



Peter Vertal'

**Aktívna
a pasívna
bezpečnosť
Chodci**



ŽILINSKÁ UNIVERZITA
V ŽILINE

Ing. Peter Vertaľ, Ph.D.

Aktívna a pasívna bezpečnosť

Chodci

Vydala Žilinská univerzita v Žiline
EDIS-vydavateľstvo UNIZA
2022

Vedecký redaktor prof. Ing. Gustáv Kasanický, CSc.

Recenzenti doc. Ing. Ján Ondruš, PhD.

doc. Ing. Zuzana Radová, Ph.D.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň publikácie zodpovedá autor.

Vydala Žilinská univerzita v Žiline/EDIS-vydavateľstvo UNIZA

© P. Vertaľ, 2022

ISBN 978-80-554-1864-3

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 6 |
| 1 Chodci v cestnej premávke..... | 7 |
| 1.1 Pohyb chodca | 8 |
| 1.2 Hodnotenie poranení chodca pomocou AIS (Abbreviated Injury Scale/skrátená stupnica poranení)..... | 10 |
| 1.3 Zranenie chodcov | 11 |
| 1.4 Podiel oblasti tela chodca na zranení vplyvom zrážky s vozidlom | 13 |
| 1.5 Závislosť závažnosti zranenia od hodnotenia vozidla Euro NCAP | 14 |
| 2 Automatizácia dopravy | 19 |
| 2.1.1 Rozdelenie vozidiel podľa stupňa automatizácie | 19 |
| 2.1.2 Legislatívny prehľad | 22 |
| 3 Aktívna bezpečnosť | 26 |
| 3.1 Brzdenie pri dopravných nehodách | 27 |
| 3.1.1 Pomocné brzdné systémy | 28 |
| 3.2 Hardvérové vybavenie vozidiel s prvkami aktívnej bezpečnosti | 31 |
| 3.2.1 Fúzia senzorov | 32 |
| 3.2.2 Kamera | 33 |
| 3.2.2.1 Monofokálna kamera..... | 33 |
| 3.2.2.2 Stereo kamera | 35 |
| 3.2.3 Lidar | 40 |
| 3.2.4 Radar | 42 |
| 3.2.5 Porovnanie radaru a lidar | 44 |
| 4 Testovanie aktívnej bezpečnosti chodcov..... | 44 |
| 4.1 Definície pre testovacie scenáre | 45 |
| 4.2 Testovacie scenáre..... | 47 |
| 4.3 Špecifikácia chodca pre test – Pedestian target (PT) | 57 |
| 4.4 Testovacie zariadenia | 60 |
| 4.4.1 Režimy testovania | 61 |
| 4.4.2 Testovací mechanizmus od firmy 4Activesystems | 63 |
| 4.4.3 Testovací mechanizmus od firmy AB Dynamics | 64 |
| 4.5 Hodnotenie a bodovanie testovaných vozidiel | 65 |
| 4.5.1 Autonómne núdzové brzdenie (AEB) | 65 |
| 4.5.2 Varovanie pred čelnou kolíziou (FCW) | 66 |
| 4.5.3 Bodovanie AEB VRU testu | 66 |
| 5 Metóda vyhodnotenia experimentálneho riešenia dopravných nehôd s chodcami | 69 |
| 5.1 Časovo priestorová analýza systému ADAS v programe PC Crash | 70 |
| 6 Pasívna bezpečnosť | 72 |
| 6.1 Ovinutie chodca na vozidlo po zrážke (WAD –Wrap Around Distance) .. | 73 |
| 6.1.1 Geometria prednej časti vozidla | 74 |
| 6.1.2 Stanovenie WAD na základe simulácie | 75 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 6.1.3 | Posúdenie objektívnosti Madymo simulácie | 76 |
| 6.1.4 | Simulácia pohybu tela v priebehu zrážky | 77 |
| 6.2 | Aktívna predná kapota a airbag pre chodca..... | 78 |
| 6.2.1 | Princíp aktívnej kapoty | 80 |
| 6.2.2 | Aktivácia kapoty | 80 |
| 6.2.3 | Airbag pre chodca | 83 |
| 6.2.4 | Adaptívny nárazník | 84 |
| 6.3 | Pohyb chodca po zrážke | 84 |
| 7 | Testovanie pasívnej bezpečnosti..... | 89 |
| 7.1 | Definície oblasti na testovanom vozidle | 90 |
| 7.1.1 | Testovacie body | 93 |
| 7.1.2 | Aktívna kapota | 93 |
| 7.2 | Testovacie scenáre..... | 95 |
| 7.2.1 | Test nárazu hlavy | 95 |
| 7.2.1.1 | Test nárazu makety hlavy dieťaťa | 95 |
| 7.2.1.2 | Test nárazu hlavy dospelého človeka | 97 |
| 7.2.2 | Test nárazu makety stehna - Upper leg test | 98 |
| 7.2.3 | Test nárazu dolnej končatiny - Lower leg impact | 100 |
| 7.3 | Testovacie impaktory..... | 101 |
| 7.3.1 | Maketa hlavy dieťaťa - Child headform | 101 |
| 7.3.1.1 | Priebeh testu makety hlavy dieťaťa..... | 102 |
| 7.3.2 | Maketa hlavy dospelého človeka - Adult headform | 103 |
| 7.3.2.1 | Priebeh testu makety hlavy dospelého človeka | 104 |
| 7.3.3 | Maketa dolnej končatiny - Lower leg impactor | 106 |
| 7.3.3.1 | Priebeh testu makety dolnej končatiny | 107 |
| 7.3.4 | Maketa dolnej končatiny FlexiPLI (Flexible Pedestrian Legform Impactor) | 107 |
| 7.3.4.1 | Priebeh testu makety FlexiPLI..... | 111 |
| 7.3.4.2 | Porovnanie makety FlexiPLI GTR s maketou TRL ... | 112 |
| 7.3.5 | Maketa stehna - Upper leg | 113 |
| 7.3.5.1 | Priebeh testu makety stehna..... | 114 |
| 7.3.6 | Test s figurínou chodca - Full scale dummy test | 115 |
| 7.4 | Hodnotenie a bodovanie testovacích vozidiel | 117 |
| 7.4.1 | Kritérium poranenia hlavy – Head injury criterium HIC | 117 |
| 7.4.2 | Príklad testovacieho scenára | 120 |
| 7.4.3 | Maketa stehna - Upper leg | 122 |
| 7.4.4 | Maketa dolnej končatiny - Lower legform | 124 |
| 8 | Bibliografia..... | 126 |

Úvod

Zraniteľní cestní účastníci – vulnerable road users. Tento pojem je v odbornej verejnosti a oblasti výskumu a vývoja používaný na označenie účastníkov cestnej premávky, ktorí sa pohybujú po vozovke alebo v jej okolí, peši alebo na prepravnom prostriedku. Prevažne sa tým smeruje pozornosť na chodcov. Medzi vulnerable road users možno zaradiť aj osoby pohybujúce sa na bicykli, kolieskových korčuliach, kolobežkách, skateboardoch a ďalších, väčšinou nemotorových mestských dopravných prostriedkoch, využívaných pre presun osôb. Výskyt chodcov v cestnej premávke možno považovať za najčastejší prípad rizikových dopravných situácií, a práve tomu je venovaná pozornosť v tejto publikácii.

Problematika aktívnej a pasívnej bezpečnosti chodcov 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 s chodcom a predísť tak zraneniam prípadne smrti pri dopravnej nehode tým, že k zrážke nedôjde. Na rozdiel od aktívnej bezpečnosti je pasívna bezpečnosť vozidiel orientovaná k tomu, aby už v prípade ak dôjde ku kolízii vozidla s chodcom, boli zranenia chodcov čo najmenšie.

Publikácia si kladie za cieľ v čo najširšej miere a v danom rozsahu opísať pohyb chodcov a ich možné zranenia pri pohybe v oblasti cestných komunikácií. Značná časť publikácie je venovaná opisu hardvérových riešení vozidiel, ktoré prispievajú k zabráneniu dopravnej nehody alebo k minimalizovaniu zranení. Výber z komplexných testovacích procedúr, ktoré slúžia na overovanie výkonnostných charakteristík testovaných vozidiel poukazuje na zložitosť pri vývoji nových vozidiel, aby naplnili technické predpoklady noriem. Na základe týchto testovacích noriem je zrejmé do akej miery je nimi ovplyvnený dizajn vozidiel v súčasnej dobe.

1 Chodci v cestnej premávke

Zraniteľnosť chodcov je jedným z hlavných problémov cestnej premávky. Chodec, ako účastník cestnej premávky, predstavuje z pohľadu vodiča veľké riziko pre vznik kolíznej situácie. Medzi štyri základné prvky chodca v cestnej premávke patrí zraniteľnosť, flexibilita, nestabilita a viditeľnosť.

Zraniteľnosť – hmotnosť a rýchlosť chodca je v pomere k vozidlu zanedbateľná a už pri relatívne nízkych rýchlostiach zrážky vozidla s chodcom, dochádza k vážnym zraneniam chodca najmä preto, že jediný ochranný prvok chodca proti potenciálnej zrážke je jeho oblečenie. Keďže pre samotného vodiča nepredstavuje chodec ako objekt možné ohrozenie jeho života, vodič neprikladá veľkú pozornosť práve tomuto účastníkovi cestnej premávky.

Flexibilita – jednou z veľkých výhod chodca je flexibilita, ktorá vzhľadom na ostatných účastníkov cestnej premávky predstavuje možný problém. Vodič motorového vozidla si nemôže byť nikdy istý kde a kedy môže očakávať chodca. Relatívne nízka rýchlosť chodcov im dovoľuje rýchlo meniť smer a čo je najdôležitejšie, zastaviť na veľmi krátkej vzdialenosti.

Nestabilita – dopravné prostredie vytvára pre chodcov potenciálne riziko zo straty stability z dôvodu zakopnutia, ukĺznutia, či iného kontaktu s nerovnomerným povrchom. I sústredený chodec, ktorý sleduje okolitú dopravnú premávku, môže týmto minoritným podnetom vytvoriť kritickú situáciu, ktorú vodič motorového vozidla nepredpokladal.

Viditeľnosť – tak, ako hmotnosť chodca je v porovnaní s motorovým vozidlom zanedbateľná, tak aj jeho veľkosť. Chodec sa môže svojou postavou schovať za iné vozidlo, stĺp alebo objekt v blízkosti cesty. Viditeľnosť chodca v noci je v intraviláne obmedzená na pouličné osvetlenie, ktoré však nedokáže poskytnúť vodičovi dostatok informácií o situácii v okolí vozovky (chodník, trávnatý porast a iné).

1.1 Pohyb chodca

So značne vysokou flexibilitou chodca súvisí jeho možnosť operatívne meniť smer a najmä rýchlosť jeho chôdze. Jedným z dôležitých prvkov pri spracovaní nehodového deja a vyhodnocovaní zavinenia dopravnej nehody, je správne určenie ustálenej rýchlosti chodca, respektíve jeho zrýchlenia do ustáleného pohybu. Pri vytváraní simulácie nehodového deja a analýzy možného zabránenia nehody sú tieto podmienky veľmi dôležité. Detailný popis výsledkov merania rovnomerného pohybu chodcov, ktoré boli uskutočnené na IES v Krakove, je zobrazený v tabuľkách (Tabuľka 1 a Tabuľka 2). Merania sú rozdelené do štyroch vekových kategórií a piatich kategórií podľa typu pohybu. Zo štúdie vyplynulo, že rýchlosť chodca je vysoko ovplyvnená fyzickým stavom chodca a zdravotným stavom chodca, čo sa vysoko podpisuje na spodnej a vrchnej hranici rýchlosti pohybu chodca. [1]

Tabuľka 1

Rýchlosť pohybu ženy [1]

| Vek [roky] | Pohyb [m/s] | | | | |
|------------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | Pomaly | Bežný | Rýchly | Beh | Šprint |
| 21-30 | 0,7-1,4 | 1,1-1,6 | 1,5-2,0 | 2,0-3,6 | 3,6-5,2 |
| 31-40 | 0,8-1,3 | 1,1-1,5 | 1,5-2,1 | 2,0-3,7 | 3,9-4,5 |
| 41-50 | 0,7-1,3 | 1,1-1,6 | 1,5-2,0 | 2,4-3,0 | 3,0-4,2 |
| 51-60 | 0,7-1,1 | 1,1-1,6 | 1,6-2,1 | 2,0-3,6 | 2,9-4,3 |

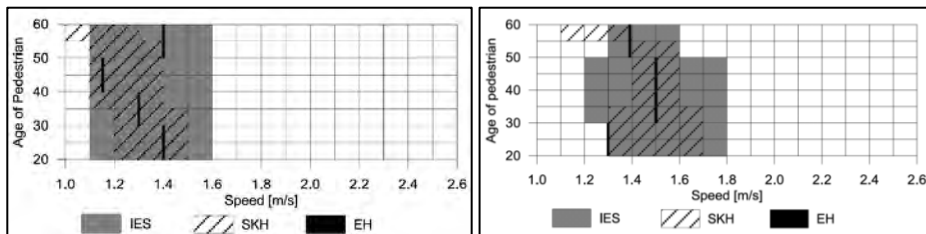
Tabuľka 2

Rýchlosť pohybu muža [1]

| Vek [roky] | Pohyb [m/s] | | | | |
|------------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | Pomaly | Bežný | Rýchly | Beh | Šprint |
| 21-30 | 0,8-1,4 | 1,3-1,6 | 1,8-2,2 | 2,6-4,6 | 4,3-6,6 |
| 31-40 | 1,0-1,4 | 1,2-1,8 | 1,8-2,5 | 2,8-4,6 | 4,8-6,9 |
| 41-50 | 0,8-1,3 | 1,2-1,6 | 1,8-2,3 | 3,0-4,2 | 4,3-6,9 |
| 51-60 | 1,0-1,3 | 1,3-1,6 | 1,8-2,1 | 2,6-4,2 | 5,0-5,7 |

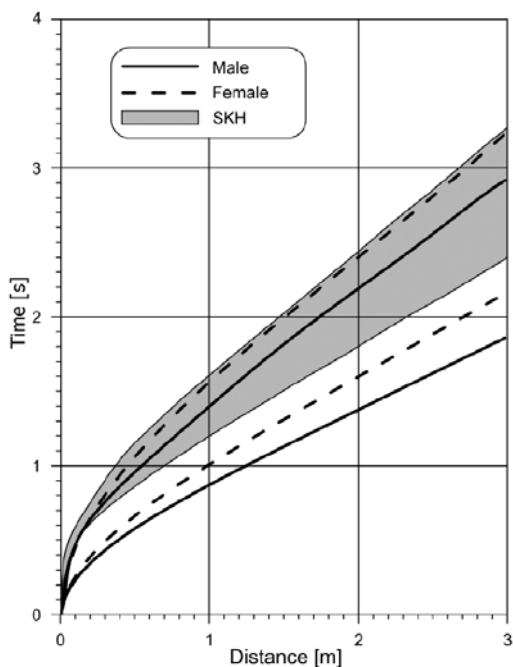
Porovnaním výskumu IES v Krakove a dvoch známych nezávislých štúdií - Strouhal, Kühnel and Hein (SKH) a Eberhardt and Himbert (EH)

je zobrazené na Obr. 1 . Štúdie boli zamerané na rýchlosť pohybu chodca v závislosti od veku a pohlavia chodca. Medzi štúdiami dochádza k miernym odchýlkam v oblasti distribúcií minima a maxima rýchlosti pohybu.



Obr. 1. Porovnanie štúdií pohybu chodcov (vľavo bežná chôdza ženy, vpravo bežná chôdza muža) [1]

Akcelerácia chodca je dôležitým ukazovateľom možnosti náhleho vytvorenia neočakávanej prekážky v prípade, že chodec pred vstupom smerom do vozovky stál. Štúdia IES v Krakove je porovnaná s SHK štúdiou. Opäť je možné rozpoznať mierne rozdiely v štúdiách. Pri samotnom posudzovaní dopravných nehôd je potrebné pracovať so širším záberom akceleračného rozptylu podľa IES.



Obr. 2. Porovnanie zrýchlenia chodca na úrovni bežnej chôdze (muž, žena, priemer SKH) [1]

1.2 Hodnotenie poranení chodca pomocou AIS (Abbreviated Injury Scale/skrátená stupnica poranení)

AIS je skrátenej anatomický kódovací systém vytvorený Association for the Advancement of Automotive Medicine poskytujúci možnosť zaradenia a popisu konkrétnych zranení. Stupnica bola vypracovaná v roku 1971 a dodnes sa používa. Tento popis, prostredníctvom zranenia, predstavuje hodnotenie ohrozenia života na základe závažnosti poranenia. AIS kódovací systém je jeden z najbežnejších nástrojov na popis traumatických zranení. Toto hodnotenie sa používa na popis zranení v celkovo deviatich oblastiach ľudského tela. [2]

Tabuľka 3

Závažnosť poranenia v závislosti od ohrozenia života rozdelená na 6 kategórií. 0 – bez zranenia až po 6 – zranenie nezlučiteľné so životom.

| AIS | Závažnosť zranenia | Oblasť tela |
|-----|-------------------------|-------------|
| 0 | bez zranenia | |
| 1 | menšie | |
| 2 | stredné | |
| 3 | vážne | |
| 4 | ťažké | |
| 5 | kritické | |
| 6 | nezlučiteľné so životom | |
| 9 | nezistené | |

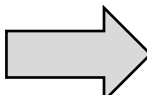
Na popis mnohopočetných poranení sa pre zjednodušenie používa stupnica MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale). Číselné hodnotenie stupnice MAIS a závažnosť poranenia je zhodná s AIS. Rozdiel medzi stupnicami je v tom, že MAIS udáva pri mnohopočetných poraneniach hodnotu závažnosti zranenia v oblasti, ktorá má najvyššiu známku, a teda

prostredníctvom zranenia popisuje ohrozenie života, ktoré je najkritickejšie.
[2]

Tabuľka 4

Vyhodnotenie príkladu MAIS v závislosti od poranenia jednotlivých oblastí tela.

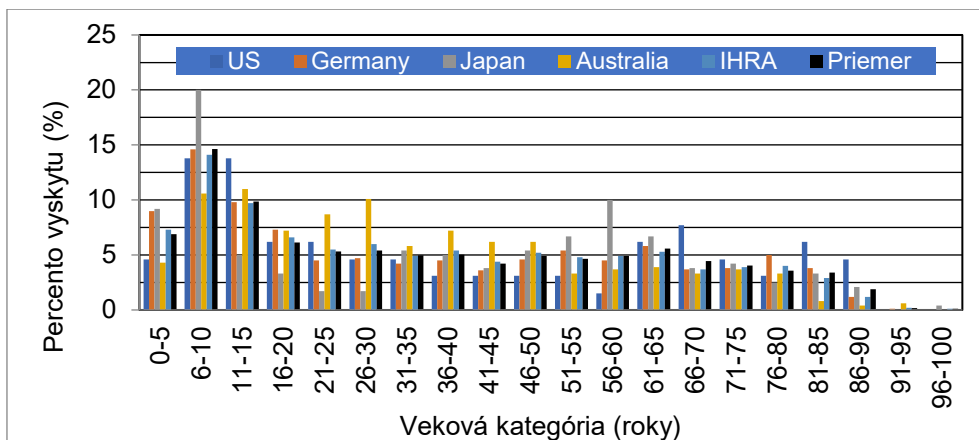
| AIS | Závažnosť zranenia | Oblasť tela |
|-----|-------------------------|---|
| 0 | bez zranenia | 1. hlava 2. tvár 3. krk 4. hrudník 5. brucho 6. chrbtica 7. horná končatina 8. dolná končatina 9. externé a ďalšie. |
| 1 | menšie | |
| 2 | stredné | |
| 3 | vážne | |
| 4 | ťažké | |
| 5 | kritické | |
| 6 | nezlučiteľné so životom | |
| 9 | nezistené | |



| Región tela | AIS | MAIS |
|-------------|-----|------|
| hlava | 5 | 5 |
| krk | 3 | |
| chrbtica | 4 | |

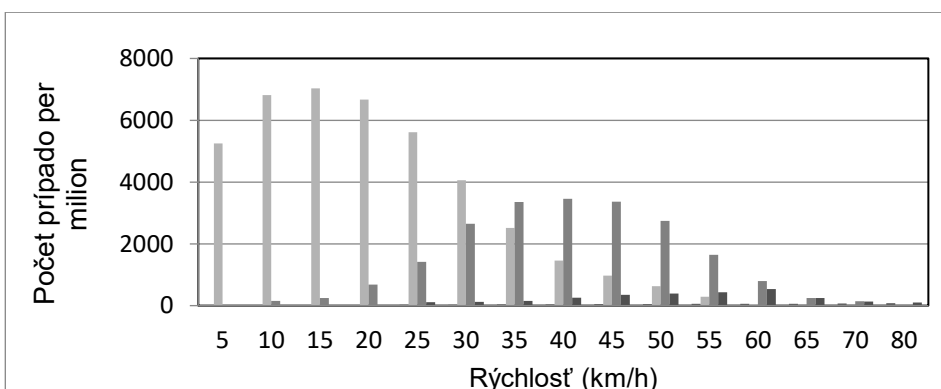
1.3 Zranenie chodcov

Zraniteľnosť, flexibilita, nestabilita a viditeľnosť úzko súvisia s vekom chodca. Distribúcia veku chodcov pri dopravných nehodách v rôznych krajinách a svetadieloch je zobrazená na grafe (pozri Graf 1). Distribúcia nezahrňuje závažnosť poranenia AIS (AIS - Abbreviated Injury Scale pozri 1.2) v dôsledku dopravnej nehody. Graf popisuje všetky dopravné nehody s chodcami pre danú oblasť. Z grafu je zrejmé, že veková skupina chodcov od 6 rokov do 10 rokov sa podieľa v priemere 14-timi % na všetkých dopravných nehodách. V Japonsku je tento podiel až 20 % z celkového počtu dopravných nehôd. Z celkového pohľadu je v priemere až 31 % všetkých dopravných nehôd s mladistvými chodcami vo veku do 15 rokov.[2] Chodci v tejto kategórii disponujú značnou flexibilitou, nepozornosťou a nízkou viditeľnosťou vzhľadom na proporcie tela.



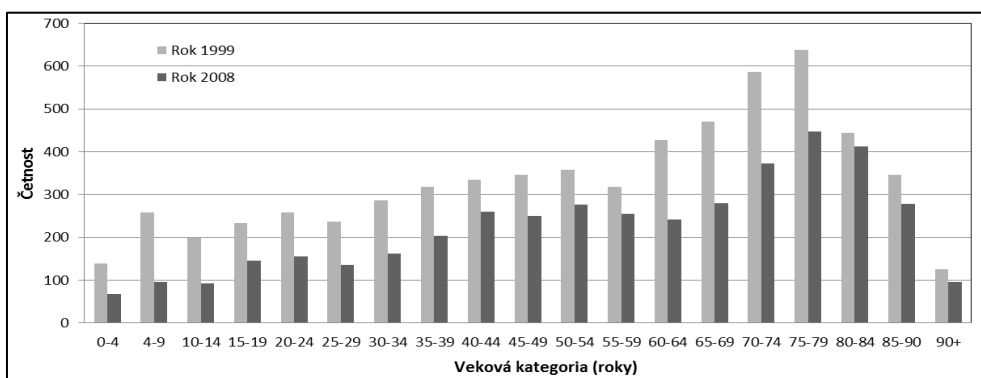
Graf 1. Percentuálne zastúpenie vekovej kategórie na dopravnej nehode [2]

Kinematika chodca a zranenia spôsobené zrážkou chodca s vozidlom sú ovplyvnené rýchlosťou nárazu, tvarom a tuhosťou prednej časti vozidla (výška nárazníka, výška prednej kapoty a jej dĺžka, rám čelného skla), vekom a výškou chodca a pozíciou chodca voči vozidlu. Hlavným faktorom, ktorý sa podpisuje na závažnosti zranenia chodca s vozidlom, je rýchlosť vozidla. Približne v 70 % nehôd vodič vozidla, pred zrážkou s chodcom, brzdil. [3] Z grafu je zrejmé (pozri Graf 2), že vo viac ako 90 % prípadoch dopravných nehôd chodca s vozidlom došlo k zrážke pri rýchlosti nižšej ako 60 km/h. Pri zrážkach do rýchlosti 25 km/h došlo k ľahkým zraneniam. Frekvencia výskytu vážnych zranení je najčastejšia v pásme 25-55 km/h. Pri rýchlosti vyššej ako 55 km/h je vysoká pravdepodobnosť fatálneho zranenia. [4]



Graf 2. Prerozdelenie rýchlosti jazdy vozidla v závislosti od výskytu daného zranenia [5]

Najrizikovejšia skupina chodcov sú mladiství do 15 roku života. Celkovo dochádza k výskytu dopravnej nehody chodca s motorovým vozidlom vo vekovej kategórii od 0 do 50 rokov, približne v 63 % dopravných nehôd. Z tohto celku je výskyt smrteľných zranení v dôsledku zrážky len v 41 % pre rok 1999 a v 37 % pre rok 2008. Vo vekovej kategórii 50+ je výskyt dopravnej nehody približne 37 %, ale k smrteľným zraneniam došlo v 59 % v roku 1999 a 63 % v roku 2008. Je možné predpokladať, že u osôb starších ako 50 rokov je značne zvýšené riziko smrti v dôsledku traumatického úrazu po nehode, čo vyplýva z grafu (pozri Graf 1). Pri porovnaní rokov 1999 a 2008 môžeme vidieť jasný trend poklesu výskytu počtu smrteľných nehôd. [3].



Graf 3. Závislosť veku chodca od frekvencie úmrtia v dôsledku dopravnej nehody [3]

1.4 Podiel oblasti tela chodca na zranení vplyvom zrážky s vozidlom

Pri zrážke chodca s prednou časťou vozidla dochádza ku kontaktu medzi nárazníkom a dolnou končatinou chodca v oblasti kolenného kĺbu a stehennej kosti. Vplyvom zrážky sa deformuje nárazník a dochádza k postupnému ovinutiu postavy na karosériu. Dolná časť nohy je zrýchlená

v smere pohybu vozidla, vrchná časť tela začína rotovať a zrýchľovať relatívne k vozidlu. Následkom tohto pohybu dochádza ku kontaktu bedrovej oblasti a hrudného koša s prednou kapotou vozidla. Hlava chodca naráža na vozidlo v oblasti zadnej hrany kapoty, eventuálne čelného skla alebo A-stĺpika. Miesto kontaktu hlavy s vozidlom je závislé od výšky chodca, tvaru

karosérie a hlavne rýchlosti vozidla. Zranenia chodca sú zvyčajne spôsobené priamym nárazom časti tela na karosériu vozidla a prenosom silového pôsobenia cez túto oblasť. Na základe štatistík zranenia chodcov je zrejmé, že najčastejšie dochádza k zraneniu hlavy v 30,7 % a dolných končatín v 30,7 %. [4]

Tabuľka 5

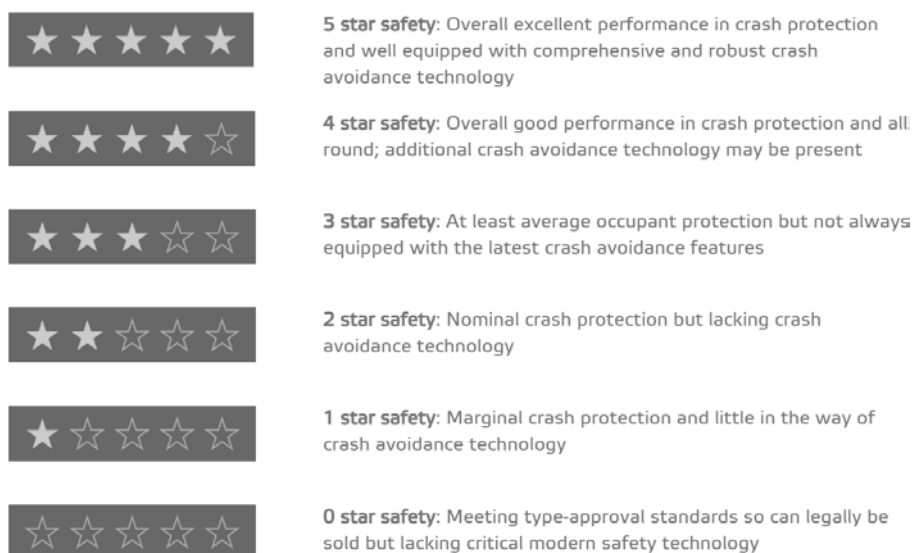
Percentuálny podiel oblasti tela chodca na zranení vplyvom zrážky s vozidlom

| | Austrália (N=163) | Čína (N=4191) | Európa (N=1440) | Nemecko (N=360) | Japonsko (N=1329) | Švédsko (N=1342) | USA (N=438) | Priemer (N=9263) |
|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Oblasť / výskyt | | | | | | | | |
| Hlava | 39,3 | 28,4 | 29,8 | 29,9 | 28,6 | 26,5 | 32,7 | 30,7 |
| Tvár | 3,7 | 3,8 | 5,3 | 5,2 | 2,4 | 3,0 | 3,7 | 3,9 |
| Krk | 3,1 | 0,4 | 1,8 | 1,7 | 4,5 | 2,5 | 0,0 | 2,0 |
| Hrudník | 10,4 | 7,1 | 11,6 | 11,7 | 8,5 | 10,8 | 9,5 | 9,9 |
| Brucho | 4,9 | 2,0 | 3,8 | 3,4 | 4,8 | 4,7 | 7,7 | 4,5 |
| Panva | 4,9 | 5,0 | 7,9 | 7,9 | 4,5 | 9,2 | 5,3 | 6,4 |
| Stehenná oblasť | 8,0 | 8,8 | 8,1 | 8,2 | 9,0 | 14,7 | 7,9 | 9,2 |
| Koleno a predkolenie | 25,8 | 27,4 | 31,3 | 31,6 | 37,2 | 28,6 | 33,3 | 30,7 |
| Nezistené | 0,0 | 7,6 | 0,5 | 0,4 | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 1,5 |
| Celkom | 100,0 % | 100,0 % | 100,0 % | 100,0 % | 100,0 % | 100,0 % | 100,0 % | 100,0 % |

1.5 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, testovanie aktívnej bezpečnosti a ďalšie. Pre bežného užívateľa je možný nasledujúci popis hviezdičkového hodnotenia:



Obr. 3. Všeobecný popis hodnotenia hviezdičkami v teste EURO NCAP [6]

Testovanie nie je povinné, modely produkčných vozidiel si buď nezávisle zakúpi z distribučnej siete dílera Euro NCAP, alebo ich zakúpenie sponzorujú výrobcovia. Test je nezávislý a výrobca vozidla tak získa komplexné hodnotenie produkčného vozidla. 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 tiež 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.

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 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 automobilov stali oveľa bezpečnejšími. [7]

V priebehu prvých rokov testovania bol bežným výsledkom Euro NCAP testu rating vozidla s jednou alebo dvoma 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 6 zobrazuje koreláciu medzi ratingom vozidla z Euro NCAP testu a závažnosťou zranenia AIS. Pri vozidlách s ratingom dvoch hviezd vzťahnutých na ochranu 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. Z celkového počtu prípadov, v 376 prípadoch 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. [8]

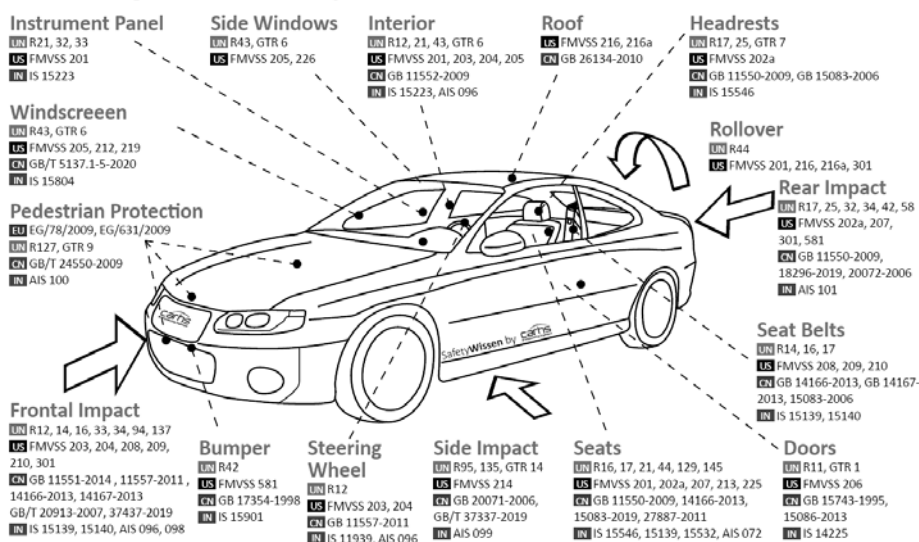
Tabuľka 6

Prehľad poklesu zranení chodcov v závislosti od hodnotenia vozidla [8]

| | 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% |

Rokom 1990 došlo k ukončeniu výskumu a vytvoreniu komplexného návrhu na testovanie pasívnej bezpečnosti osobných motorových vozidiel. Testovací proces zahŕňal mimo iného aj test subkomponentov na posúdenie ochrany chodcov pri čelnej zrážke. V roku 1994 EEVC (European Enhanced Vehicle-safety Committee) odporučila implementovať testovaciu procedúru do európskej legislatívy. V dôsledku odporúčenia EEVC adaptovať testovací proces do európskej legislatívy a Transport and Research Laboratory (TRL), odporučila Ministerstvu dopravy Veľkej Británie začať testovací proces NCAP na území krajiny a neskôr rozšíriť do celej Európy. [9]

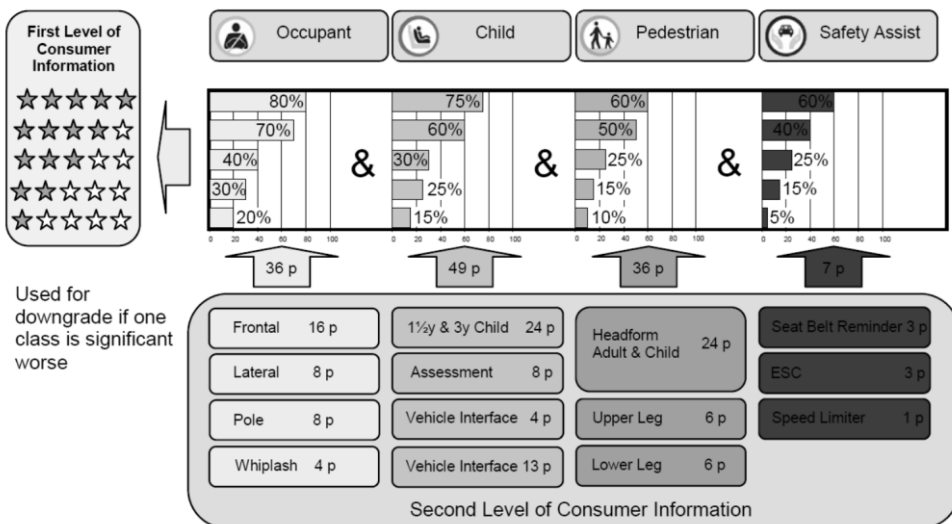
Crash-Regulations: Europe, United Nations, USA, China and India



Obr. 4. Prehľad noriem zameraných na testovanie bezpečnosti chodcov a posádky vozidla [9]

Základnou informáciou pre koncového užívateľa vozidla je počet hviezd, ktoré boli na základe vykonaných testov pridelené Euro NCAP vozidlu po teste. Hodnotiaci škála sa pohybuje od 1 hviezdy s najnižším možným hodnotením až po 5 hviezd (pozri Obr. 5). Na získanie hodnotenia 5 hviezd sa váhovo na hodnotení podieľa ochrana posádky vo vozidle 50 %-tami, ochrana chodcov 20 %-tami, ochrana detí 20 %-tami a bezpečnostní asistenti vo vozidle 10 %-tami. Okrem bilančných kritérií sa zaisťuje taktiež výkonnosť v každom poli danej kategórie. Napríklad pre ochranu 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). Je odhadované, 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. [10]



Obr. 5. Názorná hodnotiaci stupnica Euro NCAP [6]

S rastúcim tlakom na bezpečnosť chodcov dochádza 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 uvažovaný pohyblivý predný nárazník.

2 Automatizácia dopravy

S nárastom stupňa automobilizácie a intenzity dopravy stúpa pravdepodobnosť kolíznych situácií. Postupné zavádzanie automatizácie jednotlivých systémov a prvkov aktívnej bezpečnosti prináša otázky nielen technickej zrealizovateľnosti, ale aj legislatívne pozadie – určenie zodpovednosti za prípadné škody. Rovnako sa naskytá priestor pre aplikovanie nových adekvátnych postupov pri vyšetřovaní nehôd. V súčasnej dobe nie je jednoznačne a so všeobecnou platnosťou dohodnutá definícia pojmov ako „automatizované“ , „autonómne“ alebo „samoriadiace“ vozidlo. Na účely tohto textu bude vychádzané z názvoslovia používaného Výskumným strediskom Európskeho parlamentu.

Automatizované vozidlo – vozidlo používajúce vlastné vybavenie na vykonávanie jednej alebo viacerých riadiacich úloh automaticky.

Samoriadiace vozidlo (autonómne) – vozidlo skonštruované na autonómnu jazdu bez kontroly a zásahu vodiča.

Na základe tejto definície, samoriadiace vozidlá patria do širšej skupiny - automatizovaných vozidiel. [1]

Základným prvkom automatizovaných vozidiel je súbor asistenčných systémov ADAS (advanced driver assistance systems). V systéme riadenia s podporou ADAS je vodič stále zapojený do riadenia, ktoré sa popisuje odborné „v slučke“ (z anglického: in the loop). Ruky vodiča nemusia byť na volante a nohy nemusia byť na pedáloch, stále je vodič v konečnom dôsledku zodpovedný za bezpečnú prevádzku vozidla. Mnoho výrobcov OEM bude do budúca používať systémy snímania vodiča, aby pomohli zaistiť, že vodiči zostanú v činnosti pri automatizovanej jazde. Pri autonómnej jazde smie vodič byť „mimo slučky“ a vozidlo má plne pod kontrolou okolité prostredie.

2.1.1 Rozdelenie vozidiel podľa stupňa automatizácie

Pri rozdelení vozidiel podľa stupňa automatizácie budem vychádzať z klasifikácie SAE (Society of automotive engineers), ktorá určila 6 stupňov. Stupeň 0 predstavuje žiadnu automatizáciu a stupeň 5 plnú automatizáciu.[1]

0 stupeň – žiadna automatizácia: vodič vykonáva vedenie vozidla úplne sám a je zodpovedný za monitorovanie okolia. Napriek označeniu žiadna automatizácia vozidlo môže byť vybavené systémami zasahujúcimi do riadenia, ako napr. varovanie pri nechcenom opustení jazdného pruhu – Lane departure warning, varovanie pred čelnou zrážkou – Front collision warning alebo kontrola jazdnej stability – ESC a núdzové brzdenie – Emergency braking. Hoci tieto systémy za určitých okolností zasahujú do riadenia, sú však považované za žiadnu automatizáciu, pretože sú aktivované na krátky čas a nie na sústavnú časovú periódu.

1. stupeň – asistencia pre vodiča: najnižší stupeň automatizácie, automatizované systémy vykonávajú sčasti niektoré riadiace úlohy – akcelerácia/brzdenie alebo natáčanie volantu, napr. adaptívny tempomat (ACC) alebo udržovanie v jazdných pruhoch (LKA). Vodič je zodpovedný za všetky aspekty jazdy, vrátane vnímania okolia – objektov a udalostí.

2. stupeň – čiastočná automatizácia: nazývaný tiež ADAS (advanced driver assistance systems), vozidlo môže vykonávať obe činnosti – akceleráciu/brzdenie a natáčanie volantu. Vodič je zodpovedný za monitorovanie okolia a za aktivovanie/deaktivovanie systémov. Za určitých okolností môže byť vodič fyzicky neaktívny pri riadení, napr. ruky dole z volantu. Musí však monitorovať nepretržite dopravnú situáciu a byť pripravený okamžite prebrať kontrolu nad vozidlom, ak je to nutné.

3. stupeň – podmienená automatizácia: vozidlá sú schopné vykonávať všetky aspekty jednej alebo viacerých dynamických jazdných úloh (DDT - dynamic driving tasks) a bezpečnostných funkcií za určitých podmienok.

Za zmienku stojí spomenúť, že stupne 0 až 2 sa líšia od stupňov 3 až 5 hlavne v tom, že vozidlá skupiny 3 a vyššie, dokážu monitorovať a reagovať aktívne na okolitú dopravnú situáciu bez zásahu vodiča. Pri skupinách 0 – 2 to patrí výlučne k zodpovednosti vodiča. V stupni 3, vodič nemusí konštantne monitorovať okolie, ale musí byť pripravený prevziať kontrolu nad vozidlom v kritických situáciách, kedy to riadiaci algoritmus nedokáže zvládnuť sám. Tento stupeň zahŕňa napr. systém riadenia v zápche (Traffic Jam Chauffeur) alebo diaľničný systém riadenia (Highway Chauffeur systems).

4. stupeň – vysoká automatizácia: riadiace systémy dokážu vykonávať všetky aspekty jednej alebo viacerých dynamických jazdných úloh (DDT – dynamic driving tasks) a bezpečnostných funkcií podobne ako stupeň 3, avšak tento stupeň automatizácie nevyžaduje zásah vodiča v kritických situáciách. Systém dokáže riešiť aj neočakávané situácie bez intervencie vodiča. Vodič má však možnosť zasiahnuť do riadenia a prevziať kontrolu nad vozidlom. Fungovanie je však podľa súčasnej legislatívy obmedzené iba v rámci určitej, na tento účel vhodnej oblasti – tzv. Geofencing.

5. stupeň – úplná automatizácia: vozidlá sú schopné vykonávať kompletne všetky jazdné úlohy na všetkých typoch ciest a za všetkých podmienok. Zásah človeka nie je potrebný a ani možný, nakoľko vozidlá budú bez volantu a bez pedálu akcelerátora či pedálu brzdenia. Pojem „geofencing“ v tomto prípade stráca opodstatnenie. Na základe definícií uvedených na začiatku kapitoly, práve stupeň 5 možno právom nazvať ako samoriadiaci stupeň, a teda tieto vozidlá sú samoriadiace vozidlá.

| SAE level | Name | Narrative Definition | Execution of Steering and Acceleration/Deceleration | Monitoring of Driving Environment | Fallback Performance of Dynamic Driving Task | System Capability (Driving Modes) |
|---|------------------------|--|---|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| Human driver monitors the driving environment | | | | | | |
| 0 | No Automation | the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems | Human driver | Human driver | Human driver | n/a |
| 1 | Driver Assistance | the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i> | Human driver and system | Human driver | Human driver | Some driving modes |
| 2 | Partial Automation | the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i> | System | Human driver | Human driver | Some driving modes |
| Automated driving system (“system”) monitors the driving environment | | | | | | |
| 3 | Conditional Automation | the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i> | System | System | Human driver | Some driving modes |
| 4 | High Automation | the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i> | System | System | System | Some driving modes |
| 5 | Full Automation | the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i> | System | System | System | All driving modes |

Obr. 6. Klasifikácia stupňov automatizácie podľa SAE [11]

2.1.2 Legislatívny prehľad

Európska únia pracuje na zabezpečení spoločných pravidiel aj napriek rýchlym nástupom automatizovaných technológií. Parlament prijal správu, ktorú vypracoval holandský člen EĽS Wim van de Camp o autonómnom riadení. Táto správa zdôrazňuje, že:

- Právne predpisy a politiky týkajúce sa automatizácie dopravy, by sa mali vzťahovať na všetky druhy dopravy vrátane vodnej, leteckej a železničnej dopravy.
- Pre zabezpečenie interoperability vozidiel a zabezpečenia cezhraničnej bezpečnosti je potrebná koordinácia normalizácie na medzinárodnej úrovni.
- Povinnou výbavou automatizovaných vozidiel by mali byť zapisovače údajov o udalostiach, aby sa zlepšilo vyšetrowanie dopravných nehôd a zároveň, aby sa riešila aj otázka zodpovednosti.
- Definovanie pravidiel týkajúcich sa ochrany údajov a etiky v sektore automatizovanej dopravy s cieľom zvýšiť dôveru Európanov vo vozidlá bez vodiča.
- Zvýšená pozornosť by mala byť venovaná vývoju vozidiel s vlastným riadením pre osoby so zníženou pohybovou schopnosťou alebo postihnutím.

Základom pre uskutočnenie politických riešení a predpisov pre automatizované vozidlá je dohoda o terminológii a kategóriách rôznych foriem automatizácie. Medzinárodná spoločnosť automobilových inžinierov (SAE) vytvorila 5 úrovní automatizácie jazdy s cieľom zjednodušenia a uľahčenia spolupráce v technickej a politickej oblasti. (pozri kap. 2.1.1). Zjednodušený pohľad na automatizáciu a orientačný časový horizont zavedenia je vyobrazený na Obr. 7.

Na európskom trhu sú v súčasnosti vozidlá, ktoré sú vybavené asistenciou riadenia, ide o prvý a druhý stupeň automatizácie. Uvedenie na trh automatizovaných vozidiel, čiže stupeň tri a stupeň štyri, sa očakáva v horizonte rokov 2020 až 2030. V dnešnej dobe sú tieto vozidlá v štádiu testovania. S predajom vozidiel s najvyšším stupňom automatizácie

sa uvažuje až okolo roku 2030. Vzájomné prepojenie novovyrobených vozidiel sa predpokladá okolo roku 2022. [13]



Obr. 7. Úrovně automatizovaného riadenia vozidla [12]

V národných diskurzoch a podporných stratégiách pre automatizované vozidlá existujú rozdiely na hlavných trhoch výroby. Krajiny ako USA, Japonsko a členské štáty EÚ stoja pred rovnakým problémom a to, že im chýbajú vnútroštátne právne predpisy pre automatizované vozidlá. Prvou krajinou, ktorá mala upravené štátne predpisy pre testovanie automatizovaných vozidiel na verejných komunikáciách, bolo USA. V členských štátoch EÚ boli vykonávané testy automatizovaných vozidiel iba na základe zvláštnych povolení.

Vzhľadom na napredovanie v oblasti automatizovaných vozidiel v USA sa na európskej úrovni zintenzívnili diskusie o potrebe úpravy Dohovoru OSN (Viedenský dohovor). V tomto dohovore sa uvádza, že každý vodič musí byť schopný ovládať svoje vozidlo. Toto tvrdenie je však v rozpore s nástupom nových automatizovaných technológií. Z toho dôvodu, vlády

Nemecka, Francúzska, Talianska, Rakúska a Belgicka spoločne navrhli zmenu a doplnenie, ktoré schválila pracovná skupina Spojeného kráľovstva pre bezpečnosť cestnej premávky. Táto zmena a doplnenie by umožnilo nástup novým automatizovaným technológiami, avšak iba za predpokladu, ak by vodič mohol do systému automatizovaného riadenia vstúpiť a prevziať kontrolu alebo ho v prípade potreby vypnúť. [12]

Európa: V členských štátoch EÚ sú iniciatívy z krajín, ako napríklad Nemecko, Francúzsko, Švédsko, Holandsko a iné, zamerané na rozsiahle testovanie, čo podporuje aj Európska komisia. Je však potrebná neustála koordinácia. Členské štáty EÚ v Amsterdamskom vyhlásení vyzvali Komisiu, aby vypracovala spoločnú európsku stratégiu pre automatizované a prepojené riadenie. Taktiež, aby preskúmala regulačný rámec EÚ a v prípade potreby ho upravila a aby rozvíjala koordinovaný prístup k výskumu a inováciám. V rámci prepojitelnosti a služieb, ktorých cieľom je podpora automatizovaných vozidiel, komisia prijala opatrenia na podporu infraštruktúry, a to prijatím stratégie pre komunikačnú sieť piatej generácie (5G). Komisia zároveň navrhla aj iniciatívu v oblasti umelej inteligencie, ktorá bude podporovať automatizované riadenie vozidiel. Pre automatizované riadenie vozidiel je tiež potrebný aj navigačný systém. Komisia plánuje rozvíjať služby systému Galileo a ďalšie súvisiace technológie navigácie pre vozidlá bez vodiča. Tento systém je prínosom pre zabezpečenie presnej polohy a pre spoľahlivosť digitálnych máp.

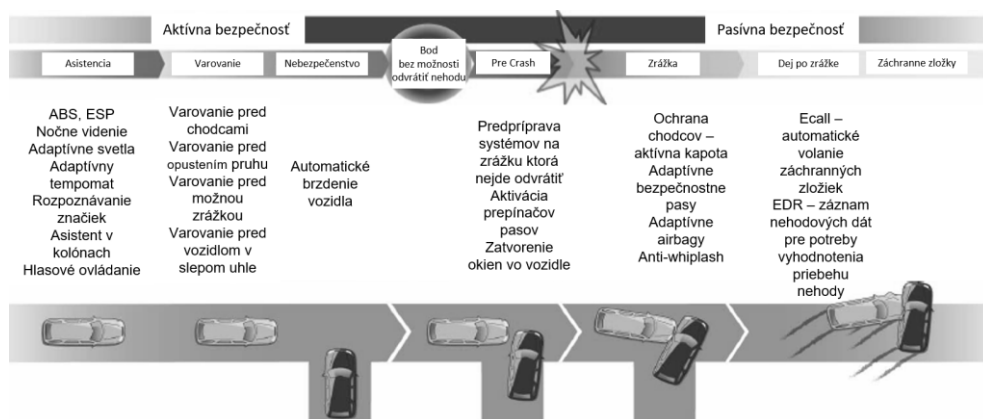
Slovensko: V oblasti automatizovaných vozidiel došlo k dynamickému pokroku v tomto sektore. Tieto technologické zmeny však nie sú v slovenskej legislatíve zakomponované. Slovenská legislatíva je v tejto oblasti v súčasnosti zahrnutá do zákona č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke v znení neskorších predpisov. V tomto zákone sa uvádza iba „vozidlá vedené ľuďmi“. Z toho dôvodu nie sú automatizované vozidlá na Slovensku nijak regulované, pretože neexistuje právny rámec toho, čo sa považuje za automatizované vozidlo respektíve vozidlo bez vodiča. V prípade dopravnej nehody spôsobenej autonómnym vozidlom, môžu vznikať právne otázky ohľadom zodpovednosti. Vzhľadom na to, že na Slovensku nie sú automatizované vozidlá právne regulované, nie je jasné, aké práva a povinnosti majú

používatelia takýchto vozidiel. Preto by sa vyžadovala právna úprava na zabezpečenie právnej istoty pre používateľov automatizovaných vozidiel, ako aj výrobcov, aby sa predchádzalo problémom v súvislosti s administratívnou a občianskou zodpovednosťou v prípade vzniku dopravnej nehody. S prihliadnutím na súčasnú legislatívu na Slovensku a iniciatívu presadenia nových právnych noriem v oblasti automatizácie dopravy je možné očakávať zmeny až po prijatí a implementácii legislatívnych iniciatív na európskej úrovni z dôvodu, že na slovenskej národnej legislatívnej úrovni nie je takýto vývoj.

V automobilovom priemysle sa aktívnou bezpečnosťou rozumejú systémy vo vozidle (Advanced Driving Assistance Systems - ADAS), ktoré vodičom pomáhajú znižovať závažnosť nehôd alebo sa im úplne vyhnúť zásahom do riadenia, brzdenia alebo pohonného ústrojenstva. Bezpečnosť bola v automobilovom svete vždy prvoradým záujmom. Priemysel vyvinul špičkové testovacie protokoly týkajúce sa bezpečnosti vozidiel a jeho pokrok bol pri znižovaní počtu dopravných nehôd veľmi úspešný. Miera úmrtí na 100 miliónov najazdených kilometrov sa za posledných niekoľko desaťročí dramaticky znížila. Najväčšiu zásluhu na tom majú práve prvky „pasívnej bezpečnosti“ - to znamená prvky, ktoré sa aktivujú iba v prípade nehody a znižujú akékoľvek zranenie vodiča a cestujúcich. Patria sem bezpečnostné pásy a airbagy, ako aj štrukturálne vylepšenia, ako napríklad deformačné zóny, ktoré absorbujú energiu nárazu. Zisky z pasívnej bezpečnosti dosiahli svoj limit.

3 Aktívna bezpečnosť

Z pohľadu priebehu dopravnej nehody je možné rozdeliť dej na pohyb vozidiel pred zrážkou (pohyb pred prvým kontaktom vozidla s okolím) a pohyb vozidiel po zrážke do konečných polôh. Z Obr. 8 je zrejmé, ktoré asistenčné riešenia pomáhajú vodičovi pred zrážkou zvýšiť pravdepodobnosť rozpoznania dopravnej situácie a tým pádom poskytujú dlhší čas pre vodiča na vyhodnotenie danej situácie. Aktívna bezpečnosť je teda súbor HW a SW riešení, ktoré sa snažia pred prvým kontaktom vozidiel alebo vozidla a chodca zmierniť celkový priebeh danej situácie. Zmiernenie situácie je možné varovaním a vyhýbacím manévrom alebo varovaním a následnou skoršou reakciou, a tak znížením rýchlosti v čase zrážky alebo autonómny zásahom systému so zámerom zníženia rýchlosti až úplného zastavenia vozidla.



Obr. 8. Prehľad vyčlenenia aktívnej a pasívnej bezpečnosti [14]

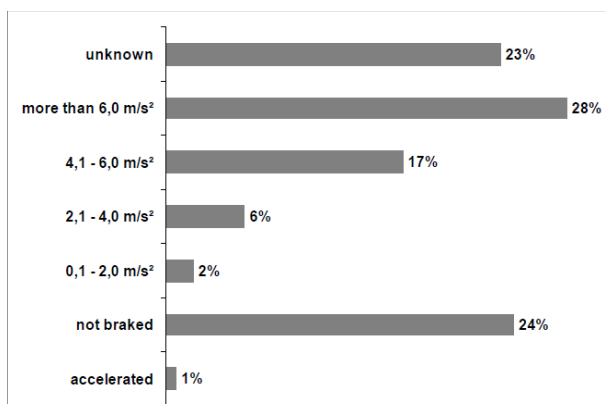
Medzi prvotné prvky aktívnej bezpečnosti patrili v nedávnej minulosti systémy dopomáhajúce k stabilite a pri brzdení. Stabilita vozidla je jedným zo základných prvkov aktívnej bezpečnosti vozidla. Elektronický stabilizačný systém (ESC) spolu s antiblokovacím systémom (ABS) je jedným zo základných aktívnych bezpečnostných prvkov vozidiel, ktoré zabraňujú strate kontroly nad vozidlom pri pretáčavom alebo nedotáčavom šmyku. ESC patrí svojim významom k jedným z najdôležitejších prvkov ochrany vozidla pred vznikom kolíznej situácie. Inštalácia ESC je od roku 2012 povinná v Austrálii, Európe a USA. Je predpokladané, že ESC môže

zabrániť až 10 000 usmrteniam ročne v USA a približne 4 000 usmrteniam spôsobených dopravnou nehodou v Európe. Global NCAP vyvíja snahu o presadenie 100 % aplikácie ESC v novovyrobených vozidlách od roku 2020. Podľa National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) je výskyt vozidiel s ESC pri nehodách, v dôsledku straty stability vozidla nižší o 35 % v porovnaní s vozidlami bez tohto systému. [15] Konštrukcia a možnosti ESC dosiahli technologický limit a je možné očakávať len nepatrné zlepšenia v budúcnosti.

Roztržitá jazda sa javí ako čoraz väčší problém, čiastočne v dôsledku inteligentných telefónov, nepozornosťou, únavou, stresu a zvyšovaním počtu najazdených kilometrov. Aby sa mohlo pokračovať v trende zvyšovania bezpečnosti a dosahovať cieľ nulových nehôd a smrteľných nehôd s vozidlami, musia dnešné vozidlá pomáhať vodičom predchádzať zrážke. Tam prichádza na rad aktívna bezpečnosť. Pomocou senzorov, ako sú radary, lidar, kamery a ultrazvukové senzory, môže vozidlo vnímať svet okolo seba. Procesory a superpočítače následne tieto informácie interpretujú, fungujú ako druhá sada pozornosti pre vodiča a v prípade potreby podniknú zásah do riadenia vozidla.

3.1 Brzdenie pri dopravných nehodách

Pri podrobnejšej štúdií 1492 prípadov dopravných nehôd na základe databázy GIDAS bolo vyhodnotených zodpovedajúce spomalenie vozidiel po zrážke. Z Obr. 9 je zrejme, že až v 24 % prípadov vodiči pri zrážke nebrzdili a v ďalších 25 % prípadov vodiči brzdili so spomalením nižším ako 6 m/s^2 . Dá sa predpokladať, že dokonca i v prípadoch, kedy nebolo známe, či vozidlo brzdilo alebo nie, išlo o situácie, kde vozidlo nebrzdilo alebo vodič vyvinul len minimálnu silu na brzdový pedál. Zistenia demonštrujú významný potenciál preventívnych systémov aktívnej bezpečnosti pri čelnej zrážke. Varovanie vodiča pred krízovou situáciou, zvýšenie brzdného účinku alebo autonómne brzdenie by zmiernilo alebo úplne zabránilo dopravnej nehode v prípadoch, kde vozidlo brzdilo s nedostatočnou účinnosťou. Z testovacích skúšok vykonaných spoločnosťou Daimler bolo zistené, že až v 90 % kritických situácií vodič motorového vozidla vyvinie nedostatočnú silu na brzdový pedál v priebehu brzdienia. [16] [17]



Obr. 9. Spomalenie vozidiel pri dopravných nehodách [17]

3.1.1 Pomocné brzdné systémy

Asistenčné systémy vo vozidle zlepšujú v priebehu riadenia jazdný komfort a nepriamo tak napomáhajú zlepšiť bezpečnosť cestnej premávky. Vo všeobecnosti je prioritným opatrením na zníženie vážnosti zranenia alebo smrti, spôsobenej v dôsledku zrážky, zníženie nárazovej rýchlosti vozidla. So vzrastajúcou rýchlosťou rastie brzdná draha s druhou mocninou rýchlosti. Rýchlosť jazdy vozidla je ovplyvnená vodičom. Z rovnice 29 [31] je zrejmé, že jediným parametrom, ktorý je možné kontrolovať vzhľadom na brzdnú drahu vozidla je jeho spomalenie. Spomalenie vozidla je závislé od poveternostných podmienok, pneumatík, adhézie a v neposlednom rade od toho, akú maximálnu silu vyvinie vodič na brzdový pedál.

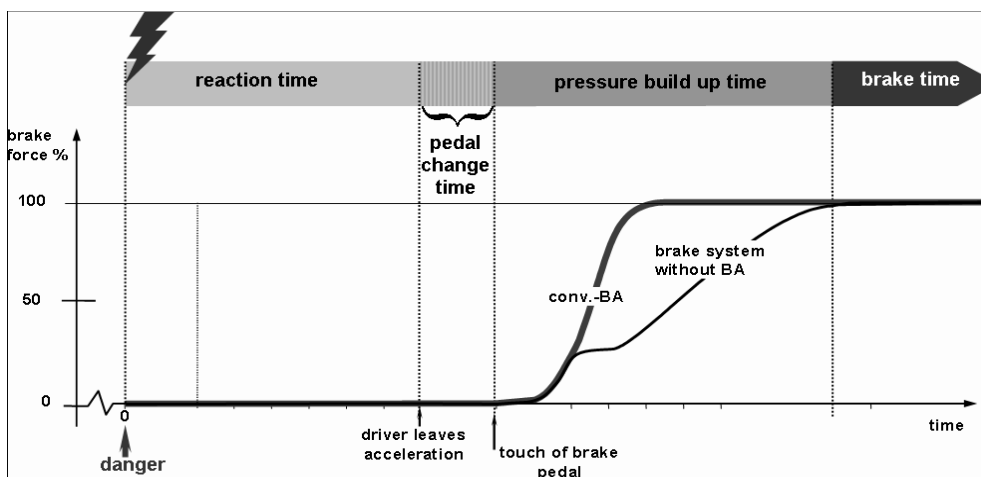
$$S = \frac{v^2}{2 \cdot a} \quad (1)$$

S – dráha [m] v – rýchlosť [m/s] a – zrýchlenie [m/s²]

Pre maximálne využitie brzdného účinku pre dané poveternostné podmienky boli vyvinuté tri asistenčné brzdné systémy – brzdný asistent, brzdný asistent + a autonómny brzdný asistent.

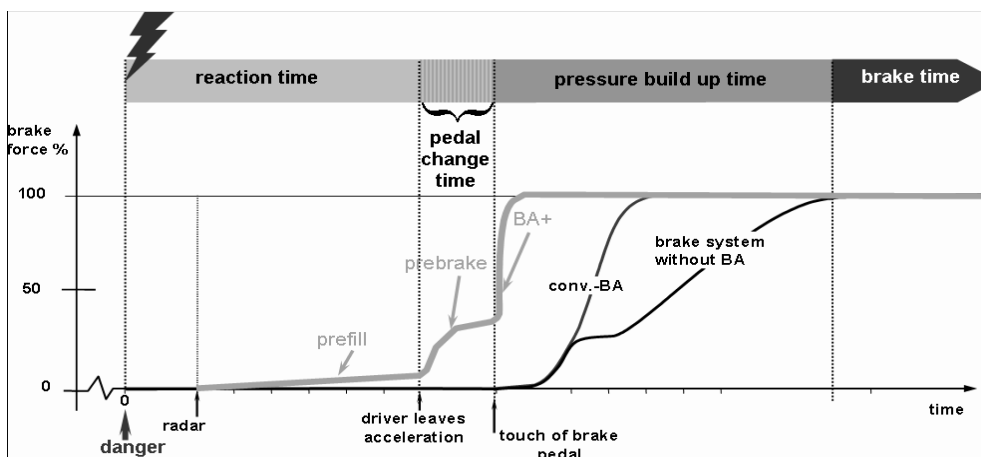
Brzdný asistent : brzdný asistent vyhodnocuje kritickosť situácie na základe rýchlosti stlačenia brzdového pedála a následne dokáže využiť plný brzdný potenciál brzdného systému. Systém nezahrňuje informácie z radaru alebo kamery, ktoré by mali pozitívny účinok na skrátenie reakčného času, respektíve odozvy systému na podnet vodiča brzdiť. Obr. 10 znázorňuje

časový priebeh brzdenia v 4 krokoch. V priebehu reakčnej doby a samotného stlačenia brzdového pedála nedochádza k nárastu brzdneho účinku. Po odozve systému nastáva nárast tlaku v brzdnom okruhu, kde je zrejmy prínos brzdneho asistenta, ktorý zabezpečí maximálny možný tlak v danej situácii, ktorá bola vyhodnotená ako kritická.



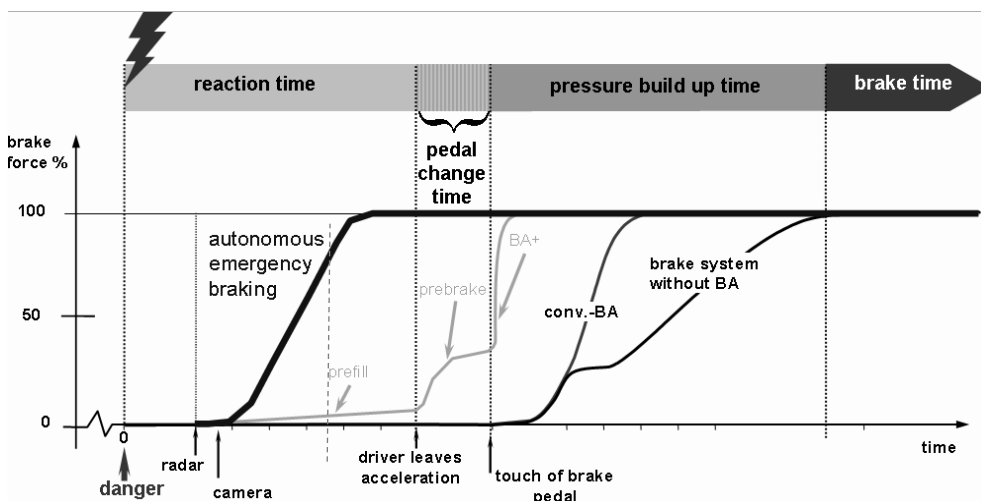
Obr. 10. Graf zvýšenia brzdneho účinku sústavy pomocou brzdneho asistenta [18]

Brzdny asistent +: asistent pracuje v kooperácii s radarom. Samotný radar nedokáže exaktne vyhodnotiť závažnosť situácie a o aký objekt ide, ale dokáže na daný objekt upozorniť a pripraviť brzdny systém na zrýchlenú reakciu. Bežná reakčná doba vodiča je 0,8 s [31], ale elektronické bezpečnostné systémy dokážu reagovať na kritickú situáciu nesústreďeného vodiča skôr. Príklad skoršej reakcie systému je znázornený na Obr. 11, signál spracovaný z radaru dáva okamžitý príkaz pre brzdny systém k predplneniu (prefill) okruhu tlakového vedenia. Od tohto momentu začne zároveň systém automaticky upozorňovať zvukovým a svetelným signálom, že v jazdnom koridore vozidla sú prekážky. Zvukový signál a svetelná signalizácia je znamením pre vodiča, ktorý sa plne nevenuje riadeniu. V momente, keď vodič uvoľňuje akceleračný pedál a premiestňuje nohu na brzdový pedál, dochádza automaticky k brzdenu do výšky cca 4 m/s² (prebrake), keďže systém už bol predpripravený z prvej fázy. Na konci stlačenia brzdového pedála je systém schopný brzdiť behom zlomku časového intervalu plným brzdým spomalením.



Obr. 11. Graf zvýšenia brzdného účinku sústavy pomocou brzdného asistenta + [18]

Autonómne brzdenie – na rozdiel od prvých dvoch prípadov brzdných asistenčných systémov je autonómny systém plne nezávislý od reakcie vodiča. Systém vyhodnocuje situáciu pred vozidlom na základe radaru, ale taktiež kamery. Kamera dokáže jasne určiť, aký objekt sa nachádza v jazdnom koridore vozidla a následne vyhodnocuje jeho pohyb a možné riziko potenciálnej zrážky. Z fázy reaction time na Obr. 12 je zrejmé, že po rozpoznaní objektu pomocou radaru dochádza k vyhodnoteniu danej situácie kamerou a neodkladnému autonómnemu brzdeniu v časovom intervale kratšom ako 0,8 s.

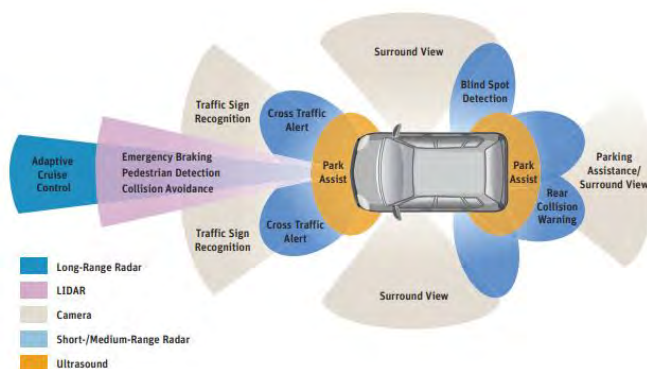


Obr. 12. Graf brzdného účinku sústavy vozidla s autonómnym systémom [18]

Autonómne brzdenie nezávislé od vodiča môže zvýšiť potenciálnu redukciu závažnosti zranenia chodca vplyvom zrážky s vozidlom. Odhadovaný pozitívny efekt na fatálne dopravné nehody je približne 47 % a 27 % na vážne zranenia spôsobené zrážkou chodca s vozidlom. Pri kombinácii dizajnových vylepšení masky vozidla, aktívnej kapoty fs U-airbagom a autonómneho brzdenia by mal kompletný integrovaný systém zabrániť zraneniam hlavy AIS 3+ vo viac ako 64 % prípadoch dopravnej nehody chodca s vozidlom. [33]

3.2 Hardvérové vybavenie vozidiel s prvkami aktívnej bezpečnosti

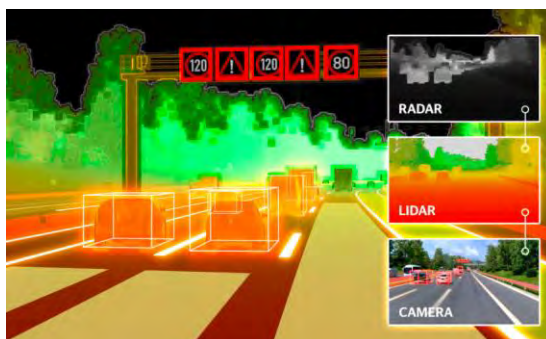
Oblasť automatizovaných vozidiel a potrebných hardware zariadení sa vyvíja rýchlym tempom a neustále sa zdokonaľuje. Výrobcovia sa snažia optimalizovať jednotlivé komponenty a hľadajú riešenie ako skĺbiť ich výhody, aby tak dosiahli potrebný zber dát pre fungovanie systémov automatizovaných vozidiel. Dôležitým faktorom okrem technických vlastností a úžitkovosti je aj samotná cena zariadení, ktorá sa môže stať limitujúcim faktorom. Ako najvhodnejšia kombinácia zariadení (okrem iných) sa v súčasnosti javia radary, lidary a kamery. Niektorí výrobcovia uprednostňujú radary, iní lidary, no každé zo zariadení má svoje výhody a rovnako tak aj nevýhody. Napr. americký výrobca elektromobilov TESLA sa spolieha na kombináciu radarov a pasívnych optických senzorov a verí, že táto zostava môže nahradiť lidar. [2]



Obr. 13. Obrazné znázornenie rozloženia hardvérovej výbavy vozidla určenej na snímanie okolia vozidla [19]

3.2.1 Fúzia senzorov

Fúziou senzorov - Sensor fusion sa rozumie schopnosť združovať výstupy 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 v sebe 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 semafora. Kamery veľmi dobre čítajú značky alebo klasifikujú predmety, ako sú chodci, cyklisti alebo iné vozidlá. Ľahko ich však môže ovplyvniť špina, slnko, dážď, sneh alebo tma. Lidary môžu presne detekovať 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 radaru. Toto zlepšuje vnímanie využitím čiastočne prekrývajúcich sa zorných polí. Pretože viaceré radary pozorujú prostredie okolo vozidla, viac ako jeden senzor bude detekovať objekty súčasne. Interpretované pomocou globálneho softvéru na vnímanie 360° môžu byť detekcie z týchto viacerých senzorov prekrývané alebo spájané, čo zvyšuje pravdepodobnosť a spoľahlivosť detekcie objektov v okolí vozidla a poskytuje presnejšie a spoľahlivejšie znázornenie prostredia.



Obr. 14. System fusion pre lepšiu 3D priestorovú orientáciu [19]

3.2.2 Kamera

Kamera patrí medzi staršie a pomerne rozšírené technológie, ktoré majú uplatnenie vo viacerých oblastiach priemyslu. Je to pasívny systém, ktorý je niektorými svojimi výhodami nezastupiteľný. Kamera je síce, podobne ako ľudské oko, náchylná na počasie (hustý dážď, sneženie) kedy je jej fungovanie obmedzené, no ako jediná dokáže zaznamenať textúru, farbu a kontrast. Kamera dokáže jednoducho rozpoznať poveternostné podmienky. Schopnosť vysokého rozlíšenia, zachytenia detailov skúmaného prostredia, robí kameru technologickým lídrom pre klasifikáciu objektov. Svojou relatívne nízkou nákladovosťou, je hlavným prvkom pokročilých asistenčných systémov a automatizovaných systémov. [20]

Príklady systémov používajúcich kameru:

- adaptívny tempomat (ACC – adaptive cruise control),
- protikolízny systém (AEB – autonomous emergency braking),
- automatické prepínanie svetiel (AHBC – automatic high beam control),
- čítanie dopravných značiek (TSR – traffic sign recognition),
- asistent udržiavania v jazdnom pruhu (LKS – lane keep systems),
- vnútorné kamery – napr. na monitorovanie tváre vodiča, resp. únavy vodiča.



Bosch MPC



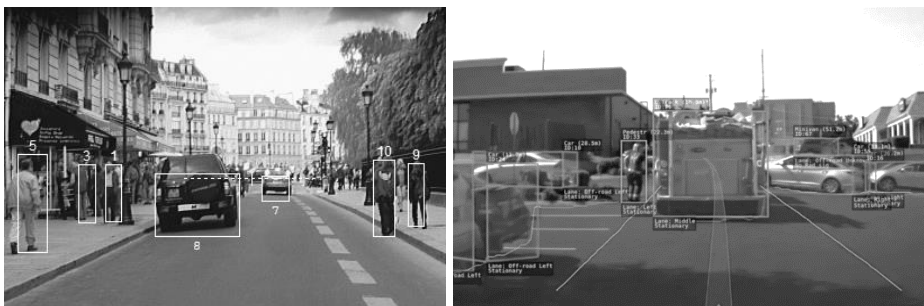
Continental Camera with LiDAR

Obr. 15 Mono kamera, kamera kombinovaná s lidarom pre automatizované vozidlá od rôznych výrobcov. [21]

3.2.2.1 Monofokálna kamera

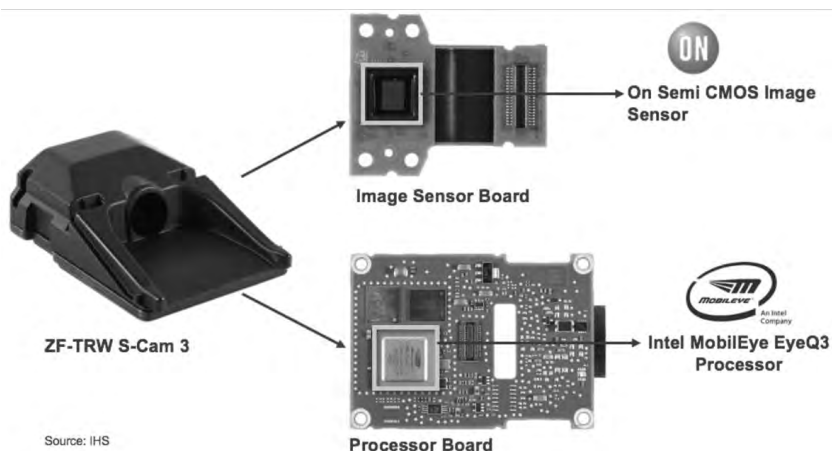
Monofokálne kamery sa používajú prevažne v aktívnych asistenčných systémoch, ako je udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu, adaptívny tempomat, rozpoznávanie značiek a núdzové brzdenie. Kamera

sa najčastejšie používa v kombinácii s radarom alebo lidarom. Po rozpoznaní objektu a jeho vzdialenosti radarom je pomocou kamery algoritmicke vyhodnotené, o aký objekt ide. Vyhodnotená priestorová situácia je zobrazená na Obr. 16, kde je zrejmý rozdiel medzi chodcom a vozidlom.



Obr. 16. Příklad rozpoznávání objektů z mono kamery Volvo (vľavo), Tesla (vpravo) [22] [23]

Systém obsahujúci kombináciu radara a kamery môže následne autonómne vyhodnocovať cestnú premávku a v prípade potreby brzdiť bez zásahu vodiča. Algoritmus výpočtu zahrňuje preddefinovaný postoj kráčajúcej osoby, ktorý je porovnávaný s objektom zaznamenaným z kamery. Monofokálna kamera 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.

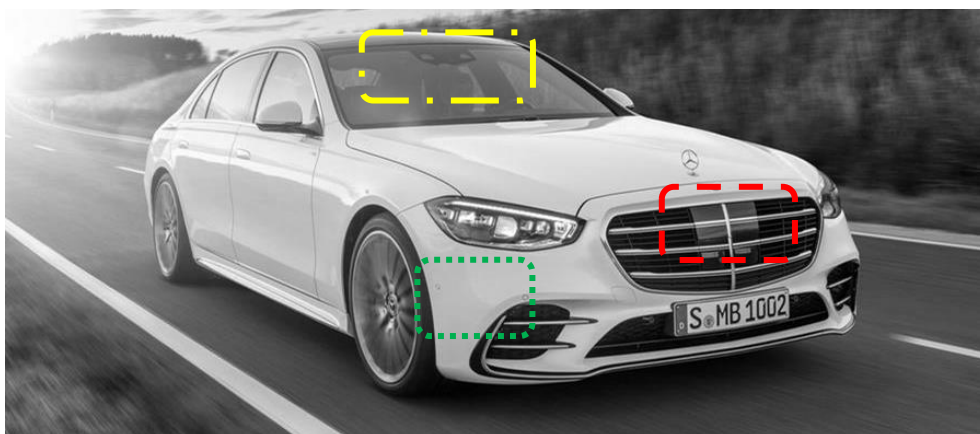


Source: IHS

Obr. 17. Pohľad na monofokálnu kameru ZF [21]

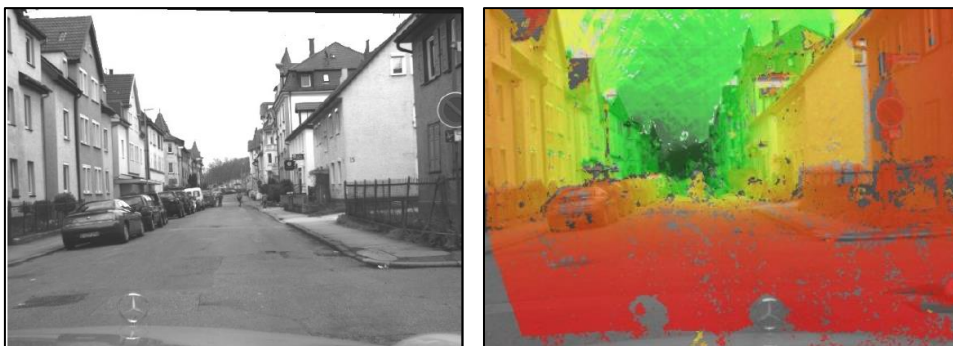
3.2.2.2 Stereo kamera

Stereo kamera spoločne s radarom boli vyvinuté za účelom zvýšenia bezpečnosti a zníženia rizík spojených s cestnou premávkou. Už v roku 2003 predstavila spoločnosť Subaru prvý komerčný systém stereo- kamery 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 detekovať 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 pri svojich modeloch preferuje kvôli cene len stereokameru.



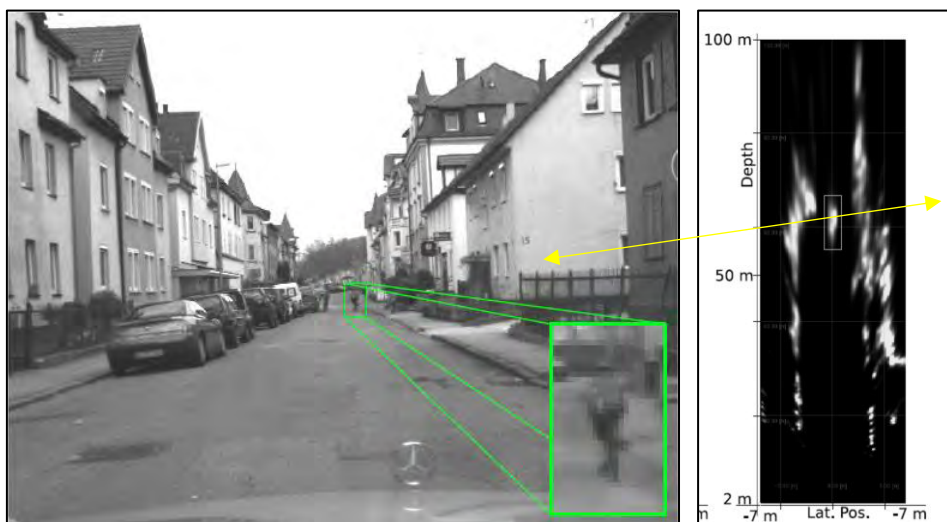
Obr. 18. Pohľad na prednú časť vozidla s viditeľným long range radarom (čiarkovaná oblasť), za nárazníkom schované short range radar (bodkovaná oblasť) a stereokamera (bodkočiarkovaná oblasť) [24]

Základným princípom stereofónnej zhody je triangulácia. Keď je v rovnakom čase objekt snímaný dvoma kamerami z rozdielnej pozície, objekt sa objaví na rozdielnych miestach na snímkach. To znamená, že čím väčší je rozdiel na snímkach, tým menšia je vzdialenosť objektu od kamery. Preto je vzdialenosť získaná porovnávacou metódou. Pri radare je vzdialenosť presne meraná na základe odrazu mikrovlnných vln. Obr. 19 znázorňuje vyhodnotenú situáciu v bežnej mestskej premávke. Červená farba popredia obrázku znamená, že objekt je blízko a s prechodom až do zelenej pre najvzdialenejšie objekty.



Obr. 19. Oblasť záberu kamery (vľavo), farebné spektrum vzdialenosti objektov pred vozidlom (vpravo) [25]

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

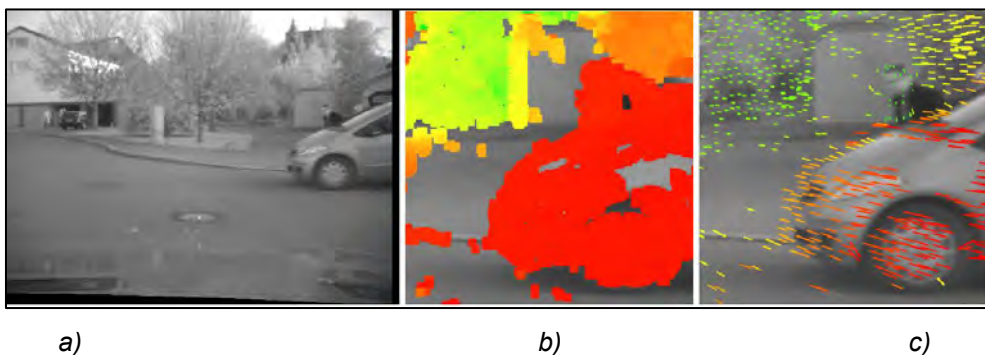


Obr. 20. Prevod obrazu do karteziánskeho súradnicového systému [25]

Mriežka zobrazujúca objekty v jazdnom smere a koridore vozidla je v karteziánskom súradnicovom systéme. Toto zobrazenie bolo prepočítané pre názornosť situácie. Karteziánsky systém ale 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 je pri vyhodnocovaní prekážky využívaný 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 vysporiadať 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 zobrazuje grafickú mapu vzdialenosti objektov od vozidla. Farebná škála je definovaná od červenej (najbližší objekt) po zelenú (najvzdialenejší objekt) Obr. 21b. 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 obrázku 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) [25]

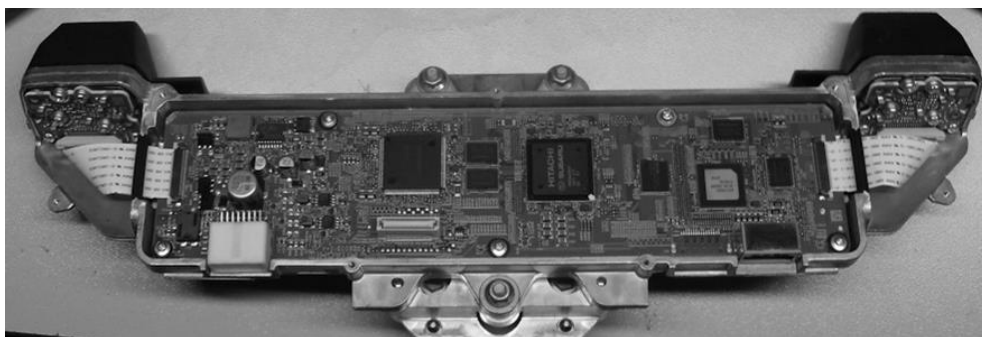
Tretím a posledným krokom pri vyhodnotení takejto situácie je algoritmus, ktorý je zameraný na segregáciu objektov a ich trakovanie. Algoritmus pracuje po sebe idúcimi snímkami a vyhodnocuje možnú segregáciu objektov a ich pohyb. Na Obr. 22 je zobrazený výsledok tohto

algoritmu. Zľava doprava je možné vidieť časový priebeh od prvého rozpoznania chodca v čase 0 a následne 80, 160 a 240 ms vo vzťahu k prvotnému výskytu. Odhadované vektory zodpovedajú predpokladanému smeru a rýchlosti pohybu chodca.



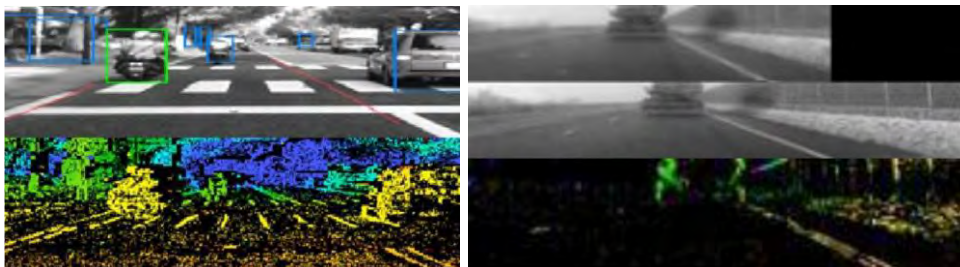
Obr. 22. Příklad trakovania pohybu chodca pomocou stereokamery [25]

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 so zhoršenou viditeľnosťou alebo zakrytým výhľadom na čelnom skle je jej funkcia znemožnená. Radar vie fungovať aj napriek námraze na ňom alebo pri prekrytí prachom, lístím alebo miernou špinou.

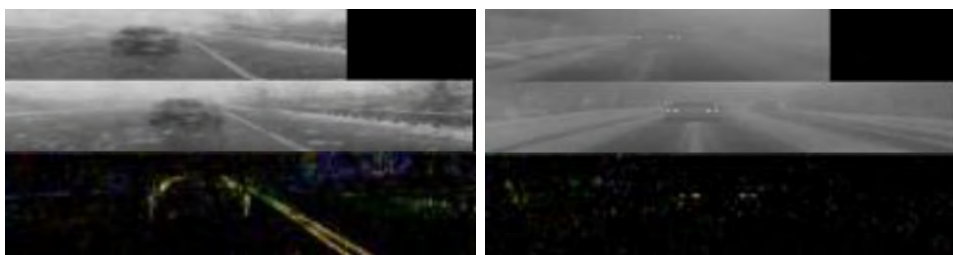


Obr. 23. Pohľad na EyeSight systém od Subaru - hore. [26] Rozobratá kamera – dole [4]

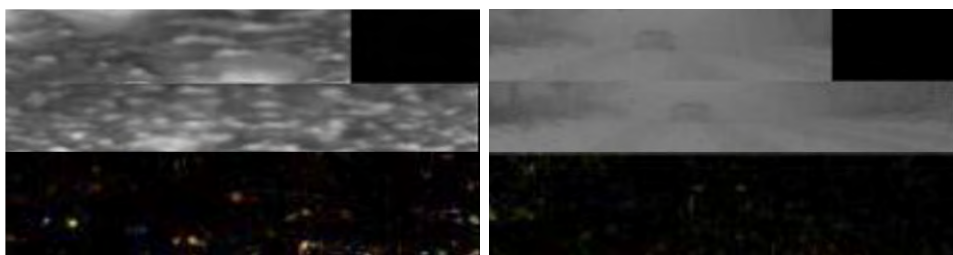
System EyeSight funguje na princípe snímania obrazu. Z toho vyplýva, že čím sú horšie podmienky na snímanie obrazu, tým horšie je samotné vyhodnotenie dopravnej situácie. Nasledujúci sled obrázkov vykresľuje dopravné situácie a možné zhoršené podmienky pri ich vyhodnocovaní. Väčšina obrázkov sa skladá 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) [27]



Obr. 25. Hustý dážď (vľavo). Hustá hmla (vpravo) [27]



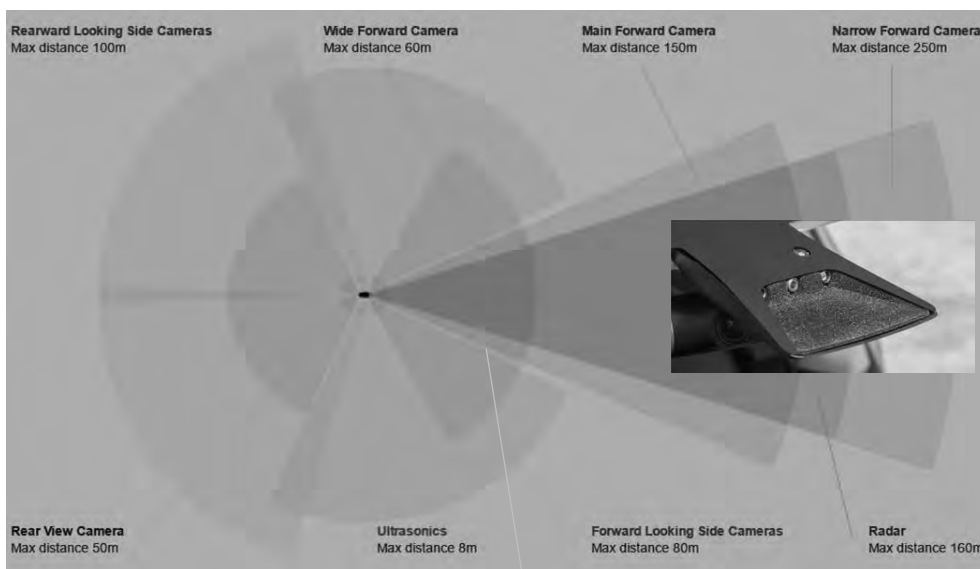
Obr. 26. Zamrznuté čelné sklo (vľavo). Husté sneženie (vpravo) [27]

Nová hardvérová sada pre autonómne vozidlá spoločnosti Tesla Autopilot sa skladá z 8 kamier, 1 radaru, ultrazvukových senzorov a nového superpočítača na podporu jej 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 na 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 oblasti čelného skla v strede. Každá z jednotlivých optik 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 Tesly a jej doplnkových senzorov [28]

3.2.3 Lidar

LIDAR (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 (viac v kapitole 3.2.4), ale miesto mikrovln meria dobu odrazu laserového lúča. Laserový lúč sa pohybuje vo vzduchu rýchlosťou svetla cca 300 000 km/s. Vysokovýkonná dióda o výkone až 70 W vysiela tento pulz o dĺžke cca 30 nm. [29] 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. Môžete 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 lidarů a jeho úplnú nefunkčnosť. Merací rozsah lidarů je od 0,1 m do 150 m. [30]



Obr. 28. Lidar pre segment microvozidiel 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) [19]

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 semaforey a značky. Kamery však majú širokú škálu vlastností, vďaka 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 LIDARu sú, že vytvorením 3D mračna bodov je LIDAR 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, ako napríklad zložité neurónové siete na meranie vzdialenosti medzi objektmi, agregáciou rôznych zdrojov kamery alebo jedného zdroja v priebehu času. Pokiaľ ide o detekciu farieb, navrhovatelia LIDAR tvrdia, že v prepojenom svete bez vodičov môžu byť dopravné informácie vydávané signálmi z jedného zariadenia na druhé zo svetelných signalizácií a iných značiek, čo odstráni kľúčovú chybu pre LIDAR. Náklady navyše klesajú. Prvý prototyp automobilu bez vodičov spoločnosti Google v roku 2012 používal LIDAR v hodnote 70 000 USD. V roku 2017 inžinieri spoločnosti Waymo deklarovali, že znížili náklady o 90 %. V roku 2020 niekoľko špičkových výrobcov LIDAR, ako napríklad Luminar, ponúka autonómne jazdné LIDARy za menej ako 1 000 USD.



Obr. 29. Mračno bodov vytvorené 3D Lidarom [19]

3.2.4 Radar

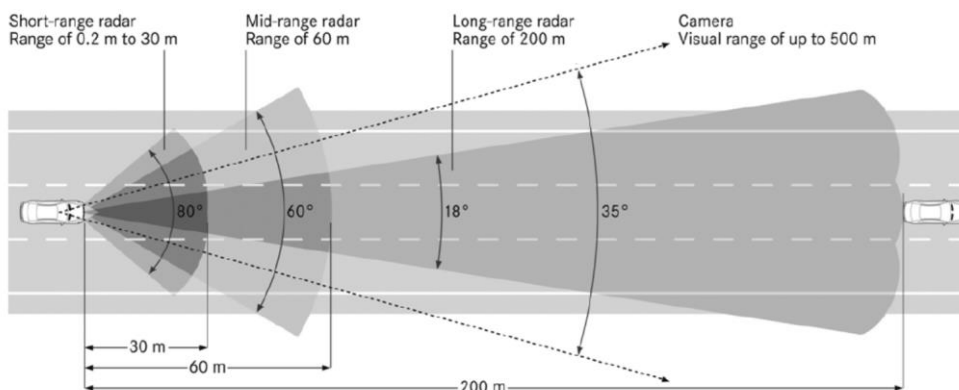
Najčastejším prvkom, ktorý dopomáha pri zaznamenávaní a vyhodnocovaní okolia vozidla, je kamera. Slabinou bežnej kamery zabudovanej vo vozidle je, že so zhoršujúcim sa počasím a tmou sa znižuje výkon správneho vyhodnotenia štatútu objektu. Vplyv počasia na radar nemá žiadny majoritný dôsledok na jeho funkciu. 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 vysielenie 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, ktoré poskytujú informácie o polohe a rýchlosti objektu. V súčasnosti radary využívajú elektromagnetické žiarenie najmä z mikrovlnného spektra. 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. 30. Orientačné umiestnenie radarov na Audi A6 2020 (vľavo). Náhľad na Long range radar od firmy Continental (v strede). Short range radar po demontovaní nárazníku (vpravo). [19] [31]

Na Obr. 31 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. 31. Ilustračný obrázok záberu a dosahu radarov a kamery vo vozidle [32]

3.2.5 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 iný analytický softvér.

Prečo zvoliť LIDAR nad RADAROM?

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

Čo je RADAR a kedy je lepší ako LIDAR

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

4 Testovanie aktívnej bezpečnosti chodcov

Systémy AEB VRU (Autonomous Emergency Braking Vulnerable Road User) sú systémy AEB, ktoré sú určené na autonómne brzdenie vozidla pri rozpoznaní chodcov alebo cyklistov. Pri posudzovaní systémov AEB VRU sa berú do úvahy dve oblasti hodnotenia; chodci AEB a cyklisti AEB. Oba sú hodnotené v rôznych scenároch. Pre potreby tejto publikácie sa text nižšie zameriava len na hodnotenie chodcov.

Stret chodca s vozidlom je jednou z najčastejších nehôd, ktoré sa stanú na cestách v dôsledku rozptýlenia pozornosti vodiča alebo

nesprávneho rozhodnutia vodiča či chodca. Typické nehody medzi automobilmi a chodcami sa stávajú pri intravilánovej rýchlosti v meste, keď chodec križuje koridor jazdy vozidla. Tieto druhy nehôd so zraniteľnými účastníkmi cestnej premávky sú zvyčajne s ťažkými zraneniami a vodičovi zostáva veľmi malá reakčná doba na zabrzdzenie. Viac o zraneniach chodcov v kapitole 1. Na podporu vodiča pri zabránení dopravnej nehody, keď je to možné, alebo na zmiernenie takýchto nehôd, ponúkajú výrobcovia automobilov technológiu, ktorá reaguje na situáciu autonómnym brzdením a pri vyšších rýchlostiach môže vydať zvukové varovanie, ktoré vodiča upozorní na nebezpečenstvo v jazdnom koridore vozidla. Systémy, ktoré konkrétne sledujú a reagujú na zraniteľných účastníkov cestnej premávky, ako sú chodci a cyklisti, sa nazývajú systémy AEB VRU. Celkové bodovanie AEB VRU je podmienené celkovým počtom bodov dosiahnutých v testoch subsystému, t. j. súčtom skóre z testu makety hlavy, makety stehna a makety dolnej končatiny. Ak je celkové skóre skúšky subsystému nižšie ako 18 bodov, pre AEB VRU nie sú pridelené žiadne body bez ohľadu na to, či je systém namontovaný a dosiahol by dobré skóre.

4.1 Definície pre testovacie scenáre

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 aktivuje automaticky ako reakciu na detekciu pravdepodobnej kolízie, aby varovalo vodiča.

Autonómne núdzové riadenie/Autonomous Emergency Steering (AES)

- riadenie, ktoré vozidlo automaticky aktivuje v reakcii na detekciu pravdepodobnej kolízie, ktorá má viesť vozidlo a potenciálne zabrániť kolízii.

Núdzová podpora riadenia/Emergency Steering Support (ESS) -

system, ktorý podporuje zásah vodiča do riadenia v reakcii na detekciu pravdepodobnej kolízie, ktorá zmení dráhu vozidla a zabráni kolízii.

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

Skúšané vozidlo/Vehicle under test (VUT) - znamená vozidlo testované podľa testovacieho protokolu so systémom prednázového zmiernenia alebo zabránenia zrážkam.

Figurína chodca Euro NCAP/Euro NCAP Pedestrian Target (EPTa) – použitá v testovacom protokole znamená, že cieľ nárazu je chodec – dospelý.

Figurína dieťaťa/Euro NCAP Child Target (EPTc) – použitá v testovacom protokole znamená, že cieľ nárazu je chodec – dieťa.

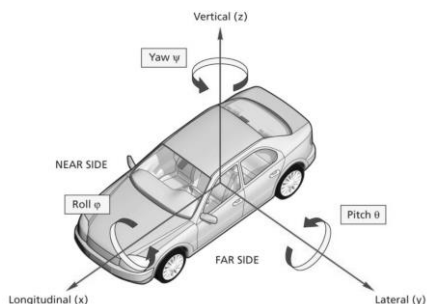
Čas do kolízie/Time to collision (TTC) - znamená zostávajúci čas pred tým, ako VUT udrie na EPT za predpokladu, že VUT a EPT budú pokračovať v jazde rýchlosťou, akou narazilo vozidlo.

T_{AEB} - znamená čas, keď sa aktivuje systém AEB. 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} - znamená čas, kedy sa spustí zvukové varovanie FCW. Počiatočný bod je určený zvukovým rozpoznaním.

Pre VUT, EPT a EBT je použitý dohovor špecifikovaný v ISO 8855: 1991, v ktorej os x smeruje k prednej časti vozidla, os y smerom doľava a os






z nahor (pravý systém) ako je znázornené na Obr. 32. Na obrázku je znázornený aj smer otáčania vozidla v smere hodinových ručičiek okolo osí x, y a z, pri vozidle s ľavostranným riadením (LHD).

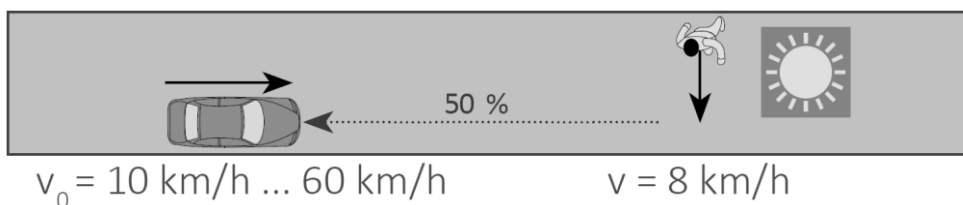


Obr. 32. definícia jednotlivých osí vozidla [9]

4.2 Testovacie scenáre

Dospelý chodec idúci zľava – prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Pedestrian Nearside Adult 50 % CPFA-50) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide vpred smerom k dospelému chodcovi prechádzajúcemu cez jeho koridor vedúceho z bočnej strany a čelná časť vozidla zasahuje chodca v 50 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou). Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 ([aktuálny zdroj tu](#)). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 ([aktuálny zdroj tu](#)).

-  Denné podmienky
-  Nočné podmienky
-  Nočné podmienky
Osvetlené pouličným osvetlením
-  Použitie diaľkové svetla
-  Použitie stretávacie svetla



Obr. 33. Testovací scenár: Osoba idúca zľava – Dospelý chodec - 50% (CPFA-50) [9]

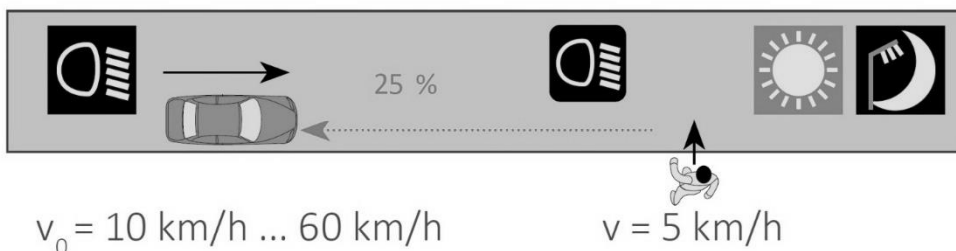
Na ilustráciu testovacieho scenára popisujú obrázky nižšie reálnu dopravnú nehodu vozidla s chodcom zachytenú kamerou. Chodec vstupuje do koridoru pohybu vozidla zo strany a dochádza k zrážke v oblasti 50% prekrytia s vozidlom. Práve takéto dopravné situácie sú značne početné a CPFA-50 scenár vychádza z reálnych situácií. Obrázky nižšie popisujú kľúčové momenty dopravnej nehody.



Obr. 34. Začiatok reakcie vodiča (vľavo hore). Začiatok brzdenia vodiča (vpravo hore). Zrážka s chodcami (vľavo dole). Konečná poloha vozidla (vpravo dole). [14]

Dospelý chodec idúci sprava – prekrytie s vozidlom 25 % (Car-to-Pedestrian Nearside Adult 25 % CPNA-25) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide vpred smerom k dospelému chodcovi prechádzajúcemu cez jeho koridor jazdy kráčajúcemu z bočnej strany a čelná časť vozidla zasahuje chodca v 25 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou). Predmetný scenár sa testuje aj pri umelom osvetlení s použitím tlmených svetiel na vozidle. Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 ([aktuálny zdroj tu](#)). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy

vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 (aktuálny zdroj tu).



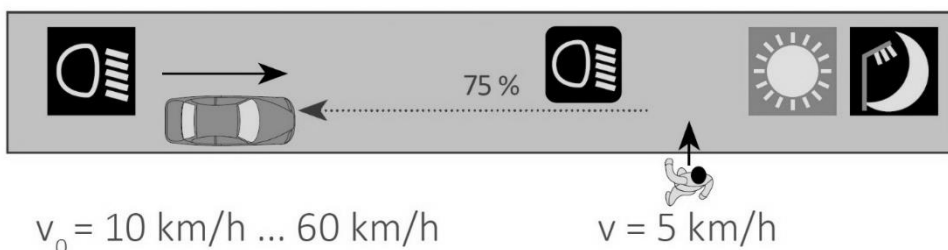
Obr. 35. Testovací scénár: Osoba idúca sprava – Dospelý chodec 25% (CPNA-25). [9]

Na ilustráciu testovacieho scenára popisujú obrázky nižšie reálnu dopravnú nehodu vozidla s chodcom zachytenú kamerou. Práve takéto dopravné situácie sú značne početné a tento scenár vychádza z reálnych situácií. Obrázky nižšie popisujú kľúčové momenty dopravnej nehody.



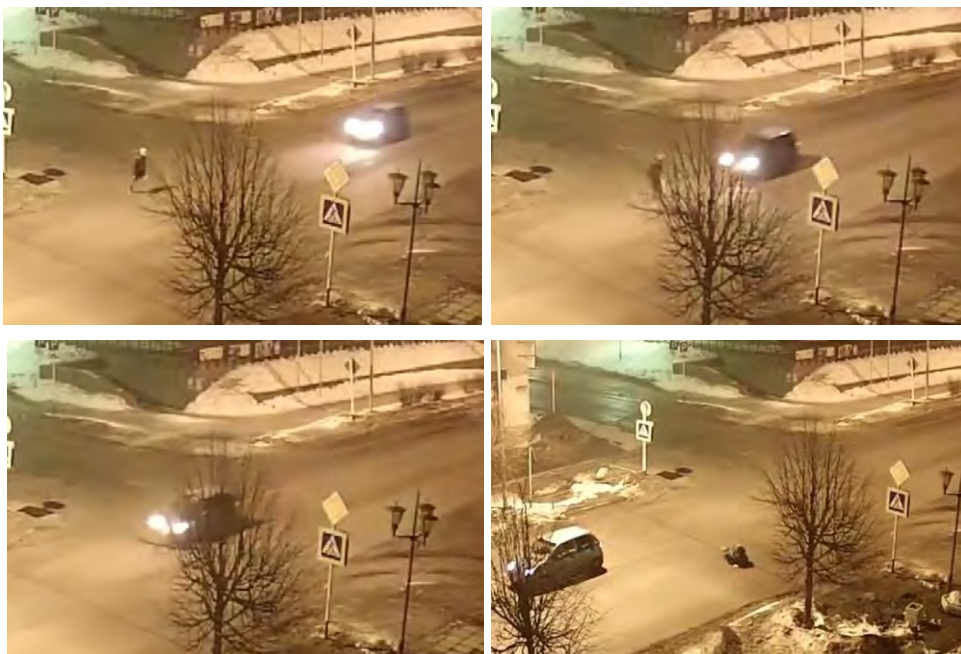
Obr. 36. Chodec prichádza sprava (vľavo hore). Chodec vstupuje do koridoru jazdy vozidla (vpravo hore). Vodič mierne vyhýba a zráža chodca (vľavo dole). Vozidlo stojí v konečnej polohe (vpravo dole). [14]

Dospelý chodec idúci sprava – prekrytie s vozidlom 75 % (Car-to-Pedestrian Nearside Adult 75 % CPNA-75) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide vpred smerom k dospelému chodcovi prechádzajúcemu cez jeho koridor jazdy kráčajúcemu z bočnej strany a čelná časť vozidla zasahuje chodca v 75 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou). Predmetný scenár sa testuje aj pri umelom osvetlení s použitím tlmených svetiel na vozidle. Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 ([aktuálny zdroj tu](#)). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 ([aktuálny zdroj tu](#)).



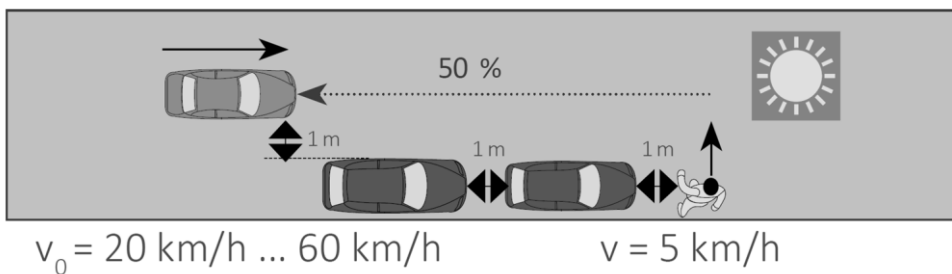
Obr. 37. Testovací scenár: Osoba idúca sprava – dospelý chodec 75 % (CPNA-75). [9]

Na ilustráciu testovacieho scenára popisujú obrázky nižšie reálnu dopravnú nehodu vozidla s chodcom zachytenú kamerou. Práve takéto dopravné situácie sú značne početné a tento scenár vychádza z reálnych situácií. Obrázky nižšie popisujú kľúčové momenty dopravnej nehody.



Obr. 38 Vodič reaguje na chodca (vľavo hore). Začiatok brzdenia a chodec reaguje na vozidlo (vpravo hore). Zrážka s chodcom (vľavo dole). Konečné polohy po zrážke (vpravo dole). [14]

Dieťa idúce sprava – prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Pedestrian Nearside Child 50 % CPNC-50) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide vpred smerom k dieťaťu prechádzajúcemu cez jeho koridor jazdy bežiacemu z bočnej strany a kde čelná časť vozidla zasahuje dieťa v 50 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou). Dieťa vybehne spoza radu vozidiel stojacích pri ceste. Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 (aktuálny zdroj tu). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 (aktuálny zdroj tu).



Obr. 39. Testovací scénár: Osoba idúca sprava – dieťa 50 % (Car-to-Pedestrian Nearside Child 50% CPNC-50). [9]

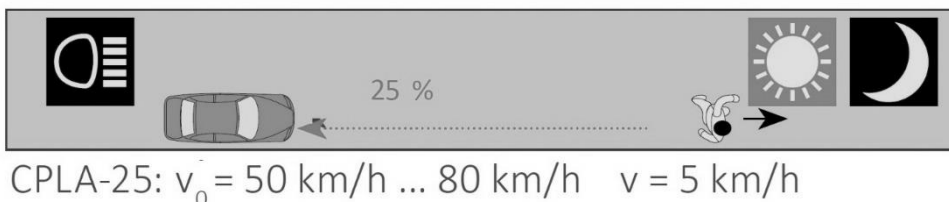
Na ilustráciu testovacieho scenára popisujú obrázky nižšie reálnu dopravnú nehodu vozidla chodcom zachytenú kamerou. Práve takéto dopravné situácie, keď dieťa vybehne spoza stojaceho vozidla, sú značne početné a tento testovací scenár vychádza z reálnych nehôd. Obrázky nižšie popisujú kľúčové momenty dopravnej nehody.



Obr. 40. Chodec je za stojacim vozidlom (vľavo hore). Chodec vybieha spoza vozidla (vpravo hore). Chodec vbehol do koridoru jazdy vozidla (vľavo dole). Zrážka chodca s vozidlom rýchlosťou cca 40 km/h (vpravo dole). [14]

Dospelý chodec idúci pozdĺžne v smere jazdy vozidla - prekrytie s vozidlom 25 % (Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult 25 % CPLA-25)
- zrážka, pri ktorej vozidlo ide vpred smerom k dospelému chodcovi kráčajúcemu rovnakým smerom pred vozidlom, kde vozidlo narazí

do chodca v 25 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou) alebo ak je po FCW začatý vyhýbací manéver. Predmetný scenár sa testuje aj v noci bez použitia umelého osvetlenia a s použitím tlmených svetiel na vozidle. Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 ([aktuálny zdroj tu](#)) Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 ([aktuálny zdroj tu](#)).



Obr. 41. Testovací scenár: Dospelý chodec idúci pozdĺžne v smere jazdy vozidla - prekrytie s vozidlom 25 % (Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult 25 % CPLA-25). [9]

Dospelý chodec idúci pozdĺžne v smere jazdy vozidla - prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult 50 % CPLA-50) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide vpred smerom k dospelému chodcovi kráčajúcemu rovnakým smerom pred vozidlom, kde vozidlo narazí do chodca v 25 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou) alebo ak je po FCW zahájený vyhýbací manéver. Predmetný scenár sa testuje aj v noci bez použitia umelého osvetlenia a s použitím tlmených svetiel na vozidle. Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 ([aktuálny zdroj tu](#)). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je

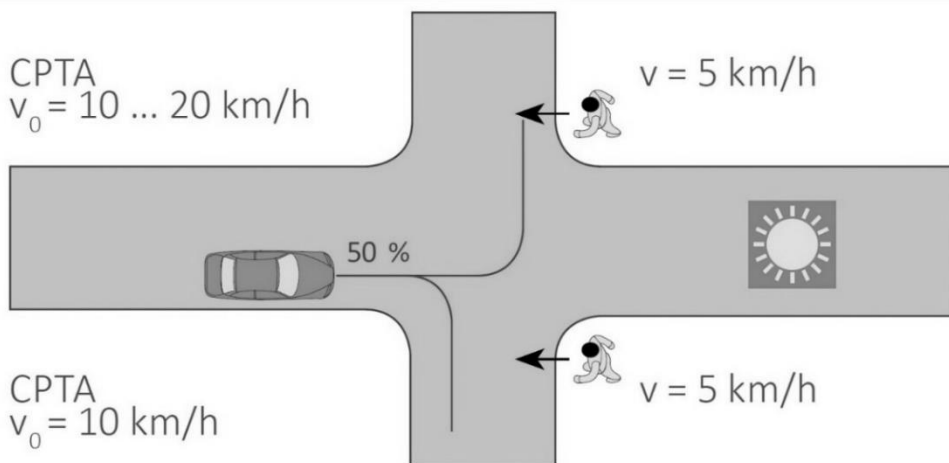
súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 (aktuálny zdroj tu).



CPLA-50: $v_0 = 20 \text{ km/h} \dots 60 \text{ km/h}$ $v = 5 \text{ km/h}$

Obr. 42 Testovací scenár: Dospelý chodec idúci pozdĺžne v smere jazdy vozidla - prekrytie s vozidlom 25 % (Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult 25% CPLA-25). [9]

Dospelý chodec vchádza do križovatky - prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Pedestrian Turning Adult 50 % CPTA-50) - zrážka, pri ktorej vozidlo zabočí smerom k dospelému chodcovi prechádzajúcemu cez jeho koridor jazdy.

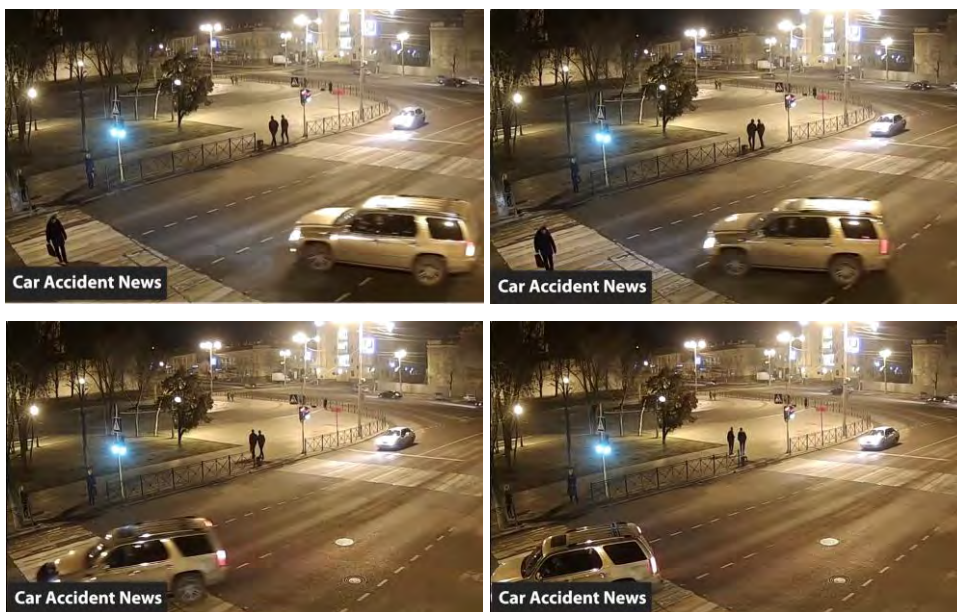


Obr. 43 Testovací scenár: Dospelý chodec vchádza do križovatky - prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Pedestrian Turning Adult 50 % CPTA-50). [9]

Osoba kráča z protismeru na križovatke (predtým, ako VUT začalo odbočovať). Dochádza k zrážke s čelnou časťou vozidla v 50 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou). Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST

PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 (aktuálny zdroj tu). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 (aktuálny zdroj tu).

Na ilustráciu testovacieho scenára popisujú obrázky nižšie reálnu dopravnú nehodu vozidla s chodcom zachytenú kamerou. Je zrejmý pohyb vozidla pri odbočovaní doľava a následný vstup chodkyne do koridoru pohybu vozidla. Práve takéto dopravné situácie sú značne početné a CPTA-50 scenár vychádza z reálnych situácií. Obrázky nižšie popisujú kľúčové momenty dopravnej nehody pre odbočovanie vľavo a odbočovanie vpravo.

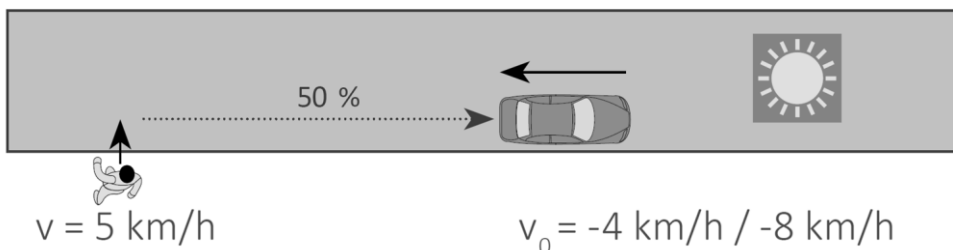


Obr. 44. Odbočovanie vozidla doľava a chodkyňa zatiaľ nereaguje (vľavo hore). Chodkyňa zareagovala na vozidlo (vpravo hore). Dochádza k zrážke vozidla s chodkyňou (vľavo dole). Vozidlo stojí v konečnej polohe (vpravo dole). [14]



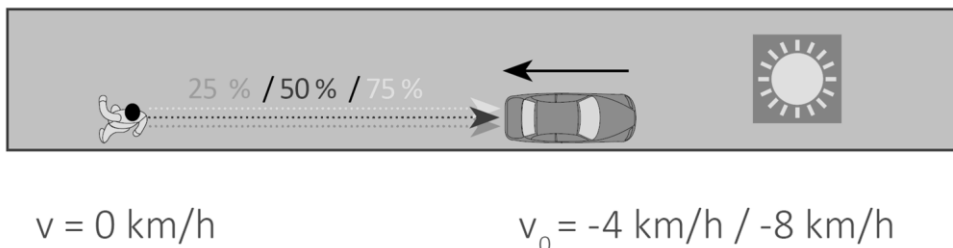
Obr. 45. Vozidlo odbočuje doprava (vľavo hore). Chodkyňa reaguje na blížiace sa vozidlo (vpravo hore). Vozidlo zráža chodkyňu (vľavo dole). Vozidlo stojí a chodkyňa je pod vozidlom (v pravom dole). [14]

Osoba kráčajúca poza vozidlo - prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Walker Reverse Adult 50 % CPRA-50) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide dozadu smerom k dospelému chodcovi prechádzajúcemu cez jeho koridor jazdy. Chodec kráča z bočnej strany a zadná časť vozidla zasahuje chodca v 50 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou). Komplexný testovací protokol a podmienky pre splnenie priebehu testu sú súčasťou smernice EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) TEST PROTOCOL – AEB VRU systems Version 3.0.3 (aktuálny zdroj tu). Z obrázku je zrejmé, že testovací scenár sa opakuje postupne so zvyšujúcou sa rýchlosťou jazdy vozidla. Následný popis vyhodnocovania zásahu asistenčného systému je súčasťou kapitoly 4.5 a odvoláva sa na EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL – VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Version 10.0 (aktuálny zdroj tu).



Obr. 46. Testovací scénár: Osoba kráčajúca poza vozidlo - prekrytie s vozidlom 50 % (Car-to-Walker Reverse Adult 50% CPRA-50). [9]

Stojaca osoba za vozidlom (Car-to-Pedestrian Reverse Adult stationary CPRA-s) - zrážka, pri ktorej vozidlo ide dozadu smerom k stojacemu dospelému chodcovi. Chodec stojí čelom kolmo na smer pohybu vozidla. Vozidlo narazí zadnou časťou do chodca v 25, 50 alebo 75 % šírky vozidla (definícia platí, ak nedôjde k brzdeniu pred zrážkou).



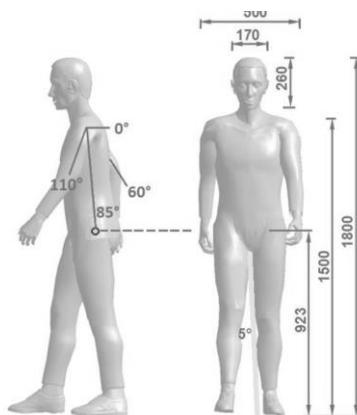
Obr. 47. Testovací scénár: Stojaca osoba za vozidlom (Car-to-Pedestrian Reverse Adult stationary CPRA-s). [9]

4.3 Špecifikácia chodca pre test – Pedestrian target (PT)

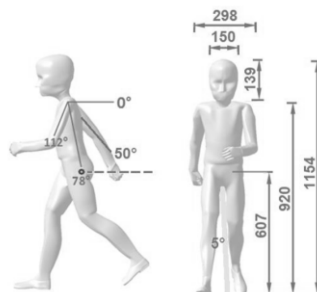
Tvar dospelých PT odkazuje na kontúry s 50 % RAMSIS Bodybuilder (pre dieťa je to Child PT - RAMSIS 7YO Bodybuilder) založený na RAMSIS verzii 3.8.30 s povolenou toleranciou $\pm 2 \text{ cm}$. Tvár PT sa pozerá v smere chôdze. PT musí byť pripevnený vo zvislej polohe. Rozmerovú presnosť a stabilitu PT je možné ľahko overiť pomocou vhodného nástroja alebo šablóny. Referenčným bodom pre bočnú pozíciu figuríny je bod HIP (pozri kruh na obrázkoch Obr. 48). Rovnaká fiktívna poloha tela sa používa pre oblasti riadenia vľavo a vpravo (vozidlá registrované napríklad vo Veľkej Británii), ako aj pre scenáre testovania vstupu z pravej a ľavej strany vozovky do koridoru vozidla. Najdôležitejšie parametre PT sú definované v

nasledujúcej tabuľke na Obr. 48. Predmetne rozmerové parametre sú požadované počas testovacej fázy (aj za predpokladu vetra alebo pri zrýchľovaní testovacieho systému). Dodatočne k hodnotám uvedeným v tabuľkách je potrebné pri teste zabrániť bočnej oscilácii (vzhľadom na smer pohybu PT) s toleranciou $\pm 5^\circ$. [33]

| Segment | Unit | Dim. | Tol. |
|----------------------|------|------|----------|
| Body height (+shoes) | mm | 1800 | ± 20 |
| HIP Point height | mm | 923 | ± 20 |
| Shoulder width | mm | 500 | ± 20 |
| Shoulder height | mm | 1500 | ± 20 |
| Head width | mm | 170 | ± 10 |
| Head height | mm | 260 | ± 10 |
| Torso depth | mm | 235 | ± 10 |
| Ground Clearance | mm | 20 | ± 5 |
| Torso angle | deg | 85 | ± 2 |
| R Upper arm angle | deg | 60 | ± 2 |
| L Upper arm angle | deg | 110 | ± 2 |
| Tube in driving dir. | deg | 5 | ± 2 |



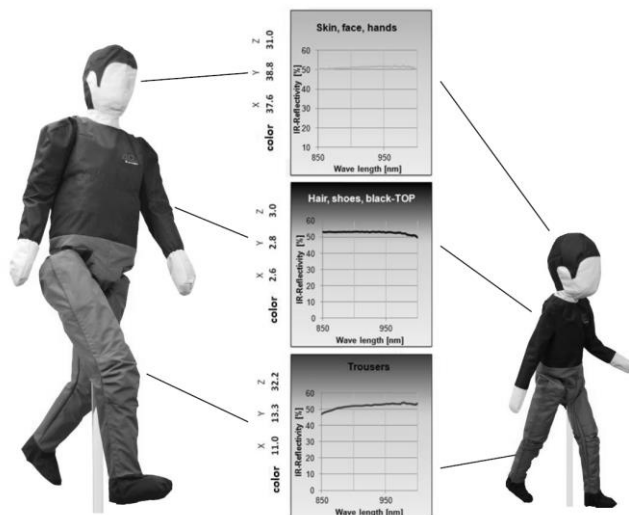
| Segment | Unit | Dim. | Tol. |
|----------------------|------|------|----------|
| Body height (+shoes) | mm | 1154 | ± 20 |
| HIP Point height | mm | 607 | ± 20 |
| Shoulder width | mm | 298 | ± 20 |
| Shoulder height | mm | 920 | ± 20 |
| Head width | mm | 150 | ± 10 |
| Head height | mm | 250 | ± 10 |
| Torso depth | mm | 139 | ± 10 |
| Ground Clearance | mm | 20 | ± 5 |
| Torso angle | deg | 78 | ± 2 |
| R Upper arm angle | deg | 50 | ± 2 |
| R Upper arm angle | deg | 112 | ± 2 |
| Tube in driving dir. | deg | 5 | ± 2 |



Obr. 48. Biometrické rozmery pre PT [33]

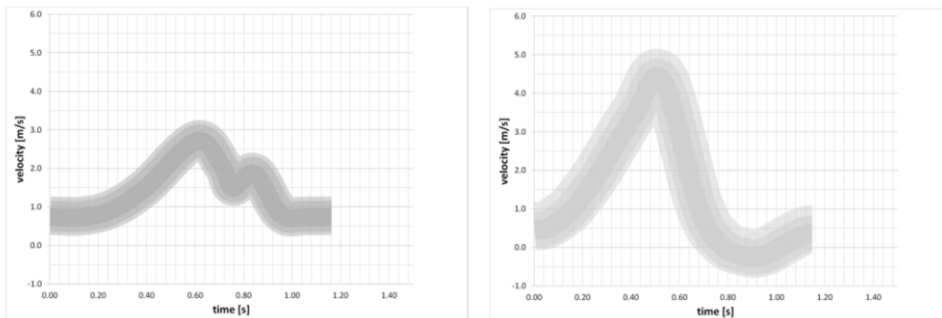
PT musí byť schopný reprezentovať vlastnosti ľudského tela vo vzťahu k snímačom použitým vo vozidlách. Požadované atribúty PT súvisiace so snímačmi pre skúšku systému určuje výrobca vozidla. PT musí byť detekovateľný pomocou nasledujúcich technológií automobilových senzorov: RADAR, Video, Laser, PMD, IR systém (viac v kapitole 3.2). PT musí vyzeráť ako človek oblečený v tričku s dlhým rukávom a nohaviciach v rôznych farbách: tričko v čiernej farbe a rifle v modrej farbe. Oblečenie musí byť vyrobené z materiálu odolného proti roztrhnutiu a vode. Časti povrchu

pokožky musia byť ukončené nereflexnou textúrou farby pokožky. IR odrazivosť odevu je od 850 do 910 nm vlnovej dĺžky a pokožky v oblasti rúk a tváre musí byť v rozmedzí od 40 % do 60 %. IR odrazivosť vlasov na hlave je od 850 do 910 nm vlnovej dĺžky a musí byť v rozmedzí od 20 % do 60 %. Pri výbere oblečenia musí byť zabezpečené, že IR odrazivosť je meraná sondou so záberom 45° a nesmie sa líšiť o viac ako 20 % od odrazivosti nameranej sondou 90°. Vizualne a infračervené vlastnosti sú definované na Obr. 49. [33]



Obr. 49. Príklad figurín od spoločnosti 4Activesystems a ich požadované reflexné vlastnosti [33]

PT sa skladá z dvoch kĺbových nôh, statických ramien, trupu a nosnej trubice so stredom buď zo spodnej strany (použitie pre platformu), alebo z hornej strany (testovacie zariadenie závesného charakteru). Požiadavky na figurínu sú iba na pohyb nôh, pretože pohyb nôh je vždy prítomný pri chôdzi chodca, zatiaľ čo pohyb paží je podriadený. Pohyb paží nemusí byť pri chôdzi / behu charakteristickou črtou pohybu človeka. Aby sa zabezpečila robustnosť a nákladová efektívnosť PT, uprednostňuje sa iba kĺbové spojenie bokov, aby mohol byť simulovaný pohyb človeka. V bokoch figuríny sú elektromotory, ktoré poháňajú dolné končatiny. Členenie nôh je definované rýchlosťami kolena a členku. Rýchlosti PT s veľkosťou popísanou v kapitole 2.1 musia zostať v rámci šírky pásma znázornenej na obrázku (Obr. 50).



Obr. 50. Definícia pohybu kolena (vľavo) a členka (vpravo) pre test rýchlosti pohybu dospelého chodca 5 km/h [33]

PT je dimenzovaný tak, aby nemal tvrdé úderové body na povrchu, a tak sa zabránilo poškodeniu VUT. PT musí byť navrhnutý pre maximálnu kolíznú rýchlosť 60 km/h. Maximálna hmotnosť PT dospelého človeka je 7 kg a dieťaťa 4 kg. Pre PT je vždy možnosť jednoduchým a praktickým spôsobom skontrolovať a opraviť držanie tela, nôh a rúk. Viac špecifických informácií je možné získať v ACEA ARTICULATED PEDESTRIAN TARGET SPECIFICATIONS verzia 2.0 ([alebo tu](#)).

4.4 Testovacie zariadenia

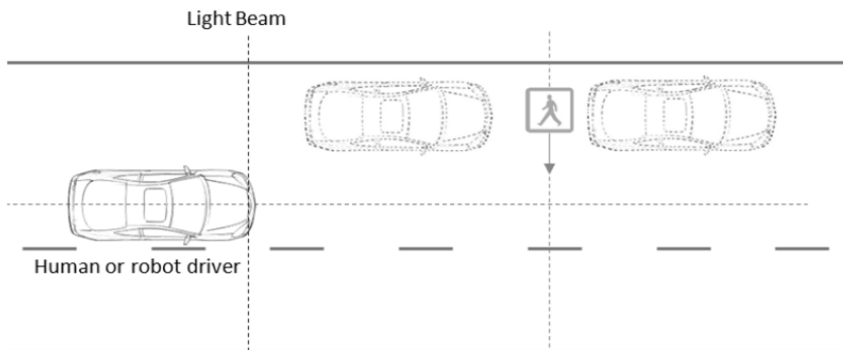
Prvý testovací postup Euro NCAP bol zavedený v roku 2016. Od jeho zavedenia sa rozsah testovacieho postupu rozšíril o ochranu cyklistov a nehôd na križovatkách ([viac tu](#)). Testovanie autonómneho núdzového brzdienia (AEB) s figurínami zraniteľných účastníkov cestnej premávky (VRU) je nevyhnutný pre vývoj, hodnotenie a validáciu pokročilých asistenčných systémov (ADAS) a autonómnych vozidiel. Testovanie systémov AEB vyžaduje mäkký cieľ (dospelá osoba, dieťa a cyklisti – pozri kapitolu 47). Mäkké figuríny sa potom musia namontovať na vhodný pohonný systém, schopný presne riadiť rýchlosť a polohu figuríny. Na účely testovania Euro NCAP sa výhradne používajú platformy poháňané remeňom. Výrobcovia schválených pohonných systémov sú uvedení v zozname TB29 organizácie Euro NCAP ([viac tu](#)), ktorý uvádza zoznam všetkých zariadení používaných pre testy Euro NCAP, ako aj ich certifikovaných dodávateľov. V súčasnosti sú na testovanie systémov AEB VRU dvaja certifikovaní dodávatelia - AB Dynamics a 4activeSystems. Oba dodávatelia ponúkajú

platformy poháňané remeňom, aby splnili prísne požiadavky testovania Euro NCAP.

4.4.1 Režimy testovania

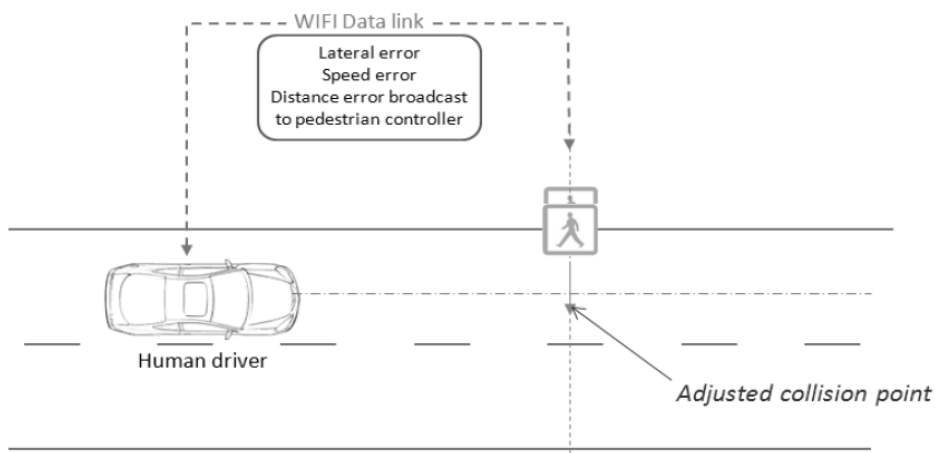
Režimy testovania sú závislé od infraštruktúry, ktorou disponuje prevádzkovateľ. Dôležitým prvkom pri testovaní je možnosť test zopakovať a to za predpokladu totožných podmietok pri testovaní.

Režim 1: je cenovo najdostupnejší, ale aj svojou náchylnosťou na opakovateľnosť testu najmenej spoľahlivý. Ide o scenár, kde s vozidlom jazdí poučená osoba alebo robot, ktorí sa snažia udržať vozidlo pri ustálenej rýchlosti a ustálenom smere v stanovenom jazdnom koridore. Pri dopredu definovanom scenári, kde je spočítané miesto zrážky s chodcom (ak nedôjde k AEB), sa umiestni od tohto miesta v určitej vzdialenosti svetelná brána. Svetelná brána deteguje prechod vozidla v danej oblasti a na základe zmeranej rýchlosti v tejto oblasti dôjde následne k akcelerácii chodca a pohybu do miesta zrážky. Nevýhodou je, že následne môže dôjsť ku kolísaniu rýchlosti jazdy vozidla, ktorú vodič nevie presne zistiť alebo k miernym zmenám smeru jazdy. Táto nevýhoda platí aj pri robotovi, ktorý v tomto scenári nie je doplnený o D_GPS modul alebo komunikačný WIFI Datalink modul na koreláciu a presný výpočet v čase na zistenie presnej rýchlosti a polohy. Práve z dôvodu možných odchýlok v závislosti od jazdy vozidla nie je zaručená následná opakovateľnosť testu pri zachovaní rovnakých vstupných a testovacích podmienok pri každom ďalšom opakovanom teste.



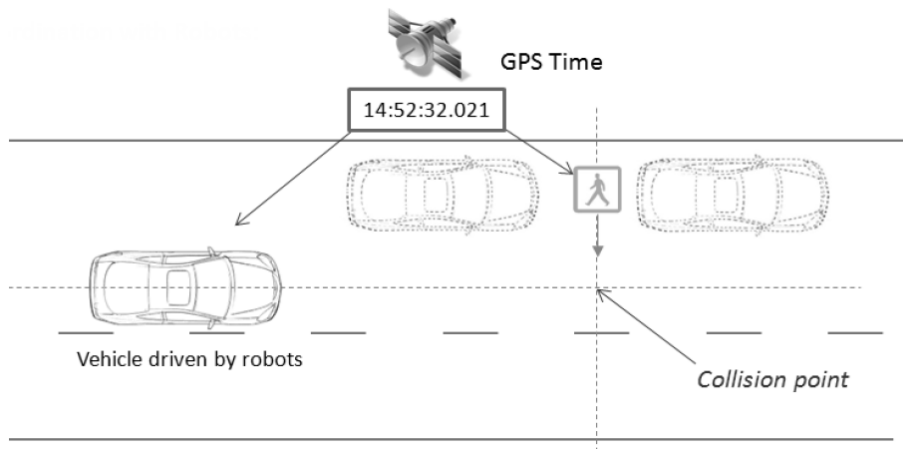
Obr. 51. Testovanie pomocou svetelnej brány [34]

Režim 2: je cenovo druhý najdostupnejší a na dosiahnutie opakovateľnosti testu viac spoľahlivý. Vozidlo jazdí poučená osoba, ktorá sa snaží udržať vozidlo pri ustálenej rýchlosti a ustálenom smere v stanovenom jazdnom koridore. V priebehu definovaného scenára, kedy je spočítané miesto zrážky s chodcom (ak nedôjde k AEB), je v priebehu testu neustála bezdrôtová komunikácia medzi vozidlom a polohou figuríny chodca. Táto komunikácia zaisťuje, aby došlo k čo najpresnejšiemu stretu v mieste zrážky a predišlo sa vzniku nepresného stretu. Práve z dôvodu možných odchýlok v závislosti od jazdy vozidla, ale použitej WIFI komunikácii medzi vozidlom a chodcom, je následná opakovateľnosť testu pri zachovaní rovnakých vstupných podmienok testu presnejšia ako v režime 1.



Obr. 52. Testovanie s využitím WIFI datalink medzi vozidlom a systémom simulujúci pohyb chodca [34]

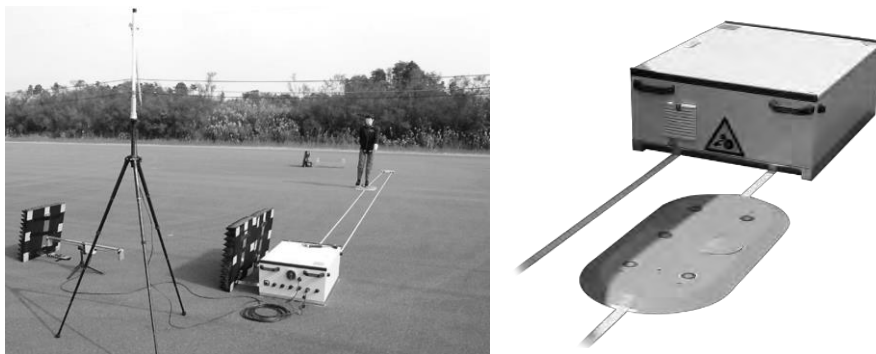
Režim 3: je cenovo najdrahší ale aj pre opakovateľnosť testu najviac spoľahlivý a využívaný. Ide o scenár, kde s vozidlom jazdí robot, ktorý vedie vozidlo pri ustálenej rýchlosti a ustálenom smere v stanovenom jazdnom koridore. Toto prebieha na základe informácií z D_GPS s presnosťou ± 2 cm a komunikáciou so systémom simulujúcim pohyb chodca. V priebehu definovaného scenára, kedy je spočítané miesto zrážky s chodcom (ak nedôjde k AEB), je v priebehu testu neustála bezdrôtová komunikácia medzi vozidlom a polohou figuríny chodca. Táto komunikácia zaisťuje, aby došlo k čo najpresnejšiemu stretu v mieste zrážky a predišlo vzniku nepresného stretu.



Obr. 53. Testovanie s využitím robota na riadenie, D_GPS, WIFI datalink medzi vozidlom a systémom simulujúci pohyb chodca [34]

4.4.2 Testovací mechanizmus od firmy 4Activesystems

Pásový testovací systém pre chodcov od spoločnosti 4Activesafety je poháňaný elektromotorom prepojeným na pás a malou platformou, ktorá nesie figurínu chodca. K dispozícii je voliteľná výbava s dodatočným príslušenstvom, ktorá umožňuje aj pohyb rovnobežne s meraným vozidlom. Výkonný motor sa používa na dosiahnutie požadovaných akcelerácií (až $3,5 \text{ m/s}^2$) a rýchlostí (až 20 km/h) pri testoch chodcov, prípadne aj cyklistov. Presné umiestnenie je zaručené pomocou presného synchronizačného softvéru a lokalizačného systému založenom na D_GPS. Na Obr. 54 je možné vidieť, že pred samotným mechanizmom a svetelnou bránou sú umiestnené absorpčné dosky, ktoré zabraňujú detegovať mylné objekty v oblasti testovacieho koridoru.



Obr. 54. Systém pásového mechanizmu od firmy 4Activesystems [35]

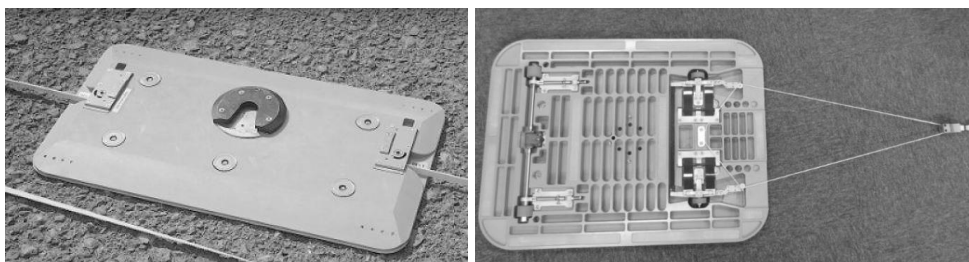
4.4.3 Testovací mechanizmus od firmy AB Dynamics

Pásový testovací systém pre chodcov od spoločnosti AB Dynamics je poháňaný elektromotorom prepojeným na pás a malou platformou, ktorá nesie figurínu chodca. K dispozícii je voliteľná výbava s dodatočným príslušenstvom, ktorá umožňuje aj pohyb rovnobežne s meraným vozidlom. Presné umiestnenie je zaručené pomocou presného kódovacieho zariadenia, ktoré meria uhlový motor používaný na pohyb pásu, na ktorom je ukotvená plošina. Systém AB Dynamics Soft Pedestrian Target (SPT) je prenosný pásový pohonný mechanizmus. Systém SPT používa na napájanie pohonnej jednotky štandardný radič AB Dynamics a motor robotického riadenia. Programovanie sa vykonáva pomocou softvéru Robot Controller RC. K dispozícii sú vstavané motory schopné rýchlosti pohybu platformy až 40 km/h



Obr. 55. AB Dynamics Soft Pedestrian Target (SPT) [34]

Presnosť pohybu plošiny v priestore a čase je ± 2 cm a jej výška je len 2 cm. Plošina je dimenzovaná na nosnosť 15 kg pri dosiahnutí rýchlosti až 40 km/h. Predná napráva plošiny je riadená pasívne s využitím silového trojuholníka.



Obr. 56 Pasívna neriadená plošina (vľavo). Plošina SPT riadená ťažným pásom (vpravo). [34]

4.5 Hodnotenie a bodovanie testovaných vozidiel

Aby bolo možné systém AEB hodnotiť a obodovať v teste AEB - chodec musí byť v nastaveniach vozidla automaticky predvolený ako aktivovaný/zapnutý na začiatku každej cesty. Zároveň nesmie byť možné tento systém vypnúť jediným stlačením tlačidla. Pre chodcov musí systém AEB pracovať (t. j. varovať alebo brzdiť) od rýchlosti 10 km/h v scenári CPNA-75 vo dne aj v noci. Okrem toho musí byť systém schopný detekovať chodcov kráčajúcich len 3 km/h a znižovať rýchlosť v scenári CPNA-75 na 20 km/h, a to vo dne aj v noci. Systém sa nesmie automaticky vypnúť pri rýchlosti nižšej ako 80 km/h.

4.5.1 Autonómne núdzové brzdenie (AEB)

Pri skúškach systému AEB (s výnimkou CPTA a CPRA) sa používa hodnotiace kritérium relatívnej rýchlosti nárazu. Pre testovacie rýchlosti do 40 km/h sa pridelia dostupné body za testovaciu rýchlosť na základe dosiahnutého relatívneho zníženia rýchlosti. Ak pri teste nebolo možné úplné zabránenie, použije sa na výpočet skóre pre každú jednotlivú rýchlosť testu na základe lineárnej interpolácie.

$$Score_{test\ speed} = ((V_{rel_test} - V_{rel_impact}) / V_{rel_test}) \times points_{test\ speed} \quad (2)$$

| | | |
|-------------------|---|-------|
| V_{rel_test} | - teoretická testovacia rýchlosť | [m/s] |
| V_{rel_impact} | - zmeraná relatívna rýchlosť pri zrážke | [m/s] |

Pre testovacie rýchlosti nad 40 km/h sa body udeľujú len vyhovet / nevyhovet v teste. Za každú z týchto skúšobných rýchlostí sa udelia body, keď sa dosiahne zníženie rýchlosti najmenej o 20 km/h pre skutočne namerané skúšobné rýchlosti. Pri testoch CPTA a CPRA sa body udeľujú na vyhovet/nevyhovet v teste na základe úplného zabránenia/zastavenia pre každú meranú rýchlosť testu. Pre test CPRA-s to znamená, že je potrebné zabrániť všetkým trom testom s prekrytím (25,50 a 75 %) pri každej skúšobnej rýchlosti, ktorá sa má vyhodnotiť ako vyhovujúca. Okrem toho pre test CPRA nemusí systém po zásahu uvoľniť autonómne brzdenie, pokiaľ nebezpečenstvo (EPT) neopustilo dráhu vozidla alebo v prípade zásahu vodiča do riadenia.

4.5.2 Varovanie pred čelnou kolíziou (FCW)

Pri testoch systému FCW v pozdĺžnych scenároch sa používajú hodnotiace kritériá Time-to-Collision (TTC). Dostupné body za testovaciu rýchlosť sa pridelia, keď dôjde k varovaniu pri $TTC \geq 1,70$ s. Alternatívne je možné pridelenie bodov, keď FCW varuje pre $TTC < 1,70$ s v scenári CPLA-25. Toto je podmienené tým, že výrobca preukáže Euro NCAPu, že jeho systém poskytne príslušnú podporu na zabránenie kolízii aktívnym riadením, ktoré zvýši natočenie volantu, ak to inicializuje vodič v kritickej situácii. Následne je možné prideliť testovanému vozidlu náležité body.

4.5.3 Bodovanie AEB VRU testu

Bodovanie AEB VRU je podmienené celkovým počtom bodov dosiahnutých v testoch subsystému, t. j. súčtom skóre nárazu makety hlavy, makety stehna a makety dolnej končatiny (viac v kapitole 7). Ak je celkové skóre testu subsystému nižšie ako 18 bodov, pre AEB VRU nie sú k dispozícii žiadne body, bez ohľadu na to, či je systém namontovaný vo vozidle a dosiahol by dobré skóre.

Maximálne je k dispozícii 9 bodov pre test AEB - chodec. Z tohto počtu je 6 bodov za denné podmienky (všetky scenáre) a 3 body za úspešné testy v nočných podmienkach (CPNA-25, CPNA-75, CPLA-25 a CPLA-50). Pre každý scenár sa vypočíta normalizované skóre a vynásobí sa dostupnými bodmi pre tento konkrétny scenár. Nasledujúce body sú k dispozícii pre rôzne testovacie rýchlosti v každom scenári chodca AEB pre denné aj nočné podmienky.

Tabuľka 7

Prerozdelenie bodového hodnotenia pre AEB - chodec

| Test speed | Daytime | | | | | | | | | | Nighttime | | | | |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| | CPFA | | CPNA | | CPNC | CPLA | | CPTA | | CPRA | | CPNA | | CPLA | |
| | 50% | 25% | 75% | 50% | 50% | 25% | Farside | Nearside | Stationary | Moving | 25% | 75% | 50% | 25% | |
| 4 km/h | | | | | | | | | 1.000 | 1.000 | | | | | |
| 8 km/h | | | | | | | | | 1.000 | 1.000 | | | | | |
| 10 km/h | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | | 1.000 | 1.000 | | | 1.000 | 1.000 | | | |
| 15 km/h | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | | 1.000 | | | | 1.000 | 1.000 | | | |
| 20 km/h | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | 1.000 | | | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | |
| 25 km/h | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | | | | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | |
| 30 km/h | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.000 | | | | | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | |
| 35 km/h | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 2.000 | | | | | | 2.000 | 2.000 | 2.000 | | |
| 40 km/h | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 2.000 | | | | | | 2.000 | 2.000 | 2.000 | | |
| 45 km/h | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | | | | | | 3.000 | 3.000 | 3.000 | | |
| 50 km/h | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 3.000 | 3.000 | | | | | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | |
| 55 km/h | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 3.000 | 3.000 | | | | | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | |
| 60 km/h | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 2.000 | 2.000 | | | | | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | |
| 65 km/h | | | | | | 1.000 | | | | | | | | 1.000 | |
| 70 km/h | | | | | | 1.000 | | | | | | | | 1.000 | |
| 75 km/h | | | | | | 1.000 | | | | | | | | 1.000 | |
| 80 km/h | | | | | | 1.000 | | | | | | | | 1.000 | |
| TOTAL | 20.000 | 20.000 | 20.000 | 20.000 | 30.000 | 30.000 | 4.000 | 2.000 | 2.000 | 20.000 | 20.000 | 30.000 | 30.000 | 30.000 | |
| Scenario points | 0.500 | 0.250 | 0.250 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |

Tabuľka 8 popisuje jeden z príkladov, ako je vozidlo hodnotené pre rôzne testovacie scenáre. V jednotlivých scenároch dosiahlo vozidlo rôzne percentuálne zníženie rýchlosti. Z predmetného zníženia rýchlosti boli prepočítané body v závislosti pre jednotlivý test. Celkové skóre je následne súčtom testov pri denných a nočných podmienkach.

Tabuľka 8

Príklad hodnotenia vozidla pri teste

| AEB Pedestrian | Daytime | | | Night-time | | |
|----------------|--------------|------------|-------|--------------|------------|-------|
| | Points | Percentage | Score | Points | Percentage | Score |
| CPFA | 20.000 | 100% | 0.500 | | | |
| CPNA | 39.120 | 97.8% | 0.489 | 30.440 | 98.6% | 1.972 |
| CPNC | 8.420 | 42.1% | 0.421 | | | |
| CPLA | 25.824 | 80.7% | 0.807 | 25.824 | 80.7% | 0.807 |
| CPTA | 3.000 | 75% | 0.750 | | | |
| CPRA | 2.000 | 50% | 1.000 | | | |
| TOTAL | 3.967 | | | 2.779 | | |
| | 6.746 | | | | | |

Výsledné hodnotenie je prezentované v testovacích protokoloch, v marketingových materiáloch a správach pomocou farebnej stupnice. Rozdelenie farebnej škály je rozpísané v tabuľke.

Tabuľka 9

Farebná škála pre hodnotenie vozidla v teste AEB - chodec

| <i>Farba</i> | <i>Verdikt</i> | <i>Skóre</i> | <i>Úspešnosť v scenároch</i> |
|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------------|
| Zelená | <i>dobré</i> | <i>6,754 -9,000</i> | <i>75-100</i> |
| Žltá | <i>adekvátne</i> | <i>4,501-6,750</i> | <i>50-75</i> |
| Oranžová | <i>marginálne</i> | <i>2,251-4,500</i> | <i>25-50</i> |
| Hnedá | <i>slabé</i> | <i>0,001-2,250</i> | <i>0-25</i> |
| Červená | <i>biedne</i> | <i>0</i> | <i>0</i> |

5 Metóda vyhodnotenia experimentálneho riešenia dopravných nehôd s chodcami

Pri riešení dopravnej nehody vozidla (s aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznanie chodca) s chodcom sa expert, znalec alebo znalecký ústav neubrání tomu, že bude musieť predmetnú situáciu presne namodelovať v simulačnom programe a následne overiť funkciu systému na základe vyšetrovacieho pokusu. Pri vyšetrovacom pokuse bude použité typovo zhodné vozidlo a pohybujúca sa figurína, ktorá bola vyhodnotená v laboratórnych podmienkach. Vyšetrovacie pokusy s použitím figuríny bez hodnotiaceho protokolu je možné použiť len na informačné potreby a nie je možné z týchto meraní vyvodiť súdnoznalecké závery. Objekty, ktoré slúžia na navodenie pohybu figuríny, musia byť taktiež vyhodnotené či a do akej miery ovplyvňujú svojimi odrazovými vlastnosťami radar vozidla.

Metodický postup na vyhodnotenie priebehu dopravnej nehody chodca s vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom:

1. Zistiť z technického manuálu, či aktívny bezpečnostný systém vozidla vie rozpoznávať chodcov a autonómne reagovať na kolíziu situáciu.
2. Vykonať časovo-priestorovú analýzu zrážky a pohybu vozidla a chodca do konečných polôh na základe technickej dokumentácie k dopravnej nehode.
3. Zistiť, či aktívny bezpečnostný systém rozpoznáva chodcov pomocou kombinácie radaru a kamery (kamier) alebo len na základe stereokamery.
4. Ak systém rozpoznáva chodcov kombináciou radar + kamera, je potrebné zabezpečiť figurínu chodca, ktorá zodpovedá svojimi fyzikálnymi vlastnosťami reflexným vlastnostiam človeka pre predmetný radar detekujúci chodcov pred vozidlom.
5. Ak systém rozpoznáva chodca len na základe stereokamery, postačí figurína, ktorá zodpovedá svojím tvarom človeku.
6. Zabezpečiť na výkon experimentu systém na simuláciu pohybu chodca (figuríny), ktorý neovplyvňuje svojím technickým

vyhotovením falošnú aktiváciu aktívneho bezpečnostného systému vozidla.

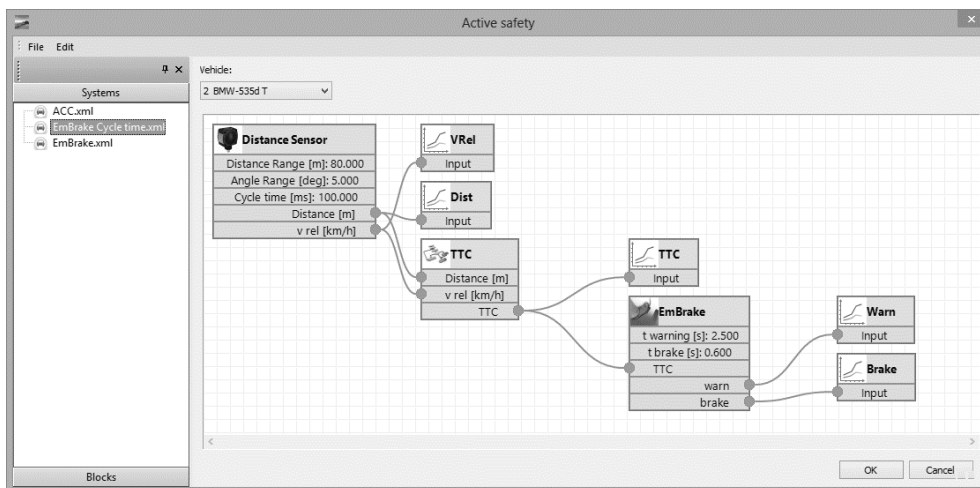
7. Osadenie vozidla kamerovým systémom a technikou na záznam dynamických veličín pohybu vozidla pre spätné vyhodnotenie priebehu experimentu a aktivácie systému.
8. Rozmiestnenie kamerového systému v okolí simulovanej debovej línie pre spätné vyhodnotenie priebehu experimentu a aktivácie systému.
9. Vytvorenie rovnomerných markerov v okolí kolíznej oblasti vozidla s figurínou, pre potreby spätnej analýzy pohybu sústavy.
10. Vytvoriť na základe časovo priestorovej analýzy synchronizovaný dej vozidlo + figurína s využitím systému na kontrolovaný pohyb figuríny. V čase zrážky vozidla s figurínou musí byť rýchlosť vozidla v približnej zhode s rýchlosťou pohybu vozidla, ktorá vyplynula z analýzy zrážky.
11. Po vykonanom experimentálnom meraní je potrebná videoanalýza priebehu debovej línie na účel určenia kľúčových miest aktivácie a zásahu aktívneho bezpečnostného systému do riadenia vozidla.
12. Vyhodnotenie momentu aktivácie alarmu vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridoru pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie alarmu (čas a vzdialenosť od koridoru pohybu vozidla).
13. Vyhodnotenie momentu aktivácie autonómneho brzdovania vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridoru pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie autonómneho brzdovania (čas a vzdialenosť od koridoru pohybu vozidla).

5.1 Časovo priestorová analýza systému ADAS v programe PC Crash

K bodu 10 metodického postupu je potrebné uviesť, že ak vozidlo pred zrážkou brzdilo, je potrebné experimentálne meranie urobiť z rýchlosti jazdy vyššej ako bola rýchlosť jazdy v čase samotnej zrážky s chodcom. Keďže neexistuje úplná závislosť jednotlivých faktorov pohybu vozidla a jeho reakcie, je možné s využitím grafov v kapitole prispôbiť rýchlosť jazdy vozidla na začiatku debovej línie. Z jednotlivých závislostí je možné

predvídať chovanie vozidla pred zrážkou a urýchliť tak proces vyhodnotenia priebehu nehodového deja.

Po hĺbkovej analýze dát z vykonaných meraní bol Dr. Andreasom Moserom vytvorený nový matematický modul pre simulačný program PC-Crash. V nastupujúcej verzii programu PC-Crash 10.2 je vytvorený modul Active safety EmBraking.

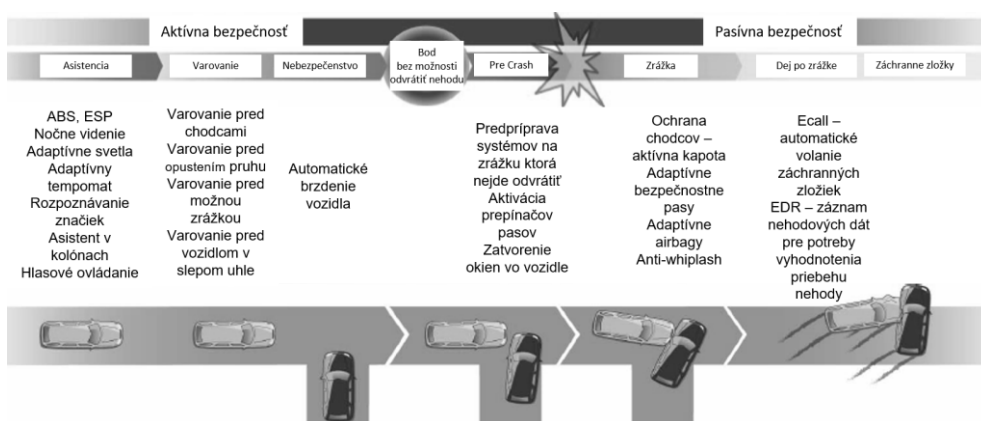


Obr. 57. Modulárny systém autonómneho brzdenia v programe PC-Crash 12 [14]

Celý model EmBraking je modulárny a je na samotnom užívateľovi, ako si jednotlivé moduly vyskladá. Modul tak umožní experimentálne vyhodnocovanie a zadávanie dát priamo v programe PC-Crash 10.2. Môže tak dôjsť k rýchlejšiemu vyhodnoteniu podmienok pre experimentálne meranie. Výslednú časovo-priestorovú analýzu dopravnej nehody možno exportovať v protokole programu PC-Crash 10.2. Tento modul je prvým takýmto modulom pre potreby znalcov a expertov v oblasti dopravných nehôd.

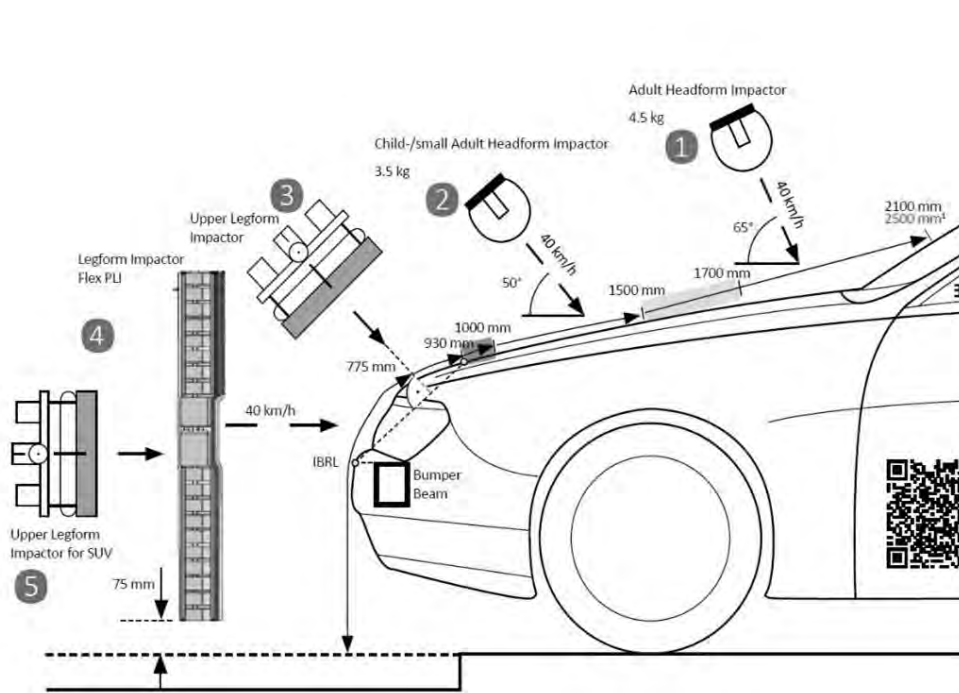
6 Pasívna bezpečnosť

Ako pasívnu bezpečnosť ochrany chodcov je možné pri nehodovej situácii považovať dej od momentu prvého kontaktu chodca s vozidlom. V súčasných vozidlách, ktoré sú vybavené kamerovým systémom, respektíve prvkami aktívnej bezpečnosti, dochádza už pred samotnou zrážkou k príprave vozidla na zrážku. Ak vozidlo pri autonómnom zásahu do riadenia už v priebehu autonómneho brzdenia zistí, že nedobrzdi, dochádza následne v priebehu prvých 5 ms zrážky k aktivácii napríklad prvkov aktívnej kapoty.



Obr. 58. Prehľad vyčlenenia aktívnej a pasívnej bezpečnosti [14]

Na testovanie a posúdenie ochrany chodcov je príliš zložitú použiť full scale dummy (figurína využívaná na testy ochrany pasažierov). Generovať opakovanú kolíziu situáciu s dummy a vozidlom by si vyžadovalo veľké úsilie, keďže je potrebné dosiahnuť kontakt dummy v preddefinovaných oblastiach karosérie. Zároveň cena full scale dummy sa pohybuje okolo 500 tis. eur a pri teste by došlo k jej poškodeniu. Pre zjednodušenie procedúry a finančnej efektivity sú použité individuálne subtesty: Lower leg (5-4), Upper leg (3) a Head impact test (1). Ako je možné vidieť z Obr.7, samotné testovacie procedúry Euro NCAP testu sú prísnejšie ako smernica EC78/2009 a UNR127.02. Jednotlivé subtesty sú popísané v kapitole 7.

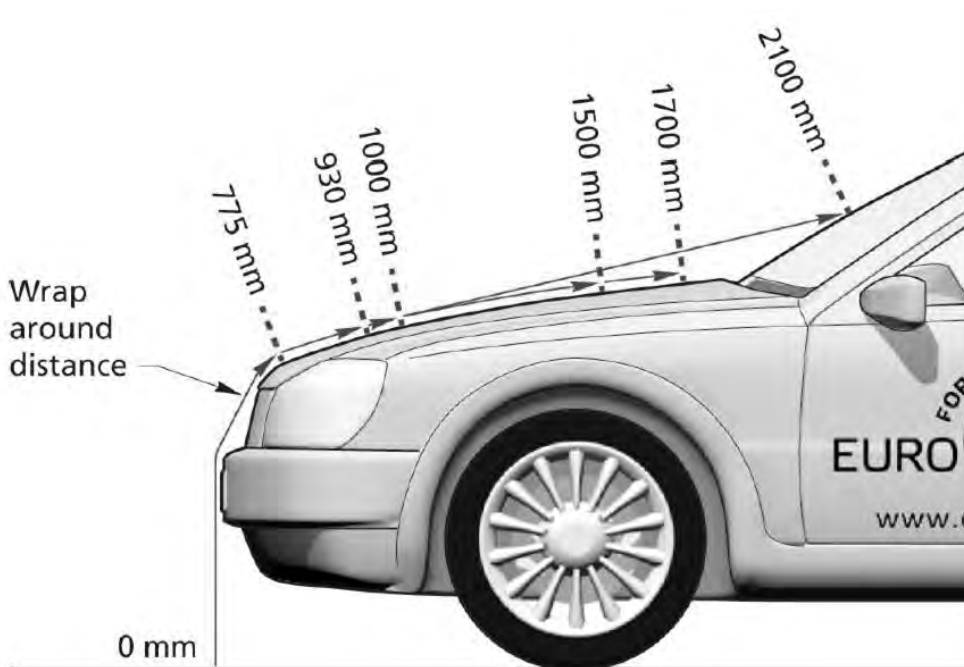


Obr. 59. Porovnanie direktívy EC a Euro NCAP [9]

6.1 Ovinutie chodca na vozidlo po zrážke (WAD –Wrap Around Distance)

Pri zrážke chodca s vozidlom dochádza pri čelnej zrážke k ovinutiu tela chodca na karosériu vozidla. Dĺžka ovinutia na karosérii vozidla závisí od tvaru karosérie, tuhosti karosérie, výšky chodca, pozície v dobe zrážky a najmä od rýchlosti, akou sa pohybuje vozidlo. Ovinutie na poškodenom vozidle je možné merať pomocou ohybnej pásky od priamky pretínajúcej rovinu kolmú k podložke vedenej cez prednú hranu vozidla, následne prednou kapotou až k miestu, kde je možné detegovať náraz hlavy s karosériou. Rýchlosť pohybu hlavy pri kontakte s kapotou alebo čelným sklom dosahuje približne pomer 0,7 – 0,9 rýchlosti vozidla pre SUV [17] a približne 1,1 – 1,4-násobok rýchlosti vozidla v kategórii malých vozidiel. Čím vyššia je hodnota parametru WAD, tým väčšia je pravdepodobnosť, že hlava chodca dopadne na čelné sklo alebo do oblasti A-stĺpika, teda do oblasti s vysokou tuhosťou materiálov. Redukcia rýchlosti pred zrážkou má

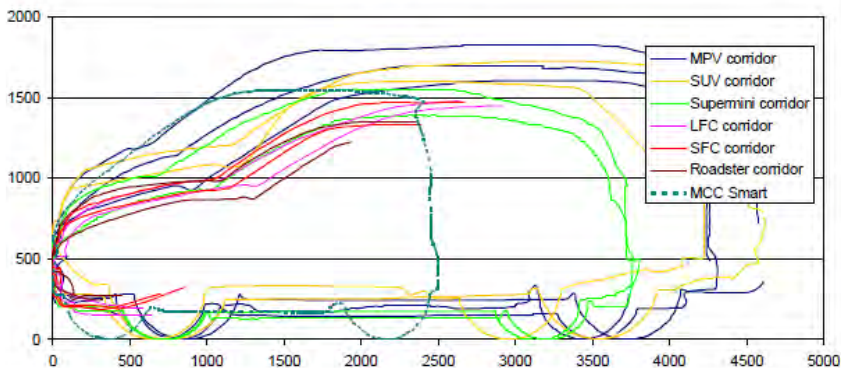
pozitívny efekt na kinematiku chodca a vedie k zníženiu WAD a zníženiu výšky a rotácie chodca pri odhodení a následnom lete. Vysoká predná nábežná hrana vozidla v spojení s vyšším uhlom čelného skla (SUV a One Box vozidla) vedú k zvýšeniu rizika sekundárneho nárazu hlavy chodca so zemou.



Obr. 60. Euro NCAP Pedestrian Protocol-v6.1. [36]

6.1.1 Geometria prednej časti vozidla

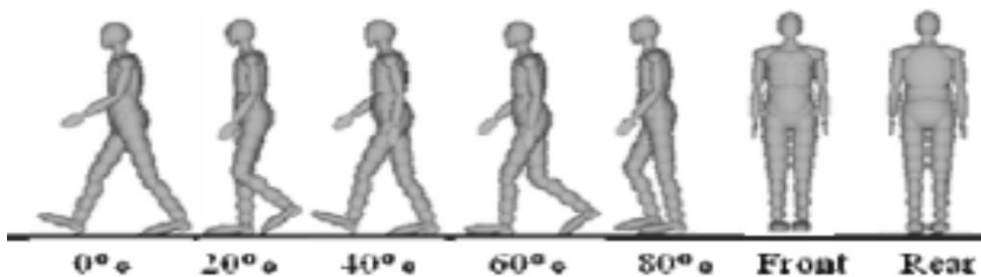
Následky zrážky chodca s vozidlom a kinematika chodca v priebehu zrážky sú do značnej miery ovplyvnené vonkajším tvarom karosérie vozidla. [37] V testoch Euro NCAP sa používa deväť základných kategórií na určenie vonkajšieho tvaru karosérie. V štúdií APROSYS Project AP SP90 0003 bol porovnávaný tvar karosérie na celkom 188 vozidlách. Z týchto 188 vozidiel bolo 137 testovaných v testoch Euro NCAP, čo zodpovedá 60 % z celkového počtu vozidiel. Z porovnávaných vozidiel bol zostrojený diagram maxima a minima siluet geometrie prednej časti vozidla. (Obr. 61).



Obr. 61. Geometria prednej časti vozidla podľa jednotlivých kategórií [38]

6.1.2 Stanovenie WAD na základe simulácie

Pomocou Madymo simulačného programu je možné modelovať, dôkladne analyzovať a optimalizovať návrhy vývojového procesu a nových konštrukčných riešení. Na vytvorenie kompletného prehľadu WAD dospeljej osoby bol využitý práve tento simulačný program. Simulačná matica bola zložená zo štyroch parametrov – tvar karosérie, veľkosť chodca, postoj chodca a kolízna rýchlosť. Tvar karosérie bol rozdelený do šiestich kategórií - Super Mini Car (SMC), Small Family Car (SFC), Large Family Car (LFC), Multi Purpose Vehicle (MPV) a Sport Utility Vehicle (SUV). Jednotlivé tvary vozidiel zodpovedali tvarom karosérie mediánu tvaru daného segmentu na základe štúdie (Aprosys). Pre simulácie zrážky chodca s vozidlom pri rýchlostiach 30 km/h, 40 km/h, 50 km/h a 60 km/h bol použitý matematický model dospelého chodca 50th-percentyl v postojoch čelný, zadný a 0, 20, 40, 60 a 80% - tný, odvodený od bežných dopravných nehôd s chodcom. [39]



Obr. 62. Polohy matematického modelu chodca pre potreby Madymo simulácie [39]

Z Madymo simulácií vyplýva, že WAD silne závisí od rýchlosti a geometrie prednej časti vozidla. Pre objektívne posúdenie správnosti Madymo simulácií v kap. 6.1.3 bola porovnaná simulácia testom s kadaverom.

Tabuľka 10

Závislosť WAD od tvaru a rýchlosti pohybu vozidla z Madymo simulácií

| | | 30 km/h | 40 km/h | 50 km/h | 60 km/h |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| WAD podľa typu vozidla [m] | SMC | 1,63±0,10 | 1,78±0,09 | 1,79±0,09 | 1,82±0,06 |
| | SFC | 1,91±0,09 | 2,11±0,15 | 2,12±0,14 | 2,14±0,14 |
| | LFC | 1,88±0,10 | 2,14±0,13 | 2,17±0,10 | 2,19±0,10 |
| | MPV | 1,74±0,10 | 1,82±0,10 | 1,86±0,10 | 1,88±0,11 |
| | SUV | 1,64±0,10 | 1,74±0,14 | 1,82±0,08 | 1,86±0,08 |

Na základe simulácie vyplynulo (Tabuľka 10), že WAD veľmi závisí od rýchlosti a geometrie prednej časti vozidla.

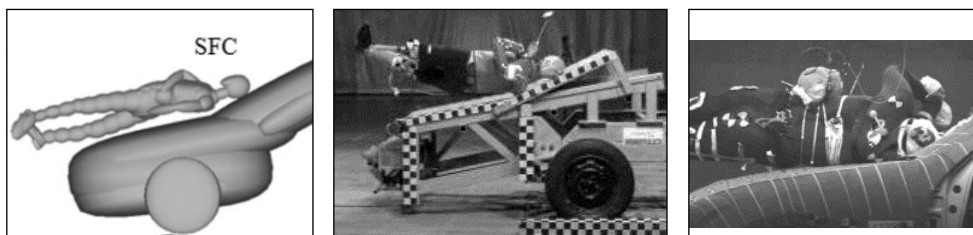
6.1.3 Posúdenie objektívnosti Madymo simulácie

Z vyššie uvedených Madymo simulácií vyplýva závislosť WAD od tvaru a kolíznej rýchlosti vozidla. V kapitole bude potrebné pracovať s týmto matematickým predpokladom, a preto bolo overené, či daný matematický model bol navrhnutý správne a vyvarovať sa tak chybe v odkazovaní na tento model. Na overenie matematického Madymo modelu zrážky chodca s vozidlom som využil dve rozdielne štúdie. Z Obr. 9 a-c sú zrejmé tri kolízne situácie.

- Prvá kolízna situácia je zrážka simulovaná v Madymo prostredí s SFC (Small Family Car) a matematickým modelom chodca pri rýchlosti vozidla 40 km/h. Priemerná hodnota WAD pre 0, 20, 40, 60 a 80 % kráčajúci postoj modelu človeka bola v predmetnej simulácii 2,11 m ± 0,15. [19]
- Na druhom obrázku je kolízna situácia Full Scale Honda Polar II dummy s maketou vozidla kategórie SFC. Maketa dummy bola v laterálnom postoji k vozidlu, v pozícii kráčajúcej osoby. Vozidlo sa

pohybovalo rýchlosťou 40 km/h. V teste dosiahla WAD približne vzdialenosť 1,98 m. [20]

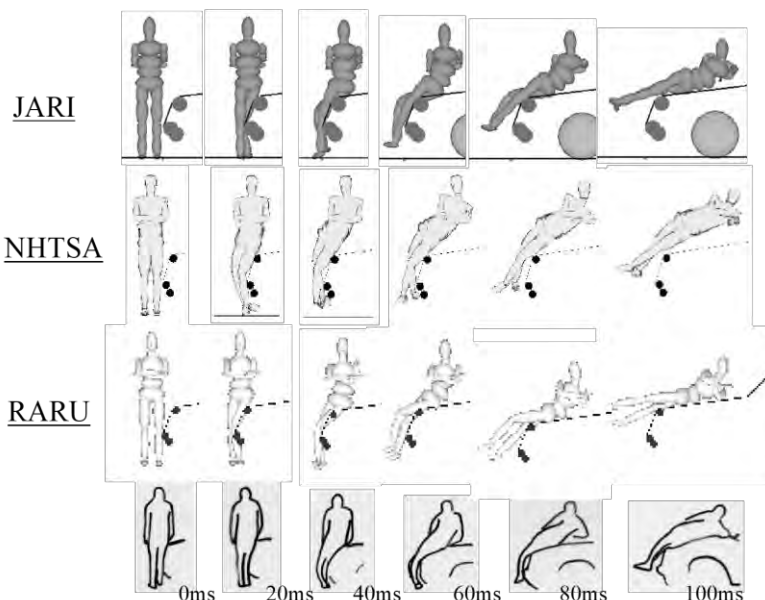
- Tretí obrázok zobrazuje test zrážky vozidla s kadaverom. Kadaver bol k štúdiu použitý bez predošlých fraktúr alebo značných poškodení skeletu. Výška kadavera bola 185 cm, čo zodpovedá mediánu z predošlých simulácií. Zo simulácie zrážky s vozidlom jazdiacim 40 km/h vyplynula WAD rovnajúca sa 2,12 m. [21]



Obr. 63. Vľavo: kolízna situácia v Madymo prostredí. V strede: kolízna situácia dummy s maketou vozidla. Vpravo: kolízna situácia kadavera s vozidlom. [38] [39] [40]

6.1.4 Simulácia pohybu tela v priebehu zrážky

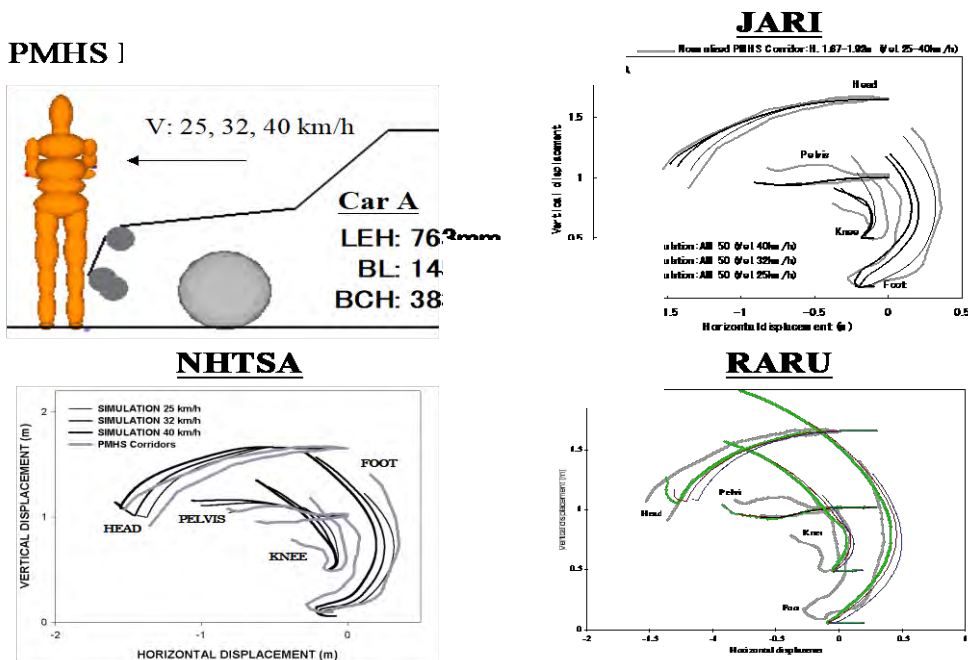
Na Obr. 64 sú tri matematické modely chodcov, ktoré boli použité na počítačovú simulačnú štúdiu IHRA.



Obr. 64. Navinutie modelu chodca v priebehu zrážky [41]

Jedna sa o modely simulácie chodcov s označením JARI, NHTSA a RARU. Obrázok zobrazuje typickú celkovú kinematiku chodcov z počítačovej simulácie a testu PMHS pri rýchlosti nárazu 40 km/h. Z obrázku je zrejmé, v akej polohe sa nachádza chodec v časovom intervale tesne po zrážke, aj to, aké sú odchýlky týchto výpočtových simulácií. [41]

Dôležitým ukazovateľom v priebehu zrážky je pohyb kľúčových bodov tela chodca. Medzi tieto oblasti patri – hlava, ťažisko trupu, koleno a chodidlo. Na Obr. 65 je znázornený pohyb týchto bodov v závislosti od času a rýchlosti zrážky pre jednotlivé simulačné modely. Z obrázkov je zrejmé, aký priestorový pohyb vykonávajú jednotlivé body, respektíve časti tela. Pre predstavivosť je jasne vidieť, čo sa deje s ktorou časťou tela v priebehu navinovania na vozidlo. [41]

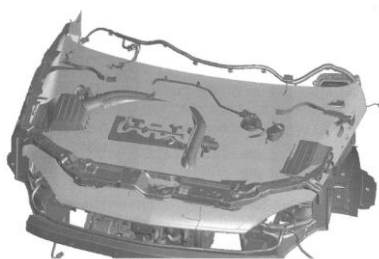


Obr. 65. Zobrazenie priestorového pohybu kľúčových častí tela pri zrážke [41]

6.2 Aktívna predná kapota a airbag pre chodca

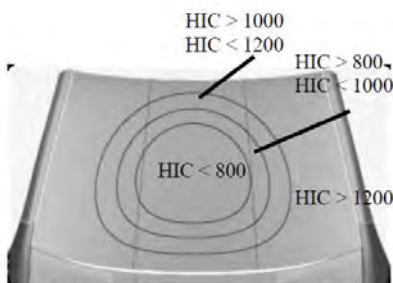
Kapota vozidla sa skladá z niekoľkých vrstiev, ktoré majú ako funkčný, estetický, tak pevnostný, ale i protihlukový charakter. Kapota oddeľuje okolité prostredie od motora a jeho súčasti. Viac než 70 % kapôt je

vyrobených z ocele, 30 % z hliníkových zliatin a v niektorých prípadoch aj z kompozitných materiálov. V neposlednom rade musí kapota spĺňať požiadavky na ochranu chodcov a cyklistov. Kapota musí mať homogénnu tuhosť a schopnosť pohlcovať energiu vytvorenú nárazom. Pre zaistenie bezpečnosti chodcov je ponechávaná pri konštrukcii motorového priestoru prednej kapoty 40 – 60 mm medzera medzi kapotou a tuhými časťami v motorovom priestore. Rez motorového priestoru 80 mm pod kapotou je zobrazený na Obr. 66. Z obrázka je zrejмый možný kontakt chodca pri zrážke s horným vekom motora alebo predným oceľovým rámom masky. [42]



Obr. 66. Rez motorového priestoru 80 mm pod úrovňou kapoty [42]

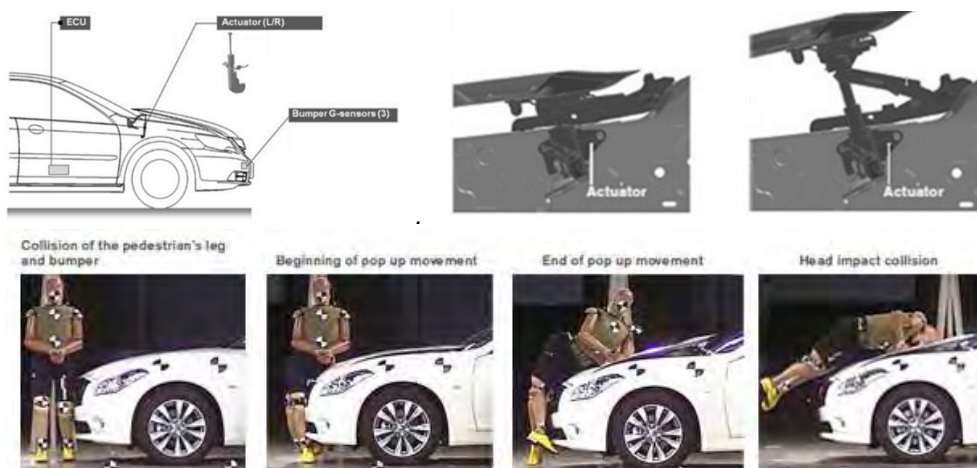
Aktívna kapota bola vyvinutá na zvýšenie ochrany hlavy chodcov a cyklistov pri zrážke s vozidlom. Ciele konštrukčného riešenia sú dva. Prvým je zväčšenie medzery medzi motorovým priestorom a kapotou. Eliminuje sa tak pravdepodobnosť kontaktu chodca s touhou časťou v motorovom priestore. Druhým cieľom je zmena kinematiky nárazu chodca a využitie airbagu. V závislosti od konceptu môže airbag pokryť celú oblasť predného skla alebo len spodnú tretinu a A-stĺpik – takzvaný U-tvar. Centrálna časť čelného skla dosahuje HIC kritérium nižšie ako 1000 (viac v kapitole 7.4), a teda nie je nevyhnutné ju celú pokrývať airbagom. [37]



Obr. 67. Distribúcia HIC v závislosti od regiónu čelného skla [43]

6.2.1 Princíp aktívnej kapoty

Pri rozpoznaní kolíznej situácie dochádza ku prvotnému kontaktu chodca s prednou časťou vozidla. V danom momente dôjde pomocou senzorov k rozpoznaniu tohto kontaktu a následnej aktivácii aktuátora. Aktuátor následne cez sústavu pák a ramien vyzdvihne oblasť kapoty pred čelným sklom o výšku potrebnú na zväčšenie priestoru medzi kapotou a pevnými časťami v motorovom priestore. Tento proces zaberá len niekoľko milisekúnd. Po zrážke musí byť možnosť kapotu jednoducho vrátiť do pôvodnej pozície.



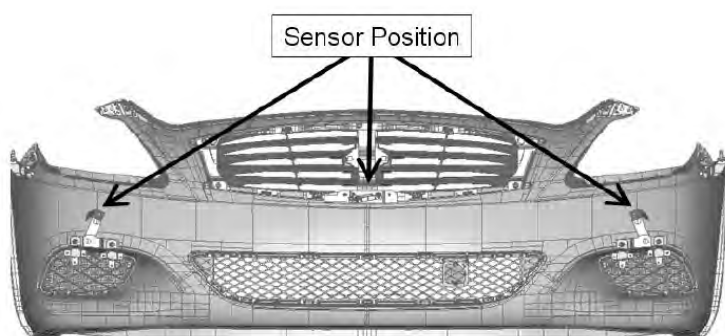
Obr. 68. Mechanizmus zdvíhania kapoty (hore). [44] Navítnutie full scale figuríny chodca na prednú časť vozidla (dole). [45]

6.2.2 Aktivácia kapoty

Pre korektné aktivovanie systému je nutné adekvátne vyhodnotiť kontakt chodca s vozidlom a v tento moment aktivovať systém. Dynamické vlastnosti chodca môžu byť vyjadrené ako náraz telesa o hmotnosti m a rýchlosti v na iné pružné teleso. Energia chodca je pohltená deformáciou prednej časti vozidla. Deformácia spôsobená objektom je následne zaznamenaná pomocou senzorov a vyhodnotená riadiacou jednotkou aktívnej kapoty. [46]

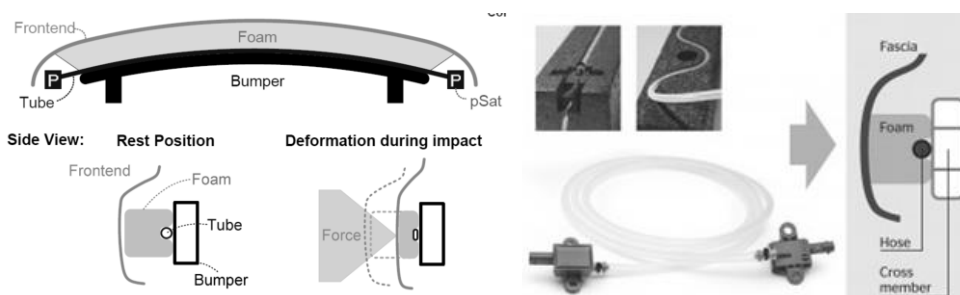
V súčasnej dobe sú v produkcii tri základné senzory na rozpoznanie kontaktu objektu v prednej časti vozidla – akcelerometer, optický senzor silového zaťaženia a tlakový senzor.

- **Akcelerometer a optický senzor silového zaťaženia** – kombinácia dvoch alebo troch senzorov je využívaná na detekciu kontaktu chodca v oblasti predného nárazníka. Snímače sú rovnomerne rozmiestnené pod nárazníkom a zaznamenávajú zmenu akcelerácie alebo silového pôsobenia na snímač. Sensory vysielajú nameraný signál cez štandardizovaný digitálny protokol do ECU (electronic control unit). ECU pomocou algoritmu analyzuje dáta a vyhodnocuje, či ide o zrážku s chodcom a či je nutná aktivácia kapoty alebo nie. [47]



Obr. 69. Rozloženie senzorov silového zaťaženia v oblasti predného nárazníka [47]

- **Tlakový senzor** – Continental spoločne s Dailmerom vyvinuli nový systém, ktorý meria zmenu tlaku v trubici pomocou dvoch tlakových senzorov. Plastová trubica je umiestnená pod predným nárazníkom naprieč prednou časťou vozidla. Dva senzory sú pripevnené na konci trubice a merajú relatívnu zmenu tlaku v čase. Prvé využitie týchto senzorov bolo na vyhodnocovanie bočného nárazu do vozidla už od roku 1996. [47]



Obr. 70. Schematické znázornenie tlakových snímačov a výstuh v oblasti predného nárazníka [47] [48]

Pozíciu akcelerometera a optického snímača silového zaťaženia je nutné vyhodnocovať na základe ideálneho pokrytia prednej časti vozidla v závislosti od kolíznej polohy chodca. Keďže obidva snímače získavajú signál na základe deformácie spôsobenej objektom, je zrejmé, že so vzrastajúcou vzdialenosťou nárazu chodca od snímača sa silne mení deformácia spôsobená v okolí snímača. Zároveň snímače musia byť rozmiestnené tak, aby nedošlo k ich poškodeniu vplyvom zrážky s objektom a nedošlo tak ku strate spojenia a falošnej aktivácii kapoty. Ďalšou hrozbou pre vyhodnocovanie signálu z akcelerometra je hluk vyvolaný nerovnosťou povrchu. Tlakové snímače prepojené trubicou merajú relatívnu zmenu tlaku. Pred trubicou je ochranný deformačný materiál, ktorý zabraňuje poškodeniu trubice. V dôsledku deformácie trubice dochádza k zmene tlaku v trubici. Poloha objektu voči prednej maske pri tomto konštrukčnom riešení vôbec neovplyvňuje vyhodnotenie nárazu objektu.

Systém musí spracovať a vyhodnotiť dáta zo senzorov a následne aktivovať kapotu ešte pred nárazom hlavy na kapotu. Náraz hlavy dospelého človeka na kapotu je cca 150 ms po zrážke s vozidlom jazdiacim 40 km/h. [49] Pri zrážke s dummy zodpovedajúcou 6-ročnému dieťaťu je tento čas už len 60 ms. Maximálny čas impaktu hlavy na prednú kapotu je 300 ms. [50] Samotný priebeh aktivovanie kapoty ma tri fázy:

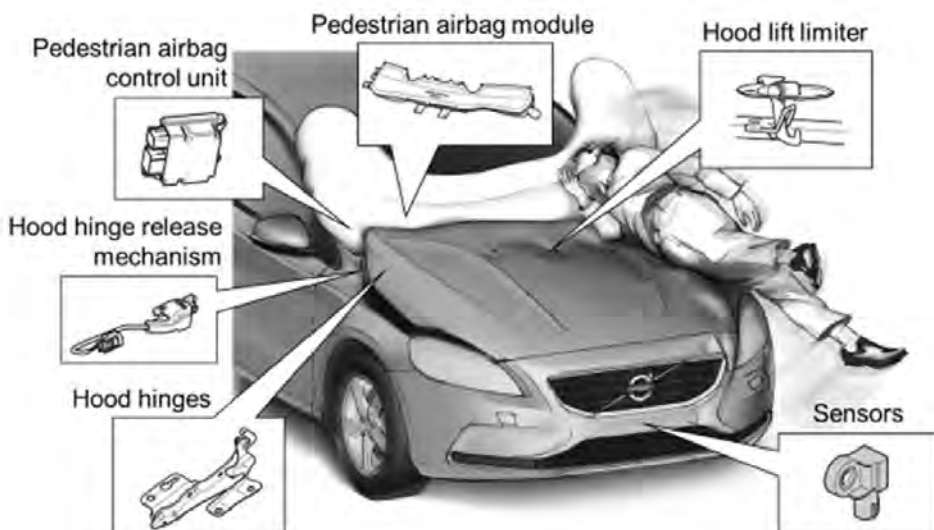
- **Prvá fáza** – po vyhodnotení signálu zo snímačov na maske vozidla dochádza k aktivácii systému a vyzdvihnutiu kapoty. Cela fáza by nemala byť dlhšia ako 30 ms. [50]
- **Druhá fáza** – po dobu 300 ms od aktivovania systému musí aktuátor zabezpečiť podporu pre kapotu, aby nedošlo k jej uvoľneniu do základnej polohy. Doba 300 ms zodpovedá najdlhšie nameranej dobe kontaktu hlavy po prvotnej zrážke. [50]
- **Tretia fáza** – po uplynutí 300 ms dochádza k uvoľneniu aktuátorov. Následne musí byť zabezpečené, aby kapotu bolo možné uvoľniť do základnej polohy v prípade, že nedošlo k zrážke s chodcom a signál bol vyhodnotený nesprávne. [50]

6.2.3 Airbag pre chodca

V roku 2012 predstavilo Volvo vôbec prvý airbag pre chodcov. Táto koncepcia bola navrhnutá na ochranu chodcov v prípade čelného nárazu do vozidla. Sensory v nárazníku detegujú kolíziu s chodcom pri rýchlosti medzi 20 až 50 km/h a spustia aktiváciu airbagu. Viac v kapitole 7.3.6.

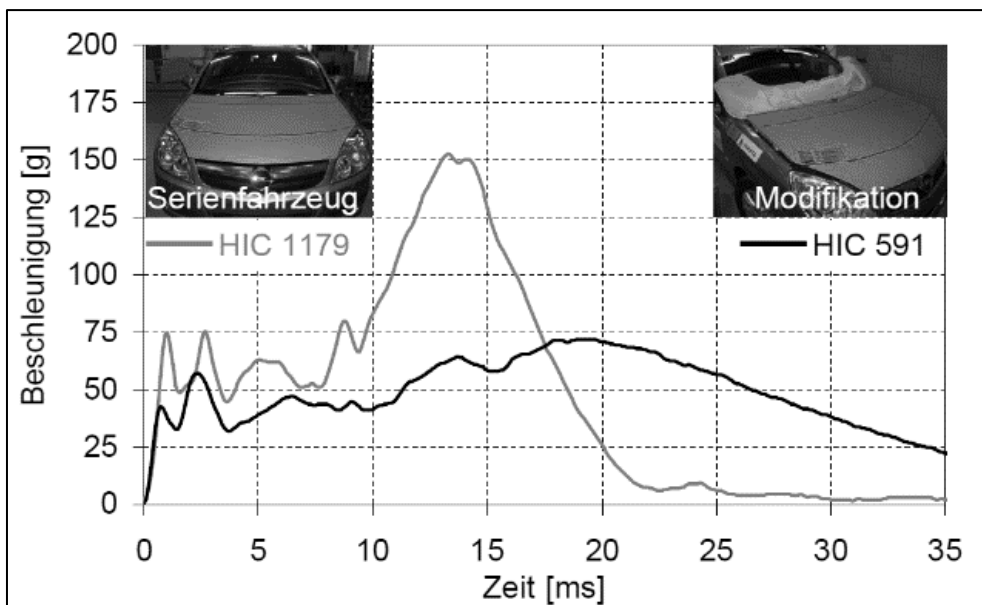
Airbag je navrhnutý tak, aby umožňoval dve veci:

- zdvihnúť kapotu vozidla, aby sa vytvoril bezpečný priestor medzi tvrdými prvkami pod kapotou;
- roztiahnuť vankúš na čelné sklo, aby sa minimalizovalo zranenie.



Obr. 71. Prehľad prvkov systému aktívnej kapoty a airbagu pre chodca [51]

Pre názornosť vplyvu poranenia hlavy chodca je na obrázku znázornený test s vozidlom s štandardnou kapotou a aktívnou kapotou. Porovnanie sa vykonáva na rovnaký bod nárazu s a bez airbagu. Je vidieť, že airbag pre chodcov podstatne znižuje úroveň akcelerácie, a teda hodnota HIC. Z testu je zrejmé, že v kritických oblastiach zadnej referenčnej hrany a A-stĺpika môže dôjsť pri aktivácii kapoty a airbagu až k 50% zníženiu HIC.



Obr. 72. Závislosť zrýchlenia pri náraze do štandardnej kapoty alebo aktívnej kapoty (modifikovanej) [52]

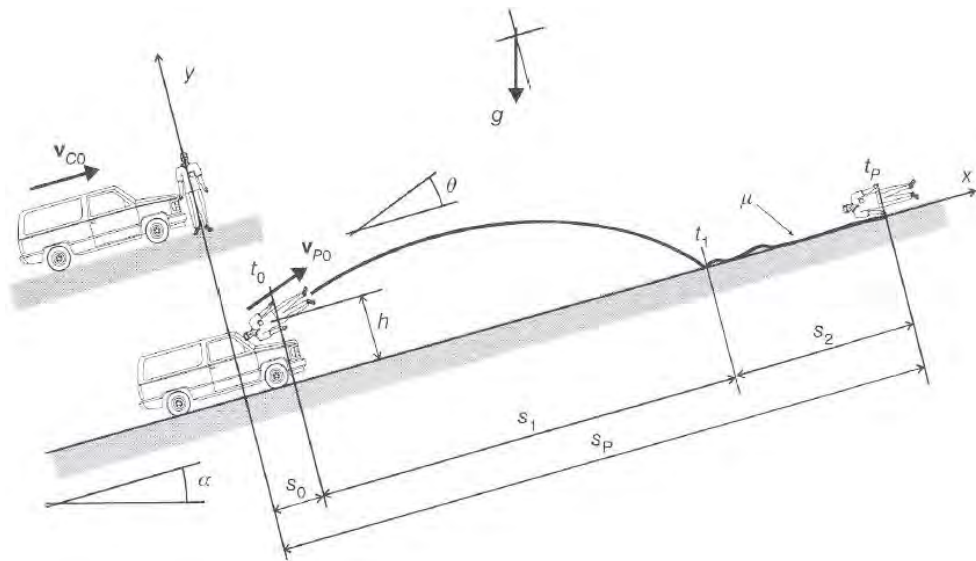
6.2.4 Adaptívny nárazník

Koncepcia adaptívneho nárazníka má dva smery využitia. Jednou možnosťou je využitie tohto konštrukčného riešenia pri nárazoch do zadnej časti vozidla. Konštrukčné riešenie, ktoré by spĺňalo požiadavky, by ale značne predražilo vozidlá a zvyšovalo by ich váhu. Druhým riešením je využitie adaptívneho nárazníka pri zrážke s chodcom. Základom tohto riešenia je vysunutie predného nárazníka až na vzdialenosť 120 mm vpred. Cieľom tohto konštrukčného riešenia je zabezpečiť väčšiu deformačnú zónu a s využitím absorpčných materiálov znížiť silové pôsobenie v oblasti kolena. Medzera, ktorá vznikne medzi nárazníkom a prednou kapotou, nepredstavuje riziko úrazu chodca. [35] Toto riešenie nie je do dnešnej doby uplatnené u žiadneho výrobcu.

6.3 Pohyb chodca po zrážke

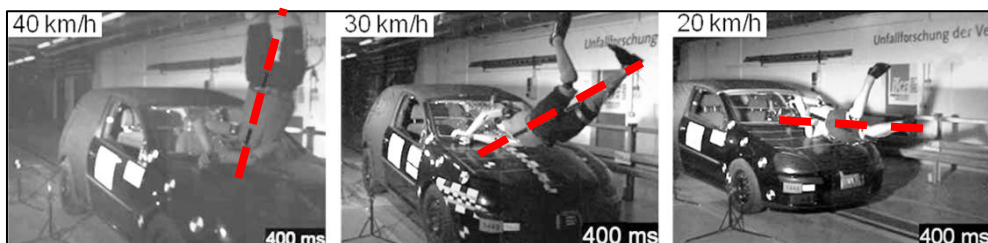
V prípade, že vozidlo po zrážke brzdí, dochádza po kontaktnej fáze vozidla s chodcom k oddeleniu chodca od karosérie vozidla. Karoséria pohltí deformáciou časť kontaktnej energie. V tomto okamihu si chodec preberá od vozidla pohybovú energiu, ktorá je transformovaná na letovú fázu

v smere jazdy vozidla. Keďže tvar vozidla nie je plochy a kolmý na vozovky, dochádza tak k vyvráteniu chodca do vzduchu. Chodec letí vzduchom s rýchlosťou V_{p0} a pod uhlom θ . Dochádza k letovej fáze (dĺžka letu s_1) ktorá je ukončená fázou dopadu a následného šmýkania chodca po povrchu (fáza s_2).

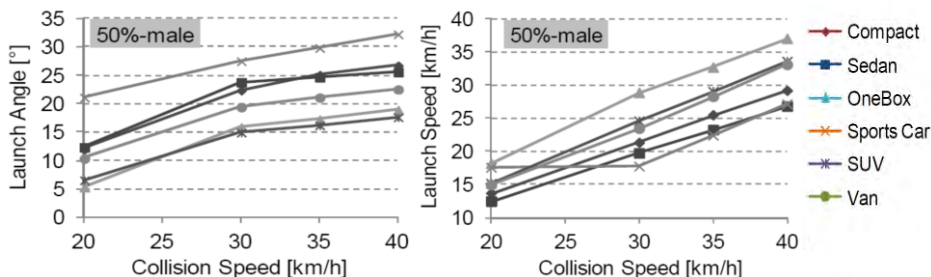


Obr. 73. Diagram letovej fázy chodca pri zrážke s vozidlom [53]

Pohyb dospelého chodca po zrážke je silne závislý od kolíznej rýchlosti vozidla. Dosažená rýchlosť od chodca po primárnej zrážke hlavy s vozidlom sa následne prejavuje na uhlovej polohe chodca (Obr. 74). Zobrazený test bol vykonaný pomocou 50th-percentil Honda Polar II Dummy man pri rýchlosti 20 km/h, 30 km/h a 40 km/h. Červenou čiarkovanou čiarou je znázornená poloha dummy v čase 400 ms po počiatocnom kontakte s vozidlom pri rýchlostiach 20 km/h, 30 km/h a 40 km/h.

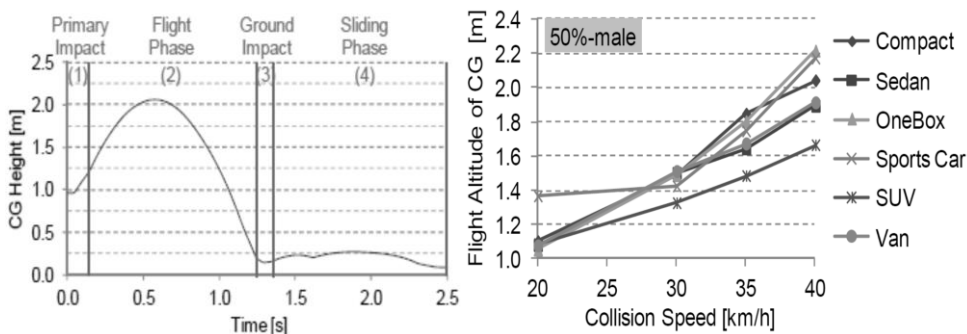


Obr. 74. Crash test vozidla VW s Polar II Dummy a dosiahnutý uhol letu v závislosti od rýchlosti [54]



Obr. 75. Závislosť dosiahnutého uhla letu chodca od rýchlosti vozidla (vľavo). Rýchlosť chodca prevzatá od kolidujúceho vozidla (vpravo). [55]

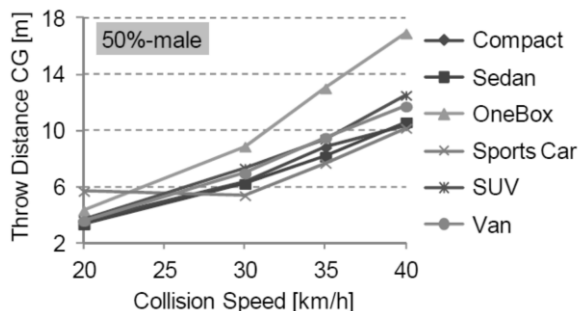
Kinematika chodca v priebehu letu môže byť ilustrovaná pomocou pohybu ťažiska chodca v priestore (Obr. 76). Krivka zodpovedá simulácii v Madymo prostredí s 50th percentil dummy a SFC vozidlom jazdiacim 40 km/h. Krivka znázorňuje štyri fázy pohybu ťažiska chodca po zrážke. V prvej fáze dochádza v dôsledku pohybu trupu po prednej kapote vozidla k miernemu zvýšeniu polohy ťažiska chodca (1). Druhá fáza reprezentuje rotáciu okolo sagitálnej osi a následný let dummy (2). Letovú fázu je možné popísať v niektorých prípadoch aj krivkou paraboly. Na konci letovej fázy dochádza k nárazu hlavy o zem (3) a následnému šmýkaniu sa dummy po zemi (4) a jej spomaleniu do konečného stavu.



Obr. 76. Fáza letu chodca po zrážke (vľavo). Výška letu chodca v závislosti od druhu vozidla (vpravo). [55]

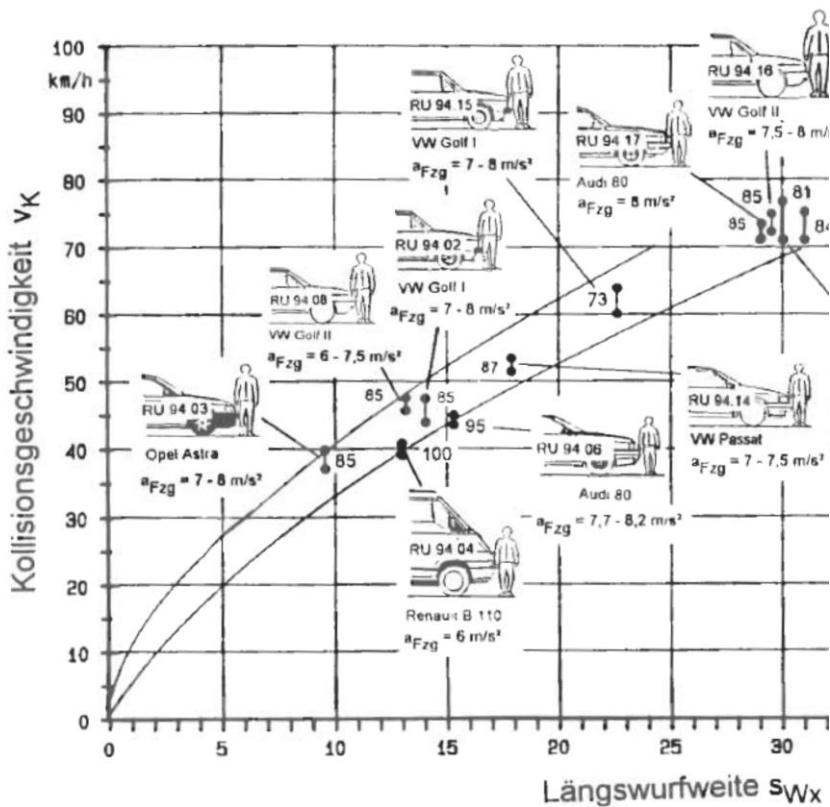
Graf na Obr. 77 je možné porovnať s grafom na Obr. 78 vytvoreným na základe približne 1000 simulácií výpočtov matematického modelu chodca s vozidlom v Madymo prostredí. Simulácie prebiehali s použitím modelov vozidiel v triede Compact - Opel Corsa 2010, Sedan – Mercedes E classe 2010, van – Ford S Max 2010, sport car – Porsche, SUV Porsche Cayenne

a One Box – Peugeot Boxer a 50th percentil ma dummy. Z grafu na Obr. 77 a Obr. 78 je zrejmé, že matematický model sa nachádza na vrchnej hranici grafu. Z toho vyplýva, že vzdialenosť odhodenia chodca pri zrážke s moderným vozidlom je o niečo kratšia ako medián z roku 1997. Je možné vysloviť úvahu, že tvar a konštrukcia moderného vozidla dokáže pohltiť viac energie pri zrážke a znížiť tak rýchlosť chodca pri odhodení. [56]



Obr. 77. Závislosť odhodenia chodca od rýchlosti vozidla v čase zrážky podľa druhu karosérie. [55]

Z podrobnejšej analýzy dopravných nehôd s chodcom bol zostrojený graf odhodenia chodca v závislosti od rýchlosti vozidla (pozri Obr. 78). Štúdia bola publikovaná v roku 1997. [56] Tvar karosérie mal v danej dobe do značnej miery odlišný charakter ako dnes.

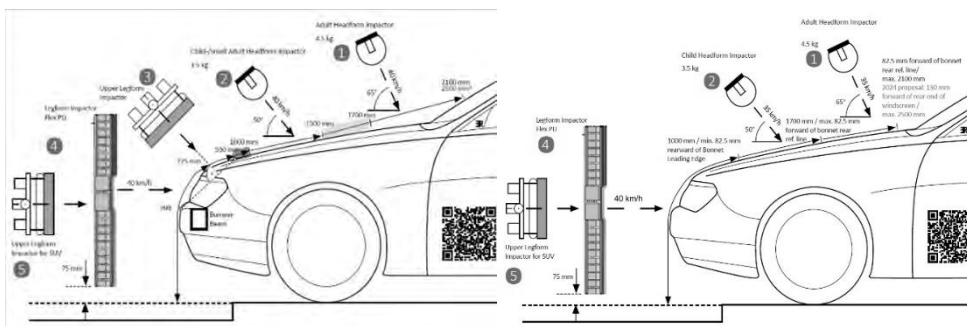


Obr. 78. Diagram odhodena chodca v závislosti od rýchlosti pohybu vozidla [56]

7 Testovanie pasívnej bezpečnosti

Porovnanie testovacej procedúry UN 127.02 a Euro NCAP je na Obr. 79. Z predmetných obrázkov je zrejmé, že testovacia procedúra EURO NCAP je prísnejšia a komplexnejšia. EURO NCAP pokrýva možnosti, ktoré môžu nastať pri rôznych druhoch vozidla. Preto je kapitola testovania pasívnej bezpečnosti venovaná primárne smerníc EURO NCAP, ktorá vychádza z UN 127.02. Oproti UN 127.02 doplnila EURO NCAP vo svojich testoch nasledujúce:

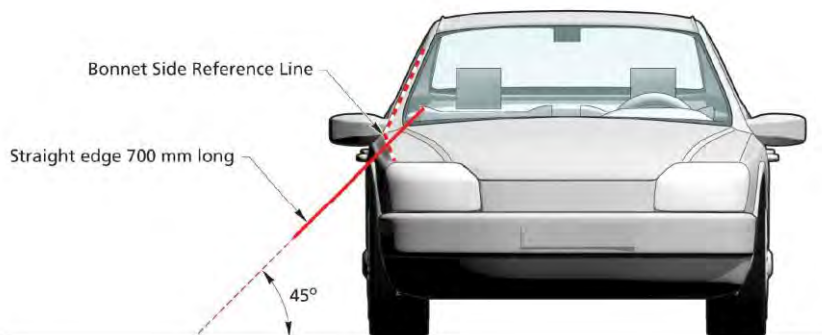
- Test Upper Legform (náraz stehna) na prednú hranu vozidla (na obrázku Obr. 79 vľavo ozn. 3).
- Definovala oblasť medzi WAD 930 až 1100, pre ktorú platí, že ak sa v tejto oblasti nachádza BLRL, tak je test doplnený o náraz makety hlavy dieťaťa pod uhlom 20°.
- Náraz makety hlavy dieťaťa je z rýchlosti 40 km/h, a teda rýchlosť nárazu hlavy vyššia o 5 km/h ako UN 127.02. (na Obr. 79 vpravo ozn. 2).
- Definovaná oblasť medzi WAD 1500 až 1700, pre ktorú platí, že ak sa testovacie body nachádzajú v danej oblasti, tak sa použije detská maketa hlavy, v prípade ak je auto vybavené aktívnou kapotou. Ak vozidlo nie je vybavené aktívnou kapotou, použije sa maketa dospeljej osoby.
- Náraz makety hlavy dieťaťa je z rýchlosti 40 km/h, a teda rýchlosť nárazu hlavy vyššia o 5 km/h ako UN 127.02. (na Obr. 79 vpravo ozn. 1).



Obr. 79. Porovnanie EURO NCAP (vľavo) a UN 127.02 (vpravo) [9]

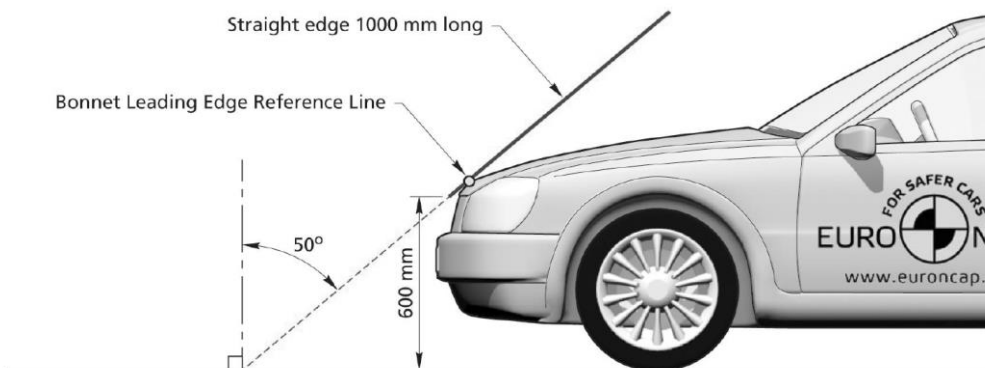
7.1 Definície oblasti na testovanom vozidle

Bočná referenčná čiara je geometrická stopa najvyšších bodov kontaktu medzi rovným 700 mm príložným pravítkom a bokom vozidla, keď je príložné pravítko držané rovnobežne s priečnou vertikálnou rovinou vozidla a naklonené dovnútra v uhle 45° . Pravítko je vedené nadol, pričom zostáva v kontakte s bokmi hornej strany prednej časti konštrukcie vozidla (pozri Obr. 80). [57]



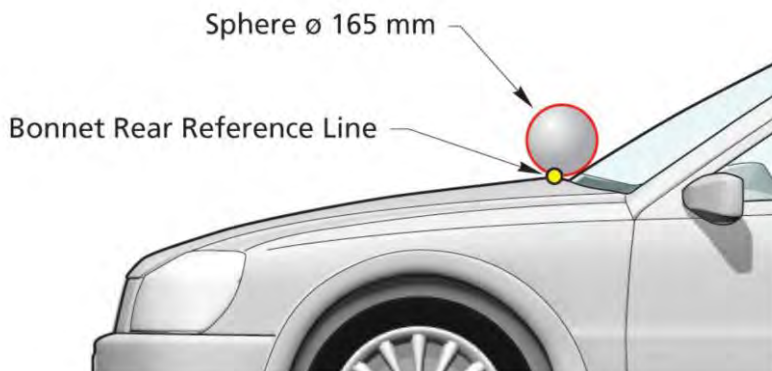
Obr. 80. Bočná referenčná čiara [36]

Predná referenčná čiara kapoty je geometrická stopa bodov kontaktu medzi 1 000 mm dlhým priloženým pravítkom a predným povrchom kapoty. Priložené pravítko sa udržiava v rovnobežnej polohe s vertikálnou pozdĺžnou rovinou vozidla, naklonenou dozadu v uhle 50° od vertikály a s dolným koncom 600 mm nad zemou. Pravítkom sa pohybuje priečne pozdĺž prednej hrany kapoty tak, že sa jej stále dotýka (pozri Obr. 81). V prípade vozidiel s povrchom hornej strany kapoty nakloneným v uhle 50° (príložné pravítko vykazuje skôr súvislý alebo viacnásobný než bodový kontakt) sa referenčná čiara stanoví s príložným pravítkom nakloneným v uhle 40° smerom dozadu od vertikály. V prípade vozidiel, ktoré majú taký tvar, že sa dotkne vozidla najprv spodný okraj príložného pravítka, sa považuje tento kontakt za prednú referenčnú čiaru kapoty v danej bočnej polohe. V prípade vozidiel, ktoré majú taký tvar, že sa dotkne vozidla najprv horný okraj príložného pravítka, považuje sa za prednú referenčnú čiaru kapoty v tejto bočnej polohe geometrická stopa 1 000 mm rozvinutej obvodovej čiary. Pre špecifické prípady je rozšírený popis v EURO NCAP Pedestrian testing protocol Version 8.5.



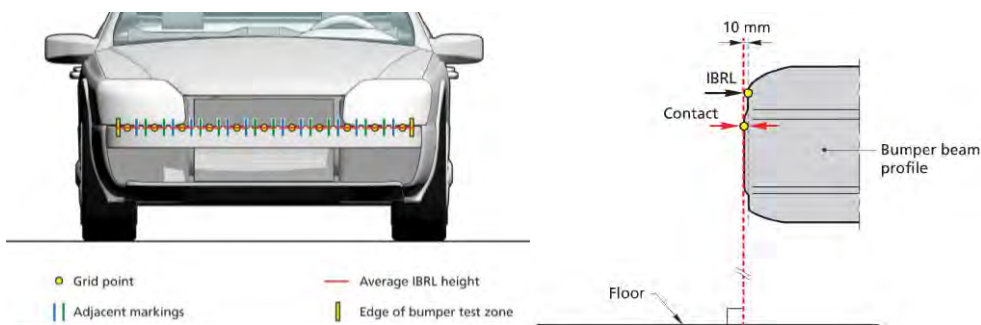
Obr. 81. Predná referenčná čiara kapoty [36]

Zadná referenčná čiara kapoty je geometrická stopa medzi najzadnejšími bodmi kontaktu medzi guľou s priemerom 165 mm a prednou časťou konštrukcie vozidla, keď je guľa vedená cez prednú časť konštrukcie vozidla, pričom zostáva v kontakte s čelným sklom (pozri obrázok 2). Počas tohto postupu sa odstránia lišty a ramená stieračov. Keď sa zadná referenčná čiara kapoty a bočná referenčná čiara nepretínajú, zadná referenčná čiara kapoty by sa mala predĺžiť a/alebo upraviť s použitím polkruhovej šablóny s polomerom 100 mm. Šablóna sa vyrobí z tenkej ohybnej platne, ktorá sa môže v každom smere v jednoduchom oblúku ľahko ohnúť. Pokiaľ to je možné, šablóna by mala odolávať dvojitému alebo viacnásobnému ohnutiu, ak by mohlo viesť k pokriveniu. Odporúčaným materiálom je tenká, penou podložená plastová platňa, aby sa šablóna nezošmykla z povrchu vozidla. Pre špecifické prípady je rozšírený popis v EURO NCAP Pedestrian testing protocol Version 8.5.



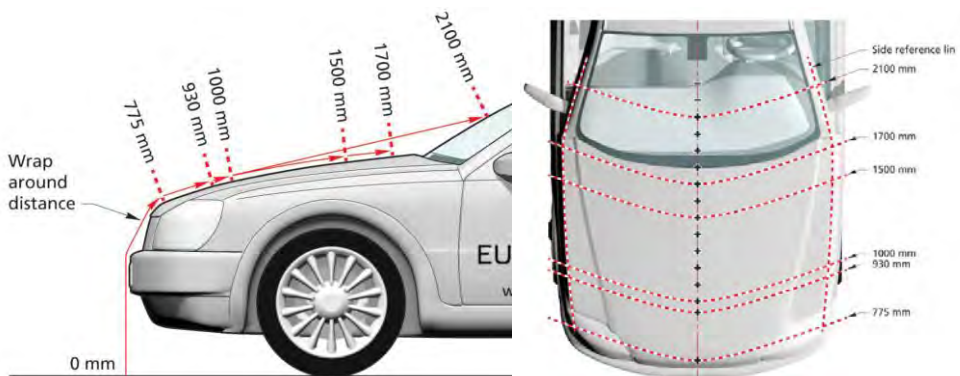
Obr. 82. Zadná referenčná čiara kapoty [36]

Interná referenčná čiara nárazníka (IBRL) je výška priečnej výstuhy nárazníka od vertikálnej roviny dotýkajúcej sa pomyselnej roviny až do 10 mm do profilu tak, aby sa dosiahla výška vnútornej referenčnej čiary nárazníka v intervaloch 100 mm od vonkajšej osi vozidla. Označenie výšky IBRL. Pre špecifické prípady je rozšírený popis v EURO NCAP Pedestrian testing protocol Version 8.5.



Obr. 83. Interná referenčná čiara nárazníka (IBRL) [36]

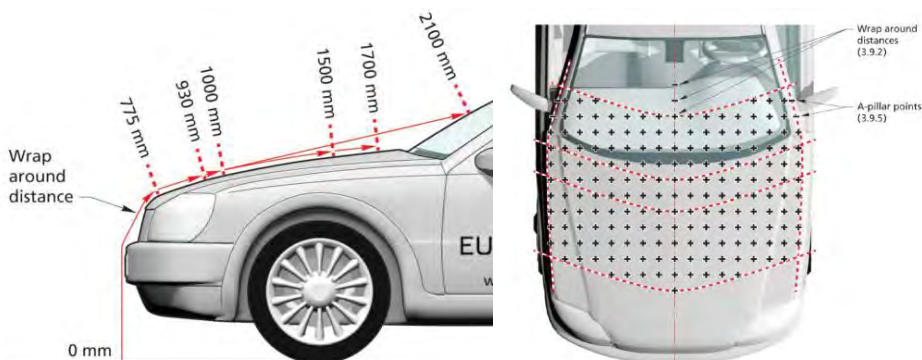
Rozvinutá obvodová čiara (WAD) je geometrická stopa bodov, opísaná na vonkajšom povrchu prednej časti konštrukcie vozidla jedným koncom ohybného meracieho pásma, udržiavaného vo vertikálnej pozdĺžnej rovine vozidla a vedeného priečne cez prednú časť konštrukcie. Pásmo je počas merania stále napnuté, pričom sa jeden jeho koniec drží na rovnakej úrovni ako je referenčná rovina zeme, vertikálne pod prednou stranou nárazníka a druhý koniec sa dotýka prednej časti konštrukcie (pozri Obr. 84). Vozidlo je v normálnej jazdnej polohe. Na kapote sa označia body a vytvoria čiary pri ovinutí vo vzdialenostiach 775 mm, 930 mm, 1000 mm, 1500 mm, 1700 mm a 2100 mm (body vyznačené v strede vozidla a na bočnej referenčnej čiare). Body umiestnené od 1 000 do 1 500 mm WAD vrátane sa budú hodnotiť pomocou makety hlavy dieťaťa. Body od 1700 mm do 2100 mm WAD vrátane sa budú hodnotiť pomocou makety hlavy dospelého. Pre špecifické prípady je rozšírený popis v EURO NCAP Pedestrian testing protocol Version 8.5.



Obr. 84. Rozvinutá obvodová čiara [36]

7.1.1 Testovacie body

Značenie testovacích/meracích bodov pre head impact test: prvý testovací bod je v osi vozidla na WAD 1000. Od tohto bodu je následne premietaná vzdialenosť 100 mm smerom k WAD 2100. Danými bodmi je vedená línia a vo vzdialenosti 100 mm v obidvoch bočných smeroch od osi vozidla je vytváraná sieť bodov. Pre špecifické prípady je rozšírený popis v EURO NCAP Pedestrian testing protocol Version 8.5.

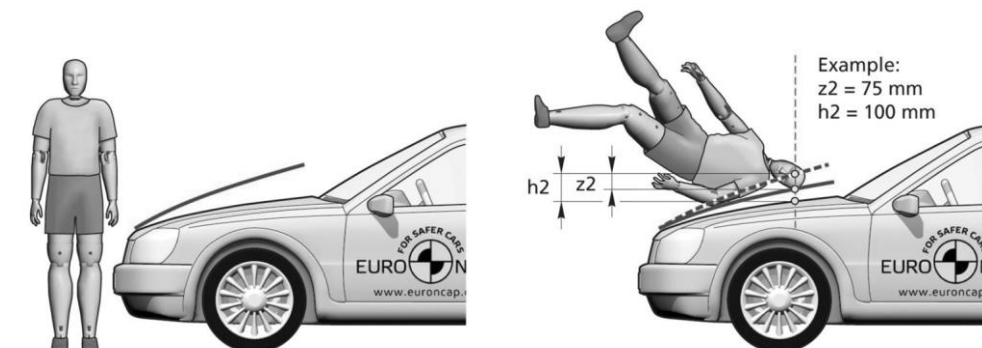


Obr. 85. Testovacie body head impact [36]

7.1.2 Aktívna kapota

Všetky systémy aktívnych kapôt musia iniciovať aktiváciu pri rýchlosti najmenej 50 km/h. Nie je potrebné, aby bol systém úplne vysunutý a dosiahol zamýšľanú koncovú polohu pred nárazom hlavy rýchlosťou 50 km/h, ale výrobca vozidla musí preukázať, že spustenie systému sa začalo. V polohe

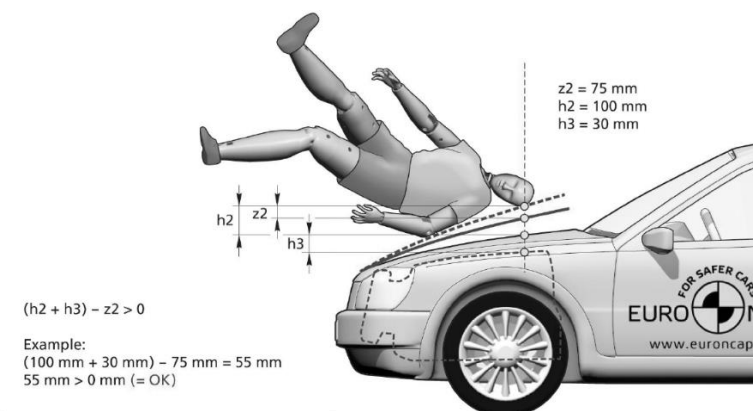
nárazu hlavy nesmie byť rozdiel medzi rozvinutou a neodsunutou kapotou v tomto bode väčší ako 75 % vygenerovanej výšky nasadenia.



Obr. 86. rozdiel medzi rozvinutou a neodsunutou kapotou. [36]

V bode nárazu hlavy je nevyhnutné, aby priehyb kapoty v stave nasadenia nepresahoval celkovú dostupnú vzdialenosť medzi nasadenou kapotou a pod úrovňou tvrdého bodu kapoty:

$$(h2 + h3) - z2 > 0$$



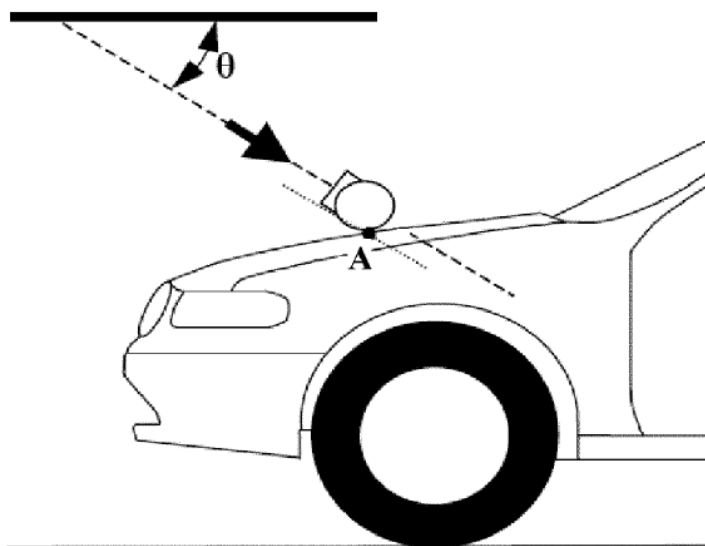
Obr. 87. Odčítanie hodnôt pre výpočet kontaktu hlavy s aktívnou kapotou [36]

Toto sa stanovuje pomocou numerických simulácií pri rýchlosti 40 km/h s chodcom vhodnej veľkosti, ktorý sa navinie na podpretú oblasť vrchnej časti kapoty pre konkrétny rozmer vozidla. Napríklad na malom vozidle s krátkou kapotou sa môže stať, že 50-percentilný muž sa dotýka vozidla za hornou časťou kapoty.

7.2 Testovacie scenáre

7.2.1 Test nárazu hlavy

Merací bod sa môže označovať aj ako „skúšobný bod“ alebo „nárazový bod“. Vo všetkých prípadoch sa výsledok skúšky priradí k tomuto bodu nezávisle od bodu, v ktorom dôjde k prvému kontaktu. „Merací bod“ pre skúšku s maketou hlavy, ktorá bola vybraná na posúdenie, je bod na vonkajšom povrchu vozidla. Merací bod je miesto, kde sa profil makety hlavy dotýka prierezu vonkajšieho povrchu vozidla vo vertikálnej pozdĺžnej rovine prechádzajúcej ťažiskom makety hlavy (pozri Obr. 88).



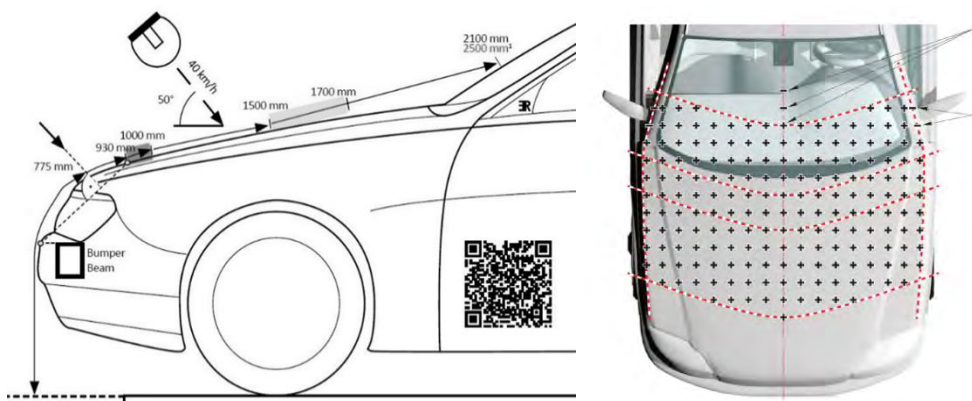
Obr. 88. Názorný obrázok testu nárazu makety hlavy na prednú kapotu vozidla [57]

7.2.1.1 Test nárazu makety hlavy dieťaťa

Nárazová hlavica makety hlavy sa musí v okamihu nárazu nachádzať vo „voľnom lete“ s požadovanou nárazovou rýchlosťou a v požadovanom smere nárazu. Nárazová hlavica sa uvoľní na „voľný let“ v takej vzdialenosti od vozidla, aby výsledky skúšky neboli ovplyvnené kontaktom nárazovej hlavice so spúšťacím systémom počas jej spätného pohybu. Rýchlosť nárazovej hlavice makety hlavy sa meria v určitom bode počas voľného letu pred nárazom v súlade s metódou stanovenou v norme ISO 3784:1976. Meraná rýchlosť sa musí prispôbiť so zreteľom na všetky faktory, ktoré

môžu ovplyvniť nárazovú hlavicu medzi bodom merania a bodom nárazu s cieľom stanoviť rýchlosť nárazovej hlavice v čase nárazu. Uhol vektora rýchlosti v čase nárazu sa vypočíta alebo odmeria.

Skúšky sa vykonávajú na prednej časti kapoty v rámci vymedzených hraníc. Štandardne sa nárazová skúška vykonáva v oblasti WAD 1000 až WAD 1500. Ak je vozidlo vybavené aktívnou kapotou, tak je testovacie pole rozšírené až do WAD 1700. Pre oblasť medzi WAD 930 až 1100 platí, že ak sa v tejto oblasti nachádza BLRL, tak je test doplnený o náraz makety hlavy dieťaťa pod uhlom 20° . Pre definovanú oblasť medzi WAD 1500 až 1700 platí, že ak sa testovacie body nachádzajú v danej oblasti, tak sa použije detská maketa hlavy, v prípade ak je auto vybavené aktívnou kapotou. Ak vozidlo nie je vybavené aktívnou kapotou použije sa maketa dospelšej osoby.



Obr. 89. Test nárazu hlavy dieťaťa [36]

Pre skúšky mimo iného platí:

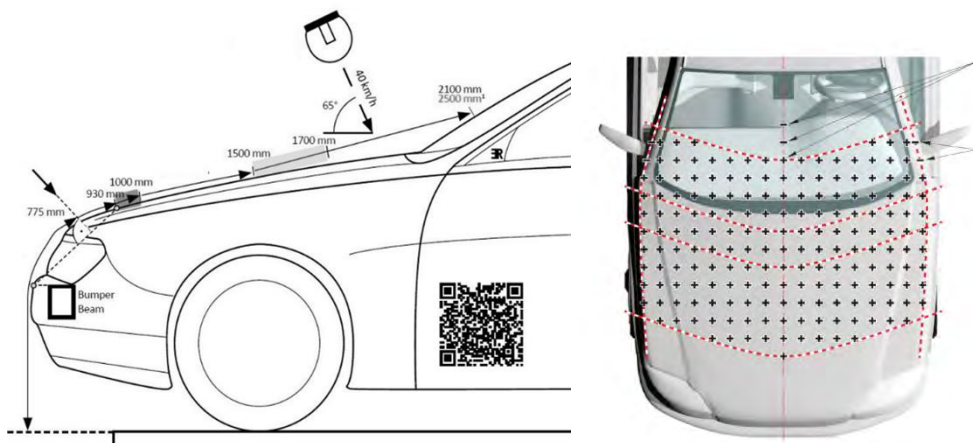
- S nárazovou hlavickou makety hlavy dieťaťa sa vykoná minimálne deväť skúšok, po tri skúšky v strede a na vonkajších tretinách skúšobnej plochy hornej strany kapoty v polohách posúdených ako polohy najpravdepodobnejšie spôsobujúce zranenie.
- Zvolené meracie body pre nárazovú hlavicu makety hlavy dieťaťa sa v okamihu prvého kontaktu musia nachádzať minimálne 165 mm od seba. Tieto minimálne vzdialenosti sa stanovujú ohybným meracím pásmom, ktoré sa drží napnuté pozdĺž vonkajšieho povrchu vozidla.

- Pri skúške s maketou hlavy dieťaťa platí pre náraz pozdĺžna a priečna tolerancia ± 10 mm. Táto tolerancia sa meria po dĺžke povrchu kapoty.
- Nárazová rýchlosť makety hlavy pri náraze je 9,7 m/s $\pm 0,2$ m/s (UNECE) a 11,1 m/s (EURO NCAP)
- Smer nárazu je v pozdĺžnej vertikálnej rovine skúšaného vozidla v uhle $50^\circ \pm 2^\circ$ voči horizontále.
- Smer nárazu pri skúškach prednej časti konštrukcie je orientovaný dolu a dozadu.

7.2.1.2 Test nárazu hlavy dospelého človeka

Nárazová hlavica makety hlavy sa musí v okamihu nárazu nachádzať vo „voľnom lete“ s požadovanou nárazovou rýchlosťou a v požadovanom smere nárazu. Nárazová hlavica sa uvoľní na „voľný let“ v takej vzdialenosti od vozidla, aby výsledky skúšky neboli ovplyvnené kontaktom nárazovej hlavice so spúšťacím systémom počas jej spätného pohybu. Rýchlosť nárazovej hlavice makety hlavy sa meria v určitom bode počas voľného letu pred nárazom, v súlade s metódou stanovenou v norme ISO 3784:1976. Meraná rýchlosť sa musí prispôbiť so zreteľom na všetky faktory, ktoré môžu ovplyvniť nárazovú hlavicu medzi bodom merania a bodom nárazu, s cieľom stanoviť rýchlosť nárazovej hlavice v čase nárazu. Uhol vektora rýchlosti v čase nárazu sa vypočíta alebo odmeria.

Skúšky sa vykonávajú na prednej časti kapoty v rámci vymedzených hraníc. Štandardne sa nárazová skúška vykonáva v oblasti WAD 1500 až WAD 2100 (2300 od roku 2023). Pre definovanú oblasť medzi WAD 1500 až 1700 platí, že ak sa testovacie body nachádzajú v danej oblasti, tak sa použije detská maketa hlavy, v prípade, ak je auto vybavené aktívnou kapotou. Ak vozidlo nie je vybavené aktívnou kapotou, použije sa maketa dospelého človeka.



Obr. 90. Test nárazu hlavy dospelého človeka [36]

Pre skúšky mimo iného platí:

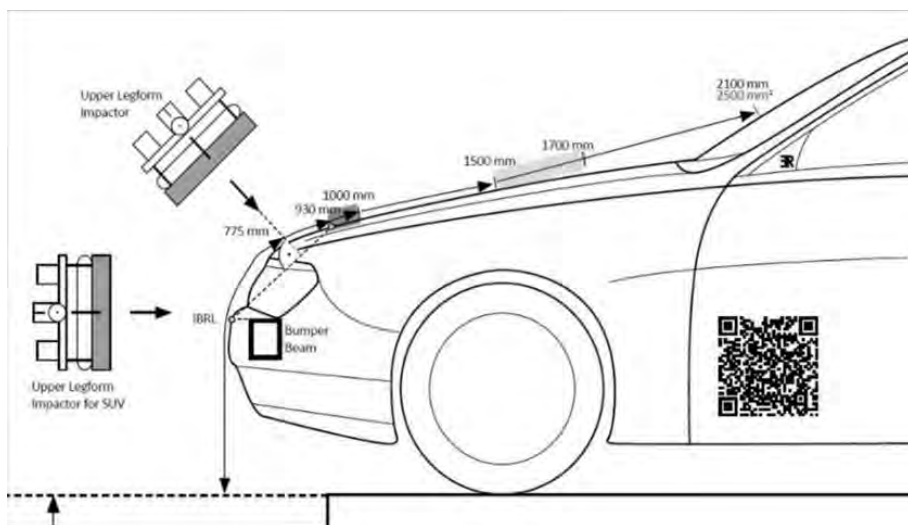
- S nárazovou hlavou makety hlavy dieťaťa sa vykoná minimálne deväť skúšok, po tri skúšky v strede a na vonkajších tretinách skúšobnej plochy hornej strany kapoty, v polohách posúdených ako polohy najpravdepodobnejšie spôsobujúce zranenie.
- Zvolené meracie body pre nárazovú hlavu makety hlavy dieťaťa sa v okamihu prvého kontaktu sa musia nachádzať minimálne 165 mm od seba. Tieto minimálne vzdialenosti sa stanovujú ohybným meracím pásmom, ktoré sa drží napnuté pozdĺž vonkajšieho povrchu vozidla.
- Pri skúške s maketou hlavy dieťaťa platí pre náraz pozdĺžna a priečna tolerancia ± 10 mm. Táto tolerancia sa meria po dĺžke povrchu kapoty.
- Nárazová rýchlosť makety hlavy pri náraze je $9,7 \text{ m/s} \pm 0,2 \text{ m/s}$ (UNECE) a $11,1 \text{ m/s}$ (EURO NCAP).
- Smer nárazu je v pozdĺžnej vertikálnej rovine skúšaného vozidla v uhle $65^\circ \pm 2^\circ$ voči horizontále.
- Smer nárazu pri skúškach prednej časti konštrukcie je orientovaný dolu a dozadu.

7.2.2 Test nárazu makety stehna - Upper leg test

Náraz makety stehna (Upper leg test) je časťou Euro NCAP testu, ktorá je orientovaná na hladinu ochrany chodca v oblasti femuru a

pelvisu. Po vybratí zo skladovacieho priestoru sa nárazová hlavica nesmie vystaviť iným podmienkam, ako sú podmienky na skúšobnej ploche. Každá skúška sa ukončí do dvoch hodín od vybratia nárazovej hlavice, ktorá sa má použiť, zo skladovacieho priestoru s regulovaným prostredím. Zvolené meracie body musia ležať na skúšobnej ploche nárazníka. Vykonajú sa minimálne tri skúšky nárazom makety stehna na nárazník, po jednej na stred a na bočné vonkajšie tretiny skúšobnej plochy nárazníka v polohách posúdených ako polohy najpravdepodobnejšie spôsobujúce zranenie. Zvolené meracie body musia byť od seba vzdialené minimálne 84 mm merané horizontálne a kolmo na pozdĺžnu strednú rovinu vozidla.

- Smer nárazu je rovnobežný s pozdĺžnou rovinou vozidla, pričom os makety stehna je v čase prvého kontaktu vo vertikálnej polohe.
- Tolerancia pre tento smer je $\pm 2^\circ$. V čase prvého kontaktu sa musí os nárazovej hlavice vo vertikálnej polohe nachádzať v polovici vzdialenosti medzi hornou referenčnou čiarou nárazníka a dolnou referenčnou čiarou nárazníka s toleranciou ± 10 mm a vertikálna os nárazovej hlavice musí byť voči zvolenému miestu nárazu umiestnená priečne s toleranciou ± 10 mm.
- Nárazová rýchlosť hlavice makety stehna pri náraze na nárazník je $11,1 \text{ m/s} \pm 0,2 \text{ m/s}$.



Obr. 91. Priebeh testu nárazu makety stehna [36]

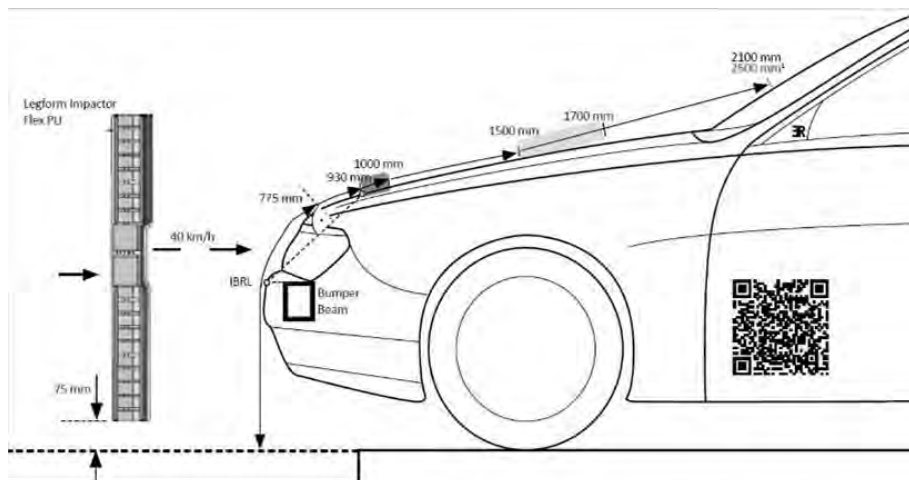
7.2.3 Test nárazu dolnej končatiny - Lower leg impact

Každá skúška sa ukončí do dvoch hodín od vybratia nárazovej hlavice, ktorá sa má použiť, zo skladovacieho priestoru s regulovaným prostredím. Zvolené meracie body musia ležať na skúšobnej ploche nárazníka vymedzenej v predpise UNECE 127.02. Vykonajú sa minimálne tri skúšky nárazom makety dolnej končatiny na nárazník, po jednej na stred a na bočné vonkajšie tretiny skúšobnej plochy nárazníka v polohách posúdených ako polohy najpravdepodobnejšie spôsobujúce zranenie. Zvolené skúšobné body musia byť od seba vzdialené minimálne 84 mm, merané horizontálne a kolmo na pozdĺžnu strednú rovinu vozidla. Smer vektora rýchlosti nárazu prebieha v horizontálnej rovine a rovnobežne s pozdĺžnou vertikálnou rovinou vozidla. Tolerancia smeru vektora rýchlosti v horizontálnej rovine a v pozdĺžnej rovine je $\pm 2^\circ$ v čase prvého kontaktu. Os nárazovej hlavice je kolmá na horizontálnu rovinu s toleranciou $\pm 2^\circ$ v priečnej a pozdĺžnej rovine.

Pri nastavení výšky spúšťacieho systému sa musí zohľadniť vplyv gravitácie počas voľného letu nárazovej hlavice. Pri skúškach nárazom na nárazník sa musí nárazová hlavica makety dolnej končatiny v okamihu nárazu nachádzať „vo voľnom lete“. Nárazová hlavica sa uvoľní na „voľný let“ v takej vzdialenosti od vozidla, aby výsledky skúšky neboli ovplyvnené kontaktom nárazovej hlavice so spúšťacím systémom počas jej spätného pohybu. Nárazová hlavica môže byť poháňaná akýmikoľvek prostriedkami, v prípade ktorých sa preukáže, že spĺňajú požiadavky skúšky. Ak má kolenný kĺb fungovať správne, nárazová hlavica v čase prvého kontaktu musí byť s toleranciou uhlu vybočenia ± 5 orientovaná v stanovenom smere okolo svojej vertikálnej osi.

- Dolný koniec nárazovej hlavice (bez častí potrebných na uvedenie do pohybu a/alebo ochranu) je 75 mm nad referenčnou rovinou zeme v čase prvého kontaktu s nárazníkom (pozri Obr. 92) s toleranciou ± 10 mm.
- Pri skúške nárazom makety dolnej končatiny na nárazník platí pre náraz vertikálna a horizontálna tolerancia ± 10 mm.

- Počas kontaktu nárazovej hlavice a vozidla sa nárazová hlavica nesmie dotýkať zeme alebo akéhokoľvek predmetu, ktorý nie je časťou vozidla.
- Nárazová rýchlosť nárazovej hlavice pri náraze na nárazník je $11,1 \pm 0,2$ m/s.
- Keď sa nárazová rýchlosť odvodí z meraní vykonaných pred prvým kontaktom, zohľadní sa účinok gravitačnej sily.



Obr. 92 Názorný priebeh testu dolnej končatiny [36]

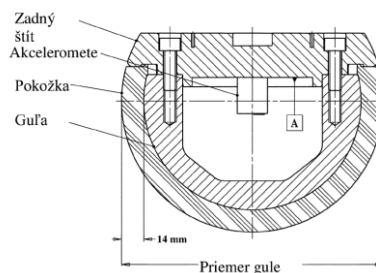
7.3 Testovacie impaktory

7.3.1 Maketa hlavy dieťaťa - Child headform

Nárazová hlavica makety hlavy dieťaťa musí byť vyrobená z hliníka, musí mať homogénnu konštrukciu a mať guľovitý tvar. Celkový priemer je $165 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Hmotnosť je $3,5 \text{ kg} \pm 0,07 \text{ kg}$. Moment zotrvačnosti okolo osi prechádzajúcej ťažiskom a kolmej na smer nárazu je v rozsahu od 0,008 do $0,012 \text{ kgm}^2$. Ťažisko nárazovej hlavice makety hlavy vrátane prístrojového vybavenia leží v geometrickom strede gule s toleranciou $\pm 2 \text{ mm}$.

Guľa je potiahnutá syntetickou pokožkou hrubou $14 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, ktorá pokrýva aspoň polovicu gule. Prvá vlastná frekvencia nárazovej hlavice makety hlavy dieťaťa musí byť vyššia než $5\,000 \text{ Hz}$. Vyhĺbenie v guli musí

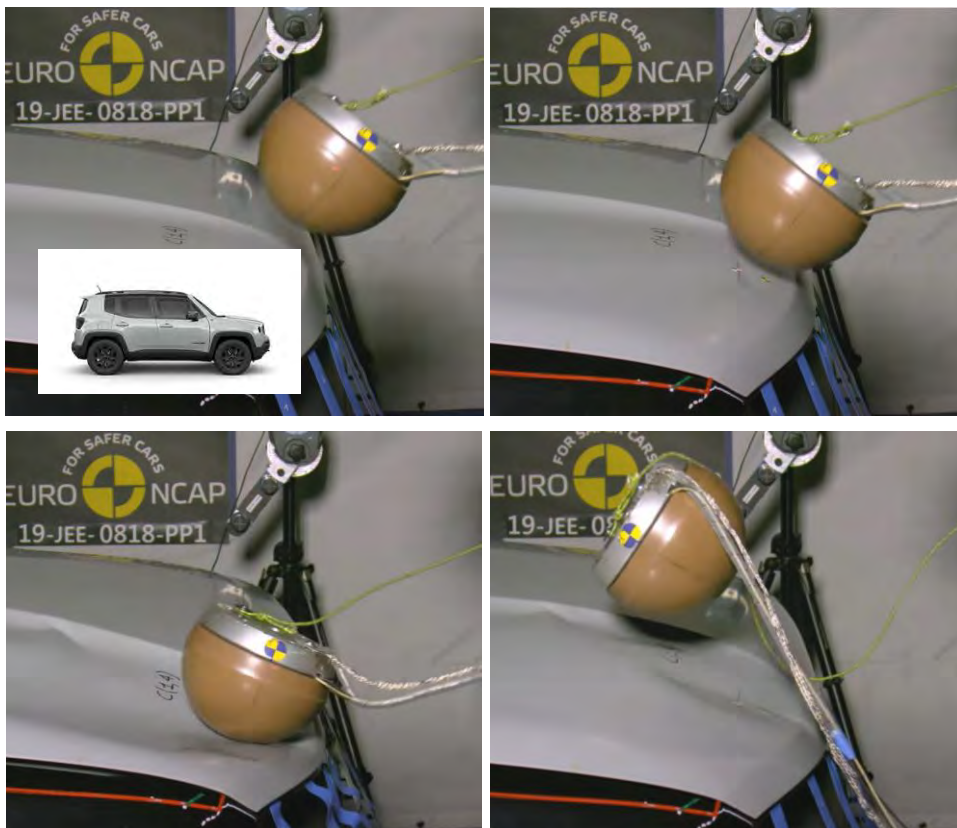
umožniť montáž jedného trojosového alebo troch jednoosových akcelerometrov v rámci tolerancie umiestnenia seizmickej hmotnosti ± 10 mm od stredu gule pre os merania a tolerancie umiestnenia ± 1 mm od stredu gule pre smer kolmý k osi merania. Ak sa použijú tri jednoosové akcelerometre, jeden z akcelerometrov musí mať svoju os citlivosti kolmú na montážnu plochu A (pozri Obr. 93) a svoju seizmickú hmotnosť umiestnenú vo vnútri valcového tolerančného poľa s polomerom 1 mm a dĺžkou 20 mm. Os tolerančného poľa leží kolmo na montážnu plochu a jej stred je totožný so stredom gule nárazovej hlavice makety hlavy. Zostávajúce akcelerometre musia mať svoje osi citlivosti vzájomne kolmé a rovnobežné s montážnou plochou A a svoje seizmické hmotnosti umiestnené vo vnútri guľového tolerančného poľa s polomerom 10 mm. Stred tolerančného poľa je totožný so stredom gule nárazovej hlavice makety hlavy. Hodnota odozvy CFC prístrojového vybavenia vymedzená v ISO 6487:2002 je 1 000. Hodnota odozvy amplitúdovej triedy kanála (CAC) vymedzená v ISO 6487:2002 je 500 g pre zrýchlenie.



Obr. 93. Nárazová hlavica makety hlavy dieťaťa [36]

7.3.1.1 Pribeh testu makety hlavy dieťaťa

Smernica UN 127.02 ani smernica EURO NCAP neurčujú výrobcu ani produkt, ktorý má byť použitý na vyvinutie rýchlosti impaktoru. Základnými technickými riešeniami sú lineárne vedenia, ktoré nesú na svojom konci impaktor. Lineárne vedenie môže byť hnané stlačenou pružinou, elektromotorom alebo stlačeným plynom, ktorý pôsobí na piest. Dôležité je, aby mechanizmus vyvinul správnu rýchlosť pohybu a rýchlosť v definovanom uhle. Pri testovaní je potrebné zohľadniť, že impaktor sa bude pri kontakte s vozidlom nachádzať vo voľnom lete a je dôležité, aby boli splnené podmienky pre daný test.



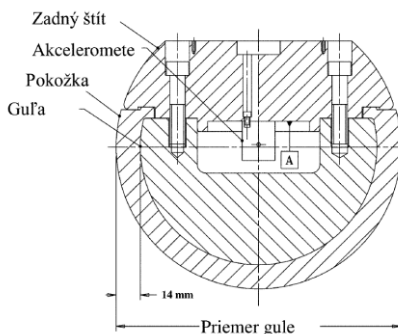
Obr. 94. Head form vo voľnom lete (vľavo hore), prvý kontakt rýchlosť s vozidlom (vpravo hore). Dosiahnutie maximálnej deformácie (vľavo dole), odrazová rýchlosť po teste (vpravo dole). [58]

Na Obr. 94 je znázornený priebeh testu vozidla Jeep Renegade 2019 v sekvencii zaznamenaný rýchlokamerou. V popise testu (v kapitole 7.2.1.1) je uvedené, že test nárazu hlavy dieťaťa je vykonávaný od WAD 1000 do WAD 1700. Keďže vozidlo Jeep Renegade je svojou koncepciou vozidlo SUV, tak náraz hlavy dieťaťa je možné overiť už v oblasti prednej hrany kapoty.

7.3.2 Maketa hlavy dospelého človeka - Adult headform

Nárazová hlavica makety hlavy dospelého človeka musí byť vyrobená z hliníka, musí mať homogénnu konštrukciu a mať guľovitý tvar (pozri obrázok Obr. 95). Celkový priemer je $165 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, hmotnosť $4,5 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$. Moment zotrvačnosti okolo osi prechádzajúcej ťažiskom a kolmej na smer nárazu je v rozsahu od $0,010$ do $0,013 \text{ kgm}^2$. Ťažisko nárazovej

hlavice makety hlavy, vrátane prístrojového vybavenia, leží v geometrickom strede gule s toleranciou ± 5 mm. Guľa je potiahnutá syntetickou pokožkou hrubou $14 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, ktorá pokrýva aspoň polovicu gule.



Obr. 95. Nárazová hlavica makety hlavy dospelého [36]

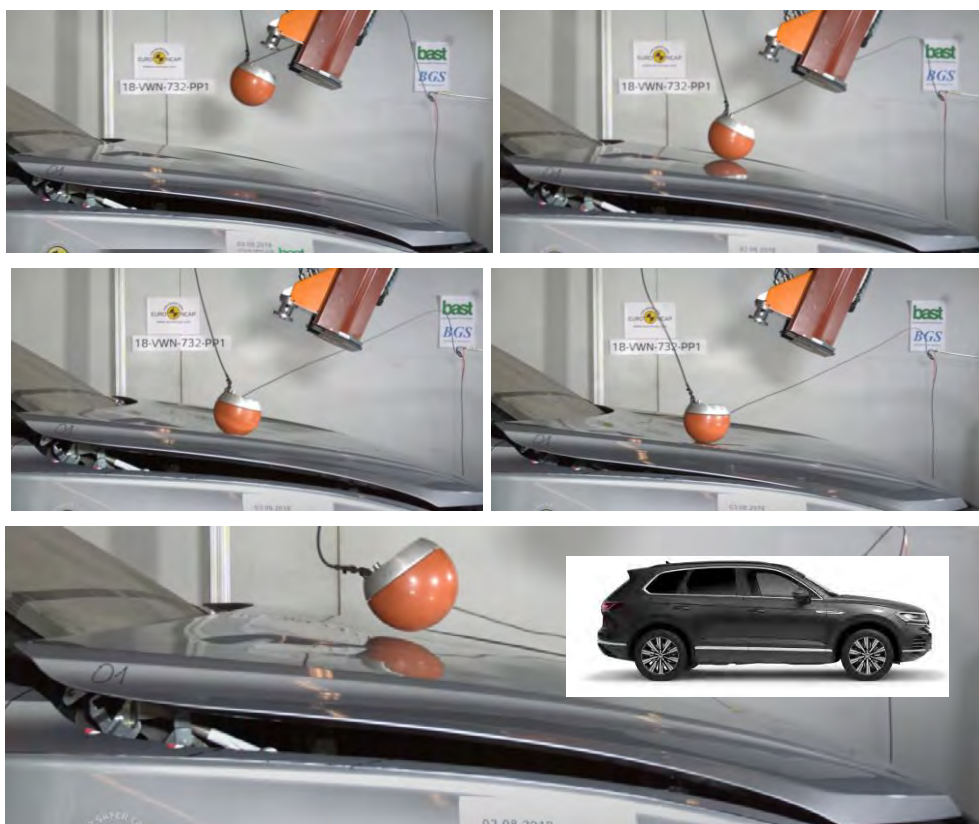
Vyhĺbenie v guľi musí umožniť montáž jedného trojosového alebo troch jednoosových akcelerometrov v rámci tolerancie umiestnenia ± 10 mm od stredu gule pre os merania a tolerancie ± 1 mm od stredu gule pre smer kolmý k osi merania. Ak sa použijú tri jednoosové akcelerometre, jeden z akcelerometrov musí mať svoju os citlivosti kolmú na montážnu plochu A (pozri Obr. 95). Os tolerančného poľa leží kolmo na montážnu plochu a jej stred je totožný so stredom gule nárazovej hlavice makety hlavy. Zostávajúce akcelerometre musia mať svoje osi citlivosti vzájomne kolmé a rovnobežné s montážnu plochu A a svoje seizmické hmotnosti umiestnené vo vnútri guľového tolerančného poľa s polomerom 10 mm. Stred tolerančného poľa je totožný so stredom gule nárazovej hlavice makety hlavy. Hodnota odozvy CFC prístrojového vybavenia vymedzená v ISO 6487:2002 je 1 000. Hodnota odozvy amplitúdovej triedy kanála (CAC) vymedzená v ISO 6487:2002 je 500 g pre zrýchlenie.

7.3.2.1 Priebeh testu makety hlavy dospelého človeka

Smernica UN 127.02 ani smernica EURO NCAP neurčujú výrobcu ani produkt, ktorý má byť použitý na vyvinutie rýchlosti impaktora. Základnými technickými riešeniami sú lineárne vedenia, ktoré nesú na svojom konci impaktor. Lineárne vedenie môže byť hnané stlačenou pružinou, elektromotorom alebo stlačeným plynom, ktorý pôsobí na piest. Dôležité je, aby mechanizmus vyvinul správnu rýchlosť pohybu a rýchlosť

v definovanom uhle. Pri testovaní je potrebné zohľadniť, že impaktor sa bude pri kontakte s vozidlom nachádzať vo voľnom lete a je dôležité, aby boli splnené podmienky pre daný test.

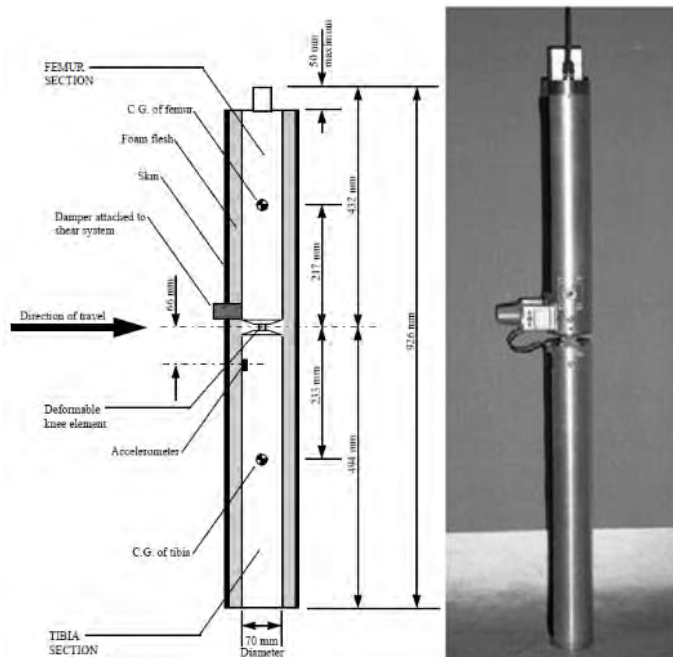
Na Obr. 96 je znázornený priebeh testu vozidla VW Touareg 2019 v sekvencii zaznamenaný rýchlokamerou. Vozidlo VW bolo vybavené aktívnou kapotou na ochranu chodcov. V popise testu (v kapitole 7.2.1.2) je uvedené, že test nárazu hlavy dospelej osoby je vykonávaný od WAD 1700 do WAD 2100. Keďže vozidlo VW je svojou koncepciou veľké vozidlo SUV, tak náraz hlavy je predpokladaný v oblasti kapoty. Je malá pravdepodobnosť, že by v reálnej premávke v intraviláne došlo ku kontaktu hlavy s čelným sklom na vozidle.



Obr. 96. Head form vo voľnom lete (vľavo hore), prvý kontakt s vozidlom (vpravo hore). Deformácia kapoty bez jej posuvu v závesoch kapoty (v strede vľavo). Dosiiahnutie maximálnej deformácie a zníženie kapoty (v strede vpravo), odrazová rýchlosť po teste (dole). [59]

7.3.3 Maketa dolnej končatiny - Lower leg impactor

Zranenia, spôsobené predným nárazníkom sú najčastejšími zraneniami pri nefatálnych dopravných nehodách (výskyt cca 38 %). [45] Vývoj dizajnu a konštrukcie prednej časti vozidiel je zameraný na zlepšovanie absorpcie energie pri zrážkach s chodcami. Lower leg Euro NCAP test používal k tomuto testu TRL impaktor. WG17 EEVC bola zodpovedná za vývoj tohto impaktora, ktorý nesie názov po firme Transport and Research Laboratory. TRL finalizovala dizajn a následnú produkciu.[8] Tento impaktor sa používal do roku 2015.



Obr. 97. TRL impaktor používaný na EURO NCAP testy dolných končatín [60]

Impaktor je zložený z dvoch pevných kovových rúrok, dvoch deformovateľných kolenných elementov a pružiny s tmičom. Dve duté rúrky predstavujú femur a tibiú dolnej končatiny. Deformovateľné články spojenia týchto rúrok predstavujú ľudské koleno – konkrétne väzy a ich schopnosť pohlcovať energiu a ohyb spôsobený zrážkou. Tieto elementy slúžia na posúdenie možného zranenia kolena v dôsledku zrážky. Systém pružiny s tmičom simuluje možný laterálny pohyb v kolene – posuv v strihu. Záznam z akcelerometra z oblasti kolena je využívaný ako nepriamy nástroj na

posúdenie prítlačnej sily na tibiú. Podľa veľkosti akcelerácie je následne možné vyhodnotiť možné riziká zlomeniny v oblasti tibie. Celý komplet je pokrytý 25 mm penovou vrstvou a 6 mm neoprénovej kože, ktorá reprezentuje pokožku. [9]

7.3.3.1 Priebeh testu makety dolnej končatiny

Smernica UN 127.02 ani smernica EURO NCAP neurčujú výrobcu ani produkt, ktorý má byť použitý na vyvinutie rýchlosti impaktora. Základnými technickými riešeniami sú lineárne vedenia, ktoré nesú na svojom konci impaktor. Lineárne vedenie môže byť hnané stlačenou pružinou, elektromotorom alebo stlačeným plynom, ktorý pôsobí na piest. Dôležité je, aby mechanizmus vyvinul správnu rýchlosť pohybu a rýchlosť v definovanom uhle. Pri testovaní je potrebné zohľadniť, že impaktor sa bude pri kontakte s vozidlom nachádzať vo voľnom lete a je dôležité, aby boli splnené podmienky pre daný test.

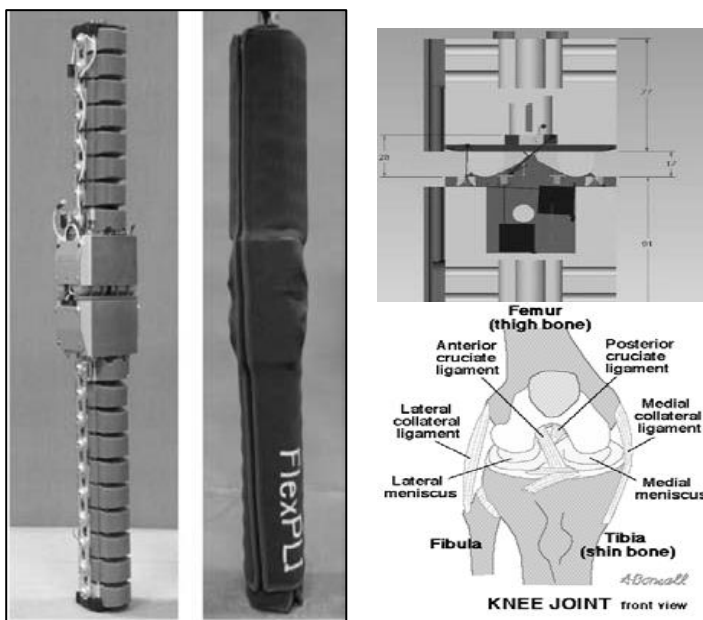


Obr. 98. Voľný let rýchlosť (vľavo). Prvý kontakt s vozidlom (v strede). Maximálne sily pôsobiace na impaktor (vpravo) [61]

7.3.4 Maketa dolnej končatiny FlexiPLI (Flexible Pedestrian Legform Impactor)

Pri vývoji TRL nárazového zariadenia bolo cieľom EEVC zamerať sa na zranenie kolenných väzov v dôsledku zrážky. Posúdenie možnosti zlomeniny femuru je vyhodnocované na základe zrýchlenia pôsobeného na maketu dolnej končatiny pri zrážke. Japonskí experti pri bezpečnosti chodcov vyzdvihli do popredia, že TRL impaktor s tuhou vrchnou a spodnou časťou nemôže reprezentovať správny pohyb a namáhanie dolnej končatiny pri zrážke. [62] Štatistiky poukazujú, že až 87 % všetkých poranení nôh pri zrážke s chodcom bolo v oblasti tibie a podľa japonských expertov nie je

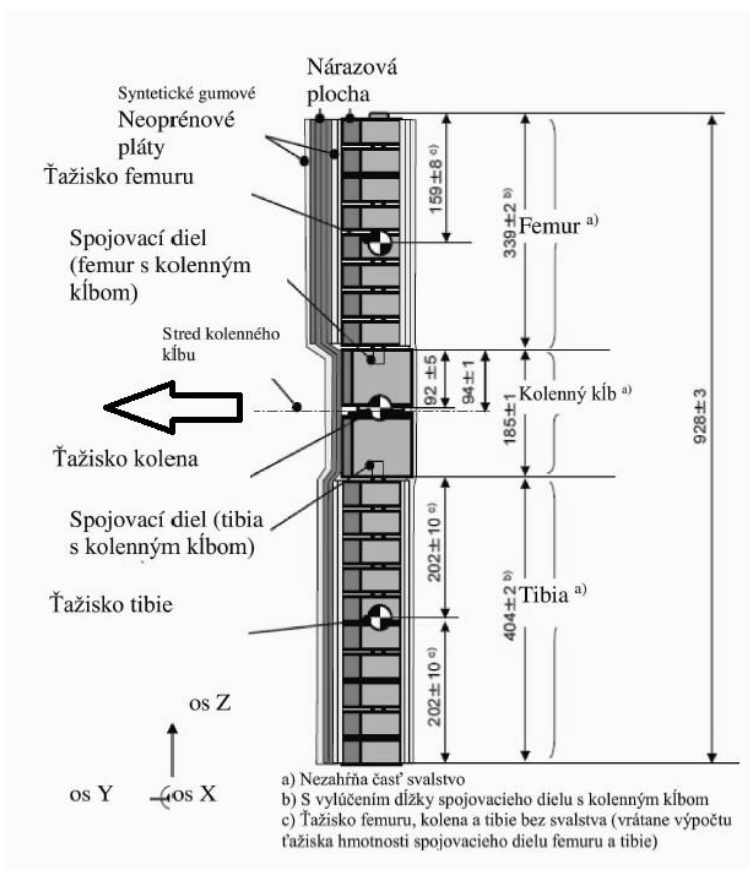
možné vyhodnotiť potenciálne riziko zlomeniny predkolenia pomocou EEVC TRL nárazového zariadenia. [63] KNCAP testovacia procedúra používa k lowerleg testu impaktor Flexi LPI FTR model. Flexi GTR impaktor sa skladá z dvoch hlavných častí, a to femuru a tibie. Tieto dve časti sú zložené zo sklolaminátových blokov, ktoré sú medzi sebou prepojené nylonovými segmentmi. Na sklolaminátových blokoch sú nalepené tenzometre, ktoré sa používajú na zaznamenanie ohybového momentu na danom segmente. Z momentu je možné vyhodnotiť riziko zlomeniny v danej oblasti. Kolená sa skladá z dvoch komplexných blokov, ktoré sú prepojené troma strunami s potenciometrom. Toto prepojenie reprezentuje ľudské kolenné väzy. Celkovo môže byť Flexi PLi GTR impaktor osadený až 32 kanálmi na meranie zaťaženia v oblasti tibie a femuru. [64] Celkový dizajn stehna a predkolenia má predstavovať štruktúru ľudskej kosti a jej schopnosť sa ohýbať. [65]



Obr. 99 Flexible Pedestrian Legform Impactor model GTR [65] [64] [62]

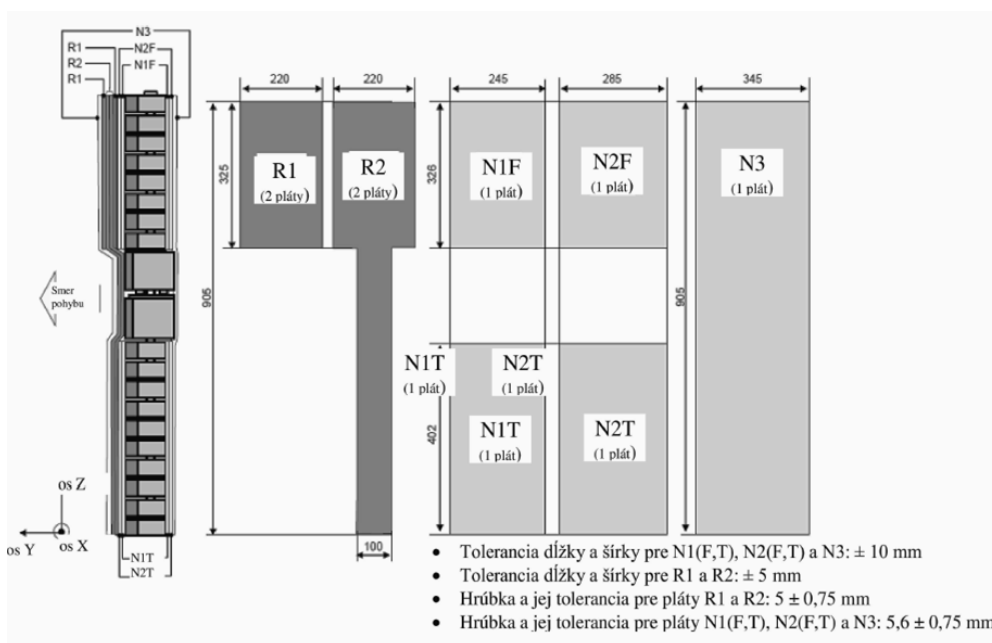
Nárazová hlavica pružnej makety dolnej končatiny sa skladá zo svalstva a pokožky, pružných dlhých kostných segmentov (predstavujúcich femur a tibiú) a kolenného kĺbu tak, ako je uvedené na Obr. 100. Zostavená nárazová hlavica má celkovú hmotnosť $13,2 \text{ kg} \pm 0,4 \text{ kg}$. Rozmery úplnej

zostavenej nárazovej hlavice musia zodpovedať vymedzeniu na Obr. 100. Hmotnosť femuru a tibie bez svalstva a pokožky, vrátane spojovacích dielov s kolenným kĺbom, je $2,46 \pm 0,12$ kg a $2,64 \pm 0,13$ kg. Hmotnosť kolenného kĺbu bez svalstva a pokožky je $4,28 \pm 0,21$ kg. Hmotnosť zostavy femuru, kolenného kĺbu a tibie bez svalstva a pokožky je $9,38 \text{ kg} \pm 0,3$ kg. Ťažiská femuru a tibie bez svalstva a pokožky, vrátane spojovacích dielov s kolenným kĺbom, musia zodpovedať vymedzeniu na obrázku. Ťažisko kolenného kĺbu bez svalstva a pokožky musí zodpovedať vymedzeniu na obrázku. Moment zotrvačnosti femuru a tibie bez svalstva a pokožky, vrátane spojovacích dielov s kolenným kĺbom okolo osi X prechádzajúcej cez príslušné ťažisko, je $0,0325 \text{ kgm}^2 \pm 0,0016 \text{ kgm}^2$ a $0,0467 \text{ kgm}^2 \pm 0,0023 \text{ kgm}^2$. Moment zotrvačnosti kolenného kĺbu okolo osi X prechádzajúcej cez príslušné ťažisko je $0,0180 \text{ kgm}^2 \pm 0,0009 \text{ kgm}^2$.



Obr. 100. Schematické znázornenie impaktora a jeho časti [57]

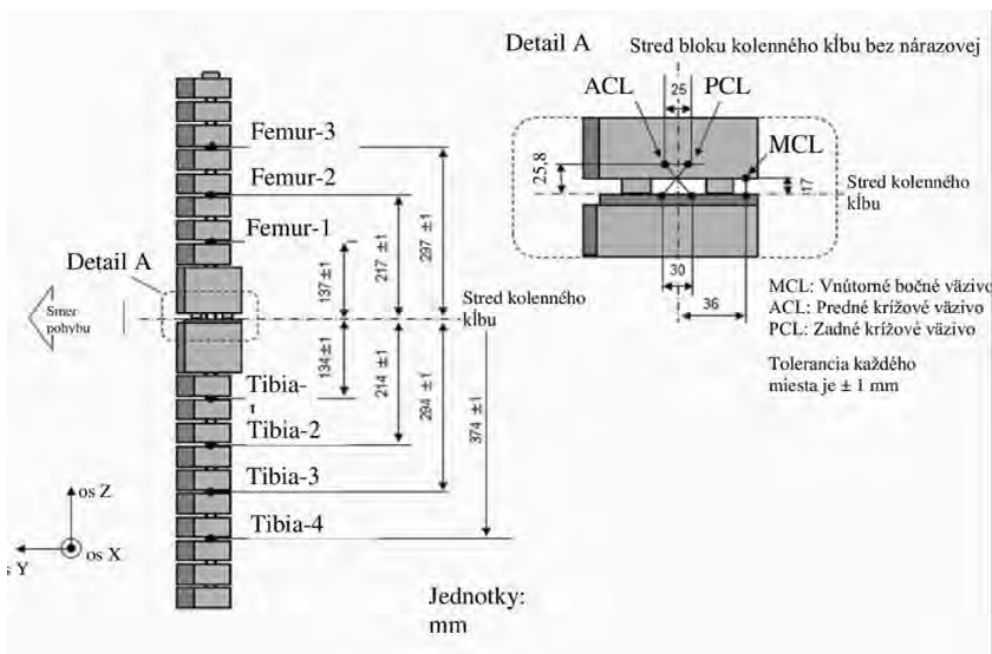
Pri každej skúške musí byť nárazová hlavica (femur, kolenný kĺb a tibia) pokrytá svalstvom a pokožkou skladajúcou sa zo syntetických gumových plátov (R1, R2) a neoprénových plátov (N1F, N2F, N1T, N2T, N3) zobrazených na Obr. 101. Veľkosť plátov musí zodpovedať požiadavkám opísaným na obrázku. Pláty musia mať kompresné charakteristiky podľa obrázku. Kompresné charakteristiky sa kontrolujú pomocou materiálu z rovnakej výrobnéj dávky ako pláty použité na svalstvo a pokožku nárazovej hlavice. Pred vybratím nárazovej hlavice na skúšku musia byť všetky komponenty nárazovej hlavice skladované dostatočný čas v skladovacom priestore s regulovaným prostredím so stabilizovanou teplotou $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 101. Schematické znázornenie častí umelej kože na impaktore [57]

Na tibiú sú namontované štyri snímače na meranie ohybových momentov na daných miestach v tibií. Tri snímače sa namontujú na femure na meranie ohybových momentov pôsobiacich na femur. Miesta snímání každého snímača musia zodpovedať vymedzeniu na obrázku. Osou merania každého snímača je os X nárazovej hlavice. Tri snímače sa namontujú v kolennom kĺbe na meranie predĺženia vnútorného bočného väziva (Medial Collateral Ligament – MCL), predného krížového väziva (Anterior Cruciate Ligament – ACL) a zadného krížového väziva (Posterior Cruciate Ligament

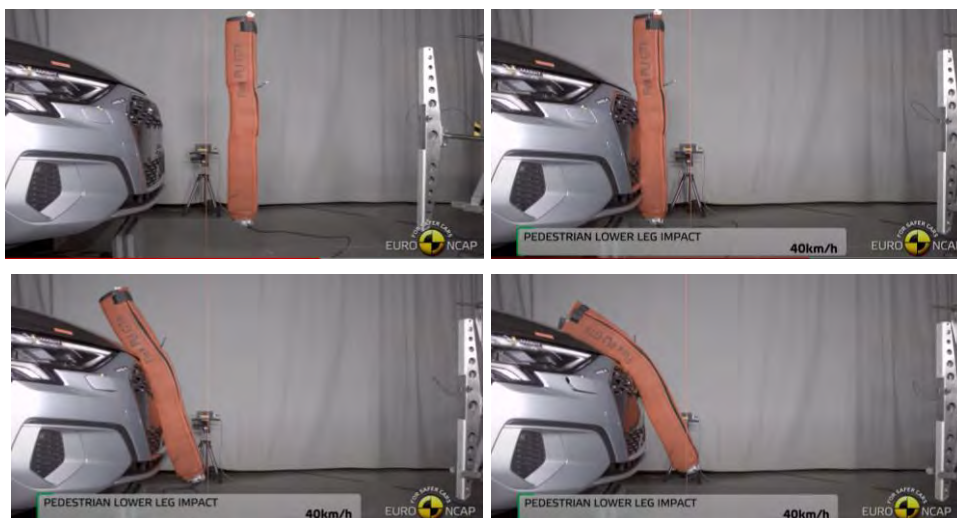
– PCL). Miesta merania každého snímača sú uvedené na Obr. 102. Miesta merania sa musia nachádzať do ± 4 mm pozdĺž osi X od stredu kolenného kĺbu. Hodnota odozvy CFC prístrojového vybavenia vymedzená v ISO 6487:2002 je 180 pre všetky snímače. Hodnoty odozvy amplitúdovej triedy kanála (CAC) vymedzené v ISO 6487:2002 sú 30 mm pre predĺženie kolenného väziva a 400 Nm pre ohybové momenty femuru a tibie.



Obr. 102. Rozmery impaktorov a ich prípustné tolerancie [57]

7.3.4.1 Pribeh testu makety FlexiPLI

Smernica UN 127.02 ani smernica EURO NCAP neurčujú výrobcu ani produkt, ktorý má byť použitý na vyvinutie rýchlosti impaktora. Základnými technickými riešeniami sú lineárne vedenia, ktoré nesú na svojom konci impaktor. Lineárne vedenie môže byť hnané stlačenou pružinou, elektromotorom alebo stlačeným plynom, ktorý pôsobí na piest. Dôležité je, aby mechanizmus vyvinul správnu rýchlosť pohybu a rýchlosť v definovanom uhle. Pri testovaní je potrebné zohľadniť, že impaktor sa bude pri kontakte s vozidlom nachádzať vo voľnom lete a je dôležité, aby boli splnené podmienky pre daný test.



Obr. 103. Voľný let impaktora rýchlosťou 40 km/h po uvoľnení z lineárneho vedenia (vľavo hore). Prvý kontakt impaktoru s vozidlom (vpravo hore). Nabaľovanie impaktora na prednú časť vozidla (vľavo dole). Postupné odrazenie impaktoru po náraze (vpravo dole). [66]

7.3.4.2 Porovnanie makety FlexiPLI GTR s maketou TRL

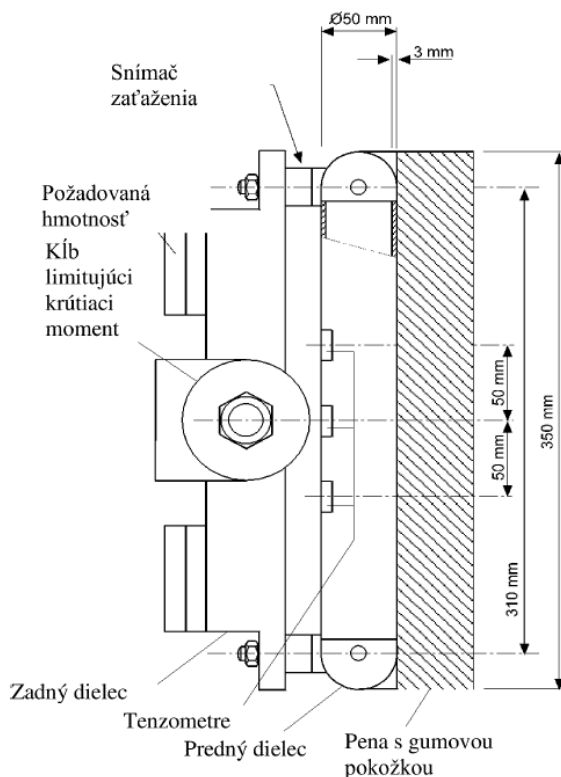
FlexiPLI GTR model dolnej končatiny ponúka zlepšenie testovacích výsledkov tým, že má štruktúru a mechanické vlastnosti podobné ľudskej nohe. Model predstavuje moderný prístup ku konštrukcii modelu s plnou pružnosťou celej dolnej končatiny. Z porovnávacích testov TRL a FlexiPLI GTR vyplynulo, že TRL impaktor nemá rovnaké výkonnostné výsledky ako FlexiPLI GTR, ale obidva impaktory vykázali v porovnávacom teste výsledné hodnoty zaťaženia, ktoré spĺňali normou stanovený limit zaťaženia dolnej končatiny. Z výsledkov vyplýva, že konštrukcia TRL impaktora je v súlade s požiadavkami na dosiahnutie porovnateľných a korektných výsledkov v testoch a nie je nutné kompletne prepracovať tento model. FlexiPLI GTR ponúka komplexnejší pohľad na ohybový moment v predkolennej časti dolnej končatiny. [65]



Obr. 104. Zobrazenie deformácie impaktora TRL (vľavo) a FlexiPLI (vpravo) pri teste [65]

7.3.5 Maketa stehna - Upper leg

Skúšobná nárazová hlavica stehna alebo aspoň pena svalstva musí byť pred vybratím nárazovej hlavice na skúšku uskladnená minimálne štyri hodiny v skladovacom priestore s regulovaným prostredím pri stabilizovanej vlhkosti $35\% \pm 15\%$ a stabilizovanej teplote $20\text{ °C} \pm 4\text{ °C}$. Maketa stehna je vedená v lineárnom uložení a po náraze na nábežnú hranu prednej kapoty vyprodukuje spätnú silu a ohybový moment. Pre získanie plného bodového hodnotenia je nutný výsledok testu pod dolným limitom.



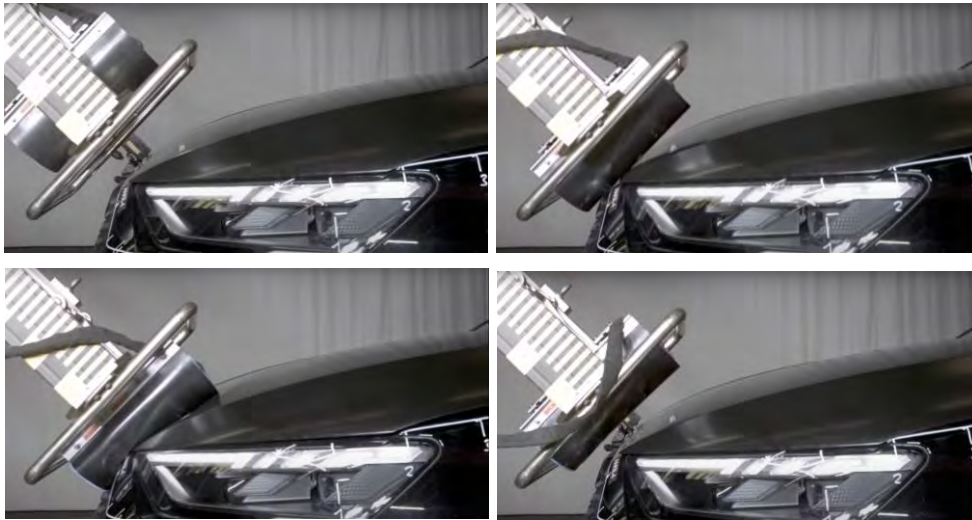
Obr. 105. Vyobrazenie rezu impaktora a jeho základné rozmerové vlastnosti [57]

Na každú dynamickú certifikačnú skúšku sa použije pena svalstva, ktorú tvoria dva nové pláty 25 mm hrubej peny typu CF-45 alebo ekvivalent. Pokožku tvorí gumový plát s hrúbkou 1,5 mm, vystužený vláknom. Pena a gumová pokožka spolu vážia 0,6 kg \pm 0,1 kg (bez výstuže, montážnych prvkov atď., ktoré sa použijú na uchytenie zadných okrajov gumovej pokožky k zadnému dielcu). Pena musí mať také rozmery a tvar, aby sa zachovala primeraná medzera medzi penou a komponentami nachádzajúcimi sa za predným dielcom, aby sa zabránilo prenášaniam značného zaťaženia medzi penou a týmito komponentami.

Predný dielec musí byť vybavený tenzometrami na meranie ohybových momentov v troch polohách, pričom každý používa samostatný kanál. Tenzometre sa umiestnia na nárazovej hlavici na zadnej časti predného dielca. Dva vonkajšie tenzometre sa umiestnia vo vzdialenosti 50 mm \pm 1 mm od osi symetrie nárazovej hlavice. Stredný tenzometer sa umiestni na osi symetrie s toleranciou \pm 1 mm. Namontujú sa dva snímače zaťaženia na jednotlivé meranie síl pôsobiacich na oboch koncoch nárazovej hlavice makety stehna. Pozícia tenzometrov na meranie ohybových momentov je v strede nárazovej hlavice makety stehna vo vzájomnej vzdialenosti 50 mm od stredovej osi na každej strane (pozri Obr. 105). Hodnota odozvy CFC prístrojového vybavenia vymedzená v ISO 6487:2002 je 180 pre všetky snímače. Hodnoty odozvy CAC vymedzené v ISO 6487:2002 sú 10 kN pre snímače sily a 1 000 Nm pre merania ohybového momentu.

7.3.5.1 Pribeh testu makety stehna

Smernica UN 127.02 ani smernica EURO NCAP neurčujú výrobcu ani produkt, ktorý má byť použitý na vyvinutie rýchlosti impaktora. Základnými technickými riešeniami sú lineárne vedenia, ktoré nesú na svojom konci impaktor. Lineárne vedenie môže byť hnané stlačenou pružinou, elektromotorom alebo stlačeným plynom, ktorý pôsobí na piest. Dôležité je, aby mechanizmus vyvinul správnu rýchlosť pohybu a rýchlosť v definovanom uhle. Pri testovaní je potrebné zohľadniť, že impaktor sa bude pri kontakte s vozidlom nachádzať vo voľnom lete a je dôležité, aby boli splnené podmienky pre daný test.



Obr. 106. Voľný let impaktora rýchlosťou 40 km/h (vľavo hore). Prvý kontakt impaktora s vozidlom (vpravo hore). Deformácia impaktora na prednú časť vozidla (vľavo dole). Odrazenie impaktora po náraze (vpravo dole). [66]

7.3.6 Test s figurínou chodca - Full scale dummy test

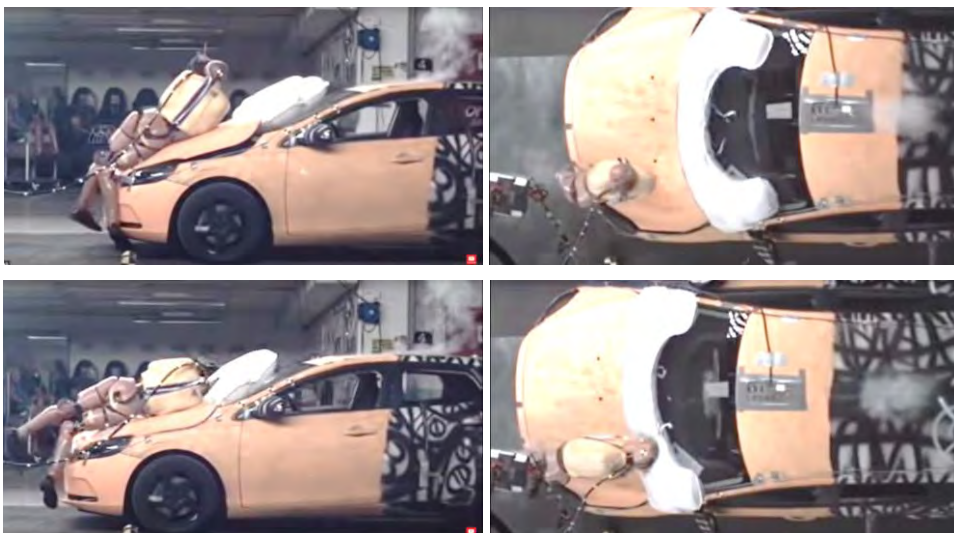
Testovacie figuríny sú sofistikované antropomorfné testovacie zariadenia. Figuríny sú navrhnuté tak, aby úzko korelovali s rozmermi a charakteristikami ľudského tela a môžu simulovať pohyby skutočného človeka počas nárazových skúšok. Výsledky zhromaždené počas a po testovaní poskytujú merateľný údaj o ochrannom výkone vozidla alebo časti motorového vozidla z hľadiska bezpečnosti prevažne cestujúcich vo vozidle. Crash Test 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 v minulosti. Testovacie figuríny ponúkajú jedinečnú príležitosť na meranie a hodnotenie účinkov kolízií na rôzne časti človeka s cieľom pomôcť vozidlám splniť predpisy týkajúce sa prepravy a bezpečnosti.

Série testovacích figurín s označením Q pokrývajú modely Q0, Q1, Q1,5, Q3, Q3s, Q6 a Q10, každé z nich na základe 50. percentilu detí s príslušným vekom. Q Dummies používa Euro NCAP prevažne pri testovaní bezpečnosti detských cestujúcich v autosedačke. Na testovanie dospelých osôb sa najčastejšie používajú figuríny THOR alebo Hybrid III. Primárne sú všetky tieto figuríny určené na testovanie pasívnej bezpečnosti cestujúcich.

Ale séria obrázkov pod textom zachytáva test pasívnych prvkov pre chodcov. Nie je štandardné, aby sa vykonávali takéto testy v súčasnej dobe hlavne kvôli cene figuríny, ktorá môže byť v dôsledku nárazu poškodená. Aj preto sa vykonávajú subtesty popísané v predchádzajúcich kapitolách a testy virtuálne pomocou výpočtovej techniky.

Séria obrázkov zachytáva moment prvého kontaktu vozidla s figurínou. Na inicializáciu aktívnej kapoty je potrebná detekcia chodca a deformácia prednej časti vozidla. Následne dochádza k aktivácii aktívnej kapoty a v predmetom prípade aj k aktivácii airbagu pre chodca. Telo figuríny sa nabaľuje na prednú časť vozidla, kde bol vytvorený bezpečnejší priestor zdvihnutou kapotou. Po navinutí chodca dochádza ku kontaktu hlavy figuríny s airbagom. Ako je vidieť, ide o kontakt v oblasti, ktorá je veľmi tuhá – hrana kapoty/ stieračov/ čelného skla.





Obr. 107. Séria snímok z testu aktívnej kapoty a airbagu pre chodca [61]

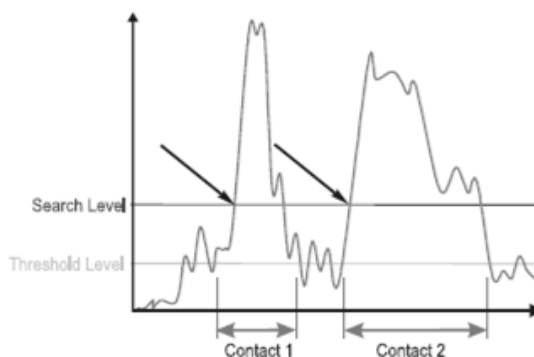
7.4 Hodnotenie a bodovanie testovacích vozidiel

7.4.1 Kritérium poranenia hlavy – Head injury criterium HIC

Na objektívne posúdenie testovacej procedúry nárazu hlavy voči karosérii sa používa v Európe formula na výpočet HPC (Head Performance Criteria), taktiež všeobecne známa ako HIC kritérium (head injury criterium) (Americký ekvivalent HPC). Z biomechanického hľadiska je maximálna vypočítaná hodnota „1000“ hladinou, ktorá by nemala byť prekročená vzhľadom na závažnosť poranenia hlavy dospelého chodca. Výpočet HPC a HIC vychádza z rovnakej formuly (1).

$$HIC = \sup_{t_1, t_2} \left\{ \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1) \right\} \quad t_1, t_2 - \text{čas [s]} \quad a - \text{zrýchlenie [m/s}^2\text{]} \quad (3)$$

Pre výpočet HIC je dôležitý časový interval HCD (Head Contact Duration), v akom pôsobila decelerácia na head form v priebehu nárazu. Medzi základné dva časové intervaly patrí HIC₁₅ a HIC₃₆. Číslice 15 a 36 popisujú maximálnu dobu príslušného intervalu v milisekundách, po ktorú pôsobilo dané zaťaženie na maketu hlavy. Deceleračná krivka impaktu je filtrovaná pomocou filtra CFC 1000. [13]



Obr. 108 Priebeh akcelerácie a vyobrazenie HIC_{15} -Contact 1 a HIC_{36} -Contact 2 [37]

Pri teste musí výrobca testovaného vozidla poskytnúť predpokladané údaje pre všetky body testovanej mriežky. Tieto údaje sa vyjadria ako farba podľa zodpovedajúcich farebných hraníc pre predpokladaný výkon HIC_{15} uvedený nižšie. Alternatívne môžu byť poskytnuté hodnoty HIC_{15} . Výrobca je oprávnený zafarbiť obmedzený počet bodov mriežky na modro, ak je výkon pre testovací bod nepredvídateľný. Tieto body mriežky budú vždy testované. Postup je podrobne uvedený v protokole „Testovanie ochrany chodcov“.

Pre jednotlivé hodnoty platí:

| | |
|----------|-----------------------------|
| Zelená | $HIC_{15} < 650$ |
| Žltá | $650 \leq HIC_{15} < 1000$ |
| Oranžová | $1000 \leq HIC_{15} < 1350$ |
| Hnedá | $1350 \leq HIC_{15} < 1700$ |
| Červená | $1700 \leq HIC_{15}$ |

Pre testovaciu zónu makety hlavy je v teste k dispozícii najviac 24 bodov. Celkové skóre pre všetky body tabuľky sa počíta ako percento z maximálneho dosiahnuteľného skóre, ktoré sa potom vynásobí 24 bodmi. Za prednú hranu kapoty a testovaciu zónu nárazníka získa každá maximálne 6 bodov. V hodnotení ochrany chodcov je k dispozícii celkovo 36 bodov.

Každému z bodov mriežky môže byť pridelené až do jedného bodu, čo vedie k maximálnemu celkovému počtu bodov rovnému počtu bodov mriežky. Za každú predpovedanú farbu sa bodu mriežky pridelia nasledujúce body:

| | |
|-------------------------------|-----------|
| $HIC_{15} < 650$ | 1,00 bodu |
| $650 \leq HIC_{15} < 1000$ | 0,75 bodu |
| $1\ 000 \leq HIC_{15} < 1350$ | 0,50 bodu |
| $1350 \leq HIC_{15} < 1700$ | 0,25 bodu |
| $1700 \leq HIC_{15}$ | 0,00 bodu |

Údaje poskytnuté výrobcom sa upravujú pomocou korekčného faktora, ktorý sa vypočíta na základe množstva vykonaných overovacích testov. Verifikačné body sú náhodne vybrané body mriežky rozložené v súlade s predpokladaným rozložením farieb. Skutočné testované celkové skóre bodov overovacích testov sa vydeli predpovedaným celkovým skóre týchto bodov overovacích testov. Toto sa nazýva korekčný faktor, ktorý môže byť nižší alebo vyšší ako 1. Korekčný faktor sa vynásobí na všetky body mriežky (s výnimkou predvolených a modrých bodov). Konečné skóre pre vozidlo nikdy nemôže prekročiť 100 % bez ohľadu na korekčný faktor.

$$\text{Korekčný faktor} = \frac{\text{aktuálne testovacie skóre}}{\text{predpokladané skóre}}$$

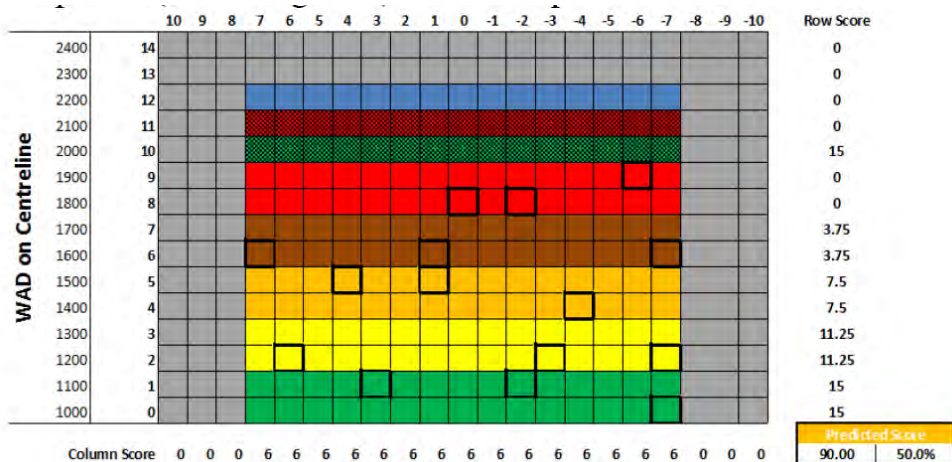
(4)

Pretože výsledky testov môžu byť medzi laboratóriami a internými testami alebo simuláciami variabilné, uplatňuje sa 10%-tná tolerancia k hodnote HIC verifikačného testu. Tolerancia sa aplikuje v oboch smeroch, čo znamená, že keď testovaný bod dosiahne lepšie skóre, ako bolo predpovedané, tak v rámci tolerancie sa použije predpovedaný výsledok. Tolerancia sa uplatňuje iba na overenie, či je predpokladaná farba testovaného bodu overenia správna.

| Predikcia rozsahu HIC_{15} | Akceptovaný rozsah HIC_{15} |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Zelená $HIC < 650$ | $HIC_{15} < 722,22$ |
| Žltá $650 \leq HIC_{15} < 1000$ | $590,91 \leq HIC_{15} < 1111,11$ |
| Oranžová $1000 \leq HIC_{15} < 1350$ | $909,09 \leq HIC_{15} < 1500,00$ |
| Hnedá $1350 \leq HIC_{15} < 1700$ | $1227,27 \leq HIC_{15} < 1888,89$ |
| Červená $1700 \leq HIC_{15}$ | $1545,45 \leq HIC_{15}$ |

7.4.2 Príklad testovacieho scenára

Výrobca „A“ poskytol Euro NCAP nasledujúci predpoklad testovacej mriežky s celkovým skóre 90 bodov (okrem modrých) z celkových možných 195.



Obr. 109. Testovacia mriežka poskytnutá výrobcom „A“.

Predikcia pozostáva z nasledujúcich prvkov:

| | |
|----------------------|----------------|
| 15 defaultná zelená | x 1,00 = 15,00 |
| 30 zelených | x 1,00 = 30,00 |
| 30 žltých | x 0,75 = 22,50 |
| 30 oranžová | x 0,50 = 15,00 |
| 30 hnedá | x 0,25 = 7,50 |
| 30 červená | x 0,00 = 0,00 |
| 15 defaultná červené | x 0,00 = 0,00 |
| 15 modrá | |

195 bodov mriežky 90,00 bodov

Na testovanie bolo vybraných 15 overovacích bodov zvýraznených na Obr. 109.

Tabuľka 11

Prehľad testovaných bodov výrobcu „A“

| Verification | | | | | | | | | | | Score | |
|--------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------------|------|
| | GRID-point | R2 C-7 | R2 C-3 | R1 C-2 | R4 C-4 | R5 C1 | R5 C4 | R8 C-2 | R6 C-7 | R2 C6 | R1 C3 | |
| 1-10 | Prediction | | | | | | | | | | | 6 |
| | Test result (HIC) | 750 | 600 | 500 | 1200 | 1492 | 850 | 2000 | 1400 | 1112 | 660 | |
| | Test result (pts) | 0.75 | 0.75 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.75 | 0 | 0.25 | 0.5 | 1 | 6 |
| 11-20 | GRID-point | R8 C0 | R6 C7 | R0 C-7 | R9 C-6 | R6 C1 | | | | | | |
| | Prediction | | | | | | | | | | | 1.50 |
| | Test result (HIC) | 2000 | 1822 | 700 | 1544 | 1450 | | | | | | |
| | Test result (pts) | 0 | 0.25 | 1 | 0.25 | 0.25 | | | | | | 1.75 |
| Correction factor | | | | | | | | | | | 1.033 | |

Z testovaných bodov vyplynul korekčný faktor:

$$\text{Korekčný faktor} = \frac{\text{aktuálne testovacie skóre}}{\text{predpokladané skóre}} = \frac{6.00 + 1.75}{6.00 + 1.50} = 1.033$$

Pre modrú oblasť bolo testovaných celkom 15 bodov:

Tabuľka 12

Test modrej oblasti

| Blue points | | | | | | | | | | | Score | | | | | | |
|-------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Blue | Blue Zone | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| | GRID-point | 12,7 | 12,6 | 12,5 | 12,4 | 12,3 | 12,2 | 12,1 | 12,0 | 12,-1 | 12,-2 | 12,-3 | 12,-4 | 12,-5 | 12,-6 | 12,-7 | |
| | Test result (HIC) | 1000 | 650 | 1700 | 1500 | 1700 | 1699 | 1350 | 1349 | | | | | | | | |
| | Test result (pts) | 0.5 | 0.75 | 0 | 0.25 | 0 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.5 | | | | | | | 4.5 |

Finálne skóre pre daného vozidlo:

150 predpokladané 75 x 1.033 = 77,475

15 defaultných zelených 15

15 defaultných červených 0

15 modrých 4.5

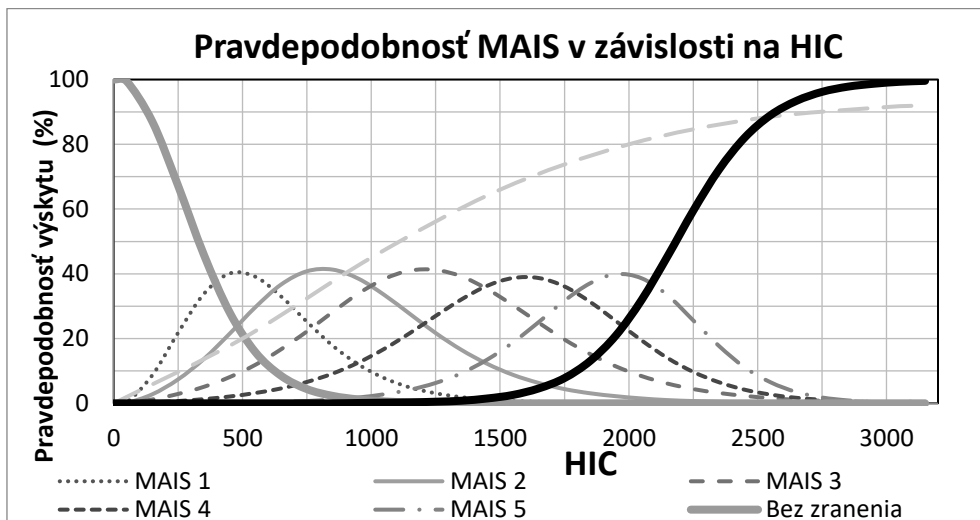
195 bodov mriežky 96,975 bodov

Percentuálne vyjadrenie dosiahnutého skóre je 96,975 x 195 = 49,730%.

A teda finálne bodové ohodnotenie je 49,730 % x 24 = 11,935.

Pre splnenie nových požiadaviek na bezpečnosť chodcov boli vyvinuté nové technické riešenia v oblasti prednej časti vozidla. Ako vyplynulo z kap. 1, k najčastejším úrazom chodcov patrí úraz hlavy (cca 30 %) a úraz dolnej končatiny v oblasti kolena (cca 30 %). Ako už bolo

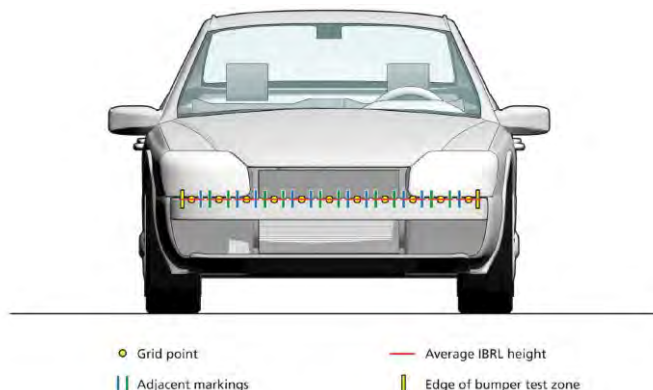
spomenuté, na získanie plného počtu bodov predmetnej testovanej oblasti nesmie hodnota biomechanického ukazovateľa HIC presiahnuť hodnotu 1000. Hodnota HIC 1000 je kľúčovou hodnotou, kde dochádza postupne k výskytu fatálnych zranení chodca a v 50 % prípadov k fraktúre lebky.



Graf 4: Priebeh závislosti HIC na závažnosti poranení MAIS

7.4.3 Maketa stehna - Upper leg

Každému z bodov testovanej mriežky môže byť pridelené až do jedného bodu, čo vedie k maximálnemu celkovému počtu bodov, rovnému počtu bodov mriežky. Medzi príslušnými limitmi každého parametra sa použije lineárna posuvná stupnica. Výsledok testu makety stehna, pre každý bod mriežky, je založený na parametri s najhoršou výkonnosťou.



Obr. 110. Príklad rozdelenia testovacej oblasti s 11 testovacími dobami [36]

Príklad: Pre vozidlo, ktoré má 9 bodov mriežky, sa vykonajú testy v bodoch U0, U-2 a U-4 s týmito výsledkami:

| Výsledok testu U0 | Celkové skóre |
|---|----------------------|
| Horný ohybový moment stehna = 281,40 Nm | 1 000 |
| Stredný ohybový moment stehna = 342,60 Nm | 0,114 => 0,114 |
| Dolný ohybový moment stehna = 324,10 Nm | 0,398 |
| Stehenný súčet síl = 5,26 kN | 0,740 |

Výsledok testu Celkové skóre U-2

| | |
|---|----------------|
| Horný ohybový moment stehna = 395,81 Nm | 0,000 => 0,000 |
| Stredný ohybový moment stehna = 467,69 Nm | 0,000 |
| Dolný ohybový moment stehna = 435,69 Nm | 0,000 |
| Stehenný súčet síl = 6,80 kN | 0,000 |

Výsledok testu Celkové skóre U-4

| | |
|---|----------------|
| Horný ohybový moment stehna = 152,00 Nm | 1,000 => 1,000 |
| Stredný ohybový moment stehna = 208,00 Nm | 1,000 |
| Dolný ohybový moment stehna = 245,00 Nm | 1,000 |
| Stehenný súčet síl = 4,89 kN | 1,000 |

Body mriežky, ktoré neboli testované, získajú najhorší výsledok z jedného zo susedných bodov. Vzhľadom na to, že U-1 a U-3 neboli testované, bude obom udelený výsledok zo susedného bodu U-2. Symetria sa použije aj vo všetkých bodoch mriežky na opačnej strane vozidla (U + 1 až U + 4).

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|
| U + 4 | U + 3 | U + 2 | U + 1 | U0 | U-1 | U-2 | U-3 | U-4 |
| 1,000 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,114 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,000 |

Skóre pre každý jednotlivý bod mriežky sa potom sčíta, čím sa získa skóre v zmysle maximálneho dosiahnuteľného percenta $2,114 / 9 = 23,488$ %.

Konečné skóre makety stehna je maximálne percento vynásobené o rozdiel počtu bodov mriežky – počet testovaných bodov $23,488 \% \times 6 = 1,409$ bodu.

7.4.4 Maketa dolnej končatiny - Lower legform

Každý z bodov testovanej mriežky môže byť pridelený až do jedného bodu, čo vedie k maximálnemu celkovému počtu bodov, rovnému počtu bodov mriežky. Medzi príslušnými limitmi každého parametra sa použije lineárna posuvná stupnica. Jeden bod z testovanej mriežky je rozdelený do dvoch nezávislých hodnotiacich oblastí s rovnakou váhou:

1. Posúdenie poranenia holennej kosti je založené na najhoršej výkonnosti tibiálnych momentov T1, T2, T3, T4 (0,500 bodu).
2. Posúdenie poranenia kolena je založené na predĺžení MCL, pokiaľ je predĺženie ACL / PCL menšie ako prahová hodnota (0,500 bodu).

Celkové skóre pre oblasť makety dolnej končatiny sa vypočíta zo šiestich, zmenšením súčtu skóre bodov mriežky o príslušný počet bodov mriežky.

Príklad: Pre vozidlo, ktoré má 11 bodov mriežky, sa vykonajú testy v bodoch L1, L+3 a L+5 s týmito výsledkami:

| Výsledok skúšky L + 1 | Skóre | |
|---|--------------|----------|
| Celkom | | |
| Ohybový moment holennej kosti = 280,00 Nm | 0,500 | 0,500 |
| 0,500 | 0,500 | |
| Predĺženie ACL alebo PCL = 10,00 mm | | Zlyhanie |
| 0,000 | | |
| Predĺženie MCL = 15,00 mm | 0,500 | |
| Výsledok skúšky L + 3 | | |
| Ohybový moment holennej kosti = 320,00 Nm | 0,172 | |
| 0,172 | 0,422 | |
| Predĺženie ACL alebo PCL = 9,50 mm | Prešiel | Ok |

| | | |
|---------------------------|-------|-------|
| Predĺženie MCL = 20,50 mm | 0,250 | 0,250 |
|---------------------------|-------|-------|

Výsledok skúšky L + 5

| | |
|---|-------|
| Ohybový moment holennej kosti = 340,00 Nm | 0,000 |
| 0,000 | 0,000 |

| | |
|-------------------------------------|----------|
| Predĺženie ACL alebo PCL = 10,00 mm | Zlyhanie |
|-------------------------------------|----------|

| | |
|---------------------------|-------|
| Predĺženie MCL = 19,00 mm | 0,000 |
|---------------------------|-------|

Testované body mriežky získajú najhorší výsledok z jedného zo susedných bodov. Vzhľadom na to, že L0, L+ 2 a L+4 neboli testované, bude L0 udelené skóre od L+1, L+2 bude udelené skóre od L+3 a L+4 bude udelené skóre od L+5. Symetria bude použitá aj na druhú stranu vozidla.

| | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | L+5 | L+4 | L+3 | L+2 | L+1 | L0 | L-1 | L-2 | L-3 | L- |
| 4 | L-5 | | | | | | | | | |
| | 0,0 | 0,0 | 0,422 | 0,422 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,422 | 0,422 | |
| | 0,0 | 0,0 | | | | | | | | |

Skóre pre každý jednotlivý bod mriežky sa potom sčíta, čím sa získa skóre v zmysle maximálneho dosiahnuteľného percenta $3,188 / 11 = 28,981\%$.

Konečné skóre makety stehna je $28,981 \% \times 6 = 1,739$ bodu.

8 Bibliografia

1. **Zebala, J., Ciepka, P., Reza. A.** *Pedestrian speeds and acceleration – results of research on contemporary population.* Krakow : EVU, 2012.
2. **Association for the Advancement of Automotive Medicine.** *The Abbreviated Injury Scale.* s.l. : AAAM, 1990.
3. **CLEPA.** *Pedestrian Protection Test method - Active hood/bonnet systems.* . s.l. : European Association of Automotive suppliers, INF GR / PS /67 08.01.2004.
4. **Yang, J.** *Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions.* Goteborg : Chalmers University of technology, 2005.
5. **Yang, J.** *Injury biomechanics in car-pedestrian collision: development, validation and application of human body mathematical models.* Goteborg : Chalmers university of technology, 1997.
6. **EURO NCAP.** <https://www.euroncap.com>. *How to read stars.* [Online] [Dátum: 18. 1 2021.] <https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/how-to-read-the-stars/>.
7. **Wikipedia.** <https://en.wikipedia.org>. *Euro NCAP.* [Online] 18. 1 2021. https://en.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP.
8. **DEPOWERING.** *Final Regulatory Evaluation, Actions to Reduce Adverse Effects of Air Bags.* s.l. : Office of Regulatory Analysis, 1997. no. 208.
9. **Carhs.** *Safety companion.* s.l. : Carhs, 2021.
10. **CYUPERS, R.** *Vehicle Safety and new car assessment programmes.* s.l. : SSRCI, 2012.
11. **Society of automotive engineering.** *Standard J3016.* Warrendale, PA, USA : Society of automotive engineering, 2020.
12. **New European Parliament.** <https://www.europarl.europa.eu>. *Self-driving cars in the EU: from science fiction to reality.* [Online] 14. 1 2019. [Dátum: 15. 2 2021.] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20190110STO23102/self-driving-cars-in-the-eu-from-science-fiction-to-reality>.

13. **Road Safety Facts.** <https://www.roadsafetyfacts.eu>. *Automated vehicles and advanced driver assistance systems*. [Online] [Dátum: 12. 1 2021.] <https://www.roadsafetyfacts.eu/how-can-automated-and-connected-vehicles-improve-road-safety/>.
14. **Vertaľ, Peter.** Galéria autora.
15. **Christian, F.** *Driver assistance systems for active safety in Mercedes-Benz passenger cars-system characteristic in the area of conflict between driver acceptance and system benefits*. FISITA : Munich, 2008. F2008-08-047.
16. **Rosen, E.** *Pedestrian Injury Mitigation by Autonomous Braking*. Washington, D.C : International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2011.
17. **Berg, A.** *Presentation and discussion of a crash test using a car with automatic pre-crash braking*. Washington D.C. : International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2011. ESV Paper Number 11-0318.
18. **Luke, S.** *From brake assistance to autonomous collision avoidance*. Munich : FISITA, 2008.
19. **Continental.** <https://www.continental-automotive.com>. *Lidars*. [Online] [Dátum: 21. 1 2021.] <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Autonomous-Mobility/Enablers/Lidars>.
20. **Janura, J.** *Meracia sústava pre vyhodnocovanie zásahu automatizovaných vozidiel do riadenia*. Brno : JuFoS, 2020.
21. **Prasad Dhond.** www.amkor.com. *A Look Inside ADAS Modules*. [Online] 21. 1 2021. <https://amkor.com/semiconductor-story/a-look-inside-adas-modules/>.
22. **Lindman, M.** *Benefit Estimation Model for Pedestrian Auto Brake Functionality*. Hannover : ESAR, 2010.
23. **Tesla.** <https://www.tesla.com>. *Artificial Intelligence & Autopilot*. [Online] [Dátum: 8. 4 2021.] <https://www.tesla.com/autopilotAI>.

24. **CARADVICE.** <https://www.caradvice.com>. *2021 Mercedes-Benz S-Class unveiled.* [Online] [Dátum: 7. 15 2021.] <https://www.caradvice.com.au/879134/2021-mercedes-benz-s-class-unveiled/>.
25. **Franke, U.** *Dynamic stereo vision for intersection assistance.* Munich : FISITA, 2008. F2008--08—041.
26. **Subaru.** www.subaru.com. [Online] 15. 10 2018.
27. —. www.subaru.com. *Subaru EyeSight.* [Online] 4. 5 2015. <https://www.subaru.com/engineering/eyesight.html>.
28. **Electrek.** <https://electrek.co>. *A look at Tesla's new Autopilot hardware suite: 8 cameras, 1 radar, ultrasonics & new supercomputer.* [Online] 20. 10 2016. [Dátum: 6. 3 2021.] <https://electrek.co/2016/10/20/tesla-new-autopilot-hardware-suite-camera-nvidia-tesla-vision/>.
29. **Osram.** www.osram.com. *OSRAM products.* [Online] 15. 2 2013. <https://www.osram.com/cb/products/index.jsp>.
30. **Winner, H., Hakuli, S., Wolf, G.** *Handbuch Fahrerassistenzsysteme.* Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2009. s. 712-722. ISBN 978-3-8348-0287-3.
31. **Automotive Refinisher.** <https://www.autoref.co>. *FIXING THE FUTURE.* [Online] [Dátum: 7. 6 2021.] <https://www.autoref.co.za/fixing-the-future/>.
32. **Merz, U.** *PRE-SENSE Bindeglied zwischen Umfeldsensorik und akutem Insassenschutz.* Germany : VDI Verlag GmbH, 2013. ISSN: 0083-5560.
33. **European automobile manufacturers association.** *Articulated pedestrian target specification ver. 1.0.* Brussels : ACEA, 2016. version 1.0.
34. **AB Dynamics.** <https://www.abdynamics.com>. *Soft Pedestrian Target.* [Online] [Dátum: 17. 4 2021.] <https://www.abdynamics.com/en/products/track-testing/adas-targets/soft-pedestrian-target>.
35. **4activesystems.** <https://www.4activesystems.at>. *4activeSB.* [Online] [Dátum: 2. 4 2021.] <https://www.4activesystems.at/4activesb>.

36. **EURO NCAP.** *Pedestrian testing protocol.* s.l. : EURO NCAP, 2018. Version 8.5.
37. **Arbeitskreis messdatenverarbeitung fahrzeugsicherheit.** *Crash analysis criteria description.* Bergish Gladbach : ISO MME, 2004. Version 1.6.1..
38. **APROSYS.** *Final report for the work on - Transport Research & Innovation Portal.* s.l. : Aprosyst, 2009. Project AP-SP90-0003.
39. **Yong, P.** *Adult and child pedestrian head impact condition as a function of vehicle front end geometry.* Krakow : IRCOBI, 2011.
40. **Subit, D., Fukujama, Keisure a Kamiji, Koichi.** *Pedestrian - vehicle interaction: Kinematics and injury analysis of four full-scale tests.* Bern : IRCOBI, 2008. pg 275-294.
41. **Mizuno, Yoshiuki a Ishikawa, Hirotooshi.** *Summary of IHRA pedestrian safety WG activities – proposed test methods to evaluate pedestrian protection offered by passenger cars.* Detroit : NHTSA, 2003. pn 280.
42. **Belingardi, G.** Bonnet weight reduction and VRU protection: Design proposals implementing non-conventional materials. *Bonnet weight reduction and VRU protection: Design proposals implementing non-conventional materials.* [Online] 15. 2 2021.
43. **Schreurs, A.** *Pedestrian dummy models used in the development of active safety systems.* KG Kurfürst Eppstein Ring : ACTS GmbH & Co., 2018. D-63877.
44. **Honda.** <https://global.honda>. *New Legend Equipped with Pop-up Hood System to Reduce Impact to Pedestrian Head Region in the Event of a Collision.* [Online] 2. 15 2021. <https://global.honda/newsroom/news/2008/4080904c-eng.html>.
45. **Nissan.** <https://www.nissan-global.com>. *Pop up engine hood for pedestrian protection.* [Online] [Dátum: 7. 6 2021.] <https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/puehfpp.html>.
46. **Haupt, B.** *Pedestrian protection systems PPS pSAT innovative sensing principle base on satellites.* s.l. : AACHENER, 2010.

47. **Inomota, Y.** *Development of the pop-up engine hood for pedestrian head, International.* Stuttgart : Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2009.
48. **Autocomponentsindia.** <http://autocomponentsindia.com/>. *Continental receives 2014 Automotive News PACE Award for Pedestrian Protection System.* [Online] 15. 2 2021. <http://autocomponentsindia.com/continental-receives-2014-automotive-news-pace-award-for-pedestrian-protection-system/>.
49. **Borg, E.** *Innovative bonnet active actuator for pedestrian protection.* s.l. : ESV, 2011. Paper Number : 11-0113.
50. **CLEPA.** *Pedestrian Protection Test method - Active hood/bonnet systems.* s.l. : European Association of Automotive suppliers, 2004. INF GR / PS /67 08.01.2004.
51. **Patrawala, Y, Ghorpade, Rajashree a Gore, R.** *Effectiveness of Pedestrian Safety Technologies for the New Age Car.* s.l. : International Journal of Current Engineering and Technology, 2016. E-ISSN 2277 – 4106.
52. **Lubbe, N.** *Review of the Euro NCAP Upper Leg Test.* Goteborg : ESV, 2011.
53. **Batista, Milan.** *A SIMPLE THROW MODEL FOR FRONTAL.* Ljubljana : EVU, 2008.
54. **Gennatelli, T., Wodzin E.** *The Abbreviated Injury Scale.* Des Plaines : American Association for Automotive Medicine, 2008. IL2008.
55. **Hamacher, M.** *Vehicle Related Influence of Post-Car Impact Pedestrian Kinematics on Secondary Impact.* Dublin : IRCOBI, 2012.
56. **DETTINGER, J.** *Beitrag zur Verfeinerung der Rekonstruktion von Fusgängerunfällen.* Bern : IRCOBI, 2008.
57. **United nation.** *Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with.* s.l. : UNECE, 2012. UNECE reg. No. 127.

58. **Euro NCAP**. www.youtube.com. *Euro NCAP Crash & Safety Tests of Jeep Renegade 2019*. [Online] 4. 12 2019. [Dátum: 11. 1 2021.] Euro NCAP Crash & Safety Tests of Jeep Renegade 2019.
59. —. www.youtube.com. *Euro NCAP Crash Test of VW Touareg 2018*. [Online] 15. 2 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=naHvQE8SbXk>.
60. —. www.euroncap.com. *Lower leg form*. [Online] 15. 2 2014. <http://www.euroncap.com/files/Lower-Leg-Form2---0-57137b72-d55a-46ad-82fb-df16b2af2531.jpg>.
61. **Volvo**. www.youtube.com. *Crash Test 2012 Volvo V40 Pedestrian Airbag: 5 Stars Euro NCAP*. [Online] 30. 8 2012. [Dátum: 20. 3 2021.] <https://www.youtube.com/watch?v=Di7SAzfTe30>.
62. **European Experimental Vehicles Committee**. *Proposal for methods to evaluate pedestrian protection for passenger cars*. Brusel : EEVC, 1994.
63. **J-MLIT Research**. *Information on the Flexible Pedestrian Legform Impactor*. Paris : ENECE, 2004. PC/106.
64. **OICA**. *Explanation on the Pedestrian Safety GTR*. Paríž : Organisation internationale des constructeurs automobiles, 2008.
65. **Kinsky, T**. *The flexible pedestrian legform impactor and its impact on vehicle design*. Washington D.C. : ESV, 2011.
66. **EURO NCAP**. <https://www.youtube.com>. *Euro NCAP Crash & Safety Tests of Audi A3 2020*. [Online] 9. 12 2020. [Dátum: 27. 3 2021.] <https://www.youtube.com/watch?v=CwdVwF1a6a8>.

Ing. Peter Vertaľ, Ph.D.

AKTÍVNA A PASÍVNA BEZPEČNOSŤ - CHODCI

Vydala Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
v edičnom rade VYSOKOŠKOLSKÉ UČEBNICE

Vedecký redaktor prof. Ing. Gustáv Kasanický, CSc.

Zodpovedná redaktorka PhDr. Katarína Šimánková
Technický redaktor Mgr. Andrej Kurečka
Titulná fotografia: Freepik.com

Pripravil EDIS-vydavateľstvo UNIZA, Univerzitná HB, 010 26 Žilina
v roku 2022 ako svoju 4773. publikáciu

1. vydanie, 132 strán, AH 9,00 VH 9,37

ISBN 978-80-554-1864-3

www.edis.uniza.sk