



Onnettomuustietorekisterin
hyödyntäminen tieliikenteen
automatisaation turvallisuuden tutkimuksessa

2018

www.oti.fi



Onnettomuustietoinstituutti (OTI)
Raportin on laatinut Roni Utriainen



9.3.2018

Raportin on laatinut Roni Utriainen.

Julkaisija

Onnettomuustietoinstituutti
Liikennevakuutuskeskus

Itämerenkatu 11-13
00180 Helsinki

p. 040-450 4666

Tietoja lainattaessa lähde on mainittava.

ISBN 978-952-5834-79-6 (verkkójulkaisu .pdf)

Alkusanat

Automatisoidun ajon mahdollistavien edistyneiden kuljettajan tukijärjestelmien yleistymisen autokannassa edistää liikenneturvallisuutta, mutta Suomen näkökulmasta aihealueessa on vielä paljon tutkittavaa. Tutkimuksen aihe tunnistettiin kiinnostavaksi tutkimusalueeksi Tampereen teknillisen yliopiston Liikenteen tutkimuskeskus Vernessä lehtori Markus Pölläsen ja tutkija Roni Utraiasen välisten keskustelujen perusteella vuonna 2017. Raportin laatimisesta on vastannut Roni Utriainen, joka sai tutkimukseen Onnettomuustietoinstituutti OTIn myöntämän liikenneturvallisuustutkimuksen apurahan. Tutkimuksessa tehty onnettomuustietorekisterin analysointi ajoneuvojen automatisoitumisen kannalta ja tämän perusteella tehdyt kehitysehdotukset ovat OTIa kiinnostavia teemoja.

Tutkimuksen tekijä haluaa kiittää erityisesti OTIn liikenneturvallisuuspäällikkö Esa Rätystä raportin kommentoinnista ja avusta aineiston käsittelyssä. Kiitos myös liikennevakuutuskeskuksen tietovarastoinnin asiantuntijalle Timo Karille aineiston kokoamisesta tutkimuskäyttöön. Kiitos myös Markus Pölläselle avusta tutkimuksen suunnittelussa ja raportin kommentoinnista.

Helmikuussa 2018 Tampereella

Roni Utriainen

Tiivistelmä

Edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävät ajoneuvot yleistyvät tieliikenteessä. Autoissa yleistyvät järjestelmät, kuten mukautuva nopeudensäädin, automaattijarrutus ja kaistalla pysymisen avustin, mahdollistavat yhdessä automatisoidun ajon rajatuissa olosuhteissa kuljettajan ollessa kuitenkin vastuussa ajotoiminnoista. Automaattiautojen keskeisimpänä hyötynä pidetään onnettomuuksien vähenemistä, mutta kuljettajaa tukevien järjestelmien ja eri automaatiotasojen todellisista turvallisuusvaikutuksista tarvitaan lisää tutkimusta Suomen olosuhteet huomioiden.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty, mitä tietoja liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien raportointiin tietoihin perustuvasta onnettomuustietorekisteristä on saatavilla tieliikenteen automatisoitumisen turvallisuustutkimukseen. Ensimmäin selvitettiin, mistä automatisoidun ajon kannalta keskeisistä laitteista on saatavilla tietoa onnettomuustietorekisteristä. Rekisterin sisältämien tietojen perusteella tutkittiin, kuinka paljon kuolemaan johtaneita onnettomuuksia on tapahtunut edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntäville ajoneuvoille. Lisäksi tutkijalautakuntien raportointia riskejä ja parannusehdotuksia vertailtiin automatisaation etenemisen oletettuihin hyötyihin.

Edistyneiden tukijärjestelmien yleistyessä onnettomuuksia pitäisi tapahtua suhteessa vähemmän, mikäli järjestelmien turvallisuusvaikutukset ovat positiivisia. Toistaiseksi edistyneitä tukijärjestelmiä hyödyntäviä ajoneuvoja on melko vähän Suomen autokannassa, joten onnettomuuksiakin on tapahtunut vähän. Osittaisen automaation mahdollistava automaatiotason 2 ajoneuvo on ollut osallisena yhdessä ja kuljettajan toimintoja tukeva automaatiotason 1 ajoneuvo on ollut osallisena kahdeksassa kuolemaan johtaneessa moottoriajoneuvo-onnettomuudessa Suomessa vuosina 2015–2016. Alustavan tiedon mukaan onnettomuuksien tapahtuminen ei riippunut käytössä olleista järjestelmistä, sillä onnettomuudet tapahtuivat järjestelmien toiminta-alueen ulkopuolella. Kuljettajaa tukevien järjestelmien toiminnassa olemisesta ja käyttöön liittyvistä rajoituksista onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa ei ole kuitenkaan aina tietoa saatavilla.

Nyt autokannassa yleistyvien järjestelmien odotetaan parantavan turvallisuutta, mutta ne eivät pysty ehkäisemään kaikkia ihmiskuljettajan toiminnasta johtuvia onnettomuuksia (esim. sairauskohtauksesta aiheutuvat ja tietoisesti aiheutetut onnettomuudet). Kuljettajan toiminnasta tai terveystilasta johtuvien riskien kokonaan poistaminen on mahdollista ainoastaan täysin ilman ihmiskuljettajaa toimivien korkean tai täyden automaation ajoneuvoissa. Tällöin vastuu ajotoiminnoista on ihmiskuljettajan sijaan järjestelmällä.

Onnettomuustietorekisteri on ainutlaatuinen aineisto tutkia automatisoidun ajon mahdollistavien järjestelmien toimintaa onnettomuustilanteissa. Teknologian kehittyessä onnettomuustietorekisteriin kerättäviä tietoja on jatkuvasti päivitettävä ja tutkijalautakuntien jäseniä koulutettava uusista järjestelmistä toiminnan yhtenäistämisen varmistamiseksi. Automatisoituva tieliikenne muuttaa onnettomuustutkimuksen painopistettä enemmän kuljettajan toiminnan tutkinnasta laitteiden ja järjestelmien tutkintaan. Tässä tutkimuksessa tehdyn selvityksen pohjalta edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuuksia voidaan jatkossa tarkastella vuositasolla automatisaation yleistymisen ja kehittymisen seuraamiseksi.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kuljettajan tukijärjestelmät ja automaation tasot.....	3
3	Kuljettajan tukijärjestelmien vaikuttavuus	5
4	Kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuudet.....	8
4.1	Onnettomuusaineistojen hyödyntäminen.....	8
4.2	Aineiston kuvaus	8
4.3	Aineiston analyysi.....	10
5	Automaattiautojen turvallisuuspotentiaali	15
6	Onnettomuustietorekisterin kehittäminen automaattiautojen yleistymisen huomioiden	17
7	Yhteenveto ja päätelmät.....	19
	Lähteet.....	22

Määritelmiä ja käsitteitä

Automaation tasot/ SAE International Standard J3016. Määritelmien yhtenäistämiseksi on luotu kuusiportainen (tasot 0–5) järjestelmä tieliikenteen automaation eri tasoista.

Automaattiauto (myös automaattiajoneuvo). Ajoneuvo, jonka järjestelmä ohjaa ja hidastaa/kiihdyttää rajatussa liikennenympäristössä, mutta kuljettaja on vastuussa ajamisen toiminnoista. Onnettomuustietorekisterissä automatisoitu ajo –toiminto on merkitykseltään vastaava kuin automaatiotason 2 ajoneuvo.

Autonominen auto. Ajoneuvo, joka suoriutuu ajamisesta täysin ilman kuljettajaa lähes kaikissa liikennenympäristöissä. Ajoneuvo ei ole yhteydessä muihin ajoneuvoihin tai infrastruktuuriin.

Edistynyt kuljettajan tukijärjestelmä (Advanced Driver Assistance System). Järjestelmä, joka kykenee avustamaan kuljettajaa ajoneuvon ohjaamisessa, hidastamisessa ja/tai kiihdyttämisessä.

Onnettomuustietorekisteri. Onnettomuustietoinstituutin ylläpitämä onnettomuusaineisto tutkijalautakuntien tutkimista onnettomuuksista.

Taustalla vaikuttanut riskitekijä. Selittää välittömän riskin syntyä mahdollistamalla sen, esim. väsymys.

Turvallisuuden parannusehdotus. Tutkijalautakunnan laatima ehdotus tutkinnan kohteena olevan onnettomuuden ehkäisemiseksi tai seurausten lieventämiseksi tulevaisuudessa.

Verkottunut ajoneuvo. Ajoneuvo on langattomasti yhteydessä toisiin ajoneuvoihin ja/tai infrastruktuuriin.

Välitön riskitekijä. Vaikuttaa aktiivisesti onnettomuuden syntyyn, esim. nukahtaminen tai virheellinen ajolinja.

1 Johdanto

Tieliikenteen arvioidaan olevan suurelta osin automatisoitua 2050-luvulla (Litman 2017). Tarvittava teknologia on jo nyt lähes olemassa, ja useat autovalmistajat ja teknologiayritykset tavoittelevat automatisoidun ajoneuvon tuomista markkinoille 2020-luvulla (KPMG 2015). Kysymykset liittyen automatisoitujen ajoneuvojen turvallisuuteen, kustannuksiin, lainsäädäntöön ja käyttäjien hyväksyntään viivästyttänevät kuitenkin laajamittaisempaa automatisaation etenemistä. Nopeimmillaan korkean automaatiotason tieliikenteen voi arvioida olevan mahdollista jo ensi vuosikymmenellä. Tulevina vuosikymmeninä tieliikenteessä on oletettavasti tasoltaan erilaisia automaattiajoneuvoja ja myös ei-automatisoituja ajoneuvoja, ja kuljettajat ovat yhä vastuussa ajoneuvon hallinnasta monissa ajoneuvoissa ja erilaisissa liikennetilanteissa.

Uusissa autoissa on jo monia kohti automatisoitua ajamista vieviä järjestelmiä. Edistyneet kuljettajaa tukevat järjestelmät (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) kuten mukautuva nopeudensäädin, kaistalla pysymisen avustin ja automaattijarrutus muodostavat yhdessä esiasteen automaattiajoneuvon, mutta kuljettaja on alkuvaiheessa vastuussa ajoneuvon kuljettamisesta. Toistaiseksi tietoja useimmista kuljettajan tukijärjestelmistä ei rekisteröidä Suomen ajoneuvokantaa käsittäviin tietoihin, vaikka tukijärjestelmien yleisyydestä olisi tärkeää saada tietoa mm. turvallisuuden kehittymisen seuraamisen kannalta (Luoma, 2017). Tutkijalautakuntatoiminnan myötä Onnettomuustietoinstituutin (OTI) onnettomuustietorekisteristä on saatavilla tietoa onnettomuuksissa osallisena olleiden ajoneuvojen automatisoidun ajamisen mahdollistavista laitteista ja järjestelmistä. Rekisteröinti ei kuitenkaan sisällä kaikkia tarpeellisia laitteita, ja automatisoitujen ajoneuvojen järjestelmät kehittyvät nopeasti tulevina vuosina.

Tieliikenteen automatisaation kehittyessä tarvitaan enemmän tutkimustietoa uusien tukijärjestelmien turvallisuusvaikutuksista ja niiden yleistymisestä. Myös autot automaation tasoilla 1–3 (SAE International Standard J3016, kts. luku 2) voivat hyödyntää useita kuljettajaa tukevia järjestelmiä, joten onnettomuusaineistoja voidaan oikein kehitettynä hyödyntää automaattiautojen turvallisuuden tutkimuksessa automatisaation ja sen mahdollistavien järjestelmien vähitellen edetessä ja yleistyessä. Automatisaation kehittyessä turvallisuuden oletetaan parantuvan, mutta kuljettajaa tukevien järjestelmien yleistymisestä ja osallisuudesta vakaviin onnettomuuksiin on toistaiseksi vain vähän tutkimusta Suomessa.

Onnettomuusaineistoa automaattiautojen onnettomuuksista on vähän, sillä kuljettajaa tukevat järjestelmät ovat vasta yleistymässä. Automatisaation toisaalta odotetaan vähentävän onnettomuusmääriä, joten korkean automaation ajoneuvoille onnettomuuksia odotetaan tapahtuvan vähemmän. Tutkimuksessa tarkastellaan edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien moottoriajoneuvojen onnettomuuksia OTIn onnettomuustietorekisteristä. Järjestelmien turvallisuusvaikutuksia ja yleistymistä autokannassa selvitetään kirjallisuustutkimuksella. Tutkimuksessa vastataan seuraaviin kysymyksiin:

- Minkälaisia turvallisuusvaikutuksia automaatiotason 2 mahdollistavilla keskeisimmillä edistyneillä tukijärjestelmillä on ja miten yleisiä järjestelmät ovat Suomen autokannassa?
- Mitä tieliikenteen automatisaation etenemiseen liittyvien ja automaattiautojen toiminnan edellyttämien järjestelmien tietoja rekisteröidään onnettomuusaineistoihin ja miltä aikaväliltä tietoa on saatavilla?
 - Kuinka paljon edistyneitä tukijärjestelmiä hyödyntäville moottoriajoneuvoille on tapahtunut onnettomuuksia?
- Miten tutkijalautakuntien turvallisuuden parannusehdotukset ja automaattiajoneuvojen kehitys kohtaavat?
- Mitä automatisaation etenemisen kannalta keskeisiä laitteita ja järjestelmiä olisi tarpeellista rekisteröidä?

Tutkimuksessa muodostetaan ensimmäinen nykytilannekuvaus edistyneitä tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen kuolemaan johtaneista onnettomuuksista Suomessa. Onnettomuusmäärien ja tutkimukseen sisältyvän järjestelmien turvallisuusvaikutusten ja yleistymisen selvittämisen perusteella tarkastellaan keskeisimpien tukijärjestelmien vaikuttavuutta. Edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntäville ajoneuvoille onnettomuuksia on tapahtunut vähän, joten yksittäisten turvalaitteiden tai eri automaatiotasojen turvallisuusvaikutuksia ei ole

mahdollista tutkia onnettomuusaineistosta. Turvallisuusvaikutuksia selvitetään kirjallisuustutkimuksella. Nykytilanteen kuvauksen perusteella mahdollistetaan onnettomuuksien määrän kehittymisen seuraaminen tukijärjestelmittäin ja automaatiotasoin, esimerkiksi vuositasolla. Lisäksi annettavat suositukset voivat auttaa tunnistamaan tarpeita, jotka liittyvät esimerkiksi kerättäviin tietoihin. Tutkimuksessa tunnistetaan onnettomuusaineistoon rekisteröitäviä turvalaitteita, jotka ovat keskeisiä tieliikenteen automatisaation kannalta. Tutkimuksen aineistona käytetään OTIn onnettomuustietorekisterin muuttujia, jotka perustuvat liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien raportoimiin tietoihin.

Turvallisuustutkimusta on kannattavaa kohdentaa kuljettajaa tukeviin järjestelmiin, sillä niiden odotetaan parantavan huomattavasti liikenneturvallisuutta ehkäisemällä onnettomuuksia tai lieventämällä niiden seurauksia (Sander 2017). Tällaiset ajoneuvoperustaiset älykkäät turvajärjestelmät voivat myös lähettää ilmoituksen hätäkeskukseen ajoneuvolle tapahtuneesta onnettomuudesta (esim. eCall, automaattinen hätäpuhelu) ja integroida ajoneuvon sisäisiä järjestelmiä tai ympäristössä olevia ulkoisia järjestelmiä turvallisuuden parantamiseksi (verkottuneet ajoneuvot). Kaikkia tukijärjestelmiä ei kuitenkaan kehitetä turvallisuuden parantamiseksi, sillä joidenkin laitteiden tarkoituksena on ajomukavuuden parantaminen. (European Commission 2016)

Erilaiset automaatiotasot määritellään tarkemmin luvussa 2. Luvussa 3 tarkastellaan automatisoitumisen kannalta keskeisten kuljettajan tukijärjestelmien vaikuttavuutta. Onnettomuusaineistojen hyödyntämistä ja tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuuksia tarkastellaan luvussa 4. Luvussa 5 tarkastellaan automaattiautojen turvallisuuspotentiaalia ja luvussa 6 esitetään kehitysehdotuksia onnettomuustietorekisteriin kerättäviin tietoihin ja tutkijalautakuntien toimintaan. Tutkimuksen yhteenveto ja päätelmät esitetään luvussa 7.

2 Kuljettajan tukijärjestelmät ja automaation tasot

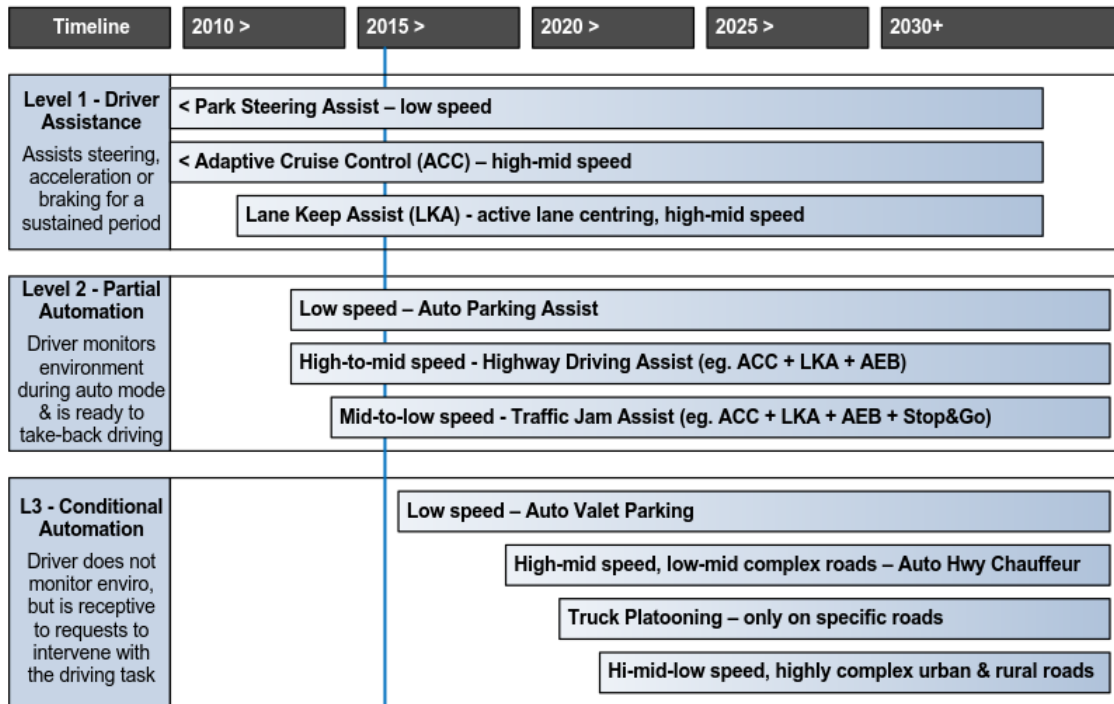
Tutkimuksessa tarkastellaan sellaisia kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa osallisia ajoneuvoja, jotka hyödynsivät edistyneitä kuljettajaa tukevia järjestelmiä tai automatisoidun ajamisen mahdollistavia järjestelmiä. Esimerkki tarkasteltavasta tukijärjestelmästä on mukautuva nopeudensäädin, joka nopeutta säätelemällä säilyttää säädetyn aikaetäisyyden edellä liikkuvaan ajoneuvoon. Sen sijaan lukkiutumattomia jarruja ei esimerkiksi tarkastella tässä tutkimuksessa, sillä tarkoitus on tutkia autokannassa suhteellisen uusia ns. edistyneitä tukijärjestelmiä (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS), jotka mahdollistavat automatisoidun ajamisen yhdessä muiden tukijärjestelmien kanssa. Taulukossa 1 on kuvattu tukijärjestelmiä ja automaattiajamisen ajotoimintoja automaatiotasoin.

Taulukko 1. Edistyneet kuljettajan tukijärjestelmät ja niiden mahdollistamat automaattisen ajamisen toiminnot automaatiotasoin (Innamaa et al. 2015; Logan et al. 2017; SAE International Standard J3016).

	Taso 0 Ei automaatiota	Taso 1 Kuljettajan tuki	Taso 2 Osittainen automaatio	Taso 3 Ehdollinen automaatio	Tasot 4-5 Korkea automaatio
Järjestelmät	Esim. kaistavahti, kuolleen kulman havainnointi	Esim. mukautuva nopeudensäädin	Mukautuva nopeudensäädin, automaattijarrutus, kaistalla pysymisen avustin	Järjestelmät kehittyneempiä ja mahdollisesti verkottuneita	Verkottuneet ajoneuvot
Automatisoidut ajotoiminnot	Järjestelmä voi antaa varoituksia	Ohjaamista tai hidastamista/ kiihdyttämistä tukevia toimintoja	Ohjaaminen ja hidastaminen/ kiihdyttäminen yksinkertaisessa ympäristössä: moottoritieajon tuki, ruuhka-avustin	Moottoritieajo, ajaminen ruuhkassa,	Kaupunkiajo, automaattipysäköinti
Vastuu ajamisesta	Kuljettaja	Kuljettaja	Kuljettaja	Kuljettaja/ järjestelmä	Järjestelmä (kuljettajaa ei tarvita)

Eri tasoisten automaatiojärjestelmien standardoimiseksi on luotu kuusiportainen (tasot 0–5) tasoluokitus (katso SAE International Standard J3016), jossa tasolla 0 tarkoitetaan perinteistä, ei automaatiota sisältävää ajoneuvoa ja tasolla 5 tarkoitetaan täysin automatisoitua ajoneuvoa, jolloin kuljettajaa ei tarvita. **Automaatiotasolla 1 järjestelmä avustaa** ajoneuvon ohjaamisessa (esim. kaistalla pysymisen avustin) tai hidastamisessa ja kiihdyttämisessä (esim. mukautuva nopeudensäädin). **Tasolla 2 molemmat dynaamiseen ajamiseen liittyvät toiminnot ovat käytössä**, jolloin järjestelmä esimerkiksi pystyy ruuhka-ajossa säilyttämään aikaetäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon. **Tasolla 3 järjestelmä selviytyy yksinkertaisista liikenneympäristöistä** kuten moottoritieillä ajamisesta, mutta esim. liittymissä kuljettajan on otettava ajoneuvo täysin hallintaansa. Tasolla 3 vastuu ajamisesta kuljettajan ja järjestelmän välillä on vaikeasti määriteltävissä, minkä vuoksi jotkin ajoneuvovalmistajat aikovat jättää automaatiotasoon 3 väliin tuotannossaan (katso esim. Volvo 2017). **Tasolla 4 ja 5 järjestelmä on täysin vastuussa ajamisesta**, jolloin kuljettajaa ei tarvita ollenkaan. Korkean automaation ajoneuvo selviytyy lähes kaikista tai kaikista liikennetilanteista ja olosuhteista, sillä järjestelmät ovat kehittyneempiä ja oletettavasti verkottuneita ajoneuvojen ja infrastruktuurin välillä. Autonominen ajoneuvo ei ole kuitenkaan määritelmänsä mukaisesti verkottunut ajoneuvo, mutta edistyneessä teknologiassa verkottuneiden järjestelmien voidaan olettaa olevan käytössä ajotoimintojen tukemiseksi.

Kehittyneimmät kaupalliset automatisoidut ajoneuvot ovat tällä hetkellä tasolla 2 tai 3. Esimerkiksi Teslan autopilot-järjestelmä mahdollistaa automaattiajamisen moottoritieolosuhteissa valitsemalla ajonopeuden edellä olevan ajoneuvon mukaan, pysymällä kaistalla ja tarvittaessa kaistaa vaihtamalla. Lisäksi ajoneuvossa on automaattinen pysäköintitoiminto. (Tesla 2017) Automaatiotasoja 2 tai 3 hyödyntävät ajoneuvot ovat yleistymässä, mutta kuljettajaa avustavia järjestelmiä hyödyntäviä ajoneuvoja (taso 1) on jo oletettavasti huomattava määrä liikenteessä. Kuvassa 1 on havainnollistettu oletettua automatisaation kehitystä Australiassa.



Kuva 1. Automaation tasot 1-3 ja odotettu tieliikenteen automaation yleistymisen Australiassa (muokattu lähteestä Logan et al. 2017).

Automaatiotason 1 ajoneuvot ovat yleistyneet Australian tieliikenteessä 2010-luvulla. Tasolla 1 ajoneuvossa on esimerkiksi pysäköintiväline, mukautuva nopeudensäädin tai kaistalla pysymisen väline. Myös tason 2 ajoneuvoja on jo käytössä, jolloin järjestelmät vaikuttavat ajotoimintoihin moottoritie- tai ruuhka-ajosta. Järjestelmän ajaessa kuljettajan täytyy jatkuvasti havainnoida ympäristöä, jotta kuljettaja pystyy tarvittaessa ottamaan ajoneuvon hallintaansa. Tason 3 ajoneuvojen odotetaan yleistyvän 2020-luvulla. Tasolla 3 järjestelmät mahdollistavat ajamisen ilman kuljettajan ohjausta aiempia tasoja vaativimmissa liikennenympäristöissä kuten eri nopeuksilla ajamisen kaupunkiliikenteessä ja maaseutumaisilla teillä. Myös verkottuneet ajoneuvot mahdollistavat raskaan liikenteen jonossa ajon (platooning) järjestelmävaatimusten mukaisilla teillä.

3 Kuljettajan tukijärjestelmien vaikuttavuus

Kuljettajan tukijärjestelmien ja edistyneemmän automaation mahdollistavien järjestelmien turvallisuusvaikutusten tutkinta vaatisi luotettavaa ja yksityiskohtaista dataa järjestelmien yleisyydestä autokannassa. Lisäksi tarvittaisiin tietoa, minkälaisissa ajotilanteissa järjestelmiä käytetään, mikäli kuljettaja voi vaikuttaa järjestelmän toiminnassa olemiseen. Lähderanta (2017) on koontanut suuntaa antavaa tietoa kuljettajan tukijärjestelmien yleistymisestä Suomen autokannassa, mutta aineiston tarkkuus ei mahdollista järjestelmien turvallisuusvaikutusten systemaattista analysointia.

Onnettomuusaineistot olisivat paremmin hyödynnettävissä automatisoidun ajamisen mahdollistavien järjestelmien turvallisuuden tutkimuksessa, kun tunnettaisiin tarkemmin erilaisten järjestelmien ja automaattiautojen osuus autokannasta. Tarkempi tieto mahdollistaisi myös erilaisten järjestelmien ja automaattiotasojen turvallisuusvaikutusten vertailun. Kuljettajaa tukevia järjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen nykyistä turvallisuustilannetta voidaan esiselvityksen tavoin tarkastella onnettomuusaineistoa analysoimalla. Yksittäisen järjestelmän turvallisuusvaikutuksista ei voida aineiston perusteella tehdä johtopäätöksiä.

Tässä luvussa tarkastellaan automaattiotasojen 1 ja 2 mahdollistavien tyypillisimpien järjestelmien tutkittuja turvallisuusvaikutuksia ja yleistymistä autokannassa. Seuraavaksi kuvataan mukautuvan nopeudensäätimen, automaattijarrutusjärjestelmän ja kaistalla pysymisen avustimen soveltuvuutta ehkäistä onnettomuuksia, esitetään suuntaa antavaa tietoa järjestelmien yleisyydestä Suomen autokannassa ja uusista henkilöautoista sekä esitetään tuloksia järjestelmien turvallisuusvaikutuksista kirjallisuustutkimukseen perustuen.

Mukautuva nopeudensäädin (adaptive cruise control)

Mukautuva nopeudensäädin soveltuu erityisesti peräänajo-onnettomuuksien ehkäisemiseen järjestelmän säilyttäessä säädetty aikaetäisyys edessä olevaan ajoneuvoon (Isaksson-Hellman & Lindman 2016). Toisaalta turvallisuusvaikutukset riippuvat asetettavasta turvavälistä, johon kuljettaja voi vaikuttaa automaation ensimmäisillä tasoilla. Mukautuvan nopeudensäätimen on arvioitu yhdessä törmäysvaroitimen kanssa vähentävän peräänajo-onnettomuuksia 37 % (Isaksson-Hellman & Lindman 2016). Li et al. (2017a) arvioivat simulaation avulla, että 10 %:n penetraatioasteella mukautuva nopeudensäädin vähentäisi peräänajo-onnettomuuksia 34–40 % ja kaikissa ajoneuvoissa asennettuna järjestelmä vähentäisi onnettomuuksia 68–78 %. Verkottuneen tai muiden ajoneuvojen kanssa keskustelevan (cooperative) mukautuvan nopeudensäätimen on simulaatioiden perusteella arvioitu vähentävän peräänajo-onnettomuuksia jopa 90 %, kun järjestelmä on käytössä lähes kaikissa ajoneuvoissa (Li et al. 2017b).

Mukautuva nopeudensäädin oli saatavilla lisävarusteeksi tai vakiovarusteena 16 %:ssa vuonna 2017 Suomessa käytössä olleista henkilöautoista. Järjestelmän yleisyys autokannassa on todellisuudessa esitettyä pienempi, sillä kaikissa mahdollisissa autoissa mukautuvaa nopeudensäädintä ei ole asennettu lisävarusteena. Järjestelmä on kuitenkin yleistymässä, sillä vuosien 2016–2017 henkilöautomalleissa mukautuva nopeudensäädin oli saatavilla lisävarusteeksi tai vakiovarusteena 58 %:ssa henkilöautoista. (Lähderanta 2017)

Automaattijarrutus tai hätäjarrujärjestelmä (autonomous/automatic emergency braking)

Automaattijarrutusjärjestelmä soveltuu erityisesti peräänajo-onnettomuuksien ehkäisemiseen kuten mukautuva nopeudensäädin (Logan et al. 2017). Järjestelmät toimivat tehokkaimmin yhdessä. Automaattijarrutus voi myös ehkäistä jalankulkija- ja polkupyöräonnettomuuksia, kun onnettomuuden vastapuolena on automaattijarrutusjärjestelmää hyödyntävä ajoneuvo. Automaattijarrutusjärjestelmät voidaan jakaa taajamanopeuksilla ja maantienopeuksilla toimiviin järjestelmiin. Tutkimuksen mukaan matalan nopeuden automaattijarrutusjärjestelmä vähentää peräänajo-onnettomuuksia 38 %. (Fildes et al. 2015). Rizzi et al. (2014)

arvioivat, että taajama- ja maantienopeudet huomioiden järjestelmä vähentäisi peräänajo-onnettomuuksia 35–41 %. Logan et al. (2017) arvioivat automaattijarrutuksen vähentävän peräänajo-onnettomuuksia 55 %.

Suomessa taajamanopeuksilla toimiva automaattijarrutusjärjestelmä oli saatavilla lisävarusteeksi tai vakiovarusteena 16 %:ssa käytössä olleista henkilöautoista ja maantienopeuksilla toimiva järjestelmä 14 %:ssa vuonna 2017. Arviossa painottuu automaattijarrutuksen saatavuus lisävarusteena, joten todellinen yleisyys lienee arvioitua pienempi. Järjestelmä on yleistymässä mukautuvan nopeudensäätimen tavoin, sillä vuosina 2016–2017 käyttöön otetuissa henkilöautoissa taajamanopeuksissa toimiva järjestelmä oli saatavilla 78 %:ssa ajoneuvoista ja maantienopeuksissa toimiva järjestelmä 68 %:ssa. (Lähderanta 2017)

Aktiivinen kaistavahti/ kaistalla pysymisen avustin (lane keeping assist)

Aktiivinen kaistavahti pitää ajoneuvon kaistalla ilman kuljettajan tekemää ohjausliikettä, mikäli tien keskiviiva ja/tai reunaviiva on näkyvillä, joten järjestelmä soveltuu tieltä suistumisten ja kohtaamis-onnettomuuksien ehkäisemiseen. Vähintään 40 km/h nopeuksilla toimivan aktiivisen kaistavahdin on arvioitu vähentävän onnettomuuksia 33 %. (Logan et al. 2017). Kaistanvaihtovaroitin sen sijaan ei ohjaa ajoneuvoa, mutta varoittaa kuljettajaa kaistalta sivuun ajautumisen vaarasta. Cicchinon (2017) mukaan ilman ohjaavaa vaikutusta sisältävä kaistanvaihtovaroitin ehkäisee tieliikenteen kuolemia huomattavasti, sillä ko. järjestelmällä varustettujen ajoneuvojen osuus kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa oli 86 % pienempi kuin ilman kaistanvaihtovaroitinta olevien ajoneuvojen. Varoittimella varustetut ajoneuvot oletettavasti sisälsivät enemmän muitakin tukijärjestelmiä verrattuna ajoneuvoihin ilman kaistanvaihtovaroitinta, mikä voi vaikuttaa tulokseen.

Aktiivinen kaistavahti oli saatavilla 8 %:ssa käytössä olleista henkilöautoista lisä- tai vakiovarusteena Suomessa vuonna 2017. Kaistanvaihtovaroitin oli saatavilla lisä- tai vakiovarusteena 19 %:ssa henkilöautoista vuonna 2017. Molemmista arvioissa järjestelmän mahdollisuus lisävarusteena korostui. Vuosina 2016–2017 käyttöön otetuissa henkilöautoissa aktiivinen kaistavahti oli saatavilla 48 %:ssa ajoneuvoista ja kaistanvaihtovaroitin 78 %:ssa sisältäen järjestelmän asentamismahdollisuuden lisävarusteena. (Lähderanta 2017) Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto tässä luvussa tarkasteltujen järjestelmien vaikutuksista, soveltuvuudesta ehkäistä onnettomuuksia ja yleisyydestä Suomessa.

Taulukko 2. Tukijärjestelmien turvallisuusvaikutukset (ei voida sellaisenaan yleistää Suomen olosuhteisiin), soveltuvuusalue ja yleisyys Suomen autokannassa.

Järjestelmä	Onnettomuuksien vähentyminen	Soveltuvuusalue	Vakiovarusteena tai saatavilla lisävarusteena (osuus autokannasta vuonna 2017)*
Mukautuva nopeudensäädin	34 %-90 % **	Peräänajo-onnettomuus	16 %
Automaattijarrutus	35-55 %	Peräänajo-onnettomuus	16 % (taajamanopeudet) 14 % (maantienopeudet)
Aktiivinen kaistavahti	33 %	Kohtaamis-onnettomuus, tieltä suistuminen	8 %

*Järjestelmän yleisyys on todellisuudessa pienempi, koska järjestelmän asentamisen yleisyydestä lisävarusteena ei ole tietoa.

**Tuloksiin vaikuttaa järjestelmän yleisyys autokannassa ja järjestelmän kehittyneisyys

Automaation odotetaan parantavan tieliikenteen turvallisuutta onnettomuuksia vähentämällä, mutta automaatiosta voi seurata myös täysin uusia turvallisuusriskejä. Siirtymävaiheessa liikenteessä on eri tason automaattiautoja ja kokonaan kuljettajan hallinnassa olevia ajoneuvoja, mikä muuttaa kuljettajien välistä kommunikointia (Sivak & Schoettle 2015). Automatisaation yleistyessä kuljettajien ajotaidot voivat heikentyä, mutta samalla alemmilla

automaation tasoilla kuljettajan on edelleen oltava tarkkaavainen ja valmiudessa ottamaan ajoneuvo hallintaansa järjestelmän soveltamisalueen ulkopuolella (European Commission 2016). Kuljettajat saattavat myös olla liian luottavaisia järjestelmiin, vaikka järjestelmät eivät vielä toimisi kaikissa liikennetilanteissa ja olosuhteissa, mikä voi aiheuttaa aiempaa suurempia turvallisuusriskejä. Kehityksen alkuvaiheessa automaattiset järjestelmät (autopilot-järjestelmät) vaativat kuljettajalta jatkuvaa tarkkaavaisuutta ja valmiutta ottaa ajoneuvo hallintaansa, mutta ajamisen turvallisuus saatetaan silti kokea aiempaa paremmaksi, mikä lisää huolettomuutta ja vääränlaista turvallisuudentunnetta.

Kaupunkiliikenteessä turvallisuustoimenpiteitä pitäisi keskittää jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden turvallisuuden parantamiseksi. Automatisoitumisesta ei kuitenkaan tulevina vuosina odoteta edistysaskelta näiden käyttäjäryhmien onnettomuuksien ehkäisemiseksi, sillä kehitystyössä painopisteenä on moottoritieajamisen automatisointi ja pysäköintiautomaatiikka (European Commission 2016). Olemassa olevien järjestelmien, kuten jalankulkija- ja pyöräilijätunnistimilla varustettujen automaattijarrutusjärjestelmien, yleistyminen parantaa kuitenkin myös jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden turvallisuutta.

4 Kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuudet

4.1 Onnettomuusaineistojen hyödyntäminen

Tilastojen ja onnettomuusaineistojen analysointi on keskeinen osa tieliikenteen turvallisuuden tutkimusta. Tilastolähteet voidaan jakaa makroskooppisiin (esim. poliisin raportoimat onnettomuudet) ja mikroskooppisiin (esim. tapaustutkimukset) aineistoihin (Aust 2010). Suomessa makroskooppisista aineistoista yleisesti käytössä on poliisin tietoihin perustuva virallinen tieliikenneonnettomuustilasto, liikennevakuutuskorvaukseen perustuva vahinkoaineisto ja pelastustoimen Pronto-tietokanta. Tutkijalautakuntatyöhön perustuva onnettomuustietorekisteri voidaan luokitella mikroskooppiseksi aineistoksi, vaikka yksittäiset tapaustutkimukset kokonaisuutena ovat edustava aineisto kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien osalta. Tapaustutkimusten avulla saadaan tarkempaa tietoa onnettomuuksien kulusta, taustariskeistä ja ajoneuvoihin asennetuista laitteista ja järjestelmistä.

Yksityiskohtaista tapaustutkimusta sovelletaan yleensä haluttuun osaan onnettomuuksista esim. onnettomuustyyppin mukaisesti kohdennettuna, joten tuloksia ei tyypillisesti voida yleistää koskemaan kaikkia onnettomuuksia. Parhaimmillaan makro- ja mikroskooppinen aineisto täydentävät toisiaan, sillä tapaustutkinnalla voidaan syventää tutkintatietoa, jota määrällisesti laajempi esim. poliisin tuottama aineisto sisältää (Aust 2010). Suomessa tutkijalautakunnat tutkivat lähes kaikki kuolemaan johtaneet onnettomuudet, joten tapaustutkimusaineisto edustaa itsessään kattavasti kaikkein vakavimpia onnettomuuksia. Mikäli tieliikenneonnettomuudesta aiheutunut kuolema on tapahtunut yli kolme vuorokautta onnettomuuden jälkeen, tutkijalautakunnat eivät kaikissa tapauksissa suorita onnettomuustutkimusta. (OTI 2017)

Tutkijalautakunnat tutkivat lakisääteisesti lähes kaikki tieliikenteen kuolemaan johtaneet onnettomuudet ja selvittävät onnettomuuden kulun, taustalla vaikuttavia riskejä sekä laativat turvallisuuden parannusehdotuksia. Tutkijalautakuntiin kuuluu asiantuntijoita poliisista, ajoneuvotekniikasta, liikennetekniikasta, lääketieteestä, käyttäytymistieteestä ja tarvittaessa muita asiantuntijoita onnettomuustilanteen mukaisesti. (OTI 2017) Aineisto sisältää esimerkiksi tutkimuksen kohteena olevia mukautuvaa nopeudensäädintä, automaattisista jarrutusjärjestelmää ja aktiivista kaistavahtia hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuuksien tietoja. Lisäksi ko. onnettomuuksista on mahdollista saada eriteltyä tietoa esimerkiksi kuljettajan iästä ja sukupuolesta, onnettomuustyyppistä, onnettomuuspaikasta ja onnettomuuden ajankohdasta. Onnettomuustietorekisteri koostuu yli sadasta muuttujasta, jotka kuvaavat onnettomuuden ja sen osallisten ajoneuvojen ja henkilöiden ominaisuuksia. Aineiston analysointi mahdollistaa edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien moottoriajoneuvojen onnettomuusmäärien selvittämisen Suomessa.

Tieliikenteen automatisaation edistymisen turvallisuusvaikutusten tutkimusmahdollisuuksia selvitetään OTIn ylläpitämää onnettomuustietorekisteriä analysoimalla. Tutkimus on esiselvitys aineiston hyödyntämismahdollisuuksista edistyneitä tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen turvallisuustutkimuksessa, joten tarkoituksena ei ole tutkia yksittäisten laitteiden tai tukijärjestelmien turvallisuusvaikutuksia. Järjestelmien yleisyydestä Suomen autokannassa ei ole riittävän luotettavaa tietoa käytettävissä, joten yksittäisen tukijärjestelmän vaikutuksia ei olisi mahdollista tutkia tämän aineiston avulla.

4.2 Aineiston kuvaus

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sellaisia kuljettajaa tukevia järjestelmiä, joista on saatavilla onnettomuusaineistoa OTIn onnettomuustietorekistereistä. Aineisto sisältää vuosien 2009–2016 kuolemaan johtaneet moottoriajoneuvo-onnettomuudet. Aineisto sisältää tietoja ajoneuvojen turvalaiteista ja kuljettajaa tukevista järjestelmistä sekä

ominaisuuksia onnettomuuksista kuten kuljettajan ikä ja sukupuoli. Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto ei sisällä tietoa, tapahtuiko liikennekuolema kuljettajalle vai matkustajalle, ja missä osallisessa ajoneuvossa kyseinen henkilö oli, mikäli osallisia oli enemmän kuin yksi. Kuolemaan johtaneita jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden onnettomuuksia ei tarkastella tässä tutkimuksessa, koska tällaisissa onnettomuuksissa edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvon määrä on ollut pieni. Tutkimuksessa tarkasteltavat turvalaitteet ja –järjestelmät on esitetty taulukossa 3. Ajoneuvossa voi olla asennettuna useita eri turvalaitteita, jolloin sama ajoneuvo on taulukossa useaan kertaan.

Taulukko 3. Tutkimuksessa tarkasteltavat automatisoituun ajamiseen liittyvät turvalaitteet ja –järjestelmät sekä eri järjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen määrä kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa ja aineiston keräysajankohta.

Onnettomuustietorekisterin muuttuja	Järjestelmiä hyödyntävien onnettomuusajoneuvojen määrä aineistossa	Tarkasteltavat vuodet
Automatisoitu ajo	4	2014-2016
Autonominen ajo	0	2016
Vakionopeudensäädin	613	2009-2016
Mukautuva nopeudensäädin	4	2016
Automaattijarrutus	7	2015-2016
Hätäjarrutehostin	149	2009-2016
Kaistavahti	2	2014-2016
Aktiivinen kaistavahti	1	2016
Pysäköintiautomatiikka	1	2016
Kuljettajan vireystilan valvonta	5	2015-2016
Automaattinen hätäpuhelu	2	2015-2016

Luvussa 4.3 tarkastellaan kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, joissa yksi tai useampi taulukossa 3 esitetyistä kuljettajan tukijärjestelmistä tai automaation mahdollistavista järjestelmistä on ollut asennettuna onnettomuudessa osallisena olleessa ajoneuvossa. Käytettävä onnettomuustietorekisteriaineisto sisältää vuosien 2009–2016 kuolemaan johtaneet moottoriajoneuvo-onnettomuudet, mutta kaikkien muuttujien osalta tietoa ei ole käytettävissä koko aikaväliltä. Useimpien järjestelmien kohdalla tietoa on vain vuosilta 2015 ja 2016, sillä automatisoidun ajon mahdollistavat järjestelmät ovat yleistyneet vasta viime vuosina. Tietojen keräys on aloitettu kehitykseen reagoimiseksi.

Yleistyessään ja kehittyessään automatisoidun ajon mahdollistavien järjestelmien voidaan olettaa vähentävän onnettomuuksia (European Commission 2016; Fagnant & Kockelman 2015), jolloin onnettomuusaineisto ei ole edustava aineisto tutkia järjestelmien turvallisuusvaikutuksia.

Nykytilanteessakaan järjestelmien turvallisuusvaikutuksia ei voida tutkia onnettomuusaineistosta, sillä onnettomuusmäärät ovat pieniä. Tulevina vuosina kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuudet oletettavasti lisääntyvät, sillä järjestelmien määrä autokannassa kasvaa.

Tutkijalautakuntien tehtävänä muun tutkinnan ohella on selvittää käytössä olleita tukijärjestelmiä ja niiden toimintaa onnettomuusajoneuvoissa, mutta aineiston perusteella ei voida olla varmoja laitteiden ja järjestelmien toiminnassa olemisesta tai niiden käyttöön liittyvistä rajoituksista onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa. Vaikka onnettomuuksia ehkäiseviä järjestelmiä olisi asennettuna ajoneuvoissa, järjestelmistä ei ole hyötyä onnettomuuden ehkäisemiseksi, jos laite ei ole toiminnassa tai laite ei toimi oikein vallitsevissa olosuhteissa. Tämä on huomioitava aineistoa ja tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa. Joidenkin laitteiden käytöstä on kirjattu tieto onnettomuusaineistoon, mutta tätä ei voida pitää täysin luotettavana tietona koko aineiston osalta. Kaikissa tapauksissa laitteen käytöstä ei ole voitu kirjata tietoa. Jos ajoneuvo vaurioituu pahoin onnettomuuden

seurauksena, järjestelmien toimintaa ennen onnettomuutta on vaikea selvittää. Lisäksi autojen järjestelmiin tallentuneiden tietojen saaminen onnettomuustutkinnan käyttöön on toistaiseksi ollut haastavaa.

4.3 Aineiston analyysi

Onnettomuustietorekisterissä automatisoitu ajo ja autonominen ajo ovat ominaisuustietoja onnettomuusajoneuvoista, joita tutkijalautakunnat selvittävät. Aineistosta ei voida varmuudella selvittää, ovatko toiminnot olleet käytössä onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa. Terminä automatisoitu ajo ymmärretään SAE-luokituksessa tason 2 tai 3 ajoneuvoksi ja autonominen ajo tasolle 4 tai 5. Onnettomuustietorekisterissä automatisoidulla ajolla tarkoitetaan ajoneuvoa, jossa järjestelmä ohjaa ja jarruttaa joissakin liikennetilanteissa. Nykytilanteessa tämä on verrattavissa SAE-luokituksen tason 2 ajoneuvoon. Kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, joissa on ollut osallisena onnettomuustietorekisterin mukainen automaattiauto, tapahtui yhteensä neljä vuosina 2014–2016. Autonominen ajon onnettomuuksia ei ole tapahtunut yhtään, sillä tällaisia ajoneuvoja ei ole vielä liikennekäytössä. Taulukossa 4 on kuvattu automatisoidun ajon mahdollistavia edistyneitä järjestelmiä, joita automatisoitujen ajoneuvojen onnettomuudet sisälsivät.

Taulukko 4. Kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa osallisten automatisoitujen ajoneuvojen (onnettomuusaineistossa ominaisuustietona automatisoitu ajo -muuttuja) sisältämät edistyneet kuljettajan tukijärjestelmät, joista tutkijalautakunnat raportoivat.

Onnettomuusajoneuvo 1	Automaattijarrutus	Vireystilanvalvonta	Automaattinen hätäpuhelu	
Onnettomuusajoneuvo 2	Automaattijarrutus, jalankulkijatunnistus	Aktiivinen kaistavahti	Mukautuva nopeudensäädin	Pysäköintiautomaatiikka ja -tutka
Onnettomuusajoneuvo 3	Vireystilanvalvonta			
Onnettomuusajoneuvo 4	-			

Neljästä automatisoitujen ajoneuvojen onnettomuuksista ainoastaan yhdessä tapauksessa (onnettomuusajoneuvo 2) näyttäisi muun raportoinnin perusteella olleen kyseessä automaatiotason 2 ajoneuvo. Mukautuva nopeudensäädin, aktiivinen kaistavahti ja automaattijarrutus muodostavat yhdessä automaatiotason 2 ajoneuvon, mutta esimerkiksi onnettomuuden 1 ajoneuvosta raportoidut järjestelmät eivät vielä muodosta tason 2 automaatiota. Onnettomuusajoneuvo 2 on suhteellisen uusi ajoneuvo verrattuna muihin edellä mainittuihin ajoneuvoihin, jotka on otettu liikennekäyttöön vuonna 2010 tai aiemmin. Järjestelmistä raportoitaessa on saatettu olettaa, että automatisoitu ajo –muuttuja sisältää jo tarvittavat automatisoidun ajon mahdollistavat järjestelmät, jolloin niitä ei ole erikseen raportoitu. Oletettavasti automatisoidulla ajolla on kuitenkin tarkoitettu jotakin muuta kuin SAE-luokituksen tason 2 automaatiota tai kyseessä on kirjausvirhe, mikä selittäisi raportointia ajoneuvojen sisältämistä järjestelmistä.

Taulukossa 4 esitettyjen tapausten lisäksi yhdessä onnettomuudessa osallisessa ajoneuvossa oli edistyneistä tukijärjestelmistä asennettuna useampi järjestelmä: automaattijarrutus, mukautuva nopeudensäädin, pysäköintitutka ja vireystilanvalvontajärjestelmä. Tutkijalautakunnat eivät kuitenkaan raportoineet automatisoidun ajon toiminnosta. Tämä on perusteltua, koska ajoneuvon ohjaamisessa avustava aktiivinen kaistavahti puuttui ajoneuvosta. Automaattijarrutus ja mukautuva nopeudensäädin vaikuttavat ajoneuvon hidastamiseen ja kiihdyttämiseen, mutta ne eivät vaikuta ajoneuvon ohjaamiseen, jolloin määritelmän mukaista automatisoitua ajoa ei voida hyödyntää.

Onnettomuuden pääaiheuttajan selvittäminen on automaattiajoneuvojen turvallisuustutkimuksen kannalta olennainen tekijä, sillä automatisoidun ajoneuvon keinot ehkäistä onnettomuus, jossa esim. vastakkaisesta ajosuunnasta tuleva ajoneuvo ajautuu automatisoidun ajoneuvon käyttämälle kaistalle, ovat rajalliset. Automaattinen hätäjarrutus tai väistötoiminto voisivat mahdollisesti ehkäistä kohtaamisonnettomuuden tai ainakin

lieventää onnettomuuden seurauksia korkeamman automaation tasoilla. Onnettomuuden pääaiheuttajan ja muiden osallisten selvittäminen vaikuttavat arvioon kuljettajan tukijärjestelmien toimimisesta ennen onnettomuuden tapahtumista. Yhdessä automatisoidun ajon onnettomuuksista ajoneuvo oli onnettomuuden pääaiheuttaja, mutta ko. tapauksessa ajoneuvon automaation taso on kyseenalaistettavissa ajoneuvoon asennettujen muiden järjestelmien perusteella, vaikka ajoneuvo on luokiteltu automatisoitua ajoa hyödyntäväksi. Muissa tapauksissa automatisoitua ajoa hyödyntävä ajoneuvo ei ollut onnettomuudessa pääaiheuttajana. Arvio järjestelmien toiminnasta onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa vaatisi tarkempia tietoja järjestelmien toiminta-alueesta ja käyttörajoituksista.

Tutkimuksen kohteena olevista järjestelmistä vakionopeudensäätimellä varustetuille ajoneuvoille on tapahtunut eniten kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, keskimäärin 77 onnettomuutta vuosittain aikavälillä 2009–2016. Huomioitavaa on, että vakionopeussäätimen toiminnassa olemisesta onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa ei ole luotettavaa tietoa. Onnettomuusaineistosta myös havainnollistuu vakionopeussäätimellä varustettujen ajoneuvojen määrän lisääntyminen, sillä myös onnettomuuksia tällaisille ajoneuvoille tapahtuu vuosittain enemmän. Vakionopeudensäädin ei mahdollista automatisoitua ajoa, sillä kuljettajan on säädettävä nopeus muiden liikkujien mukaan. Mukautuva nopeudensäädin sen sijaan sovitaa ajonopeuden edessä olevan ajoneuvon mukaisesti säilyttäen asetetun aikaetäisyyden. Onnettomuuksia, joissa mukautuva nopeudensäädin on ollut ajoneuvossa asennettuna, on tapahtunut yhteensä neljä vuosina 2015 ja 2016. Nopeudensäätimellä varustettujen ajoneuvojen onnettomuudet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien määrät, joissa vakionopeudensäädin tai mukautuva nopeudensäädin on ollut asennettuna onnettomuudessa osallisessa ajoneuvossa.

Vuosi	Vakionopeudensäädin	Mukautuva nopeudensäädin
2009	52	-
2010	60	-
2011	92	-
2012	81	-
2013	77	-
2014	70	-
2015	76	1
2016	105	3

Onnettomuustietorekisterissä on myös tieto vakionopeudensäätimen toiminnassa olemisesta onnettomuuden tapahtuessa. Aineiston mukaan vakionopeudensäädin on ollut käytössä vuosittain vain kahdessa onnettomuudessa, mutta tietoa ei voida pitää luotettavana, sillä tietoa säätimen käytöstä ei aina saada selville.

Vakionopeudensäätimellä varustettujen ajoneuvojen onnettomuuksista 59 %:ssa (kohtaamisonnettomuuksien osuus 35 % kaikissa onnettomuuksissa kuolleista pl. jalankulkijat) onnettomuustyyppinä oli kohtaamisonnettomuus, 18 %:ssa (35 %) tieltä suistuminen, 11 %:ssa (12 %) risteävät ajosuunnat ja 9 %:ssa (9 %) samat ajosuunnat (Tilastokeskus 2017). Vakionopeudensäädintä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuuksien ja kaikkien onnettomuuksien vertailun perusteella ei voida sanoa, että vakionopeudensäädin vähentäisi tieltä suistumisia, vaikka tällaisten onnettomuuksien osuus on selvästi pienempi kuin kaikissa onnettomuuksissa. Säätimen käytön voi kuitenkin olettaa vähentävän suuria ajonopeuksia, mikä edelleen vähentää suistumisia. Kaarteissa ajettaessa, jossa suistumisen ehkäisemiseksi on tarvittaessa alennettava nopeutta suoralla ajoon verrattuna, kuljettajan on itse alennettava nopeutta, sillä järjestelmä ei pysty vaikuttamaan nopeuden muuttamiseen. Vakionopeudensäätimellä varustettu ajoneuvo oli onnettomuuden pääaiheuttaja sisältäen yksittäisonnettomuudet 44 %:ssa tapauksista.

Mukautuvaa nopeudensäädintä hyödyntävien ajoneuvojen onnettomuuksissa kolmessa tapauksessa onnettomuustyyppinä oli kohtaamisonnettomuus, mutta ko. ajoneuvot olivat onnettomuuksissa vastapuolina, eivät aiheuttajina. Yhdessä onnettomuudessa (tieltä suistuminen) tarkasteltava ajoneuvo oli aiheuttajana, mutta

kyseisessä tapauksessa mukautuvan nopeudensäätimen ei oleteta vaikuttaneen ajoneuvon tieltä suistumiseen. Tapaukseen liittyen kuitenkin raportoitiin myös kuljettajan vireystilan alenemisesta, mihin säätimen käyttö on voinut vaikuttaa. Kun säädin ylläpitää asetettua aikaetäisyyttä, kuljettajalla on vähemmän ajotoimintoja suoritettavana, mikä voi aiheuttaa vireystilan alenemista vähemmän tarkkaavaisuutta vaativassa ja monotonisessa liikenneympäristössä (esim. haja-asutusalue) liikuttaessa.

Automaattijarrutus on keskeinen osa automatisoidun ajamisen mahdollistavia järjestelmiä. Automaattijarrutuksella varustetuille ajoneuvoille tapahtui yhteensä seitsemän onnettomuutta vuosina 2015 ja 2016. Yhdessä ajoneuvossa automaattijarrutusjärjestelmällä raportoitiin olevan lisäominaisuutena jalankulkijatunnistus. Kuudessa tapauksessa seitsemästä onnettomuustyyppinä oli kohtaamisonnettomuus. Kahdessa tapauksessa (kohtaamisonnettomuus ja tieltä suistuminen) automaattijarrutuksella varustettu ajoneuvo oli onnettomuuden pääaiheuttaja, mutta kummassakaan tapauksessa automaattijarrutus ei olisi voinut estää onnettomuutta aineistosta saatavien tietojen perusteella. Suistumisessa nopeus oli suuri ja kuljettaja oli nukahtanut, joten jarrutusjärjestelmä ei olisi voinut estää onnettomuutta. Kohtaamisonnettomuuksissa, joissa molempien osallisten ajoneuvojen nopeudet ovat suuret, automaattijarrutus ei ehdi pysäyttämään ajoneuvoa tai hidastamaan riittävästi nopeutta ennen törmäystä.

Automaattijarrutuksessa järjestelmä vastaa ajonopeuden alentamisesta ja mahdollisesti ajoneuvon täysin pysäyttämisestä, mutta hätäjarrutehostin toimii ainoastaan kuljettajan toimintojen tehostajana. Hätäjarrutehostin mahdollistaa suuremman jarrutusvoiman kuljettajan jarruttaessa. Hätäjarrutehostimella varustettujen ajoneuvojen onnettomuuksia tapahtui vuosittain keskimäärin 21 kpl vuosina 2009–2015. Hätäjarrutehostimen onnettomuuksista 37 %:ssa (kohtaamisonnettomuuksien osuus 35 % kaikissa onnettomuuksissa kuolleista pl. jalankulkijat) onnettomuustyyppinä oli kohtaamisonnettomuus ja 24 %:ssa (35 %) tieltä suistuminen. Peräänajo-onnettomuuksia tapahtui suhteessa hieman enemmän hätäjarrutehostinta hyödyntäville ajoneuvoille (osuus 13%) verrattuna kaikkiin peräänajo-onnettomuuksiin (10 %). (Tilastokeskus 2017) Hätäjarrutehostimella varustettu ajoneuvo oli onnettomuuden pääaiheuttaja 28 %:ssa tapauksista. Näistä onnettomuuksista 63 %:ssa onnettomuustyyppinä oli vastakkaiset ajosuunnat.

Hätäjarrutehostin enemmän lieventää onnettomuuden seurauksia kuin estää onnettomuuden tapahtumisen, sillä ennen varsinaista jarruttamista kuljettava reagointimatka on yhtä suuri tehostinta hyödyntävillä ja hyödyntämättömillä ajoneuvoilla. Tehostin kuitenkin lyhentää jarrutuksen aikana kuljettavaa matkaa, mikä ei kaikissa tapauksissa kuitenkaan estä onnettomuutta, mutta voi mahdollisesti pienentää törmäysnopeutta lieventäen onnettomuuden seurauksia. Kohtaamisonnettomuuksissa, joissa vastaantuleva ajoneuvo ajautuu hätäjarrutehostinta hyödyntävän ajoneuvon kaistalle, reagointiin ei ole tyypillisesti riittävästi aikaa jarrutuksen aloittamiseksi. Peräänajo-onnettomuuksissa reagointi-aikaa on tyypillisesti enemmän, joten onnettomuuden ehkäisemiseen tai seurausten lieventämiseen on paremmat mahdollisuudet. Peräänajo-onnettomuuksien suurempi osuus hätäjarrutehostinta hyödyntävien onnettomuuksissa verrattuna kaikkiin onnettomuuksiin ei kuitenkaan tue tätä väitettä.

Kaistavahdilla tai aktiivisella kaistavahdilla varustettujen ajoneuvojen kuolemaan johtaneita onnettomuuksia on tapahtunut kolme vuosina 2014–2016. Kahdessa onnettomuudessa osallisessa ajoneuvossa on ollut kaistavahti ja lisäksi yhdessä onnettomuusajoneuvossa on ollut aktiivinen kaistavahti eli kaistalla pysymisen avustin. Aktiivinen kaistavahti vaikuttaa ohjaukseen ajoneuvon kaistalla pysymiseksi, mutta kaistavahti ainoastaan varoittaa kaistalta pois ajautumisesta. Aktiivinen kaistavahti on myös automatisoidun ajon mahdollistava järjestelmä. Kaistavahdin tai aktiivisen kaistavahdin tapauksissa ajoneuvo ei ollut yhdessäkään onnettomuudessa (N=3) pääaiheuttaja. Onnettomuudet olivat kohtaamisonnettomuuksia, mutta kaistavahti ei pysty ehkäisemään törmäystä toisen ajoneuvon siirtyessä omalle kaistalle tai kaistavahdia hyödyntävän ajoneuvon väistöliikkeestä johtuvaa siirtymistä vastaantulevien kaistalle.

Kuljettajan vireystilan valvontajärjestelmällä on myös samanlaisia vaikutuksia kuin kaistavahdilla, sillä järjestelmä nimensä mukaisesti huomauttaa kuljettajan vireystilan alenemisesta. Kuljettajan vireystilan aleneminen voisi lopulta johtaa kaistalta pois ajautumiseen. Kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, joissa vireystilan valvontajärjestelmä on ollut onnettomuudessa osallisessa ajoneuvossa, on tapahtunut viisi kappaletta vuosina 2015–2016. Kolmessa tapauksessa ajoneuvo oli onnettomuuden pääaiheuttaja. Näistä yhdessä tapauksessa raportoitiin kuljettajan

vireystilan alenemisesta, joten vireystilan valvontajärjestelmästä ei ollut riittävää hyötyä onnettomuuden ehkäisemiseksi.

Pysäköintiin ja peruuttamiseen liittyvä automatiikka on yksi osa automatisoituja järjestelmiä. Pysäköitäessä ja peruuttaessa tapahtuu kuitenkin vähän vakavia onnettomuuksia alhaisesta ajonopeudesta johtuen, mutta pysäköintialueilla tapahtuvat omaisuusvahinko-onnettomuudet ovat yleisiä. Yksikään peruutustekniikoita hyödyntävien ajoneuvon onnettomuuksista (N=78) ei tapahtunut peruutettaessa, joten järjestelmillä ei ollut vaikutusta onnettomuuden tapahtumiseen. Peruutustutkalla varustettujen ajoneuvojen onnettomuustietoja on vuosilta 2009–2015, jolloin ko. laitteilla varustetuille ajoneuvoille tapahtui vuosittain keskimäärin seitsemän kuolemaan johtanutta onnettomuutta. Vuodesta 2016 alkaen käyttöön otettiin pysäköintitutka-nimitys. Pysäköintitutkalla varustettujen ajoneuvojen onnettomuuksia tapahtui 17 vuonna 2016. Yhdessä onnettomuusajoneuvossa on ollut käytössä pysäköintiautomatiikka.

Automaattinen hätäpuhelu (eCall) ei ole automatisoidun ajon mahdollistava järjestelmä, mutta järjestelmä parhaimmillaan lieventää onnettomuuksien seurauksia, kun onnettomuuspaikalle saadaan nopeammin apua. Automaattinen hätäpuhelijärjestelmä on tulossa pakolliseksi uusiin henkilö- ja pakettiautoihin 31.3.2018 alkaen, mutta ajoneuvovalmistajilla voi olla omia järjestelmiä käytössä aiemminkin. Suomessa automaattisen hätäpuhelijärjestelmän arvioidaan vähentävän tieliikenteen kuolemia 4–5 % vuosittain. (Trafi 2015) Kuolemaan johtaneita onnettomuuksia ko. järjestelmällä varustetuille ajoneuvoille tapahtui kaksi vuosina 2015 ja 2016.

Tutkijalautakuntien raportointien tietojen perusteella voidaan arvioida, paljonko kuolemaan johtaneita onnettomuuksia on tapahtunut automaatiotason 1 ja 2 ajoneuvoille. Onnettomuustietorekisteissä automatisoitu ajo –muuttuja määritellään toimintona, joka ohjaa ja jarruttaa. Määritelmä on lähes vastaava kuin automaatiotason 2 määritelmä, joten tason 2 ajoneuvoille voidaan arvioida tapahtuneen neljä kuolemaan johtanutta onnettomuutta. Huomioitavaa kuitenkin on, että onnettomuuksista ainoastaan yhdessä tapauksessa vaikuttaisi muun raportoinnin perusteella olevan kyseessä automaatiotason 2 ajoneuvo, joten todellinen onnettomuusmäärä on luultavimmin yksi. Tasolla 1 vaatimuksena on, että ajoneuvossa on ohjaamista tai hidastamista/kiihdyttämistä avustavia toimintoja. Tällaisia järjestelmiä ovat mukautuva nopeudensäädin, automaattijarrutus ja aktiivinen kaistavahti. Onnettomuuksia, joissa on ollut osallisena jotakin edellä mainittua järjestelmää hyödyntävä ajoneuvoja, on tapahtunut yhteensä kahdeksan vuosina 2015–2016, kun ei huomioida yhtä automaatiotason 2 ajoneuvon onnettomuutta. Tietoja automaatiotason 1 ajoneuvojen onnettomuuksista on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Tutkijalautakuntien raportoimien tietojen perusteella määriteltyjen automaatiotason 1 ajoneuvojen kuolemaan johtaneet onnettomuudet.

	Tuki-järjestelmä(t)	Onnettomuustyyppi	Onnettomuuden pääaiheuttaja vai osallinen?	Olisiko järjestelmän pitänyt estää onnettomuus?
Onnettomuus-ajoneuvo 1	Automaattijarrutus, mukautuva nopeudensäädin	Tieltä suistuminen	Pääaiheuttaja	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 2	Automaattijarrutus	Kohtaamis-onnettomuus	Pääaiheuttaja	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 3	Automaattijarrutus	Kohtaamis-onnettomuus	Osallinen	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 4	Automaattijarrutus	Kohtaamis-onnettomuus	Osallinen	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 5	Automaattijarrutus	Kohtaamis-onnettomuus	Osallinen	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 6	Automaattijarrutus	Kohtaamis-onnettomuus	Osallinen	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 7	Mukautuva nopeudensäädin	Kohtaamis-onnettomuus	Osallinen	Ei
Onnettomuus-ajoneuvo 8	Mukautuva nopeudensäädin	Kohtaamis-onnettomuus	Osallinen	Ei

Automaatiotason 1 ajoneuvojen onnettomuuksissa viidessä ajoneuvossa oli automaattijarrutusjärjestelmä, kahdessa ajoneuvossa mukautuva nopeudensäädin ja lisäksi yhdessä ajoneuvossa oli molemmat edellä mainitut järjestelmät. Kahdessa tapauksessa tason 1 ajoneuvo oli onnettomuuden pääaiheuttaja. Tutkijan tekemän arvion mukaan yhdessäkään automaatiotason 1 ajoneuvojen onnettomuuksista kuljettajaa tukeva järjestelmä ei olisi voinut estää onnettomuuden tapahtumista. Arvion perustana on käytetty tutkijalautakuntien raportoimia tietoja onnettomuuksista. On huomioitava, että järjestelmän toiminnassa olemisesta tai toimintaan liittyvistä rajoituksesta onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa ei ole käytettävissä tietoa. Taulukon 6 onnettomuuksia ja tukijärjestelmien toimintaa on analysoitu tarkemmin aiemmin luvussa 4.3 tarkasteltaessa kyseisen tukijärjestelmän onnettomuuksia.

5 Automaattiautojen turvallisuuspotentiaali

Vuosina 2011–2015 tyypillisimpiä aiheuttajakuljettajien **yksittäisiä välittömiä riskejä** kuolemaan johtaneissa moottoriajoneuvo-onnettomuuksissa olivat tietoisesti aiheutettu onnettomuus 15 %:ssa onnettomuuksista, 15 %:ssa sairauskohtaus, 11 %:ssa virheellinen ohjausliike ja 10 %:ssa virheellinen ajolinja. Välittömällä riskitekijällä tarkoitetaan aktiivisesti onnettomuuden syntyyn vaikuttavaa riskiä kuten virheellinen ajolinja. (OTI 2017; LVK 2012–2015) Taulukossa 7 on esitetty tutkimuksen tekijän arvio, miten eri automaatiotasojen mukaiset järjestelmät vaikuttaisivat tyypillisimpiin välittömiin riskeihin ja mahdollisesti estäisivät onnettomuuden tai lieventäisivät sen seurauksia.

Taulukko 7. Automaation vaikutus (ei vaikutusta, pienentää riskiä tai poistaa riskin) yleisimpiin välittömiin riskeihin kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa automaatiotasoin.

Automaatiotaso	Tietoisesti aiheutettu onnettomuus	Sairauskohtaus	Virheellinen ohjausliike	Virheellinen ajolinja
1 (kuljettajan tuki)	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Pienentää riskiä	Pienentää riskiä
2 (osittainen automaatio)	Ei vaikutusta	Ei vaikutusta	Pienentää riskiä	Pienentää riskiä
3 (ehdollinen automaatio)	Ei vaikutusta	Pienentää riskiä	Pienentää riskiä	Pienentää riskiä
4 ja 5 (korkea automaatio)	Poistaa riskin	Poistaa riskin	Poistaa riskin	Poistaa riskin

Ainoastaan korkean ja täyden automaatiotason ajoneuvot poistavat kokonaan ihmiskuljettajan toimintaan, terveyteen ja vireystilaan liittyvät riskit, sillä järjestelmä olisi vastuussa kaikista ajotoiminnoista. Tällöin ihmisellä ei olisi vastuuta ajoneuvon ohjaamisesta, joten hän ei voisi ohjaamiseen myöskään vaikuttaa. Tietoisesti aiheutetun onnettomuuden ehkäisemiseksi ihmiskuljettajan mahdollisuus vaikuttaa ajoneuvon ohjaamiseen olisi poistettava kokonaan korkean automaatiotason ajoneuvoista. Alemmilla automaation tasoilla tietoisesti aiheutettu onnettomuus on mahdollinen, sillä kuljettaja on vastuussa ohjaamisesta. Sairauskohtauksen aiheuttaman onnettomuuden estämiseksi ajoneuvon hallinta tulisi olla järjestelmällä sairauskohtauksen tapahtuessa, ja järjestelmän tulisi kyetä pysäyttämään ajoneuvo turvallisesti tienreunaan ilman kuljettajan puuttumista ajotilanteeseen. Sairauskohtauksen aiheuttaman onnettomuuden estäminen vaatisi tason 4 tai 5 automaatiota. Tasolla 3 järjestelmä pienentää onnettomuuden todennäköisyyttä sairauskohtauksen tapahtuessa, mikäli järjestelmä on toimintakykyinen vallitsevassa liikennenympäristössä, jossa ajoneuvo on sairauskohtauksen alkaessa. Järjestelmä ei välttämättä kykene pysäyttämään ajoneuvoa turvallisesti sairauskohtauksen tapahtuessa, mutta mahdollisen onnettomuuden seuraukset voivat olla lievemmät, mikäli ajoneuvo pystyy ehkäisemään kaistalta pois ajautumisen.

Virheellisen ohjausliikkeen tai ajolinjan mahdollisuuden kokonaan poistaminen on mahdollista ainoastaan tason 4 tai 5 automaatiossa olettaen, että järjestelmä ei tee virheitä. Kaikilla alemmilla automaation tasoilla järjestelmä voi vaikuttaa ohjaamiseen ja ajolinjan valintaan liittyvien riskien pienentämiseen, mikäli näiden riskien pienentämiseen liittyviä järjestelmiä on käytössä ja ne ovat toimintakykyisiä. Tasolla 1 ajoneuvo voi esimerkiksi hyödyntää kaistalla pysymisen avustinta, joka voi estää virheellisen ohjausliikkeen tekemisen järjestelmän toiminta-alueella. Tasolla 3 järjestelmä on kehittyneempi ja erilaisiin liikennenympäristöihin liittyviä rajoituksia on alempia automaatiotasoja vähemmän, joten järjestelmä pystyy todennäköisemmin pienentämään ohjaamiseen ja ajolinjan valintaa liittyviä riskejä. Kuljettaja on kuitenkin vastuussa ajamisesta joissakin ajotilanteissa, joten järjestelmä ei pysty poistamaan kaikkia kuljettajan toiminnasta aiheutuvia riskejä.

Tutkijalautakunnat arvioivat myös **välittömän riskin** syntyä selittäviä **taustariskejä**. Vuosina 2011–2015 kuolemaan johtaneista onnettomuuksista 94 %:ssa vaikutti taustalla inhimillinen riskitekijä. Liikkumisvälineeseen liittyvien riskien

osuus oli 64 %, liikenneympäristöön liittyvien riskien osuus 60 % ja lainsäädäntöön sekä liikennejärjestelmään liittyvien riskien osuus 8 %. (OTI 2017; LVK 2012–2015)

Automatisoitujen ajoneuvojen on arvioitu vähentävän onnettomuuksia 50 %, kun täysin automatisoitujen ajoneuvojen osuus on 10 % autokannasta. 90 % osuus autokannasta tarkoittaisi vastaavasti jopa 90 % vähenemää onnettomuuksissa. Arvion perustana on käytetty onnettomuustilannetta Yhdysvalloissa, jossa noin 93 %:ssa onnettomuuksista taustariskinä on inhimillinen virhe. Automaattiautojen turvallisuuspotentiaali perustuu tässä arviossa inhimillisen virheen kokonaan poistumiseen, ja samalla automaattiauton oletetaan kykenevän toimimaan kaikissa olosuhteissa ja liikennetilanteissa. (Fagnant & Kockelman 2015) Tutkimuksessa ei ole huomioitu mahdollisia uusia riskejä, joita automaattiautot voivat tuoda esim. kuljettajien kommunikoinnin muuttuessa. Suomessa inhimillinen taustariski on esiintynyt 94 %:ssa onnettomuuksista, joten ilman muita rajoitteita automaattiautojen turvallisuuspotentiaali olisi samalla tasolla, kuin Fagnant ja Kockelman (2015) esittivät Yhdysvaltojen osalta. Suomessa talviset olosuhteet kuitenkin viivästyttänevät sellaisten automaattiautojen yleistymistä, jotka selviävät kaikista olosuhteista ja liikennetilanteista täysin ilman kuljettajaa. Kaikissa olosuhteissa ilman kuljettajaa toimiva ajoneuvo hyödyntää erilaisia kamera- ja tutkajärjestelmiä sekä keinoälyä ja on verkottunut muiden ajoneuvon kanssa (VTT 2017).

Tutkijalautakuntien laatimat **turvallisuuden parannusehdotukset** liittyivät vuosina 2011–2015 inhimilliseen tekijään (esim. liikenneopetus- ja kasvatusta) 71 %:ssa onnettomuuksista, 62 %:ssa liikkumisvälineeseen (esim. ajoneuvon varusteet ja laitteet), 54 %:ssa liikenneympäristöön (esim. liikenteen ohjaus) ja 46 %:ssa lainsäädäntöön ja määräyksiin (esim. liikennejärjestelmän toiminta) (OTI 2017; LVK 2012–2015). Yksittäisessä onnettomuudessa voi olla useita eri luokkiin liittyviä parannusehdotuksia ja samasta luokasta voi olla useita erilaisia yksityiskohtaisia parannusehdotuksia.

Automatisoitujen ajoneuvojen oletetaan vähentävän erityisesti inhimilliseen tekijään liittyviä onnettomuuksia, joten ajoneuvojen automatisointi tai aktiivisten turvajärjestelmien lisääminen ajoneuvoon voisi olettaa yleistyvän tutkijalautakuntien parannusehdotuksissa tulevina vuosina. Vuonna 2015 tutkijalautakuntien turvallisuuden parannusehdotukset liittyivät kuljettajan teknisiin apuvälineisiin 27 %:ssa onnettomuuksista. Tähän ryhmään kuuluvista parannusehdotuksista yleisimmät liittyivät kuljettajan ajokuntoon (esim. alkolukko) 66 ajoneuvossa ja ajosuorituksen ohjaamiseen (esim. ajolinjan valinta tai nopeuden hallinta) 57 ajoneuvossa. Kuljettajan roolin muuttuminen automatisoidussa ajoneuvossa muuttaa onnettomuustutkinnan painopistettä enemmän järjestelmien ja laitteiden tutkintaan kuljettajan toiminnan ja siihen liittyvien puutteiden tutkimisesta. Vuosien 2011–2015 tutkijalautakuntien parannusehdotusten perusteella tieliikenteen automatisoitumisen nähdään tukevan turvallisuuden kehittymistä, sillä inhimillisen riskitekijän osuus ja sen pienentämisen keinot korostuvat onnettomuustutkinnassa ja turvallisuuden parannusehdotuksissa.

6 Onnettomuustietorekisterin kehittäminen automaattiautojen yleistymisen huomioiden

Onnettomuuden kulun ja riskien selvittämisen lisäksi tutkijalautakunnat selvittävät onnettomuuksissa osallisina olevien ajoneuvojen järjestelmiä ja varustelua, joten onnettomuustietorekisteri sisältää tarkan ominaisuusluettelon onnettomuusajoneuvoista. Kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa ajoneuvo tyypillisesti vaurioituu pahoin, jolloin järjestelmien käyttöä ja toimintaa onnettomuustilanteessa on vaikea selvittää. Järjestelmän käytön ja oikein toimimisen selvittäminen on turvallisuusvaikutuksien tutkimisen kannalta olennaista, sillä pois päältä oleva tai väärin toimiva järjestelmä ei ehkäise onnettomuutta. Verkottunut eli muihin ajoneuvoihin tai infrastruktuuriin yhteydessä oleva ajoneuvo voi lähettää tietoa onnettomuustilanteesta ja järjestelmien keräämästä datasta ajoneuvovalmistajalle, mutta tutkijalautakunnilla ei ole automaattisesti oikeutta saada kaikkea ajoneuvon tuottamaa aineistoa tutkinnan tueksi. Laajemmat pääsyoikeudet ajoneuvojen tuottamaan dataan parantaisivat onnettomuus- ja turvallisuustutkimuksen lähtökohtia. Ajoneuvojen tuottaman tiedon saatavuuden parantaminen on tärkeä tavoite älykkäämpien ja automatisoidumpien ajoneuvojen yleistyessä tulevaisuudessa.

Onnettomuustietorekisteri sisältää taulukoitua tietoa, jolloin laitteiden ominaisuuksista ja käytöstä ei voida kirjata yksilöllisiä tietoja rekisteriin, jotta aineisto olisi helposti luettava. Rekisteristä voidaan tarkastella onnettomuuksien ominaisuuksia (esim. ajoneuvojen tukijärjestelmiä) vuositasolla, joten tapaustutkimusaineistoa voidaan tarkastella määrällisen aineiston tutkimusmenetelmillä. Tutkijalautakuntien laatimista tutkintakansiosta on mahdollista saada yksityiskohtaisempaa tietoa (esim. tukijärjestelmien käytöstä ja toiminnasta), mutta erittäin yksityiskohtaisen ja tapauksien määrän osalta laajan aineiston analysointi on työlästä, jolloin käytössä on laadullisen tutkimuksen menetelmiä. Esimerkiksi ajoneuvon mukautuva nopeudensäädin kirjataan rekisteriin, mutta säätimen tarkempia ominaisuuksia, kuten millä nopeusalueella säädin toimii ja sisältyykö siihen stop and go –toiminto, ei ole tarkoituksenmukaista kirjata rekisteriin. Tarkemmat tiedot olisi tarvittaessa oltava saatavilla tutkintakansiosta.

Vuonna 2016 onnettomuustietorekisterin muuttujia päivitettiin huomioimaan erityisesti ajoneuvojen automatisoituminen. Uusina muuttujina mukaan otettiin mm. automatisoitu ajo, aktiivinen kaistavahti ja mukautuva nopeudensäädin. Uusille muuttujille on edelleen tarvetta, jotta kehittyvän teknologian turvallisuusvaikutuksia voidaan tutkia. Seuraavassa on listattu uusia muuttujia tai täydennyksiä nykyisiin muuttujiin, joita tässä tutkimuksessa on havaittu tarpeelliseksi sisällyttää onnettomuustietorekisteriin automaattiautojen yleistymisen huomioiden:

Älykäs nopeudenrajoitin (Intelligent speed adaptation). Nopeudenrajoittimen tarkoituksena on vähentää ylinopeudella ajamista varoittamalla liiallisesta ajonopeudesta, lisäämällä vastusta kaasupolkimessa tai rajoittamalla ajonopeus sallittuun nopeuteen. Järjestelmä havaitsee sallitun nopeuden ja ilmoittaa sen kuljettajalle. (European Commission 2017)

Automaattijarrutus: kaupunki- vai maantieajo. Automaattijarrutusjärjestelmän toiminta-alue voi vaihdella ajoneuvon nopeuden mukaan, joten muuttujassa tulisi määritellä nopeusalue, jolla järjestelmä toimii.

Törmäysvaroitin (Collision warning). Törmäysvaroitin on yhdistettävissä automaattijarrutusjärjestelmämuuttujaan. Varoitin tulisi olla myös omana muuttujana varsinkin, jos ajoneuvossa on vain törmäysvaroitin mutta ei automaattijarrutusta.

Onnettomuus- tai ajotiedon tallennusjärjestelmä (Event data recorder, ”musta laatikko”). Onnettomuustiedon tallennusjärjestelmä mahdollistaa tarkan tiedon saamisen onnettomuustilanteesta. Muuttuja sisältäisi myös tiedon, onko tutkijalautakunnalla ollut pääsy ajoneuvotietoihin.

Verkottunut ajoneuvo (V2V, V2I). Tieto siitä, onko ajoneuvo tai yksittäinen järjestelmä verkon välityksellä yhteydessä toiseen ajoneuvoon (V2V) tai infrastruktuuriin (V2I). Verkottuneet ajoneuvot pystyvät ennakoimaan paremmin saadessaan tietoa muiden ajoneuvojen liikkeistä ja muuttuvista olosuhteista verkon välityksellä. Esimerkkejä verkottumiseen perustuvista järjestelmistä:

- **Risteysajon varoitin (Intersection movement assist)** varoittaa risteyksessä samalle ajolinjalle tulevista ajoneuvoista. Varoittimen täydellinen toiminta vaatii, että mahdollisen konfliktin kaikissa osallisissa ajoneuvoissa on verkottunut järjestelmä. (Logan et al. 2017)
- **Nopeudenvaroitin kaarreaajossa (Curve speed warning)** varoittaa olosuhteisiin nähden liian suuresta nopeudesta kaarreaajossa estäen kaistalta pois ajautumisia. Järjestelmä voi perustua tiesääaseman ajoneuvoihin lähettämään varoitukseen esim. liukkaasta tienpinnasta. (Logan et al. 2017)

Onnettomuustietorekisterissä on otettu käyttöön uusia muuttujia vuonna 2016 ja muuttujien määrä mahdollisesti lisääntyy tulevaisuudessa ajoneuvojen kehittyessä, joten ilman yhtenäistä ohjeistusta järjestelmien toiminnasta saatetaan raportoida eri tavoin. Esimerkiksi automatisoitu ajo -muuttujaa on muun onnettomuusaineiston perusteella saatettu käyttää poikkeavalla tavalla eri tapauksissa (katso luku 4.3), joten tarkemmalle ohjeistukselle on tarvetta. Toisena esimerkkinä olisi tarve määrittää, mitä esimerkiksi automaattijarrituksen lisäominaisuus "vain kiinteiden esteiden tunnistus" tarkoittaa. Jalankulkijan tunnistamiselle on oma kategoria, joten sisältyykö kiinteisiin esteisiin moottoriajoneuvot ja mihin luokkaan polkupyöräilijät kuuluvat. Lisäksi eri autonvalmistajat saattavat käyttää poikkeavia nimityksiä edistyneille tukijärjestelmille, mikä vaikeuttaa järjestelmien ominaisuuksien tunnistamista. Tutkijalautakuntien toimintatapojen yhtenäistämiseksi ja onnettomuusaineiston laadun ylläpitämiseksi muuttujien (erityisesti kuljettajan tukijärjestelmien) määritelmistä tulisi laatia tarkempi **ohjeistus**. Tutkijalautakuntien **kouluttaminen** uudesta teknologiasta ja järjestelmien toiminnasta on myös tarpeellinen toimenpide.

Tutkijalautakuntien tekemissä parannusehdotuksissa olisi suositeltavaa selvissä tapauksissa ehdottaa kehittyneen tukijärjestelmän (esim. aktiivinen kaistavahti) käyttöönottoa vastaavien onnettomuuksien ehkäisemiseksi, mikäli tukijärjestelmän odotetaan soveltuvan tutkitun onnettomuuden ehkäisemiseen. Tukijärjestelmän nimeäminen parannusehdotuksena on selkeä turvallisuuden parannusehdotus. Parannusehdotuksen toimeenpanosta tai ehdotuksen jatkojalostamisesta vastaavan tahon nimeäminen voisi lisäksi nopeuttaa toimenpiteen käyttöönottoa.

7 Yhteenveto ja päätelmät

Automatisoitujen ajoneuvojen odotetaan parantavan turvallisuutta, mutta todellisista turvallisuusvaikutuksista on toistaiseksi vain vähän tutkittua tietoa. Myös Suomen talviset olosuhteet ovat yksi ongelma ratkaistavaksi, jotta automatisoitu ajaminen olisi turvallista ja mahdollista ympärivuotisesti. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu edistyneitä kuljettajan tukijärjestelmiä hyödyntäville ajoneuvoille tapahtuneita kuolemaan johtaneita onnettomuuksia Suomessa analysoimalla OTIn onnettomuustietorekisteriä. Yksittäisten järjestelmien tai automaatiotasojen turvallisuusvaikutuksia ei ole mahdollista tutkia onnettomuusaineistosta, koska onnettomuuksia on tapahtunut vähän ja järjestelmien yleisyydestä autokannassa ei ole riittävän tarkkaa tietoa. Kirjallisuustutkimuksella selvitettiin tukijärjestelmien kansainvälisesti tutkittuja turvallisuusvaikutuksia, jotka eivät ole kuitenkaan sellaisenaan yleistettävissä Suomen olosuhteisiin. Lisäksi tutkijalautakuntien raportoimia parannusehdotuksia ja riskejä vertailtiin automatisaation kehitykseen ja oletettuihin hyötyihin. Tutkimuksen perusteella koostettiin kehitysehdotuksia onnettomuustietorekisteriin raportoivista tukijärjestelmistä ja tutkijalautakuntien toiminnan kehittämiseksi. Seuraavaksi esitetään tutkimuksen keskeiset tulokset tutkimuskysymyksittäin.

1. Minkälaisia turvallisuusvaikutuksia automaatiotason 2 mahdollistavilla keskeisimmillä järjestelmillä on ja miten yleisiä järjestelmät ovat Suomessa?

Tässä tutkimuksessa automaatiotason 2 mahdollistavilla järjestelmillä tarkoitetaan mukautuvaa nopeudensäädintä, automaattijarrutusta ja aktiivista kaistavahtia.

Mukautuvaa nopeudensäädintä ja automaattijarrutusta hyödyntävien ajoneuvojen osuus Suomen autokannasta on arvioitu olevan noin 16 % ja aktiivisen kaistavahtin 8 % vuonna 2017. Todellisuudessa osuudet ovat pienemmät, sillä arvioihin on laskettu mukaan sellaiset ajoneuvot, joihin järjestelmän saa lisävarusteena, mutta järjestelmää ei ole välttämättä asennettu.

Eri järjestelmien on erikseen arvioitu vähentävän järjestelmän soveltuvuusalueeseen kuuluvien onnettomuustyyppien onnettomuuksia vähintään 30 % ja enimmillään 90 %. Mikäli mukautuva nopeudensäädin olisi lähes kaikissa ajoneuvoissa ja ajoneuvot olisivat verkottuneita, järjestelmän on arvioitu vähentävän 90 % peräänajo-onnettomuuksia. Tutkimuksia ei ole tehty Suomen olosuhteisiin, joten tulokset eivät ole sellaisenaan yleistettävissä Suomeen.

2. Edistyneistä kuljettajan tukijärjestelmistä kerättävät tiedot ja onnettomuuksien määrät

Keskeisimmistä automatisoidun ajon mahdollistavista kuljettajan tukijärjestelmistä on saatavilla onnettomuustietoa kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien osalta. Automaatiotason 2 mahdollistavat järjestelmät (mm. mukautuva nopeudensäädin, automaattijarrutus ja aktiivinen kaistavahti) sisältyvät onnettomuustietorekisteriin raportoitaviin tietoihin.

Automatisoidulle ajoneuvolle, joka onnettomuustietorekisterissä käytetyn määritelmän perusteella on verrattavissa automaatiotason 2 ajoneuvon, onnettomuuksia on tapahtunut yhteensä neljä vuosina 2014–2016. Muun raportoinnin perusteella ainoastaan yhdessä tapauksessa neljästä ajoneuvon ominaisuudet täyttävät automaatiotason 2 vaatimukset. Automaatiotason 2 ajoneuvo näyttäisi todellisuudessa olleen osallisena yhdessä kuolemaan johtaneessa onnettomuudessa Suomessa, mutta kyseinen ajoneuvo ei ollut onnettomuuden aiheuttaja. Tutkijalautakuntien raportoimien tietojen perusteella on arvioitu myös automaatiotason 1 ajoneuvoille tapahtuneita kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, joita aineiston perusteella tapahtui yhteensä kahdeksan vuosina 2015–2016.

Huomioitavaa on, että onnettomuusaineiston perusteella ei voida olla varmoja ajoneuvoon asennetun järjestelmän toiminnassa olemisesta onnettomuutta edeltäneessä tilanteessa tai järjestelmän käyttörajoituksista (esim. nopeusalue, jossa järjestelmä toimii). Tässä tutkimuksessa on käytetty taulukoitua onnettomuustietorekisteriaineistoa, joka ei sisällä yhtä yksityiskohtaista tietoa onnettomuudesta kuin tutkijalautakuntien laatimat raportit onnettomuuksista.

3. Miten tutkijalautakuntien turvallisuuden parannusehdotukset ja automaattiautojen kehitys kohtaavat?

Arviolta automaatiotasolla 4 ja 5 tyypillisimpien välittömien riskien (esim. sairauskohtaus tai virheellinen ohjausliike) toteutumisen todennäköisyys voidaan kokonaan poistaa. Alemmilla automaatiotasolla riskiä voidaan pienentää liikennenympäristöstä ja olosuhteista riippuen, mutta järjestelmä ei pysty täysin estämään välittömien riskien syntyä.

Inhimillinen riskitekijä oli kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien taustalla 94 %:ssa tapauksista Suomessa. Automatisaation mahdollistamien turvallisuushyötyjen arvioidaan perustuvan inhimillisen virheen poistumiseen, joten Suomenkin kannalta automatisoitumiseen liittyvä turvallisuuspotentiaali on merkittävä. Osa tutkijalautakuntien turvallisuuden parannusehdotuksista liittyy kuljettajaa tukevien järjestelmien käyttöönottoon, mutta jatkossa painopiste on oletettavasti vielä enemmän tukijärjestelmien käyttöä lisäävissä ehdotuksissa.

4. Mitä automatisaation etenemisen kannalta keskeisiä laitteita ja järjestelmiä olisi tarpeellista rekisteröidä?

Tutkimuksessa on tunnistettu onnettomuustietorekisteristä puuttuvia edistyneitä kuljettajaa tukevia järjestelmiä ja muita turvalaitteita, joiden sisällyttämistä rekisteröintiin tulisi harkita. Lisäksi tunnistettiin täydennyksiä nykyisiin muuttujista kerättäviin tietoihin. Automatisoitumisen kehittymistä tulee kuitenkin seurata jatkuvasti, jotta turvallisuus- ja onnettomuustutkimuksen tarpeisiin saadaan tarpeita vastaavaa aineistoa.

Onnettomuustietorekisteriin lisättiin uusia muuttujia vuoden 2016 alussa, ja automatisaation kehittyessä uusia muuttujia lisätään myös jatkossa. Teknologian kehittyessä suositellaan järjestämään koulutuksia tutkijalautakuntien jäsenille, jotta tutkimuksen toimintatavat olisivat mahdollisimman yhtenäiset koko Suomessa. Edistyneet kuljettajan tukijärjestelmät tulisi myös ohjeistaa ja määritellä, jotta muuttujat ymmärretään samalla tavalla eri lautakunnissa.

Onnettomuustutkiminta ja liikenneturvallisuustutkimus tulevaisuudessa

Ajo- ja onnettomuustiedon tallennusjärjestelmien yleistyessä onnettomuutta edeltäneistä tilanteista ja kuljettajaa tukevien järjestelmien toiminnasta on mahdollista saada yksityiskohtaista aineistoa onnettomuustutkimintaan ja turvallisuusvaikutusten tutkimista varten. Ajoneuvojen tuottama aineisto ei ole kuitenkaan kaikissa tapauksissa saatavilla tutkijoiden käyttöön. Jatkossa onnettomuus- ja ajoneuvotiedon saamista tutkimuskäyttöön tulisi edistää tarvittaessa lainsäädännöllisin keinoin.

Ajoneuvojen aktiivisen turvallisuuden tukemiseksi autoista olisi myös kerättävä tehokkaammin tutkimuskäyttöön saatavilla olevaa ajosuoritettietoa. Tällä hetkellä ajosuoritettietoa kerätään vain vuosikatsastusten yhteydessä, jolloin uusista autoista on saatavilla ensimmäinen tieto vasta kolmen vuoden kuluttua – jatkossa neljän vuoden kuluttua käyttöönnotosta.

Tässä tutkimuksessa on tehty ensimmäinen katsaus automaatiotasojen 1 ja 2 ajoneuvojen kuolemaan johtaneisiin onnettomuuksiin Suomessa. Jatkossa onnettomuuksien määrää on suositeltavaa seurata vuosittain eri tukijärjestelmien ja automaatiotasojen osalta. Nykyinen tieto tukijärjestelmien yleisyydestä Suomen autokannassa on suuntaa antava, joten onnettomuuksien määrän suhteuttaminen eri järjestelmillä varustettujen ajoneuvojen määrään ei toistaiseksi tuota luotettavaa tietoa turvallisuusvaikutuksista. Mikäli tulevina vuosina järjestelmiä hyödyntävien ajoneuvojen määrästä saadaan luotettavampaa tietoa, onnettomuusmäärien ja ajoneuvomäärien kehittymistä on mahdollista tarkastella suhdelukuna (esim. aktiivista kaistavahtia hyödyntävien ajoneuvojen

ajosuorite / onnettomuuksien määrä, joissa aktiivista kaistavahtia hyödyntävä ajoneuvo osallisena). Aktiivinen kaistavahti soveltuu parhaiten kohtaamisonnettomuuksien ja tieltä suistumisten ehkäisemiseen, joten tarkasteluun on suositeltavaa valita kyseiset onnettomuustyyppit. Teknologian kehittyessä ja automaattiautojen yleistyessä automatisoiduille ajoneuvoille tapahtuu oletettavasti nykyistä enemmän onnettomuuksia. Mikäli kuljettajaa tukevilla järjestelmillä on positiivisia turvallisuusvaikutuksia, pitäisi automaattiautojen määrään suhteutettuna onnettomuuksia kuitenkin tapahtua vähemmän.

Lähteet

Aust, M. L. 2010. Generalization of case studies in road traffic when defining pre-crash scenarios for active safety function evaluation. *Accident Analysis and Prevention*. 42, 1172-1183.

Cicchino, J. B. 2017. Effects of lane departure warning on police-reported crash rates. Insurance Institute for Highway Safety.

European Commission. 2016. Advanced driver assistance systems.

European Commission 2017. Intelligent speed adaptation. Saatavissa: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/speed/new_technologies_new_opportunities/intelligent_speed_adaptation_isa_en. Viitattu: 21.11.2017.

Fagnant, D. J., Kockelman, K. 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*. 77, 167-181.

Fildes, B., Keall, M., Bos, N., Lie, A., Page, Y., Pastor, C., Pennisi, L., Rizzi, M., Thomas, P., Tingvall, C. 2015. Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes. *Accident Analysis and Prevention*. 81, 24-29.

Innamaa, S., Kanner, H., Rämä, P., Virtanen, A. 2015. Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Trafín tutkimuksia.

Isaksson-Hellman, I., Lindman, M. 2016. Using insurance claims data to evaluate the collision-avoidance and crash-mitigating effects of collision warning and brake support combined with adaptive cruise control. 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Gothenburg, Sweden.

KPMG. 2015. Connected and autonomous vehicles – The UK economic opportunity.

Li, Y., Li, Z., Wang, H., Wang, W., Xing, L. 2017a. Evaluating the safety impact of adaptive cruise control in traffic oscillations on freeways. *Accident Analysis and Prevention*. 104, 137-145.

Li, Y., Wang, H., Wang, W., Xing, L., Liu, S., Wei, X. 2017b. Evaluation of the impacts of cooperative adaptive cruise control on reducing rear-end collision risks on freeways. *Accident Analysis and Prevention*. 98, 87-95.

Litman, T. 2017. Autonomous vehicle implementation predictions. Implications for transport planning. Victoria Transport Policy Institute.

Luoma, J. 2017. Henkilöauton kuljettajan tukijärjestelmien rekisteröintitarpeet. Trafín tutkimuksia.

LVK. 2012. VALT-vuosiraportti 2011. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat kuolemaan johtaneet tieliikenneonnettomuudet. Liikennevakuutuskeskus.

LVK. 2013. VALT-vuosiraportti 2012. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat kuolemaan johtaneet tieliikenneonnettomuudet. Liikennevakuutuskeskus.

LVK. 2014. VALT-vuosiraportti 2013. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat kuolemaan johtaneet tieliikenneonnettomuudet. Liikennevakuutuskeskus.

LVK. 2015. VALT-vuosiraportti 2014. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat kuolemaan johtaneet tieliikenneonnettomuudet. Liikennevakuutuskeskus.

Logan, D. B., Young, K., Allen, T., Horberry, T. 2017. Safety benefits of cooperative ITS and automated driving in Australia and New Zealand. Austroads research report.

Lähteranta, T. 2017. Kuljettajan tukijärjestelmien yleistäminen Suomessa. Trafifin julkaisu.

OTI. 2017. OTI-vuosiraportti 2015. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat kuolemaan johtaneet onnettomuudet. Onnettomuustietoinstituutti.

Rizzi, M., Kullgren, A., Tingvall, C. 2014. Injury crash reduction of low-speed autonomous emergency braking (AEB) on passenger cars. IRCOBI Conference 2014.

SAE International Standard J3016. Saatavissa: https://saemobilus.sae.org/content/j3016_201401.

Sander, U. 2017. Opportunities and limitations for intersection collision intervention – A study of real world 'left turn across path' accidents. Accident Analysis and Prevention. 99, 342-355.

Sivak, M., Schoettle, B. 2015. Road safety with self-driving vehicles: general limitations and road sharing with conventional vehicles. University of Michigan, Transportation Research Institute.

Tilastokeskus. 2017. Tieliikenneonnettomuustilasto. Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/til/ton/index.html>.

Tesla. 2017. Autopilot-järjestelmä. Saatavissa: https://www.tesla.com/fi_FI/autopilot. Viitattu: 21.11.2017.

Trafi. 2015. Automaattinen hätäpuhelujärjestelmä pakolliseksi uusiin autoihin 2018 alkaen. Ajankohtaista 17.6.2015. Saatavissa: https://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/3436/automaattinen_hatapuhelujarjestelma_pakolliseksi_uusiin_autoihin_2018_alkaen.

Volvo. 2017. Volvo Cars CEO urges governments and car industry to share safety-related traffic data. Saatavissa: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/207164/volvo-cars-ceo-urges-governments-and-car-industry-to-share-safety-related-traffic-data>.

VTT. 2017. Autonomous vehicle challenges. Saatavissa: http://www.vttresearch.com/Documents/Smart%20and%20sustainable%20city/Autonomous_vehicle_technologies.pdf.