

Kehitys on ollut laskusuuntainen, mutta Valkoisessa Paperissa asetetusta tavoitteesta puolittaa liikennekuolemien määrä Euroopan unionin alueella vuoteen 2010 mennessä ollaan silti kaukana (Europan Comission Information Society and Media 2007) (Kuva 1). Suomi on asettanut tavoitteekseen vähentää tieliikennekuolemat vuoteen 2025 mennessä sataan (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010). Liikenneturvallisuuden ohella toinen haastava ongelma on jatkuvasti kasvavat ruuhkat. Yhteiskuntamme tarvitsee liikennettä toimiakseen tehokkaasti, mikä näkyy lisääntyvinä automäärinä ja kaikkialla vallitsevina ruuhkina. EU:n päämaantieverkosta noin 10 % on ruuhkautuneita, mikä aiheuttaa vuosittain 50 miljardin euron kustannukset. (Europan Comission Information Society and Media 2007.) Suomessa kehitys seuraa Keski-Euroopan jalanjäljissä. Nykyiset liikenneverkot alkavat olla auttamattomasti kehityksestä jäljessä, eikä niiden kapasiteetti riitä enää tarjoamaan hyvää palvelutasoa ja mahdollistamaan sujuvaa sekä turvallista liikennettä. (ITS-Finland 2006.) Ihmiset turhautuvat, aikaa haaskaantuu ja ympäristö kärsii.



Kuva 1 Kuolemaan johtaneiden liikenneonnettomuuksien kehitys vuodesta 1991 alkaen Euroopan unionin alueella. EU-15 -käyrä kuvaa tilannetta ennen uusien jäsenmaiden liittymistä vuonna 2004, kun taas EU-25 -käyrä kuvaa tilannetta, jossa uudet jäsenmaat ovat mukaan luettuina. (Muokattu lähteestä: Bishop 2009.)

Liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta on pyritty parantamaan lähinnä uusia väyliä rakentamalla ja vanhoja parantamalla sekä autojen passiivista turvallisuutta kehittämällä. Nämä keinot eivät kuitenkaan varsinaisesti vähennä tai poista ongelmia, vaan siirtävät niiden sijaintia, luovat hetken helpotusta tai lieventävät seurauksia. Ongelmaa ratkaistaessa tulisi sen sijaan keskittyä sen ydinaiheuttajaan eli ajoneuvon kuljettajaan ja liikennekäyttäytymiseen. Suurin osa onnettomuuksista aiheutuu kuljettajan erehdyksestä, myöhäisestä reagoinnista tai puutteellisesta havainnoinnista ja taidoista, mistä ruuhkissakin on osittain kysymys (Bishop 2005, s. 1 – 2). Liikennevirtaan syntyy jatkuvaa viivettä esimerkiksi liikennevaloista lähdeittäessä (Bishop 2005, s. 2), maanteillä ajoneuvojen väliset nopeuserot aiheuttavat sumaa ja vaaratilanteita, eikä väylien käyttökapasiteettia kyetä täysin hyödyntämään. Tehokkaan ja kestävä ratkaisun liikenneongelmiin tarjoaa nykyaikainen teknologia yhdistettynä tieto- ja viestintäteknikkaan (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010).

Kuljettajan *tukitoiminnoilla* tarkoitetaan ajoneuvoihin asennettavia järjestelmiä tai laitteita, jotka parantavat ajoneuvon hallittavuutta ja ajettavuutta sekä auttavat kuljettajaa välttämään vaaratilanteita tai lieventämään niiden seurauksia. Järjestelmästä riippuen niiden toimintaidea perustuu kuljettajan tiedottamisesta ja varoittamisesta aina ajosuorituksen avustamiseen ja ajoneuvon hetkellisen hallinnan ottamiseen. (European Commission Information Society and Media 2007.) Esimerkkinä tukitoiminnoista ovat ajonvakautusjärjestelmät, parkkitutkat ja vakionopeuden säätimet (Europe`n Information Society, a), joista osa kuuluu nykyään ajoneuvojen vakiovarusteisiin toisten ollessa vapaaehtoisia lisävarusteita. Nykyään puhutaan *älykkäistä ajoneuvoista*, joilla tarkoitetaan juuri näitä ympäristöään havainnoivia, tietoa tuottavia ajoneuvoja, jotka pyrkivät helpottamaan ja parantamaan kuljettajan ajosuoritusta (Bishop 2005, s. 3). Keskenään sekä infrastruktuurin kanssa kommunikoivat ajoneuvot muodostavat *älykkään*, telematiikkaan perustuvan, *liikennejärjestelmän* (European Commission Information Society and Media 2007).

Älykkäät ajoneuvot tukitoimintoineen koetaan merkittävänä ratkaisuna vallitseviin liikenneongelmiin. Tukitoimintojen tärkeimpinä tavoitteina ovat liikenneturvallisuuden ja -sujuvuuden parantaminen, mitkä osaltaan heijastuvat polttoaineen kulutukseen ja siten myös päästöjen vähentymiseen. Tukitoimintojen avulla pyritään mahdollistamaan yhä pidemmälle viety ennakointi. Onnettomuudet pyritään kokonaan estämään ja esimerkiksi ajoneuvojen välisen kommunikoinnin avulla reittivalinnat voidaan tehdä yhä aiemmin kulloisenkin liikennetilanteen mukaan. (European Commission Information Society and Media 2007.)

Tulevaisuudessa ajoneuvon käsittely ja hallinta automatisoituu enemmän ja enemmän vastuun siirtyessä kuljettajalta ajoneuville. Tilanne, jossa kuljettaja voi vain istuutua auton kyytiin, päästää kätet irti ratista, jalat polkimilta ja antaa auton itse ajaa itseään, tuskin tulee olemaan kaukana.

## 1.2 Työn tavoitteet ja sisältö

Tämä työ on Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun opinnäytetyöksi tehty kirjallisuustutkimus, jonka tarkoituksena on antaa kattava yleiskäsitys nykyaikaisesta ajoneuvoteknologiasta ja sen hyödyntämisestä ennen kaikkea liikenneturvallisuuden ja sujuvuuden parantamiseksi. Tavoitteena on selvittää lukijalle esimerkkien avulla tärkeimpien kuljettajan tukitoimintojen toimintaperiaatteet teknisestä toteutuksesta käyttöön. Esimerkit on valittu siten, että niiden toiminnan ymmärtäminen auttaa hahmottamaan ajoneuvojen automatisoinnin lähtökohtia ja pääkomponentteja, joista nämä älykkäisiin robotteihin verrattavissa olevat koneet muodostuvat. Automaattisissa ajoneuvoissahan on lopulta kyse vain eri järjestelmien integroimisesta ja matematiikasta. Automatisoinnin toteutukseen tarvittava tekniikka ja tietotaito ovat käytännössä jo olemassa, mutta kehitysprosessissa on kohdattava vielä muita haasteita, jotta järjestelmät hyväksytään ja ne pääsevät julkiseen liikennekäyttöön.

Työssä selvitetään tukitoimintojen ja automatisoinnin kehityksen hidasteita ja kulmakiviä, joista keskeisimpiä ovat vastuukysymykset, toimintojen luotettavuuden ja yhdenmukaisuuden takaaminen sekä ihmisten tietoisuuden saavuttaminen. Kannustimena kehitykselle esitetään käytössä havaittuja positiivisia vaikutuksia ja tulevaisuuden visioita. Avainasemassa kehityksessä on yhteistyö niin kansainvälisellä kuin kansallisella tasolla aina hallituksista yrityksiin ja käyttäjiin. Sisältö pyrkii muodostamaan pienistä yksityiskohdista suurempia kokonaisuuksia ja käsityksiä kulminoituen lopuksi täysin automaattisiin ajoneuvoihin. Työn keskiössä on ihminen – ihmisen turvallisuus ja mukavuus. Ajoneuvoja tulisi kehittää niin, että käyttäjät luottaisivat niihin ja ne kykenisivät samanlaiseen älylliseen päätöksentekoon kuin ihminen.

## 2 Kuljettajan tukitoiminnot

### 2.1 Tukitoimintojen ryhmittely

Kuljettajan tukitoiminnot voidaan ryhmitellä monella eri tavalla jäsentäen ajoneuvoihin asennettavia sovelluksia esimerkiksi teknisen toimintaperiaatteen, ajosuoritukseen puuttumisen ja aktiivisen osallistumisen (Bishop 2000) tai ensisijaisen toiminnallisen tehtävän mukaisesti. Jaottelu voi karkeimmillaan perustua myös siihen, kuinka itsenäisesti järjestelmä toimii; hyödyntääkö se vain omilla sensoreillaan keräämäänsä tietoa vai vastaanottaako se informaatiota ulkopuolisilta lähteiltä kuten toisilta ajoneuvoilta tai yhteiseltä palvelukeskukselta. (Bishop 2005, s. 25.)

Tässä kirjoituksessa jaottelu on tehty toiminnallisen tehtävän mukaisesti, jolloin järjestelmät on ryhmitelty *ajamista helpottaviin, liikennettä sujuvoittaviin, turvallisuutta lisääviin ja ajamisen tehokkuutta ja kannattavuutta parantaviin* ryhmiin. Järjestelmät saattavat osittain kuulua moneenkin ryhmään. Ne voivat ensisijaisesti esimerkiksi helpottaa ja keventää kuljettajan ajamista, mutta toisaalta lisätä myös turvallisuutta. (Bishop 2005, s. 25.)

Tukitoiminnot voivat olla vain kuljettajaa ohjaavia ja varoittavia, ajoittain ajosuoritukseen puuttuvia tai täysin ajoneuvoa hallitsevia, jolloin kyse on hyvin pitkälti automatisoinnista (Bishop 2000).

### 2.2 Ajamisen mukavuutta ja vaivattomuutta lisäävät järjestelmät

Ajamisen mukavuutta lisäävät järjestelmät ovat ajosuoritusta helpottavia ja kuljettajan työtä vähentäviä tukitoimintoja (Bishop 2005, s. 25.) kuten mukautuva vakionopeuden säädin, pysäköintietäisyyden valvoja ja automaattinen pysäköintijärjestelmä tai kaistavahti (BMW Group Suomi).

#### 2.2.1 Mukautuva vakionopeuden säädin

*Mukautuva vakionopeuden säädin* on järjestelmä, joka säätelee ajoneuvon nopeutta automaattisesti ympäröivän liikenteen mukaan. Kuljettaja asettaa halutun ajonopeuden, jonka auto ylläpitää säilyttäen samalla riittävän, ennalta määritetyn, etäisyyden (Connolly 2009) tai aikavälin edellä ajavaan (The international BMW website, a) (Kuva 2). Järjestelmä havaitsee edellä ajavat ajoneuvot tutkan tai lasersäteiden avulla ja määrittää niiden suhteellisen nopeuden (Connolly 2009). Kun hitaampi ajoneuvo saavutetaan, nopeus pienenee automaattisesti palautuen jälleen halutulle tasolle tien vapautuessa. Kuljettajan ei tarvitse huolehtia kuin ohjauksesta, sillä auto säätelee itse jarrua ja kaasua. Haluttaessa laite kytkeytyy pois päältä jarru- tai kaasupoljinta painamalla. (The international BMW website, a.)





Kuva 2 Vakionopeuden säädin ylläpitää halutun etäisyyden edellä ajavaan. (Lähde: Connolly 2009, kuva1.)

Mukautuva vakionopeuden säädin on tarkoitettu lähinnä maanteille toimien taajama-ajoa suuremmilla yli 20 km/h nopeuksilla mallista ja merkistä riippuen (Connolly 2009). Edistyneimmät järjestelmät toimivat myös alhaisemmissa nopeuksissa taajama-ajossa. Näissä järjestelmissä on niin sanottu stop-and-go –ominaisuus, jonka avulla ajoneuvo pysähtyy edellä ajavan pysähtyessä. Järjestelmästä riippuen toiset vain pysäyttävät auton ja tarvitsevat liikkeelle lähteäkseen kaasun painamista, kun taas joissain malleissa kuten BMW:llä, auto kiihtyy itsestään, ellei seisahdus kestä kolmea sekuntia kauempaa. (The international BMW website, b.) Mukautuvan vakionopeuden säätimen etuna on ajamisen mukavuuden lisäksi parantunut turvallisuus, sillä järjestelmä estää peräänajoja tai ainakin lieventää niiden seurauksia (Connolly 2009). Äärimmäisessä äkkijarrutuksessa vastuu on kuitenkin kuljettajalla (The international BMW website, b).

## 2.2.2 Kaistalla pysymisen tuki

*Kaistalla pysymisen tuki* on järjestelmä, joka auttaa kuljettajaa pitämään ajoneuvon kaistallaan. Tutkimuksissa on havaittu, että pienet korjausliikkeet ohjauksessa, joita kuljettaja joutuu useasti tekemään pitääkseen ajoneuvonsa keskellä kaistaa, aiheuttavat väsymystä (Bishop 2005, s. 27). Ajoneuvoon asennetut kamerat tai sensorit havainnoivat jatkuvasti kaistamerkinäköjä (Bishop 2005, s. 98 – 99) ja havaitessaan auton ajautuvan linjaltaan kuljettajaa varoitetaan joko mittariston näytössä, äänimerkillä tai esimerkiksi ohjauspyörän värinäällä (Connolly 2009). Kehittyneimmät järjestelmät kääntävät ajoneuvoa takaisin oikeaan suuntaan ohjauspyörään kohdennetun vääntömomentin avulla. Momentti on tarkoituksella suurimmillaan vain noin 90 % tarvittavasta, jotta kuljettaja ei voi täysin luopua ajoneuvon hallinnasta. Tuki tarjoaa siten myös turvallisuutta, sillä se ehkäisee kaistalta ajautumista. Se

toimii kuitenkin vain melko suorilla tieosuuksilla kytkeytyen pois jyrkissä kaarteissa, jolloin hallinta siirtyy täydellisesti kuljettajalle. (Liu ym. 2007.)

Yhdistämällä mukautuva vakionopeuden säädin ja kaistavahti saadaan *kaistanvaihtojärjestelmä*, joka helpottaa kaistanvaihtoa. Järjestelmä havainnoi tieympäristöä tutkan ja kameran avulla niin eteen kuin taakse ja kuljettaja saa varoituksen esimerkiksi kuolleeseen kulmaan jääneestä ajoneuvosta sivupeiliinsä. (Connolly 2009.)

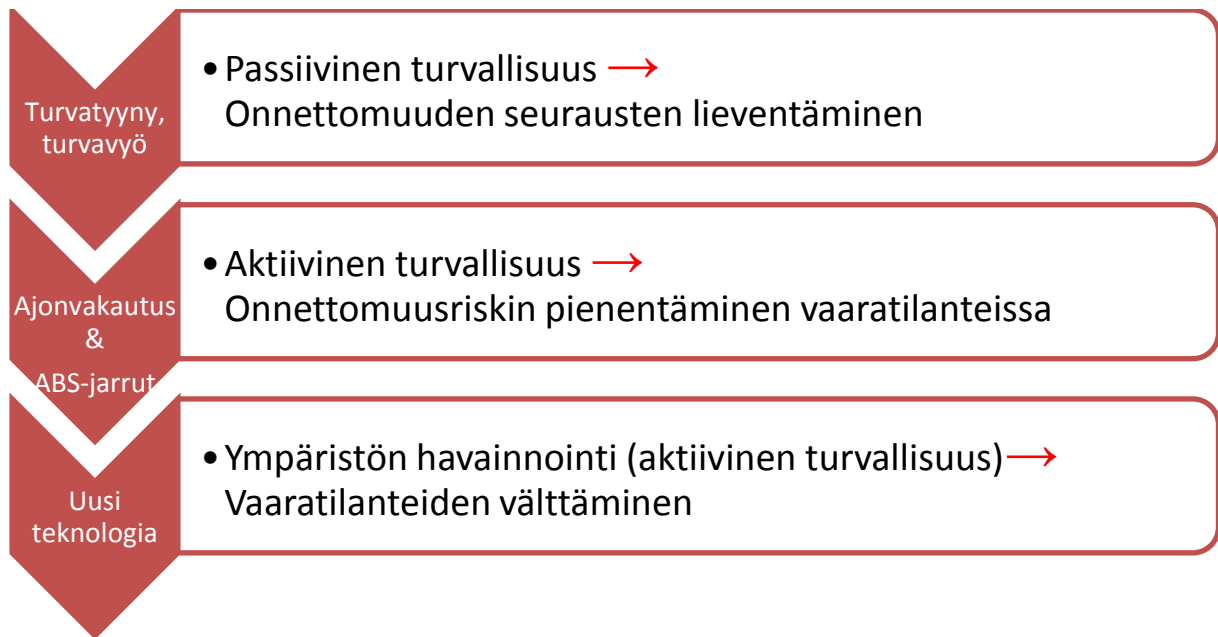
## 2.3 Ajamisen tehokkuutta ja kannattavuutta lisäävät järjestelmät

Järjestelmät, jotka parantavat ajosuorituksen tehokkuutta ajassa mitattuna tai lisäävät kannattavuutta esimerkiksi ajokustannusten suhteen liittyvät lähinnä rekkoihin tai linja-autoihin. Kaistalla pysymisen tuen sovellusta on kehitetty käytettäväksi linja-autoissa keskusta-alueiden kapeilla kaduilla sekä mahdollistamaan linja-auton pysäytys pysäkillä oikeaan kohtaan aina senttimetrien tarkkuudella muun muassa pyörätuolilla liikkuvien hyödyksi. (Bishop 2005, s. 34.)

Rekoissa mukautuvan vakionopeuden säätimen käyttö sekä helpottaa kuljettajan työtä että vähentää polttoaineen kulutusta ja siten ajokustannuksia. Kaistavahti auttaa kuljettajaa pysymään hereillä, mikä nähdään yrityksen kannalta hyvänä asiana. Valpas ja virkeä kuski merkitsee tehokasta työntekoa. (Bishop 2005, s. 34.)

## 2.4 Turvallisuusjärjestelmät

Ajoneuvoon asennettavien turvallisuusjärjestelmien tavoitteena on nimensä mukaisesti parantaa kuljettajan turvallisuutta joko aktiivisesti tai passiivisesti (Kuva 3). *Aktiiviset tukitoiminnot* pyrkivät estämään onnettomuuden tapahtumisen. Tilanteesta riippuen järjestelmät joko tiedottavat kuljettajaa mahdollisesta vaarasta tai varoittavat, mikäli kuljettaja ei reagoi tietoon. Äärimmäisessä tapauksessa ne osallistuvat aktiivisesti ajosuoritukseen ja ajoneuvon hallintaan. Aktiivisia tukitoimintoja ovat muun muassa kaistalta ajautumisen varoitus- ja estojärjestelmä, törmäyksenesto- ja ajonvakautusjärjestelmä sekä kääntyvät ajovalot tai yönäkö. (Europe's Information Society, a.)

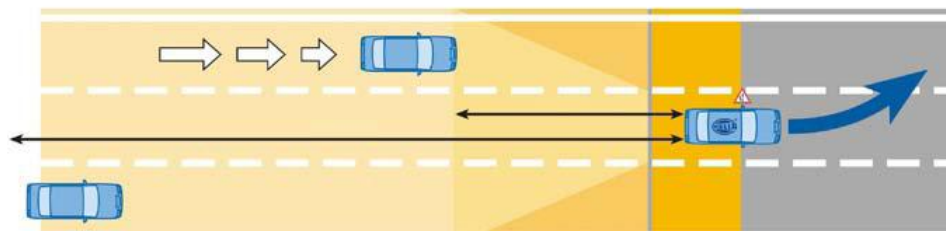
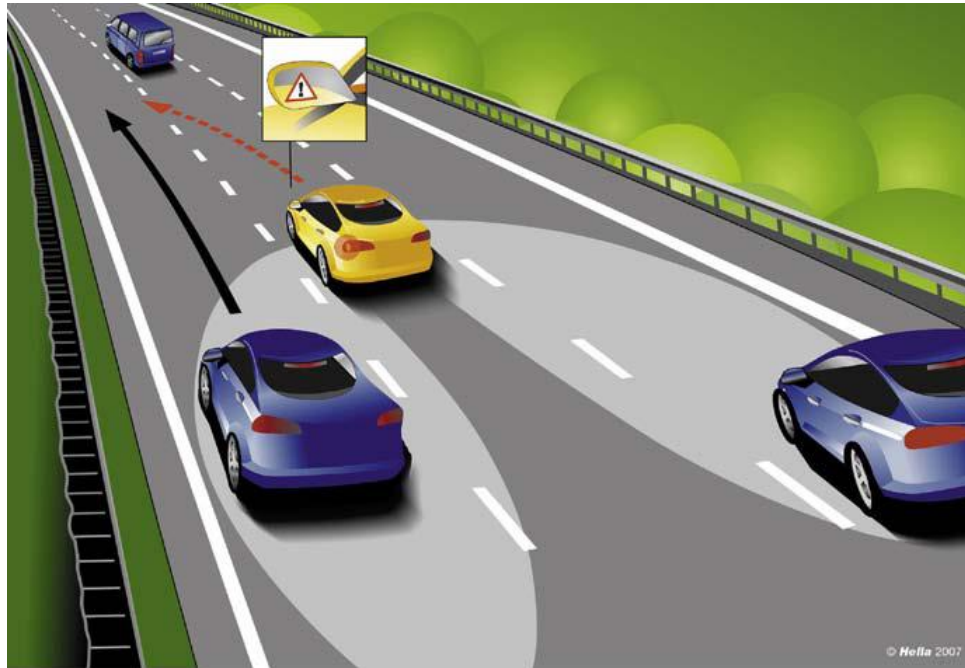


**Kuva 3** Passiivisesta turvallisuudesta aktiiviseen turvallisuuteen uusien tukijärjestelmien myötä. (Muokattu lähteestä: Andres ym. 2009, kuva 1.)

Passiiviset turvallisuusjärjestelmät on kehitetty lieventämään onnettomuuden seurauksia (Bishop 2005, s. 33). Tällaiset järjestelmät liittyvät yleensä ajoneuvon nopeuden tai törmäyskulman optimointiin sekä kuljettajan vammojen vähentämiseen niin välittömästi onnettomuuden sattuessa kuin sen jälkeisen avunsaannin osalta (Freymann 2006). Passiivisia turvallisuusjärjestelmiä ovat muun muassa turvatyyny, ennen törmäystä kiristyvät turvavyöt ja etukäteen latautuva jarrujärjestelmä, jonka avulla saadaan maksimi jarrutusvoima välittömästi kuljettajan jarruttaessa (Bishop 2005, s. 33).

#### 2.4.1 Törmäksenestojärjestelmät

Törmäystä estävät järjestelmät ovat pitkälti samoja tukitoimintosovelluksia kuin ajamista helpottavat järjestelmät. Peräänajosta varoittava, seurauksia lieventävä tai kokonaan törmäyksen estävä toiminto toimii kuten mukautuva vakionopeuden säädin havainnoiden jatkuvasti ympäristöönsä tutkan, lasersäteiden tai kameran avulla. Esteen ilmetessä se ensisijaisesti varoittaa kuljettajaa, edistyneimpien sovellusten alkaessa jarruttaa, ellei kuljettaja reagoi varoitukseen. (Bishop 2005, s. 30.) Ajamisen mukavuutta lisäävien järjestelmien yhteydessä esitelty kaistavahti sekä kaistanvaihdon tuki käsitetään myös törmäystä estävinä järjestelminä erityisesti silloin, kun sovellus pyrkii estämään kaistalta tai tieltä ajautumisen ohjaukseen kohdistuvan kääntävän vääntömomentin avulla (Liu ym. 2007) (Kuva 4). Telematiikan kehityksen myötä mutkaisilla teillä ja kaarteissa pysymisen avuksi on kehitetty liiallisesta ajonopeudesta varoittavia järjestelmiä, jotka hyödyntävät satelliittipaikannusta ja digitaalisia karttoja sopivan tilannenopeuden määrittämiseen. Peruutustutkat ja jalankulkijoista varoittavat järjestelmät ovat erityisen hyödyllisiä kaupunkialueilla. (Bishop 2005, s. 31 – 32.)



Kuva 4 Kaistavahti havainnoi jatkuvasti tieympäristöä varoittaen lähestyvistä ajoneuvoista ja kaistalta ajautumisesta. (Lähde: Connolly 2009, kuva 7.)

## 2.5 Liikenteen sujuvuutta parantavat järjestelmät

Liikenteen suurimpien haasteiden, turvallisuuden ja sujuvuuden, takaamisen eteen on tehty viime aikoina paljon tutkimus- ja kehitystyötä. Turvallisuusjärjestelmät ovat nousseet kuitenkin monessa kehityshankkeessa etusijalle, vaikka ruuhkista kärsivät päivittäin sadat miljoonat ihmiset. Syynä saattaa olla ratkaisun hankala kohdentaminen ja toteutus. Ruuhka on jatkuva, laajalle levinnyt ongelma, jonka poistaminen ajoneuvoihin asennettavien tukijärjestelmien avulla vaatisi tukitoiminnon asentamisen kaikkiin autoihin. Vain siten kommunikointi ajoneuvojen sekä infrastruktuurin välillä olisi tarkoituksenmukaista ja koko liikenneympäristöä palvelevaa. (Bishop 2005, s. 35 – 36.)

### 2.5.1 Kommunikoiva mukautuva vakionopeuden säädin

Liikenteen sujuvuutta parantavina järjestelminä pidetään toimintoja, joilla ruuhkassa syntyvät viiveajat ja ajoneuvojen väliset etäisyydet saadaan turvallisesti mahdollisimman pieniksi sekä koko liikennevirran nopeus optimoitua olosuhteet huomioon ottaen (Girard 2005). Kun

erilaisia järjestelmiä on kehitetty ja niiden toimintaa testattu ja simuloitu, on niillä havaittu merkittäviä positiivisia vaikutuksia liikennevirtaan. Esimerkiksi muiden ajoneuvojen kanssa *kommunikoivan, mukautuvan vakionopeuden säätimen* avulla ajoneuvojen välimatkat saataisiin pienemmiksi. (Bishop 2005, s. 36 – 37.) Perässä ajava vastaanottaisi jatkuvasti täsmällistä tietoa edellä ajavalta, jolloin reagointi muutoksiin olisi tarkempaa ja nopeampaa (Girard 2005). Tämä mahdollistaisi etäisyyden lyhentämisen turvallisesti ja siten väylän käyttötehokkuuden kasvattamisen. Liikkeellelähdössä ja kiihdytyksessä auttavat järjestelmät vähentäisivät risteyksissä ja jonoissa syntyvää viivettä. (Bishop 2005, s. 37.)

Kommunikoivaa vakionopeuden säädintä voitaisiin hyödyntää myös koko liikennevirran nopeuden optimointiin. Lähtökohtana olisi tällöin yhteinen ulkopuolinen palvelukeskus, joka laskisi ja mallintaisi liikenneolosuhteisiin ja paikkaan nähden sopivan ajonopeuden. Mukautuva vakionopeuden säädin vastaanottaisi tiedon ja päivittäisi nopeutensa ajan tasalle. Jatkuvaa ajoneuvojen välistä tiedonvaihtoa voitaisiin myös hyödyntää. (Bishop 2005, s. 36.)

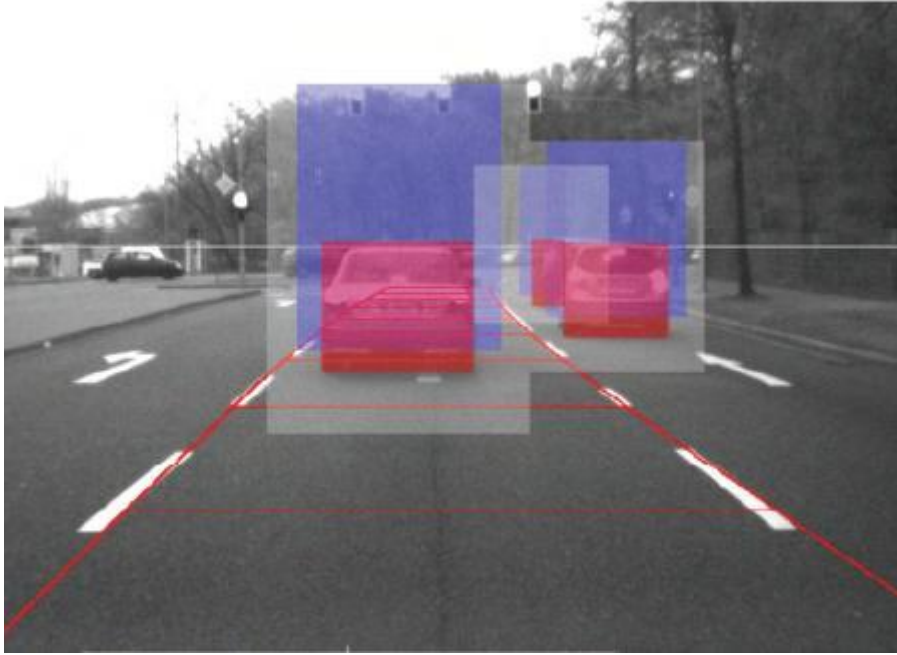
## 3 Tukijärjestelmien tekniset toimintaperiaatteet

### 3.1 Kamera

Ajoneuvoihin asennettavien tukijärjestelmien toiminta perustuu poikkeuksetta ympäristön havainnointiin, oli kyseessä sitten kuljettajan vireystila tai edellä kulkeva ajoneuvo. NykYTEknologia tarjoaa toimintoihin useita toteutusvaihtoehtoja, joita käyttämällä ja yhdistelemällä saavutetaan kuhunkin tarkoitukseen ja olosuhteeseen nähden suotuisin ratkaisu. *Kamera ja kuvien prosessointi* on vallitseva teknologiasovellus tukijärjestelmissä, jotka tarvitsevat tietoa kaistojen ja tienreunan sijainneista sekä ajoradalla olevista esteistä (Pacejka & Pauwellussen 1995, s. 86). Mustavalko kameraa käytetäänkin erityisesti kaistalla ja tiellä pysymisen tuissa sekä törmäyksenestojärjestelmissä, joissa kaistamaalaukset tai läheiset ajoneuvot pyritään erottamaan kameran ottamasta kuvasta (Bishop 2005, s. 99 & s. 114).

Videokamerat on yleensä sijoitettu peruutuspeilin taakse tuulilasiin (Liu ym. 2007) tai sivupeileihin (Bishop 2005, s. 114), mistä ne välittävät jatkuvasti signaalia keskusyksikköön analogisesta digitaaliseen muotoon muunnettuna. Keskusyksikkö käsittelee kuvat niihin syötettyjen algoritmien avulla (Pacejka & Pauwellussen 1995, s. 86) selvittääkseen muun muassa tien reunojen sijainnin, kaarevuuden tai kaltevuuden (Liu ym. 2007). Kamerankäytön haasteena on toiminta kaikissa sääolosuhteissa kuten talvella lumen peittäessä tiemerkin, kirkkaassa auringonpaisteessa tai rankkasateessa sekä vaihtelevassa valaistuksessa (Bishop 2005, s. 99 – 100). Kameralla ei voida myöskään mitata suoraan etäisyyttä kohteeseen, mitä tarvitaan esimerkiksi mukautuvissa vakionopeuden säätimissä, vaan se on ekstrapoloitava kuvasta (Bishop 2005, s. 128).

Nykyaikaisten kameroiden toiminta on saatu kuitenkin hyvin varmaksi kehittyneiden algoritmien avulla. Jos kaistamaalaukset puuttuvat kokonaan, kehittyneimmät järjestelmät käyttävät hyväkseen mitä tahansa muita pituussuuntaisia piirteitä tiessä osoittamaan kaistan sijainnin. Tällaisia piirteitä ovat esimerkiksi tienpiennar, öljyn vaikutuksesta värjäytynyt kaistan keskikohta tai jopa edellisten ajoneuvojen lumeen jättämät jäljet. (Bishop 2005, s. 99.) Videokameran etuina ovat sen laaja kuvakulma ja korkea resoluutio (Pacejka & Pauwellussen 1995, s. 86), sen halpuus muihin teknologioihin verrattuna, laitteen pieni koko sekä tarvittavan tekniikan olemassaolo (Bishop 2000). Tukijärjestelmän luotettavuuden parantamiseksi kameran ohella käytetään usein jotakin muuta teknologiaa, kuten tutkaa tai laseria (Lindner ym. 2009) (Kuva 5).



**Kuva 5** Sensorifuusion tuloksena hahmotetut alueet; sininen kuvaa tutkan havaitsemaa, harmaa kameran ja punaiset kameran ja tutkan yhdistelmän tarkasti havaitsemaa aluetta. (Lähde: Lindner ym. 2009, kuva 12.)

### 3.2 Tutka ja laser

*Tutka ja optinen kaukokartoitusteknologia* ovat nousseet pysyvästi videokameroiden rinnalle tukijärjestelmissä, jotka vaativat erityisen tarkkaa, nopeaa ja luotettavaa etäisyyden ja ääriiviivojen hahmottamista. Sähkömagneettisia aaltoja hyödyntävien laitteiden käytön leviämisen hidasteena on ollut korkea hinta. Nykyään valtaosa järjestelmistä perustuu kuitenkin, ellei kokonaan niin ainakin osittain, tähän edistykselliseen tekniikkaan (Lindner ym. 2009).

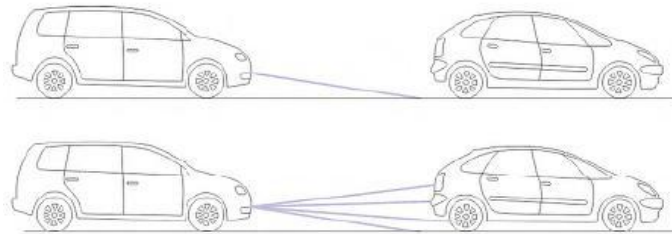
Sekä tutkan että optisten menetelmien, joista käytetyimpänä laser, toiminta pohjautuu sähkömagneettisen pulssin matka-ajan mittaamiseen. Etupuskuriin (Isogai ym. 2009) asennettu lähetin (laserdiodi tai radiolähetin) synnyttää pulssin, joka esteen kohdatessaan heijastuu takaisin vastaanottimeen. Sähköisessä keskusyksikössä matkaan kulunut aika on muunnettavissa etäisyydeksi. Järjestelmät erottavat kohteen runsaan heijastusintensiteetin avulla muusta ympäristöstä. (Pacejka & Pauwellussen 1995, s. 83 – 84). Esimerkiksi tumma tienpinta heijastaa huomattavasti vähemmän kuin valkoiset kaistamaalaukset. Tutka pystyy laskemaan myös kohteen nopeuden suoraan Dopplerin ilmiön eli pienen taajuusmuutoksen perusteella. Lasermenetelmissä hyödynnetään kohteen asemaa arvioivia algoritmeja, joilla nopeus saadaan epäsuorasti laskettua (Isogai ym. 2009). Esimerkiksi mukautuva vakionopeuden säädin tarvitsee toimiakseen jatkuvaa tietoa edellä ajavan nopeudesta säädellen sen avulla omaa nopeuttaan. (Pacejka & Pauwellussen 1995, s. 83 – 85.)

Tutka-aalto voi olla jatkuvaa tai pulssimaista (Pacejka & Pauwellussen 1995, s. 84) taajuuden vaihdella noin 24 – 77 GHz:n välillä mitattavasta etäisyydestä riippuen. Lyhyillä



etäisyyksillä käytetään pienempää taajuutta, jolloin ympäristöä saadaan tarkasti havainnoitua 30 metrin säteellä jopa 80° kulmassa. Mitä pidempää matkaa halutaan tarkastella, sitä suurempaa taajuutta käytetään havainnointikulman koko ajan pienentyessä. Tutka toimii aina 200 metriin saakka kapealla noin 20° keilalla. Yleensä käytetään eritaajuisten tutkien yhdistelmää kattavan ja luotettavan lopputuloksen saamiseksi. (Andres ym. 2009.)

Lasermenetelmät hyödyntävät myös useiden lähettimien yhdistelmää ympäristön hahmottamiseksi (Kuva 6). Käytössä on usein kolmesta kuuteen päällekkäin asennettua lähetintä, mikä mahdollistaa kohteen kolmiulotteisen tulkin. Laserjärjestelmillä kohteen koko ja muoto saadaankin terävästi selville jopa 120 metrin etäisyydeltä. (Isogai ym. 2009.) Ongelmana voi joskus olla laserkeilan hajoaminen esteen reunalla kahdeksi erilliseksi keilaksi, jolloin este voi sijaita missä tahansa reunan ja sen takana olevan kohteen välillä (Hyung ym. 2008). Myös poikkeuksellinen sää, kuten rankkasade tai kirkas auringonpaiste, voi vaikeuttaa laserin toimintaa heijastusten heikentyessä (Isogai ym. 2009).



**Kuva 6** Usean laserlähettimen hyödyntäminen kolmiulotteisen kuvan hahmottamiseksi. (Lähde: Lindner ym. 2009, kuva 7.)

### 3.3 Magneettiset merkit sekä digitaaliset kartat ja satelliittipaikannus

Eräänä lupaavimpana teknologiana ajoneuvon sivuttaissuuntaiseen paikantamiseen teillä pidetään *magneettisten*, tienreunaan upotettujen, *kaistamerkkien* hyödyntämistä. Kaistamerkit, autojen etupuskureihin asennetut sensorit ja vahvistin sekä muun muassa häiriöt pois suodattava filteri muodostavat toimintakokonaisuuden, jota voitaisiin käyttää ennen kaikkea kaistalla ja tiellä pysymisen tuissa määrittämään ajoneuvon etäisyyttä tienreunasta. Tällä hetkellä magneettien hyödyntäminen on vasta kehitysasteella, mutta testikokemukset esimerkiksi lentokentiltä ja kauppakesuksista ovat olleet hyvin positiivisia. (Wang ym. 2009.)

Järjestelmän etuna on sen toimintavarmuus kaikissa olosuhteissa. Sensorit havaitsevat merkkien luoman magneettikentän säässä kuin säässä, ja mahdolliset häiriöt magneettikentässä voidaan mitätöidä erilaisilla suojauksilla ja häiriön prosessoinnilla. Sensorit toimivat luotettavasti kaikissa nopeuksissa asennuskorkeudesta riippumatta. Magneettisiin merkkeihin voitaisiin lisäksi koodata muutakin tietoa tiestä, kuten sen geometriasta tai nopeusrajoituksesta, sensorien vastaanotettavaksi. (Wang ym. 2009.) Kehityksen hidasteena on kuitenkin järjestelmän kattavan toteuttamisen hankaluus kaikkialle



tieverkostoon (Bishop 2005, s. 99). Kertaalleen koodattuja, tiehen upotettuja, merkkejä on myös vaikea muokata tai päivittää verrattuna esimerkiksi digitaalisiin karttatietokantoihin. (Wang ym. 2009.)

Tulevaisuudessa, langattoman kommunikoinnin kehittyessä, ajoneuvoihin asennettavat tukijärjestelmät tulevatkin todennäköisesti perustumaan yhä enemmän *satelliittipaikannukseen ja digitaalisiin karttatietokantoihin* (Bishop 2005, s. 99). Ajoneuvot saisivat jatkuvasti tienreunojen koordinaatit tietokannoista ja voisivat verrata niitä omaan sijaintiinsa, mikä loisi toimintaedellytykset sivuttaissuuntaisille tukitoiminnoille (Bishop 2005, s. 106 – 107). Jatkuvaa tietoa tien geometriasta voitaisiin hyödyntää ennakoivasti mukautuvissa ajovaloissa sekä nopeuden sovittamisessa kaarteisiin (Bishop 2005, s. 125 – 126).

Liiallinen ajonopeus on merkittävä tekijä liikenteen vaaratilanteissa aina tieltä suistumisista törmäyksiin. Digitaalisia karttatietokantoja voitaisiinkin käyttää nopeudenhallinnassa myös yleisemmin kuin pelkästään kaarteissa. *Älykäs nopeudensäätelyjärjestelmä* on järjestelmä, joka vastaanottaa tiedon tien nopeusrajoituksesta digitaalisista kartoista. Järjestelmästä riippuen se joko informoi kuljettajaa nopeusrajoituksesta, varoittaa esimerkiksi äänimerkillä tai aiheuttamalla vastusta kaasupolkimeen tai estää kokonaan ylinopeuden ajamisen. Turvallisuusvaikutuksiltaan tehokkain toimintamuoto on luonnollisesti dynaaminen pakottava järjestelmä. On arvioitu että, jos älykäs nopeudensäätelyjärjestelmä olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin, onnettomuuksien määrä vähenisi taajamissa 20 % ja yleisesti 25 %. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2004.)

Magneettien tapaan digitaaliset kartat ovat vasta testauksessa esimerkiksi Yhdysvalloissa linja-autoissa helpottaen kuljettajien ajoa erityisesti kaupunkien kapeilla kaduilla. Koordinaattien ohella tietokantoihin voitaisiin sisällyttää myös tietoa kaistojen lukumääristä tai leveysistä ja jopa liikennemerkkeistä (Hedrick ym. 2008). Toimiakseen täydellisellä varmuudella järjestelmä vaatii kuitenkin ajantasaiset, tarkat ja kattavat karttatietokannat, mikä on herättänyt kysymyksen sen tuottamisen ja ylläpidon kannattavuudesta suhteessa tarvittavaan työhön ja kustannuksiin. (Bishop 2005, s. 99.)

### 3.4 Sensorifuusio

Ennen täysin automatisoituja autoja ihminen on toistaiseksi aina osa ajosuoritusta. Silloinkin, kun järjestelmä ottaa hetkeksi täysin ajoneuvon hallinnan esimerkiksi automatisoiduilla moottoriteillä, on sen varmistettava päältä pois kytkeytyessään kuljettajan valvotuneisuus. Nykyään onkin kehitetty kuljettajan vireystilaa tarkkailevia laitteita, joiden toiminta perustuu pääosin kameran ja infrapunasäteen hyväksikäyttöön silmien tarkkailussa. (Institute of Transportation Engineers ym. 2000, kpl 15-21 – 15-22.)

Mitä enemmän tukitoiminnot kuitenkin kehittyvät ja mitä automatisoidummaksi ajaminen muuttuu, sitä enemmän ajoneuvolta vaaditaan. Jotta ajoneuvo pystyy ihmisen puolesta

päätöksentekoon ja ainakin osittaiseen ajosuorituksen hallintaan tai vain kokonaisvaltaiseen turvallisuuden parantamiseen, on sen saatava tietoa kaikkialta ympäristöstään. Eri teknologioihin perustuvien sensorien yhdistäminen mahdollistaa laajan havainnointipiirin sekä selväpiirteisen tiedon hankinnan. Sama kohde voidaan havaita usealla järjestelmällä, mutta esimerkiksi etäisyyden laskenta tutkalla on huomattavasti tarkempaa videokameraan verrattuna. Toisaalta, järjestelmät tukevat toisiaan muun muassa häiriötilanteissa. (Bishop 2005, s. 159 – 160.)

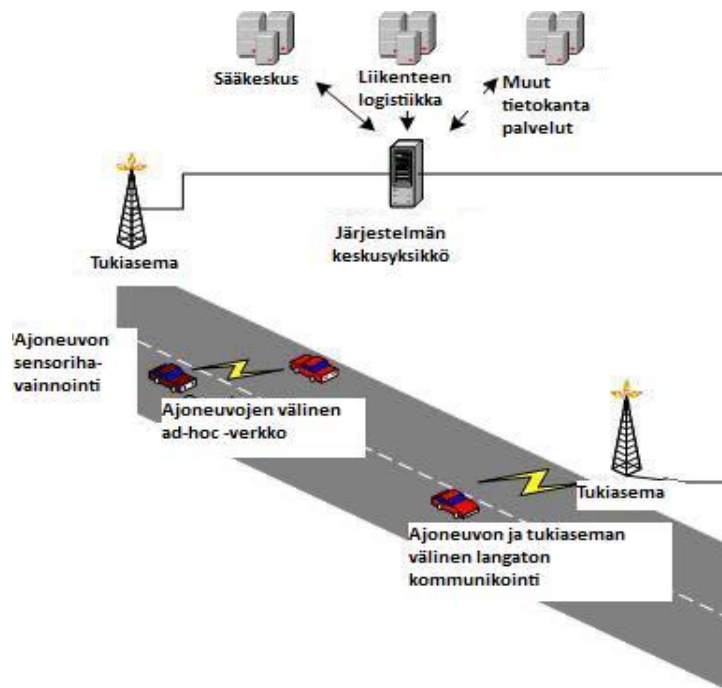
Kehityksessä kuljetaankin vääjäämättömästi kohti *sensorifuusiota* ja erilaisten *tukijärjestelmien integroimista*, millä taataan havainnointi läheltä ja kaukaa aina 360° laajuudelta (Bishop 2005, s. 159 – 160). Tyypillinen sensoriyhdistelmä on tutka ja videokamera, joiden lisäksi saatetaan ajoneuvon takana hyödyntää ultraääntä esimerkiksi parkkeerauksessa (Bishop 2005, s. 163 – 164). Järjestelmien integroiminen takaa parhaan ja luotettavimman lopputuloksen sekä mahdollistaa esimerkiksi täysin automaattisen ja ympäristön kanssa vuorovaikutteisen risteys- ja maantieajon, joihin tutustaan lähemmin seuraavassa luvussa.

## 4 Telematiikan hyödyntäminen

### 4.1 Langaton kommunikointi ajoneuvojen ja infrastruktuurin välillä

Liikenteen *telematiikka* tarkoittaa menetelmiä, jotka käyttävät hyödykseen tietoliikenne- ja tietojenkäsittelytekniikkaa erilaisissa ajoneuvoihin ja infrastruktuuriin kehitetyissä sovelluksissa (Aakre ym. 2002). Telematiikka mahdollistaa pelkästään ajoneuvojen tai ajoneuvon ja ulkopuolisen palvelukeskuksen välisen langattoman kommunikoinnin ja tiedonvaihdon, mikä nähdään eräänä lupaavimpana keinona kokonaisvaltaiseen liikenteenhallintaan (CVIS). Edellisissä luvuissa esitellyt kuljettajan ajosuoritusta tukevat järjestelmät perustuivat pääasiassa yksittäiseen ajoneuvoon asennettujen sensorien tuottamaan tietoon lähiympäristöstä. Havainnointialueen ja -aineiston rajallisuudesta johtuen kuljettaja ei kuitenkaan kyennyt niiden avulla varsinaiseen ennakointiin, vaan apu kohdistui pikemminkin juuri sen hetkiseen ajosuoritukseen. Telematiikan avulla liikenneturvallisuutta ja -tehokkuutta voidaan parantaa lisäämällä kuljettajan ennakointia hänen vastaanottaessaan jatkuvasti ajantasaista tietoa niin muiden ajoneuvojen sijainnista tai mahdollisista onnettomuuksista kuin sääolosuhteistakin (CVIS).

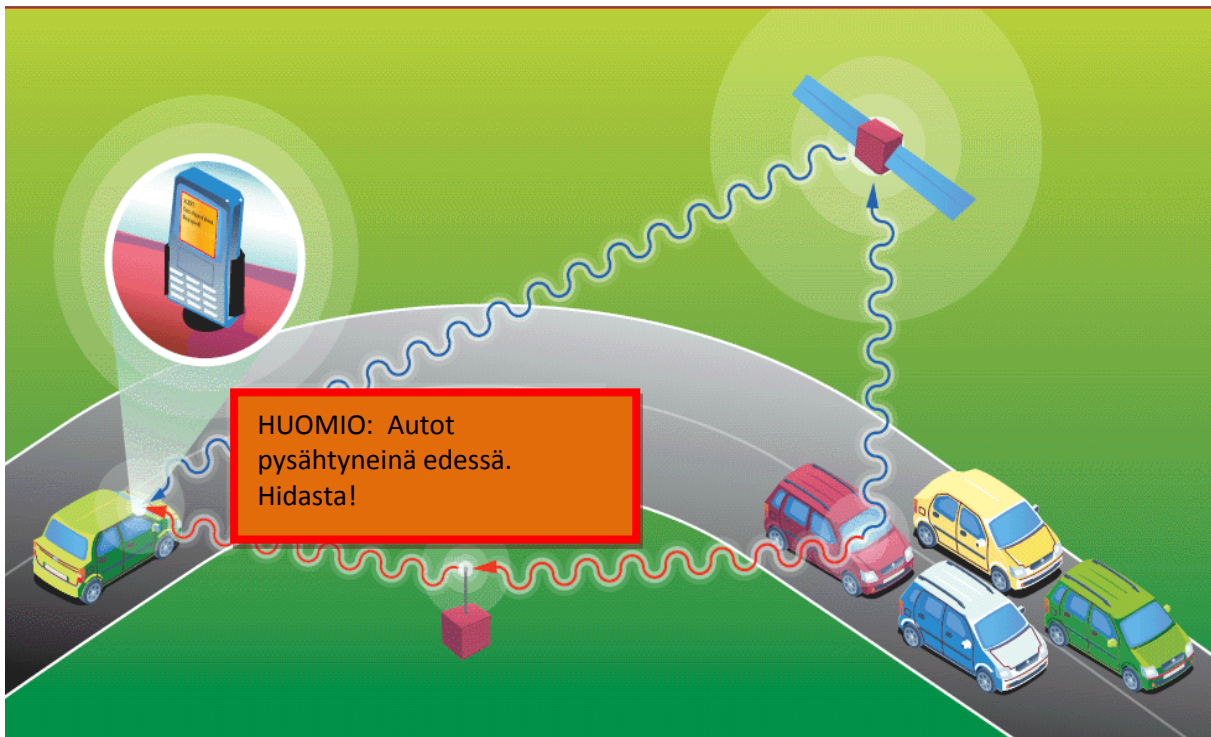
*Langaton kommunikointijärjestelmä* on ajoneuvojen, tukiasemien, keskusyksikön ja palvelukeskusten muodostama kokonaisuus, joka mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonvaihdon liikenteessä (Sukuvaara 2007) (Kuva 7).



Kuva 7 Langaton kommunikointijärjestelmä. (Muokattu lähteestä: Sukuvaara 2007.)

Tiedonsiirto voi perustua esimerkiksi DSRC-tekniikkaan (Dedicated Short Range Communications), ad hoc –verkkoon tai CALM-tekniikkaan (Continuous Air-Interface for Long and Medium Distance Communications) (Bishop 2005, s. 180). CALM-tekniikka hyödyntää kussakin paikassa optimaalisinta tietoliikenneyhteyttä, kuten WLAN:ia (Wireless Local Area Network) tai matkapuhelinverkostoa (CVIS).

Langaton järjestelmä toimii siten, että ajoneuvot välittävät jatkuvasti tietoa tukiasemien kautta keskusyksikölle, joka lähettää sen edelleen palvelukeskuksille. Palvelukeskuksissa tieto käsitellään ja sen perusteella voidaan laatia esimerkiksi paikallisia varoituksia tai olosuhteisiin sopivia nopeussuosituksia. Keskusyksikkö välittää palvelukeskusten muodostaman tiedon tukiasemien kautta ajoneuvoihin (Kuva 8). Ajoneuvo vastaanottaa uusimman tiedon vain ohittaessaan tukiaseman, mutta katvealueet pienenevät, kun tieto välittyy ajoneuvojen keskinäisen kommunikoinnin välityksellä eteenpäin muihin ajoneuvoihin. (Sukuvaara 2007.)



Kuva 8 Ajoneuvojen, tukiaseman ja keskusyksikön välinen langaton kommunikointi. (Muokattu lähteestä: Sukuvaara 2007.)

## 4.2 Älykkäät maantiejärjestelmät

Kuvitellaan tilanne, jossa kuljettaja ajaa maantiellä. Ajoneuvo on hyvin varusteltu erilaisilla sensoreilla kuten etupuskuriin asennetuilla tutkilla sekä eteen, taakse ja sivuille suunnatuilla kameroilla. Sillä on myös jatkuva langaton yhteys muihin ajoneuvoihin ja palvelukeskuksiin. Suoralla tiellä ajettaessa erilaisten tukijärjestelmien avulla ajoneuvo kulkee kuin itsestään.

Kommunikoiva vakionopeuden säädin on vastaanottanut palvelukeskukselta tiedon liikenneolosuhteisiin nähden optimaalisesta ajonopeudesta, jonka se pyrkii ylläpitämään

(CVIS). Eri etäisyyksille tarkoitetut tutkat havainnoivat jatkuvasti ympäristöä hitaampien ajoneuvojen tai esteiden varalta ja kaistavahti huolehtii ajolinjan säilyttämisestä. Hitaamman tai eteen aikovan ajoneuvon lähestyessä, vakionopeuden säädin vähentää automaattisesti nopeutta, jotta tarvittava turvaetäisyys säilyy. Kun kuljettaja lähtee ohittamaan, kamerat huolehtivat siitä, ettei kuolleeseen kulmaan jää vaaratilannetta aiheuttavaa ajoneuvoa. (Pilutti 2009.) Langattoman kommunikoinnin välityksellä ajoneuvolla on myös tarkka tieto läheisten ajoneuvojen sijainneista ja nopeuksista, jolloin esimerkiksi viereisellä kaistalla lähestyvä auto ei pääse yllättämään (CVIS). Tätä voitaisiin hyödyntää myös rampeilta liikennevirtaan liikeyttäessä kaiteiden tai muiden esteiden haitatessa näkyvyyttä (Kuva 9). Ajoneuvon palattua omalle kaistalleen ja tien ollessa jälleen vapaa, vakionopeuden säädin palaa alkuperäiseen nopeuteen (Pilutti 2009).

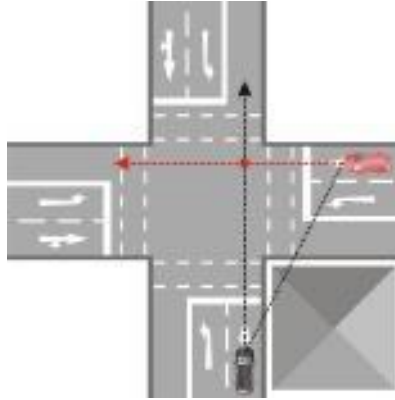


**Kuva 9 Ajoneuvojen välinen kommunikointi toimii mahdollisista esteistä huolimatta. (Lähde: European Commission Information Society and Media 2007.)**

Vaaratilanteessa, kuten edellä kulkevan ajoneuvon yllättäen jarruttaessa, kommunikoinnin avulla estetään ketjukolarin syntyminen. Kun ensimmäinen ajoneuvo jarruttaa, se lähettää samalla varoituksen takana tuleville, jotka ehtivät täten reagoida ajoissa tilanteeseen (Bagubali ym. 2009). Mahdollisesta onnettomuudesta tai ruuhkasta välittyy saman tien tieto palvelukeskuksille, jotka varoittavat muita lähistöllä olevia autoja (CVIS). Kommunikoinnin etuna on sen toimivuus kaikissa sääolosuhteissa, jolloin muut sensorit eivät välttämättä toimi yhtä luotettavasti ja kuljettajan näkyvyys on heikko (Bagubali ym. 2009).

### 4.3 Risteysajo

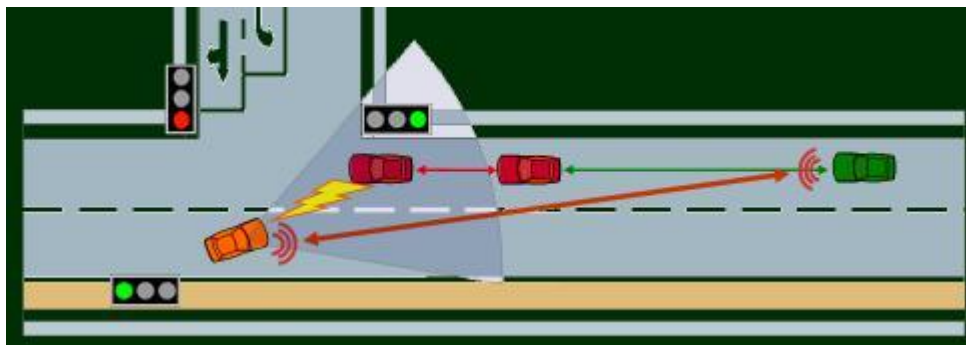
Risteykset kuuluvat tieverkoston onnettomuusalttiimpiin paikkoihin, sillä niissä tapahtuu noin 30 % kaikista onnettomuuksista (Chakole ym. 2008). Risteysnopeudet ovat usein suuria ja ajoneuvot törmäävät toisiinsa nähden suorassa kulmassa, jolloin seuraukset voivat olla hyvinkin kohtalokkaita (Bishop 2005, s. 32). Risteysajoon kehitettyjä turvallisuusjärjestelmiä ei kuitenkaan ole vielä yleisesti saatavilla tukitoimintojen ollessa vasta kehitys- ja testausasteella. Varmaa on kuitenkin se, että tukitoiminnot, joiden toiminta perustuu ainoastaan ajoneuvon omien sensorien tuottamaan tietoon, eivät riitä. (Chakole ym. 2008.) Esimerkiksi rakennukset muodostavat esteen, joiden lävitse sensorit eivät kykene havaitsemaan (Bishop 2005, s. 32) (Kuva 10).



**Kuva 10 Rakennukset muodostavat esteen sensorien toiminnalle. (Lähde: Bishop 2009.)**

Jatketaan edellisen alaluvun kuvitteellista ajotilannetta. Ajoneuvo saapuu maantieltä taajamaristeykseen. Risteystä lähestyessään se lähettää jatkuvasti tietoa nopeudestaan, sijainnistaan ja suunnastaan ulkopuoliseen risteuksen ohjausyksikköön. Ohjausyksikkö käsittelee eri ajoneuvoilta saamansa tiedot. Tietojen perusteella se mallintaa ja ennustaa tulevan liikennetapahtuman ja mahdollisen törmäyksen sekä säätelee liikennevalo-ohjausta. Havaitessaan törmäysriskin ohjausyksikkö lähettää joko varoituksen kuljettajalle tai suoranaisen jarrutuskäskyn tukijärjestelmille.

Risteuksen hallintajärjestelmän haasteena on toiminnan varmistaminen vilkkaissakin risteyksissä ja väärin hälytysten minimointi. (Indrawan ym. 2008.) Kommunikointi mahdollistaisi kuitenkin joustavan ja turvallisen risteysajon, kun ajoneuvot olisivat jatkuvasti selvillä toistensa sijainneista ja nopeuksista (Kuva 11). Kuljettaja pystyisi ennakoimaan tilanteet hyvissä ajoin ja tukijärjestelmät aktivoituisivat juuri oikealla hetkellä. Tulevaisuudessa selviää, ovatko esimerkiksi liikennevalot joka paikassa välttämättömiä, vai saavutetaanko riittävä turvallisuus vuorovaikutuksen ja yleisten liikennesääntöjen avulla?



**Kuva 11 Ajoneuvojen välinen kommunikointi tekee risteysajosta turvallisempaa. (Lähde: Bishop 2009.)**

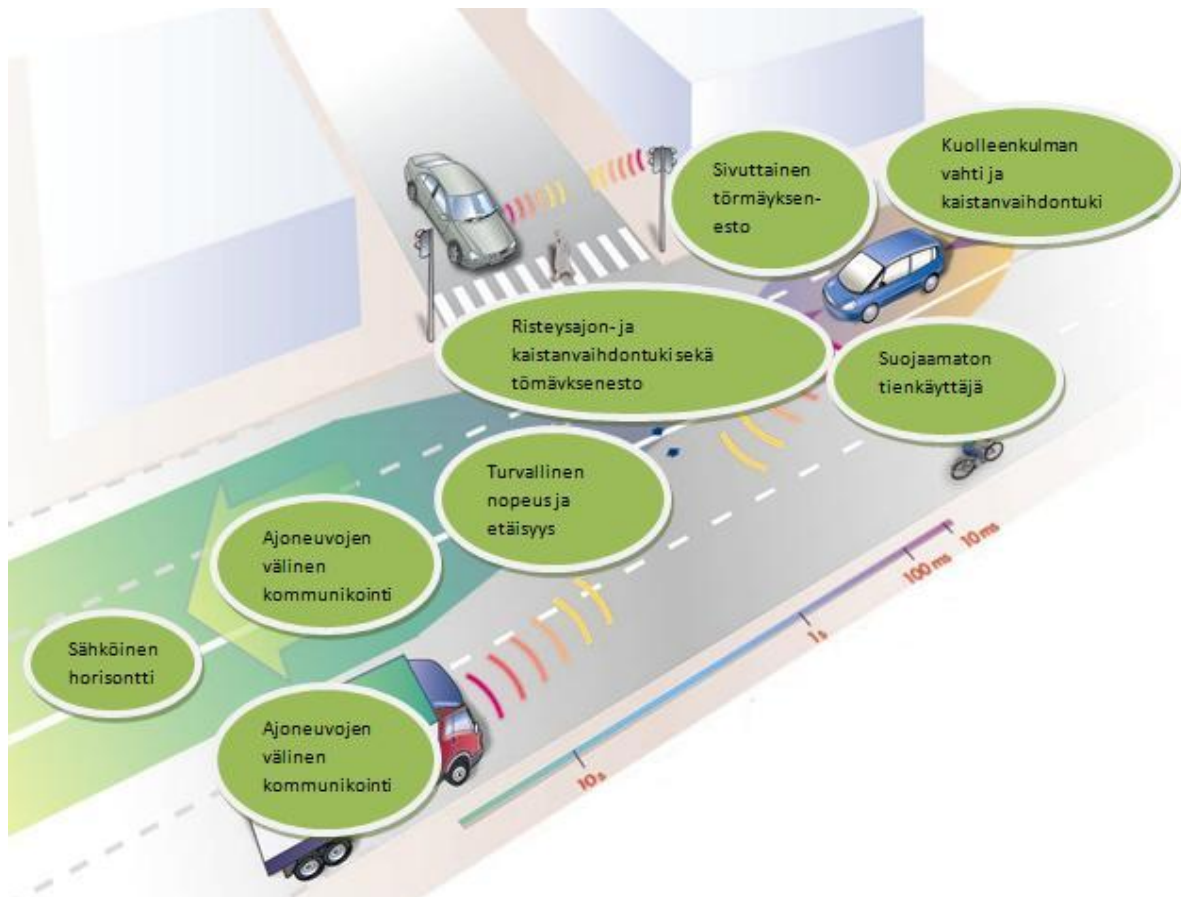
## 4.4 eSafety ja PReVENT

*eSafety* on Euroopan komission vuonna 2002 käynnistämä liikenneturvallisuuden kehitysohjelma, jonka taustalla on huoli liikenneturvallisuuden heikosta tilanteesta EU:ssa. Kehitysohjelman tarkoituksena on tukea vuonna 2001 Valkoisessa Kirjassa asetettua haasteellista tavoitetta puolittaa liikennekuolemien määrä vuoteen 2010 mennessä. *eSafety*n päämäärä on nopeuttaa ajoneuvoihin asennettavien älykkäiden turvallisuusjärjestelmien kehitystä ja käyttöönottoa. Ohjelman avulla pyritään tuomaan eri osapuolet, kuten komissio, jäsenvaltiot, viranomaiset sekä teollisuus, yhteen ja tukea heidän toimintaansa ja kehitysyhteistyötä liikenneturvallisuuden parantamiseksi. (Europe`s Information Society, b.)

*eSafety*-ohjelmassa voidaan erottaa kolme pääryhmittymää – *eSafety Working Groups*, *eSafety Forum* ja *eSafety Support*. *eSafety Working Groups* on kaikkien eri työryhmien muodostama kokonaisuus. Jokainen työryhmä kehittää ja keskittyy tiettyyn tarkoin määriteltyyn kehityksen osa-alueeseen, kuten *eCall*-häätäpuhelinjärjestelmään. *eSafety Forum* yhdistää monialaiset toimijaosapuolet sekä julkisen ja yksityisen sektorin. Se seuraa ja edistää työryhmien antamien suositusten täytäntöönpanoa ja tukee tukijärjestelmien kehitystä ja käyttöönottoa. *eSafety Support* koostuu neljästä merkittävimmästä kehitysosapuolesta, *ERTICO*, *ACEA* (The European Automobile Manufacturers Association), *FIA* (Federation Internationale de l'Automobile) ja *VTT* (Valtion teknillinen tutkimuskeskus) ollen koko kehitysohjelman pääkoordinoija. Se kehittää ja valvoo Forumin ohella työryhmien toimintaa, ohjelman edistymistä ja tuloksia sekä toimii pääyhteytenä eri osapuolten välillä. *eSafety*-ohjelman rinnalla toimii myös useita muita EU:n sisäisiä kehitysprojekteja kuten *PReVENT*, johon tutustutaan lyhyesti seuraavaksi. (Europe`s Information Society, b.)

*PReVENT* on eurooppalainen autoteollisuuden kehityshanke, joka toteutettiin *eSafety*-ohjelman puitteissa Euroopan komission osallistuessa rahoitukseen. Hankkeen tavoitteena oli luoda ajoneuvon ympärille sähköinen turvavyöhyke integroimalla eri suuntiin havaitsevia sensoreita ja niihin perustuvia turvajärjestelmiä sekä teknologiaa (Kuva 12). Yksittäisiä turvajärjestelmiä kehitettiin ja toteutettiin pienemmissä työryhmissä, joiden toiminnan tulokset yhdistettiin lopuksi yhteen alustaan prototyypiksi. Teknologiasovellusten kehittämisen ja toteuttamisen rinnalla huomiota kiinnitettiin myös niiden käyttövaikutusten arvioimiseen sekä suurimpien kehityshidasteiden voittamiseen. *PReVENT*-ohjelma loi hyvän pohjan älykkäiden turvallisuusjärjestelmien kehitykselle ja monet sen aikana luoduista järjestelmistä tulevat varmasti yleisille markkinoille. Projektin aikana ennustetut positiiviset vaikutukset muun muassa törmäyksenestojärjestelmillä ja vuorovaikutteisella ennakoivalla ajolla toimivat rohkaisuna telematiikan ja sensorifuusion hyödyntämiselle. (Flament ym. 2008.)





**Kuva 12 PREVENTin tavoitteena oli luoda ajoneuvon ympärille sähköinen turvavyöhyke. (Muokattu lähteestä: <http://www.prevent-ip.org/> 5.4.2010.)**



## 5 Kehityksen kannustimet ja hidasteet

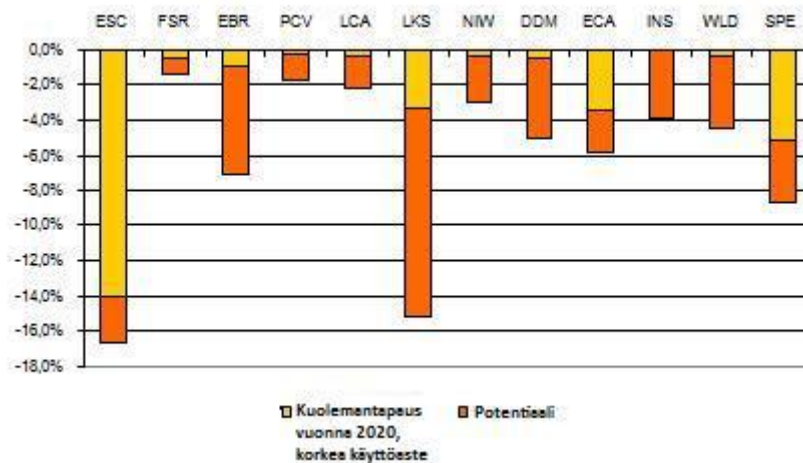
### 5.1 Tukitoimintojen käytön vaikutukset liikenteeseen

Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että kuljettajan tukitoimintojen positiiviset vaikutukset liikenneturvallisuuteen ja -sujuvuuteen ovat ilmeiset. Esimerkiksi vaikka vain 0,6 % kuljettajista käyttäisi kaistalla pysymisen tukea ja kaistanvaihtoapua, voitaisiin liikenteessä välttyä 1 500 onnettomuudelta vuonna 2010. Vastaavan luvun arvioidaan vuonna 2020 olevan 7 % käyttöasteella 14 000. (European Commission Information Society and Media 2007.) Ajoneuvoihin asennettavien tukijärjestelmien vaikutusten arviointi on kuitenkin hyvin vaativaa, sillä huomionkohteita on useita (VTT, b) ja vaikutukset liikenteeseen voivat olla joko suoria tai epäsuoria (Lind 2008). VTT kehitti kuitenkin uuden arviointimenetelmän, jonka avulla tulevaisuuden ja jo markkinoilla olevien ajoneuvojärjestelmien turvallisuusvaikutuksia arvioitiin EU:n 25 jäsenmaassa. Menetelmä huomioi vaikutukset niin kuljettajaan ja muihin tienkäyttäjiin sekä heidän väliseen vuorovaikutukseen kuin reitin ja kulkumuodon valintaan, liikennemääriin ja onnettomuuksien seurauksiin. Tutkimukset toteutettiin kolmessa eri hankkeessa eIMPACTissa, PReVALissa sekä CODIAssa. (VTT, b.)

*eIMPACT-hankkeessa* tutkittiin 12 yksittäisen tai integroidun tukijärjestelmän vaikutuksia liikenneturvallisuuteen ja -tehokkuuteen Euroopassa. Kaikki tutkitut tukitoiminnot tulevat olemaan markkinoilla vuoteen 2020 mennessä. (Lind 2008). *PReVAL-hanke* toteutettiin PReVENTin alaprojektina ja siinä keskityttiin viiteen muuhun tukijärjestelmään (VTT, a). Arvioinnit suoritettiin vuosille 2010 ja 2020 kahden eri skenaarion valossa. Ensimmäisessä arvioitiin tuloksia tilanteessa, jossa järjestelmien käyttöaste oli alhainen, eikä mitään kehitystä nopeuttavia toimia ollut toteutettu. Toisessa skenaariossa tarkasteltiin tilannetta, jossa järjestelmien käyttö oli laajalle levinnyttä ja kehitystä oli nopeutettu esimerkiksi erilaisilla kannustimilla. (Lind 2008.)

Tutkimuksissa todettiin ajonvakautusjärjestelmän parantavan eniten liikenneturvallisuutta. Mikäli järjestelmä olisi kaikissa ajoneuvoissa, sen arvioitiin vähentävän liikennekuolemia lähes 17 % (Kuva 13). Melkein yhtä tehokkaiksi arvioitiin myös kaistalla pysymisen tuki, joka vähentäisi liikennekuolemia noin 15 % (Lind 2008) sekä nopeusrajoituksista ja onnettomuusalttiista paikoista varoitava MAPS & ADAS –järjestelmä, jonka avulla liikennekuolemat vähenisivät 13 %. (VTT, b.) Suoria vaikutuksia liikennevirtaan arvioitiin olevan esimerkiksi MAPS & ADAS –järjestelmällä sekä vakionopeuden säätimellä. Niiden avulla ajoneuvojen väliset etäisyydet voitaisiin saada lyhyemmiksi ja liikennevirran nopeus homogeeniseksi sekä kapasiteetin hyödyntämistä lisättyä. (VTT, a.) Epäsuoria vaikutuksia saataisiin onnettomuuksien ja siten myös ruuhkien vähentyessä (Lind 2008).

- |   |  |
|---|--|
| 1. Electronic Stability Control (ESC)<br>(Ajonvakautusjärjestelmä)                    | 7. NightVisionWarn (NIW)<br>(Yönäkö)   |
| 2. Full Speed Range ACC (FSR)<br>(Vakionopeuden säädin)                               | 8. Driver Drowsiness Monitoring and Warning<br>(DDM)<br>(Kuljettajan vireystilan tarkkailujärjestelmä) |
| 3. Emergency Braking (EBR)<br>(Hätäjarrutusjärjestelmä)                               | 9. eCall (one-way communication) (ECA)<br>(eCall-hätäpuhelukeskusjärjestelmä)                          |
| 4. Pre-Crash Protection of Vulnerable Road Users<br>(PCV) (Törmäyksenestojärjestelmä) | 10. Intersection Safety (INS)<br>(Risteysajontuki)   |
| 5. Lane Change Assistant (Warning) (LCA)<br>(Kaistanvaihtotuki)                       | 11. Wireless Local Danger Warning (WLD)<br>(Langaton varoitusjärjestelmä)                              |
| 6. Lane Keeping Support (LKS)<br>(Kaistavahti)  | 12. SpeedAlert (SPE) (Nopeusvahti)   |



Kuva 13 Tukijärjestelmien ennustetut vaikutukset liikennekuolemien määrään vuonna 2020. (Muokattu lähteestä: Lind 2008.)

Kustannus-hyöty-suhteeltaan suurin osa tukijärjestelmistä todettiin kannattaviksi. Esimerkiksi ajonvakautusjärjestelmä ja kaistalla pysymisen tuki ylittivät jokaisessa skenaariossa hyöty-suhde-arvon kaksi päästen parhaimmillaan yli kolmen. Kannattavuuden kannalta järjestelmien käytön leviäminen on kuitenkin tärkeää, koska siten kustannukset saadaan pienemmiksi. (Lind 2008.) Laajalle levinnyt käyttö mahdollistaa myös merkittävimmän hyödyn saamisen järjestelmistä (VTT, b). Tukijärjestelmien saaminen massamarkkinoille on kuitenkin pitkä ja vaikea prosessi. Kehityksen tiellä on useita hidasteita, kuten vaillinainen lainsäädäntö ja standardisointi, korkeat kustannukset, ajoneuvoalan kova kilpailu sekä ennen kaikkea käyttäjien tietoisuuden puute. Jotta tukijärjestelmistä saadaan kaikki hyöty irti, on nämä esteet voitettava. Keskeisissä rooleissa ovat muun muassa EU, eri maiden viranomaiset sekä erilaiset tutkimusorganisaatiot. Vain yhteistyöllä voidaan toteuttaa yli rajojen toimivat, yhdenmukaiset tukijärjestelmät, arvioida laajasti vaikutuksia sekä taata eurooppalaisen teollisuuden kilpailukyky. (European Commission Information Society and Media 2007.)

## 5.2 Standardisointi

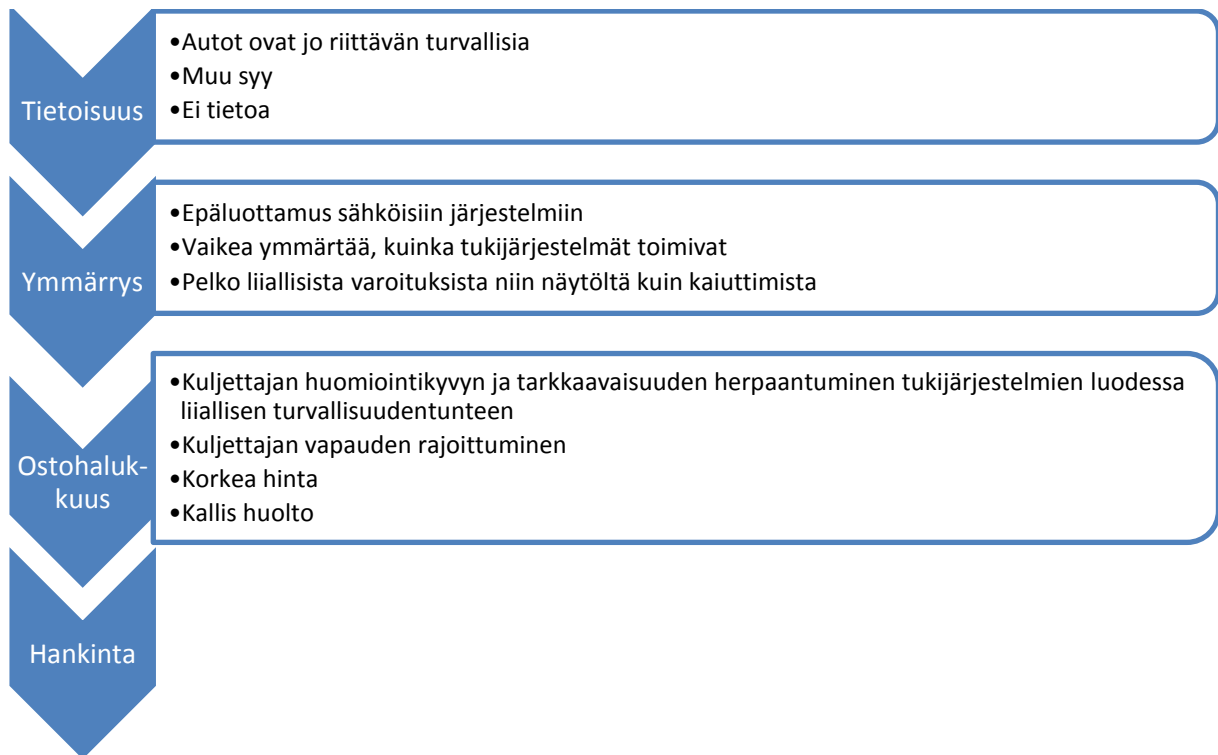
Älykkäiden liikennejärjestelmien ja ajoneuvoihin asennettavien tukitoimintojen markkinat ovat hyvin kansainväliset. Tuotteet valmistetaan ja kootaan tehtaissa mahdollisesti muualla tuotetuista komponenteista ja viedään myyntiin ympäri maailmaa. Valmistusketjun eri osapuolten on kyettävä takaamaan tuotteiden yhdenmukaisuus ja käyttökelpoisuus kaikissa olosuhteissa paikasta riippumatta. Vaatimus koskee erityisesti turvallisuuslaitteita, joiden toiminnan, mukaan lukien langattoman kommunikointiyhteyden sekä käyttöjärjestelmän, on oltava täydellisen luotettavaa. Yhdenmukaisuuden ja yhteen toimivuuden varmistamiseksi on kehitetty standardeja. (ISO/TC 204 2008.)

Standardit tarjoavat vähimmäisvaatimuksen järjestelmien toiminnalle puuttumatta välttämättä lopulliseen toteutukseen (Bishop 2005, s. 312). Niiden avulla mahdollistetaan järjestelmien kansainvälinen levitys, turvallinen käyttö sekä pohja hyvälle palvelutasolle. Standardien kehityksestä älykkäiden liikennejärjestelmien saralla vastaa International Organization for Standardization (ISO) ja sen alakomitea TC204. ISO/TC204 koostuu pienemmistä ryhmistä, jotka kehittävät kukin tietyn osa-alan standardeja liittyen muun muassa järjestelmäarkkitehtuuriin, verotukseen tai karttatietokantojen tiedonvaihtoon. (ISO/TC 204 2008.) Määritellyt standardit koskevat vain järjestelmiä, jotka ovat jonkinlaisessa vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa esimerkiksi sensorien avulla (Bishop 2005, s. 311).

Standardien kehitys on hyvin pitkä ja hidas prosessi johtuen sen monialaisuudesta ja vaaditusta laajasta yhteistyöstä eri osapuolten välillä. Toimijoiden tarkastelunäkökulmat, taustat ja motiivit voivat poiketa paljonkin toisistaan, mikä saattaa vaikeuttaa yksimielisyyteen pääsyä. Oma politiikka ja jo olemassa olevat säädökset vaihtelevat myös maittain, mikä voi hidastaa ja hankaloittaa standardien sovellusta ja käyttöönottoa. Ala on suhteellisen nuori ja jatkuvasti kehittyvä sekä riippuvainen nopeasti eteenpäin menevästä teknologiasta. Näin ollen luotettavien järjestelmien takaamiseksi ja globaalien markkinoiden helpottamiseksi standardien kehitystä on jatkettava ja standardeja jatkuvasti päivitettävä. (Institute of Transportation Engineers ym. 2000, kpl 20.)

## 5.3 Käyttäjien saavutettavuus ja käyttökokemuksia

Tekniikan kehitys vaikuttaa ajoneuvoihin asennetuilla tukijärjestelmillä saavutettavaan hyötyyn liikenteessä. Päällimmäisenä on kuitenkin muistettava, että tavoiteltuihin tuloksiin pääseminen edellyttää järjestelmien laaja-alaista käyttöä. Vuosina 2006 ja 2007 tehdyn Euroopan Komission valtuuttaman turvallisuusjärjestelmien kehitystä ja mainontaa arvioivan tutkimuksen mukaan silti jopa 58 % haastatelluista mainitsi syitä, miksei hankkisi tukijärjestelmiä. Merkittävimpinä syinä mainittiin korkea hinta, tietoisuuden puute ja epäluottamus elektronisiin järjestelmiin sekä herpaantuva tarkkaavaisuus ajosuorituksen aikana (Kuva 14). (Zwinjenberg 2007.)



**Kuva 14 Kuluttajien mainitsemia syitä, mikseivät he hanki tukitoimintoja ajoneuvoonsa. (Muokattu lähteestä: Zwinjenberg 2007, kuva 5.2.)**

Laaja-alaiseen käyttöön pääsemiseksi kuljettajien tulisikin saada tietoa ja ymmärrystä laitteiden toiminnasta ja oikeaoppisen käytön kautta kokea ne hyödyllisiksi sekä hintansa arvoisiksi. Useimmiten ongelmana onkin edellä mainittu tietämättömyys, sillä tutkimuksissa on havaittu, että esimerkiksi yli 70 % vakionopeuden säätimen käyttäjistä on siihen tyytyväisiä. Käyttäjien suhtautumista on vaikea arvioida ja haasteena onkin kehittää järjestelmiä, jotka saavuttavat tasapainon kuljettajien luottamuksessa. Järjestelmät eivät saa saada liikaa luottamusta vähentäen silloin tarkkaavaisuutta liikenteessä. Toisaalta vähäinen luottamus johtaa tuotteen käyttämättä jättämiseen. (Bishop 2005, s. 272.)

Käyttäjien saavutettavuus ja luottamuksen ansaitseminen koetaan suurena hidasteena järjestelmämarkkinoille. Tietoisuuden levittäminen vaatii runsaasti erilaisia kampanjoita, testitapahtumia ja näytöksiä (Bishop 2005, s. 298) sekä eri osapuolille suunnattua koulutusta. Tuotevalmistajat ovat pääroolissa promootiossa ja markkinoinnin kehityksessä, sillä heillä on perinpohjainen tieto järjestelmistä ja eri markkinointikanavista. Valmistajat saattavat pelätä kuitenkin epäonnistumista (Zwinjenberg 2007), sillä järjestelmien testaamiseen kehitettyjä standardeja ei juuri ole, joten osapuolet joutuvat luottamaan omiin testeihinsä. Epäonnistumista laitteen toiminnassa on silti vältettävä kaikin tavoin. Yksikin onnettomuuteen johtanut toimintavirhe voi romuttaa kuluttajien luottamuksen täysin. (Bishop 2005, s. 295 & 297.) Markkina-aseman saaminen edellyttää koordinoitua yhteistyötä niin julkisilta kuin yksityisiltä osapuolilta. Esimerkiksi hallitukset voisivat kehittää erilaisia

kannustimia käyttäjille, minkä avulla järjestelmien menekki kasvaisi samoin kuin valmistajien uskallus lähteä rahoittamaan uusia projekteja ja tuotteita. (Zwinjenberg 2007.)

Vuonna 1999 tehdyn Delftin teknillisen yliopiston tutkimuksessa havaittiin käyttäjillä positiivisia kokemuksia. Kaikkia tukitoimintoja koskien yli 40 % haastatelluista koki turvallisuuden lisääntyneen, 46 % ajotapojensa muuttuneen paremmiksi ja 47 % liikennevirran sujuvoituneen (Bishop 2005, s. 273). Suotuisten vaikutusten innoittamana tulisikin pyrkiä yhä käyttäjäkeskeisempään järjestelmäkehitykseen, joka mahdollistaisi kuluttajien maksimi hyödyn heidän oman budjettinsa rajoissa (Zwinjenberg 2007).

#### 5.4 Lainsäädäntö ja vastuunjako

Tuotteiden ja testausmenetelmien standardisointi on ensiarvoisen tärkeää tukijärjestelmiä koskevien vastuu- ja lainsäädäntökysymysten ratkaisemisessa. Tällä hetkellä valmistajilla on paljon omia toisistaan poikkeavia järjestelmien testausmenetelmiä, mutta varsinainen yleisesti hyväksytty ”hyvän” tuotteen määritelmä on edelleen häilyvä. Tämä vaikeuttaa vastuun kohdentamista osapuolten, kuten kuljettajan ja valmistajan, välillä esimerkiksi onnettomuustilanteissa. (Bishop 2005, s. 300.)

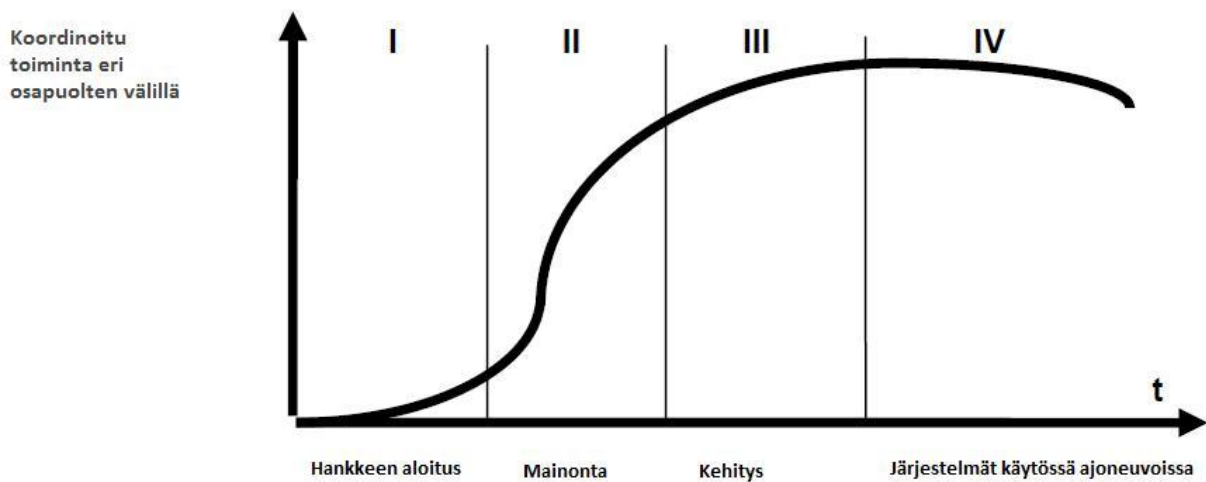
Pelkästään älykkäitä tukitoimintoja ja liikennevälineitä koskevaa lainsäädäntöä ei vielä ole, vaan aiheen puitteissa sovelletaan kansallisia liikennelakeja ja -sääntöjä. Esimerkiksi määräykset turvavälin pituudesta koskevat yhtä lailla ajoneuvoja, joissa on mukautuva vakionopeuden säädin kuin ajoneuvoja ilman sitä. Jos kuljettaja valitsee pienemmän turvavälin kuin järjestelmä ehdottaa, on vastuu mahdollisessa vaaratilanteessa hänellä. Selkeän lainsäädännön puute saattaa kuitenkin hidastaa toimintojen kehitystä, koska järjestelmiä ei uskalleta kehittää eteenpäin eikä ajoneuvoja varustaa niillä mahdollisten ongelmatapausten pelossa. (Bishop 2005, s. 300 – 303.)

Lähtökohtana lainsäädännössä on, että kuljettaja tai ajoneuvon omistaja on vastuussa ajosuorituksesta ja rikkomuksista. Mikäli ajoneuvo on varustettu tukitoiminnoilla, on onnettomuustilanteessa mahdollisuus syyttää myös tuotetta ja sitä kautta valmistajaa. Jos kyseessä on järjestelmä, jonka toiminta perustuu pelkkään varoitukseen tai täydelliseen automaatioon, syyllinen on helpommin löydettävissä, kuin järjestelmällä, joka on jotain siltä väliltä. Ongelmatapauksissa tulee järjestelmän virheellisyys kyetä osoittamaan, jolloin vastuu kohdistuu yleensä joko valmistajalle tai suunnittelijalle. (Institute of Transportation Engineers ym. 2007, kpl 23.) Syiden löytäminen on hankalaa ja yleisesti on havaittavissa, että mitä huonommin tuote vastaa käyttäjän odotuksia sitä herkemmin valituskynnys madaltuu, vaikka tuote toimisikin täysin virheettömästi (Bishop 2005, s. 302).

Muita lainsäädäntöön liittyviä ratkaisemattomia kysymyksiä ovat yksityisyyden suoja ja tiedon käytön rajoittaminen. Käyttäjät saattavat kokea ajoneuvosta kerättävän tiedon loukkaavaan yksityisyyttä, jos heidät pystytään esimerkiksi jatkuvasti paikantamaan. Lainsäädännön avulla tulisikin kaikille osapuolille tehdä selväksi mitä tietoa saa kerätä ja

tulisiko se tehdä anonyymisti sekä missä tietoa voidaan käyttää hyväksi. (Institute of Transportation Engineers ym. 2007, kpl 23.)

Niin lainsäädäntöön kuin muuhunkin kehitystyöhön tarvitaan kaikkien osapuolten yhteistyötä ja jokaiselle toimijalle on osoitettavissa oma vastuualue (Kuva 15). Merkittävimmistä osallisista hallitusten tulisi keskittyä lainsäädäntöön, standardisointiin sekä erilaisiin kansallisiin ja kansainvälisiin kampanjoihin ja tietoisuuden levittämiseen. Mahdollisten kannustimien ja tukien jakaminen kuuluu pääosin myös hallituksille ja järjestöille. Viranomaisten ja tieoperaattorien on vastattava infrastruktuurin kehittämisestä sekä tiedon keruusta valmistajien ja teollisuuden keskittyessä koulutukseen ja laitteiden toteutukseen. Varsinainen tutkimustyö kuuluu laitoksille ja tutkimusorganisaatioille, jotka voivat toimia esimerkiksi erilaisten projektien tai yritysten alaisuudessa. (Zwinjenberg 2007.)



Kuva 15 Osapuolten välinen yhteistyö järjestelmäkehityksen eri osavaiheissa. (Muokattu lähteestä: Zwinjenberg 2007, kuva 2.5.)

## 6 Automaattiset ajoneuvot

### 6.1 Automatiikan kehitys

Suurin osa onnettomuuksista tapahtuu kuljettajan tekemän virheen takia. Liian hidas reagointi on karkeasti arvioiden syynä jopa joka toiseen onnettomuuteen. (Bishop 2005, s. 1.) Kuten edellisissä luvuissa on kuvattu, liikenneturvallisuutta pyritään parantamaan ajoneuvoihin asennettavien tukijärjestelmien avulla. Kehitys on kulkenut ensimmäisistä ajonvakautusjärjestelmistä pitkälle aina ajoneuvojen ja infrastruktuurin väliseen kommunikointiin saakka. Trendinä on havaittavissa pyrkiminen yhä pidemmälle vietyyn automatisointiin lopullisen päämäärän ollessa täysin automaattinen, älykkääseen toimintaan ja päätöksentekoon kykenevä ajoneuvo.

*Automaattinen ajoneuvo* on sensorien ja paikantimien avulla itsenäisesti liikkuva ja navigoiva ajoneuvo. Kuljettaja ei osallistu millään tapaa ajosuoritukseen eikä ajoneuvoa ohjata kaukosäätimillä, vaan ajoneuvo tekee itse omat päätökset ja reitinvalinnat ympäristöhavaintojensa perusteella. (Defence Advanced Research Projects Agency.) Automaattisten ajoneuvojen hyötynä nähdään ennen kaikkea liikenneturvallisuuden lisääntyminen havainnointikentän kasvaessa sekä liikenteen sujuvuuden parantuminen viiveaikojen hävitessä. Automatisointi olisi erityisen käyttökelpoinen rutiinijoihin, kuten työmatkoihin ja tavarakuljetuksiin. Automatisoinnin edellytyksenä on kuitenkin täydellinen toimintavarmuus, jotta ihmiset luottaisivat ajoneuvoihin kuten esimerkiksi hisseihin. (Bishop 2005, s. 225.)

Automaattisten ajoneuvojen kehitys alkoi jo 1950-luvulla älykkäitä maantiejärjestelmiä kehittämällä. Tutkimuksen painopiste on vaihtunut 2000-luvulle tultaessa yhä enemmän pelkkään ajoneuvotekniikkaan, jolloin itse tie on yhä passiivisemmassa roolissa. (Bishop 2005, s. 225 – 226.) Haasteena automatisoinnin kehitykselle pidetään ajoneuvon itsenäisen liikkumisen suunnittelua, mikä korostuu erityisesti vilkkaassa kaupunkiympäristössä. Liikkumisen tulee perustua algoritmeilla saatuihin reittivalintoihin. Koska kyseessä on ajoneuvo, jonka liikkumiseen vaikuttavat tietyt kinemaattiset ja dynaamiset rajoitukset, muuttuva ympäristö sekä havaintojen ja teknisten laitteiden epävarmuus, on algoritmien luonti vaativaa. Yksinkertaistettuna ideana on kyetä mallinnuksen avulla etsimään ajoneuvoa kuvaavalle pisteelle havaintoparametrien perusteella sopiva polku esteitä ilmentävien kiellettyjen alueiden välistä. Ajoneuvojen liikkumiselle on luotava luotettava tekniikka, joka huomioi aikadimension – vaihtuvat nopeudet ja liikkuvat esteet. (Fraichard 2000.)

Automatisoinnin laaja leviäminen tulee todennäköisesti tapahtumaan hitaasti askeleittain kuljettajien tukitoimintojen kehittymisen ja integroimisen myötä. Helppona lähtökohtana olisi ensin pelkästään automaattisille ajoneuvoille tarkoitettujen kaistojen rakentaminen. Niillä ajoneuvot voisivat kommunikoida keskenään ja kulkisivat tietokoneen hallinnassa alhaisilla nopeuksilla (Kuva 16). Kehityksen myötä voitaisiin rakentaa myös suuremmille nopeuksille

tarkoitettuja teitä. Lopulta tiet ja kadut muodostaisivat täydellisiä liikenneverkostoja, ja uusi infrastruktuuri olisi kehitetty palvelemaan vain automaattisia ajoneuvoja. Tulevaisuudessa automatisointi on varmasti jo arkipäivää, mutta ajoneuvot tulevat säilymään myös manuaalisesti ajettavina (Bishop 2005, s. 250 – 251). Tähän mennessä automatisointia on testattu erilaisissa tutkimusohjelmissa muun muassa rekoilla ja linja-autoilla (Bishop 2005, s. 227).



Kuva 16 Automaattisten ajoneuvojen välistä kommunikointia onnettomuustilanteessa. (Muokattu lähteestä: <http://www.swri.org/4org/d10/its/ivs/pdfs/DSRCPlatoon.pdf> 8.4.2010.)

## 6.2 Tutkimusprojekteja

Eurooppalaisessa *CHAUFFEUR-projektissa* havainnollistettiin järjestelmää, jossa rekat kulkivat jonossa seuraten toisiaan hyvin pienillä etäisyyksillä. Vain jonon ensimmäisessä rekassa oli kuljettaja. Muiden rekkojen jonossa pysyminen perustui ajoneuvojen väliseen kommunikointiin sekä edellä kulkevan rekan perässä olevien infrapunamerkkien havainnointiin. Automatisoinnin hyödyksi todettiin turvallisuuden ohella myös vähäisemmät ympäristövaikutukset sekä polttoainekulutus. (Bishop 2005, s. 233 – 234.) Vastaavaa jononmuodostusperiaatetta hyödynnettiin myös *CyberCars-projektissa*, jossa joukko täysin automatisoituja ajoneuvoja kulki taajamissa niille suunnitellulla tieverkostolla kuljettaen esimerkiksi turisteja. Tällainen konsepti sopisi erityisen hyvin vilkkaisiin ja ruuhkautuneisiin kaupunkeihin ja jopa kävelyvyöhykkeisiin, koska ajoneuvot liikkuvat matalilla nopeuksilla rajoitetuilla kapeilla alueilla, eivätkä valtaa tilaa esimerkiksi parkkeerauksella. (Bishop 2005, s. 245 – 247.)

Automaattisten ajoneuvojen kehitysohjelmien edellä kävijöinä voidaan kuitenkin pitää *DARPA Grand Challenge 2004 ja 2005* – sekä *DARPA Urban Challenge 2007* –ohjelmia. Konsepti on Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaation DARPA:n (Defense Advanced Research Projects Agency) kehittämä kilpailu. Osallistuvien joukkueiden tavoitteena on luoda täysin automaattinen ajoneuvo, joka selviää ennalta määrätystä reitistä virheettää tietyn ajan sisällä. Idea on lähtöisin tarkoituksesta kehittää sodassa käytettäviä ajoneuvoja itsenäisiksi vuoteen 2015 mennessä, jolloin ihmiset saataisiin pois taistelukentiltä. Yleisenä päämääränä



on samalla nopeuttaa automatisoinnin kehitystä kaikilla sen osa-alueilla järjestelmäintegroinnista ohjelmistolaitteisiin. Kaksi ensimmäistä kilpailua pidettiin autiomaassa, kun taas viimeinen, vuonna 2007 järjestetty kilpailu, käytiin kaupunkiympäristössä. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun automaattiset ajoneuvot kulkivat normaalin liikenteen seassa (Kuva 17). Reitti sisälsi muun muassa ohituksia, liikennevirtaan liittymistä, risteysajoa sekä parkkeerausta. Yhdentoista joukkueen autoista kuusi selvisi maaliin todistaen samalla automatisoidun kaupunkiajamisen olevan jo nykytodellisuutta. (Defence Advanced Research Project Agency.)



**Kuva 17 Darpa Urban Challenge 2007 käytiin kaupunkiympäristössä. (Lähde: [http://www.darpa.mil/grandchallenge/images/photos/high\\_res/IMG\\_3339\\_B.JPG](http://www.darpa.mil/grandchallenge/images/photos/high_res/IMG_3339_B.JPG) 20.2.2010.)**

## 7 Yhteenveto ja johtopäätelmät

Ajoneuvotekniikka on edennyt huimin harppauksin sen tuhatvuotisen kehityshistorian aikana. Liikkumisen vaivattomuus, nopeus ja itsenäisyys ovat taanneet ajoneuvoille muihin kulkumuotoihin nähden menestyksen, jolle ei näy loppua. Menestyksellä on kuitenkin myös varjopuolensa. Liikenteessä tapahtuvat onnettomuudet ja tieverkostoja kuormittavat ruuhkat kuuluvat yhteiskuntien suurimpiin huolenaiheisiin. 2000-luvulle tultaessa niin sanottu teknologian vallankumous on nähtävissä myös ajoneuvoissa, joissa passiivisesta turvallisuudesta on siirrytty yhä enemmän kohti aktiivista turvallisuutta uusien kuljettajalle tarkoitettujen tukijärjestelmien avulla.

Erilaisiin sensoreihin toimintansa perustavat järjestelmät laajentavat kuljettajan havainnointikenttää, ohjaavat oikeaan toimintaan riskitilanteissa ja ajoittain jopa osallistuvat ajosuoritukseen. Tukitoimintojen käytön tavoitteena on ennen kaikkea poistaa liikenteestä kuljettajan erehdyksestä ja reagoitiviiiveestä johtuvat vaaratilanteet sekä lisätä ennakoivia ajosuorituksessa. Kamera-, tutka- sekä laserteknologian rinnalle ovat nousseet satellittipaikannus ja langaton kommunikointi, jotka mahdollistavat yhä kokonaisvaltaisemman liikenteen hallinnan ja liikennevirtojen homogenoimisen.

Tavoiteltuihin tuloksiin pääseminen edellyttää kuitenkin laajamittaista tukitoimintojen käyttöä, mikä on tällä hetkellä utopistinen ajatus ihmisten tietämättömyys huomioon ottaen. Jo pelkkä käsite ”tukitoiminto” on monille käyttäjille vieras, ja viimeistään korkea hinta, epäluottamus teknologiaan saati sen toiminnan ymmärtäminen vievät ostohalukkuuden. Tukitoimintojen positiivisia vaikutuksia tulisikin tuoda julkisesti enemmän esille ja tehdä nämä luksusautoihin yhdistetyt laitteet koko kansan tuotteiksi. Ajoneuvokanta uudistuu niin hitaasti, että jos pelkän ajonvakautusjärjestelmän yleistymiseksi kului kymmenisen vuotta, niin jotta tukijärjestelmien ennustetut liikennevaikutukset toteutuisivat seuraavalla vuosikymmenellä, on kampanjointia huomattavasti tehostettava. Tukijärjestelmiä olisi syytä lähestyä kokonaisuutena, eikä koteloida niitä erillisiin ryhmiin, joilla on omat toimintatavoitteensa. Lähes kaikki järjestelmät lisäävät kuitenkin liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta helpottaen samalla ajosuoritusta ja tehostaen tiekapasiteetin käyttöä. Positiivisena sivuvaikutuksena on nykyään hyvä muistaa myös vaikutukset polttoaineen kulutukseen ja päästöihin.

Käyttäjiin kohdistuva promootio ja tukijärjestelmien tekninen kehitys luovat pohjaa automatiikan esiinmarssille. Automaattisten ajoneuvojen kehitys on vielä kesken ja niiden toimintavarmuutta on kasvatettava, mutta itsenäisesti suunnistavat ja liikkumistaan säätelevät ajoneuvot ovat tuskin kovin kaukana tulevaisuudessa. Automatisointi tulee olemaan kuljettajan tukitoimintojen kehityksen huippu. Tämä tarkoittaisi käytännössä liikennettä, joka toimisi täydellisellä tehokkuudella ja joustavuudella ilman yhtään onnettomuutta. Liikenne ilman yhtään onnettomuutta tuskin tulee koskaan toteutumaan, mutta nähtäväksi jää, kuinka tasapaino automatisoinnin ja manuaalisen ajonautinnon välillä saavutetaan.

## Lähdeluettelo

Aakre, A. & Appel, K. & Dörge, L. & Muskaug, R. & Storkitt, A. 2002. *Road Transport Informatics Terminology, Nordic Version*. [Verkkojulkaisu]. Raportti No 1:2002. S. 157. [Viitattu 5.3.2010]. Saatavilla: <http://www.nvf53.org/terminology/download/NVF-ITS-Terminology-2002-Nordic.pdf>. ISSN 0347-2485 (painettu).

Andres, M. & Bloecher, H. L. & Dickmann, J. 2009. *Automotive active safety & comfort functions using radar*. Teoksessa: Alireza, A. Ultra-Wideband, 2009. ICUWB 2009. IEEE International Conference on. Vancouver, BC. 9-11.9.2009. Vancouver: IEEE societies. S. 490-494. ISBN 978-1-4244-2930 (painettu). (DOI 10.1109/ICUWB.2009.5288790).

Bagubali, A. & Kavitha, K. V. N. & Shalini, L. 2009. *V2V Wireless Communication Protocol for Rear-end Collision Avoidance on Highways with Stringent Propagation Delay*. Teoksessa: Advances In Recent Technologies in Communication and Computing, 2009. ARTCom '09. International Conference On. Kottayam, Kerala, India. 27-28.19.2009. IEEE Computer Society. S. 661-663. ISBN 978-1-4244-5104-3 (painettu). (DOI 10.1109/ARTCom.2009.173).

Bishop, R. 2000. *A Survey Of Intelligent Vehicle Applications Worldwide*. Teoksessa: Intelligent Vehicles Symposium, 2000. IV 2000. Proceedings of the IEEE. Dearborn, MI, USA. 3-5.10.2000. USA: IEEE Intelligent Transportation Systems Council. S. 25–30. ISBN 0-7803-6363-9 (painettu). (DOI 10.1109/IVS.2000.898313).

Bishop, R. 2005. *Intelligent Vehicle Technology and Trends*. Norwood, MA: Artech House, INC. S. 344. ISBN 1-58053-911-4.

Bishop, R. 2009. *Intelligent Vehicles: A Global Perspective*. [Viitattu 5.4.2010]. Saatavilla: <http://www.intelligent-vehicle.com/images/upload/file/IVTT%20Proceedings%202009/Presentation%2020%20Bishop%20Intelligent%20Vehicles%20Global%20Perspective.pdf>.

BMW Group Suomi. *BMW 7-sarja, hinnasto 1.3.2010*. [Viitattu 4.3.2010]. Saatavilla [http://www.bmw.fi/fi/fi/insights/prices/price\\_list.html](http://www.bmw.fi/fi/fi/insights/prices/price_list.html).

Chakole, M. B. & Dorle, S. S. & Keskar, A. G. & Mundewadikar, R. S. 2008. *Intersection Collision Detection and Warning Protocol: Design Approach*. Teoksessa: Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008. ICETET '08. First International Conference on. Nagpur, Maharashtra. 16-18.7.2008. S. 869-872. ISBN 978-0-7695-3267-7 (painettu). (DOI 10.1109/ICETET.2008.50)

Connolly, C. 2009. *Driver assistance systems aim to halve traffic accidents*. Sensor Review. [Verkkolehti]. Vol. 29:1. S. 13-19. [Viitattu 29.1.2010]. Saatavissa:

<http://www.emeraldinsight.com.libproxy.tkk.fi/Insight/viewContentItem.do?contentType=Article&contentId=1768982>. DOI 10.1108/02602280910926715.

Defense Advanced Research Projects Agency. *Darpa Urban Challenge*. [Viitattu 20.3.2010]. Saatavilla: <http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp>.

Europa. *Road safety: Road Safety Action Programme (2003 – 2010)*. [Viitattu 20.1.2010]. Saatavilla: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/motor\\_vehicles/technical\\_implications\\_road\\_safety/124257\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/technical_implications_road_safety/124257_en.htm).

European Commission Information Society and Media. *CVIS Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*. [Viitattu 8.3.2010]. Saatavilla: <http://www.cvisproject.org/>.

European Commission Information Society and Media. 2007. *i2010: Intelligent Car*. [Verkkojulkaisu] Belgium, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. S. 20. [Viitattu 1.3.2010]. Saatavilla: [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/intelligentcar/docs/icar/intelligent\\_car.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/docs/icar/intelligent_car.pdf). ISBN 978-92-79-05551-5 (painettu)

Europe's Information Society. *Intelligent Car Initiative*. [Viitattu 2.2.2010]. Saatavilla: [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/intelligentcar/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/index_en.htm).

Europe's Information Society. *eSafety*. [Viitattu 27.2.2010]. Saatavilla: [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/esafety/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/index_en.htm).

Flament, M. & Irion, J. & Kessel, T. & Mäkinen, T. & Schulze, M. 2008. *IP Prevent Final Report*. [Verkkojulkaisu]. Versio 1.6. S. 198. [Viitattu 27.2.2010]. Saatavilla: [http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP\\_Level/PR-04000-IPD-080222-v15\\_PReVENT\\_Final\\_Report\\_Amendments%206%20May%202008.pdf](http://www.prevent-ip.org/download/deliverables/IP_Level/PR-04000-IPD-080222-v15_PReVENT_Final_Report_Amendments%206%20May%202008.pdf).

Fraichard, T. 2000. *Motion Planning for Autonomous Car-like Vehicles*. [Viitattu 20.3.2010]. Saatavilla: [http://www.ercim.eu/publication/Ercim\\_News/enw42/fraichard.html](http://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw42/fraichard.html).

Freymann, R. 2006. *The Role Of Driver Assistance Systems in a Future Traffic Scenario*. Teoksessa: Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2006 IEEE. Munich, Germany, 4-6.10.2006. Omnipress. S. 2269-2274. ISBN 0-7803-9797-5 (painettu). (DOI 10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4776993).

Girard, A. P. & Hedrick, J. K. & Spry, S. 2005. *Intelligent cruise control applications: real-time embedded hybrid control software*. Robotics & Automation magazine. [Verkkolehti].

Vol. 12:1. S. 22-28. [Viitattu 24.2.2010]. DOI 10.1109/MRA.2005.1411415. ISSN 1070-9932.

Hedrick, J. K. & Li, K. & Misener, J. M. & Tan, H.-S. 2008. *Digital map as virtual sensor – dynamic road curve reconstruction for a curve speed assistant*. *Vehicle Systems Dynamics*. [Verkkolehti]. Vol. 46:12. S. 1141-1158. [Viitattu 5.3.2010]. DOI 10.1080/00423110701837110.

Hyung, G. P. & Jae, H. R. & Man, H.L. & Seong, M. Y. 2008. *Lateral control of obstacle avoidance for an autonomous vehicle with laser scanner*. Teoksessa: *Industrial Electronics, 2008. ISIE 2008. IEEE International Symposium on*. Cambridge. 30.6.-2.7.2008. S. 1015-1019. ISBN 978-1-4244-1665-3 (painettu). (DOI 10.1109/ISIE.2008.4677227).

Indrawan, M. & Licheng, C. & Salim, F. D. & Seng, W. L. 2008. *Road Intersections as Pervasive Computing Environments: Towards a Multiagent Real-Time Collision Warning System*. Teoksessa: *Pervasive Computing and Communications, 2008. PerCom 2008. Sixth Annual IEEE International Conference on*. Hong Kong. 17-21.3.2008. IEEE Computer Society. S. 621-626. ISBN 978-0-7695-3113-7 (painettu). (DOI 10.1109/PERCOM.2008.72)

Institute of Transportation Engineers & Intelligent Transportation Systems Joint Program Office of the U.S. Department of Transportation & ITS America & The Center for Advanced Transportation Technology at the University of Maryland. 2000. *Intelligent Transportation Primer*. Washington, D.C.: Institute of Transportation Engineers. ISBN 0-935403-45-0.

Isogai, A. & Lindner, P. & Takagi, K. & Richter, E. & Wanielik, G. 2009. *Multi-channel lidar processing for lane detection and estimation*. Teoksessa: *Intelligent Transportation Systems, 2009. ITSC '09. 12th International IEEE Conference on*. St. Louis, Missouri, USA. 4-7.10.2009. IEEE Intelligent Transportation Society. S. 1-6. ISBN 978-1-14244-5519-5 (painettu). (DOI 10.1109/ITSC.2009.5309704).

ISO/TC 204. 2008. *Draft Business Plan*. [Verkkójulkaisu]. Versio 1. S. 58. [Viitattu 17.3.2010]. Saatavilla: [http://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/138483/138484/947504/ISO\\_TC204\\_Draft\\_Business\\_Plan.pdf?nodeid=7999891&vernum=0](http://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/138483/138484/947504/ISO_TC204_Draft_Business_Plan.pdf?nodeid=7999891&vernum=0).

ITS Finland. 2006. *Valitse älykäs liikenne*. [Verkkójulkaisu]. 6/2006. S.16. [Viitattu 20.1.2010]. Saatavilla: <http://www.its-finland.fi/ITFinland20066Valitsealykasliikenne.pdf>. ISSN 1795-0953. ISBN 952-5585-05-X.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2010. *Kansallinen älyliikenteen strategia*. [Verkkójulkaisu]. Ohjelmia ja strategioita 5/2009. S. 40. [Viitattu 20.1.2010]. Saatavilla: [http://www.lvm.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=440554&name=DLFE-](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=440554&name=DLFE-)

[9889.pdf&title=Ohjelmia%20ja%20strategioita%205-2009](#). ISSN 1795-4037 (sähköinen)  
ISSN 1457-747X (painettu).

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2004. *Apua telematiikasta - 20 ratkaisua liikenteen ongelmiin*. [Verkkajulkaisu]. S. 25. [Viitattu 10.4.2010]. Saatavilla: [http://its-finland.fi/Apua\\_telematiikasta\\_julkaisu\\_LVM2004.pdf](http://its-finland.fi/Apua_telematiikasta_julkaisu_LVM2004.pdf).

Lind, G. 2008. *eIMPACT – Benefits and Costs of Intelligent Vehicle Safety Systems in Europe*. [Verkkajulkaisu] S. 16. [Viitattu 15.3.2010]. Saatavilla: <http://www.ivss.se/templates/Page.aspx?id=204>.

Lindner, P. & Wanielik, G. & Weigel, H. 2009. *Vehicle tracking with lane assignment by camera and lidar sensor fusion*. Teoksessa: Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE. Xi'an. 3-5.6.2009. S. 513-520. ISSN 1931-0587. (DOI 10.1109/IVS.2009.5164331).

Liu, J.-F. & Su, Y.-F. & Wu, J.-H. 2007. *Development of an Interactive Lane Keeping Control System for Vehicle*. Teoksessa: Proceedings of the 2007 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Arlington, Texas, USA. 9-12.9.2007. S. 702-706. ISBN 978-0-7803-9760-6 (painettu). (DOI 10.1109/VPPC.2007.4544214).

Pacejka, H. B. & Pauwellussen, J. P. 1995. *Smart vehicles*. Lisse, the Netherlands: Swets & Zeitlinger B. V. S. 470. ISBN 90-265-1456-5.

Pilutti, T. 2009. *Connecting Collision Avoidance Driver Support and Autonomous Vehicle Systems*. [Viitattu 4.3.2010]. Saatavilla: <http://www.intelligent-vehicle.com/images/upload/file/IVTT%20Proceedings%202009/Presentation%2011%20Pilutti%20Autonomous%20Vehicles%20And%20Collision%20Avoidance.pdf>.

Sukuvaara, T. 2007. *Carlink – langaton autojen välinen tietoverkko*. [Viitattu 3.3.2010]. Saatavilla: [http://www.its-finland.fi/Sukuvaara\\_IL071030.pdf](http://www.its-finland.fi/Sukuvaara_IL071030.pdf).

The international BMW website. *Active Cruise Control*. [Viitattu 29.1.2010]. Saatavilla: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/active\\_cruise\\_control.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/active_cruise_control.html).

The International BMW website. *Active Cruise Control with Stop & Go function*. [Viitattu 29.1.2010]. Saatavilla: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/active\\_cruise\\_control\\_stop\\_go.html?content\\_type=&source=/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/active\\_cruise\\_control.html&article=active\\_cruise\\_control\\_stop\\_go](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/active_cruise_control_stop_go.html?content_type=&source=/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/active_cruise_control.html&article=active_cruise_control_stop_go).

Tilastokeskus. *Tieliikennekuolemien määrä laski 10 prosenttia vuonna 2008*. [Viitattu 20.1.2010]. Saatavilla: [http://www.stat.fi/til/ton/2008/ton\\_2008\\_2009-06-11\\_kat\\_001.html](http://www.stat.fi/til/ton/2008/ton_2008_2009-06-11_kat_001.html).

VTT. *VTT selvitti ajoneuvojärjestelmien turvallisuusvaikutuksia*. [Viitattu 15.3.2010].  
Saatavilla: <http://www.vtt.fi/uutta/2008/20081008.jsp>.

VTT. 2008. *IP\_D12/D16.4 Project final report and recommendations for future assessments*.  
[Verkojulkaisu] Versio 1.10. S. 97. [Viitattu 16.3.2010]. Saatavilla: [http://prevent-ip.org/download/deliverables/PReVAL/PR-16000-SPD-070208-v11-D16\\_4\\_Final\\_Report.pdf](http://prevent-ip.org/download/deliverables/PReVAL/PR-16000-SPD-070208-v11-D16_4_Final_Report.pdf).

Wang, C. & Xu, H. & Yang, M. & Yang, R. Q. 2009. *Magnetic Sensing System Design for Intelligent Vehicle Guidance*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. [Verkkolehti].  
Vol. PP:99. S. 1-5. [Viitattu: 5.3.2010]. ISSN 1083-4435. (DOI 10.1109/TMECH.2009.2029572).

Zwinjnberg, H. 2007. *Benchmarking study on activities in promoting and deploying Intelligent Vehicle Safety Systems in the EU*. [Verkojulkaisu]. S. 75. [Viitattu 17.3.2010].  
Saatavilla:  
[http://ec.europa.eu/information\\_society/newsroom/cf/itemlongdetail.cfm?item\\_id=3722](http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/itemlongdetail.cfm?item_id=3722).