

Peter Vertaľ

Aktívna a pasívna bezpečnosť

Vozidlá



ŽILinskÁ UNIVERZITA
V ŽILINE

Ing. Peter Vertal', Ph.D.

Aktívna a pasívna bezpečnosť

Vozidlá

Vydala Žilinská univerzita v Žiline
EDIS-vydavateľstvo UNIZA
2022

Vedecký redaktor prof. Ing. Gustáv Kasanický, CSc.

Recenzenti pplk. doc. JUDr. Mgr. Jana Šimonová, PhD.
doc. Ing. Zuzana Radová, Ph.D.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň publikácie zodpovedá autor.

Vydala Žilinská univerzita v Žiline/EDIS-vydavateľstvo UNIZA

© Peter Vertaľ, 2022

ISBN 978-80-554-1911-4

Obsah

1	Dopravná nehodovosť na území Slovenskej republiky	5
1.1	Dopravná nehoda vs. škodová udalosť	5
2	Ukazovatele dopravnej nehodovosti	6
2.1	Celkový počet dopravných nehôd	6
2.2	Počet dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví	7
2.3	Počet usmrtených, ťažko zranených a ľahko zranených účastníkov dopravných nehôd	7
2.4	Zistený alkohol u vinníkov dopravných nehôd	8
2.5	Pomer dopravných nehôd podľa miesta	9
2.6	Vplyv vodičskej praxe a veku vodičov na dopravnú nehodovosť	9
2.7	Dopravné nehody chodcov	10
2.8	Vozidlá vinníkov dopravných nehôd	11
3	Aktívna bezpečnosť	13
3.1	Hardvérové vybavenie vozidiel s asistenčnými systémami	13
3.1.1	Lidar	13
3.1.1.1	Princípy laserového diaľkomeru	15
3.1.1.2	Skenovací systém	17
3.1.1.3	Lidar v autonómnych vozidlách	17
3.1.1.4	IDAR (Intelligent Detection and Ranging)	18
3.1.2	Radar	20
3.1.2.1	Dopplerov radar	22
3.1.2.2	Definovanie radarov podľa typu	23
3.1.3	Porovnanie radaru a lidar	26
3.1.4	Kamera	27
3.1.4.1	Monokulárne systémy	28
3.1.4.2	Stereofónne systémy	29
3.1.4.3	Stereoskopické videnie	34
3.1.4.4	Termovízne kamery v automatizovaných cestných vozidlách	34
3.1.5	Sensor fusion	35
4	Testovanie prvkov aktívnej bezpečnosti	36
4.1	Terminológia pri testovaní	36
4.2	Maketa objektov	39
4.2.1	Maketa vozidla – GVT	39
4.3	Maketa bicykla (Bike target – BT)	41
4.3.1	Maketa motocykla GMT	43
4.4	Testy nárazu vozidla do vozidla	44
4.4.1	Test nárazu do stojaceho vozidla (Car-to-Car Rear stationary – CCRs)	44
4.4.2	Test nárazu do pohybujúceho sa vozidla (Car-to-Car Rear moving – CCRm)	44
4.4.3	Test nárazu do brzdiaceho vozidla (Car-to-Car Rear braking – CCRb)	45
4.4.4	Test odbočovania cez koridor prichádzajúceho vozidla (Car-to-car Front turn-across-path – CCFTap)	46
4.5	Test nárazu vozidla do bicykla	47
4.5.1	Test nárazu do bicykla – príjazd sprava (Car-to-bicyclist nearside adult – CBNA)	47
4.5.2	Test nárazu do bicykla – príjazd zľava (Car-to-bicyclist farside adult – CBNA)	47

4.5.3	Test nárazu do bicykla FCW – príjazd sprava spoza prekážky (Car-to-bicyclist nearside adult obstructed – CBNAO FCW)	48
4.5.4	Test nárazu do bicykla AEB – príjazd sprava spoza prekážky (Car to bicyclist nearside adult obstructed CBNAO AEB)	48
4.6	Test nárazu vozidla do motocykla	49
4.6.1	Test nárazu do stojaceho motocykla (Car-to-Motorbike stationary – CMBs)	49
4.6.2	Test nárazu do brzdiaceho motocykla (Car-to-Motorbike braking – CMBb)	49
4.6.3	Test odbočovania cez koridor prichádzajúceho motocykla (Car-to-Motorbike Front turn-across-path – CMFtap)	49
4.6.4	Test odbočovania cez koridor motocykla zľava (Car-to-Motorbike Front cross-path-left – CMFscpl)	50
4.7	Test opustenia jazdného pruhu	51
4.7.1	Upozornenie na opustenie pruhu (Lane departure warning – LDW)	51
4.7.2	Asistent udržania v pruhu (Lane keep assist – LKA)	52
4.7.3	Núdzové udržanie v pruhu	52
5	Hodnotenie priebehu testov aktívnej bezpečnosti vozidiel	55
5.1	Závislosť závažnosti zranenia od hodnotenia vozidla Euro NCAP	55
5.2	Hodnotenie testov car-to-car	58
5.3	Hodnotenie lane support systems	60
5.3.1	Asistent varovania opustenia pruhu (Lane Keep Assist – LKA)	60
5.3.2	Núdzové udržiavanie v jazdnom pruhu (Emergency Lane Keeping – ELK)	61
5.3.3	Human Machine Interface (HMI)	61
5.4	Hodnotenie AEB cyklista	62
6	Pasívna bezpečnosť	63
6.1	Testovanie pasívnej bezpečnosti	67
6.1.1	Dummy	67
6.1.2	Pohyblivá bariéra – Moving Progressive Deformable Barrier (MPDB)	69
6.1.3	Čelný náraz – čiastočné prekrytie	70
6.1.4	Čelný náraz – plné prekrytie	72
6.1.5	Bočný náraz – plné prekrytie	73
6.1.6	Náraz do stĺpa	74
7	Hodnotenie priebehu testov pasívnej bezpečnosti	77
7.1	HIC kritérium – Head form impakt	77
7.2	Hodnotenie testu MPDB	77
7.3	Hodnotenie testu čelný náraz – plné prekrytie	79
7.4	Hodnotenie bočného nárazu a nárazu do stĺpa	80
8	Bibliografia	82

Úvod

Dopravné nehody vozidiel sú veľmi častým javom, s ktorým sa bežne stretávame v premávke. Vďaka implementácii moderných prístupov v konštrukcii vozidiel je dlhodobý trend poklesu dopravných nehôd. S nástupom automatizovanej, robotizovanej alebo autonómnej prepravy osôb sa stále sprísňuje legislatívne krytie posádky vozidla a zvyšuje sa bezpečnosť vozidiel. Prvky aktívnej bezpečnosti preberajú do značnej miery kontrolu nad bezpečnosťou premávky a predchádzajú tak možným nehodám. Prvky pasívnej bezpečnosti dosiahli v poslednej dekáde technologický vrchol v ochrane posádky po nehode a zabezpečili tak bezpečný vnútorný priestor pre posádku vozila.

Problematika aktívnej a pasívnej bezpečnosti vozidiel je často diskutovanou témou v oblasti prevencie dopravných nehôd a následkov spôsobených dopravnou nehodou. Vývoj v oblasti aktívnej bezpečnosti si kladie za cieľ minimalizovať zrážku vozidiel a predísť tak zraneniam, prípadne smrti pri dopravnej nehode tým, že k zrážke nedôjde. Na rozdiel od aktívnej bezpečnosti sa pasívna bezpečnosť vozidiel orientuje na to, aby v prípade, ak už dôjde ku kolízii vozidiel, boli zranenia posádky čo najmenšie.

Publikácia si kladie za cieľ v čo najširšej miere a v danom rozsahu opísať testovacie procedúry a hodnotenie testovacích procedúr vozidiel. Časť publikácie sa venuje opisu hardvérových riešení vozidiel a základných fyzikálnych princípov daných senzorov. Tieto senzory prispievajú k zabráneniu dopravnej nehode alebo minimalizovaniu zranenia. Výber z komplexných testovacích procedúr, ktoré slúžia na overovanie výkonnostných charakteristík, poukazuje na zložitosť pri vývoji nových vozidiel, aby naplnili technické predpoklady noriem. Na základe týchto noriem je aj zrejmé, do akej miery je v súčasnosti ovplyvnený dizajn vozidiel.

1 Dopravná nehodovosť na území Slovenskej republiky

Dopravná nehodovosť je súhrn informácií o dopravných nehodách, ktoré sú nepretržite štatisticky vyhodnocované. Informácie o dopravných nehodách zaznamenáva a eviduje Policajný zbor Slovenskej republiky pri obhliadkach miest dopravných nehôd. Základným ukazovateľom dopravnej nehodovosti je celkový počet dopravných nehôd. Evidujú sa požitie alkoholu u vinníka dopravnej nehody, počty usmrtených osôb pri dopravných nehodách, ťažko zranených, ľahko zranených a ešte približne 50 kategórií informácií. Uvedené druhy zaznamenávaných informácií sa menia podľa aktuálnych požiadaviek či už znalcov, poisťovní alebo potrieb Policajného zboru Slovenskej republiky pre objasňovanie priestupkov alebo trestných činov spáchaných na úseku dopravy. Súbor údajov sa pravidelne využíva na vyhodnocovanie a plánovanie úloh dopravnej polície. Informácie o nehodovosti sa taktiež využívajú na výskumné účely analýzy dopravných nehôd. V nasledujúcej časti budeme analyzovať dopravnú nehodovosť na celom území Slovenskej republiky za obdobie od 01. 01. 2014 do 31. 12. 2020. Údaje boli vyselektované najmä pre potreby výskumu technickej analýzy dopravných nehôd.

1.1 Dopravná nehoda vs. škodová udalosť

Legislatíva Slovenskej republiky rozdeľuje udalosti v cestnej premávke na dopravné nehody a škodové udalosti. Škodovú udalosť je možné vyriešiť aj bez prítomnosti polície, ak sa účastníci škodovej udalosti medzi sebou dohodnú na zavinení a spíšu si zavedené tlačivo na zabezpečenie náhrady vzniknutej škody. O škodovú udalosť ide, ak sa pri udalosti v cestnej premávke [1]:

- neusmrtí alebo nezraní osoba,
- nepoškodí cesta alebo všeobecne prospešné zariadenie,
- neuniknú nebezpečné veci alebo
- na niektorom zo zúčastnených vozidiel vrátane prepravovaných vecí alebo na inom majetku nevznikne hmotná škoda prevyšujúca hodnotu 3990 €. [1]

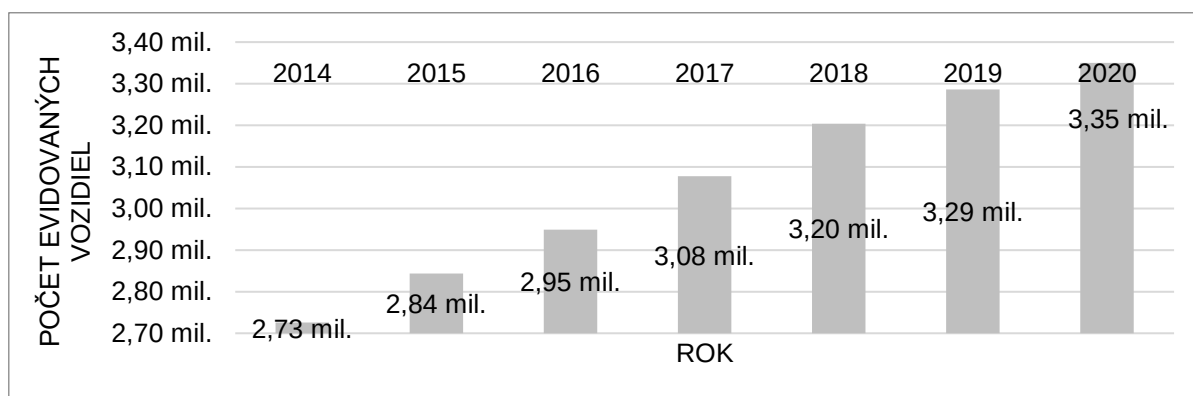
Ak nie je splnená minimálne jedna z podmienok, ide o dopravnú nehodu. Ak sa však pri škodovej udalosti zistí, že vodič zúčastneného vozidla je pod vplyvom alkoholu alebo inej návykovej látky, prípadne sa odmietne podrobiť vyšetreniu na zistenie požitia týchto látok v krvi, alebo ak sa účastníci škodovej udalosti nedohodnú na jej zavinení, ide taktiež o dopravnú nehodu. [1] Informácie o dopravnej nehodovosti sú zo zdrojov Policajného zboru Slovenskej republiky. Ide o dopravné nehody a štatistika neobsahuje informácie o škodových udalostiach. Dopravnú nehodovosť ovplyvňuje viacero faktorov. Niektoré, ktoré je možné merať, sú napríklad počty registrovaných vozidiel, počty registrovaných vodičov a v neposlednom rade aj intenzita premávky. Grafy (Graf 1 a Graf 2) znázorňujú trend vývoja počtu registrovaných vozidiel a vodičov, ktorý má stále stúpajúci charakter. Legislatíva v SR umožňuje získanie vodičského preukazu typu B osobám starším ako 17 rokov, avšak takáto osoba môže viesť vozidlo len v prítomnosti spolujazdca, ktorý:

- musí byť držiteľom vodičského oprávnenia skupiny B najmenej 10 rokov,
- musí byť na tento účel zapísaný orgánom Policajného zboru do evidencie vodičov,
- musí mať pri sebe vodičský preukaz a dodržiavať všetky povinnosti a zákazy týkajúce sa alkoholu a iných návykových látok ustanovené pre vodiča.

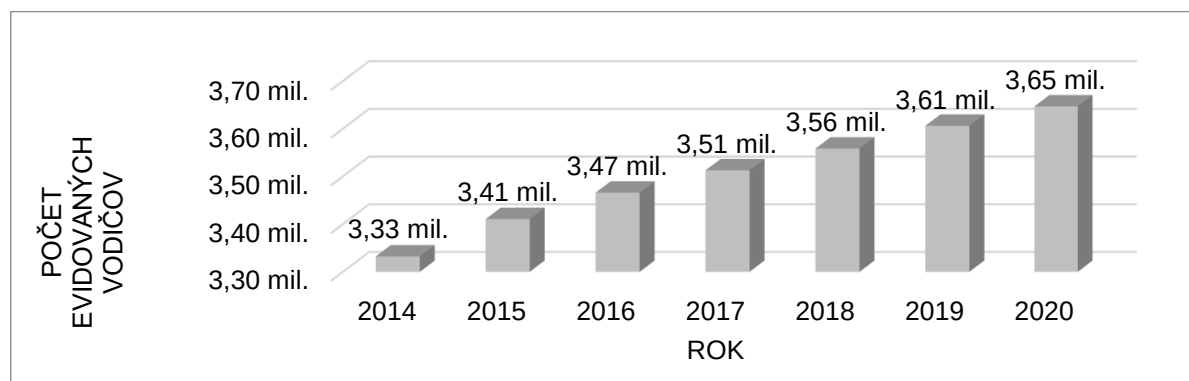
2 Ukazovatele dopravnej nehodovosti

2.1 Celkový počet dopravných nehôd

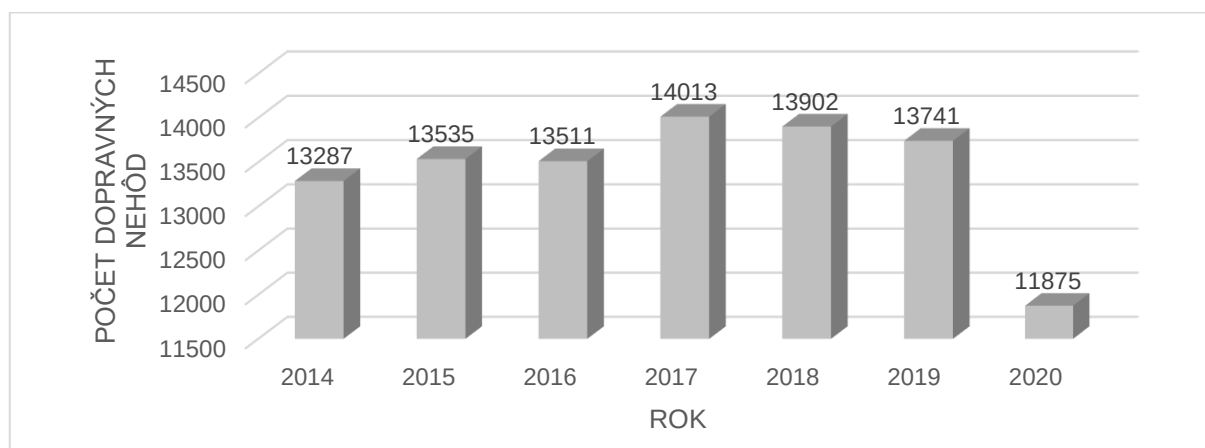
Celkový počet dopravných nehôd je jedným zo základných ukazovateľov dopravnej nehodovosti. V celkovom počte dopravných nehôd sú zahrnuté všetky dopravné nehody podľa vyššie uvedenej legislatívnej úpravy. Graf 3 znázorňuje negatívny trend vývoja nehodovosti za posledných 5 rokov. Môže to byť ovplyvnené zvyšovaním intenzity dopravy, nárastom počtu registrovaných vozidiel a vodičov. V roku 2020 bol zaznamenaný výrazný pokles celkového počtu dopravných nehôd, keďže sa zaviedli mnohé opatrenia na zabránenie mobility občanov v súvislosti so zabránením šírenia ochorenia COVID-19 a tým sa výrazne znížila intenzita dopravy. V súčasnosti je snaha ovplyvňovať a znižovať počet dopravných nehôd výkonom služby dopravnej polície a taktiež aj ostatných zložiek, ako je poriadková polícia.



Graf 1 Počet registrovaných vozidiel na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



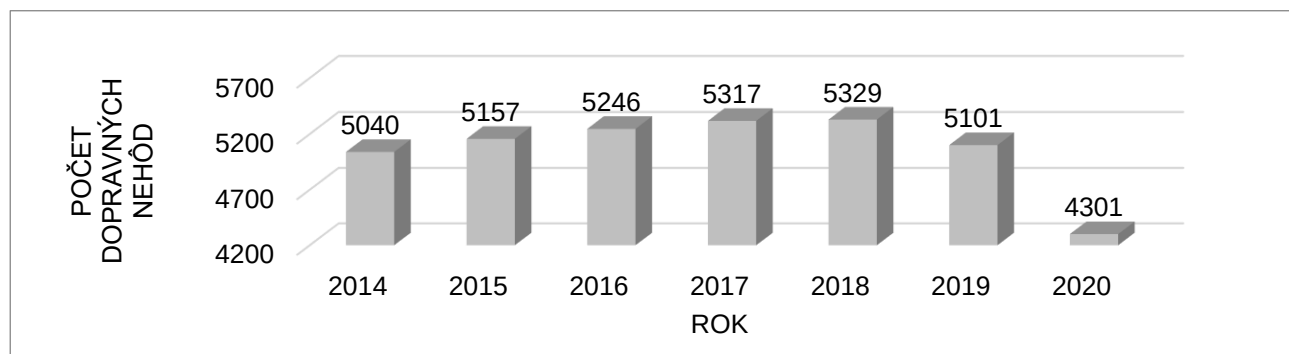
Graf 2 Počet registrovaných vodičov na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



Graf 3 Celkový počet dopravných nehôd na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

2.2 Počet dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví

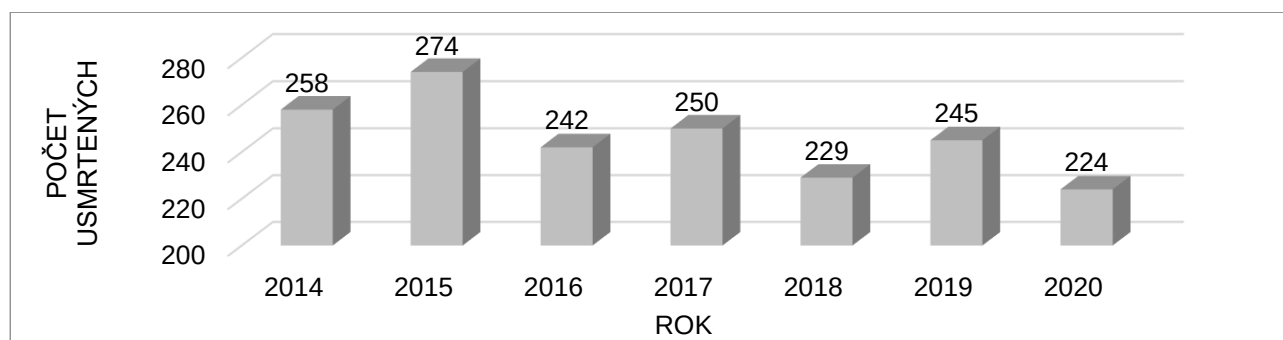
Ukazovateľ počtu dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví obsahuje nehody, v súvislosti s ktorými boli spôsobené buď ľahké zranenia, ťažké zranenia alebo usmrtenie účastníka dopravnej nehody. Za zranenie účastníka dopravnej nehody sa nepovažuje, ak bol iba jednorazovo ošetrovaný a nebol obmedzený na bežnom spôsobe života. Vývoj počtu dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví má taktiež stúpajúci trend. Z celkového počtu dopravných nehôd je cca 38 % dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví. V roku 2020 bol počet dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví ovplyvnený opatreniami na zabránenie šírenia ochorenia COVID-19.



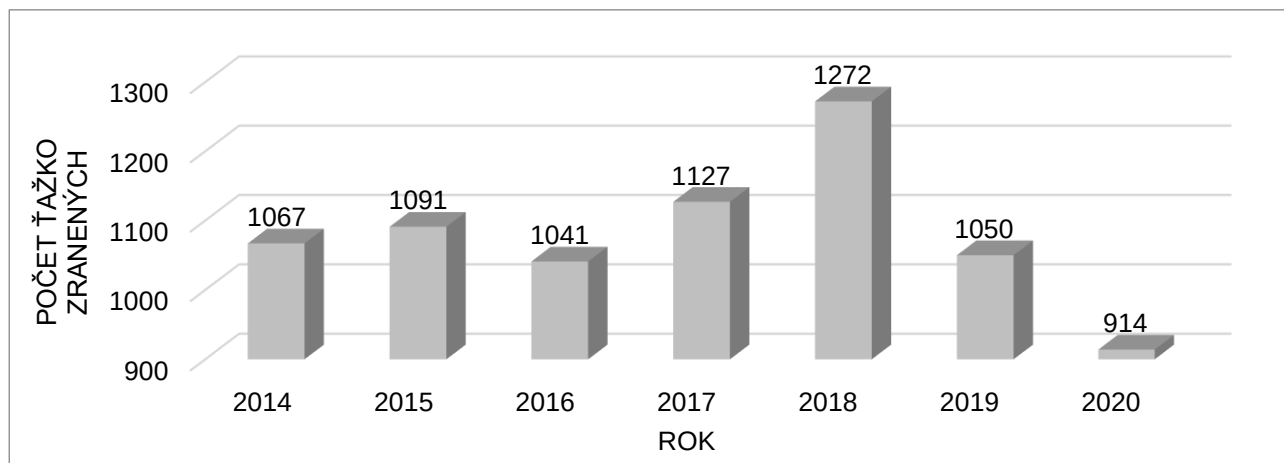
Graf č. 1 Počet dopravných nehôd s následkami na živote alebo zdraví na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

2.3 Počet usmrtených, ťažko zranených a ľahko zranených účastníkov dopravných nehôd

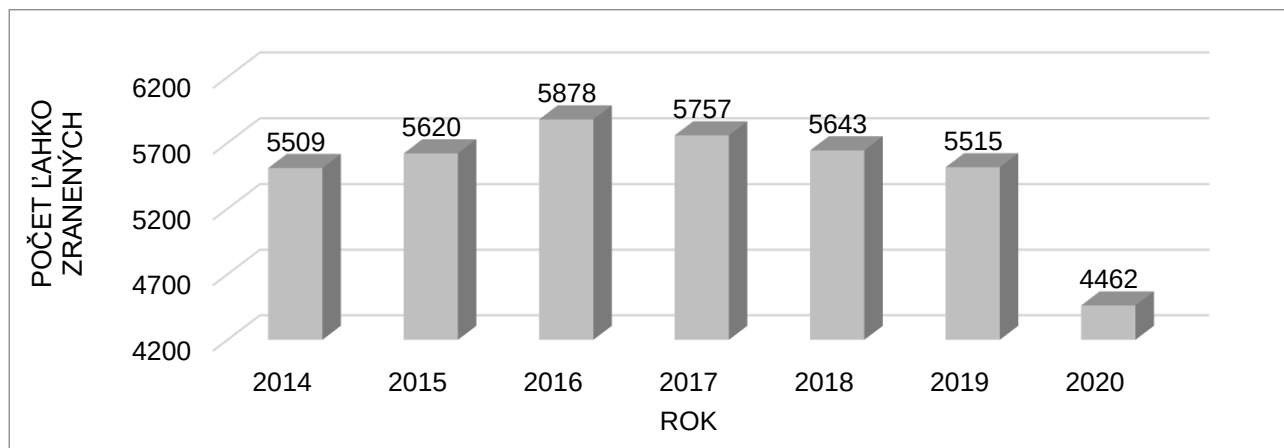
Graf č. 2 zobrazuje počet usmrtených účastníkov pri dopravných nehodách. Ukazovateľ má za sledované obdobie klesajúci trend. Z celkového počtu dopravných nehôd tvoria 1,8 % dopravné nehody s usmrtením, ak zoberieme do úvahy, že pri dopravnej nehode bol usmrtený len 1 účastník dopravnej nehody. Za ťažko zranenú osobu sa podľa platnej legislatívy Slovenskej republiky považuje osoba, ktorá je obmedzená na bežnom spôsobe života najmenej 7 kalendárnych dní. Graf č. 3 zobrazuje počet ťažko zranených účastníkov dopravných nehôd. Za sledované obdobie má daný ukazovateľ mierne stúpajúci trend. Sledovaný ukazovateľ bol taktiež ovplyvnený pandemiou v roku 2020, ktorý znížila počet usmrtených v sledovanom období. Ľahké zranenie je definované ako zranenie, ktoré obmedzí osobu na bežnom spôsobe života do 7 dní. Počet ľahko zranených účastníkov dopravných nehôd má od roku 2014 do 2016 stúpajúci trend a následne mierne klesajúci do roku 2019. V roku 2020 bol pokles počtu ľahko zranených osôb pri dopravných nehodách signifikantný, keďže bol ovplyvnený pandemiou COVID-19.



Graf č. 2 Počet usmrtených osôb pri dopravných nehodách na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



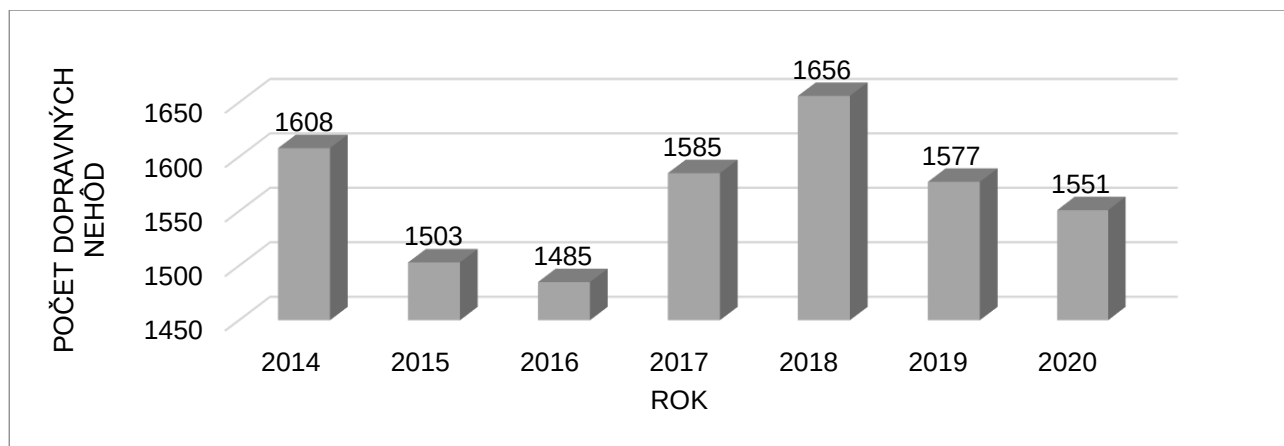
Graf č. 3 Počet ťažko zranených osôb pri dopravných nehodách na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



Graf č. 4 Počet ľahko zranených osôb pri dopravných nehodách na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

2.4 Zistený alkohol u vinníkov dopravných nehôd

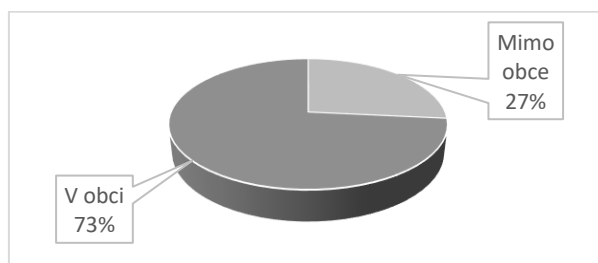
Vývoj dopravných nehôd, pri ktorých bolo u vinníka dopravnej nehody zistené požitie alkoholu, má konvexný tvar, pozri Graf č. 5. V priemere tvoria dopravné nehody, kde u vinníka bolo zistené požitie alkoholu alebo iných návykových látok, 11,5 % z celkového počtu dopravných nehôd. Aj keď od roku 2012 sa vodič dopúšťa trestného činu, ak je vykonanou dychovou skúškou nameraná hladina alkoholu v dychu viac ako 1 promile, neodrádza to ľudí od toho, že si sadnú za volant pod vplyvom alkoholu a vedú motorové vozidlo.



Graf č. 5 Počet dopravných nehôd, kde bolo u vinníka dopravnej nehody zistené požitie alkoholu alebo iných návykových látok na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

2.5 Pomer dopravných nehôd podľa miesta

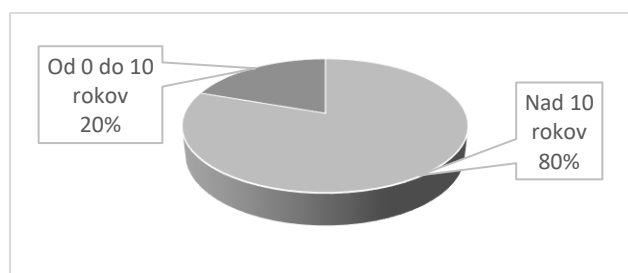
Nasledujúci Graf č. 6 znázorňuje pomer dopravných nehôd v intraviláne a extraviláne. Až 73 % dopravných nehôd je zapríčinených v intraviláne. Avšak počet usmrtených pri dopravných nehodách je väčší v extraviláne, až 66 %. Je to spôsobené hlavne vyššími nárazovými rýchlosťami. Ľahké zranenia (v obci 60 %) a ťažké zranenia (v obci 56 %) sú vo väčšej miere spôsobené v obci.



Graf č. 6 Pomer dopravných nehôd podľa miesta na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

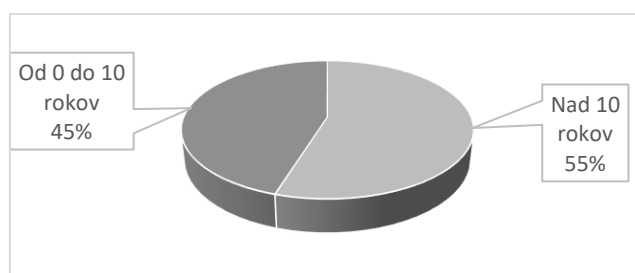
2.6 Vplyv vodičskej praxe a veku vodičov na dopravnú nehodovosť

Vodiči s vodičskou praxou do 10 rokov tvoria na území Slovenskej republiky 20 % podiel z celkového počtu evidovaných vodičov, pozri Graf č. 7. Podľa štatistických ukazovateľov dopravnej nehodovosti vodiči s vodičskou praxou do 10 rokov zavinili 45 % z celkového počtu dopravných nehôd, pozri Graf č. 8.

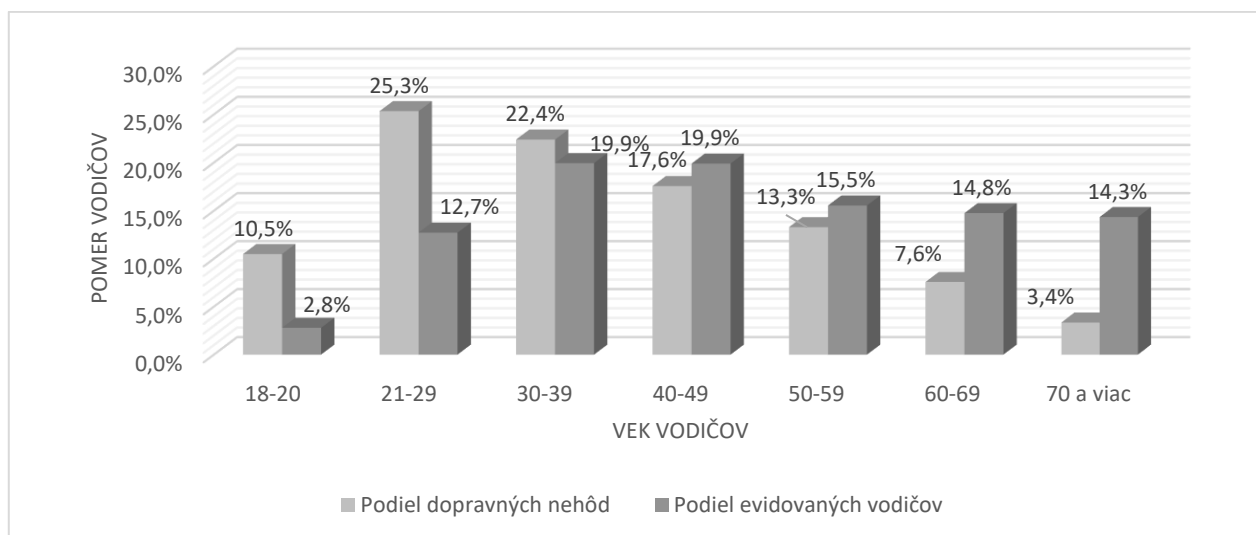


Graf č. 7 Pomer evidovaných vodičov s vodičskou praxou do 10 rokov a nad 10 rokov na území SR za obdobie 2017 – 2020 [2]

V nasledujúcom Graf č. 9 je zobrazený vzťah medzi počtom evidovaných vodičov jednotlivých vekových kategórií a počtom dopravných nehôd na území Slovenskej republiky. Najkritickejšia je skupina vodičov do 20 rokov, pretože táto tvorila len 2,8 % z celkového počtu vodičov, ale zapríčinila až 10,5 % dopravných nehôd, čo je 9 dopravných nehôd na 1000 vodičov vo veku do 20 rokov. Kategória vodičov vo veku od 21 do 29 rokov tvorila z celkového počtu registrovaných vodičov 12,7 % podiel. Títo vodiči zavinili z celkového počtu dopravných nehôd až 25,3 % dopravných nehôd, čo je 5 dopravných nehôd na 1000 vodičov. Kategória vodičov vo veku od 30 do 39 rokov zapríčinila len 3 dopravné nehody na 1000 vodičov v danej kategórii.



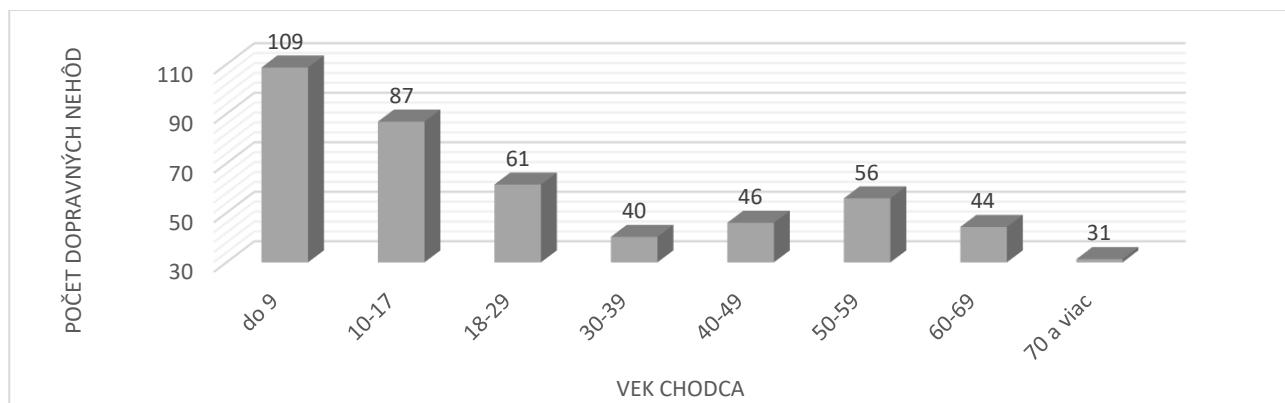
Graf č. 8 Pomer dopravných nehôd vodičov vinníkov s vodičskou praxou do 10 rokov a nad 10 rokov na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



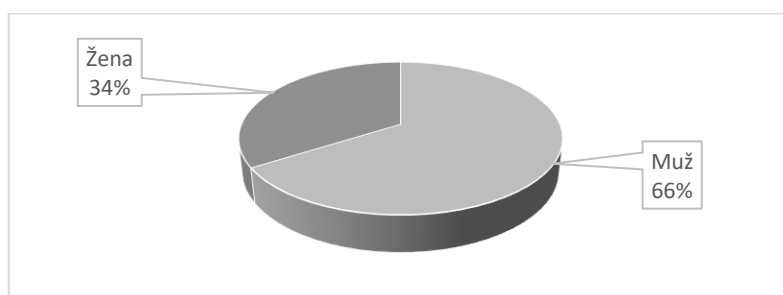
Graf č. 9 Pomer registrovaných vodičov a vodičov vinníkov rozdelených podľa veku na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

2.7 Dopravné nehody chodcov

Chodci sú najzraniteľnejšími účastníkmi cestnej premávky, napriek tomu nedbajú na potrebnú opatrnosť a mnohokrát sú aj vinníkmi dopravných nehôd, ktoré často končia tragicky. Graf č. 10 zobrazuje, že najčastejšími vinníkmi dopravných nehôd, kde je vinník chodec, je kategória chodcov do 9 rokov. Vo vyšších vekových skupinách má Graf č. 10 klesajúcu tendenciu. Pri vekovej skupine 50 – 59 rokov má mierne stúpajúci trend. Deti často nemajú vedomosť o pravidlách cestnej premávky, nie sú pozorné, a preto sa stávajú najčastejšími vinníkmi dopravných nehôd, kde je účastníkom chodec. Graf č. 11 zobrazuje závislosť celkového počtu dopravných nehôd s chodcami, kde bol vinník chodec, a pohlavím chodca. Muži sú častejšie vinníkmi dopravných nehôd ako ženy, a to v pomere 66 % k 34 %.



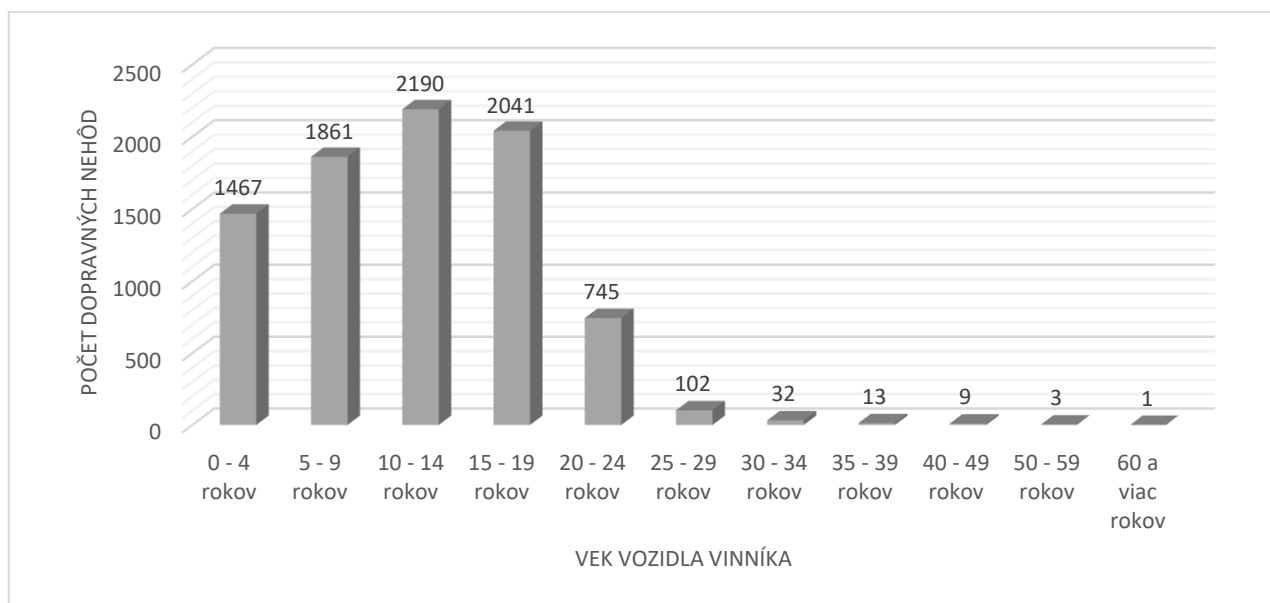
Graf č. 10 Priemerný ročný počet dopravných nehôd chodcov podľa veku vinníka (chodca) na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



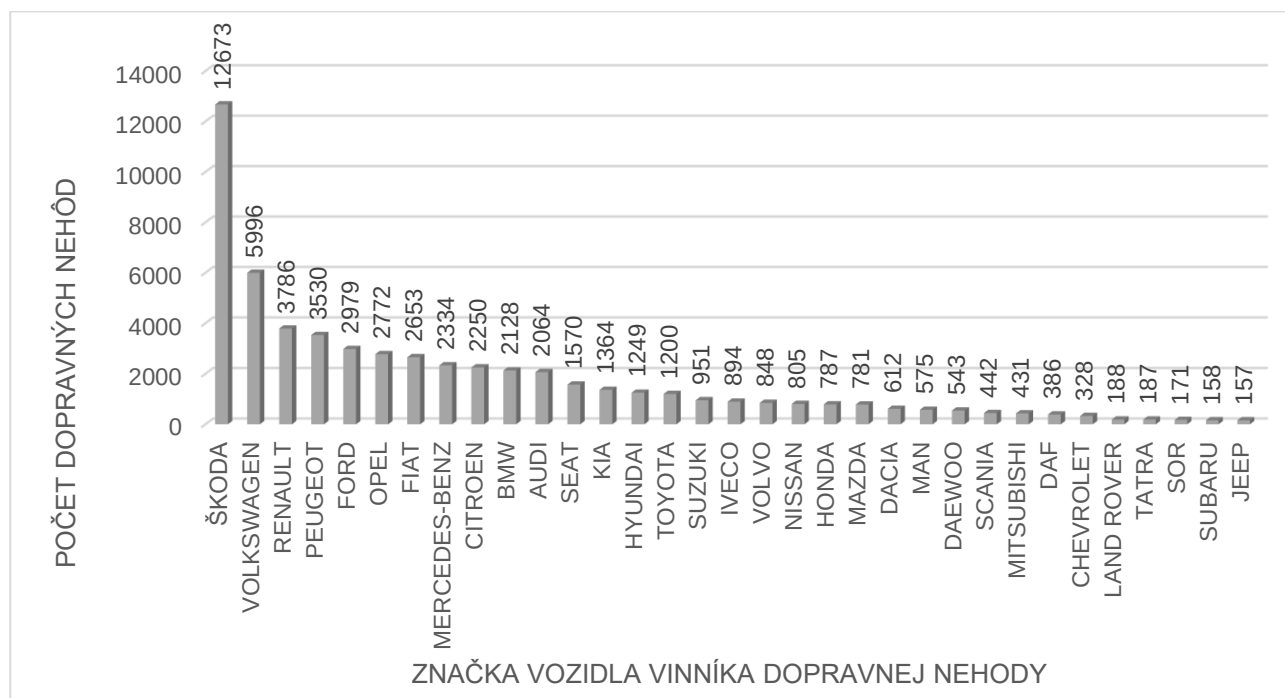
Graf č. 11 Dopravné nehody chodcov podľa pohlavia vinníka na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]

2.8 Vozidlá vinníkov dopravných nehôd

Vozidlo vinníka dopravnej nehody zohráva pri dopravnej nehode dôležitú úlohu. Vek vozidla je dôležitým údajom, ktorým vieme odhadovať stupeň opotrebenia vozidla a zmenené vlastnosti vozidla vo vzťahu k času používania. Graf č. 12 zobrazuje priemerný ročný počet dopravných nehôd v závislosti od veku vozidla vinníka dopravnej nehody. Vozidlá vo veku od 10 do 14 rokov boli najčastejšie používané vinníkmi dopravných nehôd. Z analýzy vozidiel vyplynulo, že za obdobie od roku 2014 do 2020 vinníci dopravných nehôd najčastejšie viedli vozidlá značiek Škoda, Volkswagen, Renault, Peugeot Ford.



Graf č. 12 Priemerný ročný počet dopravných nehôd podľa veku vozidla vinníka dopravnej nehody na území SR za obdobie 2014 – 2020 [2]



Graf č. 13 Celkový počet dopravných nehôd podľa značky vozidla vinníka dopravnej nehody na území SR za obdobie 2014 – 2018 [2]

Analýza dopravnej nehodovosti je potrebná na prijímanie opatrení na zamedzenie jej negatívneho vývoja. Na vznik dopravnej nehody majú vplyv viaceré okolnosti. Stochastický charakter okolností vzniku

dopravných nehôd nemôže byť dôvodom na pasívne zmierenie sa s týmto javom. Je potrebné údaje o dopravných nehodách zbierať, zhromažďovať, vyhodnocovať a hľadať spoločného menovateľa pre následné prijímanie opatrení. Znižovanie dopravnej nehodovosti je dlhodobý a systematický proces.

3 Aktívna bezpečnosť

Viac ako deväťdesiat percent dopravných nehôd je spôsobených ľudskými chybami. Vo všeobecnosti možno pozorovať dva druhy chýb: porušenia, z ktorých najbežnejšie sú prekročenie rýchlosti a vedenie vozidla pod vplyvom alkoholu alebo drog, a ľudské chyby, v ktorých hrá dôležitú úlohu stav vodiča – nepozornosť, únava, rozptýlenie a neskúsenosť. V staršiej spoločnosti je čoraz väčšou príčinou dopravných nehôd náhla zdravotná neschopnosť. Podporné systémy pre vodičov, ako napríklad Speed Assistance Systems a Attention Assist, sa už pri nehodách zameriavajú na ľudský element varovaním vodiča v kritických situáciách a v konečnom dôsledku sú aj podporou vodiča.

3.1 Hardvérové vybavenie vozidiel s asistenčnými systémami

Pred plným zavedením automatizovaných cestných vozidiel do cestnej premávky je potrebné vyriešiť celý rad výziev. Je nevyhnutné preukázať schopnosť týchto vozidiel vykonávať bezpečne a spoľahlivo základné jazdné funkcie. Pri jazde sa riadiace systémy musia spoliehať na informácie zo snímacích systémov, ktoré sú lepšie alebo aspoň také dobré ako ľudské vnímanie. Medzi tieto snímacie systémy a zariadenia patria napríklad aj LIDAR, RADAR a KAMERY, ktorých princíp je opísaný v nasledujúcich kapitolách.

3.1.1 Lidar

Laserový zameriavač je najjednoduchší druh laserového radaru. Používa jediný detektor na určenie dosahu k cieľu na základe času letu laserového impulzu od a k objektu. Na základe rýchlosti svetla môžeme vypočítať vzdialenosť. S myšlienkou merať vzdialenosť pomocou krátkych impulzov svetla prišiel A. A. Lebedev. Prvým prototypom na získanie krátkych impulzov svetla bol interferenčný modulátor z roku 1936. Dosah mal 3,5 km a meral s presnosťou na 2 až 3 metre.

Vývoj ďalšieho laserového zameriavania sa začal od 60. rokov 20. storočia primárne na vojenské účely pre navigáciu zbrane, na mapovanie terénu a na sledovanie atmosféry. Tieto laserové diaľkomery na vojenské účely sa vyvíjali s použitím arzenidu rubínu a gália. Avšak prvé rubínové lasery mali vysokú cenu, nízku účinnosť a vznikali problémy s bezpečnosťou očí. Postupom času boli k dispozícii krátke pulzné, vysokoenergetické a vysoko kolimované (sústredenie lúčov do jedného smeru) monochromatické lasery, ktoré spôsobili revolúciu v tejto oblasti. Komerčný vývoj lidarů nastal od roku 2005, keď sa začal využívať na autonómne riadenie vozidiel a hĺbkové mapovanie okolia.

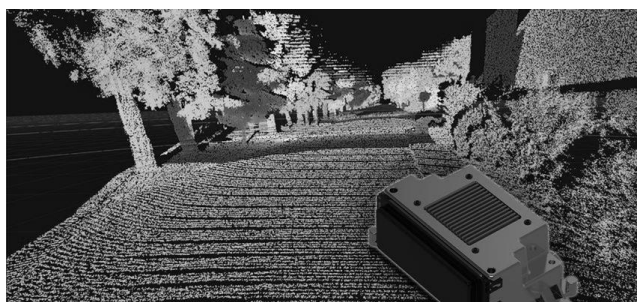
LIDAR v automobiloch (Light Detection and Ranging) je optické meracie zariadenie, ktoré lokalizuje a meria vzdialenosť objektov v priestore. V princípe je systém podobný ako 24 alebo 77 GHz radar, ale miesto mikrovĺn meria čas odrazu laserového lúča. Laserový lúč sa pohybuje vo vzduchu rýchlosťou svetla, cca 300 000 km/s. Vysokovýkonná dióda s výkonom až 70 W vysiela pulz s dĺžkou cca 30 nm. [3] Proces sa opakuje až s frekvenciou viac ako 100 Hz. LIDAR je aktívny systém diaľkového snímania. Aktívny systém znamená, že samotný systém generuje energiu – v tomto prípade svetlo – na meranie vecí na zemi. Svetelná energia je zbierka fotónov. Keď sa fotón, ktorý tvorí svetlo, pohybuje smerom k zemi, dopadá na objekty, ako sú napríklad vozidlá. V systéme LIDAR je svetlo vyžarované z rýchlo sa spaľujúceho lasera. Môžeme si predstaviť, že svetlo rýchlo bliká zo zdroja laserového svetla. Energia odrazeného svetla sa potom vráti do snímača LIDAR, kde sa zaznamená. Systém LIDAR meria čas potrebný na cestu emitovaného svetla k objektu a späť. Tento čas sa použije na výpočet prejdenej vzdialenosti. Prejdená vzdialenosť sa potom prevedie na

nadmorskú výšku. Tieto merania sa uskutočňujú pomocou kľúčových komponentov lidarového systému vrátane GPS, ktoré identifikuje X, Y, Z umiestnenie svetelnej energie a vnútornej meracej jednotky (IMU), ktorá poskytuje orientáciu roviny na oblohe. Pri zhoršených poveternostných podmienkach dochádza k útlmu lúča v dôsledku odrazu lúča od kvapôčok vody v atmosfére. Tieto odrazy môžu spôsobiť až saturáciu radaru a jeho úplnú nefunkčnosť. Merací rozsah lidar je od 0,1 m do 150 m. [4]



Obr. 1 Lidar pre segment mikro vozidiel s funkciou AEB (vľavo). Lidar aj s kamerou s rozšírenými funkciami na rozpoznávanie chodcov a iných objektov (v strede). 3D lidar pre autonómne vozidlá (vpravo) [5]

Kamera je podstatne menšia a lacnejšia ako lidar (aj keď ich je potrebných viac). Výhodou je, že vidí v lepšom rozlíšení a farebne, čo znamená, že dokáže čítať semafor a značky. Kamery však majú širokú škálu vlastností, kvôli ktorým je použitie v bežných jazdných podmienkach komplikované. Zatiaľ čo LIDAR používa blízke infračervené svetlo, fotoaparáty používajú viditeľné svetlo a sú tak náchylnejšie na problémy (keď čelia dažďu, hmle alebo dokonca niektorým textúram). Lidar navyše nezávisí od okolitého svetla, ktoré generuje svoje vlastné svetelné impulzy, zatiaľ čo kamery sú citlivejšie na náhle zmeny svetla, priame slnečné svetlo alebo dokonca na dažďové kvapky. Výhody lidar sú, že vytvorením 3D oblaku bodov je oveľa lepší pri posudzovaní vzdialeností ako fotoaparáty a tiež je odolný voči povrchom, ktoré sú reflexné, s textúrou alebo bez textúry. Fotoaparáty vyžadujú značné výpočtové úsilie, napríklad zložité neurónové siete na meranie vzdialenosti medzi objektmi agregáciou rôznych zdrojov kamery alebo jedného zdroja v priebehu času. Pokiaľ ide o detekciu farieb, je predpoklad, že v prepojenom svete bez vodičov sa môžu dopravné informácie prenášať signálmi z jedného zariadenia na druhé zo svetelných signalizácií a iných značiek, čo odstráni kľúčovú chybu lidar.



Obr. 2 Mračno bodov vytvorené 3D lidarom. [5]

Technológia LIDAR pracuje na princípe skenovania svojho zorného poľa pomocou jedného alebo viacerých laserových lúčov. Laserový lúč je generovaný amplitúdovo-modulárnou laserovou diódou, ktorá vyžaruje v blízkej infračervenej oblasti vlnovej dĺžky. Laserový lúč sa v prostredí odráža späť do skenera a spätný signál prijíma fotodetektor. Zabudovaná elektronika filtruje a vyhodnocuje rozdiely medzi vysielanými a prijímanými signálmi, ktoré sú úmerné vzdialenosti.

Výstupy z lidarů sú zahrnuté v 3D mračnách bodov, ktoré zodpovedajú naskenovaným prostrediam, a intenzite, ktorá zodpovedá odrazenému laseru.

Lidar je možné rozdeliť na laserový diaľkometer a skenovací systém. Laserový diaľkometer obsahuje:

- laserový vysielateľ, ktorý osvetľuje cieľ prostredníctvom modulovanej vlny,
- fotodetektor, ktorý generuje elektronický signál z odrazených fotónov po optickom spracovaní a fotoelektrickej konverzii,
- optiku, ktorá vytvorí paralelný emitovaný laser a zaostruje odrazený signál na fotodetektor,
- elektroniku na spracovanie signálu, ktorá odhaduje vzdialenosti medzi laserovým zdrojom a odrazovým povrchom na základe prijatého signálu.

3.1.1.1 Princípy laserového diaľkometeru

Diaľkometer, ktorý meria vzdialenosť k objektu pomocou laserového lúča, sa nazýva laserový diaľkometer. Spôsob fungovania závisí od typu modulácie signálu použitého v laserovom lúči. Na meranie ich času letu (ToF – time of flight) sa používajú impulzné lasery, ktoré sa označujú ako laserové diaľkomery s priamou detekciou. Laserový signál môže byť aj frekvenčne modulovaná spojitá vlna (FMCW – frequency-modulated continuous-wave), ktorá nepriamo meria vzdialenosť a rýchlosť od Dopplerovho javu. Tieto lasery sú známe ako laserové diaľkomery s koherentnou detekciou.

3.1.1.1.1 Laserový diaľkometer ToF

Tento druh laserového diaľkometeru meria rozsah výpočtom časového rozdielu medzi vysielaným a prijímaným laserom/signálom s použitím vzorca:

$$r = \frac{1}{2n} c \Delta t \quad (1)$$

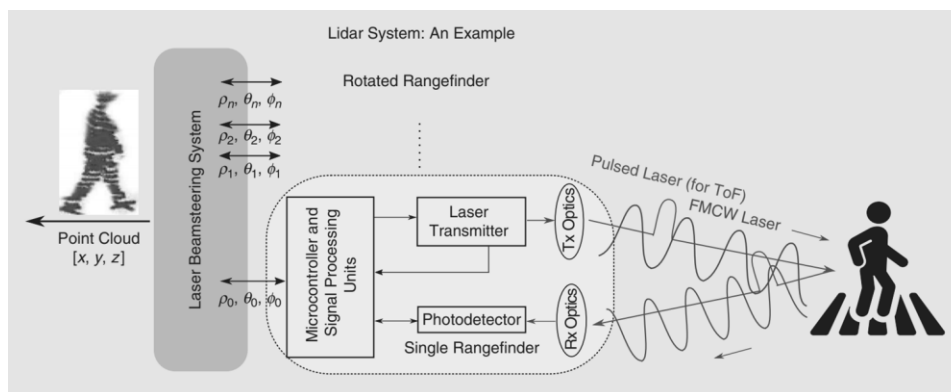
kde:

c – rýchlosť svetla

n – index lomu propagačného média

Δt – časová medzera medzi vysielaným a prijatým laserom/signálom

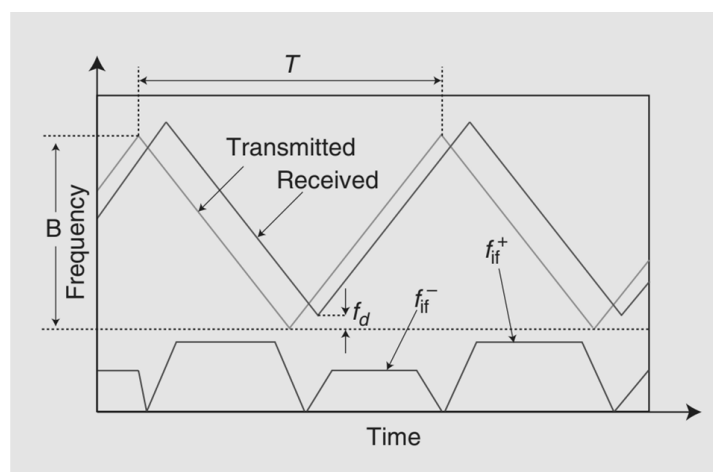
ToF lidar prevláda na súčasnom automobilovom trhu hlavne kvôli svojej jednoduchšej štruktúre a metódam spracovania signálu. Potenciál na zväčšenie maximálneho dosahu je limitovaný prenosovým výkonom z dôvodu bezpečnosti očí. [6]



Obr. 3 Príklad ToF laserového diaľkometeru [6]

3.1.1.1.2 Laserové diaľkomery s koherentnou detekciou

Zmiešaním vysielaného a prijatého signálu je možné demodulovať prijatý signál, získať tak fázový a frekvenčný posun laserového signálu a následne určiť vzdialenosť a rýchlosť od odrážajúcej plochy. Tento spôsob merania rýchlosti a vzdialenosti možno považovať za optickú verziu radarov FMCW, ktoré sú populárne v súčasných cestných vozidlách. Lidary FMCW vysielajú nepretržite modulovaný laserový signál, pričom zachovávajú referenčný signál (lokálny oscilátor). Modulačné funkcie tvoria pílové alebo trojuholníkové vlny. Z dôvodu nepretržitého laserového žiarenia na objekty využívajú menej emitovanej energie, čo vyhovuje požiadavkám na ochranu očí a zároveň podporuje možnosť použitia väčšieho výkonu na rozšírenie v zornom poli. Princíp koherentnej detekcie je aj graficky znázornený na obrázku nižšie, kde sa vzdialenosť odhaduje pomocou medzifrekvencie (červená čiara) generovanej zmiešaním vysielaných a prijímaných svetelných vln. [6]



Obr. 4 Princíp koherentnej detekcie [6]

3.1.1.1.3 Fotodetektor

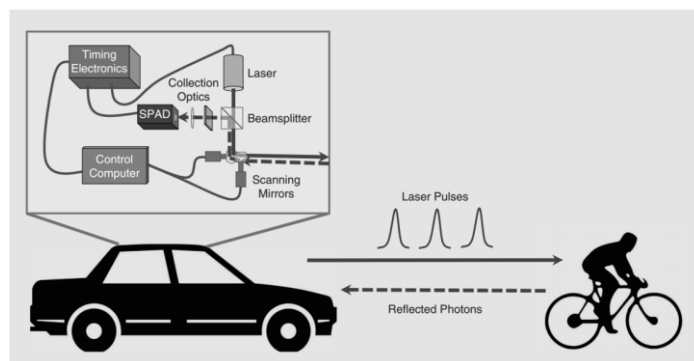
Tento detektor pomocou fotoelektrického javu prevádza optickú energiu na elektrickú. Fotocitlivosť, ktorá vyjadruje reakciu fotodetektora na príjem fotónov, je jedna z najdôležitejších vlastností týchto detektorov. Fotocitlivosť závisí na vlnovej dĺžke prijatého laseru, preto výber fotodetektora pre lidarový systém úzko súvisí s výberom vlnovej dĺžky lasera. Medzi najpopulárnejšie detektory môžeme zaradiť:

1. Detektory p-i-n fotodiódy:
 - jednotlivé diódy sú tvorené spojkou p-i-n, ktorá vytvára oblasť chudobnú na voľné nosiče náboja. Aplikáciou reverzného predpätia na fotodiódu sa vygeneruje tok prúdu vo fotodióde s reverzným predpätím.
2. Lavínové fotodiódy (APD – avalanche photodiodes):
 - APD je fotodióda, ktorá aplikuje reverzné napätie na znásobenie fotoprúdu lavínovým efektom. Taktiež znižuje účinok šumu a dosahuje vyšší vnútorný prúdový zisk, pomer signálu a šumu je rovnaký ako pri fotodiódach p-i-n. Výsledkom teda je, že APD sú v súčasných systémoch lidar bežné.
3. Jednofotónové lavínové diódy (SPAD – single-photon avalanche diodes):
 - tieto diódy sú veľmi podobné diódam APD, ktoré sú navrhnuté tak, aby pracovali s reverzným predpätím nad priradovacím napätím, čo umožňuje detekciu veľmi malého množstva fotónov vo veľmi krátkom čase. Umožňujú taktiež detekciu extrémne slabého svetla na veľkú

vzdialenosť. Technológia používaná pri výrobe týchto diód umožňuje integráciu poľa fotodiód na jednom čipe, čo prispieva k zvýšeniu rozlíšenia lidar, znižovaniu nákladov a spotreby energie.

4. Fotonásobiče Si (SiPM – Si photomultipliers):

- SiPM sú založené na princípe SPAD a umožňujú počítanie fotónov. Nevýhodou je, že SPAD nedokáže rozlíšiť veľkosť prijatého množstva fotónov. Na vyriešenie tejto nevýhody sa integrujú „mikrobunky“ pracujúce identicky a nezávisle. Výsledkom je kombinácia fotoprúdov získaných z každej mikrobunky. Prostredníctvom tohto prístupu je SiPM schopný poskytovať informácie o veľkosti okamžitého toku fotónov. [6] [7]

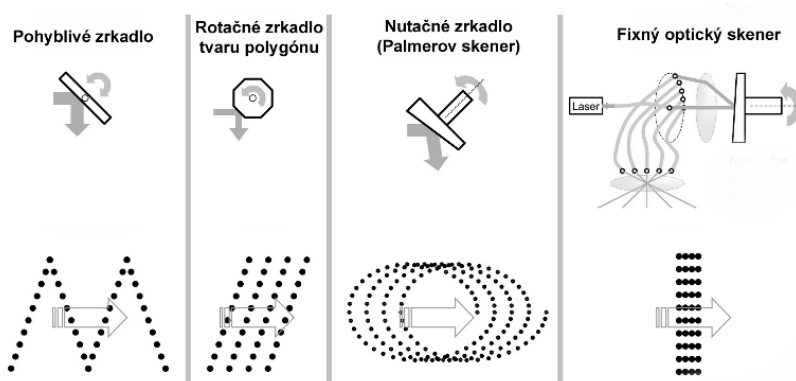


Obr. 5 Grafické zobrazenie princípu fungovania SPL systému [7]

3.1.1.2 Skenovací systém

Tento systém riadenia lúčov je navrhnutý tak, aby bolo umožnené rýchle preskúmanie veľkej oblasti. Existujúce metódy skenovania sa zvyčajne klasifikujú ako mechanicky otočné alebo pevné. Mechanické otočné skenovacie zariadenia obsahovali objemný rotačný zrkadlový systém, ktorý sa používal v raných fázach autonómneho riadenia. Pevné skenovacie systémy bez pohyblivých častí uprednostňuje automobilový priemysel.

Na nasledujúcom obrázku sú znázornené jednotlivé druhy najčastejšie používaných skenovacích systémov. [3][4]



Obr. 6 Druhy skenovacích systémov [8]

3.1.1.3 Lidar v autonómnych vozidlách

Základom autonómneho riadenia je fúzia viacerých snímačov a senzorov vozidla. Avšak jadrom väčšiny snímacích systémov automatizovaných cestných vozidiel je jednotka lidar. Podobne ako radar, ktorý deteguje ozveny vysokofrekvenčných elektromagnetických vĺn, lidar deteguje odrazy opticko-frekvenčného

laserového osvetlenia a generuje tak mračno bodov vo vysokom rozlíšení na veľké vzdialenosti. Optické vlnové dĺžky možno zamerať na úzke lúče, vďaka čomu dokáže lidar rozlíšiť oveľa menšie objekty ako radar. Tento fakt je rozhodujúci pre riadenie vozidla nielen mimo mesta, ale predovšetkým v mestách, kde je množstvo chodcov, cyklistov a ďalších potenciálnych rizík vzniku dopravnej nehody.

Snímacie systémy automatizovaných vozidiel sa hodnotia na základe niekoľkých kritérií, ktoré sa považujú za potrebné pre spoľahlivý výkon v reálnom čase. Sú to napríklad:

- maximálny prevádzkový rozsah,
- priečne a pozdĺžne rozlíšenie,
- zorné pole,
- obnovovacia frekvencia,
- výkon (bezpečnosť očí),
- odolnosť voči okolitému prostrediu (svetelné a poveternostné podmienky),
- požiadavky na spracovanie,
- náklady.

Mnohé z týchto faktorov sú čiastočne ovplyvnené hardvérovými a výrobnými obmedzeniami, ako napríklad kvalita laserov, detektorov a skenovacích zariadení. Vďaka neustálemu vývoju a technologickému pokroku sa neustále zvyšuje aj výkonnosť a zároveň sa znižujú náklady na výrobu.

3.1.1.3.1 Jednofotónový lidar

Bezpečnosť a efektívne riadenie automatizovaných cestných vozidiel závisí od ich schopnosti správne detegovať a reagovať na svoje okolie v reálnom čase. Jednou zo sľubných technológií v oblasti hĺbkového mapovania okolia vozidla je jednofotónový lidar (single-photon lidar – SPL), ktorý zaznamenáva čas letu jednotlivých fotónov. Vďaka vysokému dosahu (niekoľkých kilometrov), vynikajúcemu rozlíšeniu hĺbky (na úrovni centimetrov) a použitiu laserových zdrojov s nízkym výkonom (bezpečný pre oči) je táto modalita ideálnym a silným kandidátom na použitie v automatizovaných cestných vozidlách. Vzhľadom na efektivitu jednofotónového lidar vznikajú aj vysoké nároky na spracovanie signálu. Diskrétna povaha počítania fotónov a konštrukcia detekčných zariadení znamená, že získané signály nemožno považovať za signály vznikajúce v lineárnom systéme s aditívnym gaussovským šumom. Napriek veľkému objemu dát môže byť počet užitočných detekcií fotónov malý, s čím sa spája výkonné modelovanie a algoritmickej návrh na výkon v reálnom čase.

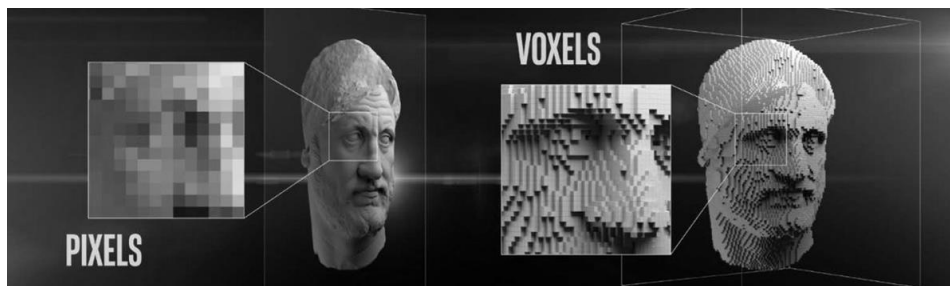
Jednofotónový lidar má potenciál prekonať problémy s dosahom. Namiesto pokusu o vzorkovanie prechodovej odozvy celej vlny z pulzného lidarového osvetlenia používa SPL detektory citlivé na jednotlivé fotóny, ktoré umožňujú snímanie objektov z extrémne slabých odrazov. Vďaka tejto vysokej citlivosti je možné používať lasery bezpečné pre oči a rýchle akvizície. Vykonané experimenty s SPL boli použité na vytvorenie mračna bodov zo vzdialenosti niekoľkých stoviek metrov až do vzdialenosti 45 km. [6] [9] [10]

3.1.1.4 IDAR (Intelligent Detection and Ranging)

IDAR predstavuje novú formu inteligentného zhromažďovania údajov, ktorá umožňuje rýchle a dynamické vnímanie a plánovanie trás vozidla. Tento systém kombinuje prvý agilný model MOEMS LIDAR na svete, predinštalovaný pomocou kamery a zabudovanej umelej inteligencie, vytvára softvérový a rozšíriteľný

hardvér, ktorý sa môže dynamicky prispôbiť požiadavkám v reálnom čase. IDAR poskytuje vyššiu presnosť, dlhší dosah a inteligentnejšie informácie na optimalizáciu softvéru na plánovanie trás, čím umožní vylepšiť autonómnú bezpečnosť vozidla.

IDAR je navrhnutý tak, aby inteligentne určoval priority a integroval spoločne umiestnené pixely (2D) a voxely (3D). Toto spojenie umožňuje systému cieľiť a identifikovať objekty v priestore 10- až 20-krát efektívnejšie ako produkty iba pre LIDAR. IDAR je zároveň schopný prekrývať 2D obrazy v 3D bodových oblakoch, aby sa vytvoril takzvaný LIDAR True Color. Jeho vstavané schopnosti umožňujú IDAR-u využívať tisíce existujúcich a vlastných algoritmov počítačového videnia, ktoré zvyšujú inteligenciu, ktorú môže využiť softvér na plánovanie ciest. ;



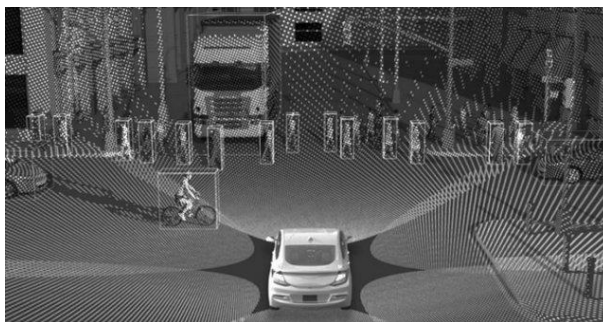
Obr. 7 Zobrazenie rozdielu medzi pixelom a voxelom [11]

Systém IDAR využíva proprietárne nízkorozpočtové polovodičové riadenie lúčov, počítačové videnie a zabudovanú umelú inteligenciu, ktorá umožňuje dynamické riadenie každého spoločne umiestneného pixelu a voxelu v každom rámci v rýchlo sa meniacom prostredí. To umožňuje softvéru zamerať sa na vybrané objekty alebo prekážky. Pridaním umelej inteligencie do senzornej vrstvy sa dajú záujmové objekty identifikovať a sledovať s minimálnou výpočtovou latenciou.

Medzi výhody IDAR-u patrí aj vysoká flexibilita pri mapovaní prostredia. Systém disponuje tisíckami algoritmov strojového učenia a jednotlivé automobilky môžu pri vývoji automatizovaných vozidiel samy regulovať tieto algoritmy a upraviť si tak rozlíšenie systému podľa vlastných požiadaviek. Ďalšími výhodami IDAR-u je možnosť rozpoznať blížiac sa vozidlo na vzdialenosť až 1 km a je energeticky úspornejší ako už zavedené systémy. Jeho cena by sa mala pohybovať pod hranicou 3000 dolárov. [11] [12]

Nedostatkom tradičného lidarů je, že väčšina systémů preberá menej podstatné údaje, ako sú napríklad obloha, stromy a podobne, alebo nepreberajú kritické informácie, ako napríklad rýchlo sa približujúce vozidlo. Následkom toho systém stráca značnú výpočtovú silu a čas získavaním údajov o kritických objektoch, ako sú chodci, cyklisti, autá a zvieratá. Technológia IDAR spoločnosti AEye napodobňuje, ako funguje ľudské vizuálne vnímanie, zameriava sa na potenciálne jazdné riziká a vyhodnocuje ich.

Ďalším obmedzením tradičného lidarů je, že neposkytuje dostatočne podrobné informácie o farbe alebo textúre, takže nedokáže dešifrovať farebné nuansy v prúdoch ciest, obrubníkov, značení a v semaforoch. IDAR okamžite prekrýva 2D farbu v reálnom svete na 3D dáta, čím zvyšuje inteligenciu počítačového videnia do oblakov 3D bodov. Jedinečná fúzia True Color LIDAR umožňuje absolútnu segmentáciu farieb a vzdialeností, čo má vplyv na zjednodušenie výpočtových procedúr. To takisto vplyva aj na väčšiu presnosť a rýchlosť pri interpretácii značenia, núdzových výstražných svetiel, brzdenia a ďalších scenárov, ktoré boli historicky zložité pre navigáciu starších systémů založených na systéme LIDAR.



Obr. 8 Grafické zobrazenie fungovania IDAR-u (bodový cloud) [11]

3.1.2 Radar

Vzhľadom na súčasný trend v automobilovom priemysle a zavádzanie rôznych úrovni automatizácie do komerčne dostupných vozidiel je nevyhnutné vyvíjať technológie, ktoré dokážu v čo najväčšej miere nahradiť vnímanie človeka. Dôležitou úlohou snímacej jednotky v automatizovaných vozidlách je poskytnutie veľkého množstva spoľahlivých informácií o okolí vozidla. Ide hlavne o jazdné plochy, objekty nad úrovňou cesty ako prekážky, ktorým sa treba vyhnúť, a ďalšie. Senzory teda musia detegovať, lokalizovať a klasifikovať rôzne objekty, ako sú iné vozidlá, chodci, dopravné značenia, zábradlia, lampy verejného osvetlenia a podobne. Hlavnou výzvou snímacej jednotky je vyhodnotiť všetky možné prekážky (prevažne v mestskom prostredí) v čo najkratšom čase a následne tak prispieť k správne mu vyhodnoteniu dopravnej situácie.

Najčastejším prvkom, ktorý dopomáha pri zaznamenávaní a vyhodnocovaní okolia vozidla, je kamera. Slabinou bežnej kamery zabudovanej vo vozidle je, že so zhoršujúcim sa počasím a tmou sa znižuje výkon správneho vyhodnotenia štatútu objektu. Počasie však nemá žiadny majoritný vplyv na funkciu radaru. Radar (z angl. radio detection and ranging) alebo rádiolokátor je zariadenie, ktoré vysiela elektromagnetické vlny a následne sníma ich odraz od objektu schopného tieto vlny odrážať. Radarový systém sa skladá z vysielača produkujúceho elektromagnetické vlny v rádiovnej alebo mikrovlnnej oblasti, vysielačnej antény, prijímacej antény (na vysielanie a prijímanie sa často používa rovnaká anténa), prijímača a procesora na určovanie vlastností predmetov. Rádiové vlny (impulzné alebo spojité) vyslané z vysielača sa odrážajú od objektu a vracajú sa do prijímača, kde poskytujú informácie o polohe a rýchlosti objektu. V súčasnosti radary využívajú elektromagnetické žiarenie najmä z mikrovlnnej oblasti. Prioritnou stránkou radaru je rozpoznávať vzdialenosť objektu od vozidla. Rozpoznávať objekt tvarovo a veľkostne pomocou radaru je možné len na veľmi malú vzdialenosť a priamo pred vozidlom.



- Obr. 9 Orientačné umiestnenie radarov na Audi A6 2020 (vľavo). Náhľad na Long range radar od firmy Continental (v strede). Short range radar pod odkrytovaní nárazníka (vpravo) [5] [13]

Presné a komplexné informácie o okolí vozidla zatiaľ nedokáže dosiahnuť prakticky žiaden snímač. Z toho dôvodu sa využíva kombinácia viacerých senzorov a snímačov, ktoré fungujú na rozličných princípoch. Medzi tieto snímače môžeme zaradiť radary, lidary a kamery. Radary sú – vzhľadom na spôsob snímania okolia – odolné voči nepriaznivým poveternostným podmienkam a imúnne na variácie osvetlenia.

Automobilový radar patrí medzi najrýchlejšie rastúcu technológiu v oblasti civilného použitia. Radary poskytujú vozidlám kľúčovú podporu pri zavedení plnej automatizácie. K významnému pokroku v oblasti rádiovýfrekvenčnej (RF) technológie CMOS prispeli aj nároky na automatizované vozidlá. A to pomocou technológie CMOS, ktorá umožňuje integráciu vysokoúrovňového radaru na čip, a tým následne znižuje náklady na radar pri masovej výrobe. To všetko by však nebolo možné bez dostatočne vysokého priestorového rozlíšenia, ktoré je možné získať pomocou viacnásobného vstupu, viacnásobného výstupu a kognitívneho prístupu pri nižších nákladoch.

Jednotlivé scenáre automobilových radarov vyžadujú formulovanie a odvodzovanie nových prístupov k spracovaniu signálu, ktoré presahujú koncepty klasických vojenských radarov. Preformulovanie jednotlivých úloh radarového vybavenia vozidla spolu s novými požiadavkami na výkon poskytuje príležitosť na vývoj metód inovatívneho spracovania signálu.

Historicky boli automobilové radary klasifikované ako radary s dlhým dosahom (LRR), radary s krátkym dosahom (SRR) a radary bočných slepých zón (SBZA). Vývoj a požiadavky na radary boli najmä výkonové, napríklad prevádzkový rozsah, zorné pole (FOV) a objekt záujmu.

- Radar typu LRR, čiže radar s dlhým dosahom, sa využíva hlavne pre adaptívne tempomaty, preto sa vyžaduje, aby detegoval, lokalizoval, sledoval a klasifikoval vozidlá na dlhšie vzdialenosti s úzkym zorným poľom.
- Radar typu SRR, čiže radar s krátkym dosahom, musí poskytovať informácie o okolí vozidla do vzdialenosti 100 metrov a so zorným poľom viac ako 120°, pričom referenčným bodom môže byť akýkoľvek objekt nad úrovňou vozovky.
- Radar typu SBZA sa využíva na detekciu objektov v jazdných pruhoch susediacich s vozidlom.

Neustály vývoj a inovácie v oblasti radarovej technológie pomáhajú pri zavedení radarov, ako je napríklad radar s ultrakrátkym dosahom (USRR). Aplikácia radaru USRR bola použitá v oblasti automatizovaných vozidiel na parkovanie a bočné pohľady v zornom poli 120° s dosahom 30 metrov.

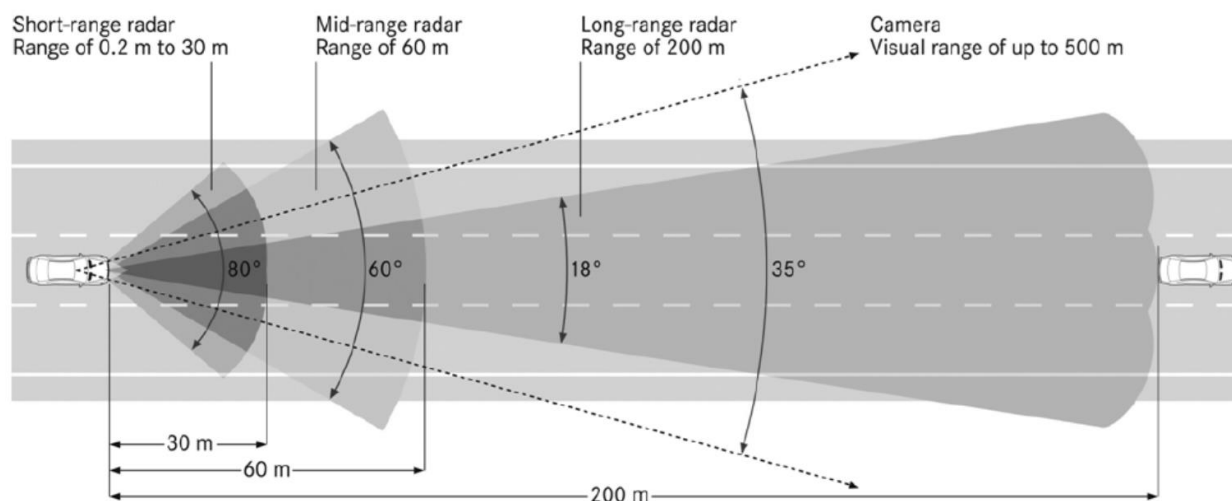
Hlavnou úlohou snímacej jednotky v automatizovaných vozidlách je nahrádzať videnie ľudského oka a poskytovať spoľahlivé informácie o okolí vozidla. Schopnosti automatizovaného snímania sú oveľa väčšie ako schopnosti snímania ľudských očí, čím kompenzujú obmedzenia umelej inteligencie v porovnaní s ľudským poznaním. Radary majú v porovnaní s kamerami alebo lidarom viacero výhod, napríklad:

- dlhý dosah,
- odolnosť voči svetlu a poveternostným vplyvom,
- schopnosť pracovať za opticky netransparentnou plochou,
- priame meranie radiálnej rýchlosti cieľov.

Štruktúra radaru

- Vysielač – emituje krátke vysokovýkonné pulzy.
- Prepínač – zabezpečuje prepínanie medzi vysielačom a prijímačom, s využívaním jednej antény.
- Prijímač – zosilňuje odrazený signál, ktorý nedosahuje dostatočný výkon pre ďalšie spracovanie.
- Anténa – vysiela energiu z vysielača do priestoru a zachytáva tú odrazenú späť od objektu.
- Indikátor – zobrazuje zrozumiteľný grafický obraz relatívnej polohy objektu.

Na Obr. 10 je možné vidieť snímací záber 77 GHz radaru (30 m) a 24 GHz radaru (až 200 m). Obrázok je ilustratívny a jednotlivé produkty rôznych výrobcov majú rozdielny snímací kužeľ radaru a jeho dosah.



Obr. 10 Ilustračný obrázok záberu a dosahu radarov a kamery vo vozidle [14]

3.1.2.1 Dopplerov radar

Tento radar patrí medzi špecializované radary, ktoré využívajú tzv. Dopplerov jav na získanie dát o rýchlosti objektov na diaľku. Na získanie týchto dát využívajú odrazené mikrovlnné lúče signálu, ktoré sa následne odrážajú od prekážky (cieľa) a analýzou týchto dát dokážu určiť rýchlosť objektu pomocou zmenenej frekvencie tohto odrazeného signálu.

3.1.2.1.1 Dopplerov jav

Radary vysielaajú elektromagnetické vlny s určitou frekvenciou. Statické objekty, do ktorých narazia elektromagnetické vlny s určitou frekvenciou, odrazia tieto vlny v rovnakej frekvencii späť. Ak sa objekty pohybujú, frekvencia spätných vln sa mení v závislosti od toho, či sa objekt vzdaluje alebo približuje a akou rýchlosťou. Vzťah medzi vysiellanou frekvenciou a prijímanou frekvenciou je definovaný nasledujúcim vzorcom:

$$f = \left(\frac{c+v_r}{c+v_s} \right) f_0 \quad (2)$$

kde:

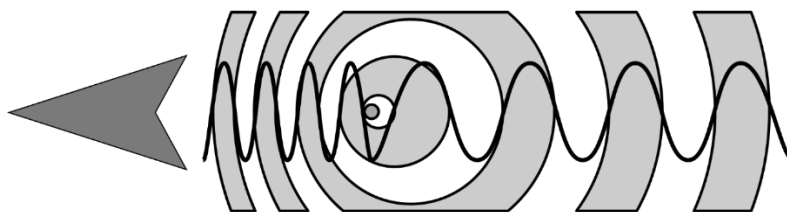
f – pozorovaná frekvencia

f_0 – vysiellaná frekvencia

c – rýchlosť šírenia elektromagnetickej vlny v prostredí

v_r – rýchlosť pozorovateľa

v_s – rýchlosť zdroja vln [15]



Obr. 11 Grafické znázornenie Dopplerovho javu [15]

3.1.2.2 Definovanie radarov podľa typu

Radary môžeme deliť na niekoľko typov v závislosti od informácií, ktoré potrebujeme získať o objekte, ako napríklad rýchlosť, vzdialenosť... Podľa toho, či radar poskytuje alebo neposkytuje obrazový výstup, ich môžeme deliť na:

- zobrazovacie – dokážu vykresliť pozorovaný objekt (územie),
- nezobrazovacie – merajú iba jednu veličinu, napríklad rýchlosť, vzdialenosť...

Ak radary kooperujú s ďalšími zariadeniami, tak ich môžeme deliť na:

- primárne – radar elektromagnetické vlny vysiela aj prijíma a následne ich spracováva;
- sekundárne – je nutná spolupráca s ďalším zariadením. Taktiež je nevyhnutné, aby cieľ disponoval transpondérom (odpovedačom), ktorý prijíma signál a následne odosiela odpoveď. Výhodou je podrobnejší súbor údajov ako pri primárnom radare. Využitie majú napr. v riadení leteckej prevádzky.

Ďalej môžeme radary deliť na základe vysiellaného signálu na:

- pulzné – princípom fungovania je vysielať pulzy, resp. krátkych elektromagnetických signálov. Pri vysiadaní pulzu sa následne radar prepne do režimu, keď odrazené pulzy prijíma a následne vyhodnocuje vzdialenosť objektu, prípadne jeho rýchlosť pomocou Dopplerovho javu;
- s kontinuálnou vlnou – prijímanie a vysielať elektromagnetického signálu je nepretržité. Z toho dôvodu je potrebné použitie dvoch antén, aby bolo spracovanie signálu možné. Tieto druhy radarov sa využívajú na kratšie vzdialenosti, kde je nutné neustále meranie vzdialenosti alebo rýchlosti. Vzhľadom na spôsob vysiadaní a prijímania signálu nie je možné merať vzdialenosť objektu pomocou omeškania signálu, preto sa využíva technika frekvenčnej modulácie, prípadne fázového posunu.

3.1.2.2.1 Radar s nepretržitou vlnou

Tento druh radaru je možné použiť iba na meranie rýchlosti. Na výstupe radaru je periodický signál, ktorý vznikne rozdielom prijatej a odoslanej frekvencie. V prípade, ak ide o statický objekt, rozdiel medzi prijatou a odoslanou frekvenciou je nulový. Ak chceme použiť radar na meranie vzdialenosti, musíme použiť niektorú z techník frekvenčnej modulácie.

3.1.2.2.2 Radar FMCW (frekvenčne modulovaný radar s nepretržitou vlnou)

FMCW radar (Frequency-Modulated Continuous Wave radar) je špeciálny typ radarového snímača, ktorý emituje nepretržitý elektromagnetický signál, podobne ako jednoduchý radar s nepretržitou vlnou (CW).

Na rozdiel od radaru typu CW môže radar typu FMCW meniť svoju prevádzkovú frekvenciu počas merania. Z toho vyplýva, že prenosový signál strieda frekvenciu, prípadne fázu. Pri tejto metóde sa prenáša signál, ktorý pravidelne zvyšuje, prípadne znižuje frekvenciu. Keď sa prijíma echo signál, táto zmena frekvencie je zaznamenaná s oneskorením Δt .

Medzi hlavné vlastnosti radaru typu FMCW patrí:

- schopnosť merať veľmi malé rozsahy,
- schopnosť merať súčasne cieľový rozsah a jeho relatívnu rýchlosť,
- vysoká presnosť merania rozsahu,
- pracuje v nízkofrekvenčnom rozsahu, čo prispieva k zjednodušeniu spracovateľských obvodov pri spracovaní signálu.

Vzdialenosť od odrazového objektu môžeme definovať vzťahom:

$$R = \frac{c_0 |\Delta t|}{2} = \frac{c_0 |\Delta f|}{2 \left(\frac{df}{dt} \right)} \quad (3)$$

kde:

c_0 – rýchlosť svetla

Δt – čas oneskorenia [s]

Δf – nameraný frekvenčný rozdiel [Hz]

R – vzdialenosť medzi anténou a odrazovým objektom [m]

df/dt – frekvenčný posun na jednotku času

3.1.2.2.3 Modulačný vzor

Pílová modulácia – frekvencia signálu sa lineárne mení. V prvom rade sa vysielaný signál lineárne zvyšuje a následne skokovo zníži. Na výstupe radaru je následne periodický signál (Beat Frequency), ktorý tvorí rozdiel prijímanej a vysielanej frekvencie v čase t . Tento rozdiel je konštantný a vzdialenosť môžeme vypočítať pomocou vzorca:

$$R = \frac{c_0}{2} \frac{f_b}{f_M} T_M \quad (4)$$

kde:

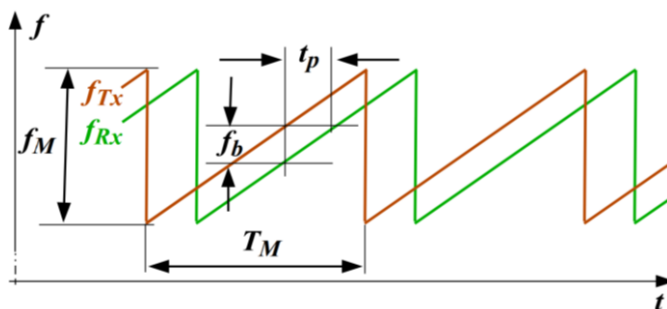
R – vzdialenosť objektu

c_0 – rýchlosť svetla

f_b – beat frekvencia

f_M – hĺbka modulácie

T_M – perióda modulácie [15]



Obr. 12 Pílová modulácia [16]

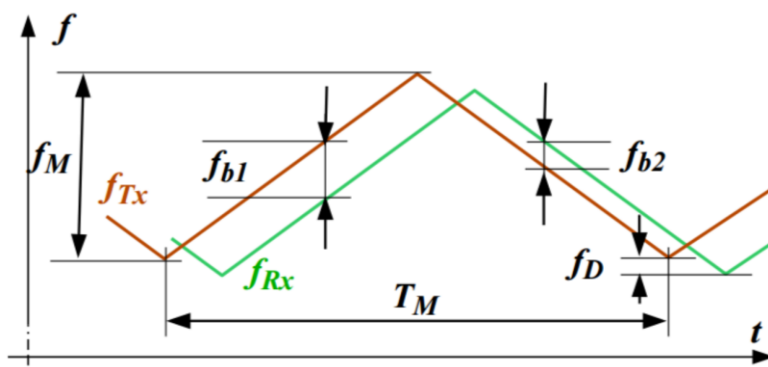
Trojuholníková modulácia – vysielaný signál sa rovnako ako pri pílovej modulácii mení lineárne. Rozdiel je, že nenastáva skokový rozdiel. Vzostupná hrana rastie lineárne a rovnako tak zostupná hrana klesá lineárne.

Pri tejto modulácii je možné merať vzdialenosť aj rýchlosť pomocou Dopplerovej frekvencie. Ak sa teleso pohybuje určitým smerom, tak rozlišujeme beat frekvenciu na vzostupnej a zostupnej hrane. Pri nehybnom objekte je táto beat frekvencia stála. Výpočet Dopplerovej frekvencie f_D je definovaný vzorcom (XY), kde f_D je Dopplerova frekvencia a f_{b1} , f_{b2} sú beat frekvencie na vzostupnej a zostupnej hrane.

$$f_D = f_{b1} - f_{b2} \quad (5)$$

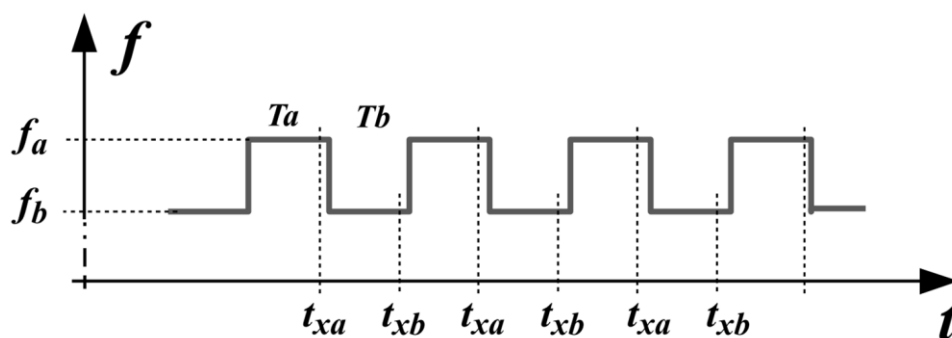
Výpočet vzdialenosti sa v tejto modulácii vypočíta obdobným spôsobom ako pri pílovej modulácii, iba s jednou zmenou:

$$R = \frac{c_0}{2} \frac{f_b}{f_M} \frac{T_M}{2} \quad (6)$$



Obr. 13 Trojuholníková modulácia [16]

Štvorcová modulácia/jednoduché frekvenčné radenie – označuje sa FSK (Frequency shift keying) a používa sa na veľmi presné meranie vzdialenosti v tesnom dosahu fázového porovnania dvoch frekvencií echo signálu. Jej nevýhodou je, že signály ozveny z viacerých objektov nie je možné odseparovať, preto je túto moduláciu možné použiť len na pohybujúce sa objekty. Výhodou je detekcia viacerých objektov s rôznymi rýchlosťami.



Obr. 14 Modulačné schéma štvorcovej modulácie [16]

Princíp fungovania je na báze zmeny ovládacieho napätia medzi dvoma prenosovými frekvenciami. Kvôli malej zmene frekvencií $f_a - f_b$ bude Dopplerova frekvencia takmer totožná, len bude mať rozdielnú fázu pre obidve vysielané frekvencie. Na výpočet vzdialenosti sa používa fázový rozdiel medzi týmito frekvenciami pomocou vzorca:

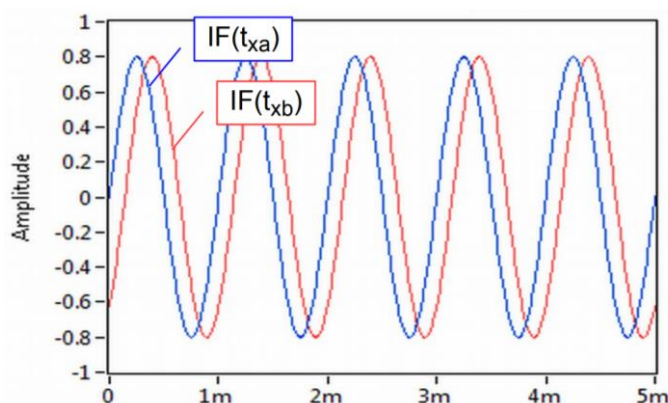
$$R = \frac{c \Delta \phi}{4\pi(f_a - f_b)} \quad (7)$$

kde:

R – vzdialenosť

$\Delta \phi$ – fázový posun ($\phi - 0^\circ - 180^\circ$)

f_a, f_b – prenosové frekvencie [8][9][10][15][16]



Obr. 15 Výsledná Dopplerova frekvencia, kde $IF(t_{xa})$ a $IF(t_{xb})$ sú výstupy frekvencie f_a a f_b [16]

3.1.2.2.4 Radarové systémy MIMO

Tento systém patrí medzi novšie radarové systémy. Skratka MIMO (Multiple Input Multiple Output) znamená viacnásobný vstup a viacnásobný výstup. Systém pracuje na základe viacerých antén, kde každá vysielacia anténa vyžaruje ľubovoľnú vlnu nezávisle od ostatných vysielacích antén. Každá z prijímacích antén môže prijímať tieto vysielané signály. Vzhľadom na rôzne tvary vln môžu byť echo signály opätovne priradené k jedinému vysielateľu.

Radarové systémy MIMO sa používajú na zlepšenie priestorového rozlíšenia a poskytujú podstatne vyššiu odolnosť voči rušeniu. Zlepšením pomeru signálu k šumu sa zvyšuje aj pravdepodobnosť detekcie objektov. Systémy MIMO sa delia do dvoch kategórií podľa toho, či pracujú so zoradenými anténami alebo so široko oddelenými anténami, kde je cieľ snímaný každou anténou z iného uhla pohľadu.

Systém MIMO so zoradenými anténami – v tomto prípade sú vysielacie antény dostatočne blízko, aby prierezy cieľového radaru, pozorovaného vysielajúcimi anténovými prvkami, boli identické.

Systém MIMO so široko oddelenými anténami – v takomto usporiadaní je spracovanie radarových údajov oveľa zložitejšie. V porovnaní so systémom MIMO so zoradenými anténami sa každá radarová anténa pozerá na cieľ z iného uhla pohľadu. To si vyžaduje oveľa komplexnejšie cieľové modely na spracovanie radarových údajov.

3.1.3 Porovnanie radaru a lidar

LIDAR je geodetická technológia pomocou laserových svetelných impulzov, na rozdiel od rádiových vln, ktoré používa radar. Presnosť, ktorú poskytujú snímače LIDAR, je ťažké prekonať, vďaka veľkému množstvu laserových impulzov tvoriacich takzvané mračná bodov. Mračno bodov sa dá potom použiť na rôzne algoritmy, AI, strojové učenie alebo na iný analytický softvér. To je nespochybniteľnou výhodou lidar v porovnaní s radarom. Veľké vozidlá obrábajúce pole alebo s pohybom na obmedzenom stavenisku sa nebudú musieť obávať chodcov, motocyklov alebo semaforov.

Prednosti a nedostatky lidar

- + Dobrý pri detekcii malých objektov vďaka krátkej vlnovej dĺžke.
- + Veľká presnosť, dokáže vytvoriť presný 3D monochromatický obraz súboru objektov.
- Obmedzené použitie v tme alebo za nepriaznivého počasia.
- Dost' drahá technológia.

Prednosti a nedostatky radaru

- + Veľká prevádzková vzdialenosť, až do 300 m.
- + Môže pracovať v najrôznejších podmienkach a prostrediach.
- + Nie je taký citlivý na nečistoty a nemá mechanické pohyblivé časti.
- Môže niekedy detegovať objekty v situáciách, keď odraz dáva objektu falošnú veľkosť (napríklad plechovka sódy na ceste môže byť identifikovaná ako budova).
- Nemá rovnakú vernosť ako niektoré iné snímače.

3.1.4 Kamera

Kamery, keďže spracúvajú obraz podobným spôsobom ako ľudské oko, môžu byť najprirodzenejším snímačom sledovania okolia. Automatizované vozidlá sú na každej strane vozidla vybavené kamerami, ktoré dopĺňajú informácie o bezprostrednom okolí autonómneho vozidla. Vďaka množstvu kamier a ich rozmiestneniu dokážu poskytovať systému lepšie informácie o aktuálnom stave v okolí vozidla. Kamerám sa v automatizovanom priemysle zameranom na vozidlá venuje značné úsilie a zameriava sa na pokročilé asistenčné systémy (ADAS – advanced driver assistance systems). Nosným prvkom všetkých asistenčných systémov aplikácií ADAS sú kamery, zvyčajne monokulárne alebo stereofónne systémy videnia. Pomocou fúzií viacerých senzorov s fotoaparátmi s rôznymi ohniskovými vzdialenosťami a zornými poľami je možné detegovať vzdialené aj blízke objekty bez potreby mechanického pohybu na dosiahnutie zaostrenia alebo priblíženia. Na získanie obrazu v rozsahu 360° v okolí vozidla sa využívajú kamery typu rybie oko, ktoré využívajú širokohlé objektívy.

Kamery snímajúce obrazy pred vozidlom poskytujú informácie stredného a veľkého dosahu, napríklad o chodcoch, podmienkach na ceste, dopravných značkách a podobne. Hoci na snímame v dlhom dosahu sa za hlavný snímač považuje LIDAR, vzhľadom na nízke náklady a potenciál na implementáciu bez akýchkoľvek pohyblivých častí môžu byť kamery spoľahlivou alternatívou. Na odhad hĺbky obrazu (stereofónne porovnanie) je možné použiť dve, prípadne viac kamier smerujúcich rovnakým smerom. Hĺbka obrazu sa určí rozdielom snímok z týchto kamier. Taktiež je možné vytvoriť 3D mapu trasy pred vozidlom.

Bežné umiestnenie kamier snímajúcich priestor pred vozidlom je vo vnútri vozidla, medzi čelným sklom a spätným zrkadlom. V tomto mieste sa nachádza aj dažďový senzor. Medzi hlavné žiaduce vlastnosti automobilových kamier patrí citlivosť na slabé svetlo, prevádzka s vysokým dynamickým rozsahom (high dynamic range – HDR), presná reprodukcia farieb, vysoká snímková frekvencia a funkčnosť v širokom rozmedzí teplôt s minimálnym poklesom výkonu. Všetky tieto vlastnosti je možné dosiahnuť správnou architektúrou fotoaparátu vrátane objektívu, obrazového snímača a jeho poľa, procesora obrazového signálu a elektroniky rozhrania.

Vysoký dynamický rozsah (HDR) je kľúčový počas podmienok ako je jazda za slnečného dňa, jazda v tuneloch a podobné náročné svetelné podmienky. Šošovky objektívu, optické povrchové povlaky a samotný objektív je nutné navrhnuť tak, aby sa minimalizovalo rozptýlené svetlo, ktoré by mohlo degradovať výsledný dynamický rozsah obrazu.

Ďalšou dôležitou zložkou kamier je reprodukcia farieb, ktorá je rozhodujúca pri detekcii a rozpoznávaní objektov pomocou farebných informácií, ako sú napríklad dopravné značky.

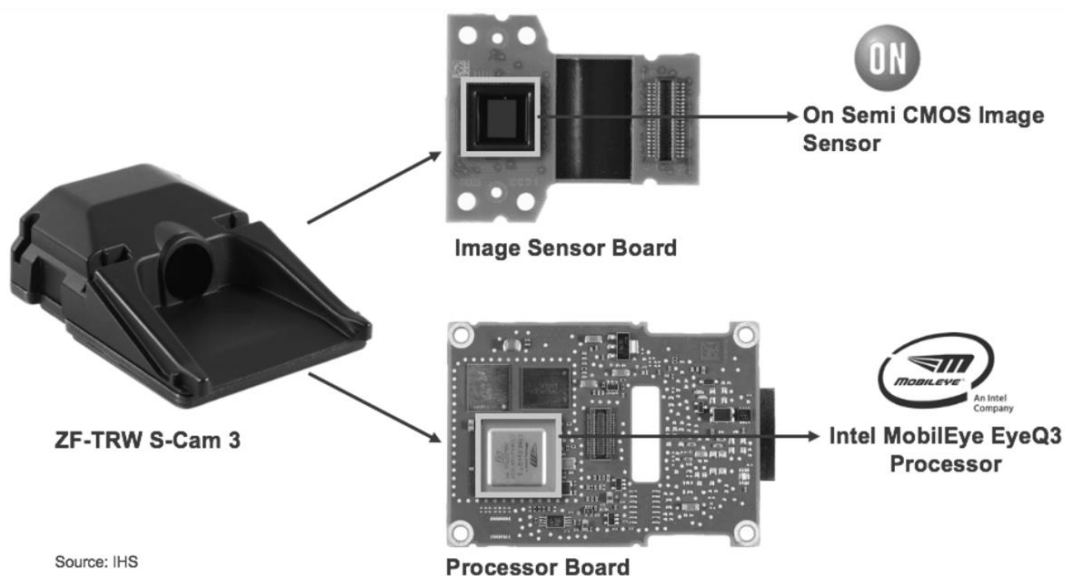
3.1.4.1 Monokulárne systémy

Monokamery sa používajú prevažne v aktívnych asistenčných systémoch, ako je udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu, aktívny tempomat, rozpoznávanie značiek a núdzové brzdenie. Kamera sa najčastejšie používa v kombinácii s radarom alebo lidarom. Po rozpoznaní objektu a jeho vzdialenosti radarom sa pomocou kamery algoritmicke vyhodnotí, o aký objekt ide. Vyhodnotená priestorová situácia je zobrazená na Obr. 16, kde je zrejмый rozdiel medzi chodcom a vozidlom.



Obr. 16 Príklad rozpoznávania objektov z monokamery Volvo (vľavo), Tesla (vpravo) [17] [18]

Systém obsahujúci kombináciu radaru a kamery môže následne autonómne vyhodnocovať cestnú premávku a v prípade potreby brzdiť bez zásahu vodiča. Algoritmus výpočtu zahŕňa preddefinovaný postoj kráčajúcej osoby, ktorý je porovnávaný s objektom zaznamenaným z kamery. Monokamera však nedokáže objekt trakovať, t. j. predvídať smer a rýchlosť pohybu objektu, ako stereokamera. Na Obr. 17 je vyobrazená monofokálna kamera ZF S-Cam 3. Jej dve hlavné súčasti sú procesorová doska s procesorom MobilEye EyeQ3 a doska obrazového snímača s obrazovým snímačom CMOS od spoločnosti ON Semiconductor.



Source: IHS

Obr. 17 Pohľad na monofokálnu kameru ZF. [19]

3.1.4.2 Stereofónne systémy

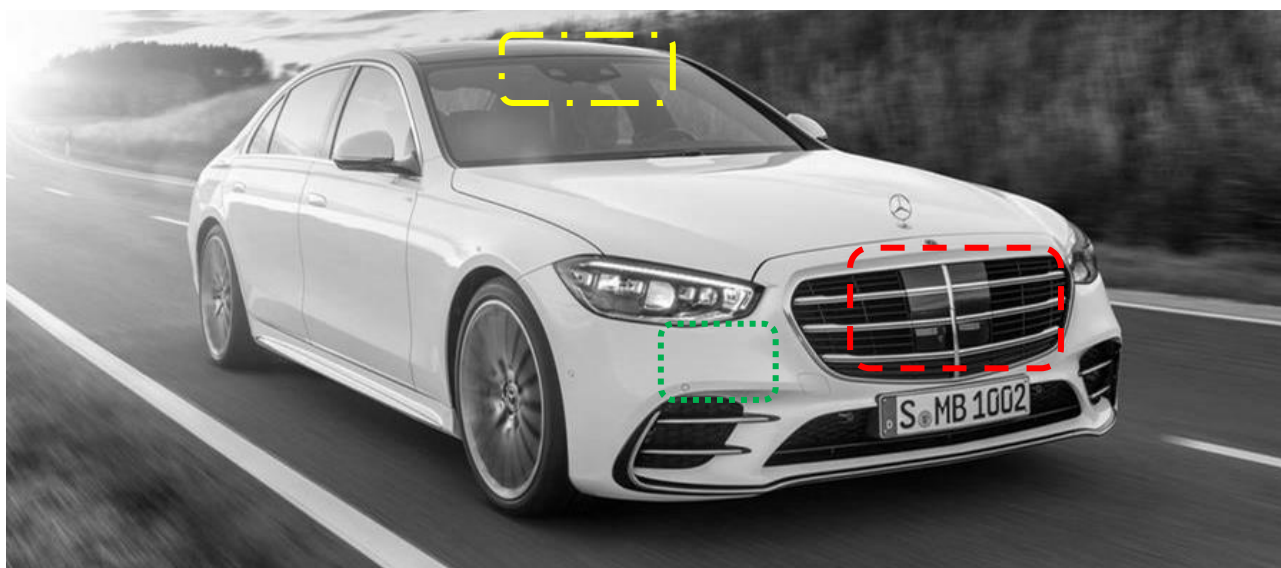
Tieto systémy pracujú s dvoma malými kamerovými zostavami, ktoré sú od seba navzájom oddelené. Vzdialenosť medzi týmito kamerami môže byť v rozmedzí od niekoľkých centimetrov do niekoľkých metrov v závislosti od požiadaviek. [12]

Tabuľka 1

Porovnanie základných parametrov monokulárneho a stereofónneho systému [12]

Porovnávajúci parameter	Monokulárny systém	Stereofónny systém
Počet obrazových snímačov, šošoviek a zostáv	1	2
Fyzická veľkosť systému	Malá (6" x 4" x 1")	Dve malé zostavy oddelené od seba 25 – 30 cm
Počet snímkov za sekundu	30 – 60	30
Požiadavky na spracovanie obrazu	Stredné	Vysoké
Spoľahlivosť detekcie prekážok a rozhodnutia o núdzovom brzdení	Stredné	Vysoké
Spoľahlivosť systému na	Detekciu objektov (jazdné pruhy, chodci, dopravné značky)	Detekciu objektu a výpočet vzdialenosti od objektu
Náklady na systém	1 x	1,5 x
Zložitosť softvéru a algoritmov	Vysoká	Stredná

Stereokamera spoločne s radarom boli vyvinuté na zvýšenie bezpečnosti a zníženie rizík spojených s cestnou premávkou. Už v roku 2003 predstavila spoločnosť Subaru prvý komerčný systém stereokamery s radarom na udržiavanie bezpečného odstupu vozidla pri použití ACC (Adaptive Control Cruiser). [29] Silnou stránkou novodobých systémov zahrňujúcich stereokamery je, že riadiaca jednotka dokáže zo zaznamenaného obrazu detegovať trojdimenzionálnu štruktúru okolitej scény, tvar, veľkosť, rýchlosť a smer pohybu objektu s veľkou presnosťou. Na Obr. 18 je zvýraznená stereokamera Mercedesu Benz S, r. v. 2021, ktorá je v kombinácii s radarom. Subaru vo svojich modeloch preferuje kvôli cene len stereokameru.



Obr. 18 Pohľad na prednú časť vozidla s viditeľným long range radarom (čiarkovaná oblasť), za nárazníkom sú schované short range radar (bodkovaná oblasť) a stereokamera (bodkočiarkovaná oblasť) [20]

Základným princípom stereofónnej zhody je triangulácia. Keď je v rovnakom čase objekt snímaný dvoma kamerami z rozdielnej pozície, objekt sa na snímkach objaví na rozdielnych miestach. To znamená,

že čím väčší je rozdiel na snímkach, tým menšia je vzdialenosť objektu od kamery. Takto sa vzdialenosť získava porovnávacou metódou. Pri radare sa vzdialenosť presne meria na základe odrazu mikrovlnných vĺn. Obr. 19 znázorňuje vyhodnotenú situáciu v bežnej mestskej premávke. Červená farba popredia obrázka znamená, že objekt je blízko. Prechod až do zelenej zobrazuje najvzdialenejšie objekty.



Obr. 19 Oblasť záberu kamery (vľavo). Farebné spektrum vzdialenosti objektov pred vozidlom (vpravo) [21]

Následným spracovaním obrazu je možné previesť 3D podobu obrazu do 2D karteziánskej sústavy. Z obrázka je zrejmé, že v koridore vozidla sa nachádza objekt – cyklista a na jeho ľavej strane osoba stojaca pri vozidle. Počiatok súradnicových sústav je v tomto prípade centrovaný na vozidlo. Je zrejmé, že neistota stereofónneho merania hĺbky obrazu rastie kvadraticky a z tohto dôvodu je cyklista v súradnicovom systéme značne rozmazaný.

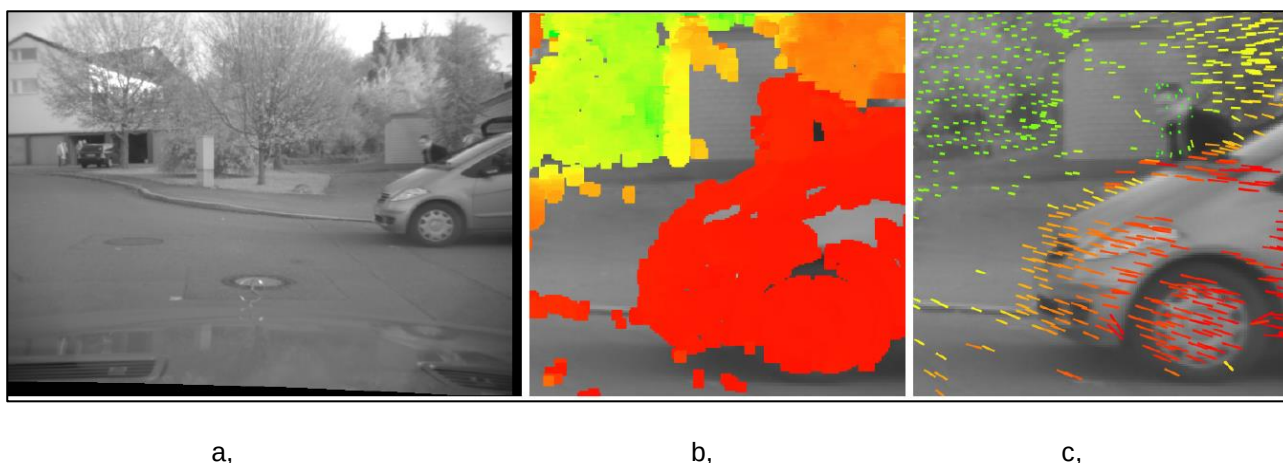


Obr. 20 Prevod obrazu do karteziánskeho súradnicového systému [21]

Mriežka zobrazujúca objekty v jazdnom smere a koridore vozidla je v karteziánskom súradnicovom systéme. Toto zobrazenie bolo prepočítané pre názornosť situácie. Karteziánsky systém však nie je vhodný na výpočet voľného priestoru pred vozidlom. Riadiaca jednotka pri vyhodnocovaní okolia pracuje v smere dopadu svetelných lúčov odrazených od objektov na snímací čip kamery. Z tohto dôvodu sa pri vyhodnocovaní prekážky využíva polárny súradnicový systém, v ktorom je vyhodnocovanie možného objektu jednoduchšie.

V zobrazenom príklade na Obr. 20 ide o objekt (človeka), ktorý je statický, jednoznačne viditeľný a jednoduchý na vyhodnotenie. Keďže mestská premávka predstavuje ďaleko väčšie riziká a objekty nie sú

statické, musí sa systém na detekciu prekážok vyrovnáť aj s pohybom objektov. Systém musí presne odhadnúť pohyb objektu a predvídať potenciálnu zrážku. Tento problém je znázornený na Obr. 21a. Bežiaci chodec sa objaví za vozidlom, ktoré je v pohybe. Chodec sa snaží prebehnúť cez cestu. Obrázok 21b zobrazuje grafickú mapu vzdialenosti objektov od vozidla. Farebná škála je definovaná od červenej (najbližší objekt) po zelenú (najvzdialenejší objekt). Rozpoznanie chodca nie je jednoznačné a v druhom stupni vyhodnocovania splýva chodec s vozidlom. Na Obr. 21c je vidieť následný výstup algoritmu, kde je k jednotlivým priestorovým bodom zobrazený jednoduchý vektor. Z obrázka je už viac možné rozpoznať chodca, ale stále to nie je dostatočné.



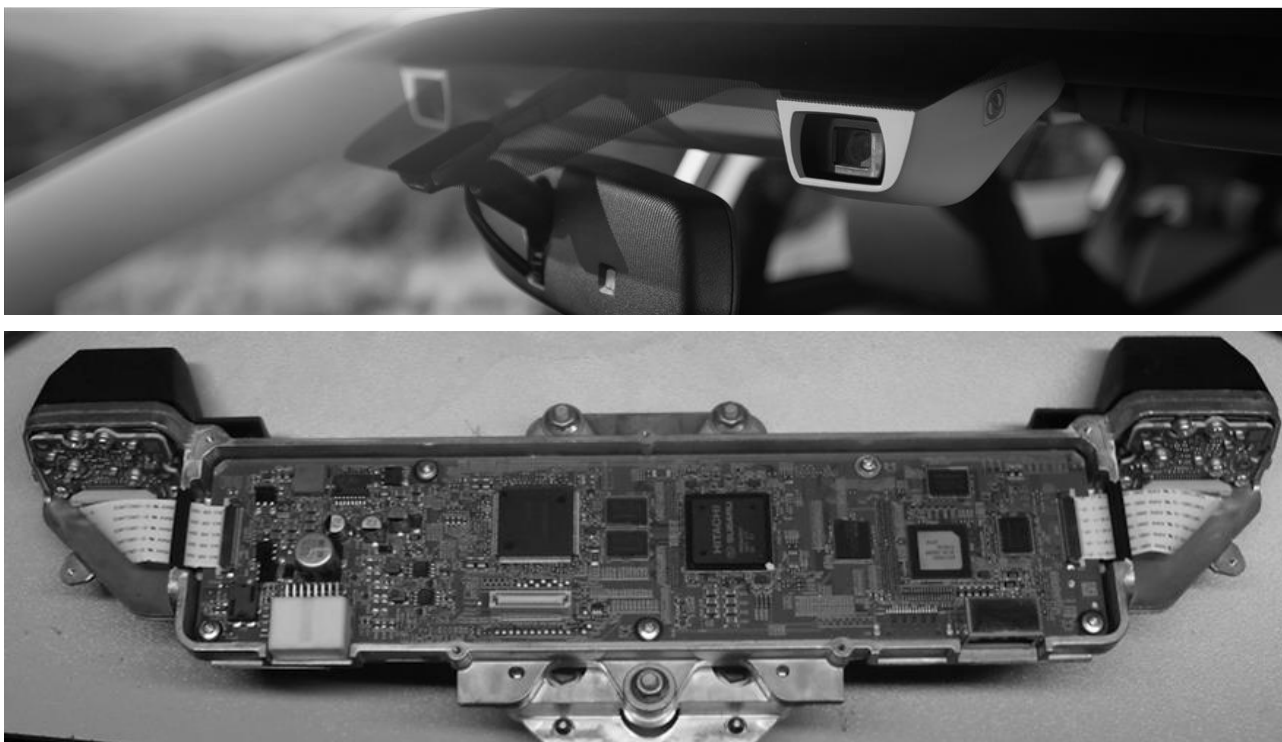
Obr. 21 Grafická mapa vzdialenosti objektov od vozidla, farebná škála je definovaná od červenej (najbližší objekt) po zelenú (najvzdialenejší objekt) [21]

Tretím a posledným krokom pri vyhodnotení takejto situácie je algoritmus, ktorý je zameraný na segregáciu objektov a ich trakovanie. Algoritmus pracuje so snímkami vznikajúcimi za sebou a vyhodnocuje možnú segregáciu objektov a ich pohyb. Na Obr. 22 je zobrazený výsledok tohto algoritmu. Zľava doprava je možné vidieť časový priebeh od prvého rozpoznania chodca v čase 0 a následne po 80, 160 a 240 ms vo vzťahu k prvotnému výskytu. Odhadované vektory zodpovedajú predpokladanému smeru a rýchlosti pohybu chodca.



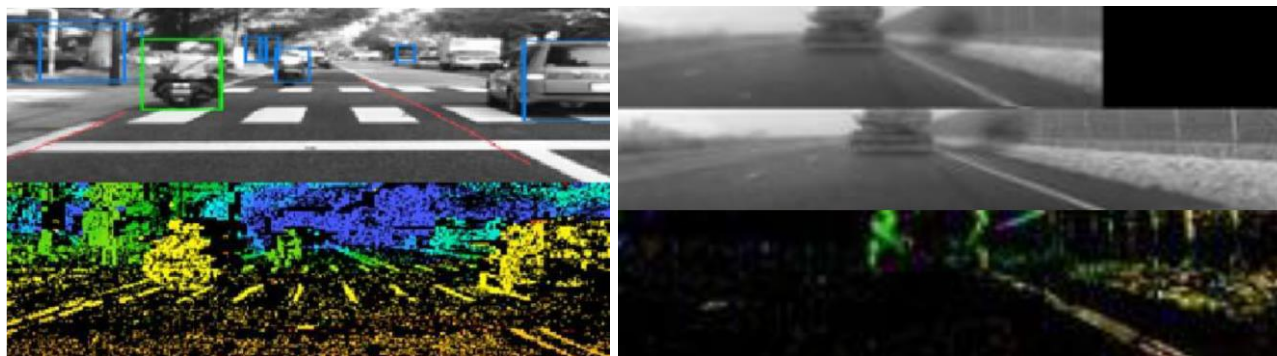
Obr. 22 Príklad trakovania pohybu chodca pomocou stereokamery [21]

Subaru vo svojich modeloch používa pre systém aktívnej bezpečnosti názov EyeSight. Z technických podkladov od výrobcu je možné zistiť orientačné technické špecifiká systému. Pohľad na stereokameru v oblasti čelného skla je na obrázku nižšie (Obr. 23). Pri kamere samozrejme platí, že zhoršená viditeľnosť alebo zakrytý výhľad na čelnom skle jej funkciu znemožňujú. Radar vie fungovať aj napriek námraze na ňom alebo pri prekrytí prachom, lístím alebo miernou špinou.

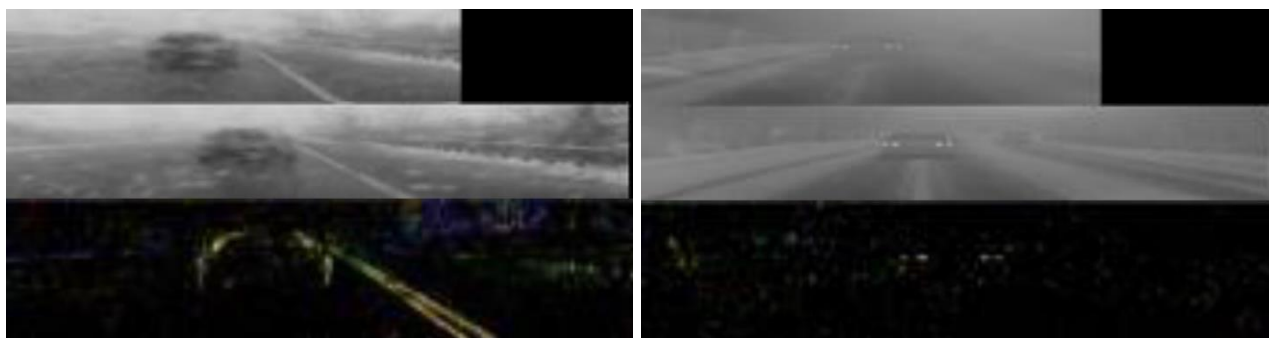


Obr. 23 Pohľad na EyeSight systém od Subaru – hore. [22] Rozobratá kamera – dole [23]

Systém EyeSight funguje na princípe snímania obrazu. Z toho vyplýva, že čím sú horšie podmienky na snímání obrazu, tým horšie je samotné vyhodnotenie dopravnej situácie. Nasledujúci sled obrázkov vykresľuje dopravné situácie a možné zhoršené podmienky pri ich vyhodnocovaní. Väčšina obrázkov sa skladá z troch častí. Vo vrchnej časti je záber ľavej kamery, v strednej časti je záber pravej kamery a v dolnej časti je vyobrazená vyhodnotená situácia systémom EyeSight prevedená do farebnej škály.



Obr. 24 Bežné podmienky (vľavo). Prachové častice na skle (vpravo) [24]



Obr. 25 Hustý dážď (vľavo). Hustá hmla (vpravo) [24]



Obr. 26 Zamrznuté čelné sklo (vľavo). Husté sneženie (vpravo) [24]

Nová hardvérová sada pre autonómne vozidlá spoločnosti Tesla Autopilot sa skladá z 8 kamier, 1 radaru, ultrazvukových senzorov a nového superpočítača na podporu komplexného softvéru na spracovanie obrazu „Tesla Vision“ a neurónovej siete. Tesla zrušila pôvodnú sadu Autopilot 2.0, ktorá by umožnila autonómiu úrovne SAE 3/4, a namiesto toho implementovala priamo sadu, ktorá môže nakoniec podporovať úplnú autonómiu úrovne 5. Nová sada stále obsahuje ultrazvuk a výhľadový radar, ale ako sme už uviedli, úplná autonómia vyžaduje 360-stupňové pokrytie kamerou, čo je hlavný prírastok do novej sady snímačov.

Trojsenzorová kamera Tesly je umiestnená na vrchnej hrane v strede čelného skla. Každá z jednotlivých optík má rôzny záber:

- Hlavná kamera: Maximálna vzdialenosť 150 m so zorným poľom 50°.
- Úzka kamera: Maximálna vzdialenosť 250 m so zorným poľom 35°.
- Kamera so širokouhlým pohybom dopredu: Maximálna vzdialenosť 60 metrov so 150° zorným poľom.



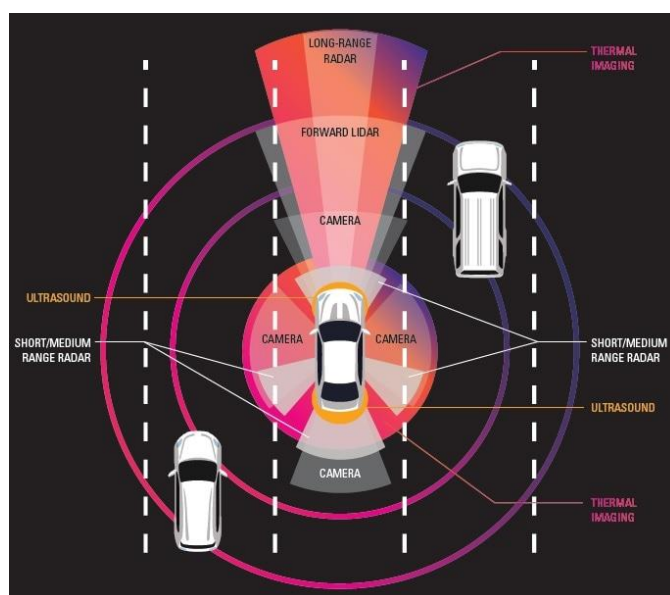
Obr. 27 Záber trojitej kamery Tesla a jej doplnkových senzorov [25]

3.1.4.3 Stereoskopické videnie

Automatizované vozidlá a pokročilé asistenčné systémy sa pri tvorbe presného 3D vnímania prostredia spoliehajú na rôzne senzory, vrátane tepelného snímania. Toto 3D vnímanie sa vytvára kombináciou obrazov dvoch kamier ako stereofónneho páru, ktorému sa tiež hovorí stereoskopické videnie. Stereofónne dvojice kamier pracujú na zachytení hĺbky prostredia pomocou triangulácie kamier s objektmi v zornom poli.

Pre pochopenie scény a tvorby 3D modelu prostredia predstavuje meranie vzdialenosti nevyhnutný komponent. Toto pochopenie umožňuje systému identifikovať objekty a ich vzdialenosti a následne prijímať vhodné rozhodnutia pre dané situácie. Pre vhodné rozhodnutia sa využíva aj modalita ďalších snímačov, ako napríklad radar a lidar.

Hlavnou prekážkou pre správne stereoskopické zobrazenie je zohľadnenie prirodzene sa vyskytujúcich dynamických zmien. Medzi tieto dynamické zmeny môžeme zaradiť malé vibrácie, nerovnosti a teplotné zmeny. Vplyv týchto aspektov môže prispieť k zníženiu presnosti a potenciálne spôsobiť úplnú stratu kalibrácie. Nesprávna kalibrácia môže viesť k nesprávnemu definovaniu hĺbky, čo môže mať vplyv na rozhodovací proces automatizovaného systému.



Obr. 28 Grafické zobrazenie sledovania okolia vozidla pomocou jednotlivých snímačov [26]

3.1.4.4 Termovízne kamery v automatizovaných cestných vozidlách

Autonómne vozidlá disponujú množstvom moderných technológií, aby zabezpečili bezpečnú a pohodlnú jazdu vodičovi aj pasažierom. Pri testovaní týchto vozidiel občas nastane situácia, že sa nevedia správne rozhodnúť alebo reagujú nesprávne. K eliminovaniu takýchto situácií by mali prispieť ako doplnkový systém termovízne kamery, ktoré dokážu vidieť objekty, do ktorých vodič nechce naraziť. Tam, kde sa bežné kamery spoliehajú na viditeľné svetlo, dokáže nový typ termovízneho senzora zachytiť infračervené žiarenie, a to aj s najmenšími odchýlkami v teplote. Tento senzor dokáže detegovať objekty až do 240 metrov.

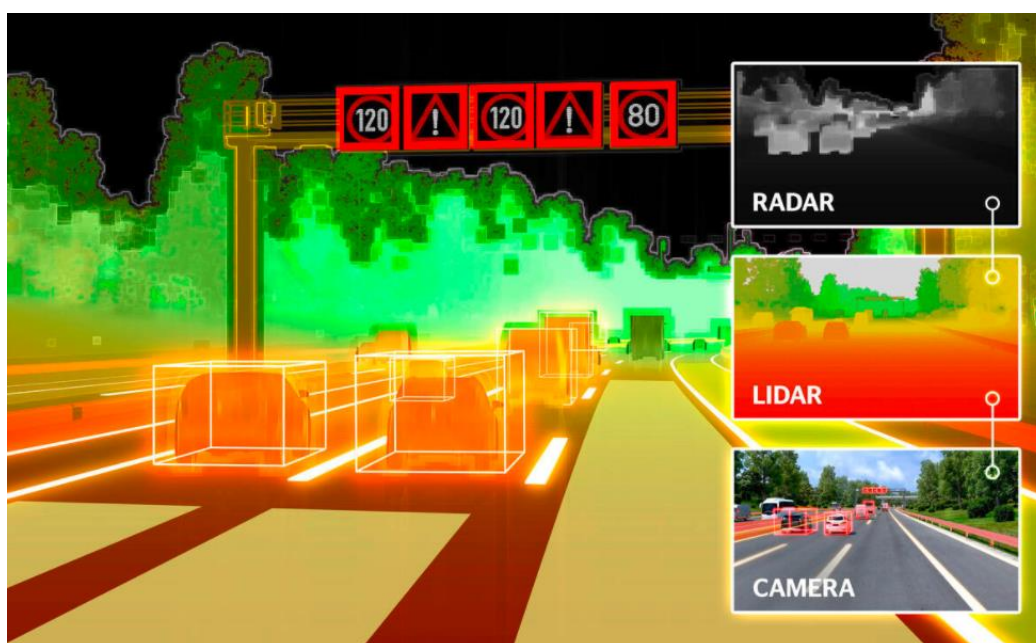
Výhodou termovíznych senzorov alebo kamier je, že v porovnaní s bežnými kamerami im neprekáža slnečné žiarenie, respektíve nedostatok svetla, hmla a ani dážď. Termovízne kamery môžu byť cenným doplnkom k súčasným senzorom, ktorými už sú autonómne vozidlá vybavené. Najväčšou výzvou bude naučiť

autonómne systémy vo vozidlách rozpoznávať rôzne typy prekážok a identifikovať ich na infračervených mapách. Pomocou strojového učenia by tak systémy mali byť schopné rozpoznávať chodcov, cyklistov, zver, ale aj iné vozidlá.

Nevýhodou týchto senzorov respektíve kamier je ich vysoká cena. Senzor tohto druhu dosahuje v súčasnosti cenu až 2500 dolárov, čo je cena, ktorá neumožňuje masové rozšírenie do týchto typov vozidiel. V budúcnosti sa očakáva zníženie výrobných nákladov a tým aj väčšie využitie v automatizovaných cestných vozidlách. [27]

3.1.5 Sensor fusion

Fúziou senzorov sa rozumie schopnosť združovať vstupy z viacerých radarov, lidarov a kamier a vytvoriť tak jeden model alebo obraz prostredia okolo vozidla. Výsledný model je presnejší, pretože využíva silné stránky rôznych senzorov. Systémy vozidla potom môžu použiť informácie poskytnuté pomocou fúzie senzorov na podporu inteligentnejších akcií. Každý typ snímača – alebo „modalita“ – má svoje silné a slabé stránky. Radary sú veľmi silné pri presnom určovaní vzdialenosti a rýchlosti – dokonca aj v náročných poveternostných podmienkach, ale nedokážu prečítať ulice ani „vidieť“ farbu semaforu. Fotoaparáty veľmi dobre čítajú značky alebo klasifikujú predmety, ako sú chodci, cyklisti alebo iné vozidlá. Ľahko ich však môže oslepiť špina, slnko, dážď, sneh alebo tma. Lidary môžu presne detegovať objekty, ale nemajú dosah ani cenovú dostupnosť kamier alebo radarov. Fúzia senzorov spája dáta z každého z týchto typov senzorov pomocou softvérových algoritmov, ktoré poskytujú čo najkomplexnejší, a tým najpresnejší environmentálny model. Môže tiež korelovať údaje získané z interiéru kabíny procesom známym ako fúzia senzorov interiéru a exteriéru. Vozidlo by mohlo pomocou fúzie senzorov spájať informácie aj z viacerých senzorov rovnakého typu – napríklad z radarov. Toto zlepšuje vnímanie využitím čiastočne sa prekrývajúcich zorných polí. Keďže prostredie okolo vozidla pozorujú viaceré radary, objekty bude súčasne detegovať viac ako jeden senzor. Detekcie z týchto viacerých senzorov, interpretované pomocou globálneho softvéru na vnímanie 360°, môžu byť prekrývané alebo spájané, čo zvyšuje pravdepodobnosť a spoľahlivosť detekcie objektov v okolí vozidla a poskytuje presnejšie a spoľahlivejšie znázornenie prostredia.



Obr. 29 System fusion zabezpečuje lepšiu 3D priestorovú orientáciu [5]

4 Testovanie prvkov aktívnej bezpečnosti

Náraz vozidla zozadu je jednou z najčastejších nehôd na cestách spôsobených rozptýlením vodiča alebo nesprávnym úsudkom. Počas jazdy v meste sú typické nehody pri relatívne nízkych rýchlostiach, keď je zasiahnuté auto už v pokoji. Pri takýchto nehodách je však vysoké riziko poranenia krku u vodiča zrazeného vozidla. Aj keď závažnosť zranení v meste je zvyčajne nízka, tieto nehody sú veľmi časté a predstavujú viac ako štvrtinu všetkých nehôd. Podobné scenáre nehôd sa vyskytujú aj na mimomestských komunikáciách pri strednej až vyššej rýchlosti. V týchto prípadoch je vodič často rozptýlený a nemusí rozpoznať, že premávka pred ním je zastavená alebo vozidlá pred ním jazdia v dôsledku prekážky značne nižšou rýchlosťou. Na podporu vodiča a predchádzanie takýmto zadným nárazom ponúkajú výrobcovia automobilov technológie, ktoré varujú, podporujú adekvátne brzdenie alebo nakoniec aj samy zastavia vozidlo. Systémy, ktoré pracujú väčšinou pri nižších rýchlostiach, sa označujú ako systémy AEB City a tie, ktoré fungujú pri vyšších rýchlostiach, sa označujú ako AEB inter urban.

Poradenské systémy pre vodičov, ako napríklad Speed Assistance Systems (SAS) a Attention Assist, sa už pri nehodách zameriavajú na ľudský element varovaním vodiča v kritických situáciách a v konečnom dôsledku aj podporou vodiča na zlepšovanie jeho správania. Prispôsobenie intervenčných kritérií jednotlivým vodičom a stavu vodiča môže v budúcnosti poskytnúť značný potenciál na skoršie zásahy bez toho, aby došlo k zníženiu falošne pozitívnych úrovní.

Euro NCAP predpokladá stimul pre systémy monitorovania vodičov, ktoré účinne detegujú narušenie a rozptýlenie jazdy, vydávajú príslušné varovania a prijímajú účinné opatrenia, napr. začatie bezpečného únikového manévru, zvýšenie citlivosti elektronickej kontroly stability, podpory v jazdných pruhoch, rýchlosti atď. Systém sa pri teste bude posudzovať podľa toho, ako spoľahlivo a presne zistí stav vodiča a aké kroky podnikne vozidlo na základe týchto informácií. Do budúcich iterácií protokolu by sa mohli pridať ďalšie aspekty, napríklad sledovanie polohy vodiča.

4.1 Terminológia pri testovaní

Maximálne dosiahnuteľné spomalenie (Peak Braking Coefficient, PBC) – miera trenia pneumatiky na povrchu vozovky, založená na maximálnom spomalení valiacej sa pneumatiky, meraná pomocou štandardnej referenčnej testovacej pneumatiky American Society for Testing and Materials (ASTM) E1136-10 (2010), v súlade s metódou ASTM E 1337-90 (znovu schválená 1996), pri rýchlosti 64,4 km/h, bez prívodu vody. Alternatívne môže byť použitá metóda uvedená v EHK OSN R13-H.

Autonómne núdzové brzdenie (Autonomous Emergency Braking, AEB) – brzdenie, ktoré vozidlo automaticky aktivuje v reakcii na detekciu pravdepodobnej kolízie, aby sa znížila rýchlosť vozidla a zabránilo sa kolízii.

Varovanie pred čelnou kolíziou (Forward Collision Warning, FCW) – audiovizuálne varovanie, ktoré vozidlo poskytuje automaticky ako reakciu na detekciu pravdepodobnej kolízie, aby varovalo vodiča.

Dynamické brzdenie (Dynamic Brake Support, DBS) – systém, ktorý ďalej zosilňuje požiadavku vodiča na brzdenie v reakcii na detekciu pravdepodobnej kolízie, aby sa dosiahlo väčšie spomalenie, než aké by sa inak dosiahlo pri požiadavke na brzdenie za normálnych jazdných podmienok.

Autonómne núdzové riadenie (Autonomous Emergency Steering, AES) – riadenie, ktoré vozidlo automaticky aktivuje v reakcii na detekciu pravdepodobnej kolízie, aby sa vozidlo automatickým riadením vyhlo vozidlu pred ním a predišlo tak kolízii.

Núdzová podpora riadenia (Emergency Steering Support, ESS) – systém, ktorý podporuje zásah vodiča do riadenia (uskutoční prudšie vyhybanie) v reakcii na detekciu pravdepodobnej kolízie, čím zmení dráhu vozidla a zabráni kolízii.

Zadný náraz do stojaceho vozidla (Car-to-Car Rear Stationary, CCR) – zrážka, pri ktorej vozidlo ide dopredu smerom k ďalšiemu stojacemu vozidlu, kde čelná konštrukcia vozidla zasiahne zadnú konštrukciu stojaceho vozidla.

Zadný náraz do pohybujúceho sa vozidla (Car-to-Car Rear Moving, CCRm) – zrážka, pri ktorej vozidlo ide dopredu smerom k ďalšiemu vozidlu idúcemu konštantnou rýchlosťou a čelná konštrukcia vozidla zasahuje zadnú konštrukciu druhého vozidla.

Zadný náraz do brzdiaceho vozidla (Car-to-Car Rear Braking, CCRb) – zrážka, pri ktorej vozidlo ide dopredu smerom k inému vozidlu, ktoré ide konštantnou rýchlosťou a potom spomaľuje a čelná konštrukcia vozidla zasahuje zadnú konštrukciu druhého vozidla.

Odbočovanie cez koridor jazdy (Car-to-Car Front Turn-Across-Path, CCFtap) – zrážka, pri ktorej vozidlo odbočuje a pritom pretína koridor jazdy prichádzajúceho vozidla, idúceho konštantnou rýchlosťou, a čelná konštrukcia vozidla zasahuje prednú konštrukciu druhého vozidla.

Testované vozidlo (Vehicle under test, VUT) – vozidlo testované podľa protokolu so systémom čiastočného zabránenia nehode alebo zabránenia zrážke.

Normovaná maketa vozidla (Global Vehicle Target, GVT) – maketa vozidla použitá na test.

Normovaná maketa motocykla (Global Motorbike Target, GMT) – maketa motocykla používaná na test.

Čas do kolízie (Time To Collision, TTC) – zostávajúci čas predtým, ako VUT udrie do GVT, za predpokladu, že VUT a GVT budú pokračovať kontinuálne v jazde danou rýchlosťou.

Núdzové udržanie v jazdnom pruhu (Emergency Lane Keeping, ELK) – systém, ktorý vozidlo aplikuje automaticky v reakcii na detekciu vozidla, ktoré sa chystá prejsť za plné značenie jazdného pruhu alebo za okraj vozovky.

Udržiavanie v jazdnom pruhu (Lane Keeping Assist, LKA) – korekcia smeru, ktorú automaticky aplikuje vozidlo v reakcii na detekciu vozidla, ktoré sa má presunúť za vymedzenú hranicu aktuálneho jazdného pruhu.

Varovanie pred vybočením z jazdného pruhu (Lane Departure Warning, LDW) – varovanie, ktoré vozidlo poskytuje automaticky ako reakciu na vozidlo, ktoré sa chystá odchýliť za vymedzenú hranicu aktuálneho jazdného pruhu.

Vzdialenosť od okraja jazdného pruhu (Distance To Lane Edge, DTLE) – zostávajúca bočná vzdialenosť (kolmá na okraj jazdného pruhu) medzi okrajom jazdného pruhu a najvzdialenejšou hranou pneumatiky predtým, ako VUT prekročí hranicu jazdného pruhu, za predpokladu, že by VUT pokračoval v jazde s rovnakou priečnou rýchlosťou.

T_{AEB} – čas, za ktorý sa aktivuje systém AEB vo vozidle. Čas aktivácie sa určuje identifikáciou posledného dátového bodu, kde je filtrovaný signál akcelerácie pod -1 m/s^2 , a potom návratom do bodu v čase, keď akcelerácia najskôr prekročila $-0,3 \text{ m/s}^2$.

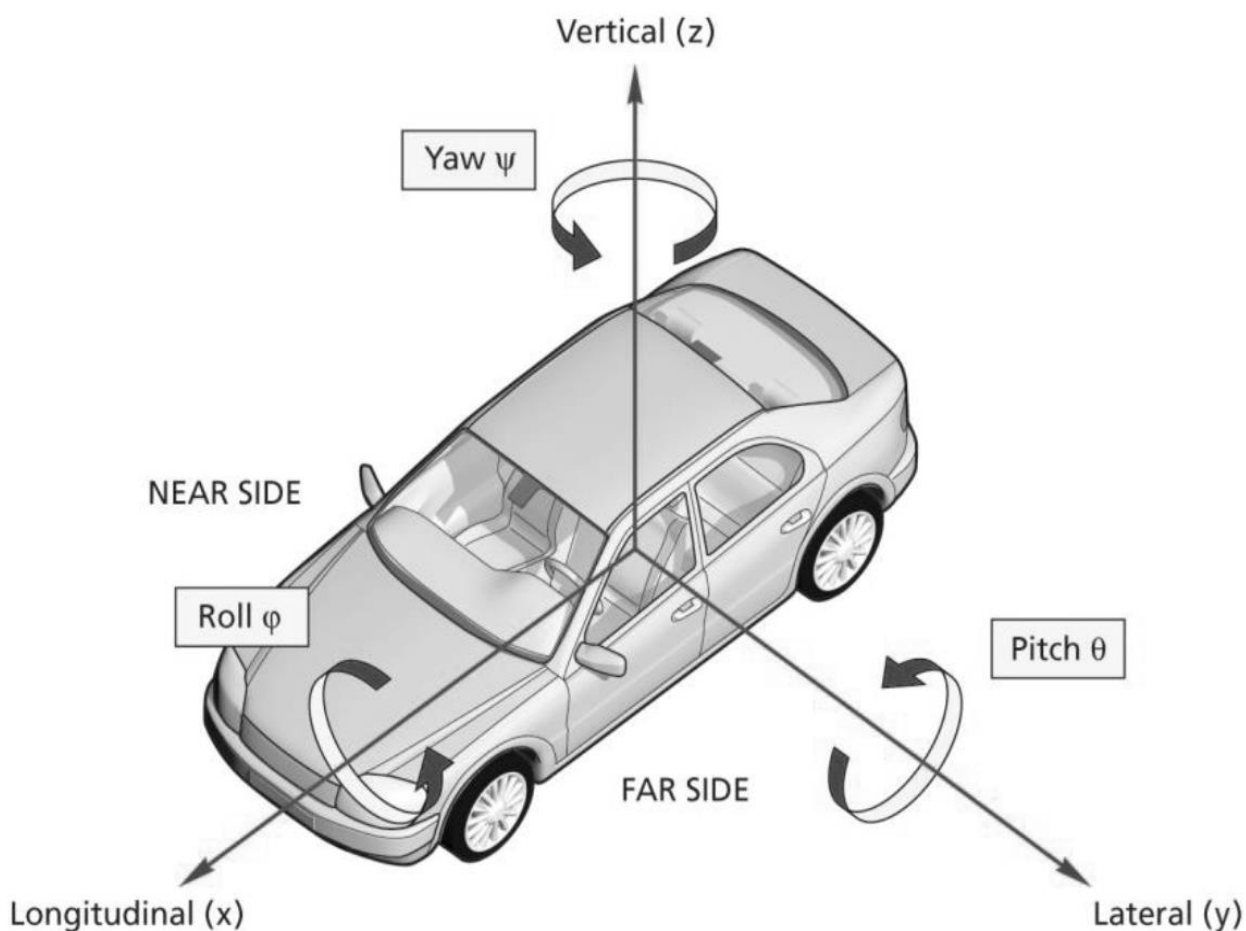
T_{FCW} – čas, za ktorý sa spustí zvukové varovanie FCW. Počiatočný bod je určený zvukovým rozpoznaním.

V_{impact} – rýchlosť, pri ktorej VUT narazí do GVT.

$V_{\text{rel_impact}}$ – relatívna rýchlosť, pri ktorej VUT zasiahne GVT, odčítaním rýchlosti GVT od V_{impact} v čase kolízie.

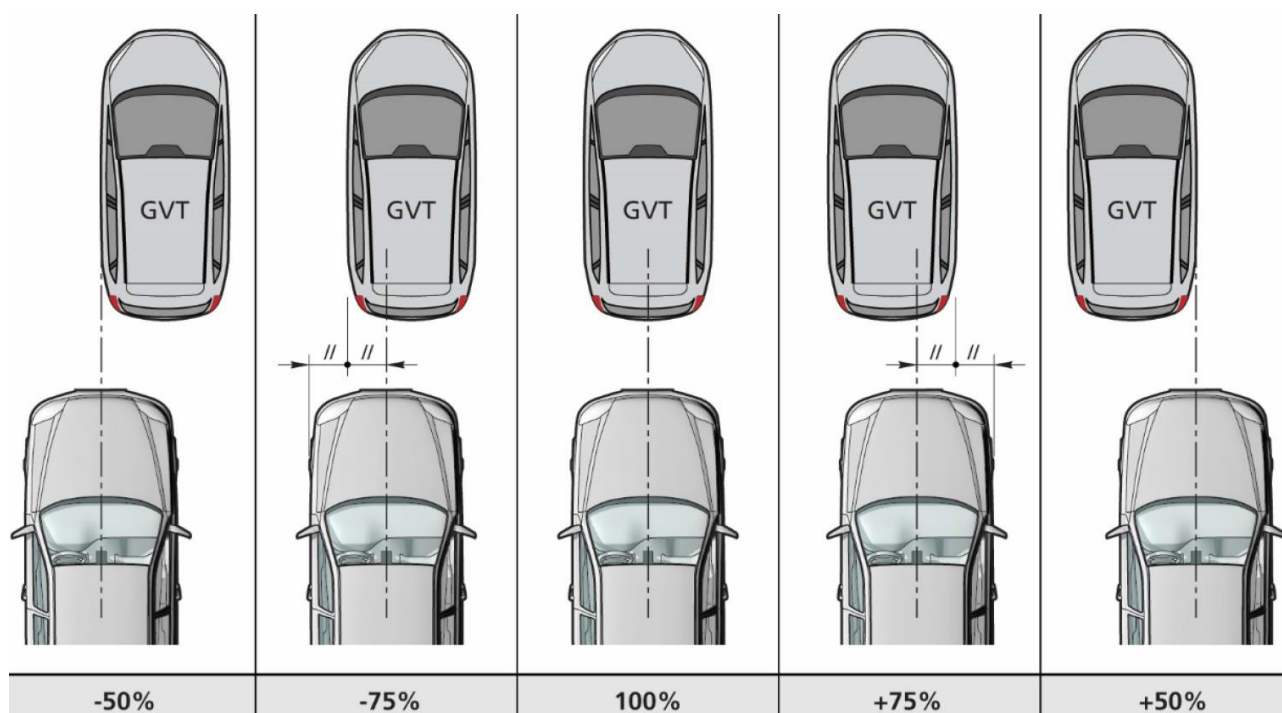
Šírka vozidla – najširší bod vozidla ignorujúci spätné zrkadlá, bočné obrysové svetlá, ukazovatele tlaku vzduchu v pneumatikách, smerové svetlá, obrysové svetlá, pružné blatníky a odklonenú časť bočných stien pneumatiky bezprostredne nad bodom kontaktu so zemou.

Pre VUT sa používa dohovor špecifikovaný v ISO 8855: 1991, kde os x smeruje k prednej časti vozidla, os y smerom doľava a os z nahor (pravý systém), ako je znázornené na Obr. 30. Na obrázku je znázornený aj smer otáčania vozidla v smere hodinových ručičiek okolo osí x, y a z. pri vozidle s ľavostranným riadením (LHD).



Obr. 30 Definícia jednotlivých osí vozidla [28]

Bočné prekrytie je definované ako percento šírky VUT prekrywajúcej GVT, kde referenčná čiara pre definíciu prekrytia je stredová čiara VUT. V prípade 100 % prekrytia sú stredové osi VUT a GVT zarovnané.



Obr. 31 Bočné prekrytie vozidiel [28]

4.2 Maketa objektov

4.2.1 Maketa vozidla – GVT

Na základe výsledku niekoľkých workshopov o globálnej harmonizácii, ktoré organizovali Euro NCAP, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) a Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), ako aj predbežných štúdií spoločnosti Dynamic Research, Inc., vznikla maketa vozidla nazývaná Global Vehicle Target (GVT). Kapitola stručne opisuje technickú špecifikáciu GVT, ktorá je navrhnutá ako presná náhrada za osobné vozidlo. Jej použitie je možné v akomkoľvek scenári, pričom sa minimalizuje možnosť poškodenia testovaného vozidla (VUT) a riziko pre posádku vo VUT. GVT predstavuje vozidlo, ktorého účelom je aktivovať senzorické systémy na VUT.

GVT sa skladá z vnútornej štruktúry, povrchu („karosérie“) a voliteľne z nosiča predstavujúceho vozidlo, ktoré má potrebné vlastnosti, aby ho bolo možné rozpoznať z ktoréhokoľvek smeru (3D cieľ vozidla). Použité materiály musia byť ľahké a pružné tak, aby sa minimalizovalo zaťaženie pôsobiace na panely karosérie VUT v prípade kolízie. GVT by mala mať tiež materiály odrážajúce radar a infračervené žiarenie, ktoré zodpovedajú požiadavkám normy. GVT musí poskytovať bezpečné montážne miesto pre anténu GPS tak, aby radarová reflexná (t. j. kovová) tkanina GVT nenarušovala príjem satelitu GPS, požadovaný robotickou platformou, zodpovednou za podporu a prípadný pohyb GVT počas hodnotenia VUT. GVT musí byť detekovateľný pomocou týchto technológií automobilových senzorov: radar, video, LIDAR, PMD a IR.

Rozmery GVT uvedené v tabuľkách 1 a 2 sú znázornené na obrázkoch 2 a 3. Vertikálne merania sú založené na typickej svetlej výške nosnej plošiny 20 mm.

Tabuľka 2

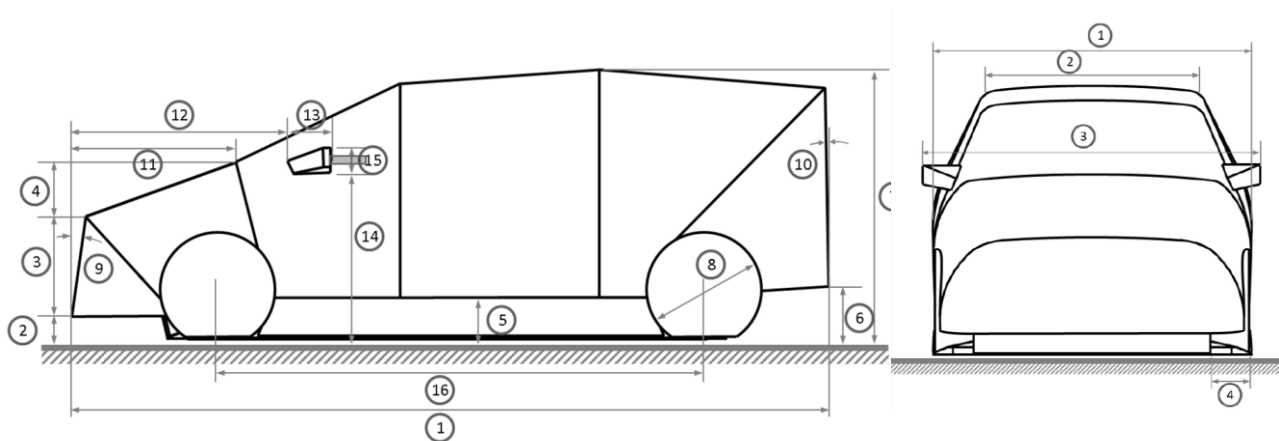
Rozmery GVT – bočný pohľad [29]

Bočný pohľad	Opis	Rozmer	Tolerancia
1	Celková dĺžka	4023 mm	± 50 mm
2	Predná svetlá výška	173 mm	± 25 mm
3	Výška nárazníka	488 mm	± 25 mm
4	Výška kapoty	290 mm	± 25 mm
5	Bočná svetlá výška	185 mm	± 25 mm
6	Zadná svetlá výška	323 mm	± 25 mm
7	Celková výška	1427 mm	± 50 mm
8	Priemer pneumatík	607 mm	± 10 mm
9	Uhol prednej časti	6.4 deg	± 2.0 deg
10	Uhol zadnej časti	1.0 deg	± 0.5 deg
11	Dĺžka kapoty	792 mm	± 25 mm
12	Poloha bočného zrkadla	1140 mm	± 25 mm
13	Dĺžka bočného zrkadla	229 mm	± 10 mm
14	Svetlá výška bočného zrkadla	892 mm	± 25 mm
15	Výška bočného zrkadla	132 mm	± 10 mm
16	Rázvor náprav	2565 mm	± 50 mm

Tabuľka 3

Rozmery GVT – predný pohľad [29]

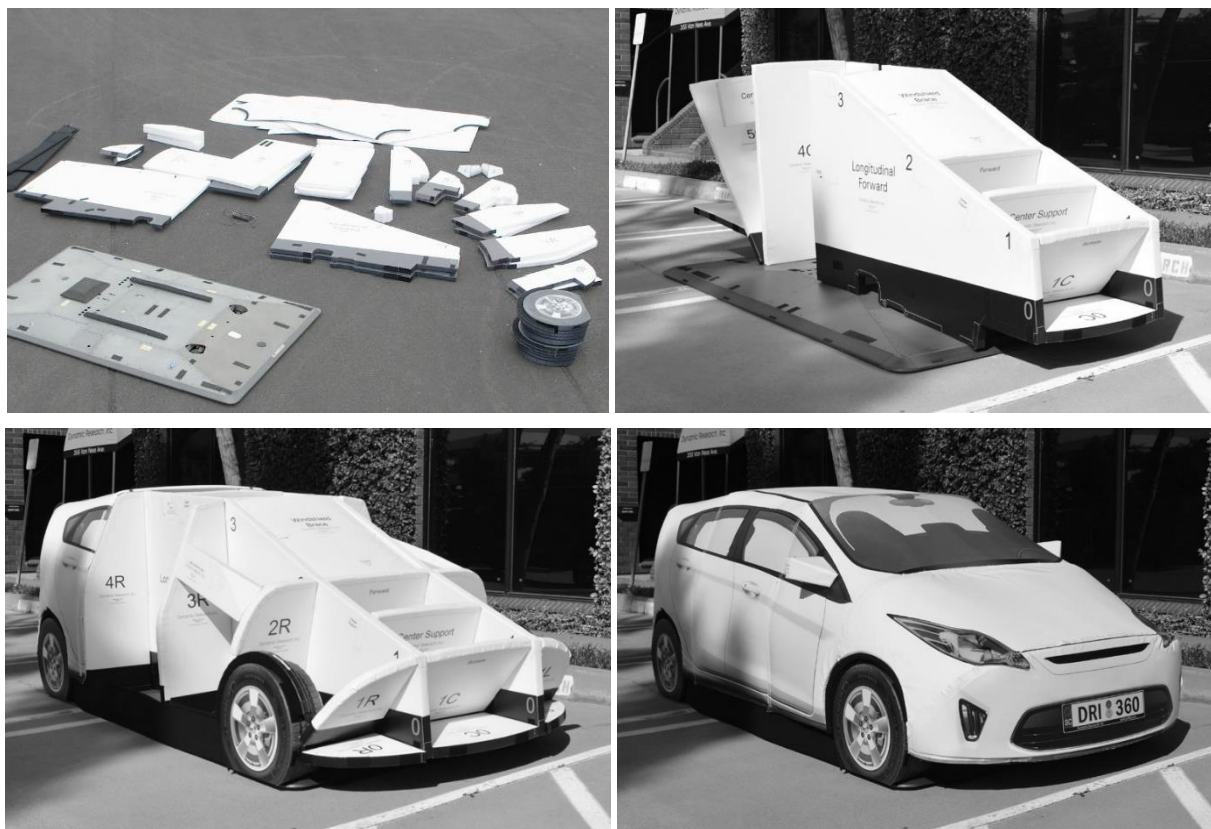
Čelný pohľad	Opis	Rozmer	Tolerancia
1	Celková šírka (bez zrkadiel)	1712 mm	± 50 mm
2	Šírka strechy	1128 mm	± 50 mm
3	Celková šírka (vrátane zrkadiel)	1798 mm	± 50 mm
4	Šírka pneumatík	206 mm	± 10 mm



Obr. 32 Zakótovanie rozmerov GVT [29]

Rozmerovo GVT reprezentuje biele osobné vozidlo kategórie hatchback. IR odrazivosť povrchov GVT uvedená v tabuľke 3 musí byť v rozsahu vlnových dĺžok 850 až 910 nm. Každá z vizuálnych oblastí záujmu (očíslovaná na Obr. 32) sa meria v minimálne v troch oblastiach každého panelu na vozidle.

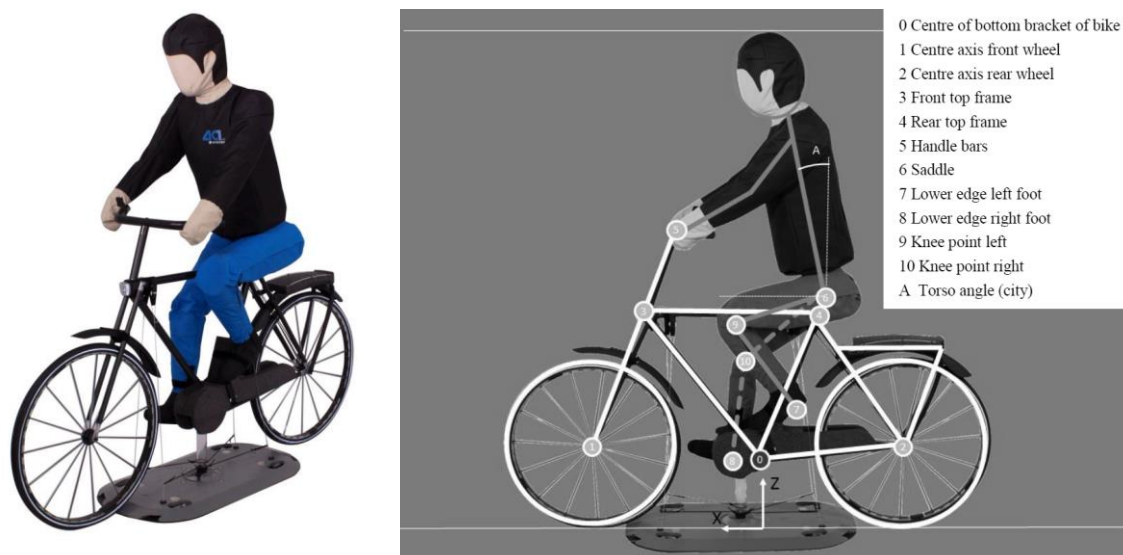
Séria pohľadov na Obr. 33 znázorňuje samotný postup pri skladaní GVT. Predmetný produkt je od spoločnosti AB Dynamics. Jednotlivé panely GVT sú vyrobené z ľahkého materiálu potiahnutého pogumovanou textíliou. Na textílii sú suché zipsy, ktorými sa jednotlivé diely spájajú a zároveň umožňujú pri zrážke s VUT ich rozpad. Jednotlivé dielce sa upevňujú na pojazdnú robotickú plošinu ktorá svojím charakterom a plochou eliminuje možnosť rozpoznania pre senzory VUT. Na vnútornú štruktúru panelov je následne nasadená povrchová tkanina, ktorá vytvorí povrch vozidla.



Obr. 33 Maketa dielcov vozidla GVT [30]

4.3 Maketa bicykla (Bike target – BT)

Maketa cyklistu s bicyklom Bike target (BT) predstavuje priemerného dospelého cyklistu na priemernom štandardnom úžitkovom bicykli pre dospelých veľkosti 28“ (Obr. 34) vo vzťahu k snímačom detekcie zraniteľných účastníkov cestnej premávky používaným vo vozidlách. BT je navrhnutý na testovanie technológií automobilových senzorov, ako sú radar, lidar, video a systém založený na blízkom infračervenom žiarení. Bicykel musí mať otočné kolesá, (synchronizované s rýchlosťou), ale šliapanie nôh do pedálov nie je povinné.



Obr. 34 BT a jeho základné rozmery [31]

Na zabezpečenie realistického scenára musia byť splnené špeciálne požiadavky týkajúce sa radarového odrazu. Priemer rámu, podpera sedadla a reťaze musia byť takéto:

Rám: 25 mm – 35 mm

Podpera sedadla: 15 mm – 25 mm

Reťaz: 15 mm – 25 mm

Tabuľka 4

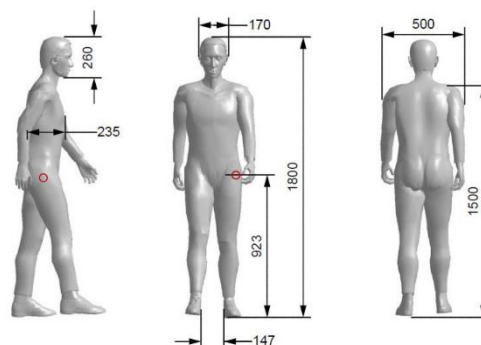
Rozmery BT [31]

	Segment	X [mm]	Z [mm]	Tolerancia [mm]
0	Stred spodnej konzoly bicykla	0	280	± 10
1	Predné koleso so stredovou osou	670	340	± 10
2	Zadné koleso so stredovou osou	-540	340	± 10
3	Predný horný rám	430	855	± 10
4	Zadný horný rám	-215	860	± 10
5	Riadičlá	310	1180	± 10
6	Sedadlo	-235	935	± 10
7	Dolný okraj, ľavá noha	105	495	± 20
8	Dolný okraj, pravá noha	80	200	± 20
9	Kolenný bod vľavo	150	860	± 20
10	Kolenný bod vpravo	85	700	± 20
	Celková výška	1865		± 20
	Celková dĺžka	1890		± 20
	uhol trupu [°]	10° (voliteľné 30°)		± 2°

Materiál rámu, vzpier, lúčov, riadenia a venca je tvorený čiernym kovovým textilným povrchom, aby sa zabezpečilo, že ich odraz bude predstavovať skutočný bicykel. Rozmery cyklistu vychádzajú z rozmerov dospelých chodcov, ktoré sú opísané nižšie. Tvar cyklistu musí v obrysoch zodpovedať 50 % modelu RAMSIS Bodybuilder, založeného na verzii RAMSIS 3.8.30, s povolenou toleranciou ± 20 mm. Výška postavy dospelého BT je podľa EN ISO 7250-1: 2016-05 1800 mm

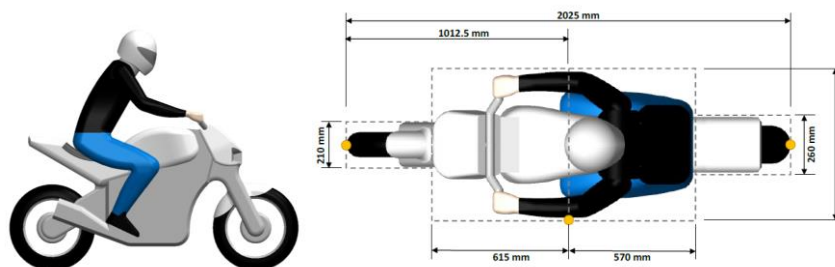
Rozmery makety osoby na bicykli [31]

Segment	Rozmer [mm]	Tolerancia [mm]
Výška tela (vrátane topánok)	1800	± 20
Výška bodu H	920	± 20
Šírka ramien	500	± 20
Výška ramien	1500	± 20
Šírka hlavy	170	± 10
Výška hlavy	260	± 10
Hĺbka trupu	240	± 10



4.3.1 Maketa motocykla GMT

V čase vydania publikácie nie je zatiaľ oficiálny protokol k testovaniu scenárov s motocyklom. Ale na základe MUSE – UTAC CERAM je možné predbežne špecifikovať maketu motocykla. Rozmerové údaje sa nebudú zásadne líšiť od finálneho testovacieho protokolu. Materiál rámu, vzpier, lúčov, riadenia a venca je tvorený kovovým textilným povrchom, aby sa zabezpečilo, že ich odraz bude predstavovať skutočný motocykel. Rozmery motocyklistu budú vychádzať z rozmerov dospelých chodcov, ktoré sú opísané vyššie. Tvar posádky motocykla musí vo svojich obrysoch zodpovedať 50 % modelu RAMSIS Bodybuilder, založeného na verzii RAMSIS 3.8.30, s povolenou toleranciou ± 20 mm. Výška postavy dospelého BT je podľa EN ISO 7250-1: 2016-05 1800 mm.



Obr. 35 Predpoklad rozmerov makety [32]

Reálny model motocykla bude svojím technickým riešením spôsobený na upevnenie na pohyblivú plošinu. Pri jazde bude podmienené, aby sa kolesá motocyklu otáčali.



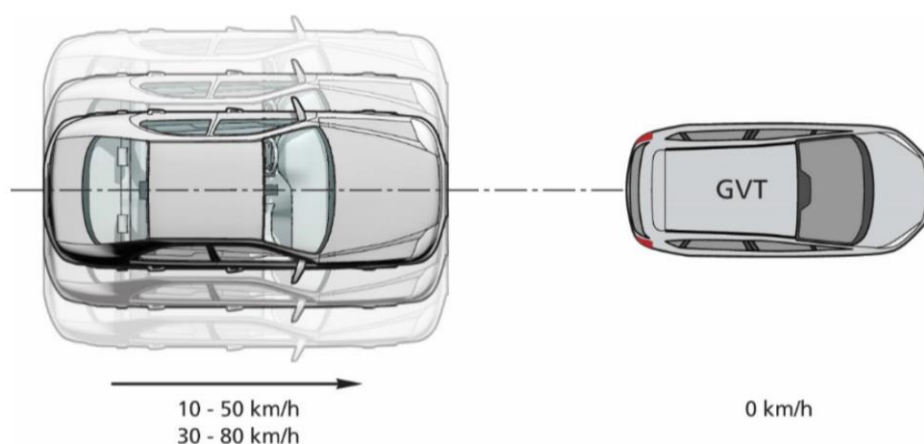
Obr. 36 Reálna maketa GMT [33] [34]

4.4 Testy nárazu vozidla do vozidla

V prípade AEB CCRs je hodnotenie založené na predpokladanom výsledku poskytnutom výrobcom OEM (Original Equipment Manufacturer – výrobca vozidla, napr. Škoda, Seat, Toyota...). Skutočné scenáre, ktoré sa majú testovať na overenie predikcie, sa vyberú náhodne a rozdelia sa podľa predpovedaného výsledku a teda farebného rozloženia. Celkovo sa vykoná 10 overovacích testov pre CCR.

4.4.1 Test nárazu do stojaceho vozidla (Car-to-Car Rear stationary – CCRs)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CCRs je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT (Tabuľka 6) s prírastkom rýchlosti 5 km/h a prekrytia 25 % v rozmedzí uvedenom v tabuľke nižšie. Vozidlo GVT sa nepohybuje.



Obr. 37 Pribeh scenára CCRs pri testovaní [28]

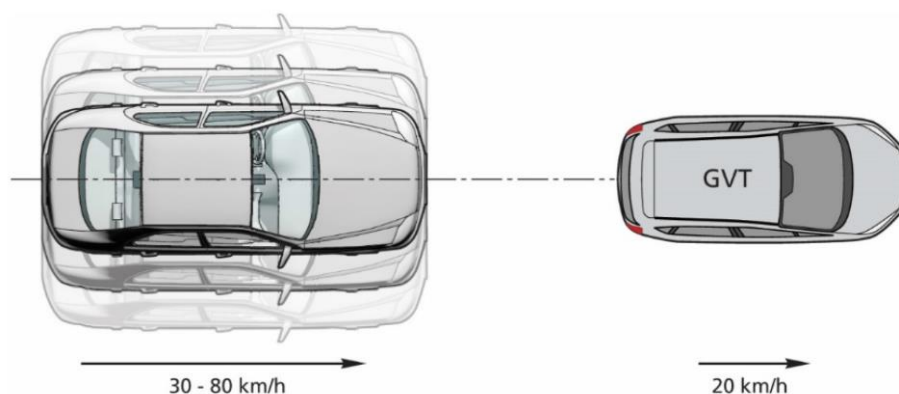
Tabuľka 6

Prehľad testovacích rýchlostí [28]

	AEB + FCW kombinácia		len AEB	len FCW
	AEB	FCW		
Rýchlosť VUT pri teste	10 – 50 km/h	30 – 80 km/h	10 – 80 km/h	30 – 80 km/h
Prekrytie	-50 %	-50 %	-50 %	-50 %

4.4.2 Test nárazu do pohybujúceho sa vozidla (Car-to-Car Rear moving – CCRm)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CCRs je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT (Tabuľka 6) s prírastkom rýchlosti 5 km/h a prekrytia 25 % v rozmedzí uvedenom v tabuľke nižšie. Vozidlo GVT sa pohybuje konštantnou rýchlosťou 20 km/h.



Obr. 38 Priebeh scenára CCRm pri testovaní [28]

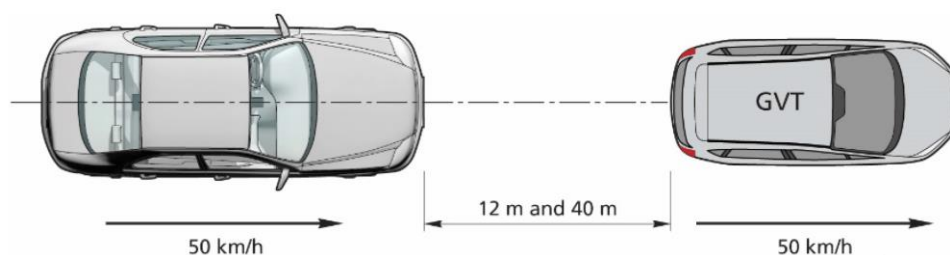
Tabuľka 7

Prehľad testovacích podmienok [28]

	AEB + FCW kombinácia		len AEB	len FCW
	AEB	FCW		
Rýchlosť VUT pri teste	30 – 80 km/h	50 – 80 km/h	30 – 80 km/h	50 – 80 km/h
Prekrytie	-50 %	-50 %	-50 %	-50 %

4.4.3 Test nárazu do brzdiaceho vozidla (Car-to-Car Rear braking – CCRb)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CCRb je kombináciou rýchlosti jazdy 50 km/h vozidla VUT a GVT (Tabuľka 6), medzi ktorými je vzdialenosť 12 m alebo 40 m. Pri ustálenej rýchlosti jazdy dôjde k brzdeniu GVT so spomalením 2 m/s^2 alebo 6 m/s^2 . Požadované spomalenie GVT sa dosiahne do 1,0 sekundy a potrvá až do momentu, keď sa vozidlo GVT pohybuje rýchlosťou 1 km/h.



Obr. 39 Priebeh scenára CCRb pri testovaní [28]

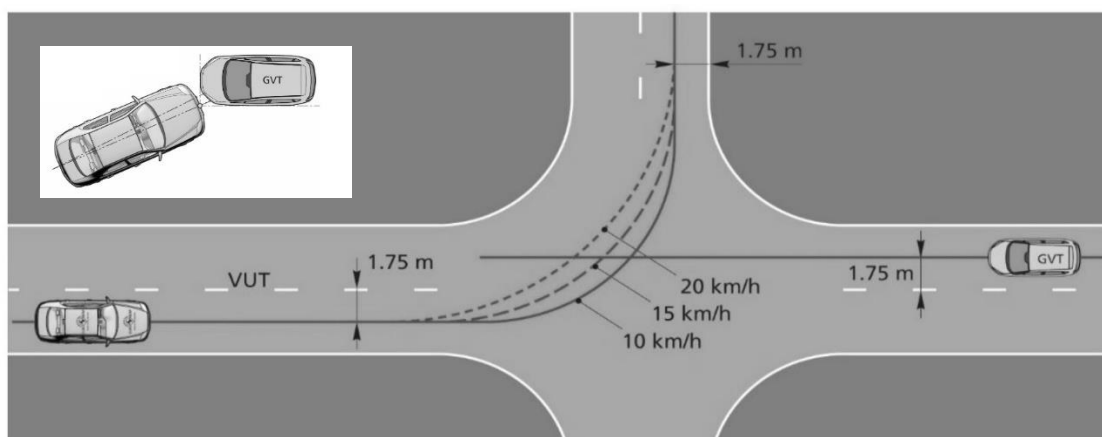
Tabuľka 8

Prehľad testovacích podmienok [28]

		Kombinácia AEB+FCW, len AEB a len FCW	
		-2 m/s ²	-6 m/s ²
AEB CCRb	12m	50 km/h	50 km/h
	40m	50 km/h	50 km/h

4.4.4 Test odbočovania cez koridor prichádzajúceho vozidla (Car-to-car Front turn-across-path – CCFTap)

Testovací scenár predpokladá jazdu VUT v priamom smere s následným odbočovaním cez koridor prichádzajúceho vozidla. Predpokladaná pozícia v oblasti križovatky je znázornená na obrázku. Tato pozícia v čase zrážky vozidiel vychádza z jazdy vozidiel bez aktivácie asistenčného systému. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. So zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy VUT sa mení trajektória jazdy v oblúku.



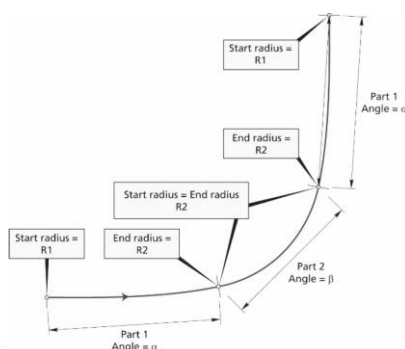
Obr. 40 Priebeh scenára CCFTap [28]

Pre testovacie scenáre sú definované tri trajektórie pre odbočovanie. Zmenu trajektórie v čase jazdy pri odbočovaní je možné definovať podľa obrázka (Obr. 41). Jednotlivé zmeny rádiusov sú rozpísané v tabuľke nižšie a závisia od rýchlosti jazdy VUT.

Tabuľka 9

Prehľad závislosti dráhy na rýchlosti [28]

Testovacia rýchlosť	Part 1 (clothoid)			Part 2 (constant radius)			Part 3 (clothoid)		
	Start Radius R1 [m]	End Radius R2 [m]	Angle α [deg]	Start Radius R2 [m]	End Radius R2 [m]	Angle β [deg]	Start Radius R2 [m]	End Radius R1 [m]	Angle α [deg]
10 km/h	1500	9,00	20,62	9,00	9,00	48,76	9,00	1500	20,62
15 km/h	1500	11,75	20,93	11,75	11,75	48,14	11,75	1500	20,93
20 km/h	1500	14,75	21,79	14,75	14,75	46,42	14,75	1500	21,79

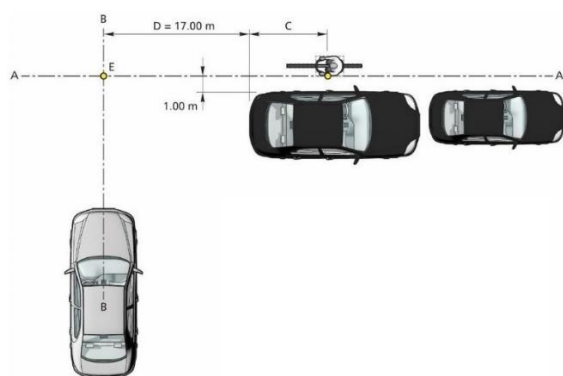


Obr. 41 Geometrické rozloženie trajektórie pri odbočovaní [28]

4.5 Test nárazu vozidla do bicykla

4.5.1 Test nárazu do bicykla – príjazd sprava (Car-to-bicyclist nearside adult – CBNA)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CBNA je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT v intervale 10 – 60 km/h a BT 15 km/h, pričom BT vchádza do koridoru vozidla po trajektórii, ktorá zvierá pravý uhol s trajektóriou vozidla. Pri ustálenej rýchlosti jazdy dôjde k zrážke VUT a BT v čelnej oblasti s 50 % prekrytím (bod E na Obr. 42). Tento scenár platí, ak nepríde k autonómnemu brzdeniu vozidla. Prekážka vo výhľade na BT môže byť v minimálnej vzdialenosti 17 m od koridoru jazdy vozidla.

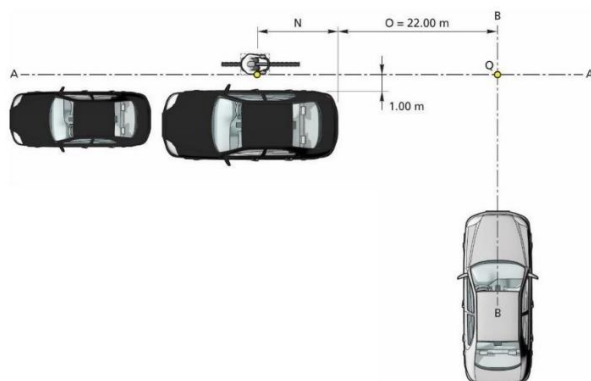


AEB Bicyclist	CBNA
Typ skúšky	AEB
Rýchlosť VUT [km/h]	10 – 60
Smer VUT	dopredu
Smer	15
BT rýchlosť [km/h]	10
Prekrytie [%]	50
Svetelné podmienky	deň

Obr. 42 Test nárazu do bicykla – príjazd sprava (Car-to-bicyclist nearside adult – CBNA) [35]

4.5.2 Test nárazu do bicykla – príjazd zľava (Car-to-bicyclist farside adult – CBNA)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (roboť), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CBNA je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT v intervale 10-60 km/h a BT 20 km/h, pričom BT vchádza do koridoru vozidla po trajektórii, ktorá zvierá pravý uhol s trajektóriou vozidla. Pri ustálenej rýchlosti jazdy dôjde k zrážke VUT a BT v čelnej oblasti s 50 % prekrytím (bod Q na Obr. 43). Tento scenár platí, ak nepríde k autonómnemu brzdeniu vozidla. Prekážka vo výhľade na BT môže byť v minimálnej vzdialenosti 22 m od koridoru jazdy vozidla.

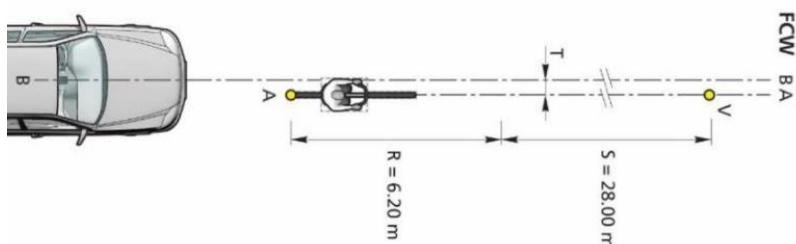


AEB Bicyclist	CBNA
Typ skúšky	AEB
Rýchlosť VUT [km/h]	10 – 60
Smer VUT	dopredu
Smer	Zľava
BT rýchlosť [km/h]	20
Prekrytie [%]	50
Svetelné podmienky	deň

Obr. 43 Test nárazu do bicykla – príjazd zľava (Car-to-bicyclist farside adult – CBNA) [35]

4.5.3 Test nárazu do bicykla FCW – príjazd sprava spoza prekážky (Car-to-bicyclist nearside adult obstructed – CBNAO FCW)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CBNAO je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT v intervale 50 – 80 km/h a BT 20 km/h. BT sa pohybuje v smere jazdy VUT. Pri ustálenej rýchlosti jazdy dôjde k zrážke VUT a BT v čelnej oblasti s 25 % prekrytím (bod A na Obr. 44). Tento scenár platí, ak nepríde k autonómnemu brzdeniu vozidla. V koridore jazdy VUT a BT sa nenachádzajú žiadne prekážky.

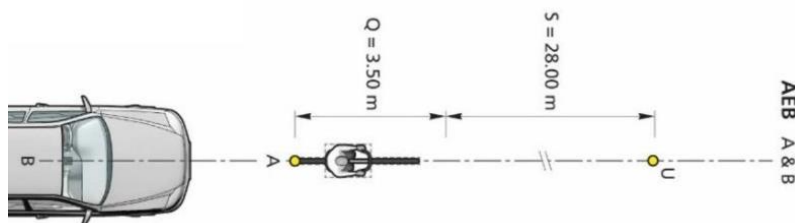


AEB Bicyclist	CBNA
Typ skúšky	AEB
Rýchlosť VUT [km/h]	50 – 80
Smer VUT	dopredu
Smer	pozdĺžny
BT rýchlosť [km/h]	20
Prekrytie [%]	25
Svetelné podmienky	Deň

Obr. 44 Test nárazu do bicykla – príjazd sprava spoza prekážky (Car to bicyclist nearside adult obstructed – CBNAO FCW) [35]

4.5.4 Test nárazu do bicykla AEB – príjazd sprava spoza prekážky (Car-to-bicyclist nearside adult obstructed – CBNAO AEB)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CBNAO je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT v intervale 25 – 60 km/h a BT 15 km/h. BT sa pohybuje v smere jazdy VUT. Pri ustálenej rýchlosti jazdy dôjde k zrážke VUT a BT v čelnej oblasti s 50 % prekrytím (bod A na Obr. 44). Tento scenár platí, ak nepríde k autonómnemu brzdeniu vozidla. V koridore jazdy VUT a BT sa nenachádzajú žiadne prekážky.



AEB Bicyclist	CBNA
Typ skúšky	AEB
Rýchlosť VUT [km/h]	25 – 60
Smer VUT	dopredu
Smer	pozdĺžny
BT rýchlosť [km/h]	15
Prekrytie [%]	50
Svetelné podmienky	deň

Obr. 45 Test nárazu do bicykla – príjazd sprava spoza prekážky (Car-to-bicyclist nearside adult obstructed – CBNAO FCW) [35]

4.6 Test nárazu vozidla do motocykla

4.6.1 Test nárazu do stojaceho motocykla (Car-to-Motorbike stationary – CMBs)

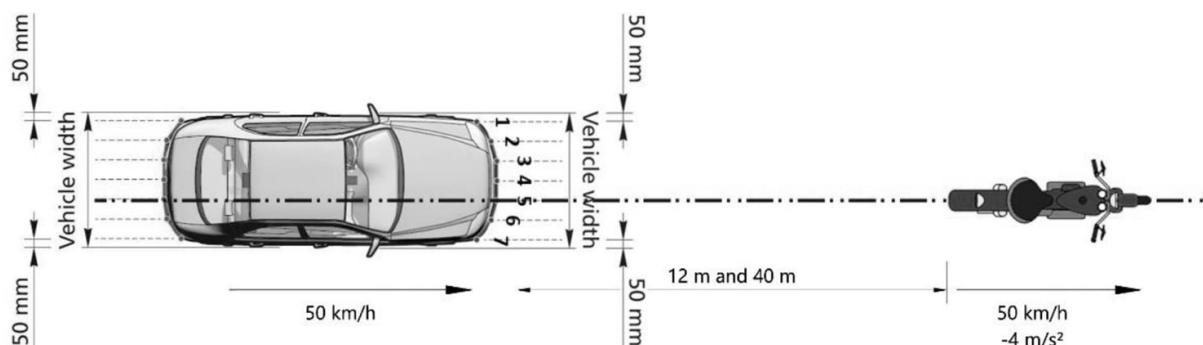
Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CMBs je kombináciou rýchlosti jazdy vozidla VUT (10 – 60 km/h) s prírastkom rýchlosti 10 km/h a prekrytia 50 %. Vozidlo GMT sa nepohybuje.



Obr. 46 Test nárazu do stojaceho motocykla (Car-to-Motorbike stationary – CMBs) [35]

4.6.2 Test nárazu do brzdiaceho motocykla (Car-to-Motorbike braking – CMBb)

Na účely testovania sa predpokladá priama dráha, ekvivalentná s osou jazdného pruhu, v ktorom došlo ku kolízii. Táto dráha sa označuje ako skúšobná dráha. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Scenár CMBb je kombináciou rýchlosti jazdy 50 km/h vozidiel VUT a GMT, medzi ktorými je vzdialenosť 12 m alebo 40 m. Pri ustálenej rýchlosti jazdy dôjde k brzdeniu GMT so spomalením 4 m/s^2 . Požadované spomalenie GMT sa dosiahne do 1,0 sekundy a potrvá až do momentu, keď sa vozidlo GMT pohybuje rýchlosťou 1 km/h. Prekrytie vozidiel je vyznačené na Obr. 47 v časti VUT, oblasť 5.

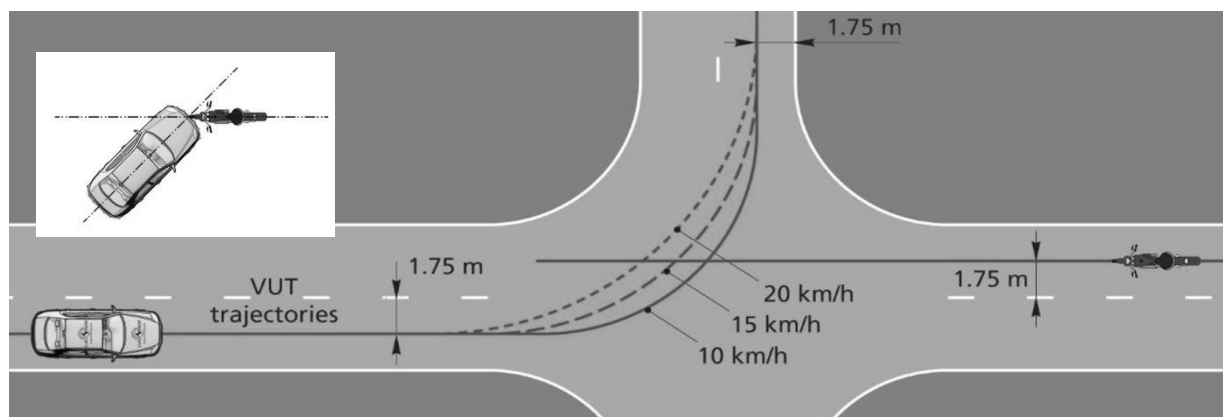


Obr. 47 Test nárazu do brzdiaceho motocykla (Car-to-Motorbike braking – CMBb) [35]

4.6.3 Test odbočovania cez koridor prichádzajúceho motocykla (Car-to-Motorbike Front turn-across-path – CMFtap)

Testovací scenár predpokladá jazdu VUT v priamom smere a s následným odbočovaním cez koridor prichádzajúceho motocykla. Predpokladaná pozícia v oblasti križovatky je znázornená na obrázku. Táto

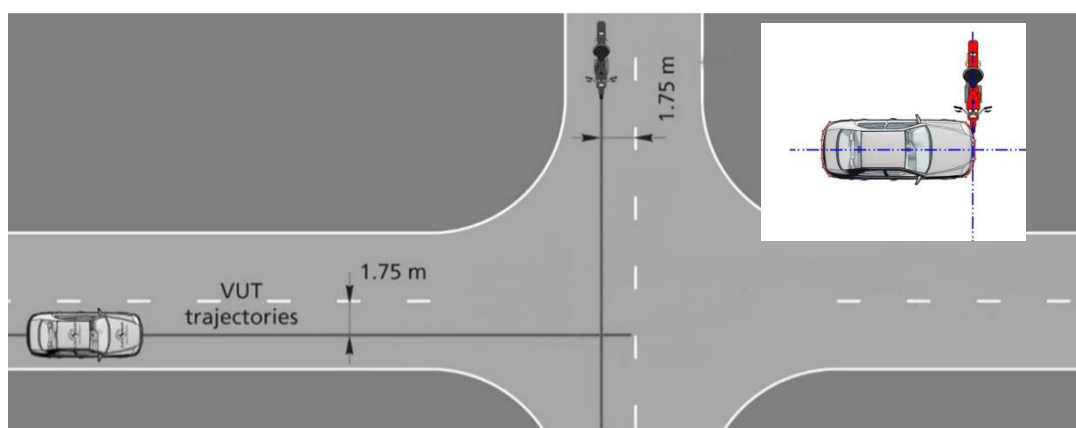
pozícia v čase zrážky vozidiel vychádza z jazdy vozidiel bez aktivácie asistenčného systému. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. So zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy VUT sa mení trajektória jazdy v oblúku. Pre testovacie scenáre sú definované tri trajektórie pre odbočovanie. Zmenu trajektórie v čase jazdy pri odbočovaní je možné definovať podľa obrázka (Obr. 48). Jednotlivé zmeny rádiusov sú rozpísané v tabuľke a závisia od rýchlosti jazdy VUT. Pre scenár sú definované kombinácie rýchlosti jazdy VUT 10, 15 a 20 km/h a GMT 30, 40 a 50 km/h. Jednotlivé zmeny rádiusov sú rozpísané v tabuľke a závisia od rýchlosti jazdy VUT. Pre scenár sú definované kombinácie rýchlosti jazdy VUT 10, 15 a 20 km/h a GMT 30, 40 a 50 km/h.



Obr. 48 Test odbočovania cez koridor prichádzajúceho motocykla (Car-to-Motorbike Front turn-across-path). [35]

4.6.4 Test odbočovania cez koridor motocykla zľava (Car-to-Motorbike Front cross-path-left – CMFscpl)

Testovací scenár predpokladá jazdu VUT v priamom smere s následným križovaním koridoru prichádzajúceho motocykla. Predpokladaná pozícia v oblasti križovatky je znázornená na obrázku (Obr. 49). Táto pozícia v čase zrážky vozidiel vychádza z jazdy vozidiel bez aktivácie asistenčného systému. Ovládanie VUT je možné pomocou vodiča alebo pomocou alternatívnych riadiacich systémov (robot), ktoré môžu podľa potreby riadiť vozidlo na vykonanie testov. Jednotlivé zmeny rádiusov sú rozpísané v tabuľke a závisia od rýchlosti jazdy VUT. Pre scenár sú definované kombinácie rýchlosti jazdy VUT 10, 15 a 20 km/h a GMT 30, 40 a 50 km/h.



Obr. 49 Test odbočovania cez koridor motocykla zľava (Car-to-Motorbike Front cross-path-left – CMFscpl) [35]

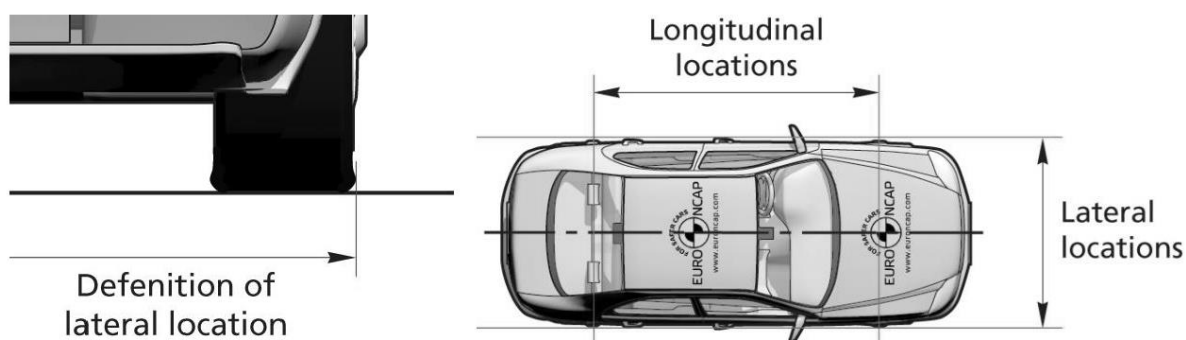
4.7 Test opustenia jazdného pruhu

Výjazd mimo jazdný pruh je jednou z hlavných príčin nehôd, ako sú opustenie vozovky a/alebo čelná dopravná nehoda. Implementáciou systémov bočnej podpory sa dá predísť značnému počtu týchto nehôd. Typické nehody sa zvyčajne stávajú v dôsledku neúmyselného opustenia jazdného pruhu, keď sa vodič pohybuje smerom k/cez čiaru identifikujúcu okraj jazdného pruhu. Vodič veľmi často nevie, že sa automobil nachádza v potenciálne nebezpečnej situácii, až kým nebude kritická. Situáciu rozpozná, až keď sú kolesá na tráve alebo štrku, na okraji cesty alebo v extrémnych prípadoch sa ocitne v dráhe prichádzajúcej alebo predbiehajúcej premávky. Toto náhle neskoré uvedomenie si vodiča môže vyvolať panickú reakciu. Vodič stratí kontrolu nad autom a často dôjde k zrážke. Závažnosť zranenia je zvyčajne vysoká, ale tomuto druhu nehody je relatívne ľahké sa vyhnúť pomocou systému bočnej podpory, čo vedie k potenciálne veľkým vylepšeniam bezpečnosti. Testovací protokol špecifikuje testovací postup systémov laterálnej podpory, ktoré sú súčasťou posúdenia bezpečnostného asistenta. Aby bolo vozidlo oprávnené získavať body za LSS, musí byť vybavené systémom ESC spĺňajúcim regulačné požiadavky.

Testované sú:

- núdzový asistent udržiavania v jazdnom pruhu (predvolené nastavenie ZAPNUTÉ),
- asistent udržiavania v jazdnom pruhu a výstraha pred vybočením z jazdného pruhu.

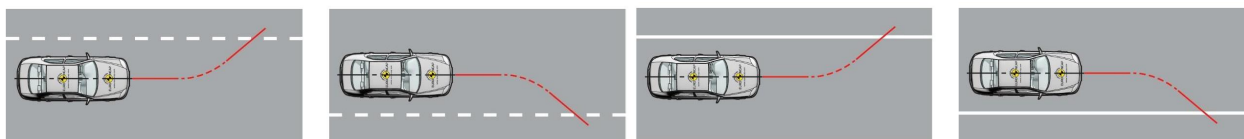
Na účely tohto skúšobného postupu musia byť rozmery vozidla predstavované dvojrozmerným polygónom, definovaným priečnymi a pozdĺžnymi rozmermi vzhľadom na ťažisko vozidla, pomocou štandardného súradnicového systému SAE. Rohy mnohoúhelníka sú definované priečnymi a pozdĺžnymi polohami, kde rovina vonkajšieho okraja každej pneumatiky prichádza do styku s vozovkou. Táto rovina je definovaná vedením kolmej čiary od najvzdialenejšieho okraja pneumatiky k zemi pri rázvore, ako je to znázornené na Obr. 50.



Obr. 50 Názorná definícia priečných a pozdĺžnych rozmerov vozidla [36]

4.7.1 Upozornenie na opustenie pruhu (Lane departure warning – LDW)

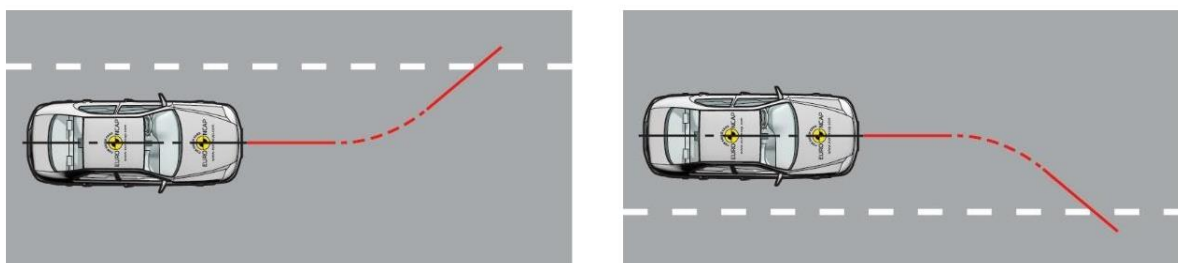
Základný systém, ktorý v kritickej situácii upozorní vodiča zvukovo alebo hapticky na riziko opustenia jazdného pruhu vyznačeného vodorovným dopravným značením. Vodorovné dopravné značenie je prerušovaná alebo súvislá čiara. Systém ako taký nekoriguje smer jazdy, len reaguje na riziko opustenia jazdného pruhu. Testy sa vykonávajú s prírastkom rýchlosti 0,1 m/s v rozsahu priečnej rýchlosti 0,2 až 0,5 m/s pri prejazdoch na strane vodiča aj spolujazdca. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h.



Obr. 51 Upozornenie na opustenie pruhu (Lane departure warning – LDW) [36]

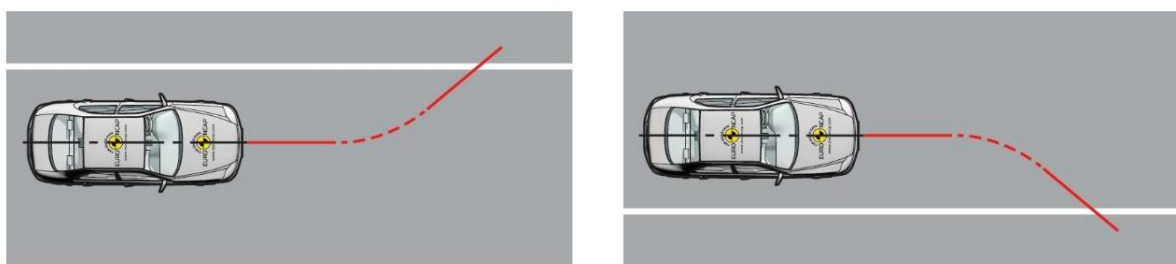
4.7.2 Asistent udržania v pruhu (Lane keep assist – LKA)

Test na prerušovanú čiaru (LKA Dashes line) – pokročilejší systém, ktorý v kritickej situácii upozorní vodiča zvukovo alebo hapticky na riziko opustenia jazdného pruhu vyznačeného vodorovným dopravným značením. Vodorovné dopravné značenie je prerušované. Ak vodič nezasiahne do riadenia, vozidlo autonómne skoriguje smer jazdy tak, aby sa vozidlo vrátilo priebežného jazdného pruhu. Systém ako taký nekoriguje smer jazdy, len reaguje na riziko opustenia jazdného pruhu. Testy sa vykonávajú s prírastkom rýchlosti 0,1 m/s v rozsahu prieknej rýchlosti 0,2 až 0,5 m/s pri prejazdoch na strane vodiča aj spolujazdca. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h.



Obr. 52 Test na prerušovanú čiaru (LKA Dashes line) [36]

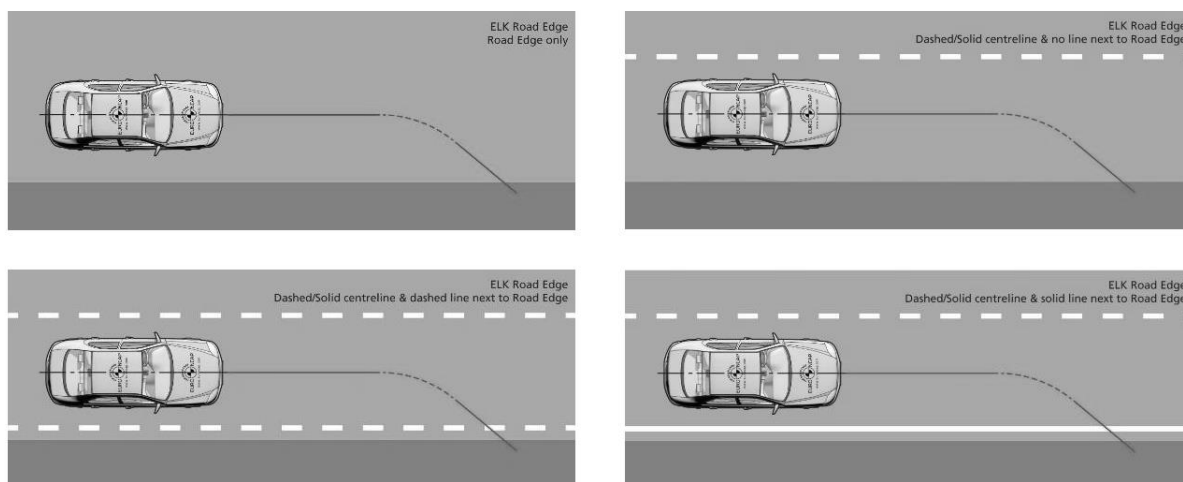
Test na plnú čiaru (LKA Solid line) – pokročilejší systém, ktorý v kritickej situácii upozorní vodiča zvukovo alebo hapticky, na riziko opustenia jazdného pruhu vyznačeného plným vodorovným dopravným značením. Ak vodič nezasiahne do riadenia, vozidlo autonómne skoriguje smer jazdy tak, aby sa vozidlo vrátilo do priebežného jazdného pruhu. Systém ako taký nekoriguje smer jazdy, len reaguje na riziko opustenia jazdného pruhu. Testy sa vykonávajú s prírastkom rýchlosti 0,1 m/s v rozsahu prieknej rýchlosti 0,2 až 0,5 m/s pri prejazdoch na strane vodiča aj spolujazdca. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h.



Obr. 53 Test na plnú čiaru (LKA Solid line) [36]

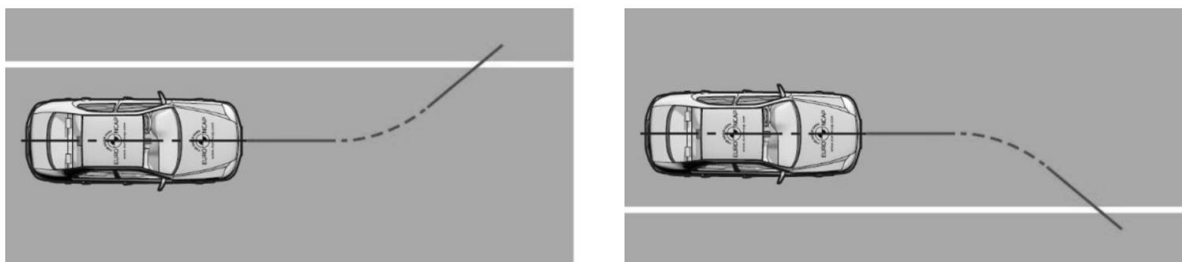
4.7.3 Núdzové udržanie v pruhu

Test na okraj vozovky (ELK Road Edge) sa vykoná s prírastkom rýchlosti 0,1 m/s v rozsahu prieknej rýchlosti 0,2 až 0,5 m/s iba pri prejazdoch na strane spolujazdca. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h. Pre testovacie scenáre platí jazda v jazdnom pruhu bez značenia vozovky, alebo je možné len stredové prerušované značenie, alebo prerušované stredové a prerušované na krajnici, alebo stredové prerušované značenie a plná krajnica.



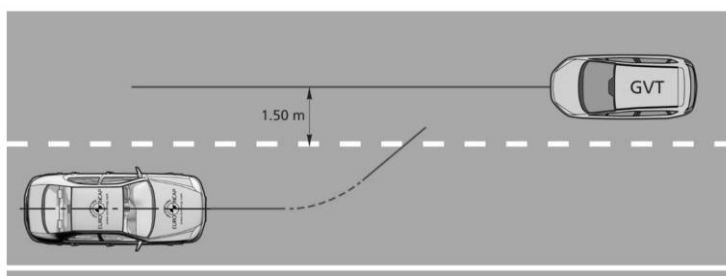
Obr. 54 Test na okraj vozovky – (ELK Road Edge) [36]

Test na plnú čiaru (ELK Solid Line) – testy sa vykonávajú s prírastkom rýchlosti jazdy vozidla 0,1 m/s v rozsahu priemernej rýchlosti 0,2 až 0,5 m/s. Test je na opustenie jazdného koridoru na oboch stranách vozidla v jednom jazdnom pruhu. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h.



Obr. 55 Test na plnú čiaru (ELK Solid Line) [36]

Test na prichádzajúce vozidlo (ELK oncoming vehicle) – pri teste na prichádzajúce vozidlo GVT pôjde po priamke v pruhu susediacom s východiskovou pozíciou VUT, v opačnom smere ako VUT. Priama dráha GVT bude 1,5 m od vnútornej strany stredového prerušovaného značenia jazdného pruhu VUT. Dráhy VUT a vozidla GVT sú synchronizované tak, aby sa predné hrany vozidla stretávali s bočnou polohou, ktorá poskytuje 10 % prekrytie (za predpokladu, že systém nereaguje) šírky VUT. Testy ELK protiidúceho vozidla na prichádzajúce sa vykonávajú s prírastkom rýchlosti 0,1 m/s v rozsahu priemernej rýchlosti 0,2 až 0,5 m/s. Test sa vykonáva iba pri prejazdoch na strane vodiča. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h.



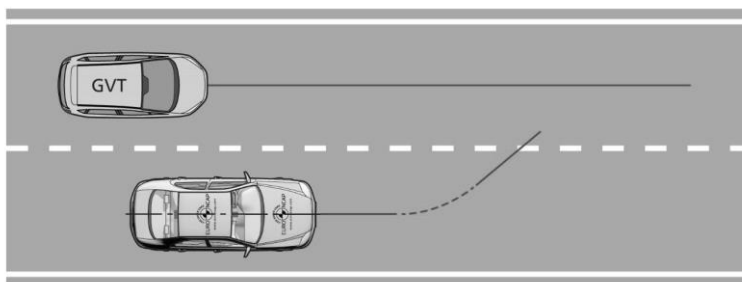
Obr. 56 Test na prichádzajúce vozidlo (ELK oncoming vehicle) [36]

Test na predbiehajúce vozidlo (ELK overtaking) – pre scenár predbiehania bude GVT nasledovať priamu cestu v jazdnom pruhu susediacom s východiskovou polohou VUT na strane vodiča, v rovnakom smere ako

VUT. Priama dráha cieľa bude 1,5 m od vnútornej strany stredového prerušovaného značenia jazdného pruhu. Dráhy VUT a vozidla GVT budú synchronizované tak, aby pozdĺžna poloha prednej hrany vozidla GVT bola rovnaká ako poloha zadnej nápravy VUT v bode nárazu (za predpokladu, že systém nereaguje). Skúšky predbiehania vozidla ELK sa vykonávajú s prírastkom rýchlosti 0,1 m/s v rozsahu pričnej rýchlosti 0,3 až 0,6 m/s pre neúmyselné zmeny jazdného pruhu a 0,5 až 0,7 m/s pre zámerné zmeny jazdného pruhu len na strane vodiča. Polomer vybočenia z jazdného koridoru je 1200 m pri rýchlosti jazdy 72 km/h.

Neúmyselné aj úmyselné zmeny jazdného pruhu sa testujú v dvoch situáciách:

- GVT a VUT sa pohybujú rovnakou rýchlosťou (bez relatívnej rýchlosti),
- GVT jazdiace rýchlosťou 80 km/h predbieha VUT s rýchlosťou 72 km/h (relatívna rýchlosť 8 km/h).



Obr. 57 Test na predbiehajúce vozidlo (ELK overtaking) [36]

5 Hodnotenie priebehu testov aktívnej bezpečnosti vozidiel

Na rozdiel od posúdenia ochrany posádky v prípade nárazu si posúdenie funkcií prvkov bezpečnostných asistentov nevyžaduje deštruktívne testovanie vozidla. Posúdenie funkcií prvkov bezpečnostných asistentov je založené na výkonnostných požiadavkách overených Euro NCAP. Zámerom je podporiť štandardné vybavenie celého objemu automobilov predaných v Európskom spoločenstve v kombinácii s dobrou funkčnosťou týchto systémov.

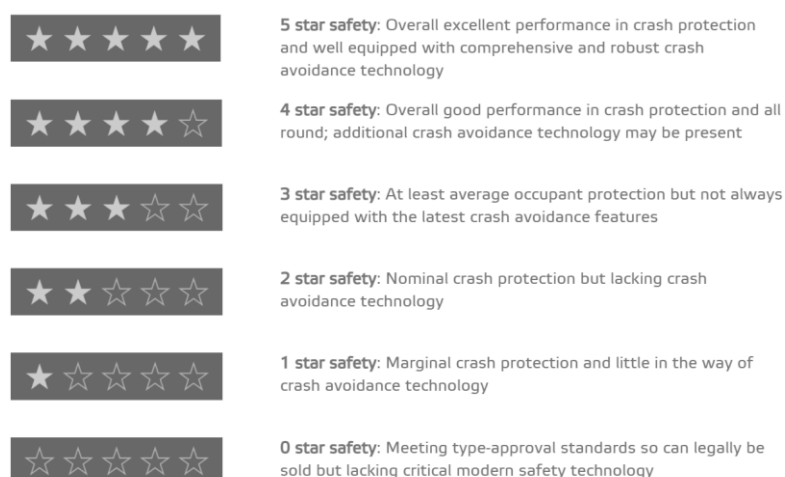
Je dôležité poznamenať, že Euro NCAP zohľadňuje iba hodnotenie bezpečnostných asistenčných systémov, ktoré spĺňajú požiadavky na vybavenie základného bezpečnostného vybavenia alebo dvojité hodnotenie (ako je definované v protokole o špecifikácii, výbere, testovaní a opätovnom testovaní vozidla). Na účely posúdenia výkonu systémov pripomenutia bezpečnostných pásov a rýchlostných asistenčných systémov je automobil podrobený množstvu skúšobných postupov, určených na zvýraznenie účinnosti týchto systémov. Výkon vozidla sa hodnotí na základe pozorovaní inšpektora počas jazdy.

Hodnotenie týchto systémov predpokladá stimul pre systémy monitorovania vodičov, ktoré účinne detegujú narušenú a rozptýlenú jazdu, vydávajú príslušné varovania a prijímajú účinné opatrenia, napr. začatie bezpečného únikového manévru, zvýšenie citlivosti elektronickej kontroly stability, podpora v jazdných pruhoch, rýchlosti atď. Implementácia do celkového hodnotenia je plánovaná vo fázach, počnúc systémami, ktoré už vstúpili na trh. Posúdenie sa odvíja od toho, ako spoľahlivo a presne sa zistí stav vodiča a aké kroky podnikne vozidlo na základe týchto informácií. Do budúcich iterácií protokolu by sa mohli pridať ďalšie aspekty, ako napríklad sledovanie polohy vodiča.

5.1 Závislosť závažnosti zranenia od hodnotenia vozidla Euro NCAP

Euro NCAP je dobrovoľný systém hodnotenia bezpečnosti vozidiel, ktorý vytvorila Švédska správa ciest, Fédération Internationale de l'Automobile a International Consumer Research & Testing, podporovaná 14 členmi a motoristickými a spotrebiteľskými organizáciami vo viacerých krajinách EÚ. Systém hodnotenia poskytuje európskym spotrebiteľom informácie o bezpečnosti osobných vozidiel. Tento program vychádza z programu posudzovania nových automobilov zavedeného v roku 1979 americkým Národným úradom pre bezpečnosť cestnej premávky. EURO NCAP zverejňuje bezpečnostné správy o nových automobiloch a udeľujú „hviezdičkové hodnotenia“ na základe výkonu vozidiel v rôznych nárazových testoch vrátane nárazov spredu, z boku, do stĺpu, nárazov s chodcami, testovania aktívnej bezpečnosti a ďalších. Opis hviezdičkového hodnotenia pre bežného užívateľa je uvedený v obr. 58.

Testovanie nie je povinné, modely vozidiel si buď nezávisle vyberá Euro NCAP, alebo testy sponzorujú výrobcovia. V Európe sú nové vozidlá certifikované ako legálne na predaj v rámci režimu schvaľovania typu celého vozidla, ktorý sa líši od režimu Euro NCAP. Podľa Euro NCAP „nárazové testy čelného a bočného nárazu používané Euro NCAP vychádzajú z tých, ktoré sa používajú v európskych právnych predpisoch. Euro NCAP však používa oveľa vyššie výkonnostné požiadavky.“ Euro NCAP tiež uvádza, že „legislatíva stanovuje minimálnu povinnú normu, zatiaľ čo Euro NCAP sa zameriava na najlepšiu možnú súčasnú prax.“ Pokrok v oblasti právnych predpisov o bezpečnosti vozidiel môže byť pomalý najmä preto, že je potrebné zohľadniť názory všetkých členských štátov EÚ. Po zavedení právne predpisy neposkytujú žiadny ďalší stimul na zlepšenie, zatiaľ čo Euro NCAP poskytuje trvalý stimul pravidelným zdokonaľovaním svojich postupov posudzovania s cieľom stimulovať ďalšie zlepšovanie bezpečnosti vozidiel.



Obr. 58 Všeobecný opis hodnotenia hviezdami v teste EURO NCAP [37]

Pred zavedením Euro NCAP mali kupujúci málo informácií o tom, či je jedno auto bezpečnejšie ako druhé. Spojené kráľovstvo v tom čase vyžadovalo iba čelný nárazový test v rýchlosti 48 km/h (30 mph). Prvé hodnotenia skupiny najpredávanejších vozidiel boli zverejnené v roku 1997, odvtedy Euro NCAP otestovalo viac ako 1 800 nových automobilov, zverejnilo viac ako 600 hodnotení, pomohlo zachrániť viac ako 78 000 životov v Európe a povzbudilo výrobcov k výrobe bezpečnejších automobilov. Výsledkom Euro NCAP je, že v priebehu rokov sa automobily európskych výrobcov stali oveľa bezpečnejšími. [38]

V priebehu prvých rokov testovania bol bežným výsledkom testu Euro NCAP rating vozidla s jednou alebo dvomi hviezdami. V roku 1997 bolo 30 % testovaných vozidiel ohodnotených jednou hviezdou a 70 % vozidiel získalo hodnotenie dvoch hviezd. O 10 rokov neskôr sa distribúcia hodnotiacich hviezd prerozdělila a už len 13 % testovaných vozidiel získalo jednu hviezdu, 65 % vozidiel získalo dve hviezdy a až 19 % vozidiel dosiahlo rating troch hviezd. (*Euro NCAP, 2008*). Tabuľka 10 zobrazuje koreláciu medzi ratingom vozidla z testu Euro NCAP a závažnosťou zranenia AIS. Pri vozidlách s ratingom dvoch hviezd vo vzťahu k ochrane chodcov došlo k poklesu zranení AIS 2+ o 17 %, a k výraznému poklesu AIS 3+ o 28 % voči vozidlám, ktoré boli hodnotené len jednou hviezdou. Štúdia obsahovala 1664 prípadov dopravných nehôd. V 376 prípadoch z celkového počtu nedošlo k zraneniu chodca pri strete s vozidlom s ratingom jednej hviezdy a až v 745 prípadoch nedošlo k zraneniam chodca pri strete s vozidlom s ratingom dvoch hviezd. [39]

Tabuľka 10

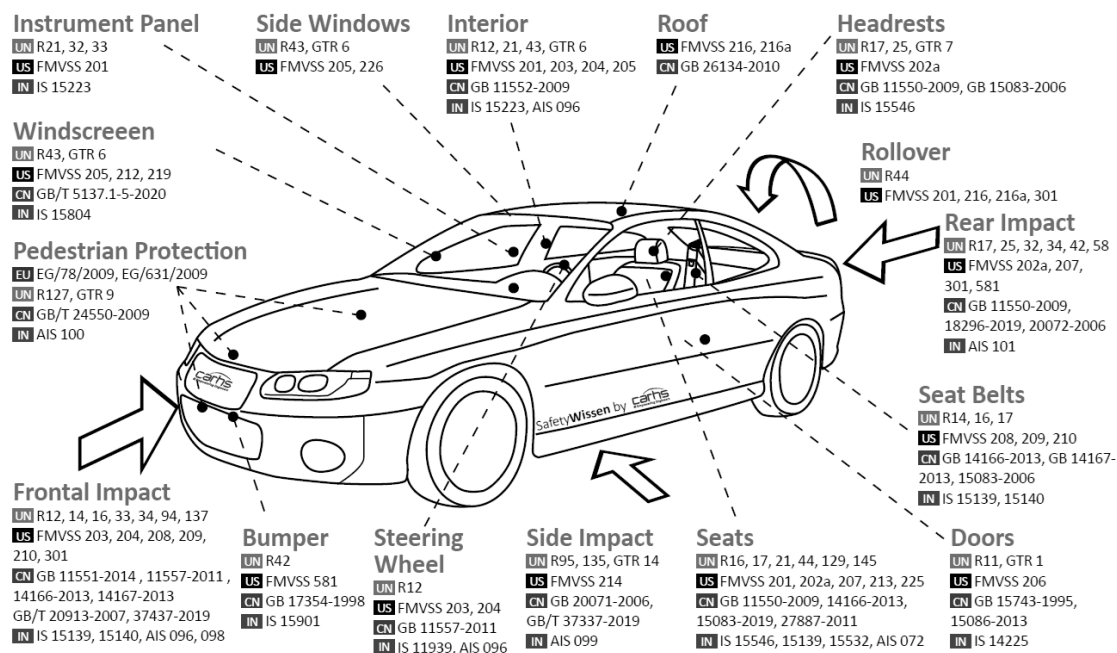
Prehľad poklesu zranení chodcov v závislosti na hodnotení vozidla [39]

	1 hviezda	2 hviezdy	Medzisegmentový diferenciál
Priemerné bodové hodnotenie ochrany chodcov Euro NCAP	6,24	13,84	+7,60
Bez zranenia	376	745	+369
AIS2+	45,7 %	37,9 %	-17 %
AIS3+	13,8 %	9,9 %	-28 %

Roku 1990 sa ukončil výskum a vznikol komplexný návrh na testovanie pasívnej bezpečnosti osobných motorových vozidiel. Testovací proces zahŕňal okrem iného aj test subkomponentov na posúdenie ochrany chodcov pri čelnej zrážke. V roku 1994 EECV odporučila implementovať testovaciu procedúru do európskej legislatívy. Na základe odporúčania EECV adaptovať testovací proces do európskej legislatívy

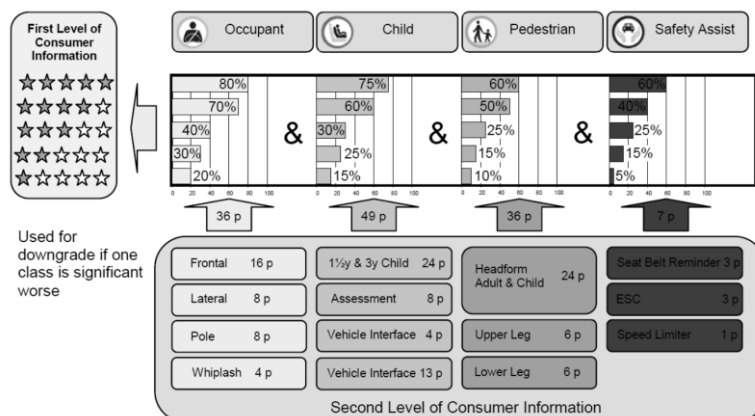
odporučila Transport and Research Laboratory (TRL) Ministerstvu dopravy Veľkej Británie začať testovací proces NCAP na území krajiny a neskôr ho rozšíriť do celej Európy. [34]

Crash-Regulations: Europe, United Nations, USA, China and India



Obr. 59 Prehľad noriem zameraných na testovanie bezpečnosti chodcov a posádky vozidla [34]

Základnou informáciou pre koncového užívateľa vozidla je počet hviezd, ktoré na základe vykonaných testov Euro NCAP prideliť vozidlu po teste. Hodnotiaci škála sa pohybuje od 1 hviezdy s najnižším možným hodnotením až po 5 hviezd (pozri Obr. 60). Na získanie hodnotenia 5 hviezd sa váhovo na hodnotení podieľa ochrana posádky vo vozidle 50 percentami, ochrana chodcov 20 percentami, ochrana detí 20 percentami a bezpečnostní asistenti vo vozidle 10 percentami. Okrem bilančných kritérií sa zaisťuje taktiež výkonnosť v každom poli danej kategórie. Napríklad v ochrane chodcov je potrebné získať 21 bodov (60 % z 36 bodov), aby vozidlo vyhovelo hodnoteniu 5 hviezd. Samotná hodnotiaci kategória ochrany chodcov obsahuje tri podkategórie. Impakt test hlava dospelého a dieťaťa (Head form adult&child), impakt test oblasť stehennej kosti a panvy (upper leg) a impakt test oblasť kolena a holenná kosť (lower leg). Odhaduje sa, že kategória vozidiel s 5 hviezdami Euro NCAP má o 36 % nižšie riziko fatálnej dopravnej nehody s chodcom ako vozidlo, ktoré podlieha len EC 78/2009. [40]



Obr. 60 Príklad hodnotenia Euro NCAP [6]

S rastúcim tlakom na bezpečnosť chodcov prichádza k vývoju nových prvkov aktívnej a pasívnej bezpečnosti na zlepšenie výsledkov v teste a možného hodnotenia vozidla. V prípade pasívnej ochrany chodcov ide o konštrukčné riešenie typu pop-up kapota, airbag pre chodcov a do budúcnosti zvažovaný pohyblivý predný nárazník.

5.2 Hodnotenie testov car-to-car

Pri hodnotení systémov AEB Car-to-Car sa berú do úvahy tri oblasti hodnotenia: funkcia autonómneho núdzového brzdenia, funkcia varovania pred čelnou kolíziou a rozhranie človek – stroj (HMI). Funkcie AEB a FCW sa hodnotia v troch rôznych typoch scenárov. O funkcii FCW sa uvažuje, iba ak systém poskytuje dynamickú podporu bŕzd.

Aby bol systém AEB alebo FCW spôsobilý na získavanie bodov v AEB Car-to-Car, musí platiť:

- Systém sa nesmie automaticky vypnúť pri rýchlosti nižšej ako 130 km/h a mal by mať podobný výkon pri rovnakých relatívnych rýchlostiach, aké sú testované v scenároch CCRs, CCRm a CCRb. Napríklad ak sa systém vyhne nárazu v scenári CCRm 80 – 20 km/h, mal by sa vyhnúť aj nárazom v scenári 130 – 70 km/h.
- Na začiatku každej cesty musí byť predvolené ZAPNUTÉ a deaktivácia systému by nemala byť možná jediným krátkym stlačením tlačidla.
- Ak je to možné, zvukové varovanie FCW musí byť hlasné a jasné.

Okrem toho sa za scenár AEB CCR (predtým nazývaný AEB City) udeľujú body, iba ak sú splnené nasledujúce predpoklady:

- Skóre Whiplash na prednom sedadle je minimálne hodnotené ako „dobré“.
- Je potrebné dosiahnuť úplné vylúčenie všetkých situácií prekryvania pri skúšobných rýchlostiach do 20 km/h vrátane, čo sa overuje jedným náhodne vybraným skúšobným bodom.

Pri testoch systému AEB aj FCW sa používajú hodnotiace kritériá *relatívna rýchlosť nárazu* V_{rel_impact} .

Pre scenáre CCRb sa predpokladá, že relatívna skúšobná rýchlosť sa rovná počiatočnej skúšobnej rýchlosti. Pre AEB/AES CCR je k dispozícii maximálne 3,5 bodu. Bodovanie je založené na normalizovanom skóre funkcií AEB a FCW/AES hodnotených v scenároch CCRs, CCRm a CCRb. Pre scenáre CCR a CCRm sa celkové skóre pre všetky päť bodov mriežky za testovaciu rýchlosť počíta ako percento maximálneho dosiahnuteľného skóre za testovaciu rýchlosť, ktoré sa potom vynásobí bodmi dostupnými pre túto testovaciu rýchlosť.

Pre každú predpovedanú farbu sa na bod mriežky použije nasledujúca zmena mierky:

Zelená	1,000
Žltá	0,750
Oranžová	0,500
Hnedá	0,250
Červená	0,000

Tabuľka 11

Body dostupné pre rôzne polia mriežky CCR [41]

Test speed	AEB			FCW		
	CCRs	CCRm	CCRB	CCRs	CCRm	CCRB
10 km/h	1,00					
15 km/h	2,00					
20 km/h	2,00					
25 km/h	2,00					
30 km/h	2,00	1,00		2,00		
35 km/h	2,00	1,00		2,00		
40 km/h	1,00	1,00		2,00		
45 km/h	1,00	1,00		2,00		
50 km/h	1,00	1,00	4 x 1,00	3,00	1,00	4 x 1,00
55 km/h		1,00		2,00	1,00	
60 km/h		1,00		1,00	1,00	
65 km/h		2,00		1,00	2,00	
70 km/h		2,00		1,00	2,00	
75 km/h		2,00		1,00	2,00	
80 km/h		2,00		1,00	2,00	
TOTAL	14,00	15,00	4,00	18,00	11,00	4,00
System points	2,00			1,50		

Pre AEB CCFtap sú k dispozícii maximálne 2 body. Normalizované skóre sa počíta na základe počtu scenárov (9), pri ktorých sa vozidlo samo vyhlo zrážke. Toto normalizované skóre sa vynásobí dostupnými bodmi pre CCFtap.

Tabuľka 12

Body dostupné pre CCFtap [41]

Test speed	CCFtap		
	GVT @ 30 km/h	GVT @ 45 km/h	GVT @ 55 km/h
10 km/h	1,000	1,000	1,000
15 km/h	1,000	1,000	1,000
20 km/h	1	1,000	1,000
TOTAL	9,000		
Scenario points	2,000		

Rozhranie človek – stroj (Human Machine Interface HMI)

Pre HMI je k dispozícii maximálne 0,5 bodu. Body je možné dosiahnuť za:

- Dodatočné varovanie pre systém FCW: 1 bod
 - Okrem požadovaného audiovizuálneho varovania sa pri jeho vydaní pri $TTC > 1,2$ s udeľuje aj sofistikovanejšie varovanie, ako je head-up displej, trhanie v bezpečnostnom páse, pulzovanie v brzdovom pedáli alebo akákoľvek iná haptická spätná väzba. Platí to iba pre prípady, keď systém AEB nie je schopný úplne sa vyhnúť vplyvu pri úplnom prekrytí.
- Reverzibilné predpätie pásu v prednázrazovej fáze: 1 bod

- Keď systém zaznamená kritickú situáciu, ktorá by mohla viesť k zrážke, môže byť pás už predpnutý, aby sa pripravil na prichádzajúci náraz.

Celkové skóre AEB Car-to-Car

Celkové skóre v bodoch je váženým súčtom skóre CCR pre AEB a FCW, skóre CCFtap a skóre HMI, ako je uvedené nižšie.

$$\begin{aligned}
 & (CCR \text{ AEB skóre} \times CCR \text{ AEB korekčný faktor} \times 2,0) \\
 & + (CCR \text{ FCW skóre} \times CCR \text{ FCW korekčný faktor} \times 1,5) \\
 & + (CCFtap \text{ skóre} \times 2,0) \\
 & + (HMI \text{ skóre} \times 0,5) \\
 & \hline
 & \text{Celkové skóre AEB car to car}
 \end{aligned}$$

Tabuľka 13

Vzorový príklad hodnotenia [41]

AEB Car-to-Car	Body	Korekčný faktor	Percento	Skóre
CCR AEB			91,0 %	1,820
CCRs	13,750	1,026	100 %	
CCRm	14,334	1,026	98,0 %	
CCRB	3,000		75,0 %	
CCR FCW			84,9 %	1,274
CCRs	11,950	1,016	82,8 %	
CCRm	10,5	1,016	97,0 %	
CCRB	3,000	-	75,0 %	
CCFtap	5,000		55,6 %	1,112
HMI	1,000		50 %	0,250
TOTAL	4.456			

Tabuľka 14

Farebný verdikt použitý pre celkové skóre za čiastkové skóre [41]

Farba	Verdikt	Skóre	Úspešnosť v scenároch
Zelená	Dobre	4,501 – 6 000	75 – 100
Žltá	adekvátne	3,001 – 4,500	50 – 75
Oranžová	marginálne	1,501 – 3 000	25 – 50
Hnedá	Slabé	0,001 – 1 500	0 – 25
Červená	Biedne	0	0

5.3 Hodnotenie lane support systems

5.3.1 Asistent varovania opustenia pruhu (Lane Keep Assist – LKA)

Pri testoch systému LKA sa používajú hodnotiace kritériá *vzdialenosť od okraja jazdného pruhu* (DTLE). Limitná hodnota pre DTLE pre skúšky LKA je nastavená na -0,3 m, čo znamená, že systém LKA nesmie umožniť VUT prekročiť vnútorný okraj označenia jazdného pruhu o vzdialenosť väčšiu ako 0,3 m. Dostupné body za test sa udeľujú na základe výsledku vyhovenia/nevyhovenia, pričom všetky testy v rámci

scenáru a kombinácie dopravného značenia musia byť vyhovujúce. Body dostupné pre rôzne scenáre LKA a kombinácie dopravného značenia sú podrobne uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 15

Prehľad hodnotenie LKA testu [41]

LKA scenár	Druh značenia	Body
Prerušovaná čiara	Jedna čiara	0,25
Plná čiara	Jedna čiara	0,25
Skóre celkom		0,50

5.3.2 Núdzové udržiavanie v jazdnom pruhu (Emergency Lane Keeping – ELK)

Od roku 2020 musí byť ELK časť systému LSS štandardne zapnutá na začiatku každej cesty, aby mohla bodovať v ELK, a deaktivácia systému by nemala byť možná okamžitým stlačením tlačidla. Pri testoch ELK Road Edge a Solid Line sa používajú hodnotiace kritériá *vzdialenosť od okraja pruhu* (DTLE). Limitná hodnota pre DTLE pre testy ELK Road Edge je nastavená na -0,1 m, čo znamená, že vozidlo môže mať iba časť predného kolesa mimo okraja vozovky. Limitná hodnota pre DTLE pre testy ELK – *Plná čiara* je nastavená na -0,3 m, čo znamená, že systém ELK nesmie umožniť VUT prekročiť vnútorný okraj označenia jazdného pruhu o vzdialenosť väčšiu ako 0,3 m. Pri skúškach ELK s protiúdúcimi a predbiehajúcimi vozidlami nie sú použité hodnotiacimi kritériami „Žiadny vplyv“, čo znamená, že VUT nesmie počas skúšky nikdy prísť do styku s cieľom predbiehania alebo s protiúdcim vozidlom. Dostupné body za test sa udeľujú na základe výsledku vyhovet/nevyhovet, pričom všetky testy v rámci scenára a kombinácie dopravného značenia musia byť vyhovujúce. Body dostupné pre rôzne scenáre ELK a kombinácie dopravného značenia sú podrobne uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 16

Prehľad hodnotenia ELK testu [41]

ELK scenár	Cestné značenie	Body
Krajnica	Len krajnica	0,25
	Prerušovaná stredová čiara a žiadna čiara pri okraji vozovky	0,25
	Prerušovaná stredová čiara a prerušovaná čiara pri okraji vozovky	0,25
	Prerušovaná stredová čiara a plná čiara pri okraji vozovky	0,25
Plná čiara	Plná čiara	0,5
Prichádzajúce vozidlo	Označená krajnica a stredová čiara	1
Obiehajúce vozidlo	Označená krajnica a stredová čiara	0,5
TOTAL		3

5.3.3 Human Machine Interface (HMI)

V predmetnom teste je maximálne možné dosiahnuť 0,50 bodu za jednu z nasledujúcich možností:

- Varovanie pred vybočením z jazdného pruhu: 0,50 bodu
 - Body sa udeľujú za akýkoľvek systém LDW, ktorý vydá haptické varovanie pred DTLE vo vzdialenosti -0,2 m. Systém musí byť aktívny pri priečnej rýchlosti najmenej 0,7 m/s.
- Monitorovanie mŕtveho uhla: 0,50 bodu

- Body sa udeľujú, ak je vozidlo navyše vybavené systémom monitorovania mŕtveho uhla na oboch stranách vozidla. Tento systém má varovať vodiča pred ostatnými vozidlami prítomnými v mŕtvom uhle.

5.4 Hodnotenie AEB cyklista

Pre test AEB cyklista je k dispozícii maximálne 9 bodov. Pre každý scenár sa vypočíta normalizované skóre a vynásobí sa dostupnými bodmi pre tento konkrétny scenár. Tabuľka 17 opisuje možné bodové hodnotenie pre rôzne rýchlosti pre každý scenár AEB.

Tabuľka 17

Bodové hodnotenie testu AEB cyklista [42]

Testovacia rýchlosť	CBFA	CBNA	CBNAO	CBLA	
10 km/h	1,000	1,000	1,000		
15 km/h	1,000	1,000	1,000		
20 km/h	1,000	1,000	1,000		
25 km/h	1,000	1,000	1,000	1,000	
30 km/h	1,000	1,000	1,000	1,000	
35 km/h	1,000	1,000	1,000	2,000	
40 km/h	1,000	1,000	1,000	2,000	
45 km/h	1,000	1,000	1,000	3,000	
50 km/h	1,000	1,000	1,000	3,000	3,000
55 km/h	1,000	1,000	1,000	3,000	3,000
60 km/h	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
65 km/h					1,000
70 km/h					1,000
75 km/h					1,000
80 km/h					1,000
celkom	11,000	11,000	11,000	27,000	
Body za scenár	3,000	1,500	1,500	3,000	

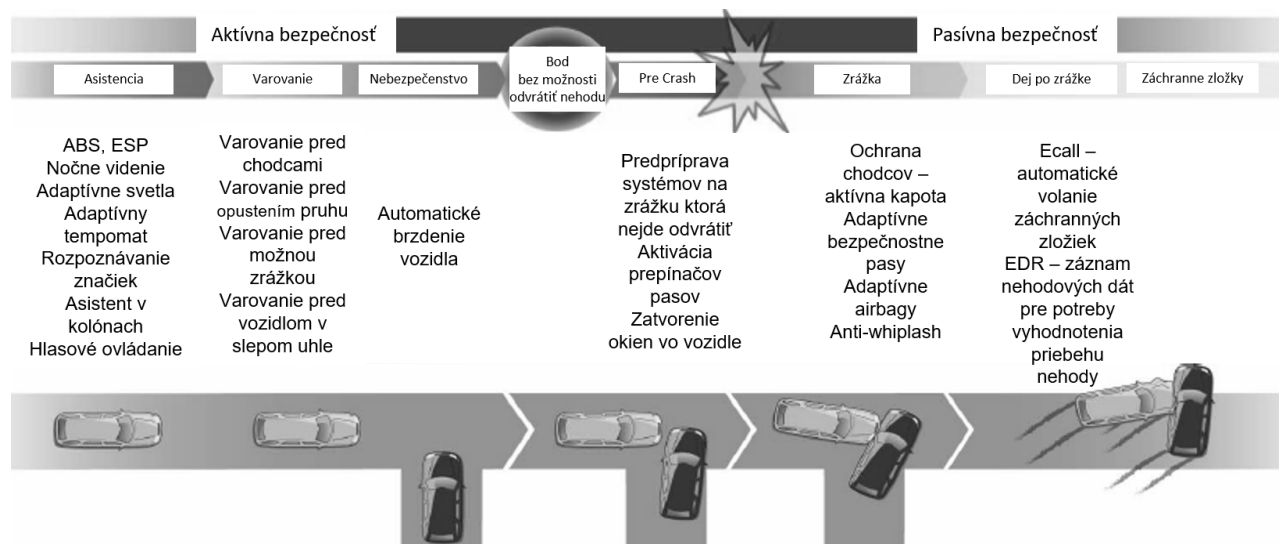
Tabuľka 18

Príklad hodnotenia [42]

AEB Bicyclist	Denné podmienky		
	Body	Percento	Skóre
CBFA	6,562	59,7 %	1,791
CBNA	11,000	100,0 %	1,500
CBNAO	5,779	52,5 %	0,788
CBLA	27,000	100 %	3,000
celkom	7,079		

6 Pasívna bezpečnosť

Ako pasívnu bezpečnosť je možné pri nehodovej situácii označovať dej od momentu prvého kontaktu vozidla s iným objektom. V súčasných vozidlách, ktoré sú vybavené kamerovým systémom, respektíve prvkami aktívnej bezpečnosti, sa už pred samotnou zrážkou vykoná predpríprava vozidla na zrážku.



Obr. 61 Prehľad vyčlenenia aktívnej a pasívnej bezpečnosti [43]

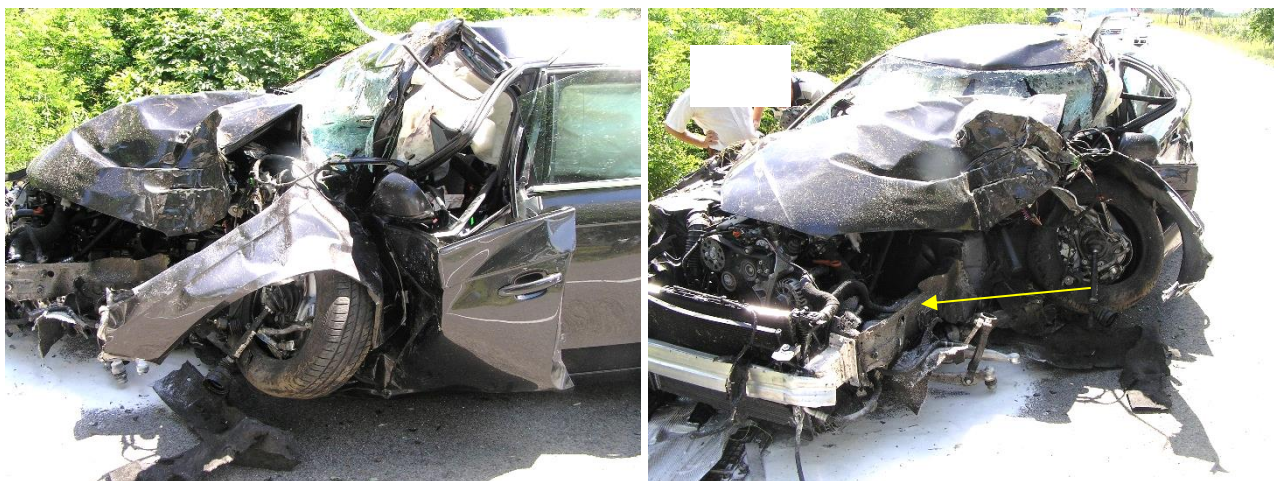
Ako už bolo spomínané, funkciou pasívnej bezpečnosti je systém, ktorý nevykonáva žiadnu prácu, kým nedôjde k zrážke vozidla s iným objektom. Tieto funkcie sa aktivujú počas nehody a pracujú na minimalizácii škôd a znížení rizika zranenia počas nárazu. Týmto systémami sú bezpečnostné pásy, airbagy a konštrukcia vozidla. Tieto zariadenia sa automaticky aktivujú, keď vozidlo narazí. Na rozdiel od toho aktívny bezpečnostný systém pracuje tak, aby zabránil nehode. Aktívne bezpečnostné systémy zostávajú aktívne vždy, keď šoférujete, a nepretržite pracujú na tom, aby ste predišli nehode. Väčšina prvkov aktívnej bezpečnosti je elektronických a ovládaných počítačom. Zahŕňajú kontrolu trakcie, elektronickú kontrolu stability a brzdomové systémy. Patria sem aj pokročilé asistenčné systémy vodiča, ktoré spolu s adaptívnym tempomatom využívajú senzory ako varovanie pred kolíziou dopredu a varovanie pred opustením jazdného pruhu.

- Airbagy sú vankúše, ktoré sa pri náraze mimoriadne rýchlo nafúknu (a následne vypustia), aby chránili cestujúcich počas kolízie. Počas nárazu vytvoria medzi cestujúcimi a interiérom vozidla mäkkú oblasť na spomalenie či zadržanie hybnosti tela v dôsledku nárazu. Airbag tak môže zranenia zmierniť alebo dokonca im zabrániť.
- Bezpečnostné pásy sú zadržiavacie systémy, ktoré udržiavajú cestujúcich v správnej polohe počas nehody alebo náhleho zastavenia, čím znižujú vplyv vnútorného priestoru vozidla na telo a zabraňujú vyvrhnutiu osôb z vozidla. Bezpečnostné pásy sa od svojho prvého uvedenia na trh významne vyvinuli. Dnešné bezpečnostné pásy majú predpínače, ktoré sa pri náraze utiahnu takmer okamžite, aby sa zabránilo nadmernému trhnutiu cestujúcich.
- Deformačné zóny, známe tiež ako nárazové zóny, riadeným spôsobom odoberajú kinetickú energiu nárazu. To sa deje prostredníctvom špeciálne navrhnutých oblastí vozidla, ktoré sa počas nehody deformujú tak, aby absorbovali náraz.

Osobné automobily sa za posledné roky stali oveľa bezpečnejšími, a to aj vďaka komplexnému spotrebiteľskému testovaciemu programu. Vozidlá vyhovujú väčšine požiadaviek štandardných nárazových konfigurácií Euro NCAP. Čelný náraz Euro NCAP hodnotí potenciál vlastnej ochrany vozidla za predpokladu, že pri náraze je ideálne zasiahnutá nosná konštrukcia.

Dopravné nehody jedného vozidla tvoria viac ako 50 % úmrtí na cestách. Nehodové údaje ADAC však ukazujú, že ťažké zranenia môžu byť spôsobené skutočnosťou, že nedôjde k stretu nosných konštrukcií vozidiel. Na zaistenie optimálnej ochrany pred nehodou je nevyhnutné, aby vozidlá pri zrážke narazili do nosnej konštrukcie a následne aby deformačná zóna absorbovala energiu, zatiaľ čo kabína s posádkou zostáva stabilná. Údaje z výskumov ADAC však ukazujú, že to neplatí vždy. Pri mnohých kolíziách nastáva situácia, že pozdĺžny nosník nie je zasiahnutý (Obr. 62), alebo sa priečny nosník oddelí od rámu. V takom prípade sa deformačná zóna vozidla nedá využiť naplno a dochádza k nadmernej deformácii kabíny. Takáto deformácia vozidla znižuje priestor na prežitie pre posádku, čo znamená, že zadržiavacie systémy nezabránia cestujúcim v náraze do volantu alebo palubnej dosky a dochádza tak k ťažkým zraneniam.

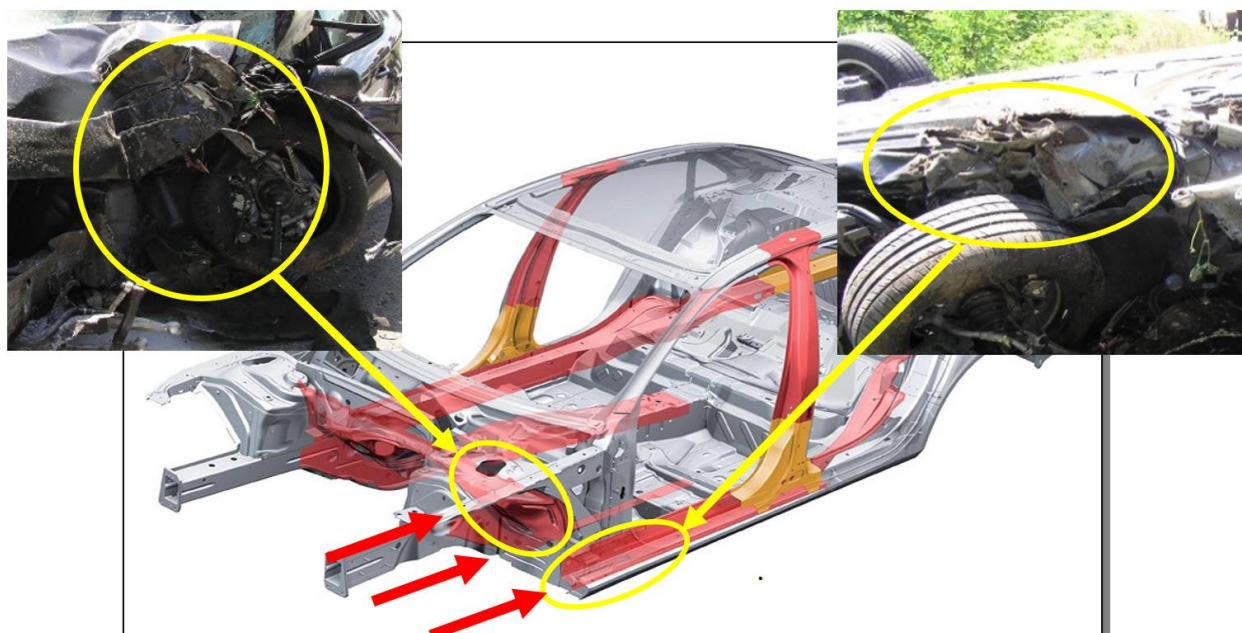
Na obrázku (Obr. 62) je zrejme hlavne poškodenie ľavej prednej časti vozidla. Značná hĺbka deformácie nasvedčuje tomu, že vozidlo narazilo ľavou prednou časťou do tuhého telesa, ktoré postupne prenikalo najprv časťou vozidla, v ktorej sa nenachádzajú hlavné deformačné prvky. Z obrázka je zrejme, že priečna výstuha a pozdĺžnik sú minimálne poškodené. Tieto prvky pasívnej bezpečnosti majú pri čelnom náraze pohlcovať rázovú silu pôsobiacu na vozidlo. V tomto prípade na ne rázová sila nepôsobila. Pri pohľade na vozidlo Audi z jeho ľavej strany je zrejme, aká značná deformácia na vozidle vznikla. Medzi významné prvky pasívnej bezpečnosti patria aj A-stĺpik a dvere. Pri pohľade na obrázok je zrejme, že došlo k totálnej deštrukcii týchto komponentov. Pri vznikajúcej deformácii sa zavesenie pravého predného kolesa odtrhlo a následne natlačilo na skelet karosérie.



Obr. 62 Poškodenie vozidla Audi – minimálne poškodený priečnik a pozdĺžny nosník [43]

Predmetné vozidlo sa dá považovať za vozidlo prémiové; o tom svedčia aj použité materiály a dôraz výrobcu na vysokú bezpečnosť a tuhosť karosérie. Koncern VW sa snaží v prémiových modeloch používať vysokopevnostné ocele tvárnené za tepla, ktoré zaručujú lepšie mechanické vlastnosti než bežné ocele. Výsledná štruktúra materiálu umožňuje dosahovať nielen veľkú rozmerovú presnosť, ale predovšetkým schopnosť odolávať vysokým hodnotám mechanického napätia, ktoré sa pohybujú až okolo 1650 MPa. Ako je zrejme z obrázka (pozri Obr. 63), na vozidle Audi A4 sú tieto materiály použité hlavne v oblasti centrálného podlahového tunela, bočnej časti skeletu, B-stĺpika a deliacich priečok medzi motorovým priestorom

a kabínou. Z Obr. 63 je zrejme pravdepodobné pôsobenie deformačnej sily vyznačenej červenými šípkami. Pri deformáciách, ktoré nastali na vozidle, sa dá jednoznačne povedať, že došlo práve k fatálnym deformáciám častí vozidla, ktoré sú vyrobené z vysokopevnostných materiálov. Pri takejto značnej deformácii musí byť pri samotnej analýze zrážky zvažovaná aj adekvátne hodnota EES (v rozmedzí 60 – 75 km/h EES).



Obr. 63 Použitie vysokopevnostných materiálov na karosérii Audi A4 od modelového roku 2007 [43]

Technicky podobná nehoda, ale s účinkom pôsobiacej rázovej sily na pozdĺžny nosník, je na Obr. 64. Z nehody je zrejme, že deformačná zóna v prednej časti vozidla pohltila rázové sily a nedošlo k takej značnej intarzii do kabíny. Nastali deformácie v oblasti kolien, ale nie také fatálne, aby stlačili vodiča/posádku.



Obr. 64 Deformácia vozidla po náraze na pozdĺžny nosník [43]

Kompatibilita sa týka interakcie kolíznych vozidiel

Rozdiel hmotnosti: Keď do seba narazia dve vozidlá rôznej hmotnosti rovnakou rýchlosťou, obe vozidlá sa pohnú v smere jazdy ťažšieho auta. Náraz spôsobí, že ľahšie auto úplne zastaví a následne začne akcelerovať dozadu, pričom ťažšie auto je zbrzdené zo svojej rýchlosti jazdy na zostatkovú rýchlosť. Spomalenie vozidla závisí od zmeny rýchlosti počas nárazu ($\Delta v = \text{rýchlosť jazdy pred nárazom} - \text{zvyšková rýchlosť po náraze}$) a je rozhodujúcim faktorom pre určenie závažnosti nehody a rizika zranenia cestujúcich. Keďže v prípade ťažšieho osobného automobilu je zmena rýchlosti menšia, zaťaženie cestujúcich je nižšie ako v ľahšom vozidle.



Obr. 65 Zrážka vozidla Fiat 500 a Audi Q7 [44]

Rôzna tuhosť prednej časti: Test pri schvaľovaní vozidla na základe ECE R94 a čelného nárazu Euro NCAP obsahuje: ofsetovú zrážku medzi dvoma automobilmi rovnakej hmotnosti, ktoré idú rovnakou rýchlosťou. Pre tento test je nevyhnutné, aby nárazová energia bola absorbovaná deformačnou zónou predtým, ako sa začne deformovať kabína. Aby sa zabezpečilo, že vlastná „tlačná“ hmotnosť vozidla spôsobí deformáciu iba deformačnej zóny, ťažké vozidlá majú vyššiu tuhosť deformačnej zóny ako ľahké vozidlá. Aj keď ťažké vozidlá majú zvyčajne dlhšiu deformačnú vzdialenosť, štrukturálna sila potrebná na vyvolanie deformácie prednej časti vozidla je v ťažkých vozidlách podstatne vyššia ako v ľahkých. Ak do seba narazia dve rôzne vozidlá, deformačná zóna ľahšieho automobilu sa deformuje ako prvá z dôvodu rozdielnej tuhosti vozidiel. V dôsledku toho môže byť zaťaženie malého vozidla relatívne rýchlo príliš vysoké, zatiaľ čo deformačná zóna väčšieho vozidla zostáva väčšinou neporušená.



Obr. 66 Porovnanie podobných vozidiel s rôznou tuhosťou [43]

Testovanie pomocou dvoch vozidiel alebo bariéry

Ako bolo uvedené vyššie, skúška ECE R94 alebo Euro NCAP simulujú ofsetovú zrážku medzi dvoma automobilmi rovnakej hmotnosti, ktoré idú rovnakou rýchlosťou. Na testovanie je však možné použiť ako jedno vozidlo aj maketu MPDB. Maketa vozidla má jasne definované rozmery a hmotnosti (viac v kapitole 6.1.2). Na porovnanie deformácií bola v ADAC vykonaná skúška podľa skutočných špecifikácií nárazu automobilu do automobilu s 50% prekrytím malého automobilu pri rýchlosti nárazu 56 km/h.



Obr. 67 Záber na test auto verzus auto (vľavo). Záber na test auto verzus maketa (vpravo) [43]

Z testu sa ukázalo priame porovnanie medzi impulzmi vozidla, deformáciami vozidla a 3D meraním. Celkový výsledok testu mohol byť rozpoznaný po podrobných analýzach testovaného vozidla. Celkový obraz ukazuje porovnateľnú deformáciu. Pohľad pod palubnú dosku ponúka deformáciu stĺpika A a neporušený nosník. Stále však existuje menej deformácií v oblasti priestoru nôh testovaného MPDB auta. Záverom je, že deformácie PDB sú homogénnejšie – zaťažuje sa aj horná časť testovaného vozidla. Na globálne porovnávanie je využívanie MPDB bariéry vhodné.



Obr. 68 Porovnanie deformácie vozidla pri náraze do bariéry (vľavo) a pri náraze do iného vozidla (vpravo) [43]

6.1 Testovanie pasívnej bezpečnosti

6.1.1 Dummy

Pri testoch pasívnej bezpečnosti sa vo vozidlách používajú testovacie figuríny označované ako Dummy. Testovacie figuríny sú sofistikované antropomorfné testovacie zariadenia (ATD). Sú navrhnuté tak, aby úzko korelovali s rozmermi a charakteristikami ľudského tela, môžu simulovať pohyby skutočného človeka počas nárazových skúšok. Výsledky zhromaždené počas testovania a po ňom poskytujú merateľný údaj o ochrannom výkone vozidla alebo časti motorového vozidla z hľadiska bezpečnosti ľudských cestujúcich. Crash Tests Dummies sa používajú v bezpečnostných analýzach už mnoho rokov a ukázalo sa, že sú nevyhnutné pri poskytovaní opakovateľnej a reprodukovateľnej alternatívy k testom na mŕtvolách. ATD ponúkajú jedinečnú príležitosť na meranie a hodnotenie účinkov kolízií na rôzne formy človeka s cieľom pomôcť vozidlám splniť predpisy týkajúce sa prepravy a bezpečnosti. Sériu Q testovacích figurín zahŕňa modely Q0, Q1, Q1,5, Q3, Q3s, Q6 a Q10, každý z nich na základe 50. percentilu detí s príslušným vekom. Q Dummies sa najčastejšie používajú pri testovaní bezpečnosti detských pasažierov. Na testovanie bezpečnosti dospelých cestujúcich pri čelnom náraze sa v súčasnosti najčastejšie používajú testovacie figuríny Hybrid III alebo THOR a to vo variante 5 % a 50 %. Komplexný prehľad Dummy figurín je v tabuľka nižšie.



Typ dummy	Váha (kg)	Výška v sede (cm)	Inštrukcie pre kalibráciu
THOR 50 % Male	76,7	90,7	THOR 50th Percentile Male (THOR - 50M) Qualification Procedures Manual, September 2018 (NHTSA)
THOR 5 % Female	46,9	81,3	
Hybrid II 50 % Male	74,4	90,7	CFR49 Part 572, Subpart B
Hybrid III 5 % Female	49,1	78,7	SAE J2862, J2878 CFR49 Part 572, Subpart O
Hybrid III 50 % Male	77,7	88,4	SAE J2779, J2876, CFR49 Part 572, Subpart E 1999/98/EC
Hybrid III 95 % Male	101,3	91,9	SAEJ2860
BioRID II	77,7	88,4	User Manual

Obr. 69 Prehľad dummy figurín dospelého človeka na testy čelného nárazu vozidla [34]



Typ dummy	Váha (kg)	Výška v sede (cm)	Inštrukcie pre kalibráciu
EuroSID 1	72,0	90,4	EuroSID 1 Certification Procedure 1996/27/EC, UN R95
ES-2	72,0	90,9	FTSS- User Manual / UN R95
ES-2 re	72,4	90,9	CFR49 Part 572, Subpart U
US-SID	76,7	89,9	CFR 49 Part 572, Subpart F
US-SID/Sid-H3	77,2	89,9	CFR49 Part 572, Subpart M
SID lis	44,12	78,0	CFR 49 Part 572, Subpart V
WorldSID 5 % Female	48,27		User Manual
WorldSID 50 % Male	73,91	86,9	User Manual

Obr. 70 Prehľad dummy figurín dospelého človeka na testy bočného nárazu vozidla [34]

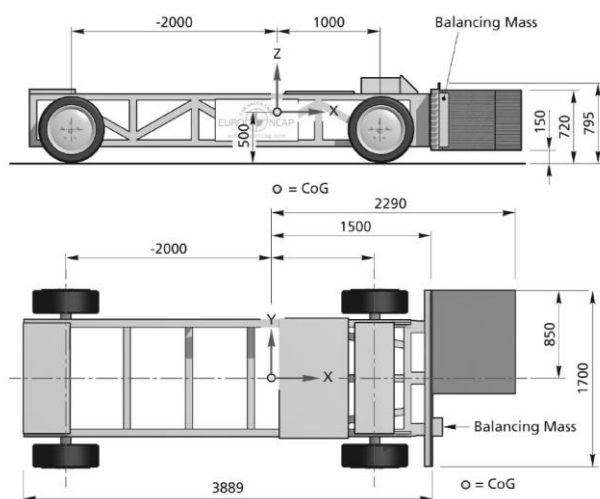


Typ dummy	Váha (kg)	Výška v sede (cm)	Inštrukcie pre kalibráciu
P0, P4, P6, P10	3,4 – 32,0	34,5 – 72,5	User Manual
P3	15,0	56,0	User Manual
P1 1/2	11,0	49,5	P1y2 User Manual
Q1	9,6	47,9	01 User Manual
Q1 1/2	11,1	49,9	Q1.5 User Manual
Q3	14,5	54,4	Q3 User Manual
Q3s	14,5	56,6	CFR 49 Part 572, Subpart W
Q6	23,0	63,6	06 User Manual
Q10	35,5	73,4	Q10 User Manual (Rev. A Draft)
CRABI 12 m	10,0	46,4	CFR 49 Part 572, Subpart R
Hybrid II – 3 y/o	15,1	57,2	CFR 49 Part 572, Subpart C
Hybrid II – 6 y/o	21,5	64,5	CFR 49 Part 572, Subpart 1
Hybrid III – 3 y/o	16,19	54,6	CFR 49 Part 572, Subpart P
Hybrid III – 6 y/o	23,4	63,5	CFR 49 Part 572, Subpart N
Hybrid III – 10 y/o	35,2	71,6	CFR 49 Part 572, Subpart T

Obr. 71 Prehľad dummy figurín detí na testy čelného nárazu vozidla [34]

6.1.2 Pohyblivá bariéra – Moving Progressive Deformable Barrier (MPDB)

Na zjednotenie podmienok crash testov osobných vozidiel a potreby následného vyhodnocovania a porovnávania sa používa pohyblivá deformovateľná bariéra – Moving progressive deformable barrier. Jej základom je maketa vozidla, na ktorej je bariéra osadená. Základná rozmerová charakteristika je zobrazená na Obr. 72 a reprezentuje osobné motorové vozidlo s váhou 1400 kg $\pm$ 20 kg. Ťažisko vozidla je: Os X: 1 000 $\pm$ 30 mm za prednou nápravou; os Y: 0 $\pm$ 10 mm vľavo od osi Z: 500 $\pm$ 30 mm nad úrovňou terénu.



Obr. 72 Moving Progressive Deformable Barrier (MPDB) [45] [46]

Samotná maketa vozidla sa môže líšiť v závislosti od testovacej procedúry na danom kontinente, respektíve v danej krajine. Medzi základné možno zaradiť bariéry pre RCAR, NHTSA OMD, ECE 95, ECE R34, AE-MDB a IIHS. Názorné obrázky predmetných bariér sú nižšie.



Moving Barrier RCAR



Moving Barrier NHTSA OMD



Moving Barrier ECE R95



Moving Barrier AE-MDB



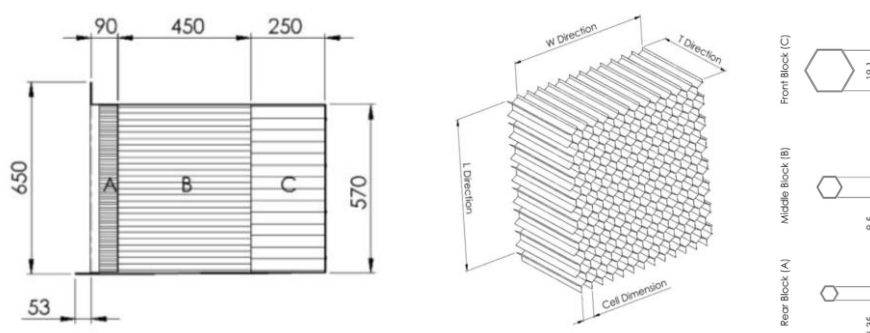
Moving Barrier ECE R34 and TRIASS15



Moving Barrier IIHS

Obr. 73 Prehľad testovacích bariér Mesring [45]

Deformovateľná bariéra má svoj definovaný tvar a fyzikálno-mechanické vlastnosti. Bariéra sa montuje na montážny plech v prednej časti makety vozidla. Bariéru je možné použiť aj ako statický prvok pri osadení na nepohyblivú stenu. Samotná bariéra sa skladá z troch základných vrstiev, v ktorých sú rovnomerne rozložené šesťuholníkové komory vyrobené z hliníka.



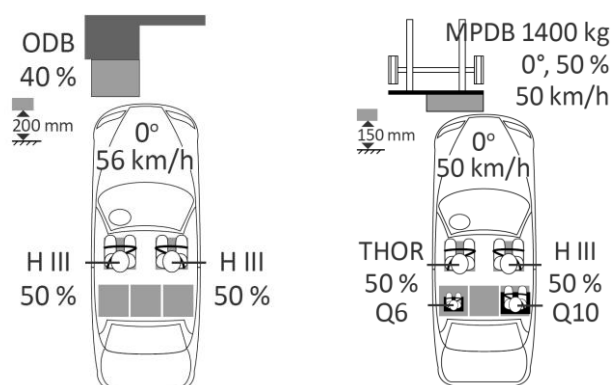
Obr. 74 Testovacia bariéra [47]

Zlepšenie bezpečnosti cestnej premávky je jedným z hlavných cieľov cestných úradov, výrobcov vozidiel, záchranných organizácií a výskumných organizácií. Opatrenia na zvýšenie bezpečnosti sa historicky delia na oblasť primárnej bezpečnosti (opatrenia, ktoré pomáhajú predchádzať nehodám) a pasívnej bezpečnosti (opatrenia, ktoré pomáhajú znižovať následky nehôd). Je potrebné poznamenať, že takmer 50 % úmrtí na cestách v 27 členských štátoch EÚ v roku 2008 sa vzťahuje na pasažierov automobilov. Schopnosti pasívnej bezpečnosti automobilov sa hodnotia hlavne nárazovými testami. V súčasnosti sa v rôznych regiónoch sveta používajú rôzne postupy pre test čelného nárazu. Najdôležitejšie skúšobné postupy sú:

- Ofsetový test (40% šírky vozidla) proti deformovateľnému prvku, ktorý sa v súčasnosti používa na homologizáciu automobilov v Európe (ECE R 94), testovací program spotrebiteľských informácií Euro NCAP, pre americkú poisťovňu IIHS a ďalšie.
- Test na celú šírku proti tuhej stene, aký sa v súčasnosti používa na homologizáciu automobilov v USA (FMVSS 208), spotrebiteľský informačný program US NCAP, homologizácia automobilov v Japonsku.

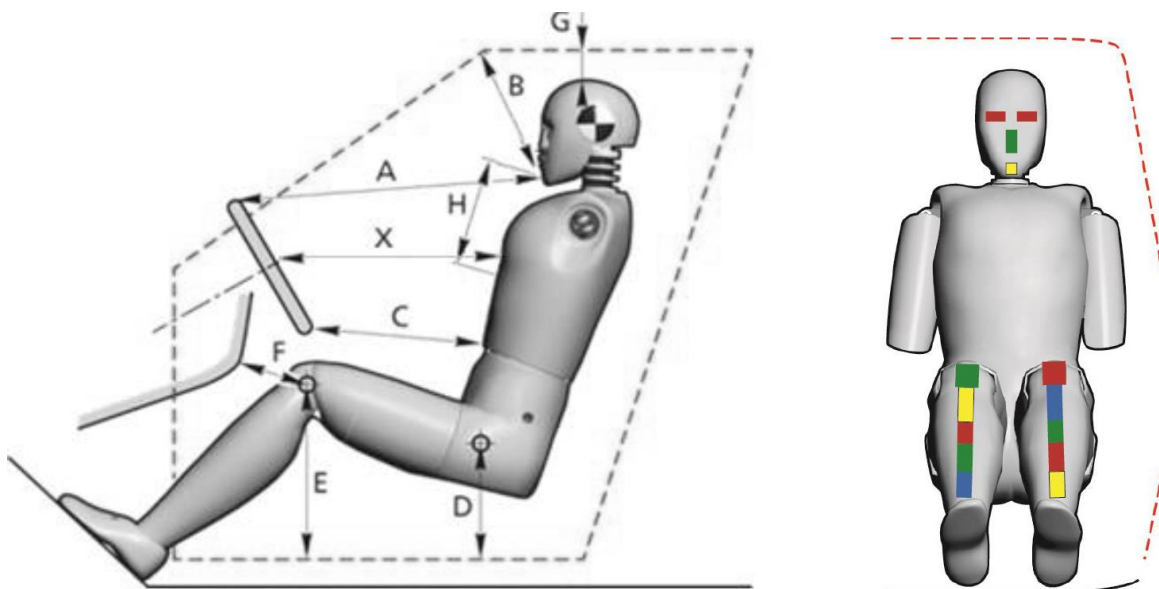
6.1.3 Čelný náraz – čiastočné prekrytie

Európska smernica UNECE R94 definuje testovaciu procedúru ako jazdu vozidla v priamom smere rýchlosťou 56 km/h a náraz na deformovateľnú bariéru ukotvenú na stene. Bariéra je v 50 % prekrytí vozidla tak, že zasahuje pozdĺžnu výstuhu v oblasti prednej deformačnej zóny. Pre testovaciu procedúru je definovaná posádka vo vozidle v zložení: vodič Hybrid III 50 % a spolujazdec Hybrid III 50 %. Smernica Euro NCAP je na rozdiel od nariadenia UNECE R94 rozšírená o detskú posádku vo vozidle na zadných sedačkách. Ide o dummy figurínu Q6 a dummy Q10. Vozidlo ide rýchlosťou 50 km/h, ale na rozdiel od R34 naráža pri teste Euro NCAP do mobilnej makety jazdiacej tiež rýchlosťou 50 km/h.



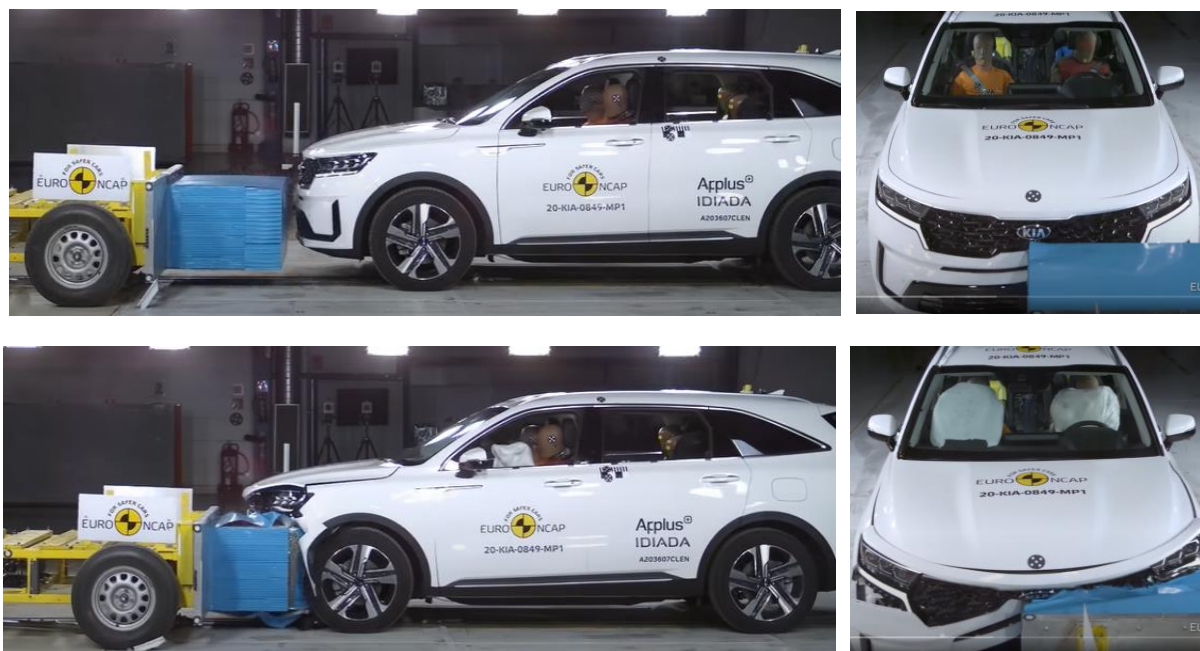
Obr. 75 Porovnanie UNECE R34 (vľavo) a Euro NCAP (vpravo) [34]

Dummy pre dospelých sú opatrené maskovacou páskou umiestnenou na plochách, ktoré sa majú natrieť farbou, s použitím nižšie uvedených veľkostí. Páska musí byť úplne pokrytá týmito farbami. Farba sa nanáša tesne pred skúškou, aby sa zabezpečilo, že pri náraze bude stále vlhká. Názorný pohľad značenia dospelých figurín je na Obr. 76. Značenie detských figurín sa zameriava len na oblasť hornej časti hlavy modrou farbou a oblasť čela červeno-žltou-zelenou. Pozícia figuríny vo vozidle je definovaná podľa testovacieho protokolu. Počas zrážky a tesne po nej sú pomocou dummy zaznamenávané fyzikálne veličiny vyjadrujúce zaťaženie posádky.



Obr. 76 Názorné značenie pozície figuríny vo vozidle a jej farebné označenie pred testom [47]

Následný súbor obrázkov opisuje priebeh testu z rôznych pohľadov. Prvý riadok zobrazuje prvý kontakt vozidla s bariérou. Následne dochádza k deformácii bariéry a vozidla a aktivácii čelného airbagu. Vozidlo pri maximálnej deformácii získava bočný impulz a dochádza k aktivácii bočných airbagov.

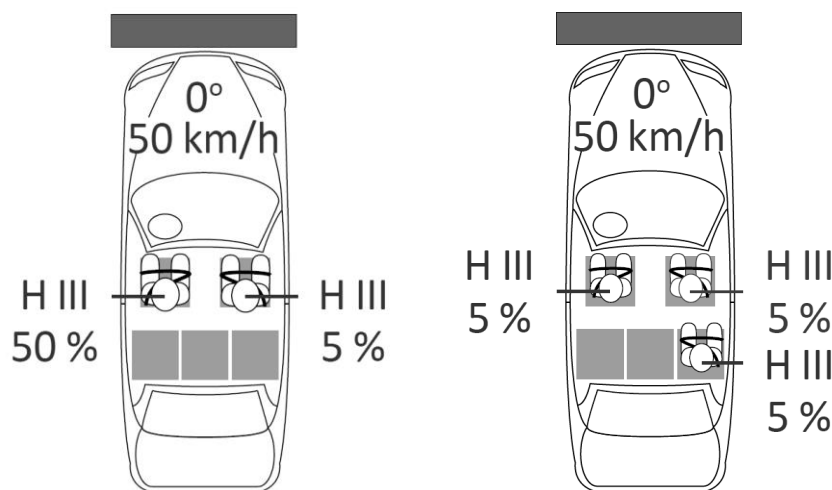




Obr. 77 Priebeh testu Euro NCAP s vozidlom [46]

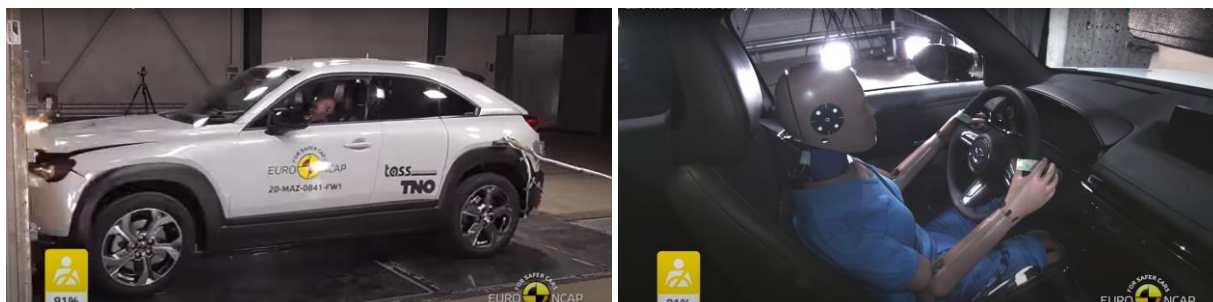
6.1.4 Čelný náraz – plné prekrytie

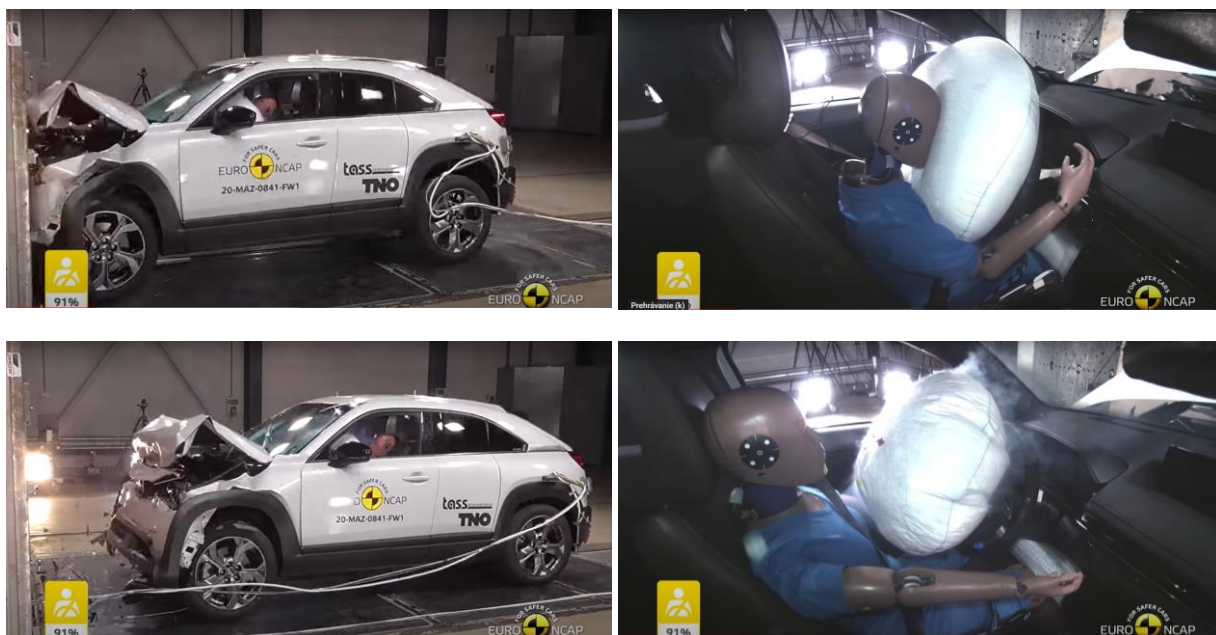
Európska smernica UNECE R94 definuje testovaciu procedúru ako jazdu vozidla v priamom smere rýchlosťou 50 km/h a náraz na nedeformovateľnú bariéru ukotvenú na pevnej stene. Bariéra je v 100 % prekrytí vozidla tak, že zasahuje pozdĺžne výstuhy v oblasti prednej deformačnej zóny. Pre testovaciu procedúru je definovaná posádka vo vozidle – vodič Hybrid III 50 % a spolujazdec Hybrid III 5 %. Smernica Euro NCAP je na rozdiel od R94 rozšírená o posádku vzadu. Ide o dummy Hybrid III 5 %. Vozidlo ide rýchlosťou 50 km/h.



Obr. 78 Podmienky testu UNECE R94 (vľavo) a EURO NCAP (vpravo) [34]

Následný súbor obrázkov popisuje priebeh testu z rôznych pohľadov. Prvý riadok zobrazuje prvý kontakt vozidla s nedeformovateľnou bariérou. Následne dochádza k deformácii vozidla, aktivácii čelného airbagu a airbagu pre kolena vodiča. Po fáze kompresie dochádza k odrazeniu vozidla od pevnej prekážky. Na airbagu vodiča je zrejмый farebný otláčok tváre dummy figuríny. Jej značenie bolo spomínané v predchádzajúcom teste.

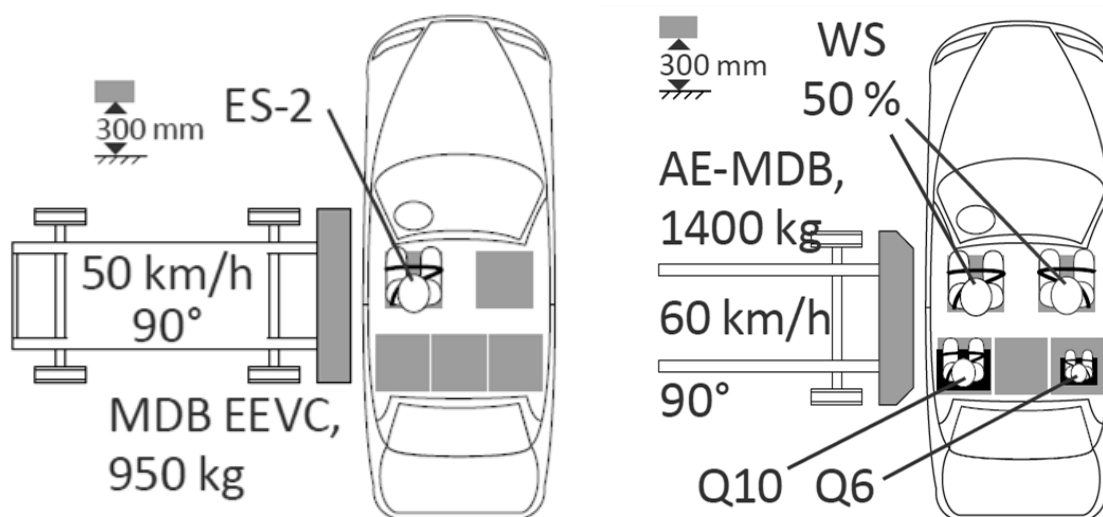




Obr. 79 Priebeh testu Euro NCAP s vozidlom Mazda MX 30 [48]

6.1.5 Bočný náraz – plné prekrytie

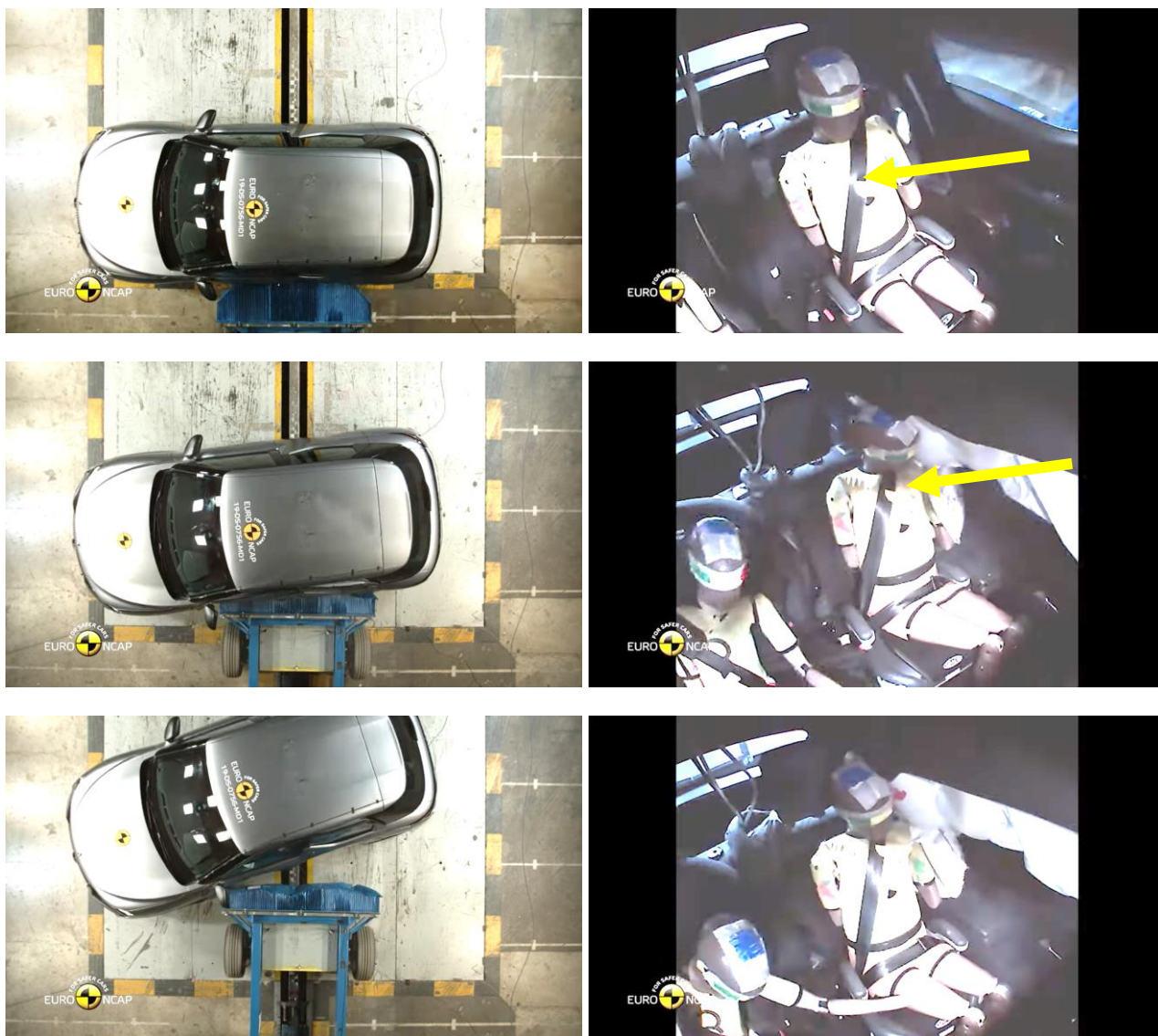
Európska smernica UNECE R95 definuje testovaciu procedúru *náraz pohyblivej bariéry* (Moving Progressive Deformable Barrier MPDB) do stojaceho vozidla. Pohyblivá bariéra ide rýchlosťou 50 km/h a v čelnej časti je osadená deformovateľnou bariérou. Deformovateľná bariéra je v 100 % prekrytí vozidla tak, že zasahuje svojou osou jazdy B-stĺpik na vozidle. Pre testovaciu procedúru je definovaná posádka vo vozidle – vodič ES-2 (dummy figurína určená na bočný náraz). Smernica Euro NCAP má na rozdiel od R95 posádku rozšírenú o spolujazdca WS 50 % a deti usadené v detských sedačkách vzadu (Q10 a Q6). Pohyblivá bariéra váži 1400 kg a ide rýchlosťou 60 km/h.



Obr. 80 Podmienky testu UNECE R95 (vľavo) a EURO NCAP (vpravo) [34]

Následný súbor obrázkov popisuje priebeh testu z rôznych pohľadov. Prvý riadok zobrazuje prvý kontakt deformovateľnej bariéry jazdiacej rýchlosťou 60 km/h s vozidlom. Následne dochádza k deformácii vozidla a aktivácii bočných airbagov. Zaber z interiéru zachytáva pohyb detskej posádky vo vozidle na sedačkách uchytených v ISOFIX-e. Medzi prvým a druhým riadkom obrázkov je vidieť, že došlo k aktivácii

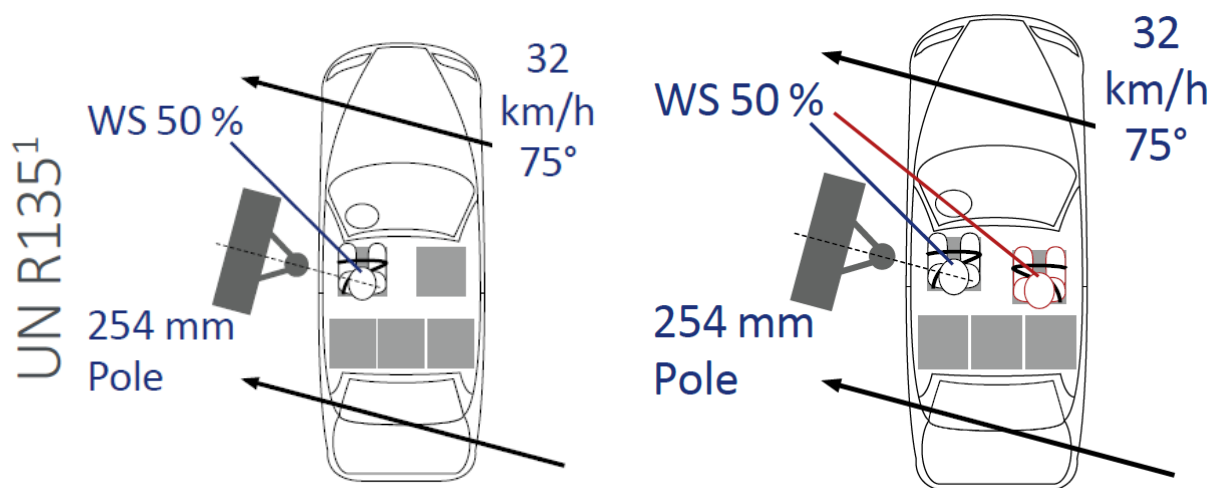
predpínača bezpečnostných pásov (žlté šípky). Nálepka v oblasti hrudníka prelepená o pás a telo figuríny sa roztrhla. Na druhom rade obrázkov je už vidieť, že časť nálepky nalepenej na bezpečnostnom páse je posunutá smerom k ramenu figuríny o cca 15 cm. Cieľom predpínača je obmedziť voľný pohyb figuríny a minimalizovať následky nárazu.



Obr. 81 Priebeh testu Euro NCAP s vozidlom Citroën DS 3 [49]

6.1.6 Náraz do stĺpa

Európska smernica UNECE R95 definuje testovaciu procedúru *náraz do stĺpa* (Moving Progressive Deformable Barrier MPDB) nasledujúco. Vozidlo je umiestnené na pohybujúcej plošine. Plošina sa hybe rýchlosťou 32 km/h. Nedeformovateľná bariéra reprezentujúca stĺp narazí do vozidla tak, že zasahuje svojou osou os figuríny vodiča. Pre testovaciu procedúru je definovaná posádka vo vozidle – vodič WS 50%. Smernica Euro NCAP má na rozdiel od UN R135 posádku rozšírenú o spolujazdca WS 50%.



Obr. 82 Podmienky testu UNECE R95 (vľavo) a EURO NCAP (vpravo) [34]

Následný súbor obrázkov opisuje priebeh testu z rôznych pohľadov. Prvý riadok zobrazuje pohyb vozidla umiestneného na plošine. Plošina sa pohybuje v priamom smere k impaktoru. Vozidlo je na plošine pootočené o uhol definovaný testom. Náraz impaktora pôsobí v oblasti tesne pred B-stĺpikom vozidla. Následne dochádza k deformácii vozidla a aktivácii bočných airbagov. Záber do interiéru zachytáva pohyb posádky vo vozidle na predných sedadlách. Z obrázka je zrejmé, že priebeh tohto testu má najväčšiu intarziu do interiéru vozidla. Náraz smeruje do oblasti, ktorá nedokáže dostatočne ochrániť posádku pred deformáciou interiéru. Pri teste tak pôsobia na figurínu značné deformačné sily.





Obr. 83 Priebeh testu Euro NCAP s vozidlom Cupra Formentor [50]

7 Hodnotenie priebehu testov pasívnej bezpečnosti

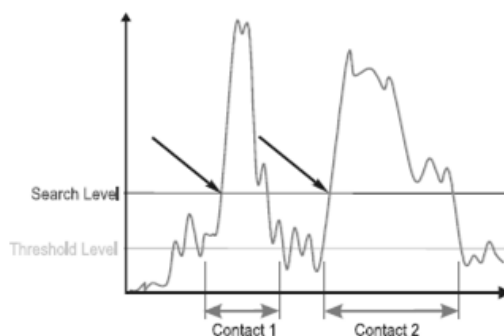
Nasledujúca kapitola sa zaoberá výberom z hodnotení testov vykonaných v oblasti ochrany dospelých cestujúcich, najmä pokiaľ ide o skúšky čelnej mobilnej progresívnej deformovateľnej bariéry (MPDB) a skúšky nárazom v celej šírke, skúšku bariéry bočného nárazu, skúšku nárazu na stĺp a test whiplash.

7.1 HIC kritérium – Head form impakt

Na objektívne posúdenie testovacej procedúry, čo sa týka impaktu hlavy voči častiam karosérie, sa v Európe používa formula na výpočet HPC (Head Protection Criteria), všeobecne známa aj ako HIC kritérium (head injury criterium) (americký ekvivalent HPC). Z biomechanického hľadiska je maximálna vypočítaná hodnota „1000“ hladinou, ktorá by nemala byť prekročená s ohľadom na závažnosť poranenia hlavy dospelého chodca. Výpočet HPC a HIC vychádza z rovnakej formuly (1).

$$HIC = \sup_{t_1, t_2} \left\{ \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1) \right\} \quad (1)$$

Pre výpočet HIC je dôležitý časový interval HCD (Head Contact Duration), v akom pôsobila decelerácia na headform impaktor v priebehu nárazu. [13] Medzi dva základné časové intervaly patrí HIC₁₅ a HIC₃₆. Číslice 15 a 36 opisujú maximálne trvanie príslušného intervalu v milisekundách, počas ktorého pôsobilo dané zaťaženie na headform impaktor. Deceleračná krivka impaktu je filtrovaná pomocou filtra CFC 1000.



Obr. 84 Priebeh akcelerácie a vyobrazenie HIC₁₅-Contact 1 a HIC₃₆-Contact 2 [51]

7.2 Hodnotenie testu MPDB

Hodnotenie ochrany dospelých posádky pre každú oblasť tela je zobrazené vizuálne pomocou farebných segmentov v rámci obrysov tela. Použitá farba je založená na bodoch pridelených pre túto oblasť tela takto:

Tabuľka 19

Farebné hodnotenie

Farba	Verdikt	Skóre
Zelená	dobré	4,000
Žltá	adekvátne	2,6700 – 3,999
Oranžová	marginálne	1,330 – 2,669
Hnedá	slabé	0,001 – 1329
Červená	biedne	0

Pri hodnotení čelného nárazu sú oblasti tela zoskupené, pričom skóre pre zoskupenú oblasť tela je skóre oblasti alebo končatiny s najhoršou výkonnosťou. Zoskupené oblasti sú: hlava a krk (4 body), hrudník a brucho (4 body), panva a stehno (t. j. ľavá a pravá časť stehennej kosti a kĺbu kolena – 4 body), lýtko, chodidlo a členok (4 body). Výsledky sú uvedené osobitne pre vodiča a spolujazdca. Hodnotenie čelného nárazu ochrany dospelých cestujúcich sa počíta súčtom skóre pre príslušné oblasti tela (spolu 16 bodov). Toto skóre je polovičné s celkovým dosiahnuteľným skóre max 8 bodov.

Tabuľka 20

Prehľad hodnotenia vodiča a spolujazdca pre test MPDB

			Jednotka	Spodný limit	Horný limit	Limit
				4 body pre hodnoty < ako:	0 bodov	
Vodič	Hlava a krk	HIC15		500	700	700
		Acc 3 ms prekročenie	g	72	80	80
		SUFEHN		Monitorované		
		BrIC		Monitorované		
	Hrudník	maximálna deformácia 4 rebier	mm	35	60	60
	Brucho	maximálna deformácia	mm	-	88	-
	Panva	stlačenie acetabula	kN	3,28	4,1	Na
	Dolná končatina	kompresia stehennej kosti	kN	3,8	9,07 0 ms 7,56 ≥10 ms	NA
		kompresia kolena	mm	6	15	NA
		tibia index	-	0,4	1,3	Na
		kompresia Tibie	kN	2	8	NA
		posun pedálov	mm	100	200	NA
Spolujazdec	Hlava	HIC15		500	700	700
		Acc 3ms prekročenie	g	72	80	80
		BrIC		Monitorované		
	Krk	namáhanie na strih	kN	1,90 @ 0 ms 1,20 @ 25 – 35 ms 1,10 @ 45 ms	3,10 @ 0ms 1,50 @ 25 – 25 ms 1,10 @ 60 ms	3,10 @ 0 ms 1,50 @ 25 – 25 ms 1,10 @ 60 ms
		napätie	kN	2,70 @ 0 ms 2,30 @ 35 ms 1,10 @ 60 ms	3,30 @ 0 ms 2,90 @ 35 ms 1,10 @ 60 ms	3,30 @ 0 ms 2,90 @ 35 ms 1,10 @ 60 ms
		predĺženie	Nm	42	57	57
	Hrudník	kompresia	mm	22	42	42
		viskózne kritérium	m/s	0,5	1	1
	Dolná končatina	stehenná kosť	kN	3,8	9,07 @ 0 ms 7,56 @ ≥10 ms	Na
		kompresia kolena	mm	6	15	Na
		tibia index	-	0,4	1,3	Na
		kompresia Tibie	kN	2	8	NA

V prípade, ak sa v priebehu testu otvoria dvere, používa sa mínusový jednobodový modifikátor. Modifikátor sa použije na hodnotenie čelného nárazu pre všetky dvere (vrátane koncových dverí a pohyblivých striech), ktoré sa otvárajú. Počet modifikátorov otvárania dverí, ktoré možno použiť na skóre vozidla, nie je obmedzený.

Názorný príklad vykreslenia hodnotenia celého tela pre test MPDB vozidla Škoda Enyaq je na Obr. 85. Z obrázka je na prvý pohľad zrejмый výsledok pre jednotlivé oblasti tela vodiča a pasažiera.



Obr. 85 Hodnotenie testu posádky pre MPDB test [37]

7.3 Hodnotenie testu čelný náraz – plné prekrytie

V tabuľke nižšie sú zhrnuté základné hodnotiace kritériá použité pri skúške čelného nárazu na celú šírku vozidla, s hornými a dolnými medznými hodnotami účinnosti pre každý parameter. Ak pri teste pre jednotlivú oblasť tela existuje viac kritérií, na určenie výkonnosti tejto oblasti sa použije parameter s najnižším skóre. To však neplatí pre hodnotenie krku pre figurínu zadného spolujazdca. Skóre pre figurínu vodiča a zadného spolujazdca sa spriemerujú. Ochrana poskytovaná dospelým pre každú oblasť tela je zobrazená vizuálne pomocou farebných segmentov v rámci obrysov tela. Použitá farba je založená na bodoch pridelených pre túto oblasť tela (zaokrúhlených na tri desatinné miesta) takto:

Tabuľka 21

Farebné hodnotenie

Farba	Verdikt	Skóre
Zelená	dobré	4,000
Žltá	adekvátne	2,6700 – 3,999
Oranžová	marginálne	1,330 – 2,669
Hnedá	slabé	0,001 – 1329
Červená	biedne	0

Pri čelnom náraze sú oblasti tela zoskupené, pričom skóre pre zoskupenú oblasť tela je skóre oblasti alebo končatiny s najhoršou výkonnosťou. Zoskupené oblasti sú: hlava (4 body), krk (4 body), hrudník (4 body), koleno, bedrá a panva (4 body). Výsledky sú uvedené osobitne pre vodiča a spolujazdca. Príspevok testu čelného nárazu na skóre ochrany dospelých cestujúcich sa počíta súčtom skóre tela pre príslušné oblasti tela a výpočtom priemeru skóre vodiča a zadných pasažierov (každý spolu 16 bodov) a následne vydelením dvoma. Celkové dosiahnuteľné skóre pri teste s plným prekrytím je 8 bodov. Keď sa v priebehu testu otvoria dvere, použije sa mínusový jednobodový modifikátor. Modifikátor sa použije na hodnotenie čelného nárazu pre všetky dvere (vrátane koncových dverí a pohyblivých striech), ktoré sa otvárajú. Počet modifikátorov otvárania dverí, ktoré možno použiť na skóre vozidla, nie je obmedzený.

Tabuľka 22

Prehľad hodnotenia vodiča a spolujazdca pre test s plným prekrytím

			Jednotka	Spodný limit	Horný limit	Limitná hodnota
				4 body pre hodnoty menšie ako:	0 bodov	
Vodič	Hlava	HIC15		500	700	700
		Acc 3 ms prekročenie	g	72	80	80
	Krk	namáhanie na strih	kN	1,2	1,95	2,7
		Napätie	kN	1,7	2,62	2,9
		Predĺženie	Nm	36	49	57
	Hrudník	Kompresia	mm	18	42	42
		viskózne kritérium	m/s	0,5	1	1
	Dolná končatina	kompresia stehennej kosti	kN	2,6	6,2	NA
Zadný spolujazdec	Hlava	HIC15		500	700	700
		Acc 3 ms prekročenie	g	72	80	80

7.4 Hodnotenie bočného nárazu a nárazu do stĺpa

V tabuľke nižšie sú zhrnuté základné hodnotiace kritériá použité pri nárazoch do bočnej bariéry a stĺpu s hornými a dolnými hraničnými hodnotami výkonnosti pre každý parameter. Posúdenie je rozdelené do štyroch jednotlivých oblastí tela: hlava, hrudník, brucho a panva. Kritériá a limity sú pre test nárazu do bočnej bariéry a do stĺpa rovnaké okrem hlavy a hrudníka. Pre každú oblasť tela sú k dispozícii maximálne štyri body. Ak pre jednotlivú oblasť tela existuje viac kritérií, na určenie výkonnosti tejto oblasti sa použije parameter s najnižším skóre. Počet modifikátorov, ktoré je možné použiť, nie je nijako obmedzený. Podrobný opis modifikátorov je uvedený v dokumente Assessment protocol – ADULT OCCUPANT PROTECTION.

Tabuľka 23

Prehľad hodnotenia pre bočný náraz a náraz do stĺpa

		Jednotka	Spodný limit	Horný limit	Limitná hodnota
			4 body pre hodnoty menšie ako:	0 bodov	
Hlava	HIC15		500	700	700 (pole)
	Acc 3 ms prekročenie	g	72	80	80 (side)
	maximálne Acc	g	-	-	80 (pole)
Hrudník	Kompresia	mm	28	50	55
Brucho	Kompresia	mm	47	65	65
Panva	Zaťaženie	kn	1,7	2,8	2,8

Keď sa v priebehu testu otvoria dvere, použije sa mínusový jednobodový modifikátor. Modifikátor sa použije na hodnotenie čelného nárazu pre všetky dvere (vrátane koncových dverí a pohyblivých striech), ktoré

sa otvárajú. Počet modifikátorov otvárania dverí, ktoré možno použiť na skóre vozidla, nie je obmedzený. Ochrana poskytovaná dospelým pre každú oblasť tela je zobrazená vizuálne pomocou farebných segmentov v rámci obrysov tela. Použitá farba je založená na bodoch pridelených pre túto oblasť tela (zaokrúhlených na tri desatinné miesta) takto:

Tabuľka 24

Farebné hodnotenie

Farba	Verdikt	Skóre
Zelená	dobré	4,000
Žltá	adekvátne	2,6700 – 3,999
Oranžová	marginálne	1,330 – 2,669
Hnedá	slabé	0,001 – 1329
Červená	biedne	0

Príspevok testov bočného nárazu a nárazu do stĺpa sa počíta súčtom skóre častí tela pre príslušné oblasti pre každý z testov. Celkové skóre bočného nárazu a nárazu do stĺpa je dohromady obmedzené na 12 bodov a celkové skóre ochrany cestujúcich na vzdialenej strane vozidla je obmedzené na 4 body. Jednotlivé skóre (po uplatnení modifikátorov) pre skúšku bočného nárazu (max. 16 bodov) a skúšku nárazu do stĺpa (max. 16 bodov) sa sčítajú a zmenšia o 12 bodov.

8 Bibliografia

1. **NR SR.** *Zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.* s.l. : MINV, 2009.
2. **MV SR.** <http://www.minv.sk>. *Štatistika dopravnej nehodovosti na území SR.* [Online] Dostupné z: <http://www.minv.sk/?kompletna-statistika>.
3. **Osram.** <http://catalog.osram-os.com>. *Component, products an solution.* [Online] 15. 2 2013. Dostupné z: <http://catalog.osram-os.com>.
4. **WINNER, H., HAKULI, S., WOLF, G.** *Handbuch Fahrerassistenzsysteme.* Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2009. s. 712-722. ISBN 978-3-8348-0287-3.
5. **Continental.** <https://www.continental-automotive.com>. *Lidars.* [Online] 21. 1 21. Dostupné z: <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Autonomous-Mobility/Enablers/Lidars>.
6. **Li, You a Ibanez, Javier.** *Lidar for autonomous driving.* s.l. : IEEE Signal processing magazine, 2020.
7. **Rapp, Joshua, Tachella, Julian a Altmann, Yoann.** *Advances in signal - photon lidar for autonomous vehicles.* s.l. : IEEE Signal processing magazine, 2020.
8. **Brenner, Claus, Vosselman, George a Sithole, George.** *Aerial laser scanning.* s.l. : International summer school - Digital recording and 3D modeling, 2006.
9. **Čarný, Matúš.** *System LIDAR v automobiloch.* s.l. : Posterus, 2014. ISSN 1338-0087.
10. **Pawlikowska, Agata, a iní.** *Single photon three dimensional imaging at up to 10 kilometers range.* s.l. : Optics express, 2017.
11. **Walz, Eric.** <https://futurecar.com>. *AEye's Next-Gen AI-Based Perception May Become the 'Eyes' of Self-Driving Cars.* [Online] 13. 6 2018. Dostupné z: <https://m.futurecar.com/2369/AEyes-Next-Gen-AI-Based-Perception-May-Become-the-Eyes-of-Self-Driving-Cars>.
12. **Ecar.** <https://www.e-car.sk>. *Spoločnosť AEye predstavuje iDar - budúcnosť senzorových systémov.* [Online] 18. 6 2021. Dostupné z: <https://www.e-car.sk/spolocnost-aeeye-predstavuje-idar-buducnost-senzorovych-systemov/>.
13. **Automotive Refinisher.** <https://www.autoref.co.za>. *Fixing the future.* [Online] 2021. 2 15. Dostupné z: <https://www.autoref.co.za/fixing-the-future/>.
14. **Merz, U.** *PRE-SENSE Bindeglied zwischen Umfeldsensorik und akutem Insassenschutz.* Germany : VDI Verlag GmbH, 2013. ISSN: 0083-5560.
15. **Vlkovič, Vladimír.** *Meření rychlosti vozidel s použitím radaru.* Brno : VUT Brno, 2017.
16. **Microwave GmbH.** *ST200 Radar evaluation system.* s.l. : RFbeam Microwave GmbH, 2013.
17. **Lindman, M.** *Benefit Estimation Model for Pedestrian Auto Brake Functionality.* s.l. : ESAR, 2010.

18. **Tesla**. <https://www.tesla.com>. *Artificial Intelligence & Autopilot*. [Online] 2. 15 2021. Dostupné z: <https://www.tesla.com/autopilotAI>.
19. **AMKOR**. <https://amkor.com>. [Online] 21. 1 2021. Dostupné z: <https://amkor.com/semiconductor-story/a-look-inside-ad-as-modules/>.
20. **CARADVICE**. <https://www.caradvice.com.au>. *2021 Mercedes-Benz S-Class unveiled*. [Online] 2. 15 2021. Dostupné z: <https://www.caradvice.com.au/879134/2021-mercedes-benz-s-class-unveiled/>.
21. **Franke, U.** *Dynamic stereo vision for intersection assistance*. Munich : FISITA, 2008. F2008--08—041.
22. **Subaru**. www.subaru.com. [Online] 15. 10 2018.
23. **YANG, J.** *Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions*. Göteborg : Chalmers University of Technology, 2005.
24. **Subaru**. <https://www.subaruslovakia.sk>. *Ako EyeSight funguje*. [Online] [Dátum: 20. 5 2015.] Dostupné z: <https://www.subaruslovakia.sk/preco-subaru-bezpecnost-eyesight.html>.
25. **Electrek**. <https://electrek.co>. *A look at Tesla's new Autopilot hardware suite*. [Online] 21. 1 21. Dostupné z: <https://electrek.co/2016/10/20/tesla-new-autopilot-hardware-suite-camera-nvidia-tesla-vision/>.
26. **Autonomous vehicle international**. <https://www.autonomousvehicleinternational.com>. *Thermal camera auto calibration improves 3D depth perception – day or night*. [Online] 1. 4 2021. Dostupné z: <https://www.autonomousvehicleinternational.com/news/sensors/thermal-camera-auto-calibration-improves-3d-depth-perception-day-or-night.html>.
27. **Pravda**. <https://vat.pravda.sk>. *Budú autá bez vodiča jazdiť bezpečnejšie vďaka termokamerám?* [Online] 23. 4 2018. Dostupné z: <https://vat.pravda.sk/technologie/clanok/467174-budu-auta-bez-vodica-jazdit-bezpecnejsie-vdaka-termokameram/>.
28. **Euro NCAP**. *Test protocol - AEB car to car systems*. s.l. : Euro NCAP, 2019. version 3.0.2.
29. **Euro NCAP**. *Global Vehicle target specification*. s.l. : Euro NCAP, 2018. version 1.0.
30. **DRI arts**. www.dri-ats.com. *See Why the Soft Car 360*. [Online] 18. 6 2021. Dostupné z: <http://www.dri-ats.com/soft-car-360/>.
31. **United nation**. *Proposal for a new regulation on uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the blind spot information system*. ECE/trans/wp.29%GRSG/2017/11 : United nation, 2017.
32. **Miguel, Nunez Rodrigo**. *Car to PTW AEB test protocol*. s.l. : Motorbike users safety enhancement, 2019. derivereble 4.1.
33. **4activesystems**. <https://www.4activesystems.at>. *4activesb*. [Online] 11. 3 2021. Dostupné z: <https://www.4activesystems.at/4activesb>.
34. **Carhs**. *Safety companion*. s.l. : Carhs, 2021.

35. **Euro NCAP.** *Test protocol AEB VRU systems.* s.l. : Euro NCAP, 2019. version 3.0.3.
36. **Euro NCAP.** *Test protocol - Lane support systems.* s.l. : Euro NCAP, 2019. version 3.0.2.
37. **EURO NCAP.** <https://www.euroncap.com>. *How To Read The Stars.* [Online] 18. 1 2021. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/how-to-read-the-stars/>.
38. **Wikipedia.** <https://en.wikipedia.org>. *Euro NCAP.* [Online] 18. 1 2021. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP.
39. **DEPOWERING.** *Final Regulatory Evaluation, Actions to Reduce Adverse Effects of Air Bags.* s.l. : Office of Regulatory Analysis, 1997.
40. *Vehicle Safety and new car assessment programmes.* **CYUPERS, R.** s.l. : SSRCI, 2012.
41. **Euro NCAP.** *Assessment protocol - safety assist.* s.l. : Euro NCAP, 2020. version 9.0.3.
42. **Euro NCAP.** *Assesment protocol - Vurnerable road user protection.* s.l. : Euro NCAP, 2020. version 10.0.3.
43. **Vertal', Peter.** Galéria autora.
44. **Auto motor und sport.** www.youtube.com. *Crashtest Audi Q7 vs. Fiat 500.* [Online] 18. 6 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=6pVF1Wr7GLQ>.
45. **Messring.** <https://www.messring.de>. *Products.* [Online] 10. 6 2021. Dostupné z: <https://www.messring.de/en/products/>.
46. **Euro NCAP.** <https://www.youtube.com>. *Euro NCAP Crash & Safety Tests of Kia Sorento 2020.* [Online] 14. 5 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0UdlQ8OiZ40>.
47. **Euro NCAP.** *Mobile Progressive Deformable Barrier Face Specification.* 2017. 1.0.
48. **Euro NCAP.** <https://www.youtube.com>. *Euro NCAP Crash & Safety Tests of Mazda MX-30 2020.* [Online] 28. 6 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=lvnwqWsdd7E>.
49. **Euro NCAP.** <https://www.youtube.com>. *Euro NCAP Crash Test of DS 3 Crossback 2019 – Update.* [Online] 10. 5 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5gLoypicy4Y>.
50. **Euro NCAP.** <https://www.youtube.com>. *Euro NCAP Crash & Safety Tests of Cupra Formentor 2021.* [Online] 20. 7 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=NQYKo07c7IQ>.
51. **Measured data processing vehicle safety workgroup.** *Crash analysis criteria description.* Gladback : s.n., 2004. 1.6.1.

Titulná fotografia: **Euro NCAP**

Ing. Peter Vertaľ, Ph.D.

AKTÍVNA A PASÍVNA BEZPEČNOSŤ Vozidlá

Vydala Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
v edičnom rade VYSOKOŠKOLSKÉ UČEBNICE
v EDIS-vydavateľstve UNIZA, Univerzitná HB, 010 26 Žilina v roku 2022
ako svoju 4813. publikáciu

Vedecký redaktor prof. Ing. Gustáv Kasanický, CSc.

Zodpovedný redaktor Mgr. Stanislav Muntág
Technický redaktor Mgr. Andrej Kurečka

84 strán, 84 obrázkov, 24 tabuliek, AH 7,67
1. vydanie, publikované elektronicky

ISBN 978-80-554-1911-4

www.edis.uniza.sk