



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ANALÝZA VLIVU AKTIVNÍCH BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ VOZIDEL NA OCHRANU CHODCŮ PŘI POSUZOVÁNÍ SILNIČNÍCH NEHOD

ANALYSIS OF IMPACT OF ACTIVE SAFETY ELEMENTS IN VEHICLES ON PEDESTRIAN
PROTECTION FOR TRAFFIC ACCIDENT INVESTIGATION

DIZERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. PETER VERTAĽ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ VÉMOLA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2015/16

ZADÁNÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

student(ka): Ing. Peter Vertal

který/která studuje v **doktorském studijním programu**

obor: **Soudní inženýrství (3917V001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma dizertační práce:

Analýza vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidel na ochranu chodců při posuzování silničních nehod

v anglickém jazyce:

Analysis of impact of active safety elements in vehicles on pedestrian protection for traffic accident investigation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Aktivní bezpečnostní systémy v sériové produkci si kladou za cíl zvýšit bezpečnost silniční dopravy. Mezi nejzranitelnější účastníky silničního provozu patří chodci v intravilánu. Pomocí aktivních bezpečnostních systémů je možné včasným zásahem systému upozornit řidiče na možnou kritickou situaci. Cílem práce je navrhnout metodu experimentálního měření takových systémů. Metoda bude vycházet z měření jednoho zvoleného systému. Experimentální měření systému bude vykonané na základě fatálních dopravních nehod osobního motorového vozidla s chodcem.

Cíle dizertační práce:

1. Navrhnout metodu experimentálního ověřování aktivních bezpečnostních systémů na rozpoznávání chodců, která umožní ověření systému v reálných dopravních situacích a základní figurínu dospělé osoby na testování aktivních bezpečnostních systémů na rozpoznávání chodců. Figurína musí být svými reflexními vlastnostmi pro radar podobná lidskému tělu.
2. Provést experimentální měření jednoho vybraného systému. Na základě měření získat znalosti o chování systému a vyhodnotit jeho funkčnost, silné a slabé stránky.
3. Analyzovat závislost rychlosti pohybu vozidla na aktivaci systému a autonomního zásahu do řízení.

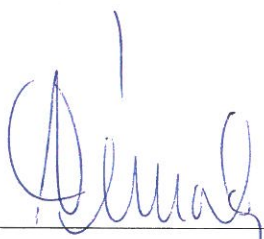
Seznam odborné literatury:

- [1] BRADÁČ, A. a kol. Soudní inženýrství. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 1999. 725 s. ISBN 80-7204-133-9
- [2] KASANICKÝ, G., KOHÚT, P., LUKAŠÍK, M. Impact dynamic theory for the analysis and simulation of collisions, Žilinská univerzita v Žiline, 2004. 350 s., ISBN 80-8070-312-4
- [3] BURG, H., MOSER, A. Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation. 2. vydání Wiesbaden: Vieweg Teubner, 2009. 1032 s. ISBN 978-3-8348-0546-1
- [4] BURG, H., RAU, H. Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion. 1. vydání Kippenheim: Verl. Information Ambs, 1981. 838 s. ISBN 38-855-0020-5
- [5] HOLT, D. J. Pedestrian Safety, Society of Automotive Engineers, Inc., 2014. 150 s. ISBN 0-7680-1342-9
- [6] Winner, H., Hakuli, S., WOLF, G. Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner, 2009. 712 s. ISBN 978-3-8348-0287-3
- [7] SEIFERT, U., WECH, L. Automotive Safety Handbook, Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 283 s. ISBN 0-7680-0912-X

Vedoucí dizertační práce: doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

Termín odevzdání dizertační práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 19. 11. 2015



doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel vysokoškolského ústavu



Abstrakt

Zvýšiť pravdepodobnosť zabránenia dopravnej nehody inštaláciou autonómnych systémov do vozidla je súčasným trendom v oblasti aktívnej bezpečnosti vozidiel so zameraním na bezpečnosť chodcov. Práca sa zaoberá vyhodnotením zásahu aktívneho bezpečnostného systému na rozpoznávanie chodcov montovaného v sériovej produkcii. Prínos samotných aktívnych bezpečnostných systémov na zabránenie dopravnej nehody môže byť dosiahnutý napríklad včasným varovaním vodiča pred možnou kolíznou situáciou s dostatočnou časovou rezervou na reakciu a následný manéver (brzdzenie, vybočenie,...). K vyhodnoteniu zásahu aktívnych bezpečnostných systémov, ktoré si kladú za cieľ zabrániť dopravnej nehode s chodcom je potrebné experimentálne vyhodnotiť chovanie týchto systémov. Hlavným cieľom tejto práce je otestovanie vybraného systému na základe reálnych, ale typovo odlišných dopravných nehôd. V súčasnosti nie sú pre znalcov a odborníkov v oblasti riešenia dopravných nehôd verejné prístupné dáta o chovaní takýchto systémov. Práca si kladie za cieľ vyhodnotiť chovanie systému od spoločnosti Volvo pri navodení reálnych dopravných situácií. K evaluácii tohto systému slúžia precízne analyzované smrteľné dopravné nehody s chodcom v intraviláne (rýchlosť pohybu vozidla do 60 km/h). Simulované dopravné deje pokrývajú svojim charakterom najčastejšie kritické dopravné situácie. Touto prácou získa znalecká obec a odborníci, ktorí sa zaoberajú riešením dopravných nehôd cenné dáta pre riešenie takýchto dopravných nehôd. Na základe týchto meraní získa znalec viac vstupných dát pri analýze zrážky vozidla s chodcom. Základom pre pochopenie chovania týchto systémov sú vytvorené grafy závislosti dráhy, rýchlosti a času v kľúčových momentoch pred zrážkou. Medzi tieto momenty patrí vstup chodca do jazdného koridoru vozidla, reakcia systému na kolíznou situáciu, varovanie vodiča a následne autonómne brzdzenie aktívneho bezpečnostného systému.

Abstract

Increase the probability of prevent road accidents by installing autonomous systems in a vehicles is the current trend in the field of active safety with a focus on pedestrian safety. The work deals with the evaluation of intervention of active safety system for pedestrian detection assembled in series production. Benefit of active safety systems to prevent road accidents can be achieved, for example, early warning driver of a potential collision situation sufficiently in advance to reaction and post-maneuver (braking, yaw, ..). The evaluation of the intervention of active safety systems, which aim to prevent an accident with a pedestrian is necessary to experimentally evaluate the behavior of these systems. The main objective of this work is to test the selected system based on different types of real accidents. At the time of the measurements and present, are not for experts and specialists in the field of road traffic accidents publicly accessible data about the behavior of such a system. The work aims to evaluate the behavior of the Volvo system in inducing real traffic situations. For the evaluation of this system are precisely analyzed fatal traffic accidents with pedestrians in the urban area (speed of vehicles up to 60 km/h). Simulated traffic situations by their nature cover the most common critical situations in

urban traffic. Expert community and the professionals who deal with the solution of traffic accidents receive this work valuable data to deal with such accidents. Based on these measurements give more expert input data to solve a collision with a pedestrian. The basis for understanding the behavior are created graphs of distance, speed and time at a key moment of the collision. These key moments include entry a pedestrians to driving corridor of the vehicle, system's response to conflict situations, warn the driver and then autonomously brake active safety system

Kľúčové slová:

nehoda s chodcom, aktívny bezpečnostný systém, Volvo City Safety, autonómny brzdový asistent

Keywords:

pedestrian accident, active safety system, Volvo City Safety, autonomous brake assistant

Bibliografická citácia

VERTAL, P. Analýza vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidel na ochranu chodců při posuzování silničních nehod . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 190 s, 60 s příloh. Vedúci dizertačnej práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som dizertačnú prácu na tému *Analýza vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidel na ochranu chodců při posuzování silničných nehod* vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených na zozname ktorý tvorí prílohu tejto práce.

V Brne dňa 24.12.2015

.....

Ing. Peter Vertaľ

Pod'akovanie

Chcel by som touto cestou poďakovať nasledujúcim osobám, ktoré ma v priebehu písania mojej práce podporovali, usmerňovali a radili ako postupovať ďalej.

Ďakujem **Prof. Ing. G. Kasanickému CSc.** (Slovakia) za otvorenie cesty k zahraničným pracovným stážam, ktoré mi otvorili profesne obzory a možnosti k nadviazaniu nových pracovných kontaktov.

Ďakujem **Prof. Dr. Hermannovi Steffanovi** (Austria) za možnosť pracovnej stáže na Technickej univerzite v Grazi a prístupenie databázy smrteľných nehôd ako podklad pre tuto doktorskú prácu.

Ďakujem **Marianne Wolkerstorfer** za pomoc v priebehu pracovnej stáže na VSI TU Graz.

Ďakujem **Prof. Dr. Hermannovi Steffanovi a Dr. Andreasovi Moserovi** (Austria) za možnosť získania pracovných skúsenosti a výkon meraní vo firme DSD Dr. Steffan Datentechnik

Ďakujem **Assoc. Prof. Ing. Goranovi Zovakovi Ph.D.** (Croatia) za možnosť pracovnej stáže na technickej Univerzite v Záhrebe a výkonu môjho prvého crash testu vozidla s dummy.

Ďakujem **Assoc. Prof. Ing. Iztokovi Ciglaricovi Ph.D.** (Slovenia) za vecné rady a smerovanie v priebehu môjho pobytu na TU Graz a za možnosť zúčastniť sa experimentálnych meraní s kadaverom. (*in memoriál*)

Ďakujem **Prof. Dr. Dean Ravnikovi** (Slovenia) za možnosť pracovnej návštevy a účasti na experimentálnom meraní s kadaverom v laboratóriách Univerzity v Ljublane na Fakulte anatómie.

Ďakujem **Prof. Dr. Ing. Wolfgangovi Böschovi** (Austria), že mi umožnil využiť anechoickú miestnosť, meraciu techniku a laboratória radarových vĺn na TU Graz. Poďakovanie patrí aj Dominikovi Amschlovi za asistenciu pri meraniach.

Ďakujem **Dr. Ing. Richard Lambournovi** (United Kingdom) za možnosť pracovnej návštevy v Transport and research laboratory a za korekciu článku na svetovú konferenciu ESV 2015.

Ďakujem **Ing. Janovi Unarskemu Ph.D.** (Poland) za možnosť pracovnej návštevy na IES Krakow a konzultácie k rýchlosti pohybu chodcov.

Ďakujem **Dr. Ing. Heinzovi Burgovi** (Germany) za konzultácie k mojej dizertačnej práci a námety na ďalšie pokračovanie a smerovanie.

Ďakujem **Ing. Vladimirovi Panáčkovi Ph.D. a Ing. Jakubovi Motlovi** za asistenciu a prípravu meraní.

Ďakujem **Ing. Marekovi Semelovi Ph.D.** za neustále rady, smerovanie a motiváciu k práci.

Ďakujem **Doc. Ing. Robertovi Kledusovi Ph.D.** za neustále rady, smerovanie a motiváciu k práci.

Ďakujem **Doc. Ing. Alešovi Vémolovi Ph.D.** že mi umožnil v priebehu môjho štúdia cestovať na zahraničné stáže a získavať tak najdôležitejšie vedomosti a skúsenosti k písaniu tejto práce.

Ďakujem Mgr. Lucii Košárkovej za podporu.

Ďakujem mojim rodičom za podporu pri štúdiu.

Ďakujem Bohu za to, že som to zvládol.

OBSAH

1. ÚVOD	8
1.1 Vymedzenie problémovej situácie	8
2. PREHEAD SÚČASNÉHO STAVU	10
2.1 Pohyb chodca	10
2.2 Zranenia chodcov	12
2.2.1 Podiel regiónu tela chodca na zranení vplyvom zrážky s vozidlom	13
2.3 Euro NCAP (European New Car Assessment Programme)	14
2.3.1 Lower leg impactor	16
2.3.2 FlexiPLI (Flexible Pedestrian Legform Impactor) model GTR	16
2.3.3 FlexiPLI GTR vs. TRL	17
2.3.4 Upper leg	18
2.3.5 Headform adult – (<i>Adult headform</i>)	18
2.4 AIS (Abbreviated Injury Scale/skrátená stupnica poranení)	20
2.4.1 Závislosť závažnosti zranenia na hodnotení vozidla Euro NCAP	21
2.5 Ovinutie chodca na vozidlo po zrážke (WAR –Wrap Around Distance).....	21
2.5.1 Geometria prednej časti vozidla	22
2.5.2 Stanovenie WAR na základe Madymo simulácie	23
2.5.3 Posúdenie objektívnosti Madymo simulácie	23
2.6 Pohyb chodca po zrážke.....	24
2.7 Aktívne bezpečnostné systémy	27
2.7.1 Radar	27
2.7.2 Lidar	28
2.7.3 Mono kamera	28
2.7.4 Stereo kamera	29
2.7.5 Brzdné spomalenie vozidiel pri dopravných nehodách	31
2.7.6 Pomocné brzdné systémy	32
2.8 Pasívna bezpečnosť vozidiel zameraná na chodcov	34
2.8.1 Adaptívny nárazník	34
2.8.2 Aktívna predná kapota a airbag pre chodca	34
3. VYMEDZENIE PROBLÉMOV	38
4. METÓDA RIEŠENIA PRÁCE	40
5. CIELE PRÁCE	42
6. VÝBER REÁLNYCH SMRTELNÝCH DOPRAVNÝCH NEHÔD OSOBNÉHO MOTOROVÉHO VOZIDLA S CHODCOM	43
6.1 Miesta výskytu dopravných nehôd prípadových štúdií	44
6.2 Kolidujúce vozidlá a ich poškodenie v prípadových štúdiách	45
6.3 Vodič vozidla zúčastneného na dopravnej nehode	45
6.4 Chodci zúčastnení na dopravnej nehode v prípadových štúdiách	46
7. REKONŠTRUKCIA REÁLNYCH FATÁLNYCH DOPRAVNÝCH NEHÔD	48
7.1 Teoretické východisko riešenia dopravných nehôd v programe PC-Crash 10.0 [63]	48
7.1.1 Multibody	49
7.1.2 Kontaktné modely	52
7.2 Rozbor prípadových štúdií	54
7.2.1 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.1	55
7.2.2 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.2	55
7.2.3 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.3	56
7.2.4 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.4	56
7.2.5 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.5	57
7.2.6 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.6	57
7.2.7 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.7	58
7.2.8 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.8	58
7.2.9 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.9	59
7.2.10 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.10	59
7.2.11 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.11	60
7.2.12 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.12	60
7.2.13 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.13	61
7.2.14 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.14	61

7.2.15	Rozbor prípadovej štúdie číslo č.15	62
7.2.16	Rozbor prípadovej štúdie číslo č.16	62
7.2.17	Rozbor prípadovej štúdie číslo č.17	63
7.2.18	Rozbor prípadovej štúdie číslo č.18	63
8.	VÝVOJ EXPERIMENTÁLNEJ FIGURÍNA CHODCA	65
8.1	Popis merania reflexných vlastnosti figuríny.....	65
8.2	Odrazové vlastnosti figuríny v čelnom pohľade	68
8.3	Odrazové vlastnosti figuríny v bočnom pohľade	69
8.4	Odrazové vlastnosti figuríny vzdanom pohľade	70
8.5	Finalizovaná podoba figuríny	71
9.	EXPERIMENTÁLNE MERANIA VYBRANÝCH DOPRAVNÝCH SITUÁCIÍ S VOZIDLOM OSADENÝM AKTÍVNYM BEZPEČNOSTNÝM SYSTÉMOM NA ROZPOZNÁVANIE CHODCOV	72
9.1	Testovacia figurína chodca	73
9.2	Testovacie vozidlo	73
9.3	UltraFlat Overrunable platform – UFO.....	74
9.3.1	Overenie reflexných vlastností UFA	74
9.4	Schéma meraní.....	75
9.4.1	Overenie presnosti a opakovateľnosti meraní s UFO-m	76
9.4.2	Použitá záznamová technika	78
9.5	Meranie a spracovanie výsledkov	79
9.5.1	Program pre pohyb UFA	81
9.5.2	Príklad rozboru prípadovej štúdie	82
10.	ANALÝZA MOMENTU AKTIVÁCIE VAROVNEJ AKUSTICKO-VIZUÁLNEJ SIGNALIZÁCIE SYSTÉMU A MOMENTU ZAČIATKU AUTONÓMNEHO BRZDENIA VOZIDLA	87
10.1	Prípadová štúdia č.2	87
10.2	Prípadová štúdia č.3	88
10.3	Prípadová štúdia č.4	90
10.4	Prípadová štúdia č.5	91
10.5	Prípadová štúdia č.6	93
10.6	Prípadová štúdia č.7	94
10.7	Prípadová štúdia č.10	96
10.8	Prípadová štúdia č.11	97
10.9	Prípadová štúdia č.14	99
10.10	Prípadová štúdia č.16	101
10.11	Prípadová štúdia č.18	102
11.	VPLYV ZÁSAHU AUTONÓMNEHO BRZDENIA VOZIDLA NA PRIEBEH NEHODOVÉHO DEJA	105
11.1	Zabránenie dopravnej nehode vodičom vozidla.....	105
11.1.1	Zabránenie dopravnej nehode vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom	106
11.2	Vyhodnotenia aktivácie alarmu vo vozidle	106
11.3	Vyhodnotenie zníženia rýchlosti vplyvom autonómneho brzdenia vozidla.....	111
12.	METÓDA VYHODNOTENIA EXPERIMENTÁLNEHO RIEŠENIA DOPRAVNÝCH NEHÔD S CHODCAMI PRE VOZIDLA OSADENÉ AKTÍVNYM BEZPEČNOSTNÝM SYSTÉMOM NA ROZPOZNÁVANIE CHODCOV	114
13.	ZÁVER	117
14.	LITERATÚRA	122
	Prehľad vlastných publikácií:.....	126
	Zoznam vybraných veličín a symbolov	128
	Zoznam príloh.....	129
15.	PRÍLOHY	130
15.1	Poškodenie vozidla a plánok MDN.....	131
15.1.1	Prípadová štúdia č.1	131
15.1.2	Prípadová štúdia č.2	132
15.1.3	Prípadová štúdia č.3	133
15.1.4	Prípadová štúdia č.4	134
15.1.5	Prípadová štúdia č.5	135
15.1.6	Prípadová štúdia č.6	136
15.1.7	Prípadová štúdia č.7	137
15.1.8	Prípadová štúdia č.8	138
15.1.9	Prípadová štúdia č.9	139

15.1.10	Prípadová štúdia č.10	140
15.1.11	Prípadová štúdia č.11	141
15.1.12	Prípadová štúdia č.12	142
15.1.13	Prípadová štúdia č.13	143
15.1.14	Prípadová štúdia č.14	144
15.1.15	Prípadová štúdia č.15	145
15.1.16	Prípadová štúdia č.16	146
15.1.17	Prípadová štúdia č.17	147
15.1.18	Prípadová štúdia č.18	148
15.2	Protokoly z analýzy dopravnej nehody	149
15.2.1	Prípadová štúdia č.1	149
15.2.2	Prípadová štúdia č.2	151
15.2.3	Prípadová štúdia č.3	153
15.2.4	Prípadová štúdia č.4	155
15.2.5	Prípadová štúdia č.5	157
15.2.6	Prípadová štúdia č.6	159
15.2.7	Prípadová štúdia č.7	161
15.2.8	Prípadová štúdia č.8	163
15.2.9	Prípadová štúdia č.9	165
15.2.10	Prípadová štúdia č.10	167
15.2.11	Prípadová štúdia č.11	169
15.2.12	Prípadová štúdia č.12	171
15.2.13	Prípadová štúdia č.13	173
15.2.14	Prípadová štúdia č.14	175
15.2.15	Prípadová štúdia č.15	177
15.2.16	Prípadová štúdia č.16	179
15.2.17	Prípadová štúdia č.17	181
15.2.18	Prípadová štúdia č.18	183
15.3	WAR – wrap around distance	185
15.3.1	WAR prípadová štúdia č. 2	185
15.3.2	WAR prípadová štúdia č. 4	185
15.3.3	WAR prípadová štúdia č. 7	185
15.3.4	WAR prípadová štúdia č. 8	186
15.3.5	WAR prípadová štúdia č. 15	186
15.3.6	WAR prípadová štúdia č. 17	186
15.3.7	WAR prípadová štúdia č. 18	187
15.4	Popis UFA – Ultraflat Overrunable robot.....	188
15.5	Súhlas na použitie a zverejňovanie získaných podkladov k predmetným DN.....	190

1. Úvod

Novodobé aktívne bezpečnostné systémy v sériovej produkcii si kladú za cieľ zvýšiť bezpečnosť cestnej dopravy. Medzi najzraniteľnejších účastníkov cestnej premávky patria chodci v intraviláne. Pomocou aktívnych bezpečnostných systémov je možné včasným zásahom systému upozorniť vodiča na možnú kritickú kolíznu situáciu.

1.1 Vymedzenie problémovej situácie

V súčasnosti najpoužívanejšie aktívne bezpečnostné systémy vo vozidlách sú osadené mono kamerou. Mono kamery sa používajú prevažne v skupinách aktívnych asistenčných systémov ako je udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu, aktívny tempomat, rozpoznávanie značiek, núdzové brzdenie vozidla a ďalšie. Mono kamera sa najčastejšie používa v kombinácii s radarom alebo lidarom. Radar alebo lidar dokáže v milisekundách určiť vzdialenosti k objektom, ktoré sa nachádzajú v priestore pred vozidlom. Po vyhodnotení vzdialenosti k objektom je pomocou kamery nasnímaný priestor pred vozidlom a dochádza k algoritmizácii a následnému vyhodnoteniu o aký objekt sa jedná – človek, zviera, auto a iné.

Najmodernejšie aktívne bezpečnostné systémy používajú vo vozidlách stereo kameru. Stereo kamera dokáže aj bez prítomnosti radaru alebo lidarů vyhodnocovať kritické dopravné situácie pred vozidlom (použitie u vozidiel Subaru). Väčšina novodobých prémiových OEM spoločností používa pre aktívne bezpečnostné systémy stereo kamery v kombinácii s radarom či lidarom. Systém s využitím stereo kamery bol vyvinutý za účelom ďalšieho zvýšenia bezpečnosti a zníženia rizík spojených s cestnou dopravou. Silnou stránkou novodobých systémov zahrňujúcich stereo kamery je, že vyhodnocovací modul dokáže zo zaznamenaného obrazu detekovať trojdimenzionálnu štruktúru okolitej scény, tvar, veľkosť, a hlavne rýchlosť a smer pohybu objektu s veľkou presnosťou. 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. Podľa typu objektu dochádza následne k varovaniu vodiča alebo k autonómnej reakcii vozidla.

S nárastom aktívnych bezpečnostných systémov vo vozidlách narastá neznalosť určenia exaktného chovania vozidla v priebehu nehodového deja. Znalci alebo experti budú v blízkej budúcnosti riešiť dopravné nehody, na ktorých sa podieľali pravé vozidlá s aktívnymi bezpečnostnými systémami. Pri zásahu aktívnych bezpečnostných systémov s plne autonómnym chovaním pri brzdení v kritickej situácii naráža znalec alebo expert na problém zohľadňujúci vplyv tohto systému na priebeh dopravnej nehody. V súčasnosti chýbajú najmä informácie o čase a vzdialenosti vozidla pred chodcom kedy dochádza k aktivácii systému, varovaniu a následnému autonómnemu brzdeniu. Súčasná európska legislatíva neprikazuje výrobcovi motorových vozidiel sprístupniť po dopravnej nehode pamäť s posledným záznamom o zásahu aktívneho bezpečnostného systému do riadenia vozidla. Cieľom

predných európskych vedecko-výskumných organizácii v oblasti dopravných nehôd je urobiť legislatívne kroky práve pre to, aby bolo pre výrobcov nutné sprístupňovať základné nehodové dáta.

Z hľadiska analýzy dopravných nehôd je potrebné predmetné systémy skúmať. Skúmaním sa získajú potrebné informácie o tom, ako predmetné systémy fungujú pri dopravných nehodách vozidiel s chodcami. Systém je potrebné skúmať na základe reálnych nehodových situácií. Reálne nehodové scenáre by mali priebehom nehodového deja pokrývať väčšinu možných dejových línií.

Najdôležitejším prvkom pri meraní aktivácie systému na rozpoznávanie chodcov je samotná figurína reprezentujúca chodca. Pre účely rekonštrukcie dopravných nehôd je možné samotný pohyb chodca simulovať figurínou. Figurína chodca musí prejsť pred experimentálnym meraním evaluačným procesom. Proces evaluácie zaručuje dosiahnutie požadovaných reflexných vlastností figuríny zhodných ako má ľudské telo. Reflexné vlastnosti figuríny pre short-range 24 GHz radar musia odpovedať reflexným vlastnostiam ľudského tela, aby nedošlo k zámene figuríny za objekt nezodpovedajúci ľudskému telu. Pre navodenie pohybu figuríny v koridore vozidla je možné použiť plošinu nazývanú „UFO –ultraflat overrunalbe robot“. Autonómna plošina má zabudovaný D-GPS modul na orientovanie sa v priestore a je poháňaná dvoma servomotormi. Samotná synchronizácia pohybu figuríny môže prebiehať pomocou D_GPS pozície vozidla a plošiny v čase. Jednou z alternatív je možnosť synchronizovať tento pohyb pomocou svetelných brán. Pri vytvorených simulovaných dejoch budú sledované reakcie aktívneho bezpečnostného systému vo vozidle.

2. Prehľad súčasného stavu

Zraniteľnosť chodcov je jedným z hlavných problémov cestnej dopravy. Chodec ako účastník cestnej dopravy predstavuje z pohľadu vodiča veľké riziko pre vznik kolíznej situácie. Medzi štyri základné vlastnosti chodca v cestnej doprave 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 dopravy.
- **Flexibilita** – jednou z veľkých výhod chodca je flexibilita, ktorá vzhľadom k ostatným účastníkom 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, ukľznutia, 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).

2.1 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 Tab. 1 a Tab. 2. Merania boli 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]

- **Rýchlosť pohybu ženy**

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

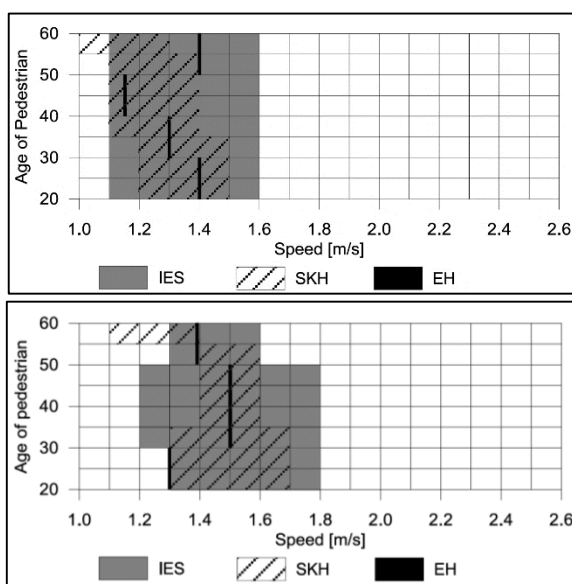
Tab. 1 Rýchlosť pohybu ženy. [1]

- **Rýchlosť pohybu muža**

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

Tab. 2 Rýchlosť pohybu muža. [1]

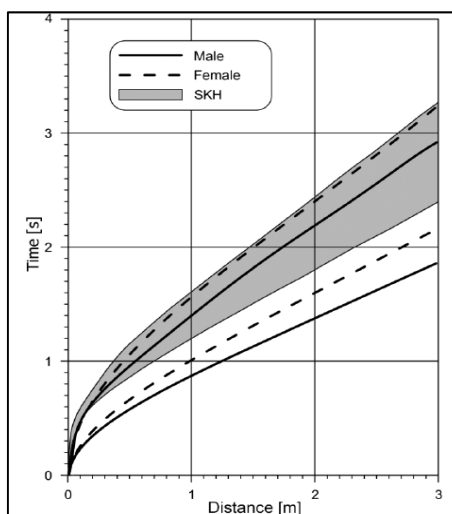
IES v Krakove sa venoval porovnaniu vlastného výskumu a dvoch známych nezávislých štúdií - Strouhal, Kühnel and Hein (SKH) a Eberhardt and Himbert (EH). Štúdie boli zamerané na rýchlosť pohybu chodca v závislosti na veku a pohlaví chodca (pozri Obr. 1). Medzi štúdiami dochádza k miernym odchýlkam v oblasti distribúcií minima a maxima rýchlosti pohybu. Pri vyhodnocovaní prípadových štúdií dizertačnej práce bude braný ohľad na celkové spektrum z týchto troch štúdií.



Obr. 1 Porovnanie štúdií pohybu chodcov (hore bežná chôdza ženy, dole 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 so štúdiou SHK štúdiou. Opäť je možné rozpoznať mierne rozdiely v štúdiách. Pri samotnom posudzovaní prípadových štúdií bude braný do úvahy širší záber akceleračného rozptylu podľa IES.

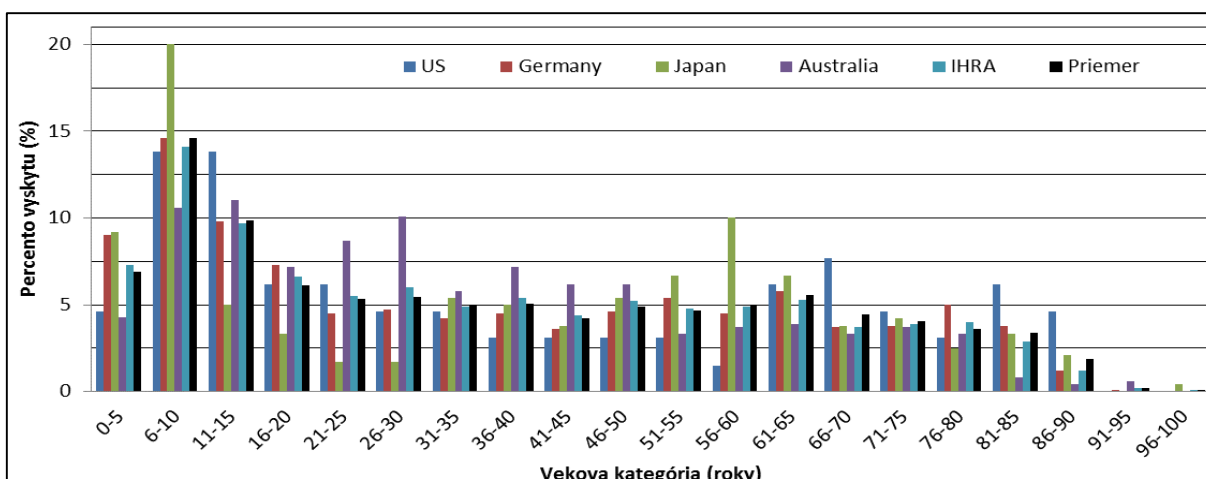
- Akcelerácia muža a ženy podľa IES a SHK



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

2.2 Zranenia chodcov

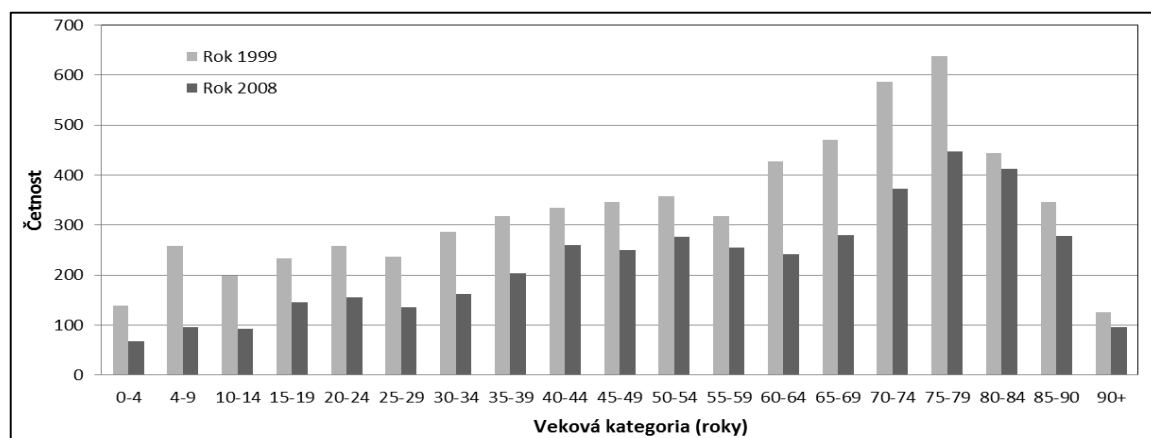
Zraniteľnosť, flexibilita, nestabilita a viditeľnosť úzko súvisia s vekom chodca. Distribúcia veku chodcov pri dopravných nehodách v rôznych krajinách a svetadieloch je zobrazená na Obr. 3. Distribúcia nezahŕňa závažnosť poranenia (AIS - Abbreviated Injury Scale) v dôsledku dopravnej nehody. Z grafu 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 k fyzickým dispozíciám.



Obr. 3 Závislosť veku chodca na výskyte pri dopravnej nehode s osobným motorovým vozidlom. [2]

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 Obr. 4. Pri porovnaní rokov 1999 a 2008 môžeme vidieť jasný trend poklesu výskytu počtu smrteľných nehôd. [3].



Obr. 4 Závislosť veku chodca na frekvencii úmrtia v dôsledku dopravnej nehody. [3]

2.2.1 Podiel regiónu tela chodca na zranení vplyvom zrážky s vozidlom

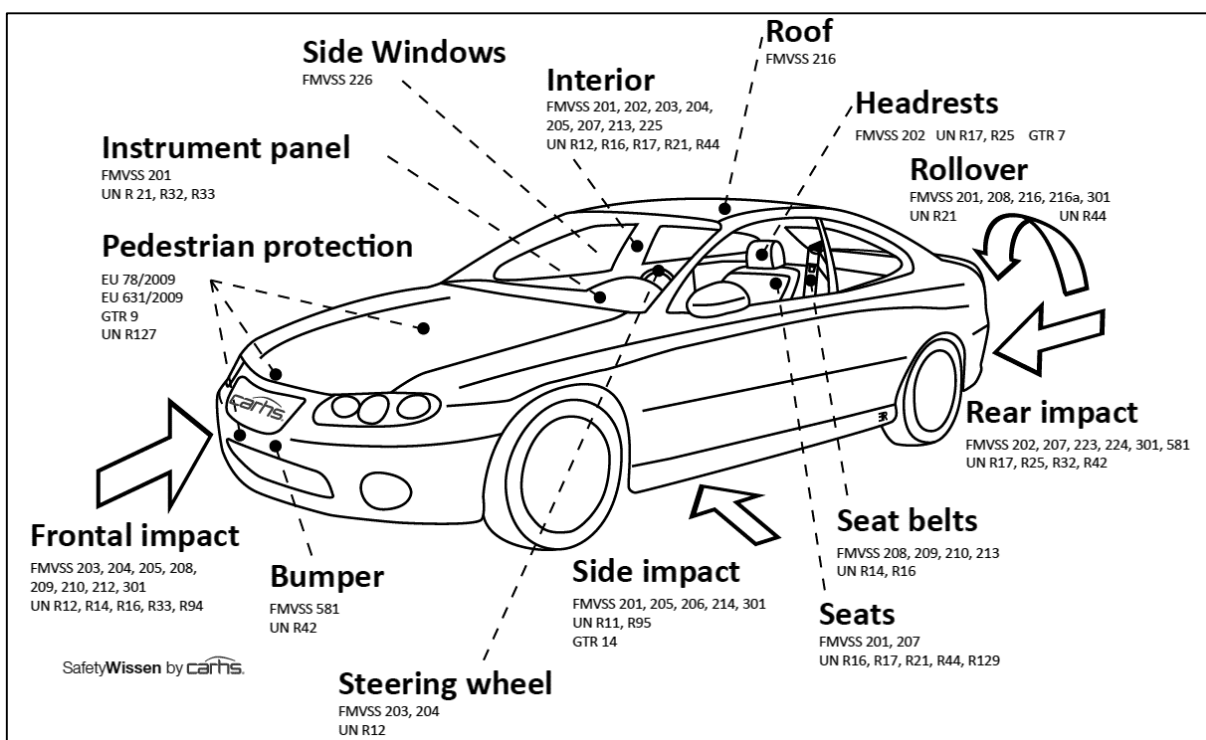
Pri zrážke chodca s prednou časťou vozidla dochádza ku kontaktu medzi nárazníkom a nohou chodca v oblasti kolenného kĺbu a stehennej kosti. Vplyvom zrážky sa deformuje nárazník a dochádza k postupnému ovinutiu postavy na karosériu. Dolná časť nohy je zrýchlená v smere pohybu vozidla, vrchná časť tela 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. Lokácia kontaktu hlavy s vozidlom je závislá na výške chodca, tvare karosérie a hlavne rýchlosti vozidla. Zranenia chodca sú zvyčajne spôsobené priamym nárazom časti tela na karosériu vozidla a prenosom silového pôsobenia cez tento región. Na základe štatistík zranenia chodcov je zrejmé, že najčastejšie dochádza k zraneniu hlavy v 30,7 % a dolných končatín v 30,7 %. [4]

	Austrália (N=163)	Čína (N=4191)	Európa (N=1440)	Nemecko (N=360)	Japonsko (N=1329)	Švédsko (N=1342)	USA (N=438)	Priemer (N=9263)
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 %

Tab. 3 Percentuálny podiel regiónu tela chodca na zranení vplyvom zrážky s vozidlom. [4]

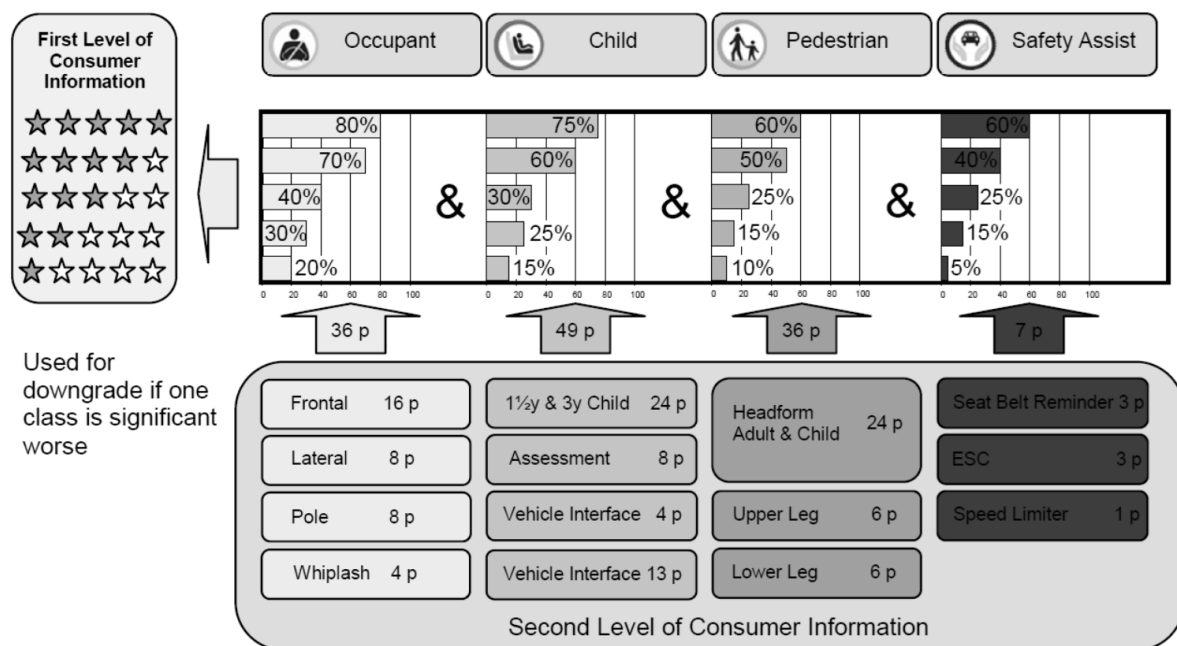
2.3 Euro NCAP (European New Car Assessment Programme)

Od roku 1970 začali vlády európskych krajín pracovať s European Experimental Vehicle Committee (EEVC) na vývoji jednotnej legislatívy a procedúry na posudzovanie rôznych aspektov pasívnej bezpečnosti osobných motorových vozidiel. 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 EECV odporučila implementovať testovaciu procedúru do európskej legislatívy. V dôsledku odporúčenia EECV adaptovať testovací proces do európskej legislatívy a Transport and Research Laboratory (TRL) odporučila Ministerstvu dopravy Veľkej Británie zahájiť testovací proces NCAP na území krajiny a neskôr rozšíriť do celej Európy. [5]



Obr. 5 Prehľad noriem zameraných na testovanie bezpečnosti chodcov a posádky vozidla. [5]

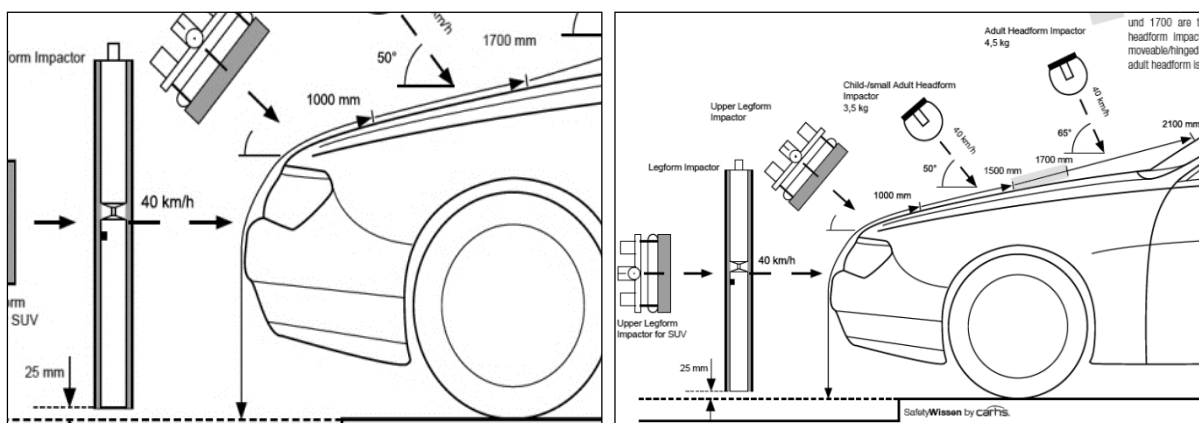
Základnou informáciou pre konečného užívateľa vozidla je počet hviezd, ktoré boli na základe vykonaných testov pridelené Euro NCAP vozidlu po teste. Hodnotiacia škála sa pohybuje od 1 hviezdy s najnižším možným hodnotením až po 5 hviezd (pozri Obr. 6). Na získanie hodnotenia 5 hviezd sa váhovo na hodnotení 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 hodnotiacia 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. [5]



Obr. 6 Hodnotiaca 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 hodnotení vozidla. V prípade pasívnej ochrany chodcov sa jedná o konštrukčné riešenie typu pop-up kapota, airbag pre chodcov a do budúcnosti uvažovaný pohyblivý predný nárazník.

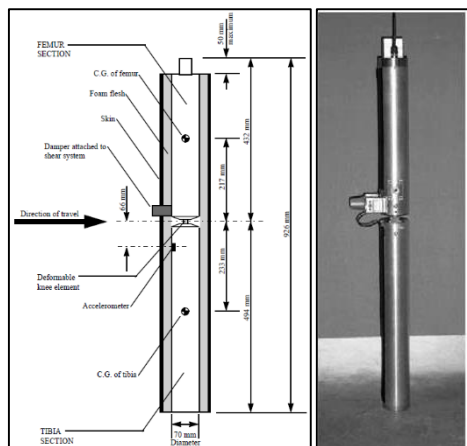
Na testovanie a posúdenie ochrany chodcov je príliš zložitá použiť full scale dummy. Generovať opakovanú kolíznú situáciu dummy s vozidlom by si vyžadovalo veľké úsilie, keďže je potrebné dosiahnuť kontakt dummy v preddefinovaných oblastiach karosérie. Pre zjednodušenie procedúry a finančnej efektivity sú použité individuálne subtesty – Lower leg, Upper leg a Head impact test. Ako je možné vidieť z Obr.7, samotné testovacie procedúry Euro NCAP testu sú prísnejšie ako smernica EC78/2009.



Obr. 7 Porovnanie direktívy EC a Euro NCAP. [7]

2.3.1 Lower leg impaktor

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 používa k tomuto testu TRL impaktor. WG17 EECV bola zodpovedná za vývoj tohto impaktora, ktorý nesie názov po firme Transpor and Research Laboratory. TRL finalizovala dizajn a následnú produkciu.[8]



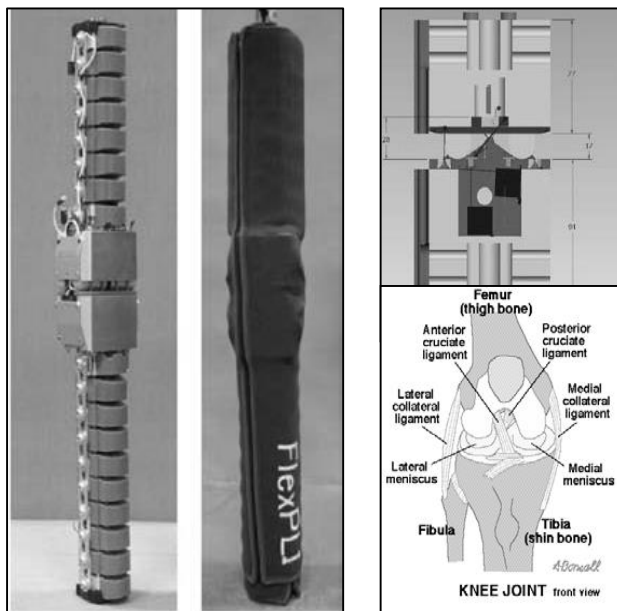
Obr. 8 TRL impaktor používaný na EURO NCAP testy dolných končatín.[46]

Impaktor je zložený z dvoch pevných kovových trúbiek, dvoch deformovateľných kolenných elementov a pružiny s tmičom. Dve duté trúbky predstavujú femur a thibiu ľudskej nohy. Deformovateľné články spojenia týchto trúbiek 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 príťažnej sily na thibiu. Podľa veľkosti akcelerácie je následne možné vyhodnotiť možné riziká zlomeniny v oblasti thibie. Celý komplet je pokrytý 25 mm penovou vrstvou a 6 mm neoprénovej kože, ktorá reprezentuje pokožku. [9]

2.3.2 FlexiPLI (Flexible Pedestrian Legform Impactor) model GTR

Pri vývoji TRL nárazového zariadenia bolo cieľom EECV zamerať sa na zranenie kolenných väzov v dôsledku zrážky. Posúdenie možnosti zlomeniny femuru je vyhodnocované na základe zrýchlenia pôsobeného na maketu nohy pri zrážke. [47] 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. [48] Štatistiky poukazujú, že až 87 % všetkých poranení nôh pri zrážke s chodcom bolo v oblasti thibie a podľa japonských expertov nie je možné vyhodnotiť potenciálne riziko zlomeniny predkolena pomocou EECV TRL nárazového zariadenia.[49] 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 thibie. Tieto dve časti sú zložené z sklolaminátových blokov, ktoré sú medzi sebou prepojené nylonovými segmentami. Na

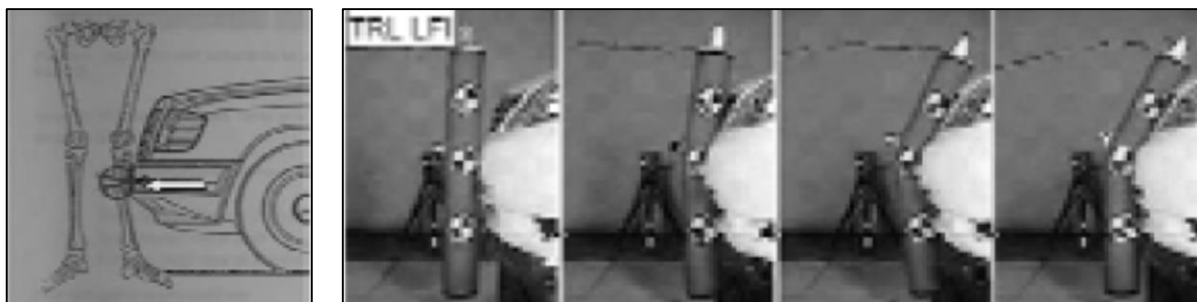
sklolaminátových blokoch sú nalepené tenzometre, ktoré sa používajú na zaznamenanie ohybového momentu na danom segmente. Z momentu je možné vyhodnotiť riziko zlomeniny v danej oblasti. Kolená sa skladá z dvoch komplexných blokov, ktoré sú prepojené tromi strunami s potenciometrom. Toto prepojenie reprezentuje ľudské kolenné väzy. Celkovo môže byť Flexi PLi GTR impaktor osadený až 32 kanálmi na meranie zaťaženia v oblasti tibiie a femuru. [50] Celkový dizajn stehna a predkolenia má predstavovať štruktúru ľudskej kosti a jej schopnosť sa ohýbať. [8]



Obr. 9 Flexible Pedestrian Legform Impactor model GTR. [50,8,51]

2.3.3 FlexiPLI GTR vs. TRL

FlexiPLI GTR model nohy 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 nohy. 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 nohy. [8]



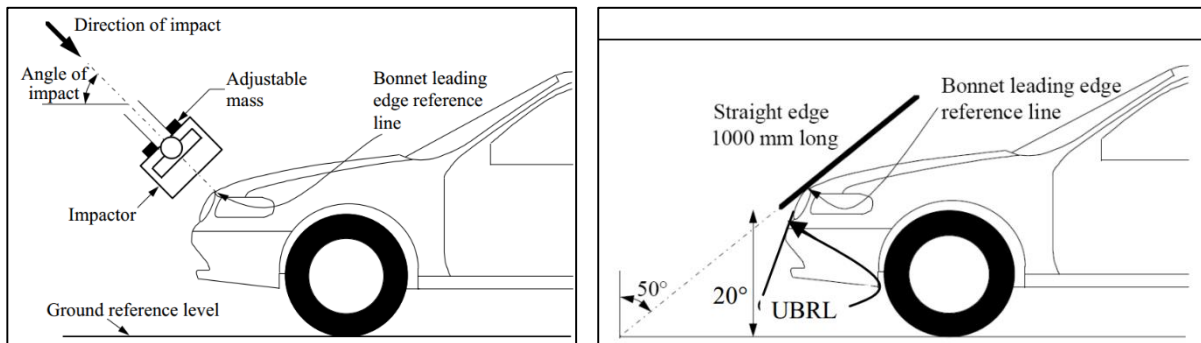
Obr. 10 Zobrazenie deformácie impaktora TRL pri teste. [9]



Obr. 11 Zobrazenie deformácie impaktoru Flexi PLI GTR pri teste. [9]

2.3.4 Upper leg

Náraz makety stehna nohy (Upperform leg test) je časťou Euro NCAP testu, ktorá je orientovaná na hladinu ochrany chodca v oblasti femuru a pelvisu. Náraz makety nohy je vedený v lineárnom uložení a vykonávaný rýchlosťou 40 km/h do oblasti definovanej hrany prednej kapoty motorového vozidla. Je to pomyselná sečnica roviny zvierajúcej uhol 50° s podložkou a pomyselnou rovinou vedenou cez vrchnú referenčnú čiaru nárazníka zvierajúcu uhol 20° k tejto rovine.[10]

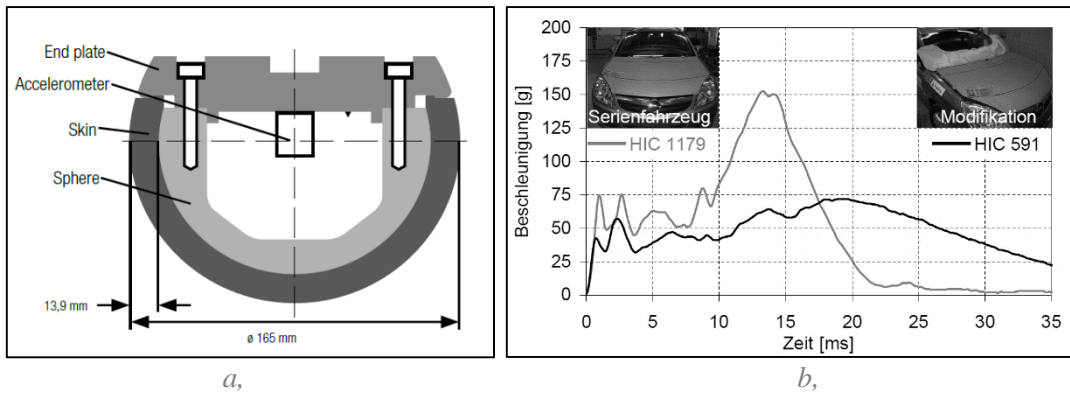


Obr. 12 Technická špecifikácia impaktu Upper leg do oblasti prednej hrany kapoty vozidla.[52,53]

Maketa nohy 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. Pre ohybový moment v teste Euro NCAP je dolný limit stanovený na 300 Nm a sila pôsobiaca v smere rázu na 5 kN. Horný limit je 380 Nm a 6 kN. [11] V teste je možné získať maximálne 6 bodov, to zodpovedá 17-tim % z celkového hodnotenia (36 bodov) ochrany chodcov, a preto je do značnej miery dôležitý pre OEM spoločnosti.

2.3.5 Headform adult – (Adult headform)

Impaktor je vyrobený z tuhého materiálu sférického tvaru a potiahnutý gumovým náterom. Vonkajší rádius impaktoru je 165 mm s váhou 4,5 kg (u starších testov do roku 2009 mohla byť hmotnosť impaktoru rovná 4,8 kg).[12] Test sa vykonáva voľným letom impaktoru rýchlosťou 40 km/h do oblasti prednej kapoty a čelného skla pod uhlom 65° k vodorovnej podložke. Testovacia zóna je rozdelená na 6 oblastí. Každá z oblastí môže získať maximálne 2 body. Na posúdenie biomechanického pôsobenia na head form impaktor sa používa biomechanický ukazovateľ HIC (Head Injury Criterium). Ochrana chodcov je hodnotená celkovým počtom 36 bodov, z toho 12 bodov je za adult headform test.

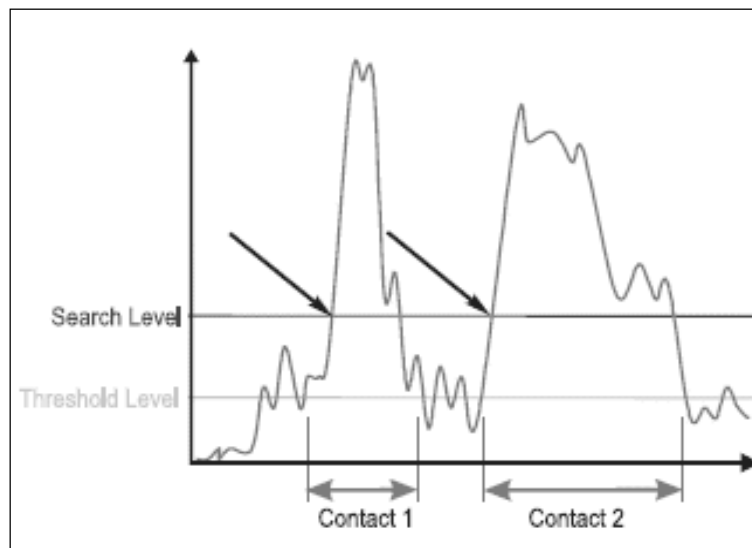


Obr. 13 a, Schéma impaktoru používaného na headform test. b, Závislosť HIC na impakte do štandardnej kapoty alebo aktívnej kapoty (modifikovanej). [54]

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

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

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



Obr. 14 Priebeh akcelerácie a vyobrazenie HIC_{15} -Contact 1 a HIC_{36} -Contact 2. [13]

Na získanie plného počtu 2 bodov predmetnej testovanej oblasti nesmie hodnota biomechanický ukazovateľ HIC presiahnuť hodnotu 1000. Kompletný prehľad závislosti HIC a závažnosti zranenia MAIS je kap. 2.4.

2.4 AIS (Abbreviated Injury Scale/skrátená stupnica poranení)

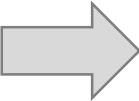
AIS je skrátenej anatomický kódovací systém vytvorený Association for the Advancement of Automotive Medicine poskytujúci možnosť zaradenia a popisu konkrétnych zranení. Stupnica bola vypracovaná v roku 1971. Tento popis predstavuje hodnotenie ohrozenia života zo zranenia ako závažnosť poranenia. AIS kódovací systém je jeden z najbežnejších nástrojov na popis traumatických zranení. [55] Toto hodnotenie sa používa na popis zranení v celkovo deviatich regiónoch ľudského tela. [14]

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

Tab. 4 Závažnosť poranenie v závislosti na ohrození života rozdelená na 6 kategórii. 0 – bez zranenia až po 6 – zranenie nezlučiteľné so životom. [55]

K popisu 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 u mnohopočetných poranení hodnotu závažnosti zranenia v regióne, ktoré má najvyššiu známku, a teda popisuje ohrozenia života zo zranenia, ktoré je najkritickejšie. [14] [15]

Región tela	AIS	MAIS
hlava	5	5
krk	3	
chrbtica	4	

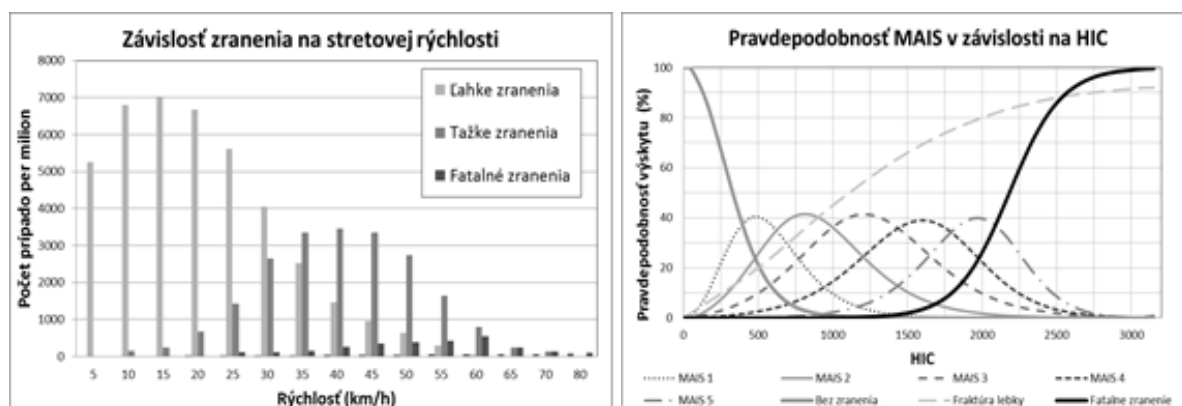


AIS	Závažnosť zranenia	Región tela
0	bez zranenia	
1	menšie	1. hlava
2	stredné	2. tvár
3	vážne	3. krk
4	ťažké	4. hrudník
5	kritické	5. brucho
		6. chrbtica
6	nezlučiteľné so životom	7. horná končatina
		8. dolná končatina
9	nezistené	9. externé a ďalšie.

Tab. 5 Vyhodnotenie MAIS v závislosti na poraneniach jednotlivých partií tela. [55]

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. U približne 70 % nehôd vodič pred zrážkou s chodcom brzdil. [41] Z grafu je zrejme (pozri Graf 1), že vo viac ako 90 % prípadoch dopravných nehôd chodca s vozidlom došlo k zrážke pri rýchlosti nižšej ako 60km/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. [42]



Graf 1 Závislosť zranenia chodca v závislosti na rýchlosti jazdy vozidla a pravdepodobnosť MAIS v závislosti na HIC. [43]

2.4.1 Závislosť závažnosti zranenia na hodnotení vozidla Euro NCAP

V priebehu prvých rokov testovania bol bežným výsledkom Euro NCAP testu rating vozidla o jednej alebo dvoch hviezd. 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). Tab. 6 zobrazuje koreláciu medzi ratingom vozidla z Euro NCAP testu a závažnosťou zranenia AIS. U vozidiel s ratingom dvoch hviezd vzťahnutých k ochrane chodcov došlo k poklesu zranení AIS 2+ o 17 %, a k výraznému poklesu AIS 3+ o 28 % voči vozidlám, ktoré boli hodnotené len jednou hviezdou. Štúdia obsahovala 1664 prípadov dopravných nehôd. Z celkového počtu prípadov v 376 prípadoch nedošlo k zraneniu chodca pri strete s vozidlom s ratingom jednej hviezdy a až u 745 prípadov nedošlo k zraneniam chodca pri strete s vozidlom s ratingom dvoch hviezd. [44]

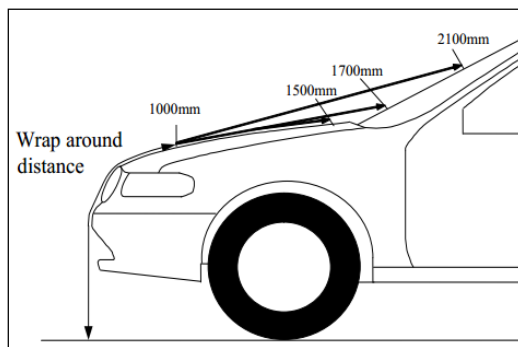
	1 hviezda	2 hviezdy	Medzisegmentový diferencál
Priemerné bodové hodnotenie ochrany chodcov Euro NCAP	6,24	13,84	+7,60
Bez zranenia	376	745	+369
AIS2+	45,7%	37,9%	-17%
AIS3+	13,8%	9,9%	-28%

Tab. 6 Prehľad poklesu zranení chodcov závislosti na hodnotení vozidla. [44]

2.5 Ovinutie chodca na vozidlo po zrážke (WAR –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 podlažke vedenej cez prednú hranu vozidla, následne prednou kapotou až k miestu, kde je možné detekovať impakt hlavy s

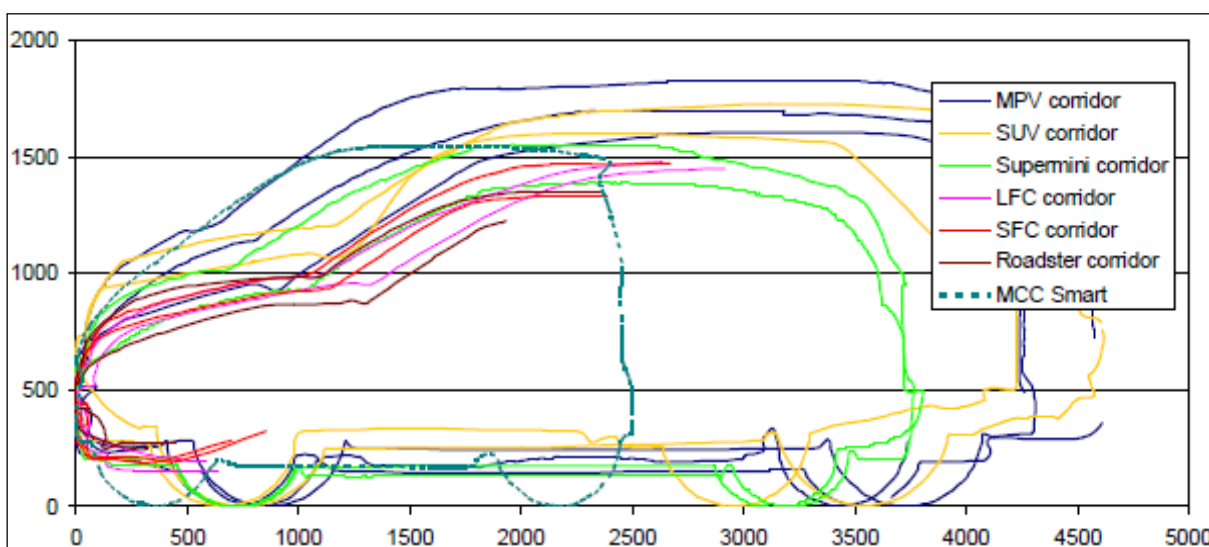
karosériou. Rýchlosť pohybu hlavy pri kontakte s kapotou alebo čelným sklom dosahuje približne pomer 0,7 – 0,9 rýchlosti vozidla pre SUV [17] a približne 1,1 – 1,4 násobok rýchlosti vozidla v kategórii malých vozidiel. [18] Čím vyššia je hodnota parametru WAR, tým väčšia je pravdepodobnosť, že hlava 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 WAR 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 impaktu hlavy chodca so zemou. [16]



Obr. 15 Euro NCAP Pedestrian Protocol-v6.1. [16]

2.5.1 Geometria prednej časti vozidla

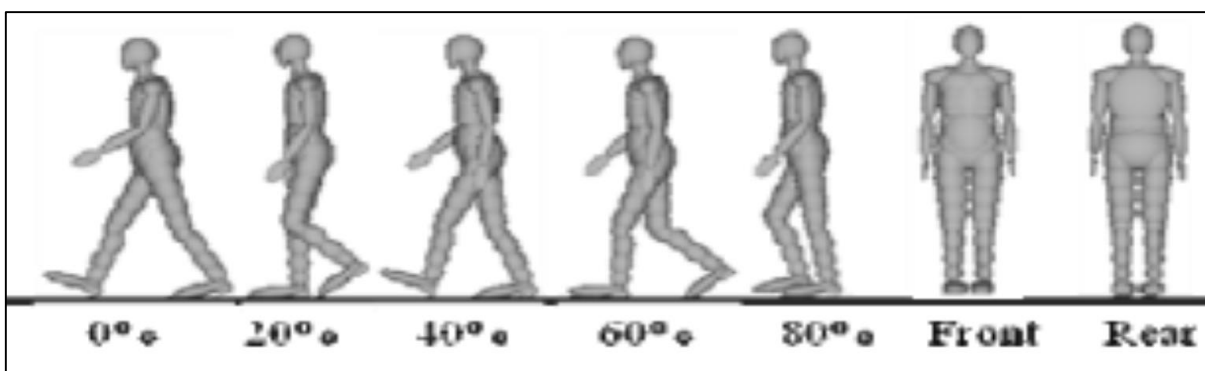
Následky zrážky chodca s vozidlom a kinematika chodca v priebehu zrážky sú do značnej miery ovplyvnené vonkajším tvarom karosérie vozidla.[13] V testoch Euro NCAP sa používa deväť základných kategórií na určenie vonkajšieho tvaru karosérie. V štúdií APROSYS Project AP SP90 0003 bol porovnávaný tvar karosérie u celkom 188 vozidiel. Z týchto 188 vozidiel bolo 137 testovaných v testoch Euro NCAP, čo odpovedá 60 % z celkového počtu vozidiel. Z porovnávaných vozidiel bol zostrojený diagram maxima a minima siluet geometrie prednej časti vozidla (Obr. 16).



Obr. 16 Geometria prednej časti vozidla podľa jednotlivých kategórií. [20]

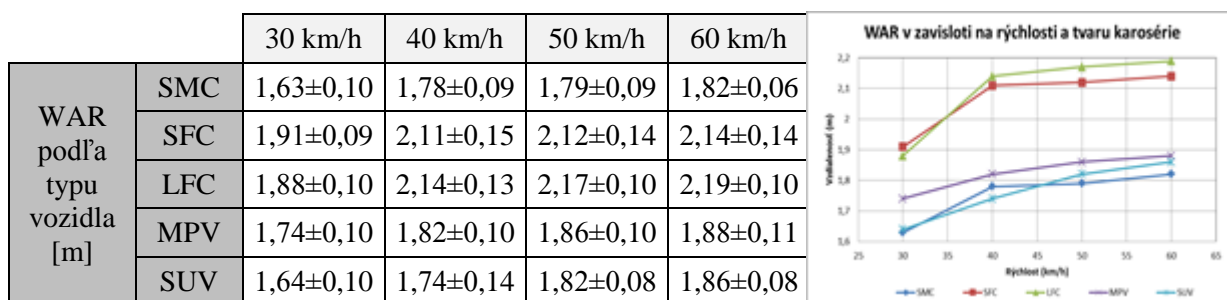
2.5.2 Stanovenie WAR na základe Madymo simulácie

Pomocou Madymo simulačného programu je možné modelovať, dôkladne analyzovať a optimalizovať návrhy vývojového procesu a nových konštrukčných riešení. Na vytvorenie kompletného prehľadu WAR 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 (SMC), Large family Car (LFC), Multi Purpose Vehycle (MPV) a Sport Utility vehycle (SUV). Jednotlivé tvary vozidiel odpovedali tvarom karosérie mediánu tvaru daného segmentu na základe (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 na základe bežných dopravných nehôd s chodcom. [19]



Obr. 17 Polohy matematického modelu chodca pre potreby Madymo simulácie. [19]

Z Madymo simulácií vyplýva, že WAR silne závisí na rýchlosti a geometrii prednej časti vozidla. Pre objektívne posúdenie správnosti Madymo simulácii som sa v kap. 2.5.3 bližšie venoval porovnaniu s dummy simuláciou a testom s cadaverom.



Obr. 18 Závislosť WAR na tvaru a rýchlosti pohybu vozidla z Madymo simulácií

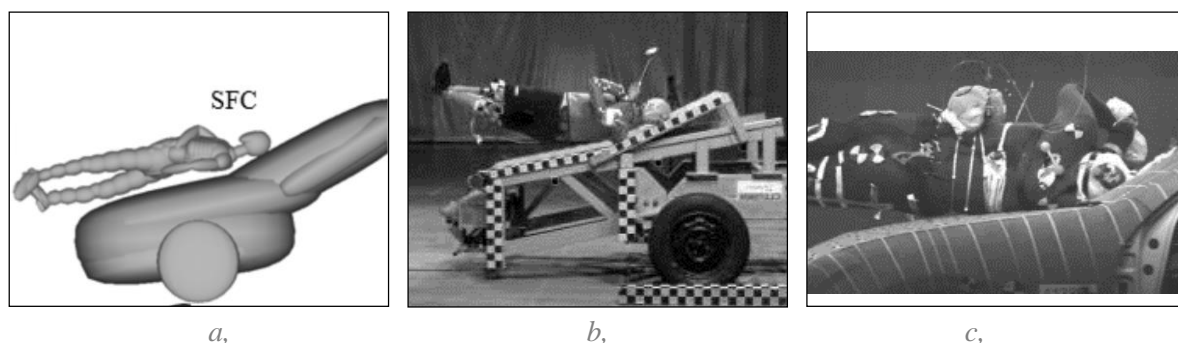
Na základe simulácie vyplynulo (Obr. 18), že WAR silne závisí na rýchlosti a geometrii prednej časti vozidla. Pre objektívne posúdenie správnosti Madymo simulácii som sa v kap. 2.5.3 bližšie venoval porovnaniu s dummy simuláciou a testom s kadaverom.

2.5.3 Posúdenie objektívnosti Madymo simulácie

Z vyššie uvedených Madymo simulácií vyplýva závislosť WAR na tvare a kolíznej rýchlosti vozidla. Pre samotnú dizertačnú prácu bude potrebné pracovať s týmto matematickým predpokladom, a preto je nutné overiť, či daný matematický model bol navrhnutý správne a vyvarovať sa tak chybe

v odkazovaní na tento model. Pre 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 WAR pre 0, 20, 40, 60 a 80 % kráčajúci postoj modelu človeka bola v predmetnej simulácii $2,11 \text{ m} \pm 0,15$. [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 WAR približne vzdialenosť 1,98 m. [20]
- Tretí obrázok zobrazuje test zrážky vozidla s kadaverom. Kadaver bol k štúdii použitý bez predošlých fraktúr alebo značných poškodení skeletu. Výška kadavera bola 185 cm, čo odpovedá mediánu z predošlých simulácií. Zo simulácie zrážky s vozidlom jazdiacim 40 km/h vyplynula WAR rovnajúca sa 2,12 m. [21]

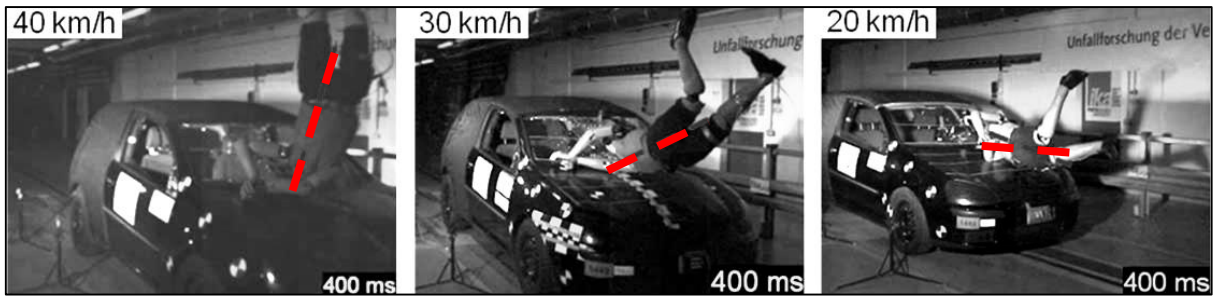


Obr. 19 a,b,c: a) kolízna situácia v Madymo prostredí, b) kolízna situácia dummy s maketou vozidla, c) kolízna situácia kadavera s vozidlom. [19,20,21]

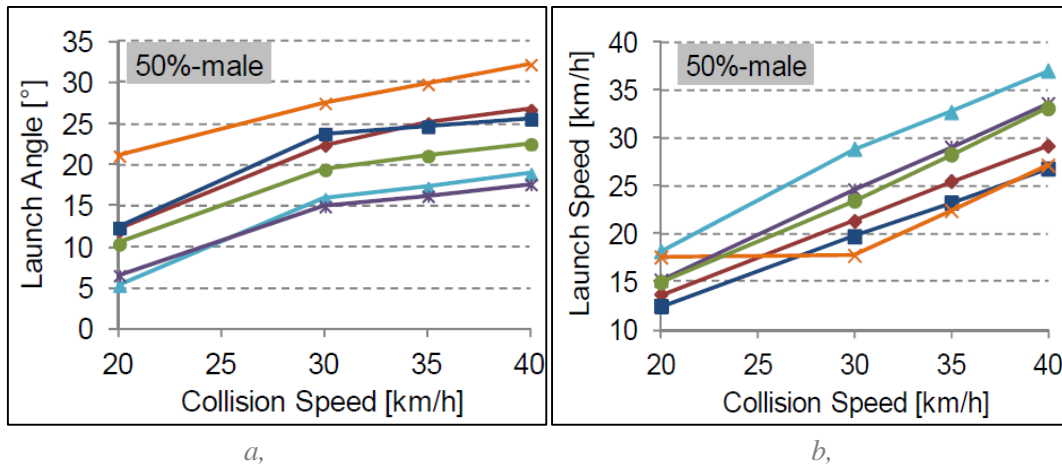
Z porovnaní troch rozdielnych testov zameraných na WAR je možné vyvodit' záver, že Madymo simulácie WAR zodpovedajú reálnemu nehodovému dejú a budú následné použité pri riešení dizertačnej práce.

2.6 Pohyb chodca po zrážke

Pohyb dospelého chodca po zrážke je silne závislý na kolíznej rýchlosti vozidla. Dosiahnutá rýchlosť chodca po primárnej zrážke hlavy s vozidlom sa následne prejavuje na uhlovej polohe chodca (Obr. 20). 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. Z testu je zrejmé, že rotácia chodca okolo sagitálnej osi klesá s klesajúcou rýchlosťou. Uhlová poloha dummy znázornená červenou čiarkovanou čiarou indikuje následný smer letovej charakteristiky dummy. Zo zvyšujúcou sa uhlovou polohou dummy sa zároveň zvyšuje riziko sekundárneho kontaktu hlavy s vozovkou. [56]

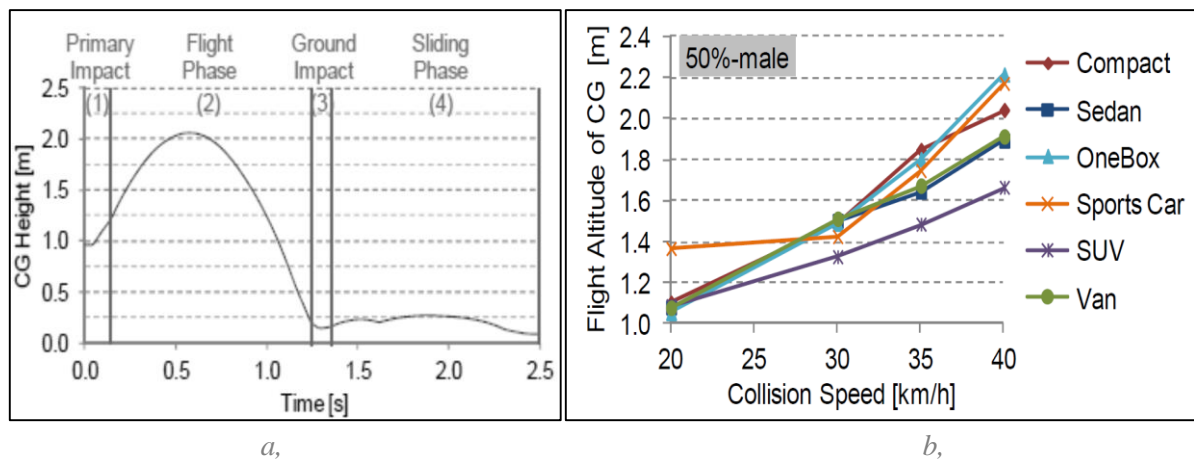


Obr. 20 Crash test vozidla VW s Polar II Dummy a dosiahnutý uhol letu v závislosti na rýchlosti. [56]



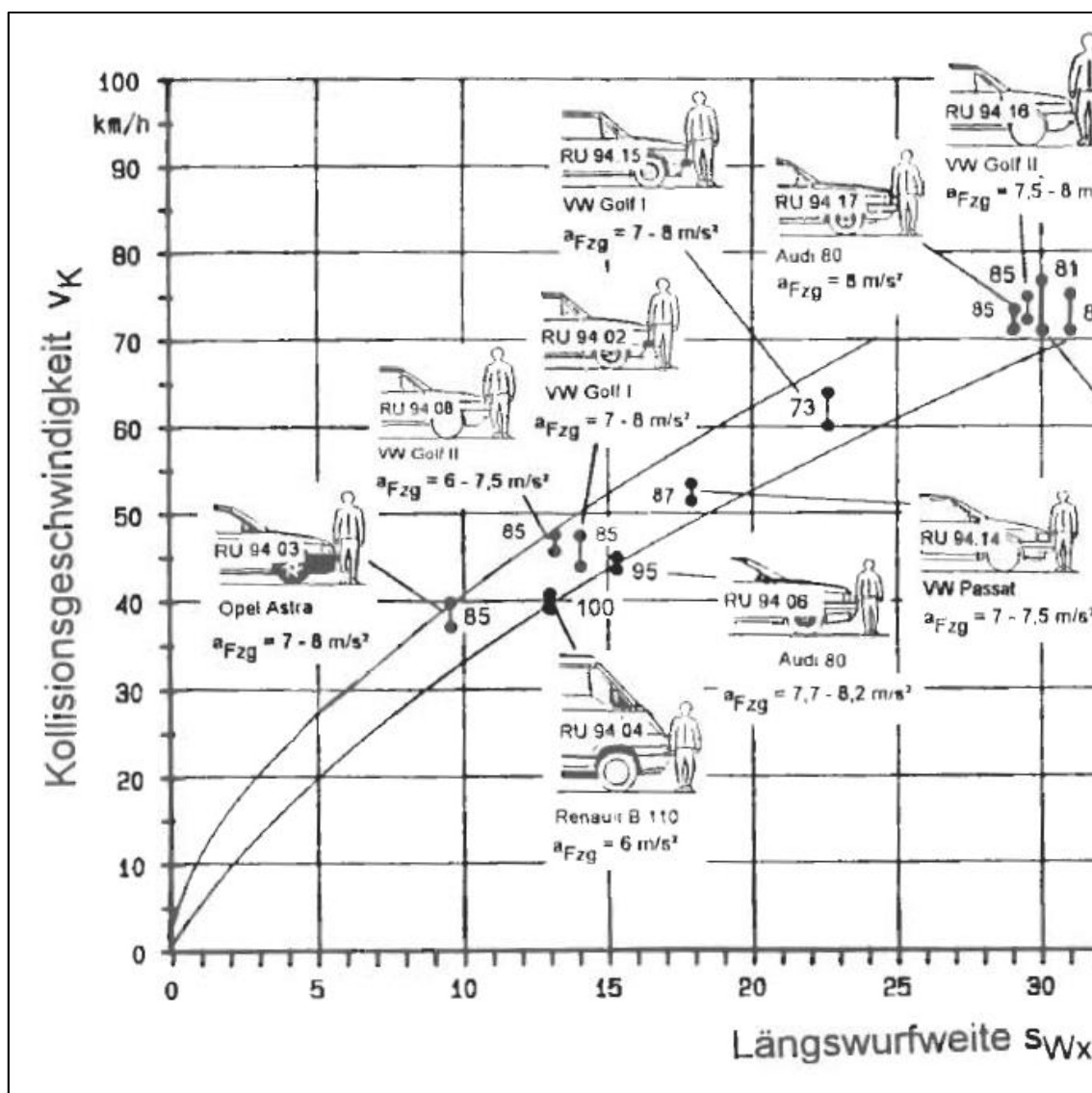
Obr. 21 a, Závislosť dosiahnutého uhla letu chodca na rýchlosti vozidla b, Rýchlosť chodca prevzatá od kolidujúceho vozidla. [16]

Kinematika chodca v priebehu letu môže byť ilustrovaná pomocou pohybu ťažiska chodca v priestore (Obr. 22). 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. Druhá fáza reprezentuje rotáciu okolo sagitálnej osi a následný let dummy. Letovú fázu je možné popísať v niektorých prípadoch aj krivkou paraboly. Na konci letovej fázy dochádza k impaktu hlavy o zem a následnému šmýkaniu sa dummy po zemi a jej spomaleniu do konečného stavu.



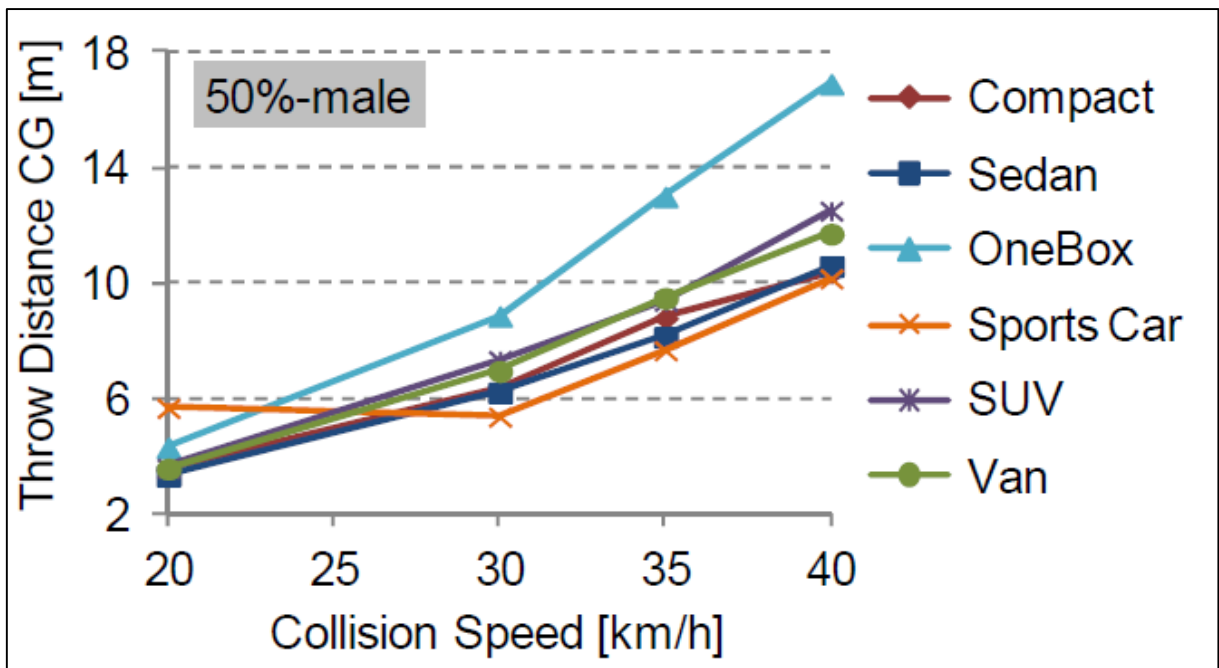
Obr. 22 a, Fázy letu chodca po zrážke b, výška letu chodca v závislosti na druhu vozidla. [16]

Z podrobnejšej analýzy dopravných nehôd s chodcom bol zostrojený graf odhodena chodca v závislosti na rýchlosti vozidla (pozri Obr. 23). Štúdiá bola publikovaná v roku 1997. [22]. Tvar karosérie mal v danej dobe do značnej miery odlišný charakter ako dnes.



Obr. 23 Diagram odhodena chodca v závislosti na rýchlosti pohybu vozidla. [22]

Graf na Obr. 23 je možné porovnať s grafom na Obr. 24 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. 23 a Obr. 24 je zrejmé, že matematický model sa nachádza na vrchnej hranici grafu. Z toho vyplýva, že vzdialenosť odhodena 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 dôkaze pohltili viac energie pri zrážke a znížili tak rýchlosť chodca pri odhodení. [22]



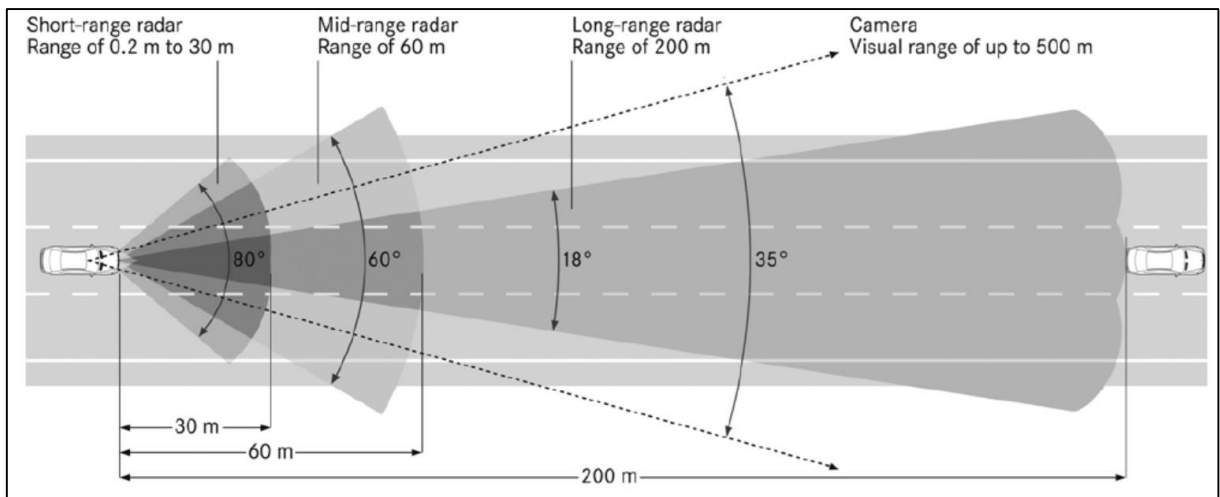
Obr. 24 Závislosť odhodenia chodca na rýchlosti vozidla v čase zrážky podľa druhu karosérie. [16]

2.7 Aktívne bezpečnostné systémy

Stabilita vozidla je jedným zo základných prvkov aktívnej bezpečnosti vozidla. Elektronický stabilizačný systém (ESC) spolu s ABS je jedným z 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 usmrtení ročne v USA a približne 4 000 usmrtením spôsobeným dopravnou nehodou v Európe. Global NCAP vyvíja snahu o presadenie 100 % aplikácie ESC v novo vyrobených 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. [23] Konštrukcia a možnosti ESC dosiahli technologického limitu a je možné očakávať len nepatrné zlepšenia v budúcnosti. [5]

2.7.1 Radar

V posledných rokoch boli vyvinuté mnohé asistenčné systémy na zvýšenie komfortu a bezpečnosti jazdy. 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. Prioritnou stránkou radaru je rozpoznávanie vzdialenosti objektu od vozidla. Rozpoznávanie objektu tvarovo a veľkostne pomocou radaru je možné len na veľmi malú vzdialenosť a priamo pred vozidlom. Možnosťou by bola kombinácia dvoch radarov rovnakej frekvencie, ale cenová hladina systému je príliš vysoká. Z Obr. 25 je možné vidieť snímací záber 77 GHz radaru (30m) a 24 GHz radaru (až do 200 m). Obrázok je ilustratívny a jednotlivé produkty rôznych výrobcov majú rozdielny snímací kužeľ radaru a jeho dosah. [24]



Obr. 25 Ilustračný obrázok záberu a dosahu radarov a kamery vo vozidle. [24]

2.7.2 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, ale miesto mikrovln meria dobu odrazu laserového lúča. Laserový lúč sa pohybuje vo vzduchu rýchlosťou svetla cca 300 000 km/s. Vysoko výkonná dióda o výkone až 70 W vysiela tento pulz o dĺžke cca 30 nm. [25] Proces sa opakuje až s frekvenciou viac ako 100 Hz. Na základe doby vyslaného lúča a prijatého odrazu od objektu následne vyhodnocuje systém vzdialenosť objektu. Pri zhoršených poveternostných podmienkach dochádza k útlmu lúča v dôsledku odrazu lúča od kvapôčiek vody v atmosfére. Tieto odrazy môžu spôsobiť až saturáciu radaru a jeho úplnú nefunkčnosť. Merací rozsah lidarů je od 0,1 m do 150 m. [26]

2.7.3 Mono kamera

Mono kamery sa používajú prevažne v aktívnych asistenčných systémoch ako je udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu, aktívny tempomat, rozpoznávanie značiek a núdzové brzdenie. Kamera sa najčastejšie používa v kombinácii s radarom alebo lidarom. Po rozpoznaní objektu a jeho vzdialenosti radarom je pomocou kamery algoritmicky vyhodnotené, o aký objekt sa jedná. Vyhodnotená priestorová situácia je zobrazená na Obr. 26, kde je zřejmý rozdiel medzi chodcom a vozidlom.

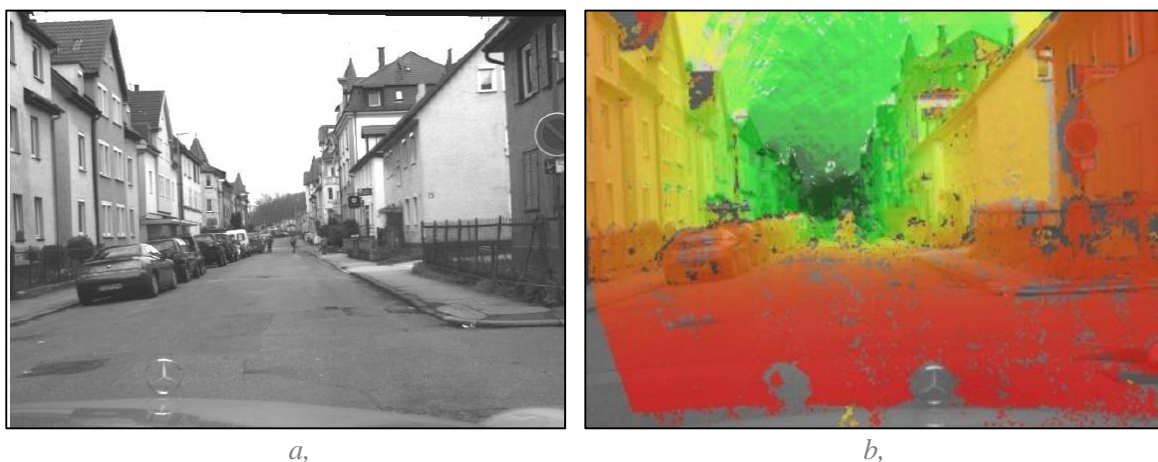


Obr. 26 Príklad rozpoznávania objektov z mono kamery. [27]

System 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. Mono kamera však nedokáže objekt trakovať, t.j. predvídať smer a rýchlosť pohybu objektu ako stereo kamera. [28]

2.7.4 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 stereo kamery je, že riadiaca jednotka dokáže zo zaznamenaného obrazu detekovať trojdimenzionálnu štruktúru okolitej scény, tvar, veľkosť, rýchlosť a smer pohybu objektu s veľkou presnosťou. 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 radari je vzdialenosť presne meraná na základe odrazu mikrovlnných vln. Obr. 14 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. [30]



Obr. 27 a, Oblasť záberu kamery b, Farebné spektrum vzdialenosti objektov pred vozidlom. [30]

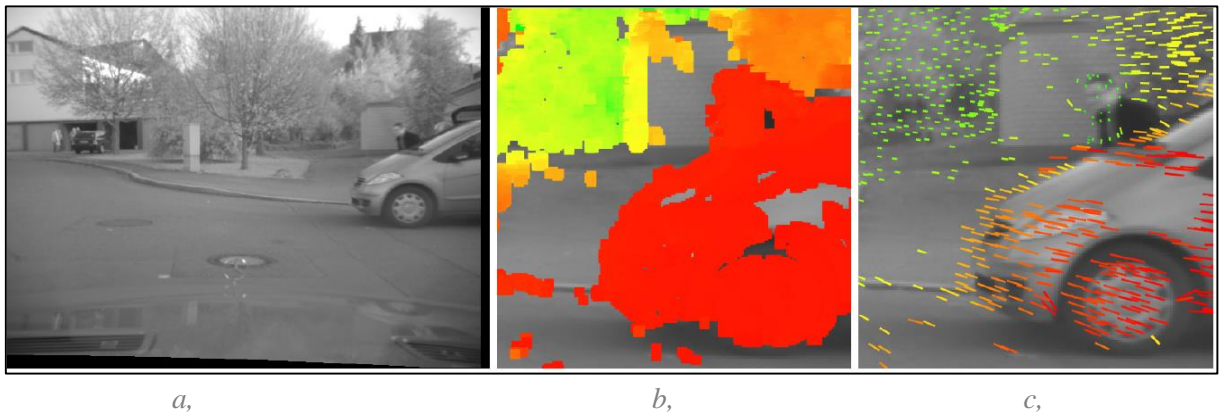
Následným spracovaním obrazu je možné previesť 3D podobu obrazu do 2D karteziánskej sústavy. Z obrázku je zrejmé, že v koridore vozidla sa nachádza objekt – cyklista a po jeho ľavej strane osoba stojaca pri vozidle. Počiatok súradnicových sústav je v tomto prípade centrovaný na vozidlo. Je zrejmé, že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



Obr. 28 Prevod obrazu do karteziánskeho súradnicového systému. [30]

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 pre 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. 28 sa jedná 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. 29a. 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. 29b. Rozpoznanie chodca nie je jednoznačné a v druhom stupni vyhodnocovania splýva chodec s vozidlom. Na Obr. 29c je vidieť následný výstup algoritmu, kde je k jednotlivým priestorovým bodom zobrazený jednoduchý vektor. Z obrázka už je viac zrejmé rozpoznať chodca, ale stále to je nedostatočné.



Obr. 29 Grafická mapa vzdialenosti objektov od vozidla. Farebná škála je definovaná od červenej (najbližší objekt) po zelenú (najvzdialenejší objekt). [30]

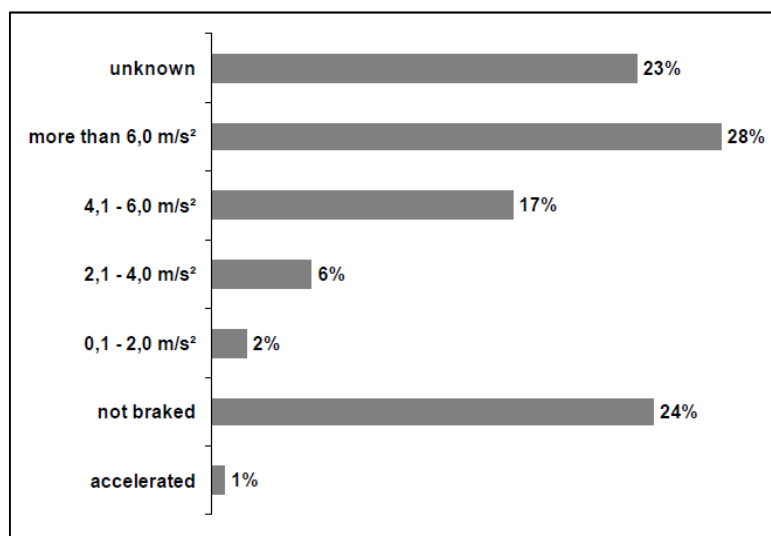
Tretím a posledným krokom pri vyhodnotení takejto situácie je algoritmus, ktorý je zameraný na segregáciu objektov a ich trakovanie. Algoritmus pracuje po sebe idúcimi snímkami a vyhodnocuje možnú segregáciu objektov a ich pohyb. Na Obr. 30 je zobrazený výsledok tohto algoritmu. Zľava doprava je možné vidieť časový priebeh od prvého rozpoznania chodca v čase 0 a následné 80, 160 a 240 ms vo vzťahu k prvotnému výskytu. Odhadované vektory odpovedajú predpokladanému smeru a rýchlosti pohybu chodca.



Obr. 30 Príklad trakovania pohybu chodca pomocou stereo kamery. [30]

2.7.5 Brzdné spomalenie vozidiel pri dopravných nehodách

Pri podrobnejšej štúdií 1492 prípadov dopravných nehôd na základe databázy GIDAS bolo vyhodnotené odpovedajúce spomalenie vozidiel po zrážke. Z Obr. 31 je zrejmé, že až v 24 %-ách prípadov vodiči pri zrážke nebrzdili a v ďalších 25 %-ách prípadov vodiči brzdili so spomalením nižším ako 6 m/s^2 . Dá sa predpokladať, že dokonca i v prípadoch, keď 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 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 brzdenia. [33,34]



Obr. 31 Spomalenie vozidiel pri dopravných nehodách. [34]

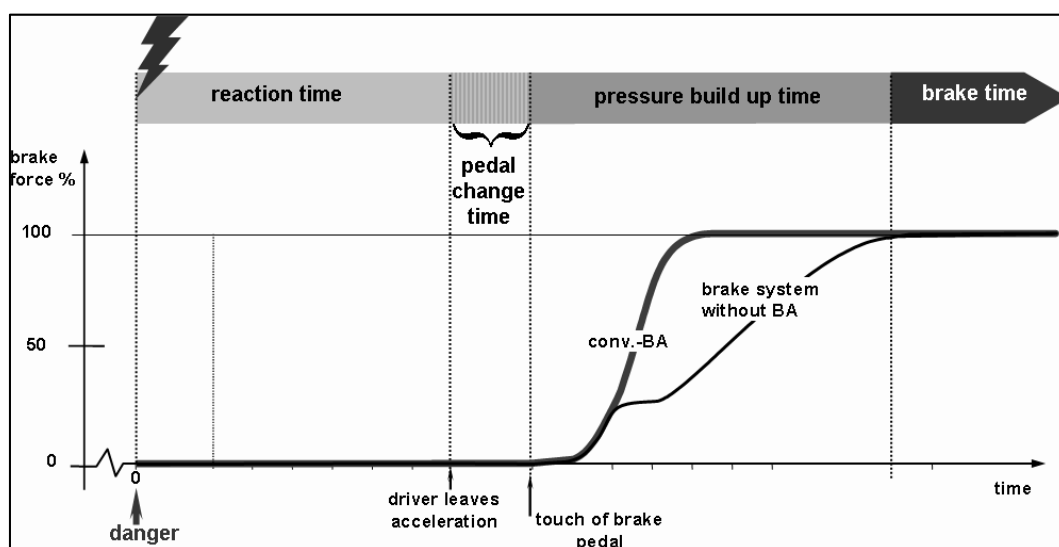
2.7.6 Pomocné brzdné systémy

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 2 [31] je zrejmé, že jediným parametrom, ktorý je možné kontrolovať s ohľadom na brzdnú drahu vozidla je jeho spomalenie. Spomalenie vozidla je závislé na poveternostných podmienkach, pneumatikách, adhézii a v neposlednej rade na tom, akú maximálnu silu vyvinie vodič na brzdový pedál.

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

Pre maximálne využitie brzdného účinku pre dané poveternostné podmienky boli vyvinuté tri asistenčné brzdné systémy – brzdný asistent, brzdný asistent + a autonómny brzdný asistent.[32]

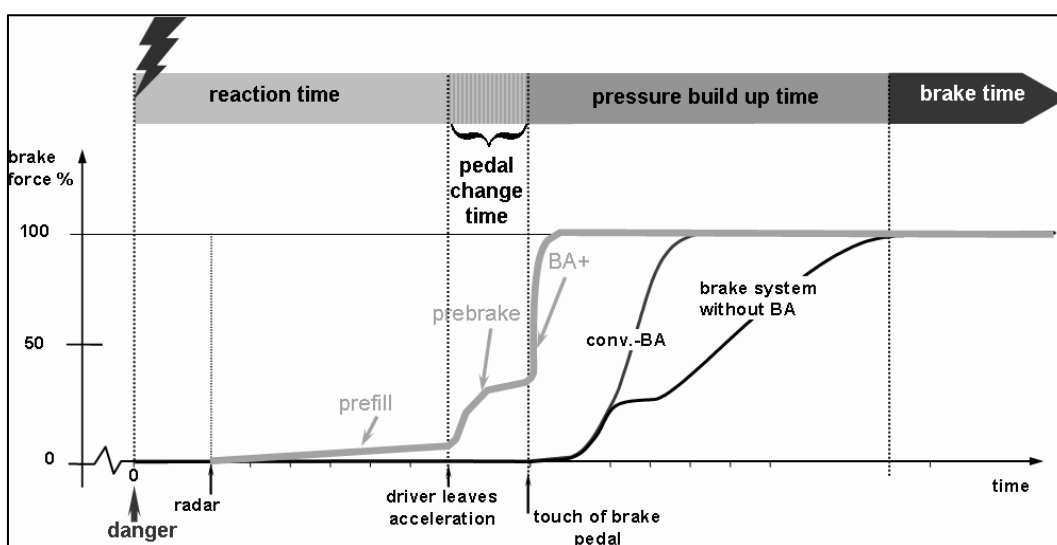
- **Brzdný asistent** – brzdný asistent vyhodnocuje kritickosť situácie na základe rýchlosti stlačenia brzdového pedálu a následne dokáže využiť plný brzdný potenciál brzdného systému. Systém nezahrňuje informácie z radaru alebo kamery, ktoré by mali pozitívny účinok na skrátenie reakčného času, respektíve odozvy systému na podnet vodiča brzdiť. Obr. 17 znázorňuje časový priebeh brzdenia v 4 krokoch. V priebehu reakčnej doby a samotného stlačenia brzdového pedálu nedochádza k nárastu brzdného účinku. Po odozve systému nastáva nárast tlaku v brzdnom okruhu, kde je zrejмый prínos brzdného asistenta, ktorý zabezpečí maximálny možný tlak v danej situácii, ktorá bola vyhodnotená ako kritická. [32]



Obr. 32 Graf navýšenia brzdného účinku sústavy pomocou brzdného asistenta [32]

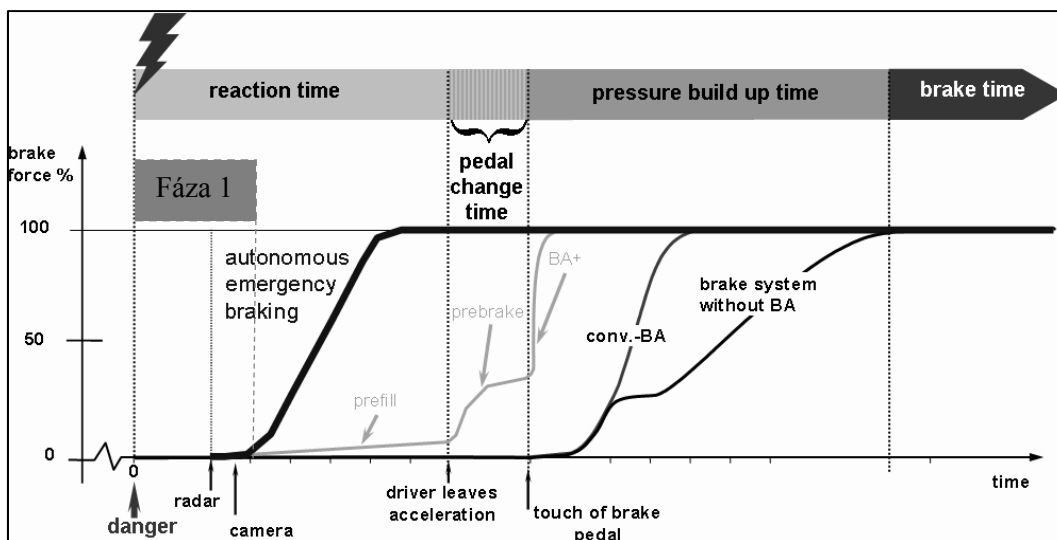
- **Brzdný asistent +** - asistent pracuje v kooperácii s radarom. Samotný radar nedokáže exaktne vyhodnotiť závažnosť situácie a o aký objekt sa jedná, ale dokáže na daný objekt upozorniť a predpripraviť brzdný systém na zrýchlenú reakciu. Bežná reakčná doba vodiča je 0,8 s [31],

ale elektronické bezpečnostné systémy dokážu reagovať na kritickú situáciu nesústreďeného vodiča skôr. Príklad skoršej reakcie systému je znázornený na Obr. 18, signál spracovaný z radaru dáva okamžitý príkaz pre brzdný systém k predplneniu 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 brzdný pedál dochádza automaticky k brzdeniu do výšky cca 4 m/s^2 , keďže systém už bol predpripravený z prvej fázy. Na konci stlačenia brzdného pedála je systém schopný brzdiť behom zlomku časového intervalu plným brzdným spomalením. [32]



Obr. 33 Graf navýšenia brzdného účinku sústavy pomocou brzdného asistenta +. [32]

- **Autonómne brzdenie** – na rozdiel od prvých dvoch prípadov brzdných asistenčných systémov je autonómny systém plne nezávislý na reakcii 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 1 na Obr. 19 je zřejmé, že po rozpoznání objektu pomocou radaru dochádza k vyhodnotení danej situácie kamerou a neodkladnému autonómnemu brzdeniu v časovom intervale kratšom ako 0,8 s. [32]



Obr. 34 Graf brzdného účinku sústavy vozidla s autonómym systémom [32]

Autonómne brzdenie nezávislé na vodičovi 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 s 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]

2.8 Pasívna bezpečnosť vozidiel zameraná na chodcov

Pre splnenie nových požiadaviek na bezpečnosť chodcov boli vyvinuté nové technické riešenia v oblasti prednej časti vozidla. Ako vyplynulo z *kap.2.2*, k najčastejším úrazom chodcov patrí úraz hlavy (cca 30 %) a úraz nohy v oblasti kolena (cca 30 %). Medzi základné tri prvky, ktoré majú znížiť závažnosť zranení v oblasti hlavy a kolena patrí aktívny nárazník, pop-up kapota a airbag systém v oblasti čelného skla a A-stĺpika.

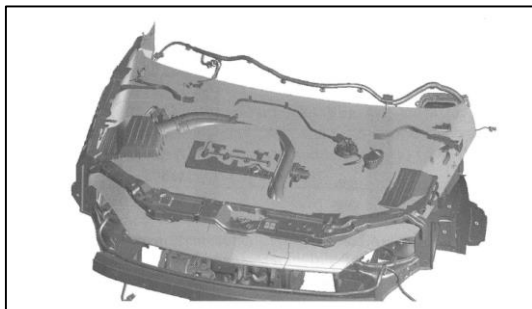
2.8.1 Adaptívny nárazník

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]

2.8.2 Aktívna predná kapota a airbag pre chodca

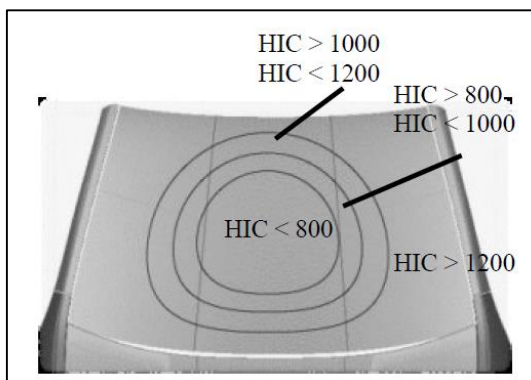
Kapota vozidla sa skladá z niekoľkých vrstiev, ktoré majú ako funkčný, estetický, tak pevnostný, ale i protihlukový charakter. Kapota oddeľuje okolité prostredie od motora a jeho súčasti. Viac než 70 % kapôt je vyrobených z ocele, 30 % z hliníkových zliatin a v niektorých prípadoch aj

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. 35. Z obrázka je zrejмый prípadný kontakt chodca s horným vekom motora alebo predným oceľovým rámom masky. [36]



Obr. 35 Rez motorového priestoru 80 mm pod úrovňou kapoty. [36]

Pop-up 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 na koncepte 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 a teda nie je nevyhnutné ju celú pokrývať airbagom. [37]



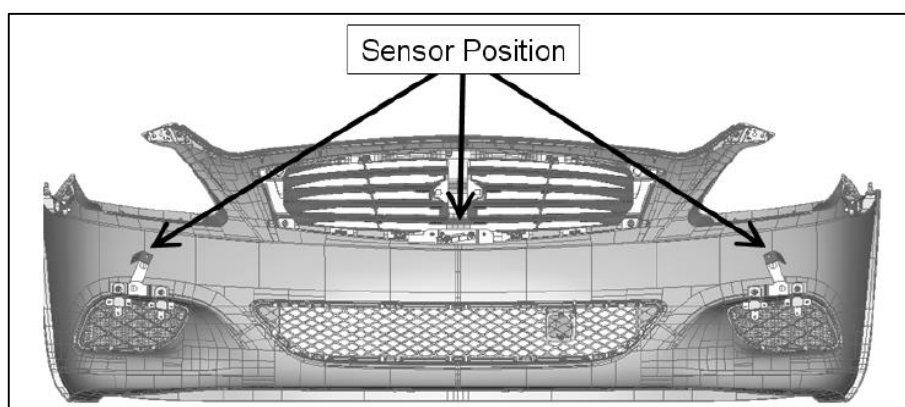
Obr. 36 Distribúcia HIC v závislosti na regióne čelného skla. [37]

2.8.2.1 Pracovný princíp aktívnej 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 impakt 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. [38]

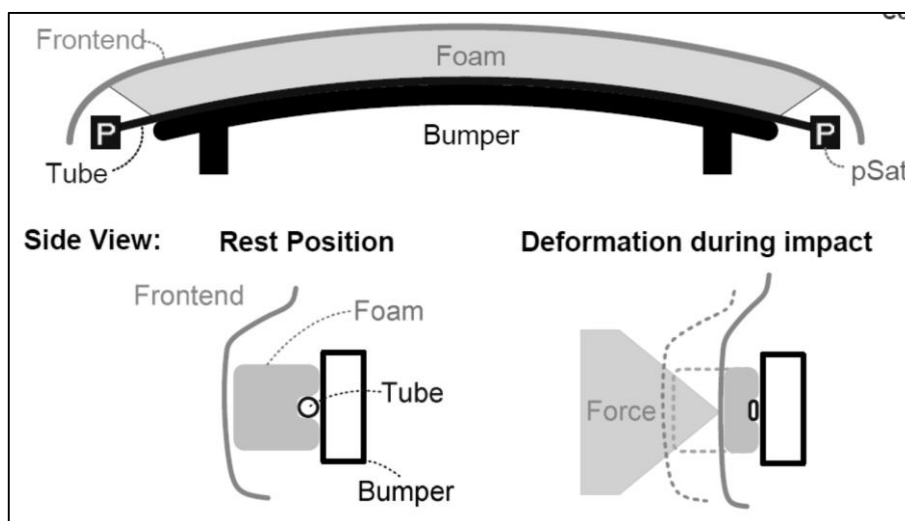
V dnešnej dobe sú v produkcii tri základné senzory k rozpoznaniu kontaktu objektu v prednej časti vozidla – akcelerometer, optický senzor silového zaťaženia a tlakový senzor.

- **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. ECU pomocou algoritmu analyzuje dáta a vyhodnocuje, či sa jedná o zrážku s chodcom a či je nutná aktivácia kapoty alebo nie. [39]



Obr. 37 Rozloženie senzorov silového zaťaženia v oblasti predného nárazníka. [39]

- **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. [38]



Obr. 38 Schematické znázornenie tlakových snímačov a trubice v oblasti predného nárazníka. [38]

Políciu akcelerometra a optického snímača silového zaťaženia je nutné vyhodnocovať na základe ideálneho pokrytia prednej časti vozidla v závislosti na kolíznej polohe 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.

System 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. [40] Pri zrážke s dummy odpovedajúcou 6 ročnému dieťaťu je tento čas už len 60 ms. Maximálny čas impaktu hlavy na prednú kapotu je 300 ms. [41] 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. [41]
- **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 odpovedá najdlhšie nameranej dobe kontaktu hlavy po prvotnej zrážke. [41]
- **Tretia fáza** – po uplynutí 300 ms dochádza k uvoľneniu aktuátorov. Následne musí byť zabezpečené, že kapotu je možné uvoľniť do základnej polohy v prípade, že nedošlo k zrážke s chodcom a signál bol vyhodnotený nesprávne. [41]

3. Vymedzenie problémov

S nárastom aktívnych bezpečnostných systémov narastá neznalosť určenia exaktného chovania vozidla v priebehu nehodového deja. Z analýzy súčasného stavu vyplynulo, že súčasne aktívne bezpečnostné systémy na ochranu chodcov sú zamerané najmä na mestskú prevádzku, preto je predmetný problém potrebné overiť v súčasnej dobe práve na mestskú prevádzku za denných podmienok. Znalec alebo expert, ktorý rieši dopravnú nehodu, na ktorej sa podieľa vozidlo s plne autonómnym chovaním pri brzdení v kritickej situácii, naráža na problém zohľadňujúci vplyv tohto systému na priebeh dopravnej nehody z dôvodu, že ani znalci nemajú dostatok informácií o chovaní autonómnych brzdných systémov.

1. V súčasnej dobe sa vo vozidle nachádzajú prvky aktívnej bezpečnosti, ktorých súčinnosťou dôjde po vyhodnotení kritickej dopravnej situácie k autonómnemu zásahu vozidla do riadenia. Pri samotnom zásahu vozidla do riadenia v kritických situáciách s chodcami dochádza najmä k autonómnemu brzdeniu vozidla, ktoré možno popísať troma typmi riešeniami systémov:
 - i. Brzdny asistent vyhodnocuje kritickosť situácie na základe rýchlosti stlačenia brzdového pedála a následne dokáže využiť plný brzdny potenciál brzdneho systému (podrobnejšie v kap. 2.7).
 - ii. Asistent pracuje v kooperácii s radarom. Samotný radar nedokáže exaktne vyhodnotiť závažnosť situácie a o aký objekt sa jedná, ale dokáže na daný objekt upozorniť a predpripraviť brzdny systém na zrýchlenú reakciu (predplnenie tlaku v brzdovom okruhu a vymedzenie vôle medzi brzdovým kotúčom a doštičkami - podrobnejšie v kap. 2.7).
 - iii. Na rozdiel od prvých dvoch prípadov brzdných asistenčných systémov je autonómny systém plne nezávislý na chovaní a reakcii vodiča, že po rozpoznaní objektu pomocou radaru dochádza k vyhodnoteniu danej situácie kamerou a neodkladnému autonómnemu brzdeniu v časovom intervale kratšom ako 0,8 s (podrobnejšie v kap. 2.7).

V dôsledku implementácie týchto aktívnych bezpečnostných systémov, ktorých činnosť nebola doposiaľ popísaná a skúmaná, dochádza medzi odbornou verejnosťou ku nedostatku informácií o celkovom chovaní autonómnych brzdných systémov.

Z pohľadu znalca alebo experta je možné uviesť tieto problémy:

- a. Ako ovplyvňujú poveternostné podmienky činnosť systému.
- b. V akých rýchlostiach dokáže systém aktívne zasiahnuť a zabrániť, či znížiť riziko vzniku dopravnej nehody.
- c. Na aký typ a smer pohybu chodca vie systém reagovať.
- d. Akým spôsobom a v akom časovom intervale pred samotnou kolíznou situáciou systém varuje vodiča.

- e. S akým brzdovým spomalením vozidla je možné uvažovať pri analýze nehodového deja vozidla, ak vozidlo brzdilo autonómne.
2. Druhý problém súvisí so samotným chodcom. Pri analýze dopravnej nehody a prípadnej rekonštrukcii takejto nehody nie je možné použiť v kritických situáciách na vstup do dráhy vozidla človeka. Pre tieto situácie je potrebné nahradiť figurínou človeka. Tento problém je zásadným problémom pri riešení takejto nehody. Samotná figurína musí zodpovedať fyzikálnymi vlastnosťami a tvarom do čo najväčšej miery človeku, aby bolo možné exaktne vyhodnotiť priebeh dopravnej nehody. Použitie nesprávnej figuríny môže pri znaleckom bádani viesť k nesprávnym výsledkom pri riešení takýchto nehôd.
3. Tretí problém je, že znalec či expert nemá dostatok informácií popísaných vyššie a je pre neho veľmi zložitá začať s prvotnou analýzou a spracovaním riešenej dopravnej nehody. Pre správne vyhodnotenie a analýzu dopravnej nehody s účasťou vozidla so zabudovaným aktívnym bezpečnostným systémom na ochranu chodcov je potrebné vykonať s predmetným vozidlom experiment. To neplatí, ak má znalec prístup už k vykonanej štúdii, ktorá by popisovala chovanie systému v predmetnom vozidle danej značky. Doposiaľ znalec takéto informácie nemôže nikde nájsť a komplexný popis funkcie systému je známy len pre výrobcov systému a automobilky. Z analýzy súčasného stavu vyplynulo, že doteraz boli vykonané len laboratórne merania, respektíve merania štandardizované normou. Pre znalca, či experta je ale dôležitá metóda, akou by mohol riešiť predmetný problém dopravnej nehody vozidla osadeného aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznanie chodca.

4. Metóda riešenia práce

Z vyššie formulovaných problémov bolo možné definovať čiastkové metódy riešenia práce. Body metódy riešenia práce smerujú k tomu, aby došlo k rozšíreniu znalosti znalcov a expertov. Toto je možné dosiahnuť rozsiahlym prieskumom chovania dnes najvyskytovanejšieho autonómneho brzdového systému v osobných vozidlách Volvo. Nasledujúce kroky povedú k naplneniu cieľov tejto práce:

1. Návrh experimentu

- a. Vyhľadávanie reálnych smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel s chodcami v intraviláne.
- b. Analýza priebehu reálnych smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel s chodcami v intraviláne.
- c. Zovšeobecnenie priebehu reálnych smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel s chodcami v intraviláne do typických dopravných situácií
- d. Návrh typických dopravných situácií, ktoré budú použité pri experimentálnom overovaní vybraného aktívneho bezpečnostného systému

2. Meracia sústava - za meraciu sústavu možno v tejto práci považovať sústavu vozidlo – figurína

- a. **Vozidlo** - výber vhodného osobného motorového vozidla, ktoré spĺňa nasledujúce podmienky:
 - i. sériová produkcia vozidla
 - ii. dostupne na českom a slovenskom trhu
 - iii. vybavené aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznávanie chodcov
- b. **Figurína** - zistenie dostupnosti figuríny chodca vhodnej na testovanie aktívnych bezpečnostných systémov, v prípade finančnej nedostupnosti vytvorenie figuríny. Vytvorenie figuríny musí spĺňať nasledovné požiadavky:
 - i. tvarovo a proporcionálne zodpovedajúca dospelj osobe
 - ii. odrazové vlastnosti figuríny pre 24 GHz radar zhodne s ľudskou postavou

3. Spôsob riadenia aktivácie

- a. Riadenie pohybu vozidla - vozidlo riadené poučeným vodičom
- b. Riadenie pohybu figuríny - figurína umiestnená na pohybujúcej sa plošine
- c. Synchronizácia sústavy je možná dvomi spôsobmi:
 - i. synchronizácia pohybu vozidla a plošiny je zabezpečená pomocou bezdrôtovej komunikácie na základe informácii D_GPS signálov o pozícii vozidla a plošiny
 - ii. synchronizácia pohybu vozidla a plošiny je zabezpečená pomocou bezdrôtovej komunikácie na základe informácii zo svetelnej brány

4. Meranie veličín - veličiny pri meraní je možné rozdeliť na aktivačné a prejavové. Všetko, čo sa okolo nás deje, má prevažne „príčinný charakter“. Pre každý objekt (vozidlo) je

charakteristické, že má určité okolie, tvar a že v okolí zaujíma určitú polohu. S okolím má určité väzby, cez ktoré objekt aktivuje a ovplyvňuje. Aktivácia objektu v ňom vyvolá procesy, ktoré menia jeho stav.

- a. Aktivačné veličiny - jednotlivá, na danej rozlišovacej úrovni zistiteľná interakcia, ktorá je orientovaná z okolia na objekt a ktorá na ňom alebo v ňom vyvolá procesy. Procesy sú vyvolané aktiváciami a ovplyvnením a teda človekom a prírodou.
 - i. Človek (figurína) vyvoláva aktiváciu objektu tým, že v cestnej premávke vytvorí pre objekt dopravnú situáciu, ktorá vytvára riziko zrážky
 - ii. Príroda ovplyvňuje procesy v objekte tým, že na objekt pôsobí vonkajšími vplyvmi (poveternostné podmienky, stav komunikácie, a iné..)
- b. Prejavové veličiny - do tejto skupiny patria veličiny vyjadrujúce prejavy (chovanie) objektu, ktoré zodpovedá stavom, do ktorých sa objekt dostal tak, že na objekte prebehli určité procesy. Prejavy v predmetnom prípade môžu byť:
 - i. Varovanie vodiča – zvuková signalizácia
 - ii. Varovanie vodiča – vizuálna signalizácia
 - iii. Autonómny zásah systému do jazdy vozidla – brzdenie (čiastočné, plné)
 - iv. Autonómny zásah systému do jazdy vozidla – vyhybanie

5. Realizácia praktického experimentu, Reálny experiment – je sústava cieľavedomých a cieľavedomých riadených činnosti a prostriedkov k ich realizácii, ktoré vykonáva subjekt na aktivovanom reálnom objekte, s cieľom získať objektivizované informácie a jeho prejavy. V našom prípade to všetko na základe priameho merania a priameho pozorovania na objekte. Toto potom slúži ako podklad pri riešení určitého problému na tomto objekte.

- a. Miesto realizácie – ako miesto realizácie experimentu je zvolené prírodné prostredie. Predmetný experiment nie je z technických možností možné vykonávať v prevádzkových podmienkach vozidla – intravilán.
- b. Spôsob využitia experimentu možno definovať ako konkretizačný, pri ktorom sú získavané vstupné údaje pre následnú analýzu dopravných nehôd.
- c. Experiment možno považovať na základe spôsobu riadenia za simulačný. Pri takomto experimente je charakteristické, že aktivácie objektu sa realizujú podľa dopredu stanovenej stratégie zadávania vstupných dát.

6. Spracovanie výsledkov

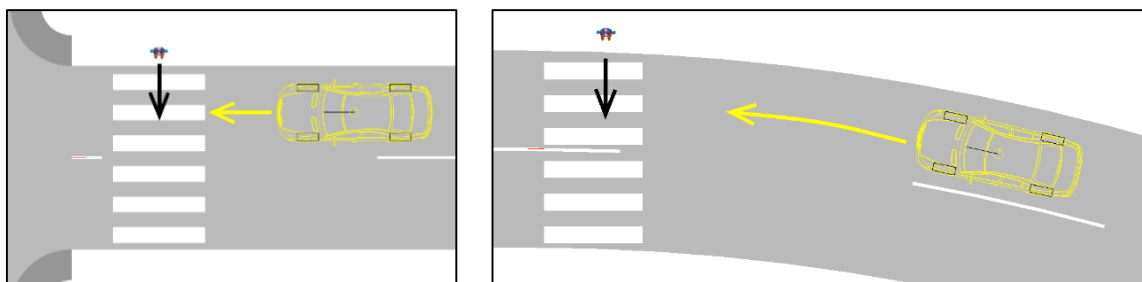
- a. Z hĺbkovej analýzy dynamiky vozidla bude vyhodnotená rýchlosť vozidla, vzdialenosť a časový interval od aktivácie varovného signálu upozorňujúceho vodiča pred možnou zrážkou s chodcom, po moment dosiahnutia koridoru pohybu chodca.
- b. Z hĺbkovej analýzy dynamiky vozidla bude vyhodnotená rýchlosť vozidla, vzdialenosť a časový interval od aktivácie autonomného brzdenia po moment dosiahnutia koridoru pohybu chodca.

5. Ciele práce

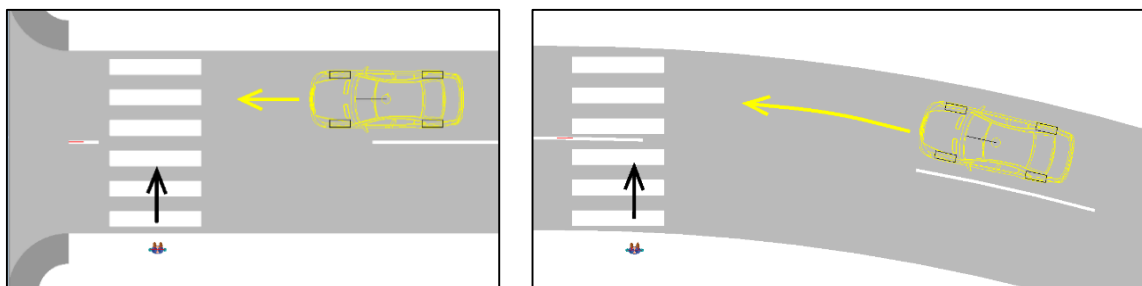
- 1) Navrhnuť metódu experimentálneho overovania aktívnych bezpečnostných systémov na rozpoznávanie chodcov, ktorá umožní overenie systému v reálnych dopravných situáciách a základnú figurínu dospelaj osoby na testovanie aktívnych bezpečnostných systémov na rozpoznávanie chodcov. Figurína musí byť svojimi reflexnými vlastnosťami pre radar podobná ľudskému telu.
- 2) Vykonať experimentálne meranie jedného vybraného systému. Na základe marení získať znalosti o chovaní systému a vyhodnotiť jeho funkčnosť, silné a slabé stránky.
- 3) Analyzovať závislosť rýchlosti pohybu vozidla na aktivácii systému a autonómneho zásahu do riadenia.

6. Výber reálnych smrteľných dopravných nehôd osobného motorového vozidla s chodcom

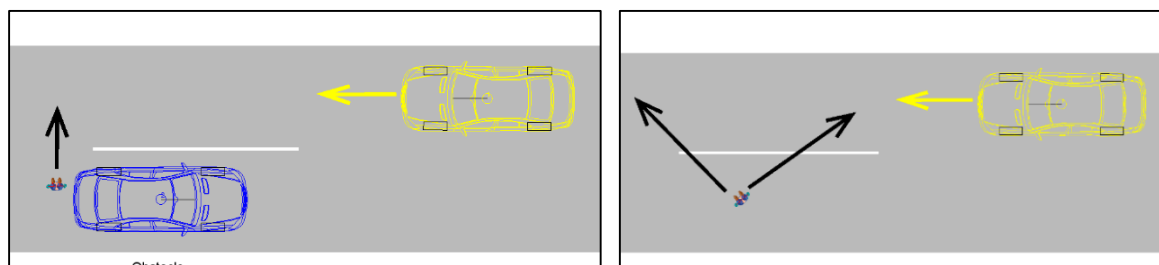
Na komplexné otestovanie aktívneho bezpečnostného systému na rozpoznávanie chodcov v krízových situáciách bolo potrebné pri výbere dopravných nehôd zvoliť nehody, ktoré by svojim charakterom a priebehom pohybu vozidla a chodca pokrývali celú škálu situácií pri dopravných nehodách. Pre potreby tejto dizertačnej práce bolo zvolených celkom 6 typov dopravných nehôd (pozri Obr. 39 až Obr. 41.)



Obr. 39 Jazda vozidla v priamom smere alebo v oblúku a vstup chodca do vozovky sprava. [60]



Obr. 40 Jazda vozidla v priamom smere alebo v oblúku a vstup chodca do vozovky zľava. [60]



Obr. 41 Priamy smer jazdy vozidla a vstup chodca do vozovky z pozadia objektu, v diagonálnom smere alebo chodec stojaci na okraji vozovky. [60]

Pri výbere reprezentatívnej vzorky dopravných nehôd bola použitá národná rakúska databáza ZEDATU. ZEDATU je centrálna databáza dopravných nehôd zameraná hlavne na smrteľné dopravné nehody. Štruktúra databázy je postavená na základe takzvaného protokolu STAIRS - Standardisation of Accident and Injury Registration Systems. Samotný protokol vznikol v spolupráci viacerých inštitúcií a univerzít v EÚ, aby svojim charakterom popisoval kompletné informácie k priebehu dopravnej nehody a zraneniam jednotlivých účastníkov.

Databáza obsahovala približne 3 500 smrteľných dopravných nehôd. Z celkového počtu bolo približne 2 500 smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel. Z tohto celku bolo približne 300 dopravných nehôd, kde bol účastníkom dopravnej nehody chodec. Po komplexnej analýze približne 300

dopravných nehôd bolo z tohto celku vybratých 18 štúdií, ktoré obsahovali komplexnú technickú dokumentáciu potrebnú k hĺbkovej analýze dopravnej nehody (plán miesta dopravnej nehody, fotografie, zdravotné správy o poraneniach, výpovede účastníkov, TP, a iné..).

6.1 Miesta výskytu dopravných nehôd prípadových štúdií

Databáza ZEDATU poskytovala obrovský priestor na výber dopravných nehôd, ktoré svojim charakterom mali pokrývať čo najširšie pole typických dopravných scenárov. V Tab. 7 je vyobrazený komplexný prehľad všetkých prípadových štúdií. Tabuľka je zameraná na popis miesta dopravnej nehody. Pre splnenie čo najširšieho záberu dopravných nehôd boli vybrané nehody volené z pohľadu času výskytu nehody od ranných hodín, t.j. 7:00 až do večerných 24:00. Prípadové štúdie 13-18 sa odohrali v období za znížených svetlených podmienok (súmrak až úplná tma). Výber dopravných nehôd som zamerl na intravilán a tomu zodpovedala aj maximálna povolená rýchlosť v predmetných oblastiach. V jednom prípade, aj keď sa jednalo o jazdu v intraviláne bola maximálne povolená rýchlosť 90 km/h. V 65 % prípadoch sa dopravná nehoda odohrala mimo oblasť križovatky. U celkovo 100 % prípadov bol povrch vozovky asfaltový a nevykazoval známky porušenia asfaltového povrchu. Následne je v Tab. 7 dôsledne rozpísané, či sa v zornom poli vodiča nachádzala prekážka, či v predmetnom úseku vozovky bolo vodorovné značenie, či sa jednalo o priechod pre chodcov a či pred samotným miestom zrážky bola značka priechod pre chodcov, či predmetný priechod bol osadený semaforom a či v oblasti MDN bolo funkčne pouličné osvetlenie. (ozn. 0- nie , 1- áno, x- nezistené)

Štúdia č.	Čas nehody [hod]	Rýchlostný limit [km/h]	Križovatka	Vozovka	Povrch vozovky	Stav oblohy	Prekážka v zornom poli vodiča	Vodorovné značenie	Priechod ozn. značkou	Semafor	Pouličné osvetlenie
1	10:00	40	0	asfalt	mokro	polojasno	1	1	0	0	
2	18:30	50	0	asfalt	sucho	zamračené	0	1	0	0	
3	16:45	30	0	asfalt	sucho	polojasno	0	1	1	1	
4	12:50	50	1	asfalt	mokro	polojasno	1	1	0	0	
5	18:00	50	1	asfalt	sucho	polojasno	0	0	0	0	
6	15:45	50	0	asfalt	mokro	zamračené	0	1	1	1	
7	17:30	50	0	asfalt	sucho	jasno	0	0	0	0	
8	7:00	50	1	asfalt	mokro	zamračené	1	1	1	0	
9	9:00	50	1	asfalt	sucho	jasno	0	1	1	0	
10	15:15	90	0	asfalt	sucho	jasno	0	1	0	0	
11	15:45	50	1	asfalt	sucho	zamračené	0	1	1	0	
12	7:00	50	1	asfalt	sucho	jasno	0	1	1	1	
13	0:15	30	0	asfalt	mokro	dážď	0	0	0	0	0
14	17:15	50	0	asfalt	mokro	jasno	1	1	1	1	1
15	19:08	50	0	asfalt	sucho	jasno	0	1	0	0	0
16	23:00	50	0	asfalt	sucho	jasno	1	0	0	0	1
17	20:00	50	1	asfalt	mokro	dážď	1	1	1	0	1
18	17:45	50	1	asfalt	sucho	jasno	1	1	0	0	1

Tab. 7 Prehľad prípadových štúdií, miesto a podmienky ich výskytu.

6.2 Kolidujúce vozidlá a ich poškodenie v prípadových štúdiách

Komplexnosť prípadových štúdií je ďalej možné vidieť v Tab. 8, ktorá prehľadne popisuje vozidlo zúčastnené na dopravnej nehode. Z prehľadu je zrejmé, že ako značky vozidiel, tak aj samotný typ vozidla je od kategórie Super Mini Car (SMC) cez Small Family Car (SMC), Large family Car (LFC), Multi Purpose Vehycle (MPV) až po One Box Car. Vek vozidiel sa v celkovom priemere pohyboval okolo 12 rokov. Niektoré typy vozidiel prešli testovaciu procedúrou Euro NCAP zameranou na ochranu chodcov. Výsledok hodnotenia je zobrazený v stĺpci – ochrana chodcov. Pre samotné vyhodnocovanie analýzy priebehu dopravnej nehody boli dôležité najmä poškodenia karosérie a čelného skla zanechané po zrážke. Poškodenie karosérie je obodované číslami 0-10, kde 0-nárazník, 1-ľavý blatník, 2-kapota, 3-pravý blatník, 4-ľavé predné dvere, 5-čelné sklo, 6-ľavé zadné dvere, 7-strecha, 8-pravé zadné dvere, 9-iné, 10-podvozok. Samotné poškodenie čelného skla je rozdelené do 9 segmentov. Týchto 9 segmentov je vytvorených mriežkou 3x3 v oblasti čelného skla. Číslo 1 je v ľavom dolnom rohu pri pohľade na vozidlo a následne čísla postupujú zľava doprava vždy po riadkoch.

Štúdia č.	Značka	Typ	Rok registrácie	Ochrana chodcov	Výkon (kW)	Farba	Pohon	ABS	Znaky poškodenia na karosérii	Poškodenie čelného skla	Počet dverí
1	Opel	Astra	1999	1p	50	Biela	P	0	2,3	0	5
2	Citroen	AX	1990	x	37	Biela	P	0	5	5	5
3	Opel	Corsa	1990	1p	40	Černá	P	0	0,2	0	3
4	Peugeot	306	1994	1p	47	Zelená	P	x	0,2,4,5	5	5
5	Volvo	S70	1997	x	103	Zelená	P	1	3,4	0	4
6	VW	Multivan	1989	x	51	Hnedá	Z	0	0	0	4
7	BMW	3	1995	2p	66	Čierna	Z	1	0,2,5	2	4
8	Honda	Civic	1990	x	81	Čierna	P	x	0,1,2,5	1	3
9	VW	Sharan	2006	2p	85	Siva	P	0	0	0	5
10	VW	70D	1993	x	57	Modrá	P	x	0,1,2	0	4
11	Mitshubishi	Pajero	1992	x	73	Zelena	P	1	0,2	0	5
12	Ford	Transit	1999	x	55	Biela	Z	1	2	0	4
13	Toyota	Avensis	2001	2p	81	Siva	P	1	0,1,10	0	4
14	Mazda	Demio	1999	x	x	Modra	P	x	0,2,3,5	3	5
15	Renault	Twingo	1993	2	40	Zelena	P	x	0,1,2,4,5,8	5	3
16	Opel	Corsa	2003	1p	51	Zelena	P	1	x	0	5
17	VW	Passat	1993	x	66	Modrá	P	0	0,1,5	1	5
18	VW	L70	2000	x	75	Biela	Z	1	0,1,2,5	2	4

Tab. 8 Prehľad prípadových štúdií, vozidlo a jeho poškodenie v dôsledku DN.

6.3 Vodič vozidla zúčastneného na dopravnej nehode

Z výberu prípadových štúdií, ktoré obsahovali všetky technické náležitosti pre analýzu dopravnej nehody vyplynulo, že vo všetkých prípadových štúdiách sa jednalo o vodiča muža. Vek vodiča motorového vozidla bol od 18 rokov do 61 rokov. Z výpovedí jednotlivých vodičov bolo možné predbežne zostaviť prehľad rýchlosti pohybu vozidla v čase zrážky. Samotný prehľad pohybu vozidla pred zrážkou bude v následných kapitolách porovnaný s výslednom analýzou dopravnej nehody. Cieľom bude porovnať objektivnosť výpovedí vodičov. Vodiči sa po príjazde policajných zložiek podrobili

dychovej skúške na prítomnosť alkoholu. Z technickej dokumentácie vyplynulo, že žiadny vodič neriadil vozidlo pod vplyvom alkoholu. Niektoré z vozidiel boli vybavené airbagom vodiča. V dôsledku zrážky s chodcom nedošlo ani v jednom prípade k aktivácii samotného airbagu. (ozn. 0- nie, 1- áno, x- nezistené)

Štúdia č.	Pohlavie	Vek vodiča v dobe DN (roky)	Zamestnanie	Rýchlosť jazdy podľa vodiča [km/h]	Test na alkohol (mg/l)	Prítomnosť airbagu	Aktivácia airbagu
1	muž	39	úradník	20-25	0,00	1	0
2	muž	42	tel. technik	50	0,00	0	0
3	muž	54	dôchodca	10-15	0,00	0	0
4	muž	18	elektrikár	40-50	0,00	0	0
5	muž	59	dôchodca	25	0,00	0	x
6	muž	53	vedúci smeny	x	0,00	0	x
7	muž	23	pokladač	40-50	0,00	1	0
8	muž	21	elektrotechnik	50	0,00	x	x
9	muž	46	živnostník	15	0,00	1	0
10	muž	38	vodár	70	0,00	0	x
11	muž	61	mechanik	30	0,00	0	0
12	muž	53	elektrotechnik	x	0,00	0	x
13	muž	36	taxikár	30	0,00	1	0
14	muž	34	úradník	30-40	0,00	1	0
15	muž	19	čaušník	X	0,00	1	0
16	muž	41	živnostník	30-40	0,00	1	0
17	muž	20	študent	<45	0,00	1	0
18	muž	46	učiteľ	x	0,00	1	0

Tab. 9 Prehľad prípadových štúdií - vodič a aktivácia airbagu vo vozidle.

6.4 Chodci zúčastnení na dopravnej nehode v prípadových štúdiách

V kap.2.4 (Graf 1) bola popísaná závislosť veku chodca na závažnosti poranení pri dopravnej nehode. Z grafu 1 vyplynulo, že vo vekovej kategórii nad 60 rokov dochádza v dôsledku poranení k najvyššej úmrtnosti chodcov. Z výberu prípadových štúdií dopravných nehôd vyplynulo, že vo viac ako 75 % prípadoch bol vek chodca nad 60 rokov. Rozloženie pohlavia chodcov v prípadových štúdiách je 50/50. Až na jednu prípadovú štúdiu obsahoval spisový materiál aj lekársku správu o poranení chodca. Z predmetného materiálu sa v niektorých prípadoch dala určiť výška chodca, jeho váha, ako aj oblečenie, v ktorom bol pacient dovezený a doba úmrtia po dopravnej nehode.

Dôležitou informáciou okrem výšky a váhy chodca je pre samotnú analýzu priebehu dopravnej nehody smer pohybu chodca. Na základe výpovedí vodičov a svedkov bolo možné predbežne určiť smer pohybu chodcov v dobe dopravnej nehody. Pri samotnej analýze nehodového deja bude následne overené či predmetný pohyb odpovedá skutočnosti.

V prípadových štúdiách, kedy osoba ležala vo vozovke bolo pri súdnolekárskej pitve zistené, že tieto osoby boli pod značným vplyvom alkoholu.

Štúdia č.	Pohlavie	Lekárska správa	Vek chodca	Práca	Výška [m]	Váha [kg]	Hladina alkoholu	Smer pohybu	Farba oblečenia				Doba smrti po nehode
									Hlava	Trup	Nohy	Chodidla	
1	žena	1	69	dôchodca	1,6	x	0	zľava	0	5	7	5	12D
2	žena	1	71	dôchodca	x	x	x	zľava	x	1	1	x	3D
3	žena	0	78	dôchodca	x	x	0	sprava	x	7	7	7	x
4	muž	1	96	dôchodca	1,75	77	x	zľava	x	x	x	x	10D
5	žena	1	89	dôchodca	x	x	0	sprava	x	6	x	x	10D
6	žena	1	84	dôchodca	x	x	x	sprava	1, 3	11	11	7	3H
7	muž	1	91	dôchodca	x	x	0	zľava	x	13	13	x	1H
8	muž	1	43	sekretárka	1,61	71	x	zľava	x	x	x	x	8D
9	žena	1	69	dôchodca	1,73	86	x	zľava	x	3	1	4	0H
10	muž	1	12	študent	1,48	45	0	Stojací	x	x	x	x	2D
11	muž	1	61	dôchodca	1,53	x	0	sprava	x	x	x	x	x
12	žena	1	45	nezam.	x	x	x	zľava	x	14	1	5	x
13	žena	1	62	doma	x	x	2,3	Ležec	x	11	1	6	0H
14	muž	1	81	dôchodca	1,83	x	0,95	Zľava	x	4	4	5	x
15	žena	1	77	dôchodca	1,76	80	0	zľava	x	7	7	x	x
16	muž	1	28	nezam.	x	x	x	zľava	x	x	x	x	1H
17	žena	1	92	dôchodca	1,46	58	x	zľava	x	13	7	x	3H
18	muž	1	84	dôchodca	1,74	79	0,02	zľava	x	x	x	x	0H

Tab. 10 Prehľad prípadových štúdií - popis chodca.

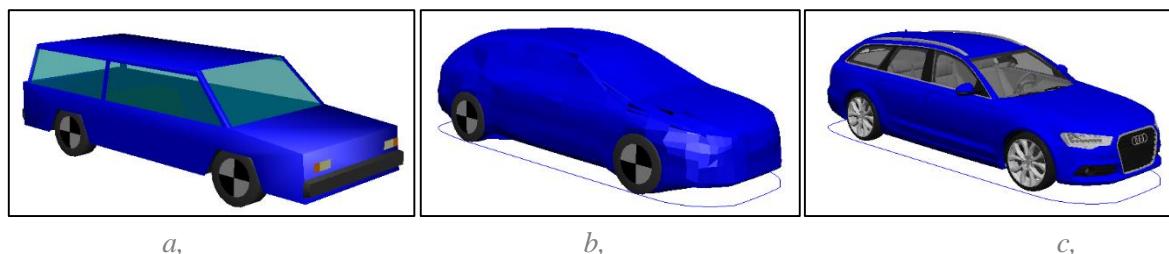
7. Rekonštrukcia reálnych fatálnych dopravných nehôd

Rekonštrukcia reálnych fatálnych dopravných nehôd, ktoré sa odohrali v intraviláne, prebiehala na najvyššom stupni vedeckého poznania a bádania. Pri samotnej rekonštrukcii dopravných nehôd bol využívaný simulačný program PC-Crash 10.0. Základný prehľad matematických modelov programu PC-Crash, ktoré slúžili na rekonštrukciu dopravných nehôd chodcov s vozidlami je popísaný v kapitole

7.1 Teoretické východisko riešenia dopravných nehôd v programe PC-Crash 10.0 [63]

Pri simulácii dopravných nehôd pomocou kinetických 3-dimenzionálnych simulačných programov sa vozidlá považujú všeobecne za tuhé telesá. Toto zjednodušenie je prípustné pri simulácii kolízií vozidlo – vozidlo, ako aj simulácii kolízií vozidla a súpravy s prívesom a pri kolíziách s tuhými prekážkami. Ak sa však majú okrem toho simulovať aj kolízie, resp. pohybová dynamika chodcov, nie je takéto zjednodušenie prípustné, minimálne v prípade chodca. Na dosiahnutie realistických výsledkov a pohybov pri simulácii je potrebné vymodelovanie chodcov, pasažierov alebo menších objektov vo forme viactelesových systémov. Viactelesový systém je systém nepohyblivých telies vzájomne spojených kĺbmi. Tento model umožňuje výpočet kolízií vozidlo - chodec skoro rovnako jednoducho ako kolízií vozidlo – vozidlo. Použitie viactelesového systému umožňuje aj priradenie poranení chodcov a posádky poškodeným oblastiam na vozidle. Model okrem toho umožňuje manipuláciu s rôznymi figurínami chodcov (veľkosť a hmotnosť) pri rôznych počiatočných podmienkach (v stoji, v chôdzi, v behu). Geometria vozidla má výrazný vplyv na dynamiku chodca a preto umožňuje tento model použitie rôznych tvarov vozidiel. Tvar karosérie je možné nastaviť výberom správneho DXF modelu vozidla.

V drôtenom kontaktnom modeli sa vozidlá modelujú ako drôtené štruktúry tvorené uzlami (nodes) a plochami (faces). Drôtená štruktúra sa dá pripojiť aj ako trojdimenzionálny výkres alebo sa môže odvodiť zo štandardného tvaru karosérie programu PC-Crash, pričom základom budú vložené rozmery (pozri Obr. 42b). Drôtený model používa na výpočet nárazových síl pre každý jednotlivý uzol model nárazu založený na tlaku deformácii uzla. Súčasne sa zohľadňujú aj trecie sily. Uzly drôteného kontaktného modelu sú body, na ktorých je v dôsledku nárazu možná deformácia, pričom plochy definujú kontaktný povrch pre model.



Obr. 42 a, základný model vozidla Audi A6 b, mesh model vozidla Audi A6 c, mesh model vozidla doplnený o vizuálnu podobu vozidla. [61]

Rýchlosť, čas a ďalšie parametre brzdeného resp. nebrzdeného vozidla vo fázach pred nárazom a po náraze možno definovať závislosťami vo všeobecnom tvare. Matematický model vychádza z pohybu rovnomerne spomaľujúceho telesa, kde pre čas platí :

$$\int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt = \int_{v_1}^{v_2} d(m \cdot v) \quad (3)$$

pre dráhu platí :

$$\int_{s_1}^{s_2} F \cdot ds = \int_{v_1}^{v_2} d\left(\frac{1}{2} m \cdot v^2\right) \quad (4)$$

pre jednoduchý translačný pohyb brzdenie pri plnom účinku:

$$v_{x1} = \sqrt{2 \cdot a_x \cdot s_x} \quad [\text{m/s}] \quad t_{x1} = \sqrt{\frac{2 \cdot s_x}{a_x}} \quad [\text{s}] \quad (5,6)$$

brzdenie počas nábehu brzdového účinku :

$$v_{x2} = a_{nb} \cdot t_{nb} + v_{x1} \quad [\text{m/s}] \quad s_{nb} = v_{x1} \cdot t_{nb} + \frac{1}{2} \cdot a_{nb} \cdot t_{nb}^2 \quad [\text{m}] \quad (7,8)$$

reakcia vodiča :

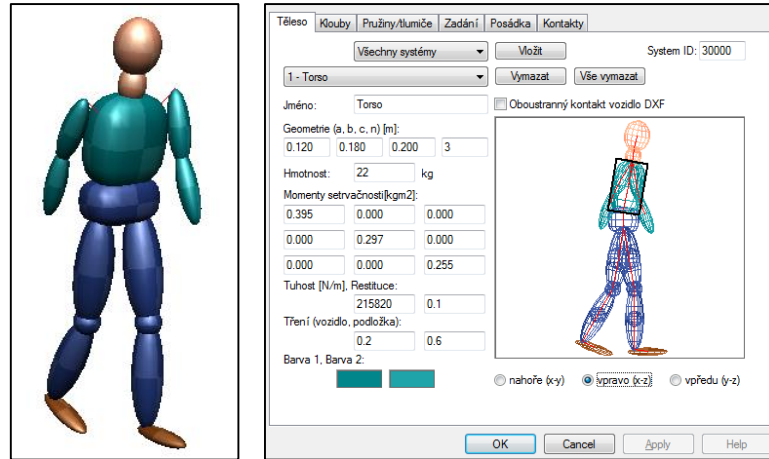
$$v_{x2} = v_{x3} \quad [\text{m/s}] \quad s_r = v_{x3} \cdot t_r \quad [\text{m}] \quad (9,10)$$

7.1.1 Multibody

Prvky viactelesového modelu chodca (hlava, trup, panva atď.) sú vzájomne spojené otočnými kĺbmi. Pre každé telo sú dostupné rôzne vlastnosti, ako geometria, hmotnosť a kontaktná tuhosť a koeficienty trenia. Geometriu každého telesa špecifikuje všeobecný elipsoid n rádu. Počet telies a kĺbov ovplyvňuje trvanie výpočtu. Medzi trvaním výpočtu a detailmi modelu musíte nájsť vhodný kompromis. Chodci a pasažieri sa vymodelujú napr. z 20 telies vzájomne spojených 19 kĺbmi. Telesá 16 až 19 sú telesá nôh so zaobleným tvarom ako telesá 2, 3, 5 a 6, ktoré slúžia na rozpoznanie a úpravu kontaktných síl nôh. Telesá 2, 3, 5 a 6 sú elipsoidy, ktoré sú niekedy príliš dlhé na modelovanie nárazových síl nárazníkoch.

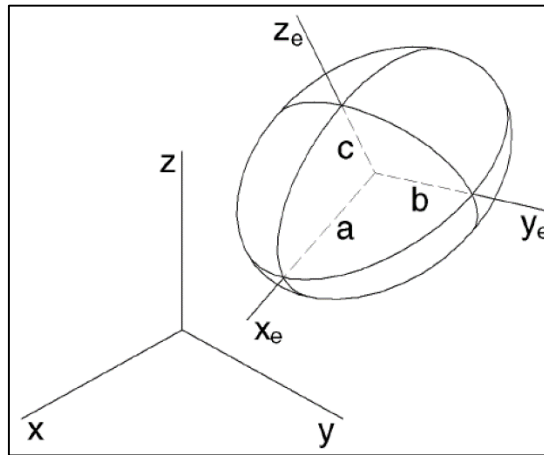
Pre každé teleso viactelesového systému môžete vlastnosti definovať samostatne:

- Geometria každého telesa reprezentuje všeobecný elipsoid, pri ktorom sa dá určiť dĺžka každej osi (a, b, c) a rád (n). 2rády s rovnakými rozmermi a, b a c vytvárajú guľovú plochu. Vyššie rádivé hodnoty splošťujú boky elipsoidu zostrujú hrany.
- Hmotnosť a momenty zotrvačnosti musia špecifikovať momenty zotrvačnosti okolo každej z troch osí tela a jeho hmotnosť.
- Koeficient tuhosti - pre každé telo existuje koeficient tuhosti, ktorý sa použije na výpočet kontaktných síl.
- Koeficient trenia – je možné určiť dva koeficienty trenia. Jeden sa použije pre kontakt elipsoidu s vozidlom a druhý pre kontakty medzi elipsoidmi a podkladu. Tieto koeficienty trenia sa prijímajú bez ohľadu na hĺbku prieniku.



Obr. 43 Multibody a možnosti jeho nastavenie. [60]

Viactelesový systém používa dva rozdielne súradnicové systémy. Jedným z nich je iniciálny systém a druhý súradnicový systém s pevným telesom. Súradnicový systém s pevným telesom je definovaný polosami elipsoidu.



Obr. 44 Iničiálny priestor a súradnicový systém pevného telesa. [61]

Nasledujúce rovnice popisujú povrch a normály povrchu pre všeobecné elipsoidy rádu n s polosami a , b a c :

$$P = \begin{pmatrix} X_e \\ Y_e \\ Z_e \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$X_e(u, v) = a \cdot \cos^{\frac{2}{n}}(v) \cdot \cos^{\frac{2}{n}}(u) \quad (12)$$

$$Y_e(u, v) = b \cdot \cos^{\frac{2}{n}}(v) \cdot \sin^{\frac{2}{n}}(u) \quad (13)$$

$$Z_e(u, v) = c \cdot \sin^{\frac{2}{n}}(v) \quad (14)$$

$$\vec{n}(u, v) = \frac{1}{a} \cdot \cos^{2-\frac{2}{n}}(v) \cdot \cos^{2-\frac{2}{n}}(u) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{b} \cdot \cos^{2-\frac{2}{n}}(v) \cdot \sin^{2-\frac{2}{n}}(u) \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{c} \sin^{2-\frac{2}{n}}(v) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

pričom u uhol osi X_e elipsoidu sa nachádza v jeho rovine X_e - Y_e a v uhol je nad jeho rovinou X_e - Y_e , s rozsahmi:

$$u \in [-\pi, \pi] \quad (16)$$

$$v \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (17)$$

Pri simulácii viactelesového systému sa vypočítavajú externé sily (gravitácia, kontaktné sily, sily v kĺboch a trecie sily) pôsobiace na každú časť tela v každom okamihu. Po stanovení externých síl sa pohyb tela vypočíta samostatne na základe numerického riešenia pohybových rovníc. Pohybové rovnice využívajú na popis pohybu každého telesa a vplyvu externých síl a impulzov rovnováhu síl a zachovanie rotačného impulzu [57,58].

$$m_i \cdot \ddot{\vec{x}}_i = \sum_j \vec{F}_j \quad (18)$$

$$\theta_i \cdot \dot{\vec{\omega}}_i + \vec{\omega}_i \times \theta_i \cdot \vec{\omega}_i = \sum_j \vec{M}_j \quad (19)$$

$$\theta_i = \begin{pmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{pmatrix} \quad (20)$$

pričom:

m_i hmotnosť objektu i

\vec{x}_i akcelerácia v centre gravitácie objektu i

θ_i hmotnosť tenzoru pre objekt i

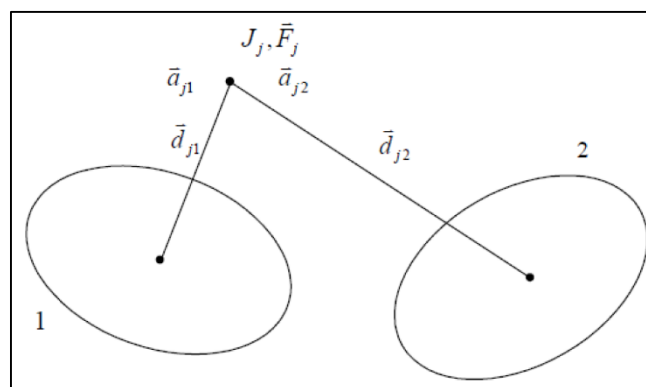
$\dot{\vec{\omega}}_i$ uhlová akcelerácia objektu i

\vec{F}_j vonkajšia sila pôsobiaca na objekt j

\vec{M}_j externá moment pôsobiaci na objekt j

7.1.1.1 Definícia kĺbov

Pre každý kĺb J_i , na spojenie 2 telies sa definuje poloha kĺbu a niekoľko parametrov vlastností kĺbu. Vektory polohy kĺbu d_{i1} a d_{i2} sa určujú v súradnicovom systéme každého telesa, ktoré sú spojené kĺbom. Používajú sa guľové a panvové kĺby (priemer kĺbu = 2 cm), pre ktoré sa určuje koeficient trenia a rotačná tuhosť. Obmedzenia pohybu v osi sa dajú dosahovať zvýšením rotačnej tuhosti danej osi.



Obr. 45 Definícia kĺbu. [61]

Pre každý časový krok sa musia riešiť rovnice pre kĺby celého viactelesového systému. Tieto rovnice sa riešia explicitne. Podmienkou vybranej metódy je splnenie nasledujúcich dvoch podmienok v každom časovom kroku:

- sily v kĺboch medzi dvoma telesami musia byť v magnitúde a v protíľahlom smere rovnaké,

- zrýchlenia v polohe kĺbu musia byť pre obe telesá identické.

V prvom kroku sa vypočítajú zrýchlenia na miestach kĺbov pre obe telesá bez zohľadnenia externých síl pôsobiacich na kĺby. V druhom kroku sa aplikujú jednotlivé silové zložky a vypočítajú sa príslušné zrýchlenia v polohách kĺbov. Naformuluje sa súbor algebraických rovníc, ktoré sú založené na lineárnom pomere zrýchlenia polohy kĺbu a zrýchlenia kĺbe, na základe ktorého sa stanoví externé sily pôsobiace medzi obidvoma telesami. V programe PC-Crash sa preveruje poloha a rýchlosť telesa na mieste kĺbu. Pokiaľ chyba prekročí istú hodnotu, výpočet sa preruší a následne sa zopakuje s kratším integračným časovým krokom, preto nedochádza k žiadnemu významnému oddeleniu oboch telies v kĺbe, a to ani pri integrácii v rámci dlhého časového intervalu.

$$\begin{pmatrix} \overrightarrow{a_{1,1}} & \overrightarrow{a_{1,2}} \\ \overrightarrow{a_{2,1}} & \overrightarrow{a_{2,2}} \\ \vdots & \vdots \\ \overrightarrow{a_{j,1}} & \overrightarrow{a_{j,2}} \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} \overrightarrow{F_1} \\ \overrightarrow{F_2} \\ \vdots \\ \overrightarrow{F_j} \end{pmatrix} \quad (21)$$

pričom:

* $a_{j,1}, *a_{j,2}$ = zrýchlenia na mieste kĺbu pre teleso a teleso b, spojené s kĺbom j

A = 3j x 3j matica, ktorá reprezentuje reláciu medzi silami v kĺbe a zrýchlením v kĺbe pre kĺby j

* F_j = sila na kĺbe j.

7.1.2 Kontaktné modely

Kontaktné modely založené na lineárnej funkcii tuhosti sa používajú na výpočet kontaktných síl medzi dvoma viactelesovými objektmi alebo telesom a iným objektom. Na stanovenie objemu elasticity počas kontaktu sa určuje reštitučný koeficient. Po výpočte kontaktnej normálovej sily sa vypočítajú trecie sily použitím špecifikovaného kontaktného trenia medzi dvoma telesami, preto je umožnený výpočet zrážok so skĺznutím, čiastočným skĺznutím plne prekrytých zrážok. Výpočet hĺbky prieniku, polohy bodu zrážky a smerovania roviny dotyku sa realizuje automaticky. Používateľ nemusí zasahovať do výpočtu týchto zrážok, kde boli špecifikované všeobecné parametre telesa.

$$\overrightarrow{F_{na}} = \lambda \cdot S \quad (22)$$

$$\overrightarrow{F_{ns}} = \varepsilon^2 \lambda \cdot S \quad (23)$$

pričom:

F_{na} kontaktná normálová sila pri približovaní sa telesa

F_{ns} kontaktná normálová sila pri oddeľujúcich sa telesách

S koeficient tuhosti

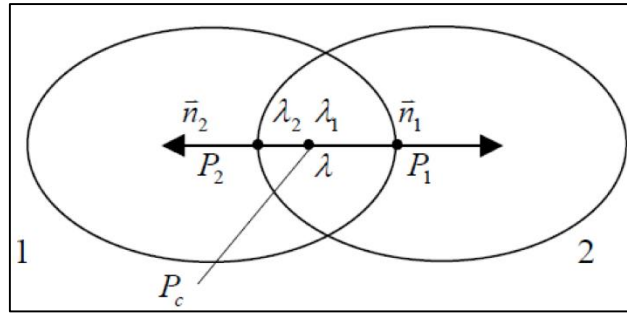
λ hĺbka prieniku

ε reštitučný koeficient

Sú možné tri rozdielne konfigurácie nárazu:

7.1.2.1 Kontakt elipsoid – elipsoid

Pri kontaktoch elipsoid – elipsoid sa predpokladá, že bod kontaktu sa nachádza na línii medzi dvoma bodmi, pričom jeden bod sa nachádza na povrchu prvého elipsoidu a druhý bod na povrchu druhého elipsoidu. Tangenciálne roviny oboch bodov sú rovnobežné a vzdialenosť týchto dvoch rovín je minimálna. Presná poloha kontaktného bodu sa dá vypočítať pomocou hodnôt tuhosti telesa.



Obr. 46 Kontakt elipsoid – elipsoid.[60]

Nasledujúce rovnice sa riešia λ numericky pri použití dvojdimenzionálnej metódy Simplex [132].

$$\vec{n}_1 = -\vec{n}_2 \quad (24)$$

$$\lambda = |P_1 - P_2| = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (25)$$

$$\lambda \rightarrow \min. \quad (26)$$

$$\vec{F}_{n1} = -\vec{F}_{n2} \quad (27)$$

$$\vec{F}_{n1} = -\lambda_1 \cdot S_1 \cdot \vec{n}_1 \quad (28)$$

$$\vec{F}_{n2} = -\lambda_2 \cdot S_2 \cdot \vec{n}_2 \quad (29)$$

$$P_c = P_1 - \vec{n}_1 \cdot \lambda_1 = P_2 - \vec{n}_2 \cdot \lambda_2 \quad (30)$$

$$\mu_c = \min(\mu_1, \mu_2) \quad (31)$$

$$\vec{F}_{t1} = |\vec{F}_{n1}| \cdot \mu_c \cdot \left\| \vec{v}_{pc2} - \vec{v}_{pc1} \right\| \quad (32)$$

$$\vec{F}_{t2} = |\vec{F}_{n2}| \cdot \mu_c \cdot \left\| \vec{v}_{pc1} - \vec{v}_{pc2} \right\| \quad (33)$$

pričom:

F_{n1}, F_{n2} zložky normálovej kontaktnej sily na elipsoide 1, 2

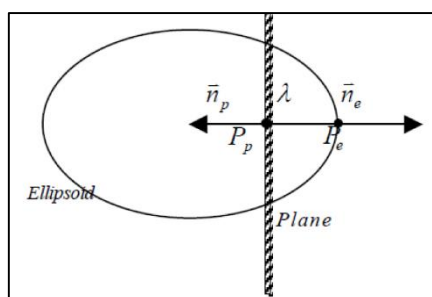
F_{t1}, F_{t2} zložky tangenciálnej kontaktnej sily na elipsoide 1, 2

μ_c kontaktné trenie

Zložka tangenciálnej kontaktnej sily sa vypočíta pri použití nízkeho koeficientu trenia telies medzi dvoma elipsoidmi. Smer tangenciálnej sily definuje smer relatívnej rýchlosti kontaktného bodu.

7.1.2.2 Kontakt elipsoid – vozidlo

Pre kontakt s chodcom sa vozidlá považujú v programe PC-Crash za tuhé telesá. Povrch vozidla je definovaný niekoľkými rovinami, ktoré tvoria trojhranné polygóny. Tvar karosérie sa dá definovať buď vložením špecifických geometrických dĺžok pre karosériu alebo importom detailných 3D výkresov vozidiel (dxf model pozri Obr. 42). Predpokladá sa, že kontaktný bod sa nachádza na povrchu roviny vozidla, deformácia vozidla sa preto nezohľadňuje. Kontaktný bod sa musí nachádzať v rámci troch bodov, ktoré vytvárajú trojhrannú polygonálnu rovinu vozidla, ktorej sa dotýka. Prienik elipsoidu je vzdialenosť medzi bodom elipsoidu, v ktorom je trojhranná rovina rovnobežná s kontaktnou rovinou a rovinou dotyku. Tangenciálne zložky kontaktnej sily sa vypočítajú pomocou trenia elipsoid – vozidlo a relatívna rýchlosť kontaktných bodov. Kontaktná sila elipsoidu sa vzťahuje na vozidlo ako externá sila, preto sa môže analyzovať vplyv nárazu chodca na po kolízny pohyb vozidla.



Obr. 47 Kontakt elipsoid – rovina. [61]

$$\vec{n}_e = -\vec{n}_p \quad (34)$$

$$\lambda = |P_e - P_p| \quad (35)$$

$$\vec{F}_{np} = -\lambda \cdot S_e \cdot \vec{n}_e \quad (36)$$

$$\vec{F}_{te} = |\vec{F}_{ne}| \cdot \mu \cdot \left| \vec{v}_{p_{cp}} - \vec{v}_{p_{ce}} \right| \quad (37)$$

$$\vec{F}_{tp} = |\vec{F}_{np}| \cdot \mu \cdot \left| \vec{v}_{p_{ce}} - \vec{v}_{p_{cp}} \right| \quad (38)$$

pričom:

F_{ne}, F_{np} zložka normálovej kontaktnej sily na elipsoide a rovine

F_{te}, F_{tp} zložka tangenciálnej kontaktnej sily na elipsoide a rovine

μ kontaktné trenie.

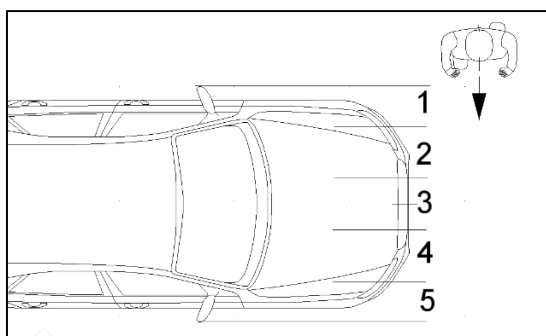
7.1.2.3 Kontakty elipsoid – podklad

V prostredí programu PC-Crash sa dá podklad definovať 3D polygónmi sklonu. Pre každý polygón sklonu možno nastaviť hodnotu trenia, preto je výpočet kontaktu medzi elipsoidmi viactelesového systému a podkladom rovnaký ako medzi vozidlom a elipsoidmi. Polygóny sklonu nemajú žiadnu rýchlosť a predpokladá sa, že sila pôsobiaca na polygón podkladu nespôsobí žiadny pohyb polygónu.

7.2 Rozbor prípadových štúdií

Pre samotnú rekonštrukciu dopravných nehôd v programe PC-Crash bolo potrebné vhodné nastavenie samotného modelu chodca - multibody, ktorý svojim charakterom odpovedal fyziologickým vlastnostiam osoby zúčastnenej na dopravnej nehode. Základné informácie o polohe chodca v čase zrážky bolo možné čerpať mimo aj na základe lekárskeho správ (zranenia jednotlivých častí tela). Z Tab. 10 vyplynulo, že celkom v deviatich prípadových štúdiách bolo možné z lekárskeho správ zistiť výšku chodca. Celkom v šiestich prípadových štúdiách bolo možné zistiť aj váhu chodca.

K dôležitým prvkom pri rekonštrukcii dopravných nehôd bolo aj správne nastavenie technických parametrov vozidla, ktoré sa zúčastnilo na predmetnej dopravnej nehode. Technické údaje o vozidle bolo možné čerpať z technických preukazov doložených v spisovom materiály k predmetnej dopravnej nehode. Na základe výrobného značky vozidla, typu vozidla, technickej špecifikácii (váha vozidla, druh karosérie, typ motora. .) bolo z databázy programu PC-Crash volené vozidlo technický zhodné s technickým preukazom. Databáza programu PC-Crash umožňuje takúto voľbu vozidla. Definícia polohy chodca voči vozidlu pri zrážke je definovaná podľa Obr. 48.

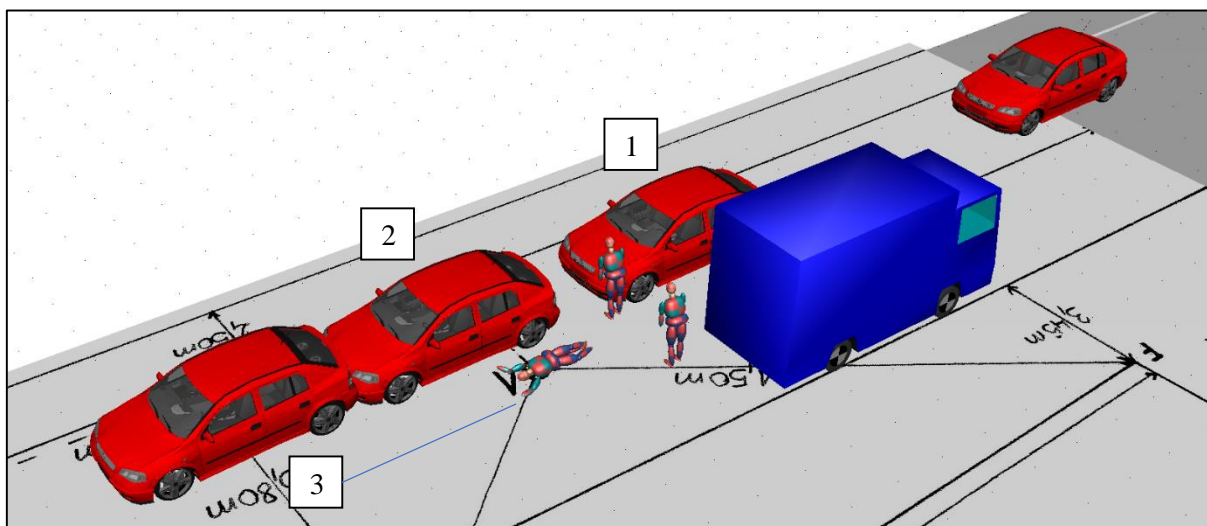


Obr. 48 Definícia polohy chodca voči vozidlu pri zrážke. [61]

Pri teoretickom odvodení základných rovníc boli použité popisy dráhy s [m], rýchlosti v [m/s] a času t [s]. V technicko-právnej problematike súdneho inžinierstva sa pri výpočtoch používajú najčastejšie jednotky dráhy - metre a jednotky času - sekundy. Vypočítaná rýchlosť sa následne vo väčšine prípadov uvádza z dôvodu právnych predpisov v km/h (zaokrúhlená na celé číslo pri rýchlosti pohybu vozidla, a na jedno desatiny miesto pri rýchlosti pohybu chodca). Vypočítaný čas je následne vo väčšine prípadov zaokrúhlený na jedno desatiny miesto. Technicky prijateľná odchýlka analyzovaných veličín je +/- 10%.

7.2.1 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.1

Z analýzy štúdie č. 1 vyplynulo, že vozidlo Opel Astra jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 23 km/h. Chodec vstúpil spoza nákladného vozidla kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,6 km/h. K zrážke vozidla s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič pred zrážkou nereagoval na pohyb chodca. Poloha č.1 na Obr. 49 zobrazuje reakciu vodiča na chodca, poloha č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a poloha č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca.

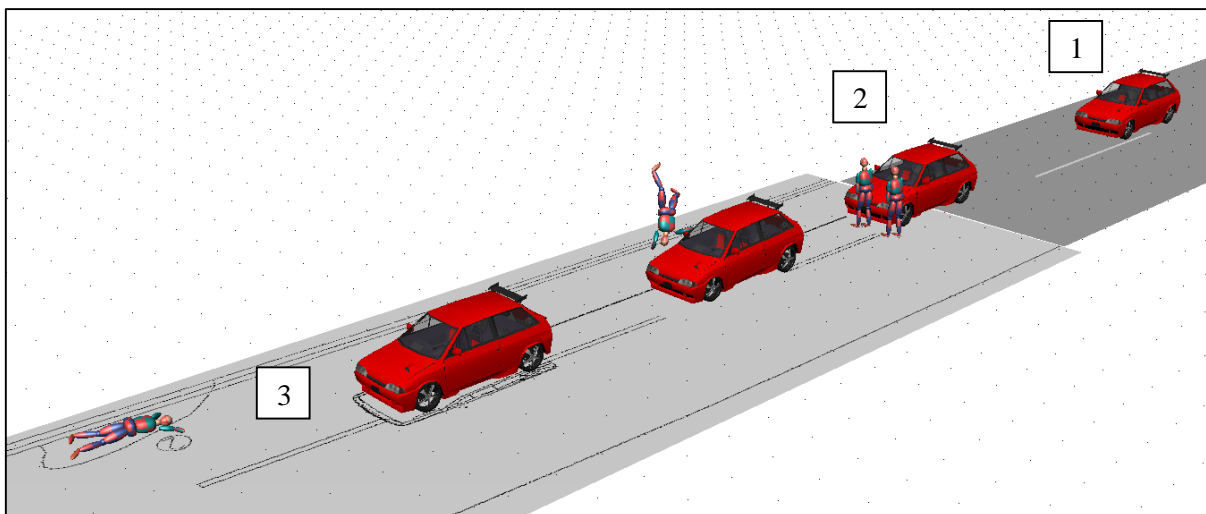


Obr. 49 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.1. [60]

7.2.2 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.2

Z analýzy štúdie č.2 vyplynulo, že vozidlo Citroen AX jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 47 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou

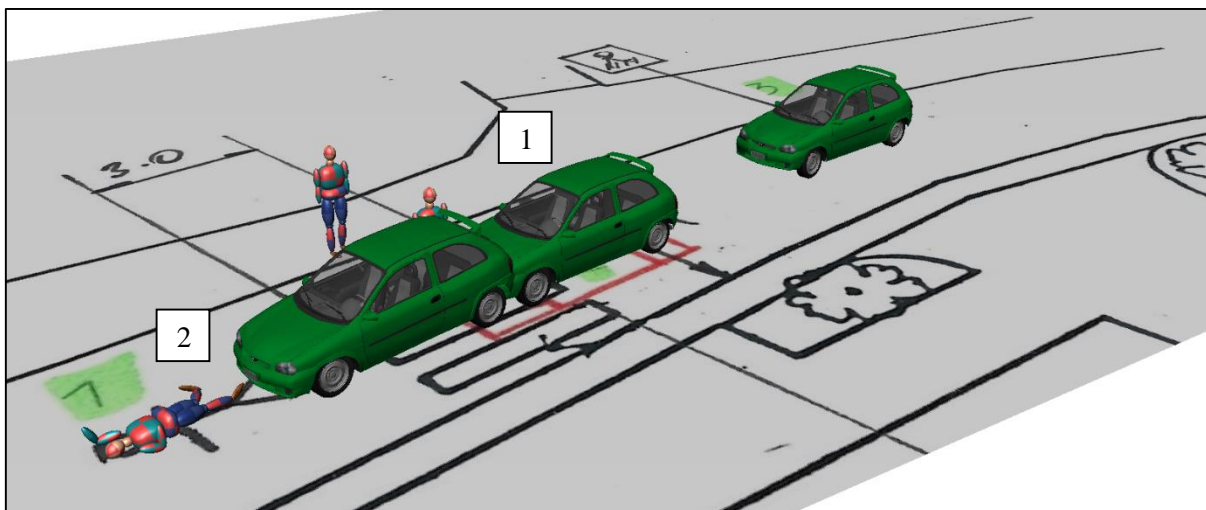
cca 3,6 km/h. K zrážke vozidla s chodcom došlo v oblasti č.3 prednej časti vozidla. Vodič reagoval cca 0,8 s pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 50 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.2. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.3 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.3

Z analýzy štúdie č.3 vyplynulo, že vozidlo Opel Corsa jazdilo pred zrážku v priamom smere rýchlosťou cca 12 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,2 km/h. K zrážke vozidla s chodcom došlo v oblasti č.2 prednej časti vozidla. Vodič nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

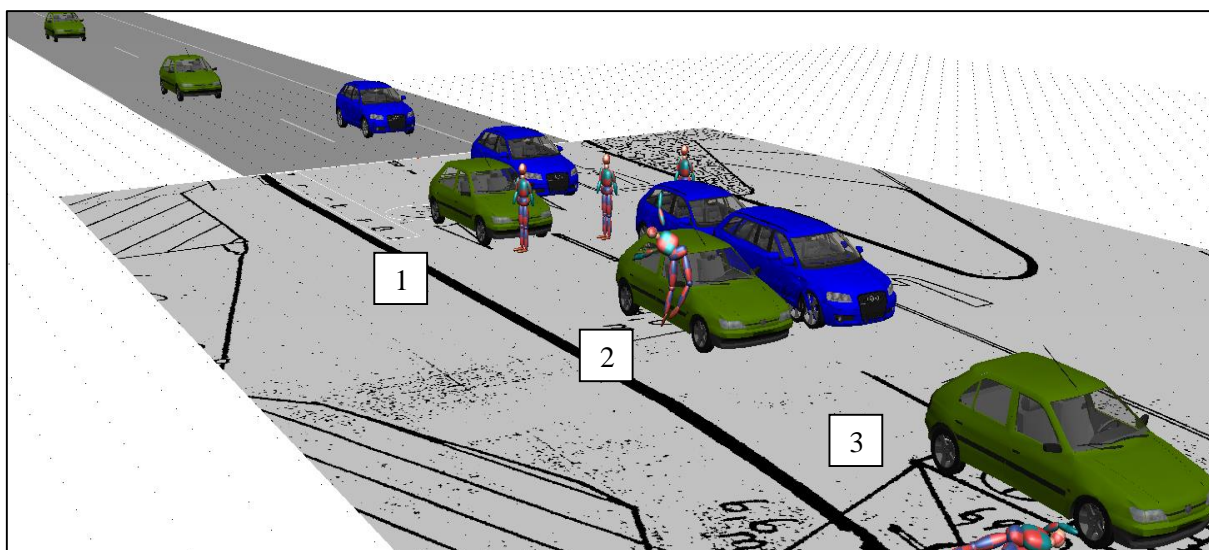


Obr. 51 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.3. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, poloha č.2 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.4 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.4

Z analýzy štúdie č.4 vyplynulo, že vozidlo Peugeot 306 jazdilo pred zrážku v priamom smere rýchlosťou cca 50 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany spoza vozidla Audi. Vodič vozidla Audi zaregistroval chodca, pribrzdil na rýchlosť cca 20 km/h a nechal priestor pre chodca, aby prešiel vozovku. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. K zrážke

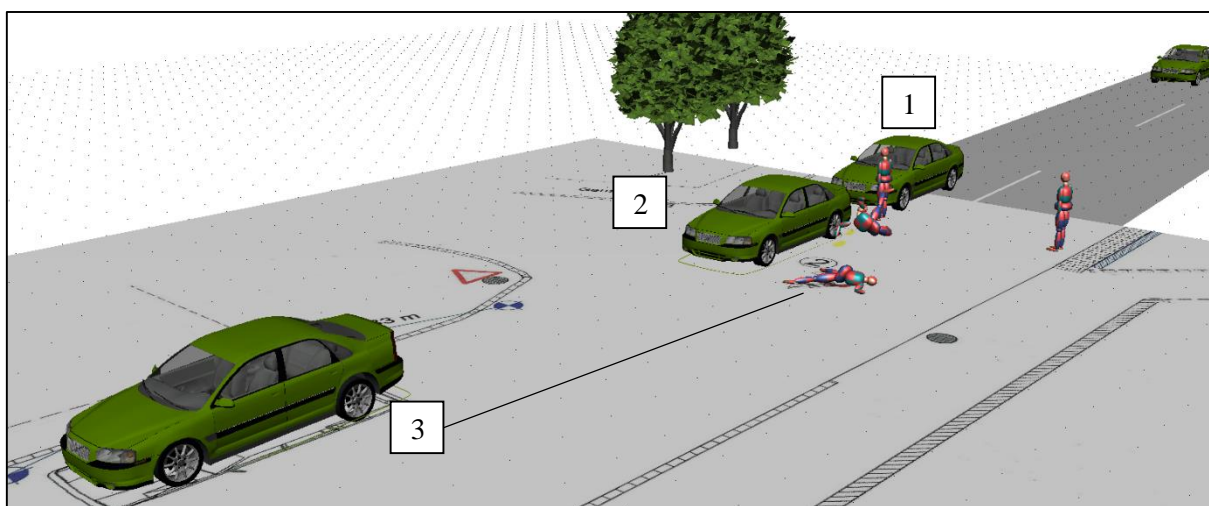
vozidla Peugeot 306 s chodcom došlo v oblasti č.4 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 52 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.4. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.5 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.5

Z analýzy štúdie č.5 vyplynulo, že vozidlo Volvo S60 jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 32 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 5,0 km/h. K zrážke vozidla Volvo S60 s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca a po zrážke začal reagovať cca 1,0 sekundy.

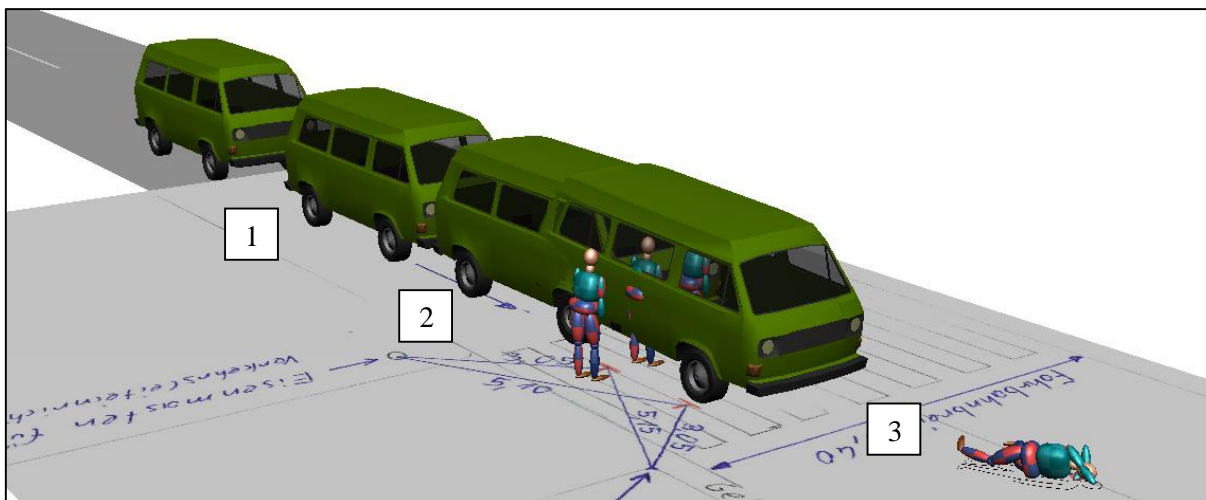


Obr. 53 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.5. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.6 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.6

Z analýzy štúdie č.6 vyplynulo, že vozidlo Volkswagen Multivan jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 30 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,0 km/h. K zrážke vozidla Volkswagen Multivan s chodcom došlo v oblasti č.3

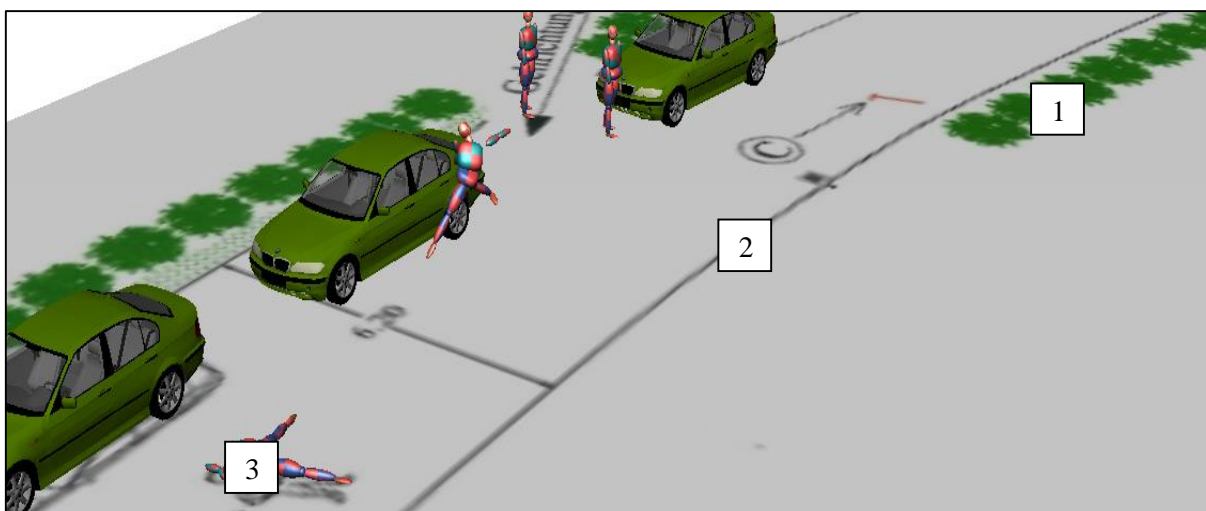
prednej časti vozidla. Vodič vozidla reagoval cca 1,5 s pred zrážkou na pohyb chodca a stihol vozidlo spomaliť na rýchlosť cca 19 km/h.



Obr. 54 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.5. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.7 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.7

Z analýzy štúdie č.7 vyplynulo, že vozidlo BMW 3 jazdilo pred zrážku v ľavotočivej zákrute cca 41 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,2 km/h. K zrážke vozidla BMW 3 s chodcom došlo v oblasti č.3 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

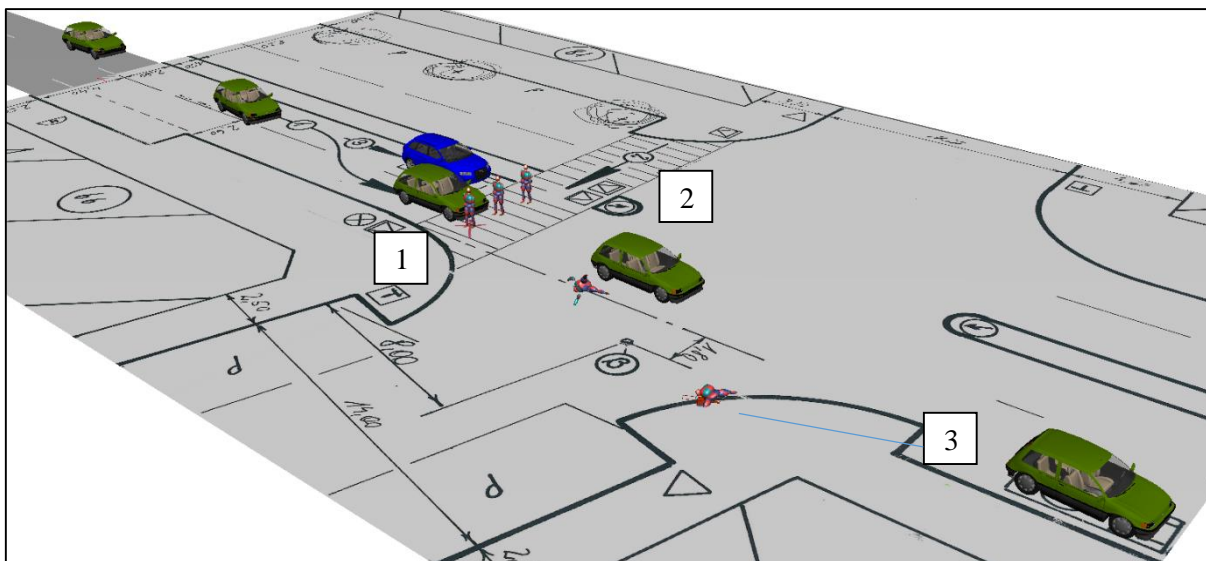


Obr. 55 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.7. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.8 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.8

Z analýzy štúdie č.8 vyplynulo, že vozidlo Honda Civic jazdilo pred zrážku priamo v ľavom jazdnom pruhu rýchlosťou cca 55 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany spoza stojaceho vozidla. Vozidlo Honda urobilo pred samotnou zrážkou priečne premiestnenie z ľavého jazdného pruhu do pravého. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 5,5 km/h. K zrážke vozidla

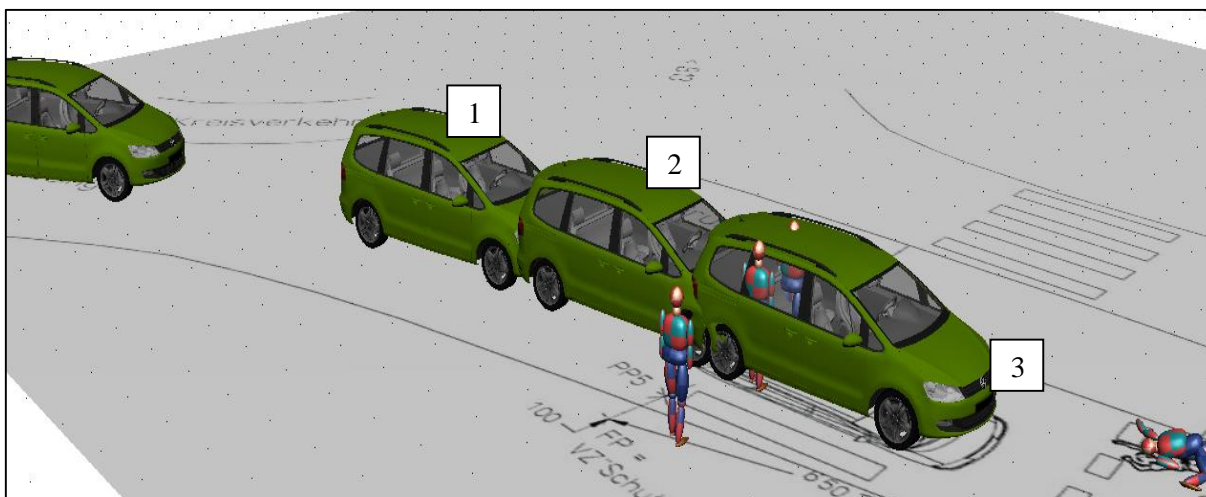
Honda Civic s chodcom došlo v oblasti č.4 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 56 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.8. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.9 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.9

Z analýzy štúdie č.9 vyplynulo, že vozidlo VW Sharan jazdilo pred zrážku po kruhovom objazde rýchlosťou cca 18 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany. Vozidlo VW Sharan urobilo pred samotnou zrážkou vybočenie z kruhového objazdu doprava. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. K zrážke vozidla VW Sharan s chodcom došlo v oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla reagoval cca 0,8 s pred zrážkou na pohyb chodca.

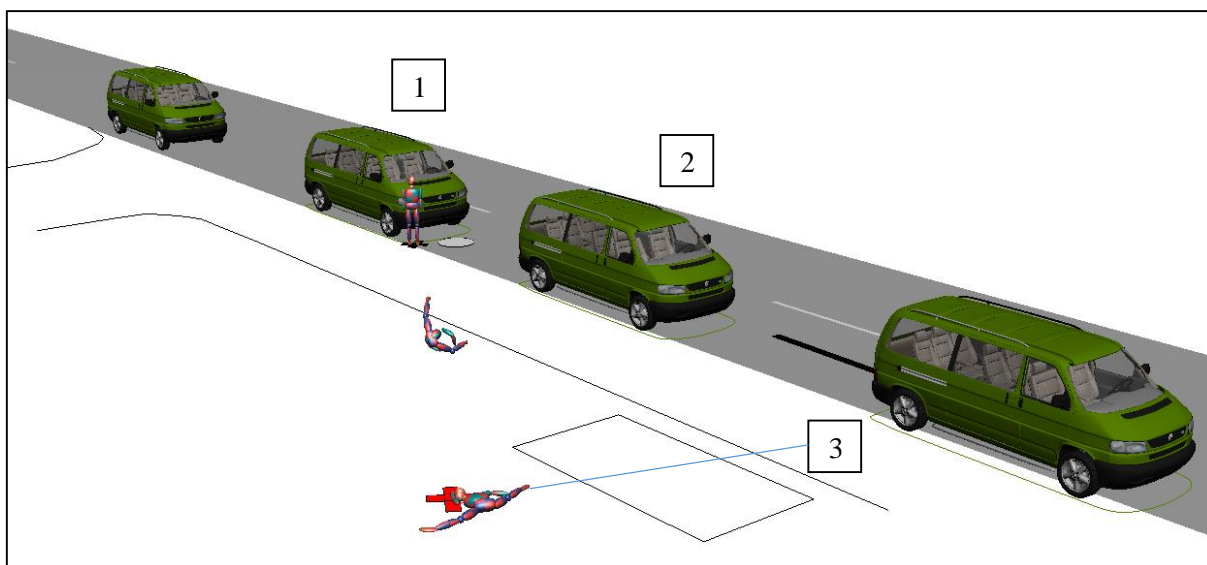


Obr. 57 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.9. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.10 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.10

Z analýzy štúdie č.10 vyplynulo, že vozidlo VW 70D jazdilo pred zrážku v priamom smere a znižovalo rýchlosť jazdy plynule z cca 70 km/h na cca 40 km/h. Chodec stál na pravom okraji vozovky

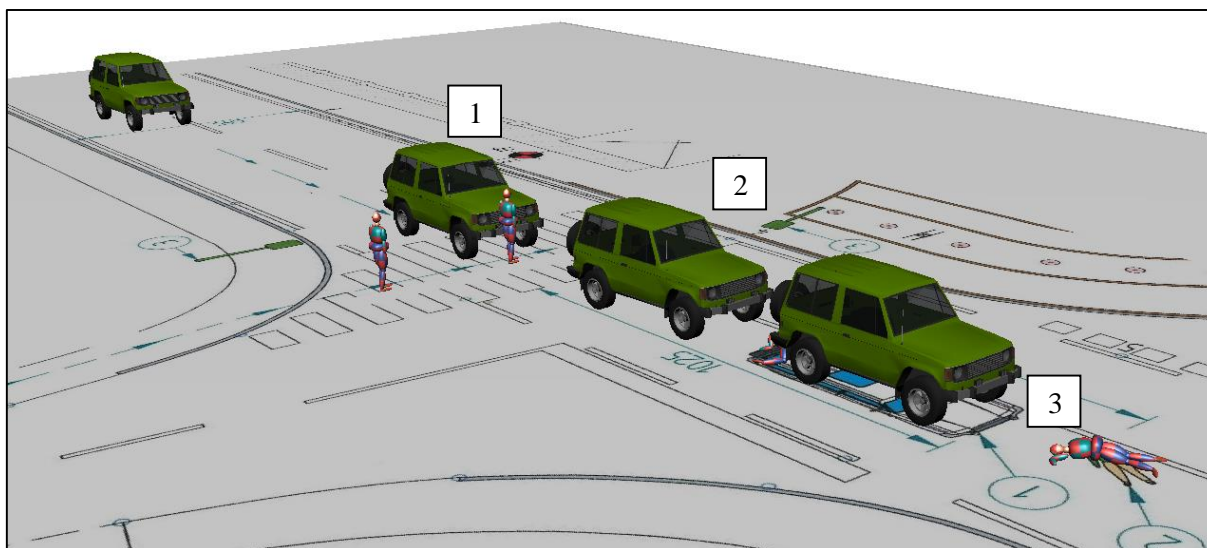
v oblasti zastávky autobusu. K zrážke vozidla VW s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 58 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.10. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.11 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.11

Z analýzy štúdie č.11 vyplynulo, že vozidlo Mitshubishi jazdilo pred zrážku v priamom smere rýchlosťou cca 40 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 5,2 km/h. K zrážke vozidla Mitshubishi s chodcom došlo v oblasti č.2 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

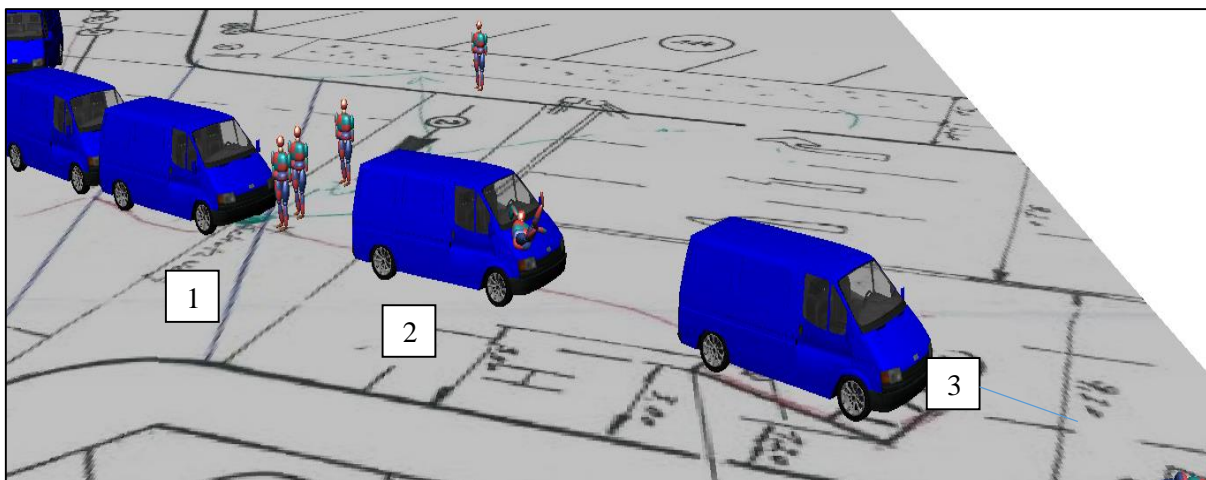


Obr. 59 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.11. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.12 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.12

Z analýzy štúdie č.12 vyplynulo, že vozidlo Ford Transit jazdilo pred zrážkou v križovatke, kde odbočovalo doľava. Vozidlo zrýchľovalo z 0 km/h na rýchlosť v čase zrážky cca 36 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 6,0 km/h. K zrážke vozidla

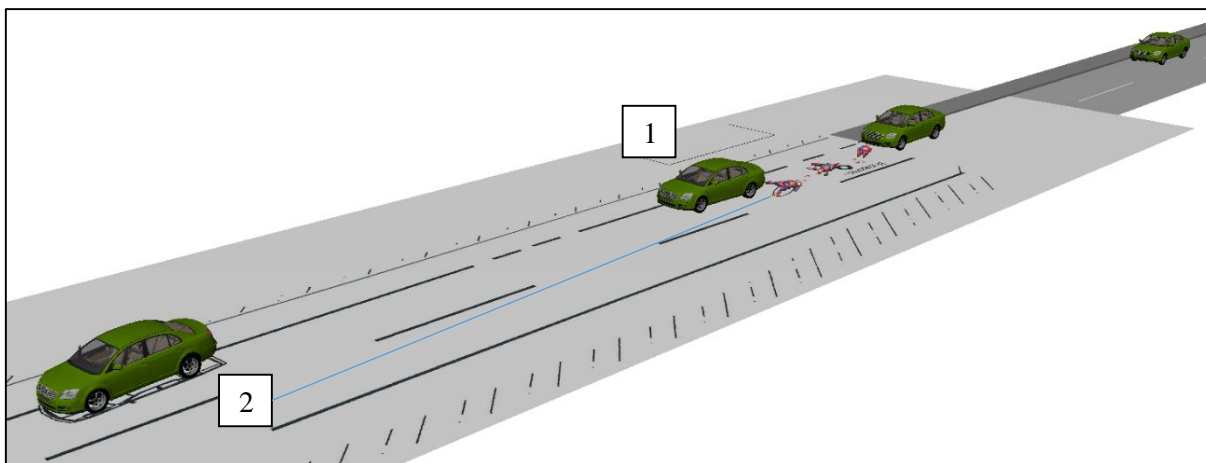
Ford s chodcom došlo v oblasti č.2 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 60 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.12. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.13 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.13

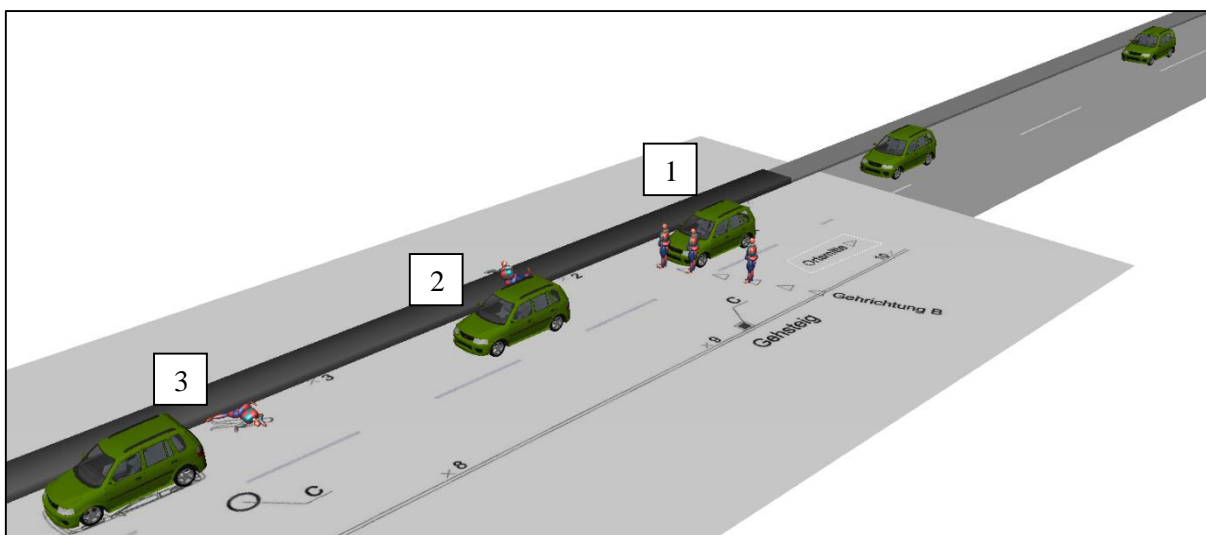
Z analýzy štúdie č.13 vyplynulo, že vozidlo Toyota Avensis jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 45 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Osoba ležala na vozovke nehybne. Kontakt osoby bol s podvozkovou časťou vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na osobu ležiacu na vozovke.



Obr. 61 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.12. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.14 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.14

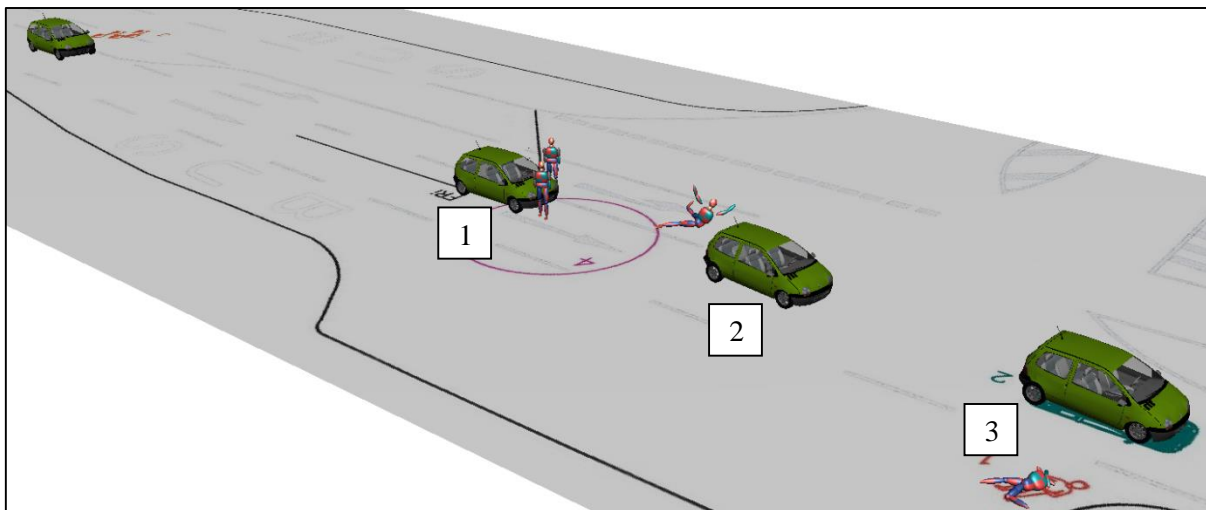
Z analýzy štúdie č.14 vyplynulo, že vozidlo Mazda Demio jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 42 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 30° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 3,0 km/h. K zrážke vozidla Mazda s chodcom došlo v oblasti č.4 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 62 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.14. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle, č. 3 konečná poloha vozidla a chodca. [60]

7.2.15 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.15

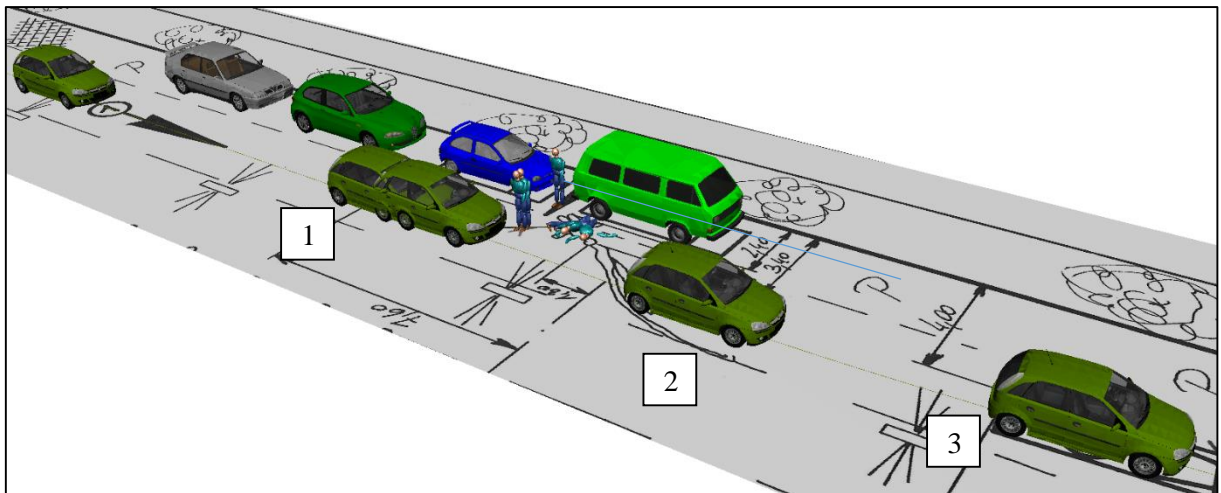
Z analýzy štúdie č.15 vyplynulo, že vozidlo Renault Twingo jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 46 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 60° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 4,0 km/h. K zrážke vozidla VW s chodcom došlo do oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 63 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.15. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.16 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.16

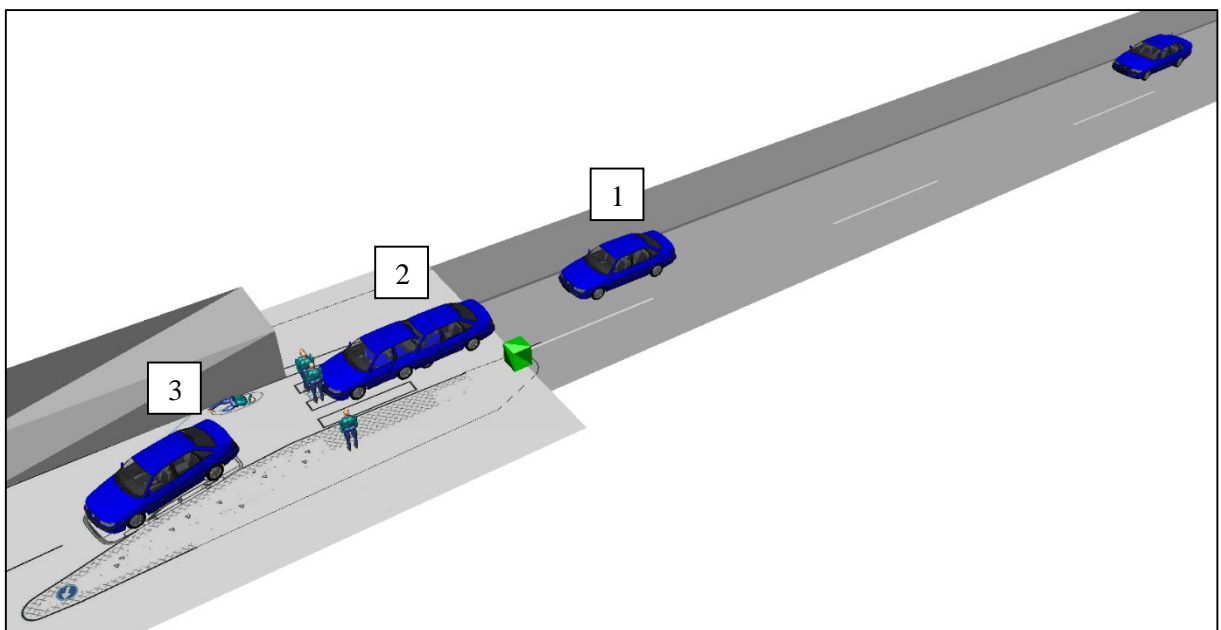
Z analýzy štúdie č.16 vyplynulo, že vozidlo Opel Corsa jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 39 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za osvetlenia pouličným osvetlením. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany z rady stojacích osobných motorových vozidiel rýchlosťou cca 4,1 km/h. K zrážke vozidla Opel s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 64 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.16. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.17 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.17

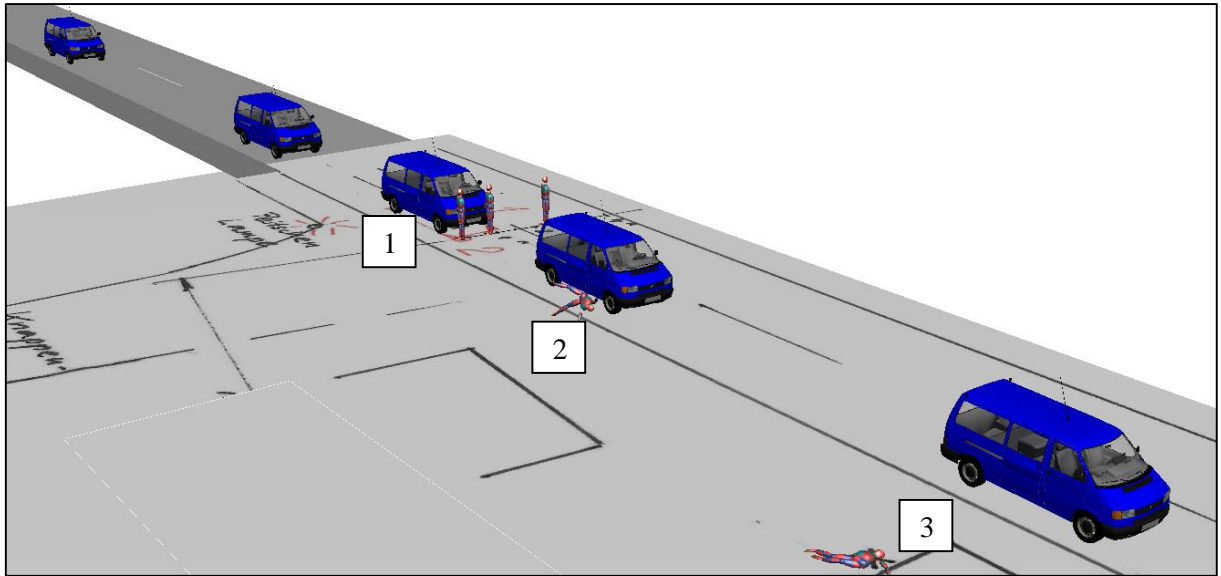
Z analýzy štúdie č.17 vyplynulo, že vozidlo VW Passat jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 30 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,0 km/h. K zrážke vozidla Opel s chodcom došlo v oblasti č.6 prednej časti vozidla. Vodič vozidla reagoval cca 1,2s pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 65 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.16. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle a č. 3 konečnú polohu vozidla a chodca. [60]

7.2.18 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.18

Z analýzy štúdie č.18 vyplynulo, že vozidlo VW Transporter jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 47 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 15° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 3,8 km/h. K zrážke vozidla VW s chodcom došlo v oblasti č.6 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.



Obr. 66 Vizualizácia priebehu dopravnej nehody – prípadová štúdia č.14. Poloha č.1 zobrazuje reakciu vodiča, č.2 nábeh brzdného účinku na vozidle, č. 3 konečná poloha vozidla a chodca. [60]

8. Vývoj experimentálnej figurína chodca

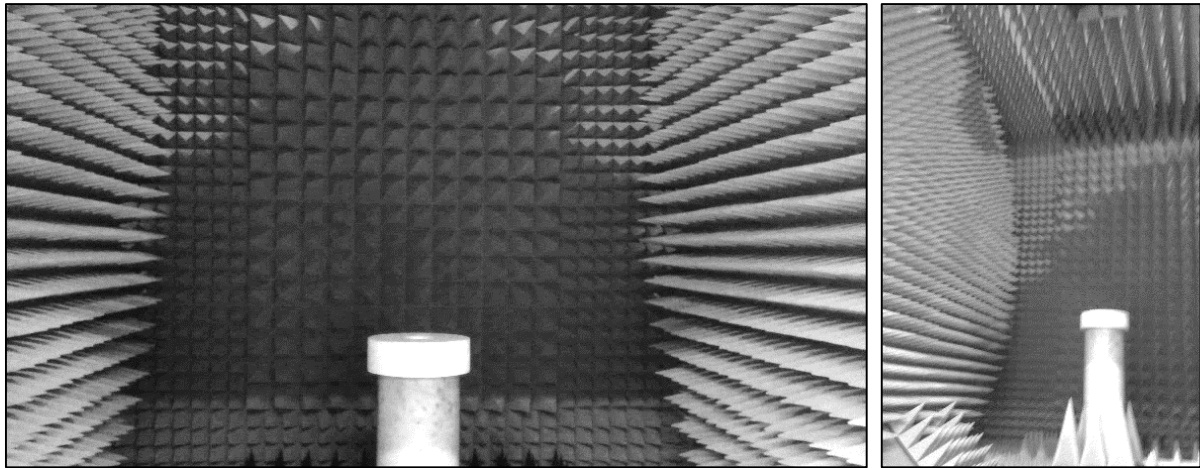
Najdôležitejším prvkom experimentálneho merania podmienok aktivácie systému na rozpoznávanie chodcov je samotná figurína reprezentujúca chodca. Pre účely tejto práce bol samotný pohyb chodca simulovaný figurínou umiestnenou na autonómnej plošine. Plošina nazývaná „UFO“ mala zabudovaný D-GPS modul na orientovanie sa v priestore a bola poháňaná dvoma servomotormi (pozri Obr. 78). Figurína chodca umiestnená na plošine (pozri Obr. 67) musela prejsť evaluačným procesom. Proces evaluácie zaručoval dosiahnutie požadovaných reflexných vlastností figuríny zhodných ako má ľudské telo. Reflexné vlastnosti figuríny pre short-range 24 GHz radar museli odpovedať reflexným vlastnostiam ľudského tela, aby nedošlo k zámene figuríny za objekt nezodpovedajúci vlastnostiam ľudského tela. Následne by systém vyhodnocoval situáciu ako nie natoľko akútnu, aby aktívne zasahoval, keďže by sa bol pred vozidlom nachádzal „objekt“ a nie človek. Figurína chodca bola vyrobená z molitanu o celkovej váhe cca 5 kg a výške cca 176 cm. Drôtený skelet figuríny umožňoval nastavenie siluety zodpovedajúcej chodiacemu človeku.



Obr. 67 Testovacie auto, figurína a autonómna plošina – UFO. [60]

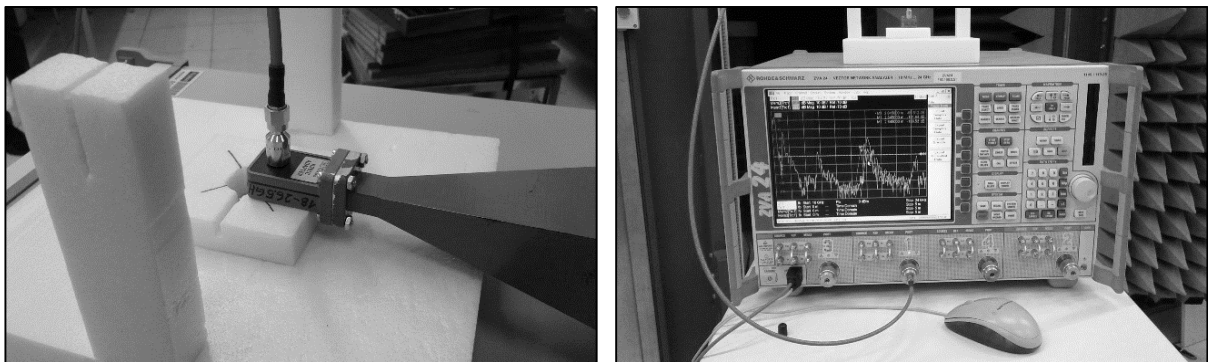
8.1 Popis merania reflexných vlastností figuríny

K meraniu exaktných reflexných vlastností figuríny bolo za potrebné využiť laboratória technickej Univerzity v Grazi. Univerzitné laboratória disponovali anechoickou miestnosťou, ktorá slúžila výhradne na meranie odrazových vlastností objektov. Anechoická miestnosť mala rozmer 8m x 5m x 4m. Predmetná miestnosť bola vyrobená a zmontovaná firmou EMC Rainford z Veľkej Británie. Pohľad do anechoickej miestnosti, ktorá slúžila k predmetnému meraniu je vyobrazený na Obr. 68. Meranie reflexných vlastností figuríny prebiehalo v spolupráci a pod odborným dohľadom Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Böscha a za asistencie technického pracovníka Bc. Dominik Amschla.



Obr. 68 Pohľad do anechoickej miestnosti na Technickej univerzite v Grazi. [60]

Ako samotný zdroj radarových vln o dĺžke 24 GHz bol použitý typ Hewlett Packard K281C, ktorý bol pred samotným meraním kalibrovaný. Samotná kalibrácia spočívala v meraní rôznych známych impedancií. Ku kalibrácii bola použitá kalibračná sada Rohde&Schwarz ZV-Z32. Na zobrazovanie samotnej odozvy a výsledkov bola použitá vektorovo-obvodová analýza prístrojová technika Rohde&Schwarz ZVA 24. Tento postup vyhodnocuje dáta z budiča radarových vln a porovnáva ich na základe odozvy na známy signál. Z porovnaných dát vyplynie výsledný graf závislosti množstva odrazených vln.



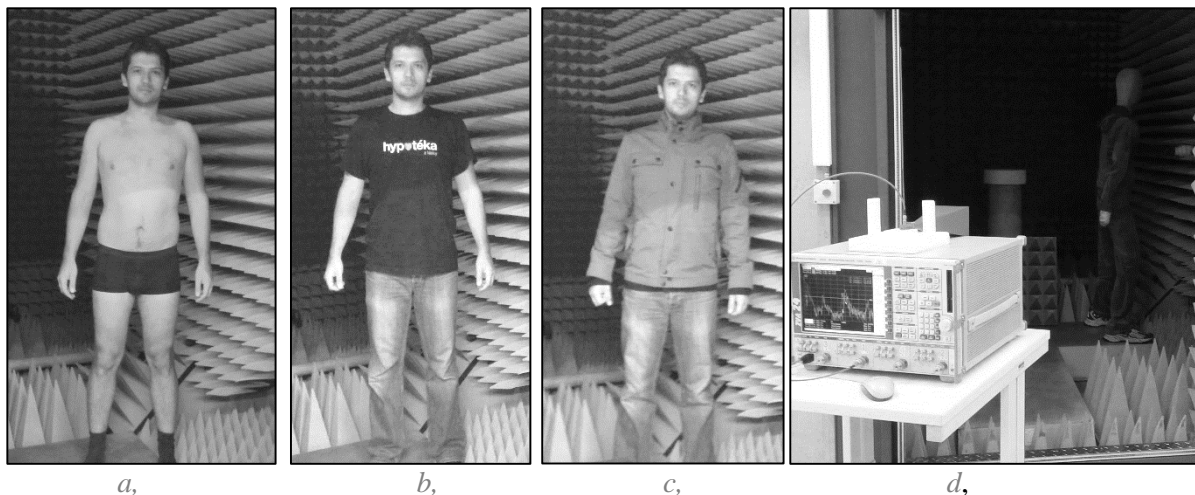
a,

b,

Obr. 69 a, Radarový zdroj Hewlett Packard K281C b, vektorovo-obvodová analýza Rohde&Schwarz ZVA 24. [60]

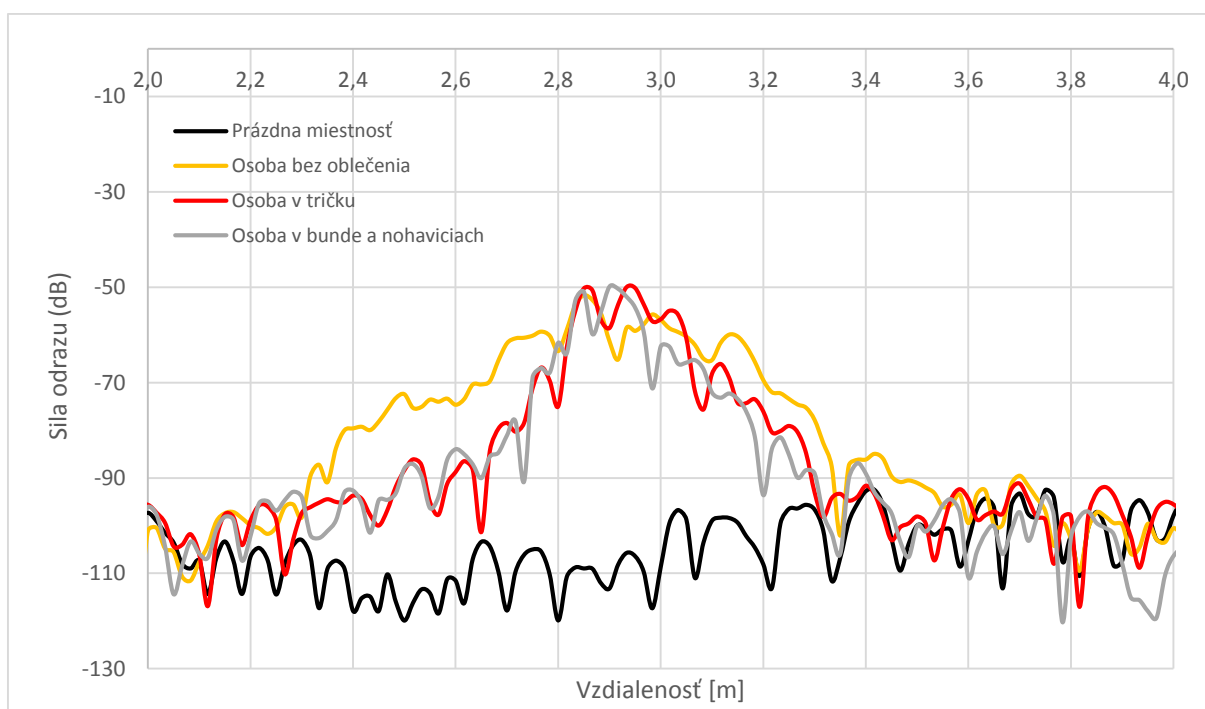
Pre potreby rekonštrukcie a expertnej znaleckej činnosti spojenej s analýzou nehodových dejov bolo potrebné vyhodnotiť a opätovnou úpravou figuríny vytvoriť ideálnu figurínu odpovedajúcu svojimi odrazovými vlastnosťami vlastnosti ľudského tela. Pre potreby tejto práce boli stanovené tri základné pozície figuríny, ktoré museli byť evaluované meraním k následnému použitiu. Pozícia stojacej osoby čelom k radarovému zdroju, bokom a pozícia stojacej osoby chrbtom k zdroju. Samotné pozície figuríny boli porovnávané s odrazovými vlastnosťami figuranta. V bežnom živote sa stretávame s rôznorodosťou dopravných situácií na základe poveternostných podmienok, ktoré panujú v mieste dopravných nehôd. Pre potreby tejto práce boli simulované len podmienky, ktoré vzniknú za suchého počasia, bez prítomnosti značnej vlhkosti na oblečení chodca, teda figuríny. Pri meraniach bolo nutné porovnať vlastnosti figuríny s človekom, ktorý je bez oblečenia, oblečený čiastočne a oblečený vo viacerých

vrstvách, aby boli zohľadnené všetky možné podmienky sústavy chodec auto. Samotné meranie pozostávalo z umiestnenia figuranta alebo figuríny do anechoickej miestnosti. Na figuranta alebo figurínu bol nasmerovaný zdroj radarových vln a následne bola odčítaná a uložená na sieťovú jednotku výsledná krivka závislosti vyslaných a prijatých vln v logaritmickom merení.



Obr. 70 a,b,c, Figurant d, figurína v anechoickej miestnosti. [60]

Pri porovnávaní reflexných vlastností figuranta v závislosti na vrstve oblečenia bol figurant umiestnený vo vzdialenosti cca $2,7 \pm 0,2$ m od zdroja radarových vln. V grafe (pozri Graf 2) je čiernou farbou znázornená závislosť odrazených vln v prázdnej anechoickej miestnosti. Hranica -90 dB až -100 dB je považovaná za hranicu nulovú a teda prázdnu miestnosť. Z grafu je zrejmé, že pri meraniach dochádza k značnej zhode v sile odrazových vlastností figuranta v rôznom stave oblečenia na úrovni cca 50 dB vo vzdialenosti cca $2,7$ m $\pm 0,2$ m. Základným porovnávacím meraním závislosti oblečenia figuranta vyplynulo, že samotné oblečenie figuranta nemá zásadný vplyv na intenzitu odrazových vln.

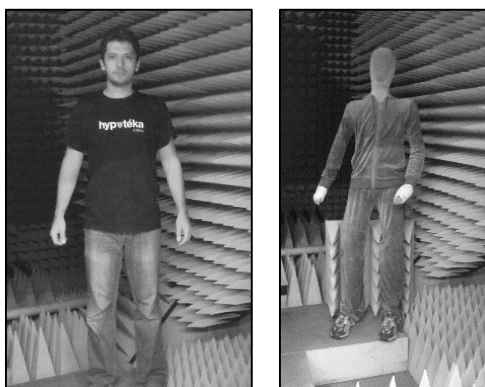


Graf 2 Intenzita odrazených vln v závislosti na oblečení figuranta.

Z meraní závislosti oblečenia na figurantovi bolo vyplynulo, že oblečenie nemá zásadný vplyv na množstvo odrazených vln. Pre potreby ďalších evaluačných meraní figuríny boli jednotlivé pozície dummy porovnávané s výsledkom meraní figuranta, ktorý mal oblečene nohavice a tričko (Obr. 70).

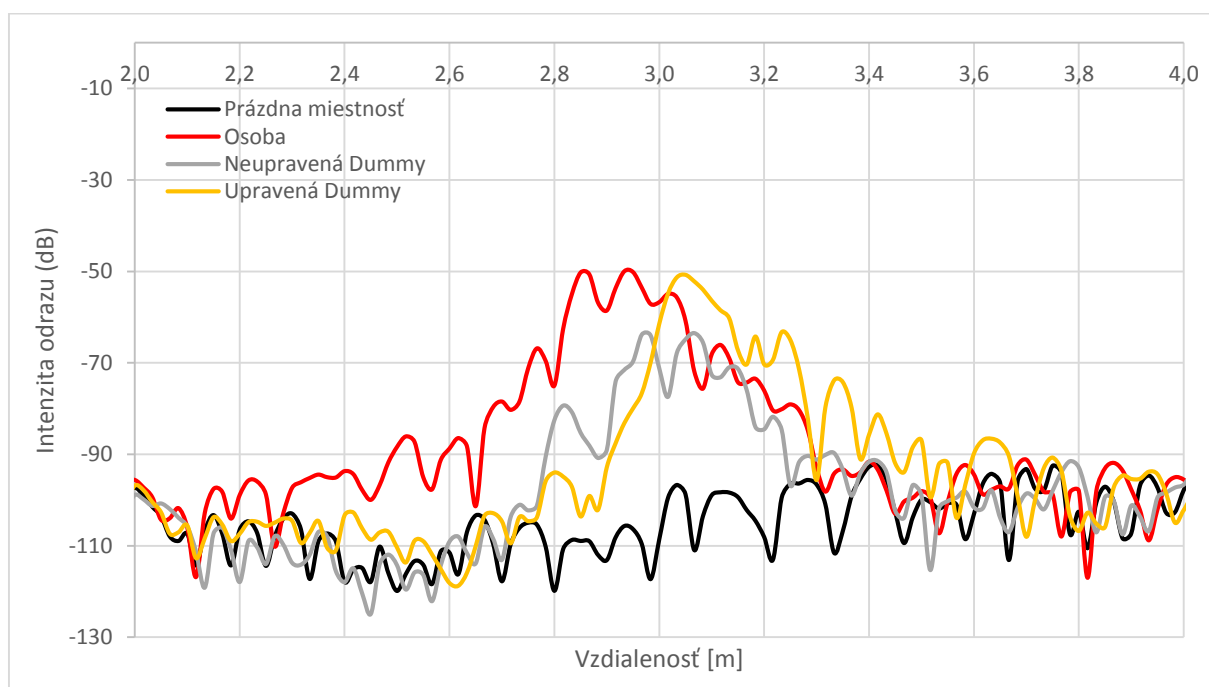
8.2 Odrazové vlastnosti figuríny v čelnom pohľade

Pri vyhodnocovaní odrazových vlastností figuríny v čelnom pohľade bola použitá poloha osoby vyobrazená na Obr. 71. Figurant oblečený v tričku a nohaviciach je vzdialený približne 2,9 m od zdroja radarových vln mal mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien. Pozícia figuríny bola približne 3 m od zdroja radarových vln. Figurína mala oblečenú teplákovú súpravu a športovú obuv a mala mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien.



Obr. 71 Poloha figuranta a figuríny v miestnosti pri meraní.

Graf 3 znázorňuje porovnanie prázdnej anechoickej miestnosti, s figurantom, s figurínou pred úpravou a následne po úpravách. Z grafu je zrejmé, že samotná figurína bez úprav má cca o 15 dB nižšie hodnoty odrazových vlastností. Pri úpravách figuríny bolo dosiahnuté stotožnenie vlastností na úroveň ľudského tela. Hodnota cca 50 dB je v zhode s hodnotou figuranta.



Graf 3 Intenzita odrazených vln neupravenej a upravenej dummy figuríny v čelnom pohľade.

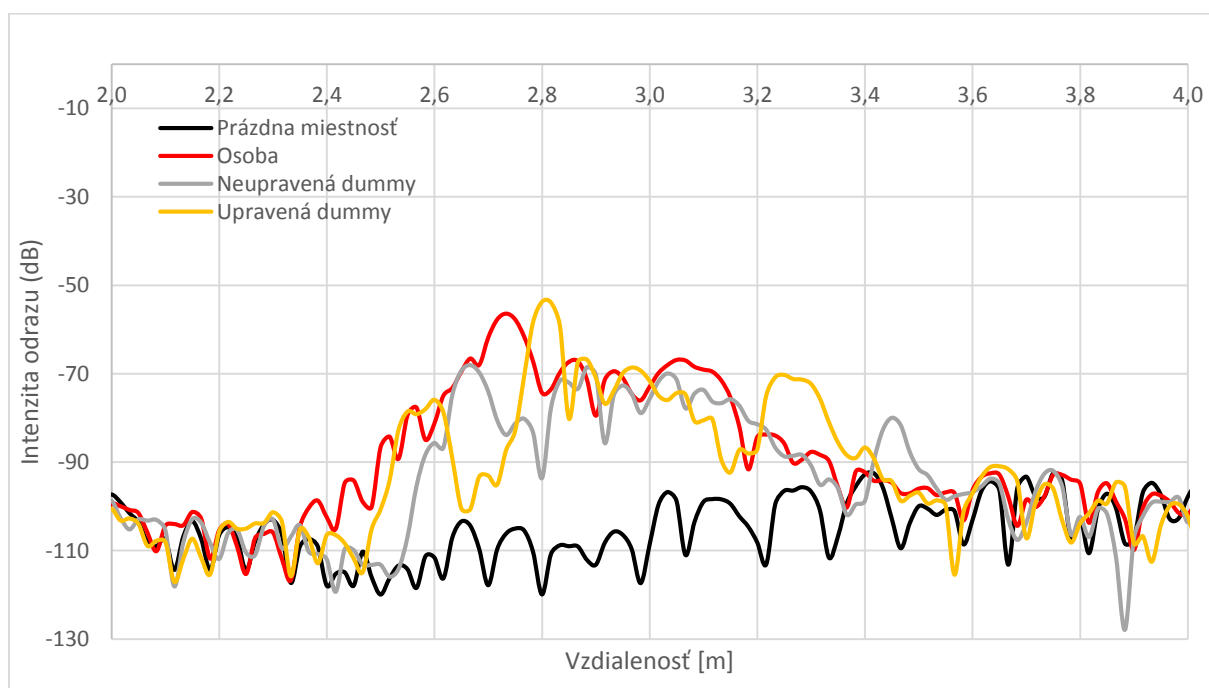
8.3 Odrazové vlastnosti figuríny v bočnom pohľade

Pri vyhodnocovaní odrazových vlastností figuríny v bočnom pohľade bola použitá poloha osoby a figuríny vyobrazená na Obr. 72. Figurant oblečený v tričku a nohaviciach bol vzdialený približne 2,7 m od zdroja radarových vln, ľavú ruku mal zalomenú v lakti a pravú ruku mierne zapaženú. Nohy figuranta boli v polohe mierneho vykročenia. Pozícia figuríny bola približne 2,8 m od zdroja radarových vln. Figurína mala oblečenú teplákovú súpravu a športovú obuv.



Obr. 72 Poloha figuranta a figuríny v miestnosti pri bočnom meraní. [60]

Graf 4 znázorňuje porovnanie prázdnej anechoickej miestnosti, s figurantom, s figurínou pred úpravou a následne po úpravách. Z grafu je zrejmé, že samotná figurína bez úprav má cca o 15 dB nižšie hodnoty odrazových vlastností. Pri úpravách figuríny bolo dosiahnuté stotožnenie vlastností na úroveň ľudského tela. Hodnota cca 55 dB je v zhode pre figuranta a figurínu



Graf 4 Intenzita odrazených vln neupravenej a upravenej dummy figuríny v bočnom pohľade.

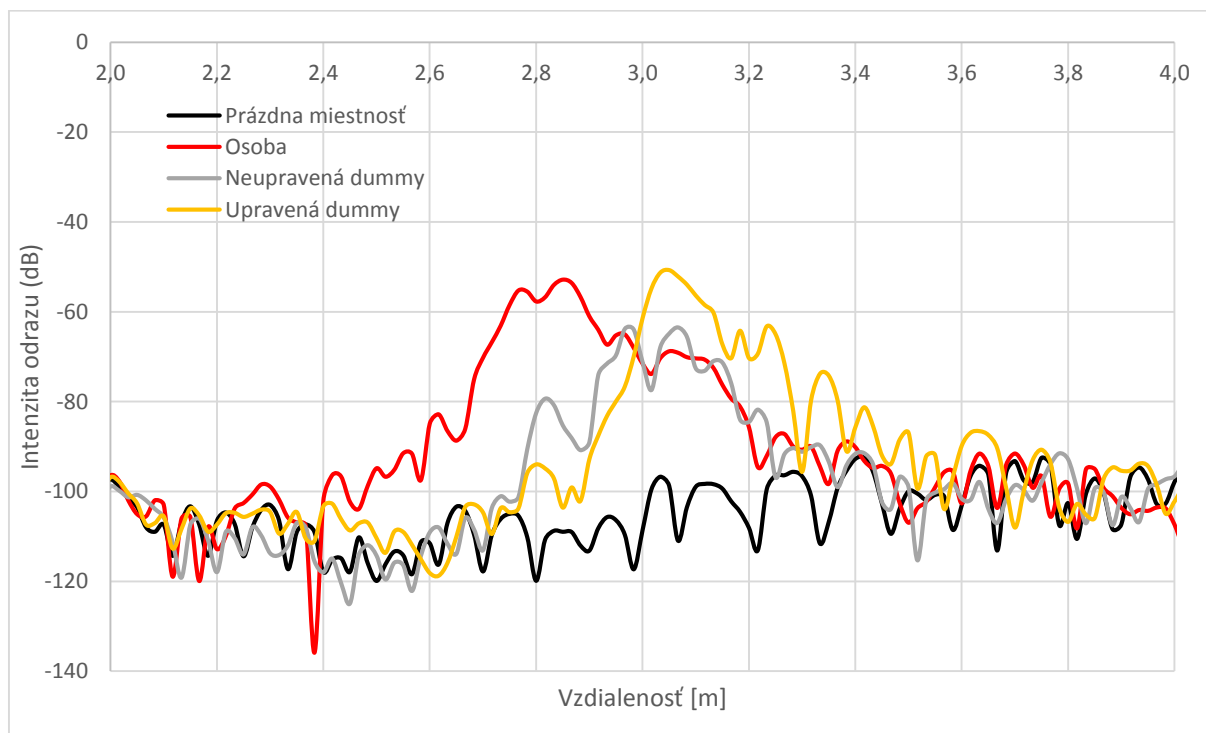
8.4 Odrazové vlastnosti figuríny vzdanom pohľade

Pri vyhodnocovaní odrazových vlastností figuríny v čelnom pohľade bola použitá poloha osoby vyobrazená na Obr. 73. Figurant oblečený v tričku a nohaviciach bol vzdialený približne 2,8 m od zdroja radarových vln, mal mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien. Pozícia figuríny bola približne 3 m od zdroja radarových vln. Figurína mala oblečenú teplákovú súpravu a športovú obuv, mala mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien.



Obr. 73 Poloha figuranta a figuríny v miestnosti pri zadnom meraní. [60]

Graf 5 znázorňuje porovnanie prázdnej anechoickej miestnosti, s figurantom, s figurínou pred úpravou a následne po úpravách. Z grafu je zrejmé, že samotná figurína bez úprav má cca o 10 dB nižšie hodnoty odrazových vlastností. Pri úpravách figuríny bolo dosiahnuté stotožnenie vlastností na úroveň ľudského tela. Hodnota 55 dB je v zhode pre figuranta a figurínu



Graf 5 Intenzita odrazených vln neupravenej a upravenej dummy figuríny v zadnom pohľade.

8.5 Finalizovaná podoba figuríny

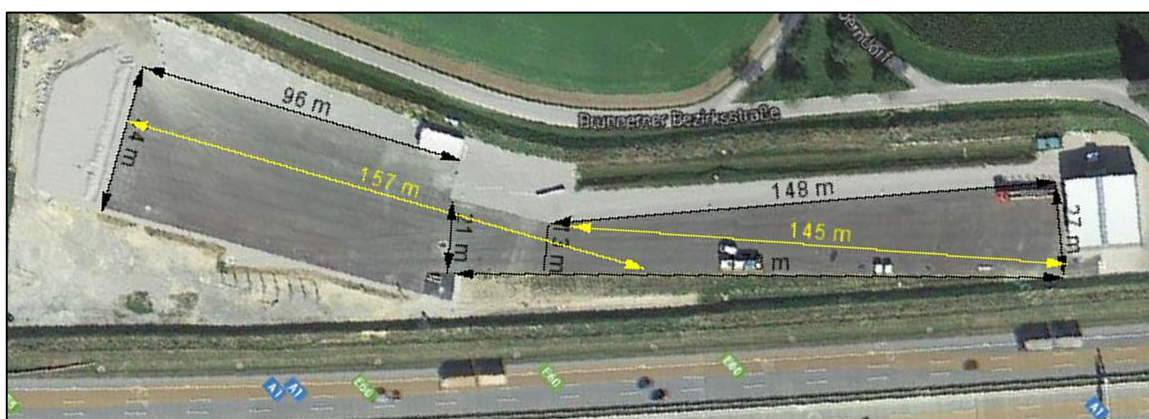
Po hĺbkovej analýze a merania vykonávaných a v anechoickej miestnosti bolo možné finalizovať podobu dummy figuríny. Pri jednotlivých pokusných meraniach dochádzalo k úprave figuríny pomocou samolepiacej hliníkovej pásky. Pri používaní hliníkovej pásky dochádzalo k zvyšovaniu a znižovaniu intenzity odrazených radarových vĺn. Po opakovaných meraniach, skúškach, úpravách dummy figuríny bolo možné vytvoriť figurínu, ktorá svojím charakterom intenzity odrazených radarových vĺn zodpovedala ľudskej postave. Táto figúra bola použitá pri experimentálnych meraniach s vozidlom Volvo. Na Obr. 74a je zobrazená figurína bez úprav a na obrázku Obr. 74b je zobrazená figurína s úpravami, ktoré vyplynuli z meraní.



Obr. 74 a, figurína bez úprav – sériový model b, figurína po úprave c, figurína použitá pri experimentálnych skúškach. [60]

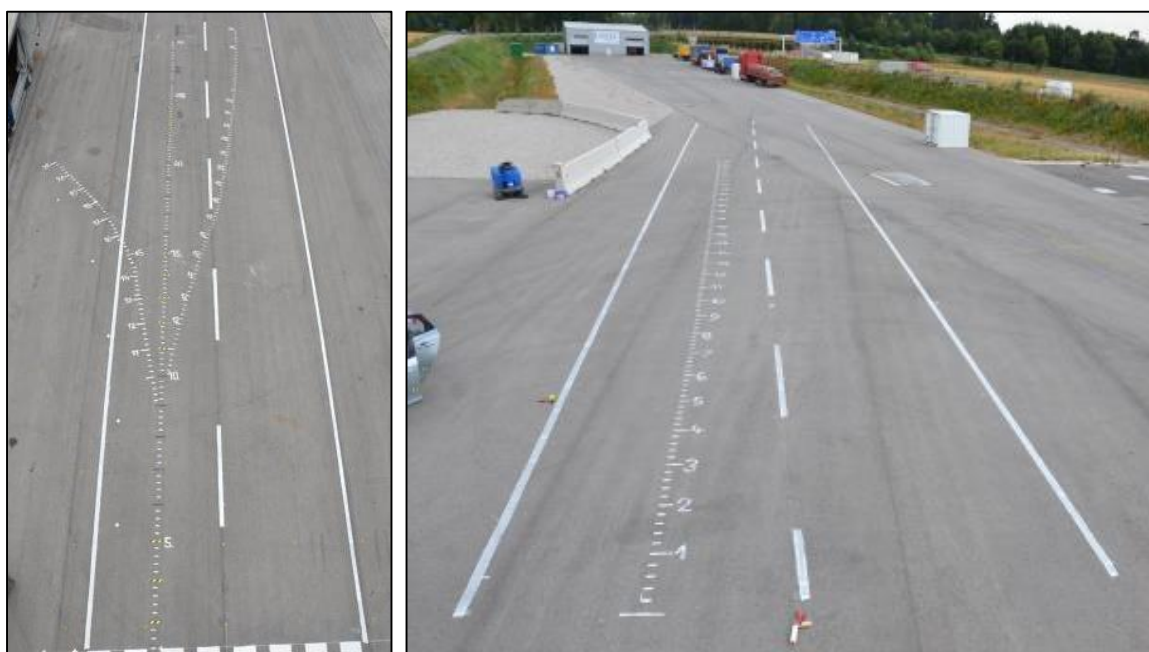
9. Experimentálne merania vybraných dopravných situácií s vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznávanie chodcov

Merania prebiehali v uzatvorenom testovacom areáli firmy DSD v rakúskom Linzi. Keďže pri testovaní systému došlo zo strany vodiča k uvoľneniu všetkých ovládacích prvkov vozidla, bolo nutné zabezpečiť maximálnu bezpečnosť testov. Bezpečnostné zóny okolo spevneného povrchu a ochranný val zabezpečovali maximálnu ochranu pred prípadným nežiaducim chovaním vozidla. Pohľad z vtáčej perspektívy so zakótovanými základnými rozmermi je vyobrazený na Obr. 75.



Obr. 75 Pohľad na testovaciu plochu firmy DSD v rakúskom Alhamingu. [60]

Na polygóne boli pre potreby predmetných meraní nakreslené potrebné vodorovné značenia jazdných pruhov a priechodu pre chodcov, pre čo najpresnejšie navodenie dejovej línie dopravných nehôd.



Obr. 76 Voľný pohľad z výškovej plošiny na testovaciu plochu v Alhamingu. [60]

9.1 Testovacia figurína chodca

Samotný pohyb chodca bol simulovaný figurínou umiestnenou na autonómnej programovateľnej plošine. Plošina nazývaná „UFO“ mala zabudovaný D-GPS modul na orientovanie sa v priestore a bola poháňaná dvoma servomotormi. Na plošine bola umiestnená figurína chodca (pozri Obr. 77), ktorá prešla evaluovacím procesom (pozri kap. 8). Proces evaluácie zaručoval dosiahnutie požadovaných reflexných vlastností figuríny. Reflexné vlastnosti figuríny pre short range 24 GHz radar museli zodpovedať reflexným vlastnostiam ľudského tela, aby nedošlo k zámene figuríny za objekt nezodpovedajúci vlastnostiam ľudského tela. Následne by systém vyhodnocoval situáciu ako nie natoľko akútnu, aby aktívne zasahoval, keďže pred vozidlom sa nachádzal „objekt“ a nie človek. Figurína chodca bola vyrobená z molitanu o celkovej váhe cca 5 kg a výške cca 176 cm. Drôtený skelet figuríny umožňoval nastavenie siluety zodpovedajúcej chodiacemu človeku.



Obr. 77 Testovacie vozidlo, figurína a autonómna plošina UFO. [60]

9.2 Testovacie vozidlo

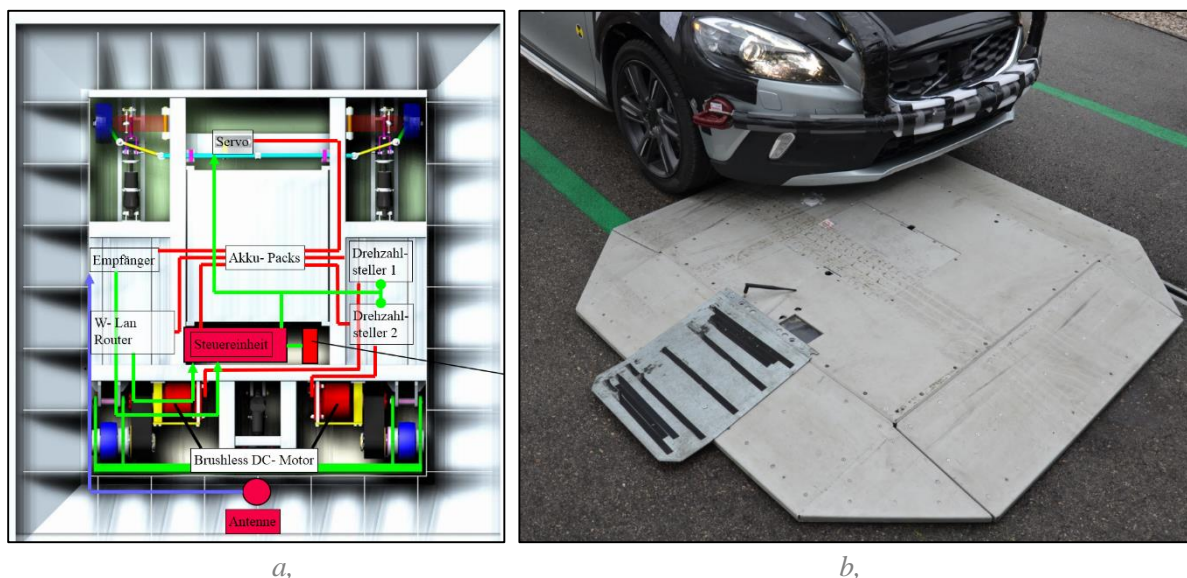
K vykonaným testom bolo použité vozidlo Volvo V40 CC zapožičané od oficiálneho distribútora Volvo Cars Rakúsku. Vozidlo bolo vybavené zážihovým motorom o objeme 2,5 l a výkone 250 hp. Výkon motora bol prenášaný na všetky štyri kolesá vozidla. Vozidlo bolo osadené pneumatikami Pirelli P Zero 225/45 R18 95W. Testovacie vozidlo Volvo V40 CC bolo vybavené systémom City Safety rozšíreným o funkciu na detekciu chodcov.

Samotný systém City Safety je určený na dobrzdovanie vozidla pri jazde s nízkou rýchlosťou (do 30 km/h) v mestskej premávke ako reakcia na vozidlo jazdiace pred ním. Systém sa nesnaží rozpoznávať osoby v jazdnom koridore vozidla, ale reaguje na objekty (autá) a následne autonómne zasahuje plným brzdením v situácii, ak by hrozil náraz vozidla do objektu pred ním. Ak má vozidlo systém City Safety rozšírený o detekciu chodcov, tak je zároveň vozidlo vybavené systémom pasívnej bezpečnosti, a to airbag pre chodcov v kombinácii s aktívnou kapotou. Rozdiel, keď systém zasahoval do riadenia vozidla, a či to bolo na podnet iného vozidla alebo osoby v jazdnom koridore vozidla je zrejmý z hlášky na displeji, ktorá sa objaví po zásahu systému. V prípade aktivácie systému City Safety,

je to hláška City Safety bol aktivovaný. Pri autonómnom brzdení pri rýchlostiach do 50 km/h v prípade, že systém rozpozná chodca sa objaví hláška - Autonomous braking was activated. Správna funkčnosť systému bola pri testoch overovaná za podmienky, že čelné sklo v oblasti snímačov a kamier nebolo znečistené. Keďže vozidlo bolo vybavené automatickou prevodovkou, nedochádzalo vplyvom aktivácie autonómneho brzdenia po zastavení k zhasnutiu motora. Pri použití automatickej prevodovky vo vozidle a následného automatického uvoľnenia brzdového pedálu po autonómnom brzdení sa vozidlo samo rozbehne na cca rýchlosť 5 km/h.

9.3 UltraFlat Overrunable platform – UFO

Pri testovaní systémov na detekciu prekážok je potrebné použiť vhodný model prekážok a mechanizmus, ktorý tieto prejazdy uvedie do pohybu. V kap. 8 bolo popísané ako som postupoval pri vývoji vhodnej figuríny chodca. Pre potreby meraní bolo nutné definovať pohyb figuríny v priestore. Figurína spoločne s platformou, na ktorej bola umiestnená, nemohla svojim charakterom nijako poškodiť overované vozidlo. Preto aj samotné UFO má len výšku cca 12 cm a osobné či nákladné vozidlo môže po UFE prejsť bez poškodenia samotného UFA, alebo vozidla až do rýchlosti 80 km/h. Autonómu plošinu UFO vyrába firma DSD Dr. Steffan Datentechnik so sídlom v rakúskom Linzi. Cena UFA sa pohybuje v závislosti od typu vybaví od 350 tis. EUR.



Obr. 78 a. pohľad zospodu na model UFA b, funkčná autonómna plošina UFO. [60]

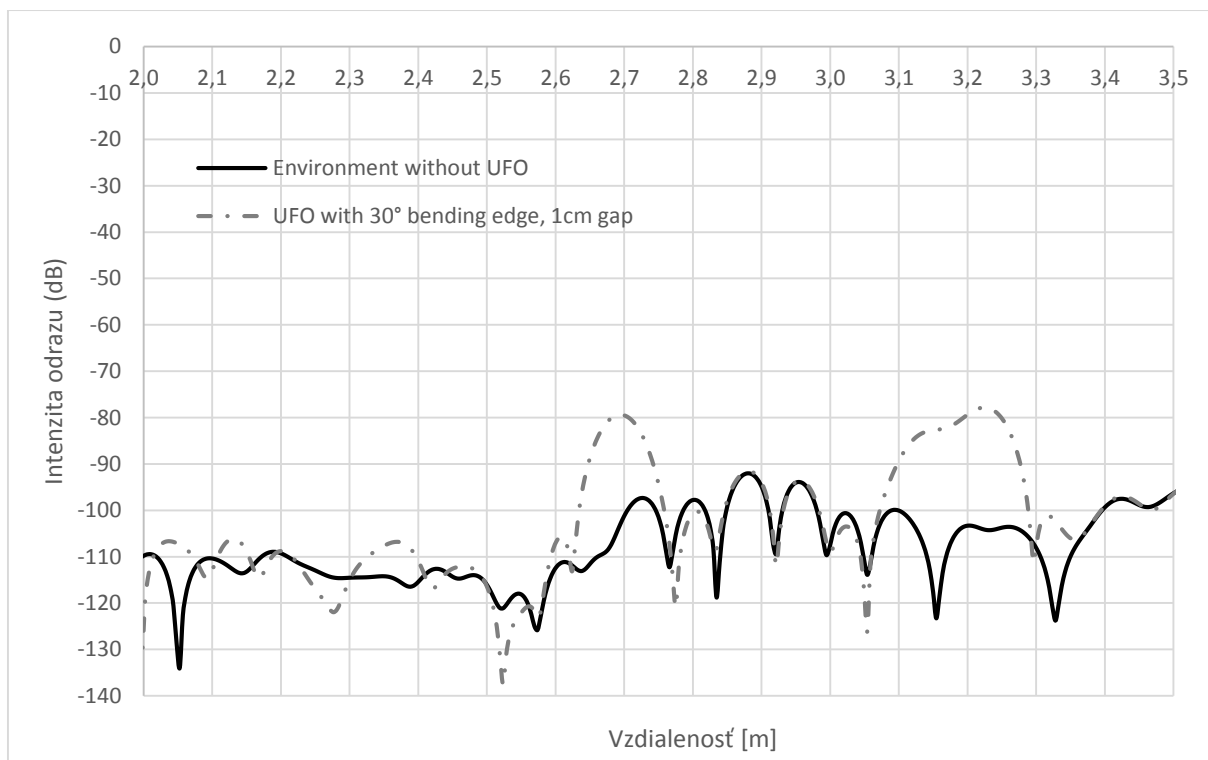
Konštrukcia UFA pozostávala z nosného rámu a podvozku o rozmere 1,8 m x 1,8 m., riadiacej jednotky, akumulátora, D-GPS modulu, bezdrôtovej komunikačnej technológie. Zadná náprava UFA bola poháňaná dvoma servomotormi, ktoré umožňovali s Ufom jazdiť rýchlosťou viac ako 50 km/h. Maximálne dosiahnuteľné zrýchlenie UFA je 3 m/s^2 a dokáže jazdiť nepretržite po dobu cca 20 minút pri plnom zaťažení a maximálnej rýchlosti.

9.3.1 Overenie reflexných vlastností UFA

Pre potreby meraní bolo nutné zistiť či samotné UFO nedisponuje takými odrazovými vlastnosťami, že by pôsobilo dominantným dojmom pre radar vozidla. Ak by samotné UFO vytváralo

svojimi odrazovými vlastnosťami dominantnejší objekt ako figurína, nemuselo by byť vyhodnocovanie aktivácie aktívneho bezpečnostného systému správne. Preto bolo nutné v laboratórnych podmienkach overiť do akej miery je UFO viditeľné pre radar. K meraniu exaktných reflexných vlastností figuríny bolo potrebné využiť laboratória technickej Univerzity v Grazi. Ako samotný zdroj radarových vln o dĺžke 24 GHz bol použitý typ Hewlett Packard K281C, ktorý bol pred samotným meraním nekalibrovaný. Samotná kalibrácia spočívala v meraní rôznych známych impedancií. Ku kalibrácii bola použitá kalibračná sada Rohde&Schwarz ZV-Z32. Na zobrazovanie samotnej odozvy a výsledkov bola použitá vektorovo-obvodová analýza prístrojová technika Rohde&Schwarz ZVA 24.

Z Graf 6 je zrejmé, že UFO svojou konštrukciou nábehových hrán odráža do značnej miery radarové vlny smerom nahor. Tento efekt skosenej prednej hrany telesa UFA dáva predpoklady pre UFO, že nie je viditeľné pre samotný radar vo vozidle. Nemôže tak dôjsť k situácii, že vozidlo vyhodnotí kritickú dopravnú situáciu na základe výskytu UFA pred vozidlom. Hodnota -80 dB je tak nízka, že je s určitou možnosťou povedať, že UFO nemá vplyv na priebeh následných testov. Samotná svetlá výška UFA od vozovky je cca 1 cm.

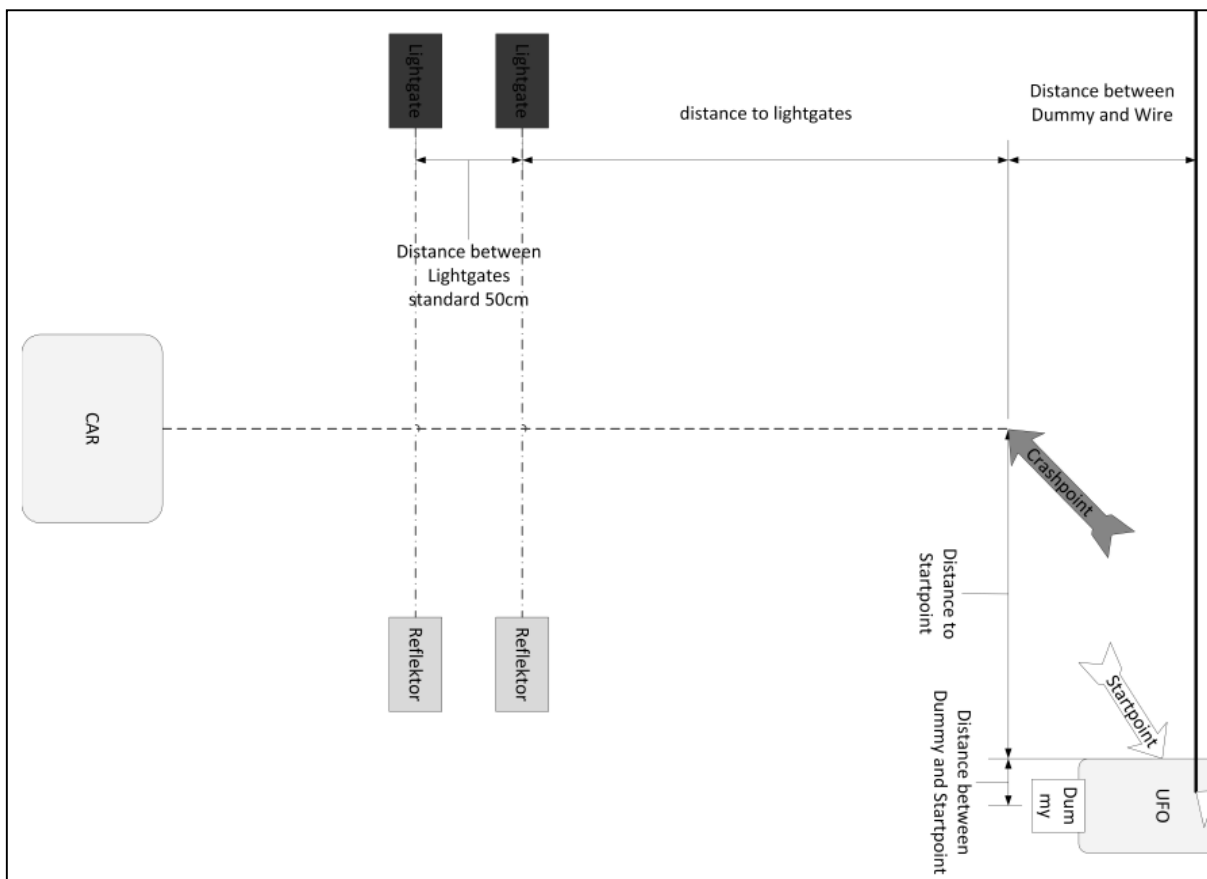


Graf 6 Intenzita odrazených vln od UFA.

9.4 Schéma meraní

Na základe reálne zrekonštruovaných smrteľných nehôd s chodcom bol zistený exaktný priebeh jednotlivých nehôd. Časová a priestorová závislosť pohybu vozidla a chodca bola následne simulovaná pri testoch s použitím vozidla Volvo V40 CC. Chodec bol umiestnený v pozícii, ktorá zodpovedala nehodovej situácii (pozícia UFO). Vo vypočítanej vzdialenosti pred miestom zrážky bola umiestnená svetelná brána (Light Gate), ktorá exaktne zmerala rýchlosť pohybu vozidla a následne prepočítala

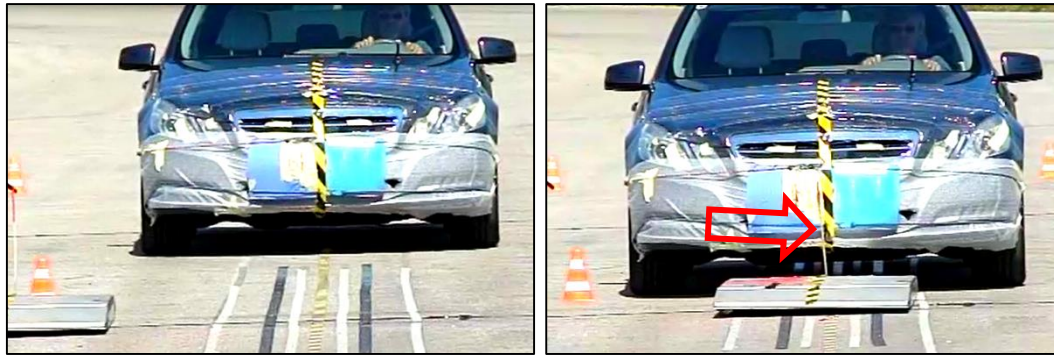
vhodný moment rozjazdu UFA a ustálenie rýchlosti pohybu na rýchlosť pohybu chodca z reálnej nehody. Týmto postupom mohlo dôjsť k rýchlej a presnej synchronizácii. Pri meraní bola zaručená opakovateľnosť testu pri testovaní predmetnej dopravnej situácie viacnásobným pokusom. Časová synchronizácia zaručovala priebeh testu exaktne ako pri reálnej dopravnej nehode.



Obr. 79 Schéma rozostavenia svetelných brán a plošiny UFO. [60]

9.4.1 Overenie presnosti a opakovateľnosti meraní s UFO-m

Opakovateľnosť a presnosť meraní je dôležitým prvkom pri samotnom experimentálnom testovaní reálnych dopravných nehôd. Pri experimentálnych skúškach je potrebné navodiť priebeh nehodového deja zhodne, ako to vyplynulo z analýzy nehodových situácií. Pre potreby overenia presnosti merania a opakovateľnosti pohybu UFA do miesta definovanej zrážky bolo vykonaných celkom 65 meraní. Samotné meranie prebiehalo podľa schémy na Obr. 79. Merania pozostávajú v opakovaných prejazdoch vozidla s rôznou rýchlosťou v oblasti definovaného miesta zrážky. Cieľom bolo vyhodnotiť ako odchýlka priečnej polohy dôjde oproti sledovanej pozícii. Na Obr. 80 je zobrazený vjazd UFA do koridoru pohybu vozidla. Vjazd UFA bol v tomto prípade synchronizovaný na základe informácií o rýchlosti zo svetelnej brány. Na UFE bola umiestnená drevená palička s farebným koncom, ktorý po náraze na prednú časť vozidla zanechal presnú stopu o mieste zrážky Obr. 80. Preddefinované miesto zrážky bolo v oblasti priečného stredu vozidla a v týchto miestach malo dochádzať aj k zanechaniu farebnej stopy.

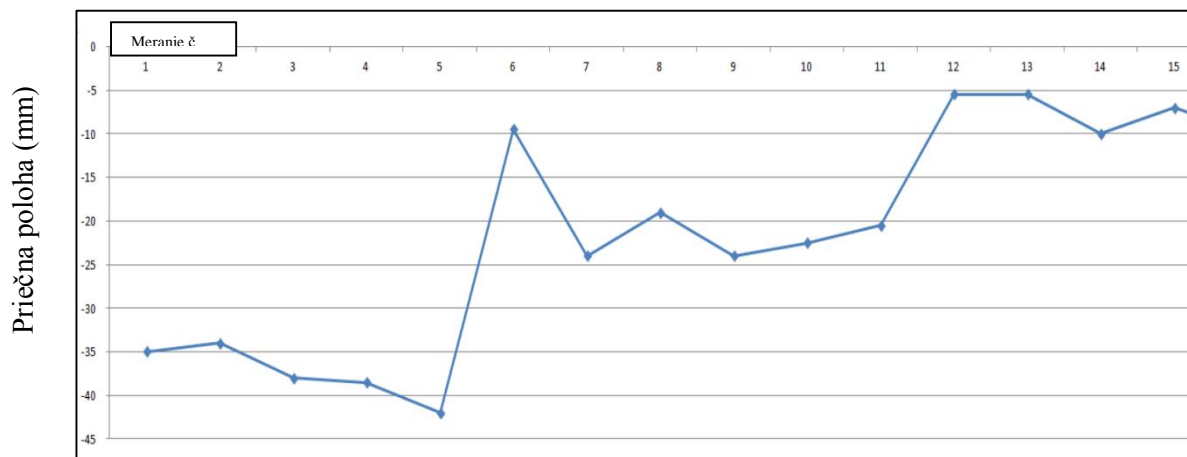


a,

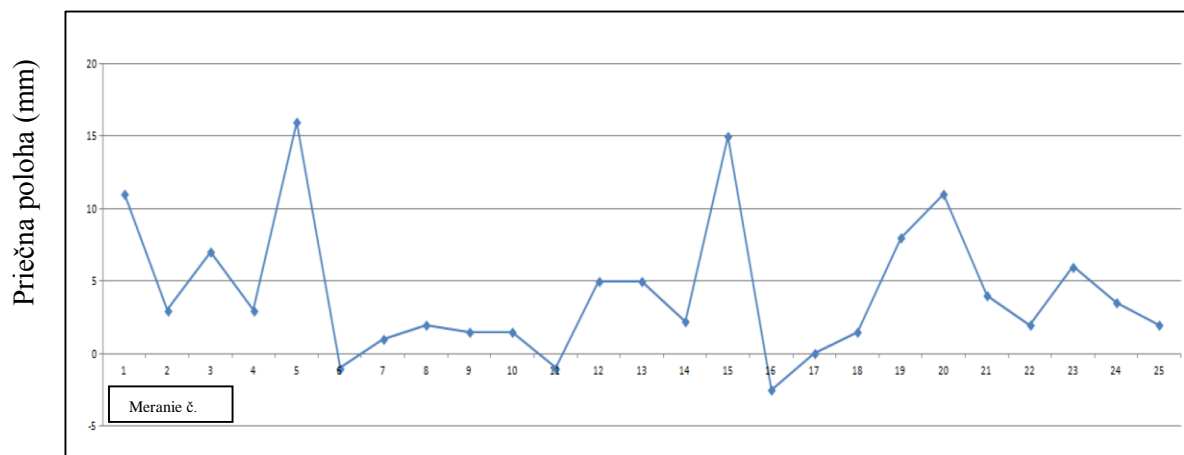
b,

Obr. 80 a, vjazd UFA do jazdného koridoru vozidla b, kontakt drevenej paličky s prednou časťou vozidla. [60]

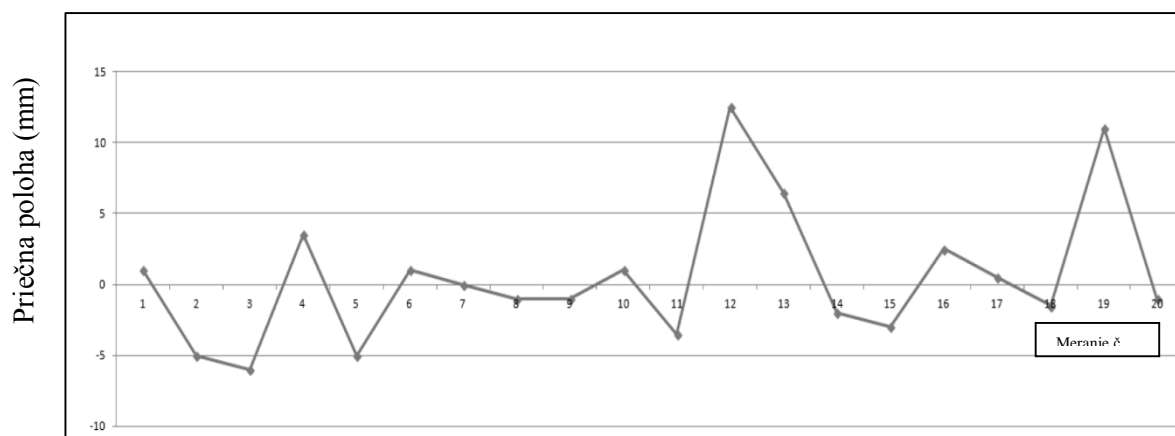
Pri meraniach boli brané v úvahu tri rôzne zrýchlenia UFA : $0,5 \text{ m/s}^2$, 1 m/s^2 , $1,5 \text{ m/s}^2$. Závislosť presnosti polohy UFA voči vozidlu je popísaná v grafoch nižšie. Na x-vej osi je zobrazené číslo merania a na y-novej osi je priečna odchýlka nárazu od preddefinovanej polohy.



Graf 7 Závislosť priečnej polohy UFA pri teste zrýchlením UFA $0,5 \text{ m/s}^2$.



Graf 8 Závislosť priečnej polohy UFA pri teste zrýchlením UFA $1,0 \text{ m/s}^2$.

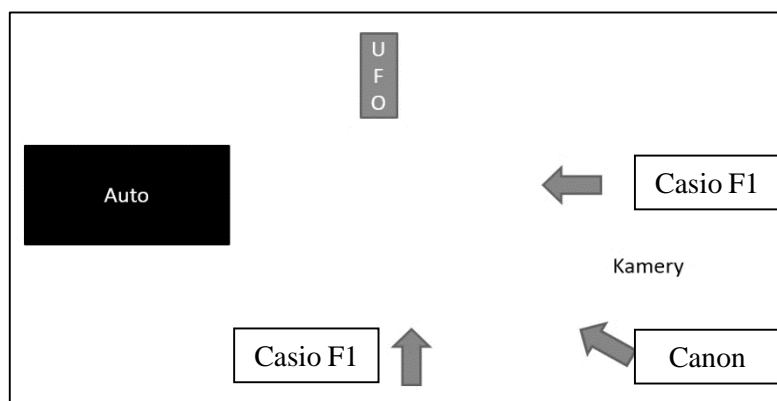


Graf 9 Závislosť priečnej polohy UFA pri teste zrýchlením UFA 1,5 m/s².

Z meraní presnosti pohybu UFA a opakovateľnosti testu vyplynulo, že celková odchýlka od preddefinovanej polohy crash pointu je v rozmedzí -50mm do +20mm prične v smere pohybu UFA. Odchýlka merania je dostatočne malá na to, aby pri následných experimentálnych meraniach dochádzalo k dosahovaniu požadovaných dejových línií zo skúmaných dopravných nehôd.

9.4.2 Použitá záznamová technika

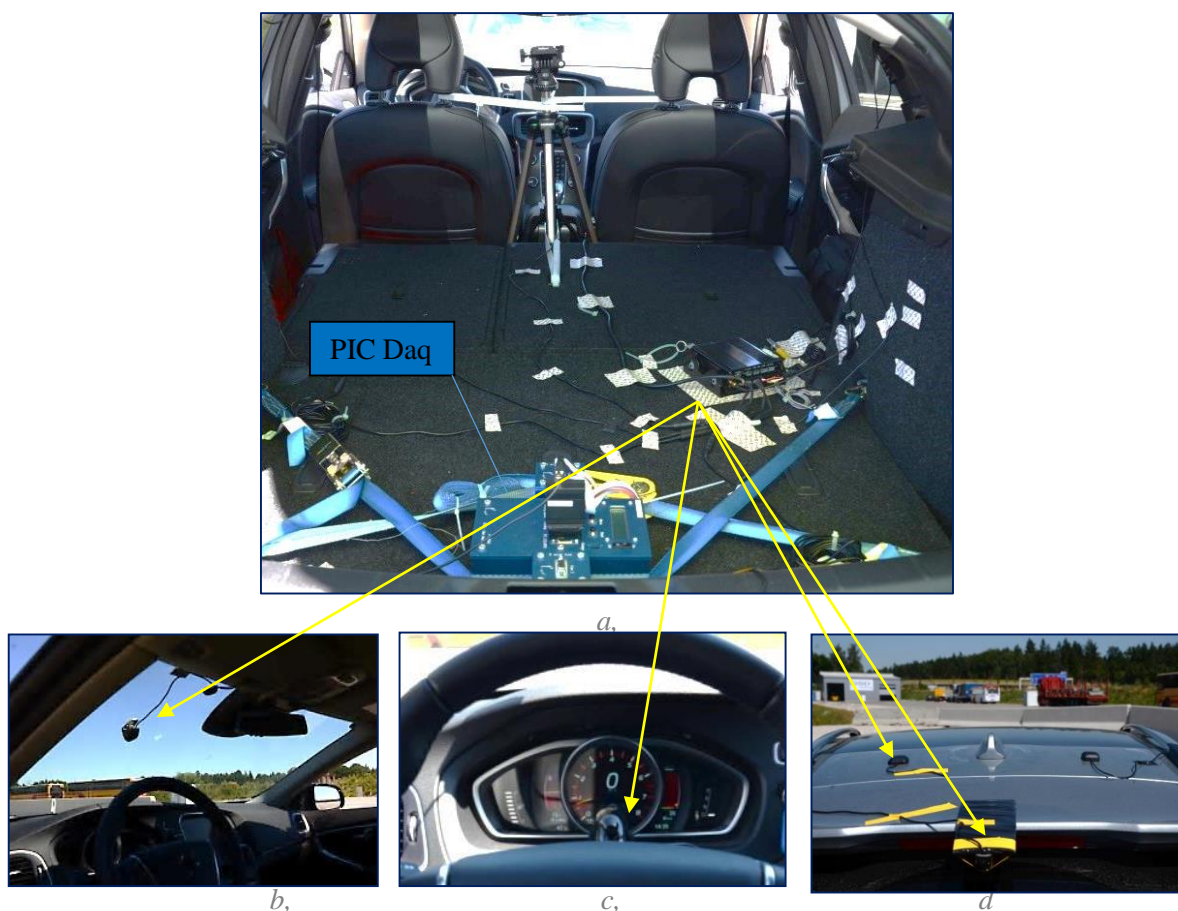
Základom meraní bolo zadokumentovanie priebehu testovacieho deja z rôznych uhlov pohľadu pre spätnú video analýzu. K tomu slúžili dve vysokorýchlostné kamery Casio F1 v smere kolmom na pohyb vozidla a v smere pohybu vozidla. Na perspektívny pohľad na predmetné situácie slúžila bežná video kamera Canon (pozri Obr. 81).



Obr. 81 Rozloženie kamier v oblasti koridoru pohybu figuríny. [60]

Vozidlo bolo osadené špeciálnou čiernou skrinkou, ktorá dokázala zaznamenávať záber v smere pohľadu vodiča, záber na displej pred vodičom, záber na brzdové svetlo a záber na vozovku. Kamera zaznamenávajúca pohľad na displej bola dôležitá z dôvodu spätnej rekonštrukcie deja a vyhodnotení hlásky systému k akému typu zásahu došlo a či bol rozpoznávaný pohyb chodca pred vozidlom alebo nie. Kamera zaznamenávajúca pohľad na brzdové svetlo slúžila na určenie momentu, kedy systém začal brzdový úkon a to bolo následne porovnávané s akcelerometrom. Cieľom bolo tiež vyhodnocovať v akom momente po začiatku autonómneho brzdovania došlo k rozsvieteniu brzdového svetla. Kamera nasmerovaná na vozovku slúžila na zdokumentovanie stupnice nakreslenej na vozovke. Videozáznam slúžil na koreláciu polohy v čase pred samotnou zrážkou. Čierna skrinka obsahovala aj modul GPS,

ktorý slúžil na orientačné meranie rýchlosti vozidla. Vo vozidle bola taktiež nainštalovaná vysokorýchlostná kamera Casio umiestnená medzi sedadlom vodiča a spolujazdca.



Obr. 82 a, pohľad na interiér vozidla Volvo a rozmiestnenie záznamovej techniky b, kamera v zornom poli vodiča c, kamera zaznamenávajúca displej d, kamera zaznamenávajúca brzdové svetlo. [60]

Súčasťou výbavy vozidla bol PICDaq-systém na zaznamenávanie dynamiky vozidla. PIC Daq obsahoval troj-osi akcelerometer a gyroskop, čo umožnilo spätnú časovú analýzu dynamiky pohybu vozidla. Snímacia frekvencia pohybu vozidla bola 200 Hz. Zariadenie bolo umiestnené v zadnej časti vozidla v jeho pozdĺžnej osi pre dosiahnutie maximálnej presnosti meraných dát (pozri Obr. 82).

9.5 Meranie a spracovanie výsledkov

Merania pozostávali zo série testov založených na reálnych dopravných nehodách (pozri kap. 6). Na kompletne otestovanie aktívneho bezpečnostného systému bolo potrebné zvoliť nehody, aby svojim charakterom a priebehom pohybu vozidla a chodca pokrývali celú škálu situácií pri dopravných nehodách. Kompletný prehľad prípadových štúdií a rýchlosti vozidiel v čase zrážky, ktoré vyplynuli z analýzy nehodových štúdií je zobrazený v Tab. 11. Merania boli zamerané na stojaceho chodca, chodca v pohybe z pravej strany v smere jazdy vozidla, chodca v pohybe z ľavej strany v smere pohybu vozidla, taktiež diagonálny pohyb chodca cez vozovku a osoby ležiacej na zemi.

	Značka vozidla	Model	Rok registrácie	Nárazová rýchlosť [km/h]	Smer pohybu chodca
1	Opel	Astra	1999	23	→
2	Citroen	AX	1990	47	→
3	Opel	Corsa	1990	12	←
4	Peugeot	306	1994	50	→
5	Volvo	S70	1997	32	→
6	VW	Multivan	1989	19	←
7	BMW	3	1995	41	←
8	Honda	Civic	1990	55	→
9	VW	Sharan	2006	18	←
10	VW	70D	1993	39	0
11	Mitshubishi	Pajero	1992	32	←
12	Ford	transit	1999	36	→
13	Toyota	Avensis	2001	45	ležec
14	Mazda	Demio	1999	42	↘
15	Renault	Twingo	1993	46	↘
16	Opel	Corsa	2003	39	→
17	VW	Passat	1993	30	→
18	VW	Transporter	2000	47	↙

Tab. 11 Prehľad prípadových štúdií pre experimentálne meranie.

Po uskutočnenom meraní bol každý prípad analyzovaný pomocou softvéru Adobe After Effect. Na základe video analýzy bolo zisťované, v akom časovom momente pred kontaktom vozidla s chodcom došlo k prvotnému akustickému a vizuálnemu upozorneniu vodiča pred potencionálnou prekážkou v smere jazdy vozidla. Z meraní bolo zistené, že akustický signál je spustený vždy spoločne s vizuálnym varovaním. Vizuálne varovanie vodiča je sprevádzané prerušovaným svetelným alarmom, ktorý je umiestnený v oblasti medzi tachometrom a čelným sklom. Jedná sa o veľmi dobre viditeľné miesto z pohľadu vodiča. Samotná svetelná lišta má cca 15 centimetrov a jej veľkosť je postačujúca na upútanie pozornosti vodiča (pozri Obr. 83).



Obr. 83 Pohľad na rozsvietenú lištu alarmu a jej odraz v čelnom skle pri rozpoznaní chodca a následnom varovaní vodiča.[60]

S vozidlom bolo v prvotných meraniach vykonané testovanie na detekciu chodcov pri zapadajúcom slnku, respektíve pri slnku, ktoré je nízko nad horizontom a oslňuje tak vodiča a zároveň aj kameru. Pri meraniach bolo zistené, že v prípade polohy slnka v nízkej výške nad horizontom do 15° nedôjde k zníženiu funkčnosti systému pri jazde v smere slnečných lúčov ± 30 stupňov (merané rozpätie) od smeru jazdy vozidla.

Pri nočných meraniach bez prítomnosti iného svetelného zdroja ako osvetlenia vozidla systém nedokáže rozpoznať a reagovať na chodca. Systém dokáže v noci rozpoznať chodca do rýchlosti cca 20 km/h a následne brzdiť. Tento manéver je systémom aktivovaný a vyhodnotený na základe prekážky (vozidlo) a nie na základe rozpoznania ľudskej postavy. Tento fakt bol podoprený vyhláškou City Safety was activated, ktorá sa objavuje pri aktivácii systému na základe kritickej situácie pred vozidlom v dôsledku výskytu iného vozidla. Tento záver vyplýva z funkčnosti systému City Safety, ktorý je predurčený na jazdu vozidla v kolóne a pri nízkych rýchlostiach, kde systém reaguje na objekty alebo vozidla v jazdnom koridore vozidla a nie na chodcov. Pri pokusoch s ležiacou osobou nedošlo ani v jednom prípade k aktivácii systému. Ako to vyplýva aj z technického manuálu k vozidlu, systém reaguje na postavy, ktorých výška prevyšuje 80 cm.

9.5.1 Program pre pohyb UFA

Z analýzy pohybu vozidla a chodca pred zrážkou v kap. 7.2 vyplynula aj rýchlosť pohybu chodca pred samotnou zrážkou a dráhu, ktorú chodec prešiel. Z predmetných analyzovaných štúdií bolo potrebné vytvoriť program pre UFO. Podľa preddefinovaného programu sa následne UFO mohlo pri experimentálnom meraní pohybovať (pozri Tab. 12). Z programu vytvoreného pre UFO došlo ku presnej synchronizácii pohybu vozidla s UFO-om.

Prípadová štúdia č.	Rýchlosť UFA pri zrážke [km/h]	Vzdialenosť do miesta zrážky [m]	Čas UFA do miesta zrážky [s]	Akcelerácia UFA [m/s ²]
1	3,6	2,5	3,0	1,0
2	4,0	3,8	4,0	1,0
3	4,2	2,7	2,9	1,0
4	4,0	5,6	5,6	1,0
5	5,0	5,7	4,8	1,0
6	4,0	2,6	2,9	1,0
7	4,2	2,8	3,0	1,0
8	5,5	5,4	4,3	1,0
9	4,0	2,8	3,1	1,0
10	x	x	x	x
11	5,2	4,8	4,1	1,0
12	6,0	9,4	6,5	1,0
13	x	x	x	x
14	3,0	6,3	6,5	1,0
15	4,0	3,6	3,8	1,0
16	4,1	3,2	3,3	1,0
17	3,0	2,4	3,2	1,0
18	3,8	4,6	4,8	1,0

Tab. 12 Preddefinovaný pohyb UFA pri experimentálnych meraniach.

Z Tab. 12 a kap. 7 vyplynulo, že pohyb chodca v prípadových štúdiách bol od cca 3 km/h do cca 7 km/h. Rýchlosť pohybu chodcov je možné označiť za nižšiu, ale s ohľadom na vek chodcov, ktorý dosahoval v priemere 66 rokov a najstarší účastník dopravnej nehody bol starý 91 rokov, je technicky prijateľnejší rozptyl rýchlosti pohybu chodcov do 6 km/h. Akcelerácia UFA bola volená na základe meraní opakovateľnosti testu UFA (pozri kap. 9.4.1), z ktorej vyplynulo, že pri zrýchlení UFA $a=1 \text{ m/s}^2$ dochádza k najpresnejším výsledkom a toto zrýchlenie je technicky prijateľné aj pre predmetnú vekovú skupinu ľudí.

9.5.2 Príklad rozboru prípadovej štúdie

Po vykonaní samotného experimentálneho merania bolo potrebné pre následnú analýzu chovania sa vozidla spracovať video záznamy z kamier a záznam z meracieho zariadenia PIC Daq. Celkom bolo pri meraní použitých 8 kamier.

Kamera č. 1: Záber v zornom poli vodiča.

Kamera č. 2: Priamy pohľad na smer jazdy vozidla Volvo.

Kamera č. 3: Pohľad z oblasti medzi vodičom a spolujazdcom (High speed kamera).

Kamera č. 4: Záber na displej tachometra .

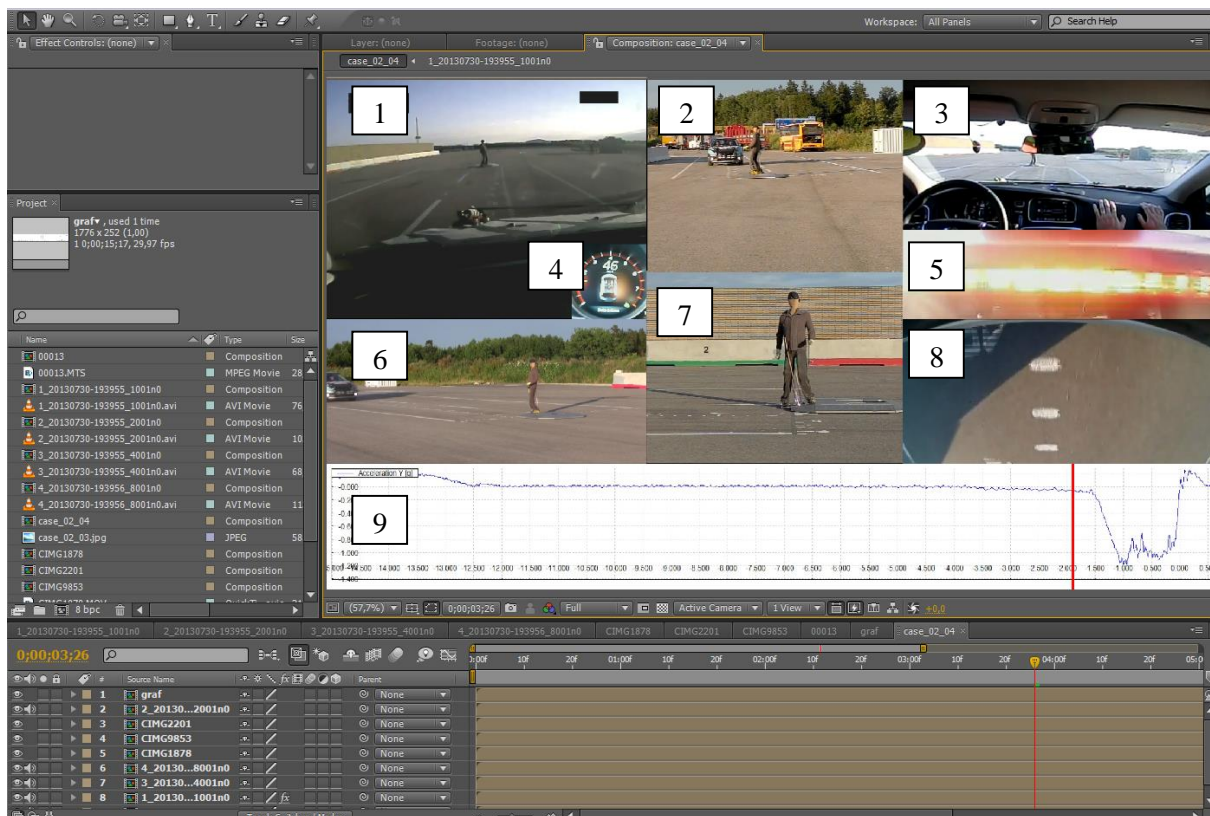
Kamera č. 5: Záber na brzdné svetlo vozidla Volvo.

Kamera č. 6: Perspektívny pohľad na oblasť miesta zrážky.

Kamera č. 7: Kolmý pohľad na smer jazdy vozidla. Priamy pohľad na pohyb chodca.

Kamera č. 8: Záber na vozovku.

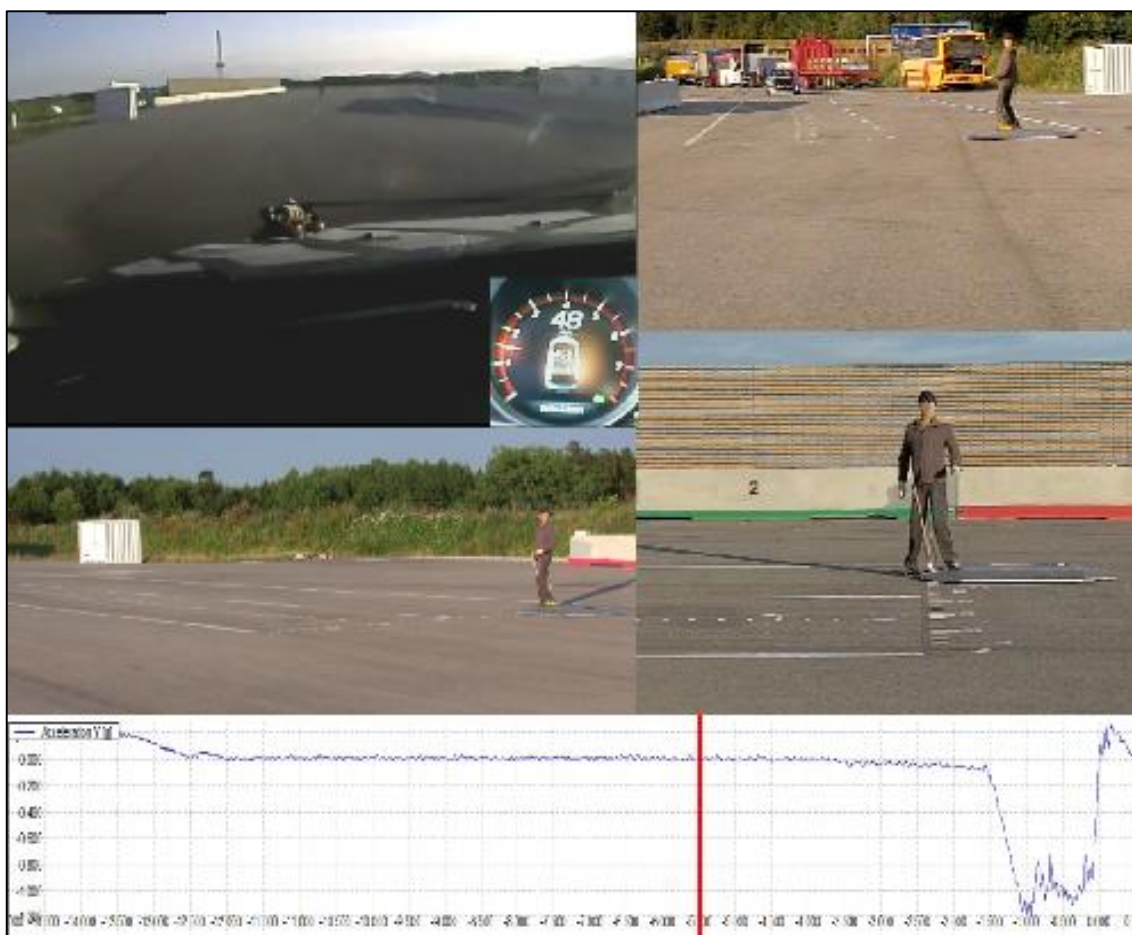
Kamera č. 9: Priebeh akceleračnej krivky v priebehu testu.



Obr. 84 Program na synchronizáciu a úpravu videí – Adobe After Effect. [60]

Videozáznam bol spracovaný pomocou programu Adobe After Effect, ktorý umožňoval synchronizáciu jednotlivých videí a prácu s nimi k dosiahnutiu čo najpresnejších výsledkov. V samotnej práci je priestor na rozbor všetkých prípadových štúdií, konkrétne v tejto kapitole sa budem venovať popisu len jedného testu (test. č. 2 z Tab. 11). Pre rozbor tejto prípadovej štúdie boli použité zábery z kamier č. 1,2,4,6,7 a samotný priebeh akcelerácie. Krivka akcelerácie vyplývala z nameraných dát a následným spracovaním bola prevedená do video sekvencie, ktorá uľahčovala prácu pri vyhodnocovaní jednotlivých videí. Jednalo sa o vozidlo jazdiace v čase zrážky rýchlosťou cca 47 km/h. Do koridoru vozidla vstúpil z ľavej strany chodec pohybujúci sa rýchlosťou cca 4 km/h. Synchronizácia pohybu vozidla a chodca bola na základe presnej simulácie z programu PC-Crash 10.0. Vizualne zobrazenie priebehu jednej prípadovej štúdie č.2 je vyobrazené na Obr. 85 až Obr. 89.

Na Obr. 85 je zobrazený prejazd vozidla cez svetelnú bránu v čase 5 s a 70 m pred zrážkou s chodcom. Chodec v tomto okamihu ešte stojí. V momente prejazdu vozidla svetelnou bránou vyhodnocuje riadiaca jednotka UFA na základe aktuálnej rýchlosti vozidla Volvo správny moment na štart UFA (chodca).



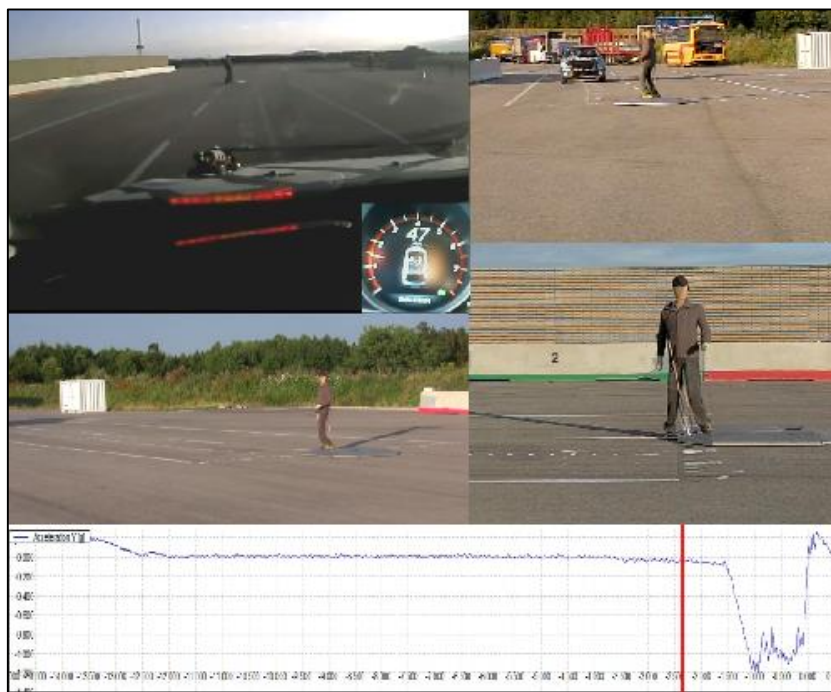
Obr. 85 Prejazd svetelnou bránou vozidlom Volvo. [60]

Vozidlo sa pohybuje ďalej ustálenou rýchlosťou 47 km/h a v čase 4,3 s pred zrážkou s chodcom dochádza k rozjazdu UFA so zrýchlením 1 m/s^2 (pozri Obr. 86). Plne synchronizovaný a automatizovaný dej následne reprodukuje dejovú líniu zo skutočnej nehody.



Obr. 86 Rozjazd UFA. [60]

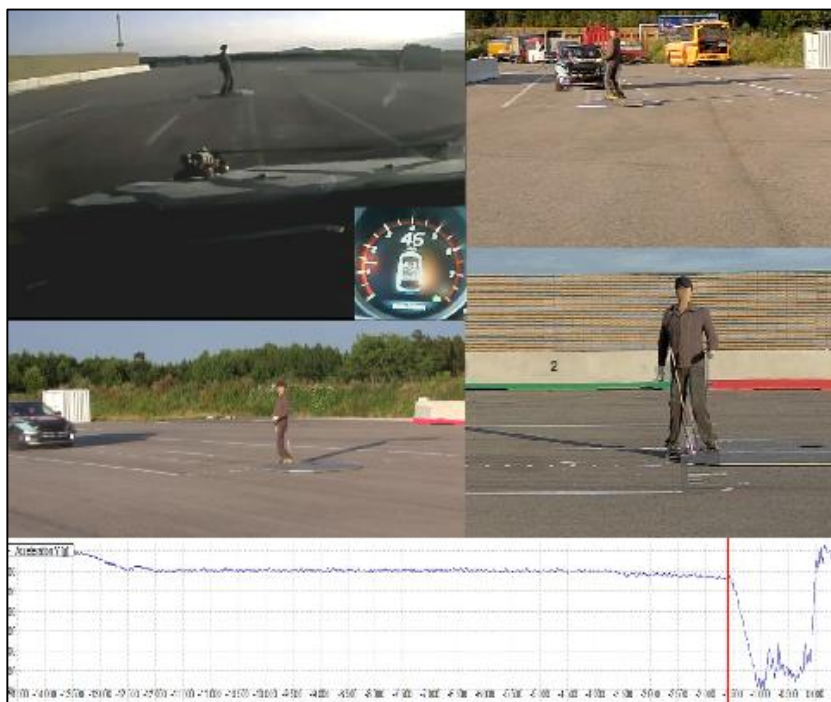
V čase cca 2 s a 19 m pred koridorom pohybu chodca (pozri Obr. 87) dochádza k akusticko-vizuálnemu varovaniu vodiča v momente, keď sa chodec nachádza vo vzdialenosti cca 0,7 m od koridoru pohybu vozidla Volvo jazdiaceho rýchlosťou cca 45 km/h. Vozidlo Volvo v tomto momente ešte autonómne nebrzdí.



Obr. 87 Aktivácia alarmu vo vozidle Volvo. [60]

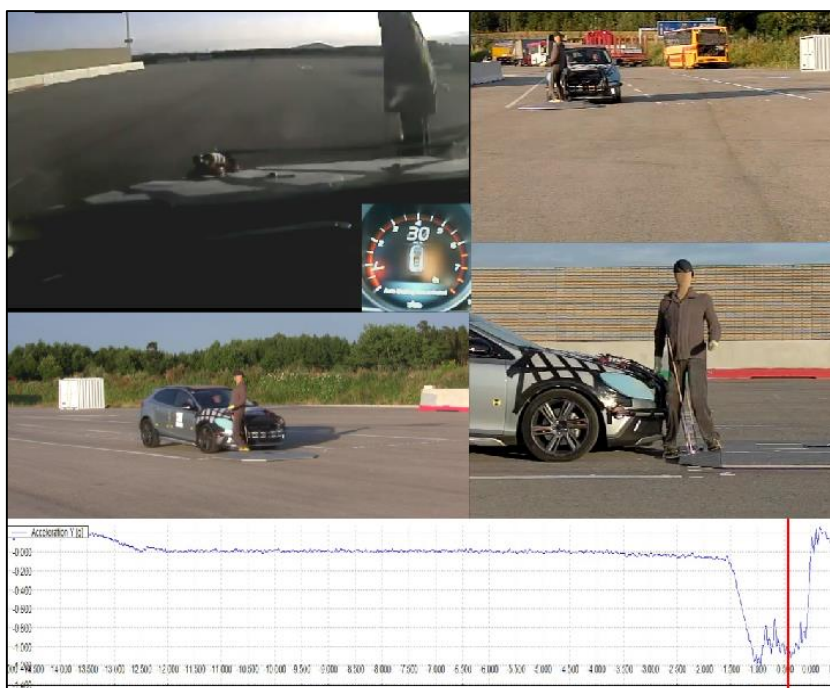
Po uplynutí necelých 0,8 s od aktivácie alarmu dochádza k aktivácii autonómneho brzdienia vozidla vo vzdialenosti cca 13 m (pozri Obr. 88). Vozidlo brzdí s priemerným spomalením cca 10 m/s^2 . V priebehu aktivovaného autonómneho brzdienia vodič nezasahoval

do riadenia vozidla. Brzdový pedál pri autonómnom brzdení poklesne k podlahe, ako tomu je pri normálnom brzdení.



Obr. 88 Počiatok autonómneho brzdzenia vozidla Volvo. [60]

Po cca 2 sekundách od prvotnej akustickej signalizácie dochádza k zrážke vozidla s chodcom. Rýchlosť v čase zrážky (pozri Obr. 89) bola cca 12 km/h oproti 48 km/h pri reálnej dopravnej nehode, pri ktorej vodič nestihol reagovať na chodca.



Obr. 89 Vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridoru pohybu chodca. [60]

Z priebehu testovanej štúdie môžeme jednoznačne popísať celkový nehodový dej v závislosti na čase a vzdialenosti vozidla od chodca. Ak by došlo k zrážke s chodcom (osoba vážiaca viac ako

15 kg), je dosť možné, že by po kontakte s osobou došlo k následnej aktivácii aktívnej kapoty (pozri kap. 2.8). Tento úkon by zabezpečil zväčšenie svetlého priestoru medzi súčasťami v motorovom priestore a kapotou, čo by prispelo k zníženiu poranení chodca o tuhé časti. Je málo pravdepodobné a otázne, či by došlo k aktivácii airbagu pre chodca, keďže sa jednalo o rýchlosť jazdy vozidla len cca 12 km/h v čase zrážky s chodcom. Tieto tézy sú možným cieľom ďalších výskumných krokov, ktorým sa bude v budúcnosti venovať autor tejto práce.

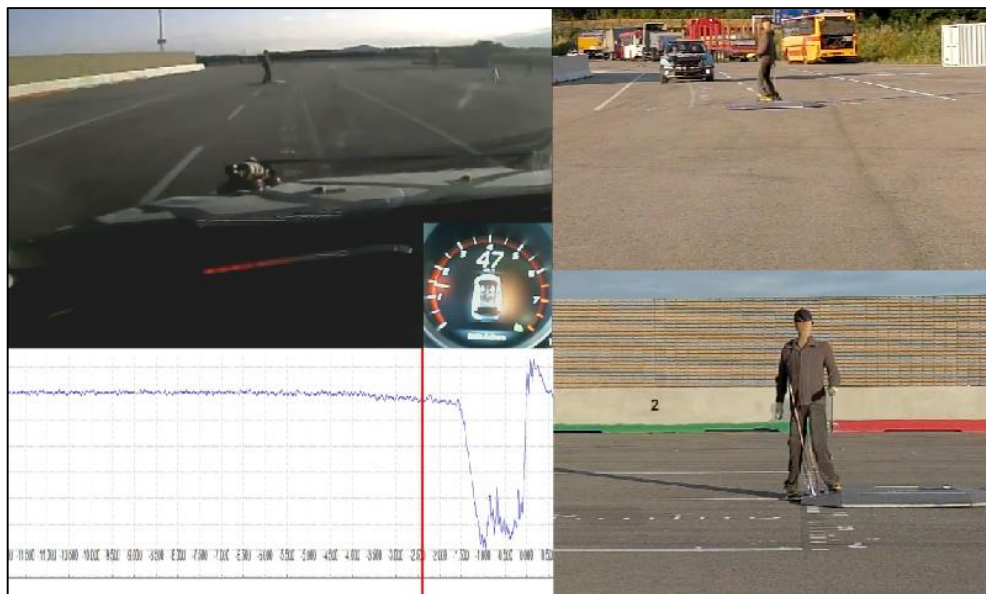
10. Analýza momentu aktivácie varovnej akusticko-vizuálnej signalizácie systému a momentu začiatku autonómneho brzdzenia vozidla

Celkom v 11 prípadových štúdiách systém aktívne upozornil vodiča na výskyt chodca a s ním spojené riziko zrážky. Komplexný rozbor priebehu 11 prípadových štúdií, v ktorých došlo k aktivácii akusticko-vizuálneho alarmu, bude riešený v tejto kapitole. Rýchlosti vozidiel sa môžu mierne líšiť ($\pm 10\%$) od rýchlosti vozidla pri reálnej dopravnej nehode z dôvodu komplikovanosti celej debovej línie. Pri samotnom experimentálnom meraní bolo využívané vozidlo Volvo s automatickou prevodovkou, pri ktorej bolo ušľachovanie rýchlosti na tak krátkej dráhe zložité.

Kamera, ktorá zaznamenávala video záznam v oblasti zorného poľa vodiča, plne zachytávala aj optický alarm vo vozidle. Z experimentálnych meraní vyplynulo, že v momente, kedy dôjde k varovaniu vodiča, sa prejaví zvukové a vizuálne varovanie v rovnakom čase. Medzi jednotlivými signálmi sa na prvý pohľad vodiča môže zdať, že zvuk prichádza o niečo neskôr, ale z analýzy video záznamu vyplynulo, že tomu tak nie je.

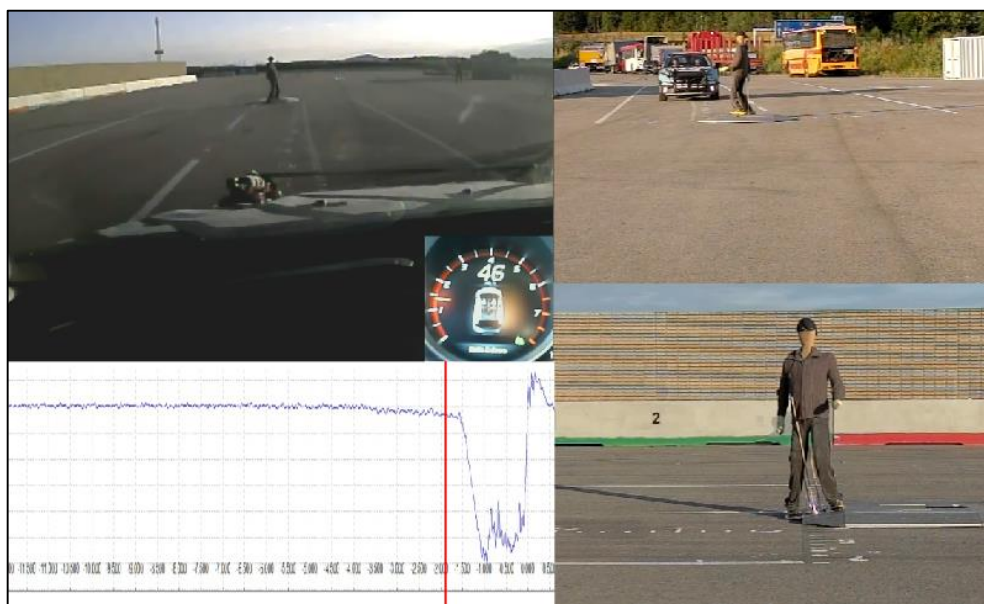
10.1 Prípadová štúdia č.2

V prípadovej štúdii č.2 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 45 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo sa smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu vo vozidle bolo vozidlo vzdialené od koridoru pohybu chodca cca 19 m. Aktivácia akustickou-vizuálneho varovného signálu nastala cca 2,0 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol vzdialený cca 0,6 m od koridoru pohybu vozidla.



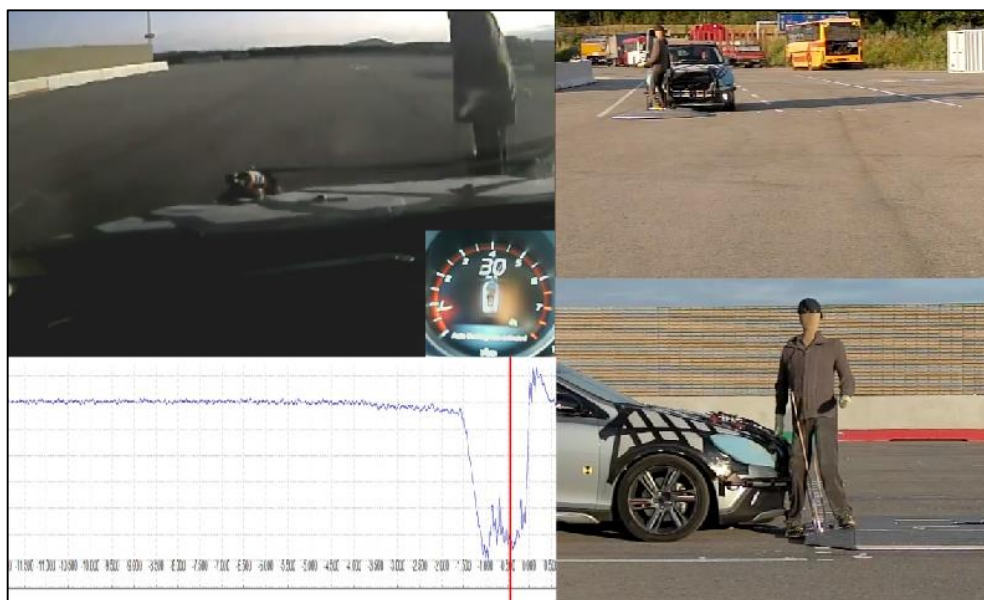
Obr. 90 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.2. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,5 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 13m od koridoru pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,3 m v koridore pohybu vozidla Volvo.



Obr. 91 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.2. [60]

Po uplynutí cca 2 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridoru pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 12 km/h oproti 47 km/h pri dopravnej nehode.



Obr. 92 Prejazd vozidla Volvo oblasťou koridoru pohybu chodca - prípadová štúdia č.2. [60]

10.2 Prípadová štúdia č.3

V prípadovej štúdii č.3 jazdilo vozidlo Volvo v oblúku ustálenou rýchlosťou cca 14 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo sa smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu vo vozidle bolo vozidlo vzdialené od koridoru

pohybu chodca cca 3,3 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,0 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec už bol cca 0,25 m v koridore pohybu vozidla.



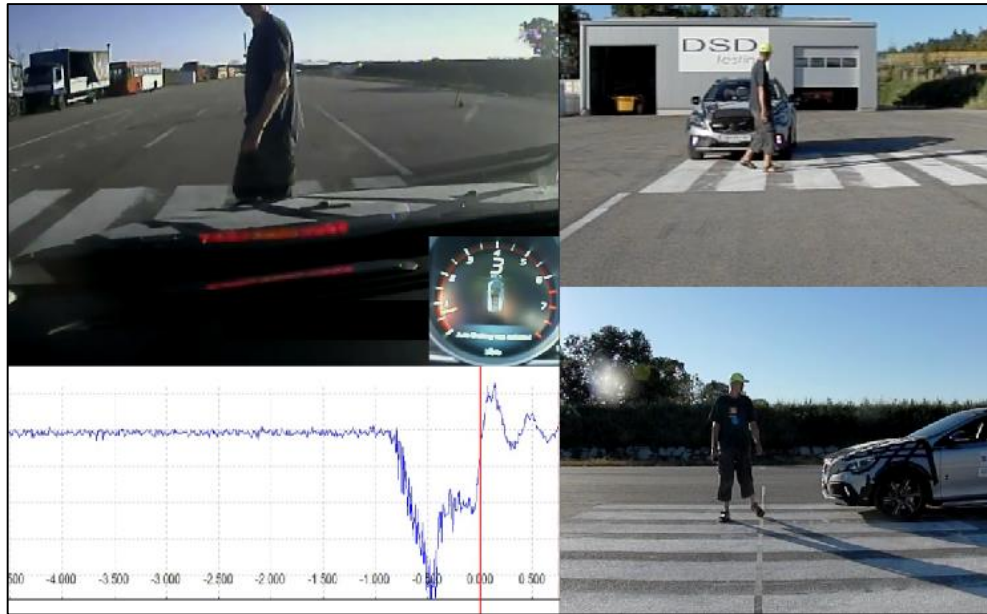
Obr. 93 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.3. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,2 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 1,6 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,6 m v koridore pohybu vozidla Volvo.



Obr. 94 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.3. [60]

Po uplynutí cca 2,0 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zastaveniu vozidla cca 1 m pred koridorom pohybu chodca.



Obr. 95 Zastavenie vozidla Volvo pred koridorom pohybu chodca - prípadová štúdia č.3. [60]

10.3 Prípadová štúdia č.4

V prípadovej štúdii č.4 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 46 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec vošiel do jazdného pruhu spoza vozidla jazdiaceho rýchlosťou cca 20 km/h v ľavom jazdnom pruhu. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo Volvo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 18 m a jazdilo cca 49 km/h. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,7 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla.



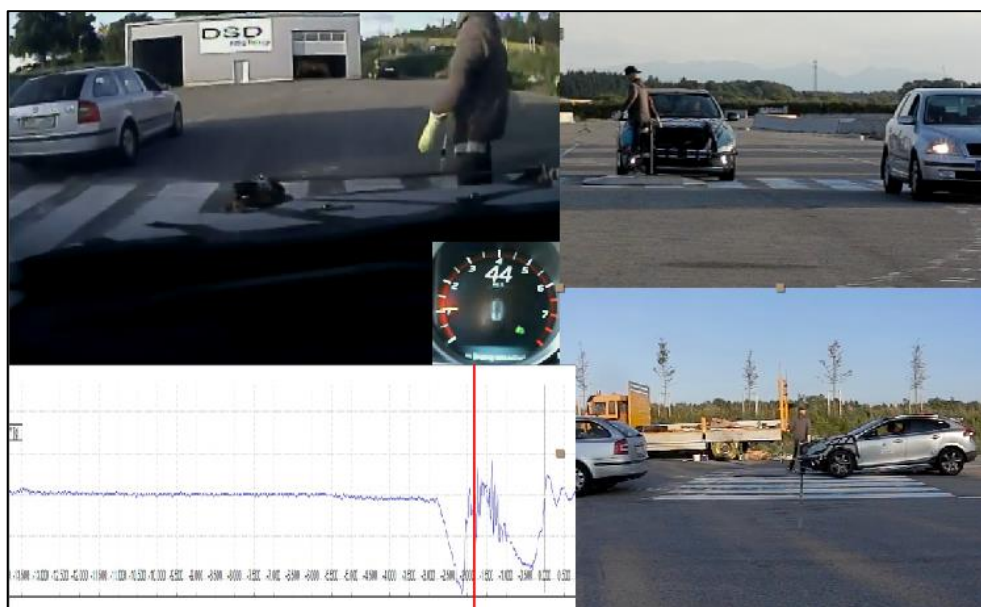
Obr. 96 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.4. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,6 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 11,5 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,3 m v koridore pohybu vozidla Volvo.



Obr. 97 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.4. [60]

Po uplynutí cca 1,8 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 26 km/h oproti rýchlosti cca 50 km/h pri dopravnej nehode.



Obr. 98 Zrážka vozidla Volvo s figurínou - prípadová štúdia č.4. [60]

10.4 Prípadová štúdia č.5

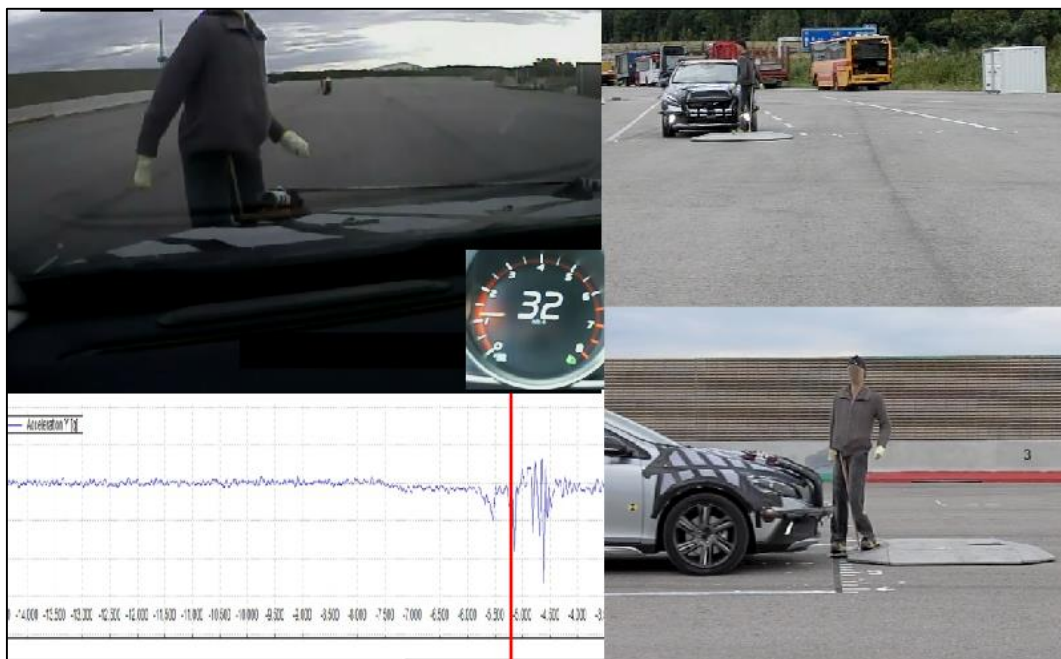
V prípadovej štúdii č.5 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 35 km/h. Táto rýchlosť vplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval

rýchlosťou cca 5,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 12,5 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 1,1 m pred koridorom pohybu vozidla.



Obr. 99 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.5. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo nedošlo a samotný náraz do figuríny nastal v ľavom prednom rohu vozidla, ako tomu bolo aj pri DN. Rozdiel pri meraní bol v tom, že vozidlo upozornilo vodiča cca 1,5 s pred zrážkou na vstup chodca do koridora pohybu vozidla. Stačil veľmi malý vyhýbací manéver zo strany vodiča a mohlo dôjsť k zabráneniu dopravnej nehody.



Obr. 100 Moment zrážky vozidla s figurínou - prípadová štúdia č.5. [60]

10.5 Prípadová štúdia č.6

V prípadovej štúdii č.6 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 30 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo sa smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. Z analýzy predmetnej prípadovej štúdie ako v jedinom prípade vyplynulo, že vodič začal reagovať na chodca v momente, keď chodec vstúpil na vozovku. Z analýzy nehodovej situácie vyplynulo, že v čase reakcie vodiča na chodca bolo vozidlo VW vzdialené cca 11 m. V momente aktivácie varovného signálu pri experimentálnom meraní bolo vozidlo Volvo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 3,7 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 0,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla.

Z predmetného merania je možné povedať, že vodič vozidla VW pri dopravnej nehode reagoval na chodca cca 1,5 s pred zrážkou, čo je o cca 1,0 s skôr ako autonómny systém vozidla Volvo. Tým, že vodič vozidla VW po ubehnutí reakčnej doby brzdil, došlo k zrážke s chodcom v oblasti stredu vozidla. Samotný naraz figuríny na vozidlo Volvo bol tým posunutý o cca 0,6 m. Keďže vozidlo Volvo nebrzdilo, dosiahlo koridor pohybu chodca skôr a teda samotný chodec bol viac posunutý doprava v smere jazdy vozidla.



Obr. 101 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.6. [60]

K aktivácii autonómneho brzdienia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,2 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 2,1 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla Volvo.



Obr. 102 Moment aktivácie autonómneho brzdzenia - prípadová štúdia č.6. [60]

Po uplynutí cca 0,3 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom nábehu brzdzenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 27 km/h oproti rýchlosti cca 30 km/h pri dopravnej nehode.

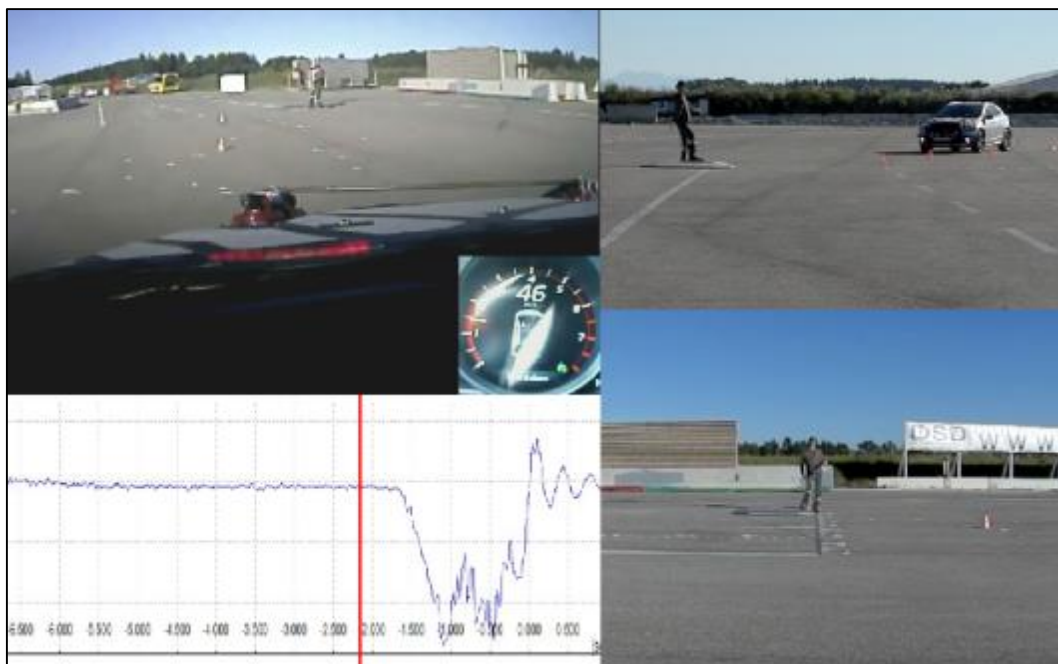


Obr. 103 Zrážka vozidla Volvo s figurínou - prípadová štúdia č.6. [60]

10.6 Prípadová štúdia č.7

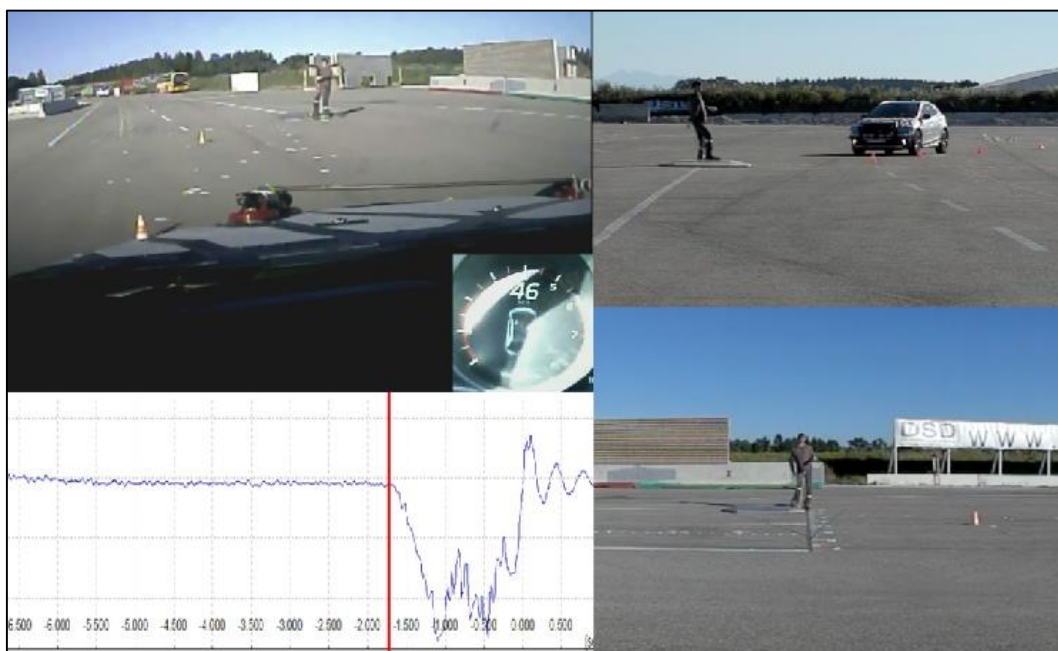
V prípadovej štúdii č.7 jazdilo vozidlo Volvo v oblúku ustálenou rýchlosťou cca 45 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 16 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,6 s pred koridorom

pohybu chodca. Chodec bol v pozícii priamo pred vozidlom, ale vozidlo jazdilo v oblúku a chodec bol vzdialený ešte cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla na vozovke.



Obr. 104 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.7. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,4 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 11 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,2 m v koridore pohybu vozidla Volvo.



Obr. 105 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.7. [60]

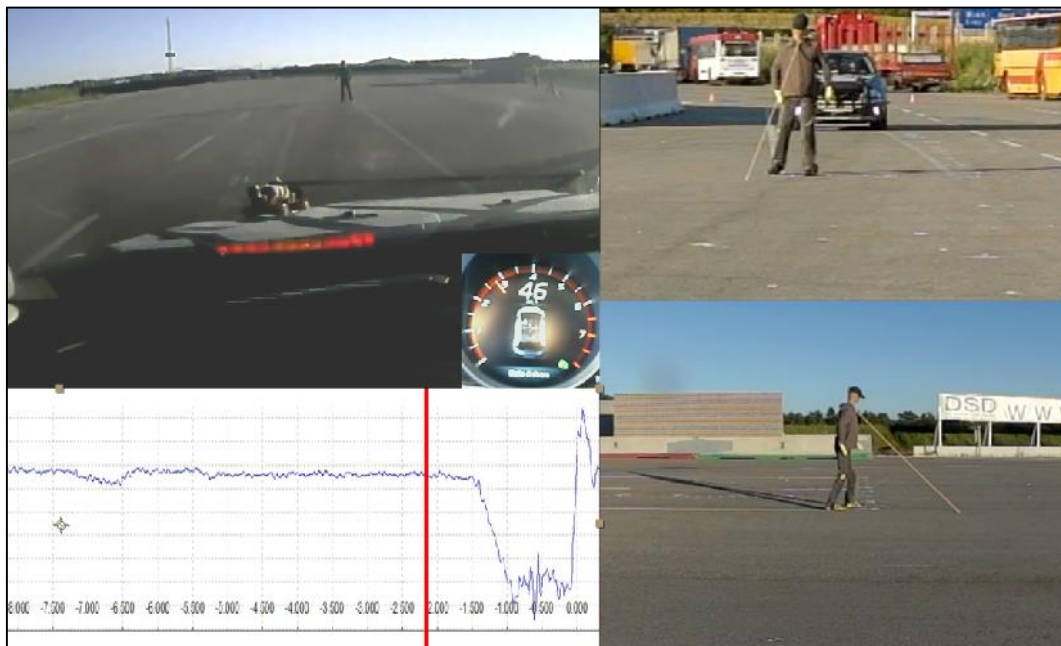
Po uplynutí cca 1,5 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 16 km/h oproti rýchlosti cca 45 km/h pri dopravnej nehode.



Obr. 106 Zrážka vozidla Volvo s figurínou - prípadová štúdia č.7. [60]

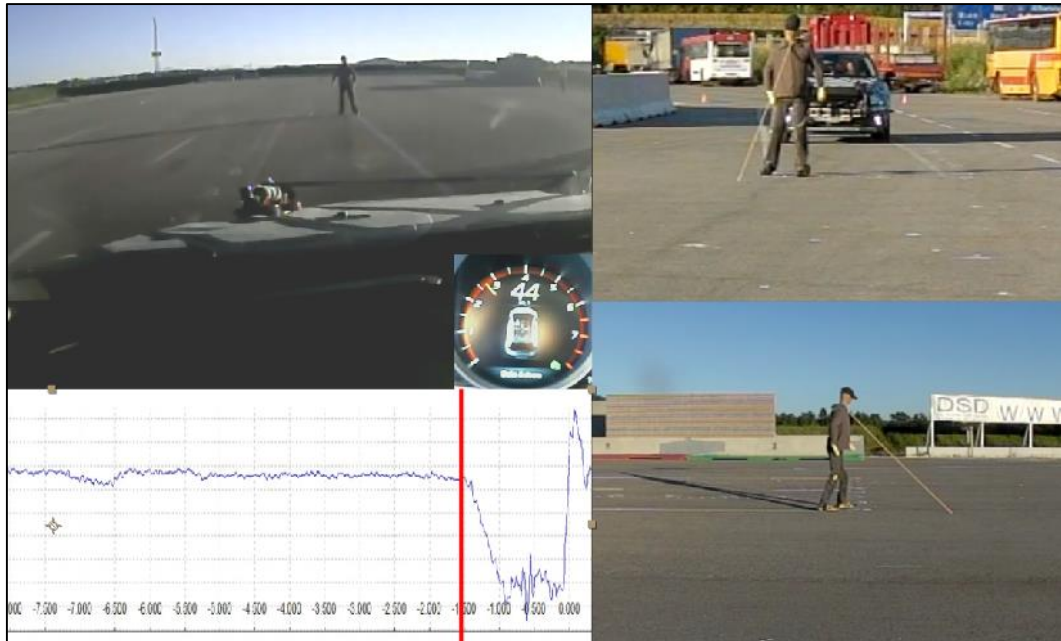
10.7 Prípadová štúdia č.10

V prípadovej štúdii č.10 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere postupne znižujúcou sa rýchlosťou z cca 70 km/h na cca 45 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii chodec stál na okraji vozovky. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od figuríny cca 18 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,9 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol v pozícii priamo pred vozidlom.



Obr. 107 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.10. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,5 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 12 m od figuríny chodca.



Obr. 108 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.10. [60]

Po uplynutí cca 1,9 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 16 km/h oproti rýchlosti cca 45 km/h pri dopravnej nehode.



Obr. 109 Zrážka vozidla Volvo s figurínou - prípadová štúdia č.10. [60]

10.8 Prípadová štúdia č.11

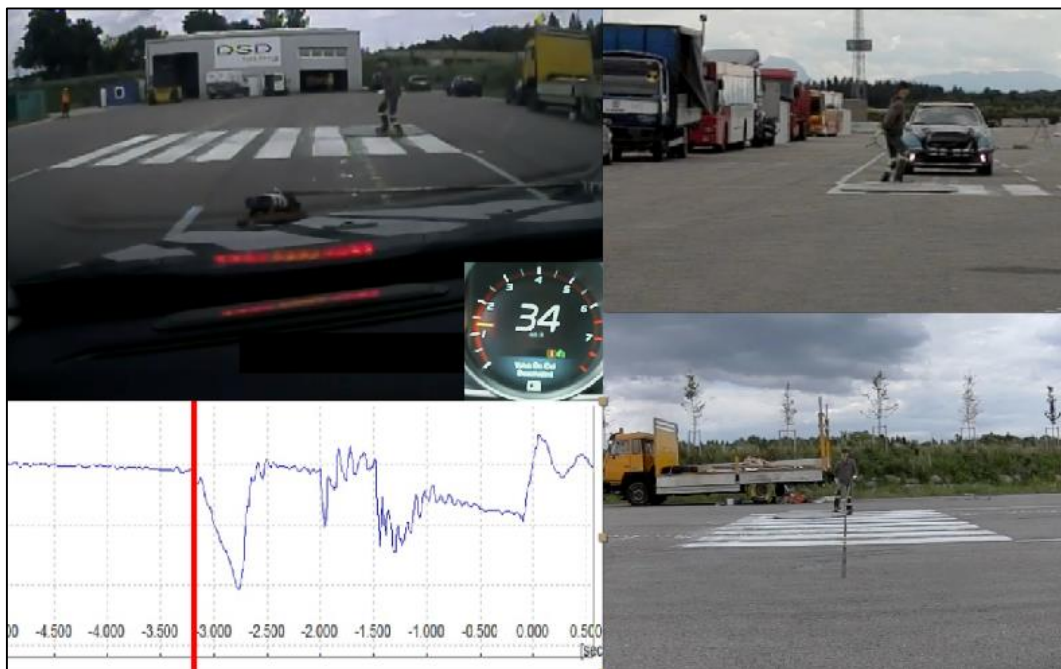
V prípadovej štúdii č.11 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 32 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 5,2 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora

pohybu chodca cca 10,5m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 0,2 m pred koridorom pohybu vozidla.



Obr. 110 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.11. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,4 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 10m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,3 m v koridore pohybu vozidla Volvo.



Obr. 111 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.11. [60]

Po uplynutí nábehu brzdného účinku došlo k skokovému vypnutiu autonómneho brzdenia vozidla Volvo. Nie je známy dôvod prečo k tomu v predmetnom prípade došlo.



Obr. 112 Vypnutie autonómneho brzdzenia - prípadová štúdia č.11. [60]

Po uplynutí cca 1,5 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdzenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 21 km/h oproti rýchlosti cca 32 km/h pri dopravnej nehode.



Obr. 113 Zrážka vozidla Volvo s figurínou - prípadová štúdia č.11. [60]

10.9 Prípadová štúdia č.14

V prípadovej štúdii č.14 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 42 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval pod 30° uhlom k rovine kolmej na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 3,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené

od koridora pohybu chodca cca 10,5 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,1 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec sa nachádzal cca v osi vozidla.



Obr. 114 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.14. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,1 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 8,5 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa nachádzal približne v osi vozidla.



Obr. 115 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.14. [60]

Po uplynutí cca 1,0 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 18 km/h oproti rýchlosti cca 42 km/h pri dopravnej nehode. Vozidlo Volvo minulo chodca.



Obr. 116 Vozidlo Volvo tesne minulo chodca - prípadová štúdia č.14. [60]

10.10 Prípadová štúdia č.16

Priemerný reakčný čas vodiča na krízovú dopravnú situáciu pri nezhoršených poveternostných podmienkach je cca 0,8 s [31]. V prípadovej štúdii č. 16 jazdilo vozidlo Opel Corsa rýchlosťou cca 40 km/h v priamom smere a z rady vozidiel na ľavej strane vozovky vykročil do koridoru pohybu vozidla chodec. Pri tomto meraní vodič vozidla Volvo čakal s reakciou do momentu, kedy dôjde k akusticko-vizuálnemu varovaniu vozidla na chodca.



Obr. 117 Aktivácia alarmu a nábeh brzdného účinku vozidla Volvo - prípadová štúdia č.16. [60]

Vozidlo Volvo aktivovalo akusticko-vizuálny alarm cca 0,6 s pred koridorom pohybu chodca a následne došlo k rýchlej reakcii a prudkému vyhýbaciemu manévru vodiča. Vodič v tomto prípade zabránil zrážke s chodcom a došlo k veľmi tesnému minutiu samotného chodca. Ale z merania vyplynulo, že už varovanie, ktoré príde 0,6 s pred koridorom pohybu chodca, môže zabezpečiť pri rýchlej a správnej reakcii vodiča zabráneniu dopravnej nehody. Z grafu akcelerácie (pozri Obr. 118) je zrejmé, že v momente kedy došlo k aktivácii akusticko-vizuálneho alarmu, došlo aj k začiatku nábehu brzdného účinku. Po cca 0,15 s došlo k prerušeniu nábehu tohoto autonómneho brzdenia z dôvodu zásahu vodiča do riadenia vozidla. Ak by vodič nezasiahol do riadenia a vozidlo by jazdilo ďalej, tak by došlo k zrážke vozidla s chodcom. Vozidlo by ale jazdilo rýchlosťou o cca 13-16 km/h nižšou ako v čase dopravnej nehody. Je technicky pravdepodobné, že by pri jazde takouto rýchlosťou a zrážke chodca približne v strede vozidla došlo k aktivácii aktívnej kapoty a následnému aktivovaniu airbagu pre chodcov. Rýchlosť jazdy cca 25 km/h je dostatočne veľkým kritériom k jej aktivácii. [43]



Obr. 118 Úspešný vyhýbací manéver vodiča a zabránenie zrážky s chodcom - prípadová štúdia č.16. [60]

10.11 Prípadová štúdia č.18

V prípadovej štúdii č.18 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 46 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval pod 15° uhlom k rovine kolmej na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 3,8 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridoru pohybu chodca cca 16,5 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec už bol cca 0,5 m v koridore pohybu vozidla.



Obr. 119 Moment aktivácie akusticko-vizuálneho varovného signálu - prípadová štúdia č.18. [60]

K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,4 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 9,5 m od koridoru pohybu chodca. Chodec sa nachádzal cca 0,1 m vpravo od osi vozidla.



Obr. 120 Moment aktivácie autonómneho brzdenia - prípadová štúdia č.18. [60]

Po uplynutí cca 1,5 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia nedošlo k zrážke s chodcom a vozidlo jazdilo v oblasti koridora pohybu chodca rýchlosťou cca 20 km/h oproti rýchlosti cca 46 km/h pri dopravnej nehode. Vozidlo Volvo minulo chodca.



Obr. 121 Vozidlo Volvo tesne minulo chodca - prípadová štúdia č.18. [60]

11. Vplyv zásahu autonómneho brzdienia vozidla na priebeh nehodového deja

Pri spracovaní komplexnej analýzy nehodového deja je dôležitou časťou znaleckého posudku zabránenie dopravnej nehode, nakoľko poukazuje na vplyv daného parametra (rýchlosti, oneskorenej reakcie, nedodržanie bezpečného bočného, prípadne pozdĺžneho odstupu) na príčinu dopravnej nehody.

11.1 Zabránenie dopravnej nehode vodičom vozidla

Cieľom zabránenia dopravnej nehode je nájdenie takého parametra, prípadne takých parametrov nehodového deja, pri ktorých by k dopravnej nehode nedošlo. Podľa typu uvedeného parametra možno zabránenie dopravnej nehode rozdeliť na: [59]

- zabránenie dopravnej nehode nižšou rýchlosťou,
- zabránenie dopravnej nehode skoršou reakciou,
- zabránenie dopravnej nehode dodržaním bezpečného pozdĺžneho odstupu,
- zabránenie dopravnej nehode dodržaním bezpečného bočného odstupu.

Pri dopravnej nehode vozidla s chodcom je problematické na základe časového zabránenia dopravnej nehody usudzovať o príčine dopravnej nehody, nakoľko chodec by mohol počas pohybu v koridore pohybu vozidla zastaviť. V takomto prípade nie je možné zaručiť naplnenie predpokladov zabránenia a to, že chodec sa bude neustále pohybovať rovnakou rýchlosťou. Pri dopravnej nehode vozidla s chodcom je preto časové zabránenie iba teoretickým zabránením. Vo všeobecnosti môžeme zabránenie dopravnej nehode rozdeliť z hľadiska včasnosti reakcie účastníka dopravnej nehody na [59]:

- zabránenie z rovnakého miesta reakcie, ako bolo miesto skutočnej reakcie počas nehodového deja (toto zabránenie je vypracovávané v prípade, že vodič reagoval včas),
- zabránenie skoršou reakciou (toto zabránenie je vypracovávané v prípade, že vodič reagoval oneskorene).

Každé z uvedených zabránení možno rozdeliť na [59]:

- zabránenie dopravnej nehode časové (ide o také zabránenie, pri ktorom dôjde k najtesnejšiemu minútiu jednotlivých účastníkov dopravnej nehody, pričom nedôjde k ich vzájomnému kontaktu),
- zabránenie dopravnej nehode zastavením pred miestom zrážky (ide o také zabránenie, pri ktorom dôjde k zastaveniu daného účastníka dopravnej nehody v nulovej vzdialenosti pred miestom zrážky – teda pred miestom, kde došlo k zrážke počas nehodového deja),
- zabránenie dopravnej nehode zastavením pred okamihom zrážky (ide o také zabránenie, pri ktorom dôjde k zastaveniu daného účastníka dopravnej nehody v nulovom čase pred okamihom zrážky),

- zabránenie dopravnej nehode zastavením pred koridorom pohybu vozidla (ide o také zabránenie, pri ktorom dôjde k zastaveniu daného účastníka dopravnej nehody pred koridorom pohybu druhého účastníka dopravnej nehody).

11.1.1 Zabránenie dopravnej nehode vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom

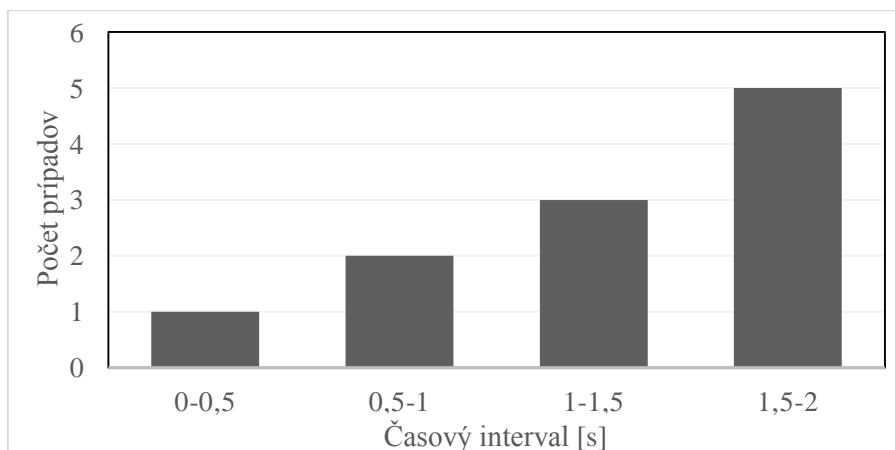
Vyššie popísane zabránenia dopravnej nehody je možné aplikovať na prípady, kde bol priebeh dopravnej nehody riadený len vodičom vozidla a nejednalo sa o situáciu, kde vozidlo bolo osadené aktívnymi bezpečnostnými prvkami na rozpoznávanie chodcov. V dopravných situáciách pri testovaní systému aktívnej bezpečnosti vo vozidle Volvo je možné samotným zásahom vozidla do riadenia zabrániť nehode jedine skoršou reakciou ako v prípade vodiča pri dopravnej nehode.

Ak dôjde k zásahu aktívneho bezpečnostného systému do riadenia vozidla, môže vplyvom tohto zásahu dôjsť k nasledovným dejom:

1. zásah aktívneho bezpečnostného systému vozidla a zastavenie vozidla pred koridorom pohybu chodca,
2. zásah aktívneho bezpečnostného systému vozidla a časové minutie chodca,
3. zásah aktívneho bezpečnostného systému vozidla, zníženie rýchlosti vozidla v čase zrážky následná aktivácia pasívnych bezpečnostných prvkov (aktívna kapota, airbag pre chodcov),
4. zásah aktívneho bezpečnostného systému vozidla, zníženie rýchlosti vozidla v čase zrážky bez následnej aktivácie pasívnych bezpečnostných prvkov.

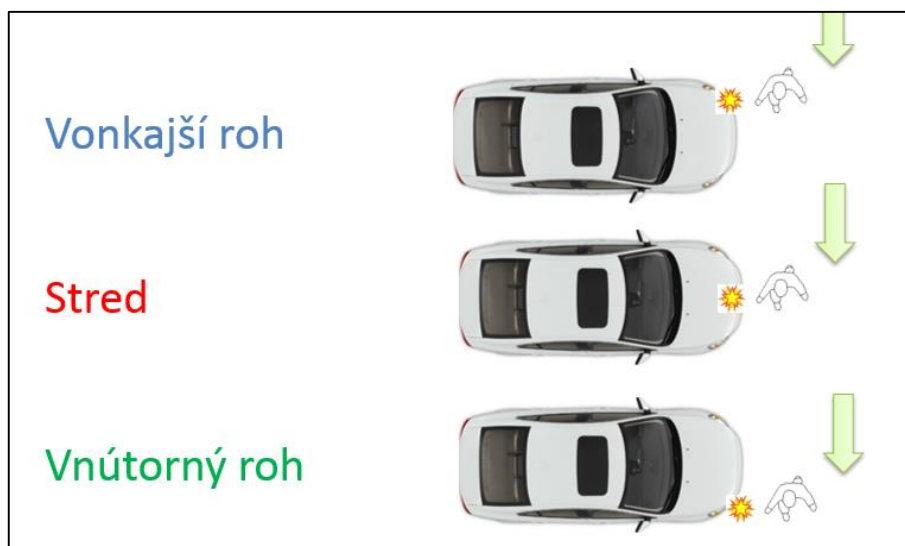
11.2 Vyhodnotenia aktivácie alarmu vo vozidle

Z analýzy nameraných dát vyplynulo, že v 61% prípadov, kde vozidlo rozpoznalo figurínu a vyhodnotilo ju ako prekážku – „chodec“, došlo k varovaniu vodiča v časových intervaloch pred zrážkou s chodcom (pozri Graf 10). Zo stĺpcového grafu je zrejmé, že v ôsmych prípadových štúdiách z celkového počtu meraní bolo varovanie vodiča viac ako 1 s pred zrážkou. Je otázkou ďalších výskumných krokov určiť, aká je doba nutná na reakciu nesústreďeného vodiča na tento alarm a následnú vodičovú akciu (vyhýbanie, brzdenie,..).



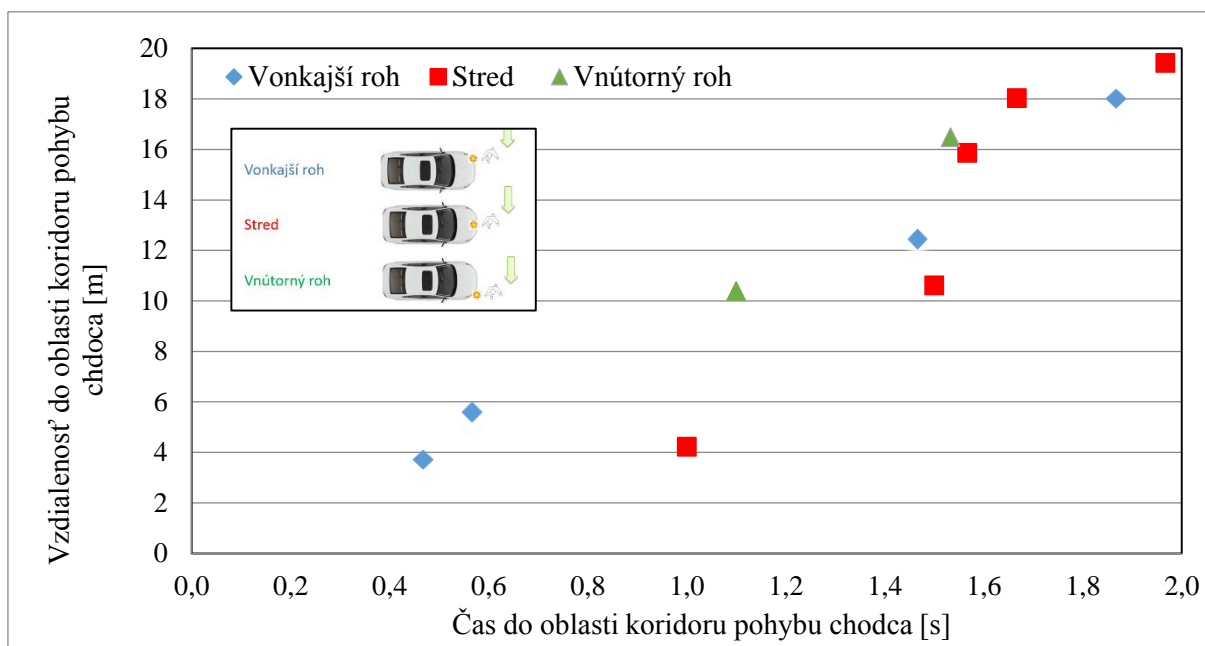
Graf 10 Časový interval od začiatku varovania vodiča do oblasti koridoru pohybu chodca.

Zo súdnoznameckého pohľadu je dôležitým prvkom zistenie závislosti rýchlosti, dráhy a času kedy došlo k aktivácii akustickou vizuálneho alarmu. V prípadových štúdiách došlo v niektorých prípadoch aj po aktivácii alarmu k zrážke vozidla s chodcom. Pre presnejšie vyobrazenie závislosti bude používané v grafoch rozlíšenie podmienok aktivácie varovania v závislosti na náraze figuríny do vozidla a to podľa nasledovného obrázku (pozri Obr. 122).



Obr. 122 Pohyb figuríny a následný kontakt s vozidlom v troch oblastiach. [60]

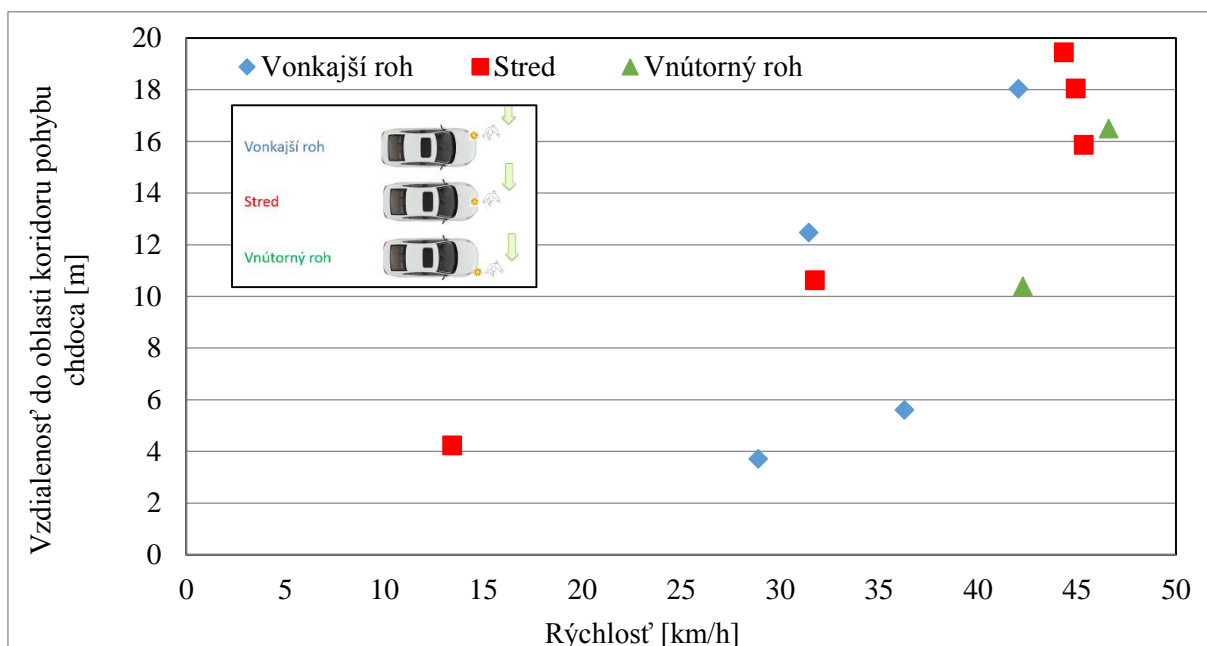
Závislosť aktivácie alarmu na čase a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 11). Z grafu je zrejماً približná lineárna závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti od koridoru pohybu figuríny. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 11 Závislosť aktivácie alarmu na čase a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny.

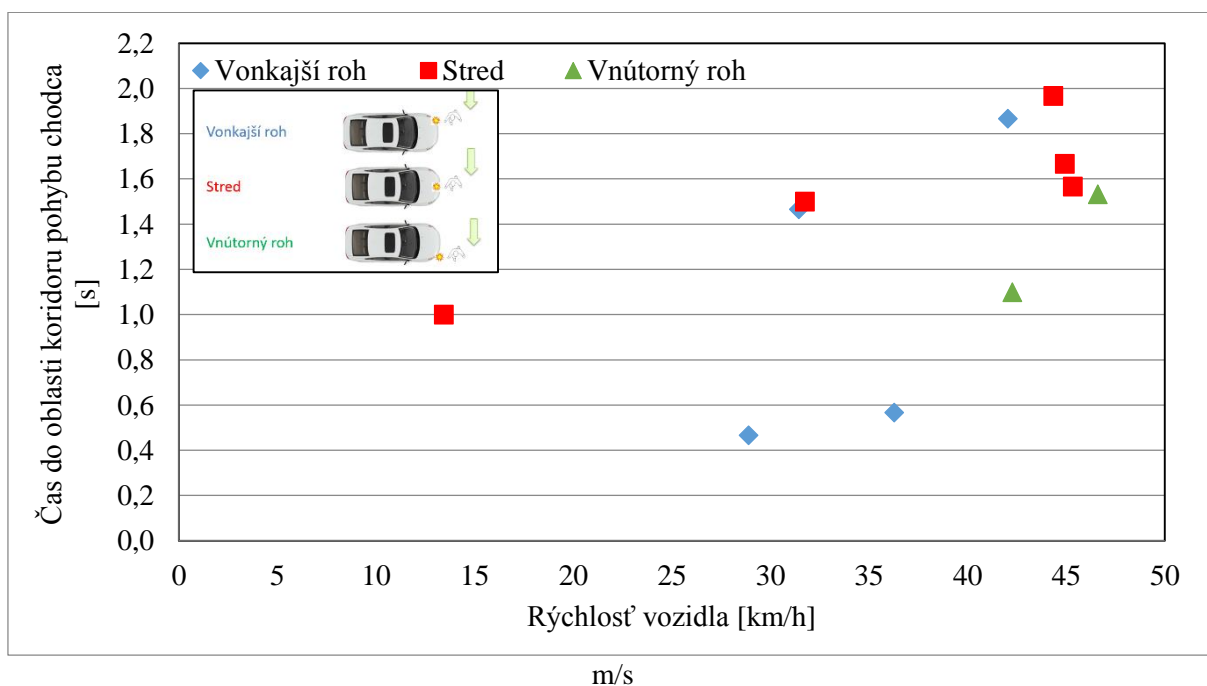
Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 12). Z grafu nie je zrejماً čiastočne lineárna závislosť aktivácie alarmu

na rýchlosti od koridora pohybu figuríny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnych dopravných nehodách. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania vodiča v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 12 Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny

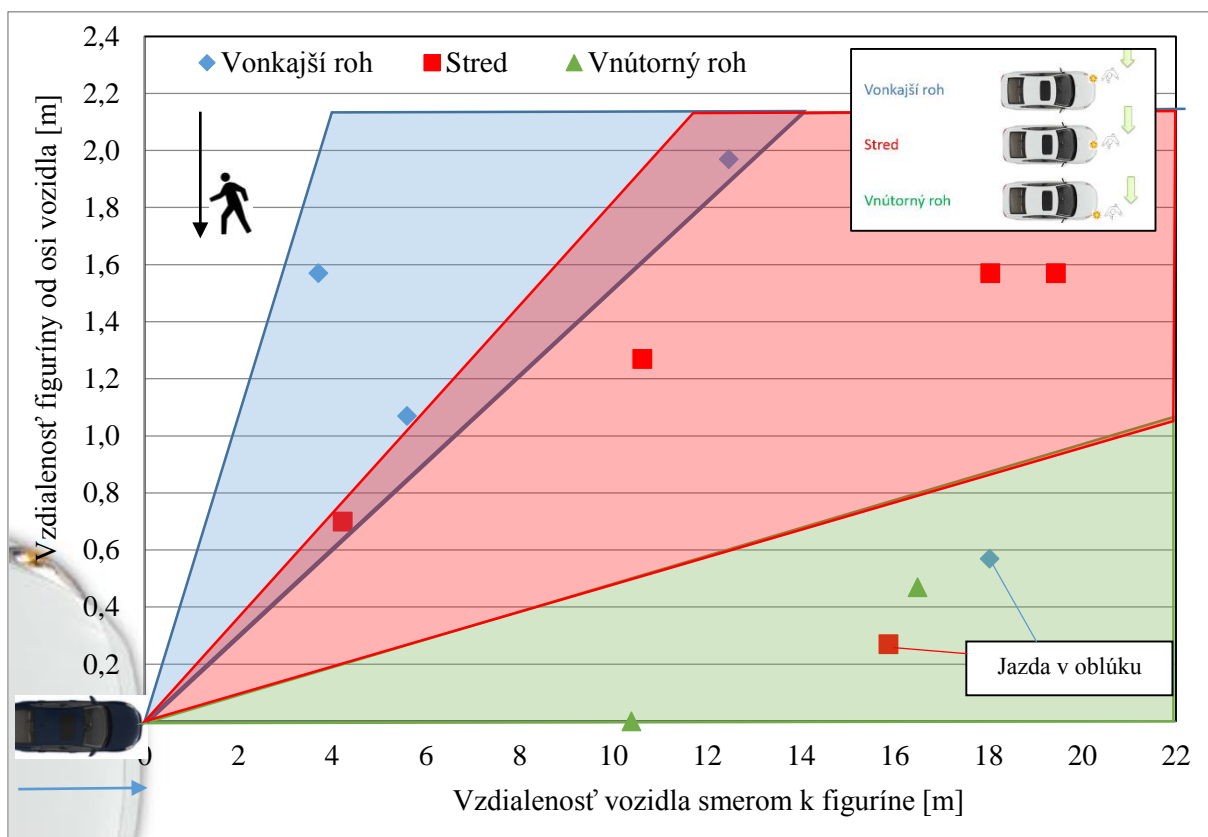
Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazený nižšie (pozri Graf 13). Z grafu nie je zrejmalá lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a čase od koridora pohybu figuríny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnej nehode. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania vodiča v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 13 Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny.

Závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla je vyobrazená nižšie (pozri Graf 14 a Graf 15). Z grafov nie je zrejmá lineárna závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti vozidla od koridora pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od koridora pohybu vozidla. Z grafov je ale zrejmá tendencia aktivácie alarmu v závislosti na oblasti, v ktorej došlo ku kontaktu vozidla s chodcom pri samotnej zrážke, aj napriek tomu, že vozidlo chodca rozpoznalo. V grafe je možné rozpoznať dve prípadové štúdie, pri ktorých jazdilo vozidlo Volvo v oblúku. Tieto štúdie nie je možné zahrnúť do porovnania medzi ostatnými prípadmi, kde vozidlo jazdilo rovno a tomu zodpovedá aj nelogickosť umiestnenia týchto bodov v grafe.

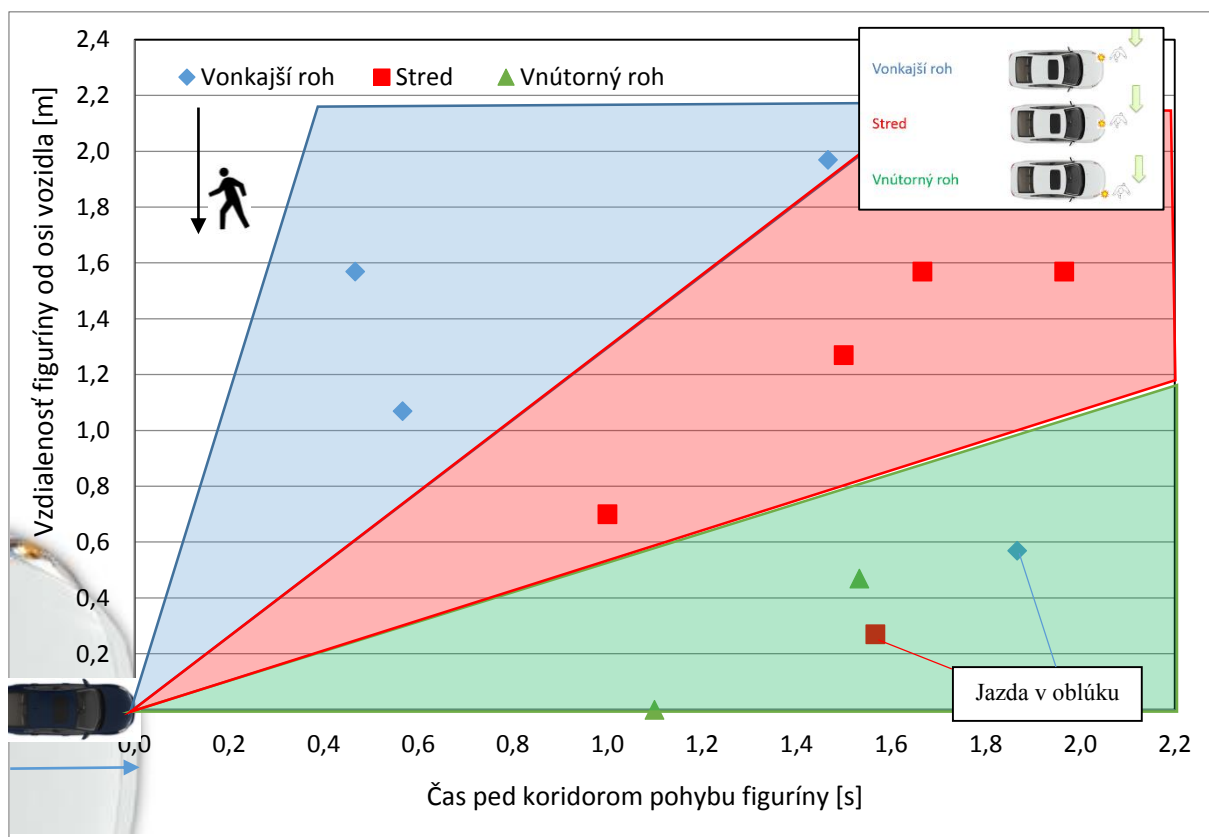
V prípadových štúdiách, kde vozidlo jazdilo rovno je možný trend závislosti aktivácie alarmu na vzdialenosti od koridoru pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od koridoru pohybu vozidla. V grafe (pozri Graf 14) sú vytýčené tri oblasti zodpovedajúce zrážke vozidla s figurínou na vonkajšom rohu, v strede vozidla alebo na vnútornom rohu. **Z grafu je zrejmé, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh vozidla, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následného kontaktu vozidla na vnútorný roh. Tento priebeh je v celku logický, to znamená, že vozidlo si necháva pri kontakte na vnútorný roh viac času na zásah systému z dôvodu, že predpokladá, že figurína opustí koridor pohybu vozidla.**



Graf 14 Závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla.

Závislosť aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla je vyobrazená nižšie (pozri Graf 15). Z grafu nie je zrejmalá lineárna závislosť aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla. Z grafu je ale zrejmalá tendencia aktivácie alarmu v závislosti na oblasti, v ktorej došlo ku kontaktu vozidla s chodcom pri samotnej zrážke, aj napriek tomu, že vozidlo chodca rozpoznalo. V grafe je možné rozpoznať dve prípadové štúdie, pri ktorých jazdilo vozidlo Volvo v oblúku. Tieto štúdie nie je možné zahrnúť medzi ostatné prípady, kde vozidlo jazdilo rovno a tomu zodpovedá aj nelogickosť umiestnenia týchto bodov v grafe.

V prípadových štúdiách, kde vozidlo jazdilo rovno, je jasný trend závislosti aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla. V grafe sú vytýčené tri oblasti zodpovedajúce zrážke vozidla s figurínou na vonkajšom rohu, v strede vozidla alebo na vnútornom rohu. **Z grafu je zrejmé, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následnému kontaktu vozidla na vnútorný roh. Tento priebeh je v celku logický a je možné konštatovať, že vozidlo si necháva pri kontakte na vnútorný roh viac času na zásah systému z dôvodu, že predpokladá, že figurína opustí koridor pohybu vozidla.**



Graf 15 Závislosť aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla.

Vytvorenie jednoznačnej závislosti aktivácie alarmu vo vozidle Volvo v priebehu nehodovej situácie nie je úplne možné. Pre súdnoznalecké potreby je možné čerpať orientačne informácie z Grafov 12-13. Z týchto grafov nie je zrejмый jasný trend aktivácie alarmu. Približnú lineárnu závislosť aktivácie alarmu je možné rozpoznať v grafe (pozri Graf 11).

Dôležitým zistením je, že z meraní je zrejмый závislosť miesta kontaktu figuríny s vozidlom na vzdialenosti vozidla od koridora pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od koridora pohybu vozidla. Z grafu (pozri Graf 14) je zrejмый, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následnému kontaktu vozidla na vnútorný roh.

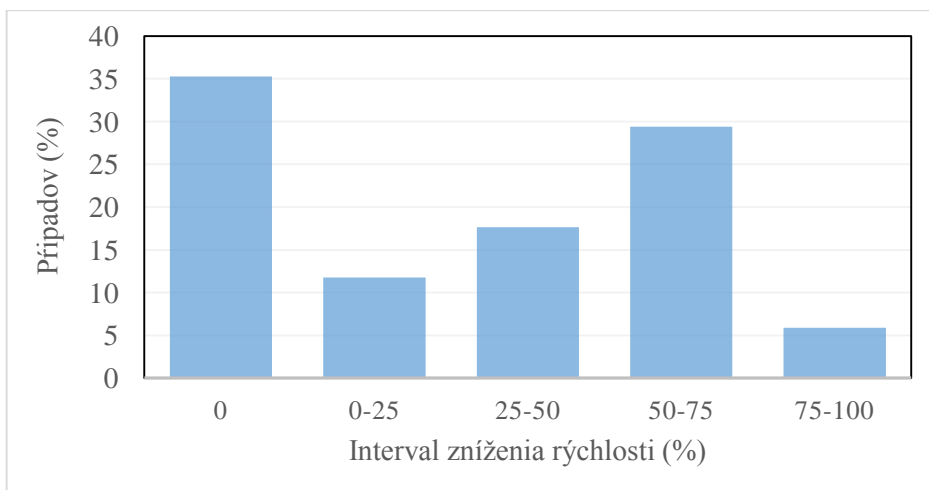
Dôležitým zistením je, že z meraní je zrejмый závislosť miesta kontaktu figuríny s vozidlom na čase vozidla od koridora pohybu figuríny pri aktivácii alarmu a vzdialenosti figuríny od koridora pohybu vozidla. Z grafu (pozri Graf 15) je zrejмый, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následnému kontaktu vozidla na vnútorný roh.

11.3 Vyhodnotenie zníženia rýchlosti vplyvom autonómneho brzdzenia vozidla

Po fáze akustického a vizuálneho varovania je tlakový okruh brzdovej sústavy vozidla predpripravený na plné brzdzenie. Systém ešte pred samotným brzdením v čase varovania vymedzí vôľu medzi brzdovým kotúčom a brzdovými doštičkami tak, aby doba nábehu plného brzdzenia bola čo najkratšia. Vozidlo pri autonómnom brzdení využíva maximálny potenciál brzdovej sústavy na dosiahnutie čo najvyššieho spomalenia pri brzdení. Z meraní na novom asfaltovom povrchu vyplynulo, že priemerné brzdové spomalenie vozidla Volvo sa pohybuje okolo $10,7 \text{ m/s}^2$ pri suchom i mokrom jednoliatom novom asfaltovom povrchu.

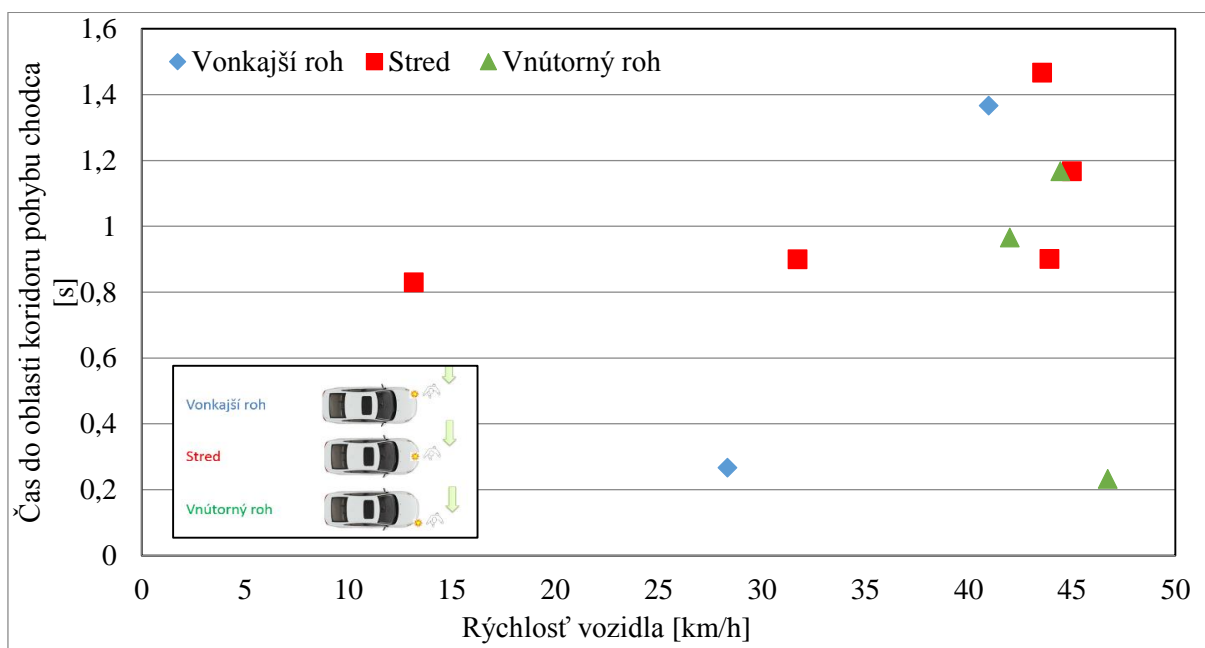
Po uplynutí akustického varovania vodiča došlo v 63 % prípadových štúdií k autonómnemu brzdzeniu vozidla. **Časový interval od prvej akusticko-vizuálnej reakcie systému po prvotný moment brzdzenia bol v intervale od 0,1 s po 0,8 sekundy.** V 6 % prípadov došlo k začiatku brzdzenia bez predošlého akustického varovania (pozri Graf 16).

Z meraní vyplynulo, že ak vodič zasiahne v dobe varovania alebo autonómneho brzdzenia do riadenia vozidla, a to prudkým zásahom do riadenia vozidla, ukončí týmto úkonom proces varovania a autonómneho brzdzenia. Je cieľom zistenia ďalších štúdií, aký časový interval po prvotnom varovaní potrebuje nesústredený vodič na to, aby reagoval na alarm a objekty v koridore jazdy a následne urobil správny manéver na zabránenie zrážke s týmto objektom.



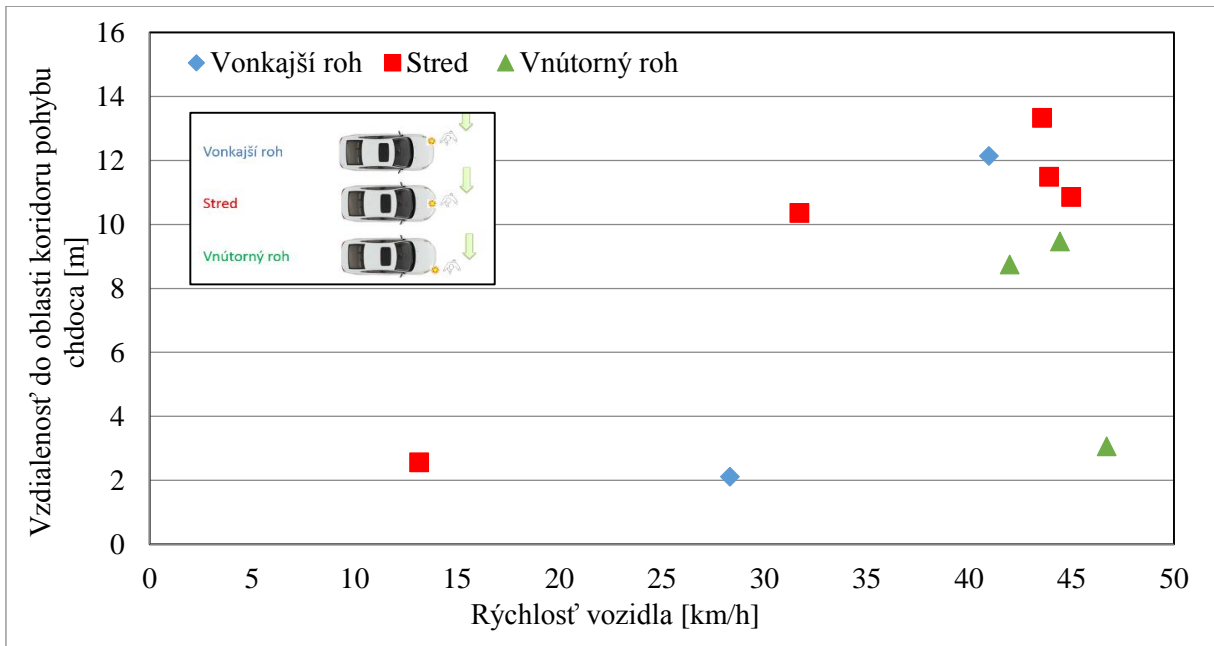
Graf 16 Zobrazenie %-tuálneho zníženia rýchlosti vozidla v čase zrážky oproti reálnej dopravnej nehode

Závislosť aktivácie autonómneho brzdzenia na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 17). Z grafu nie je zrejmá lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti od koridoru pohybu figuríny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnych dopravných nehodách. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 17 Závislosť aktivácie autonómneho brzdzenia na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny

Závislosť aktivácie autonómneho brzdzenia na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 18). Z grafu nie je zrejmá lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti od koridoru pohybu figuríny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnych dopravných nehodách. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 18 Závislosť aktivácie autonómneho brzdenia na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny

12. Metóda vyhodnotenia experimentálneho riešenia dopravných nehôd s chodcami pre vozidla osadené aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznávanie chodcov

Pri riešení dopravnej nehody vozidla (s aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznanie chodca) s chodcom sa expert, znalec alebo znalecký ústav neubráni 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 evaluovaná v laboratórnych podmienkach. Vyšetrovacie pokusy s použitím figuríny bez evaluačného protokolu je možné použiť len pre informačné potreby a nie je možné z týchto meraní vyvodit' súdnoznalecké závery. Objekty, ktoré slúžia na navodenie pohybu figuríny, musia byť taktiež evaluované či a do akej miery ovplyvňujú svojimi odrazovými vlastnosťami radar vozidla.

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

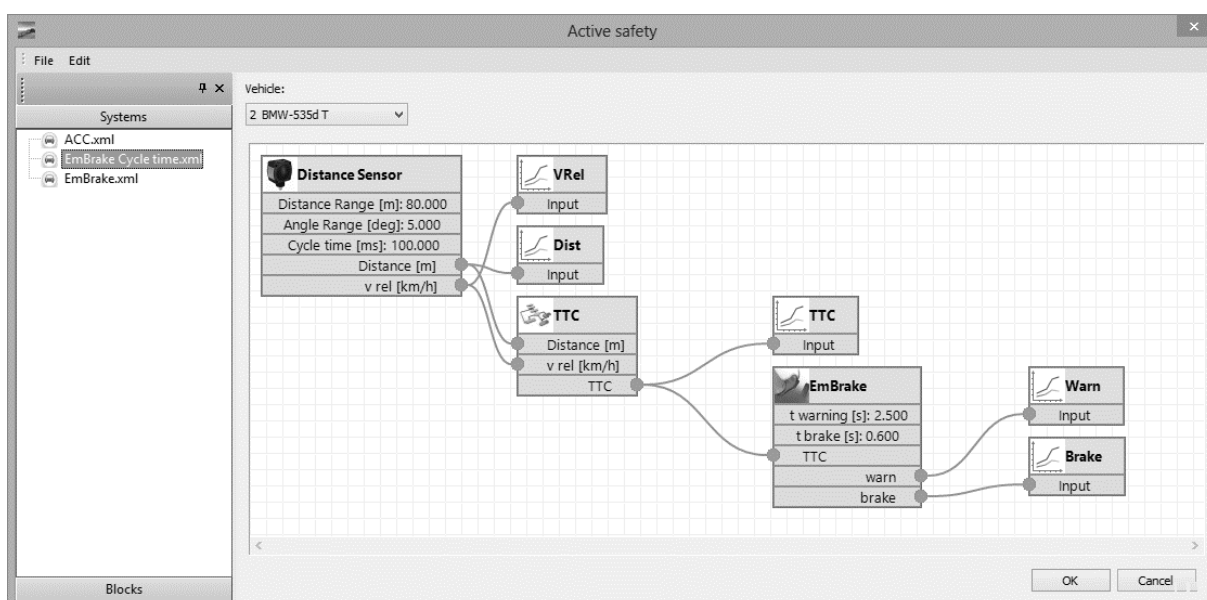
1. Zistiť z technického manuálu, či aktívny bezpečnostný systém vozidla vie rozpoznávať chodcov a autonómne reagovať na kolíznu situáciu.
2. Vykonať časovo-priestorovú analýzu zrážky, a pohybu vozidla a chodca do konečných polôh na základe technickej dokumentácie k dopravnej nehode
3. Zistiť, či aktívny bezpečnostný systém rozpoznáva chodcov pomocou kombinácie radaru a kamery (kamier) alebo len na základe stereo kamery.
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 rozpoznaná chodca len na základe stereo kamery, postačí figurína, ktorá zodpovedá svojim tvarom človeku.
6. Zabezpečiť na výkon experimentu systém na simuláciu pohybu chodca (figuríny), ktorý neovplyvňuje svojím technickým prevedením 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 dejovej 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 video analýza priebehu dejovej línie za účelom 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 koridora pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie alarmu (čas a vzdialenosť od koridora pohybu vozidla).
13. Vyhodnotenie momentu aktivácie autonómneho brzdienia vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridora pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie autonómneho brzdienia (čas a vzdialenosť od koridora pohybu vozidla).

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 11 prispôbiť rýchlosť jazdy vozidla na začiatku dejovej línie. Z jednotlivých závislostí je možné predikovať 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. Merania vykonané pre účely tejto práce slúžili najmä na exaktné pochopenie systému za účelom návrhu modelu pre vyhodnocovanie.



Obr. 123 Modulárny systém autonómneho brzdienia v programe PC-Crash 10.2. [61]

Celý model EmBraking je modulárny a je na samotnom užívateľovi ako si jednotlivé moduly vyskladá. Modul umožní tak 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.

13. Záver

Na základe analýzy testovaných štúdií bolo zistené, že systém na rozpoznávanie chodcov od spoločnosti Volvo vo vozidle Volvo V40 CC modelového roku 2014 dokáže pri nízkych rýchlostiach do 35 km/h autonómne zastaviť vozidlo pred chodcom. V týchto prípadoch je pohyb chodca pre systém v dostatočnej miere predvídateľný (plynulý vstup chodca do koridoru pohybu vozidla). Systém je schopný na chodca reagovať ak môže chodca trakovať a nebráni mu v tom objekt, ktorý by zakrýval výhľad kamery na chodca. V týchto prípadoch, kde systém dokáže zastaviť vozidlo z nízkej rýchlosti je nutné podotknúť, že sa nejedná o skok, respektíve náhlu zmenu smeru pohybu chodca smerom do vozovky. Pri experimentálnom meraní sa rýchlosť pohybu figuríny pohybovala od cca 3 km/h do cca 7 km/h.

Pri rýchlostiach pohybu vozidla vyšších ako 35 km/h môže dôjsť k značnému zníženiu rýchlosti vozidla pred samotnou zrážkou s chodcom, ale to maximálne do 35 km/h (oproti rýchlosti vozidla, ktorá bola v čase začiatku reakcie systému). Zníženie rýchlosti do 35 km/h je pri zohľadnení rýchlosti vozidla do miesta koridoru pohybu chodca. Ak bola po zásahu systému rýchlosť vozidla pri samotnom prejazde v oblasti koridoru pohybu chodca do cca 10 km/h, tak vozidlo po prejazde rovinou pohybu chodca dobrzdilo do nulovej rýchlosti. V niektorých prípadoch došlo ale k tomu, že prejazdom roviny pohybu chodca prerušilo vozidlo autonómne brzdenie. V týchto prípadoch vozidlo jazdilo ďalej so zníženou rýchlosťou v smere jazdy. Celkový prehľad poklesu rýchlosti v dôsledku autonómneho zásahu vozidla je v tabuľke (pozri Tab. 13).

Prípadová štúdia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Prekážka vo výhľade	áno			áno				áno									áno	
Smer pohybu vozidla	priamo	priamo	oblúk	priamo	priamo	priamo	oblúk	vyhybanie	oblúk	priamo	priamo	oblúk	priamo	priamo	priamo	priamo	priamo	priamo
Nárazová rýchlosť DN [km/h]	23	47	12	50	32	19	41	55	18	39	32	36	45	42	40	39	30	30
Alarm		áno	áno	áno	áno	áno	áno			áno	áno			áno		áno		áno
Čas pred zrážkou [s]		2,0	1,0	1,7	1,5	0,5	1,6			1,9	1,5			1,1		0,6		1,5
Brzdenie-čas pred zrážkou [s]		1,5	0,8	0,9		0,3	1,2			1,4	0,9			1,0		0,5		1,2
Pokles rýchlosti v %	0	-74	-100	-48	0	5	-59	0	0	-64	-34	0	0	-57	0	0	0	-30

Tab. 13 Tabuľka prehľadu zníženia nárazovej rýchlosti vozidla Volvo pri testoch.

Aktívny bezpečnostný systém dokáže do značnej miery znížiť rýchlosť vozidla v čase zrážky. Z analyzovaných dopravných nehôd vyplynulo, že k fatálnemu zraneniu vplyvom zrážky s chodcom

došlo ako pri rýchlosti jazdy vozidla cca 12 km/h, tak aj pri rýchlosti jazdy vozidla rýchlosťou cca 47 km/h. Pre súdnoznalecké vyjadrenie je možné povedať, že pravdepodobnosť fatálneho zranenia je o niečo nižšia pri rýchlosti jazdy cca 12 km/h. Pre vekovú kategóriu chodcov 60+ je však riziko fatálnych následkov dopravnej nehody vysoké už pri veľmi nízkych rýchlostiach. Ako vyplynulo aj z náhodného výberu dopravných nehôd pre účely tejto práce, výsledný vekový priemer chodcov sa vo výbere štúdií pohybuje okolo 69 rokov. V takýchto prípadoch je možné povedať, že ideálnym stavom by bolo, ak by vozidlo dokázalo zastaviť pred koridorom pohybu chodca.

V blízkej budúcnosti sa budeme stretávať pri riešení znaleckých úkonov v čoraz väčšej miere s vozidlami, ktoré sú osadené modernými sofistikovanými systémami. Tieto systémy majú uľahčiť a zabezpečiť pohyb vozidiel na cestách, ale taktiež prinášajú so sebou komplikácie spojené s riešením týchto nehôd z pohľadu experta či znalca. Z meraní, ktoré sa uskutočnili s vysoko sofistikovaným modelom vozidla Volvo V40 CC bolo zistené čiastočne chovanie vozidla v rôznych dopravných situáciách, ktoré svojou škálou pokrývajú bežný pohyb chodcov a vozidiel v mestskej premávke.

Z analýzy nameraných dát vyplynulo, že v 61% prípadov vozidlo rozpoznalo figurínu a vyhodnotilo ju ako prekážku – „chodec“. **Z vyhodnotených dát je zrejmé, že v ôsmich prípadových štúdiách z celkového počtu meraní bolo varovanie vodiča viac ako 1 s pred zrážkou. Je otázkou ďalších výskumných krokov určiť, aká je doba nutná na reakciu nesústredeného vodiča na tento alarm a následnú vodičovú akciu (vyhýbanie, brzdenie,..).**

Po uplynutí akustického varovania vodiča došlo v 90 % prípadových štúdií k autonómnemu brzdeniu vozidla. Časový interval od prvej akusticko-vizuálnej reakcie systému po prvotný moment brzdenia bol v intervale od 0,1 s po 0,8 s. **Zo súdnoznaleckého pohľadu je možné povedať, že ak systém od spoločnosti Volvo začne varovať vodiča na nebezpečenstvo vstupu chodca do koridora vozidla a následne začne vozidlo aj brzdiť, tak nesústredený vodič nestihne v týchto prípadoch zareagovať brzdením skôr, ako tomu učiní samotné vozidlo.**

Z analýzy brzdnych spomalení jasne vyplynulo, že vozidlo pri autonómnou brzdení dokáže brzdiť so spomalením cca 10 m/s². Táto hodnota brzdneho spomalenia je technicky prijateľná. Vozidlo dokáže pri samotnom brzdení využívať adhézne podmienky medzi vozovkou a pneumatikou na úrovni cca $\mu=1,02$. Pri brzdnych skúškach vykonaných testovacím vodičom bolo dosiahnutých v prípade vyvinutia maximálnej sily na brzdový pedál spomalenie na úrovni cca 10 m/s². **Je možné vysloviť záver, že vozidlo Volvo je schopné pri autonómnom brzdení spomaľovať zhodne ako pri maximálnom brzdení vyvolanom vodičom vozidla.**

Dôležitým prvkom pri brzdení vozidla a následnej analýze dopravnej nehody je časť nábehu brzdneho účinku. **Z meraní, kde došlo k aktivácii autonómného brzdenia jednoznačne vyplynulo, že vozidlo Volvo potrebuje cca 0,5 s na nábeh brzdneho účinku. Z technickej praxe je pre súdnoznalecké účely používaná hodnota 0,2 s. [31]** Z technického hľadiska tak dochádza k predĺženiu nábehu brzdneho účinku vozidla zo štandardných 0,2 s na 0,5 s. Brzdny systém vozidla Volvo síce

dokáže využiť maximálne dosiahnuteľné spomalenie cca 10 m/s², ale samotný nábeh brzdného účinku na túto hodnotu trvá o cca 0,3 s dlhšie ako pri brzdení vodiča. Z technického hľadiska je možné povedať, že ak by vozidlo Volvo dokázalo vyvinúť maximálny brzdný účinok za dobu rovnajúcu sa 0,2 s, došlo by vo všetkých prípadových štúdiách, kde nastalo autonómne brzdenie k ďalšiemu zníženiu rýchlosti v čase zrážky s figurínou o cca 5 km/h. Z technického pohľadu je zníženie rýchlosti vozidla v čase zrážky s chodcom o 5 km/h zásadným prvkom nehodového deja. Toto zníženie rýchlosti ma následnú nadväznosť na závažnosť zranení.

Z meraní je zrejmy pozitívny prínos aktívneho bezpečnostného systému spoločnosti Volvo. Montáž predmetného systému do vozidiel je novodobým prvkom k znižovaniu závažnosti zranení chodca pri zrážke s osobným motorovým vozidlom. Z meraní vyplynulo, **že vozidlo Volvo V40 cc pri jazde nad 35 km/h nezastaví pred samotným chodcom. Časový interval, kedy je vodič upozornený na výskyt prekážky (chodca) pred vozidlom, sa pohybuje až do 2,5 sekundy. Táto doba môže pozitívne ovplyvniť priebeh nehodového deja pri včasnej reakcii vodiča na toto varovanie.**

Základné zhrnutie zistení z meraní sa dá popísať v niekoľkých bodoch:

- Systém nereaguje na ležiaceho chodca.
- Systém nereaguje na chodca nižšieho ako 80 cm.
- Systém nereaguje na chodca za tmy, ak je chodec osvetlený len stretávacími alebo diaľkovými svetlami vozidla.
- Pri dobrých svetelných podmienkach (do súmraku) systém rozlišuje osobu nezávisle na tom, či má chodec oblečenú reflexnú vestu alebo nie.
- Pri jazde s vozidlom oproti slnku, ktoré je v nízkej výške nad horizontom, systém reaguje na predmetnú situáciu a dokáže chodca rozpoznať (kamera nie je oslnená).
- Pri denných podmienkach systém reaguje na chodca, ktorý sa pohybuje rýchlosťou od cca 3 do cca 7,5 km/h (hodnota rýchlosti z reálnych testovaných nehôd). Vyššie rýchlosti pohybu chodca neboli testované.
- Časový interval od prvej akusticko-vizuálnej reakcie systému po prvotný moment brzdenia bol v intervale od 0,1 s po 0,8 sekundy.
- Vozidlo dokáže pri samotnom brzdení využívať adhézne podmienky medzi vozovkou a pneumatikou na úrovni $\mu=1,02$ (suchá aj mokrá vozovka na testovacej ploche).
- Systém reaguje na chodca, ktorý stojí v jazdnom koridore vozidla.
- Systém reaguje na chodca, ktorý sa pohybuje kolmo na smer pohybu vozidla.
- Systém reaguje na chodca, ktorý sa pohybuje šikmo v smere alebo protismere pohybu vozidla, ale len do uhla pohybu chodca $\pm 45^\circ$ od roviny kolmej k rovine pohybu vozidla.
- Systém nereaguje na dopravnú situáciu pohybu vozidla v ľavotočivej zákrute a pohybu chodca do vozovky zľava.
- Systém nereaguje na dopravnú situáciu pohybu vozidla v pravotočivej zákrute a pohybu chodca do vozovky sprava.
- Pri rozpoznaní chodca systém dokáže úplne zastaviť vozilo, ak sa toto pohybuje rýchlosťou do 30 km/h a pohyb chodca je plynulý a predvídateľný.

- Pri rozpoznaní chodca systém dokáže znížiť rýchlosť jazdy vozidla, ak sa toto pohybuje rýchlosťou nad 30 km/h a pohyb chodca je plynulý a predvídateľný.
- Zníženie rýchlosti pohybu vozidla pri rozpoznaní chodca je maximálne o cca 30 km/h.
- Ak vodič zasiahne do riadenia vozidla v priebehu jeho autonómneho zásahu, systém deaktivuje autonómne brzdenie.
- Systém nevaruje chodca pred blížiacou sa kolíznou situáciou.
- Z riadiacej jednotky vozidla nie je možné po zásahu systému do riadenia vyčítať záznamové dáta o kritickej situácii.

Vozidlo Volvo nedokáže vykonať autonómny vyhýbací manéver a tak je na samotnom vodičovi, aby po včasnej reakcii následne vykonal vyhýbací manéver. V niektorých prípadových štúdiách postačovalo priečne premiestnenie vozidla len o cca 1m a nebolo by došlo k zrážke s chodcom. Je otázkou ďalších skúmaní aký časový interval potrebuje nesústredený vodič na to, aby reagoval na alarm vo vozidle, rozpoznal kolíznou situáciu a následne technicky správne reagoval vyhýbacím manévrom a brzdením.

Z teoretickej úvahy, že vodič by reagoval na alarm systému vozidla a následne by vykonal vyhýbací manéver môžeme vyhodnotiť v koľkých prípadových štúdiách by mohlo dôjsť k zmene priebehu nehodového deja. Teoretická doba reakcie vodiča na alarm vozidla by mohla byť cca 1s (nesústredený vodič by musel na základe alarmu rozpoznať prekážku pred vozidlom) a následne by vodič po reakcii vykonal prudké vyhýbanie, ktoré by postačovalo len na časové minútie chodca. Na základe technickej literatúry je možné uvažovať, že samotná zmena smeru jazdy by trvala cca 0,5 s. Ak by sa jednalo len o priečne premiestnenie smerom doprava alebo doľava o cca 1 m, došlo by v prípadových štúdiách č. 2,4,5,7,10 a 11 k zabráneniu dopravnej nehode. Vodič vozidla by minul chodca bez dodržania bezpečného pozdĺžneho odstupu.

Z analýzy reálnych dopravných nehôd vyplynulo, že v prípadových štúdiách, kde zasahoval pri experimentálnom meraní aktívny bezpečnostný systém, nedošlo pri reálnych dopravných nehodách k brzdeniu vozidla pred zrážkou zo strany vodiča.

Z experimentálnych meraní vyplynulo, že v piatich prípadových štúdiách vozidlo Volvo začalo brzdiť pred zrážkou viac ako 1s. **Z meraní teda vyplynulo, že vozidlo síce akusticky varuje vodiča pred kolíznou situáciou, ale toto znamenie nie je možné registrovať z vonku vozidla. Pri aktivácii alarmu by bolo z pohľadu súdnoznaleckého skúmania a znižovania následkov dopravnej nehody opodstatnené, aby predmetný alarm upozorňoval aj chodca na vznikajúcu kolíznou situáciu. Varovanie chodca by mohlo prebiehať dvoma spôsobmi a to, akusticky alebo vizuálnym signálom. Tento signál by mal byť vo väčšine prípadov úzko orientovaný len na predmetného chodca. Týmto systémom by nedošlo k narušovaniu bezpečnosti a plynulosti premávky planým varovaním iných účastníkov cestnej premávky.** Z toho by následne vyplývala možnosť zabrániť dopravnej nehode zo strany chodca. Chodec nepotrebuje na samotné zastavenie toľko času ako vozidlo. S existujúcim

systemom nemá chodec možnosť rozpoznať na vozidle Volvo žiadne akustické alebo svetelné varovné signály.

14. Literatúra

- [1] ZEBALA, J., CIEPKA, P., REZA. A., Pedestrian speeds and acceleration – results of research on contemporary population, Institute of Forensic Research Kraków/Poland, EVU 2012
- [2] International Harmonized Research Activities Pedestrian Safety Working Group, 2001 REPORT December 2001
- [3] DaCoTA, Traffic Safety Basic Facts – Pedestrians, 2010
- [4] YANG, J., Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions Crash Safety Division, Chalmers University of Technology, SE-412 96
- [5] CYUPERS, R., Vehicle Safety and new car assessment programmes, SSRCI 2012
- [6] Euro NCAP, Moving forward, 2010-2015 Strategic roadmap, 15 July 2010
- [7] Safety Companion 2012
- [8] KINSKY, T., The flexible pedestrian legform impactor and its impact on vehicle design, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2011
- [9] Atsuhiro Konosu, "Evaluation Tests for Pedestrian Legform Impactors, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2005
- [10] www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html (11.01.2013)
- [11] European new car assessment programme (Euro NCAP) pedestrian testing protocol - Version 6.1
- [12] Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol - Version 4.3 and 5.2
- [13] Crash analysis criteria description, version 1.6.1. 2004
- [14] The Abbreviated Injury Scale, Association for the Advancement of Automotive Medicine, Des Plaines, IL, Inited States – 1990 revision
- [15] Final Regulatory Evaluation, Actions to Reduce Adverse Effects of Air Bags, FMVSS 208, DEPOWERING, February 1997,
- [16] HAMACHER, M., Vehicle Related Influence of Post-Car Impact Pedestrian Kinematics on Secondary Impact IRCOBI 2012
- [17] PRITZ, H.B. ,Experimental investigation of pedestrian head impacts on hoods and fenders of production vehicles. Proceedings of the Pedestrian Impact Injury & Assessment, SAE Int. Congress& Exposition. P-121. Detroit Michigan, February 28-March 4, Society of Automotive Engineers. Warrendale. USA., pp.67-76.
- [18] CAVALLERO, C., CESARI, D., RAMET, M., BILLAUT, P., FARISSC, J., SERIAT, B., BONNOIT. J., Improvement of pedestrian safety: influence of shape of passenger car-front structures upon pedestrian kinematics and injuries: evaluation based on 50 cadaver tests'.

- [35] HAMACHER, M., Assessment of active and passive technical measurement for pedestrian protection at the vehicle, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2011
- [36] <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12239-010-0099-9#page-2> (09.02.2013)
- [37] SCHREURS, A., Pedestrian dummy models used in the development of active safety systems ACTS GmbH & Co. KG Kurfürst Eppstein Ring D-63877
- [38] HAUPT, B., Pedestrian protection systems PPS pSAT innovative sensing principle base on satellites, AACHENER 2010
- [39] INOMATA, Y., Development of the pop-up engine hood for pedestrian head, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2009
- [40] BORG, E., Innovative bonnet active actuator for pedestrian protection, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2011
- [41] CLEPA European Association of Automotive suppliers - INF GR / PS /67 08.01.2004 – Pedestrian Protection Test method - Active hood/bonnet systems.
- [42] YANG, J., Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions, crash safety division , chalmers University of technology , gotheburg, Sweden Vehicle safety 2005
- [43] YANG, J.K., Injury biomechanics in car-pedestrian collision: development, validation and application of human body mathematical models. Doctoral dissertation , department of Injury prevention , chalmers university of technology, Sweden, 1997
- [44] Final Regulatory Evaluation, Actions to Reduce Adverse Effects of Air Bags, FMVSS 208, DEPOWERING, February 1997, Office of Regulatory Analysis, Plans and Policy, NHTSA/DOT
- [45] STRANDROTH, J. The correlation between pedestrian injury severity in real-life crashes and EURO NCAP test results, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2011
- [46] MATSUI, Y., Effects of Vehicle Bumper Height and Impact Velocity on Type of Lower Extremity Injury in Vehicle Pedestrian Accidents, Tsukuba, Japan, 2005
- [47] <http://www.euroncap.com/files/Lower-Leg-Form2---0-57137b72-d55a-46ad-82fb-df16b2af2531.jpg> (10.07.2014)
- [48] Proposal for methods to evaluate pedestrian protection for passenger cars; report of European Experimental Vehicles Committee (EEVC) Working Group 10, November 1994; available at the EEVC website www.eevc.org (13.02.2011)
- [49] Information on the Flexible Pedestrian Legform Impactor (Flex-PLI) from J-MLIT Research; presentation of representative of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Government of Japan (J-MLIT) at the 7th meeting of the GRSP informal group on pedestrian

- safety (INF GR PS); Paris, 28 – 30 September 2004; available as document PS/106 at the UNECE GRSP website www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html (18.02.2011)
- [50] JAMA's Explanation on the Pedestrian Safety GTR Phase 2; presentation at the 148th meeting of the „Technical Committee” International Automobile Manufacturers Organization OICA; Paris, 14 – 15 October 2008 (internal working document)
- [51] BEEN, B., (FTSS Europe): Design Freeze Status, FlexPLI-GTR Development, Mechanical Design; presentation at the 6th meeting of the FlexPLI Technical Evaluation Group (FlexPLI TEG); Bergisch Gladbach, 31 March 2008; available as document TEG-054-Rev.1 at the UNECE GRSP website www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html (18.02.2011)
- [52] Knee joint front view; image in article “knee joint definition” at the website www.emedicinehealth.com (18.02.2011)
- [53] EEVC Working Group 17 Report IMPROVED TEST METHODS TO EVALUATE PEDESTRIAN PROTECTION AFFORDED BY PASSENGER CARS (December 1998 with September 2002 updates)
- [54] REVIEW OF THE EURO NCAP UPPER LEG TEST Nils Lubbe Toyota Motor Europe, Belgium Hiromi Hikichi Hiroyuki Takahashi Toyota Motor Corporation, Japan Johan Davidsson Chalmers University of Technology, Sweden Paper Number 11-0137
- [55] BOVENKERK, J., Moglichkeiten zum realitatsnahen fuscangerschutz unter verwendun des polar II fuscanger dummies
- [56] GENNATELLI, T., WODZIN E., The Abbreviated Injury Scale 2005. Update 2008. American Association for Automotive Medicine (AAAM), Des Plaines, IL 2008.
- [57] SUBIT, D., Pedestrian-vehicle interaction: Kinematic and injury analysis of four full-scale tests, Proceedings of the 2008 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact
- [58] WITTENBURG, J., Dynamics of Systems of Rigid Bodies", B.G. Teubner Stuttgart 1977.
- [59] KAMMAN, J., HUSTON, R., Multibody Dynamics, Butterworth-Heinemann, 2001, ISSN 1384-5640
- [60] Galéria autora Ing. Peter Vertal', Ústav Soudního Inženýrství VUT Brno
- [61] PC Crash manuál 10.0
- [62] KOHÚT, P. Technicko-právna problematika analýzy dopravných nehôd, ŽU v Žiline, 2011, ISBN 978-80-554-0345-8
- [63] MOSER, A., STEFFAN, G., KASANICKY, G., The Pedestrian Model in PC-Crash – The Introduction of a Multi Body System and its Validation, International Congress and Exposition Detroit, Michigan March 1-4, 1999

- safety (INF GR PS); Paris, 28 – 30 September 2004; available as document PS/106 at the UNECE GRSP website www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html (18.02.2011)
- [50] JAMA 's Explanation on the Pedestrian Safety GTR Phase 2; presentation at the 148th meeting of the „Technical Committee” International Automobile Manufacturers Organization OICA; Paris, 14 – 15 October 2008 (internal working document)
- [51] BEEN, B., (FTSS Europe): Design Freeze Status, FlexPLI-GTR Development, Mechanical Design; presentation at the 6th meeting of the FlexPLI Technical Evaluation Group (FlexPLI TEG); Bergisch Gladbach, 31 March 2008; available as document TEG-054-Rev.1 at the UNECE GRSP website www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html (18.02.2011)
- [52] Knee joint front view; image in article “knee joint definition” at the website www.emedicinehealth.com (18.02.2011)
- [53] EEVC Working Group 17 Report IMPROVED TEST METHODS TO EVALUATE PEDESTRIAN PROTECTION AFFORDED BY PASSENGER CARS (December 1998 with September 2002 updates)
- [54] REVIEW OF THE EURO NCAP UPPER LEG TEST Nils Lubbe Toyota Motor Europe, Belgium Hiromi Hikichi Hiroyuki Takahashi Toyota Motor Corporation, Japan Johan Davidsson Chalmers University of Technology, Sweden Paper Number 11-0137
- [55] BOVENKERK, J., Moglichkeiten zum realitatsnahen fuscangerschutz unter verwendun des polar II fuscanger dummies
- [56] GENNATELLI, T., WODZIN E., The Abbreviated Injury Scale 2005. Update 2008. American Association for Automotive Medicine (AAAM), Des Plaines, IL 2008.
- [57] SUBIT, D., Pedestrian-vehicle interaction: Kinematic and injury analysis of four full-scale tests, Proceedings of the 2008 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact
- [58] WITTENBURG, J., Dynamics of Systems of Rigid Bodies", B.G. Teubner Stuttgart 1977.
- [59] KAMMAN, J., HUSTON, R., Multibody Dynamics, Butterworth-Heinemann, 2001, ISSN 1384-5640
- [60] Galéria autora Ing. Peter Vertal' , Ústav Soudního Inženýrství VUT Brno
- [61] PC Crash manuál 10.0
- [62] KOHÚT, P. Technicko-právna problematika analýzy dopravných nehôd, ŽU v Žiline, 2011, ISBN 978-80-554-0345-8
- [63] MOSER, A., STEFFAN, G., KASANICKY, G., The Pedestrian Model in PC-Crash – The Introduction of a Multi Body System and its Validation, International Congress and Exposition Detroit, Michigan March 1-4, 1999

Prehľad vlastných publikácií:

2015

- VERTAL, P., Popis evaluácie experimentálnej figuríny chodca určenej na meranie aktívnych bezpečnostných systémov vozidiel, Soudní Inženýrství, Brno, 2015
- VERTAL, P., STEFFAN, H., KASANICKÝ, G., Evaluation of the effectiveness of Volvo's pedestrian detection system based on selected real-life fatal pedestrian accidents, Redzyna Poland, 2015, XII International conference on braking and safety
- VERTAL, P., STEFFAN, H., SEMELA, M., Evaluation of the effectiveness of Volvo's pedestrian detection system based on selected real-life fatal pedestrian accidents, Edinburg United Kingdom, 2015, EVU
- KASANICKÝ, G., VERTAL, P., Using CDR system for reconstruction of road accident, Krakow Poland, 2015, XIV Konferencja Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych
- VERTAL, P., KASANICKÝ, G., Pedestrian detection by Volvo cars and possibilities of data readout with BOSCH CDR, Kottenheim Germany, 2015, Second CDR User Summit Europe
- VERTAL, P., STEFFAN, H., KLEDUS, R., Evaluation of effectiveness of Volvo's pedestrian detection system base on selected real-life fatal pedestrian accidents, Gotheborg Sweden, 2015, Enhance Safety Vehicle, Paper Number 15-0098
- KASANICKÝ, G., VERTAL, P., Využitie údajov autonómneho brzdenia pre analýzu dopravných nehôd, Galanta, 2015, Technická analýza dopravných nehôd
- VERTAL, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka dvoch vozidiel (1/2015). ŽILINA, USI 2015. s. 1-72.
- VERTAL, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka vozidla s chodcom (13/2015). ŽILINA, USI 2015. s. 1-64.
- VERTAL, P., a kol. Doplnok k znaleckému posudku – zrážka vozidiel (31/2015). ŽILINA, USI 2015. s. 1-42.
- VERTAL, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka vozidiel na križovatke (127/2015). ŽILINA, USI 2015. s. 1-99.
- VERTAL, P., a kol. Doplnok k znaleckému posudku – zrážka vozidiel na križovatke (188/2015). ŽILINA, USI 2015. s. 1-67.
- VERTAL, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka bicyklistu s chodcom (295/2015). ŽILINA, USI 2015. s. 1-45.

2014

- KASANICKÝ, G., VERTAL, P., Usage of the CDR-System for the analysis of traffic accidents, Warsaw Poland, 2014, AES Progres – Development of automotive engineering and safety
- VERTAL, P., KASANICKÝ, G., Effectiveness of Volvo pedestrian detection system, Budapest, Hungary, 2014, 42. Gépjármű Szakértői Szeminárium és Járműakadémia

- VERTAĽ, P., SEMELA, M., VÉMOLA, A., Analýza vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidel na ochranu chodců při posuzování silničních nehod, Soudní Inženýrství, Brno, 2014, ISSN 1211-443X
- VERTAĽ, P., SEMELA, M., VÉMOLA, A., Analýza vplyvu aktívnych bezpečnostných prvkov vozidiel na ochranu chodcov pri posudzovaní dopravných nehôd, Žilina, 2014, (dotlač 2/2012) ISSN 1335-1133
- VERTAĽ, P., Analýza vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidel na ochranu chodců při posuzování dopravních nehod, XXIII. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2014
- VERTAĽ, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka vozidla s chodcom (99/2014). ŽILINA, USI 2014. s. 1-101.
- VERTAĽ, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka dvoch vozidiel (149/2014). ŽILINA, USI 2014. s. 1-94.
- VERTAĽ, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka dvoch vozidiel (150/2014). ŽILINA, USI 2014. s. 1-146.
- VERTAĽ, P., a kol. Znalecký posudok – zrážka dvoch vozidiel (274/2014). ŽILINA, USI 2014. s. 1-81.

2013

- VERTAĽ, P., Stochastická simulácia kritickej situácie na križovatke – odbočovanie doľava. Brno: 2013. s. 1-5. JUFOS, ISBN 978-80-214-4704-2
- VERTAĽ, P., SEMELA M., Stochastic simulation of critical traffic situations at junction while turning left, Transcom 2013, Žilina, 2013. s. 1-5

2012

- VERTAĽ, P., a kol. Revizní znalecký posudek střetu dvou osobních vozidel (T 3998). Brno, USI 2012. s. 1-26.

2011

- VERTAĽ, P., Určení doby nutné prochládnutí turbodmýchadla vznětových motoru osobních vozidel po nadměrném zatížení. Brno: 2011. s. 1-5. JUFOS, ISBN: 978-80-214-4276- 4.
- VERTAĽ, P., a kol. Revizní znalecký posudek střetu tří osobních vozidel (T 3942). Brno, USI 2011. s. 1-21.

2010

- SEMELA, M.; VERTAĽ, P. a kol. Revizní znalecký posudek střetu vozidlo-strom (T 3515). Brno, USI, 2010. s. 1-19.

Zoznam vybraných veličín a symbolov

veličina	jednotka	popis
v	m/s <i>alebo</i> km/h	rýchlosť
m	kg	hmotnosť
s	m	dráha
t	s	čas
a	m/s ²	zrýchlenie
μ	-	kontaktné trenie
F	N	sila
S	-	koeficient tuhosti
λ	mm	hĺbka prieniku
ε	-	reštitučný koeficient
F _n	N	zložka normálovej kontaktnej sily
F _t	N	zložka tangenciálnej kontaktnej sily

Zoznam príloh

- 1) Poškodenia vozidiel a plánok DN
- 2) Protokoly z analýzy dopravnej nehody
- 3) WAR – wrap around distance
- 4) Popis UFA – Ultraflat Overrunable robot
- 5) Súhlas na použitie a zverejnenie získaných podkladov k predmetným DN

Doplnenie dizertačnej práce:

Veta na str. 29: Obr. 14 znázorňuje vyhodnotenú situáciu v bežnej mestskej premávke.

Oprava: Obr. 27 a, b znázorňuje vyhodnotenú situáciu v bežnej mestskej premávke.

Veta na str. 32: Obr. 17 znázorňuje časový priebeh brzdenia v 4 krokoch.

Oprava: Obr. 32 znázorňuje časový priebeh brzdenia v 4 krokoch.

Veta na str. 33: Príklad skoršej reakcie systému je znázornený na Obr. 18, signál spracovaný z radaru dáva okamžitý príkaz pre brzdný systém k predplneniu okruhu tlakového vedenia.

Oprava: Príklad skoršej reakcie systému je znázornený na Obr. 33, signál spracovaný z radaru dáva okamžitý príkaz pre brzdný systém k predplneniu okruhu tlakového vedenia.

Veta na str. 33: Z fázy 1 na Obr. 19 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.

Oprava: Z fázy 1 na Obr. 34 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.

Veta na str. 63: K zrážke vozidla VW s chodcom došlo v oblasti č.6 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

Oprava: K zrážke vozidla VW s chodcom došlo v oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

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

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

Vzorec (2):
$$S = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

Oprava:
$$\int_{v_1}^{v_2} dv = \int a dt \Rightarrow v = a \cdot t$$

$$\int v dt = \int ds \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

a = konšt.

Vzorce str. 49-54: Zdroj uvedený za nadpisom celej kapitoly

Oprava: Vzorce (11-38) zdroj [63]