

Metodika sběru a analýzy dat pro vyhodnocení zranění účastníků dopravní nehody s ohledem na aktivní prvky ve vozidlech

T A
Č R

Program **Alfa**

Prosinec 2016

- Výstup řešení projektu: Metodika je výsledkem řešení projektu VaV Technologické agentury ČR č. TA04030689: „Vývoj systému aktivní kapoty automobilu s ohledem na rozmanitost lidské populace a implementace biomechanického modelu lidského těla“.
- Zpracovatel: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
- Autoři: Ing. Ondřej Gogolín, Ing. Jakub Motl, Ing. Radim Striegler, Ing. Jan Novák
- Další zpracovatel: IDIADA CZ a.s., Vision Consulting Automotive, s. r. o., BRANO, a. s., MECAS ESI, s. r. o., Západočeská univerzita v Plzni
- Autoři: Vladimír Hahn, doc. Ing. Luděk Hynčák, Ph.D., Ing. Luděk Kovář, Ph.D., Dr. Ing. Jaroslav Maňas, Ing. Petr Pavlata, Ing. Miroslav Štěpán,
- Metodika certifikována: Ministerstvo dopravy ČR
č. j. xxx
- Oponovali: Ing. Jan Pokorný, Ph.D. (Univerzita Pardubice)
plk. Ing. Jindřich Rybka BA. (PČR – KŘP Jihomoravského kraje)

Abstrakt

Metodika je určena pro konstruktéry silničních vozidel a analytiku, kteří se zabývají sběrem a vyhodnocením dat z dopravních nehod ve vztahu k návrhu nových prvků ve vozidlech. Stěžejní část metodiky je věnována sběru dat z místa dopravní nehody v návaznosti na zranění účastníka nehody (konkrétně chodce). Část textu je věnována rozboru pasivní a aktivní bezpečnosti s cílem identifikovat míru ovlivnění průběhu mechanismu nehody. V závěru je pojednáno o jednom prvku pasivní bezpečnosti vozidla, o aktivní kapotě a jejím vlivu na průběh nehody.

Klíčová slova

Dopravní nehoda, osobní vozidlo, chodec, aktivní bezpečnost vozidla, pasivní bezpečnost vozidla, primární kontakt, sekundární kontakt, prvky bezpečnosti vozidla, mechanismus dopravní nehody, aktivní systém kapoty, biomechanický model aj.

Abstract

Guidelines are targeted at road vehicle designers and analytics involved in collection and processing traffic accident data in relation to design of new vehicle features. The main part focuses on collection of data from accident spot in relation to injuries of road users, specifically pedestrians. Other parts elaborate on passive and active safety with aim of identifying amount of influence on accident mechanism. The final part is devoted to a selected passive safety feature – active bonnet, and its influence on accident mechanism.

Keywords

Traffic accident, personal vehicle, pedestrian, active vehicle safety, passive vehicle safety, primary contact, secondary contact, vehicle safety feature, accident mechanism, active bonnet system, biomechanical model

Metodika byla certifikována Ministerstvem dopravy ČR v Praze dne xx. XX. 2016 pod č.j. xxx

Poděkování

Tato metodika byla vytvořena za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci programu ALFA, projektu „*Vývoj systému aktivní kapoty automobilu s ohledem na rozmanitost lidské populace a implementace biomechanického modelu lidského těla*“ (TA04030689) a na výzkumné infrastruktuře pořízené z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

OBSAH

I. CÍL METODIKY	7
II. VLASTNÍ POPIS METODIKY	8
1. MECHANISMUS DOPRAVNÍ NEHODY	11
1.1. Složky dopravní nehody	11
1.1.1. Člověk	11
1.1.2. Prostředí	12
1.1.3. Vozidlo	13
1.2. Druhy kontaktu	14
1.2.1. Čelní náraz	16
1.2.2. Tečný náraz	17
1.2.3. Přejetí	17
2. BEZPEČNOST ČLOVĚKA	18
2.1. AIS – Abbreviated Injury Scale	18
2.2. ISS – Injury Severity Score	19
3. BEZPEČNOST VOZIDLA	20
3.1. Aktivní bezpečnost vozidla	20
3.1.1. Systémy zaměřené na vozidlo	20
3.1.2. Systémy zaměřené na řidiče	21
3.1.3. Systémy zaměřené na prostředí	22
3.2. Pasivní bezpečnost vozidel	23
3.2.1. Systémy zaměřené na cestující	23
3.2.2. Systémy zaměřené na chodce	24
3.3. Kombinace aktivní a pasivní bezpečnosti vozidla	25
3.4. Autonomní systémy vozidla	25
4. BEZPEČNOST INFRASTRUKTURY	26
5. VYŠETŘENÍ DOPRAVNÍ NEHODY	27
5.1. Data výzkumu	27
5.2. Chronologie postupu činností na místě dopravní nehody	27
5.2.1. Ohledání vozidla	27
5.2.2. Ohledání dopravní infrastruktury	31
5.2.3. Psychologická analýza člověka	32
5.2.4. Ukončení výzkumu na místě dn	32
5.3. Statistika nehodovosti	33
5.3.1. Statistika PČR	33
5.3.2. Statistika dat z HASDN	34
6. SIMULACE DOPRAVNÍ NEHODY	37
6.1. Model výpočtu – Virtual Crash	37
6.1.1. Střet s chodcem	38
6.1.2. Parametry rázu v prostředí programu Virtual Crash	40
6.1.3. Střet vícetělesových systémů (MBS)	41
6.2. MODEL VÝPOČTU – PAM-CRASH	42
6.2.1. Popis programu	42
6.2.2. Střet vozidla s chodcem	46

6.3. Impaktní biomechanika	46
6.3.1. Biomechanické modely lidského těla	46
6.3.2. Parametrizace HBM	47
6.3.3. Vztah poranění k testování.....	48
6.3.4. Virtuální testování	48
6.4. Ukončení analýzy po simulaci DN	49
7. VYŠETŘOVACÍ ZPRÁVA	50
7.1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O DOPRAVNÍ NEHODĚ	50
7.2. ÚČASTNÍCI DN	50
7.3. PSYCHOLOGICKÉ ASPEKTY DN	50
7.4. VOZIDLA.....	50
7.5. DOPRAVNÍ PROSTŘEDÍ.....	50
7.6. ANALÝZA NEHODOVÉHO DĚJE	50
7.7. ZÁVĚR.....	50
8. OVĚŘENÍ AKTIVNÍ KAPOTY AUTOMOBILU	51
9. VÝVOJ AKTIVNÍHO PRVKU NA ZÁKLADĚ REÁLNÝCH DAT A SIMULACÍ	54
9.1. Vývoj aktivního závěsu kapoty	54
9.2. Testování.....	55
10. ZÁVĚR	56
III. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“	57
IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY	57
V. EKONOMICKÉ ASPEKTY	57
Příloha A – VYBRANÁ KRITÉRIA PORANĚNÍ SEGMENTŮ TĚLA CHODCE	59
Příloha B – PŘÍKLAD MODELU VÝPOČTU – VIRTUAL CRASH.....	65
Seznam použité související literatury	67
Seznam publikací, které předcházely metodice.....	68
Seznam použitých vzorců.....	68
Seznam tabulek.....	69
Seznam obrázků.....	69
Seznam použitých zkratk	71

I. CÍL METODIKY

Cílem *Metodiky sběru a analýzy dat pro vyhodnocení zranění účastníků dopravních nehod s ohledem na aktivní prvky ve vozidlech* (dále jen metodika) je vytvoření postupu pro sběr dat a detailní analýzu střetu vozidla s postavou chodce. Postup je navržen tak, aby došlo k úplnému popisu dynamiky mechanismu dopravní nehody (dále jen DN) od primárního kontaktu přes okamžik aktivace kapoty a pohyb doléhajícího těla chodce na kapotu. V tomto složitém procesu metodika dále popisuje:

- zda prvek bezpečnosti zareagoval správně
- a s jakou účinností (mohl) ochránil chodce.

Metodika se zabývá příčinami DN s chodci, jejich vazbami na prostředí, bezpečností vozidel, a to především prvky ve vztahu k aktivní bezpečnosti vozidel. Zásadním přínosem metodiky je popis vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidla na průběh DN, tzn. rozšíření stávající metodiky HADN [34.] o postupy sběru a analýzy relevantních dat. Jedná se především o identifikaci zásadních veličin ovlivňujících průběh mechanismu DN.

Za prvek pasivní bezpečnosti je pro metodiku uvažována aktivní kapota, která vytváří efektivnější deformační zónu mezi chodcem a tuhými prvky vozidla. Tento prvek je v metodice představen jako cílový výrobek, který lze na základě kvalitního sběru dat navrhnout.

Závěry či poznatky v této metodice navazují na výsledky z VaV projektů zaměřených na nejzranitelnější účastníky DN osobních vozidel s chodci. Byl to především pilotní projekt č. VG20112015007 *Hlubkové analýzy silničních dopravních nehod*, který položil základy hloubkové analýzy DN v ČR. Rozšiřující projekt č. TA03030791 *Výzkum nových přístupů k ochraně chodců, řešení střetu vozidla s pohybující se kompletní postavou chodce* identifikoval fáze kontaktu vozidla s chodcem. Současný projekt č. TA04030689 *Vývoj systému aktivní kapoty automobilu s ohledem na rozmanitost lidské populace a implementace biomechanického modelu lidského těla* je cílený na ovlivnění vzniku a průběhu nehody díky bezpečnostním prvkům ve výbavě vozidla.

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY

Vytvoření samostatné metodiky ke zkoumání DN s chodcem, kdy je vozidlo vybaveno prvky aktivní bezpečnosti, je určeno logickým vývojem vyplývajícím ze zkušenosti samotného výzkumu DN a také šířkou problematiky analýzy DN ve vztahu k vývoji nových prvků ve výbavě osobních automobilů:

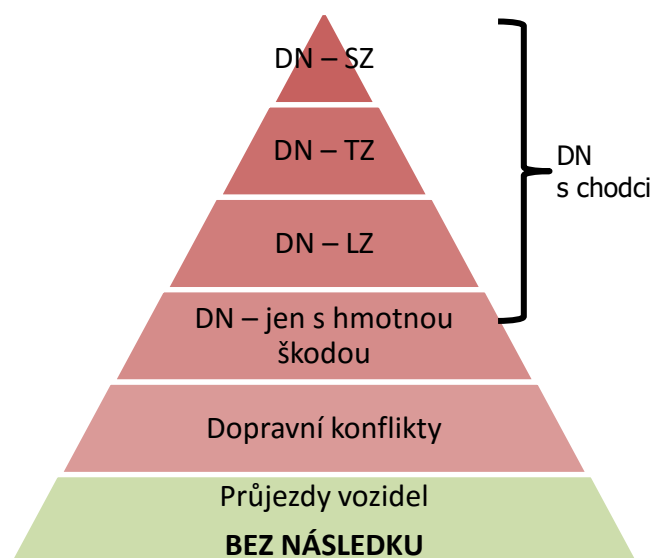
- Nejprve byla prováděna základní analýza DN. Nehody byly řešeny z obecného hlediska, tak aby bylo zachyceno co nejvíce údajů vyplývajících z dostupného výzkumu. Na základě prvotního sběru dat byla vyvinuta a aplikována *Metodika hloubkové analýzy dopravních nehod* [34.] z roku 2009. V roce 2014 bylo vypracováno její druhé vydání [35.], které mělo za cíl upřesnit další postup.
- V roce 2015 byla metodika analýzy DN prohloubena o metodu sběru dat a provedení analýzy DN s chodci. K tomu účelu již vznikla samostatná metodika – *Metodika komplexní analýzy střetu vozidla s chodcem* z roku 2015 [36.].
- Dalším krokem při hloubkové analýze mechanismu DN je zohlednění vybraných aktivních prvků bezpečnosti, kterými jsou vybavena vozidla účastníci se DN. Tyto prvky jsou schopny předcházet vzniku nehody, zasahují do jejího průběhu a ovlivňují následek nehody.

Aktivní bezpečnost vozidla zahrnuje veškeré prvky a systémy, které mají za úkol předejít nebo zabránit dopravní nehodě.

Existují aktivní prvky ve výbavě vozidla, které ovlivňují rychlost, a předcházejí tak kontaktu (střetu) vozidel. Kvalitní výhled z vozidla má také pozitivní vliv na reakční dobu řidiče. Udržované pneumatiky a kvalitní tlumiče zajišťují dostatečný kontakt vozidla s povrchem vozovky, a tak přímo ovlivňují délku brzdné dráhy. Modernější prvky v podobě elektronických systémů jsou schopny zásahu do řízení, a částečně tak kompenzují „nezkušenost“, nepřipravenost řidiče nebo jiné okolnosti vzniku DN.

Prvky pasivní bezpečnosti mají za úkol co nejvíce zmírnit následky DN, které již nebylo možné zabránit prvky aktivní bezpečnosti.

Je to například právě karoserie, která kolem cestujících vytváří ochrannou deformační zónu. Bezpečnostní pásy, které drží pasažéry na jejich místech, aby nebyli katapultováni do „nebezpečného“ okolí. Různé druhy airbagů, vytvářející větší absorpční zóny a významnou oporu pro postavu lidského těla (pasažéra) a mnohé další.



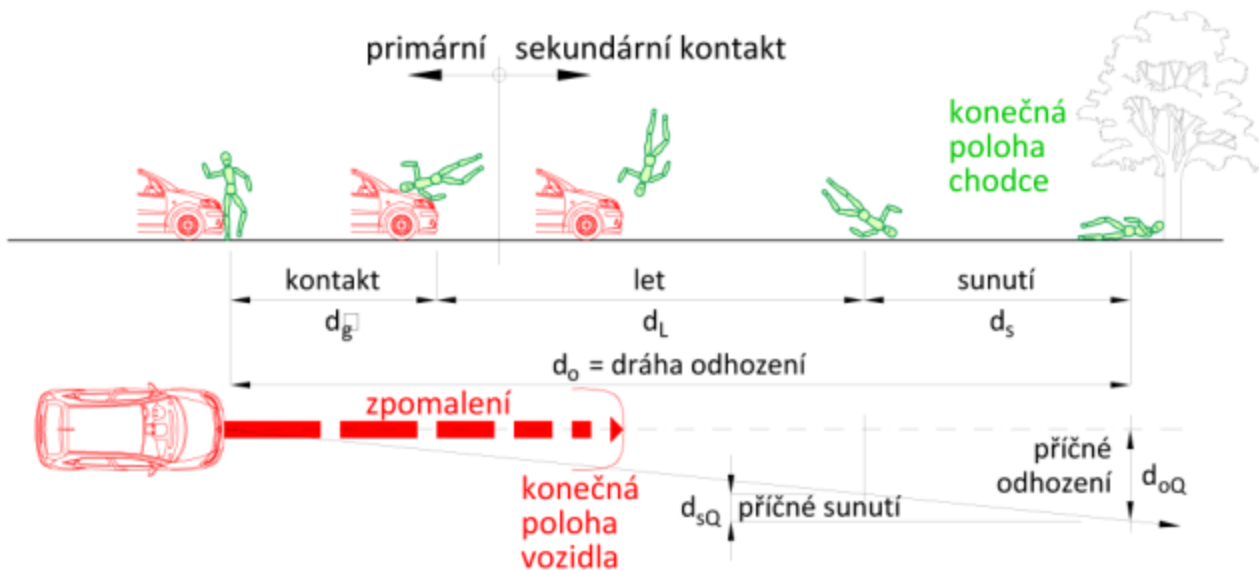
obr. 1. Pyramida dějů v běžném provozu

V předcházející *Metodice komplexní analýzy střetu vozidla s chodcem* [36.] byl rozebrán kontakt osobního vozidla s chodcem. Vzhledem k asi 21 tisícům DN s chodcem, které se odehrály v letech 2009 až 2014, se jedná o významný vzorek nehod. Obzvláště s ohledem na podíl 87 % chodců, kteří byli účastní DN a byli při ní zraněni.

Obecně patří DN se smrtelným nebo těžkým zraněním až na samotný vrchol pyramidy všech možných dějů běžného silničního provozu (viz obr. 1.), ale směrodatný je právě podíl následků na zdraví zúčastněných chodců, kteří v drtivé většině nevyvážnou bez vážného zranění.

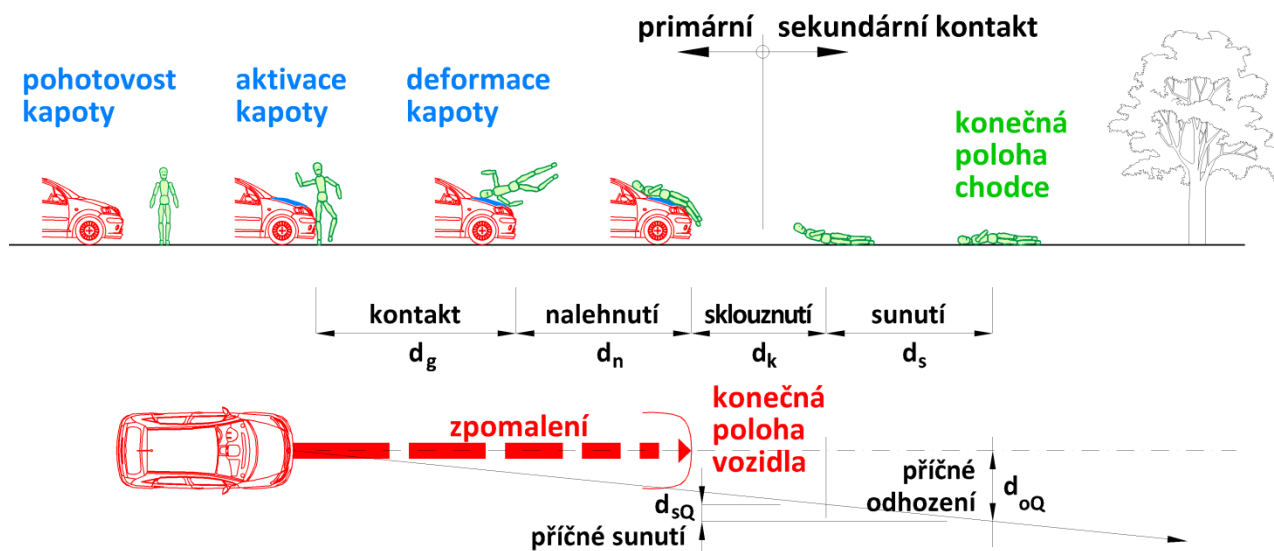
Metodika [36.] identifikovala klíčový přístup mechanismu DN za účasti chodce. Zásadní je vytvoření bezpečnostního prvku, který by zmírnil účinky primárního kontaktu a nejlépe zmírnil následky sekundárního kontaktu částečným pohlcením energie pohybujícího se chodce při deformaci kapoty. Sekundární kontakt představuje střet těla chodce s prostředím, kterým mohou být travnaté plochy v místě nehody, vzrostlá

vegetace, stavební prvky komunikace, jako jsou obrubníky, zábradlí, svodidla, čela propustků, veřejné osvětlení, aj. (zobrazeno na obr. 2.).



obr. 2. Průběh DN s chodcem BEZ pasivního prvku bezpečnosti

Vytvořením právě takového prvku, který bude působit při primárním kontaktu, dojde k podpoření pasivní bezpečnosti vozidla. Primární kontakt představuje právě ty okamžiky, kdy na komunikaci dochází k prvotnímu styku pohybujícího se vozidla s postavou chodce. Chodec nalehne na kapotu a zákony fyziky rozhodnou, zda je toto jeho konečná poloha, nebo bude následovat další pohyb, případně náraz (s okolím, sekundární kontakt, viz obr. 3.).



obr. 3. Průběh DN s chodcem S pasivním prvem bezpečnosti

Aktivní kapota představuje prvek pasivní bezpečnosti, který je aktivován při primárním kontaktu (viz obr. 4.). Aktivace mechanismu kapoty začíná v okamžiku kontaktu chodce s čelem vozidla. Systém aktivace může být kombinován s elektronickým sledováním rychlosti a být tak neustále v pohotovosti. Aktivací dojde k vytvoření dostatečně velkého prostoru mezi „relativně“ měkkou přední kapotou vozidla a tuhými „nepoddajnými“ částmi motoru (horní víko motoru atd.). Síla vzniklá při nárazu postavy chodce do kapoty je částečně absorbována deformací kapoty do prostoru vzniklého mezi kapotou a pevnými částmi motoru a tím v ideálním případě dochází ke snížení závažnosti poranění chodce při DN.



obr. 4. Prvek pasivní bezpečnosti – aktivní kapota

Pro popis postavy chodce nebo pasažérů vozidla metodika využívá tzv. MBS,¹ který je zde prezentován na pokročilém matematickém modelu postavy Virthuman. Jedná se o virtuální model testovací figuríny (chodce) pro ověření efektivity prvků pasivní bezpečnosti.

¹ MBS = Multi-Body System

1. MECHANISMUS DOPRAVNÍ NEHODY

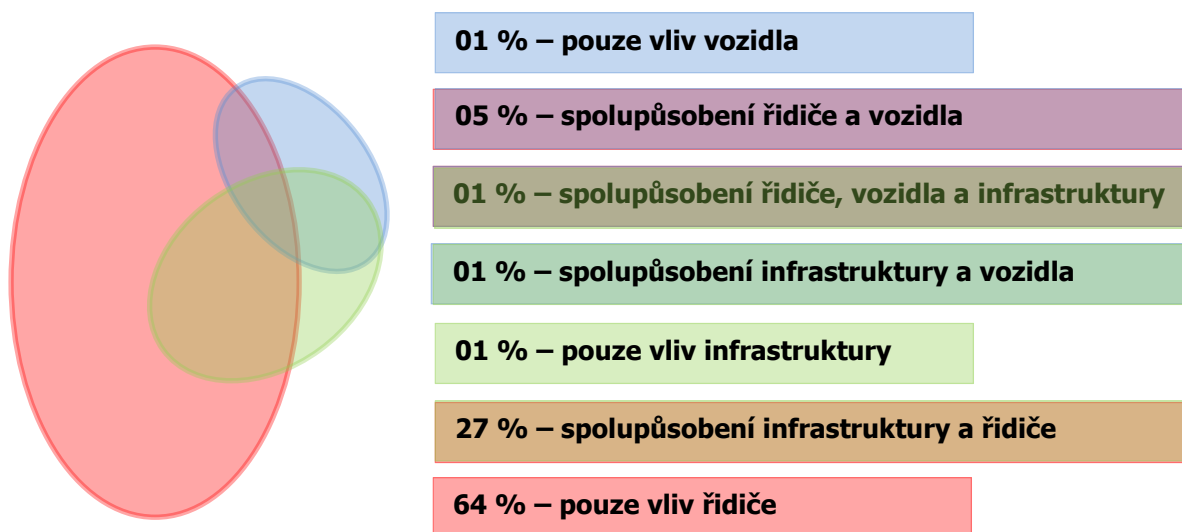
DN představuje negativní děj jinak běžného silničního provozu, který nelze zcela eliminovat. Čím lépe však známe jeho mechanismus, tedy vznik, průběh a následek, tím lépe ho dokážeme eliminovat, případně korigovat jeho negativní dopady.

Mechanismus DN si lze představit jako skupinu faktorů společně ovlivňujících počátek nehody, její průběh a následky. Obecně se faktory sdružují do tří složek: infrastruktura, vozidlo a člověk. Právě kombinace těchto složek v místě nehody udává příčinu kontaktu vozidla s chodcem, ovlivňuje závažnost následků DN a míru zranění.

Z hlediska času lze rozlišit počátek, průběh a následek nehody. Na počátku DN je ze zásady příčina, která slouží jako spouštěč. Může to být nepozornost, únava, omezený rozhled na pozemní komunikace nebo závada vozidla, která vede k jeho negativní trajektorii. Průběh nehody se odvíjí od jejího počátku. Výchozí pozici účastníků nehody lze považovat za bod nula. Průběh dopravní nehody se odehrává v horizontu několika sekund. Její následky však přetrvávají velmi dlouho nebo již neodezní.

1.1. SLOŽKY DOPRAVNÍ NEHODY

Účastníkem DN může být kterýkoliv z účastníků silničního provozu, např. osobní vozidlo, nákladní vozidlo, tramvaj, autobus, trolejbus, chodec, cyklista, motocykl aj. Pro účely této metodiky je provedena parametrizace vozidla a zranitelného účastníka silničního provozu, tj. chodce. Ostatní typy účastníků nejsou v metodice podrobně popsány. Jsou uvedeny pouze orientační údaje a základní principy kontaktu vozidla s chodcem. Odhadovaný podíl vlivu jednotlivých složek na DN je zobrazen na obr. 5.



obr. 5. Podíl dopravní infrastruktury, lidského činitele a vozidla na vzniku a následcích DN [9.]

1.1.1. ČLOVĚK

Lidský faktor (člověk) má největší vliv na mechanismus DN. Psychologická analýza umožňuje zkoumat různé faktory, které ovlivňují vnímání, rozhodování a jednání řidiče (tj. psychické a fyzické předpoklady k řízení, řidičskou kvalifikaci, aktuální schopnosti a dovednosti, úroveň kognitivních schopností, ale také vliv dopravní situace).

Pro samotný postup psychologické analýzy účastníků DN v místě nehody je vhodné vycházet z publikace *Hlubková analýza dopravních nehod* [9.] a z předchozí metodiky [36.].

- **Řidič**

Metodika je specificky zaměřena na střet osobního vozidla s chodcem. Z hlediska příčin mechanismu DN to jsou právě existující bezpečnostní systémy ve vozidle, které mají vliv na pozornost a reakci řidiče. Tyto systémy ovlivňují počátek, průběh, ale i následky DN. Je nanejvýš vhodné při šetření DN identifikovat a dosledovat jejich účinnost (aktivitu) v době nehody (Black-box, CDR atd.).

- **Chodec**

Popis přiblížení chodce k vozidlu, nebo naopak i oddálení bývá nesmírně důležitý pro průběh a následek DN. Z pohledu analytika DN se tomu říká identifikace střetové pozice a popis druhu kontaktu.

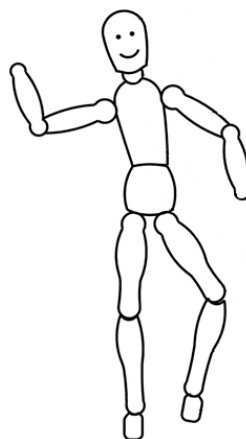
Tato metodika je více zaměřena na poznání lidské postavy z hlediska stavby lidského těla pro nastavení virtuálního prostředí při simulaci DN. Jedná se především o nastavení a parametrizaci vícetělesového systému (dále jen MBS)² (viz kapitulu 6.2).



obr. 6. Postava chodce



obr. 7. Biomechanická figurína



obr. 8. Schéma postavy



Zdroj: [29.]

obr. 9. MKP model

Pro účely lepšího pochopení průběhu nehody se provádějí simulace, které musejí být naplněny vstupními daty (charakteristiky prostředí, vozidla, člověka). Prostředí i vozidlo je možné poměrně jednoduše v simulaci nadefinovat. Postava člověka (chodce) je však obtížnější (viz obr. 6. obr. 7. obr. 8. obr. 9.).

Pro potřeby simulace DN a numerické analýzy je nutné definovat rozměry, hmotnost a další parametry kompletní postavy. Jedná se především o definování jednotlivých segmentů postavy (hlava, krk, hrudník, břicho, končetiny) a jejich bližší specifikaci. V místě nehody se zpravidla sbírají údaje o věku, pohlaví, výšce, hmotnosti, směru a rychlosti pohybu chodce aj.

Pro simulaci se zpravidla využívá princip MBS (Multi-Body System). Jednotlivé části postavy chodce jsou charakterizovány zastupujícími prvky, které nahrazují skutečný objem, hmotnost a momenty setrvačnosti. Značný vliv při parametrizaci mají klouby (viz kapitulu 6.1.1).

1.1.2. PROSTŘEDÍ

Dopravní prostřední nebo jinak zvaná silniční infrastruktura (technický stav komunikace) představuje stálou a neměnnou složku mechanismu DN. Ať už se jedná o přímý úsek, křižovatku nebo jakékoliv jiné místo, kde dochází k DN či konfliktům ohrožujícím bezpečnost nebo plynulost dopravního proudu, je to právě infrastruktura, která v daném místě na PK zastupuje statickou složku, alespoň na rozdíl od vozidla a člověka.

Ze statistické ročenky Policie ČR vyplývá, že nejvíce nehod se stává na živичném povrchu (až 92 % DN za rok), což je ale dáno největším zastoupením tohoto typu obrusné vrstvy na PK v ČR. Vzrůstající tendenci má

² MBS = Multi-Body System = VTS = vícetělesový systém (např. Virthuman = virtuální model v softwarovém prostředí, jehož parametry lze editovat; obvykle se skládá z více částí)

i počet DN na dlážděných krytech (v průměru 5,6 % DN za rok), které se stále častěji prosazují jako úpravy povrchu komunikace ve městech. Tuhé (betonové) povrchy vykazují průměrně 2,2 % DN za rok, i když v posledních třech letech jejich počet také roste.

Nejen parametry PK se započítávají do prostředí. Jsou to i povětrnostní podmínky, které mají vliv na mechanismus DN. Za neztížených povětrnostních podmínek se za rok stalo cca 84 % DN. Pouze v 16 % případů bývají u DN zaznamenány nepřející podmínky vlivem počasí. Mlha bývá průměrně zaznamenána v 1,1 % případů DN za rok, déšť v 9,1 %, sněžení nebo námraza u 5,0 %, nárazový vítr pouze u 0,2 % případů.

Podmínky vnějšího původu však zanechávají následky na vozovce. Průměrně se odehrává 20,2 % DN za rok na mokřích vozovkách a cca 0,5 % DN za rok na zablácených nebo jinak znečištěných vozovkách, včetně ropných produktů. Na náledí nebo sněhu se odehrává průměrně 6,5 % DN za rok (z toho při posypu 2,2 %, bez posypu 4,3 %). Na souvislé vrstvě sněhu se odehrávají průměrně 2 % DN za rok. Nejvíce nehod se odehrává na suchém neznečištěném povrchu vozovky (67 %).

Z hlediska kvality povrchu vozovky a zjištěných závad lze vyvodit, že v drtivé většině se DN odehrávají na dobrém povrchu bez závad (cca 96 % DN za rok). Vliv podélného sklonu, nesprávného dopravního značení, nerovnosti povrchu, výtluku, hrbolu nebo jiných závad nelze významně prokázat. Většinou jsou to ojedinělé případy kombinující více faktorů.

Dalším významným prvkem je rozhled. Bezpečný/dostatečný rozhled pro zastavení je nezbytným požadavkem na bezpečnou pozemní komunikaci. Z policejní statistiky vyplývá, že cca 97 % DN za rok se odehrává za dobrých rozhledových podmínek. Největší vliv na DN se špatným rozhledem vykazuje výškové vedení trasy. Podélný sklon v kombinaci s příčným spádem ovlivňuje efektivitu odvodnění PK. Při nedostatečném odvodnění se zvyšuje pravděpodobnost vzniku akvaplaninku (nehody za mokra, deště). Akvaplanink má za následek ztrátu kontaktu mezi pneumatikou a vozovkou, což se negativně projevuje na brzdě dráze vozidla a zejména na jeho ovladatelnosti.

Dalšími významnými prvky faktoru prostředí jsou pevné překážky, které ovlivňují rozhledové poměry (stromy, stožáry, patníky, sloupky aj.). Také samotné uspořádání dopravního prostoru často způsobuje nepřehlednost nebo nepředvídatelné situace, jako je oslnění protijedoucích vozidel, nevhodně nasvícené nebo příliš dlouhé přechody pro chodce, ostré úhly křížení, nevhodně umístěné reklamy.

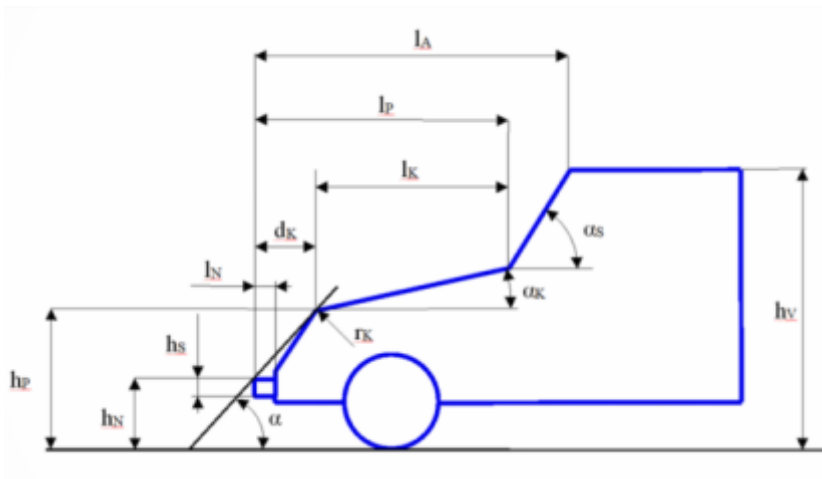
Jednou z málo předvídatelných vlastností prostředí je také denní světlo. Za úsvitu nebo večer při západu se slunce může nacházet nízko na horizontu a oslňovat tak řidiče. Tento jev se při vyšetření nehody bez osobní zkušenosti identifikuje velmi obtížně, i když jsou dostupné tabulky pro východ a západ slunce vzhledem k poloze na planetě. Většinou je však příčina nehody (oslnění sluncem) upřesněna až ze samotného výsledku účastníků nebo rezidentů lokality.

1.1.3. VOZIDLO

Třetí faktor DN představuje vozidlo. Automobil je ve své podstatě komplexní soubor požadavků vycházejících ze zkušenosti provozovatelů (řidičů), konstruktérů, ale i designérů. Výsledkem bývá kompromis možných řešení. Z hlediska eliminace následků DN byl v posledních 10 letech učiněn značný pokrok. Nyní se klade důraz na ochranu posádky vozidla, ale rovněž i na další zranitelné účastníky provozu na PK.

Vyvstává však otázka, jaká budou aplikována kritéria pro ochranu posádky vozidla a jaká pro ochranu chodců při navrhování deformačních zón v přední části vozu.

O průběhu pohybu chodce během nehodového děje spolurozhoduje tvar příďe vozidla. Na obr. 10. jsou znázorněny parametry geometrie příďe vozidla, které jsou pro sběr dat podstatné.



- α úhel záklonu přídě vozidla
- α_K sklon přední kapoty
- α_S sklon čelního skla
- l_A délka vozidla po přední hranu střechy
- l_p délka přídě vozidla
- l_k délka přední kapoty
- l_N hloubka nárazníku
- d_k odsazení přední kapoty
- h_v výška vozidla
- h_p výška přední hrany kapoty
- h_N výška nárazníku
- h_s šířka nárazníku
- r_k poloměr zaoblení přední hrany kapoty

Zdroj: [23.]

obr. 10. Geometrie přídě vozidla

Na obr. 11. jsou uvedeny základní formy přídě vozidel. Typ přídě významnou měrou ovlivňuje samotný průběh DN s chodci. Prezentované parametry vozidla lze v místě nehody získat buď měřením, nebo identifikací typu vozidla. Na základě informací od výrobce vozidla je získání dat efektivnější.



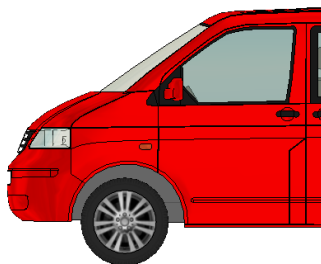
Trambusová



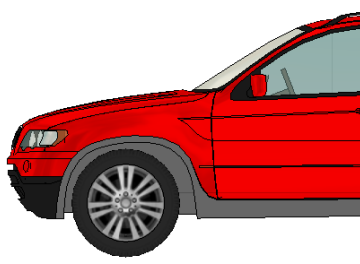
Pontonová



Klínovitá



Van



SUV



MPV

obr. 11. Základní tvary přídě vozidel

1.2. DRUHY KONTAKTU

V předcházející *Metodice komplexní analýzy střetu vozidla s člověkem* [36.] byly identifikovány základní druhy kontaktu, včetně postoje chodce. U základních typů DN osobních vozidel s chodci lze uvažovat o třech různých druzích kontaktu (kinematice pohybu chodce):

- **(Plné) najetí:** chodec je vystaven plné nárazové rychlosti³ vozidla (viz obr. 12.), eventuálně může v některých případech sklouznout na bok vozidla.



obr. 12. Najetí

- **Podjetí:** chodec nedosahuje během fáze kontaktu okamžité rychlosti vozidla a je v důsledku stále vyšší rychlosti vozidla tímto podjet (viz obr. 13.). Toto nastane, když v důsledku tvaru přídě vozidla a výšky těžiště chodce dochází k rotaci horní části těla chodce proti přídě vozidla.



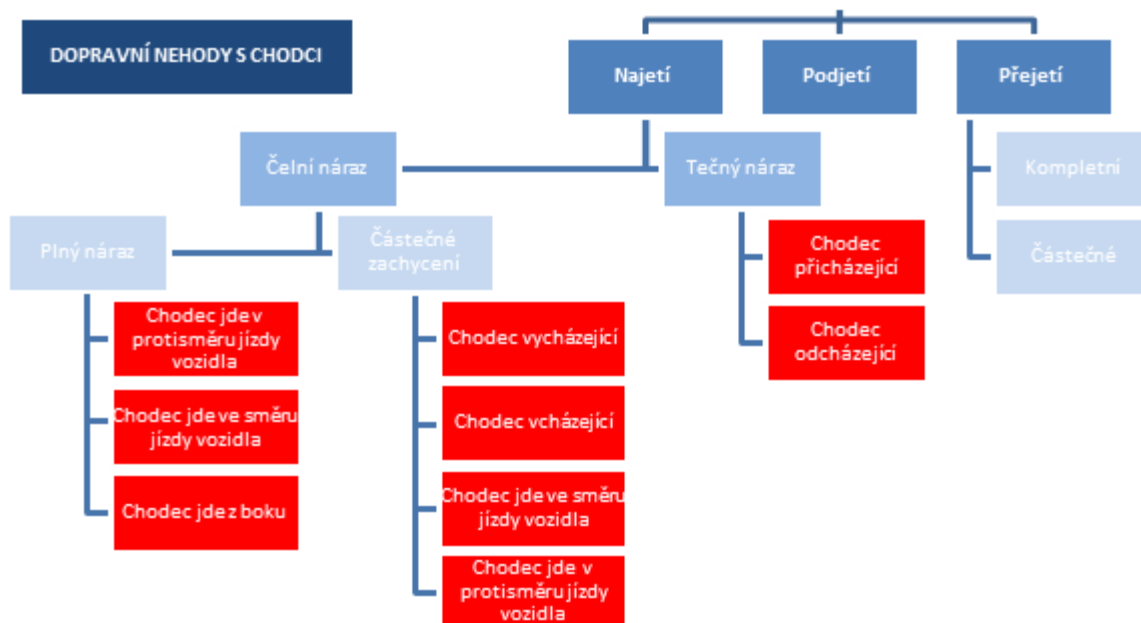
obr. 13. Podjetí

- **Přejetí:** dochází k němu, pokud dolní část těla chodce rotuje proti vozidlu. Přejetí chodce nastane za předpokladu, že chodec po získání plné nárazové rychlosti od vozidla dosáhne vzhledem k vozidlu a vůči vozovce relativně vyššího zpomalení. Chodec tak sklouzne pod vozidlo. V neposlední řadě může nastat i situace přejetí chodce ležícího na vozovce (viz obr. 14.).



obr. 14. Přejetí

Následuje schéma rozdělení druhů kontaktů při DN [32.]:



obr. 15. Komplexní rozdělení nehod s chodci

³ Nárazová rychlost je rychlost vozidla v okamžiku primárního kontaktu.

1.2.1. ČELNÍ NÁRAZ

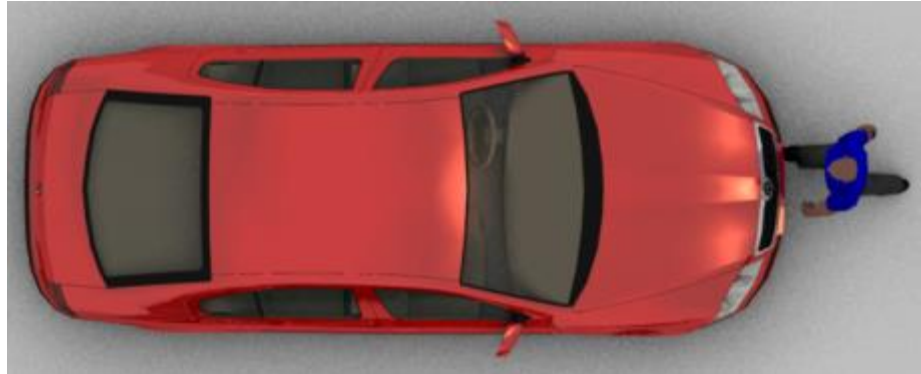
K primárnímu kontaktu chodce s vozidlem dochází na přídi (viz obr. 16.), přičemž chodec buď přichází do místa střetu příčně vůči směru pohybu vozidla, nebo se těsně před střetem pohybuje ve směru pohybu, event. v protisměru pohybu vozidla. U tohoto kolizního uspořádání je třeba rozlišovat, zdali vozidlo v okamžiku střetu brzdilo, nebo ne.

- **Plný náraz**

Rozlišujeme tedy tři základní typy vzájemného postavení chodce a vozidla:

Postavení čelně-čelní (fronto-frontální):

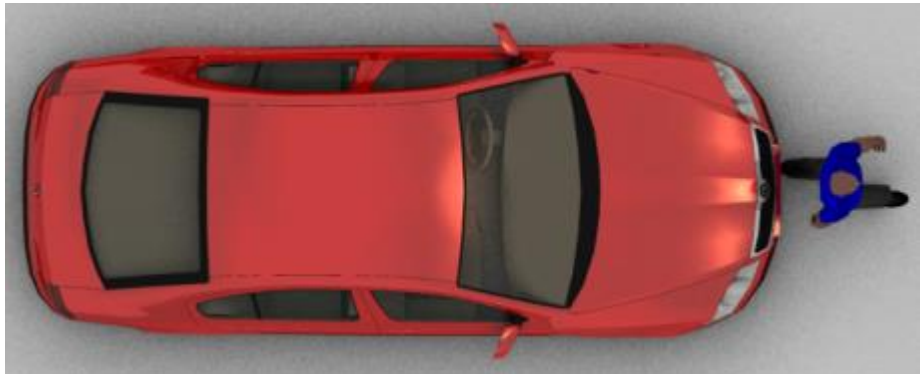
automobil naráží svou čelní stranou do chodce, který je k vozidlu natočen čelem.



obr. 16. Čelní náraz vozidla do chodce (postavení čelně-čelní)

Postavení čelně-zádové (fronto-dorzální):

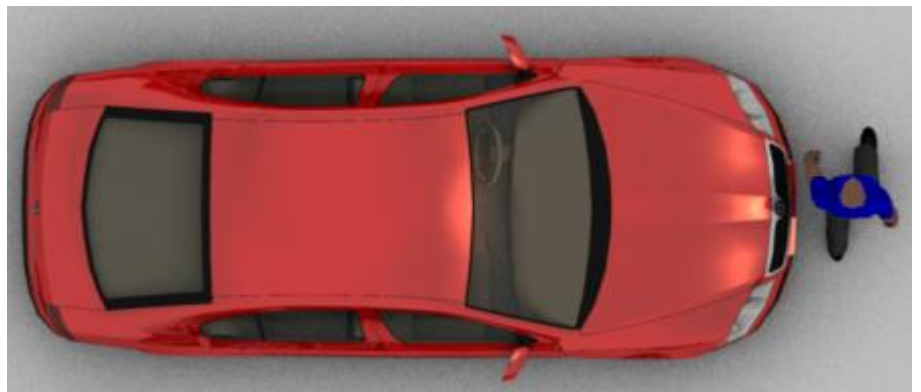
automobil naráží svou čelní stranou do chodce, který je k vozidlu natočen zády.



obr. 17. Čelní náraz vozidla do chodce (postavení čelně-zádové)

Postavení čelně-boční (fronto-laterální):

automobil naráží svou čelní stranou do chodce, který je k vozidlu natočen bokem.



obr. 18. Čelní náraz vozidla do chodce (postavení čelně-boční)

• Čelní náraz s částečným překrytím (roh vozidla)

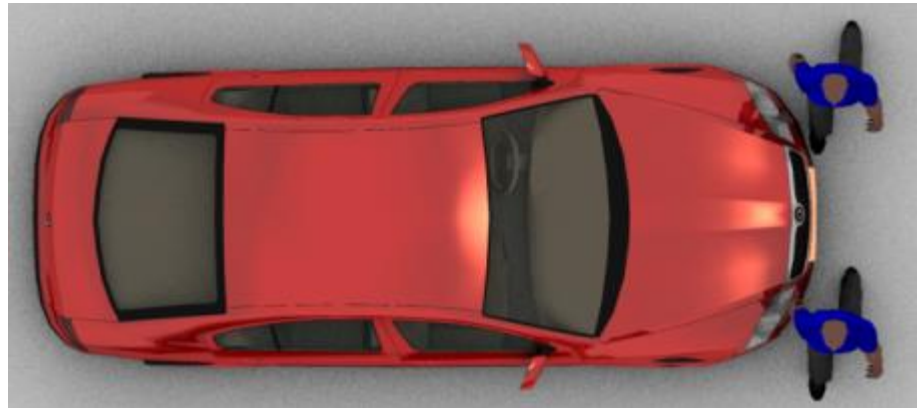
Tato kolizní konfigurace je specifická tím, že nárazem není zachyceno celé tělo chodce. Tento druh nárazu nastává v okamžiku, kdy chodec příčně vstupuje do jízdního koridoru vozidla, event. z něj právě vychází. Patří sem také případy, kdy se chodec pohybuje ve směru či v protisměru jízdy vozidla.

Postavení čelní s částečným překrytím

Chodec vchází do jízdní dráhy vozidla.

Chodec opouští jízdní dráhu vozidla.

Chodec se před střetem pohybuje ve směru jízdy vozidla.



obr. 19. Čelní náraz vozidla do chodce s částečným překrytím

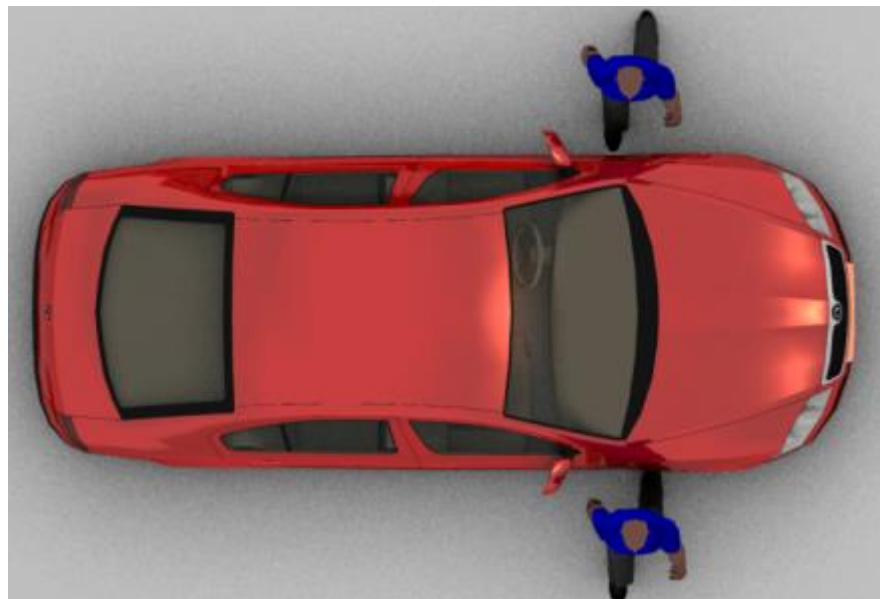
Dále je možné střety s chodci rozdělit podle předstřetové konfigurace. To znamená zohlednit polohu a pohyb chodce a vozidla před samotným střetem. Typickými konfiguracemi jsou:

- chodec stojí (nepohybuje se),
- chodec jde (běžná chůze),
- chodec běží (spěchá, sportuje aj.),
- chodec leží, sedí apod.

1.2.2. TEČNÝ NÁRAZ

Při tomto typu střetu chodec naráží na bok vozidla, přičemž jeho k vozidlu přivrácená část těla již dosáhla bočního profilu vozidla.

Intenzita nárazu je z velké části dána vlastní rychlostí pohybu chodce.



obr. 20. Boční náraz chodce do vozidla

1.2.3. PŘEJETÍ

Specifickým typem dopravní nehody vozidla s chodcem je přejetí ležícího chodce.

Tento typ střetu se vyskytuje spíše zřídka, ale zranění chodce bývají zpravidla smrtelná.



obr. 21. Přejetí ležícího chodce

2. BEZPEČNOST ČLOVĚKA

Člověk ovlivňuje mechanismus DN hlavně z hlediska své osobnosti, kognitivních schopností (např. schopnosti vnímat s přesností, schopnosti adekvátně a pohotově reagovat) a dalších situačních faktorů. Člověk s osobnostními rysy, jako je sklon k hněvu a agresivitě, neuroticismus⁴ a úzkostnost, a osobnostní typ A⁵ má větší tendenci k porušování předpisů. Situační psychologické aspekty, jako jsou účel jízdy, známost trasy, pocit časové tísně, psychický stav před nehodou, přítomnost únavy, intenzita provozu nebo stres, mají jednoznačný vliv na pravděpodobnost vzniku nehody. Pro poznání těchto aspektů je vhodná publikace HASDN [9.].

Při hloubkových analýzách v CDV na místě DN bylo šetřeno cca 1000 nehod. Psychologické rozhovory byly provedeny u 43 % z nich. Se samotnými chodci se podařilo mluvit pouze v 5 % případů. Většina DN s chodci končí těžkým zraněním, tj. okamžitým odvozem do zdravotnického zařízení. Výjezdový tým se většinou dostane k místu DN v době, kdy tam chodec již není. Analýza se provádí až ve zdravotnickém zařízení.

2.1. AIS – ABBREVIATED INJURY SCALE

AIS je zjednodušená stupnice poranění, která byla oficiálně představena americkou asociací „Association for the Advancement of Automotive Medicine“ v roce 1969. Jejím úkolem je jednočíselně vyjádřit míru ohrožení úrazem na životě.

Jedná se o stupnici závažnosti poranění (AIS) jednotlivých částí (segmentů) lidské postavy (viz tab. 1.). Tato stupnice je vyvíjena od roku 1977 a popisuje závažnost zranění číslem 0 až 6. Stupnice není lineární. Jelikož se tato stupnice zabývá pouze dílčími částmi postavy, tak se užívá MAIS,⁶ která charakterizuje závažnost zranění dle maximální hodnoty AIS právě jedné části postavy.

tab. 1. Zjednodušená stupnice poranění AIS (Abbreviated Injury Scale)

Hodnota AIS	Vážnost poranění (CZ)	Vážnost poranění (ENG)	Pravděpodobnost úmrtí	Poznámka
0	žádné	–	0 %	žádné poranění
1	lehké	(minor)	0 %	nepatrné
2	střední	(moderate)	1–2 %	mírné
3	vážné	(serious)	8–10 %	nehrožující život
4	těžké	(severe)	50–50 %*	ohrožující život, ale přežitelné
5	kritické	(critical)		přežití je nejisté
6	fatální	(unsurvivable)	100 %	neslučitelné se životem

Poznámka: * Silně závisí na fyzické kondici zraněného, rychlosti a odbornosti poskytnutí první pomoci.

Z hloubkové analýzy DN vyplývá, že více než 53 % zraněných účastníků představují řidiči nebo spolujezdci, chodců a motocyklistů je 33 %. U šetřených případů DN bylo identifikováno cca 750 zranění s největším podílem zranění hlavy (22 %), dolních (19 %) a horních končetin (16 %) a samozřejmě poranění hrudníku (14 %). Ze zkoumaného vzorku dat bylo více než 56 % zraněných mezi 16. a 60. rokem života (produktivní

⁴ Neuroticismus = geneticky podmíněná náchylnost k emocionální a celkové duševní labilitě (nevyrovnanosti), ke zvýšené psychické tenzi, úzkostem a strachům a k onemocněním neurózou.

⁵ Osobnostní typ A = silné zaměření na výkon, přehnaná soutěživost, orientace na dosahování statusu, závislost na dosahování uznání. U těchto lidí se ve zvýšené míře objevovaly potíže s cévními nemocemi, srdeční potíže, infarkt myokardu.

⁶ MAIS = Maximum Abbreviated Scale = hodnota nejvyššího AIS

věk). Až 60 % zraněných chodců vyžaduje hospitalizaci. Nejčastější doba ošetření ve zdravotnickém zařízení byla 1 až 5 dní. Nejčtenější skupinou DN jsou nehody s čelním nárazem. Při rychlostech vyšších než 60 km/h je téměř v 90 % jisté těžké nebo smrtelné zranění při srážce s chodcem. Z celkové statistiky vyplývá, že chodci patří mezi nejzranitelnější účastníky silničního provozu.

Vybraná kritéria poranění segmentů postavy chodce jsou uvedena v příloze A této metodiky.

2.2. ISS – INJURY SEVERITY SCORE

ISS je hodnota závažnosti zranění, která poskytuje jednočíselné skóre pacientům s mnohočetným poraněním. K výpočtu ISS je používána AIS, přičemž každému poranění pacienta je přiřazena číselná hodnota AIS a je zařazena do jedné z předem určených 6 skupin:

- hlava a krk
- obličej
- hrudník (včetně hrudní páteře)
- břicho (včetně bederní páteře)
- končetiny (včetně pánve)
- tělesný povrch (poranění kožního krytu)

Konečný výpočet probíhá podle následujících pravidel: pouze nejvyšší AIS skóre z každého regionu je použito, tři nejvyšší skóre jsou umocněna na druhou a jejich součtem je dáno výsledné ISS.

ISS skóre se pohybuje v rozmezí od 1 do 75. Pokud má kterákoliv část těla AIS 6, jedná se o zranění neslučitelná se životem a ISS automaticky nabývá hodnoty 75.

Smyslem tohoto skórovacího systému je jednoduchým způsobem vyjádřit závažnost tělesného postižení a tím umožnit vzájemné porovnání pacientů s vícečetnými poraněními. Zároveň dokáže predikovat procentuální možnost přežití.

3. BEZPEČNOST VOZIDLA

Bezpečnosti vozidla je věnováno značné úsilí. Jedná se o faktor mechanismu DN, který je tvořen přesnou strojovou výrobou. S vývojem nových technologií, miniaturizací a automatizací je konstruktérům umožněno přicházet se stále sofistikovanějšími a dokonalejšími řešeními a zařízeními již během vývoje nového typu vozidla.

Hledání tzv. bezpečného automobilu se v podstatě ubírá dvěma hlavními směry. Jedním z nich je snaha vytvořit takový vůz, který by svými konstrukčními prvky a technickými řešeními dokázal nehodě úplně zabránit (aktivní bezpečnostní prvky). Druhý směr pak reaguje již na vzniklou DN a snaží se maximální možnou mírou eliminovat následky pro všechny její účastníky (pasivní bezpečnostní prvky).

3.1. AKTIVNÍ BEZPEČNOST VOZIDLA

Aktivní bezpečnost zahrnuje systémy a prvky vestavěné vozidlu, které zasahují do vzniku a průběhu nehody, některé jí mohou dokonce předcházet. Jsou to prvky ve výbavě vozidla, které aktivně mapují okolní prostředí, výkon motoru, rychlost, zrychlení/zpomalení, ale dokonce i aktivitu řidiče. Pokročilejší systémy se dokážou i učit z analýzy běžné jízdy vozidla.

Pro účely této metodiky je zde uveden výčet nejběžnějších bezpečnostních prvků/systémů a jejich nejzákladnějších charakteristik, které ovlivňují DN. Jejich znalost je nezbytná pro efektivní analýzu DN a následnou simulaci.

3.1.1. SYSTÉMY ZAMĚŘENÉ NA VOZIDLO

- **ABS – antiblokovací systém brzd**

Elektronický brzdový systém (ABS⁷) zabraňuje zablokování kol a tím ztrátě adheze (přilnavosti) kola k vozovce. Zajišťuje ovladatelnost vozidla při brzdění. Společně s elektronickým rozdělovačem brzdové síly (EBD⁸) zvyšují ovladatelnost vozidla i při prudkém brzdění. Brzdová soustava má rychlejší odezvu při aktivaci.

Při šetření DN „*in situ*“ je nutné provést ohledání vozidla, zda bylo tímto systémem vybaveno. Jeho aktivace ovlivňuje brzdnou dráhu, tudíž by mohl zkreslit výsledky rozboru.

- **ASR – antiprokluzový systém**

Systém regulace prokluzu (ASR⁹) pohonu rozšiřuje systém ABS o funkci zabezpečující prokluzování kol při akceleraci na povrchu s nižší adhezí (náledí, sníh, voda). Funkce zabezpečuje stabilitu vozidla i při nadbytečném výkonu přeneseném na hnací kola.

- **ESP – elektronický stabilizační systém**

V kritických situacích zasahuje systém jízdní stabilizace (ESP¹⁰). Obdobně jako systém ABS cíleně reguluje jízdní dynamiku. Zabraňuje, aby se vozidlo dostalo do smyku (např. v zatáčce, vyhýbacích manévrech). Systém bývá nepřetržitě aktivní a zaznamenává každou odchylku od požadované jízdní stopy. V případě začínajícího smyku automaticky přibrzdí jednotlivá kola dle potřeby a sníží výkon motoru, tím dosáhne stabilizace vozidla v požadovaném směru. Jedná se o nastavbu systému ASR. Stejnou funkci mají i systémy ESC (Electronic stability control) nebo VSA (Vehicle Stability Assist).

- **Aktivní mechanismus řízení**

Systém, který je přímo napojený na mechanismus řízení vozidla a v případě potřeby zasáhne do vedení vozidla. V případě jeho užití nedochází k mechanickému přerušení spojení volantů s přední nápravou.

⁷ ABS = Antilock Braking System

⁸ EBD = Electronic Brakeforce Distribution

⁹ ASR = Anti-Slip Regulation

¹⁰ ESP = Electronic Stability Program

- **PEBS – prediktivní systém nouzového brzdění**

Prediktivní systém nouzového brzdění (PEBS¹¹) zabraňuje nárazům do zadní části předchozího vozidla. Systém je založen na propojení radarového snímače se systémem regulace jízdní dynamiky (ESP) nebo elektronickým řízením stability (ESC).

- **BAS – brzdový asistent**

Ve chvíli vzniku DN dochází k reakci řidiče. Ve většině případů se jedná o sešlápnutí pedálu brzdy. Ne však v každém případě síla sešlápnutí odpovídá síle potřebné k zastavení vozidla. Brzdový asistent napomáhá dosáhnout max. brzdného účinku v kritických situacích. Systém brzdového asistenta (BAS¹²) sám vyhodnotí tlak vyvinutý řidičem na brzdový pedál a v případě potřeby ho automaticky zvýší.

- **ISA – systém sledování rychlostních limitů**

Jedná se o systém výstrahy při překročení rychlosti (ISA¹³). Tento systém funguje na znalosti rychlostního limitu daného prostředí, a poskytne tak informaci řidiči o jeho překročení. Systém je možné kombinovat s automatickým rozpoznáváním dopravních značek (TSR). Přední kamera monitoruje prostor před vozidlem a informuje řidiče o aktuálních omezeních rychlosti na komunikaci.

- **Omezovač rychlosti**

Omezovač rychlosti je ve vozidle většinou v kombinaci s tempomatem. Řidič nastaví vlastní omezení rychlosti dle dopravního prostředí a systém sám kontroluje hybné síly vozidla, aby nebyl překročen nastavený limit. Řidič se tak plně věnuje prostoru před vozidlem. Kontrolu rychlosti přebírá systém. V případě nečekané události ihned přebírá kontrolu řidič (kontakt s pedálem brzdy/rychlosti).

- **Systém kontroly tlaku v pneumatikách**

Systém určený ke kontrole tlaku v pneumatikách, který vyhodnocuje počet otáček, nebo senzor umístěný přímo v pneumatice. Funguje na principu, že podhuštěné kolo se otáčí rychleji než kola správně nahuštěná. Správný tlak zaručuje potřebné adhezní účinky.

- **APB – automatická parkovací brzda**

Jedná se o systém konstruovaný tak, aby byl odstraněn mechanický princip parkovací brzdy. Do vozidla jsou nainstalovány upravené třmeny kotoučové brzdy. Při aktivaci dojde k jejich přitlačení a tím se vozidlo stabilizuje. Jedná se především o systém vhodný při parkování.

- **Multikolizní brzda**

Jedná se o systém využitelný v případě vícečetného kontaktu vozidla s prostředím. Pokud dojde k tomuto typu nehody, kdy řidič po odeznění není schopen vozidlo plně dobrzdit, je tento systém vhodný především pro zabránění vzniku dalších ohrožujících kontaktů nebo alespoň snížení rychlosti při nárazu.

3.1.2. SYSTÉMY ZAMĚŘENÉ NA ŘIDIČE

- **EPS – elektrický posilovač řízení**

Tento systém je určený především ke zvýšení reakce řidiče na vzniklou situaci. Díky vložené síle při nastavení volantu je nastavení kol vozidla okamžité. U vozidel s vyšší hmotností docházelo ke zpoždění reakce vlivem tuhosti volantu. V kombinaci s VSA je zajištěna stabilita vozidla při prudkém brzdění (při DN nebo i při njetí na vozovku s nižší adhezí).

- **Adaptivní tempomat**

Systém, který dokáže rozpoznat vozidla jedoucí vpředu, určí jejich rychlost a zasáhne tak do aktuální rychlosti vozidla za účelem udržení bezpečné vzdálenosti.

¹¹ PEBS = Predictive Emergency Braking System

¹² BAS = Brake Assist

¹³ ISA = Speed Alert Systems

- **Adaptivní světlometry**

Při dynamické noční jízdě na komunikaci s vyšší křivolakostí jsou adaptivní světlometry výhodou. Při průjezdu ostrou zatáčkou se světlometry nastavují ve směru pohledu řidiče. Osvětlují plochu vozovky nadcházející zatáčky a tím zvyšují pravděpodobnost reakce řidiče při zahlédnutí překážky. Tento typ systému uvažuje i vliv rychlosti vozidla a dokáže komunikovat s GPS navigací.

- **Samozatmavovací zpětné zrcátko**

Samozatmavovací zpětné zrcátko zmírňuje následky oslnění řidiče vozidly jedoucími za ním, především v nočních hodinách provozu. Zrcátko indikuje snížení denního osvětlení a hlídá nasvětlení předními světly následujících vozidel. Potom změní zabarvení (odrazivost) tak, aby nedošlo k oslnění řidiče vozidla.

- **Signalizace nezapnutého bezpečnostního pásu**

Jedná se o systém zaměřený především na bezpečnost řidiče a cestujících. Při aktivaci motoru dojde ke kontrole obsazenosti kabiny vozidla a zajištění bezpečnostních pásů. V případě pozitivního zjištění obsazenosti sedadel a nezajištěného bezpečnostního pásu je aktivován akustický signál, který na to upozorní.

- **Aktivní ochrana cestujících**

Jedná se o komplexnější systém, který na základě vyhodnocení rychlosti vozidla, brzdné síly a směru pohybu přizpůsobí prvky ve výbavě kabiny vozidla tak, aby minimalizoval následky nehody. Dochází k předepnutí bezpečnostních pásů, nastavení sedadel a opěrek nebo uzavření oken ve dveřích (případně střešního okna), aby nedošlo ke vniknutí cizích těles do kabiny vozu. Systém pracuje při rychlostech nad 30 km/h.

- **Alkoholový zámek**

Tento systém funguje na principu dobrovolného ověření míry alkoholu v krvi. Z bezpečnostních důvodů je možné ho vždy přemostit. Řidič sám rozhodne o tom, zda při pozitivním výsledku bude vozidlo řídit, nebo ne. Princip je založený na dechové zkoušce, tak jako při kontrole hlídkou PČR.

- **Systém sledování bdělosti řidiče**

Systém vychází z kontinuální analýzy chování (bdělosti) řidiče. Rozpoznání únavy nastává v případě, kdy řidič provede náhlou korekci směru pohybu vozidla (většinou při rychlosti vyšší než 65 km/h). Pokud řidič na chvíli přestane řídit a poté provede náhlou korekci řízení, je to často známkou ztráty koncentrace a zvyšující se únavy. Při identifikaci takového jevu systém reprodukuje varování a vyzve řidiče k odpočinku.

- **HSA – asistent rozjezdu do svahu**

V místech vyššího podélného sklonu, kde se vozidla často rozjíždějí ze statické polohy, je velmi vhodný systém asistenci při rozjezdu do svahu. V případě jeho aktivace dojde k pozdržení pedálu brzdy na potřebný interval, který umožní přesunout nohu na pedál plynu. Stejně dobře poslouží i při rozjíždění na kluzkém povrchu.

- **Kontrola mrtvého úhlu**

Jedná se o systém založený na čidlech po stranách vozu, které pomocí ultrazvuku identifikují vozidlo v prostoru tzv. mrtvého úhlu. Signál je potom převeden do vizuálního nebo i akustického upozornění. Výstraha může být zabudována přímo do zpětného zrcátka.

3.1.3. SYSTÉMY ZAMĚŘENÉ NA PROSTŘEDÍ

- **Parkovací asistent**

Systém určený k asistenci při parkování vozidel. Při průjezdu kolem místa určeného k parkování jsou zjišťovány jeho rozměry. Systém vypočte optimální trasu pro parkovací manévr a navede vozidlo. Řidič většinou ovládá jen brzdu a plyn. Existuje mnoho modifikací tohoto systému, vzájemně se liší principy sběru dat o parkovacím místě. Navedení vozidla je věcí úpravy jeho vybavení.

- **Asistent jízdy v kolonách**

Systém asistence jízdy v kolonách je schopen zasáhnout do rychlosti vozidla v případě náhlého snížení rychlosti vozidla předchozího. Pojezdy v kolonách se tak obejdou bez zbytečných kolizí. Funguje při rychlostech do 30 km/h. Běžná označení jsou Active City Stop, Front Assistant, City Safety.

- **Automatický přepínač světel a aktivace stěračů**

Jedná se o systémy, které reagují na vnější podněty. Může to být denní světlo, protijedoucí vozidlo nebo veřejné osvětlení tunelů a PK, které rozhodují o přepnutí mezi světlými pro denní svícení a potkávacími světlými. Dále to může být déšť nebo náhodná sprška vody z ostřikovačů předchozího vozidla, nebo odšťrk z kaluže, který aktivuje stěrače a umožní tak výhled řidiči z kabiny vozidla. Tyto systémy mají za cíl ulehčit řidiči rutinní úkoly, aby mohl svou pozornost zaměřit pouze na dění na silnici.

- **Systém sledování jízdního pruhu**

Systém s potenciálem zabránění vyjetí vozidla mimo jízdní pruh. Kamery instalované na přední a na bocích vozidla sledují průběh vodorovného dopravního značení. Pokud je zaznamenáno zmizení nebo přejetí tohoto prvku, systém reprodukuje varovný signál (vibrace volantu, akustický nebo vizuální signál). Vyšší verze systému jsou schopny přímo zasáhnout do řízení vozidla (úprava trajektorie a rychlosti vozidla). Pokud řidič indikuje znamení o změně směru jízdy před opuštěním jízdního pruhu, pak systém nereaguje. Značný vliv na tento systém má kvalita vodorovného dopravního značení.

- **Systém nočního vidění**

V případě noční jízdy bývá častým problémem viditelnost překážek. Noční vidění (Night Vision) je systém založený na principu infračerveného vidění, které může pro řidiče odhalit překážky, chodce nebo zvěř, aby byl schopen adekvátní reakce.

- **Systém rozpoznávání chodců a cyklistů**

Pomocí kombinace radarové techniky umístěné před chladičem a kamerové analýzy obrazu lze využít systém pro identifikaci chodce nebo cyklisty. Obdobně jako u nočního vidění jsou tyto zranitelní účastníci silničního provozu označeni pro řidiče. Systém je schopný nezbytného zásahu do řízení nebo úpravy rychlosti vozidla.

3.2. PASIVNÍ BEZPEČNOST VOZIDEL

Pasivní bezpečnost vozidel je řešena především ve vztahu k cestujícím uvnitř vozidla. Prvky jsou navrhovány tak, aby reagovaly na průběh nehody a zmírňovaly její následek. Aktivací prvků dojde obvykle k podpoře udržení deformační zóny kolem cestujícího. Prvky ochraňující chodce fungují podobným systémem, nejsou však tak rozšířené.

3.2.1. SYSTÉMY ZAMĚŘENÉ NA CESTUJÍCÍ

Mezi hlavní prvky patří především karoserie, bezpečnostní pásy, airbagy (čelní, boční, hlavové, kolenní aj.) ale také ochrany krční páteře aj.

- **Karoserie**

Karoserie představuje pevnou konstrukci vozidla, která tvoří nejen skelet vozidla, ale udává i obrys ochranného prostoru. Vytváří tak deformační zónu mezi řidičem (cestujícími) a místem primárního kontaktu. Robustní karoserie je schopna vstřebat značný podíl energie při nárazu. Roste tak potenciál zachování zdraví cestujících za cenu zničení částí vozidla. Dnes jsou karoserie navrhovány z lehčí vysokopevnostní oceli. Jednotlivé části karoserie se navrhují tak, aby v případě nárazu docházelo k postupnému akumulování energie (lámání, ohýbání a kroucení přepážek, zasunutí nebo shrnutí teleskopických částí).

- **Bezpečnostní pásy**

Bezpečnostní pásy představují jeden z nejefektivnějších pasivních prvků ve výbavě vozidla. Princip je založen na tříbodovém záchytném systému, který při nehodě udrží cestujícího na sedadle uvnitř vozidla. Dojde tak k zabránění jeho pohybu a dalšího nárazu uvnitř vozidla. Hlavní energii při nárazu vstřebává karoserie. Cestující je udržen na sedadle, které je tvarováno s maximálním ohledem na stavbu lidského těla. Konstrukce pásu je

zaměřena na kyčelní a hrudní část lidské postavy. Cestující je tak chráněn proti pohybu zezadu dopředu a zdola nahoru. Proti bočním pohybům je zaměřen tvar sedadla. V moderních úpravách jsou navrhovány bezpečnostní pásy, které jsou vybaveny předpínačem, omezovačem síly, příp. i airbagem (nebo i chladicí směsí).

- **Airbag**

Airbag představuje prvek, který má za úkol vyplnit prostor mezi cestujícím a vnitřním prostorem vozidla v době nárazu. Airbag pouze zpomaluje náraz cestujícího. Je nezbytné, aby byl cestující připoután bezpečnostními pásy. V moderních vozidlech existuje několik typů airbagu, které jsou zaměřeny na ochranu různých částí postavy cestujícího: čelní, boční, hlavové, kolenní, dětské. Je možné také dvoustupňové nafukování airbagu, které zmírňuje účinky poranění cestujícího a zajistí větší absorpci energie při jeho pohybu.

- **Dětské autosedačky**

Dětské autosedačky jsou jistou kompenzací běžného sedadla ve výbavě vozidla pro postavu dítěte, které má menší hmotnost a výšku. Při nárazu nemusejí být běžné bezpečnostní prvky vozidla pro děti dostačující. Často se stává, že se ani neaktivují. Dětská sedačka slouží především k vhodnějšímu nastavení trupu dítěte vůči bezpečnostním pásům a airbagu. Současné dětské autosedačky se mohou do automobilu uchytit pomocí bezpečnostního pásu, nebo některé pomocí systému iSofix. Dětská autosedačka je nezbytná pro děti s výškou do 150 cm a hmotností do 36 kg.

- **Systém prevence poranění krku**

Krk nebo spíše krční část páteře člověka je jednou z nejohroženějších částí těla při lehkých dopravních nehodách. Zadní nárazy představují jednu z nejpočetnějších skupin DN na komunikacích po celém světě. Tyto „lehké“ nárazy způsobené nepozorností, únavou nebo nezkušeností však mohou vést k trvalým následkům na zdraví a hlavně na kvalitě života. Proto je vhodné vybavovat vozidla sedadly se systémem pro prevenci poranění krku (speciální prořezy a záhyby v uretanové části opěradla), systémy ochrany proti hyperflexi krční páteře nebo „whiplash“ ochranou (proti poranění páteře v souvislosti s prudkým pohybem).

- **Systém ochrany cestujících**

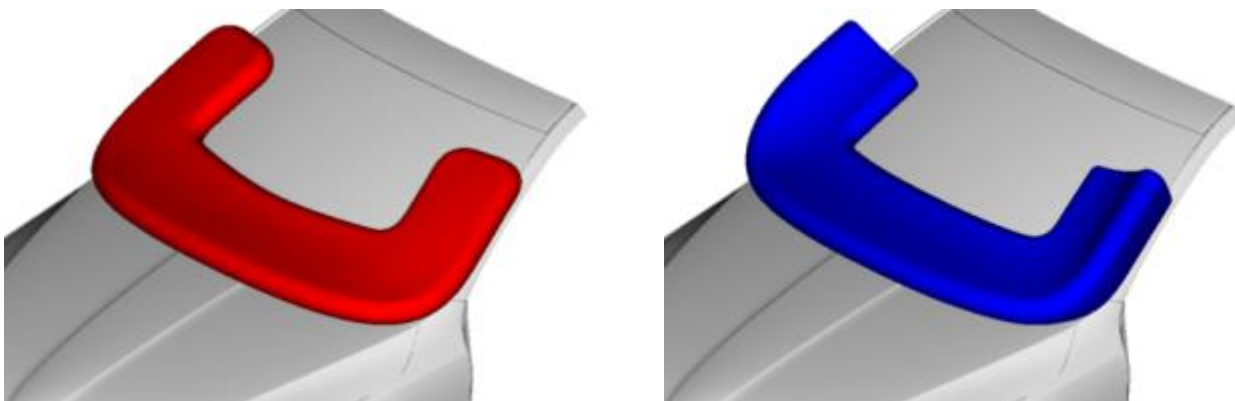
Jedná se především o ochranu proti podklouznutí cestujícího pod břišní částí popruhu bezpečnostního pásu. Tato část má být správně umístěna na pánevní kosti; pokud není, může dojít k vážným poraněním křehkých částí břicha. Proto se sedadla navrhují se speciální úpravou sedáku, který bývá nakloněn proti směru jízdy s krajním vyvýšeným prahem (vytváří se tím odpor proti proklouznutí/podklouznutí).

3.2.2. SYSTÉMY ZAMĚŘENÉ NA CHODCE

Chodec představuje nejzranitelnějšího účastníka silničního provozu. Zpravidla není vybaven ochrannými prvky (kromě reflexních/zvýrazňujících).

- **Airbag chránící chodce**

Jedná se o pasivní bezpečnostní prvek ve výbavě vozidla, který umožňuje vytvoření deformační zóny v prostoru kapoty vozidla (viz obr. 22.).

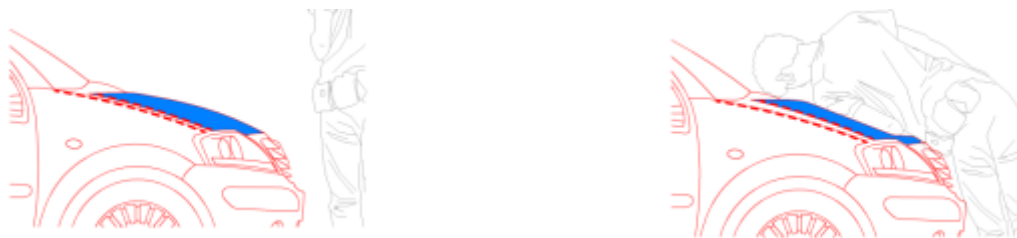


obr. 22. Ochrana chodce – airbag

Tento prvek se aktivuje v okamžiku kontaktu čela vozidla s chodcem, nebo i pár milisekund před kontaktem. Aktivace je nastavena na základě analýzy průběhu kontaktu a dle čidel umístěných na přední části vozu. Airbag se rozvine na rozhraní předního skla a kapoty a v prostoru *A – sloupku*. Vytváří deformační zónu na tuhých částech kapoty. Je přednostně určen jako ochrana hlavy a krční páteře chodce (podrobněji viz metodiku [36.]).

- **Aktivní kapota**

Aktivní kapota je dalším prvkem pasivní bezpečnosti ve výbavě vozidla (viz obr. 23.). Její výhoda spočívá především v aktivním nastavení kolizní polohy kapoty v počátečním okamžiku nehody. Při kontaktu vozidla s chodcem dojde k nadzvednutí kapoty a tím k vytvoření prostoru mezi plochou nalehnutí a tuhými částmi motoru. Samotná konstrukce kapoty potom lépe pohlcuje energii nárazu.



obr. 23. Ochrana chodce – aktivní kapota

3.3. KOMBINACE AKTIVNÍ A PASIVNÍ BEZPEČNOSTI VOZIDLA

V běžné výbavě vozidla se nacházejí jak prvky pasivní, tak aktivní bezpečnosti. Některé jsou stanoveny zákonem (bezpečnostní pásy, elektronické stabilizační systémy aj.). Kombinací těchto prvků dochází k pokrytí všech fází průběhu DN a tím ke snížení možnosti vzniku nebo případných následků.

3.4. AUTONOMNÍ SYSTÉMY VOZIDLA

Autonomní jízda vyžaduje zajištění čtyř základních funkcí: navigace, situační analýzy, plánování pohybu a řízení trajektorie pohybu. Funkce autonomní jízdy se tedy neobejde bez schopnosti vozidla rozpoznávat a analyzovat své okolí pomocí různých druhů senzorů a vyspělé elektroniky a bez obousměrné komunikace s dopravní infrastrukturou a ostatními účastníky silničního provozu. „Vnímání“ okolí vozidla zajišťuje soubor ultrazvukových, radarových, laserových a kamerových senzorů, které umožňují detekci a identifikaci objektů, jejich polohy, rychlosti a směru pohybu a celou řadu dalších funkcí. Tyto informace jsou porovnávány s velmi podrobnými mapovými podklady, jejichž detailnost, preciznost a aktuálnost musí daleko přesahovat aktuální mapové soubory navigačních systémů. Komunikace s okolím je dalším zdrojem nezbytných informací, které usnadňují situační analýzu.

Již z tohoto stručného výčtu základních předpokladů pro realizaci autonomní jízdy je zřejmá nesmírná komplexnost systému, která klade nejvyšší nároky na zajištění jeho maximální spolehlivosti a odolnosti vůči chybám a poruchám. Výrobci automobilů proto přicházejí nejprve s jednotlivými stavebními kameny v podobě nejrůznějších asistenčních funkcí od brzdových a parkovacích asistentů přes adaptivní tempomaty až po rozpoznávání dopravních značek nebo využívání navigačních dat řídicími jednotkami motoru a převodovky, jejichž postupným propojováním dělají malé krůčky k finálnímu cíli – automobilu se schopností autonomní jízdy.

4. BEZPEČNOST INFRASTRUKTURY

Infrastruktura představuje pasivní složku mechanismu DN asi s nejmenším podílem na jejím průběhu. Z hlediska příčiny je to většinou reakce řidiče na dopravní situaci (infrastrukturu), která definuje průběh a následky DN.

Ze statistiky PČR vyplývá, že nejvíce DN se děje na místních komunikacích a na asfaltovém povrchu. Vzhledem k tomu, že se jedná o nejvíce zatížené komunikace a nejčastější povrchovou úpravu komunikace právě tohoto typu, tato informace není zcela vypovídající. Co je podstatné, je zjištění, že většina DN se odehrává tam, kde nebyly evidovány žádné závady na povrchu vozovky.

V případě DN s chodcem je častou příčinou omezený rozhled na přechodu. Pokud dochází ke sražení chodce mimo přechod, je to často kvůli nezodpovědnosti chodce (to spadá do faktoru lidského činitele).

Do infrastruktury patří také podmínky prostředí: denní světlo, tma, déšť, sníh, mokrá či zablácená vozovka. Většina nehod se odehrává na suchém povrchu bez znečištění. Velký vliv mají mokré a zasněžené neposypané vozovky. Z povětrnostních podmínek hraje roli déšť a sněžení.

Další příčiny či katalyzátory nehod jsou specifické předmětným lokalitám. Je na specialistovi, který analyzuje infrastrukturu, aby odhalil bezpečnostní riziko, které mělo vliv na nehodu. Velmi vhodné je využívat při analýze postupy nastavené v bezpečnostní inspekci a speciální bezpečnostní inspekci, které spadají pod nástroje pro zvyšování bezpečnosti na pozemních komunikacích (podrobnosti o všech nástrojích viz na <http://www.audit-bezpecnosti.cz/>).

Například publikaci *Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu* [22.] lze využít nejen jako učební manuál, ale také jako zdroj informací o úrovni a podobnosti jednotlivých rizik. Metodiku lze využít i v obci a v kombinaci se zkušenostmi auditora je větší pravděpodobnost odhalení bezpečnostního rizika.

Pro správnou analýzu infrastruktury je nezbytné vyhotovit nákres a podrobnou fotodokumentaci.

5. VYŠETŘENÍ DOPRAVNÍ NEHODY

Na místě DN se provádí fotodokumentace, pořizuje se náčrty prostředí, zakreslení konečných poloh účastníků, získávají se parametry komunikace (např. podélné a příčné sklony), provádí se psychologická analýza účastníků DN a ohledání vozidel.

Základní členění činnosti:

Činnost vedoucího výjezdové skupiny zahrnuje:

- sjednání povolení k vyšetření DN u PČR či IZS,
- organizace práce a konzultaci s jednotlivými členy výjezdového týmu,
- kontrolu nad sběrem dat (úplnost a kvalita).

Činnost specialisty na vozidla, ve vztahu k dopravní technice – vozidlům, je možné rozdělit na:

- fotodokumentaci vozidla (exteriéru, interiéru),
- zhodnocení zúčastněných vozidel z hlediska konstrukce, poškození a technického stavu.

Činnost psychologa, ve vztahu k řidiči, chodci, je možné dělit na:

- sjednání povolení k ohledání vozidla,
- rozhovor a analýzu s účastníky DN.

Činnost dopravní inženýra ve vztahu k dopravní infrastruktuře spočívá v:

- zakreslení stávajícího stavu, popisu a analýze stávající infrastruktury,
- identifikaci bezpečnostních rizik lokality,
- posouzení srozumitelnosti dopravního značení z pohledu řidiče.

5.1. DATA VÝZKUMU

Data a informace z šetření DN na místě jsou získávána v souladu se schválenou metodikou tzv. Codebooku¹⁴ projektu GIDAS,¹⁵ v níž jsou definovány jednotlivé kódy, které je nutné z hlediska vozidel sledovat a zaznamenat jejich aktuální stav, polohu a případné poškození. Metodika Codebooku GIDAS je pravidelně aktualizována v rámci úprav stávajících položek nebo vložení položek nových. Tyto změny jsou samozřejmě reflektovány výzkumným týmem a následně zapracovány do databázového systému UNIDATO.¹⁶

5.2. CHRONOLOGIE POSTUPU ČINNOSTÍ NA MÍSTĚ DOPRAVNÍ NEHODY

Chronologie postupu činností je utvářena každým výzkumným pracovníkem dle jeho zažitých pracovních návyků. Souhrnně je nutné vykonat všechny níže uvedené činnosti pro získání maximálního množství dat a provedení rekonstrukce nehodového děje prostřednictvím softwaru.

5.2.1. OHLEDÁNÍ VOZIDLA

Ohledání vozidla je věcí specialisty na techniku, která byla účastníkem DN. Zásadní je získat nejprve ta data, která nemají trvalý charakter (únik provozních hmot, tlak v pneumatikách, stav airbagu). Nezbytná je také fotodokumentace s měrnou jednotkou v záběru, aby bylo možné odvodit přesnou polohu a hloubku poškození. Jednotlivé úkony jsou podrobně rozepsány níže.

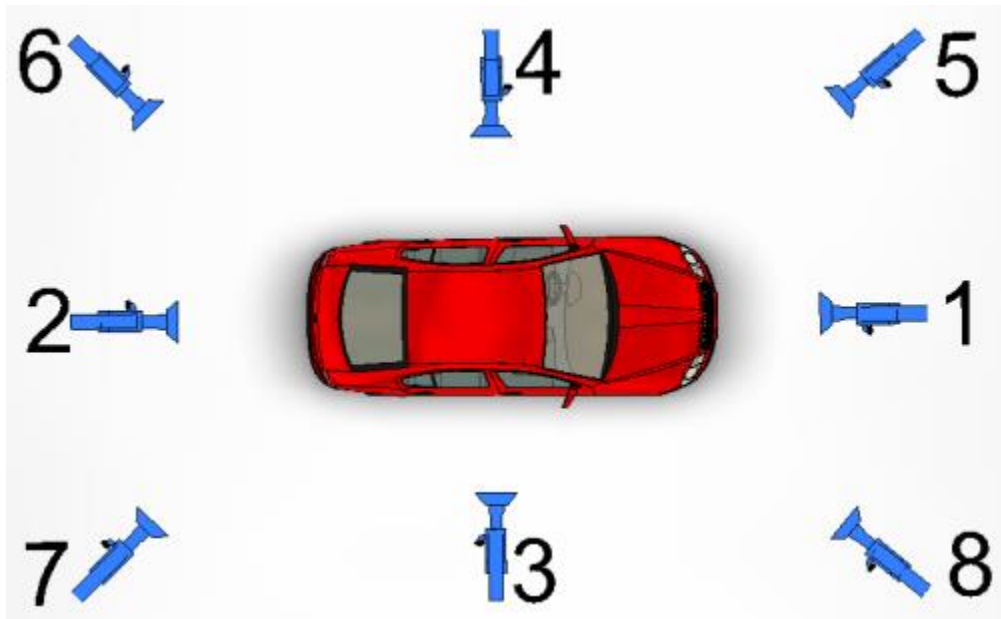
Fotodokumentace exteriéru vozidla

Při vytváření fotodokumentace se vždy vychází od pohledů celkových až k jednotlivým detailům. Celkovými pohledy se rozumí vyhotovení fotografií, kdy je vozidlo zdokumentováno z jednotlivých stran po celém svém obvodu, včetně střechy (viz obr. 24.).

¹⁴ Codebook = seznam kódů a jejich popis, užívaný pro analýzu DN.

¹⁵ GIDAS = Germany in deep accident study

¹⁶ UNIDATO = software pro zpracování velkého množství dat. Zároveň slouží jako trvale přístupná databáze pro zúčastněné strany (uživatele).



obr. 24. Způsob fotodokumentace

Polodetailní a detailní pohledy jsou určeny k zaznamenání specifického poškození vozidel. Využívají se také k zaznamenávání identifikačních znaků vozidla a odlišností jednotlivých modelových řad, případně prvků speciální výbavy vozidla (včetně těch bezpečnostních).

Pro vyšší vypovídací hodnotu fotografií, zejména v souvislosti s přímým zaznamenáním rozměru nárazníku, přední kapoty a zaměření poškození, jsou využity:

- nivelační skládací metr s rastroem,
- svinovací metr s rastroem a magnetickou vrstvou pro přichycení na karoserii vozidla,
- úhelník s rastroem a magnetickou vrstvou pro přichycení na karoserii vozidla,
- magnetické šipky pro označení poškození.



obr. 25. Fotodokumentace: celek

Další detaily viz na obr. 26. obr. 27.



obr. 26. Fotodokumentace: polodetail



obr. 27. Fotodokumentace: detail

Fotodokumentace interiéru vozidla

Fotodokumentace interiéru vozidla spočívá v zaznamenání poškození, poloh a stavu jednotlivých prvků vnitřní výbavy vozidla. Zejména je potřeba provést fotodokumentaci:

- aktuální polohy sedadel, opěradel a opěrek hlavy v době nehody,
- polohy slunečních clon, stavu zpětných zrcátek,
- stavu a polohy ovládacích prvků,
- stavu zádržných systémů, airbagů, dětských autosedaček,
- přítomnosti navigace, rádia a způsobu jeho ovládání, mobilního telefonu,
- zavazadel v interiéru.



obr. 28. Fotodokumentace: interiér

Technický popis vozidla

Po vyhotovení fotodokumentace je přistoupeno k základní identifikaci vozidla, která spočívá v jednoznačném stanovení:

- typu vozidla, výrobce vozidla (tovární značky),
- typu, varianty, verze vozidla dle OTP,
- obchodního označení,
- roku výroby, případně modelového roku,
- identifikačního kódu vozidla (VIN)¹⁷,
- platnosti technické kontroly a měření emisí (měsíc a rok expirace platnosti),
- barvy vozidla dle mezinárodního vzorníku barev RAL,
- aktuálního stavu ujetých kilometrů na tachometru vozidla.

Následně je přistoupeno k bližší identifikaci vozidla zahrnující:

- uložení motoru, typ motoru,

¹⁷ VIN = Vehicle identification number – identifikační číslo vozidla: pouze pro účely stanovení přesné technické specifikace a výbavy vozidla.

- výkon motoru [kW], zdvihový objem motoru [cm³],
- maximální rychlost vozidla [km/h],
- typ použité převodovky,
- přítomnost vozidlových asistentů (zejména ABS, ASR a dalších),
- hmotnost vozidla – provozní, pohotovostní, celkovou,
- počet airbagů ve výbavě vozidla,
- typ použitých brzd.

Po ukončení tohoto úkonu je odborným pracovníkem přistoupeno ke zdokumentování stavu pneumatik vozidla. V rámci této části jsou zaznamenány následující údaje:

- výrobce pneumatik, obchodní označení,
- rozměr pneumatiky, typ pneumatiky – letní provedení dezénu, zimní provedení dezénu,
- výrobní kód „DOT“ – týden a rok výroby pneumatiky,
- země původu,
- hloubka dezénu [mm],
- tlak pneumatiky [bar],
- tlak pneumatik doporučený dle zatížení vozidla, uvedený výrobcem vozidla [bar],
- technický stav pneumatiky,
- možné závady.

Navazující částí je zaznamenání technických rozměrů vozidel. Jejich výčet je následující (dle typu vozidla):

- délka [cm], výška [cm], šířka [cm],
- rozchod jednotlivých náprav [cm],
- rozvor mezi jednotlivými nápravami [cm],
- výška předního nárazníku [cm],
- výška zadního nárazníku [cm],
- šířka předního nárazníku [cm],
- šířka zadního nárazníku [cm].

U vozidel, kde je identifikováno poškození, dochází k přesnému zaměření místa poškození dle tříosého souřadnicového systému (osa x, y, z).

Pro účely databáze UNIDATO jsou speciálně zaznamenávány následující rozměry:

- minimální výška poškození nad povrchem vozovky [cm],
- hloubka maximální deformace [cm],
- boční vzdálenost od podélné osy (y) [cm],
- výšková vzdálenost (z) [cm],
- vzdálenost maximální deformace od přední/zadní části vozidla [cm],
- hloubka deformace na straně řidiče/spolujezdce/spolujezdců na zadních sedadlech [cm],
- u DN, při kterých dojde k podjetí vozidel, se zaznamenává míra podjetí [cm].

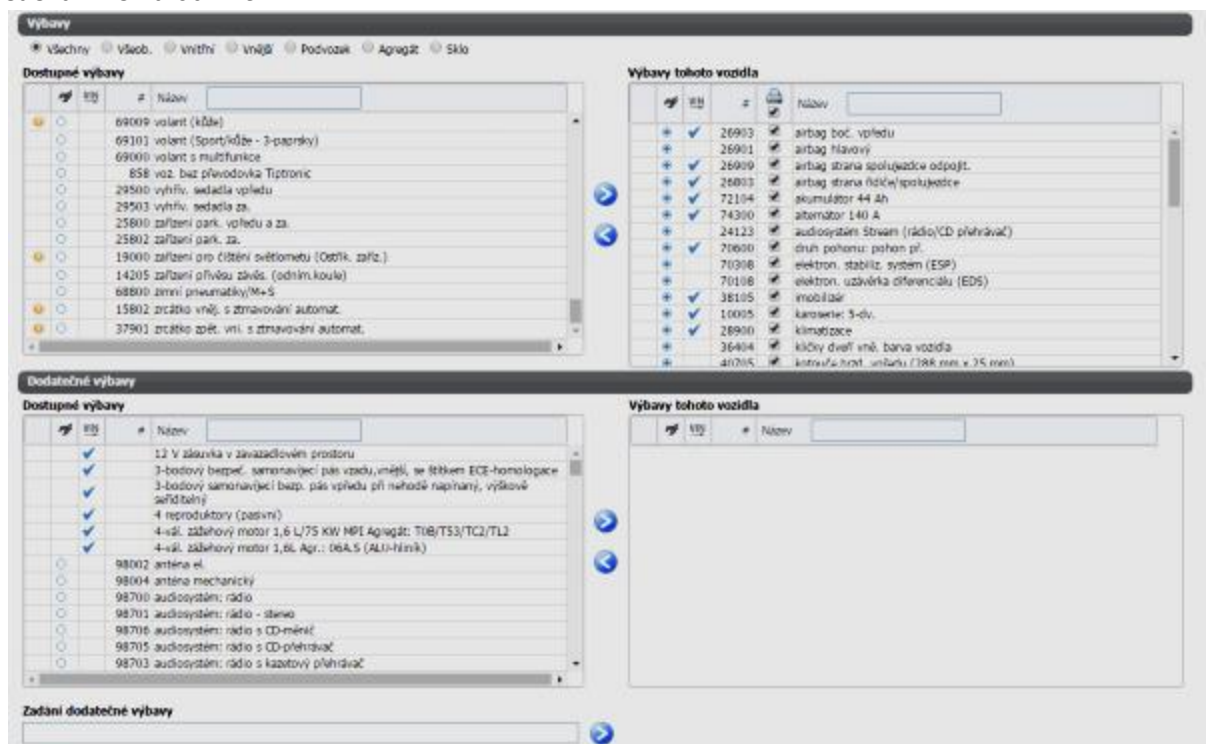
Technický popis bezpečnostních systémů

Ve vozidle je zaznamenán stav jednotlivých bezpečnostních prvků výbavy, a to nejen pomocí fotodokumentace, ale i zápisem do připraveného formuláře. Vždy je potřeba důkladně zaznamenat veškeré bezpečnostní systémy (aktivní i pasivní bezpečnostní prvky), kterými je vozidlo vybaveno, a zejména jejich funkci. To znamená zjistit, jestli bezpečnostní systém během DN měl fungovat a zafungoval, nebo ne. A dále v jakém stavu je po nehodě. Vzor možného formuláře pro záznam stavu bezpečnostních prvků je uveden níže.

tab. 2. Vzor formuláře pro záznam stavu bezpečnostních prvků

<i>Bezpečnostní prvek</i>	<i>Výbava vozidla (ANO/NE)</i>	<i>Funkční nebo aktivováno během nehody (ANO/NE)</i>	<i>Pracoval během nehody správně (ANO/NE)</i>	<i>Poznámka</i>
<i>Antiblokovací systém</i>				
<i>Protiprokluzový systém</i>				
<i>Elektronický stabilizační systém</i>	<i>ANO / NE</i>	<i>ANO / NE</i>	<i>ANO / NE</i>	<i>dle uvážení</i>
<i>Tempomat</i>				
<i>Adaptabilní tempomat</i>				
<i>Aj. (viz kapitolu 3.)</i>				

Vybavenost vozidel bezpečnostními prvky je možné zjistit například pomocí dekodování identifikátoru VIN. Pro rozklíčování VIN je možné využít některý z volně dostupných online dekodérů, ty ale neumožňují kompletní výčet informací. Druhou variantou je využít některý z placených programů, které umožňují přístup do databáze výrobců automobilů, a tím získat kompletní přehled o výbavě vozidla v okamžiku vyrobení. Takto lze získat kompletní výčet aktivních a pasivních systémů ve vozidle. Ukázka výstupu z databáze je uvedena níže na obr. 29.



obr. 29. Ukázka výstupu z databáze

Další možností, jak zjistit vybavenost vozidla bezpečnostními systémy a zejména jejich funkci, je univerzální sériová diagnostika nebo CDR¹⁸ systém. Jednoduchou základní kontrolu funkčnosti některých systémů je možné provést prostřednictvím palubní desky a palubního počítače vozidla.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat zejména bezpečnostním prvkům, které mohou zabránit střetu s chodcem, nebo alespoň snížit následky takového střetu. Jedná se zejména o různé systémy rozpoznání chodců a systémy pro automatické brzdění.

5.2.2. OHLEDÁNÍ DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY

Specialista na dopravní infrastrukturu provede ohledání místa DN a jeho přílehlou část. Pro ohledání je výhodou mít znalosti bezpečnostního auditora pozemních komunikací, které slouží především k identifikaci bezpečnostních rizik infrastruktury.

Specialista se nejprve zaměří na provedení fotodokumentace místa DN. Provede záznam konečných poloh všech účastníků. Zaměří jejich polohu vůči výchozímu bodu, ke kterému vztáhne hrany komunikace, linie dopravního značení, polohu sloupů a veřejného osvětlení. Důraz při ohledání infrastruktury je kladen také na ověření srozumitelnosti dopravního značení.

Ve druhé části ohledání je nezbytné fyzicky ověřit rozhledové poměry. Vhodným způsobem fyzicky projít trasu přiblížení všech účastníků. V nákresu označit místa, kde byl rozhled řidiče nebo chodce pravděpodobně ovlivněn. Nezbytné je identifikovat místa počátku vzájemné reakce účastníků (počátek a průběh brzděné dráhy).

¹⁸ Crash Data Recovery – systém ukládání dat dynamiky jízdy vozidla v úseku těsně před DN, v jejím průběhu a bezprostředně po ní.

Specialista zjišťuje podélný spád a příčný sklon. Je také vhodné zjistit protismykové vlastnosti povrchu vozovky a stav vybavení pozemní komunikace. Obzvláště u záchytného zařízení (svodidla) je vhodné zjistit jeho technický stav a schopnost zadržení.

5.2.3. PSYCHOLOGICKÁ ANALÝZA ČLOVĚKA

Specialista psycholog se na místě DN zaměřuje na lidské činitele DN. Jeho hlavním úkolem je oslovení řidiče, případně chodce nebo i spolujezdce a požádat je o spolupráci. V případě těžkých zranění, šoku či neochoty je rozhovor často odmítnut. Realitou je, že nehody typu osobní vozidlo vs. chodec se často neobejdou bez těžkého zranění, které vyžaduje okamžitý převoz do zdravotnického zařízení.

Primárním cílem psychologa je získat informace o psychickém a fyzickém stavu řidiče a chodce. Je nezbytné získat informace o psychické pohodě řidiče, účelu jeho cesty, znalosti trasy, ale i znalosti vybavení vozidla. Právě s ohledem na využívání bezpečnostních prvků ve výbavě vozidla je nezbytné navést rozhovor na řidičské schopnosti tázaného, dobu jeho licence, četnost jízd, počet najetých kilometrů. Otázky mají být zaměřené na používání bezpečnostních pásů, elektronických stabilizačních systémů či stav pneumatik nebo světlometů.

Dalším cílem je ověřit motorické a kognitivní schopnosti řidiče. Psycholog se zaměřuje na analýzu rozpoznávacích schopností, zda má řidič korekci oční vady (brýle, kontaktní čočky aj.). Věk a zdravotní stav řidiče má také vliv.

Rozhovor s chodcem většinou probíhá až ve zdravotnickém zařízení s časovým odstupem od DN, který stanoví jeho lékař. Při rozhovoru je nutné brát ohled na trauma, které kontakt s vozidlem na chodci zanechal. Při postanalýze může dojít ke zkreslení skutečných informací vlivem vlastního dotváření myšlenek a přebírání informací od jiných osob (tzv. klamné vzpomínky, efekt popsany Elizabeth Loftus¹⁹).

5.2.4. UKONČENÍ VÝZKUMU NA MÍSTĚ DN

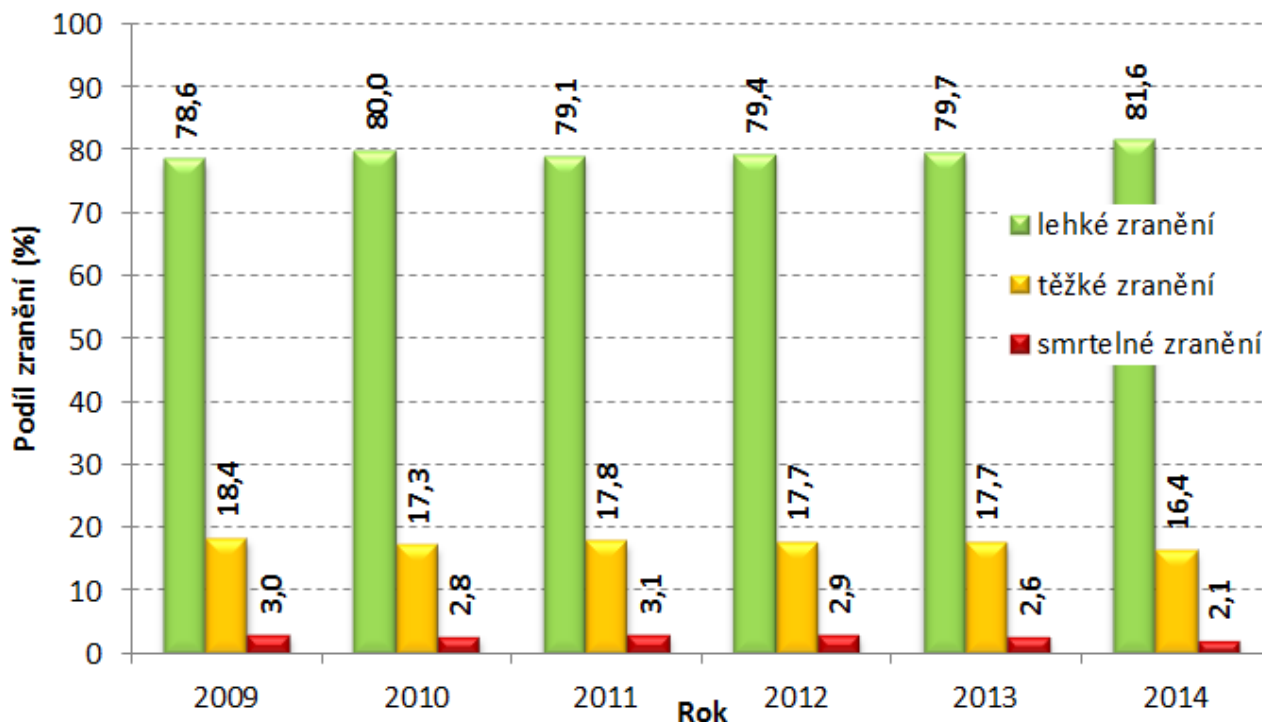
Ukončení ohledání lokality a všech činitelů je prováděno společnou diskuzí v místě DN. Jednotliví členové se sejdou a diskutují nad získanými informacemi. Konfrontují své názory a dotvářejí své závěry. Případně dodatečně získají scházející data. Vedoucí výjezdového týmu rozhodne o ukončení šetření. Záznam do zprávy z místa DN se provádí přepisem poznatků do jednotné struktury.

¹⁹ Elizabeth Loftus popsala efekt klamných vzpomínek, kdy si lidé pamatují buď věci, které se nestaly, nebo si je pamatují jinak, než se opravdu staly. Falešné a reálné vzpomínky se nijak neliší v prožitku ani emotivnosti (Loftus 2003, Loftus 1992).

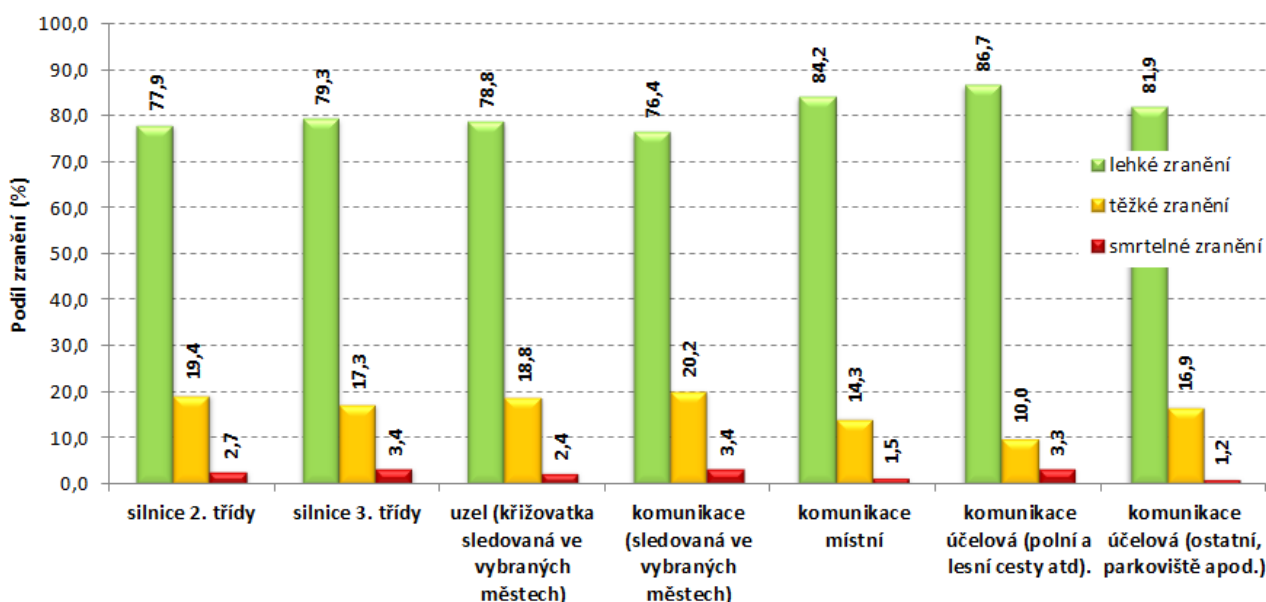
5.3. STATISTIKA NEHODOVOSTI

5.3.1. STATISTIKA PČR

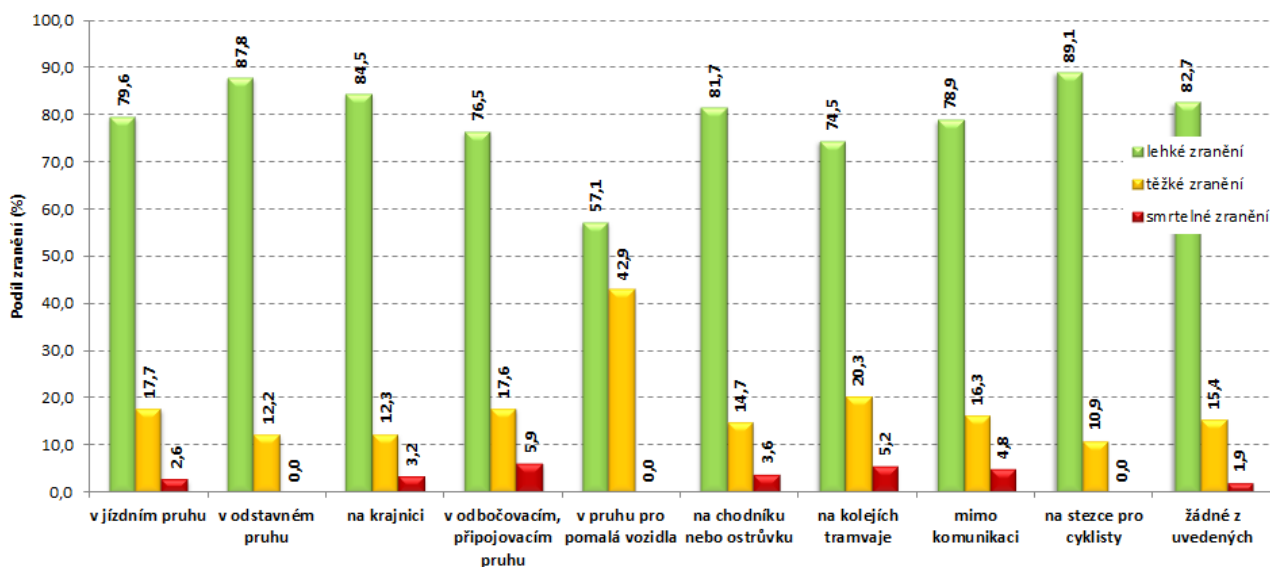
Ze statistik PČR vyplývá, že největší podíl mají nehody s lehkým zraněním (viz obr. 30.) a že nejvíce nehod se stává v jízdním pruhu, a to zejména na místních komunikacích (viz obr. 32.). Lze konstatovat, že nejvíce DN s chodci se stává v intravilánu. Jedná se o nehody, kdy střetová rychlost byla do 50 km/h.



obr. 30. Procentuální rozložení závažnosti zranění v letech 2009–2014



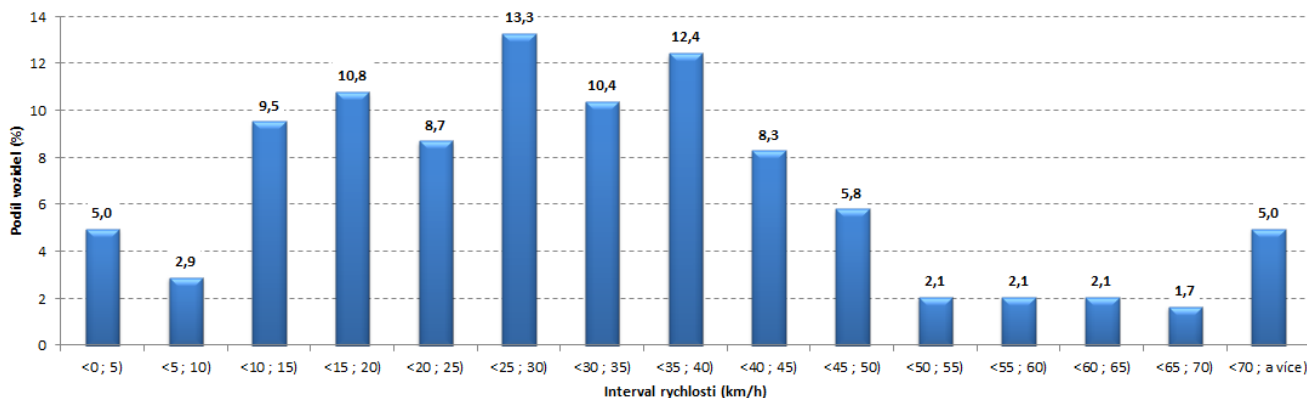
obr. 31. Rozložení zranění v závislosti na typu komunikace



obr. 32. Situování dopravní nehody s chodci v letech 2009–2014

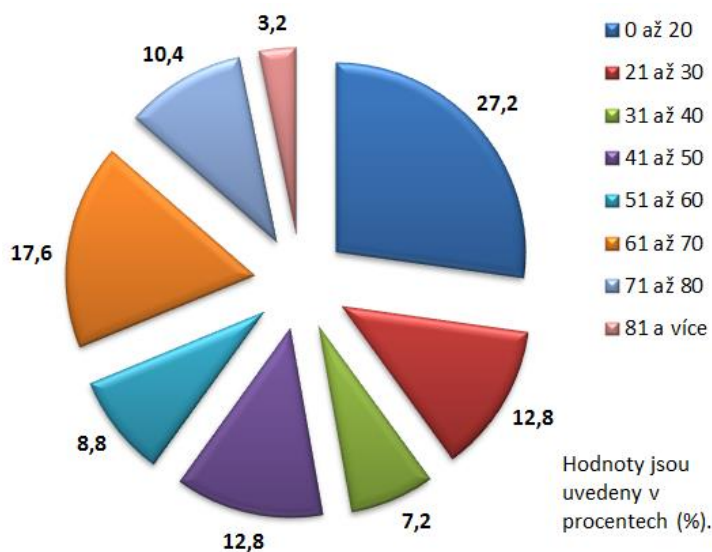
5.3.2. STATISTIKA DAT Z HASDN

Z podrobné statistiky (HADN + CZIDAS + IGLAD) lze vyčíst, zejména z obr. 33., že nejčastější rychlost vozidla při střetu s chodcem je v intervalu 26 až 30 km/h, následně 36 až 40 km/h. Celkově se většina střetů odehraje v rychlosti do 50 km/h, a to téměř v 87 % z 251 šetřených případů. Tento údaj také koresponduje s daty o dopravních nehodách od PČR.

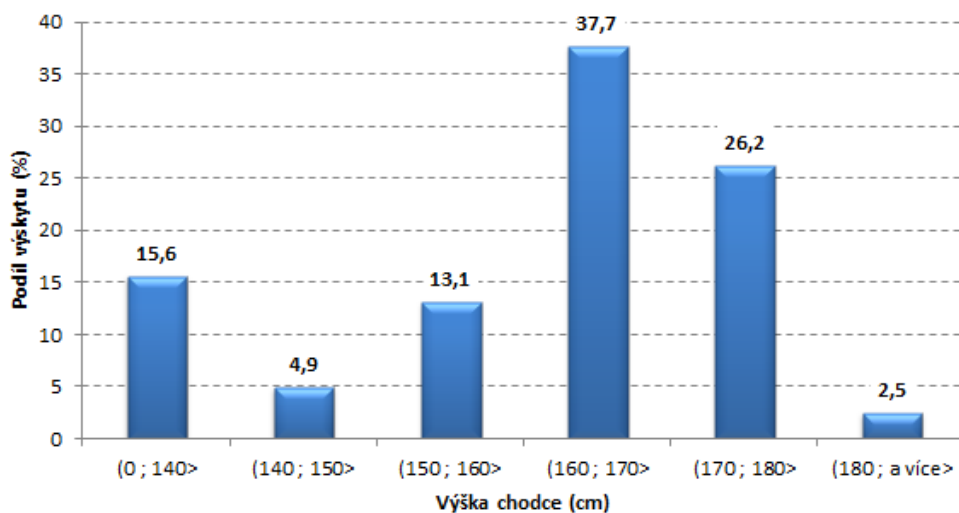


obr. 33. Rychlost vozidla při střetu s chodcem

Z hlediska věku a výšky byla většina chodců v intervalu 26 až 60 let (viz obr. 34.) a výšky 161 až 170 cm (viz obr. 35.). Jednalo se zejména o dospělé osoby. Nelze však zanedbat dětské chodce, kteří patří mezi nejzranitelnější účastníky silničního provozu.

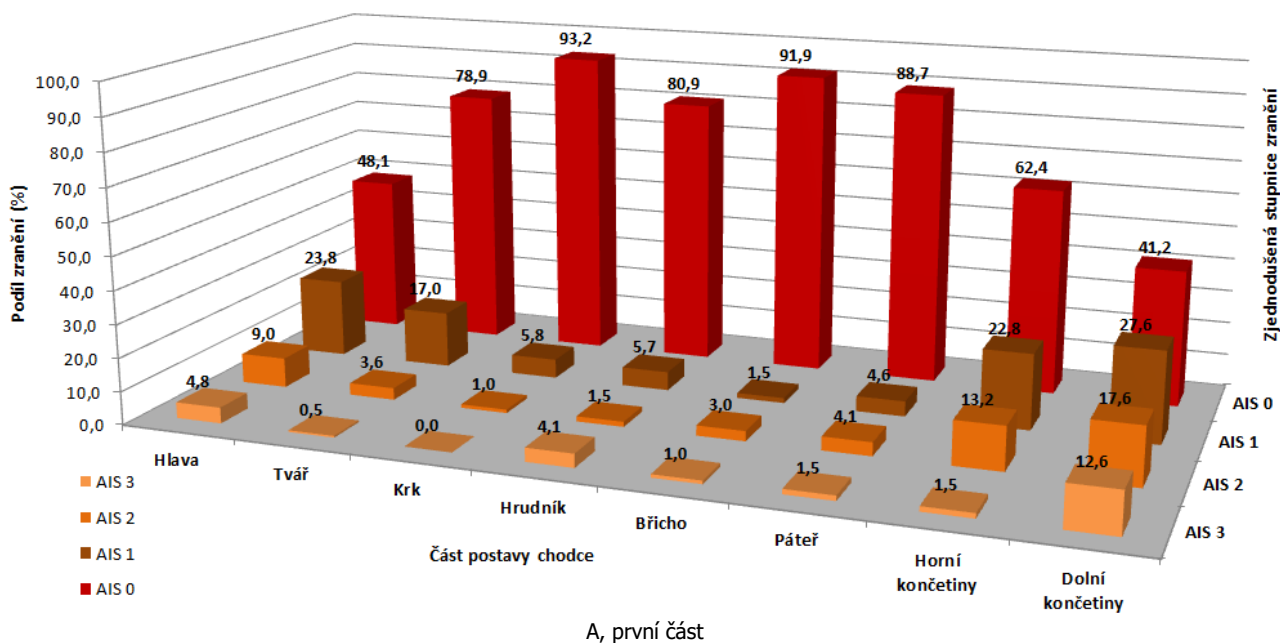


obr. 34. Zastoupení zraněných chodců z hlediska věku

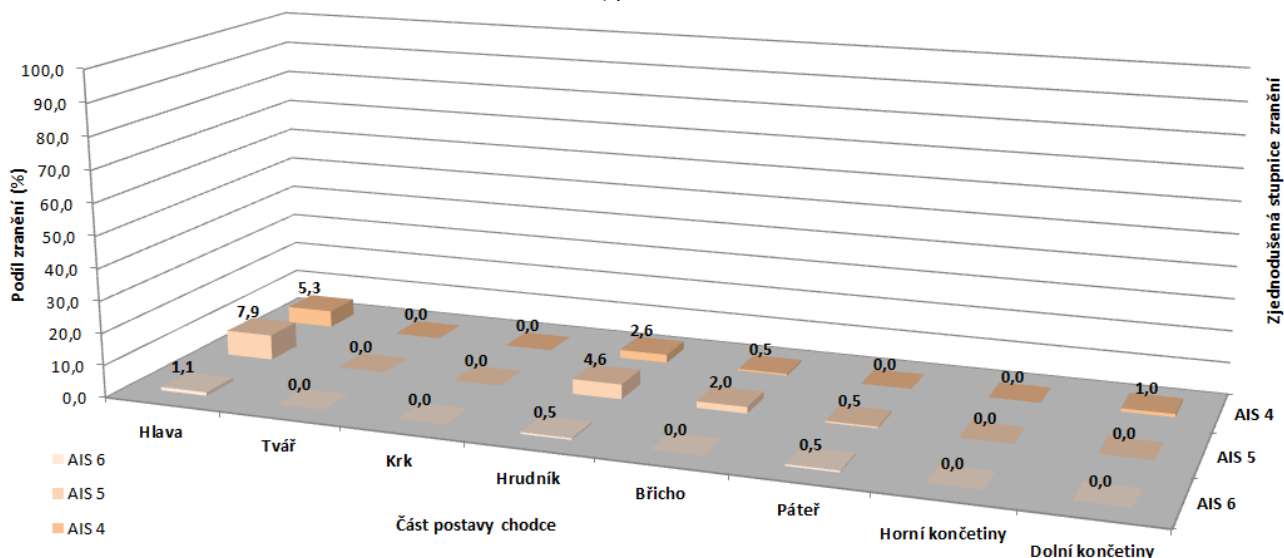


obr. 35. Zastoupení zraněných chodců z hlediska tělesné výšky

Po zhodnocení zranění jednotlivých částí těla při střetech vozidla s chodcem můžeme konstatovat, že nejčastěji dochází k poranění hlavy, dolních končetin a hrudníku (viz obr. 36.).



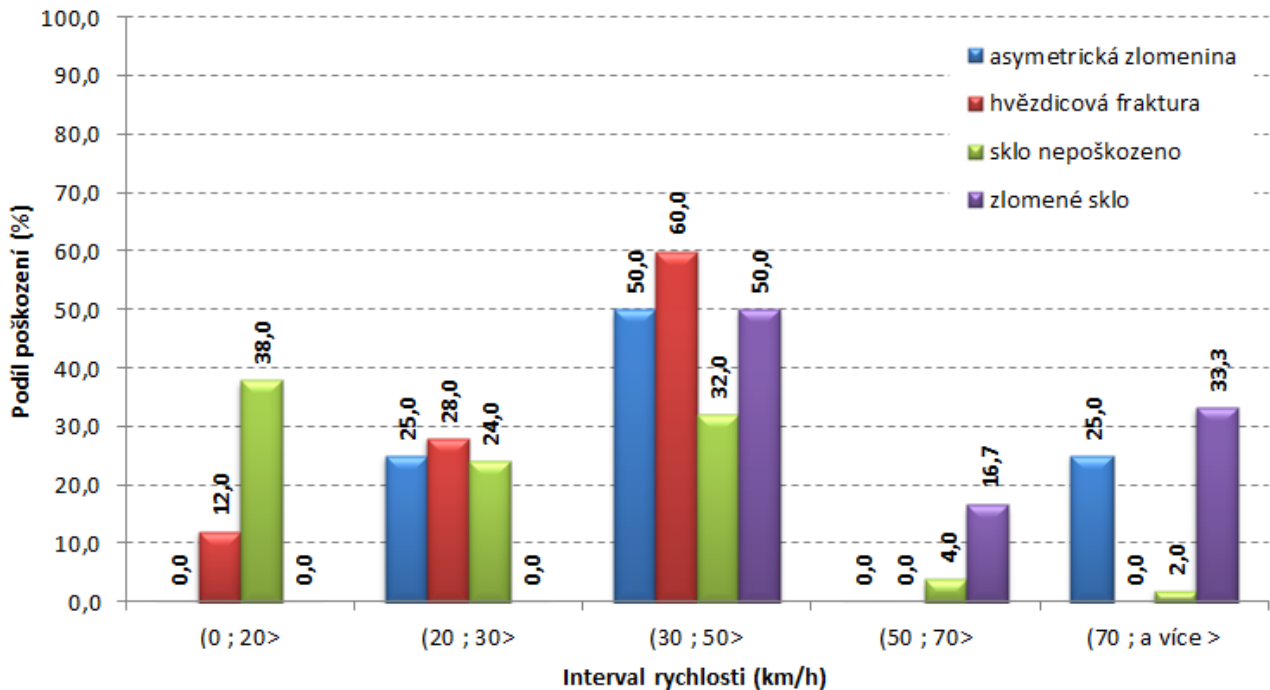
A, první část



B, druhá část

obr. 36. Zranění jednotlivých částí těla dle AIS

Se zvyšující se rychlostí vozidla při střetu dochází k častějším zraněním horní části těla chodce, jako je hlava, hrudník a břicho. Poranění hlavy vznikají velmi často nárazem do přední kapoty, čelního skla nebo A-sloupků vozidla a patří k nejméně závažným. Následky zranění v případě nárazu hlavy do přední kapoty vozidla je možné zmírnit zvětšením deformační zóny mezi kapotou a tvrdými prvky horní části motoru.



obr. 37. Závislost poškození čelního skla na střetové rychlosti vozidla

Z hlediska sekundárního kontaktu vznikají daleko častěji zranění s těžkým nebo fatálním následkem na zdraví chodce. Jedná se především o náraz hlavy a trupu těla na vozovku nebo tuhé objekty v okolí komunikace (betonové sloupky, stožáry, stromy aj.). Velmi často dochází k zlomeninám končetin, otřesu mozku či kritickým poraněním páteře s trvalými následky na nervovém systému či pohybovém aparátu chodce. Při vyšších rychlostech je velmi pravděpodobné vnitřní zranění.

6. SIMULACE DOPRAVNÍ NEHODY

Při analýze DN s chodci je velmi důležité množství a kvalita nasbíraných dat. Pro podrobnější analýzu nebo pro získání dat, která v reálném prostředí není možné nasbírat, jsou vhodné softwarové nástroje. Při jejich výběru je však nutné dbát na požadavky výstupu simulace DN. Při řešení DN v praxi jsou běžně využívány programy PC Crash,²⁰ Virtual Crash²¹ a PAM CRASH,²² které mají nespočet proměnných. Slouží především k odhalení trajektorie pohybu objektů ve zvoleném prostředí a k prověření konečných poloh vozidel po střetu.

Následující kapitola popisuje základní funkce programu Virtual Crash, jakožto představitele softwaru pro podporu znalecké činnosti v oboru analýz silničních nehod. Součástí kapitoly je i stručný popis výpočtových modelů, se kterými program Virtual Crash pracuje. Na obdobném principu jsou založeny i ostatní softwary.

6.1. MODEL VÝPOČTU – VIRTUAL CRASH

Při výpočtu střetu dvou či více vozidel nebo vozidla s vícetělesovým systémem (v anglické literatuře se uvádí termín MBS, Multi-Body System) používá program Virtual Crash zcela totožný model jako ostatní programy této kategorie, tj. dopředný výpočet na základě impulsů, hybností, točivosti a koeficientu restituce. Při řešení střetu je jediným rozdílem oproti jiným výpočetním systémům této kategorie počáteční poloha simulace, kdy program Virtual Crash umožňuje postavit vozidla, případně MBS (chodce) libovolně před střet a pomocí parametru „hloubka překrytí“ nastavit, jak dlouho mají do sebe objekty „zajíždět“ či „pronikat“, než je identifikován a počítán ráz (= konec kompresní fáze).

Implicitní hodnota je nastavena na 0,03 sekundy, což odpovídá průměrné době zjištěné z prováděných crash-testů. Tuto hodnotu však lze měnit. Dále pak není počítán ráz v časových krocích, což by spotřebovalo velké množství výpočetního času. Na výpočet je aplikován integrál křivky závislosti rázové síly na čase. Koeficient restituce lze vyjádřit vztahem:

(01) Koeficient restituce

$$k = \frac{\left(\vec{v}'_{B2} - \vec{v}'_{B1} \right) \cdot \left(\vec{n} \right)}{\left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right) \cdot \left(\vec{n} \right)}$$

kde \vec{v}_{Bi} je rychlost vozidla před střetem (m/s),
 \vec{v}'_{B2} je rychlost vozidla po střetu (m/s),
 \vec{n} je vektor normály roviny nárazu (-).

Pro kontrolu vypočteného, resp. pro kontrolu, zda jsme dobře zadali vstupní parametry, lze použít mj. i EES,²³ kterou program vypočte, a porovnat ji s námi odhadnutou. Tuto můžeme vypočítat při znalosti rozdílu kinetických energií před střetem a po střetu (rozdíl je přeměněn na deformační práci) a deformací jednotlivých účastníků střetu:

(02) Poměr EES

$$\frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot S_{def1}}{m_1 \cdot S_{def2}}}$$

(03) EES₂

$$EES_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot E_D}{m_2 \cdot \left(\frac{S_{def1}}{S_{def2}} + 1 \right)}}$$

²⁰ PC Crash = program pro analýzu dopravních nehod, <http://www.pccrash.cz/>

²¹ Virtual Crash = software pro rekonstrukci dopravních nehod, <http://www.vcrashusa.com/>

²² PAM CRASH = software zaměřený na podrobnější analýzu deformací vozidla, <https://www.esi-group.com/pam-crash>

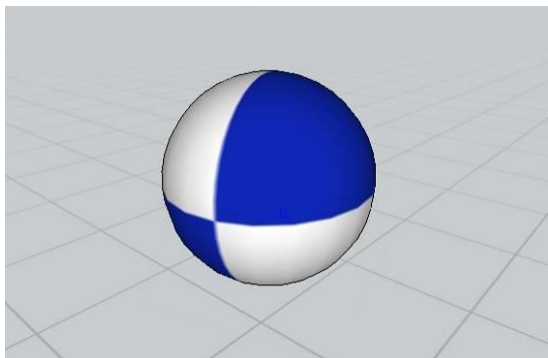
²³ EES = Energy Equivalent Speed = ekvivalentní energetická rychlost reprezentuje energetickou ztrátu vozidla při nárazu, resp. deformační energie.

6.1.1. STŘET S CHODCEM

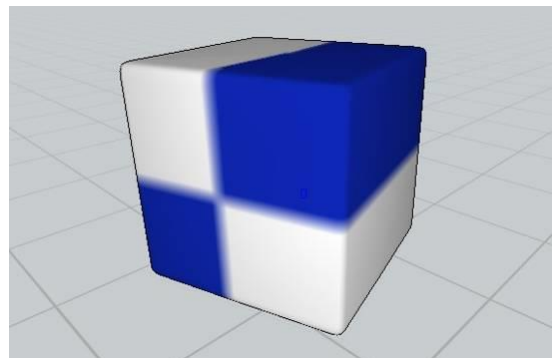
Stejně jako v jiných programech je při střetu s chodcem použit tzv. vícetělesový systém (MBS). Postava člověka (chodce, řidiče) je rozdělena na 14 částí (hlava, krk, trup, bedra, stehna, lýtka, chodidla, nadloktí a předloktí). Při výpočtu jsou uvažovány kontakty vozidla se všemi těmito částmi, kontakty částí mezi sebou a také vazby mezi nimi. Každá část má pak své rozměry a hmotnost, přepočítané z výšky a hmotnosti, zadané pro celého člověka. Pro zadání výchozí pozice člověka do simulace je tedy možné modifikovat jeho výšku a hmotnost.

Definice vícetělesového systému – klouby

Na rozdíl od jiných programů má Virtual Crash u vazeb mezi jednotlivými částmi nadefinován i typ vazby (viz dále) a omezení, která daná vazba má, tj. např. loketní kloub nelze natáčet v celém rozsahu 360 °, ale pouze cca 165 ° apod. Pro účely výpočtu jsou jednotlivé části tvořeny elipsoidy, jejichž tvar určuje tzv. stupeň elipsoidu. Rozdíl můžeme vidět na následujícím obr. 38. a obr. 39.



obr. 38. Elipsoid stupně $n = 2$



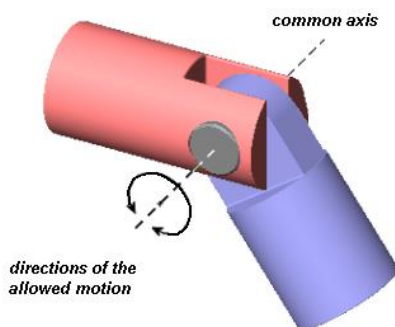
obr. 39. Elipsoid stupně $n = 30$

Při výpočtu jsou na jednotlivých částech (elipsoidech) uvažovány následující vlastnosti:

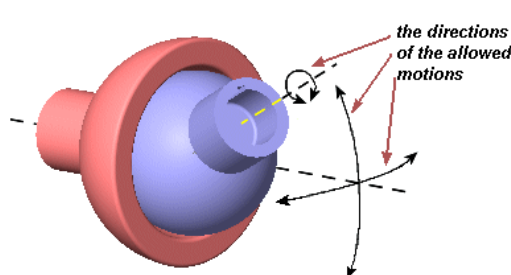
- geometrie: každý elipsoid má svůj stupeň a poloosy jsou definovány tak, aby tvar co nejlépe odpovídal realitě;
- hmotnost a moment setrvačnosti: momenty setrvačnosti okolo všech tří os elipsoidu, momentálně se tyto údaje přepočítávají z poměrného rozdělení rozměrů a hmotností ze zadané celkové výšky a hmotnosti člověka;
- koeficient tření: uživatelem jsou zadávány dva koeficienty tření, jeden pro kontakt elipsoidu s vozidlem, druhý pro kontakt elipsoidu s vozovkou či jiným elipsoidem;
- koeficient restituce: obdobně jako u tření jsou uvažovány a uživatelem zadávány dva, jeden pro kontakt s vozidlem, jeden pro kontakt s vozovkou či jiným elipsoidem.

Pro definici vazeb mezi prvky vícetělesových systémů existují celkem tři různé druhy spojů.

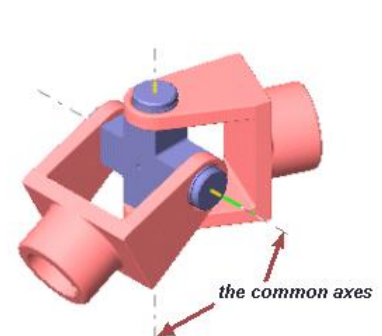
- Prvním je běžný čep, který umožňuje pouze rotaci jednoho prvku vůči druhému kolem jedné osy (viz obr. 40.).
- Druhým je kulový kloub, který umožňuje rotaci kolem tří os (viz obr. 41.).
- Třetí je vazba na principu křížového kloubu, která umožňuje vzájemnou rotaci pouze kolem dvou os (viz obr. 42.).



obr. 40. Spojení na principu čepu



obr. 41. Spojení na principu kulového kloubu



obr. 42. Spojení na principu křížového kloubu

Mezi prvky, kde jsou takto nadefinovány vazby, pak již nejsou počítány kontakty. Pro pohyb MBS jsou definovány dva souřadné systémy.

- Jeden pevný, ve kterém se pohybuje MBS jako celek.
- Druhý pro definici vzájemné polohy jednotlivých prvků MBS.

Výpočet pohybu

Pohyb MBS je uvažován v časových krocích, přičemž v každém z nich jsou počítány všechny síly, které ovlivňují jednotlivé prvky MBS. Po rozpoznání působících sil jsou pro všechny MBS (všechny chodce, cyklisty aj.) nezávisle provedeny následující operace:

- výpočet kontaktů (pozic a normálových vektorů),
- výpočet Jacobiho determinantu,
- stanovení podmínek a výpočet sil,
- aplikace sil na MBS,
- řešení pohybových rovnic.

Jacobiho determinant (též jacobián) je determinant čtvercové matice $n \times n$, sloužící ke zjištění chování soustavy n funkcí o n proměnných kolem daného bodu. Vlastní matice pak obsahuje parciální derivace jednotlivých funkcí podle jednotlivých proměnných. Každá z podmínek má v matici 3 řádky, první obsahuje orientaci roviny rázu a zbývající dva vyjadřují směry tangenciálních sil.

Pohybové rovnice vycházejí z rovnováhy sil, zákona zachování točivosti a uvažují působení vnějších sil a momentů. Pro řešení těchto diferenciálních rovnic je pak použita numerická Runge-Kuttova²⁴ metoda čtvrtého řádu.

Řešení střetu MBS

Řešení je třeba rozdělit na dva typy kontaktů. Prvním je kontakt elipsoidu s rovinou, tj. s karoserií vozidla nebo s plochou vozovky (či polygonu apod.), a druhým je pak kontakt elipsoidu s elipsoidem. Obecně lze výpočet kontaktu vyjádřit těmito vztahy:

(04) Výpočet síly při kompresi

$$F_A = \lambda \cdot S$$

(05) Výpočet síly při restituci

$$F_S = \varepsilon \cdot \lambda \cdot S$$

kde F_A je normálová síla při kompresní fázi,

ε je koeficient restituce,

F_S je normálová síla při restituční fázi,

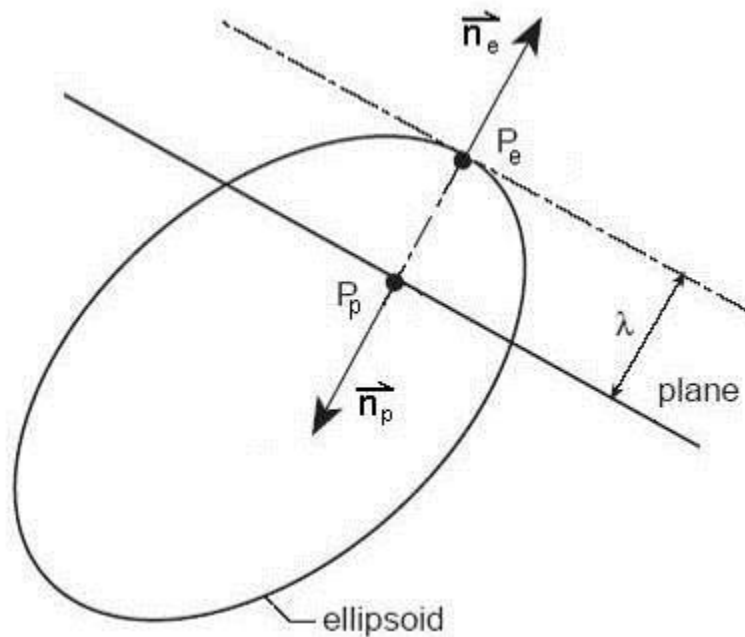
λ je hloubka překrytí,

S je koeficient tuhosti.

Střet elipsoid – rovina

Jak již bylo uvedeno, tento typ střetu platí jak pro rovinu vozovky či polygonu, tak pro rovinu karoserie vozidla. Z toho vyplývá, že u kontaktu MBS s vozidlem není uvažována deformace vozidla, která se s ohledem na nepoměr hmotností a tuhostí vozidla a člověka ve Virtual Crashi zanedbává. Hloubka překrytí je tedy dána vzdáleností bodu průniku na rovině (= bod rázu) od „vrcholu“ ponořené úseče elipsoidu (viz obr. 43.).

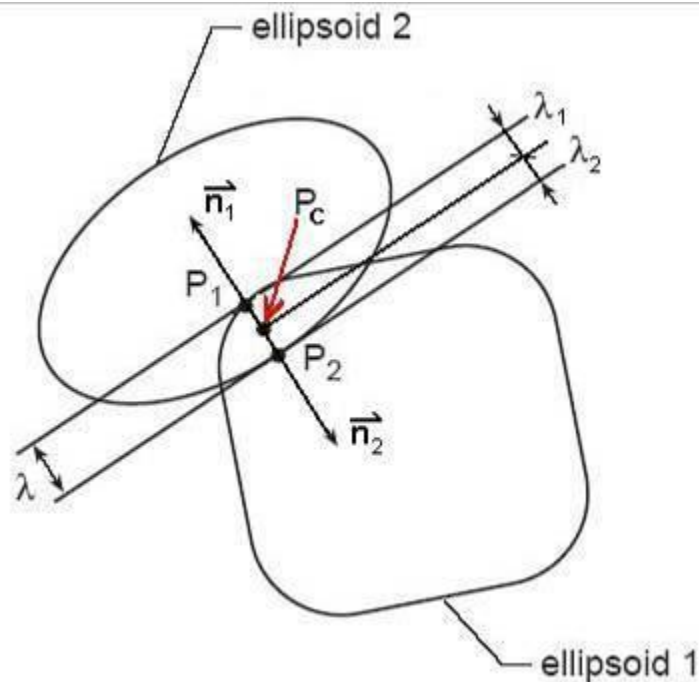
²⁴ Matematický postup řešení diferenciálních rovnic.



obr. 43. Schéma průniku elipsoidu do roviny

Střet elipsoid – elipsoid

Tento kontakt je poněkud složitější, protože je při vzájemném průniku dvou elipsoidů (vyjma těch, které mají definovanou vzájemnou vazbu) uvažována deformace obou (viz obr. 44.).



obr. 44. Schéma průniku dvou elipsoidů

6.1.2. PARAMETRY RÁZU V PROSTŘEDÍ PROGRAMU VIRTUAL CRASH

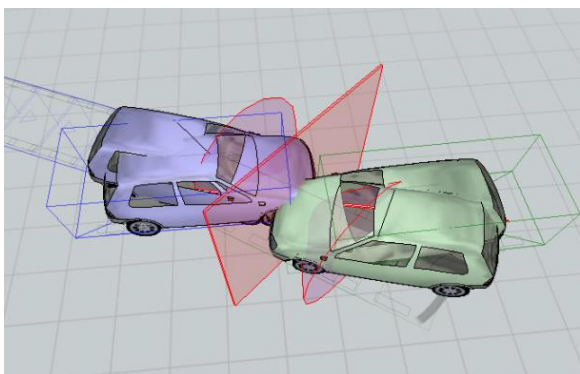
Kolize dvou vozidel

V programu Virtual Crash se při střetu dvou vozidel (popř. vozidla s překážkou) uvádějí parametry rázu v globálním nastavení a ty jsou pak použity pro všechny automaticky počítané rázy. Poté lze během simulace pro každý ráz tyto přednastavené, ale i další původně automaticky spočítané parametry měnit.

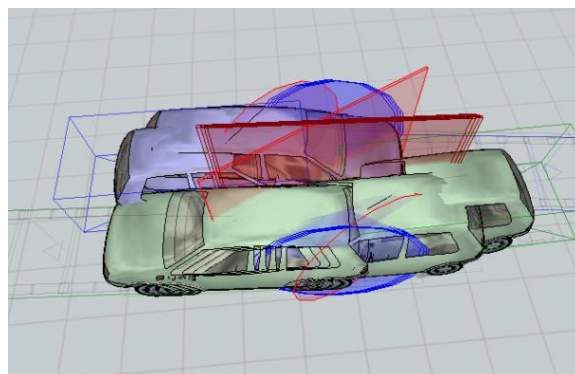
Nastavovanými parametry jsou:

- hloubka překrytí (údaj v sekundách od prvního kontaktu do rozlišení rázu),
- koeficient restituice a koeficient tření.

Změna nastavení vodorovného úhlu roviny rázu může změnit ráz se skluzem (obr. 46.) na ráz bez skluzu (obr. 45.) a naopak.

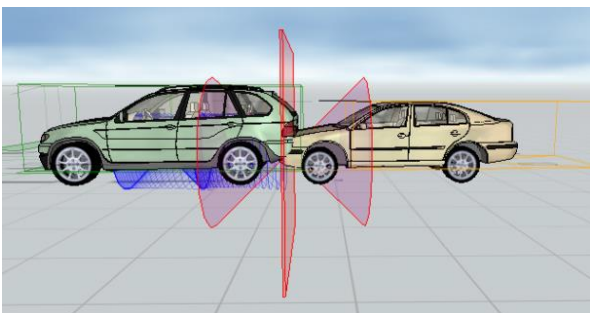


obr. 45. Automaticky stanovená rovina rázu – ráz bez skluzu

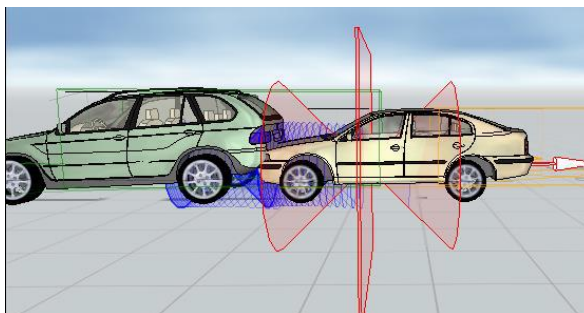


obr. 46. Rovina rázu natočena rovnoběžně s osami vozidel – ráz se skluzem

Změnou nastavení vertikálního úhlu lze docílit podjetí nebo přejetí vozidla.

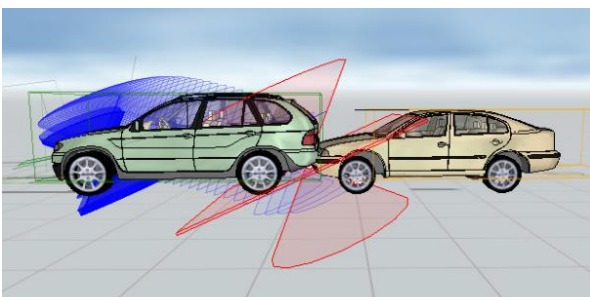


obr. 47. Rovina rázu ve svislé poloze (v čase střetu)

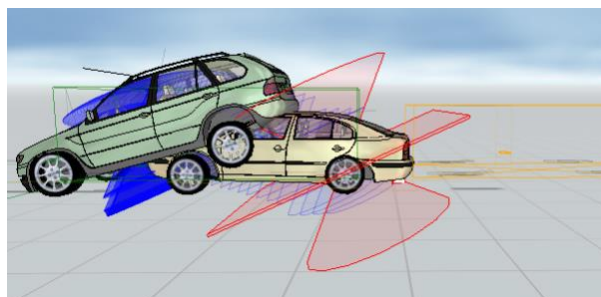


obr. 48. Rovina rázu ve svislé poloze (v čase cca 0,5 s po střetu)

Korekci nastavení úhlů roviny rázu je samozřejmě třeba provádět v závislosti na skutečné deformaci a tuhostech jednotlivých částí vozidel! (Příklady na obr. 47. obr. 48. obr. 49. obr. 50.)



obr. 49. Rovina rázu nakloněna (v čase střetu)



obr. 50. Rovina rázu nakloněna (v čase 0,5 s po střetu)

Střet vozidla s vozovkou

V nastavení vozidla lze měnit dva parametry, které mají vliv na chování vozidla v případě, že dojde ke styku karoserie s vozovkou (případně polygonem). Jsou to koeficient restituice a koeficient tření.

6.1.3. STŘET VÍCETĚLESOVÝCH SYSTÉMŮ (MBS)

U vícetělesového systému lze nastavit pouze 4 parametry, kterými lze ovlivnit automaticky počítané rázy. Jsou to opět koeficienty restituice a tření, a to jednak pro kontakt s vozidlem a jednak pro kontakt s vozovkou.

Otázka **validace** vícetělesových systémů je u softwaru této kategorie často diskutovanou otázkou, u programu Virtual Crash tomu není jinak.

Validace je velmi složitá. Princip, na kterém výpočtový model funguje, je správný. Avšak případů, kde přesně známe vstupní hodnoty i výsledky, je velmi málo. Je to dáno tím, že jakékoliv zkoušky nehody s chodcem, cyklistou nebo motocyklistou jsou prováděny s figurínami, které mají jiné vlastnosti než člověk. Takovéto zkoušky jsou použitelné pouze např. pro zjišťování vzdálenosti odhození v závislosti na nárazové rychlosti, ale už méně použitelné např. pro zjišťování místa dopadu hlavy na čelní sklo apod. Na rozdíl od reálného člověka je figurína koncipována jako prakticky nezničitelná, a tedy místo aby se po nárazu vozidla na karoserii „namotala“ v důsledku zlomení dolních končetin apod., dojde k jejímu výraznému roztočení. Proto bylo doposud provedeno jen porovnání závislosti vzdálenosti odhození chodce na rychlosti vozidla, které je v okamžiku střetu brzděno.

6.2. MODEL VÝPOČTU – PAM-CRASH

Virtual Performance Solution (VPS) je uceleným řešením určeným pro Virtual Product Engineering. Cílem výrobců z různých průmyslových oborů je vývoj ekologičtějších a bezpečnějších produktů. Používají lehčí materiály, inovativní koncepce a současně se snaží dodržet funkční standardy, včetně bezpečnosti, pohodlí, akustiky, pevnosti a životnosti. VPS se zabývá všemi těmito klíčovými otázkami i parametry a umožňuje odborníkům účinně řídit interakce napříč všemi výpočetními doménami, které někdy kolidují. VPS poskytuje optimalizaci a snížení počtu fyzických prototypů, zkrácení návrhových cyklů a snížení nákladů na vývoj. VPS umožňuje na jediném základním modelu a jediném výpočetním clusteru vypočítat celou škálu zátěžových stavů z různých výpočetních oblastí.

6.2.1. POPIS PROGRAMU

VPS využívá také metodu konečných prvků. Program nabízí širokou škálu lineárních a nelineárních materiálů vhodných pro různé druhy simulací.

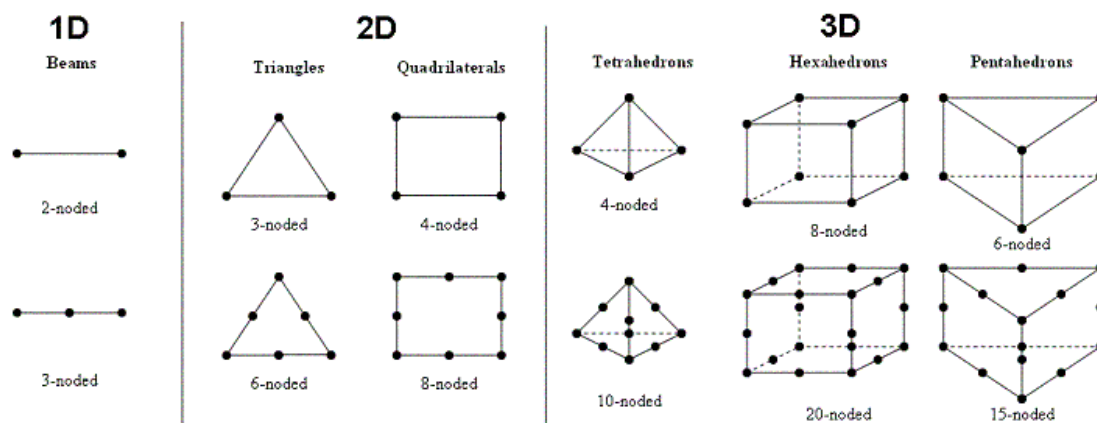
Explicitní řešení zahrnuje moduly:

- PAM-CRASH – lineární a nelineární materiály pro velké deformace,
- PAM-SAFE – analýza prvků pasivní bezpečnosti (airbag, pásy),
- PAM-MEDYSA – nelineární dynamika a analýza životnosti,
- PAM-SHOCK – vhodný pro vysoké rázové rychlosti,
- PAM-COMFORT – analýzy jízdního komfortu a sezení.

Implicitní řešení zahrnuje moduly:

- PAM-STATICS – lineární a nelineární materiály pro velké deformace,
- PAM-NVH – harmonické a přechodové děje, vyšetřování vlastních frekvencí a tvarů kmitání,
- PAM-ACOUSTICS – analýza vnitřní akustiky s vlivem porézních materiálů.

Pro diskretizaci se používají různé typy prvků, jak je znázorněno na obr. 51. Každý prvek sestává alespoň ze dvou uzlů, které definují okraj prvku. V případě simulace autonehody je struktura automobilu diskretizována pomocí 2D skořepinových prvků, například kapota, plechové díly karoserie a plastové díly (palubní deska). 3D prvky představují obvykle pěny, například v sedačce, a velké lité prvky (motor).



obr. 51. Druhy prvků pro metodu konečných prvků

Pro spojení jednotlivých dílů je možné použít několik druhů prvků: bodové svary, lepidlo, kontakty, klouby a tuhá tělesa.

Kontakty

Kontakty hrají důležitou roli při simulaci autonehody, ochrany posádky a chodců. Numerická realizace kontaktů je založena na identifikaci vzájemného pronikání částí konečno-prvkového modelu. Při zjištěném kontaktu program vytváří mezi prvky lineární, popř. nelineární kontaktní síly zabraňující jejich pronikání.

Nastavení hmotnosti modelu

Hmotnost modelu není vždy rovna hmotnosti skutečného vozidla. Proto modul VPS PAM-CRASH disponuje funkcí NSMAS, aby se vyrovnal rozdíl v hmotnosti. To je důležité zejména pro úpravu celkové hmotnosti, nastavení těžiště a výsledné zatížení náprav.

Solver

Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda pro řešení rozsáhlé třídy fyzikálních a inženýrských problémů popsanych diferenciálními rovnicemi. Tyto rovnice jsou řešeny numerickými schémata v závislosti na tom, zda se jedná o problémy statické nebo dynamické.

Implicitní metoda

Hlavní uplatnění této metody je pro statickou strukturální simulaci, neřeší dynamické účinky.

(06) Statická strukturální simulace

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{P\}$$

Pro případ nulových derivací posuvů – statické posouzení struktury se rovnice zjednoduší na

(07) Statická strukturální simulace – úprava rovnice

$$\{u\} = [K]^{-1}\{P\}$$

Za účelem výpočtu posunutí je třeba vypočítat inverzní matice tuhosti pro každý časový krok.

Explicitní metoda

Tato metoda je vhodná zejména pro nelineární simulace a výpočty, kde dochází k velkým deformacím. Nejlepším příkladem je simulace autonehody. Tato metoda je pro tento druh výpočtu ve srovnání s implicitní metodou mnohem rychlejší. V tomto případě je inverzní matice hmotnosti vypočtena s cílem vyřešit rovnici systému. Hlavním omezením této metody je, že na rozdíl od metody implicitní poskytuje přesné a stabilní řešení pouze pro malé časové kroky. Dynamická zatížení jsou závislá na umístění a na čase. Vznikající posuvy, deformace a napětí jsou tedy funkce místa a času.

Metoda konečných prvků je založena na následující rovnici dynamického pohybu:

(08) Rovnice dynamického pohybu

$$M \cdot \ddot{u}_n + C \cdot \dot{u}_n + K \cdot u_n = P_n(t)$$

kde M je hmotnost,

C je matice tlumení a

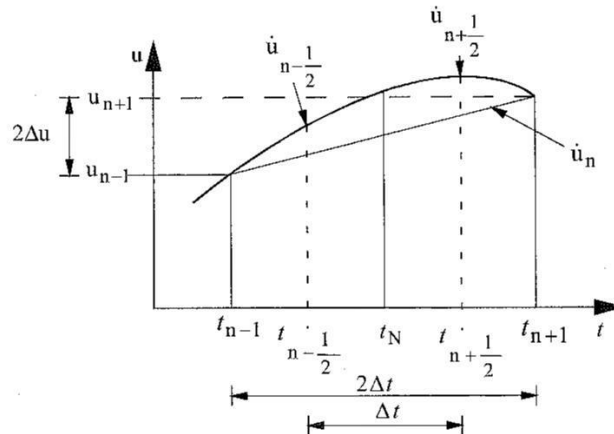
K je matice tuhosti.

u, \dot{u} a \ddot{u}

zastupují vektory posuvu, rychlosti a zrychlení. Vektor síly se

vztahuje k posunutí prvku v čase t_n .

Diferenciální rovnice může být řešena pomocí různých metod. Jednou z nich je metoda centrálních diferencí, kterou používá také PAM-CRASH explicitní solver.



obr. 52. Centrální diferenční metoda

Rychlost v časovém kroku n je následující:

(09) Rychlost v časovém kroku

$$\dot{u}_n = \frac{1}{2\Delta t}(u_{n+1} - u_{n-1})$$

Zrychlení je:

(10) Zrychlení

$$\ddot{u}_n = \frac{1}{\Delta t^2}(u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1})$$

Tyto dvě veličiny jsou použity v rovnici (08), což vede k následujícímu řešení:

(11) Rovnice dynamického pohybu po dosažení

$$\left(M + \frac{1}{2}\Delta t \cdot C\right) \cdot U_{n+1} = \Delta t^2 \cdot P_n - (\Delta t^2 \cdot K - 2M) \cdot U_n - \left(M - \frac{1}{2}\Delta t \cdot C\right) \cdot U_{n-1}$$

V těchto krocích je systém rovnic zjednodušen a vyřešen pro každý prvek.

6.2.2. PRE-PROCESSING/POST-PROCESSING

Visual-Environment je jednotné integrované uživatelské prostředí, které vychází vstříc potřebám inženýrské simulace v rámci hlavních průmyslových odvětví. To zahrnuje komplexní modelovací nástroje pro generování výpočtového modelu a následně jeho vyhodnocení. Kromě toho Visual-Environment umožňuje uživateli přizpůsobit a rozšířit otevřenou architekturu prostřednictvím procesu šablon a maker pomocí softwarových nástrojů (SDK).

Visual-Mesh, Visual-CRASH, Visual-Viewer, Visual-Process Executive, Visual-SDK a mnoho dalších jsou běžné integrované moduly v prostředí Visual-Environment.

S těmito moduly uživatel může získat tyto výhody:

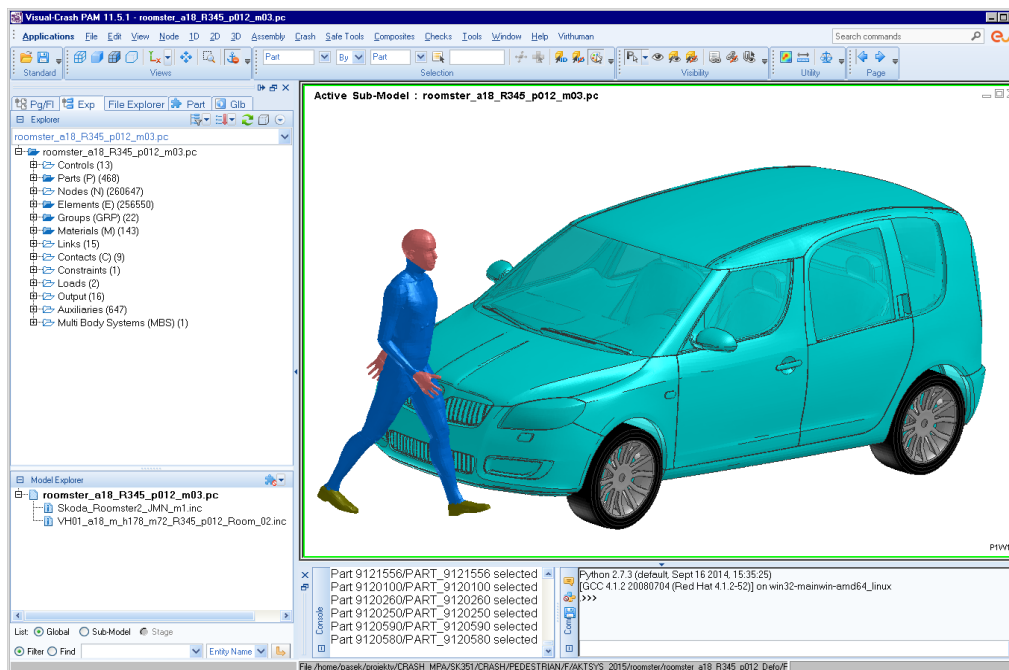
- simulovat kompletní pracovní postupy pro celou řadu fyziky v rámci jednoho integrovaného prostředí,
- snížit náklady a čas tím, že eliminuje zdlouhavé přenosy výpočetních dat,
- zvyšovat individuální produktivitu práce díky automatizaci úloh,
- zkrátit dobu od návrhu a integrace díky automatizaci procesů,

- zlepšit kvalitu výpočetního modelu,
- přizpůsobit uživatelské řešení s minimálním úsilím.

Visual-Crash PAM modul (obr. 53.) je prostředí pro tvorbu simulačních modelů pro rychlé nárazové děje a slouží jako pre-procesor pro řešič PAM-CRASH. Tento modul nabízí intuitivní grafické rozhraní s přizpůsobitelným panelem nástrojů a kompletní podporou při modelování. Visual-Crash prostředí umožňuje uživateli soustředit se na tvorbu vysoce kvalitních výpočetních modelů a definici všech potřebných komponent. Visual-Crash je otevřené a všestranné prostředí, které zjednodušuje propojení dalších typů modelů, které jsou trhu, jako je například LS-Dyna, MADYMO, Radioss apod.

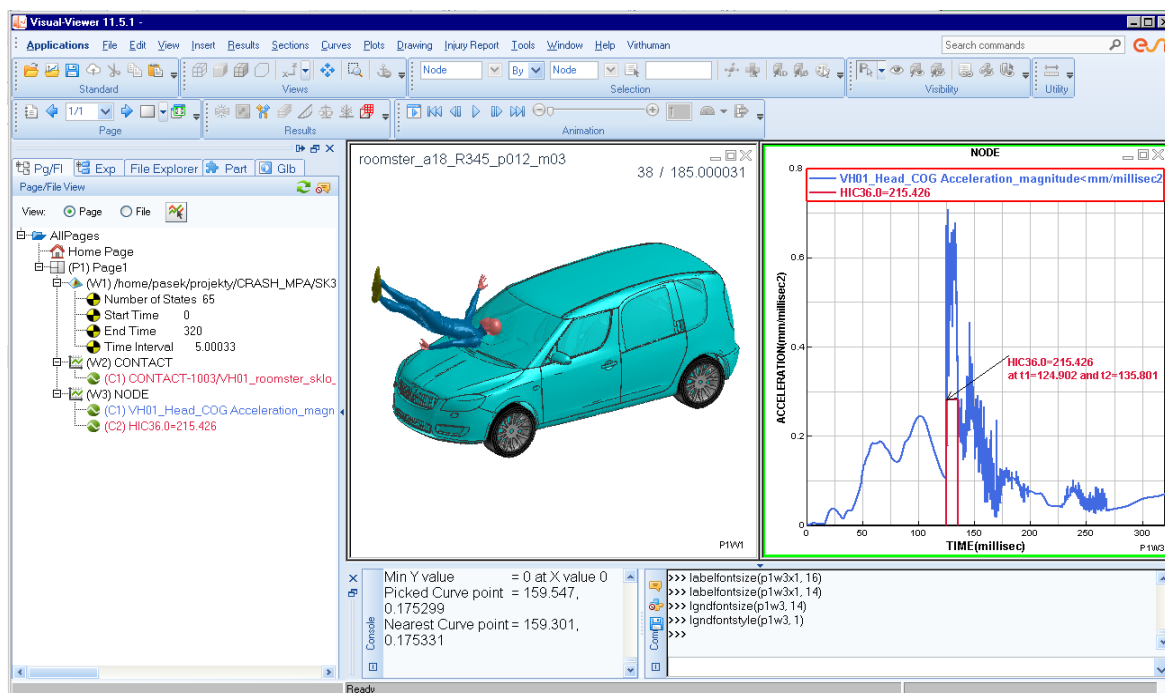
Výhody:

- kompletní řešení pro tvorbu výpočetního modelu
- správa velkých výpočetních modelů
- rychlý iterační proces a revize modelů
- univerzální prostředí umožňuje snadnou implementaci nových aplikací
- rychlé přizpůsobení díky dialogům a databázím pro skriptování



obr. 53. Visual-Crash PAM modul

Visual-Viewer modul (obr. 54.) poskytuje kompletní a produktivní prostředí pro vyhodnocení výpočetních modelů. Využití tohoto uživatelského prostředí napomáhá analyzovat data v rámci jednotného rozhraní. Visual-Viewer modul nabízí multifunkční grafické prostředí animace, grafickou analýzu a následně umožňuje seskupovat tato data do stránek, oken a jednotlivých oddílů. Modul je navržen tak, aby intuitivně napomáhal přizpůsobit panel nástrojů a podporoval kompletní grafické rozhraní. Visual-Viewer umožňuje snadnou a rychlou grafickou interpretaci s podporou užitečných funkcí a ovládacích prvků animací, jako jsou jednoduché úseky řezu modelem, video čtení, a synchronizovanou simulaci s podporou vykreslování jednotlivých oken.



obr. 54. Visual-Viewer prostředí

6.2.2. STŘET VOZIDLA S CHODCEM

V rámci vývoje systému aktivní kapoty (viz projekt [5.]) je plně využíván biomechanický model lidského těla Virthuman [24.], který byl vyvinut v projektu *Škálovatelné modely člověka pro zvýšení bezpečnosti v dopravě* (viz [30.]). Virthuman model umožňuje vygenerovat téměř libovolného jedince v závislosti na věku, výšce a hmotnosti (viz obr. 59. a obr. 60.). Tento model je možné využít nejen pro simulace nehody chodce s vozidlem, ale obecně pro všechny nárazové zkoušky. Výpočtový model Virthuman je vyvinut v prostředí VPS specificky pro PAM-CRASH modul.

6.3. IMPAKTNÍ BIOMECHANIKA

Biomechanika je samostatný vědní obor a je to vlastně mechanika aplikovaná v biologii. Analyzuje biologické reakce živého organismu způsobené vnějšími a vnitřními účinky z hlediska obecné mechaniky. Zabývá se studiem mechanických zákonitostí a vlastností biomateriálů a biologických systémů obecně. Speciální oblastí je pak impaktní biomechanika, která analyzuje účinky nárazu na biologické tkáně (lidské tělo).

Biomechanika využívá poznatků, přístupů, metod a teorií inženýrské mechaniky k řešení problémů na biologických objektech, v našem případě na lidském těle (tkáně, svaly, kosti, klouby, orgány aj.). Základem je tedy pro nás virtuální biomechanický model lidského těla (HBM = *human body model*).

Impaktní biomechanika umožnila testování bezpečnostních prvků pro ochranu před následky nárazu do různých částí postavy. Její strategie vyplývá především z rozboru faktorů DN (člověk, vozidlo, prostředí).

6.3.1. BIOMECHANICKÉ MODELÝ LIDSKÉHO TĚLA

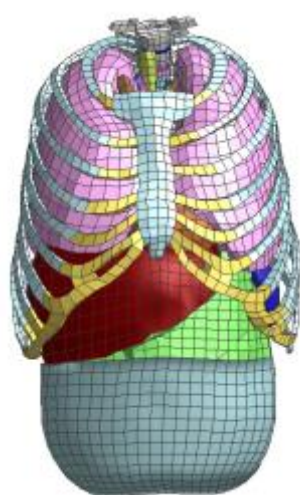
HBM je virtuální model člověka, který je validován na základě experimentálních dat. Moderní matematické metody umožňují rozsáhlou analýzu technických problémů numerickou cestou, pro testování, optimalizaci a vývoj nových výrobků bylo však vždy nutné nalezení adekvátního modelu. I v případě HBM využíváme různá zjednodušení.

S ohledem na zjednodušení existují různé typy modelů. Modely ARB (*Articulated Rigid Body*) jsou pouze vázaným mechanickým systémem tuhých těles (jako příklad viz model Robby [25.] na obr. 55.). Jsou užitečné pro rychlou analýzu, ale nelze pomocí nich provést podrobnější analýzu poranění. Na druhou stranu existují velice podrobné modely na bázi metody konečných prvků, které jsou schopny popsat např. i porušení

tkání, ale jejich vývoj a výpočetní přesnost jsou časově vysoce náročné (viz model hrudníku a abdomenu na obr. 56. [26.]). Proto nabývají na významu tzv. hybridní modely (viz model Virthuman [27.] na obr. 57.).



obr. 55. Model ARB



obr. 56. Deformovatelný model hrudníku a abdomenu



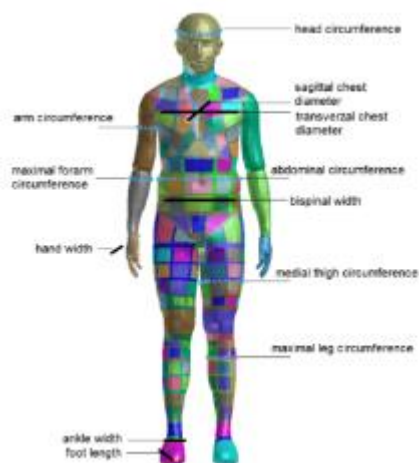
obr. 57. Model Virthuman

Jedním z modelů je i Virthuman, který byl vybrán pro využití v simulacích pro potřeby podrobné analýzy zranění chodce ve srovnání s reálnými DN. Jeho výhodou je tzv. hybridní přístup, který kombinuje rychlý výpočet vázaného mechanického systému s deformací těla zajištěnou poddajnými segmenty.

6.3.2. PARAMETRIZACE HBM

Většina biomechanických modelů lidského těla reprezentuje průměrnou postavu, ale pro korektní nastavení virtuálního modelu lidské postavy za účelem simulace DN je nezbytné identifikovat konkrétní postavu člověka. Nelze předpokládat, že bezpečnostní prvky budou mít pro všechny cestující či chodce stejnou odezvu. Naším cílem je analyzovat konkrétní nehody a na základě nich navrhovat bezpečnostní prvky pro průměrnou postavu.

Antropometrie každého jedince je ovlivněna pohlavím, rasou, geografickými podmínkami, individuální fyzickou zdatností a dalšími okolnostmi. Model Virthuman umožňuje metodou škálování [28.] reflektovat lidskou populaci v závislosti na pohlaví, věku, hmotnosti a výšce.



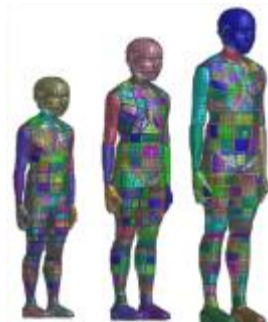
obr. 58. Segmentace HBM

tab. 3. Segmentace HBM

<i>Segment</i>
<i>Hlava a krk</i>
<i>Hrudník</i>
<i>Břicho</i>
<i>Stehno</i>
<i>Noha</i>
<i>Chodidlo</i>
<i>Ruka</i>
<i>Předloktí</i>
<i>Dlaň</i>

Na základě těchto parametrů jsou automaticky generovány rozměry a hmotnosti jednotlivých segmentů (viz obr. 58. a tab. 3.). Dále jsou v závislosti na věku upraveny i tuhosti jednotlivých velkých kloubů.

Na obr. 59. a obr. 60. jsou uvedeny příklady škálovaných jedinců.



obr. 59. Model Virthuman ve věku 6, 10 a 13 let



obr. 60. Model Virthuman ve věku 25, 45 a 65 let

6.3.3. VZTAH PORANĚNÍ K TESTOVÁNÍ

Mechanismy poranění jsou řešeny v kapitole 2. Z hlediska legislativy²⁵ jsou definované standardizované hardwarové figuríny člověka:

- P5 žena (1,510 m; 46,82 kg),
- P50 muž (1,751 m; 78,20 kg),
- P95 muž (1,873 m; 102,73 kg),

případně tzv. figuríny pro specifické nárazy:

- čelní náraz: Hybrid III family, THOR,
- boční náraz: EuroSID, SID, SID-HIII, BioSID, WorldSID,
- zadní náraz: BioRID, RID2,
- chodec: POLAR,
- dítě: P0, P3/4, P3, P6, P10 Q-dummies, CRABI,
- bezpečnostní pás: TNO-10,
- impaktor: hlava, noha.

Pro standardizované testy jsou definovány různé hodnoty kritérií poranění, např.:

- čelní zkoušky automobilu
- FMVSS 208: HIC < 1000, Nij < 1, a_{3ms} < 60
- ECE R94: HPC < 1000, a_{3ms} < 80, VC < 1
- boční zkoušky automobilu
- FMVSS 214: TTI < 85, a_{max} < 130
- ECE R94: HPC < 1000, VC < 1
- ECE R66 předpis pro převrácení autobusu
- ECE R42 a FMVSS 584 – chodci
- EuroNCAP (New Car Assessment Programme, <http://www.euroncap.com>)

6.3.4. VIRTUÁLNÍ TESTOVÁNÍ

Přínosy virtuálního testování spočívají hlavně v získání dat, která nelze změřit nebo spočítat, ať už z technických nebo z etických důvodů. Další výhodou je právě např. škálování, kdy jsme schopni analyzovat širokou škálu populace.

²⁵ ECE (Economic Council for Europe) a NHTSA (National Highway Traffic Safety Association), která vydává FMVSS (Federal Motor Vehicles Safety Standards)

6.4. UKONČENÍ ANALÝZY PO SIMULACI DN

Po provedení simulace je vhodné doplnit do vyšetřovací zprávy zjištěné údaje. Simulaci provádí zkušený analytik, který konzultuje (průběh simulace, vstupní a výstupní hodnoty) s vyšetřovacím týmem. Účelem simulace je získat data, která nebylo možné změřit nebo vypočítat, ať už z jakýchkoliv důvodů.

Analytik s vyšetřovacím týmem provede závěrečný rozbor simulace zaměřený především na porovnání výchozí a konečné polohy všech účastníků DN, rozbor trajektorie pohybu, rychlosti nebo zpomalení při kontaktu. Výhodou je podrobná identifikace zranění chodce, případně řidiče a dalších lidí. Z hlediska bezpečnostní výbavy jsou to především prvky tlumící náraz, u kterých je nutné získat údaje o poloze a síle nárazu různých částí těla chodce.

Ukončení analýzy je provedeno na základě výsledků diskuze vyšetřovacího týmu a závěru potvrzeného vedoucím vyšetřovací skupiny.

7. VYŠETŘOVACÍ ZPRÁVA

Osnova závěrečné zprávy byla již několikrát prezentována a popisována v předchozích metodikách (viz [34.], [35.] a [36.]). V této metodice dochází pouze k jejímu prohloubení z hlediska bezpečnostních prvků ve výbavě vozidla a jejich identifikovaného vlivu na vznik, průběh a následek DN.

7.1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O DOPRAVNÍ NEHODĚ

Dodržuje se postup uvedený v metodice v metodice [36.]. Kapitola popisuje identifikaci DN, popis události, rizikové faktory a lokalizaci místa DN.

7.2. ÚČASTNÍCI DN

Kapitola se zabývá popisem řidiče, cestujících a chodců z hlediska jejich zranění. Velmi vhodné je uvádět poznámky, které upřesňují např. aktivitu bezpečnostních pásů, airbagu, aktivní kapoty, kapotového airbagu a jiných prvků bezpečnosti.

7.3. PSYCHOLOGICKÉ ASPEKTY DN

V této kapitole je velmi vhodné uvést dodatečné informace o zkušenostech řidiče, jeho osobnostním typu, četnosti jízd a znalosti výbavy vozidla ve smyslu, zda si řidič uvědomuje např. výhody ABS systému a zda podle toho upravuje svůj způsob řízení vozidla.

7.4. VOZIDLA

V této kapitole je nutné uvést detailní popis zúčastněné automobilové techniky. Jedná se o popis nejenom modelu vozidla, ale i poškození a výbavy vozidla, jako je: stav bezpečnostních pásů, airbagu, karoserie, deformace opláštění vozidla, poškození skleněných ploch, nastavení autosedaček. Velmi vhodné je uvést i komentář způsobu zásahu HZS v případě „násilného“ otevření dveří aj.

Z hlediska bezpečnostních prvků ve výbavě vozidla je nutné minimálně prověřit výbavu vozidla na základě VIN kódu. Vhodnější je dopátrat se jejich aktivity v době DN (např. fotodokumentací, výčtem údajů z řídicích jednotek vozidla aj.).

7.5. DOPRAVNÍ PROSTŘEDÍ

Kapitola o popisu stavu infrastruktury v době DN zůstává beze změn.

7.6. ANALÝZA NEHODOVÉHO DĚJE

V této kapitole je velmi vhodné uvést, jaký model virtuálního prostředí byl použit. Z toho vyplývá kvalita výstupu. Vhodné je srovnání měřených a simulovaných dat.

7.7. ZÁVĚR

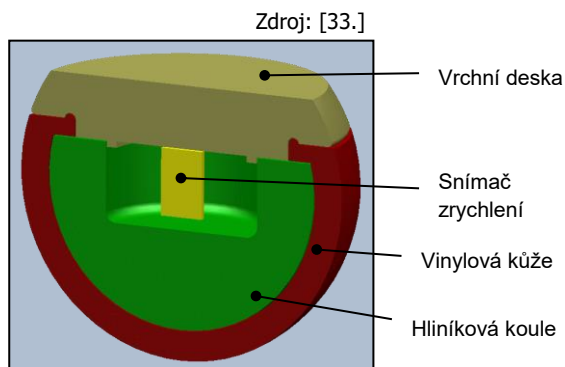
Do závěru je nutné uvést, zda identifikované bezpečnostní prvky byly v době DN aktivní, a určit jejich efektivitu v době DN. Pokud nebylo možné efektivitu určit, je nutné to poznamenat do závěru.

8. OVĚŘENÍ AKTIVNÍ KAPOTY AUTOMOBILU

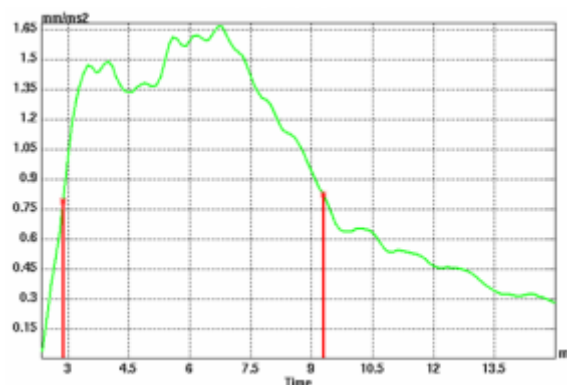
Jedná se především o testování aktivní kapoty, která představuje pasivní bezpečnostní prvek výbavy vozidla v reálném a v simulovaném prostředí.

V reálném crash-testu se postupuje dle zkoušek EENC WG17, které popisují průběh celé zkoušky. Jedná se především o využití impaktorů hlavy (dětské, dospělého člověka) a impaktoru dolní končetiny (stehna).

Impaktor dětské hlavy (viz obr. 61.) má hmotnost 2,5 kg, průměr 130 mm, tloušťku vinylové kůže 11 mm a moment setrvačnosti 0,0125 kgm². Impaktor dospělé hlavy má hmotnost 4,8 kg, průměr 165 mm, tloušťku vinylové kůže 13,9 mm a moment setrvačnosti 0,0036 kgm².

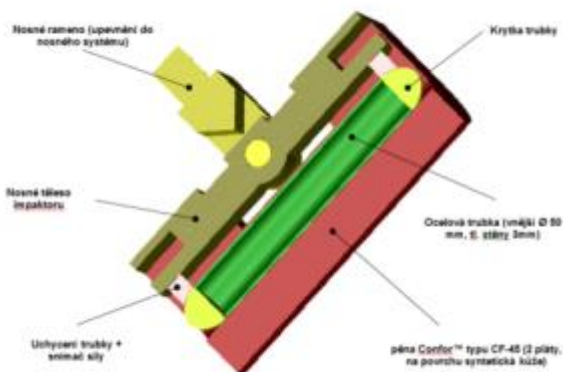


obr. 61. Impaktor hlavy



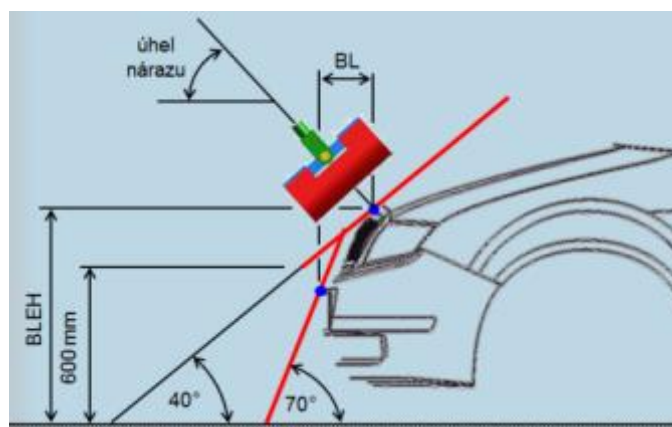
obr. 62. HIC – Head Injury Criteria

Vyhodnocení testu nárazu hlavového impaktoru do kapoty vozidla je znázorněno na obr. 62. Průběh odpovídá míře poranění HIC < 1000 (max. 15 ms).



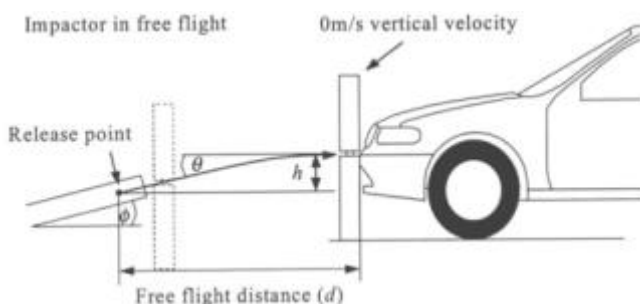
Zdroj: [33.]

obr. 63. Impaktor dolní končetiny – stehno



obr. 64. Nastavení impaktoru dolních končetin – stehna

Vyhodnocení testu impaktoru dolních končetin – stehna (viz obr. 63.) je závislé na nastavení geometrie při impaktu. Jedná se o úhel, který svírá podélná osa impaktoru s rovinou (vozovkou), po které se pohybuje vozidlo, a s výškou hrany kapoty v místě kontaktu (viz obr. 64.).



obr. 65. Impaktor dolní končetiny – holeně



obr. 66. Test nárazu impaktoru – dolní končetiny

U impaktoru dolních končetin – holeně je důležité rozlišit dva způsoby nárazu. Náraz formou balistické střely (viz obr. 65.), nebo gravitační náraz. Oba musejí zohlednit změnu rychlosti nárazu při vystřelení a při kontaktu. Hodnotícím kritériem je úhel ohybu kolene, posun kolene (ve smyku) a zrychlení horní části holeně (tibie) při nárazu.

Z hlediska následku DN je nejlepší výsledek znázorněn na obr. 68. Chodec při primárním kontaktu naléhá na kapotu (včetně hlavy). Kinetická síla nárazu byla absorbována deformací navýšeného prostoru mezi motorem a kapotou, hlava chodce navíc dopadá na externí hlavový airbag.



Zdroj: [33.]

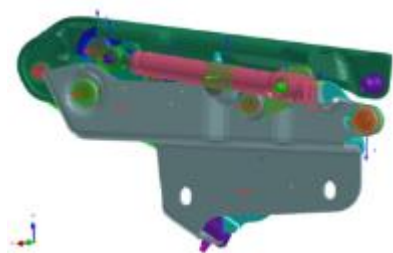
obr. 67. Aktivní kapota



Zdroj: [33.]

obr. 68. Aktivní kapota v kombinaci s airbagem

Na obr. 69. a obr. 70. je znázorněn aktivní závěs a jeho umístění na kapotě.

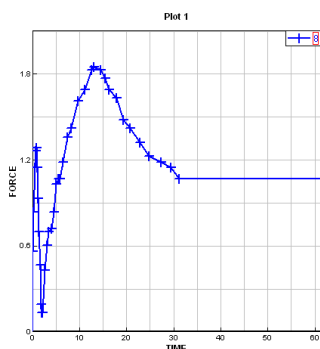


obr. 69. Model zdvihacího mechanismu

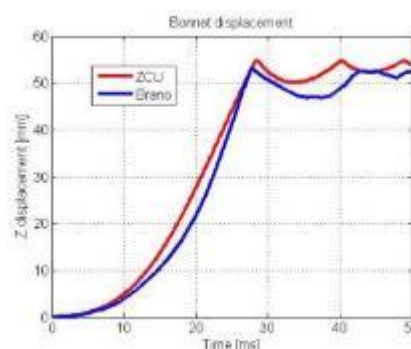


obr. 70. Model profilu aktivní kapoty

Na obr. 71. je znázorněn průběh vstupní síly (síla v pyropatroně) při aktivaci kapoty. Síla působí v řádech několika milisekund. Po kontaktu chodce s kapotou dochází ke změně silového působení (viz obr. 71.).



obr. 71. Průběh síly při aktivaci kapoty



obr. 72. Průběh síly po kontaktu s chodcem

Výhodné je kapotu kombinovat s airbagem určeným pro ochranu hlavy chodce před A-sloupkem.

Ze simulací střetu chodce s vozidlem pontonového tvaru pohybujícím se v přímém směru rychlostí 40 km/h bez a s aktivní kapotou vyplývá následující:

- U dětí do výšky 130 cm je náraz hlavy veden na spodní až střední část kapoty, kde dochází k mírnému poranění hlavy, a zde má aktivní prvek kapoty velmi nízký vliv.

- U chodců vysokých 140–170 cm je náraz hlavy veden do míst horní části kapoty a zde dochází ke snížení poranění hlavy pro případ aktivní kapoty.
- U chodců vyšších než 175 cm dochází k nárazu hlavy do předního skla, kde dochází ke zvýšení poranění hlavy a zde má aktivní kapota velmi malý vliv na poranění chodce. Celkově je však vliv aktivní kapoty na pravděpodobnost poranění hlavy malý.

Z celé antropologické škály je možno identifikovat dva jedince s reprezentativním průběhem a poraněním při pádu na kapotu vozidla. Nejčastější průběh nehody, kde dochází k nalehnutí na kapotu a nárazu hlavy na přední sklo vozidla, lze reprodukovat s 18letým mužem vysokým 178 cm o hmotnosti 72 kg. Pro nehodu, kde naráží trup těla na masku vozidla a hlava naráží na kapotu, je vytipován 13letý jedinec vysoký 150 cm o hmotnosti 40 kg. Oba reprezentanti spadají do 50 % hmotnostního percentilu vybraných věkových skupin.

S těmito reprezentanty lze pro vozidlo pontonového tvaru provést detailnější citlivostní analýzy:

- rychlosti vozidla,
- brždění vozidla,
- nakročení chodce,
- úhlu natočení chodce vůči vozidlu,
- různého zdvihu kapoty vozidla,
- rychlosti chůze chodce,
- vzdálenosti bloku motoru od kapoty.

Pro finální referenční konfiguraci lze doporučit následující okrajové podmínky: rychlost vozidla (nebržděného) 45 km/hod s nulovou rychlostí chodce. Pokud je malá vzdálenost bloku motoru od kapoty, je třeba tento efekt započítat do simulace výpočtu. Testy je třeba provést pro několik poloh chodce po šířce čela vozu. Doporučuje se alespoň 7 různých poloh simulací.

Optimalizace chování čela vozu je založena na využití virtuálního modelu lidského těla, např. modelu VIRTHUMAN vytvořeného pro VPS společnosti ESI Group. Z provedených vyhodnocení různých konceptů modelování čela vozu se pro dosažení realistických výsledků ukazuje jako nezbytné použít detailní MKP model čela vozu, včetně vnitřních výztuh s materiálovými charakteristikami odpovídajícími reálné struktuře.

9. VÝVOJ AKTIVNÍHO PRVKU NA ZÁKLADĚ REÁLNÝCH DAT A SIMULACÍ

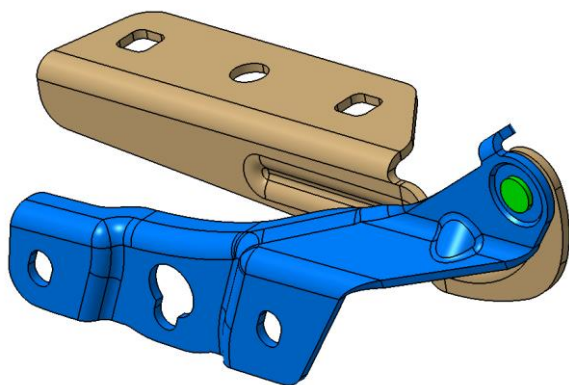
Závěsy přední kapoty slouží k bezpečnému ustavení (pohotovostní poloze) motorové kapoty v karoserii vozu a k jejímu spolehlivému otevření.

Každý závěs kapoty se skládá ze statické části (konzola spodní), která je připevněna ke karoserii vozu, a pohyblivé části (konzola horní), která je pevně spojená s kapotou. Obě části jsou navzájem otočně spojeny prostřednictvím nýtu či šroubu a matice. Moment otáčení je realizován metaloplastickým pouzdrům (pouzdry), které musí současně zabezpečit elektrický kontakt, pro vyloučení KTL²⁶ v lakovně.

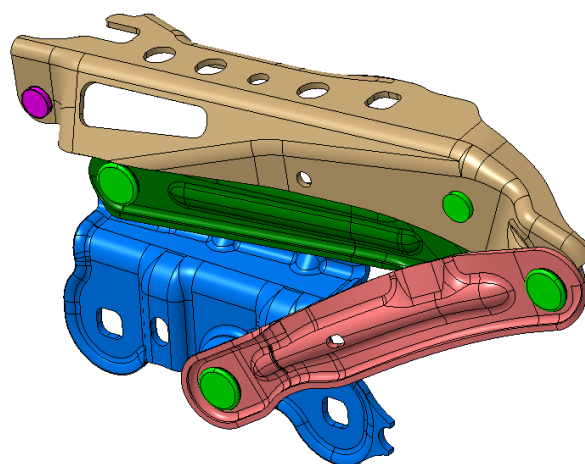
Dle požadavku na způsob pohybu kapoty vůči karoserii (danou designem vozu) dělíme závěsy na:

- jednoosé, kdy osa otáčení pohyblivé části závěsu vůči statické nemění svou polohu (viz obr. 73.),
- a víceosé (čtyřosé) – pantografické, kdy dochází ke změně polohy osy otáčení. V tomto provedení jsou konzola horní a konzola spodní doplněny o další části – rameno přední a rameno zadní (viz obr. 74.).

Aktivní závěsy přední kapoty se vyskytují téměř výhradně ve čtyřosém provedení.



obr. 73. Jednoosý závěs kapoty



obr. 74. Čtyřosý závěs kapoty

Závěsy jsou ke karoserii (k podélníku) připevněny prostřednictvím svislých ploch konzoly spodní, a to dvojicí šroubů, stejným způsobem je připevněna kapota ke konzole horní. Montáž kapoty se provádí na lince okované karoserie bezprostředně po montáži bočních a zadních dveří a před montáží blatníků.

Tvarování konzol a ramen musí být provedeno tak, aby byla zajištěna dostatečná tuhost, vzájemné vůle a dobrá lakovatelnost.

Pravý díl závěsu bývá zrcadlovým obrazem dílu levého. V některých případech s drobnými designovými odchylkami, např. z důvodu potřeby uchycení hadičky ostříkovačů jen na jedné straně nebo vzpěry pro aretaci kapoty v otevřené poloze.

9.1. VÝVOJ AKTIVNÍHO ZÁVĚSU KAPOTY

Vlastní vývoj aktivního závěsu se v počáteční fázi neliší od vývoje pasivní varianty čtyřosého závěsu. Začíná studiem geometrického uspořádání konkrétního vozu a požadavků zadavatele (stanovených technickou specifikací) na pasivní nebo aktivní funkci. Pokud jsou tyto informace známy, začíná konstrukce 2D počítačového modelu s ohledem na požadovanou kinematiku kapoty během jejího otevírání – standardní funkce a následně aktivování – bezpečnostní funkce. Výsledkem tohoto návrhu je poloha otočných bodů jednotlivých komponent závěsu.

²⁶ KTL = kataforézní lakování, nanášení základní ochranné povrchové vrstvy na karoserii v lakovně automobilky. Celá karoserie se namáčí do lázně s roztokem, který na ní ulpívá vlivem procesu elektrolyzy. Až poté dochází k lakování dalšími vrstvami.

Pak se přechází ke tvorbě prvotního 3D modelu, kdy jednotlivé dílce závěsu dostávají výsledný tvar. Tento model je opět podroben kinematické analýze, přičemž se kontrolují odstupy jednotlivých, navzájem se pohybujících dílců závěsu, s ohledem na případné kolize ve všech možných polohách závěsu, resp. kapoty, ve kterých se závěs může během svých funkcí vyskytnout. Během této analýzy je geometrie dílců opakovaně korigována.

Následuje dynamická analýza, kde okrajové podmínky tvoří poloha těžiště kapoty, její hmotnost, poloha třmenu kapoty, poloha zámku kapoty, požadovaný čas a výška zdvihu v ose Z a požadavek na posun v ose X.

Výsledkem dynamické analýzy jsou silové dispozice pyrotechnického aktivátoru, od kterého se odvíjí hmotnost obsažené pyrotechnické nálože.

Design závěsu je v této fázi kontrolován FEM simulacemi, přičemž se vychází z VW koncernové normy TL82436: 2011-12 [31.] s ohledem na stabilitu dorazu v otevřeném stavu při přetlačení, odolnost proti vysazení a statickou příčnou tuhost. Dle výsledků simulací jsou jednotlivé komponenty doplněny o zpevňující prvky (prolisy).

9.2. TESTOVÁNÍ

Po schválení designu zadavatelem jsou vyrobeny prototypové vzorky a následuje validace designu testováním. Postupuje se dle testovacího plánu, který je sestaven na základě informací obsažených v technické specifikaci produktu, případně zákaznického výkresu.

Prototyp je podroben stejným testům (dle TL82436:2011-12 [31.]) jako jeho virtuální varianta. Dále se provádějí funkční zkoušky:

- stabilita otevíracího a zavíracího momentu,
- zpětné zajištění po falešné aktivaci,
- klimatické zkoušky funkčnosti při teplotách v rozmezí +90 °C až -40 °C,
- testuje se odolnost otočných spojů proti vytlačení (v případě použití nýtů),
- životnost bez jakéhokoliv poškození či vzniku rušivých zvuků,
- odolnost při ostříku solnou mlhou a prachem a korozní odolnost.

Testování funkce aktivace po kolizi s chodcem se provádí na zkušebním zařízení, s namontovanou originální kapotou, třmenem a zámkem. Celý děj je snímán rychloběžnou kamerou, přičemž je zkoumána jak oblast kapoty se závěsem, tak i oblast s třmenem a zámkem. Kapota musí nabýt aktivované polohy v požadovaném čase, dodatečné kmitání kapoty musí být konstrukcí závěsu utlumeno pod limitní mez, danou technickou specifikací. Třmen musí vůči zámku vykonat pohyb tak, aby nedošlo k poškození zámku a následně bylo možno kapotu otevřít, případně zpětně zajistit.

10. ZÁVĚR

Při DN osobních vozidel s chodci dochází často k těžkým nebo fatálním následkům na zdraví chodce. Řidiči a cestující jsou většinou dobře chráněni aktivními nebo pasivními bezpečnostními prvky. V lepším případě dokážou prvky ve výbavě vozidla monitorovat chování řidiče a okolní infrastrukturu za účelem efektivního předvídání vzniku DN. Průběh a následek nehody pak korigují bezpečnostní pásy, airbagy, sedadla, opěrky aj.

Pro ochranu chodce je určeno jen několik prvků. Tím nejzásadnějším je tvar příďe vozidla. Právě výška a tvar masky vozidla jsou zcela zásadní pro průběh DN a následné zranění chodce. Dále potom výztuha (profilování) kapoty motoru a tuhost předních A-sloupků.

Zkoumaným prvkem pasivní bezpečnosti vozidla v projektu TA04030689 [5.] byla aktivní kapota. Ze simulace a reálného testu DN osobního vozidla vybaveného aktivní kapotou vyplývá následující:

- Aktivní kapota pomáhá ke zmírnění poranění chodce, pokud jeho hlava naráží do horní třetiny kapoty, jako je tomu v případě u 13letého chlapce.
- U lidí vyššího vzrůstu dochází stále k nárazu hlavy na čelní sklo vozidla. Přínos není jednoznačný.
- Byl prokázán velký vliv aktivní kapoty z hlediska rychlosti vozidla při kontaktu, vytvoření volného prostoru mezi kapotou a motorem a poklesu příďe vozidla při efektu stlačení tlumičů při brždění.
- Rychlost chodce má vliv na místo dopadu hlavy na kapotu.
- Zdvih kapoty má vliv na poranění hlavy chodce. Optimální zdvih se bude lišit podle kategorie vozidla, tvaru příďe, zástavby motoru atd. Zdvih aktivní kapoty musí být minimálně takový, aby v případě její aktivace vznikala mezi spodní částí přední kapoty a nejvyšším tuhým bodem motoru dostatečná deformační vzdálenost.

Při analýze a sběru dat in situ DN osobního vozidla s chodcem je vždy nutné brát ohled na přítomnost bezpečnostních prvků vozidla. Tyto prvky mohou přímo ovlivňovat průběh a následek nehody. Bez jejich znalosti analytický tým sbírá a analyzuje neúplná data. Pro kompletní vyhodnocení je nutné tyto parametry sledovat a následně vyhodnocovat.

III. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“

Tato metodika navazuje na *Metodiku hloubkové analýzy dopravních nehod* z roku 2009 [34.] a její aktualizované vydání z roku 2014 [35.] a *Metodiku komplexní analýzy střetu vozidla s chodcem* z roku 2015 [36.]. Hlavním přínosem této metodiky jsou postupy a návody, na jaké parametry se při sběru dat z DN zaměřit, a to především z hlediska aktivních bezpečnostních prvků vozidel. Současně metodika zahrnuje ukázkou využití těchto dat pro potřeby simulací z oblasti navrhování aktivních bezpečnostních prvků vozidel. Metodika obsahuje postupy, na základě kterých je možné určovat účinnost aktivní kapoty ve vztahu k poškození těla chodce. Simulace pohybu chodce v průběhu DN je závislá na primárním kontaktu vozidla s chodcem, který je silně ovlivněn tvarem nárazníku, úhlem sklonu kapoty vozidla a fází nakročení a natočení chodce. Právě pro čelní střet vozidla s chodcem je navrhován aktivní bezpečnostní prvek, neboť tento typ střetu je jedním z nejvíce nebezpečných.

IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Tato metodika je koncipovaná tak, aby sloužila jako pomůcka pro analytiku DN osobních vozidel s chodci, a to i při působení aktivní kapoty. Jejím cílem je analýza nehodového děje při střetu vozidla s chodcem a především vyhodnocení příspěvku aktivního bezpečnostního prvku. Příspěvek aktivního bezpečnostního prvku je vyjádřen zmírněním újmy na zdraví s ohodnocením účinku aktivní kapoty. Na základě metodiky bude možné navrhnout nejvhodnější metodu pro vyhodnocování aktivních bezpečnostních prvků související s využíváním dat nasbíraných při šetření DN. Výsledky z navrhovaných simulací a analytických nástrojů lze následně konfrontovat se skutečnými dopravními nehodami, a zjistit tak jejich validitu a vhodnost. Postup v metodice uvedený je také vhodný pro konstruktéry vozidel navrhuující aktivní bezpečnostní prvky ve vozidlech. Mezi další potenciální uživatele metodiky můžeme zařadit znalce z oboru analýzy DN, kteří se primárně zabývají vyhodnocením technických parametrů vozidel a jejich vlivu na DN, potažmo jejími následky, a Policii ČR.

V. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Vývoj bezpečnosti silničních vozidel jde velkým tempem dopředu, mnohem více než investice do silniční infrastruktury nebo práce s lidským činitelem. Automobily se jako každé technické zařízení neustále zdokonalují. Tento progres je podložen mnohaletým vývojem a testováním. Postupy uvedené v metodice posouvají problematiku bezpečnosti silničního provozu a vývoje bezpečnostních prvků vozidel dopředu. Pro optimální vývoj automobilů a jejich bezpečnostních prvků je nezbytné mít zpětnou vazbu přímo z reálných DN, kde takto získaná data mohou poskytnout nedocenitelnou část informací pro správný vývoj, nastavení a validaci návrhových prvků nových vozidel. Proto v ČR (i ve většině vyspělých zemí) vznikly výjezdové týmy (HASDN, CZIDAS – CDV, CZIDAS – IDIADA, Výzkum dopravní bezpečnosti – ŠKODA AUTO), které se in situ věnují podrobné analýze příčin, okolností a průběhu DN v krátkém okamžiku po jejich vzniku. Tato data umožní lépe pochopit proces nehodového děje, a to jak z hlediska samotného vozidla, tak i lidského činitele a okolí.

Metodika poskytuje metodický postup k návrhu jednoho konkrétního prvku ve vozidle na základě reálných dat DN s chodci. Popisuje využitelnost dat při následné simulaci a vlastní návrh zkoumaného prvku. Metodika je přenositelná i k vývoji jiných prvků ve vozidlech a s tím je nejenom spjato uplatnění těchto postupů, ale i její ekonomické přínosy. Každou simulaci je nutné reálně ověřit např. formou crash-testů. Ty jsou poněkud nákladné, a proto vznikla tato metodika, která umožňuje srovnat výsledky simulace s reálnými výsledky DN např. na základě dat z HASDN, kde jsou sbírány řádově tisíce dat o jedné DN z hlediska všech složek jejího mechanismu. Tím je usnadněna práce analytiků a konstruktérů, kteří mohou výsledné simulace ověřit, přiblížit více realitě a následně pak promítnout takto získané zkušenosti do návrhu nových prvků/vozidel.

Hlavním cílem vývoje těchto prvků je snížení následků DN a tím i celospolečenských ztrát z DN, které v roce 2014 dosáhly výše 55,25 mld. Kč [7.]. Z finančního hlediska můžeme vyčíslit náklady, kolik stát stojí:

- 1 usmrcená osoba: 20 881 000 Kč,
- 1 těžce zraněná osoba: 5 089 000 Kč,

- 1 lehce zraněná osoba: 429 000 Kč,
- 1 nehoda pouze s hmotnou škodou: 262 000 Kč.

V roce 2015 bylo v ČR usmrceno celkem 660 osob (z toho přes 50 % řidičů a spolujezdců ve vozidle, chodců téměř 20 %, motocyklistů 14 %, cyklistů více než 10 % atd.), těžce zraněno 2540 osob a 24 426 osob zraněno lehce. Pokud by na základě této metodiky došlo k úspoře na ztrátách z DN s následkem smrti chodce o 5 % ročně, jednalo by se o roční úsporu cca 138 mil. Kč. Pokud by došlo ke snížení podílu smrtelných zranění (5 %) na těžká zranění chodců, jednalo by se o úsporu z následků dopravní nehodovosti ve výši cca 104 mil. Kč apod.

Realizací výzkumu a vývoje dojde ke zvýšení bezpečnosti, snížení počtu a závažnosti DN, a tím k naplnění cílů Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011–2020.

PŘÍLOHA A – VYBRANÁ KRITÉRIA PORANĚNÍ SEGMENTŮ TĚLA CHODCE

V této příloze jsou uvedeny vybrané postupy a kritéria segmentů postavy chodce. Výběr byl proveden na základě dostupné literatury a technických možností softwarů, kterými lze DN simulovat.

A.1 Hlava

Kritérium poranění hlavy HIC²⁷ vychází ze zrychlení hlavy při nárazu, měřeného v těžišti hlavy dle následujícího vzorce:

(12) Kritérium poranění hlavy (HIC)

$$HIC = \max_{0 \leq t_1 \leq t_2 \leq T} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2,5} \cdot (t_2 - t_1)$$

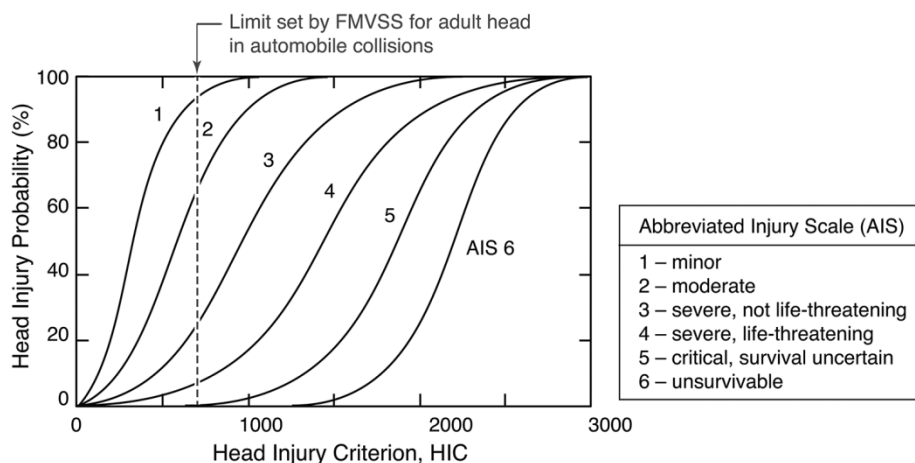
$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

kde a je zrychlení v násobcích gravitačního zrychlení g ,
 $t_{1,2}$ časový interval.

(13) Pravděpodobnost prasknutí lebky

$$P_{(\text{zlomenina})} = N \left(\frac{\ln(HIC - \mu)}{\sigma} \right)$$

kde N je kumulativní normální rozdělení,
 μ střední hodnota,
 σ směrodatná odchylka.



Zdroj: [20.]

obr. 75. Pravděpodobnost poranění hlavy v závislosti na HIC

Na obr. 75. je znázorněn průběh pravděpodobnosti zranění hlavy v závislosti na kritériu poranění HIC. Například pravděpodobnost AIS ≥ 2 (tedy prasknutí lebky) odpovídá střední hodnotě normálního rozdělení $\mu = 6,96352$ a směrodatné odchylce $\sigma = 0,84664$.

²⁷ HIC = Head Injury Criterion = kritérium poranění hlavy

tab. 4. Možná poranění hlavy dle stupnice AIS

AIS	Popis poranění
0	Bez zranění
1	Kůže: odřeniny, oděrky, povrchové tržné rány Obličej: zlomenina nosu
2	Kůže: větší odtržení Jednoduchá zlomenina lební klenby, otevřená zlomena čelisti, zlomenina horní čelisti
3	Zlomenina spodiny lební, horní čelisti, stržení pokožky hlavy, pohmoždění mozečku
4	Otevřená zlomenina lební klenby s pohmožděním nebo ztrátou mozkové tkáně, malé epidurální nebo subdurální krvácení
5	Větší penetrující poranění, komprese mozkového kmene, větší epidurální nebo subdurální krvácení, difúzní axonální poranění
6	Masivní destrukce lebky i mozku

A.2 Páteř/krk

Poranění páteře se z hlediska léčby řadí mezi ta nejnáročnější. Mezi nejzávažnější poranění se řadí poranění krční části páteře, obzvláště při nárazu zezadu. Pro účely nastavení MBS je důležitý ohybový moment kolem osy Y (předozadní pohyb), síla osy ve směru osy Z (vertikální osa) a smyková síla ve směru osy X, předozadní. Z těchto hodnot lze vypočítat kritérium poranění krku, které kombinuje působící osově síly s flexně-extenzivním ohybovým momentem:

(14) Kritérium poranění krku NIC

$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{crit}} + \frac{M_y}{M_{crit}}$$

kde F_z je síla ve směru osy Z,
 F_{crit} je kritická smyková síla ve směru osy X,
 M_y je ohybový moment kolem osy Y,
 M_{crit} je kritický ohybový moment kolem osy Y.

(15) Pravděpodobnost poranění krku

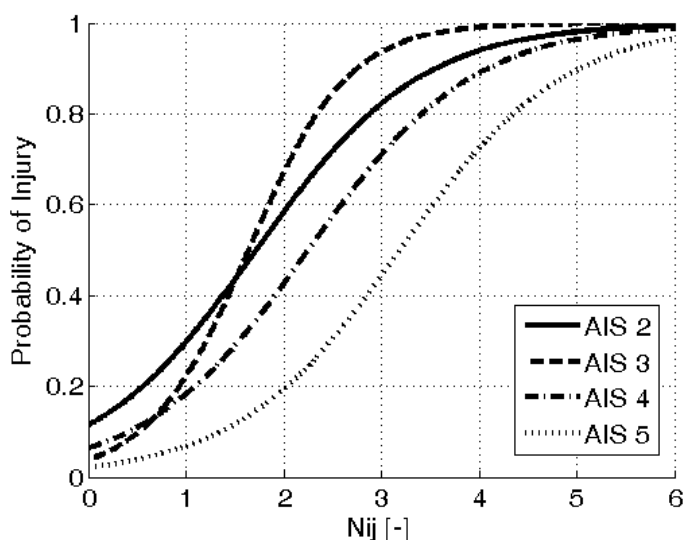
$$P(AIS \geq \text{hodnota}) = \frac{1}{1 + e^{a-b N_{ij}}}$$

kde a, b jsou parametry pravděpodobnosti.

AIS	a	b
≥ 2	2,054	1,195
≥ 3	3,227	1,969
≥ 4	2,693	1,195
≥ 5	3,817	1,195

Používá se do vzorce (15)

Zdroj: [20.]



obr. 76. Pravděpodobnost poranění krku

Časté poranění vzniká od mechanismu „whiplash“, který se také nazývá trauma šlehnutí bičem. Toto poranění vzniká při prudkém, nečekaném pohybu hlavy vlivem vnějšího nárazu. Při nárazu se hrudník pohybuje vpřed a hlava ze setrvačnosti zůstává vzad. Při odeznění nárazu hlava prudce letí vpřed.

tab. 5. Možná poranění krku dle stupnice AIS

AIS	Popis poranění
0	<i>Bez zranění</i>
1	<i>Kůže, svaly: odřeny, oděrky, povrchové tržné rány, pohmožděny</i>
2	<i>Krční cévy, drobná porušení Krční/hrudní páteř: dislokace bez zlomenin Hrudní/bederní páteř: vyřeznutí ploténky</i>
3	<i>Krční cévy: větší porušení Krční/hrudní páteř: vícečetné poranění nervových kořenů</i>
4	<i>Krční/hrudní páteř: pohmožděny míchy</i>
5	<i>Krční páteř: natržení míchy bez zlomeniny</i>
6	<i>Dekapitace míchy (oddělení hlavy)</i>

Mechanismy poranění krku jsou:

- extenze: (natažení) časté u vazivových tkání, ale i zlomeniny
- flexe: tříštivá zlomenina, klínová tlaková zlomenina
- komprese: vícenásobná zlomenina těla obratle
- tenze: častá jsou poranění vazivových tkání
- smyk: přerušení příčných vazů

Ve většině případů dochází ke kombinaci mechanismu poranění (tenze – extenze, komprese – extenze, komprese – flexe, tenze – flexe). Následky zranění jsou závislé na postavení krční páteře v době nárazu a na směru nárazu. Pozitivní vliv na vznik „whiplash syndromu“ mají bezpečnostní pásy a zejména správně nastavená opěrka hlavy.

A.3 Hrudník

K poranění hrudníku chodce dochází v necelých 14 % případů DN (zdroj: HASDN). Prvotní náraz je většinou kompenzován horními končetinami nebo kontaktem hlavy s předním sklem či kapotou. Větší následky má sekundární kontakt, kdy tělo chodce letí do okolí a je neovladatelné, často v bezvědomí. Obecně lze zranění hrudníku rozdělit na tupé poranění následkem nárazu (komprese, viskózní zatížení, váha vlastních orgánů) a pronikající zranění vlivem penetrací cizím ostrým předmětem.

tab. 6. Možná poranění hrudníku dle stupnice AIS

AIS	Poranění kostí	Poranění měkké tkáně
0	<i>Bez zranění</i>	<i>Bez zranění</i>
1	<i>Zlomenina jednoho žebra</i>	<i>Zhmožděnina průdušnice</i>
2	<i>Zlomenina 2–3 žeber</i>	<i>Krevní výrony do průdušnice</i>
3	<i>Jednostranná zlomenina 4 a více žeber Zlomenina 2–3 žeber s hemotoraxem nebo pneumotoraxem</i>	<i>Zhmožděnina plic Drobná zhmožděnina srdce</i>
4	<i>Oboustranná zlomenina 4 sousedních žeber Zlomenina 4 a více žeber s hemotoraxem nebo pneumotoraxem</i>	<i>Oboustranné natržení plic Drobné natržení aorty</i>
5	<i>Zlomenina 4 a více sousedních žeber na obou stranách hrudníku</i>	<i>Značné natržení aorty Natržení plic s pneumotoraxem</i>
6	<i>Smrt</i>	<i>Natržení aorty s vykrvácením do mediastina</i>

U hrudníku je třeba uvažovat zvláště kosterní část a zvláště měkkou tkáň. Při nárazu dochází často k tupému poranění, kdy je hrudník schopen kompenzovat kinetickou energii pružností kostry. To je vlastně funkcí hrudních kostí, chránit vnitřní životně důležité orgány. Při vyšších energiích vyplývajících z rychlosti nárazu však často dochází ke zlomeninám hrudních kostí, které samy mohou daleko závažněji porušit vnitřní orgány a svalstvo.

(16) Pravděpodobnost poranění hrudníku

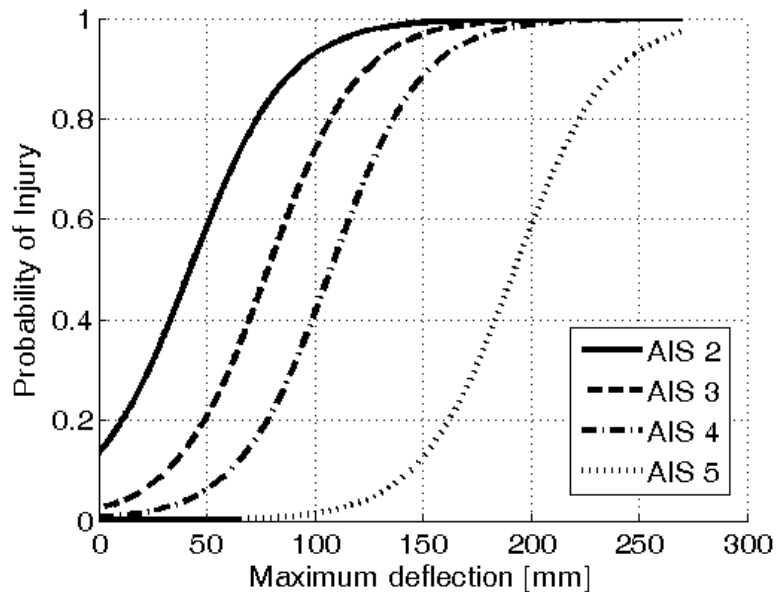
$$P(AIS \geq \text{hodnota}) = \frac{1}{1 + e^{a-b D_{max}}}$$

kde a, b jsou parametry pravděpodobnosti,
 D_{max} je maximální stlačení hrudníku.

AIS	a	b
≥ 2	1,8706	0,04439
≥ 3	3,7124	0,0475
≥ 4	5,0952	0,0475
≥ 5	8,8274	0,0459

Používá se do vzorce (16)

Zdroj: [20.]



obr. 77. Pravděpodobnost poranění hrudníku

AIS lze vyhodnotit také z relativní komprese hrudníku. Hodnota C ve vzorci (17) představuje deformaci v milimetrech vztáženou k původní velikosti.

(17) Stanovení AIS z relativní komprese C

$$AIS = -3,78 + 19,56 C$$

A.4 Břicho

Břicho nebo orgány v břišní dutině patří mezi snadno zranitelné části těla. I lehký náraz tupého charakteru může vyvolat skryté vnitřní zranění, které se nemusí ihned projevit.

U chodců se jedná hlavně o účinky silného dynamického nárazu, který není kompenzován deformační zónou. Tupý náraz břicha – i v případě překrytí končetin – do konstrukce vozu vede k pohlcení kinetické energie uvnitř postavy chodce. To má negativní vliv na relativně volné uložení orgánů v těle. Nejčastěji bývají zraněna játra, ledviny a slezina.

Na poranění má vliv také samotný charakter orgánů, které lze dělit na pevné a duté. Poranění lze dělit na uzavřená a otevřená. Většinou bývají spojena s náhlým zpomalením, bodnutím nebo úderem.

tab. 7. Možná poranění břicha dle stupnice AIS

AIS	Popis poranění
0	Bez zranění
1	Kůže, svaly: pohmožděniny
2	Slezina, játra: pohmožděniny
3	Masivní pohmožděnina ledvin Ruptura sleziny
4	Drobná natržení břišní tepny Ruptura ledvin a jater
5	Úplná destrukce ledvin a jejich cévních systémů
6	Odtržení jater od cévního zásobení

Vzhledem k uspořádání orgánů uvnitř těla a jejich upnutí pomocí vazů je velmi obtížné stanovit pravděpodobnost jejich poranění. Ze statistik však vyplývá, že pevné orgány jsou vzhledem ke své rozloze a váze zranitelnější než duté. Ty mají zase větší náchylnost k poranění, pokud nejsou prázdné.

Z hlediska bezpečnostních prvků ve výbavě vozidla je nezbytné dodržení správného nastavení sedadla v době nehody. Při vysokých rychlostech se stává, že při zpomalení dochází k drčení, praskání orgánů jejich vlastní vahou a jejich pohybem uvnitř dutiny břišní. To lze kompenzovat pozvolným uvolňováním kinetické energie pomocí omezovače napínací síly a větší plochou bezpečnostních pásů. V případě nepoužití hrudní části pásu dochází k ohnutí těla kolem pánve a rozdrčení dutiny břišní vlastní vahou. U dětí nebo osob menšího vzrůstu může dojít k podjetí bezpečnostního pásu a následnému rozdrčení orgánů. V případě nepřipoutaných cestujících dochází k prudkému nárazu o volant, interiér vozidla či katapultaci těla do okolí skrz přední sklo. Při aktivaci airbagu bývá mírně poraněn obličej, krční páteř. V případě aktivace airbagu bez použití bezpečnostního pásu dochází k drčení břišní dutiny, stlačení a ohybu páteře a dalším těžkým poraněním (v břišní dutině nejvíce jater).

Stanovení limitních hodnot poranění dutiny břišní není jednoduchá záležitost. Vzhledem k výše uvedenému je vhodné použít viskózní parametrizaci nastavenou pro hrudník, která vychází z účinku stlačení a rychlosti při nárazu.

(18) Kritérium poranění břišní dutiny

$$VC = V(t) \times C(t) = \frac{D(t)}{dt} \times \frac{D(t)}{b}$$

kde $D(t)$ je deflexce břicha,

b je původní rozměr břicha.

A.5 Dolní končetiny

Velmi často dochází ke zranění chodidel, kotníků, holení nebo kolen (MAIS ≤ 2). Při těžkých nárazech bývá zraněna pánev současně s kostí stehenní. Zlomeniny lze rozdělit na uzavřené a otevřené. Mechanismus poranění spočívá především v přímém nebo nepřímém zatížení, případně penetraci (vliv má i opakované zatížení). Nejčastěji bývá při DN zaznamenáno poranění přímým a nepřímým zatížením, například zlomenina česky nárazem kolene do palubní desky (špatná poloha sedačky, podjetí pod bezpečnostní pás aj.) a následné zlomení stehenní kosti.

tab. 8. Možná poranění dolních končetin dle stupnice AIS

AIS	Popis poranění
0	Bez zranění
1	Kotník, kyčle: výron, pohmoždění
2	Česka, kost holenní, kosti chodidla: zlomenina Pánev: zlomenina (uzavřená, nekomplikovaná) Palec na noze: amputace, rozdrčení Kyčel, koleno: vykloubení Svaly, šlachy: lacerace
3	Stehenní kost: zlomenina Pánev: zlomenina (otevřená, komplikovaná) Amputace končetiny pod kolenem
4	Pánev: zlomenina typu otevřené knihy Amputace končetiny nad kolenem
5	Pánev deformace, poranění pánevního dna, krvácení se ztrátou krve větší než 20 % celkového objemu
6	–

Poranění kosti stehenní a holenní je také častým zraněním při DN s chodcem. Dále, obzvláště při primárním kontaktu s kolenem, dochází například k zprůtrhání vazů v kolenu. Následující vzorec udává pravděpodobnost zlomeniny nebo vykloubení kyčle v závislosti na síle přenesené do kyčle vlivem čelního nárazu.

(19) Kritérium poranění pro komplex koleno–stehno–kyčel

$$P = \Phi \left(\frac{\ln F - \ln(e^{0,21421-0,0114s}(1-f+a)/100)}{0,1991} \right)$$

kde Φ je kumulativní distribuční funkce normálního rozdělení,

F je maximální síla přenesená do kyčle,

f je úhel flexe v kyčelním kloubu,

a je úhel abdukce v kyčelním kloubu,

s je původní rozměr břicha.

Kritérium poranění holenní kosti zahrnuje ohybový moment a osové síly na holenní kost.

(20) Kritérium poranění holenní kosti

$$TI = \frac{M}{M_{krit}} + \frac{F}{F_{krit}}$$

kde F je tlaková síla,

F_{krit} je kritická hodnota tlakové síly,

M je ohybový moment,

M_{krit} je kritický ohybový moment.

A.6 Horní končetiny

Z výzkumu HASDN nevyplývá, že by horní končetiny utrpěly závažná zranění. Většinou se jedná o lehká zranění, maximálně zlomeniny. Jen zřídka se vyskytují těžké nebo fatální následky.

Nejčastějšími zraněními jsou oděrky, odřeniny, pohmožděny a zlomeniny dlouhých kostí. Zaznamenány byly zlomeniny klíčních kostí způsobené přímým úderem volně letícího předmětu. Tato zlomenina může ale vzniknout i vlivem ramenní části bezpečnostního pásu. Nejčastějšími příčinami poranění horních končetin je přímý kontakt s airbagem, náraz do interiéru nebo spolucestujícího.

Kritéria pro poranění horních končetin doposud nebyla podrobně zpracována. Velký vliv však má hmotnost předloktí, vzdálenost od airbagu a vzdálenost od překážky (výbavy vozidla).

PŘÍLOHA B – PŘÍKLAD MODELU VÝPOČTU – VIRTUAL CRASH

Na výpočet je aplikován integrál křivky závislosti rázové síly na čase. Koeficient restituce lze vyjádřit vztahem:

$$(21) \text{ Koeficient restituce} \quad k = \frac{\left(\vec{v}'_{B2} - \vec{v}'_{B1} \right) \cdot \left(\vec{n} \right)}{\left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right) \cdot \left(\vec{n} \right)}$$

kde \vec{v}_{Bi} je rychlost vozidla před střetem (m/s),

\vec{v}'_{B2} je rychlost vozidla po střetu (m/s),

\vec{n} je vektor normály roviny nárazu (-).

Program Virtual Crash počítá se všemi parametry rázu vektorově v 3D prostředí podle následujících vztahů:

$$(22) \text{ Předstřetová rychlost} \quad \vec{v}_B = \vec{v} + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$(23) \text{ Postřetová rychlost} \quad \vec{v}'_B = \vec{v}' + \vec{\omega}' \times \vec{r}'$$

kde \vec{v}_B je rychlost vozidla před střetem (m/s),

$\vec{\omega}$ je předstřetová úhlová rychlost vozidla (s^{-1}),

\vec{v}'_B je rychlost vozidla po střetu (m/s),

$\vec{\omega}'$ je postřetová úhlová rychlost vozidla (s^{-1}),

\vec{v} je předstřetová lineární rychlost vozidla (m/s),

\vec{r} je vzdálenost mezi těžištěm vozidla a bodem nárazu (m),

\vec{v}' je postřetová lineární rychlost vozidla (m/s),

\vec{r}' je vzdálenost mezi těžištěm vozidla a bodem nárazu (m).

$$(24) \text{ Předstřetová hybnost} \quad \vec{H} = m \cdot \vec{v}$$

$$(25) \text{ Postřetová hybnost} \quad \vec{H}' = m \cdot \vec{v}' = \vec{H} + \vec{I}$$

kde \vec{H} je předstřetová hybnost vozidla (kg m/s),

\vec{H}' je postřetová hybnost vozidla (kg m/s),

m je hmotnost vozidla (kg),

\vec{v} je předstřetová lineární rychlost vozidla (m/s),

\vec{v}' je postřetová lineární rychlost vozidla (m/s),

\vec{I} je impuls (kg m/s).

Při výpočtu hybností musí platit následující podmínka (ze zákona akce a reakce):

$$(26) \text{ Podmínka hybností} \quad \vec{I}_1 = -\vec{I}_2$$

kde \vec{I}_i je impuls (kg m/s).

$$(27) \text{ Postřetová úhlová rychlost} \quad \vec{\omega}' = \vec{\omega} + \frac{\vec{r}' \times \vec{I}'}{\Phi}$$

kde Φ je moment setrvačnosti vozidla ($kg \cdot m^2$).

Rychlost přímočarého pohybu pro výpočet hybnosti:

$$(28) \text{ Rychlost přímočarého pohybu} \quad \vec{v}' = \vec{v} + \frac{\vec{I}}{m}$$

Ze vztahů (27) a (28) můžeme vyjádřit postřetovou rychlost jako:

$$(29) \text{ Postřetová rychlost} \quad \vec{v}'_B = \vec{v}' + \vec{\omega}' \times \vec{r}' = \vec{v} + \frac{\vec{I}}{m} + \left(\vec{\omega} + \frac{\vec{r} \times \vec{I}'}{\Phi} \right) \times \vec{r} = \vec{v} + \vec{\omega} \times \vec{r} + \frac{\vec{I}}{m} + \frac{\vec{r} \times \vec{I}'}{\Phi} \times \vec{r}$$

Dosažením vztahu (22) lze vztah (29) zjednodušit:

(30) Zjednodušení postřetové rychlosti

$$\vec{v}_B' = \vec{v}_B + \frac{\vec{I}}{m} + \frac{\vec{r} \times \vec{I}}{\Phi} \times \vec{r}$$

Pomocí vztahu (6) můžeme předchozí vztah vyjádřit pro jednotlivé účastníky:

(31) Rychlost pro jednotlivé objekty (Vb1)

$$\vec{v}_{B1}' = \vec{v}_{B1} + \frac{\vec{I}_1}{m_1} + \frac{\vec{r}_1 \times \vec{I}_1}{\Phi_1} \times \vec{r}_1$$

(32) Rychlost pro jednotlivé objekty (Vb2)

$$\vec{v}_{B2}' = \vec{v}_{B2} + \frac{\vec{I}_2}{m_2} + \frac{\vec{r}_2 \times \vec{I}_2}{\Phi_2} \times \vec{r}_2 = \vec{v}_{B2} + \frac{\vec{I}_1}{m_2} + \frac{\vec{r}_2 \times \vec{I}_1}{\Phi_2} \times \vec{r}_2$$

Rozdíl postřetových rychlostí je pak:

(33) Rozdíl postřetových rychlostí

$$\vec{v}_{B1}' - \vec{v}_{B2}' = \left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right) + \vec{I}_1 \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) + \left(\vec{r}_1 \times \frac{\vec{r}_1 \times \vec{I}_1}{\Phi_1} \right) + \left(\vec{r}_2 \times \frac{\vec{r}_2 \times \vec{I}_2}{\Phi_2} \right)$$

Dále upravíme vztah (21):

(34) Úprava koef. restituce

$$\left(\frac{\vec{I}}{n} \right) \cdot \left(\vec{v}_{B1}' - \vec{v}_{B2}' \right) = -k \cdot \left(\frac{\vec{I}}{n} \right) \cdot \left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right)$$

Vektor impulsu můžeme rozdělit na jeho velikost a směrový jednotkový vektor:

(35) Rozdělení vektoru impulsu na velikost a směrový jednotkový vektor

$$\vec{I}_1 = I_1 \vec{i}_1$$

A aplikací vztahu (34) a (35) na vztah (33) dostaneme:

(36) Aplikace vztahu

$$-k \cdot \left(\frac{\vec{I}}{n} \right) \cdot \left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right) = \left(\frac{\vec{I}}{n} \right) \cdot \left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right) + \vec{I}_1 \cdot \left[\vec{i}_1 \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) + \left(\vec{r}_1 \times \frac{\vec{r}_1 \times \vec{i}_1}{\Phi_1} \right) + \left(\vec{r}_2 \times \frac{\vec{r}_2 \times \vec{i}_1}{\Phi_2} \right) \right]$$

A konečně vyjádříme ze vztahu (36) velikost impulsu I:

(37) Velikost impulsu

$$I_1 = \frac{(1+k) \cdot \vec{I} \cdot \left(\vec{v}_{B1} - \vec{v}_{B2} \right)}{\vec{I} \cdot \left[\vec{i}_1 \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) + \left(\vec{r}_1 \times \frac{\vec{r}_1 \times \vec{i}_1}{\Phi_1} \right) + \left(\vec{r}_2 \times \frac{\vec{r}_2 \times \vec{i}_1}{\Phi_2} \right) \right]}$$

Pro kontrolu vypočteného, resp. pro kontrolu, zda jsme dobře zadali vstupní parametry, lze použít mj. i EES,²⁸ kterou program vypočte, a porovnat ji s námi odhadnutou. Tuto můžeme vypočítat při znalosti rozdílu kinetických energií před střetem a po střetu (rozdíl je přeměněn na deformační práci) a deformační energií jednotlivých účastníků střetu:

(38) Poměr EES

$$\frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot S_{def1}}{m_1 \cdot S_{def2}}}$$

(39) EES₂

$$EES_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot E_D}{m_2 \cdot \left(\frac{S_{def1}}{S_{def2}} + 1 \right)}}$$

²⁸ EES = Energy Equivalent Speed = ekvivalentní energetická rychlost reprezentuje energetickou ztrátu vozidla při nárazu, resp. deformační energii.

SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- [1.] *Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011–2020*, 2011
- [2.] *Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu*, Brno, CDV, v. v. i., 2012
- [3.] Statistika nehodovosti, Policie ČR
- [4.] TA03030791: *Výzkum nových přístupů k ochraně chodců, řešení střetu vozidla s pohybující se kompletní postavou chodce*
- [5.] TA04030689: *Vývoj systému aktivní kapoty automobilu s ohledem na rozmanitost lidské populace a implementace biomechanického modelu lidského těla*
- [6.] *Virtual Crash*, software, VCRASH, s.r.o.; adresa: SNP 56/2, 940 69, Nové Zámky, Slovenská republika; IČ: 44184778; IČ DPH: SK2022620413; e-mail: support@vcrash3.com, web: <http://www.vcrash3.com/>
- [7.] *Metodika výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích*, aktualizovaná verze 2013, Metodika byla certifikována Ministerstvem dopravy s č.j.: 122/2013-520-TPV/1., ISBN 978-80-86502-55-7
- [8.] BRADÁČ A. a kolektiv, *Soudní inženýrství*, I. vydání, Brno, 1997, dotisk 1999, Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., FINAL TISK Olomoučany, ISBN 80-7204-199-9 (dotisk 1999), ISBN 80-7204-057-X (I. vydání)
- [9.] ANDRES J. a kolektiv, *Hlubková analýza dopravních nehod*, Brno, 2015, ISBN 978-80-88074-26-7
- [10.] ČECHOVÁ H., HYNČÍK L., *Podklady pro tvorbu technických specifikací na MBS model člověka z biomechanického pohledu*, Plzeň, květen 2011, Západočeská univerzita v Plzni, projekt č. TA01031628
- [11.] Virtual Crash Technical manual – VIZI 2007
- [12.] KASANICKÝ G., ROZINA A.: *Vplyv zmeny veľkosti technických parametrov na priebeh simulácie*, Žilinská univerzita v Žilíně ÚSI, Znalectvo č. 3–4, 1998, ročník III.
- [13.] KASANICKÝ G., PUPALA A.: *Vplyv zmeny vybraných vstupných parametrov zrážky na technickú prijateľnosť simulácie zrážky pomocou programu PC-CRASH*, Žilinská univerzita v Žilíně ÚSI, Znalectvo č. 1–2, 1999, ročník IV.
- [14.] KASANICKÝ G., KOHÚT P.: *Analýza nehôd jednostopových vozidiel*, Žilinská univerzita v Žilíně, 2000
- [15.] DSD.: *PC-Crash version 6.1 – Bedienungshandbuch*, Linz, 2000
- [16.] Výsledky crash-testů AREC 2005 – Wildhaus (test 01 a test 06)
- [17.] Výsledky crash-testů Ing. Büro J. Priester 2001 (test 03)
- [18.] Výsledky crash-testů AREC 2001 – Wildhaus (test 13)
- [19.] VYCHYTIL J., MANAS J. a další, *Scalable Multi-Purpose Virtual Human Model for Future Safety Assessment*, SAE International, 2014-01-0534, Publishead 04/01/2014
- [20.] ŠPIČKA J., *Vztah kritérií poranění a stupnice AIS*, technická zpráva, TA04030689, NTC-VYZ-16006, Plzeň, únor 2016
- [21.] HYNČÍK L., *Biomechanické modely člověka pro průmyslové a klinické aplikace*, Fakulta aplikovaných věd a Nové technologie, výzkumné centrum Západočeské univerzity v Plzni
- [22.] STRIEGLER R. a kolektiv, *Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu*, Brno, 2015, 2. vydání, ISBN 978-80-88074-22-9
- [23.] *PAM System International S.A. PSI The Software Company of ESI Group Theory Notes Manual*, 2000
- [24.] HYNČÍK L., MAŇAS J., *Stature Based Approach towards Vehicle Safety*, SAE Published 01/14/2015
- [25.] HYNČÍK L., *Počítačový model figuríny člověka pro potřeby nárazových zkoušek*, diplomová práce (1998), Západočeská univerzita v Plzni
- [26.] ČÍHALOVÁ L., HYNČÍK L., *Impact injury prediction by FE human body model*, Applied and Computational Mechanics 2 (2), strany 243–254, 2008
- [27.] VYCHYTIL J., MAŇAS J., ČECHOVÁ H., ŠPIRK S., HYNČÍK L., KOVÁŘ L., *Scalable Multi-Purpose Virtual Human Model for Future Safety Assessment*, 2014, SAE Technical Paper 2014-01-0534, doi:10.4271/2014-01-0534
- [28.] HYNČÍK L., ČECHOVÁ H., KOVÁŘ L., BLÁHA P., *On Scaling Virtual Human Models*, 2013, SAE Technical Paper 2013-01-0074, doi:10.4271/2013-01-0074, ISSN 0148-7191
- [29.] ANDERSON Rwg., STREETER Ld., PONTE G., McLEAN Aj., *Pedestrian reconstruction using multibody MADYMO simulation and the Polar-II dummy: A Comparison of the kinematic*, Australia, Centre for Automotive Safety Research, University of Adelaide, paper number 07-0273
- [30.] TA01031628: *Škálovatelné modely člověka pro zvýšení bezpečnosti v dopravě*, poskytovatel: Technologická agentura ČR, realizováno v letech 2011 až 2013
- [31.] TL 82436 – norma concernu VW, Ausgabe 2011-12, Klass. – Nr. 8DF10, Schlagwörter: Frontklappenschamier, Schamier, Eingelenk, Mehrgelenk, Normung EKDV/4 Wolfgang Tiefenbach

- [32.] HANDER, A., HIMBERT, G., *Neue Erkenntnisse Eingrenzung der Kollisionsgeschwindigkeit von Personenkraftwagen mit neuartigen Frontkonturen aus Analysen realer Fußgängerunfälle*, 2005, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 05/2005
- [33.] SLAMKA, Juraj, POKORNÝ, Jan. *Bezpečnost a ochrana chodců*. In: *Proceedings of the International Scientific Conference „MODERN SAFETY TECHNOLOGIES IN TRANSPORTATION – MOSATT 2005“*. 1st edition. Košice: Slovak Transport Society at the Slovak Academy of Science, 2005, s. 364-369. ISBN 80-969106-1-2, 80-969106-2-0.

SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- [34.] ANDRES J. a další, *Hlubková analýza dopravních nehod*, metodika uplatnění výsledků výzkumu, 2009, Brno
- [35.] JUZA J., FRIČ J., SEMMLER J., a další, *Hlubková analýza dopravních nehod v ČR*, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014, 28 stran
- [36.] NOVÁK J., MOTL J. a další, *Metodika komplexní analýzy střetu vozidla s chodcem*, Brno, 2015, ISBN 978-80-88074-21-2

SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ

(01) Koeficient restituce	37
(02) Poměr EES	37
(03) EES_2	37
(04) Výpočet síly při kompresi	39
(05) Výpočet síly při restituci	39
(06) Statická strukturální simulace	43
(07) Statická strukturální simulace – úprava rovnice.....	43
(08) Rovnice dynamického pohybu	43
(09) Rychlost v časovém kroku	44
(10) Zrychlení.....	44
(11) Rovnice dynamického pohybu po dosažení	44
(12) Kritérium poranění hlavy (HIC)	59
(13) Pravděpodobnost prasknutí lebky	59
(14) Kritérium poranění krku NIC	60
(15) Pravděpodobnost poranění krku	60
(16) Pravděpodobnost poranění hrudníku	62
(17) Stanovení AIS z relativní komprese C	62
(18) Kritérium poranění břišní dutiny.....	63
(19) Kritérium poranění pro komplex koleno–stehno–kyčel	64
(20) Kritérium poranění holenní kosti	64
(21) Koeficient restituce	65
(22) Předstřetová rychlost	65
(23) Postřetová rychlost	65
(24) Předstřetová hybnost.....	65
(25) Postřetová hybnost.....	65
(26) Podmínka hybností	65
(27) Postřetová úhlová rychlost	65
(28) Rychlost přímočarého pohybu	65
(29) Postřetová rychlost	65
(30) Zjednodušení postřetové rychlosti.....	66
(31) Rychlost pro jednotlivé objekty (Vb1).....	66
(32) Rychlost pro jednotlivé objekty (Vb2).....	66
(33) Rozdíl postřetových rychlostí	66
(34) Úprava koef. restituce.....	66
(35) Rozdělení vektoru impulsu na velikost a směrový jednotkový vektor	66

(36) Aplikace vztahu	66
(37) Velikost impulsu	66
(38) Poměr EES	66
(39) EES ₂	66

SEZNAM TABULEK

tab. 1. Zjednodušená stupnice poranění AIS (Abbreviated Injury Scale)	18
tab. 2. Vzor formuláře pro záznam stavu bezpečnostních prvků	30
tab. 3. Segmentace HBM	47
tab. 4. Možná poranění hlavy dle stupnice AIS	60
tab. 5. Možná poranění krku dle stupnice AIS	61
tab. 6. Možná poranění hrudníku dle stupnice AIS	61
tab. 7. Možná poranění břicha dle stupnice AIS	62
tab. 8. Možná poranění dolních končetin dle stupnice AIS	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1. Pyramida dějů v běžném provozu	8
obr. 2. Průběh DN s chodcem BEZ pasivního prvku bezpečnosti	9
obr. 3. Průběh DN s chodcem S pasivním prvkem bezpečnosti	9
obr. 4. Prvek pasivní bezpečnosti – aktivní kapota	10
obr. 5. Podíl dopravní infrastruktury, lidského činitele a vozidla na vzniku a následcích DN [9.]	11
obr. 6. Postava chodce	12
obr. 7. Biomechanická figurína	12
obr. 8. Schéma postavy	12
obr. 9. MKP model	12
obr. 10. Geometrie předě vozidla	14
obr. 11. Základní tvary předě vozidel	14
obr. 12. Najetí	15
obr. 13. Podjetí	15
obr. 14. Přejetí	15
obr. 15. Komplexní rozdělení nehod s chodci	15
obr. 16. Čelní náraz vozidla do chodce (postavení čelně-čelní)	16
obr. 17. Čelní náraz vozidla do chodce (postavení čelně-zádové)	16
obr. 18. Čelní náraz vozidla do chodce (postavení čelně-boční)	16
obr. 19. Čelní náraz vozidla do chodce s částečným překrytím	17
obr. 20. Boční náraz chodce do vozidla	17
obr. 21. Přejetí ležícího chodce	17
obr. 22. Ochrana chodce – airbag	24
obr. 23. Ochrana chodce – aktivní kapota	25
obr. 24. Způsob fotodokumentace	28
obr. 25. Fotodokumentace: celek	28
obr. 26. Fotodokumentace: polodetail	29
obr. 27. Fotodokumentace: detail	29
obr. 28. Fotodokumentace: interiér	29
obr. 29. Ukázka výstupu z databáze	31
obr. 30. Procentuální rozložení závažnosti zranění v letech 2009–2014	33
obr. 31. Rozložení zranění v závislosti na typu komunikace	33
obr. 32. Situování dopravní nehody s chodci v letech 2009–2014	34
obr. 33. Rychlost vozidla při střetu s chodcem	34
obr. 34. Zastoupení zraněných chodců z hlediska věku	34
obr. 35. Zastoupení zraněných chodců z hlediska tělesné výšky	35

obr. 36. Zranění jednotlivých částí těla dle AIS.....	35
obr. 37. Závislost poškození čelního skla na střetové rychlosti vozidla.....	36
obr. 38. Elipsoid stupně $n = 2$	38
obr. 39. Elipsoid stupně $n = 30$	38
obr. 40. Spojení na principu čepu.....	38
obr. 41. Spojení na principu kulového kloubu.....	38
obr. 42. Spojení na principu křížového kloubu.....	38
obr. 43. Schéma průniku elipsoidu do roviny.....	40
obr. 44. Schéma průniku dvou elipsoidů.....	40
obr. 45. Automaticky stanovená rovina rázu – ráz bez skluzu.....	41
obr. 46. Rovina rázu natočena rovnoběžně s osami vozidel – ráz se skluzem.....	41
obr. 47. Rovina rázu ve svislé poloze (v čase střetu).....	41
obr. 48. Rovina rázu ve svislé poloze (v čase cca 0,5 s po střetu).....	41
obr. 49. Rovina rázu nakloněna (v čase střetu).....	41
obr. 50. Rovina rázu nakloněna (v čase 0,5 s po střetu).....	41
obr. 51. Druhy prvků pro metodu konečných prvků.....	43
obr. 52. Centrální diferenční metoda.....	44
obr. 53. Visual-Crash PAM modul.....	45
obr. 54. Visual-Viewer prostředí.....	46
obr. 55. Model ARB.....	47
obr. 56. Deformovatelný model hrudníku a abdomenu.....	47
obr. 57. Model Virthuman.....	47
obr. 58. Segmentace HBM.....	47
obr. 59. Model Virthuman ve věku 6, 10 a 13 let.....	48
obr. 60. Model Virthuman ve věku 25, 45 a 65 let.....	48
obr. 61. Impaktor hlavy.....	51
obr. 62. HIC – Head Injury Criteria.....	51
obr. 63. Impaktor dolní končetiny – stehno.....	51
obr. 64. Nastavení impaktoru dolních končetin – stehna.....	51
obr. 65. Impaktor dolní končetiny – holeň.....	51
obr. 66. Test nárazu impaktoru – dolní končetiny.....	51
obr. 67. Aktivní kapota.....	52
obr. 68. Aktivní kapota v kombinaci s airbagem.....	52
obr. 69. Model zdvihacího mechanismu.....	52
obr. 70. Model profilu aktivní kapoty.....	52
obr. 71. Průběh síly při aktivaci kapoty.....	52
obr. 72. Průběh síly po kontaktu s chodcem.....	52
obr. 73. Jednoosý závěs kapoty.....	54
obr. 74. Čtyřosý závěs kapoty.....	54
obr. 75. Pravděpodobnost poranění hlavy v závislosti na HIC.....	59
obr. 76. Pravděpodobnost poranění krku.....	60
obr. 77. Pravděpodobnost poranění hrudníku.....	62

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AIS	Abbreviated Injury Scale = zjednodušená stupnice zranění
CDV	Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
CZIDAS	Czech In-Depth Accident Study = Česká hloubková analýza dopravních nehod
ČSN	česká státní norma
DN	dopravní nehoda
DZ	dopravní značení
FEM	metoda konečných prvků
HADN	Hloubková analýza dopravy
HASDN	Hloubková analýza silniční dopravy
HD	hromadná doprava
HZS	hasičský záchranný sbor
ISS	Injury Severity Score = hodnota závažnosti zranění
IZS	integrovaný záchranný systém
LZ	lehké zranění
MBS	Multi-Body System = vícetělesový systém (VTS)
MD	Ministerstvo dopravy České republiky
MHD	městská hromadná doprava
MKP	metoda konečných prvků
NK	neřízená křižovatka
OK	okružní křižovatka
PČR	Policie České republiky
PK	pozemní komunikace
RZZ	rychlá záchranná služba
SDZ	svislé dopravní značení
SSZ	světlené signalizační zařízení, světelně řízená křižovatka
SZ	smrtelné zranění
TP	technické podmínky
TZ	těžké zranění
VBM	výchozí bod měření
VDZ	vodorovné dopravní značení
VO	veřejné osvětlení
VTS	vícetělesový systém

POZNÁMKY:

STRANA

STRANA

STRANA

STRANA

STRANA

POZNÁMKY:

STRANA

STRANA

STRANA

STRANA

STRANA



Název: **Metodika sběru a analýzy dat pro vyhodnocení zranění účastníků dopravních nehod s ohledem na aktivní prvky ve vozidlech**

Poskytovatel: Technologická agentura ČR v rámci projektu č. TA04030689: „Vývoj systému aktivní kapoty automobilu s ohledem na rozmanitost lidské populace a implementace biomechanického modelu lidského těla“

Program **Alfa**

QR: název / ISBN / www

Název metodiky anglicky: Evaluation of road traffic user injuries with regards to active safety systems – data collection and analysis guidelines

Název projektu anglicky: Development of Vehicle Active Bonnet System Regarding Variability of Population and Implementing Biomechanical Model Human Body

Další účastník projektu: **Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.,** (IČ: 44994575)

Odpovědný řešitel: Ing. Radim Striegler

Další řešitelé: Ing. Ondřej Gogolín, Ing. Jakub Motl, Ing. Jan Novák



Další účastník projektu: **IDIADA CZ, a.s.** (IČ: 25949896)

Odpovědný řešitel: Ing. Miroslav Štěpán

Applus⁺
IDIADA

Další účastník projektu: **Vision Consulting Automotive, s. r. o.** (IČ: 27872904)

Odpovědný řešitel: Ing. Petr Pavlata



Další účastník projektu: **BRANO, a. s.** (IČ: 45193363)

Odpovědný řešitel: Vladimír Hahn



Další účastník projektu: **MECAS ESI, s. r. o.** (IČ: 61778966)

Odpovědný řešitel: Ing. Luděk Kovář, Ph.D.

Další řešitel: Dr. Ing. Jaroslav Maňas

Další účastník projektu: **Západočeská univerzita v Plzni** (IČ: 49777513)

Odpovědný řešitel: doc. Ing. Luděk Hynčík, Ph.D.

esi
get it right®



Oponenti: Ing. Jan Pokorný, Ph.D.
(Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera)
plk. Ing. Jindřich Rybka BA.
(PČR – KŘP Jihomoravského kraje, odbor služby dopravní policie)

Fotodokumentace: pokud není uvedeno jinak, archiv Centra dopravního výzkumu, v. v. i.

Rok a místo vydání: 2016, Brno

Vydalo: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Tisk a náklad: xxxxxxxx (IČ: xxxx); (100 ks)

Distribuce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

www.cdv.cz, cdv@cdv.cz, tel.: +420 **541 641 711**

© CDV, 2016, 1. vydání
ISBN 978-80-88074-37-3