



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Eero Saarinen

# Autojen tekninen kehitys ja sen vaikutus liikenteen henkilövahinkoihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

23.12.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Eero Saarinen Autojen tekninen kehitys ja sen vaikutus liikenteen henkilövahinkoihin 40 sivua 23.12.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Pasi Kovanen Palveluvastaava Jan-Erik Strömberg, LähiTapiola
<p>Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitkä asiat ovat vaikuttaneet liikenneturvallisuuden paranemiseen ja miten liikennevahinkojen määrä on kehittynyt viimeisen 13 vuoden aikana. Opinnäytetyössä perehdytään autojen passiivisiin ja aktiivisiin turvalaitteisiin ja niiden kehitykseen lähinnä 2000-luvulta lähtien. Tämän lisäksi työssä tarkastellaan autojen teknisen kehityksen vaikutusta liikenteen henkilövahinkoihin ja kuvataan, miten autojen turvallisuutta testataan. Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä LähiTapiola Pääkaupunkiseudun kanssa.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Lähteinä käytettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, tutkimuksia ja tilastoja. Näiden lisäksi käytettiin myös autovalmistajien ja muiden teknisten toimijoiden verkkosivustoja. Tilastolähteinä käytettiin tilastokeskuksen ja onnettomuustietoinstituutin tilastoja.</p> <p>Työ osoittaa, että autojen tekninen kehitys 2000- ja 2010-luvuilla on ollut nopeaa, ja huomattavaa parannusta autojen turvallisuuteen on saavutettu. Merkittäviä turvallisuutta lisääviä ominaisuuksia on useita. Näitä ovat muun muassa ESP-järjestelmä ja automaattinen hätäjarrujärjestelmä. Työssä käy ilmi, että autojen teknisellä kehityksellä ja turvalaitteiden yleistymisellä on selkeä vaikutus henkilövahinkojen vähenemiseen.</p> <p>Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää esimerkiksi LähiTapiolan sisäisessä koulutuksessa. Sen avulla voitaisiin perehdyttää korvausneuvoja ja vahinkotarkastajia autojen tekniseen kehitykseen ja siihen, miten se vaikuttaa vahinkoihin.</p>	
Avainsanat	Turvalaitteet, turvallisuus, liikenneturvallisuus, henkilövahingot

Author Title Number of Pages Date	Eero Saarinen Technical Development of Cars and Its Effect on Personal Injuries in Traffic 40 pages 23 December 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Vehicle Design Engineering
Instructors	Pasi Kovanen, Senior Lecturer Jan-Erik Strömberg, Service Manager, LocalTapiola
<p>The purpose of this thesis was to find out what factors have affected the improvements of traffic safety and how the number of traffic accidents has been evolving during the last 13 years. This thesis describes passive and active safety devices of cars and their evolution from the year 2000. This thesis also discusses how technical improvements of cars affect personal injuries, and how the safety of cars is tested. The thesis was carried out in cooperation with LocalTapiola Pääkaupunkiseutu.</p> <p>The thesis was carried out as a literature review. Relevant literature, research and statistics were used as sources. In addition, the websites of car manufacturers and other technical actors were studied. Statistics from Statistics Finland and the Accident Information Institute were used as statistical sources.</p> <p>The thesis shows that technical development of cars in the 21st century has been quick and a significant improvement in car safety has been achieved. There are several significant safety features, e.g. the ESC system and automatic emergency braking system. The thesis shows that the technical development of cars and safety devices are becoming more common, and they have an obvious effect in reducing personal injuries.</p> <p>The thesis could be used at LocalTapiola internal training and it would help the compensation advisors and vehicle inspectors to become familiar with technical improvements in cars and how they affect accidents.</p>	
Keywords	Safety devices, safety, traffic safety, personal injuries

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Turvalaitteet	2
2.1	Ajoneuvon turvallisuus	2
2.2	Passiiviset turvalaitteet	2
2.2.1	SRS-järjestelmä	2
2.2.2	Jalankulkijaturvallisuus	4
2.2.3	Takamatkustajan etuturvatyyny	5
2.3	Koritekniikka	7
2.3.1	Kehitys	7
2.3.2	Rakenne	7
2.3.3	Törmäysenergian absorbointi	8
2.4	Aktiiviset turvalaitteet	10
2.4.1	Ajonvakautusjärjestelmä (ESC)	12
2.4.2	Kuljettajaa avustavat järjestelmät	12
2.4.3	Automaattinen hätäjarrujärjestelmä (AEB)	13
2.4.4	Kehitys	14
2.5	Pakolliset turvalaitteet	15
2.6	Turvalaitteet tulevaisuudessa	16
3	Testaus (Euro NCAP)	17
3.1	Törmäystestit	19
3.1.1	Etutörmäystestit	19
3.1.2	Sivutörmäystestit	20
3.1.3	Whiplash	22
3.1.4	Vertailua	24
3.2	Jalankulkijoiden turvallisuus (VRU)	25
3.3	Aktiivinen turvallisuus	26
4	Ajoneuvokanta	27

4.1	Henkilöautokannan keski-ikä kehitys Suomessa	27
4.2	Autokannan kehitys Suomessa	28
5	Liikennevahinkojen kehitys	29
5.1	Liikennevahingot	29
5.2	Henkilövahinkoihin johtaneet liikennevahingot	30
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	35

## Lyhenteet

SRS	Supplemental Restraint System
ABS	Anti-Lock Braking System
AEB	Autonomous Emergency Braking
ESC	Electronic Stability Control
TPMS	Tyre Pressure Monitoring System
ROPS	Roll Over Protection System
LDW	Lane Departure Warning
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia autojen teknistä kehitystä ja turvalaitteiden vaikutusta liikenteen henkilövahinkojen määrään. Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä LähiTapiola Pääkaupunkiseudun kanssa. Autojen teknisen kehityksen vaikutus henkilövahinkojen määriin on aiheena ajankohtainen ja myös vakuutusyhtiön näkemyksen kannalta tarpeellinen. Autoissa on nykypäivänä enemmän turvallisuustekniikkaa kuin koskaan aiemmin, ja siihen perehtyminen on sen takia tarpeellista. Liikenneturvallisuuden parantaminen on valtakunnallisesti ja maailmanlaajuisesti tärkeää, ja autovalmistajilla on suuri rooli siinä. Suomen tavoitteena on nuorentaa ajoneuvokantaansa ja sitä kautta parantaa liikenneturvallisuutta (Liikenneturvallisuus paranee autokannan uusiutuksessa 2019).

LähiTapiola on suomalainen vakuutusalanpalveluja myyvä finanssiryhmä. LähiTapiola muodostui Lähivakuutus- ja Tapiola-ryhmien yhdistyttyä vuonna 2013. LähiTapiola-ryhmä muodostuu 20 alueellisesta keskinäisestä vahinkovakuutusyhtiöstä ja valtakunnallisesti toimivista LähiTapiola Vahinkoyhtiöstä, Henkiyhtiöstä, Varainhoidosta, Kiinteistövarainhoidosta ja Vaihtoehtorahastoista. LähiTapiola-ryhmä on liikennevakuuttamisen markkinajohtaja Suomessa. LähiTapiola Pääkaupunkiseutu on yksi 20 alueyhtiöstä. LähiTapiola Pääkaupunkiseutu palvelee Helsingin, Espoon, Kauniaisten ja Vantaan alueella. (Pähkinänkuoressa.) Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää esimerkiksi LähiTapiolan sisäisessä koulutuksessa. Opinnäytetyön avulla voidaan perehdyttää korvausneuvoja ja vahinkotarkastajia autojen tekniseen kehitykseen ja sen vaikutuksiin.

Seuraavissa luvuissa perehdytään ajoneuvojen teknisiin innovaatioihin ja turvalaitteisiin, jotta voidaan ymmärtää, mitkä asiat ovat vaikuttaneet vahinkojen määrien kehitykseen. Työssä keskitytään henkilöautojen tekniseen kehitykseen. Suomessa henkilöautojen keski-ikä on noin 13 vuotta. Tästä syystä ajoneuvojen ja liikenteen henkilövahinkojen kehitystä tutkitaan vuodesta 2007 alkaen. Tämän lisäksi työssä perehdytään ajoneuvojen turvallisuuden ja turvalaitteiden testaukseen.

## 2 Turvalaitteet

### 2.1 Ajoneuvon turvallisuus

Henkilöautojen turvallisuustekniset ratkaisut jaetaan yleisesti kahteen eri kategoriaan: passiiviseen ja aktiiviseen turvallisuuteen. Passiivisen turvallisuuden tarkoituksena on lieventää matkustajien ja jalankulkijoiden törmäyksessä saatujen vammojen vakavuutta törmäyksen ollessa väistämätön. Aktiivinen turvallisuus taas pyrkii välttämään ja ehkäisemään onnettomuuksiin joutumista. Myös auton ajo-ominaisuudet ovat suuri osa turvallisuutta. Tällä tarkoitetaan lähinnä erilaisia alustarakenteen ratkaisuja, joiden avulla auton hallittavuutta ja ohjattavuutta saadaan parannettua.

Autojen turvallisuus on parantunut merkittävästi viime vuosikymmenten aikana. Tähän ovat vaikuttaneet uudenlaiset aktiiviset ja passiiviset turvalaitteet. Suomessa ajoneuvo-turvallisuutta pyritään parantamaan liikennepoliittisella tavoitteella, ns. nollavisioilla, jonka mukaan kenenkään ei tarvitse loukkaantua tai kuolla liikenteessä. Tavoitteeseen pääsemisen edellytyksenä on kuitenkin ajoneuvokannan nuorentaminen, jolloin uudenlainen ja turvallinen ajoneuvotekniikka yleistyisi Suomessa nopeammin. (Liikenneturvallisuus paranee autokannan uusiutuessa 2019.)

### 2.2 Passiiviset turvalaitteet

Passiivisilla turvalaitteilla tarkoitetaan turvalaitteita, joiden tarkoitus on lieventää kolarin aiheuttamia vammoja, kuten SRS-järjestelmä ja korin rakenteelliset ratkaisut. SRS-järjestelmä koostuu turvatyynyistä, turvavöistä ja turvavöiden esikiristimistä.

#### 2.2.1 SRS-järjestelmä

Turvavyöt ja turvavöiden esikiristimet muodostavat suurimman osan auton turvallisuudesta, koska niiden avulla törmäysenergiaa saadaan absorboitua 50–60 prosenttia. Etu-turvatyynyjen, turvavöiden ja turvavöiden esikiristimien avulla törmäysenergiaa saadaan absorboitua noin 70 prosenttia, jos turvatyynyjen laukeamisten ajankohta on synkronoitu



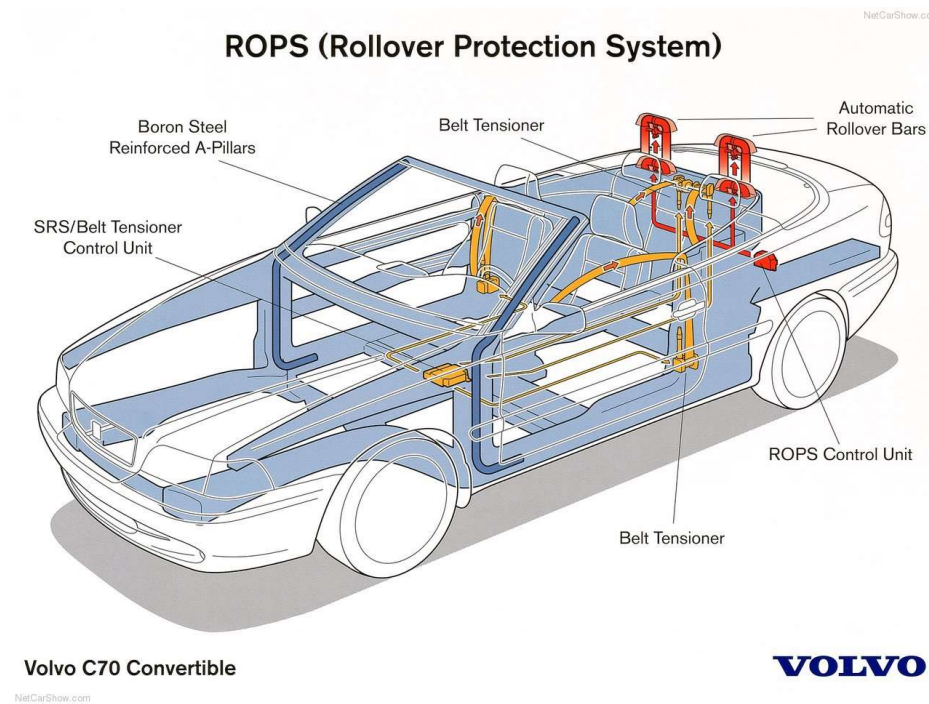
oikein. Kaikkien SRS-järjestelmän komponenttien tulee sopeutua toisiinsa, jotta optimaalinen suojaus saavutetaan. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2014: 62–63.)

Avoautojen osalta SRS-järjestelmään kuuluu myös Roll Over Protection System (ROPS). ROPS-järjestelmä on tuttu monista työkoneista, mutta käytössä myös henkilöautoissa, ensisijaisesti avoautoissa. Järjestelmä on Volvon kehittämä ja se esiteltiin ensimmäistä kertaa Volvo C70:ssa vuonna 1998. Järjestelmä perustuu kahteen pyroteknisesti laukeavaan metalliseen turvakaareen, jotka ovat sijoitettu takaistuinten päätukien taakse, kuten kuvassa 1 nähdään. Gyroskooppinen anturi, joka mittaa kiihtyvyyttä laukaisee turvakaaret. Järjestelmä toimii, vaikka avoauton katto olisikin kiinni. Katon ollessa kiinni turvakaarien päissä olevat kovat terävät kärjet rikkovat takalasin ja kaaret laukeavat sitä kautta ulos. (The all new Volvo C70 – Convertible with reinforced roll-over protection 2005.)



Kuva 1. Volvo C70 Roll Over Protection System (ROPS) (SEMA 2007: Volvo C70 Caresto Edition 2007).

Kuvassa 2 nähdään vuoden 2001 Volvo C70:n ROPS-järjestelmän rakenne ja siihen liittyvät eri komponentit. Kuvaan on eri väreillä merkitty järjestelmän eri komponentit. Turvakaaret on merkitty punaisella värillä, turvavöiden esikiristimet ja niiden ohjausyksikkö keltaisella ja booriteräksellä vahvistetut A-pilarit sinisellä.



Kuva 2. Vuosimallin 2001 Volvo C70:n ROPS-järjestelmän rakenne (ROPS [Rollover Protection System]).

### 2.2.2 Jalankulkijaturvallisuus

Jalankulkijaturvallisuuden parantamiseen törmäyksissä on myös löydetty uusia ratkaisuja, kuten niin sanottu aktiivinen konepelti, uudelleen suunnitellut autojen keulat ja jalankulkijan turvatyyny (Pedestrian Airbag). Volvo oli ensimmäinen autovalmistaja, joka toi markkinoille jalankulkijoille suunnitellun turvatyynyn (Volvo Car Corporation's pedestrian airbag: here's how it works 2012).

Kuvasta 3 nähdään, miten jalankulkijan turvatyyny laukeaa konepellin alta tuulilasille samalla peittäen A-pilareita. Vakavimmat vammat törmäyksessä jalankulkijoille aiheutuvat iskeytymisestä tuulilasille ja A-pilareihin. Järjestelmä toimii seitsemän eri anturin poh-

jalta, jotka on suunniteltu havaitsemaan ihmisen jalan muotoisia esteitä. Anturit ovat aktiivisia 20–50 kilometrin tuntinopeuksilla. Jos järjestelmä havaitsee esteen jalan muotoiseksi, niin ensin se laukaisee konepellin saranat kahden pyroteknisen panoksen avulla. Tämän avulla konepelti nousee takaosastaan 10 cm ja samanaikaisesti turvavyyny täyttyy. Volvon järjestelmässä on siis yhdistetty aktiivinen konepelti ja jalankulkijan turvavyyny. (Turvavyyny jalankulkijalle 2018.)



Kuva 3. Jalankulkijan turvavyyny Volvo V40:ssä (The all-new Volvo V40 – Pedestrian Airbag Technology 2012).

### 2.2.3 Takamatkustajan etururvavyyny

Mercedes-Benzin vuonna 2021 markkinoille tulevan uuden S-sarjan autot on varustettu ensimmäistä kertaa takaistuimille tarkoitetuilla etururvavyyniillä. Mercedesen esiteltyä kuljettajan etururvavyynyn jo 50 vuotta sitten etururvavyynyntä saadaan viimein myös takana matkustaville. Takamatkustajien etururvavyynijien rakenne on innovatiivinen, ja niissä käytetään putkimaista rakennetta. Turvavyynyntä täytetään nopeasti paineistetun kaasun avulla ja uusien patentoitujen venttiilien avulla varmistetaan, että ilma säilyy mat-

kustajan iskeytyessä turvatyynyyn. Turvatyynyn tilavuus on suunniteltu siten, että turvavöissä oleva takamatkustaja voidaan suojata ennen etuistuimiin osumista. Etuturvatyynyn suunnittelu takana matkustaville tuo omat haasteensa, koska turvatyyny täytyy sijoittaa etuistuimen selkänojaan, joka on kuitenkin säädettävä. Samalla pitää ottaa huomioon erikokoiset matkustajat, jotka istuvat takana. Lapset ja aikuiset istuvat kuitenkin hyvin eri kohdissa takaistuimilla. (Safety in the new S-Class 2020.)

Takana matkustavien etuturvatyynyillä saadaan parannettua takana matkustavien whiplash-turvallisuutta, koska päähän ei pääse kohdistumaan niin suurta heilahdusliikettä kuin ilman turvatyynyä pääsee. Kuvasta 4 nähdään takamatkustajien etuturvatyynyn eri komponentit ja rakenne. Turvatyyny on sijoitettu etuistuimen selkänojaan, josta se laukeaa törmäyksen sattuessa.



Kuva 4. Takamatkustajan etuturvatyyny (Safety in the new S-Class 2020).

## 2.3 Koritekniikka

### 2.3.1 Kehitys

Autojen koritekniikka on muuttunut merkittävästi viimeisen 30 vuoden aikana. Korirakenteet ovat muuttuneet jäykemmiksi ja merkittävästi turvallisemmiksi. 15 vuoden aikana korirakenteen suunnittelussa on tullut esille muitakin аспекteja kuin pelkkä turvallisuus. Materiaalivalintoihin on käytetty enemmän huomiota korin painon takia, jotta autoista saataisiin taloudellisimpia, vähäpäästöisempiä ja turvallisempia. Tämä on johtanut siihen, että autoissa käytetään yhä enemmän alumiinia ja esimerkiksi muovia. Muovia käytetään autojen etu- ja takaosissa jalankulkijoiden turvallisuuden parantamiseksi kolaritilanteissa. Kori- ja turvarakenteissa käytetään entistä enemmän erikois- ja ultralujia teräksiä. Perinteisesti autojen korit on valmistettu pääsääntöisesti rakenneteräksestä. Lujien terästen käytöllä materiaalivahvuuksia saadaan pienennettyä, mikä taas vaikuttaa suoraan ajoneuvon polttoaineenkulutukseen ja päästöihin massan pienentyessä (Järveläinen 2013).

### 2.3.2 Rakenne

Merkittävimmit harppaukset korirakenteiden suunnittelussa on tehty materiaaleissa ja liitosmenetelmissä, joihin on tullut paljon muutoksia. Esimerkiksi koriliiman käyttö on yleistynyt monella autovalmistajalla huomattavasti ja korirakenteissa on otettu käyttöön juuri ajoneuvokäyttöön suunnitellut erikoislujuudet AHSS (Advanced High Strength Steel)- ja UHSS (Ultra High Strength Steel) -teräkset. Kuvasta 5 nähdään vuoden 2021 Mercedes-Benzin S-sarjan korirakenne, joka koostuu suurimmaksi osaksi erilaisista alumiiniosista ja erikoislujuudesta teräksistä. Koko auton korista yli 50 prosenttia on alumiinia, joka tekee korista kevyen ja halutuista kohdista erittäin jäykän (Safety in the new S-Class 2020). Ratkaisulla saadaan autosta hallittavampi, ja ohjattavuus paranee. Kuvasta 5 nähdään, kuinka vähän nykyaikaisessa autossa käytetään perinteistä rakenneterästä. Runkoaisat ja sivuhelman sisäpalkit, jotka on merkitty kuvaan tummansinisellä, ovat puristettua alumiinia, mikä mahdollistaa yhtenäisen ja lujan rakenteen. Puristettu alumiini mahdollistaa seinämäpaksuuden vaihtelun saman rakenteen sisällä. Karkaistua UHSS-

terästä käytetään A-, B- ja C-pilareiden sekä korin alaosissa ja kardaanitunnelissa vahvikkeena. AHSS-terästä käytetään puolestaan helmakoteloiden päissä sekä A-, B- ja C-pilareissa. Kaikki pintapellit on valmistettu alumiinilevyistä.

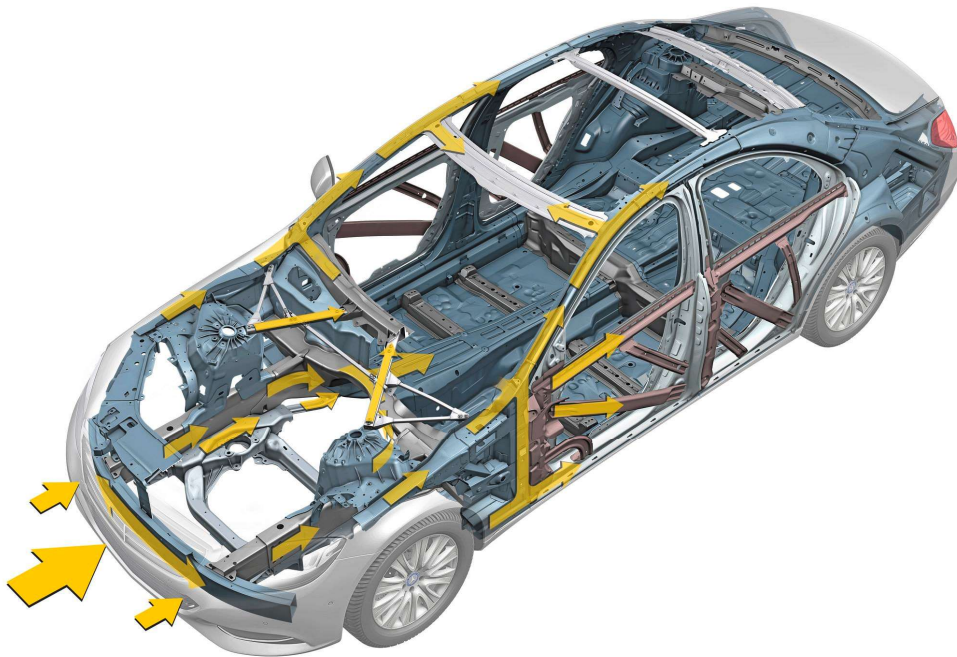


Kuva 5. Mercedes-Benz 2021 S-sarjan korirakenne (The new Mercedes-Benz S-Class 2020).

### 2.3.3 Törmäysenergian absorbointi

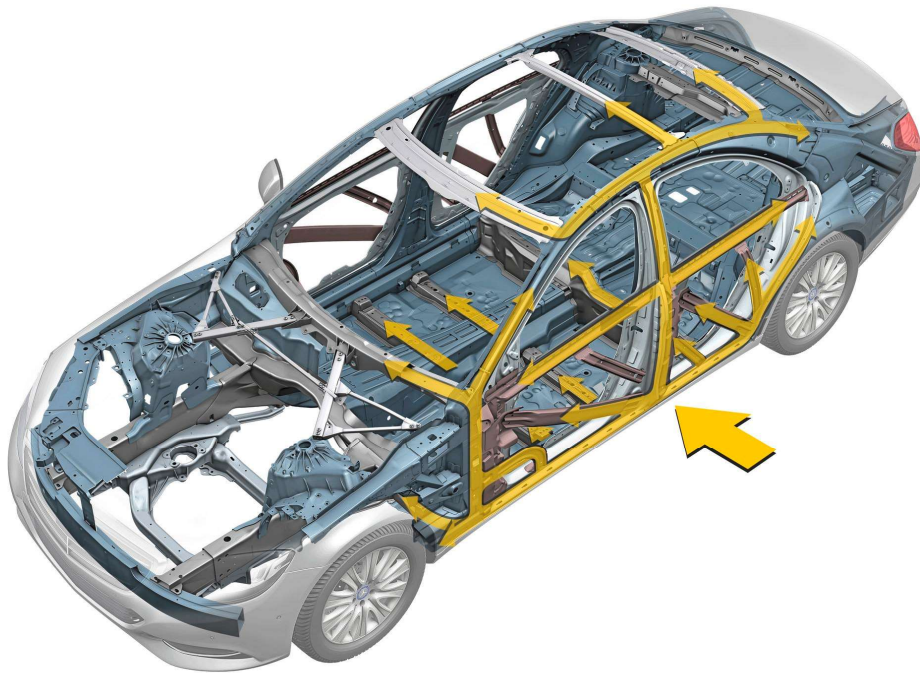
Korirakenteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon törmäysenergian absorbointi erilaisissa onnettomuustilanteissa. Törmäysenergian absorboinnilla tarkoitetaan liike-energian sulauttamista auton etu- ja takaosan törmäysvyöhykkeille, eli deformaatioalueille.

Alla olevissa kuvissa 6 ja 7 on esitetty Mercedes-Benz S-sarjan W222-auton korirakenne ja se, mihin törmäysenergia on suunniteltu ohjautuvan kahdessa erilaisessa törmäystilanteessa. Kuvassa 5 hahmotellaan törmäysenergian ohjautumista auton etuosaan aiheutuvassa kolarissa. Auton keulassa on energiaa absorboiva törmäysvyöhyke, jonka on suunniteltu antavan periksi ja siirtävän törmäysenergiaa samalla jäykemmille rakenteille ja auton alle. Törmäysenergiaa ohjataan runkoaisoille ja sitä kautta A-pilareihin ja helmipalkkeihin. Ovilla on runkovahvikkeet, joiden tarkoituksena on nimensä mukaisesti vahvistaa ovien rakennetta.



Kuva 6. Törmäysenergian absorbointi ja ohjautuminen etuosaan kohdistuvassa kolarissa (Davis 2013).

Kuvassa 7 hahmotellaan törmäysenergian absorboitumista ja ohjautumista sivuttaissuuntaisessa kolarissa. Kyljissä ei ole samanlaista törmäysvyöhykettä kuten auton etu- ja takaosassa on. Sen takia helmapalkki, A-, B-, ja C-pilari on valmistettu erittäin lujasta teräksestä. Törmäysenergiaa pyritään ohjaamaan auton lattiaan asennettuihin vahvikkeisiin, jotta matkustamon rakenne saataisiin ylläpidettyä eikä liian suuria muodonmuutoksia pääsisi syntymään. Tärkein rooli on kuitenkin helmapalkin ja B-pilarin rakenteella, koska sillä saadaan suojattua matkustamoa parhaiten sivuttaissuuntaisissa kolareissa.



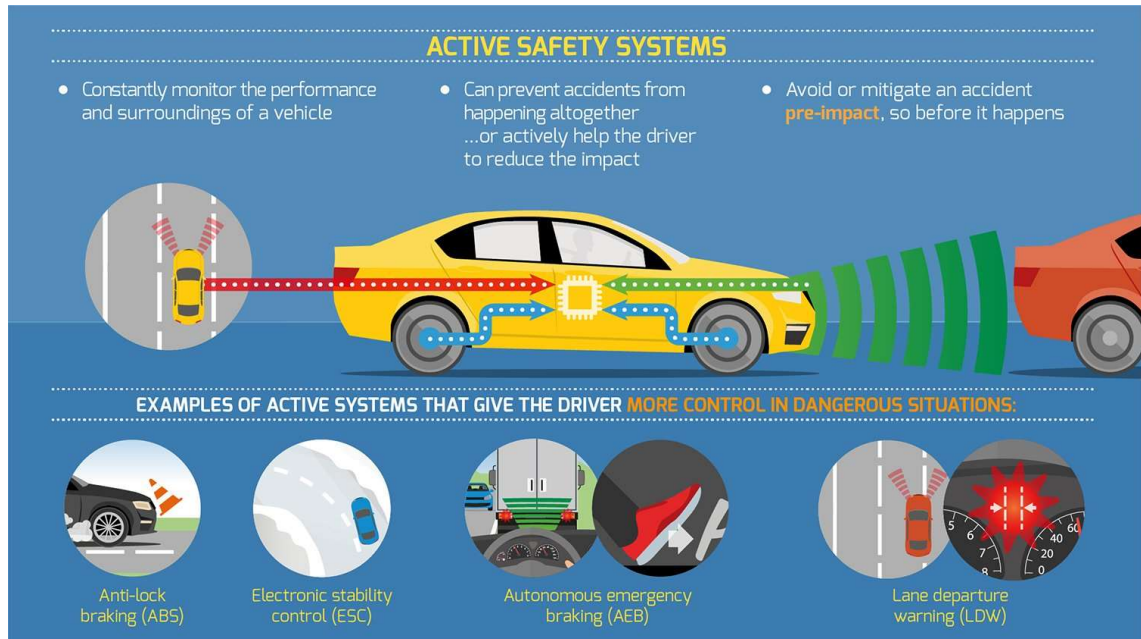
Kuva 7. Törmäysenergian absorbointi ja ohjautuminen sivuttaissuuntaisessa kolarissa (Davis 2013).

#### 2.4 Aktiiviset turvalaitteet

Aktiivisilla turvalaitteilla tarkoitetaan turvalaitteita, joiden tarkoituksena on estää onnettomuuksien tapahtumista. Aktiivisiin turvalaitteisiin lukeutuu ABS-järjestelmä, ESC-järjestelmä, TPMS (Tyre Pressure Monitoring System), erilaiset ajoavustinjärjestelmät, kuten hätäjarruavustin, adaptiiviset ajovalot ja kaistalla pitoavustin. Aktiivisia turvajärjestelmiä on nykypäivän autoissa paljon ja viimeisen kymmenen vuoden aikana niiden kehitys on ollutkin merkittävää. Kehitys näkyy erilaisten kuljettajaa avustavien järjestelmien yleistymisenä uusissa autoissa. Merkittävimpiä aktiivisia turvalaitteita kuitenkin ovat ABS- ja ESC-järjestelmät. Edellä mainitut järjestelmät löytyvätkin arviolta jo noin 80–90 prosentista Euroopan kaikista autoista (Active safety systems: What are they and how do they work? 2019). Kuvasta 8 nähdään esimerkkejä erilaisista aktiivisista turvalaitteista ja järjestelmistä.



Aktiivisten turvalaitteiden toiminta perustuu erilaisten antureiden, tutkien ja kameroiden havaintoihin ja mittauksiin. Eri järjestelmät kommunikoivat keskenään, ja sitä kautta saavutetaan optimaalinen toiminta. Jokaisella järjestelmällä voi olla oma ohjainlaitteensa, joka vastaanottaa ja suodattaa dataa antureilta ja tutkilta ja välittää tiedon sitten eteenpäin muille ohjainlaitteille. Datun perusteella sitten tarvittavat toiminnot suoritetaan.



Kuva 8. Aktiivinen turvallisuus (Active safety systems: What are they and how do they work? 2019).

Kehitys liittyen aktiivisiin turvalaitteisiin on ollut viime vuosina merkittävä ja siihen ollaankin panostettu huomattavasti enemmän kuin passiivisten turvalaitteiden kehittämiseen, lukuun ottamatta korirakenteiden kehitystä. Passiivisten turvalaitteiden osalta on jo saavutettu ja kehitetty kaikkein oleellisimmat ja tärkeimmät turvalaitteet, joten uusien turvalaitteiden kehittäminen toisi vain minimaalisen parannuksen kalliilla hinnalla. Uudet järjestelmät tekisivät autoista myös raskaampia ja sitä kautta nostaisivat CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tämän takia aktiivisten turvalaitteiden ja järjestelmien kehitystyöhön panostetaan nykypäivänä enemmän. (Why should we focus on active safety in the future? 2019.)

### 2.4.1 Ajonvakautusjärjestelmä (ESC)

Merkittävä edistys 2000-luvulla aktiivisessa turvallisuudessa oli ajonvakautusjärjestelmien yleistyminen ja lopulta pakolliseksi varusteeksi tuleminen uusiin henkilöautoihin vuonna 2014. Ajonvakautusjärjestelmä parantaa ajoneuvon hallittavuutta ja ajettavuutta. Järjestelmän päätarkoitus on kuitenkin estää ajoneuvon yli- ja aliohjautuminen eli yhtäkinen heittelehtiminen. ESP-järjestelmä toimii yhdessä ABS-jarrujärjestelmän ja luistoneston kanssa. Järjestelmä tarkkailee ajoneuvon olosuhteita erilaisten antureiden, kuten nopeus-, ohjauspyörä-, kiihtyvyyden- ja jarrupaineanturin avulla. Järjestelmä pystyy jarruttamaan yksittäisiä pyöriä erikseen. Esimerkiksi jos oikealle kaartuvassa mutkassa auto alkaa yliohtaamaan eli auton perästä alkaa häviämään pito, järjestelmä jarruttaa vasenta etupyörää, jotta ohjaussuunta saadaan pysymään samana (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2014: 46–47). ESP-järjestelmällä on oma ohjausyksikkö, joka vastaanottaa antureilta saapuvaa dataa ja ohjaa järjestelmän toimintaa sen perusteella.

Liikenneturvan vuonna 2017 tekemään ajonvakautusjärjestelmään liittyvään kyselyyn vastanneista 26 prosenttia vastasi, että järjestelmä on puuttunut ajamiseen, 23 prosenttia vastasi, että järjestelmä on puuttunut ajamiseen hyödyllisellä tavalla, 7 prosenttia vastasi, että järjestelmä on puuttunut ajamiseen häiritsevällä tavalla, ja 5 prosenttia vastasi, että järjestelmä on uskoakseni estänyt onnettomuuden (Turvatekniikka: Ajonvakautusjärjestelmä). Suurimmalla osalla kyselyyn vastanneista järjestelmä oli puuttunut ajamiseen. Ajonvakautusjärjestelmän on arvioitu vähentävän noin 40 prosenttia auton hallinnan menetyksestä aiheutuneita onnettomuuksista (Høye 2011).

### 2.4.2 Kuljettajaa avustavat järjestelmät

Nykypäivänä autoissa on paljon erilaisia kuljettajaa avustavia eli ADAS-järjestelmiä (Advanced Driver Assistance Systems). Esimerkkejä kuljettajaa avustavista järjestelmistä ovat

- adaptiiviset ajovalot
- adaptiivinen vakionopeudensäädin (ACC)
- aktiivinen pysäköintiavustin (IPA)

- automaattinen hätäjarrujärjestelmä (AEB)
- hätäpuhelujärjestelmä (eCall)
- kaista-avustin (LKA)
- kaistanvaihtoavustin
- kuljettajan vireystilan tarkkailu (Driver Alert)
- kuolleen kulman varoitin (BLIS)
- liikennemerkkiavustin (RSI)
- nopeusrajoitusavustin / älykäs vakionopeudensäädin
- ohjausavustin
- peräänajovaroitin
- pysäköintiavustin.

ADAS-järjestelmät tuovat mukanaan huomattavan määrän erilaisia antureita, tutkia ja kameroita toimiakseen oikein. (Hakala 2019.) Merkittävimpiä turvallisuuteen vaikuttavia järjestelmiä ovat automaattinen hätäjarrujärjestelmä, kuolleen kulman varoitin ja hätäpuhelujärjestelmä.

Adaptiivisten ajovalojen avulla valoteho saadaan kohdistettua tarkasti haluttuihin paikkoihin häikäisemättä muita autoilijoita. Adaptiiviset ajovalot mahdollistavat esimerkiksi edessä ajavan auton rajaamisen pois valokeilasta ja ohjaamaan enemmän valoa tien sivuihin. Valot myös käyttävät pitkiä valoja automaattisesti ja mukaillee niiden valokeilaa muiden autoilijoiden mukaisesti.

#### 2.4.3 Automaattinen hätäjarrujärjestelmä (AEB)

Automaattisen hätäjarrujärjestelmän tarkoituksena on estää erilaisia onnettomuuksia toisten autojen kanssa mutta myös jalankulkijoiden. Jos järjestelmä havaitsee edessä esteen tai toisen auton, jota kohti ollaan ajamassa, auto varoittaa siitä äänimerkillä, mittariston merkillä tai molemmilla. Joissain autoissa tuulilasiin voidaan myös heijastaa varoitusmerkki. Varoitus tapahtuu nopeudesta riippuen yleensä 2–5 sekuntia ennen törmäystä. Tämä antaa kuljettajalle vielä mahdollisuuden reagoida tilanteeseen, ennen kuin järjestelmä puuttuu tilanteeseen. (Turvatekniikka: Törmäyksiä estävät.)

Automaattinen hätäjarrujärjestelmä eli AEB toimii ajoneuvon keulaan sijoitettujen tutkien ja kameran avulla riippuen siitä, kuinka kehittynyt järjestelmä on kyseessä. Kun AEB-järjestelmä esiteltiin 2010-luvulla, oli järjestelmät yleisesti jaettu kaupunkinopeuksissa toimivaan järjestelmään ja maantienopeuksissa toimivaan järjestelmään. Kaupunkinopeuksien järjestelmä perustuu optisen tutkan tai kameran havaintoihin. Maantienopeuksien järjestelmä perustuu kameran ja tutkan havaintoihin, jotta kauempana olevia esteitä pystytään havaitsemaan tarpeeksi ajoissa. Nykypäivänä tutkat ovat kehittyneet siten, että samaa tutkaa pystytään käyttämään sekä hitaassa että nopeassa vauhdissa. Kameran tarkoituksena on havaita jalankulkijoita ja pyöräilijöitä. (Multi purpose camera.)

#### 2.4.4 Kehitys

Kuljettajaa avustavat järjestelmät kehittyvät vauhdilla, ja uusia toiminnallisuuksia tulee markkinoille jatkuvasti. 5G-tekniikan yleistyessä autojen väliseen kommunikaatioon saadaan merkittävä harppaus. 5G-tekniikka mahdollistaa entistä paremman informaation jaon ja keskusteltavuuden autojen ja esimerkiksi tieinfrastruktuurin kanssa. Mahdollisuudet ovat oikeastaan rajattomat, ja jo nykypäivänäkin tietyt automallit pystyvät vastaanottamaan tietoa tiellä olevista esteistä, kuten kolareista tai huonosta kelistä. Kolarin sattuessa auto lähettää tiedon siitä automaattisesti lähellä liikkuville autoille ja kuljettaja osaa siten varautua edessä olevaan esteeseen. Toisena esimerkkinä liikennevalot voivat lähettää signaalin läheisille autoille ja ilmoittaa niiden tilasta, jos esimerkiksi punainen valo palaa. (V2x Communication 2020.)

Autojen ajovalojen tekniikka kehittyi koko ajan merkittävästi. Tekniikan kehittyessä ajovalojen valotehokin paranee. Perinteisten halogeenien rinnalle on tullutkin ksenonkaasupurkausvalot ja nykypäivänä entistä yleisemmät LED-ajovalot. Uusimpana innovaationa Mercedes-Benz tuo uuden S-sarjan mukana digitaaliset ajovalot. Ajovalon toiminta perustuu kolmeen erittäin tehokkaaseen LED-polttimoon, joiden valo on hajautettu ja ohjattu 1,3 miljoonan mikromeetrin avulla. Ajovalojen yhdistetty resoluutio on siis 2,6 miljoonaa pikseliä. Ajovalot jakavat samanlaista tekniikkaa kuin videoprojektorit. (Safety in the new S-Class 2020.) Tämä mahdollistaisi esimerkiksi jopa elokuvan toiston ajovalojen avulla. Digitaalisten ajovalojen avulla pystytään valokeila kohdistamaan juuri oikeisiin paikkoihin häikäisemättä muita autoilijoita. Valoilla pystytään myös heijastamaan esimerkiksi navigaattorin reittiohjeita tienpintaan, kuten kuvasta 9 nähdään.



Kuva 9. Digitaalisen ajovalon heijastama opaste (High Definition headlamps with innovative features 2020).

## 2.5 Pakolliset turvalaitteet

Turvalaitteiden kehityksen ja liikenneturvallisuuden parantamisen seurauksena autoihin on tullut paljon turvalaitteita, jotka ovat määrätty pakollisiksi. Nykypäivänä pakollisia turvavarusteita ja -laitteita henkilöautoissa ovat seuraavat (Nykänen 2020):

- äänimerkki
  - Tuli pakolliseksi 1.12.1957 ja sen jälkeen käyttöönotetuissa ajoneuvoissa.
- jarruvalot
  - 1.7.1967 ja sen jälkeen käyttöönotetuissa henkilöautoissa tulee olla vähintään kaksi jarruvaloa (parillinen määrä).
  - Lisäjarruvalo tuli pakolliseksi 1.10.1998 jälkeen tyyppihyväksytyissä henkilöautoissa.
  - Keskiparruvalo tuli pakolliseksi 1.10.2000 ja sen jälkeen käyttöönotetuissa henkilöautoissa.
- turvavyöt
  - Tulivat pakollisiksi etuistuimille 1.1.1971 ja kaikille istuimille 1.1.1981. Kolmipistevyöt tulivat pakollisiksi kaikille istuimille 1.10.2004.
- hätävilkut
  - Tulivat pakolliseksi 1.1.1989 ja sen jälkeen käyttöönotetuissa ajoneuvoissa.
- pääntuet

- Tulivat pakollisiksi uloimmille etuistuimille 1.1.1993 ja sen jälkeen käyttöön otetuissa henkilöautoissa.
- turvatyyny
  - Virallisesti turvatyynyjä ei ole määrätty Suomessa pakollisiksi varusteiksi, mutta ne yleistyivät jo 1990-luvulla. Kaikissa nykypäivän uusissa autoissa on turvatyyny.
- rengaspaineenvalvonta
  - Tuli pakolliseksi uusien autojen tyyppi hyväksynnässä vuonna 2012. Siirtymäaika jatkui marraskuuhun 2014 asti, jonka jälkeen uusia autoja ei ole saanut ensirekisteröityä ilman kyseistä järjestelmää. Pakollinen vain ensiasennusrenkaille.
- lukkiutumattomat jarrut
  - Tulivat pakollisiksi 24.2.2014 ja sen jälkeen käyttöön otetuissa henkilöautoissa.
- ajonvakautusjärjestelmä.
  - Tuli pakolliseksi 1.11.2014 ja sen jälkeen käyttöön otetuissa henkilöautoissa.

## 2.6 Turvalaitteet tulevaisuudessa

EU-parlamentti hyväksyi huhtikuussa 2019 uuden ajoneuvoja koskevan turvallisuusasetuksen. Asetuksen tavoitteena on parantaa liikenneturvallisuutta EU alueella. EU:n tilastojen mukaan liikennekuoleminen vähentyminen on viime vuosina pysähtynyt ja merkittävää parannusta ei ole syntynyt vuodesta 2013 lähtien. Uusi turvallisuusasetus tuo monia uusia turvalaitteita ja -järjestelmiä pakollisiksi uusiin ajoneuvoihin. Asetusta aletaan soveltaa vuodesta 2022 lähtien. Uusissa EU:n markkinoille saatettavissa autoissa tulee olla vuoden 2022 puolivälin jälkeen seuraavat turvaominaisuudet:

- älykäs nopeusavustin
- alkolukon helpompi asennus
- kuljettajan väsymyksen ja tarkkaavaisuuden seurantajärjestelmä
- kehittynyt kuljettajan tarkkaamattomuuden varoitusjärjestelmä
- hätäjarrutuksen merkkivalot
- peruutustutkajärjestelmä
- onnettomuustietotallennin
- tarkka rengaspaineen seurantajärjestelmä

- kehittynyt hätäjarrutusjärjestelmä
- kaistanpitojärjestelmä
- laajennettu päähän kohdistuvilta iskuilta suojaava alue, jonka avulla lievennetään loukkaantumiselle alttiille tienkäyttäjille, kuten jalankulkijoille ja pyöräilijöille, törmäyksessä aiheutuvia vammoja.

Automaattisen hätäjarrituksen tutkien ja jalankulkijoiden tunnistuksen kameroiden tullessa pian lähes kaikkiin autoihin, saadaan niihin liitettyä edullisesti muita toimintoja. Esimerkkinä mukautuva vakionopeudensäädin käyttää samaa pitkän kantaman tutkaa kuin maantienopeuksissa toimiva automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä. Jalankulkijoita ja pyöräilijöitä tunnistavaa tuulilasikameraa voidaan taas hyödyntää kaistavahdin ja nopeusrajoitusten tunnistuksessa. (Turvatekniikka: Törmäyksiä estävät.)

### 3 Testaus (Euro NCAP)

Euro NCAP eli European New Car Assessment Programme on vuonna 1997 vakiintunut uusien autojen turvallisuutta arvioiva ohjelma. Ohjelmassa on mukana erilaisia eurooppalaisia auto- ja kuluttajajärjestöjä, ja toimintaa tuetaan myös eri valtioiden ja EU:n toimesta. (Euro NCAP – Members and test facilities 2020.) Euro NCAP tarjoaa kuluttajille ns. kolmannen osapuolen arvion Euroopassa myytävien autojen turvallisuudesta. Järjestön avulla autojen turvallisuuteen on kiinnitetty entistä enemmän huomiota, ja se onkin toiminut yhdenlaisena vauhdittajana autojen turvallisuuden ja erilaisten turvajärjestelmien kehittämisessä. (About Euro NCAP 2020.)

1970-luvulta lähtien useat Euroopan hallitukset olivat työskennelleet EEVC-komitean (European Experimental Vehicles Committee) kautta arvioidakseen ajoneuvojen turvallisuutta eri näkökulmista. 1990-luvulle tultaessa tutkimus oli johtanut jo täysimittaisen törmäystestimenetelmien kehittämiseen matkustajien suojaamiseksi etu- ja sivutörmäyksissä sekä testausmenetelmän jalankulkijoiden suojelun arvioimiseksi. Vuoteen 1994 asti autoteollisuus vastusti voimakkaasti ehdotuksia EEVC-testiehdotusten hyväksymiseksi EU:n lainsäädäntöön. Kesäkuussa 1994 Yhdistyneen kuningaskunnan liikenne ministeriö harkitsi NCAP:n perustamista Yhdistyneeseen kuningaskuntaan. Ohjelma perustuisi EEVC:n testimenetelmiin ja tarkoituksena oli, että ohjelma voisi laajentua koko

Euroopan alueelle. Marraskuussa 1996 Ruotsin kansallinen tielaitos (SNRA), Kansainvälinen autoliitto (FIA) ja Kansainvälinen testaus liittyivät ensimmäisinä organisaatioina autojen turvallisuus testaus ohjelmaan. Tämä lopulta johti EURO NCAP:n muodostumiseen. (Euro NCAP Launched.)

Vuonna 2009 Euro NCAP otti käyttöön kokonaisuutta arvioivan turvallisuusluokituksen, joka perustuu eri testeihin neljässä eri kategoriassa. Kuvasta 10 nähdään testattavat osa-alueet, jotka ovat

- aikuisten turvallisuus (kuljettajalle ja matkustajille)
- lasten turvallisuus
- jalankulkijoiden turvallisuus, joka nykyään sisältää myös pyöräilijät
  - Käytetään lyhennettä VRU (Vulnerable Road User).
- aktiivinen turvallisuus
  - Arvioi kuljettajaa avustavia- ja törmäyksenestojärjestelmiä.

Uusi kokonaisuutta arvioiva tähtiluokitus otettiin käyttöön, jotta arvosteluun saatiin lisää joustavuutta verrattain vanhaan arviointimenetelmään, jota käytettiin vuodesta 1997 asti. (The Ratings Explained.)



Kuva 10. Euro NCAP -turvallisuusluokituksen neljä eri arviointi kategoriaa (The Ratings Explained).



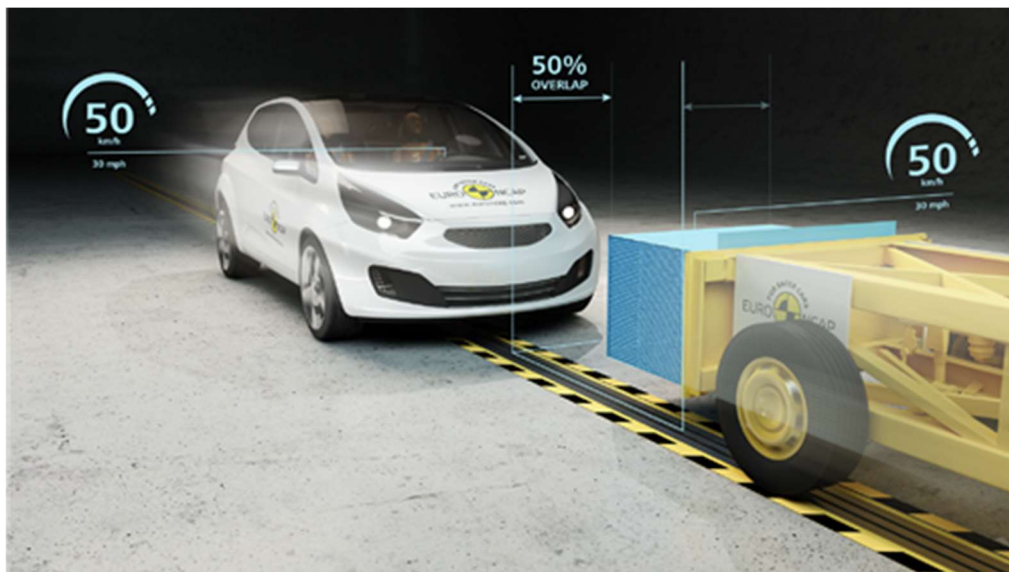
### 3.1 Törmäystestit

Aikuisten, lasten ja jalankulkijoiden turvallisuutta testataan erilaisten törmäystestien avulla, joilla pyritään havainnollistamaan tyypillisiä onnettomuuksia. Testit koostuvat kahdesta erilaisesta etutörmäystestistä, sivutörmäystestistä, pylvästestistä, whiplash-testistä ja kolmesta erilaisesta jalankulkijatörmäystestistä. Tämän lisäksi testataan myös AEB-järjestelmän toimivuutta jalankulkijoihin ja pyöräilijöihin.

#### 3.1.1 Etutörmäystestit

Tilastojen mukaan keulaan kohdistuvat törmäykset aiheuttavat enemmän kuolemia ja vakavia vammoja kuin mikään muu onnettomuustyyppi Euroopassa. Tyypillinen tilanne on, kun kaksi toisiaan lähestyvää autoa törmäävät toisiinsa kohtuullisen suurella nopeudella. Suurimmassa osassa edellä mainituista törmäyksistä vain osa auton keulasta osuu toiseen ajoneuvoon. Etutörmäystestit koostuvat kahdesta erilaisesta testistä, MPDB (Mobile Progressive Deformable Barrier) -testistä ja testistä, jossa testiautolla törmätään kiinteään seinään koko auton leveydeltä.

MPDB-testissä testiautolla ajetaan 50 km/h ja sillä törmätään 50 prosentin osuudella auton leveydestä 1400 kg painavaan kohtisuoraan 50 km/h tulevaan periksi antavaan esteeseen. Kuvassa 11 näkyvällä esteellä pyritään havainnollistamaan vastaantulevan ajoneuvon keulaa ja törmäysvyöhykettä, joka muuttuu sitä jäykemmäksi, mitä enemmän se antaa periksi. Testissä autoon on asetettu neljä törmäysnukkea, kaksi keskivertomiestä vastaavaa nukkea edessä ja kaksi lasta havainnollistavaa nukkea turvaistuimissa takana. Testissä arvioidaan törmäysvoimien suuntautumista auton oikeisiin osiin, joissa energia saadaan absorboitua tehokkaasti ja turvallisesti. Auton etuosan törmäysvyöhykkeen tulee hallitusti painua kokoon jättäen matkustamon mahdollisimman hyvin muotoonsa, joka puolestaan on nykyaikaisissa autoissa suunniteltu mahdollisimman jäykäksi. Kuitenkaan törmäyksessä ei saa muodostua liian suuria hidastuvuuksia, koska ne ovat myös hyvin vaarallisia matkustajille. (Mobile Progressive Deformable Barrier 2020.)



Kuva 11. Havainnollistava kuva MPDB-testistä (Mobile Progressive Deformable Barrier 2020).

Toisessa etutörmäystestissä ajoneuvolla ajetaan 50 kilometrin tuntinopeudella koko leveydeltään jäykkään esteeseen. Autoon on asetettu kaksi törmäysnukkea, jotka havainnollistavat piestä naista, toinen kuskinpaikalle ja toinen taakse reunapaikalle. Testi asettaa korkeat vaatimukset etu- ja takaistuinten turvajärjestelmille. Rintakehän hidastuvuudelle on asetettu tiukat rajat ja se kannustaakin valmistajia kehittämään parempia turvavöitä ja muita matkustajien turvajärjestelmiä. Yhdessä MPDB-testin kanssa tarkoitus on löytää tasapaino turvajärjestelmään, joka olisi riittävän jäykkä pitämään miespuolisen nuken 64 kilometrin tuntinopeuden testissä turvallisesti penkissä ja samalla kuitenkin riittävän turvallinen, ettei pienemmälle naispuoliselle aiheutuisi liian suuria hidastuvuuksia. (Full Width Rigid Barrier.)

### 3.1.2 Sivutörmäystestit

Sivuttaissuuntaiset törmäykset aiheuttavat toiseksi eniten kuolemia ja vakavia vammoja. Verrattuna keulaan kohdistuviin törmäyksiin, kyljissä on vain hyvin vähän tilaa absorboida törmäysenergiaa ja sen takia vakavat vammat päähän ja kylkiin ovat hyvin tavallisia. Euro NCAP testaa turvallisuutta sivuttaissuunnasta tulevissa törmäyksissä kahdella erilaisella testillä.

Ensimmäisessä testissä törmäysvyöhykkeellä varustettu vaunu ajetaan 60 kilometrin tuntinopeudella paikallaan olevan testattavan ajoneuvon kylkeen. Kuvasta 12 nähdään hahmotelma testitilanteesta. Kuskin paikalle on asetettu keskivertoa miestä vastaava nukke ja taakse turvaistuimiin on laitettu kaksi lasta vastaavaa nukkea. Testillä varmistetaan, että kyljissä on riittävä suojaus kriittisten vartalonosien kohdalla. Testi on saanut autovalmistajat vahvistamaan auton koria B-pilarin ja helman alueelta, asentamaan sivuja verhoiluturvatyynyjä ja kehittämään törmäysenergiaa paremmin absorboivia istuimia ja ovipaneeleita. Sivuttaissuuntaisissa törmäyksissä turvatyynyjen ajoitus ja laukaisu ovat erittäin tärkeitä, jotta maksimaalinen suojaus saavutetaan. (Side Mobile Barrier 2020.)



Kuva 12. Sivuttaissuuntainen törmäys paikallaan olevaan autoon (Side Mobile Barrier 2020).

Toisen testin tarkoituksena on tutkia autojen turvallisuutta sivuttaissuuntaisessa törmäyksessä tolppaan tai puuhun. Kuvasta 13 nähdään hahmotelma testitilanteesta. Testissä auto ajetaan sivuttaissuunnassa 32 kilometrin tuntinopeudella jäykkään kapeaan tolppaan. Testi on ollut käytössä vuodesta 2001 lähtien ja vuoteen 2015 asti törmäys toteutettiin kohtisuorassa tolppaan nähden. Tämän jälkeen törmäys on toteutettu 15 asteen kulmassa kohtisuoraan nähden. Jos auto on varustettu keskiturvatyynyllä, jonka tarkoituksena on estää etuistuimien matkustajia osumasta toisiinsa, autoon asetetaan kaksi keskivertoa miestä vastaavaa nukkea etuistuimille. Jos autossa ei ole keskiturvatyynyä, niin silloin autoon asetetaan nukke vain kuljettajan paikalle. Kyseessä on hyvin vakava testi auton kyvystä suojella kuljettajan päätä. Törmäys on hyvin paikallinen ja

muodonmuutos voi olla hyvinkin suuri ja tolppa voi tunkeutua hyvin syväälle matkustamoon. Ilman riittävää suojausta tolppa voi osua kuljettajan päähän aiheuttaen vakavia vammoja, tai jopa kuoleman. Yleinen ratkaisu tähän on päätä suojaavat turvatyynyt, joko verhoiluturvatyynyt ikkunoiden yläpuolella tai istuimeen asennetut rintakehää ja päätä suojaavat turvatyynyt. Jo aikaisemminkin mainitulla oikealla ajoituksella turvatyynyjen laukaisun suhteen on tässäkin tapauksessa hyvin suuri rooli, jotta maksimaalinen suojaus saavutetaan. (Side Pole 2020.)



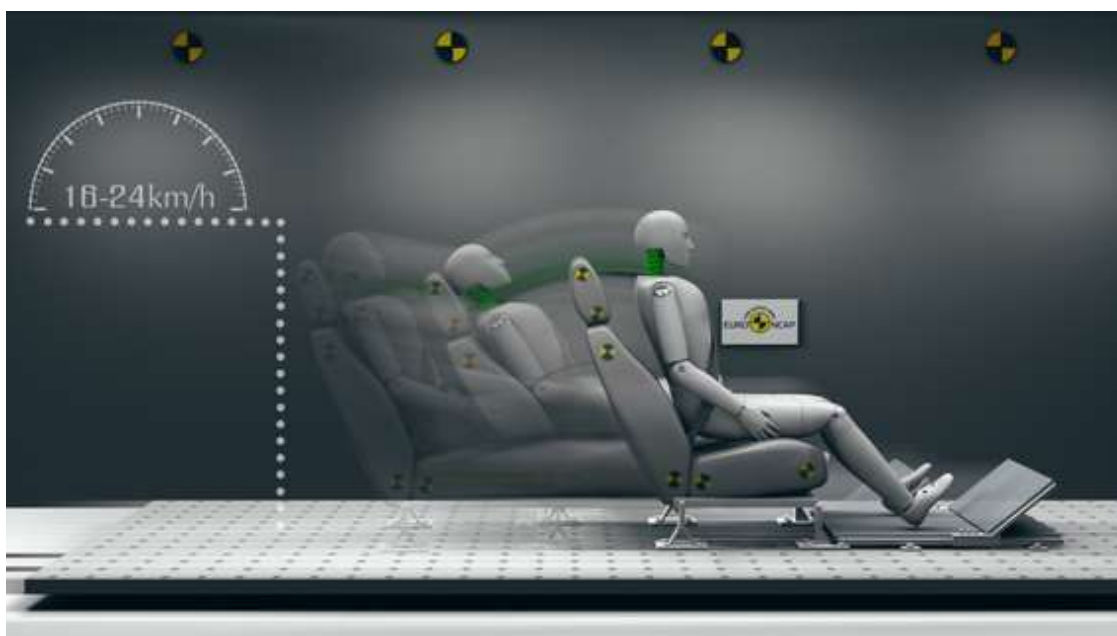
Kuva 13. Sivuttaissuuntainen törmäys tolppaan (Side Pole 2020).

### 3.1.3 Whiplash

Whiplash-testillä pyritään havainnollistamaan peräänajossa syntyviä voimia autossa oleviin matkustajiin. Tyypillisiä peräänajosta syntyviä vammoja ovat niskan retkahdusvammat, jotka syntyvät nopeasta liikkeen muutoksesta johtuvan pään heilahduksen aiheuttamana. (Whiplash 2020.) Äkillinen ja nopea päännliike voi vaurioittaa pään ja kaulan lihaksia tai hermoja ja joskus jopa kaularangan luita. Jopa äkillinen pysähdys vain 15 kilometrin tuntivauhdista riittää aiheuttamaan retkahdusvamman (Saarelma 2020). Suurin osa niskan retkahdusvammoista paranee oireettomiksi muutamassa viikossa, mutta yli viidesosa potilaista kärsii kiusallisista jälkioireista vuosienkin ajan (Huittinen 1995). Jos onnettomuuden jälkeen ilmenee niskakipuja, niin on henkilön hakeuduttava herkästi lääkärinvastaanotolle.

Vakuutusyhtiön kannalta whiplash-tyyliset vammat voivat olla hyvin hankalia ja monesti hyvinkin kalliita, jos oireet jatkuvat pitkään. On arvioitu, että niskan retkahdusvammat aiheuttavat vuosittain noin 10 miljardin euron kulut Euroopassa (Whiplash 2020). Tämän takia vakuutusyhtiö ohjaakin henkilöt herkästi lääkärinvastaanotolle, jos niskassa tai päässä ilmenee kipuja kolarin jälkeen. Lääkəriin on syytä hakeutua senkin takia heti onnettomuuden jälkeen, jotta syy-yhteys kolariin voidaan todeta. Jos vamma on ehtinyt jo kroonistua, eikä lääkäriissä ole aiemmin käyty, niin syy-yhteyden todistaminen kolariin on haastavampaa eikä siihen enää riitä potilaan kertomus, että niska on retkahtanut liikennetapaturmassa (Huittinen 1995).

Euro NCAP:n whiplash-testissä istuimet ja pääntuet testataan kelkan avulla, johon on asetettu istuin. Kuvasta 14 nähdään kelkka, johon testattava istuin on kiinnitetty. Testissä käytetään hitaan vauhdin peräänajonukkea. Kelkalla suoritetaan kaksi erilaista testiä, jotka vastaavat tyypillisiä onnettomuuksia, joiden tiedetään aiheuttavan niskan retkahdusvammoja. Kelkalla tehtävät testit osoittavat kuinka hyvin istuin ja niskatuki tarjoavat suojaa tyypillisissä kolaritilanteissa. Testeissä arvioidaan niskatuen ja nuken liikkeiden geometriaa. Whiplash-testin tarkoituksena on auttaa suunnittelemaan istuin, joka mahdollistaa parhaimman mahdollisen suojan niskan retkahdusvammoja vastaan ja suunnittelun apuna käytetäänkin testeistä saatua dataa. (Whiplash 2020.)



Kuva 14. Havainne kuva whiplash-testistä (Whiplash 2020).

### 3.1.4 Vertailua

Kuvasta 15 nähdään vuoden 1988 Volkswagen Golfin MPDB-testissä syntyneet vauriot. Kuvasta nähdään, kuinka auton runko on vääntynyt ja A-pilari on painunut kasaan. Kuvasta 16 taas nähdään vuoden 2020 Volkswagen Golfin MPDB-testissä syntyneet vauriot. Vaurioita vertaillen voidaan heti todeta, kuinka paljon autojen korirakenne on muuttunut 30 vuodessa. Korit ovat matkustamon osalta huomattavasti jäykempiä kuin aiemmin. Moderneissa autoissa törmäysenergia pystytään ohjaamaan ja absorboimaan oikeanlaisesti, joka parantaa autojen turvallisuutta merkittävästi. Kuvan 15 Volkswagen Golfissa ei ole turvavöiden esikiristimiä, turvatyynyjä, eikä esimerkiksi niskatukia vielä takaistuimilla. Nämä tekijät vaikuttavat merkittävästi onnettomuustilanteissa matkustajien turvallisuuteen. Korirakenteen oikeanlaisella suunnittelulla ja materiaalivalinnoilla saadaan aikaan merkittävä parannus matkustajien turvallisuuteen onnettomuustilanteissa.



Kuva 15. Vuosimallin 1988 Volkswagen Golf MK2:n vauriot 64 kilometrin tuntinopeuden MPDB-testissä (Der ADAC lässt es krachen 2017).



Kuva 16. Vuosimallin 2020 Volkswagen Golf MK8 vauriot 64 kilometrin tuntinopeuden MPDB-testissä (Gemelli 2019).

### 3.2 Jalankulkijoiden turvallisuus (VRU)

Euro NCAP tutkii ja arvioi myös jalankulkijoiden turvallisuutta, matkustajien turvallisuuden ohella. Euro NCAP testaa, kuinka hyvin autot suojaavat helposti loukkaantuvia jalankulkijoita ja pyöräilijöitä. Testeissä arvioidaan jalankulkijan pään, lantion, reiden ja säären potentiaaliset loukkaantumisriskit. Varsinaisia törmäystestejä on kolme erilaista. Jos auto on varustettu automaattisella hätäjarrujärjestelmällä (AEB), sen toimivuutta arvioidaan kahdella testillä, joissa sen tulee tunnistaa kävelijä ja jalankulkija. (Vulnerable Road User (VRU) Protection.)

Tutkimusten mukaan Euroopassa 14 prosenttia kaikista liikennevahinkojen kuolonuhreista on jalankulkijoita, mukaan lukien pyöräilijät ja moottoripyöräilijät (Head Impact 2013). Suomessa vuonna 2019 liikennevahingoissa jalankulkijoita ja pyöräilijöitä kuoli yhteensä 39 henkilöä (Jalankulkijoiden liikennekuolemat vähenivät viime vuonna 2020). Suurin osa jalankulkijoiden onnettomuuksista sattuu kaupunkialueilla.

Arvioidakseen päähän kohdistuvia vammoja auton törmätessä lapseen tai aikuiseen, useita eri törmäystestejä suoritetaan käyttämällä aikuisen tai lapsen päätä vastaavaa

iskulaitetta, joka laukaistaan auton konepeltiin 40 kilometrin tuntinopeudella. Tämän jälkeen osumakohdat tarkastetaan ja suojauksen tasoa arvioidaan hyväksi, riittäväksi, marginaaliseksi, heikoksi tai huonoksi. (Head Impact 2013.)

Lantion seudun vammojen arvioimiseksi suoritetaan iskutestejä käyttämällä aikuisen lantiota ja reisiä vastaavaa iskulaitetta. Iskut toteutetaan jälleen 40 kilometrin tuntinopeudella ja tämän jälkeen osumakohtia arvioidaan. (Upper Leg Impact 2015.)

Jalanseudun vammoja arvioidaan käyttämällä iskulaitetta, joka vastaa aikuisen jalkoja. Testi suoritetaan 40 kilometrin tuntinopeudella ja tämän jälkeen taas osumakohdat arvioidaan. Tyypilliset vammat jalkoihin ovat luiden murtumat ja polven vammat. Tämän tyypilliset vammat harvoin johtavat kuolemaan, mutta voivat aiheuttaa pysyviä liikuntarajoitteita. (Lower Leg Impact 2014.)

Auton keulan suunnittelulla on suuri rooli jalankulkijoiden turvallisuudessa. Jalankulkijoiden turvatyyny ja aktiivinen konepelti edesauttavat estämään vakavien vammojen syntymistä. Keulan muodolla on myös iso merkitys törmäyksen tapahtuessa. Keulan pehmeämmällä muodolla törmäyksestä saadaan jalankulkijalle turvallisempi, yhdistettynä vielä törmäysenergiaa absorboivaan struktuuriin. Nopeudella on kuitenkin suurin vaikutus vammojen vakavuuteen. Tämän takia suurin osa autovalmistajista tarjoavat autoihinsa automaattista hätäjarrujärjestelmää (AEB). Järjestelmän tarkoituksena on tunnistaa jalankulkija ja pyöräilijä ja tarvittaessa pysäyttää auto ennen törmäystä, tai ainakin vähentää ajoneuvon nopeutta. (AEB Pedestrian 2020.)

### 3.3 Aktiivinen turvallisuus

Euro NCAP:n testeissä testataan myös erilaisten kuljettajaa avustavien järjestelmien toimintaa ja suorituskykyä tyypillisissä onnettomuustilanteissa. Testeihin sisältyy AEB-järjestelmän toiminnan testaus jalankulkijoiden, pyöräilijöiden ja toisten autojen osalta, sekä nopeus avustimen, kuljettajan vireystilan valvontajärjestelmän ja kaistallapitoavustimen toiminnan testaus.



Peräänajo-onnettomuudet ovat yleisimpiä onnettomuuksia Euroopassa. Tyypillisesti onnettomuudet tapahtuvat kaupunkiympäristössä tai ruuhka aikaan isommilla valtaväylillä. (AEB Car-to-Car 2020.)

Euro NCAP aloitti AEB-järjestelmien testauksen vuonna 2014. AEB-järjestelmän toimintaa testataan toista autoa lähestyessä kolmella eri testillä. Ensimmäisessä testissä kohdeajoneuvo on pysähtynyt, toisessa testissä kohdeajoneuvo liikkuu, mutta hitaammin kuin testiajoneuvo, ja kolmannessa testissä kohdeajoneuvo jarruttaa kevyesti ja ankarasti eri etäisyyksillä testiautosta.

Kuljettajaa tarkkailevat järjestelmät ovat yleistyneet pakollisen turvavyön käytöstä muistuttavan SRB-järjestelmän lisäksi. Kuljettajan vireystilaa voidaan tarkkailla silmiä seuraavilla sensoreilla tai ohjauspyörään lisätyillä antureilla. Ohjauspyörään tai ohjausakseliin sijoitetuilla antureilla toimiva kuljettajan vireystilaa valvoa järjestelmä on älykäs ja oppii kuljettajan tyypillisen ajotavan. Järjestelmän havaitessa poikkeavuuksia, kuten ohjauspyörän edestakaista kääntelyä, järjestelmä kehottaa kuljettajaa pitämään tauon.

Aktiiviset turvalaitteet ovat moderneissa autoissa suuressa roolissa onnettomuuksien ehkäisemisessä. Tämän takia järjestelmien testaus on tärkeää, jotta niiden suorituskyky pystytään arvioimaan erilaisissa tilanteissa ja olosuhteissa.

## 4 Ajoneuvokanta

### 4.1 Henkilöautokannan keski-ian kehitys Suomessa

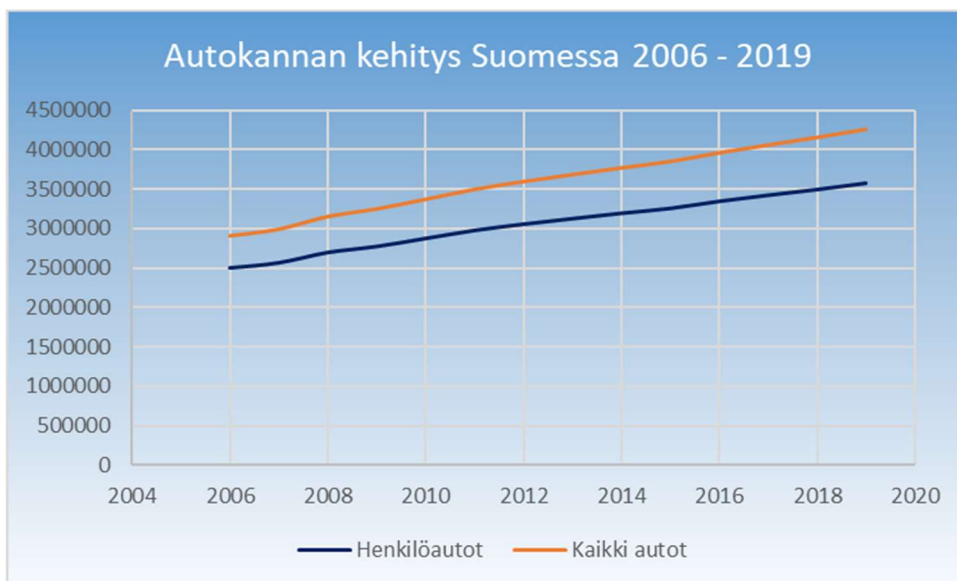
Vuodesta 2009 asti henkilöautokannan keski-ikä on ollut nousussa, ja vuonna 2019 se oli 12,2 vuotta (Autokannan keski-ian kehitys 2020). Vuonna 2018 henkilöautokannan keski-ikä oli Euroopassa 10,8 vuotta (Henkilöautokannan keski-ikä eräissä Euroopan maissa 2020). Keski-ian nousuun vaikuttaa autokannan kasvu ja merkittävä käytettyjen autojen maahantuonti ulkomailta. Suurin syy kuitenkin keski-ian nousuun on maltillinen uusien autojen myynti, eli ensirekisteröintien määrä. Vuonna 2019 ensirekisteröitiin 114 199 autoa, kun Autoalan tiedotuskeskuksen mukaan vaadittaisiin yli 140 000 auton vuosimyynti, jotta keski-ikä saataisiin laskuun (Ahtiainen 2020).

Henkilöautokannan keski-ikä on ollut 12,2 vuotta on kuitenkin hyvä muistaa, kuinka paljon turvallisempia yli kymmenenvuotiaat autot ovat nyt kuin kymmenen vuotta sitten. Autokannan keski-ikä pyritään saamaan laskuun valtion tukemilla romutuskampanjoilla. Vuodelle 2021 on suunniteltu uutta romutuspalkkiokampanjaa. Romutuspalkkio myönnettäisiin vanhan romutettavan auton korvaamiseksi uudella autolla. Romutuspalkkion suuruus vaihtelee 1000–2000 euron välillä riippuen hankittavan auton käyttövoimasta. (Hallituksen esitys 2020.) Vuonna 2019 henkilöautojen keskimääräinen romutusikä oli 21 vuotta (Henkilöautojen keskimääräinen romutusikä 2020).

#### 4.2 Autokannan kehitys Suomessa

Ajoneuvokanta Suomessa on kasvanut tasaisesti tutkittavalla aikavälillä, mikä nähdään kuvasta 17. Kuvassa tummansininen viiva osoittaa henkilöautokannan kasvua ja oranssi viiva osoittaa koko autokannan kasvua. Autokanta sisältää henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot, linja-autot ja erikoisautot.

Henkilöautokanta on kasvanut vuodesta 2007 noin miljoonalla autolla verrattuna vuoteen 2019. Vuonna 2007 Suomessa oli noin 2,5 miljoonaa henkilöautoa, kun taas vuonna 2019 henkilöautoja oli noin 3,5 miljoonaa. Ajoneuvokannan kasvu vaikuttaa osaltansa liikennevahinkojen määrään.



Kuva 17. Autokannan kehitys Suomessa 2006–2019 (Suomen virallinen tilasto (SVT): Moottoriajoneuvokanta).

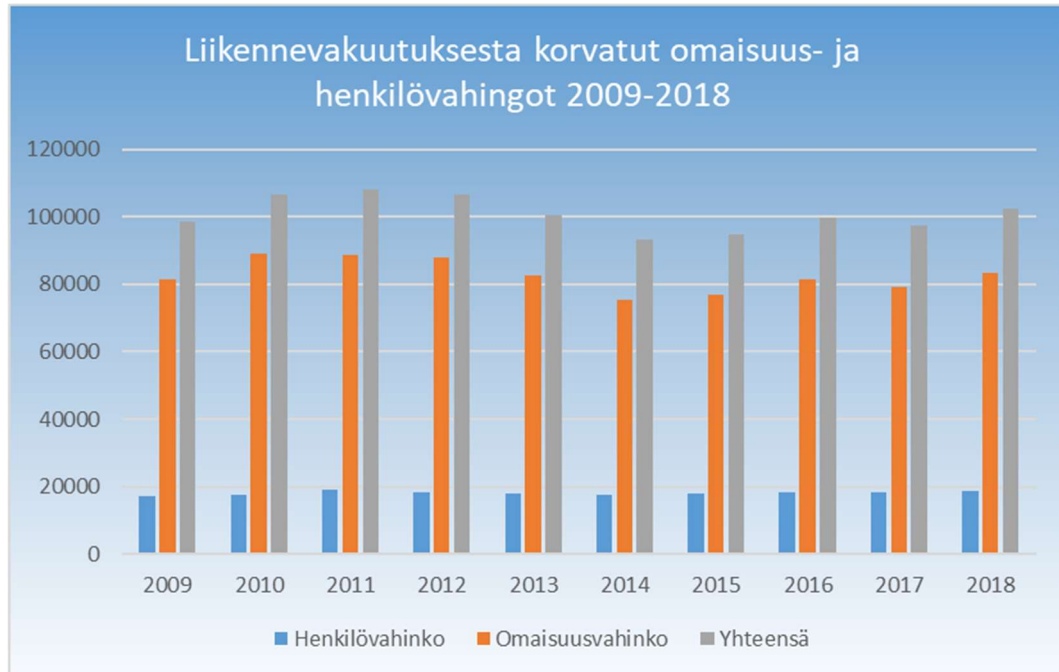
## 5 Liikennevahinkojen kehitys

### 5.1 Liikennevahingot

Liikennevahingolla tarkoitetaan ajoneuvon liikenteeseen käyttämisestä aiheutunutta henkilö- tai esinevahinkoa (Liikennevakuutuslaki 2016). Liikennevahinkojen määrä Suomessa on laskenut, mutta silti liikenne on edelleen uhka ihmisten terveydelle ja omaisuudelle. Vuosittain liikennevahinkoja ilmoitetaan vakuutusyhtiöille noin 100 000. Liikenteessä kuolee tai loukkaantuu vuosittain tuhansia ihmisiä. (Onnettomuustietoinstituutti tekee työtä ennaltaehkäistäkseen liikenneonnettomuuksia Suomessa.)

Suomessa vuonna 2018 liikenteessä sattui yhteensä 102 162 vahinkoa, josta 18 658 oli henkilövahinkoja. Vahinkojen määrä on pysynyt 2009–2018 suurin piirtein samalla tasolla, joka voidaan havaita kuvasta 18. Vahinkojen määrään vaikuttaa esimerkiksi erilaiset keliolosuhteet, kuten talvi. Lumipyry ja kelin äkillinen lauhtuminen luovat haastavat olosuhteet liikenteeseen. Vuonna 2018 noin kolmannes liikennevahingoista sattui lumi-

sella tai jäisellä kelillä (Liikennevahinkojen määrää ei ole saatu laskuun 2020). Ajoneuvokanta kasvaa vuosittain Suomessa, mutta silti vahinkojen määrä pysyy samalla tasolla. Suhteessa ajoneuvokantaan liikennevahinkojen määrä on siis laskenut.



Kuva 18. Liikennevakuutuksesta korvatut omaisuus- ja henkilövahingot vuosina 2009– 2018.

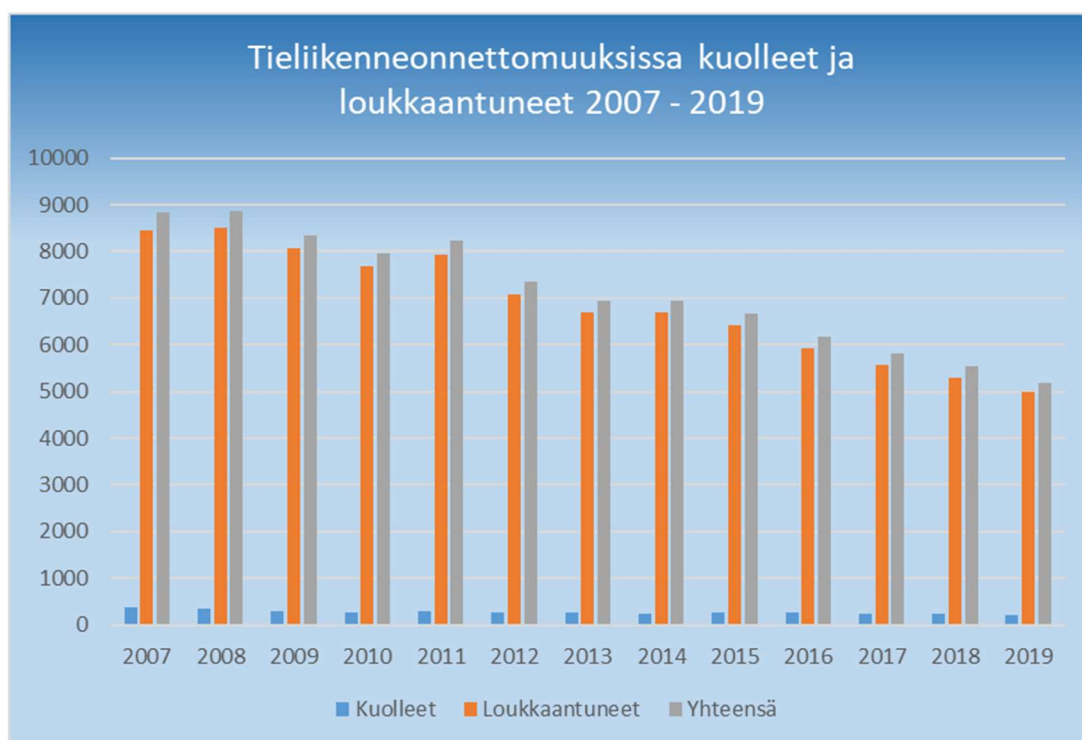
Vuonna 2018 noin 44 prosenttia liikennevahingoista sattui parkkipaikoilla ja yleisin vahinkotyyppi oli peruutusvahinko (Liikennevahinkojen määrää ei ole saatu laskuun 2020). Osaltansa parkkipaikalla sattuvien vahinkojen määrää selittää autojen koon kasvaminen, mutta parkkiruutujen ja -paikkojen pysyminen samankokoisina. Eniten henkilövahinkoja vuonna 2018 sattui taajama-alueilla. Taajama-alueella sattuu vuosittain suurin osa vahingoista (Liikennevahinkoportti 2020.)

## 5.2 Henkilövahinkoihin johtaneet liikennevahingot

Henkilövahinkoja liikenteessä sattuu vuosittain noin 18 000, ja määrä onkin pysynyt melkein samana viimeiset kymmenen vuotta (Liikennevahinkoportti 2020). Loukkaantuneiden ja kuolleiden määrä on tosin laskenut, vaikka onnettomuuksia sattuu suurin piirtein

saman verran. Tyypillisimmät vammat kolareissa tulevat jalkoihin ja niskaan. Alaraaja-  
vammat ovat yleisiä auton keulan painuessa kasaan, jolloin iskut voivat olla kovia. Nis-  
kaan kohdistuvat vammat ovat yleensä retkahdusvammoja, jotka ovat tyypillisiä pe-  
räänajoissa.

Kuvasta 19 ja taulukosta 1 nähdään vuosien 2007–2019 tieliikenteessä loukkaantuneiden ja kuolleiden määriä. Vuonna 2007 liikenteessä kuoli 380 henkilöä, kun taas vuonna 2019 kuolleita oli vain 205. Loukkaantuneiden ja kuolleiden määrää on laskenut merkittävästi viimeisen kymmenen vuoden aikana. Autojen tekninen kehitys ja turvallisuus on parantunut merkittävästi kymmenen vuoden aikana ja se näkyy selkeästi myös tilastoissa. Vakavia vammautumisia ja kuolemia ei tapahdu nykypäivänä niin usein, koska turvalaitteet, kuten turvatyyny ja turvavyöt löytyvät käytännössä kaikista autoista. Aaltoyliopiston tutkimuksen mukaan uudemmat autot arvioitiin keskimäärin 10–50 prosenttia 10 vuotta vanhempia automalleja turvallisemmiksi (Karvonen ym. 2010).



Kuva 19. Suomessa vuosina 2007–2019 tieliikenneonnettomuuksissa kuolleet ja loukkaantuneet.

Taulukko 1. Suomessa vuosina 200–2019 tieliikenneonnettomuuksissa kuolleet ja loukkaantuneet.

Tieliikenneonnettomuuksissa kuolleet ja loukkaantuneet 2007 - 2019			
Vuosi	Kuolleet	Loukkaantuneet	Yhteensä
<b>2007</b>	380	8446	<b>8826</b>
<b>2008</b>	344	8513	<b>8857</b>
<b>2009</b>	279	8057	<b>8336</b>
<b>2010</b>	272	7673	<b>7945</b>
<b>2011</b>	292	7931	<b>8223</b>
<b>2012</b>	255	7088	<b>7343</b>
<b>2013</b>	258	6681	<b>6939</b>
<b>2014</b>	229	6705	<b>6934</b>
<b>2015</b>	270	6408	<b>6678</b>
<b>2016</b>	258	5911	<b>6169</b>
<b>2017</b>	238	5574	<b>5812</b>
<b>2018</b>	239	5303	<b>5542</b>
<b>2019</b>	205	4987	<b>5192</b>

Vakavien henkilövahinkojen määrää on saatu merkittävästi vähennettyä Suomessa. Suurin syy tähän on autojen tekninen kehitys ja turvallisuusteknologian paraneminen. Vakavien henkilövahinkojen väheneminen tarkoittaa myös pienempiä korvausmenoja vakuutusyhtiöissä. Edellä olleista taulukoista nähdään kuinka vakavat henkilövahingot ovat laskeneet vuodesta 2007 vuoteen 2019. Ajonvakuutusjärjestelmän yleistyminen ja ABS-jarrujen pakolliseksi tuleminen 2000-luvulla on auttanut ehkäisemään onnettomuuksien syntyä. 2010-luvulla aktiivisten turvajärjestelmien yleistyminen autoissa on edelleen vähentänyt onnettomuuksien määrää ja lieventänyt niiden seurauksia.

## 6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia miten autojen tekninen kehitys ja turvallisuuden paraneminen on vaikuttanut liikenteen henkilövahinkojen määriin. Ajatuksena oli valita tutkittavaksi aikaväliksi tähän työhön henkilöautojen keski-ikä, joka vuonna 2019 oli 12,2 vuotta. Liikennevahinkojen määrää lähdettiin siis tutkimaan vuodesta 2007 alkaen. Ensimmäiseksi havaittiin, että liikenneonnettomuuksien vuosittainen määrä on pysynyt samalla tasolla vuodesta toiseen. On kuitenkin huomioitava, että ajoneuvokanta Suomessa

on kasvanut voimakkaasti tutkittavalla aikavälillä. Ajoneuvokantaan verrattaessa voidaan sanoa liikennevahinkojen määrään pienentyneen.

Työssä tutkittiin myös henkilövahinkoihin johtaneiden liikennevahinkojen kehitystä. Loukkaantuneiden määrä liikennevahingoissa on laskenut merkittävästi tutkittavalla aikavälillä. Myös kuolemaan johtaneet liikennevahingot ovat vähentyneet, vaikkakaan lasku ei ole niin merkittävä kuin loukkaantumisiin johtaneissa vahingoissa. Tähän toki vaikuttaa niiden alun perinkin pieni vuosittainen määrä.

Autojen tekninen kehitys 2000- ja 2010-luvuilla on ollut merkittävää ja huomattavaa parannusta autojen turvallisuuteen on saavutettu. Autojen korirakenteet ovat muuttuneet entistä jäykemmiksi ja samalla törmäysenergia saadaan ohjattua siten, että matkustamo pysyisi mahdollisimman koskemattomana kolarin sattuessa, mikä vähentää henkilövahinkojen määrää. Merkittäviä turvallisuutta lisääviä ominaisuuksia on useita. Näitä ovat muun muassa ESP-järjestelmä ja automaattinen hätäjarrujärjestelmä. Työssä käy ilmi, että autojen teknisellä kehityksellä ja turvalaitteiden yleistymisellä on selkeä vaikutus henkilövahinkojen vähenemisessä.

2010-luvulla yleistyneet erilaiset kuljettajaa avustavat järjestelmät ovat tuoneet huimaa kehitystä onnettomuuksien ehkäisemisessä ja kehitys kohti autonomista ajamista eteneekin koko ajan. Aktiivisilla turvajärjestelmillä onkin entistä suurempi vaikutus onnettomuuksien ehkäisyssä ja sen takia myös niitä testataan Euro NCAP:n toimesta. Euro NCAP:lla on ollut merkittävä rooli autojen turvallisuuden edistämässä. Testien avulla turvallisuutta ja erilaisia turvallisuustekniikoita on saatu edistettyä, mikä vaikuttaa henkilövahinkojen määrään liikenteessä.

Henkilöautokannan keski-iällä on vaikutus liikenneturvallisuuteen nyt ja tulevaisuudessa. Hidas autokannan uusiutuminen tarkoittaa, että uutta turvallisuusteknologiaa ei saada merkittäväällä tasolla otettua käyttöön. Tämän takia olisi tärkeää saada autokannan keski-ikä laskemaan esimerkiksi valtion tukemilla romutuskampanjoilla.

Vuonna 2022 voimaan astuu Euroopan unionin asetus, jonka mukaan kaikissa uusissa autoissa täytyy olla edistyneet turvajärjestelmät. Tämän ja koko ajan kehittyvän tekniikan avulla autojen turvallisuus tulee paranemaan entisestään ja uskonkin, että vahinkojen

määrä saadaankin laskuun, kun uutta teknologiaa saadaan markkinoille entistä enemmän. Aktiivisten turvalaitteiden ja kuljettajaa avustavien järjestelmien kehitys tulee olemaan tulevaisuudessakin erittäin tärkeää ja järjestelmistä saadaan entistä toimivampia.



## Lähteet

About Euro NCAP. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/#>>. Luettu 9.11.2020.

Active safety systems: What are they and how do they work?. 2019. Verkkoaineisto. Road Safety Facts. <<https://roadsafetyfacts.eu/active-safety-systems-what-are-they-and-how-do-they-work/>>. Luettu 20.10.2020.

Adult Occupant Protection. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/>>. Luettu 10.11.2020.

AEB Car-to-Car. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/aeb-car-to-car/>>. Luettu 3.11.2020.

AEB Pedestrian. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/aeb-pedestrian/>>. Luettu 11.11.2020.

Ahtiainen, Lauri. 2020. Suomen henkilöauton keski-ikä on 12,2 vuotta, mutta mistä löytyä Suomen vanhimmat autot?. Moottori. Verkkoaineisto. <<https://moottori.fi/liikenne/juttu/suomen-henkiloauton-keski-ika-on-122-vuotta-mutta-mista-loytaa-suomen-vanhimmat-autot/>>. Päivitetty 4.2.2020. Luettu 18.11.2020.

Autoista turvallisempia EU:ssa. 2019. Verkkoaineisto. Eurooppa-neuvosto. <<https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2019/11/08/safer-cars-in-the-eu/>>. Päivitetty 8.11.2019. Luettu 7.11.2020.

Autokannan keski-ian kehitys. 2020. Verkkoaineisto. Autoalan Tiedotuskeskus. <[https://www.aut.fi/etusivu\\_vanha/tilastot/autokannan\\_kehitys/autokannan\\_ikatilastoja/autokannan\\_keski-ian\\_kehitys](https://www.aut.fi/etusivu_vanha/tilastot/autokannan_kehitys/autokannan_ikatilastoja/autokannan_keski-ian_kehitys)>. Päivitetty 3.2.2020. Luettu 15.11.2020.

Automatic emergency braking. Verkkoaineisto. Bosch Mobility Solutions. <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/automatic-emergency-braking/>>. Luettu 13.11.2020.

Davis, Jim. 2013. 2014 Mercedes S-Class Crash Test Photos. Verkkoaineisto. Mercedes-Benz. <<https://mercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/s-class/2014-mercedes-s-class-crash-test-photos/>>. Luettu 10.11.2020.

Der ADAC lässt es krachen. 2017. Verkkoaineisto. Deutsche Handwerks Zeitung. <<https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/der-adac-laesst-es-krachen/150/3097/354503>>. Päivitetty 14.7.2017. Luettu 12.11.2020.

Euro NCAP – Members and test facilities. 2020. Verkkoaineisto. EURO NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/members-and-test-facilities/>>. Luettu 9.11.2020.

Euro NCAP Launched. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/timeline/>>. Luettu 10.11.2020.

Full Width Rigid Barrier. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/frontal-impact/full-width-rigid-barrier/>>. Luettu 10.11.2020.

Gemelli, Fabio. 2019. Crash test Euro NCAP, 5 stelle per molti, ma non per tutti. Verkkoaineisto. Motor1.com. <<https://it.motor1.com/news/388679/crash-test-euro-ncap-18-dicembre-2019/>>. Päivitetty 18.12.2019. Luettu 12.11.2020.

Gustavsson, Joonas & Honkanen, Velimatti. 2019. Näin uudet turvalaitteet tekevät autoista turvallisempia. Verkkoaineisto. Tekniikan Maailma. <<https://tekniikanmaailma.fi/lehti/11a-2019/nain-uedet-turvalaitteet-tekevut-autoista-turvallisempia/>> Päivitetty 12.6.2019. Luettu 9.11.2020.

Hakala, Rasmus. 2019. Tietoa nykyautoista vakuutuslalle. Onnettomuustietoinstituutti.

Hallituksen esitys. 2020. HE 201/29.10.2020.

Head Impact. 2013. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/head-impact/>>. Luettu 11.11.2020.

Henkilöautojen keskimääräinen romutusikä. 2020. Verkkoaineisto. Autoalan Tiedotuskeskus. <[https://www.aut.fi/tilastot/romutustilastoja/henkiloautojen\\_keskimaarainen\\_romutusika?567\\_o=10](https://www.aut.fi/tilastot/romutustilastoja/henkiloautojen_keskimaarainen_romutusika?567_o=10)>. Päivitetty 3.2.2020. Luettu 18.11.2020.

Henkilöautokannan keski-ikä eräissä Euroopan maissa. 2020. Verkkoaineisto. Autoalan Tiedotuskeskus. <[https://www.aut.fi/tilastot/kansainvaliset\\_tilastot/henkiloautojen\\_keski-ika\\_eraissa\\_euroopan\\_maissa](https://www.aut.fi/tilastot/kansainvaliset_tilastot/henkiloautojen_keski-ika_eraissa_euroopan_maissa)>. Päivitetty 28.1.2020. Luettu 15.11.2020.

High Definition headlamps with innovative features. 2020. Verkkoaineisto. Mercedes-Benz. <<https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/passenger-cars/mercedes-maybach/digital-light-the-light-of-the-future-hits-the-road/>>. Luettu 16.11.2020.

Huittinen, Veli Matti. 1995. Niskan retkahdusvamma. Verkkoaineisto. Duodecim. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo50383>>. Luettu 11.11.2020.

Høye, Alena. 2011. The effects of Electronic Stability Control (ESC) on crashes—An update. Verkkoaineisto. ScienceDirect. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457510004021#!>>. Päivitetty 1.5.2011. Luettu 13.11.2020.

Jalankulkijoiden liikennekuolemat vähenivät viime vuonna. 2020. Verkkoaineisto. Liikennevakuutuskeskus. <<https://www.lvk.fi/liikennevakuutuskeskus/tiedotteet/2020/jalankulkijoiden-liikennekuolemat-vahenivat-viime-vuonna/>>. Päivitetty 6.3.2020. Luettu 11.11.2020.

Järveläinen, Iiro. 2013. Ajoneuvojen koritekniikka ja korikorjaus. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Karvonen, Esa; Ernvall, Timo & Kari, Timo. 2010. Henkilöautomallien onnettomuudet ja vammautumiskäsit 2010. Tutkimusraportti. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu.

Liikenneturvallisuus paranee autokannan uusiutuessa. 2019. Verkkoaineisto. Autotuojat ja –teollisuus. <[https://www.autotuojat.fi/autoalan\\_toimintaymparisto/liikenneturvallisuus](https://www.autotuojat.fi/autoalan_toimintaymparisto/liikenneturvallisuus)>. Luettu 20.9.2020.

Liikennevahinkojen määrää ei ole saatu laskuun. 2020. Verkkoaineisto. Liikennevakuutuskeskus. <<https://www.lvk.fi/liikennevakuutuskeskus/tiedotteet/2020/liikennevahinkojen-maaraa-ei-ole-saatu-laskuun/>>. Päivitetty 4.2.2020. Luettu 10.11.2020.

Liikennevahinkoportti. 2020. Verkkoaineisto. Onnettomuustietoinstituutti. <[https://tilastoportaali.vakes.fi/SASVisualAnalyticsViewer/VisualAnalyticsViewer\\_guest.jsp?reportName=Liikennevahinkoportti&reportPath=/6.%20Julkinen/1.%20Liikenne/Raportit/&reportViewOnly=true&reportContextBar=true](https://tilastoportaali.vakes.fi/SASVisualAnalyticsViewer/VisualAnalyticsViewer_guest.jsp?reportName=Liikennevahinkoportti&reportPath=/6.%20Julkinen/1.%20Liikenne/Raportit/&reportViewOnly=true&reportContextBar=true)>. Luettu 18.11.2020.

Liikennevakuutuslaki. 2016. 460/17.6.2016

Liikenteessä kuolleet ja loukkaantuneet 1995-2018. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <[https://www.stat.fi/til/ton/2018/ton\\_2018\\_2020-02-05\\_tau\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/ton/2018/ton_2018_2020-02-05_tau_001_fi.html)>. Päivitetty 5.2.2020. Luettu 7.9.2020.

Lower Leg Impact. 2014. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/lower-leg-impact/>>. Luettu 11.11.2020.

Mobile Progressive Deformable Barrier. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/frontal-impact/mobile-progressive-deformable-barrier/>>. Luettu 10.11.2020.

Multi purpose camera. Verkkoaineisto. Bosch Mobility Solutions. <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial>>

vehicles/driver-assistance-systems/lane-departure-warning/multi-purpose-camera/>. Luettu 10.11.2020.

Nykänen, Markus. 2020. Ajoneuvokatsastus, MAK. Luentomoniste. Metropolia Ammatti-korkeakoulu.

Onnettomuustietoinstituutti tekee työtä ennaltaehkäistäkseen liikenneonnettomuuksia Suomessa. Verkkoaineisto. Onnettomuustietoinstituutti. <<https://www.oti.fi/>>. Luettu 18.11.2020.

Passive safety systems: What are they and how do they work?. 2019. Verkkoaineisto. Road Safety Facts. <<https://roadsafetyfacts.eu/passive-safety-systems-what-are-they-and-how-do-they-work/>>. Luettu 20.10.2020.

Pähkinänkuoressa. Verkkoaineisto. LähiTapiola. <<https://www.lahitapiola.fi/tietoa-lahitapiolasta/yhtiot/paakaupunkiseutu>>. Luettu. 3.9.2020.

Robert Bosch GmbH (ed.) (2014) Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics: Systems and Components, Networking and Hybrid Drive. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. E-kirja.

ROPS (Rollover Protection System). Verkkoaineisto. NetCarShow.com. <[https://www.netcarshow.com/volvo/2001-c70\\_convertible/1280x960/wallpaper\\_27.htm](https://www.netcarshow.com/volvo/2001-c70_convertible/1280x960/wallpaper_27.htm)>. Luettu 4.9.2020.

Saarelma, Osmo. 2020. Piiskaniskuvamma (whiplash, niskan retkahdusvamma). Duodecim Terveyskirjasto. Verkkoaineisto. <[https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00850](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00850)>. Päivitetty 18.5.2020. Luettu 11.11.2020.

Safety in the new S-Class. 2020. Verkkoaineisto. Mercedes-Benz. <<https://media.mercedes-benz.com/article/a8a81cb5-011f-4bc6-838f-180fbb8d3293>>. Päivitetty 2.9.2020. Luettu 9.11.2020.

SEMA 2007: Volvo C70 Caresto Edition. 2007. Verkkoaineisto. Carscoops. <<https://www.carscoops.com/2007/10/sema-2007-volvo-c70-caresto-edition/>>. Luettu 25.9.2020.

Side Mobile Barrier. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/lateral-impact/side-mobile-barrier/>>. Luettu 10.11.2020.

Side Pole. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/lateral-impact/side-pole/>>. Luettu. 10.11.2020.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Moottoriajoneuvokanta. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.tilastokeskus.fi/til/mkan/tau.html>>. Luettu 25.11.2020.

The all new Volvo C70 – Convertible with reinforced roll-over protection. 2005. Verkkoaineisto. Volvo Cars. <<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/5090>>. Päivitetty 22.9.2005. Luettu 5.9.2020.

The all-new Volvo V40 – Pedestrian Airbag Technology. 2012. Verkkoaineisto. Volvo Cars. <<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/videos/43849>>. Luettu 10.10.2020.

The new Mercedes-Benz S-Class. 2020. Verkkoaineisto. Mercedes-Benz Press. <[https://twitter.com/MB\\_Press/status/1322886357379883008/photo/1](https://twitter.com/MB_Press/status/1322886357379883008/photo/1)>. Päivitetty 1.11.2020. Luettu 9.11.2020.

The Ratings Explained. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/>>. Luettu 10.11.2020.

Turvatekniikka: Ajonvakautusjärjestelmä. Verkkoaineisto. Liikenneturva. <<https://www.liikenneturva.fi/fi/liikenteessa/turvatekniikka-ajonvakautusjarjestelma>>. Luettu 13.11.2020.

Turvatekniikka: Törmäyksiä estävät. Verkkoaineisto. Liikenneturva. <<https://www.liikenneturva.fi/fi/liikenteessa/turvatekniikka-tormayksia-estavat>>. Luettu 13.11.2020.

Turvatyyny jalankulkijalle. 2018. Verkkoaineisto. Volvo Cars. <<https://www.volvocars.com/fi/support/manuals/v40-cross-country/2015w17/turvallisuus/turvatyyny/turvatyyny-jalankulkijalle>>. Luettu 5.10.2020.

Upper Leg Impact. 2015. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/upper-leg-impact/>>. Luettu 11.11.2020.

V2x Communication. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/results/vw/golf/39844#>>. Luettu 16.11.2020.

Whiplash. 2020. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/rear-impact/whiplash/>>. Luettu 10.11.2020.

Why should we focus on active safety in the future?. 2019. Verkkoaineisto. Road Safety Facts. <<https://roadsafetyfacts.eu/why-should-we-focus-on-active-safety-in-the-future/>>. Luettu 10.10.2020.

Volvo Car Corporation's pedestrian airbag: here's how it works. 2012. Verkkoaineisto. Volvo Cars. <<https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/43844>>. Päivitetty 23.5.2012. Luettu 4.10.2020.

Vulnerable Road User (VRU) Protection. Verkkoaineisto. Euro NCAP. <<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/>>. Luettu 11.

