



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**KOMPLEXNÍ SYSTÉM PRO ANALÝZU  
SILNIČNÍCH NEHOD TYPU STŘET VOZIDLA  
S MOTOCYKLEM**

COMPREHENSIVE SYSTEM FOR ROAD ACCIDENT ANALYSIS - COLLISION  
BETWEEN VEHICLE AND MOTORCYCLE

**DIZERTAČNÍ PRÁCE**

DOCTORAL THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Ing. Petr Slepánek

**ŠKOLITEL**

SUPERVISOR

Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání dizertační práce

Student: **Ing. Petr Slepánek**  
Studijní program: Soudní inženýrství  
Studijní obor: Soudní inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Albert Bradáč, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18  
Ústav/odbor: Ústav soudního inženýrství

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

## **Komplexní systém pro analýzu silničních nehod typu střet vozidla s motocyklem**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Úkolem doktoranda je provést analýzu současného stavu řešení problematiky dopravních nehod jiných vozidel s motocykly. Statisticky vyhodnotit četnost vzniku těchto nehod z hlediska příčin jejich vzniku. Navrhnout vhodnou kategorizaci z hlediska potřeb jejich praktického posuzování a navrhnout vhodné systémově pojaté přístupy pro řešení těchto typů nehod. Při tomto řešení bude zohledněna zavedená kategorizace, důraz bude kladen na úplnost systému podstatných veličin, volbu vstupních údajů do algoritmu řešení a možnosti dalšího experimentálního zjišťování údajů potřebných pro řešení. Tyto poznatky pak budou rozpracovány do vhodných prakticky využitelných postupů pro řešení daného typu silničních nehod.

### **Cíle dizertační práce:**

Cílem práce je na základě analýzy současného stavu poznání v oblasti analýzy střetu vozidla s motocyklem navrhnout systémový přístup pro řešení tohoto typu nehod, vč. vytváření systému podstatných veličin a metod pro zjišťování vstupních údajů.

### **Seznam literatury:**

[1] BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM s.r.o., Brno 1999, ISBN 80-7204-133-9

[2] KASANICKÝ, G., KOHÚT, P.: Analýza nehod jednostopových vozidiel, Žilinská universita v Žilíně, Žilina 2000, ISBN 80-7100-598-3

- [3] BURG, H., MOSER, A. Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion – Unfallaufnahme – Fahrdynamik – Simulation, 1. vydání 2007, Vieweg, ISBN 978-3-8348-0172-2
- [4] VLK, F. Teorie a konstrukce motocyklů, 1. vydání, Brno: František Vlk, 2004, ISBN 80-239-1601-7
- [5] PORADA, V. a kol.: Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha: Linde Praha a.s., 2000, ISBN 80-7201-212-6
- [6] PRIESTER, J.: CD - Nárazové skúšky motocykel – osobné motorové vozidlo, Saarbrücken 2001
- [7] PRIESTER, J., WEYDE, M.: Motocykel – EES – nárazové skúšky 5/2001, Saarbrücken 2001

Termín odevzdání dizertační práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 28. 11. 2017

L. S.

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato dizertační práce popisuje problematiku komplexního systému pro analýzu střetu motocyklu s vozidlem a navrhuje vhodnou metodiku pro řešení tohoto typu střetu. Jsou zde shrnuty dosavadní znalosti v oblasti problematiky nehodovosti motocyklů s vozidly včetně jejich statistik a kategorizace dopravních nehod za účasti motocyklů. Autor statisticky vyhodnocuje nehodovost dle příčin vzniku nehod a navrhuje metodiku pro řešení jednotlivých typů střetů motocyklů s vozidly. Pro doplnění a zpřesnění vstupních údajů pro analýzu silničních nehod za účasti motocyklů je do práce zahrnut soubor vlastních měření provedených na různých typech motocyklů. Práce obsahuje měření jejich zrychlení, zpomalení a vyhýbacího manévru. Vlastní přínos práce představují také vývojové diagramy, nabízející komplexní postup při řešení jednotlivých typů střetů motocyklu s vozidlem.

**Klíčová slova:** střet motocyklu, střet vozidla, dopravní nehoda, nehodovost, pasivní bezpečnost, soudní znalectví

## **ABSTRACT**

This dissertation describes the issue of a complex system for analyzing the collision of a motorcycle with another vehicle and suggests a suitable methodology for solving this type of traffic accident. It summarizes the current knowledge in the field of motorcycle accidents with other vehicles, including their statistics and categorization. The author statistically evaluates accidents by their causes and proposes a methodology for solving individual types of motorcycle collisions with vehicles. To supplement and refine the input data for the analysis of road accidents involving motorcycles, a set of author's own measurements made on different types of motorcycles is included. The thesis contains measurements of their acceleration, deceleration and avoidance maneuvers. Other actual contributions of the thesis are represented also by flowcharts, offering a comprehensive approach to solving individual types of collisions of motorcycles with other vehicles.

**Key words:** motorcycle collision, vehicle collision, traffic accident, accident, passive safety, forensic expertise

***Bibliografická citace***

SLEPÁNEK, P. *Komplexní systém pro analýzu silničních nehod typu střet vozidla s motocyklem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 194 s. Vedoucí dizertační práce: Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

### ***Prohlášení***

Prohlašuji, že jsem dizertační práci zhotovil samostatně pod vedením vedoucího dizertační práce pana Ing. Alberta Bradáče, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 30. 11. 2017

Petr Slepánek

## *Poděkování*

Na tomto místě bych chtěl velice poděkovat vedoucímu dizertační práce panu Ing. Albertu Bradáčovi, Ph.D. za cenné rady, které mi velmi pomohly v řešení dizertační práce. Současně bych chtěl poděkovat všem kolegům, pracovníkům Ústavu soudního inženýrství, za pomoc při zpracování dat a pomoc při samotném měření. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině, přítelkyni a všem svým blízkým za podporu po celou dobu mého studia.

## OBSAH

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÚVOD .....</b>                                                                                                | <b>10</b>  |
| <b>1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU, ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU .....</b>                                             | <b>11</b>  |
| 1.1 Analýza současného stavu .....                                                                               | 11         |
| 1.1.1 Statistiky dopravních nehod podle počtu usmrcených osob .....                                              | 11         |
| 1.1.2 Střet vozidla s motocyklem .....                                                                           | 14         |
| 1.1.3 Vliv bezpečnostních prvků motocyklů .....                                                                  | 62         |
| 1.1.4 Viditelnost motocyklů .....                                                                                | 77         |
| 1.1.5 Statistiky dopravních nehod podle příčin vzniku .....                                                      | 82         |
| 1.1.6 Základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem .....                                            | 88         |
| 1.1.7 Současné metody a postupy pro řešení dopravních nehod .....                                                | 101        |
| 1.2 Zhodnocení současného stavu .....                                                                            | 106        |
| <b>2 CÍLE PRÁCE .....</b>                                                                                        | <b>106</b> |
| <b>3 METODY ŘEŠENÍ .....</b>                                                                                     | <b>107</b> |
| 3.1 Kategorizace dopravních nehod mezi vozidlem a motocyklem .....                                               | 107        |
| 3.1.1 Typ A střet motocyklu s protijedoucím vozidlem .....                                                       | 107        |
| 3.1.2 Typ B střet motocyklu s vozidlem křižujícím hlavní silnici .....                                           | 107        |
| 3.1.3 Typ C střet motocyklu s vozidlem odbočujícím vlevo z vedlejší silnice .....                                | 108        |
| 3.1.4 Typ D střet motocyklu s protijedoucím vozidlem odbočujícím vlevo .....                                     | 109        |
| 3.1.5 Typ E střet předjíždějícího motocyklu s vozidlem, které odbočuje vlevo (vozidlo jede stejným směrem) ..... | 109        |
| 3.1.6 Typ F střet motocyklu s vozidlem jedoucím stejným směrem (nedobrzdnění) .....                              | 110        |
| 3.2 Metody řešení střetu mezi vozidlem a motocyklem – typ A, F .....                                             | 110        |
| 3.2.1 Postřet .....                                                                                              | 110        |
| 3.2.2 Střet .....                                                                                                | 116        |
| 3.2.3 Předstřet .....                                                                                            | 124        |
| 3.3 Metody řešení střetu mezi vozidlem a motocyklem – typ B, C, D, E .....                                       | 129        |
| 3.3.1 Postřet .....                                                                                              | 129        |
| 3.3.2 Střet .....                                                                                                | 129        |
| 3.3.3 Předstřet .....                                                                                            | 136        |
| <b>4 HODNOTY VSTUPNÍCH VELIČIN PRO TECHNICKOU ANALÝZU .....</b>                                                  | <b>137</b> |
| 4.1 Měření zrychlení a zpomalení motocyklů .....                                                                 | 137        |
| 4.1.1 Měřicí zařízení .....                                                                                      | 137        |
| 4.1.2 Měřené motocykly .....                                                                                     | 137        |
| 4.1.3 Místo měření .....                                                                                         | 138        |
| 4.1.4 Klimatické podmínky .....                                                                                  | 138        |
| 4.1.5 Výsledky měření .....                                                                                      | 138        |
| 4.1.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot .....                                                                    | 141        |
| 4.2 Měření zrychlení motocyklů na jednotlivé převodové stupně (sólo/spolujezdec) .....                           | 142        |
| 4.2.1 Měřicí zařízení .....                                                                                      | 142        |
| 4.2.2 Měřené motocykly .....                                                                                     | 142        |
| 4.2.3 Místo měření .....                                                                                         | 143        |
| 4.2.4 Klimatické podmínky .....                                                                                  | 143        |
| 4.2.5 Výsledky měření .....                                                                                      | 143        |
| 4.2.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot .....                                                                    | 145        |
| 4.3 Měření brzdného zpomalení motocyklů .....                                                                    | 145        |
| 4.3.1 Měřicí zařízení .....                                                                                      | 145        |



|          |                                                                                |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.2    | Měřené motocykly.....                                                          | 146        |
| 4.3.3    | Místo měření.....                                                              | 146        |
| 4.3.4    | Klimatické podmínky .....                                                      | 146        |
| 4.3.5    | Výsledky měření.....                                                           | 146        |
| 4.3.6    | Celkové shrnutí naměřených hodnot.....                                         | 148        |
| 4.4      | Měření příčného přemístění motocyklu.....                                      | 148        |
| 4.4.1    | Měřicí zařízení.....                                                           | 148        |
| 4.4.2    | Měřený motocykl .....                                                          | 149        |
| 4.4.3    | Místo měření.....                                                              | 149        |
| 4.4.4    | Počet měření .....                                                             | 150        |
| 4.4.5    | Klimatické podmínky .....                                                      | 150        |
| 4.4.6    | Postup měření .....                                                            | 150        |
| 4.4.7    | Montáž XL METRU™ PRO GAMMA na motocykl.....                                    | 150        |
| 4.4.8    | Výsledky měření.....                                                           | 151        |
| 4.5      | Měření zrychlení vozidel při rozjezdu na první a druhý rychlostní stupeň ..... | 154        |
| 4.5.1    | Měřicí zařízení.....                                                           | 154        |
| 4.5.2    | Měřená vozidla .....                                                           | 154        |
| 4.5.3    | Místo měření.....                                                              | 155        |
| 4.5.4    | Počet měření .....                                                             | 155        |
| 4.5.5    | Klimatické podmínky měření .....                                               | 155        |
| 4.5.6    | Postup měření .....                                                            | 155        |
| 4.5.7    | Výsledky měření.....                                                           | 156        |
| 4.5.8    | Porovnání hodnot .....                                                         | 157        |
| <b>5</b> | <b>POSTUPY PRO ŘEŠENÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ DOPRAVNÍCH NEHOD.....</b>              | <b>158</b> |
| 5.1      | Postup řešení – typ A, F.....                                                  | 158        |
| 5.1.1    | Postřet.....                                                                   | 159        |
| 5.1.2    | Střet .....                                                                    | 163        |
| 5.1.3    | Předstřet.....                                                                 | 164        |
| 5.2      | Postup řešení – typ B, C, D, E .....                                           | 171        |
| 5.2.1    | Postřet.....                                                                   | 172        |
| 5.2.2    | Střet .....                                                                    | 172        |
| 5.2.3    | Předstřet.....                                                                 | 173        |
| 5.3      | Postup řešení dopravní nehody pomocí simulačního programu .....                | 173        |
| 5.3.1    | Podrobné zaměření místa dopravní nehody .....                                  | 174        |
| 5.3.2    | Osnova vyšetřovacího pokusu, resp. znaleckého experimentu .....                | 174        |
| 5.3.3    | Zadání vstupních podkladů .....                                                | 175        |
| 5.3.4    | Řešení střetu .....                                                            | 177        |
| 5.3.5    | EES.....                                                                       | 180        |
| 5.3.6    | GEV.....                                                                       | 181        |
| 5.3.7    | Předstřetový pohyb.....                                                        | 181        |
| 5.3.8    | Analýza nehodového děje v jednotném čase.....                                  | 182        |
| 5.3.9    | Analýza možnosti odvrácení střetu .....                                        | 182        |
| <b>6</b> | <b>ZÁVĚR.....</b>                                                              | <b>183</b> |
|          | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                                                     | <b>185</b> |
|          | <b>LITERATURA .....</b>                                                        | <b>186</b> |

## ÚVOD

Dopravní nehody s účastí motocyklistů patří dlouhodobě mezi ty nejzávažnější. K největšímu počtu zranění mezi účastníky silničního provozu dochází mezi chodci, cyklisty a motocyklisty. Jejich střet s vozidlem nebo pevnou překážkou končí v lepším případě těžkým zraněním, v horším případě smrtí.

Ze statistik vyplývá, že závažnost nehod je nejvyšší v případě motocyklů, a to více než trojnásobně v porovnání s osobním vozidlem. Zatímco hodnota ukazatele závažnosti všech dopravních nehod v České republice v roce 2015 představovala 7,1 usmrcených osob připadajících na 1 000 nehod, nejvyšší hodnotu vykazoval ukazatel u nehod zaviněných řidiči motocyklů, kde na 1 000 nehod připadalo 30 úmrtí.

Analýza nehodového děje je velmi složitý proces, při kterém je nutné používat současné metody a postupy. V současné době se pro analýzu nehodového děje používají simulační programy, avšak i zde je za správnost výsledků odpovědný sám znalec. Přesnost výsledků je závislá na vhodně zvolené metodě řešení a co nejpřesněji zadaných vstupních parametrech, které musí být v technicky přijatelných mezích. Problém představuje stále zcela nedostatečný a nekomplexní přístup k řešení dopravních nehod za účasti motocyklů, kdy by bylo potřeba zavést konkrétní metody a postupy pro řešení jednotlivých typů nehod podle příčin jejich vzniku. Tato práce si proto klade za cíl tuto mezeru v současném stavu poznání vyplnit a navrhnout komplexní systém vyhodnocování dopravních nehod motocyklu s vozidlem.

V teoretické části práce je provedena analýza současného stavu, popisující statistiky dopravních nehod podle příčin jejich vzniku. Na základě různých střetových poloh je zde pak zavedena kategorizace dopravních nehod. Dále jsou v práci zpracovány současné metody a postupy pro řešení jednotlivých typů dopravních nehod mezi vozidly a motocykly.

V experimentální části práce je proveden soubor různých měření, který slouží k doplnění a zpřesnění vstupních údajů pro analýzu silničních nehod za účasti motocyklů. Naměřená data mohou být užitečná pro kvalitní zpracování znaleckých posudků.

# 1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU, ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

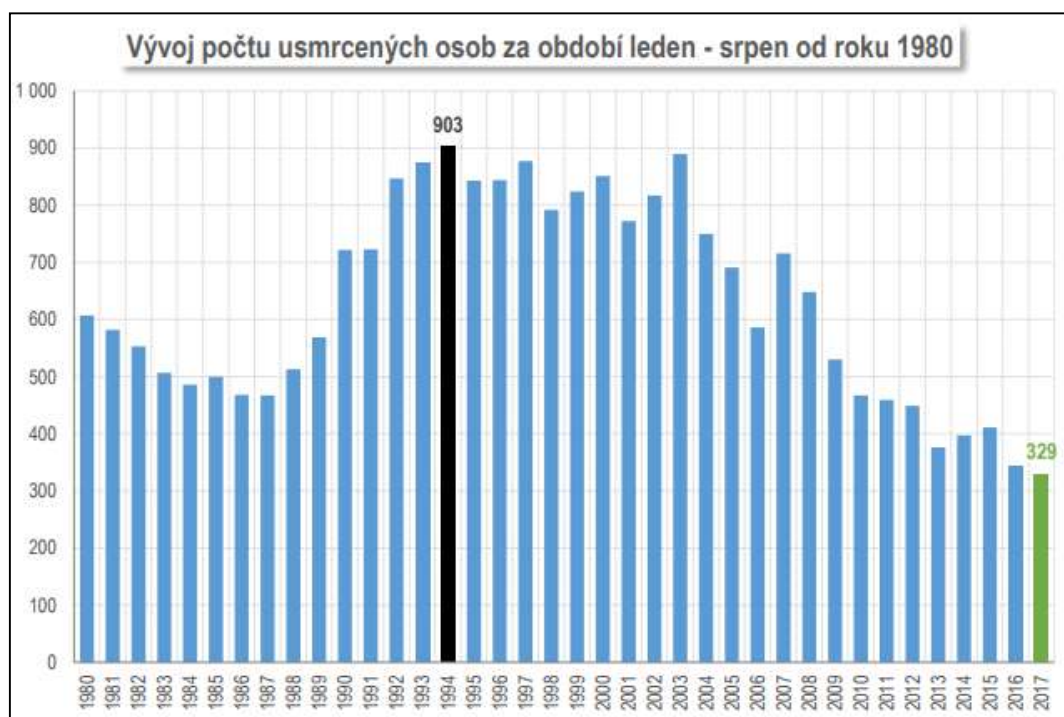
## 1.1 Analýza současného stavu

### 1.1.1 Statistiky dopravních nehod podle počtu usmrcených osob

#### *1.1.1.1 Statistiky dopravních nehod v ČR za období leden – srpen 2017*

Ředitelství služby dopravní policie České republiky [101] od ledna do srpna roku 2017 šetřilo 66 991 nehod, při kterých bylo 329 osob usmrceno, 1 523 osob zraněno těžce a 16 378 osob zraněno lehce.

V období od ledna do srpna letošního roku bylo při dopravních nehodách na pozemních komunikacích usmrceno 113 řidičů osobního vozidla, 59 chodců, 50 spolujezdců v osobním vozidle, 48 řidičů motocyklů, 32 cyklistů atd.



Graf 1: Vývoj počtu usmrcených osob v ČR za období leden až srpen od roku 1980 [101]

Počet usmrcených osob ve sledovaném období roku 2017 je nejnižší od roku 1980. Nejvíce usmrcených bylo v roce 1994 (903 usmrcených osob).

| Nehody podle druhu vozidla   | počet nehod |
|------------------------------|-------------|
| moped                        | 54          |
| malý motocykl                | 68          |
| motocykl                     | 1 348       |
| osobní automobil bez přívěsu | 33 421      |
| osobní automobil s přívěsem  | 314         |
| nákladní automobil           | 5 210       |

Tab. 1: Přehled počtu nehod podle vozidla viníka za období leden až srpen 2017 [101]

#### 1.1.1.2 Statistiky dopravních nehod v ČR za rok 2016

Ředitelství služby dopravní policie České republiky [101] v roce 2016 šetřilo 98 864 nehod, při kterých bylo 545 osob usmrceno, 2 580 osob zraněno těžce a 24 501 osob zraněno lehce.

| ROK  | POČET NEHOD | USMRCENO | TĚŽCE ZRANĚNO | LEHCE ZRANĚNO |
|------|-------------|----------|---------------|---------------|
| 2010 | 75 522      | 753      | 2 823         | 21 610        |
| 2011 | 75 137      | 707      | 3 092         | 22 519        |
| 2012 | 81 404      | 681      | 2 986         | 22 590        |
| 2013 | 84 398      | 583      | 2 782         | 22 577        |
| 2014 | 85 859      | 629      | 2 762         | 23 655        |
| 2015 | 93 067      | 660      | 2 540         | 24 427        |
| 2016 | 98 864      | 545      | 2 580         | 24 501        |

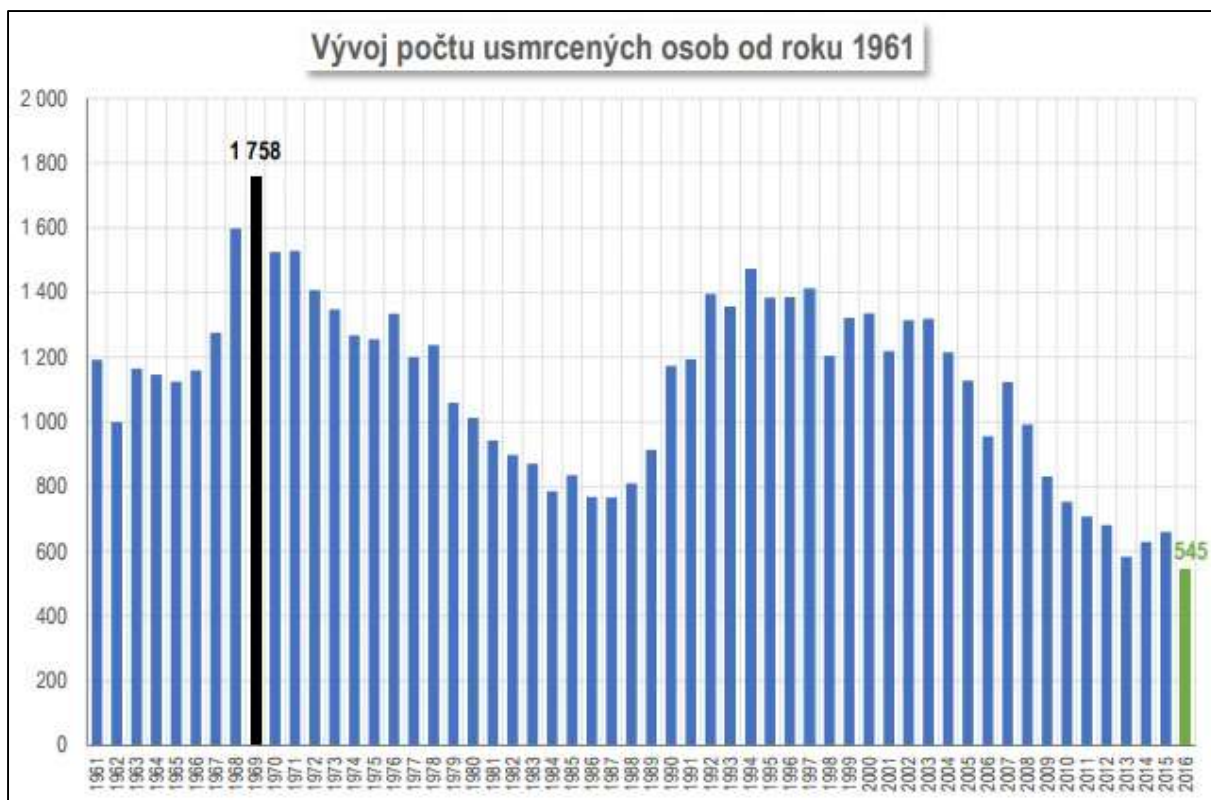
Tab. 2: Porovnání počtu nehod a jejich následků od roku 2010 (počty usmrcených osob odpovídají stavu zjištěnému do 24 hodin po nehodě) [101]

| Stát               | Počet usmrcených,<br>2015 | 2015 * | 2016 ** |
|--------------------|---------------------------|--------|---------|
| Belgie             | 732                       | 65     | 56      |
| Bulharsko          | 708                       | 98     | 98      |
| Česká republika    | 734                       | 70     | 59      |
| Dánsko             | 178                       | 31     | 37      |
| Německo            | 3 459                     | 43     | 39      |
| Estonsko           | 67                        | 51     | 54      |
| Irsko              | 166                       | 36     | 40      |
| Řecko              | 793                       | 73     | 75      |
| Španělsko          | 1 689                     | 36     | 37      |
| Francie            | 3 461                     | 54     | 54      |
| Chorvatsko         | 348                       | 82     | 73      |
| Itálie             | 3 428                     | 56     | 54      |
| Kypr               | 57                        | 67     | 54      |
| Lotyšsko           | 188                       | 95     | 80      |
| Litva              | 242                       | 83     | 65      |
| Lucembursko        | 36                        | 64     | 52      |
| Maďarsko           | 644                       | 65     | 62      |
| Malta              | 11                        | 26     | 51      |
| Nizozemsko         | 531                       | 31     | 31      |
| Rakousko           | 479                       | 56     | 49      |
| Polsko             | 2 938                     | 77     | 79      |
| Portugalsko        | 593                       | 57     | 54      |
| Rumunsko           | 1 893                     | 95     | 97      |
| Slovinsko          | 120                       | 58     | 63      |
| Slovensko          | 310                       | 57     | 50      |
| Finsko             | 266                       | 49     | 45      |
| Švédsko            | 259                       | 27     | 27      |
| Spojené Království | 1 804                     | 28     | 28      |
| EU                 | 26 134                    | 52     | 50      |

\* počet usmrcených osob při nehodách na 1 milion obyvatel, konečná data  
\*\* počet usmrcených osob při nehodách na 1 milion obyvatel, předběžné údaje, konečná data zatím nejsou k dispozici

Tab. 3: Mezinárodní porovnání počtu usmrcených osob (počty usmrcených osob odpovídají stavu zjištěnému do 30 dnů po nehodě) [101]

V roce 2016 bylo při dopravních nehodách na pozemních komunikacích usmrceno 209 řidičů osobních automobilů, 111 chodců, 91 spolujezdců v osobním vozidle, 59 řidičů motocyklů, 39 cyklistů atd.



Graf 2: Vývoj počtu usmrcených osob v ČR od roku 1961 [101]

Počet osob usmrcených při nehodách byl za rok 2016 nejnižší od roku 1961, naopak nejvíce osob bylo při dopravních nehodách usmrceno v roce 1969 (1 758 usmrcených osob). V roce 2015 bylo usmrceno o 115 osob více.

| Nehody podle druhu vozidla   | počet nehod |
|------------------------------|-------------|
| moped                        | 108         |
| malý motocykl                | 111         |
| motocykl                     | 1 609       |
| osobní automobil bez přívěsu | 51 681      |
| osobní automobil s přívěsem  | 488         |
| nákladní automobil           | 7 507       |

Tab. 4: Přehled počtu nehod podle vozidla viníka za rok 2016 [101]

### 1.1.2 Střet vozidla s motocyklem

Analýza silničních nehod je velmi přehledně a podrobně popsána v literatuře BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, Brno 1999 [1], kde hned v úvodu jsou uvedeny tři základní prvky nehodového systému – člověk (řidič), stroj (vozidlo, motocykl) a prostředí (silnice a okolí).

Kapitola základy mechaniky při analýze silničních nehod popisuje základní veličiny a vztahy mezi nimi, pohybové zákony, síly a jízdní odpory působící na vozidlo. Samotnou analýzu střetu lze provést početně, graficky nebo kombinací obou metod, k tomu je nezbytná znalost zákonů zachování energie, hybnosti, točivosti a zákona akce a reakce. V literatuře je popsána analýza nehod motocyklů, která velmi úzce souvisí s touto dizertační prací. Velikost zpomalení motocyklu zadní brzdou (se zanechanou dlouhou rovnou brzdou stopou) byla v rozmezí 3,0 až 4,5 m.s<sup>-2</sup>, při brzdění oběma brzdami 6,0 až 9,0 m.s<sup>-2</sup>. Dále bylo měřeno zpomalení při sunutí po pádu, motocyklista na asfaltu 6,4 až 10,4 m.s<sup>-2</sup>, motocykl na asfaltu 3,3 až 7,4 m.s<sup>-2</sup>, na dlažbě 3,0 až 7,0 m.s<sup>-2</sup>, na trávě při 20 km/h nejméně 5,0 m.s<sup>-2</sup>, při 40 km/h a vyšší nejméně 8,0 m.s<sup>-2</sup> (hodnoty mohou být i výrazně vyšší podle druhu terénu).

V úvodní části literatury KASANICKÝ, G., KOHÚT, P.: Analýza nehôd jednostopových vozidel, Žilina 2000 [2] jsou uvedeny statistiky dopravních nehod motocyklů a dalších jednostopých vozidel. Článek dále popisuje aktivní a pasivní prvky bezpečnosti, kde je znázorněn princip airbagu motocyklu v případě bočního nárazu do vozidla. V kapitole Analýza nehod jednostopých vozidel je vypracován diagram rozdělení nehod motocyklů, fáze nehodového děje a graficky jsou znázorněny jednotlivé fáze střetu motocyklu s vozidlem, konkrétně pro čelní střet motocyklu s vozidlem, náraz vozidla do motocyklu zezadu, náraz vozidla do motocyklu zboku, náraz motocyklu do vozidla zboku (45° a 90°) s následným nárazem hlavy motocyklisty do střechy vozidla nebo následným pohybem motocyklisty přes přední kapotu. Pod záštitou Ústavu súdneho inžinierstva Žilinskej univerzity byly vykonány jízdní zkoušky motocyklů. Pomocí XL Metru<sup>TM</sup> bylo měřeno maximální brzděné zpomalení (při zachování plné směrové stability bez zablokování kol) na různých motocyklech. Brzděné zpomalení se pohybovalo v rozmezí 5,38 až 9,21 m.s<sup>-2</sup>. Na polském Instytutu Ekspertyz Sadowych byly provedeny zkoušky různých motocyklů. Při brzdění zadní brzdou (se zanecháním brzděné stopy) byly hodnoty v rozmezí 4,4 až 7,3 m.s<sup>-2</sup> a při brzdění oběma brzdami se zablokováním obou kol byly hodnoty v rozmezí 9,7 až 9,81 m.s<sup>-2</sup>. ÚSI ŽU měřil zpomalení na malém motocyklu (Jawa Babeta 210). Zpomalení na suchém asfaltě bylo 4,1 až 4,3 m.s<sup>-2</sup> (obě brzdy), 1,7 až 1,9 m.s<sup>-2</sup> (přední brzda) a 2,5 až 2,6 m.s<sup>-2</sup> (zadní brzda). Zpomalení na mokřím asfaltě činilo 3,4 až 4,2 m.s<sup>-2</sup> (obě brzdy), 1,6 m.s<sup>-2</sup> (přední brzda) a 2,2 až 2,3 m.s<sup>-2</sup> (zadní brzda). Dále ÚSI ŽU měřil příčné přemístění malého motocyklu Simson Skútr a dalších motocyklů. Cílem měření bylo vyhodnotit trajektorii pohybu při

konstantní rychlosti motocyklu 20, 30 a 35 km/h, kdy hodnota bočního přemístění byla 1,2,3 a 4 m. Dále bylo vykonáno příčné přemístění při velmi rychlém jízdním manévru. Výsledkem měření bylo vyhodnocení trajektorie pohybu motocyklu. Rovněž bylo zkoumáno natočení řídítek do opačného směru před započítím vyhýbacího manévru, které bylo patrné až při vyšších rychlostech (při 30 km/h pouze od předního kola, při 35 km/h i od zadního). V literatuře je i zmínka o zrychlení motocyklů (od 50 do 1000 ccm) v porovnání se zrychlením vozidel. Při pomalém rozjezdu bylo zrychlení v rozmezí 1,5 až 2,5 m.s<sup>-2</sup>, přinormálním rozjezdu 2,5 až 3,5 m.s<sup>-2</sup> a při rychlém až do 6,5 m.s<sup>-2</sup>. Hodnoty zrychlení motocyklu v zatáčce pro normální rozjezd činily 1,5 až 3,0 m.s<sup>-2</sup> a pro rychlý 2,0 až 3,5 m.s<sup>-2</sup>. Za účelem stanovení průměrného zpomalení smýkajícího se motocyklu na vozovce byl pod vedením Tonyho Fostera v Tangmere a Hootone proveden soubor 22 měření při rychlostech 42 až 69 km/h, při němž byla zjištěna hodnota zpomalení 2,7 až 4,9 m.s<sup>-2</sup> (u kapotovaných motocyklů byly hodnoty spíše nižší). Hodnota středního zpomalení motocyklu na trávě se může pohybovat ve velmi širokém rozpětí od 6,9 až do 24,4 m.s<sup>-2</sup>, a to v závislosti na struktuře povrchu a konstrukci motocyklu.



*Obr. 1: Náraz motocyklu do boku vozidla [2]*

Citovaná literatura obsahuje rozsáhlý soubor nárazových zkoušek jednostopých vozidel, kde byl motocykl i s dummy figurínou uchycen do speciálně navrženého vozíku vedeného pomocí dvou ocelových lan. Samotné zrychlení bylo realizováno pomocí lana na bungee jumping. Předmětem zkoušek byly různé střetové polohy mezi vozidlem a motocyklem, které vycházely ze statistik reálných dopravních nehod.

HUGEMANN, W.: Unfall rekonstruktion, 2007 [7] je velmi přehledná a podrobná příručka pro rekonstrukci dopravních nehod a zpracování znaleckých posudků. Literatura je doplněna provedenými Crash testy a názornými ukázkami z reálných dopravních nehod. Najdeme v ní



rovněž simulace jednotlivých nehod. Obsahuje velké množství vstupních parametrů nezbytných pro zpracování znaleckých posudků.

V knize RÁBEK, V.: Vybrané postupy analýzy dopravních nehod, 2009 [17] je zmínka o zpomalení a mechanismu počínajícího pádu motocyklu, zahrnující jednotlivé sekvence brzdění, zanechané brzdné stopy motocyklu a provedené brzdné zkoušky čtyř motocyklů. Byly zde porovnávány šířky brzdných (smykových neboli blokovacích) stop (při použití přední brzdy, zadní brzdy a obou brzd současně) oproti normálním šířkám kontaktních ploch pneumatik s vozovkou. Motocykl Suzuki GSX 600 měl normální šířku kontaktní plochy zadní pneumatiky 8 cm, při brzdění pouze zadním kolem dosahoval motocykl zpomalení  $4 \text{ m.s}^{-2}$  a šířka blokovací stopy byla užší, a to 6,2 cm. Při brzdění pouze přední brzdou se zpomalení zvyšovalo až do hodnoty cca  $8 \text{ m.s}^{-2}$ , normální šířka kontaktní plochy přední pneumatiky činila 6 cm, zanechána byla blokovací stopa široká 7 cm s místem zúžení na 5,8 cm. Toto zúžení vzniklo pravděpodobně následkem kmitání. Pokud motocykl brzdil oběma brzdami, zpomalení dosahovalo maximální hodnoty  $9 \text{ m.s}^{-2}$ , zanechání stop pak od hodnoty  $6,2 \text{ m.s}^{-2}$ . Při současném brzdění obou brzd vzniká výraznější dynamické přerozdělení radiálních zatížení obou kol, které vede k odlehčení zadního kola motocyklu a naopak přetížení předního kola, z čehož vyplývá širší brzdná stopa oproti normální šířce kontaktní plochy. Proto byla šířka blokovací stopy zadního kola jen 3,8 cm, oproti 6,2 cm při brzdění pouze zadní brzdou. Dále kniha popisuje průběh převržení a fáze smýkání motocyklu, včetně provedených zkoušek. V rámci převržení byla zkoumána doba pádu motocyklu z jeho dynamického, resp. jízdního stavu. Motocykl byl veden pomocí vodícího vozíku, nakloněn o  $10^\circ$  doleva (tím směrem směřoval pád) a se zablokováním předním kolem motocyklu, které přišlo do kontaktu s vozovkou až při opuštění vozíku. Byl proveden soubor čtyř testů při rychlostech motocyklů 31 až 53 km/h. Mezi okamžikem uvolnění motocyklu z vodícího vozíku a okamžikem kontaktu stupačky či bloku motoru (vznik dřecí stopy) motocyklu s vozovkou uplynulo přibližně 0,35 až 0,7 s. Pokus smýkání motocyklů byl proveden na třech motocyklech, které byly zavěšeny na speciální konstrukci vozidla v nepatrné výšce nad vozovkou a následně z různých rychlostí puštěny na vozovku. Sledovalo se zpomalení při sunutí do konečné polohy. Dalším testem bylo měření tažné síly pomocí siloměru, kdy byl motocykl tažen po vozovce za vozidlem. Motocykly převržené ze svislé polohy dosahují

vyšších hodnot zpomalení při sunutí (oproti motocyklům upuštěným na vozovku z nepatrné výšky), bylo by tedy možno očekávat menší dráhu sunutí.

SEMELA, M.: Analýza silničních nehod I, 2012 [13] obsahuje úvod do analýzy silničních nehod, kde jsou popsány základní veličiny a jednotky, základní vztahy, pohybové zákony, síly působící na vozidlo, apod. V literatuře jsou rovněž uvedeny diagramy používané při analýze silničních nehod a také je zde rozvedena problematika řešení příčného přemístění.

Práce SEMELA, M.: Analýza silničních nehod II, 2012 [8] popisuje mechaniku střetu vozidel, kde je zmínka o kompresní a restituční fázi střetu, koeficientu restituce, součiniteli tření v rázu, ekvivalentní energetické rychlosti (EES), atd. Dále zde nalezneme grafické metody analýzy silničních nehod a stanovení EES. Kapitola 6 obsahuje nehody za účasti motocyklů. Zde jsou popsány jednotlivé fáze střetu, nejčastější typy dopravních nehod a jejich příčiny. V postřetové fázi je řešena doba pádu motocyklu a sunutí, resp. dření motocyklu a motocyklisty po vozovce. Doba pádu v závislosti na výchozí rychlosti dosahuje 0,35 až 0,7 s. Na základě měření, kdy byl motocykl táhnut na laně nebo vyhozen z plošiny, bylo zpomalení během sunutí v rozmezí 3,5 až 5,8  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Zde závisí na typu motocyklu a charakteru povrchu, např. na trávě bylo během sunutí dosaženo zpomalení 9 až 11  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  a s rostoucí rychlostí zpomalení klesá. Z rychlosti max. 40 km/h může zpomalení dosahovat hodnoty více než 6  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Zpomalení sunutí motocyklisty (zde opět záleží na druhu oblečení) dosahuje zpravidla větších hodnot, tj. motocyklista v motocyklovém nebo koženém obleku 8 až 12  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ , pro porovnání běžně oblečený chodec 5 až 7  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Úhel pohybu motocyklisty po střetu dosahuje max. 15 až 25 °, v případě spolujezdce 18 až 45°. Spolujezdec se pohybuje po zádech motocyklisty a dopadá zpravidla dále.

Při řešení střetové fáze je rozhodujícím faktorem zkrácení rozvoru a celkové délky motocyklu. Při nárazu motocyklu do boku stojícího vozidla byla formulována lineární závislost zkrácení rozvoru (13 cm odpovídalo rychlosti 31 km/h a 33 cm odpovídalo cca 64 km/h). V případě jedoucího vozidla byly hodnoty nižší (33 cm by odpovídalo cca 57 km/h). Hodnoty EES byly zjišťovány pomocí pokusů, v nichž byly motocykly na kyvadle vrhány proti zdi. Do hodnoty EES 10 km/h nedocházelo k viditelné deformaci vidlice,

v rozmezí 10 až 30 km/h dochází k viditelné deformaci vidlice a u hodnot blízkých 30 km/h a více dochází k poškození rámu a bloku motoru.

Předstřetová fáze zkoumá s výjimkou konstantní rychlosti průběh zrychlení a zpomalení. Hodnoty zrychlení motocyklů bez spolujezdce jsou pro normální rozjezd 3 až 3,5 m.s<sup>-2</sup> a pro maximální rozjezd 4 až 7 m.s<sup>-2</sup>. Při plném osazení mohou být hodnoty o třetinu nižší. Zpomalení motocyklů dosahuje 7,6 až 9,5 m.s<sup>-2</sup>, na mokré vozovce okolo 7,5 m.s<sup>-2</sup>. V případě duálních brzdových systémů byly hodnoty 7,5 až 8,0 m.s<sup>-2</sup>.

BURG, H., MOSER, A.: Handbook of accident reconstruction, 2014 [6] je poslední a nejaktuálnější verze příručky pro rekonstrukci nehod. Je rozdělena na tři části. První popisuje různé oblasti pro rekonstrukci dopravních nehod, uvádí metody použitelné pro rekonstrukci nehod a zmiňuje základní teorii. Dále jsou zde popsána vhodná měřicí zařízení. Druhá část rozebírá reálné nehody, popisuje jednotlivé kroky rekonstrukce nehod a vysvětluje aplikaci teorie a různých modelů do praxe. Ve třetí části se nachází speciální tematika týkající se činnosti znalců dopravních nehod.

Jedna z prvních zmínek o problematice střetu mezi vozidlem a motocyklem se řešila v bezpečnostním výzkumu v USA v publikaci INOUE, T., MIURA, et al.: Experimental Collision Test on Motorcycles with Passenger Cars, Japan 1969 [30].

Následovala publikace SEVERY, D., BRINK, H., BLAISDELL, D.: Motorcycle Collision Experiments, Michigan 1970 [31], která byla prezentována na konferenci nehod vozidel.

Na druhém mezinárodním kongresu o bezpečnosti automobilů byla prezentována publikace PETERSON, H., BOTHWELL, P.: Dynamics of Motorcycle Impacts, San Francisco 1973 [33], zaměřená na téma bezpečnosti motocyklu a rekreačního vozidla.

Článek GRANDEL, J., SCHAPER, D.: Motorcycle Collisions with Passenger Cars – Analyses of Impact Mechanism, Kinematics, and Effectiveness of Full Face Safety Helmets,

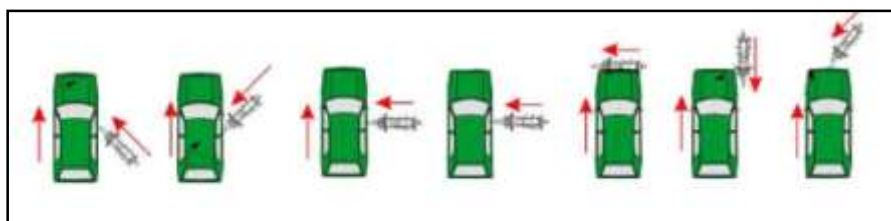
Michigan 1985 [34] pojednává o analýze střetu mezi vozidlem a motocyklem, kinematice a také efektivnosti použití celoobličejové ochranné helmy.

Publikace BERG, F.: Unfallsimulationen mit Motorrädern und Personenkraftwagen, Germany 1988 [35] popisuje simulaci nehod mezi vozidly a motocykly. Autoři provedli soubor celkem 18 simulací střetu osobních automobilů a motocyklů s dummy figurínou. Simulace byly realizovány podle předložených dopravních nehod. Experimenty byly dále připraveny pro analýzu s použitím airbagů, ve spojení s ochranou proti nárazu nohu.

Článek HAPPIAN-SMITH, J., CHINN, B.: Simulation of airbag restraint systems in forward impacts of motorcycles, Detroit 1990 [36] popisuje testy, v nichž byly analyzovány tři různé typy motocyklů vybavených airbagem. Cílem bylo dosažení co největšího zadržení motocyklisty airbagem a stejně tak snížení jeho rychlosti. Výsledky ukázaly, že plné zadržení motocyklisty nebylo možné při rychlostech vyšších než 30 MPH (cca 48 km/h), ačkoli snížení rychlosti motocyklisty a usměrnění jeho trajektorie bylo prospěšné.

Autor Van Driessche, H., "Development of an ISO Standard for Motorcycle Research Impact Test Procedures," 14th ESV, 1994 [96] vytvořil první standard ISO 13232 za účelem analýzy pasivní bezpečnosti motocyklů.

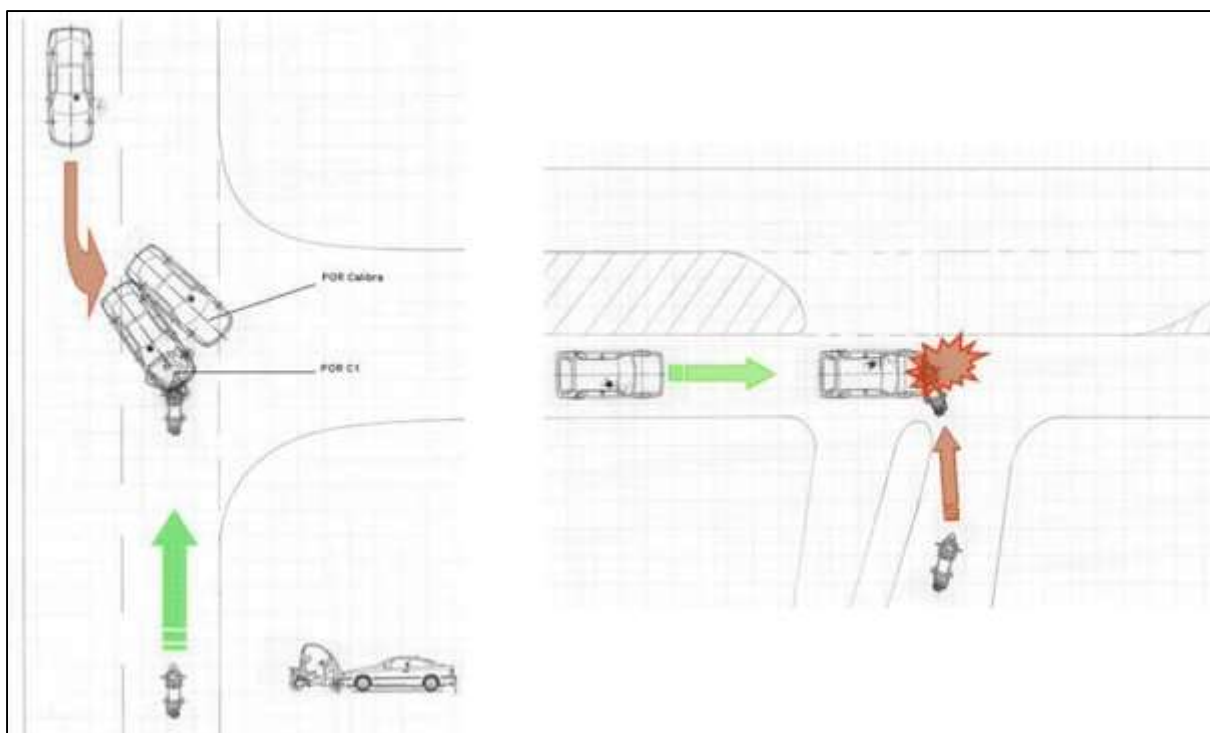
Norma International Standards Organisation: ISO 13232: Motorcycles – Test and Analysis Procedures for Research Evaluation of Rider Protective Devices fitted to Motorcycles, 1996 [48] popisuje zkušební metody popsané v ISO 13232, které byly úspěšně aplikovány v různých výzkumných projektech.



Obr. 2: Sedm základních typů testů srážek motocyklu a vozidla [48]

Normou se řídí výrobci motocyklů a mopedů na celém světě. V současné době je tato norma základem pro posuzování pasivní bezpečnosti motocyklistů. Norma obsahuje sedm definovaných testovaných konfigurací mezi vozidlem a motocyklem. Budoucí zlepšení a návrhy v oblasti bezpečnosti motocyklů přispějí k dalšímu vývoji této normy.

Článek OSENDORFER, H., RAUSCHER, S.: The development of a new class of two-wheeler vehicles, Geneve 1996 [4] popisuje první motocykl vybavený bezpečnostním hliníkovým rámem - BMW C1, který chrání motocyklisty v případě dopravních nehod. Motocykl je vybaven prvky k absorbování energie a bezpečnostními pásy, v některých zemích byl schválen pro provoz bez použití bezpečnostní přilby. Firma BMW analyzovala několik stovek dopravních nehod z hlediska střetových poloh mezi motocyklem a vozidlem. Nejčastější byly čelní střety (42 %), následovaly boční střety různé od 90° (18 %), boční střety blízké 90° (4 %), střet zezadu (2 %), pády (10 %) a ostatní (24 %). Mezi nejčastější objekty střetu s motocyklem byla osobní vozidla (49 %), nákladní vozidla a autobusy (7 %), motocykly (5 %), chodci (1 %) a ostatní (38 %). V článku je provedeno mnoho simulací a testů bočního nárazu motocyklů do vozidla, které byly provedeny na základě 7 crash testů podle normy ISO 13232. Prvním byl BMW C1 s ochranným rámem, pásy a deformačními prvky s dummy figurínou bez přilby. Druhým byl BMW C0 bez ochranného rámu, pásů a deformačních prvků s dummy figurínou s přilbou. Rychlost motocyklu byla 48 km/h a vozidla 24 km/h (ISO 13232 - konfigurace ISO 143). V případě motocyklu BMW C0 motocyklista (dummy figurína) narazil hlavou do střechy vozidla, zatímco u motocyklu BMW C1 zůstal připoutaný na sedadle motocyklu a jeho hlava byla chráněna deformačními prvky v oblasti hlavy. V závěru článku jsou popsány dvě reálné dopravní nehody. V prvním případě se jednalo o téměř čelní střet motocyklu BMW C1 jedoucího po hlavní silnici s odbočujícím vozidlem Opel Calibra (úhel střetu cca 140°). Motocykl se kutálel (přetočil kolem příčné osy) až k čelnímu sklu vozidla. Rychlost motocyklu byla přibližně 50 km/h, rychlost vozidla pak přibližně 20 km/h.

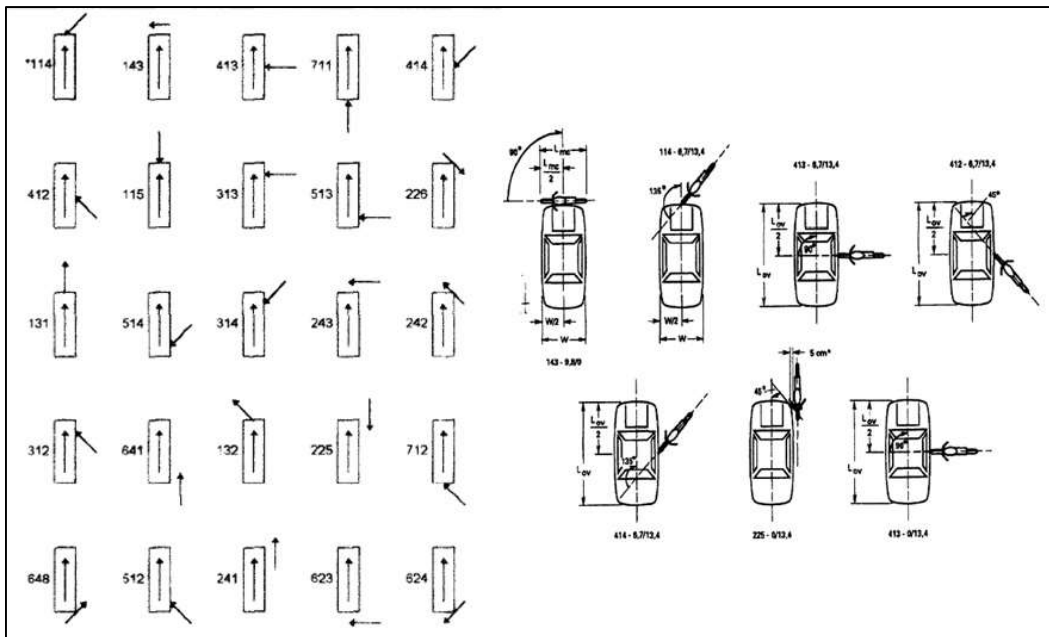


*Obr. 3: Střetová konfigurace vozidla Opel a motocyklu BMW [4]*

Druhý případ popisuje boční náraz vozidla VW Golf jedoucího po hlavní silnici do motocyklu BMW C1, který odbočoval vlevo z vedlejší silnice (úhel střetu cca 100°). Rychlost motocyklu byla přibližně 15 km/h a vozidla přibližně 40 km/h, největší deformace na vozidle byla 150 mm. V obou případech byl motocyklista připoutaný a neměl bezpečnostní přilbu. Utrpěl pouze lehká zranění (tržné rány, pohmožděniny, atd.). Bezpečnostní pásy zadržely tělo motocyklisty uvnitř hliníkového rámu, který nebyl výrazně porušen, a jednotlivé deformační prvky ochránily jeho hlavu před kontaktem s vozidlem či vozovkou. V případě běžného motocyklu by při podobných podmínkách motocyklista utrpěl vážná zranění.

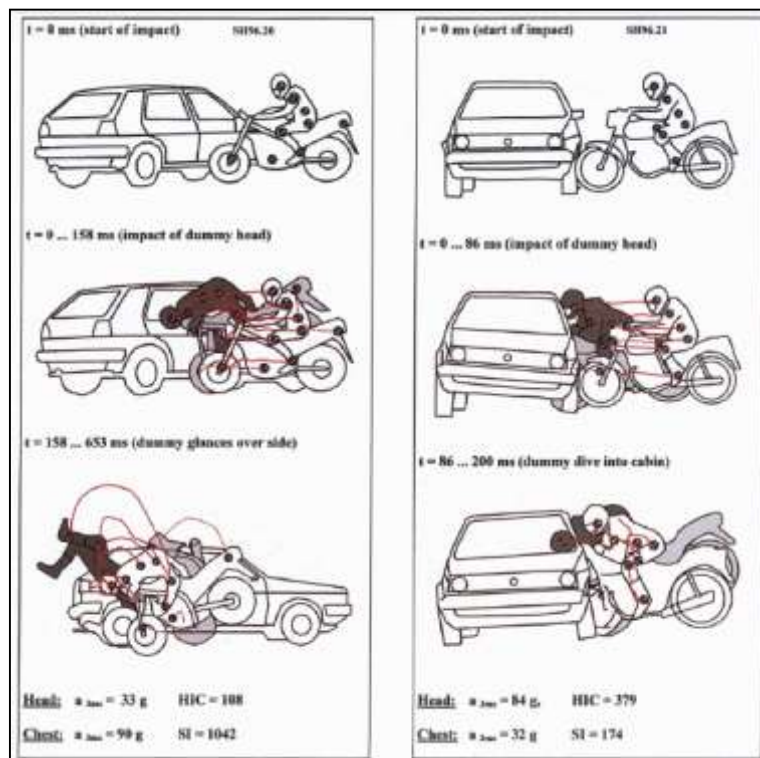
Článek BERG et al.: Analysis of the passive safety of motorcycles using accident investigations and crash test, Germany [68] popisuje analýzu 302 nehod za účasti motocyklů v Německu v období 1989 až 1996. Mezi nimi figurovalo 46 nehod za účasti skútrů. Podle normy ISO 13232 byly provedeny 4 crash testy motocyklu do boku vozidla. Ve dvou testech vozidla stála a v dalších dvou se pohybovala. Byla použita figurína Hybrid III pedestrián Dummy.

Konfigurace střetu motocyklu s vozidlem jsou definovány podle normy ISO / DIS 13232.



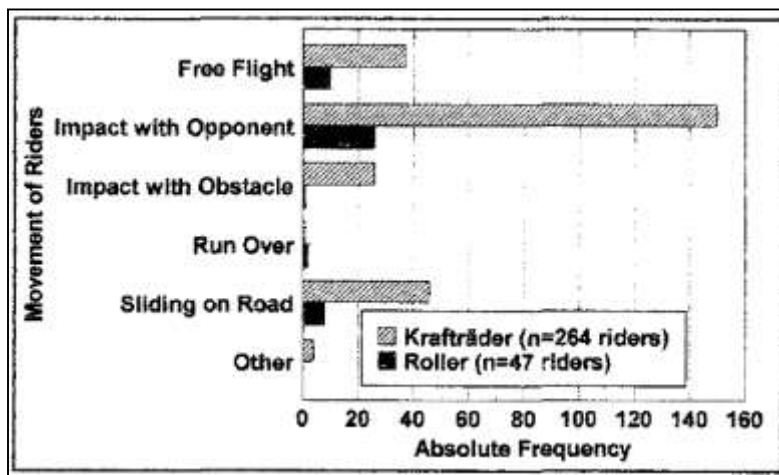
Obr. 4: Různé střetové konfigurace mezi vozidlem a motocyklem [68]

Střetové rychlosti podle normy ISO 13232 jsou definovány jako 0 m/s, 6,7 m/s (přibližně 24 km/h) a 9,8 m/s (přibližně 35 km/h) pro vozidlo a 0 m/s, 13,4 m/s (přibližně 48 km/h) pro motocykl.



Obr. 5: Konfigurace 413 (pravoúhelný čelní náraz motocyklu do boku vozidla) a 414 (šikmý náraz motocyklu do boku vozidla) [68]

Následující obrázek znázorňuje pohyb motocyklistů bezprostředně po nehodě. Zde nejčastěji docházelo ke kontaktu těla motocyklisty s dalším vozidlem.



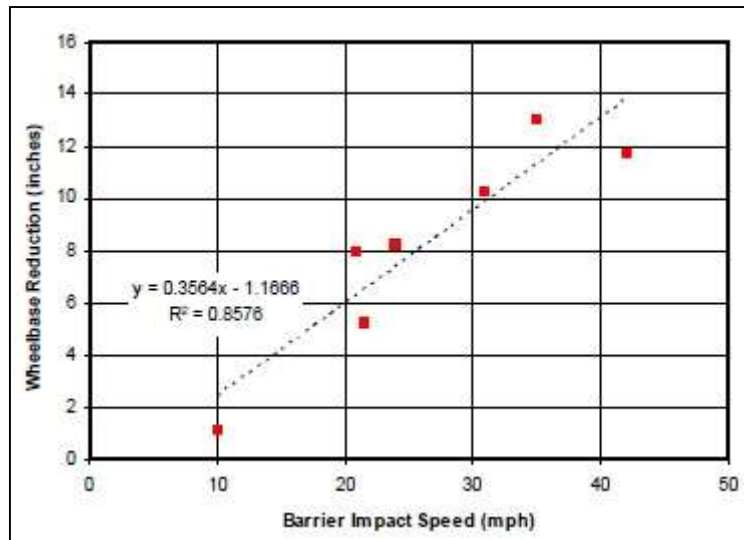
Graf 3: Pohyb těla motocyklisty po střetu [68]

Publikace BERG, F., BÜRKLE, H., GROER, M.: Reproduzierbarkeit von Motorrad-Crashtestsam Beispiel der Konfiguration 413 nach ISO 13232, München 2000 [51] popisuje reprodukovatelnost nárazových testů motocyklů s ohledem na konfigurace 413 normy ISO 13232.

Článek NAKATANI, et al.: A methodology for motorcycle-vehicle crash simulation, 2001 [52] popisuje metodiku crash simulací motocyklu s vozidlem.

V technickém článku ADAMSON, et al.: Seventeen Motorcycle Craash Test into Vehicle and Barrier, Detroit 2002 [24] autor a kolektiv popisují 10 crash testů mezi motocyklem a vozidlem a 7 crash testů mezi motocyklem a bariérou.





Graf 4: Závislost změny rozvoru motocyklu na nárazové rychlosti do bariéry [24]

Byly použity motocykly Kawasaki 1000 (1989 až 1993) a dvě vozidla Ford Thunderbirds (1989). Nárazová rychlost motocyklů do stojících vozidel nebo bariéry se pohybovala v rozmezí 10 až 49 MPH (cca 16 až 79 km/h).

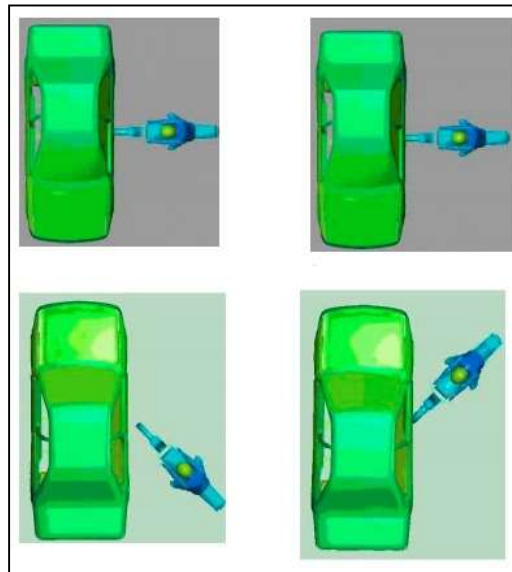


Obr. 6: Ukázka uchycení motocyklu [24]

Předmětem měření byly změny rozvoru motocyklu a velikost jednotlivých deformací. Výsledkem potom bylo rozšíření databáze nezbytné pro řešení dopravních nehod.

Článek MUKHERJEE, et al., SAKURAI, et al.: Motorcycle - Car side impact simulation, New Delhi, Japan [26] popisuje čtyři boční nárazy motocyklu Kawasaki GPZ 400 (1990) do

vozidla Toyota Corolla (1989) podle normy ISO 13232. Modely vozidel a motocyklů byly vyvinuty v PAM/CRASH™. Simulace byla porovnána s reálnými experimenty.



Obr. 7: Testované čtyři konfigurace [26]

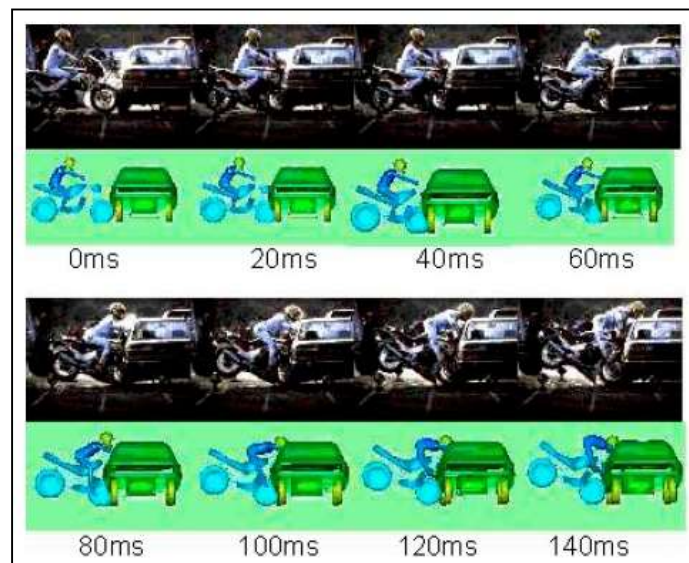
Byly provedeny následující 4 konfigurace bočních nárazů:

Konfigurace I: Vozidlo stálo, střetová rychlost motocyklu 13,4 m/s, střetová poloha 90°

Konfigurace II: Střetová rychlost vozidla 6,7 m/s, motocyklu 13,4 m/s, střetová poloha 90°

Konfigurace III: Střetová rychlost vozidla 6,7 m/s, motocyklu 13,4 m/s, střetová poloha 45°

Konfigurace IV: Střetová rychlost vozidla 6,7 m/s, motocyklu 13,4 m/s, střetová poloha 135°



Obr. 8: Porovnání crash testu a simulace - konfigurace I [26]






První patrný rozdíl byl v kontaktním místě hlavy dummy figuríny s vozidlem, které se v simulaci nacházelo o 50 mm níže než v reálném crash testu. To bylo způsobeno rozdílným držením řídítek dummy figurínou při počítačové simulaci a crash testu. V simulaci nebyla definována žádná interakce mezi dlaní dummy figuríny a řídítkem motocyklu a při nárazu došlo k upuštění řídítek. U crash testu byly ruce dummy figuríny na řídítkách instalovány s obepnutými prsty, při překročení síly 250 N by mělo dojít k povolení prstů. Pokud by bylo dosaženo shodné konfigurace mezi crash testem a simulací, výsledky by byly více shodné.

Článek CHAWLA, A., MUKHERJJE, S.: Modeling of car - motor cycle crashes, Japan [27] popisuje problematiku počítačových simulací nehod mezi vozidly a motocykly podle normy ISO 13232. Porovnávaly se crash testy s počítačovými simulacemi (4 boční nárazy) s ohledem na výzkum k lepšímu zajištění ochrany motocyklistů.

Článek PRIESTER, J.: CD - Nárazové skůšky motocykel – osobné motorové vozidlo, Saarbrücken 2001 [92] obsahuje soubor 48 nárazových zkoušek motocyklu s osobním vozidlem. Byl proveden náraz motocyklu do stojícího a jedoucího vozidla. Náraz motocyklu do vozidla byl zepředu (úhel podélných os vozidel činil 180°) a z boku (úhel podélných os vozidel činil 90°). Místem kontaktu bylo přední kolo, přední blatník, dveře, zadní kolo a zadní blatník vozidla.

Po vyhodnocení výsledků crashtestů byla hledána závislost mezi velikostí poškození (vozidla i motocyklu) a nárazovou rychlostí.

Nárazové zkoušky byly realizovány tak, že motocykl s pomocnými kolečky narazil do boku stojícího osobního vozidla. Motocykl byl do požadované střetové rychlosti přiveden pomocí lana, které bylo spojeno s ramenem pevně spojeným s karoserií tažného vozidla. Střetové rychlosti se pohybovaly v rozmezí 78 až 122 km/h.

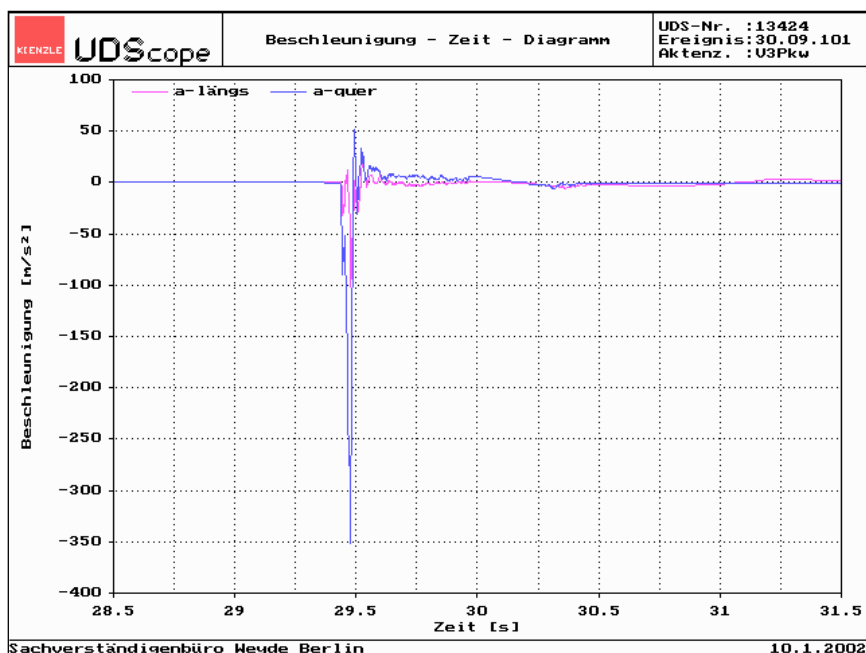
| Pokus číslo | Střet motocyklu s vozidlem     | Typ střetu (podle ISO 13232)                                                          | Střetová rychlost, střetový úhel                                   |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1           | Suzuki GSX 400 do VW Golf II   |  D17 | $v_{K, \text{ moto}} = 86 \text{ km/h}$<br>$\alpha_K = 270^\circ$  |
| 2           | Yamaha XS 400 do VW Polo       |  C17 | $v_{K, \text{ moto}} = 78 \text{ km/h}$<br>$\alpha_K = 270^\circ$  |
| 3           | Yamaha XS 400 do Mazdy 323     |  D17 | $v_{K, \text{ moto}} = 122 \text{ km/h}$<br>$\alpha_K = 270^\circ$ |
| 4           | Yamaha XS 360 do Škody Favorit |  C17 | $v_{K, \text{ moto}} = 117 \text{ km/h}$<br>$\alpha_K = 270^\circ$ |
| 5           | Honda CB 400N do Toyoty Camry  |  C17 | $v_{K, \text{ moto}} = 100 \text{ km/h}$<br>$\alpha_K = 270^\circ$ |

Tab. 5: Přehled vykonaných nárazových zkoušek motocyklů do stojících vozidel [92]

Kolmý náraz motocyklu Yamaha XS 400 s dummy figurínou do boku (oblast levého předního kola) vozidla Mazda 323. Střetová rychlost motocyklu byla 122 km/h, střetová rychlost vozidla činila 0 km/h, střetový úhel měl velikost 270°.



Obr. 9: Motocykl Yamaha XS400 (vlevo), pohyb dummy figuríny přes řídítka a kapotu vozidla (vpravo) [92]



Graf 5: Průběh zrychlení v okamžiku nárazu motocyklu do vozidla [92]

Článek PRIESTER, J., WEYDE, M.: Motocykel – EES – nárazové skúšky 5/2001, Saarbrücken 2001 [93] popisuje stanovení nárazové rychlosti motocyklu na základě trvalého zkrácení rozvoru. Bylo provedeno měření nárazových zkoušek motocyklů do pevné nedeformovatelné překážky, kterou tvořily betonové panely o hmotnosti 12 500 kg a výšce 2 m. Během měření byly zjišťovány hodnoty EES (energetické ekvivalentní rychlosti) motocyklů. Pro uvedení motocyklu do pohybu byl použit kyvadlový princip na rameni jeřábu (na laně dlouhém 24 m), pomocí druhého jeřábu byl motocykl zvedán do předem vypočítané výšky, která odpovídala dané nárazové rychlosti. Motocykl byl bez dummy figuríny. Výsledná rychlost vyplývala z následující rovnice:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

kde:

m [kg] .....hmotnost motocyklu

g [m.s<sup>-2</sup>] .....tíhové zrychlení

h [m] .....výška

v [m/s] .....nárazová rychlost

Na určení EES hodnot byla použita rovnice energií následovně:

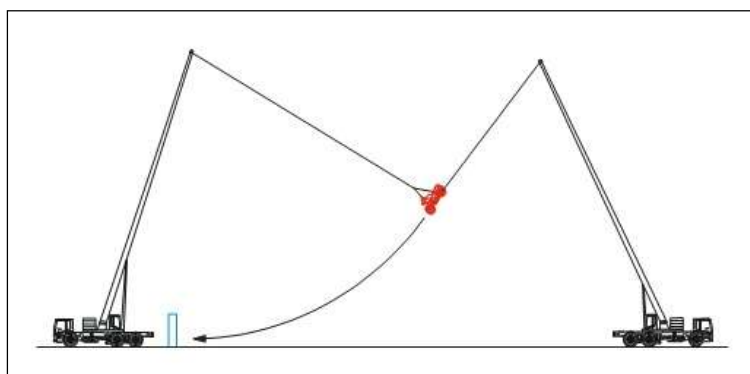
$$E_{Kin\ moto} + E_{Kin\ lano} = E'_{Kin\ moto} + E'_{Kin\ lano} + E_{Def\ moto} + E_{Pot} \quad (2)$$

kde:

$E_{Kin}$  [J] .....kinetická energie

$E_{Def}$  [J] .....deformační energie

$E_{Pot}$  [J] .....potenciální energie

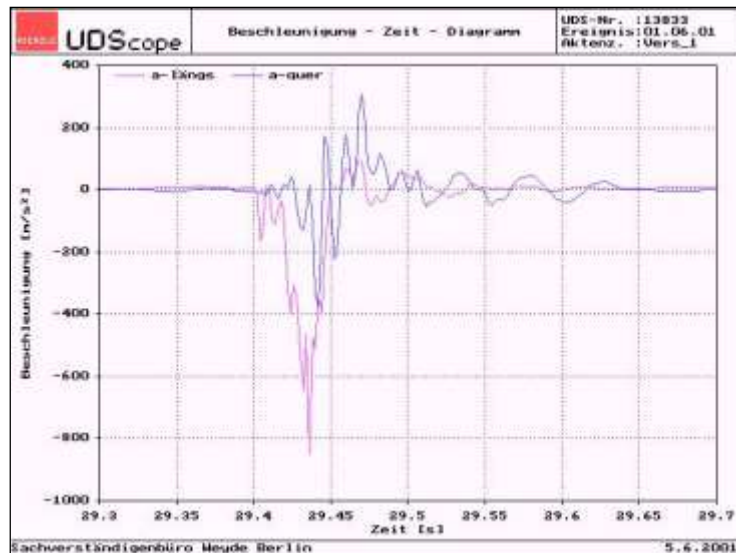


Obr. 10: Průběh měření – znázornění zavěšení motocyklu na laně jeřábu [93]

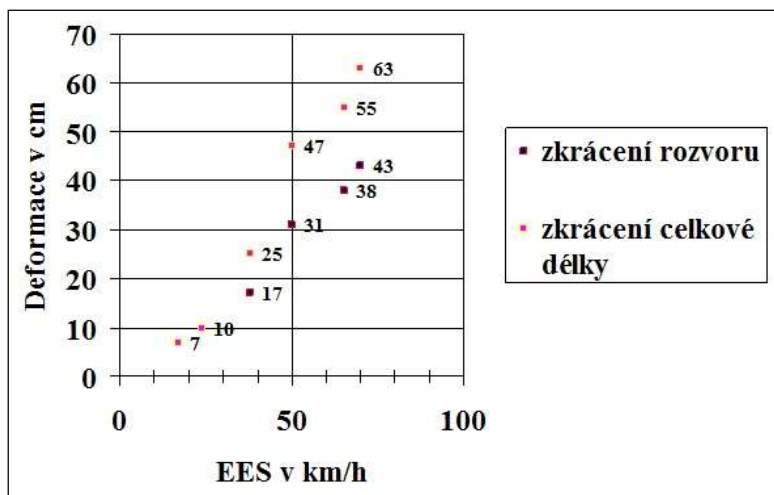
Náraz motocyklu Yamaha XS 400 do tuhé, nedeformovatelné překážky, počáteční výška činila 10,2 m, rychlost nárazu 51 km/h a hmotnost motocyklu 169 kg. Zkrácení rozvoru bylo 31 cm, celkové zkrácení délky 47 cm, EES 50 km/h.



Obr. 11: Střetová poloha (vlevo), zkrácení rozvoru a celkové zkrácení délky (vpravo) [93]

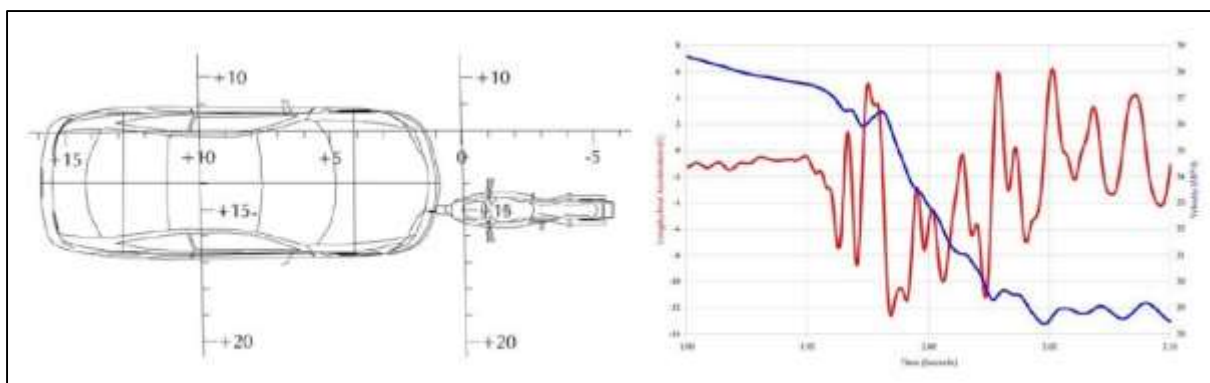


Graf 6: Průběh podélného zrychlení v okamžiku nárazu motocyklu do panelů [93]



Graf 7: Zkrácení rozvoru a zkrácení celkové délky jednotlivých testů [93]

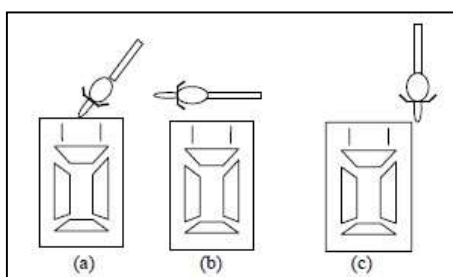
Článek BECK, et al.: Motorcycle collinear collisions involving motor vehicle equipped with event data recorders, California [28] popisuje čelní přímé excentrické střety vozidla Chevrolet Cavalier (2002) s motocyklem Kawasaki EX 500 (1989). Ve všech třech testech byl motocykl postaven na bočním stojánku podloženém tak, aby byl motocykl vzpřímený v rovnovážné poloze. Dummy figurína byla na motocyklu položena v normální jezdecké poloze. Osa předního kola motocyklu byla na nulové souřadnici souřadné sítě. Rychlosti vozidla činily 11,96 MPH, 27,21 MPH a 37,10 MPH (19,2 km/h, 43,8 km/h a 59,7 km/h). Před nárazem vozidlo brzdilo.



Obr. 12: Přímý excentrický střet mezi vozidlem a motocyklem [28]

Pomocí vysokorychlostních kamer byly sledovány pohyby a průběhy deformací vozidel od začátku střetu až do konečných poloh. Dále bylo pomocí snímačů měřeno zrychlení (zpomalení) v průběhu celého testu.

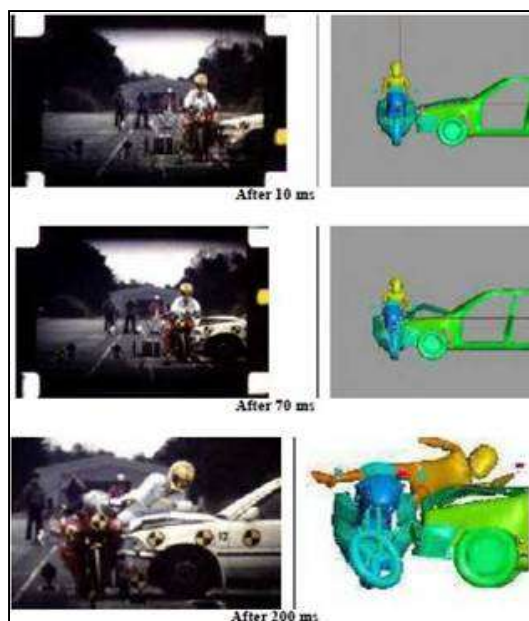
Publikace CHAWLA, et al.: FE Simulations of Motorcycle - Car Frontal Crashes, Validation and Observations, 2003 [43] porovnává pohyb motocyklisty při nárazu vozidla do motocyklu mezi crash testem a simulací.



Obr. 13: Schema testovaných konfigurací [43]

Jedná se o tři testy čelního nárazu vozidla do motocyklu podle ISO 13232.





Obr. 14: Porovnání mezi crash testem a simulací [43]

Simulace byly provedeny v PAM CRASH a poukazují na citlivost nastavení rozdílných vstupních dat při různých konfiguracích mezi vozidlem a motocyklem.

Článek DEGUCHI, M.: Modeling of a Motorcycle for Collision Simulation, Japan 2003 [44] popisuje simulaci kolize malého motocyklu s vozidlem za použití MADYNO softwaru. Byly zvoleny následující 4 konfigurace, kdy motocykl naráží do boku vozidla.

| Configuration code | Kinematic comparison | Head acceleration comparison | Configuration diagram |
|--------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|
| 413-0/13.4         | Figure 6             | Figure 10                    |                       |
| 413-6.7/13.4       | Figure 7             | Figure 11                    |                       |
| 414-6.7/13.4       | Figure 8             | Figure 12                    |                       |
| 412-6.7/13.4       | Figure 9             | Figure 13                    |                       |

Tab. 6: Přehled konfigurací [44]



*Obr. 15: Simulace bočního nárazu motocyklu do vozidla [44]*

Cílem této simulace byl vývoj zařízení na ochranu motocyklisty v případě střetu motocyklu s vozidlem.

V článku BERG, F., RÜCKER, P., KÖNIG, J.: Motorcycle Crash Tests – an Overview, 2004 [47] jsou uvedeny studie reálných nehod a crash testů provedených společností Dekra (výzkum nehod a crash testů).

Projekt společnosti Winterthur a DEKRA Accidents between cars and motorbikes, 2004 [53] se zabýval problematikou trendu vyšších vozidel, jako jsou MPV a minivany. Tento trend má rozhodující vliv na bezpečnost motocyklistů. V případě střetu motocyklisty vozidla s vysokou střechou, jeho hlava a horní část těla přichází do přímého kontaktu s rámem vozu. Chybí zde možnost přeletu těla motocyklisty přes kapotu, jako je tomu u vozidel s nízkou střechou, a tím se zvyšuje riziko poranění.



*Obr. 16: Kontakt těla motocyklisty s vozidlem s vysokou střechou [53]*

Airbasy motocyklů mohou snižovat riziko poranění hlavy a těla motocyklisty, kdy dochází zpravidla u nižších vozidel k přeletu těla motocyklisty přes střechu či kapotu.

Crash testy ukázaly, že při bočním nárazu motocyklu do vozidla (dodávky) nelze podceňovat riziko posádky vozidla. Vzhledem ke skutečnosti, že rám vozidla na bocích není v této oblasti tak silný jako na přední či zadní straně vozidla a také zde nejsou deformační zóny, průnik motocyklu do vozidla může být při vyšších rychlostech značně hluboký.

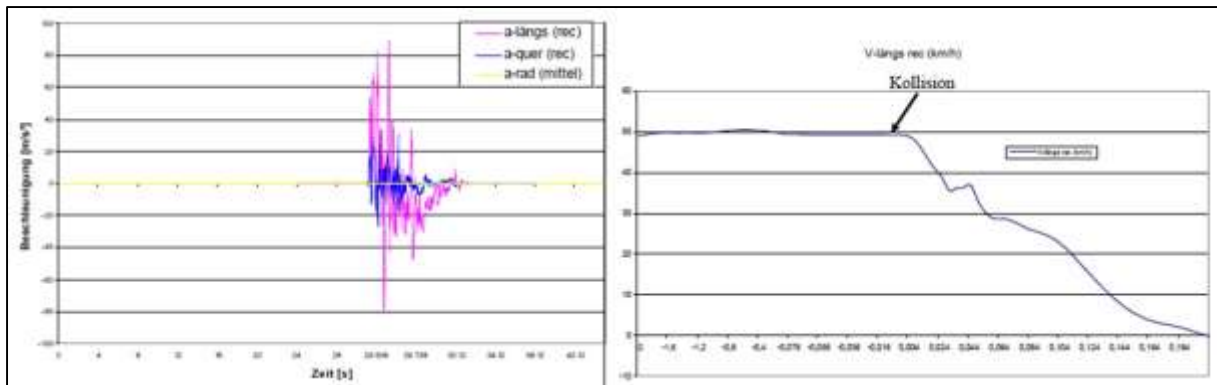
Hlavy a horní části těla posádky vozidel jsou tím pádem vystaveny vysokému riziku poranění, a to i přes boční airbagy. Ty často nejsou plně účinné, neboť jejich spouštěcí mechanismy nejsou navrženy tak, aby byly aktivovány během střetů s motocykly.



*Obr. 17: Postřetový pohyb posádky motocyklu [53]*

Riziko zranění posádky vozidla při bočním střetu s motocyklem je zvláště vysoké, pokud má vozidlo velké okenní plochy. Motocyklista totiž může po střetu snadno rozbít sklo a proletět do kabiny vozidla.

Publikace BÜROS, PRIESTER, WEYDE.: Motorroller Crashversuche, Versuchsreihe Mai 2004 [11] obsahuje 8 crash testů motocyklu s vozidlem. Předmětem crash testů byl náraz motocyklů jedoucích různou rychlostí do boku stojícího vozidla Opel Kadett. Kolizní pozice byla podle ISO 13232 – D 17, C 17 (střetový úhel 90°). Celkem bylo použito 7 malých motocyklů – skútrů (střetové rychlosti 30 až 63 km/h) a jeden motocykl Suzuki GT 1100 (střetová rychlost 75 km/h). Výsledkem crash testů bylo posouzení deformace a zkrácení rozvoru motocyklů.



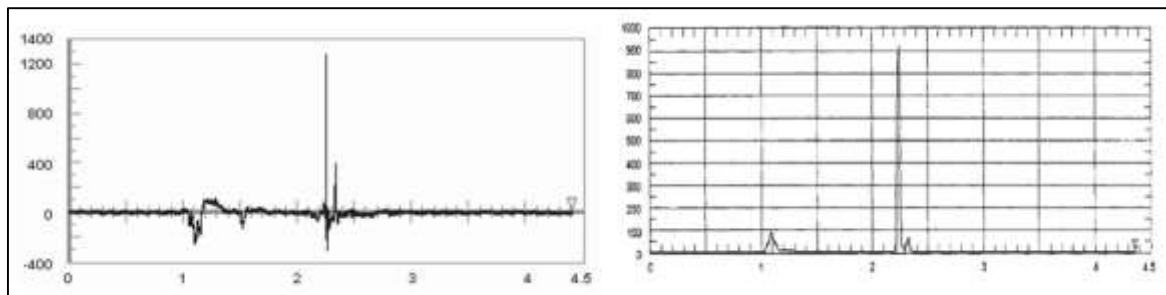
Graf 8: Náraz motocyklu Kymco rychlostí 50 km/h do boku stojícího vozidla Opel [11]

Kolize osobního automobilu a motocyklu je popsána v článku v Soudním inženýrství KOVANDA, J., FIRSWT, J., 2006 [3]. FD ČVUT uskutečnila první pokus čelní kolize mezi motocyklem Jawa 350/634 s figurínou a vozidlem Škoda Fabia Sedan 1,4. Předmětem měření byl záznam zrychlení hlavy a hrudníku figuríny (střetová rychlosti vozidla 35 km/h, motocykl stál na místě).



Obr. 18: Čelní střet mezi motocyklem a vozidlem [3]

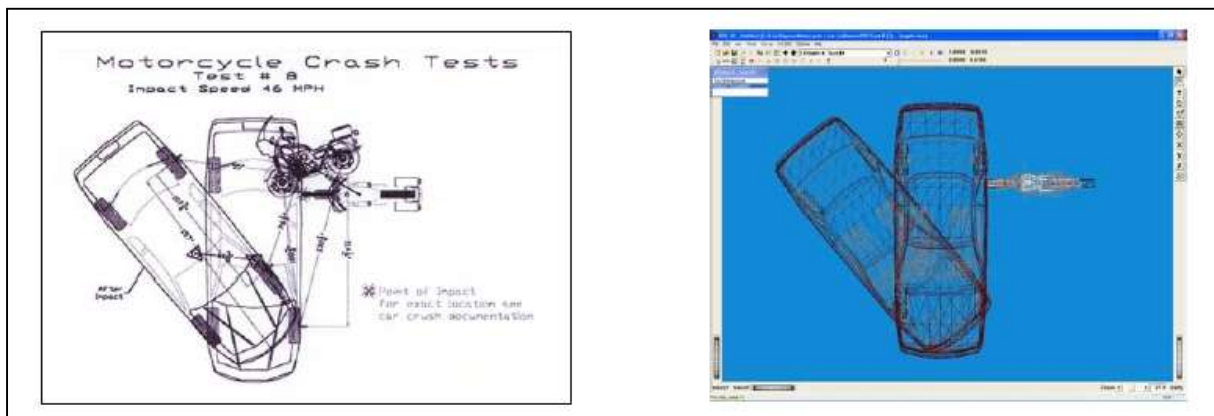
K maximálnímu zrychlení hlavy ( $\text{min } 1300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) došlo při terciální kolizi hlavy s vozovkou.



Graf 9: Záznam zrychlení hlavy figuríny [3].

Hodnota zrychlení na hrudníku nebyla zjištěna z důvodu překročení rozsahu nastavení přístroje. Dále bylo měřeno kritérium HIC (Head Injury Criterion), jehož maximální hodnota byla  $HIC < 920$  (vyhovuje požadavkům na bezpečnost  $HIC_{MAX} = 1000$ ).

Článek DEYERL, E., CHENG, L.: Computer Simulation of Staged Motorcycle - Vehicle Collisions Using EDSMAC4, California 2008 [25] pojednává o provedené počítačové simulaci crash testů z článku [24]. Střetová rychlost motocyklů do stojících vozidel se pohybovala v rozmezí 25 až 49 MPH (40 až 79 km/h).



Obr. 19: Simulace nárazu motocyklu do boku vozidla [25]

Konečné polohy, rozsah jednotlivých poškození a změny rychlostí u reálných crash testů a provedených simulací byly téměř totožné. Rozdíl konečných poloh vozidel byl u 7 z 10 testů do cca 30 cm, přičemž změna rotace byla do  $4^\circ$  u všech testů. Rozdíl rychlostí vozidla u 8 z 10 testů byl do 4 km/h, u motocyklů (7 z 10 testů) byl do 5 km/h. Rozdíl průměrné hloubky deformace na vozidlech dosahoval u 7 z 10 testů maximálně 5 cm.

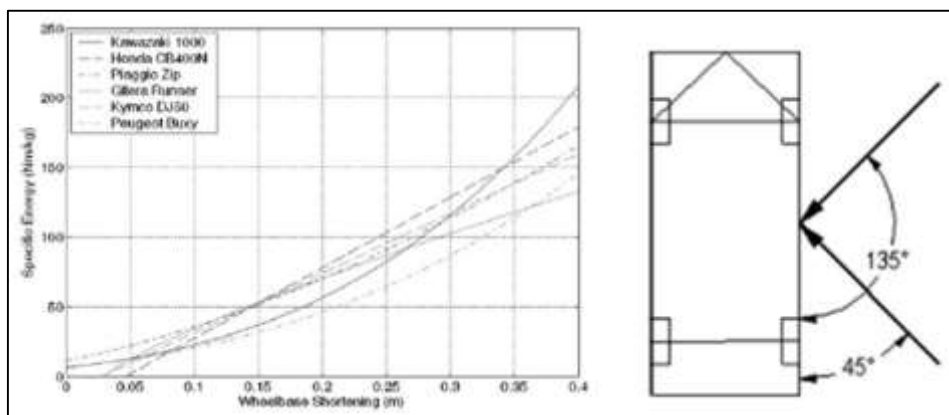
Publikace FRANK, T., SMITH, J., WERNER, S.: Motorcycle Rider Trajectory in Pitch-Over Brake Applications and Impacts, 2008 [63] pojednává o trajektorii odpoutání motocyklisty od motocyklu následkem intenzivního brzdění přední brzdou a následného střetu. U střetů s intenzivním brzděním přední brzdou a následným pádem motocyklisty přes řídítka, motocykl zpravidla nezanechává brzdovou stopu. V tomto případě se předstřetová rychlost může vypočítat na základě odhozené vzdálenosti motocyklisty.



Obr. 20: Postřetový pohyb motocyklisty a jeho spolujezdce po nárazu do vozidla. Pohyb motocyklisty a jeho spolujezdce po aplikaci přední brzdy (580, 812 a 984 ms) [63]

Byly provedeny cash testy a simulace a jejich výsledky byly následně porovnány. V obou případech byl motocykl upevněn na speciálně navržených saních. Trajektorie letu motocyklisty a spolujezdce byla analyzována vysokorychlostní kamerou.

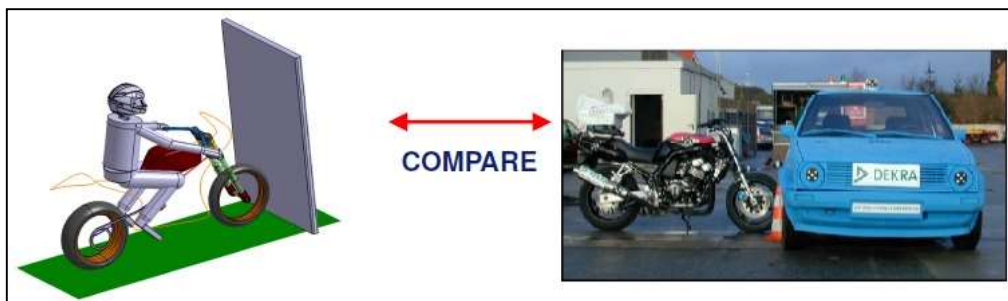
Článek WOOD, D., GLYNN, C., WALSH, D.: Motorcycle to car and scooter to car collisions: speed estimation from permanent deformation, Dublin 2008 [90] popisuje odhad rychlosti na základě trvalé deformace u střetu motocyklu s vozidlem. Bylo provedeno 43 bariérových testů se 14 rozdílným typy motocyklů.



Graf 10: Závislost deformační energie na zkrácení rozvoru motocyklů, střetový úhel mezi motocyklem a vozidlem [90]

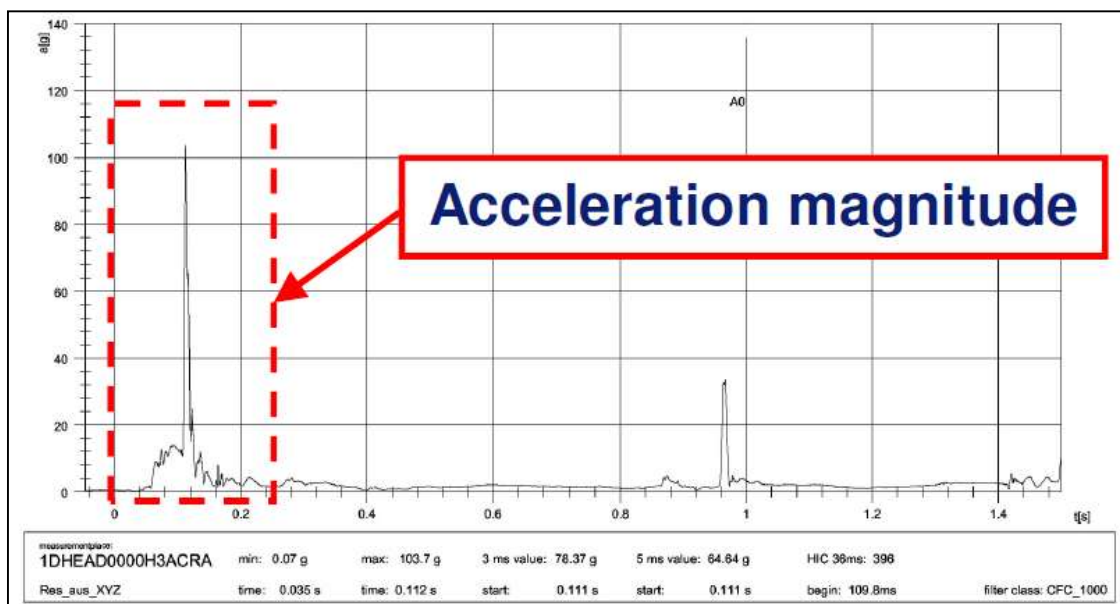
Velikost deformační energie a celkové zkrácení rozvoru vede k určení střetové rychlosti motocyklu, platí pro náraz motocyklu do boku vozidla při kolmých (90°) nebo šikmých (45 až 135°) střetech. Výše uvedenou závislost lze použít při čelních nárazech motocyklů až pro zkrácení rozvoru 0,45 m (přední vidlice a přední kolo zůstávají porušené, byť deformované). Při určování střetové rychlosti motocyklu do rychlosti 122 km/h byla zjištěna směrodatná odchylka v rozsahu 11,5 km/h. To je hodnota podobná u střetů dvou vozidel.

Studie COFELICE, N., CIUBOTARU, L.: Motorcycle accident reconstruction in VL motion, 2009 [89] pojednává o rekonstrukci nehod motocyklů. Porovnává simulovaná data (Virtual Lab motion) s crash testovými daty (DEKRA).



Obr. 21: Porovnání simulace s crash testem [89]

Následně byly provedeny realistické simulace podle normy ISO 13232 se zaměřením na zrychlení hlavy.



Graf 11: Hodnoty zrychlení hlavy [89]

Ve studii ŠOTOLA, M., HÖNIG, M., FIRST, J.: Active and passive safety of motorcycles with reference to sitting geometry, Praha 2010 [18] byly provedeny tři příklady crash testů, jednalo se o boční náraz jedoucího motocyklu do stojícího osobního vozidla.



Obr. 22: Geometrie posedu motocyklisty na různých typech motocyklů – bokorys [18]

V prvním crash testu narazil motocykl Jawa 650 (super sport) rychlostí 59 km/h do stojícího vozidla Škoda Octavia. Ve druhém crash testu narazil motocykl Suzuki DR 600 (cestovní enduro) rychlostí 60 km/h do stojícího vozidla Škoda Fabia. V třetím crash testu narazil motocykl Jawa 650 classic (chopper) rychlostí 50 km/h do stojícího vozidla Škoda Felicia.

Předmětem měření bylo snímání zrychlení (pomocí akcelerometrů) hlavy dummy figuríny při nárazu do karoserie osobního vozidla po střetu. Pomocí těchto naměřených hodnot je možné zjistit následky poranění při reálné dopravní nehodě.

V tabulce jsou uvedena hlavní kritéria poranění hlavy.

|                                 | kritérium poranění hlavy – primární kontakt (HIC - Head Injury Criterion) |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Jawa 650 (super sport)          | 2296                                                                      |
| Suzuki DR 650 (cestovní enduro) | 1892                                                                      |
| Jawa 650 classic (chopper)      | 63                                                                        |

Tab. 7: Kritérium poranění hlavy při primárním kontaktu [18]

Při různých konfiguracích docházelo k nárazu motocyklisty do karoserie vozidla v rozdílných místech a s rozdílnou trajektorií. Tyto rozdíly byly způsobeny odlišnými geometriemi posedu motocyklisty.

V následující tabulce jsou uvedeny rozdílné časové intervaly – čas od prvního nárazu motocyklu do vozidla do primárního kontaktu dummy figuríny s karosérií vozidla.

| Typ motocyklu                   | Časový interval |
|---------------------------------|-----------------|
| Jawa 650 (super sport)          | 82 ms           |
| Suzuki DR 650 (cestovní enduro) | 100 ms          |
| Jawa 650 classic (chopper)      | 99 ms           |

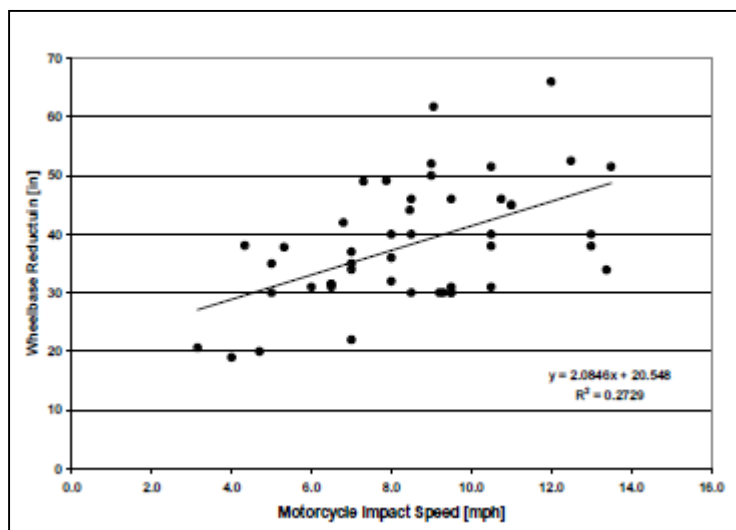
Tab. 8: Časové intervaly jednotlivých motocyklů [18]



Tyto časové intervaly byly použity k návrhu bezpečnostních systémů – airbagů.

Článek DANIELLO, A., GABLER, H. C.: Fatality risk in motorcycle collision with roadside objects in the United States, 2010 [10] pojednává o závažnosti dopravních nehod motocyklů. Porovnává rozdíl mezi pádem motocyklu a kontaktem motocyklisty pouze s vozovkou na straně jedné a pádem motocyklu a střetem motocyklisty s jiným objektem v okolí vozovky (svodidla, betonové zábrany, značky, telegrafní sloupy a stromy) na straně druhé. V letech 2004 až 2008 bylo analyzováno přes 3600 nehod motocyklů s výše uvedenými silničními objekty. Co se smrtelného poranění týče, mají střety motocyklisty se silničními objekty vyšší riziko než pády motocyklisty se sunutím po vozovce nebo samotné střety s vozidlem. Střet motocyklisty se svodidly byl 7x a se stromem dokonce téměř 15x nebezpečnější než samotný pád a sunutí motocyklisty po vozovce.

Autoři článku MASORY, O, BARTLETT, W., WRIGHT, B.: Motorcycle Accident Reconstruction Part I - Physical Models, Florida 2012 [60] popisují vzorce pro odhad předstřetových rychlostí motocyklu při kolizi s vozidlem. Tyto vzorce jsou založeny na měřitelných fyzikálních parametrech (změna rozvoru motocyklu) a základních fyzikálních zákonech, jako je zákon zachování hybnosti.



Graf 12: Změna rozvoru v závislosti na střetové rychlosti motocyklu [60]

V článku jsou vyhodnocena data získaná jak z experimentů (crash testů), tak i z provedených simulací. Výsledky práce ukazují, že předstřetovou rychlost motocyklů nelze

určit s vysokou přesností. Jak je znázorněno v grafu 12, data jsou rozptýlena a nehodí se pro přímku od korelačního faktoru 0,27, který indikuje špatnou korelaci. V článku jsou také popsány metody pro případ nárazu motocyklu do měkkých (oblasti dveří, blatníků atd.) a tvrdých částí vozidla (oblasti náprav, sloupků atd.). Celkem bylo použito 16 motocyklů pro crash testy.



*Obr. 23: Testované motocykly [60]*

Publikace SMITH, J., FRANK, T., FOWLER, G.: Full-Scale Moving Motorcycle into Moving Car Crash Testing for Use in Safety Design and Accident Reconstruction, 2012 [62] pojednává o crash testu jedoucího motocyklu, který naráží do jedoucího vozidla.

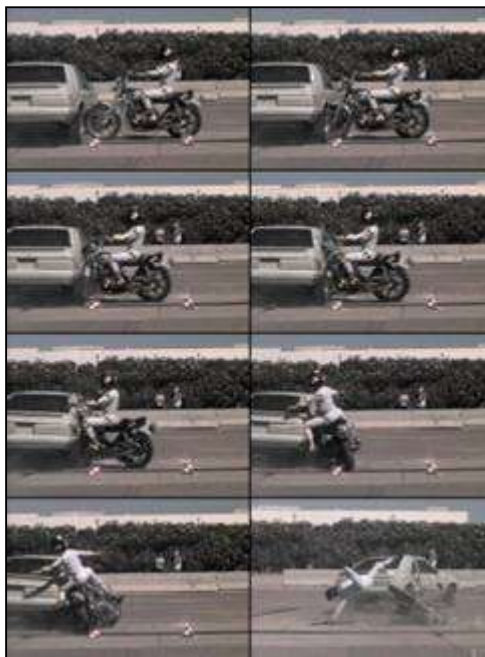


*Obr. 24: Crash test jedoucího motocyklu do jedoucího vozidla [62]*

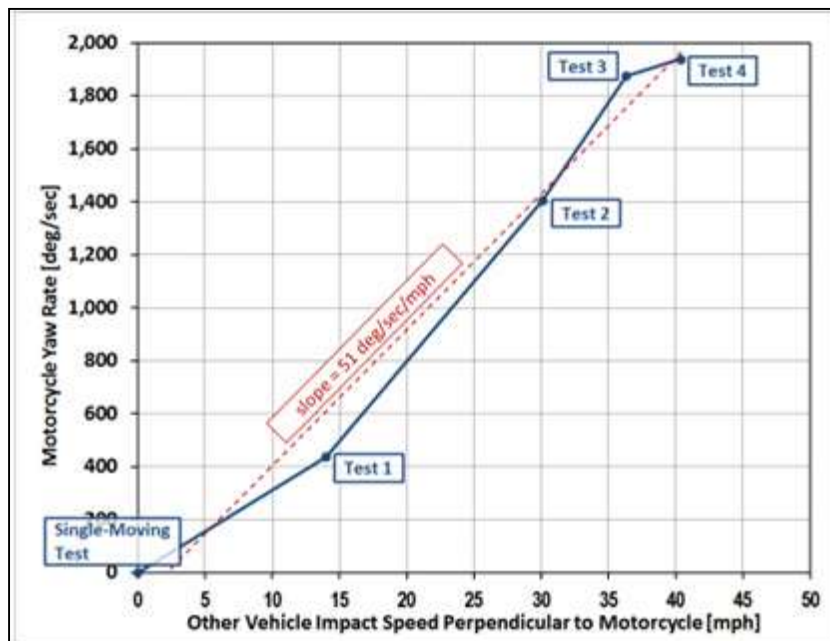
Přesnost postřetového pohybu v případě nehod dvou pohybujících se vozidel je důležitá pro vyhodnocení kinematiky motocyklisty. Otáčející se přední kolo motocyklu a výsledná

asymetrická komprese a deformace přední vidlice ovlivňují postřetový pohyb motocyklisty a rozsah poškození na motocyklu a vozidle.

Crash testy byly provedeny při rychlostech, které představují jak městský, tak i dálniční provoz, a poskytly data s různými střetovými úhly a počátečními kontaktními body mezi vozidly.



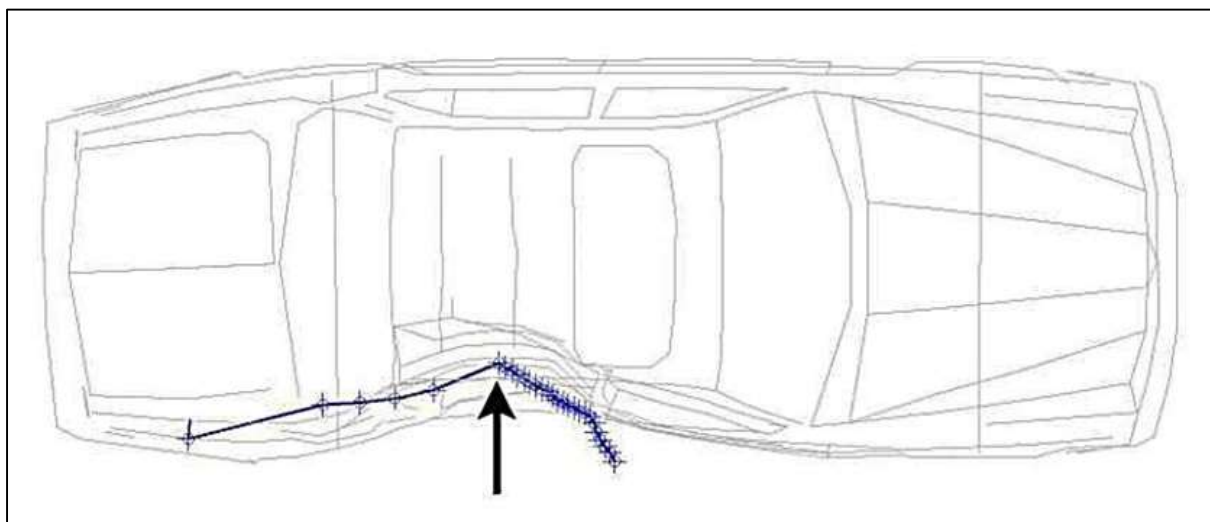
Obr. 25: Postřetový pohyb motocyklu, motocyklisty a vozidla [62]



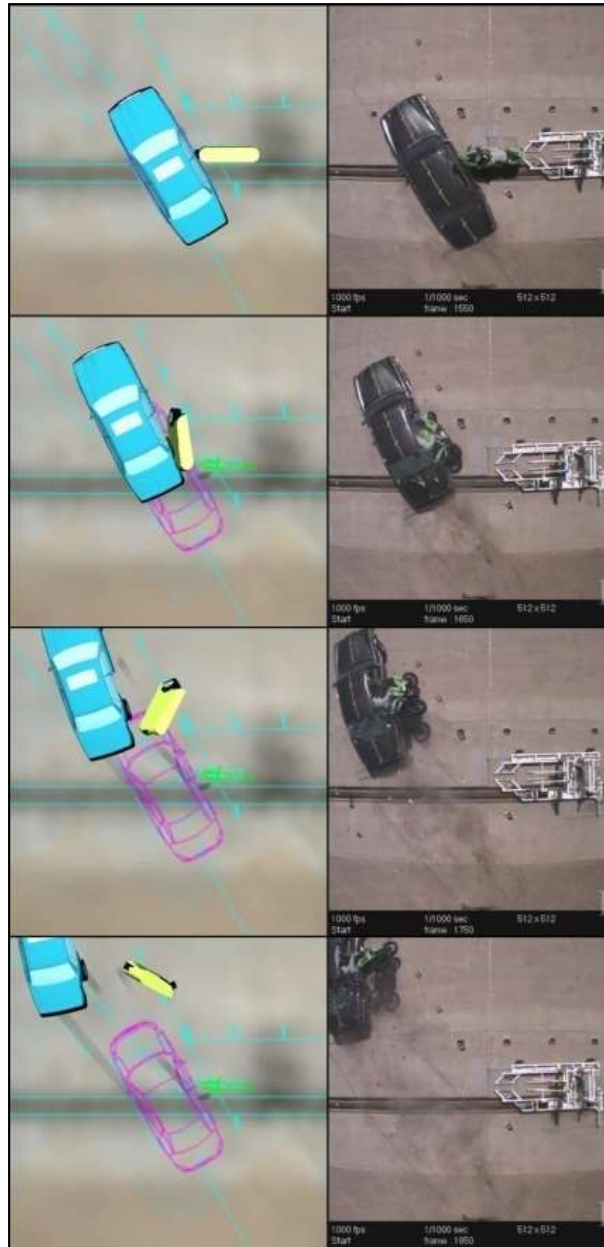
Graf 13: Závislost úhlu stáčení motocyklu vzhledem k rychlosti kolidujícího vozidla [62]

Studie FRANK, T., SMITH, J., FOWLER, G.: *Simulating Moving Motorcycle to Moving Car Crashes*, 2012 [64] popisuje střet jedoucího motocyklu s jedoucím vozidlem pomocí simulačních programů. Prvním byl EDSMAC4 (Engineering Dynamics Simulation Model of Automobile Collisions, 4th Revision) a druhým SIMON (SIMulation MOdel Nonlinear).

Rekonstrukce nehod motocyklů je náročná, k určování rychlosti nárazu obou vozidel se často používají zákony zachování lineární a rotační hybnosti. Vzhledem ke značným hmotnostním rozdílům mezi motocyklem a vozidlem může mít tato metoda za následek velmi široký rozsah výsledných rychlostí. Také se používá zákon zachování energie, ovšem vzhledem k nedostatku informací o deformačních energiích u motocyklů nemusí tato metoda poskytovat ani přesné informace. Z výše uvedeného vyplývá vhodnost použití simulačních programů.



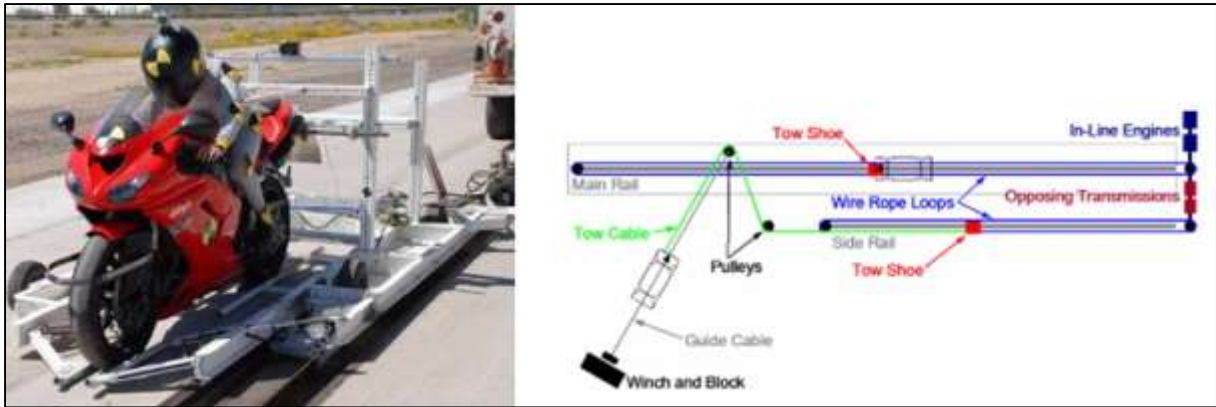
*Obr. 26: Porovnání deformací vozidla (crash test a EDSMAC4) [64]*



*Obr. 27: Porovnání postřetových trajektorií (SIMON a crash test), sekvence 0,1s [64]*

Výsledkem simulací v EDSMAC4 a SIMON byly přijatelné postřetové pohyby vozidla v porovnání s cash testem. Simulační programy jsou užitečným nástrojem pro odhad střetových rychlostí a trajektorií motocyklu a vozidla.

Publikace SMITH, et al.: Full-Scale Moving Motorcycle into Moving Car Crash Testing for Use in Safety Designand Accident Reconstruction, 2012 [67] pojednává o crash testu jedoucího motocyklu do jedoucího vozidla.



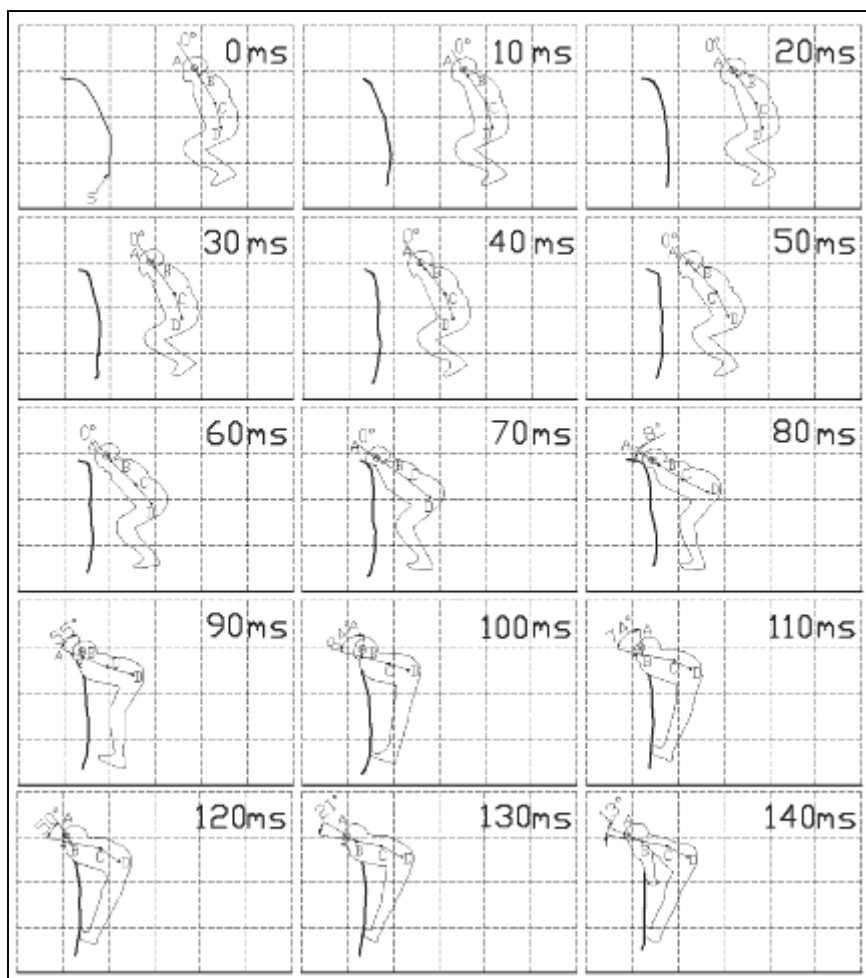
Obr. 28: Zařízení pro roztahování motocyklu a schéma roztahování [67]

U crash testů, kde se pohybuje jak motocykl, tak i vozidlo, ovlivňuje otáčení předního kola motocyklu výsledná asymetrické komprese a deformace přední vidlice postřetový pohyb motocyklisty a deformaci obou vozidel.

Článek PROCHOWSKI, L., PUSTY, T.: Analysis of motorcyclist's body movement during a motorcycle impact against a motor car side, Warsaw 2013 [66] pojednává o silách působících na tělo motocyklisty při bočním nárazu motocyklu do vozidla. Výzkum prokázal, že hlava motocyklisty podléhá největšímu přetížení. Maximální hodnota zrychlení hlavy motocyklisty dosáhla úrovně 110 g.



Obr. 29: Průběh crash testu před kolizí (vlevo) a v čase 100 ms (vpravo) [66]



Obr. 30: Pohyb motocyklisty v průběhu crash testu (interval 10 ms) [66]

|             |                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| 0 ms        | Dochází ke kontaktu kola motocyklu s vozidlem                      |
| okolo 40 ms | Boky motocyklisty se začínají pohybovat po nádrži motocyklu        |
| okolo 50 ms | Boky motocyklisty se zvedají následkem kontaktu s nádrží motocyklu |
| 75 ms       | Dochází ke kontaktu helmy motocyklisty s hranou střechy vozidla    |
| 90 ms       | Ramena motocyklisty naráží do hrany střechy vozidla                |
| 130 ms      | Hlava motocyklisty se pohybuje přes hranu střechy vozidla          |

Tab. 9: Důležité časové úseky v průběhu crash testu [66]

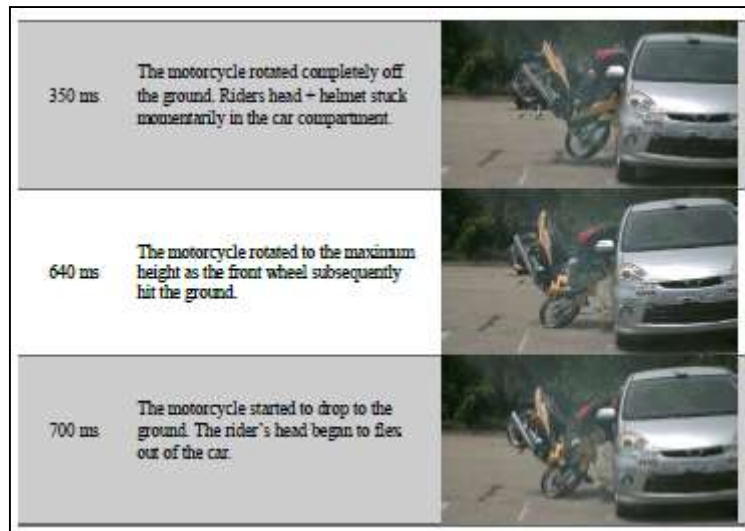
Studie HAMZAH et al.: Motorcycle Structural Response in Simulated Vehicular Collision, Malaysia 2014 [72] pojednává o crash testu motocyklu do boku vozidla (střetový úhel 90°). Byla sledována analýza pohybu, zkrácení rozvoru motocyklu a jednotlivé deformace. Rychlost motocyklu byla 43,6 km/h.



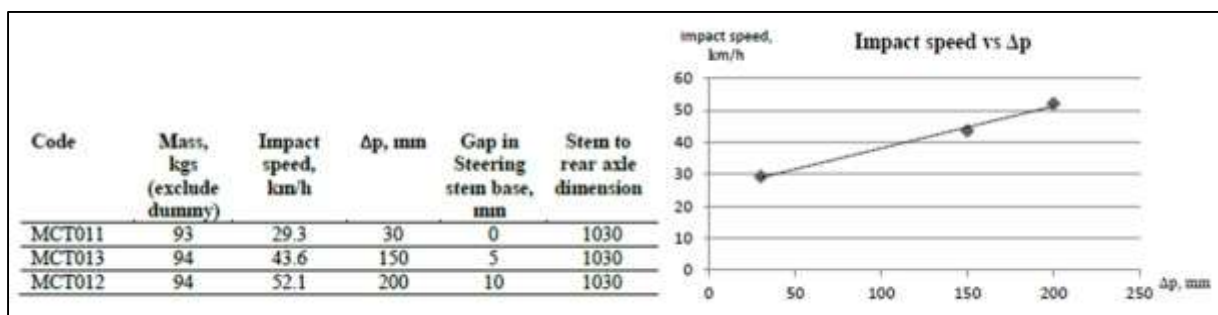
Obr. 31: Dummy figurína na motocyklu a roztahovací systém [72]

| Time   | Description                                                                                                                                                                                                  | High-Speed Image |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| -20 ms | Motorcycle position immediately before impact                                                                                                                                                                |                  |
| 0 ms   | Beginning of the impact sequence, the wheel contacted the car side sill                                                                                                                                      |                  |
| 20 ms  | The front wheel started to deform and the front suspension began to deflect inward.                                                                                                                          |                  |
| 50 ms  | The front wheel and the suspension experienced maximum crush. At this moment, the rear suspension springs begin to expand and the rider slide forward.                                                       |                  |
| 100 ms | The rear wheel began to lift, and the rider slide to the maximum distance with lower extremities hitting the plastic fairing and handle frame. Subsequently, the rider helmet started to hit the side glass. |                  |
| 130 ms | The wheel rotation increased. The rider abdomen pivoted around the handle bar and the helmet penetrated through the car window while the chest hit the window frame.                                         |                  |



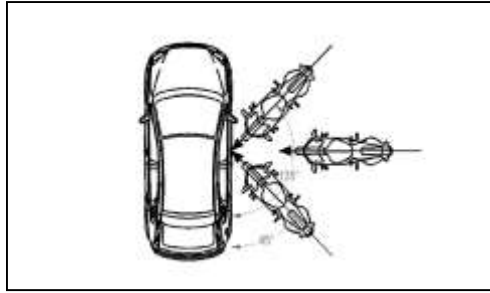


Obr. 32: Průběh crash testu [72]



Tab. 10: Tabulka a graf závislosti zkrácení rozvoru motocyklu na střetové rychlosti [72]

Autoři studie GLYNN, C., WOOD, D.: Collision speed from individual vehicle deformation in motorcycle to car collision, Dublin 2014 [15] publikovali metodu pro odhad rychlosti motocyklu při kolizi motocyklu s vozidlem, když je k dispozici pouze poškození jednoho z vozidel. Tato metoda porovnává skutečnou rychlost s předpokládanou a byla aplikována na velkém množství (celkem na 73) simulovaných nehod. 25 testů bylo nakonfigurováno s nárazem motocyklu do tvrdé části vozidla a 48 do měkké části vozidla. Tvrdou částí se rozumí kola, A, B, C sloupek, přední panel oddělující motor a kabinu. Všechny ostatní oblasti jsou považovány za měkké.



*Obr. 33: Náraz motocyklu do tuhé boční části vozidla [15]*

V případě známé deformace vozidla vzorec vyjadřuje střetovou rychlost motocyklu v pravděpodobném rozsahu  $\pm 8,6$  km/h pro obecné části,  $\pm 9,3$  km/h pro tvrdé části a  $\pm 7,7$  km/h pro měkké části. V případě známého zkrácení rozvoru motocyklu vzorec vyjadřuje střetovou rychlost motocyklu v pravděpodobném rozsahu  $\pm 9,4$  km/h pro obecné části,  $\pm 8,2$  km/h pro tvrdé části a  $\pm 9,9$  km/h pro měkké části. Výše uvedená závislost platí pro rozsah střetových rychlostí 38 až 122 km/h, střetový úhel  $\pm 45^\circ$  (vzhledem k bočnímu střetu  $90^\circ$ , tj. 45 až  $135^\circ$ ), zkrácení rozvoru do 0,48 m a hloubku průniku na vozidle do 0,9 m.

Publikace PRIESTER, J., WILHELM, B., BRUTSCHER, B., KNOPP, W., SCHUFF, A., KÜHN, M., LANG, A.: Unfälle mit kraftfahradern im Saarland, 2015 [12] obsahuje dva crash testy, kde motocykl Kawasaki ER5 narazil zezadu do vozidla Ford Focus Kombi. Obě vozidla jela za sebou (střetový úhel  $0^\circ$ ) konstantní rychlostí (60 až 70 km/h), poté bylo vozidlo brzděno a motocykl narazil zezadu do vozidla. Při prvním testu byla rychlost motocyklu 65 km/h a rychlost vozidla 32 km/h,  $\Delta v$  motocyklu 37 km/h a  $\Delta v$  vozidla 0,7 km/h. Dummy figurína rozbila zadní sklo a zůstala zapříčená uvnitř vozidla. V druhém testu byla rychlost motocyklu 63 km/h a rychlost vozidla 29 km/h,  $\Delta v$  motocyklu 32,2 km/h a  $\Delta v$  vozidla 1,5 km/h. Dummy figurína rozbila zadní sklo a dopadla na vozovku.



*Obr. 34: Náraz motocyklu zezadu do vozidla [12]*

Publikace GLYNN, C., WOOD, D.: Motorcycle reconstruction methods – speed from vehicle deformation and motorcycle slide distance, Brno 2016 [16] shrnuje dvě výše uvedené publikace ([14], [15]).

Článek BELMONTE, J., GRÉGOIRE, Y., ROBITAILLE, P.: Evaluation of brake reaction times on a motorcycle, Quebec 2003 [20] pojednává o reakční době motocyklistů. Předmětem studie bylo měření na stacionárně uloženém motocyklu před obrazovkou s projekcí a studie se zúčastnilo 1181 osob. Bylo zjištěno, že střední hodnota reakční doby je o 0,154 s kratší v připraveném módu (kdy jsou prsty motocyklisty nachystané před páčkou přední brzdy a jeho noha nad pedálem zadní brzdy) oproti nepřipravenému módu (kdy jeho ruka obepíná rukojeť plynu a noha je položená na stupačce). Střední hodnota reakční doby žen (108) byla 0,473 s se standardní odchylkou 0,121s. Střední hodnota reakční doby mužů (1073) byla 0,462 s se standardní odchylkou 0,113s.

Článek BELMONTE, J.: Task analysis for intensive braking of motorcycle in a straight line, Quebec 2004 [22] popisuje brzdění motocyklů v přímém směru. Testovanými motocykly byly Honda CBR 929 RR a Honda GL 1500 Valkyrie a byl zrealizován soubor 298 měření. Bylo dosaženo brzdného zpomalení  $8,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  (z rychlosti 100 km/h do 0 km/h) a brzdná dráha byla dlouhá 41,70 m. Dále byly sledovány časy aktivování jednotlivých ovládacích prvků, a to od okamžiku kompletního zavření plynové rukojeti. Prvně byla použita zadní brzda (0,22 s), následovala přední brzda (0,23 s), zmáčknutí spojkové páčky, kdy dojde k odpojení zadního kola od motoru (1,07 s). Stlačení předních tlumičů do poloviny zdvihu proběhlo za 0,62 s.



Obr. 35: Měření brzdného zpomalení motocyklů [22]

Bylo prokázáno, že podřazování rychlostních stupňů v průběhu brzdění prodlužuje brzdnu dráhu (u souboru 31 měření byla brzdna dráha 43,17 m).

Rovněž hraje důležitou roli, zda je či není v průběhu brzdění použita spojka. V případě použití spojky, tj. odpojení zadního kola od motoru, byla brzdna dráha na souboru 11 měření 39,95 m. V případě nepoužití spojky byla brzdna dráha na souboru 35 měření 41,5 m.

GREEN, D.: A comparison of Stopping Distance Performance for Motorcycles Equipped with ABS, CBS and Conventional Hydraulic Brake System, California 2006 [21] popisuje výzkumný projekt v oblasti motocyklových brzdných systémů. Zabývá se účinností systému Anti-lock Braking System (ABS) a Combined Brake System (CBS) na motocyklech při různých jízdních manévrech a zatížení. Měření bylo realizováno na motocyklech Honda VFR 800i – ABS a CBS (2002), BMW F650 – ABS (2002), BMW R 1150R – s/bez ABS a CBS (2002) a Yamaha FJR 1300 – s/bez ABS (2004). Výsledkem výzkumu bylo zjištěno, že ABS obecně zlepšuje brzdnu dráhu ve většině jízdních podmínek a CBS zlepšuje brzdny výkon za použití pouze zadní brzdy.

Porovnání nejlepších brzdnych drah z rychlosti 48 km/h a 128 km/h (u BMW F 650 117 km/h, 75 % z maximální rychlosti) na suchém povrchu ukázalo, že motocykly s ABS mají o 5 % kratší brzdnu dráhu v porovnání s motocykly bez ABS. Brzdna dráha byla ještě kratší u zatížených motocyklů vybavených ABS (o 7 %) a nejkratší u motocyklů s ABS, které brzdily pouze zadní brzdou (o 17 %).

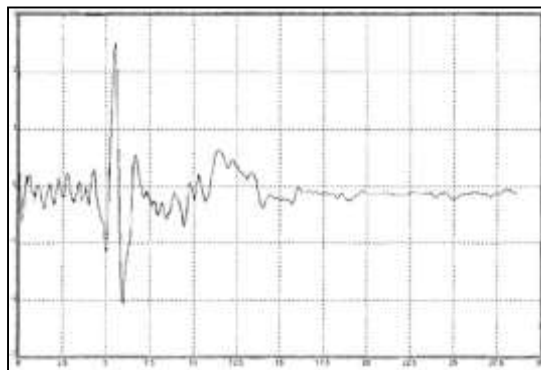
Testy na mokřém povrchu byly provedeny z bezpečnostních důvodů z rychlosti 48 km/h. Opět bylo zjištěno, že motocykly s ABS mají o 5 % kratší brzdnu dráhu v porovnání s motocykly bez ABS. Brzdna dráha byla více znatelná při brzdění oběma brzdami (o 10,8 %). Nejkratší brzdna dráha byla u zatížených motocyklů vybavených ABS, které brzdily oběma brzdami (o 15,5 %).

Publikace BARTLETT, W., BAXTER, A., ROBAR, N.: Motorcycle braking tests I.P.T.M. data through 2006, 2006 [65] popisuje testování brzdneho zpomalení (soubor více než 200 měření na 119 motocyklech) za použití pouze přední, zadní a obou brzd současně. Motocykly byly staré v rozmezí 1987 až 2006, motocyklisté měli zkušenosti s řízením motocyklů a brzdne manévry byly prováděny co nejrychleji. Výsledkem celého souboru

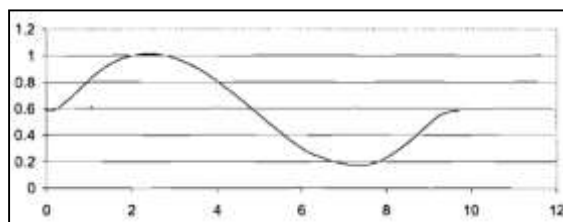
měření byly průměrné hodnoty brzdného zpomalení - zadní brzda  $3,6 \text{ m.s}^{-2}$ , přední brzda  $5,9 \text{ m.s}^{-2}$  a obě brzdy  $7,3 \text{ m.s}^{-2}$ . Jak bylo očekáváno, nejhorších výsledků bylo dosaženo za použití pouze zadní brzdy a nejlepších s použitím obou brzd současně.

V článku TEOH, E.: Effectiveness of Antilock Bracking Systems in Reducting Motorcycle Fatal Crash Rates, Arlington 2010 [19] byla zkoumána efektivita ABS systému motocyklů v průběhu let 2003 až 2008 v USA. Výsledkem studie bylo zjištění, že u motocyklů vybavených ABS je výskyt nehod o 37 % nižší než u motocyklů bez ABS.

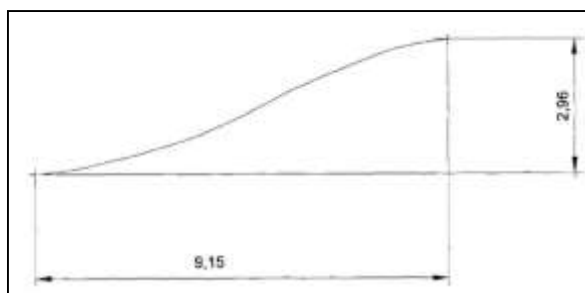
V literatuře KASANICKÝ, G., KOHÚT, P.: Analýza nehôd jednostopových vozidel, Žilina 2000 [2] je zmínka o příčném přemístění dvěma oblouky malého motocyklu značky Simson Skútr při rychlosti 20, 30 a 35 km/h, kde velikost bočního přemístění byla 1, 2, 3 a 4 m. Pomocí dýzy, ze které na vozovku stříkala voda, byl zaznamenán tvar trajektorie motocyklu a z toho byl vypočítán průběh úhlu klopení motocyklu. Čas trvání manévru bočního přemístění motocyklu byl vyhodnocen na základě záznamu z měřícího zařízení, které bylo pevně připevněné k motocyklu.



Graf 14: Průběh naměřeného příčného přemístění motocyklu – rychlý manévr při rychlosti 30 km/h (svislá osa – zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ], vodorovná osa – čas [s]) [2]



Graf 15: Vypočítaný přibližný úhel naklopení motocyklu – rychlý manévr při rychlosti 30 km/h (svislá osa – úhel klopení [rad], vodorovná osa – dráha [m]) [2]



Graf 16: Trajektorie pohybu motocyklu – rychlý manévr při rychlosti 30 km/h [2]

Autor článku z časopisu Soudního inženýrství BRADÁČ, A.: Příčné přemístění vozidel při analýze silniční nehody, 2005 [5] pojednává o analýze současného stavu možností výpočtu času potřebného na příčné přemístění vozidla. Existuje několik různých metod, avšak dosažené výsledné hodnoty byly i při stejných vstupních hodnotách odlišné. Proto se článek zabývá i jejich porovnáním. Nejvhodnější metodou pro výpočet času příčného přemístění byl Kovaříkův vzorec, kde je již zahrnuta prodleva od prvního natočení volantů do odezvy vozidla v podobě nárůstu příčné rychlosti, resp. příčného zrychlení.

$$t = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_{y\max}}} \quad (3)$$

kde:

$y$  [m] .....příčné přemístění

$a_y$  [m.s<sup>-2</sup>] .....příčné zrychlení

Dosazované hodnoty příčného zrychlení by se měly pohybovat do 2 m.s<sup>-2</sup> pro normální klidnou jízdu a do 4 m.s<sup>-2</sup> pro sportovní dynamičtější jízdu. Pokud byly na místě následkem manévru zanechány vozidlem stopy, lze jít až na hodnotu odpovídající adhezi dané pneumatiky na daném povrchu. U malých rychlostí (do 20 km/h) již nelze použít Kovaříkův vzorec. V těchto případech je možné hodnotu  $a_{y\max}$  odečíst z grafu na obr. 23.6.9. str. 385 z literatury BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, Brno 1999 [1].

Z vyhodnocených měření byla vysledována závislost okamžitého úhlu naklonění na okamžitém příčném zrychlení a bylo zjištěno, že se u jednotlivých vozidel pohybovala v rozmezí 0,2 až 0,5 °/m.s<sup>-2</sup>. Tedy abychom z bočního zrychlení, naměřeného ve vozidle, získali zrychlení příčná (v rovině rovnoběžné s vozovkou), je zapotřebí od každého

jednoho  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  odečíst složku tíhového zrychlení odpovídající  $\sin(0,3^\circ \text{ až } 0,6^\circ)$ , což je 0,05 až  $0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , tedy 5 až 10 %.

Autor článku SEDLÁK, R.: Příčné přemístění motocyklu, Brno 2011 [23] se zaměřil na zjištění maximálních hodnot příčného zrychlení při vyhýbacím manévru motocyklů (2 x Yamaha YZR R6 – 2004 a Suzuki GSX-R1000 K5 – 2005). Velikost příčného přemístění byla 2 m, rychlost motocyklů 50, 60 a 90 km/h. Manévr měl být proveden pokud možno co nejrychleji s navrácením do původního směru jízdy.



Graf 17: Hodnoty příčného zrychlení při vyhýbacím manévru [23]

Hodnoty příčného zrychlení se pohybovaly v rozmezí 2 až  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Vyšší hodnoty příčného zrychlení odpovídají nižším rychlostem motocyklu.

Literatura SEMELA, M.: Analýza silničních nehod II, 2012 [8] popisuje příčné přemístění motocyklů. To je diametrálně odlišné od dvoustopých vozidel. Z více než 300 jízdních pokusů vyplynulo, že změna jízdního pruhu u motocyklu trvá v rozmezí 2,8 až 3,4 s a prakticky nezávisí na příčné vzdálenosti. Příčné přemístění motocyklů lze rozdělit na tři fáze.

První fáze představuje vyhnutí řídítek (0,7 až 1 s), než dojde ke změně směru motocyklu.

Druhá fáze je samotné vyhnutí, viz vzorec.

$$t_{vyhnutí} = 2 \cdot \sqrt{\frac{B}{4 \cdot a_y}} \quad (4)$$

kde:

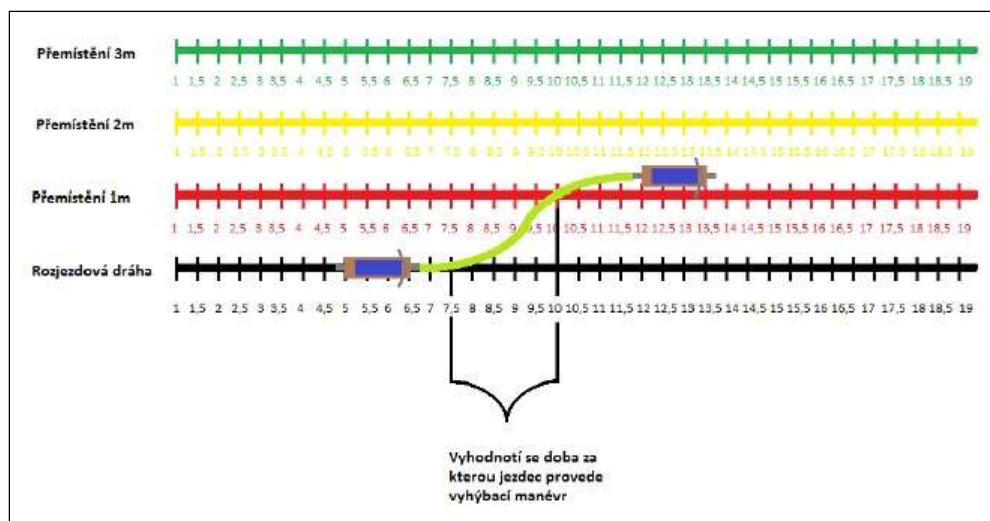
B [m] .....příčná vzdálenost

$a_y$  [m.s<sup>-2</sup>] .....příčné zrychlení (maximálně 2,5 m.s<sup>-2</sup>)

Třetí fáze je opětovné srovnání řídítek se stopou motocyklu (0,9 až 1,2 s). Při vyšších rychlostech jsou časy kratší.

V diplomové práci FRIEDEL, D.: Analýza doby příčného přemístění motocyklů, 2013 [91] bylo popsáno měření bočního přemístění jedním a dvěma oblouky. Měření probíhalo na rovném asfaltovém úseku, na kterém byly pomocí křídly naznačeny čtyři dlouhé čáry. První byla výjezdová, ze které motocyklista prováděl vyhýbací manévr, a další tři čáry byly měřicí (vzdálené od té výjezdové 1, 2 a 3 metry).

Na nádrži motocyklu byl umístěn XL Metr a v zadní části motocyklu byla umístěna kamera, která snímala zadní kolo v průběhu příčného přemístění za motocyklem. Další kamera byla umístěna na stativu a snímala z boku celý průběh příčného přemístění.



Obr. 36: Schéma měření vyhýbacího manévru [91]

Předmětem měření byly motocykly z kategorie enduro (Honda XRV 650 Africa Twin, Aprilia Tuareg Wind 350 a Suzuki V-Storm 650), naked bike (Honda CB 600F a Honda



CB 500), super sport (Honda CBR 900RR) a veterán (Jawa 250/353 s a bez přívěsného vozíku PAV 40).

Výsledkem měření příčného přemístění jedním obloukem bylo zjištění, že se celková doba všech fází pohybovala v rozmezí 0,9 až 2,2 s, doba příčného přemístění 2. fáze se pohybovala v rozmezí 0,5 až 1,5 s.

Výsledkem měření příčného přemístění dvěma oblouky pak bylo zjištění, že celková doba všech fází se pohybovala v rozmezí 1,4 až 3,3 s a doba příčného přemístění 2. fáze se pohybovala mezi 0,5 a 1,7 s.

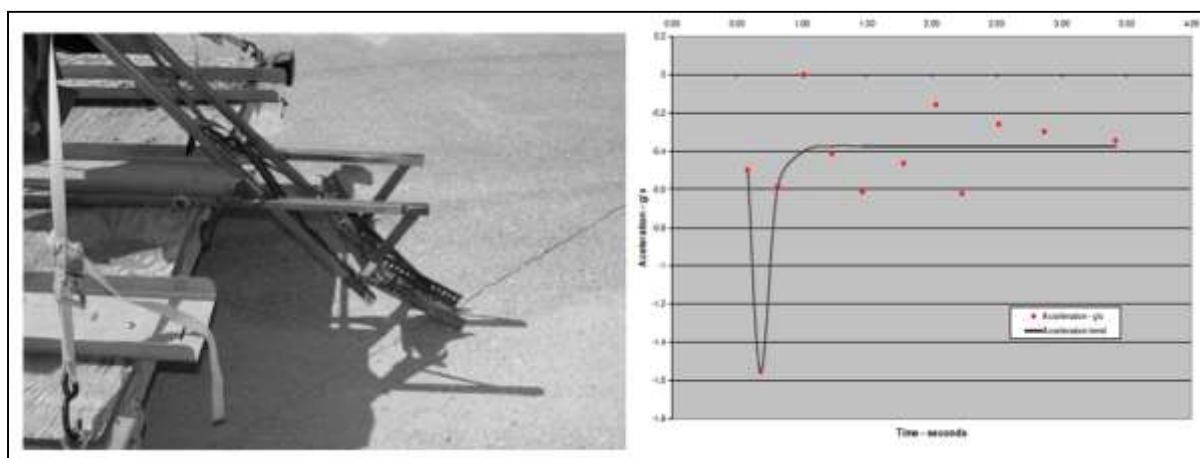
Studie SEARLE, J., SEARLE, A.: The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclist, etc., Following a Road Accident, 1983 [86] pojednává o koeficientu tření při sunutí motocyklu. Ve studii je uveden koeficient tření motocyklu na suchém asfaltě v rozmezí 0,35 až 0,50. Na mokrém asfaltě pak tento koeficient dosahoval hodnot 0,30 až 0,40.

Publikace FRICKE, L.: Traffic Accident Reconstruction, Illinois 1990 [85] pojednává o výzkumu nehod motocyklů a o koeficientu tření motocyklů při sunutí. Bylo zjištěno, že koeficient tření na asfaltě nebo betonu se pohyboval v rozmezí 0,4 a 0,75, zatímco na nezpevněném povrchu mezi 0,65 a 1,05.

Publikace McNALLY, B.: Summary of Motorcycle Friction Test [84] poskytuje souhrnný přehled problematiky koeficientu tření motocyklů v průběhu sunutí. V publikaci jsou uvedeny zdroje s touto problematikou od roku 1979 až do roku 1999. Většinou byly testovány standardní motocykly, kde stupačky, řídítka, stojan atd., byly při sunutí v kontaktu s nerovnostmi a trhlinami ve vozovce. Pár testů bylo provedeno i se sportovními motocykly, které díky kapotáži dosahovaly menších koeficientů tření. V podstatě čím horší je stav vozovky, co se nerovností, trhlin a děr týče, tím vyšší jsou hodnoty koeficientu tření.

Publikace McNALLY, B., BARTLETT W.: Motorcycle Sliding Coefficient of Friction Tests, Jacksonville [83] popisuje koeficient tření motocyklů. Byly provedeny tři testy se dvěma motocykly (Suzuki GSX 750 Katana a Honda CBR 360). Motocykl byl vlečen za

vozidlem a jeho přední kolo bylo uchyceno nad vozovkou. Po dosažení požadované rychlosti bylo přední kolo spuštěno na vozovku. Přední kolo bylo zablokováno, což simulovalo plné brzdění předního kola. Následoval pád a sunutí motocyklu po vozovce až do konečné polohy.



Obr. 37: Roztahovací zařízení motocyklu a průběh zpomalení při sunutí motocyklu [83]

Výsledky testů ukazují, že motocykl má tendenci zpomalovat mnohem více v průběhu prvotního kontaktu s vozovkou než v následujícím sunutí do konečné polohy.

| Test Number | Motorcycle | Average f after stabilizing | Ave drag factor in first 15 feet | Ave overall f from Field Data | Ave overall f from Video Data |
|-------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2           | Honda      | 0.38                        | 0.88                             | 0.47                          | 0.48                          |
| 3           | Honda      | 0.36                        | 0.74                             | 0.39                          | 0.41                          |
| 4           | Suzuki     | 0.35                        | 0.78                             | 0.39                          | 0.42                          |

Tab. 11 :Hodnoty koeficientů tření motocyklů [83]

Článek PECK, L., FOCHA, B., GLOEKLER, T.: Motorcycle Sliding Friction for Accident Investigation, USA [80] popisuje koeficient tření při sunutí motocyklu. Předmětem výzkumu bylo 15 skutečných crash testů motocyklů, sběr dat byl proveden pomocí GPS systému s frekvencí 5 a 10 Hz a zaznamenáván sesynchronizovanou kamerou. Přední kolo motocyklu bylo uchyceno do speciálního tažného zařízení, při dosažení požadované rychlosti došlo k uvolnění kola a následoval pád motocyklu. Při výpočtech dráhy sunutí motocyklu (od prvního kontaktu s asfaltem až do konečné polohy) byl důležitým okamžikem pokles rychlosti, který signalizoval kontakt motocyklu s vozovkou.



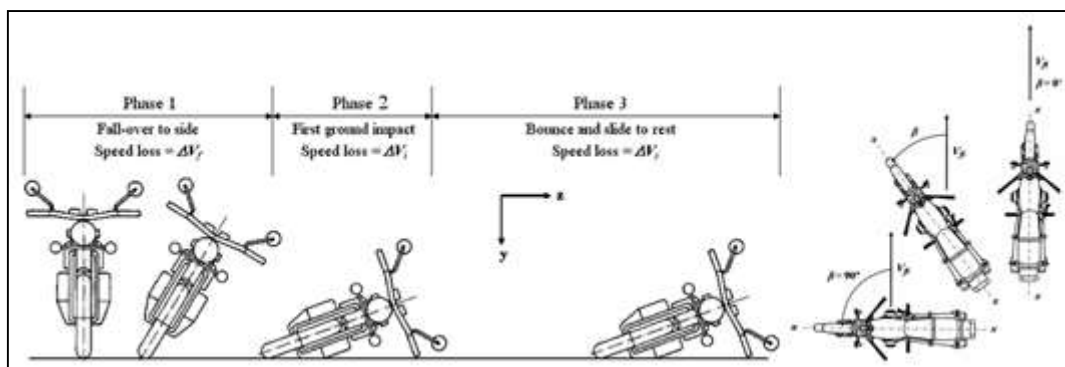
Obr. 38: Speciální tažné zařízení pro sunutí motocyklu [80]

| ID | Vo (m/s) | GRADE | LOCATION | DRAG (-g's) | INITIAL DRAG (-g's) | SURFACE      |
|----|----------|-------|----------|-------------|---------------------|--------------|
| 1  | 22       | 0.1%  | NHMS 1   | 0.37        | 0.27                | ASPHALT      |
| 2  | 27       | 0.5%  | NHMS 6   | 0.49        | 0.82                | ASPHALT      |
| 3  | 23       | 1.6%  | NHMS 1   | 0.60        | 0.65                | ASPHALT      |
| 4  | 25       | 2.9%  | NHMS 4   | 0.45        | 0.29                | ASPHALT/DIRT |
| 5  | 25       | 1.8%  | NHMS 9   | 0.56        | 0.42                | ASPHALT      |
| 6  | 10       | 3.6%  | NHMS 12  | 0.23        | 0.13                | ASPHALT      |
| 7  | 19       | 4.3%  | NHMS 4   | 0.50        | 0.31                | ASPHALT      |
| 8  | 27       | 0.4%  | NJMP     | 0.33        | 0.34                | ASPHALT      |
| 9  | 24       | 0.1%  | NJMP     | 0.41        | 0.41                | ASPHALT      |
| 10 | 14       | 0.0%  | NHMS 11  | 0.52        | 0.72                | ASPHALT      |
| 11 | 20       | 0.9%  | NHMS 2   | 0.41        | 0.67                | ASPHALT      |
| 12 | 41       | 0.0%  | NHMS 1   | 0.52        | 0.78                | ASPHALT      |
| 13 | 19       | 2.0%  | NHMS 2   | 0.41        | 0.61                | WET ASPHALT  |
| 14 | 16       | 0.6%  | NHMS12   | 0.44        | 0.21                | ASPHALT      |
| 15 | 30       | -4.7% | NHMS1    | 0.49        | 0.27                | ASPHALT      |
| 8A | 17       | 1.4%  | NJMP     | 1.11        | N/A                 | DIRT         |
| 9A | 12       | 3.0%  | NJMP     | 0.61        | N/A                 | DIRT         |

Tab. 12: Hodnoty koeficientů tření [80]

Byly zjištěny průměrné hodnoty koeficientů tření, na suchém asfaltu 0,45 a na mokřém asfaltu 0,41.

Článek WALSH, D., WOOD, D., ALLIOT, R., GLYNN, C., SIMMS, C.: Motorcycle capsizing mechanisms and confidence limits for motorcycle capsizing speed from slide/bounce distance, 2009 [14] popisuje závislost mezi rychlostí před převrnutím motocyklu následkem pádu nebo střetu a vzdáleností jeho odhození.

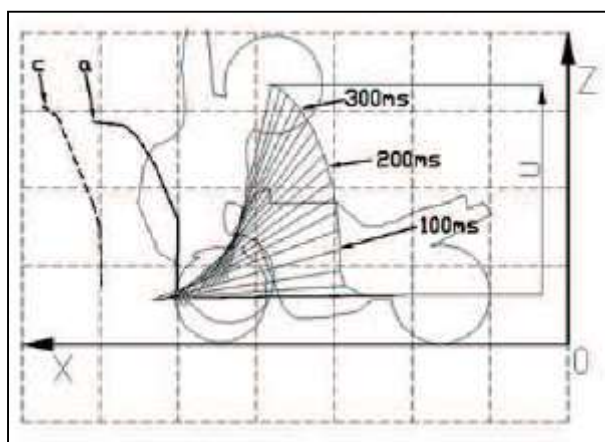


Obr. 39: Jednotlivé fáze pádu motocyklu [14]

Studii byl zjištěn koeficient zpomalení (při sunutí) různých druhů motocyklů (celokapotované, polokapotované, bez kapotáže a s padacími rámy), který měl pro částečně nebo plně kapotované motocykly hodnoty  $\mu=0,408$  a  $\sigma=0,036$ , motocykly bez kapotáže  $\mu=0,46$  a  $\sigma=0,092$  a motocykly s padacími rámy  $\mu=0,286$  a  $\sigma=0,037$ .

Článek PROCHOWSKI, L., PUSTY, T.: Analysis of the rotation and lifting of a motorcycle following an impact against a motor car side, Warsaw [74] pojednává o průběhu rotace a zvedání motocyklu následkem nárazu do boku vozidla.

Analýzou procesu zvedání motocyklu (od prvního kontaktu kola motocyklu až po kontakt motocyklu s bokem vozidla), bylo dosaženo rychlosti zvedání 2,5 m/s. Během rotace motocyklu stoupla výška okamžitého středu otáčení o více než 0,5 m za 20 až 100 ms, úhel natočení motocyklu dosáhl  $80^\circ$  v rozmezí přibližně 360 až 400 ms. Značná část (přibližně 15 %) kinetické energie pohybu před nárazem náleží zdvihání a otáčení motocyklu.



Obr. 40: Průběh rotace a zvedání motocyklu následkem nárazu do boku vozidla [74]

Publikace MC NALLY, B., BARTLETT, W.: Motorcycle Speed Estimates Using Conservation of Linear and Rotational Momentum, Florida 2002 [61] pojednává o odhadu rychlosti motocyklů při střetu s vozidlem na základě zákonů zachování hybnosti a točivosti.

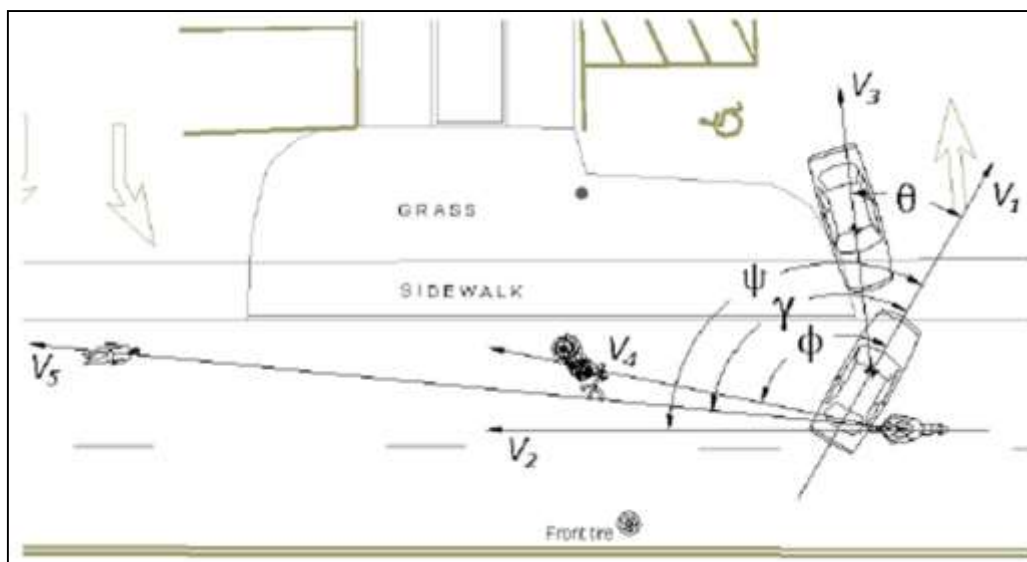
| Equation 2  |                                                                                                                                  |                    |       |                                        |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|----------------------------------------|
| Explanation | A typical representation of a motorcycle/vehicle impact, where the motorcycle and rider have different post-impact trajectories. |                    |       |                                        |
| Formula     | $M_1\vec{V}_1 + (M_2 + M_3)\vec{V}_2 = M_1\vec{V}_3 + M_2\vec{V}_4 + M_3\vec{V}_5$                                               |                    |       |                                        |
| Where       | $M_1$                                                                                                                            | Mass of vehicle 1  | $V_1$ | Velocity of vehicle 1 at impact        |
|             | $M_2$                                                                                                                            | Mass of motorcycle | $V_2$ | Velocity of motorcycle/rider at impact |
|             | $M_3$                                                                                                                            | Mass of rider      | $V_3$ | Velocity of vehicle 1 after impact     |
|             |                                                                                                                                  |                    | $V_4$ | Velocity of motorcycle after impact    |
|             |                                                                                                                                  |                    | $V_5$ | Velocity of rider after impact         |

| Equation 3 |                                                                                                                       |                               |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Note       | Equations 3 and 4 must be solved in order, since Equation 4 requires the value of $V_2$ from Equation 3 for solution. |                               |
| Formula    | $V_2 = \frac{M_1V_3\sin\theta + M_2V_4\sin\phi + M_3V_5\sin\gamma}{(M_2 + M_3)\sin\psi}$                              |                               |
| Where      | $\psi$                                                                                                                | Approach angle of motorcycle  |
|            | $\phi$                                                                                                                | Departure angle of motorcycle |
|            | $\gamma$                                                                                                              | Departure angle of rider      |
|            | $\theta$                                                                                                              | Departure angle of vehicle 1  |

| Equation 4 |                                                                                                |                               |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Formula    | $V_1 = \frac{M_2V_4\cos\phi + M_3V_5\cos\gamma - (M_2 + M_3)V_2\cos\psi}{M_1} + V_3\cos\theta$ |                               |
| Where      | $\psi$                                                                                         | Approach angle of motorcycle  |
|            | $\phi$                                                                                         | Departure angle of motorcycle |
|            | $\gamma$                                                                                       | Departure angle of rider      |
|            | $\theta$                                                                                       | Departure angle of vehicle 1  |

Tab. 13: Výpočet rychlostí na základě zákona zachování hybnosti a točivosti [61]

U většiny střetů motocyklů musí být vzorec rozšířen tak, aby zahrnoval postřetové hybnosti motocyklu i motocyklisty, protože tyzpravidla po nehodě netvoří jeden celek.



Obr. 41: Postřetový pohyb vozidla, motocyklu a motocyklisty [61]

### 1.1.3 Vliv bezpečnostních prvků motocyklů

Vzhledem k tomu, že posádka motocyklu není chráněna pevnou karosérií jako posádka vozidla, je v případě nehody vystavena vyššímu riziku. Bezpečnostní prvky používané u motocyklů se liší od bezpečnostních prvků používaných u vozidel. Jejich hlavní funkcí je zabránit a minimalizovat vznik zranění posádky motocyklů.

#### 1.1.3.1 *Pasivní prvky bezpečnosti*

Hlavní funkcí pasivních prvků bezpečnosti je především zabránit nebo minimalizovat vznik zranění posádky při střetu, respektive pádu motocyklu. Ochranný systém se umísťuje přímo na posádku motocyklu (např. přilba, kombinéza, airbag vesty) nebo na motocykl (např. ochranné rámy nohou, airbag).

Mezi základní prvky pasivní bezpečnosti motocyklů patří:

- airbag,
- konstrukce motocyklu (schopnost absorbování energie předním kolem motocyklu, prvky korigující pohyb těla po střetu – geometrie posedu motocyklisty, poloha sedadla, tvar palivové nádrže, chrániče nohou, atd.),
- výstroj motocyklisty (přilba, ochranná vesta, airbag vesta, protektory, atd.).

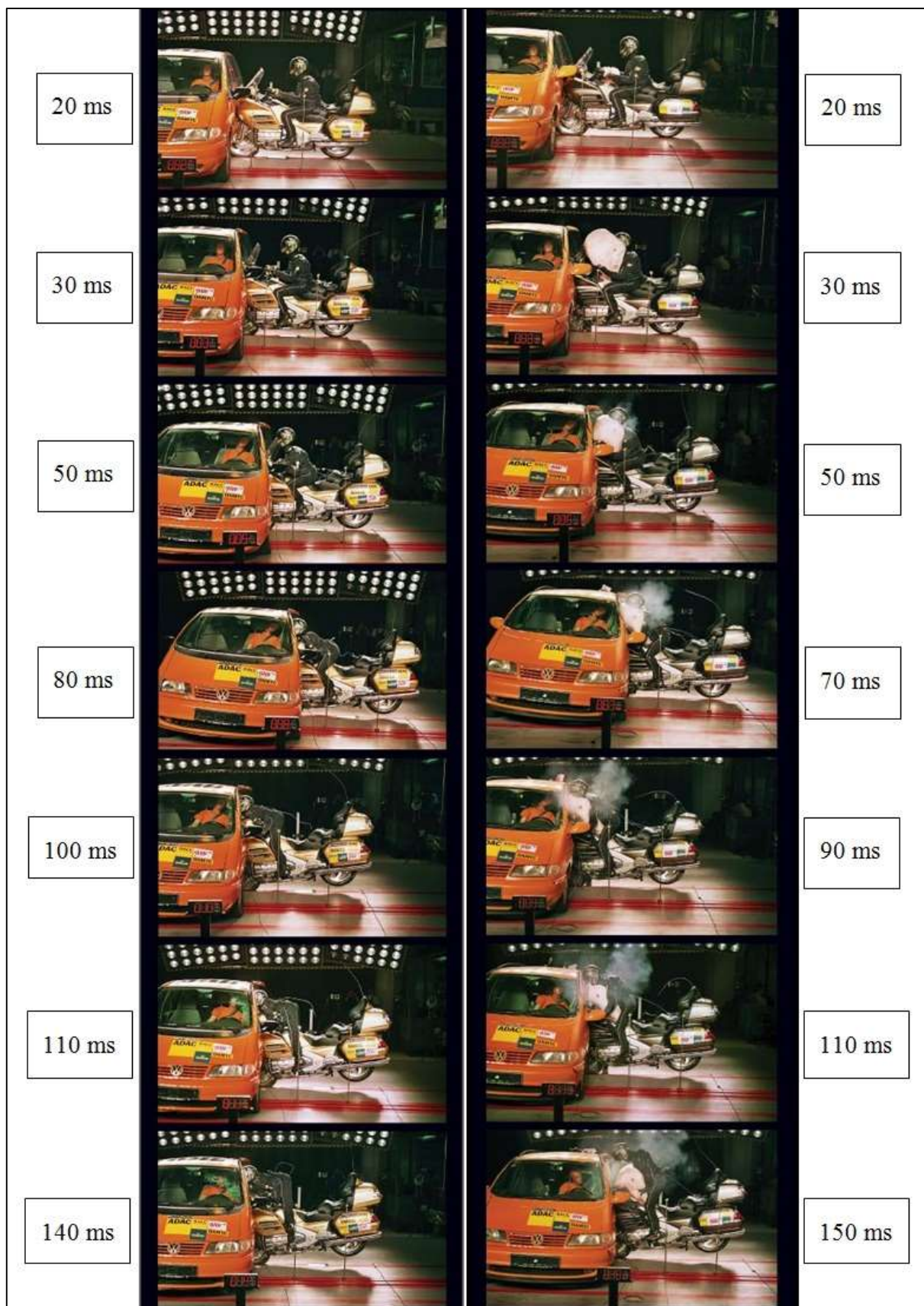
Airbasy používané u motocyklů slouží k usměrnění pohybu těla motocyklisty po střetu a zabraňují kontaktu části těla s vozidlem. K nejzávažnějším zraněním dochází při primárním kontaktu motocyklisty s vozidlem. Naopak při sekundárních kontaktech těla motocyklisty s vozovkou většinou k závažným zraněním nedochází (podmínkou je dobrá výstroj motocyklisty). Airbag je v současnosti jedním z nejúčinnějších způsobů zabránění vzniku zranění motocyklisty při nárazu do vozidla, respektive do překážky [94].



*Obr. 42: Airbag na motocyklu Honda Goldwing [94]*



*Obr. 43: Aktivovaný airbag na motocyklu Honda Goldwing při střetu s vozidlem [94]*



Obr. 44: Crash test motocyklu Honda Goldwing bez airbagu a s airbagem [94]



V publikaci HIRSCH, A., BOTHWELL, P.: Air bag crash protection for motorcycle application, Washington 1973 [32] je první zmínka o crash testu motocyklu za použití airbagu. Airbag, jako zádržný systém, byl velmi vzácný i v automobilovém odvětví. Objemy airbagů byly až do 120 litrů. Výsledky nebyly zcela uspokojivé, ale bylo zřejmé, že jejich používání bude prospěšné.

Článek SPORNER, A., LANGWIEDER, K., POLAUKE, J.: Passive Safety for Motorcyclists - from the Leg protector to the Airbag, Detroit 1990 [37] pojednává o pasivní bezpečnosti pro motocyklisty od chrániče nohou až po airbasy. Rázové zkoušky s ochrannými prvky nohou ve spojení s airbagem byly úspěšné. Cílem bylo zamezení pohybu nohou motocyklisty v případě nehody a také ochrany jeho nohou v případě pádu motocyklu. Chrániče nohou sníží zranění nohou u bočních nárazů, zatímco airbag bude absorbovat energii v případě čelních nárazů.

Publikace GROSE, G., PATEL, B., OKELLO, J.: The Development Of A Motorcycle Rider Airbag Restraint System, 1996 [40] popisuje airbasy pro velké cestovní motocykly. Byly provedeny crash testy podle ISO 13232 a airbag úspěšně zadržel jezdce ve všech situacích. Zabránil kontaktu hlavy dummy figuríny s hranou střechy vozidla během nárazu, díky tomu bylo sníženo riziko vážných poranění hlavy a krku.

Článek IIJIMA, S., HOSONO, S., OTA, A., YAMAMOTO, T.: Exploration of an airbag concept for a large touring motorcycle, Japan 1998 [41] popisuje vývoj airbagů u velkých motocyklů (Honda Gold Wing GL 1500) na základě statistických analýz nehod v Japonsku. Studie prokázaly výhody airbagů u všech testovaných konfigurací a ve všech sekvencích nárazu.

Článek YAMAZAKI, T., IIJIMA, S., YAMAMOTO, T.: Exploration Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle, Japan 2001 [42] popisuje na základě výsledků publikovaných v článku [41] studii návržení větších airbagů.



Obr. 45: *Návrh airbagů* [42]

Upravený airbag byl o 20 mm vyšší a o 150 mm širší, což vedlo k výraznému snížení rizika poranění.

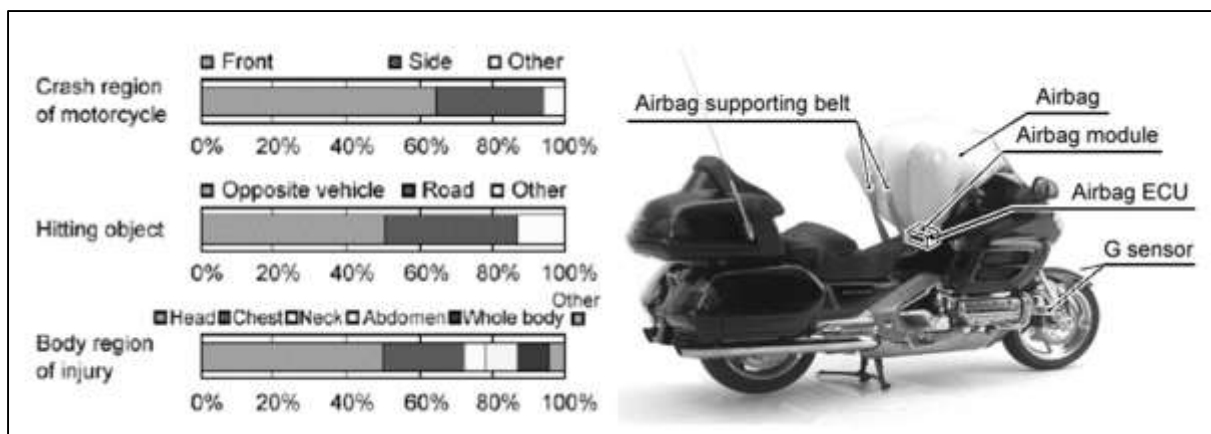
Výzkum v publikaci RÜCKER, P., BERG, F.: Analysis of the Benefit Potential of a Motorcycle Airbag to improve Rider Safety - Results from Accident Research and Crash Tests, Paris 2003 [46] se zabývá vývojem airbagu pro středně velké cestovní motocykly.



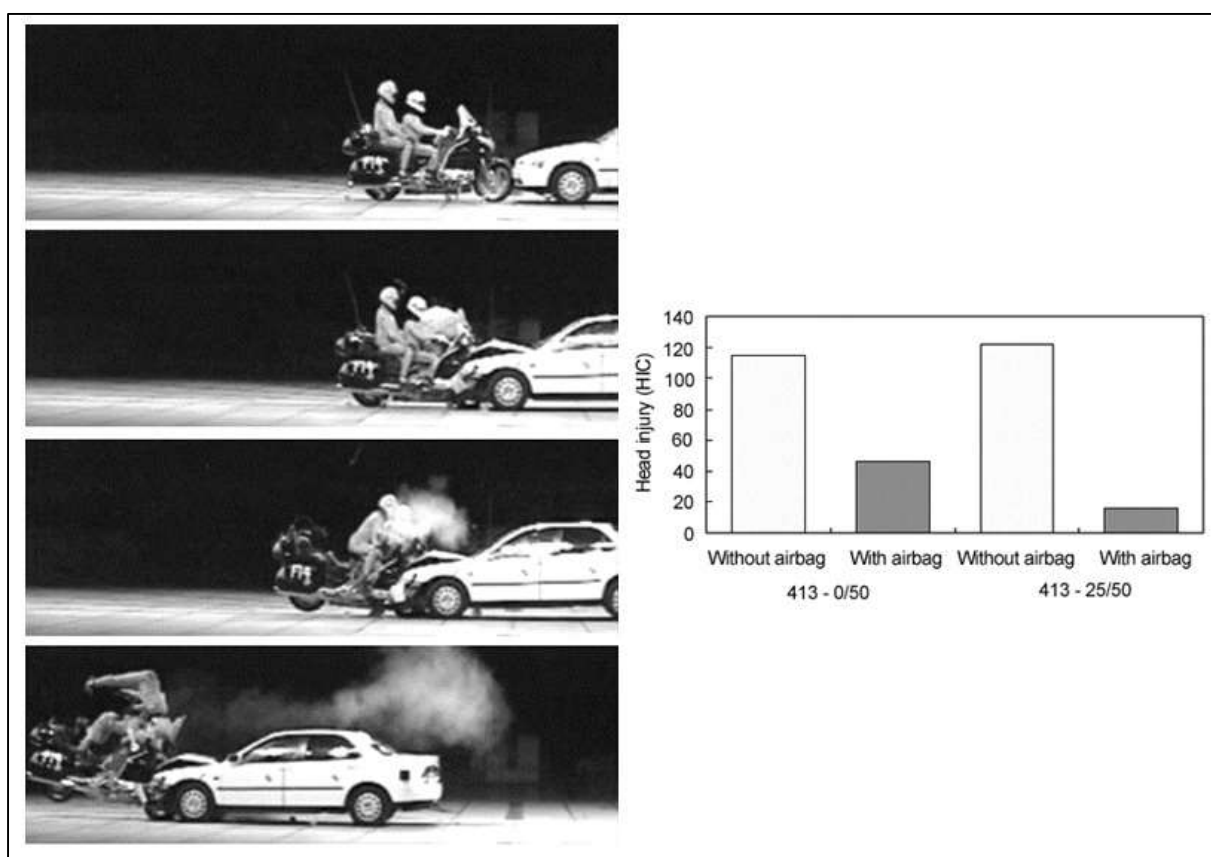
Obr. 46: *Nárazová zkouška motocyklu Yamaha FZS 600 do vozidla VW Golf II* [46]

Airbag byl již testován v několika testech (konfigurace 413 podle normy ISO 13232), při nichž byly zaznamenány dobré výsledky ochrany motocyklisty.

Článek KUROE, T.: Exploratory study of an airbag concept for large touring motorcycle, Japan [58] popisuje vliv použití airbag na motocyklu Honda GL 1800. Byla zpracována analýza nehod v Japonsku, 64 % čelních střetů motocyklu do vozidla.



Obr. 47: Vliv použití airbagu [58]



Obr. 48: Průběh crash testů a hodnoty poranění hlavy s a bez airbagu [58]

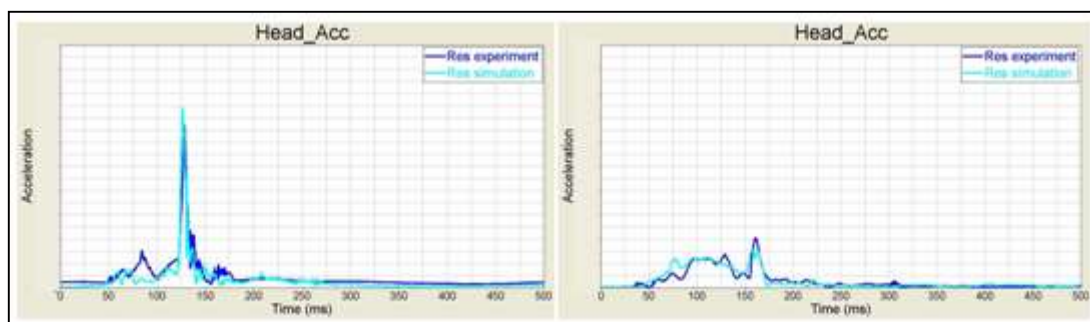
Používání airbagů je účinné, vede ke snižování počtu smrtelných a vážných zranění motocyklistů.

Autor DEGUCHI, et al.: Simulation of motorcycle-car collision, Japan 2005 [59] pojednává o airbagu na malém motocyklu Yamaha.



Obr. 49: Airbagu na malém motocyklu [59]

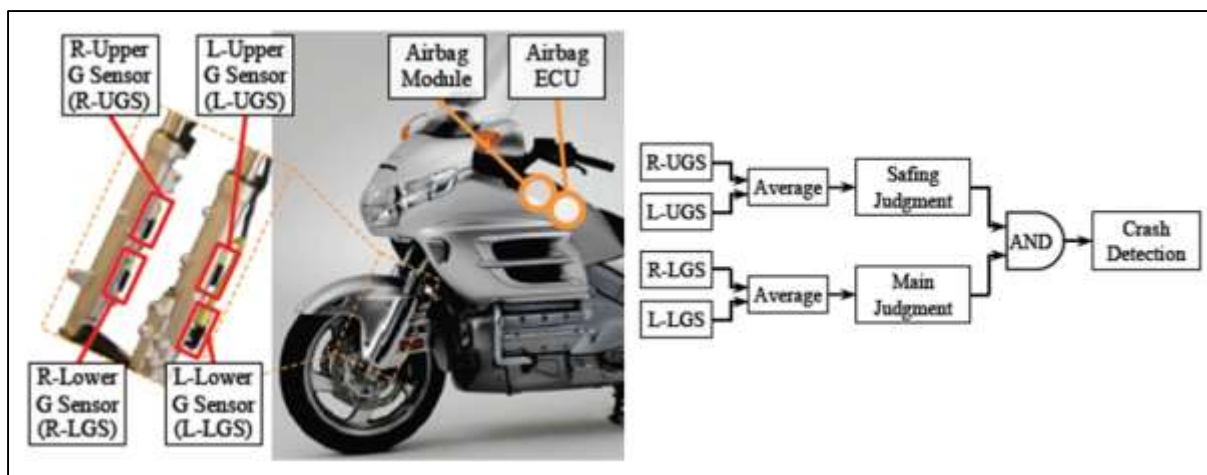
K simulaci byl použit MADYNO a PAM-SAFE software. Použitý airbag snižuje riziko poranění motocyklisty v případě čelních a podobných kolizích. Avšak ve srovnání se střety vozidel, střety motocyklů mají specifické problémy, např. rozmanitost konfigurací střetů. Rovněž větší pohyby motocyklistů po střetu, oproti posádce vozidel uvnitř karoserie vozidla.



Graf 18: Zrychlení hlavy bez a s airbagem (experiment a simulace) [59]

Bez airbagu došlo ke kontaktu hlavy Dummy figuríny s hranou střechy vozidla (HIC 690). Pokud byl motocykl vybaven airbagem, bederní oblast Dummy figuríny byla zadržena v oblasti sedla a hlava narazila jen mírně do zadní části vozidla (HIC 153).

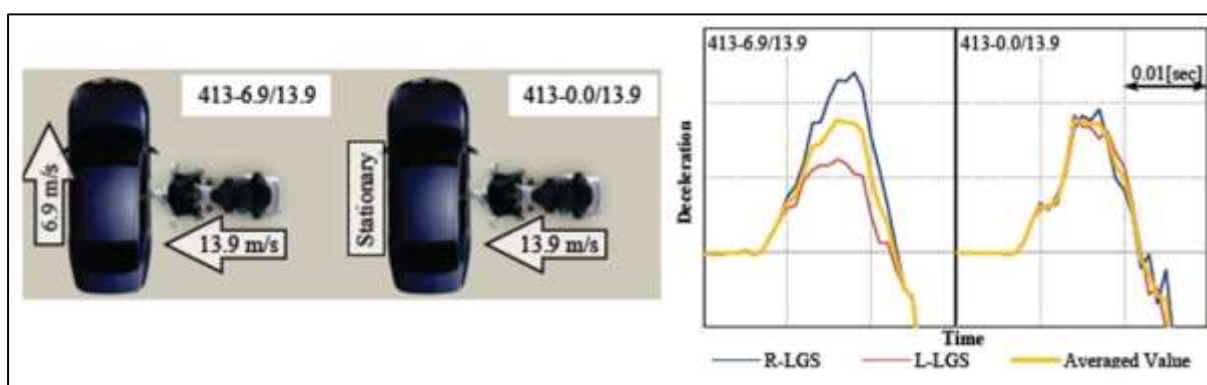
Článek KOBAYASHI, Y., MAKABE, T.: Crash detection method for motorcycle airbag system with sensors on the front fork, Japan [77] pojednává o nové verzi airbag, se dvěma sensory.



Obr. 50: Předchozí Airbag system motocyklu se čtyřmi senzory a schema aktivace [77]

R-LGS (pravého spodního senzoru zpomalení)

L-LGS (levého spodního senzoru zpomalení)

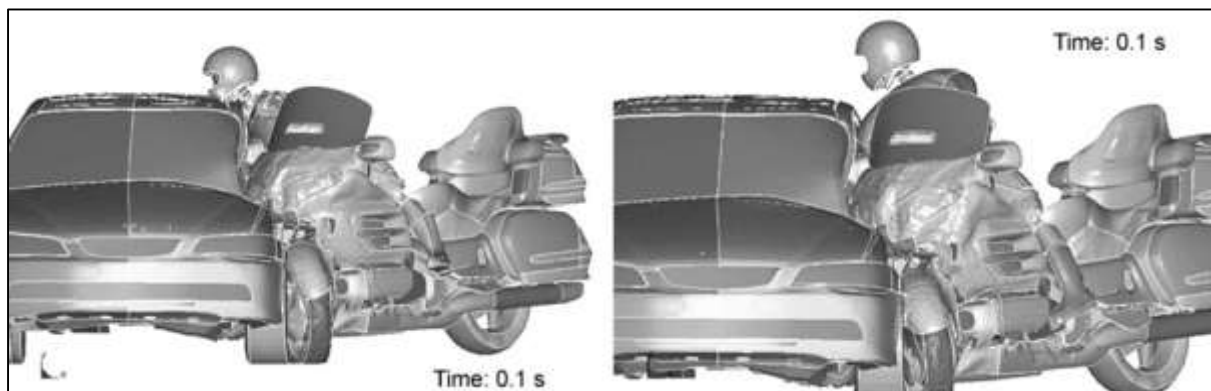


Obr. 51: Provedené crash testy podle normy ISO 13232 [77]

V konfiguraci 413 (rychlost vozidla 0,0 m/s a motocyklu 13,9 m/s) je hodnota R-LGS shodná shodnotou L-LGS. Obě přední vidlice jsou deformovány rovnoměrně, tzn. stejná hodnota zpomalení. V případě druhé konfigurace 413 (rychlost vozidla 6,9 m/s a motocyklu 13,9 m/s) je hodnota zpomalení L-LGS nižší než u R-LGS. Důvodem je, že přední kolo motocyklu naráží do pohybujícího vozidla, což vede ke stáčení předního kola motocyklu a k nerovnoměrné deformaci předních vidlic, tzn. různé hodnoty zpomalení.

Článek NAMIKI, H., NAKAMURA, T., IJIMA, S: A computer simulation for motorcycle rider injury evaluation in collision, Japan [81] pojednává o vývoji počítačových simulací, konkrétně při střetu motocyklu s vozidlem. Pokud nemá motocykl airbag, hlava motocyklisty

silně naráží do hrany střechy vozidla. Pokud je motocykl vybaven airbagem, tělo motocyklisty je usměrněno airbagem a hlava naráží jen lehce nebo vůbec.

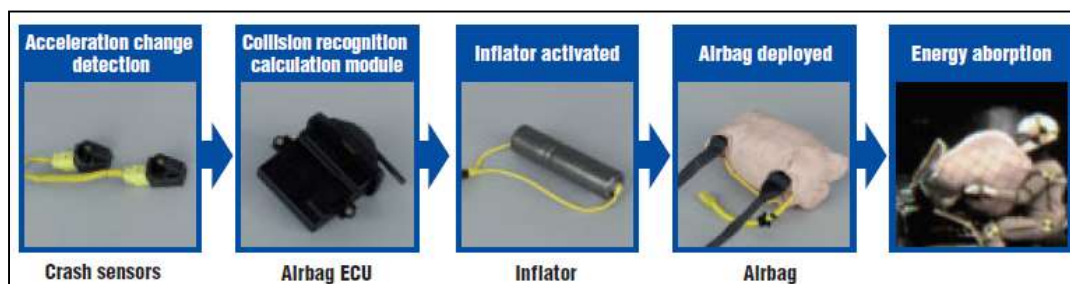


Obr. 52: Crash test bez airbagu a s airbagem [81]

Závažnost poranění motocyklisty při střetu motocyklu s vozidlem je větší než při nárazu motocyklisty se zemí. Výzkumem bylo zjištěno, že nejvíce se použití airbagu osvědčilo při střetových rychlostech 20 až 25 m/s.

Publikace HONDA MOTOR: Motorcycle Airbag Systém, 2006 [82] popisuje airbag system na motocyklech Honda. V případě čelního nárazu se airbag nafoukne a absorbuje část kinetické energie motocyklisty. V důsledku toho je síla nárazu mezi motocyklistem a vozidlem menší, což má za následek snížení míry poranění,

Airbag byl navržen pro případy čelního nárazu motocyklisty. Aktivace airbagu trvá jen asi 0,15 s od začátku do konce, méně než mrknutí lidského oka (asi 0,2 s).



Obr. 53: Schéma aktivace airbag motocyklu Honda Goldwing 1800 [82]

Firma Dainese vyvinula speciální airbag D-Air, který je dost kompaktní na to, aby se vešel i na kombinézu motocyklisty. D-Air se nejprve objevil v sérii Moto GP, ale Dainese ho chce od roku 2010 nabídnout i běžným motocyklistům [95].



*Obr. 54: Airbag vesta Dainese [95]*

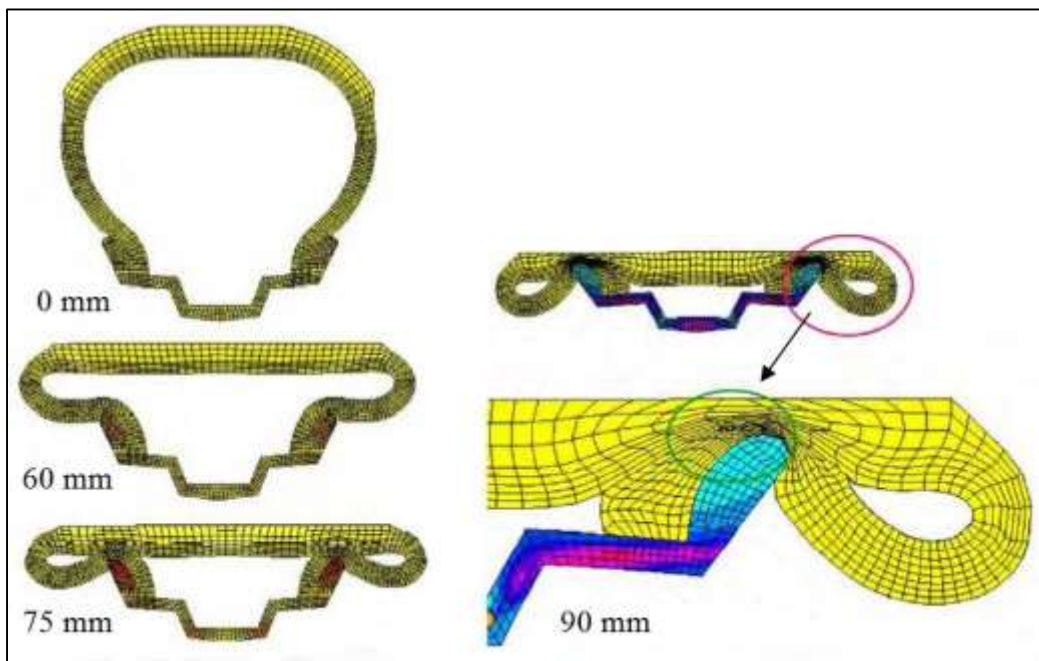


*Obr. 55: Airbag D-Tec [95]*

Publikace SHIGERU, F.: Crash analysis of motorcycle tire, 2003 [45] popisuje problematiku deformace předního ráfku motocyklu následkem nárazu napřekážku.

Ve většině případů střetu motocyklu s vozidlem dochází k prvnímu kontaktu mezi přední pneumatikou motocyklu a vozidlem. Tato síla ovlivňuje následující pohyb motocyklu a

motocyklisty. Následující obrázek popisuje vývoj modelu pneumatiky obsahující pryž, nylonové šňůry a hliníkový ráfek.



Obr. 56: Komprese pneumatiky při střetu [45]

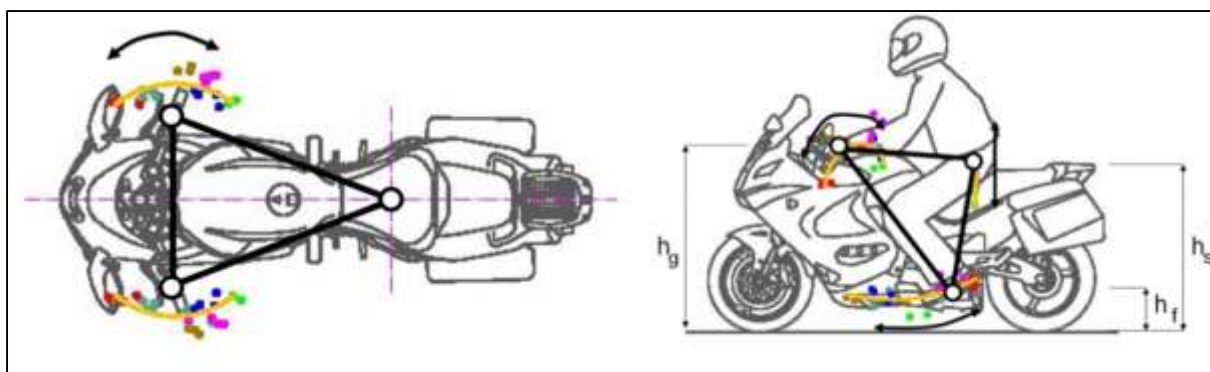
Výsledky nárazových simulací pneumatiky pomocí tohoto modelu byly v dobré shodě s údaji z dynamických experimentů.

Článek ŠOTOL, M., HÖNIG, M., FIRST, J.: Active and passive safety of motorcycles with reference to sitting geometry, Praha 2010 [18] popisuje různé geometrii posedu na motocyklu s ohledem na aktivní a pasivní bezpečnost.

Zatímco geometrie posedu v automobilu je limitována mnoha parametry (například vnitřním prostorem karoserie), u motocyklu je brán zřetel zejména na přední a zadní výhled motocyklisty, pohodlný dosah na ovládací prvky, atd.

Geometrie posedu je definována kontaktními body mezi motocyklem a motocyklistou. Místa kontaktu jsou sedadlo, řídítka a stupačky. Ve skutečnosti se nejedná pouze o kontaktní body, nýbrž spíše o kontaktní plochy, ale pro zjednodušení bereme v úvahu pouze kontaktní body. Jednoduše můžeme definovat polohu posedu pomocí dvou trojúhelníků, viz obr. 57.





Obr. 57: Geometrie posedu motocyklisty – přídorys (vlevo), bokorys (vpravo) [18]

Vzdušný odpor motocyklu (myšleno jako vazba motocykl – motocyklista) je proměnný. Čelní plocha a koeficient vzdušného odporu mají vliv na různé geometrie posedu motocyklisty, zatímco u vozidel je tato hodnota neměnná a dána pouze tvarem karoserie.

Posed motocyklisty má vliv na manipulační dosah – fyzický a optický. Fyzickým je myšleno ovládání motocyklu pomocí rukou a nohou a optický je dán výhledem motocyklisty vpřed, vzad a na ukazatele přístrojové desky. To je velmi ovlivněno právě posedem motocyklisty. Například na silničním motocyklu je jiná geometrie posedu než na chopperu. Na chopperu je posed pohodlnější a nabízí více rozhledu než je tomu u silničního motocyklu, kde je motocyklista „zalehnut“.

Poloha posedu motocyklisty má velký vliv na jeho pohodlí a tím související únavu motocyklisty. Většina motocyklů neumožňuje změnu posedu motocyklisty a tak zejména na delších cestách dochází vlivem únavy svalů k dřívější únavě motocyklisty.

Autoři literatury NAIRN, R. et al.: Motor Cycle Safety Research and Literature Review: 1987 to 1991, 1993 [39] uvedli, že závažnost poranění nohou u dopravních nehod (které zahrnovaly vážné zranění nohy) byla snížena přibližně o 50 %, pokud byl motocykl vybaven ochrannými prvky nohou.

Článek BERG, F., GRANDEL, J., QUECK, S.: Motorrad mit nach vorne verlagerbarer Sitzbank, Germany 1991 [38] popisuje motocykl s podélně posuvnou sedačkou. V případě nárazu motocyklu do boku vozidla nedojde díky posuvné sedačce, která usměrní

pohyb motocyklisty, k nárazu jeho hlavy do okraje střechy. Motocyklista přeletí přes vozidlo, což obvykle znamená menší závažnost poranění.

Článek APPEL, H., MIDDELHAUVE, V., OTTE, D.: Der Beitrag anderer Kraftfahrzeuge zur passiven Sicherheit von Kraffrädern, Germany 1986 [50] popisuje podíl ostatních vozidel s ohledem na pasivní bezpečnost motocyklů.

Autor publikace JANSSEN, E.: Standard and research activities conducted with regard to the compatibility of motorcycles with other vehicles, 2005 [49] popisuje problematiku pasivní bezpečnosti motocyklistů. Předmětem článku bylo sledování změny kinetické energie a deformace v průběhu nehod mezi motocykly a ostatními vozidly. Dále byl článek zaměřen na interakci motocyklisty s vozidlem. Některé výzkumy potvrdily skutečnost, že je vyšší pravděpodobnost poranění motocyklisty u vyšších vozidel, kdy nemůže přeletět přes okraj střechy.

Autor publikace JANSSEN, E.: Standard and research activities conducted on motorcycles, infrastructure, protective clothing & helmets, Netherlands 2005 [29] popisuje problematiku pasivní bezpečnosti motocyklistů. Publikace je rozdělena na čtyři tématické okruhy: Motocykl (prvky pasivní bezpečnosti instalované na motocyklu), Infrastruktura, Ochranné oblečení a Helmy. Jsou zde rovněž popsány základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem (ISO 13232) a procentuální počet nehod v závislosti na úhlu střetu vozidla a motocyklu.

### *1.1.3.2 Aktivní prvky bezpečnosti*

Funkcí aktivních prvků bezpečnosti je předcházet a zabránit vzniku kolizních situací a dopravních nehod.

Mezi praktické možnosti, jak zvyšovat aktivní bezpečnost motocyklů patří:

- obsluha motocyklu
  - jednoduchá obsluha brzd,
  - automatická nebo poloautomatická převodovka,

- posilovač spojky,
- viditelnost a rozlišitelnost
  - zvýšení rozlišení motocyklu pro jiné účastníky silničního provozu (např. reflexní přilba, oblečení, reflexní prvky motocyklu),
  - přilby s lepším průzorem a lepší možností slyšení,
- komfort
  - lepší komfort hlavy s nasazenou přilbou (přívod kyslíku, klimatizace),
  - ochrana motocyklisty, případně spolujezdce vhodným oděvem před nepříznivými klimatickými podmínkami,
  - snížení vibrací působících na ruce a nohy motocyklisty,
- jízdní vlastnosti
  - Anti-dive systémy zabraňující překlápění motocyklu při brzdění přední brzdou,
  - ABS systémy na předním i zadním kole motocyklu,
  - integrální brzdné systémy,
  - omezovat kmitání předního kola (přední vidlice), které způsobuje chvění řídítek.

Anti-dive systém neboli protiponořovací systém reguluje stlačování předních tlumičů v průběhu brzdění předního kola motocyklu, a tím pádem i odlehčování zadního kola motocyklu. Systém je připojen na přední tlumič a je propojen brzdovou tlakovou hadicí s brzdovým třmenem. Pokud dojde ke stlačování tlumičů v důsledku brzdění předního kola, tlak oleje v tlumiči působí na píst v anti-dive systému a snižuje tlak v brzdovém třmenu, a tím pádem snižuje stlačení předních tlumičů [96].



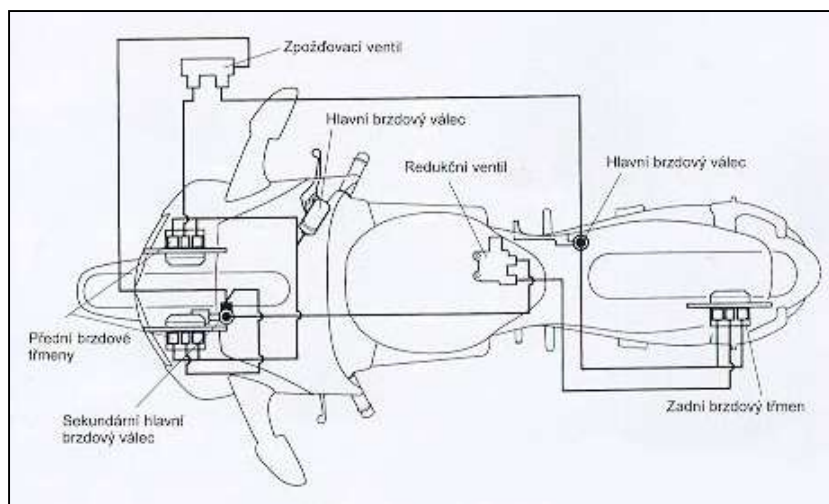
*Obr. 58: Anti-dive systém [96]*

ABS (Anti-lock Brake System) je systém aktivní bezpečnosti, který zamezuje zablokování kola při brzdění. Pokud se kolo dostane do smyku, následuje často pád, přinejmenším se stává motocykl neovladatelným. ABS zajišťuje pohyb těsně před hranicí smyku, ve skutečnosti však dochází ke krátkým blokacím kola. Použití je především u cestovních motocyklů (nejčastěji Honda, BMW). Obsahuje řídicí jednotku ABS, která dostává informace od čidla umístěného u kol. Na kole je terčik, ze kterého čidlo rozpozná, zda se kolo točí nebo stojí. V případě zablokování kola jednotka zasáhne snížením brzdného tlaku, dokud se kolo zase nezačne otáčet [97].



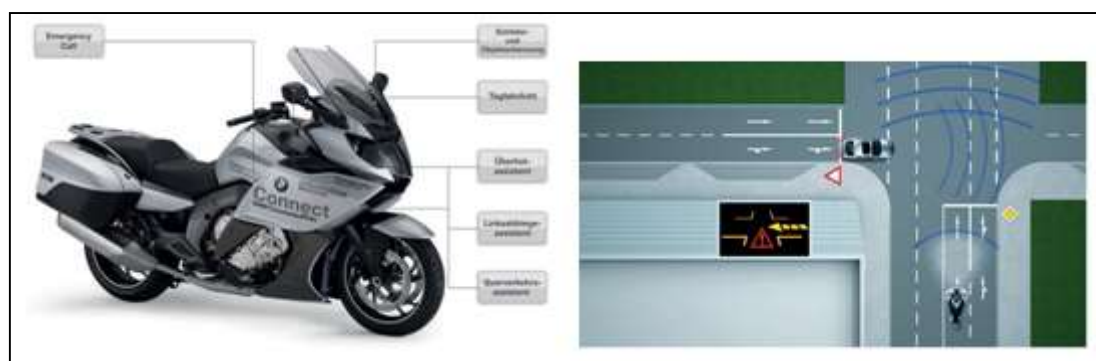
*Obr. 59: ABS systém (ilustrační foto)*

Honda vyvinula duální kombinovaný brzdový systém Dual CBS v roce 1993 (tento systém se nacházel na testovaném motocyklu Honda CBR 1000F). Na každém brzdovém kotouči jsou třípístkové brzdové třmeny, které řídí dvojice nezávislých, a přesto propojených hydraulických okruhů (Dual CBS). Oba vnější pístky třmenu přední brzdy se ovládají přímo pákou přední brzdy na říditkách, zatímco střední pístek třmenu zadní brzdy je aktivován sekundárním brzdovým válcem uchyceným na levém předním kluzáku vidlice. Vnější pístky zadního třmenu a střední pístky předního třmenu jsou ovládány přímo brzdovým pedálem zadní brzdy. Odpovídající tlak na střední pístek zadního brzdového třmenu reguluje třístupňový redukční ventil. Systém Dual CBS je vybaven zpoždovacím ventilem umístěným mezi brzdovým válečkem pedálu zadní brzdy a středním pístkem pravého brzdového třmenu. Levý brzdový třmen je aktivován přímo bez zpoždění. Pravý brzdový třmen je aktivován postupně s nárůstem tlaku na pedál zadní brzdy. Díky tomu nedochází při mírném brzdění pedálem zadní brzdy k tzv. ponořování přídě motocyklu a s tím související ztrátě ovladatelnosti [98].



Obr. 60: Integrovaný brzdový systém – DUAL CBS [98]

Publikace LINDENAU, M., KÜHN, M.: *Intelligente Systeme zur Verbesserung der Motorradsicherheit*, Berlin 2014 [99] pojednává o ohrožení motocyklistů v silniční dopravě, jejichž technické možnosti vzhledem k bezpečnosti jsou velmi omezené. V publikaci je zmínka o moderních inteligentních dopravních systémech, které mohou zajistit vyšší bezpečnost motocyklistů.



Obr. 61: Moderní inteligentní dopravní systémy motocyklů [99]

#### 1.1.4 Viditelnost motocyklů

Článek WILLIAMS, M. J., HOFFMANN, E. R.: *Motorcycle conspicuity and traffic accidents*, 1979 [9] popisuje viditelnost přední části motocyklu v souvislosti s dopravními nehodami. Analýzou 1508 nehod motocyklů, získaných ze státu Victoria v Austrálii v roce 1974, bylo zjištěno, že opravdu nedostatečná viditelnost motocyklu je důsledkem 64,5 % kolizí automobilu s motocyklem. Jedná se o jedinou identifikovatelnou příčinu 21,0 % kolizí.

Studie PAINE et al.: Daytime running lights for motorcycles, Australia [79] pojednává o denním osvětlení motocyklů – daytime running light (DRL). Australský výzkum ukázal, že použití dvou žlutých světel je velmi efektivní, vede ke zvýšení viditelnosti motocyklisty, a tím pádem ke snížení četnosti dopravních nehod.



*Obr. 62: Zvýšení viditelnosti pomocí dvou žlutých světel [79]*

Použití dvou žlutých světel DRL je mnohem účinnější než hlavní světlomet a má za následek snížení smrtelných nehod motocyklistů o více než 13 %.

Ve studii HUANG, B., PRESTON, J.: A literature Review on Motorcycle Collisions Final Report, Oxford 2004 [102] přispívají dvě hlavní příčiny k vyšší míře nehod mezi motocyklisty a vozidly:

- rozpoznání motocyklistů
- vyšší úroveň rizikového chování motocyklistů

Motocyklisté by měli být více viditelní pro ostatní účastníky silničního provozu, což povede k jejich lepší detekci a vytvoří větší prostor pro včasnou reakci.

Řidiči vozidel by měli mít větší povědomí o existenci motocyklistů na silnici.

### Problém rozpoznání motocyklu

Studie nehod za účasti motocyklů dokazují, že motocyklisté nejsou snadno viditelní pro řidiče ostatních vozidel, zvláště pokud je provoz velký a zorné pole je komplexní. Setkáváme se s běžným tvrzením řidičů motorových vozidel zapojených do dopravních nehod, že motocykl neviděli vůbec nebo jej neviděli včas, aby bylo možné střetu zabránit. Ve zhruba polovině případů, v nichž se řidiči motorových vozidel nepodařilo detekovat motocykl v čas,

aby zabránili kolizi, byly v jejich zorném poli přítomny jiné překážky, buď ve vozidle, nebo jako součást krajiny či provozu, které bránily řidiči v jeho viditelnosti (Hurt et al 1981, Bednář et al 2000).

Motocykly jsou vzhledem ke své malé čelní ploše méně nápadné než osobní vozidla, tím pádem jsou obtížně detekovatelné a jejich blížení se rychlost je obtížné určit (zejména pokud jede motocykl proti vozidlu). A to do značné míry přispívá k vysoké míře nehod motocyklů.

Motocykly mají špatnou smyslovou viditelnost (vzhledem k menší velikosti motocyklu), ale mají také špatnou poznávací viditelnost (jsou méně časté, a tudíž méně očekávány než automobily).

### *Menší velikost motocyklů*

Velikost je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících viditelnost. Čelní plocha motocyklu představuje pouhých 30 až 40 % z čelní plochy osobního vozidla. Ta může být větší díky aerodynamickým krytům. Rovněž se zvětšuje se změnou úhlu při přibližování.

Za dobrých světelných podmínek lze motocykly vidět na velké vzdálenosti, a to i přes malou čelní plochu motocyklu.

Nicméně malá velikost motocyklu zvyšuje pravděpodobnost, že bude motocykl v provozu v oblasti zakrytého výhledu (schován za vozidlem, značkou atd.).

Je zde i problém s identifikací objektů na základě jejich velikosti, tvaru, barvy a pohybu. Motocykly na dálku mají podobnou siluetu jako chodci nebo jízdní kola, s výjimkou jejich rychlosti pohybu.

Tyto nálezy jsou podporovány studií Horswill a Helman (2001). Řidiči na křižovatkách mají problémy s detekcí motocyklistů, kteří se k nim blíží. Řidiči si myslí, že blížení se motocykl dojde později než blížení se vozidlo, bez ohledu na skutečné doby do příjezdu. Je to pravděpodobně způsobeno vlivem menší velikosti motocyklů, protože zvýšení jejich velikosti je s přibližováním méně znatelné.

### *Nižší frekvence motocyklů na silnici*

Nižší frekvence motocyklů na silnicích je dalším faktorem, který způsobuje, že řidiči ostatních vozidel mohou přehlédnout motocyklisty a následně jim nedat přednost v jízdě. Mnoho řidičů neočekává setkání s motocyklistou.

Brooks and Guppy (1990) uvádí, že řidiči vozidel, kteří sami jezdí na motocyklech, mají větší šanci pozorovat motocyklisty a je v jejich případě méně pravděpodobné, že mezi nimi dojde ke střetu. To znamená, že tito řidiči mohou vidět motocyklistu, kterého by jinak bylo možné přehlédnout.

### *Vizuální omezení řidiče*

Typickými faktory jsou:

- Fyziologie lidského oka – ovlivňuje schopnost řidiče spatřit motocyklisty. Frekvence mrkání, směr zraku, pohyby očí či oslnění jsou všechno faktory, které ovlivňují schopnost řidičů detekovat motocykl v různých světelných podmínkách.
- Auta mají překážky a slepá místa, která mohou zakrýt nebo skrýt motocyklisty. Patří k nim dveřní sloupky, hlavy cestujících a oblasti, které nejsou aktuálně viditelné v zrcátkách.
- Další podmínky ovlivňující vozidlo, jako je déšť, oslnění a náklad, mohou dále zhoršit výhled řidiče a zakrýt motocyklisty.
- Objekty mimo vozidlo jako ostatní vozidla, silniční objekty a světelné lampy mohou zhoršit viditelnost motocyklistů v silničním provozu.

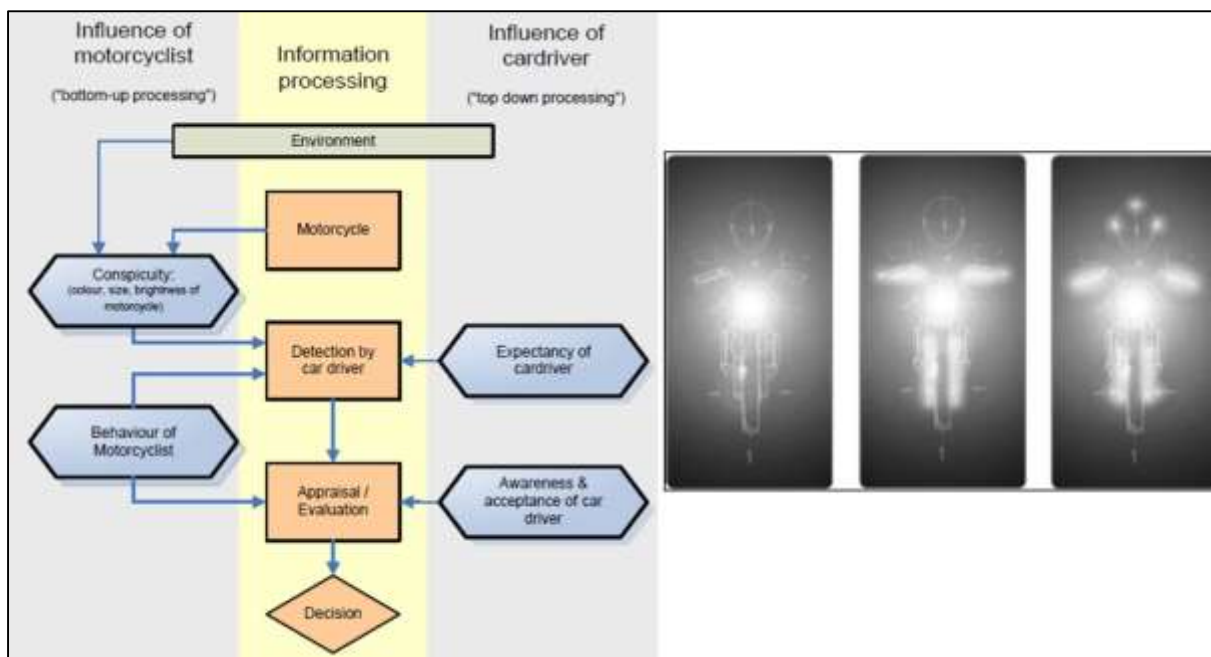
### Chování motocyklistů

Nehody motocyklů mohou být způsobeny agresivním a také riskantním chováním motocyklistů. Alkohol a jiné poruchy jsou významným faktorem vážných dopravních nehod s účastí motocyklů.

Horswill a Helman (2001) analyzovali chování motocyklistů v laboratorní prostředí. Zjistili, že motocyklisté jezdí vyšší rychlostí než řidiči vozidel. Předjíždí více a dostanou se do menších mezer v provozu.



Dále je v publikaci CRAEN et al.: The roles of motorcyclists and car drivers in conspicuity-related motorcycle crashes, Leidschendam 2011 [70] uvedeno schéma vnímání motocyklu řidičem vozidla a zmínka o viditelnosti motocyklů, kde jsou zde znázorněny tři konfigurace. V první je motocykl vybaven klasickým světlem. Ve druhé jsou navíc přídavná světla na řídítkách a předních tlumičích. U třetí je navíc osvětlená i helma motocyklisty.



Obr. 63: Schéma vnímání motocyklu řidičem vozidla, rozdílné světelné konfigurace motocyklu [70]

Publikace HELMAN et al.: The effect of two novel lighting configuration on the conspicuity of motorcycles, New Zealand 2014 [76] pojednává o viditelnosti a konfiguracích osvětlení motocyklů na Novém Zélandu. Velkým problémem střetů za účasti motocyklů je jejich špatná viditelnost (rozpoznatelnost) a špatný odhad jejich rychlosti z pohledu řidičů vozidel.



Obr. 64: Viditelnost motocyklů [76]

Noční výzkum prokázal, že motocykly s konfigurací světel V byly rozpoznány o 0,75 s dříve než motocykly s jedním světlem. U konfigurace světel Y to bylo dokonce o 1,25 s dříve. Účastník testu byl informován o tom, že se má soustředit na motocykl.



Obr. 65: Různé konfigurace osvětlení motocyklu [76]

Konfigurace jedno světlo – normální přední světlo motocyklu, V konfigurace – přední světlo a osvětlení v zrcátkách. Y konfigurace - přední světlo, osvětlení v zrcátkách a osvětlení na předních vidlicích.

#### 1.1.5 Statistiky dopravních nehod podle příčin vzniku

##### 1.1.5.1 *Vyhodnocení příčin střetů motocyklů s vozidly*

Silniční dopravní nehody představují komplexní jev, na jehož vzniku se podílí různé technické i psychofyzilogické faktory. Dopravní nehody jsou obvykle výsledkem vzájemného působení tří činitelů, konkrétně člověka, vozidla a jejich okolí tvořeného podmínkami provozu [103].

Tím nejvýznamnějším faktorem při silničních dopravních nehodách je selhání člověka. Řidič jakožto účastník silničního provozu je tedy nejproblematictější a nejvíce selhávajícím článkem celého systému. Podle podrobné studie nehod za přítomnosti motocyklu z roku 2009 [56] byla na vině lidská chyba celkem v 87,9 % případů, motocyklisté však byli odpovědní za méně nehod než řidiči vozidel, konkrétně v 37,4 % oproti 50,5 %. Výzkum Institut for Traffic Accident Research and Data Analysis z roku 2011 [73] ukázal, že 70 % motocyklistů bývá oběťmi dopravních nehod, jejichž viníky však jsou jiní účastníci silničního provozu - v 90 % případů se jedná o řidiče jiných typů vozidel.

V případě dopravních nehod z důvodu selhání dopravního prostředku je hlavní příčinou technický stav vozidla způsobený jeho nedostatečnou kontrolou či údržbou, stářím a

opotřebením. Podle studie [56] je však vliv technického stavu vozidla na nehodovost téměř nulový (0,3 %).

Za dopravní nehody jsou obecně zodpovědné i podmínky provozu, mezi které lze řadit technické poruchy provozního, signalizačního a zabezpečovacího zařízení, ale také zvyšování stupně motorizace, intenzitu využívání motorových vozidel, hustotu provozu, stav, údržbu a povahu komunikací, nedostatečný rozvoj dálniční sítě, vysoký počet úrovnových křížení silničních a železničních cest, a také nedokonalou organizaci a řízení dopravního provozu.

Významným faktorem nehodovosti, který však nelze nijak ovlivnit, je počasí. Podle výše zmíněné studie [56] byly přírodní podmínky zodpovědné za 7,7 % případů nehod s účastí motocyklů.

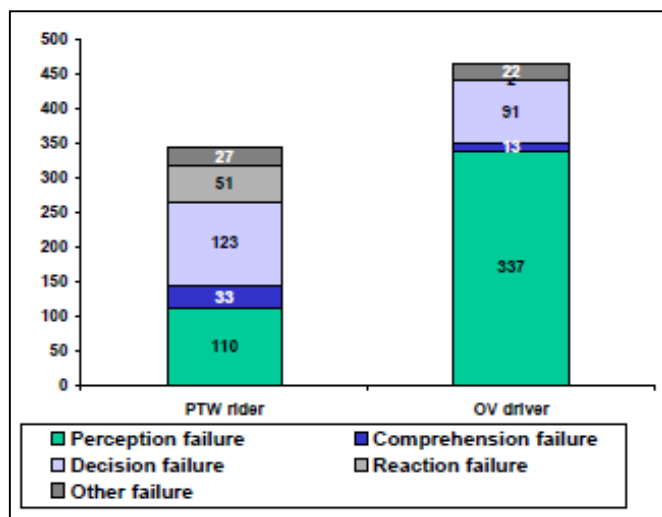
Statistiky tedy hovoří jasně – lidský faktor je pro vznik dopravních nehod zcela zásadní a strategie na snižování nehodovosti vozidel a zranění účastníků silničního provozu by se měly touto skutečností řídit. K tomu, aby mohla být vytvořena a do praxe uvedena dostatečně efektivní opatření ke snižování nehodovosti vinou člověka, respektive ke správnému vyhodnocení příčiny dopravní nehody, je nutno lidské zavinění vhodně kategorizovat. Lidskou chybu lze rozdělit do několika skupin, jimiž je chybné vnímání, chybné uvážení, chybné rozhodnutí a chybná reakce.

V případě chybného vnímání řidič motocyklu nebo vozidla chyboval v rozpoznání nebezpečné situace na základě své strategie pro rozpoznávání nebezpečných situací. Řidič vozidla například nedokázal dostatečně zkontrolovat své boční zrcátko a přejíždí do vedlejšího pruhu, kde se střetne s motocyklem jedoucím v tomto jízdním pruhu.

Pokud se řidič motocyklu nebo vozidla dopustí chybného uvážení, znamená to, že sice zaznamenal nebezpečnou situaci, ale chyboval v uvážení nebezpečí se situací spojeného. Příkladem chyby uvážení může být situace, kdy řidič zaznamenal k němu se blížící blikající policejní vozidlo, ale nezhodnotil možnost, že se policejní vozidlo hodlá otočit do protisměru přímo před ním.

V situaci, kdy došlo k chybnému rozhodnutí řidiče motocyklu nebo vozidla, se řidič nezvládl na základě své strategie vyhnout nebezpečné situaci. Řidič motocyklu například zaznamenal žlutá výstražná světla, ale na základě své strategie při projíždění křižovatkou pokračoval v jízdě po stejné trajektorii stávající rychlostí a následně narazil do boku osobního vozidla jedoucího kolmo ke směru jízdy motocyklu.

O chybnou reakci se jedná tehdy, když řidič motocyklu nebo vozidla chybuje v reakci na nebezpečnou situaci a nestihne se vyhnout kolizi. Řidič motocyklu například zaznamenal malé předměty na vozovce, ale rozhodl se pokračovat ve stejné jízdě dráze. Nahromadění těchto malých objektů v pneumatice motocyklu pak způsobilo, že řidič motocyklu nad vozidlem ztratil kontrolu a došlo k nehodě.



Graf 19: Příčiny dopravních nehod motocyklů (PTW) a vozidel (vehicle) [56]

|                                            | Frequency | Percent |
|--------------------------------------------|-----------|---------|
| PTW rider perception failure               | 110       | 12.0    |
| PTW rider comprehension failure            | 33        | 3.6     |
| PTW rider decision failure                 | 123       | 13.4    |
| PTW rider reaction failure                 | 51        | 5.5     |
| PTW rider other failure                    | 27        | 2.9     |
| Other vehicle driver perception failure    | 337       | 36.6    |
| Other vehicle driver comprehension failure | 13        | 1.4     |
| Other vehicle driver decision failure      | 91        | 9.9     |
| Other vehicle driver reaction failure      | 2         | 0.2     |
| Other vehicle driver other failure         | 22        | 2.4     |
| PTW technical failure                      | 3         | 0.3     |
| Environmental cause                        | 71        | 7.7     |
| Other human failure                        | 38        | 4.1     |
| Total                                      | 921       | 100.0   |

Tab. 14: Příčiny dopravních nehod motocyklů (PTW) a vozidel (vehicle) [56]

Nejčastěji docházelo k přehlédnutí motocyklu v dopravním prostředí, vzhledem k nedostatku pozornosti řidiče vozidla, oblastí zakrytého výhledu nebo nízké viditelnosti motocyklů.

|                                      | L1        |         | L3        |         | PTW       |         |
|--------------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|                                      | Frequency | Percent | Frequency | Percent | Frequency | Percent |
| Passenger car                        | 262       | 65.8    | 291       | 55.7    | 553       | 60.0    |
| Another PTW                          | 36        | 9.0     | 28        | 5.4     | 64        | 6.9     |
| Truck/SUV/bus/<br>Bicycle/pedestrian | 37        | 9.3     | 40        | 7.64    | 77        | 8.4     |
| Fixed object                         | 8         | 2.0     | 11        | 2.1     | 19        | 2.1     |
| Roadway                              | 15        | 3.7     | 59        | 11.3    | 74        | 8.0     |
| Parked vehicle                       | 21        | 5.3     | 62        | 11.9    | 83        | 9.0     |
| Animal                               | 11        | 2.8     | 14        | 2.7     | 25        | 2.7     |
| Other                                | 1         | 0.3     | 2         | 0.2     | 3         | 0.3     |
| Total                                | 7         | 1.8     | 16        | 3.1     | 23        | 2.5     |
|                                      | 398       | 100     | 523       | 100     | 921       | 100.0   |

Tab. 15: Kolizní partner motocyklisty (L1 – mopedy, L3 – malé motocykly) [56]

Nejčastějším kolizním partnerem motocyklisty bylo osobní vozidlo (60 %), silnice samotná byla v 9 % případů.

Jak ukázala komplexní studie téměř tisícovky dopravních nehod v Evropě mezi lety 1999 a 2000 [56], nejvíce nehod (36,6 %) spadá do první výše uvedené kategorie, tj. bývá zaviněno chybou vnímání ze strany řidiče vozidla, který přehlédne motocyklistu. Nejčastěji dochází k přehlédnutí motocyklu v dopravním prostředí vlivem nedostatku pozornosti řidiče, kvůli zakrytému výhledu nebo vinou nízké viditelnosti motocyklů [56], [88]. Výrazné zvýšení viditelnosti motocyklu potažmo motocyklisty, je tedy pro prevenci nehod či zmírňování jejich následků zcela klíčové. Špatné rozpoznání motocyklu řidičem jiného vozidla je hlavní příčinou bočních střetů, stejně tak je problematickým faktorem i viditelnost v křižovatkách. K lepší viditelnosti, a tedy i ke snížení nehodovosti motocyklů přitom prokazatelně stačí pouhé rozsvícení předního světla motocyklu [73], [88].

Dalšími nejčastějšími příčinami střetu motocyklu s vozidlem je špatné rozhodnutí ze strany motocyklisty (13,4 %) a chyba vnímání ze strany řidiče motocyklu (12 %), který si nevšiml nebezpečné situace a stal se účastníkem srážky, tab. 15. Mezi situace, při nichž nejčastěji dochází k nehodám motocyklů, patří odbočování na hlavní silnici nebo přejíždění hlavní silnice [68], ty jsou spolu se špatnou viditelností v křižovatkách, nerespektováním předností a nepřiměřenou rychlostí hlavní příčinou bočních střetů [56], [71], [88]. U motocyklů je právě boční náraz s jiným pohybujícím se vozidlem, následovaný ztrátou kontroly nad motocyklem a čelním střetem s vozidlem, nejběžnějším typem kolize [71].

| Accident configuration                                  | Moped | MT1   | MT2   | MT2   |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Running over animals                                    | 0,6%  | 0,8%  | 0,9%  | 0,5%  |
| Running over pedestrians                                | 2,8%  | 2,1%  | 4,2%  | 3,1%  |
| Lateral collision with another moving vehicle           | 34,4% | 38,1% | 35,7% | 34,5% |
| Chain collision                                         | 0,2%  | 0,2%  | 0,2%  | 0,4%  |
| Runaway collision                                       | 1,5%  | 0,8%  | 1,1%  | 1,3%  |
| Back collision with another moving vehicle              | 9,2%  | 10,8% | 7,9%  | 10,3% |
| Frontal collision                                       | 13,8% | 15,8% | 14,7% | 11,1% |
| Collision with other situations                         | 2,5%  | 1,8%  | 2,6%  | 3,2%  |
| Collision with obstacle or vehicle immobilized in road  | 3,9%  | 4,5%  | 2,9%  | 3,4%  |
| VCL with rollover                                       | 1,6%  | 1,2%  | 1,8%  | 1,5%  |
| VCL with collision with immobilized vehicle or obstacle | 2,7%  | 3,2%  | 3,5%  | 4,6%  |
| VCL without road barrier                                | 2,3%  | 1,8%  | 3,1%  | 2,3%  |
| VCL with road barrier                                   | 0,5%  | 0,6%  | 0,5%  | 0,8%  |
| VCL with runaway                                        | 0,3%  | 0,6%  | 0,2%  | 0,1%  |
| VCL with transposition of the road barrier              | 0,2%  | 0,0%  | 0,3%  | 0,7%  |
| Simple VCL                                              | 23,6% | 17,9% | 20,5% | 22,2% |

Tab. 16: Nejčastější typy kolizí [71]

Moped – motor do 50 ccm, rychlost mezi 25 až 50 km/h, jedno nebo dvě sedadla, MT 1 – motor 50 ccm, MT 2 – motor nad 50 ccm, výkon do 25 kW, MT 3 – motor nad 50 ccm, výkon nad 25 kW

Ztrátě kontroly nad motocyklem lze předcházet odstraněním či redukcí hlavních příčin, kterými jsou vysoká rychlost jízdy, špatné jízdní dovednosti a nedostatečná výstavba a údržba silnic.

#### 1.1.5.2 Shrnutí hlavních příčin vzniku dopravních nehod

Mezi hlavní příčiny nehod řidičů motorových vozidel patří nesprávný způsob jízdy, nedání přednosti v jízdě a nepřiměřená rychlost.

| Hlavní příčina nehody (jen řidiči mot. vozidel) | počet nehod | podíl na celkovém počtu nehod | usmrceno osob | podíl na celkovém počtu usmrcených | rozdíl usmrcených oproti roku 2016 |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| nepřiměřená rychlost                            | 8 530       | 15,4                          | 108           | 36,2                               | -14                                |
| nesprávné předjíždění                           | 1 014       | 1,8                           | 12            | 4,0                                | -2                                 |
| nedání přednosti                                | 9 160       | 16,5                          | 53            | 17,8                               | -1                                 |
| nesprávný způsob jízdy                          | 36 817      | 66,3                          | 125           | 41,9                               | 0                                  |

Tab. 17: Počty nehod a počty usmrcených osob podle hlavních příčin nehod řidičů motorových vozidel za období leden až srpen 2017 [101]

### Nesprávný způsob jízdy

Řidič vozidla, který měl kolizi s motocyklem, buď motocykl před srážkou neviděl, nebo motocykl viděl příliš pozdě, kdy už se střetu nedalo zabránit. Viditelnost motocyklu je kritickým faktorem při nehodách s vozidly.

### Nedání přednosti v jízdě

Mezi nejkritičtější místa patří křižovatky, a to zejména při odbočování na hlavní silnici nebo při přejíždění hlavní silnice. Nejčastější chybou řidičů vozidel je to, že špatně sledují průběh silničního provozu nebo mají problém s oblastí zakrytého výhledu (OZV).

### Nepřiměřená rychlost

Dalším častým faktorem nehodovosti je vyšší než povolená rychlost jízdy motocyklisty, přehlédnutí vozidla nebo špatné vyhodnocení situace. Vzhledem k velmi krátkému času pak motocyklista mnohdy nemá čas zareagovat nebo provede nesprávný či nulový vyhýbací manévr.

#### *1.1.5.3 Řešení dopravních nehod z hlediska příčin jejich vzniku*

### Nesprávný způsob jízdy

Nesprávným způsobem jízdy se v podstatě rozumí chybné vnímání ze strany řidiče vozidla, který přehlédl motocykl. Lepší viditelnost motocyklů během dne může snížit počty jejich nehod. Pokud se jedoucí vozidla přibližují z opačných směrů, jejich viditelnost zlepšuje světlo pro denní svícení. Pokud se jedoucí vozidla přibližují z boku, jejich viditelnost je ovlivněna barvou a fluorescenčními prvky.

Světla pro denní svícení jsou účinná, zvyšují kontrast mezi motocyklem a pozadím, proti kterému je motocyklista viděn. Řidiči ostatních vozidel věnují osvětleným motocyklům větší pozornost. Jejich účinnost lze ovšem očekávat pouze v případech, kdy je motocykl detekován ostatními účastníky silničního provozu, ke kterým se přibližuje pod úhlem 30° vzhledem k centrální ose vidění řidiče.

Barva motocyklu a motocyklisty může zlepšit jejich viditelnosti. Účinnost závisí na kontrastu mezi motocyklem a jeho pozadím. Fluorescenční žlutooranžové a žluté materiály jsou detekovány rychleji a na větší vzdálenost než ostatní barvy, tedy v závislosti na počasí.

Na jasné slunečné dny je vhodná bílá, na zatažené dny fluorescenční červeno-žlutá. Černá nemá žádný vliv na viditelnost motocyklu.

Vhodné je i používání vhodných barev na oblečení motocyklistů - žlutá, bílá, červená a fluorescenční.

Nutné svícení v noci i ve dne, použití přídavných světel, použití reflexních prvků na motocyklu, použití reflexního oblečení a helem, použití reflexních vest, zvýšení pozornosti a snížení rychlosti v kritických místech, používání inteligentních bezpečnostních systému (kamerové systémy, brzdové asistenční systémy, sledování mrtvých úhlů atd.), to vše může vést ke snížení počtu nehod mezi vozidly a motocykly.

### Nedání přednosti v jízdě

Řešením je respektování práva přednosti v jízdě, před rozjezdem z křižovatky pozorně sledovat situaci v silničním provozu se zaměřením na špatně rozpoznatelné motocykly s ohledem na nesnadný odhad jejich rychlosti z pohledu řidičů vozidel.

### Nepřiměřená rychlost

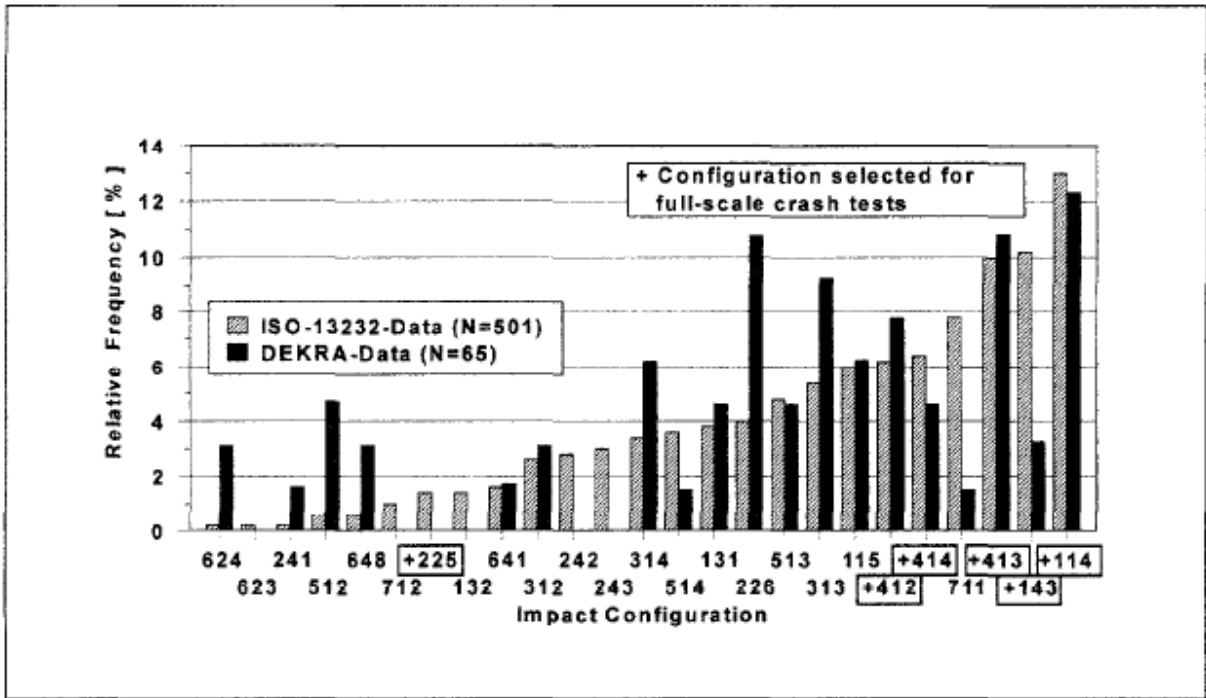
Snížení rychlosti jízdy vede ke snížení počtu dopravních nehod a k menší míře poranění. Toho lze dosáhnout např. umístěním více měřících radarů, častějšími policejními kontrolami se zaměřením na rychlost motocyklistů, zvýšením pokutových sazeb, instalací retardérů apod.

#### 1.1.6 Základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem

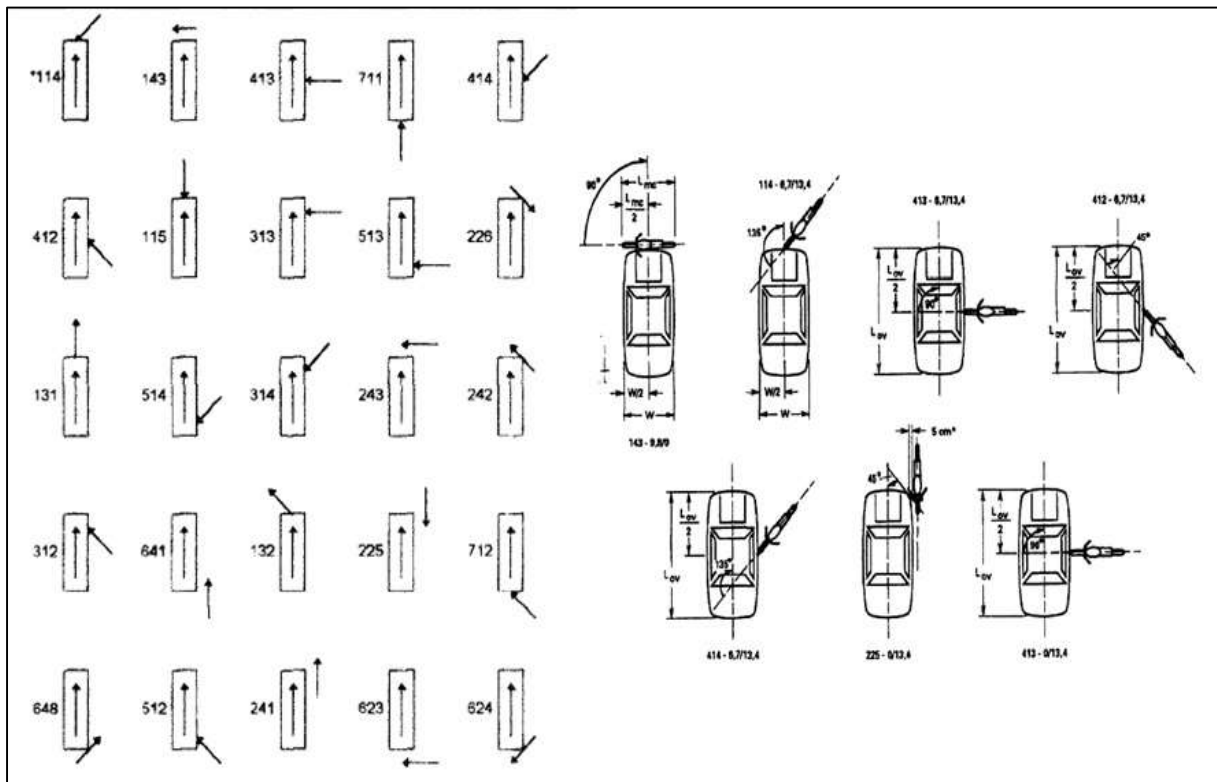
Základní konfigurace střetu motocyklu s vozidlem jsou definovány podle normy ISO/DIS 13232, uvedené ve studii BERG et al.: Analysis of the passive safety of motorcycles using accident investigations and crash test, Germany [68]. V ní bylo za účelem sestavení různých typových konfigurací analyzováno celkem 501 nehod.

Nejčastější střetová konfigurace byl šikmý čelní náraz motocyklu do přední části vozidla (114), a to s relativní četností 12,3 %. Druhou nejčastější konfigurací byl pravoúhlý střet vozidla do boku motocyklu (143), konkrétně v 10,5 %, následovaný konfigurací pravoúhlým čelním nárazem motocyklu do boku vozidla (413), a to s relativní četností 10,0 %.





Graf 20: Četnost jednotlivých střetových konfigurací [68]



Obr. 66: Základní střetové konfigurace motocyklu s vozidlem [68]

Střetové rychlosti podle normy ISO 13232 jsou definovány: 0 m/s, 6,7 m/s (přibližně 24 km/h) a 9,8 m/s (přibližně 35km/h) pro vozidlo a 0 m/s, 13,4 m/s (přibližně 48 km/h) pro motocykl.

BRADÁČ, A. a kol. [1] uvádí rozdělení typů střetů podle směřování setrvačné síly, podle rovnoběžnosti směru pohybu vozidel před střetem a podle způsobu střetu.

Dělení podle směřování setrvačné síly:

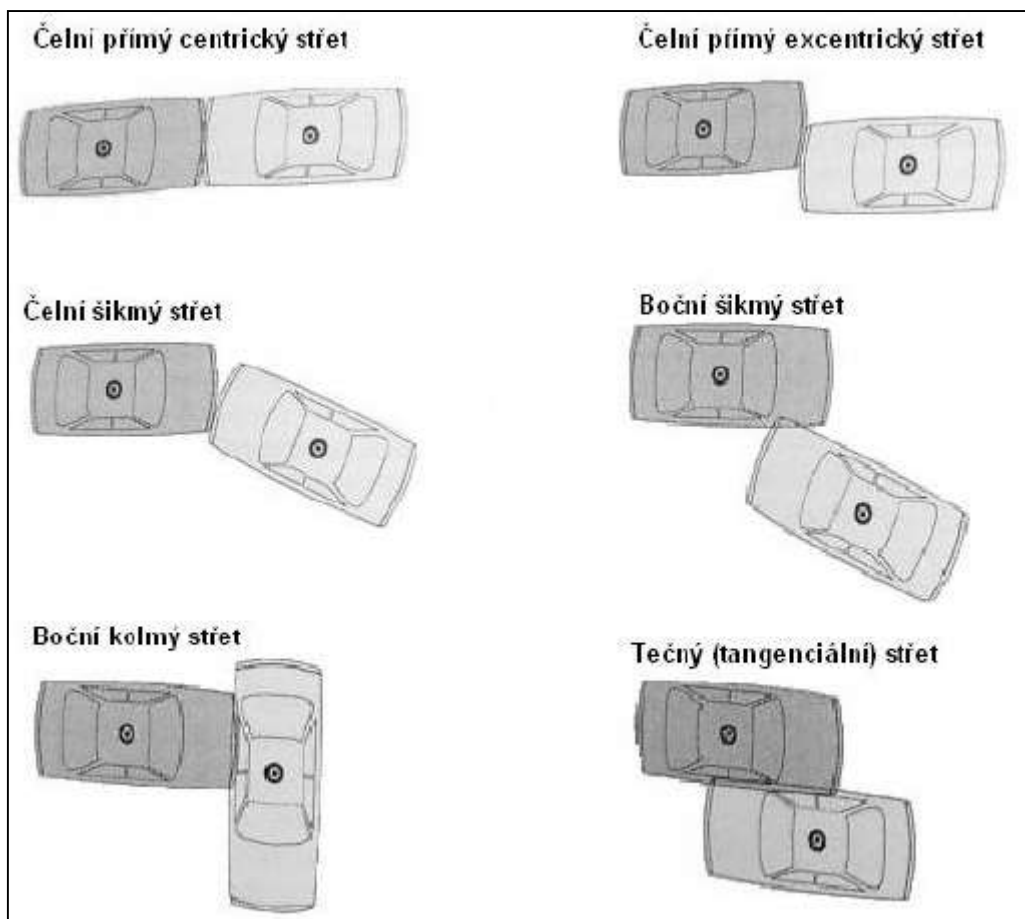
- Centrický – setrvačná síla směřuje do bodu rázu, rázová síla směřuje do bodu těžiště tělesa, nedochází ke změně rotace,
- Excentrický – setrvačná síla směřuje mimo bod rázu, v tomto případě dochází k rotaci.

Dělení podle rovnoběžnosti směru pohybu vozidel před střetem:

- Příčný – směry pohybu vozidel před střetem jsou vzájemně rovnoběžné,
- Šikmý – směry pohybu vozidel před střetem nejsou vzájemně rovnoběžné.

Dělení podle způsobu střetu:

- Čelní – vozidlo narazí druhému vozidlu do přídě nebo zádě,
- Boční – ostatní typy střetů, kdy vozidlo nenarazí ani do přídě ani do zádě.



Obr. 67: Rozdělení střetů [1]

Nehody jednostopých vozidel pak KASANICKÝ, G., KOHÚT, P [2] dělí dle pádu jednostopého vozidla, nárazu na pevnou překážku a střetu s vozidlem.

Pád jednostopého vozidla:

- Pohyb motocyklu a posádky po pádu bez nárazu do překážky.
- Pohyb motocyklu a posádky po pádu s nárazem do překážky.

Náraz na pevnou překážku:

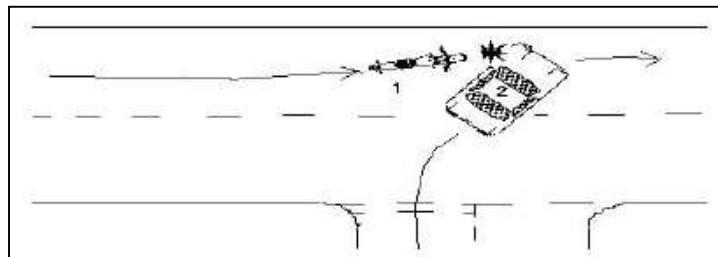
- Motocykl a posádka se po nárazu na nízkou překážku dále pohybují.
- Motocykl se po nárazu dále nepohybuje, posádka ano.
- Motocykl ani posádka se po nárazu na vysokou překážku dále nepohybují.

Střet s vozidlem:

- Náraz motocyklu do přední strany vozidla s odchylkou podélných os max. 50° s dopadem posádky na vozidlo, resp. těsně vedle něj.

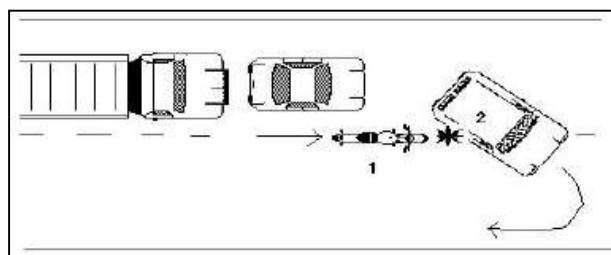
- Náraz motocyklu do zadní části vozidla s odchylkou podélných os max. 50° s dopadem posádky na vozidlo, resp. těsně vedle něj.
- Náraz vozidla do zadní části motocyklu s odchylkou podélných os max. 50° s dopadem posádky na vozidlo.
- Náraz motocyklu do boku vozidla
  - s možností dalšího pohybu posádky mimo vozidlo bez kontaktu s vozidlem,
  - s možností dalšího pohybu posádky při kontaktu s vozidlem,
  - bez možnosti dalšího pohybu posádky.
- Náraz vozidla do boku motocyklu s částečným nebo úplným překrytím s možností pohybu posádky na vozidlo nebo mimo vozidlo.

Podle CLARKE et al.: In Depth Study of Motorcycle Accidents, London 2004 [69] v levostranném provozu nejčastěji docházelo k nehodám na křižovatkách typu T, kdy do vozidla odbočujícího z vedlejší silnice na hlavní narazil motocykl, těchto případů bylo 38 %.



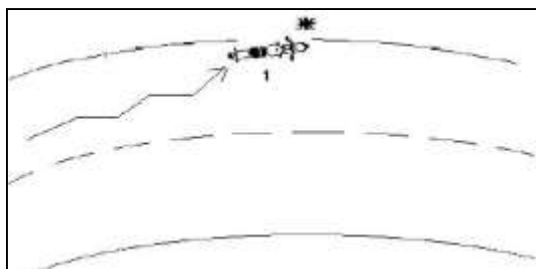
Obr. 68: Motocykl naráží do vozidla odbočujícího z vedlejší silnice [69]

16,5 % případů nehod nastalo, když motocyklista předjížděl jiné vozidlo.



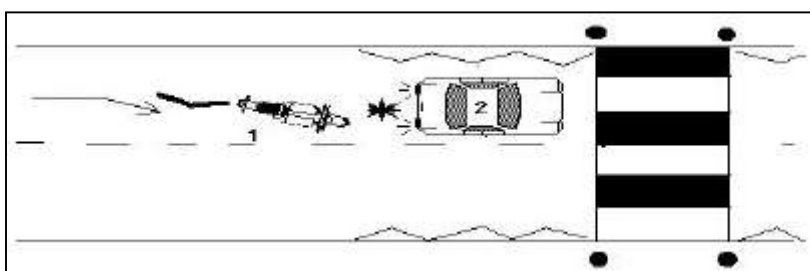
Obr. 69: Motocykl předjíždí vozidlo a naráží do vozidla, které se otáčí [69]

Dalším typem nehody byla ztráta kontroly nad motocyklem v zatáčce, a to ve více než 15 % z celkového počtu případů. Zde se jedná převážně o chybu motocyklisty, většinou vysokou rychlostí nebo příliš intenzivním brzděním v náklonu.



Obr. 70: Ztráta kontroly nad motocyklem [69]

Zbýlých cca 30 % případů patří do skupiny ostatních nehod motocyklů. Zde převažuje náraz motocyklu do zadní části vozidla následkem nedobrzdnění, například v blízkosti přechodů, křižovatek, v kolonách atd.



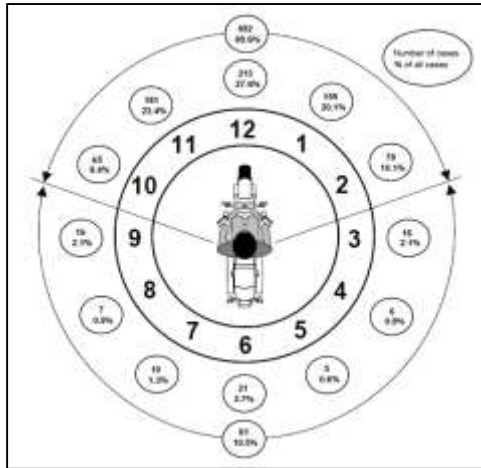
Obr. 71: Motocykl naráží zezadu do vozidla následkem nedobrzdnění [69]

Ve studii National Highway Traffic Safety Administration: Fatal Two-Vehicle Motorcycle Crashes, Washington 2007 [78] byl popsán soubor 1792 dopravních nehod mezi osobními vozidly a motocykly:

- 57 % bočních střetů (v 78 % naráží motocykl do vozidla, v 19 % naráží vozidlo do motocyklu)
- 18 % připadalo čelním střetům (v 55 % naráží motocykl do vozidla, ve 32 % naráží vozidlo do motocyklu)
- 11 % střetům zezadu (v 68 % naráží motocykl do vozidla, ve 29 % naráží vozidlo do motocyklu)

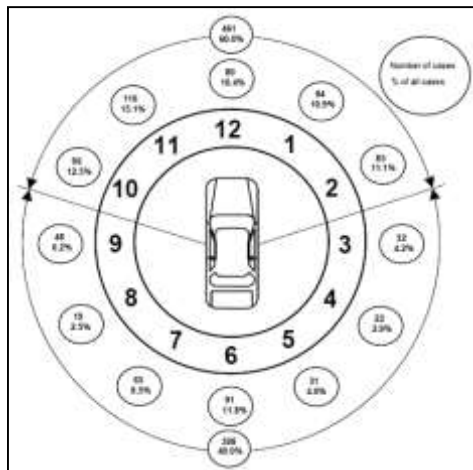
Výsledky nejrozsáhlejší Evropské studie MAIDS, In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers, 2009 Final Report 2.0 [56] ukázaly, že:

- v 63,7 % případů jel motocyklista přímo, ve 20 % jel motocyklista před střetem s vozidlem přímo a brzdil,
- 90 % všech vozidel bylo před motocyklem v době střetu, zbylých 10 % vozidel bylo po stranách, nebo ze zadní strany motocyklu,



Obr. 72: Nejčastější střetové polohy motocyklů [56]

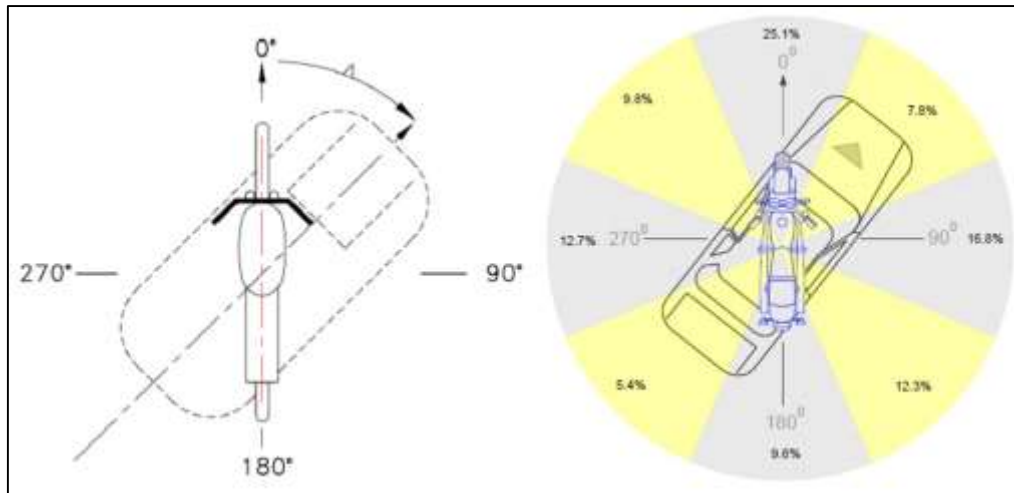
- 31,6 % vozidel před střetem s motocyklem odbočovalo vlevo,
- 38,4 % vozidel jelo před střetem s motocyklem v přímém směru,
- většina (cca 60 %) motocyklistů byla v okamžiku střetu před vozidlem, ostatní motocyklisté byli po stranách nebo zezadu vozidla,



Obr. 73: Nejčastější střetové polohy vozidel [56]

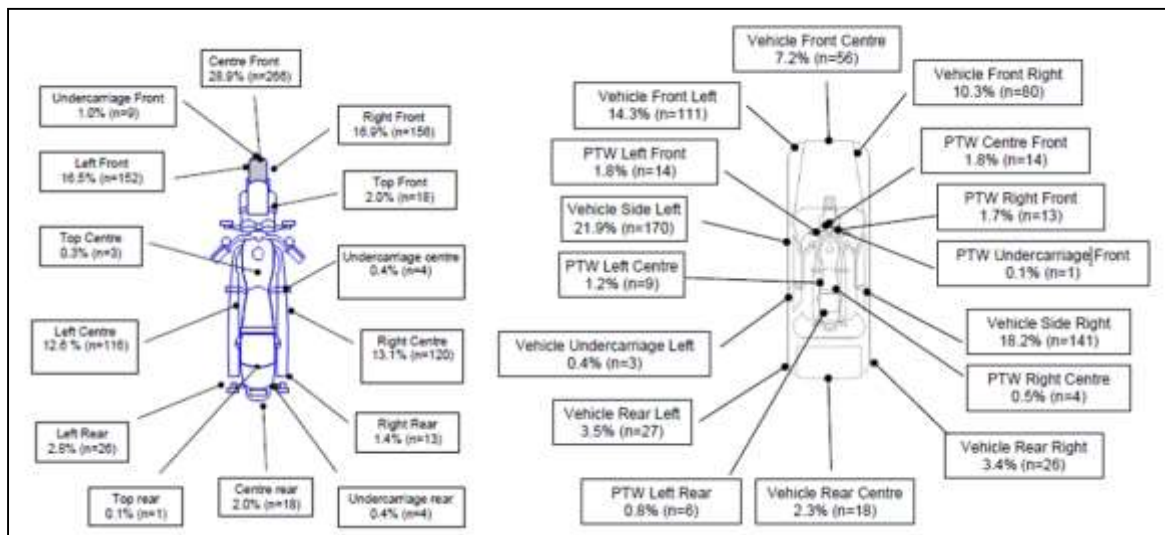
- 74,8 % nehod nastalo při rychlostech motocyklů pod 50 km/h, pouze 5,4 % nehod proběhlo při rychlostech vyšších než 100 km/h. Podle statistik byla střetová rychlost motocyklů při samovolných pádech vyšší než při střetech s vozidlem.
- v 76,2 % všech nehod zaviněných řidiči vozidel byla střetová rychlost vozidel 30 km/h nebo nižší,

- nejčastější úhel střetu se pohyboval v rozmezí mezi 337,5° a 22,5° (v 25,1 % případů střetů mezi vozidlem a motocyklem). Druhý nejčastější úhel střetu byl v rozmezí mezi 67,6° a 112,5° (v 16,8 % případů),



Obr. 74: Úhel střetu mezi vozidlem a motocyklem, procentuelní znázornění střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem [56]

- nejčastějším kontaktním bodem motocyklu při nehodě byla přední část motocyklu (28,9 %) a dále pravá přední část motocyklu (16,9 %) a levá přední část motocyklu (16,5 %),



Obr. 75: Procentuelní znázornění střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem [56]

- nejčastějším místem kontaktu vozidla byla levá strana (21,9 % všech případů), následovala pravá strana (18,2 % všech případů). Kolize do přední části

vozidel byly v 37,1 % všech případů. Motocykl byl kolizním partnerem vozidla v 8,2 % případů a prvním nejčastějším kontaktním bodem byla přední nebo levá boční část vozidla. Následovala pravá boční část vozidla.

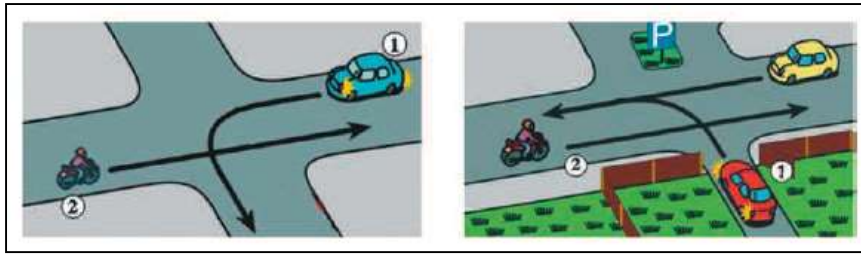
**Table C.4: PTW accident configuration by legal category**

| Frequency<br>Row Percent<br>Column Percent<br>Total Percent                                   | L1 vehicles |               | L3 vehicles |               | Total      |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|------------|--------------|
|                                                                                               | Frequency   | Percent of L1 | Frequency   | Percent of L3 | Frequency  | Percent      |
| Head-on collision of PTW and OV (OV)                                                          | 28          | 7.0           | 20          | 3.8           | 48         | 5.2          |
| OV into PTW impact at intersection; paths perpendicular                                       | 37          | 9.3           | 21          | 4.0           | 58         | 6.3          |
| PTW into OV impact at intersection; paths perpendicular                                       | 39          | 9.8           | 45          | 8.6           | 84         | 9.1          |
| OV turning left in front of PTW, PTW perpendicular to OV path                                 | 35          | 8.8           | 47          | 9.0           | 82         | 8.9          |
| OV turning right in front of PTW, PTW perpendicular to OV path                                | 15          | 3.8           | 7           | 1.3           | 22         | 2.4          |
| PTW and OV in opposite direction, OV turns in front of PTW, OV impacting PTW                  | 14          | 3.5           | 10          | 1.9           | 24         | 2.6          |
| PTW and OV travelling in opposite directions, OV turns in front of PTW, PTW impacting OV      | 24          | 6.0           | 55          | 10.5          | 79         | 8.6          |
| PTW turning left in front of OV, OV proceeding in either direction perpendicular to PTW path  | 7           | 1.8           | 5           | 1.0           | 12         | 1.3          |
| PTW turning right in front of OV, OV proceeding in either direction perpendicular to PTW path | 0           | 0.0           | 2           | 0.4           | 2          | 0.2          |
| PTW overtaking OV while OV turning left                                                       | 25          | 6.3           | 31          | 5.9           | 56         | 6.1          |
| PTW overtaking OV while OV turning right                                                      | 8           | 2.0           | 3           | 0.6           | 11         | 1.2          |
| OV impacting rear of PTW                                                                      | 12          | 3.0           | 8           | 1.5           | 20         | 2.2          |
| PTW impacting rear of OV                                                                      | 24          | 6.0           | 35          | 6.7           | 59         | 6.4          |
| Sideswipe, OV and PTW travelling in opposite directions                                       | 5           | 1.3           | 9           | 1.7           | 14         | 1.5          |
| Sideswipe, OV and PTW travelling in same directions                                           | 12          | 3.0           | 16          | 3.1           | 28         | 3.0          |
| OV making U-turn or Y-turn ahead of MV                                                        | 12          | 3.0           | 27          | 5.2           | 39         | 4.2          |
| Other PTW/OV impacts                                                                          | 44          | 11.1          | 29          | 5.5           | 73         | 7.9          |
| PTW falling on roadway, no OV involvement                                                     | 15          | 3.8           | 43          | 8.2           | 58         | 6.3          |
| PTW running off roadway, no OV involvement                                                    | 4           | 1.0           | 45          | 8.6           | 49         | 5.3          |
| PTW falling on roadway in collision avoidance with OV                                         | 11          | 2.8           | 27          | 5.2           | 38         | 4.1          |
| PTW running off roadway in collision avoidance with OV                                        | 0           | 0.0           | 5           | 1.0           | 5          | 0.5          |
| Other PTW accidents with no OV or other involvement                                           | 0           | 0.0           | 3           | 0.6           | 3          | 0.3          |
| PTW impacting pedestrian or animal                                                            | 5           | 1.3           | 8           | 1.5           | 13         | 1.4          |
| PTW impacting environmental object                                                            | 13          | 3.3           | 11          | 2.1           | 24         | 2.6          |
| Other                                                                                         | 9           | 2.3           | 11          | 2.1           | 20         | 2.2          |
| <b>Total</b>                                                                                  | <b>398</b>  | <b>100.0</b>  | <b>523</b>  | <b>100.0</b>  | <b>921</b> | <b>100.0</b> |

*Tab. 18: Kategorie nehod motocyklů [56]*

V článku PROCHOWSKI, L., PUSTY, T.: Analysis of the rotation and lifting of a motorcycle following an impact against a motor car side, Warsaw [74] je zmínka o střetových situacích mezi motocyklem a vozidlem.





Obr. 76: Nebezpečné střetové situace, kdy motocykl naráží do boku vozidla [74]

Následující obrázek ve studii Danish Road Traffic Accidents Investigation Board: Motorcycle Accidents, Copenhagen 2009 [75] popisuje 41 nejčastějších typů nehod v Dánsku:

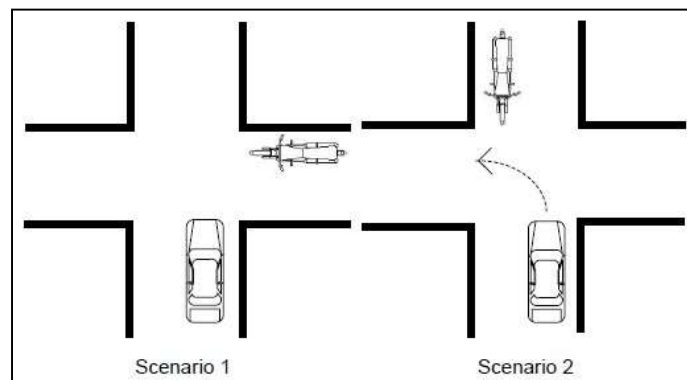
|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>Motorcyclist crashes in a curve</b><br/>This was either a solo accident where the motorcyclist left the road, or an accident where the motorcyclists collided with a second party in a curve. This accident type covers a total of 11 accidents.</p>                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>The overtaking motorcyclist collides with a left-turning motorist</b><br/>In this accident type, the motorcyclist was overtaking the second party when they swung to the left (in front of the motorcyclists). This accident type covers a total of 8 accidents.</p>  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>The motorcyclist collides with an on-coming, left turning car</b><br/>In these situations, a second party turned left in front of the motorcyclist approaching from the opposite direction. This accident type consists of 6 accidents.</p>                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>Forward driving motorcyclists collide with a car coming from a side road</b><br/>In this type of accident, a second-party turned from a side road in front of a motorcyclist approaching from the opposite direction. This accident type consists of 6 accidents.</p> |
| <p>In total, 31 accidents are thus covered by the 4 accident types, while 10 accidents cannot be included in these types... Accidents outside the 4 types above are solo accidents where the motorcyclist has fallen on a straight road or an accident involving a trailer.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Obr. 77: Nejčastější typy nehod [75]

Ve studii COFELICE, N., CIUBOTARU, L.: Motorcycle accident reconstruction in VL motion, 2009 [89] byly vybrány nejčastější střetové konfigurace, které byly následně testovány. Mezi nejčastější konfigurace patřily čelní střety, a to celkem v 65,3 % případů. Následoval boční náraz motocyklu do vozidla.

Autor publikace CRAEN et al.: The roles of motorcyclists and car drivers in conspicuity-related motorcycle crashes, Leidschendam 2011 [70] popisuje dva typy prioritních příčin havárie:

- První scénář, kdy motocykl přijíždí ke křižovatce a má přednost v jízdě (hlavní silnice, přednost zprava), ale řidič vozidla nedá motocyklu přednost.
- Druhý scénář popisuje situaci, kdy řidič vozidla hodlá odbočit vlevo, a nedá přednost protijedoucímu motocyklu.



Obr. 78: Typické situace dopravních nehod na křižovatkách (nedání přednosti v jízdě) [70]

Rozdíl ve viditelnosti mezi scénáři 1 a 2 z pozice řidiče vozidla je v pohledu motocyklisty přibližujícího se ke křižovatce.

V prvním případě se motocyklista přibližuje ke křižovatce zprava doleva. Řidič vozidla pozoruje motocyklisty téměř v pravém úhlu. Je mu poskytováno více informací o rychlosti blížícího se motocyklu, který se pohybuje v zorném poli (pohyb objektu na sítnici).

V druhém případě řidič vozidla vidí pouze motocykl přibližující se směrem k němu. Ten se nepohybuje, jen se zvětšuje jeho čelní plocha. Informace o rychlosti motocyklu mohou být získány pouze se zvětšující se velikostí objektu (vzdálený motocykl vypadá jako malý bod, s přibližováním se tento bod pomalu zvětšuje). Odhad rychlosti motocyklu v tomto případě je velmi problematický.

Ze strany je viditelnost motocyklu a vozidla více srovnatelná než při čelním pozorování.

| Primary crash cause                  | MC → MC |      | MC → CD |      | CD → MC |      | CD → CD |      |
|--------------------------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
|                                      | N       | %    | N       | %    | N       | %    | N       | %    |
| Failed to give priority (Scenario 1) | 4       | 9%   | 89      | 24%  | 657     | 56%  | 1,898   | 56%  |
| Failed to give way (Scenario 2)      | 4       | 9%   | 17      | 5%   | 372     | 32%  | 439     | 13%  |
| Insufficient distance                | 31      | 67%  | 63      | 17%  | 18      | 2%   | 321     | 9%   |
| Cutting off                          | 2       | 4%   | 69      | 19%  | 16      | 1%   | 47      | 1%   |
| Red light running                    | 0       | 0%   | 28      | 8%   | 56      | 5%   | 406     | 12%  |
| Speeding                             | 0       | 0%   | 8       | 2%   | 0       | 0%   | 13      | 0%   |
| Other                                | 5       | 11%  | 98      | 26%  | 51      | 4%   | 277     | 8%   |
| Total number of crashes              | 46      | 100% | 359     | 100% | 1,259   | 100% | 7,412   | 100% |

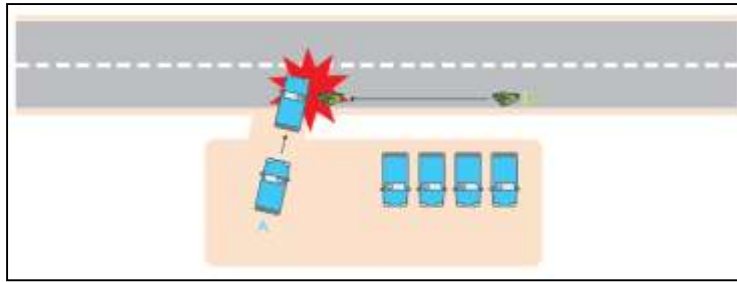
Tab. 19: Typy dopravních nehod za účasti vozidel (CD) a motocyklů (MC) 2000 až 2009 [70]

| Primary crash cause                | Dual CD – MC |      | CD – MC |      |
|------------------------------------|--------------|------|---------|------|
|                                    | N            | %    | N       | %    |
| Fail to give priority (Scenario 1) | 40           | 47%  | 1,168   | 50%  |
| Fail to give way (Scenario 2)      | 14           | 16%  | 613     | 26%  |
| Other                              | 31           | 36%  | 549     | 24%  |
| Total                              | 85           | 100% | 2,330   | 100% |

Tab. 20: Typy dopravních nehod vozidla s motocyklem 2006 až 2009 (Dual CD – řidič vozidla a spolujezdec, CD – řidič vozidla, MC – motocyklista) [70]

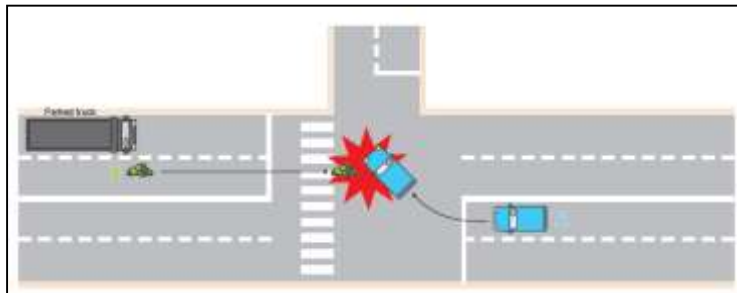
Studie Institut for Traffic Accident Research and Data Analysis, Japan 2011 [73] popisuje statistiky dopravních nehod za účasti motocyklů v Japonsku, kde se řídí vlevo.

- 30 % kolizí vzniká na křižovatkách, kdy jedno vozidlo křížuje hlavní silnici a druhé do něj naráží. (Zde je důležité zastavit na místě s dobrým výhledem a zkontrolovat řádně obě strany, dbát zvýšený důraz na motocykly, které jsou hůře rozeznatelné, motocykly s rozsvícenými světly lze lépe rozeznat).



*Obr. 79: Motocykl naráží do vozidla, které křižuje hlavní silnici [73]*

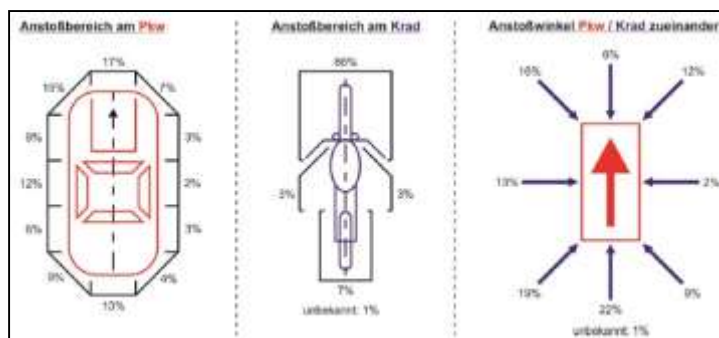
- 19 % kolizí je při odbočování vpravo (jedná se o levostranný provoz) na křižovatkách typu T, kdy vozidlo odbočuje z hlavní silnice na vedlejší a nedá přednost protijedoucímu motocyklu jedoucímu po hlavní silnici. (Opět zde hraje roli špatná rozeznatelnost motocyklisty).
- 12 % kolizí nastává při odbočování vlevo.



*Obr. 80: Náraz motocyklu do vozidla, které odbočuje vpravo (levostranný provoz) [73]*

- 8 % kolizí připadá nárazům zezadu
- 5 % při otáčení nebo jízdě mimo silnici
- 3 % čelním kolizím
- 2 % kolizím s vozovkou
- 21 % připadá ostatním kolizím

Publikace PRIESTER, J., WILHELM, B., BRUTSCHER, B., KNOPP, W., SCHUFF, A., KÜHN, M., LANG, A.: Unfälle mit krafrädern im Saarland, 2015 [12] popisuje statistiky nehodovosti s motocykly a typy kolizí s procentuelním zobrazením pro jednotlivé konfigurace podle normy ISO 13232.



Obr. 81: Procentuelní zobrazení pro jednotlivé konfigurace [12]

### 1.1.7 Současné metody a postupy pro řešení dopravních nehod

Pro analýzu silničních nehod bylo vypracováno velké množství odborné literatury, v roce 1985 širokým autorským kolektivem pod vedením doc. Ing. Alberta Bradáče byla v ČSSR vypracována příručka BRADÁČ A. a kol.: Příručka znalce I. a II. Analytika silničních nehod 1. a 2. díl, Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1985 [104]. Následně byly na Ústavu soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně vydány Znalecké standardy č. II, III, IV a V [105] a [106]. V roce 1999 byla vydána velmi povedená publikace BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, Brno 1999 [1], kde je velmi přehledně a podrobně popsána analýza silničních nehod. Mezi dalšími bych uvedl studie SEMELA, M.: Analýza silničních nehod I, 2012 [13], SEMELA, M.: Analýza silničních nehod II, 2012 [8], RÁBEK, V.: Vybrané postupy analýzy dopravních nehod, 2009 [17], atd. Ze zahraniční literatury bych rád zmínil publikaci KASANICKÝ, G., KOHÚT, P.: Analýza nehôd jednostopových vozidel, Žilina 2000 [2], HUGEMANN, W.: Unfall rekonstruktion, 2007 [7], BURG, H., MOSER, A.: Handbook of accident rekonstruktion, 2014 [6], apod.

Řešení dopravních nehod je velmi složitý proces založený převážně na základních fyzikálních zákonech, jako jsou například:

Newtonovy pohybové zákony:

- zákon setrvačnosti
- zákon síly
- zákon akce a reakce

a zákony zachování:

- zákon zachování energie

- zákon zachování hybnosti
- zákon zachování točivosti (momentu hybnosti).

Podobně jako při dynamice jízdy je i při analýze pohybu při nehodě potřebné zohlednit jiné aspekty jako při klasické nehodové dynamice vícestopých vozidel. Je však možno použít jednotlivé fáze nehodového děje.

Analýza nehod motocyklu s vozidlem se skládá ze tří fází. První fáze se nazývá předstřetová neboli doběhová fáze, obsahuje jízdu konstantní rychlostí, zrychlování, zpomalování, jízdu obloukem atd. Druhá fáze je střetová, kdy dochází ke skokové změně rychlosti a změně směru. Třetí fáze je postřetová, někdy nazývaná výběhová, a obsahuje let, dopad a sunutí motocyklu a pohyb posádky do konečných poloh.

- Pohyb před střetem – ve fázi pohybu před srážkou je potřebné zaznamenat většinu momentů dynamiky jízdy. Podle výsledku ankety se 80 % řidičů motocyklu před srážkou nacházelo ve stabilním stavu, 8 % v nestabilním a 12 % v nedefinovatelném stavu.
- Fáze střetu – při kolizi motocyklu s osobním automobilem je možno rozlišit velké množství různých typů střetů v závislosti na tom, zda motocykl narazil do vozidla nebo naopak. Také záleží na úhlu, pod kterým došlo ke střetu, následném pohybu posádky apod. Je možno sestavit různé druhy typického poškození na vozidlech a tomu odpovídající typické zranění posádky motocyklu. Už jen místo nárazu kolmo na bok osobního vozidla výrazně ovlivňuje, zda posádka přeletí přes vozidlo, nebo narazí na střechu. Pro výpočtovou analýzu nehody je velmi důležité si uvědomit, že posádka a motocykl netvoří při srážce jeden celek.
- Pohyb po střetu, let – při nehodě vozidel zůstává ve většině případů posádka v kabině, přičemž při nehodách motocyklů se posádka zpravidla oddělí od motocyklu. Vzhledem k nižšímu součiniteli tření mezi motocyklem a vozovkou v porovnání se součinitelem tření mezi posádkou a vozovkou je zpomalení motocyklu menší. Motocykl proto dosahuje při sunutí po vozovce větších vzdáleností od místa střetu. V některých případech dochází ke vzniku zranění posádky právě smýkajícím se motocyklem. Při nehodách motocyklů s osobními automobily se ukazuje, že velikost zranění je výrazně menší, když posádka přeletí přes vozidlo, než když narazí do některé části vozidla. Tyto poznatky vedou k tomu, že se přizpůsobuje tvar palivových nádrží a vyvíjí se airbagy tak, aby nedocházelo ke kontaktu posádky s vozidlem [2].

Ráz těles, v našem případě vozidla s motocyklem, je možno rozdělit na jednotlivé fáze střetu:

- deformační (kompresní)
- restituční.

V deformační fázi střetu dochází k deformaci těles až do jejich největšího zdeformování, dochází k výraznému vzájemnému průniku. Deformační fáze končí maximálním silovým působením, tedy dochází k vyrovnání rychlostí během velmi krátkého časového okamžiku.

Následuje restituční fáze, tj. částečné až úplné vrácení tvaru, které závisí na rozsahu deformace a materiálu, z kterého jsou tělesa v deformované části zhotovena. Vozidlo a motocykl se od sebe oddělují a pohybují se každé svojí výběhovou rychlostí [1].

Mezi základní metody řešení dopravních nehod v současné době patří:

- Metody zpětného výpočtu
- Metody dopředného výpočtu.

#### *1.1.7.1 Metody zpětného výpočtu – početní metody*

V některých případech je možno vypočítat rychlost jednostopého vozidla, resp. vozidla, zpětným výpočtem. V takovém případě se výpočet začíná v konečné poloze vozidel a postupně se počítá rychlost vozidel až po okamžik vzniku kolize, případně jiného, pro posouzení příčin dopravní nehody důležitého, okamžiku.

#### *1.1.7.2 Metody zpětného výpočtu – početně-grafické metody*

Jedná se o postup od konce nehodového děje po jeho začátek. Na základě zdokumentovaných konečných poloh vozidel po nehodě, zanechaných stop na vozovce, atd. lze zpětným odvíjením děje vypočítat neznámé vstupní parametry (postřetové rychlosti a následně předstřetové rychlosti jednotlivých vozidel). Tato metoda je převážně ruční, řešená analytickými výpočty nebo s pomocí tabulkového procesoru.

Mezi metody zpětného výpočtu patří:

- diagram rovnováhy hybností a impulsů (DRHI)
- modifikovaný diagram rovnováhy hybností a impulsů (MDRHI)

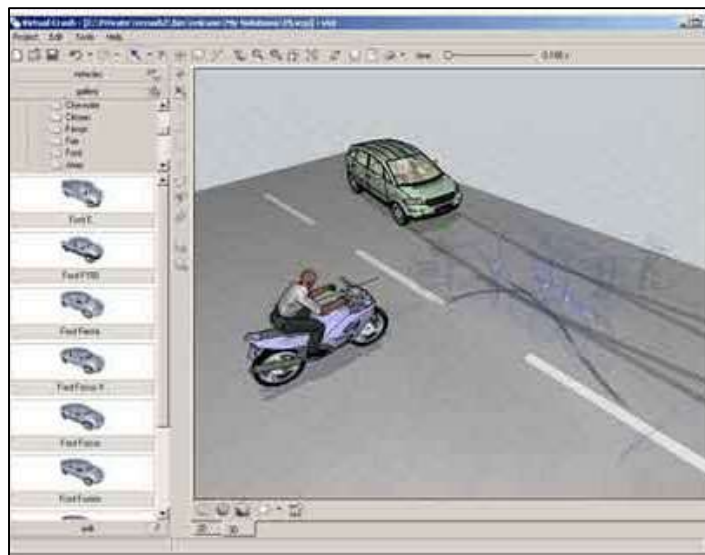
- metoda rhomboidního řezu (DRRHI-diagram rovnováhy rotačních hybností a impulsů)
- metoda energetického prstence
- metoda zákona zachování hybnosti a zákona zachování energie metoda (ZZH+ZZE).

### 1.1.7.3 Metody dopředného výpočtu

Oproti metodám zpětného výpočtu postupují od začátku nehodového děje po jeho konec s využitím matematických modelů střetu a pohybu vozidel. Tyto metody jsou realizovány s podporou simulačních programů. Ty umožňují velmi rychlou změnu vstupních parametrů při současné kontrole parametrů výstupních.

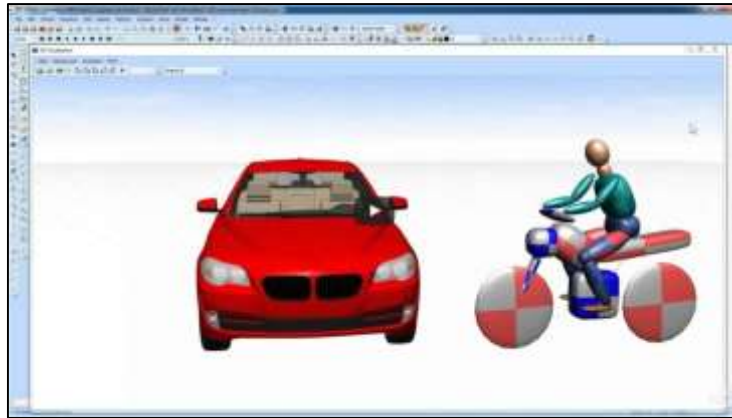
Mezi nepoužívanější simulační programy patří zejména:

- Virtual CRASH
- PC-Crash
- CARAT (Computer Aided Reconstruction of Accidents in Traffic)
- Analyzer Pro, atd.



Obr. 82: Virtual CRASH verze 3.0 [116]





*Obr. 83: PC-Crash verze 10.2 [117]*



*Obr. 84: Analyzer Pro verze 16 [118]*

K řešení samotného střetu nebo výběhových parametrů lze použít program Impuls Expert. Zpočátku se používaly i tabulkové procesory, zejména MS-Excel.

Pro dopředné řešení střetu využívají simulační programy impulsně rázový model, který modeluje silové působení pomocí impulsu síly. Tento model využívá následujících zjednodušení. První zjednodušení je prostorové, při kterém je silové působení nahrazeno jedinou výslednicí, která vychází z bodu rázu. Druhé zjednodušení je časové, kdy model neuvažuje dobu, po kterou ráz probíhá a změna parametrů je okamžitá.

Metody dopředného výpočtu jsou výrazně komplexnější než metody zpětného výpočtu. Pomocí simulačních programů je možné řešit i velmi složité několikanásobné střety, komplikované složené pohyby, převrácení, optimalizaci střetu, simulaci pohybu posádky apod. Lze použít rozdělení brzdné síly, použití ABS, nastavení tlumení a pružení atd. Další

velkou výhodou je možnost použití vícetělesového (multibody) systému, který umožní modelaci těla (řidiče, motocyklisty atd.).

Výstupem simulačního programu je simulace dopravní nehody s možností velmi názorné videosekvence. Pro účely znaleckého posudku je možné vygenerovat protokol a diagram pro případnou kontrolu. Za znalecký posudek vypracovaný pomocí simulačního programu je však vždy zodpovědný sám znalec.

## **1.2 Zhodnocení současného stavu**

Jak je patrné z výše vypracované analýzy současného stavu, neexistuje ucelený postup pro řešení jednotlivých typů nehod za účasti motocyklů. Je nutné konstatovat, že současný stav řešení problematiky střetu motocyklů s vozidly není zcela dostačující. Studie k dané problematice sice existují a autoři se tomuto tématu věnují, nicméně doposud nebyl vytvořen komplexní systém přístupů a řešení aplikovatelných na jednotlivé typy nehod motocyklů, které by bylo možné využívat pro účely znalectví dopravních nehod.

Tato dizertační práce si proto klade za cíl shromáždit dosavadní studie a sepsat z nich plynoucí poznatky o problematice střetu motocyklu s vozidlem, statisticky vymezit příčiny nehodovosti motocyklů, vyhodnotit současné metody řešení těchto nehod a následně navrhnout vhodné teoretické i praktické přístupy pro jednotlivé typy střetů motocyklů s vozidly. Tato práce má ambici pokusit se o nápravu neuspokojivého stavu metodiky řešení střetu motocyklů s vozidly a stát se materiálem užitečným jak pro teoretickou, tak také pro praktickou část znalectví dopravních nehod.

## **2 CÍLE PRÁCE**

Cílem práce je na základě analýzy současného stavu poznání v oblasti analýzy střetu vozidla s motocyklem navrhnout systémový přístup pro řešení tohoto typu nehod, vč. vytváření systému podstatných veličin a metod pro zjišťování vstupních údajů.

Úkolem doktoranda je provést analýzu současného stavu řešení problematiky dopravních nehod jiných vozidel s motocykly. Statisticky vyhodnotit četnost vzniku těchto nehod z hlediska příčin jejich vzniku. Navrhnout vhodnou kategorizaci z hlediska potřeb jejich praktického posuzování a navrhnout vhodné systémově pojaté přístupy pro řešení těchto typů nehod. Při tomto řešení bude zohledněna zavedená kategorizace, důraz bude kladen na úplnost systému podstatných veličin, volbu vstupních údajů do algoritmu řešení a možnosti

dalšího experimentálního zjišťování údajů potřebných pro řešení. Tyto poznatky pak budou rozpracovány do vhodných prakticky využitelných postupů pro řešení daného typu silničních nehod.

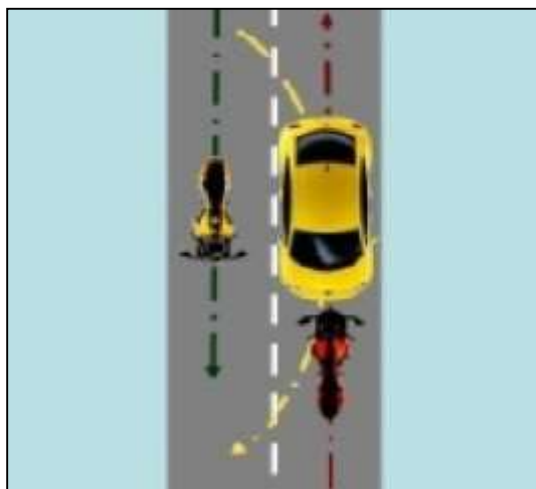
### **3 METODY ŘEŠENÍ**

#### **3.1 Kategorizace dopravních nehod mezi vozidlem a motocyklem**

Na základě výše provedené rešerše z kapitoly 1.1.6 si dovoluji rozdělit nehody mezi vozidly a motocykly do následujících kategorií:

##### **3.1.1 Typ A střet motocyklu s protijedoucím vozidlem**

Jedná se o případ, kdy dochází k čelnímu střetu motocyklu s vozidlem, úhly podélných os jsou zpravidla blízké  $180^\circ$ . Může se jednat například o situaci znázorněnou na obr. 85, kde vozidlo předjíždí jiné vozidlo nebo překážku silničního provozu a nestihne se zařadit zpět do jízdního pruhu, následně dojde ke střetu s protijedoucím motocyklem.



*Obr. 85: Střet motocyklu s protijedoucím vozidlem*

##### **3.1.2 Typ B střet motocyklu s vozidlem křížujícím hlavní silnici**

K tomuto typu střetu dochází nejčastěji na křižovatkách, kdy jeden z účastníků jede po hlavní silnici a druhý po vedlejší. Dochází k bočním střetům, kdy úhel podélných os mezi vozidly svírá zpravidla pravý úhel, nebo podobný (nejčastěji v rozmezí  $45$  až  $135^\circ$ ). Na

obr. 86 je situace, kdy vozidlo jedoucí po vedlejší silnici nedá přednost zprava jedoucímu motocyklu po hlavní silnici, může se jednat i o nedání přednosti zprava.



*Obr. 86: Střet motocyklu s vozidlem křižujícím hlavní silnici*

### 3.1.3 Typ C střet motocyklu s vozidlem odbočujícím vlevo z vedlejší silnice

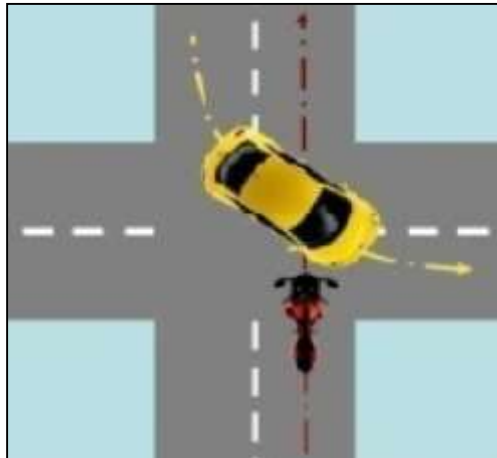
Nejčastějším místem jsou opět křižovatky. Dochází k bočním střetům, úhel podélných os mezi vozidly bývá nejčastěji v rozmezí 45 až 90°, podle střetové polohy a charakteru křižovatky. V tomto případě vozidlo vyjíždí z vedlejší silnice, při odbočování vlevo na hlavní silnici dojde ke střetu s motocyklem, kterému vozidlo nedalo přednost.



*Obr. 87: Střet motocyklu s vozidlem odbočujícím vlevo z vedlejší silnice*

### 3.1.4 Typ D střet motocyklu s protijedoucím vozidlem odbočujícím vlevo

Dochází k bočním střetům, úhel podélných os mezi vozidly bývá nejčastěji v rozmezí 90 až 135°, podle střetové polohy a charakteru křižovatky. Vozidlo i motocykl jedou po hlavní silnici, vozidlo odbočuje vlevo a křížuje koridor motocyklisty.



*Obr. 88: Střet motocyklu s protijedoucím vozidlem odbočujícím vlevo*

### 3.1.5 Typ E střet předjíždějícího motocyklu s vozidlem, které odbočuje vlevo (vozidlo jede stejným směrem)

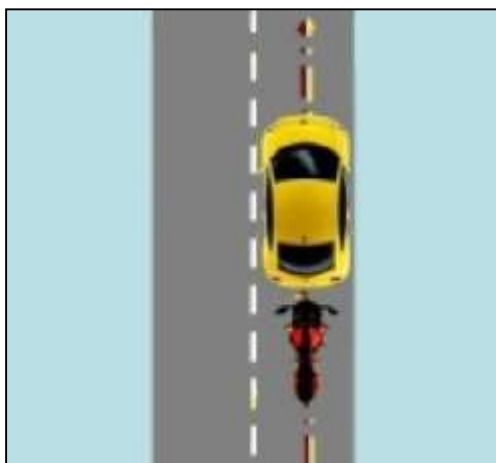
Vozidlo jedoucí po hlavní silnici odbočuje vlevo a je současně předjížděno motocyklem zleva. Dochází k bočním střetům, úhel podélných os mezi vozidly bývá nejčastěji přibližně 45°.



*Obr. 89: Střet předjíždějícího motocyklu s vozidlem, které odbočuje vlevo (vozidlo jede stejným směrem)*

### 3.1.6 Typ F střet motocyklu s vozidlem jedoucím stejným směrem (nedobrzdnění)

Tato situace nastává v okamžiku, kdy motocykl nestihne zareagovat na brzdící vozidlo jedoucí před ním. Dochází k zadnímu střetu motocyklu do vozidla, úhly podélných os bývají téměř rovnoběžné, střetový úhel blízký 0°. K těmto střetům dochází nejčastěji v blízkosti křižovatek, přechodů pro chodce, světelného značení. Pro tento případ je typické nedobrzdnění zadního vozidla a následným střetem do předního vozidla.



*Obr. 90: Střet motocyklu s vozidlem jedoucím stejným směrem (nedobrzdnění)*

## 3.2 Metody řešení střetu mezi vozidlem a motocyklem – typ A, F

### 3.2.1 Postřet

#### 3.2.1.1 *Postřetová rychlost*

Pokud vozidlo po střetu intenzivně brzdí, pak jeho rychlost na začátku zanechávání brzdných stop lze vypočítat na základě brzdného zpomalení:

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \quad (5)$$

kde:

a [m.s<sup>-2</sup>] .....brzdné zpomalení

s [m] .....délka brzdných stop

Uvedený vztah je možno použít pro výpočet rychlosti vozidla za předpokladu, že je konec brzdných stop totožný s místem, kde byla rychlost motocyklu nulová.

Následující vztah je možno použít pro výpočet rychlosti vozidla při brzdění z rychlosti  $v_2$  do rychlosti  $v_1$ .

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \cdot a \cdot s} \quad (6)$$

Je nutné vzít v potaz i sklon vozovky, v případě klesání platí vztah:

$$a = g \cdot (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (7)$$

Pro případ stoupání pak:

$$a = g \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (8)$$

kde:

$\alpha$  [°].....úhel výsledné síly

### 3.2.1.2 Postřetová rotace

Při zpracování analýzy postřetového pohybu je nezbytné řešit kromě postřetové rychlosti i postřetové rotace, které mohou výrazně ovlivnit hodnoty střetových parametrů [113].

K řešení postřetových rotací a výběhových rychlostí lze použít následující metody:

- metoda dle Marquarda
- metoda dle Burga
- metoda dle McHenryho.

Výběhová rychlost (těsně po střetu) podle Marquarda s uvažováním případné konečné rychlosti, pokud není nulová, se stanoví ze vztahu:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot k_s \cdot \mu \cdot g \cdot s + v_{kon}^2} \quad (9)$$

Postřetová rotace podle Marquarda s uvažováním případné úhlové rychlosti na konci počítaného úseku, pokud není nulová, se stanoví:

$$\omega_p = \sqrt{k_\psi \cdot \mu \cdot g \cdot R_v \cdot \frac{m}{J} \cdot \psi + \omega_{kon}^2} \quad (10)$$

kde koeficienty jsou:

$$k_s = 0,17 \cdot w^3 - 0,488 \cdot w^2 - 0,034 \cdot w + 1 \quad (11)$$

$$k_\psi = 0,328 \cdot w^3 - 0,772 \cdot w^2 + 1,072 \cdot w \quad (12)$$

$$w = \frac{\psi \cdot R_v}{2 \cdot s} \quad (13)$$

kde:

$m$  [kg] .....hmotnost vozidla

$R_v$  [m] .....rozvor délky

$\mu$  [-] .....součinitel adheze

$s$  [m] .....dráha

$\psi$  [°] .....úhel natočení během postřetového pohybu

Výběhová rychlost podle Burga:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot a \cdot s + v_{kon}^2} \quad (14)$$

Postřetová rotace podle Burga:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot w_R \cdot R_v}{J}} \cdot \psi \quad (15)$$

kde:

$f_h$  [-] .....součinitel odporu kol

$w_R$  [-] .....součinitel odporu proti rotaci vozidla

Součinitel odporu kol dosahuje hodnot v rozmezí 0,1 až 1,0. Pokud se kola volně otáčí (0,1), pro plně zablokovaná (1,0).

$w_R = 0,15$  pro náraz na bok vozidla

$w_R = 0,35$  pro náraz do  $\pm 20$  stupňů od podélné osy vpředu či vzadu. Zpomalení pro výpočet výběhové rychlosti je poté rovno:

$$a = \mu \cdot g \cdot [f_h + (1 - f_h) \cdot \sin \psi_m] \quad (16)$$

kde:

$$\sin \psi_m = \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \quad (17)$$

pro  $\psi$  menší než  $60^\circ$ , jinak  $\sin \psi_m = 0,5$



Výběhová rychlost podle McHenryho:

$$v_p = 1,7 \cdot \left[ \frac{\mu \cdot g \cdot \psi}{\omega_p} - \frac{J \cdot \omega_p \cdot (1 - f_h)}{m \cdot R_v} \right] \quad (18)$$

Postřetová rotace podle McHenryho:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{\mu \cdot g \cdot \psi^2}{\frac{J}{m \cdot R_v} \cdot \psi \cdot (1 - f_h) + \frac{s}{1,7}}} \quad (19)$$

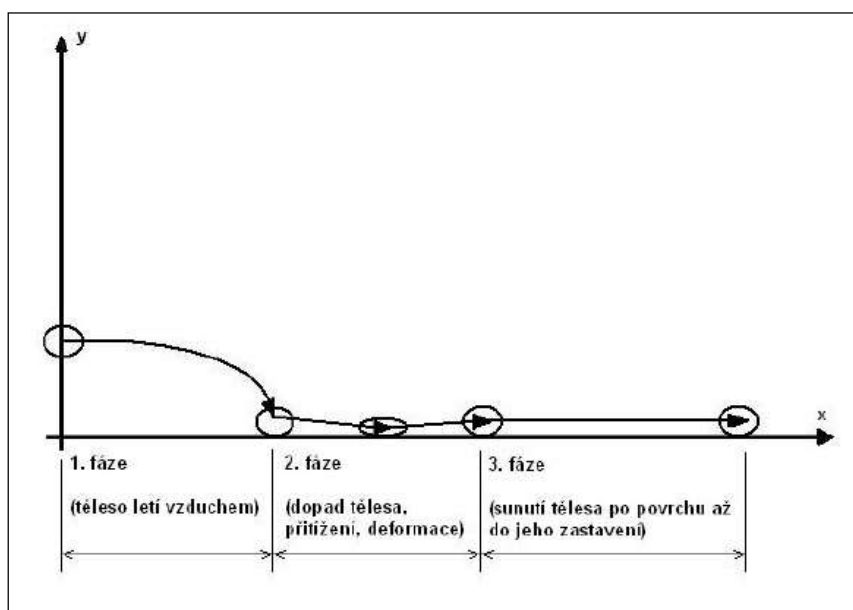
kde:

$$f_h = \frac{f_{h1} + f_{h2} + f_{h3} + f_{h4}}{4} \quad (20)$$

### 3.2.1.3 Let, dopad a sunutí motocyklisty

Pokud známe místo dopadu motocyklisty, místo zastavení (po sunutí) a výšku odpoutání motocyklisty, lze vypočítat celkovou vzdálenost (od místa střetu po konečnou polohu).

Po nabytí rychlosti těla nárazem lze výpočet rozdělit do tří fází. První fáze představuje let těla vzduchem až po dopad na vozovku (modelován šikmým vrhem). Druhá fáze probíhá při přitížení těla po dopadu na vozovku a končí při zániku rychlosti ve svislém směru. Třetí fáze představuje sunutí těla po vozovce a jeho zpomalování vlivem tření mezi ním a vozovkou.



Obr. 91: Jednotlivé fáze letu předmětu po střetu [1]

## I. Fáze letu

Směr vektoru rychlosti  $v_0$  je skloněn od směru vodorovného o elevační úhel  $\alpha$  a vektor rychlosti lze rozložit do směru osy x a z (podélný a svislý směr), jeho složky jsou pak:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha \qquad v_{0z} = v_0 \sin \alpha \qquad (21), (22)$$

při počáteční výšce těžiště těla  $h_0$  a tíhovém zrychlení  $g$  bude výška těžiště nad vozovku v časovém okamžiku  $t$ :

$$z = h_0 + v_{0z} t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \qquad (23)$$

V okamžiku dopadu těla na vozovku je  $z = 0$ , kde rovnice s nulovou levou stranou je kvadratická rovnice, z níž jedno řešení (kladné) představuje čas, za který tělo urazí podélnou vzdálenost, než dopadne na vozovku, a který je roven:

$$t_1 = \frac{v_{0z} + \sqrt{v_{0z}^2 + 2h_0g}}{g} \qquad (24)$$

dráha v podélném směru, kterou tělo urazí během fáze letu:

$$L_1 = v_{0x} t_1 \qquad (25)$$

## II. Fáze sunutí s přitížením

V okamžiku dopadu na vozovku jsou složky rychlostí v ose x a z roviny:

$$v_{1x} = v_{0x} \qquad v_{1z} = v_{0z} - g t_1 \qquad (26), (27)$$

Ve svislém směru dojde vlivem nárazu na vozovku k dočasnému přitížení těla; k zastavení svislého pohybu těla dojde na dráze  $s_z$  a působí při něm zrychlení  $a_z$ :

$$a_z = \frac{v_{1z}^2}{2s_z} \qquad (28)$$

čas, za který se sníží rychlost ve svislém směru na nulovou:

$$t_2 = \frac{|v_{1z}|}{a_z} \qquad (29)$$

vlivem přitížení se v krátkém časovém okamžiku (řádově setiny sekundy) zvýší přítláčná síla těla ve svislém směru a tím vzroste i třecí síla ve směru vodorovném mezi tělem a vozovkou zpomalující sunutí těla, kde  $f$  je součinitel tření mezi tělem a vozovkou:

$$a_x = (a_z + g)f \quad (30)$$

rychlost v podélném směru se sníží o:

$$\Delta v = a_x t_2 \quad (31)$$

dráha v podélném směru, kterou tělo urazí během fáze přitížení při dopadu na vozovku:

$$L_2 = v_{1x} t_2 - \frac{1}{2} a_x t_2^2 \quad (32)$$

### III. Fáze sunutí po vozovce

Rychlost v podélném směru na počátku sunutí těla do konečné polohy (po ukončení fáze sunutí s přitížením) je:

$$v_{3x} = v_{1x} - \Delta v \quad (33)$$

dráha v podélném směru, kterou tělo urazí během fáze sunutí po vozovce:

$$L_3 = \frac{v_{3x}^2}{2fg} \quad (34)$$

celková odhozová vzdálenost těla z místa střetu do jeho konečné polohy je:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (35)$$

#### 3.2.1.4 Nárazová rychlost motocyklu při nárazu na překážku

Na základě celkové vzdálenosti odhození těla motocyklisty (od místa nárazu motocyklu na překážku po konečnou polohu) a úhlu, pod kterým je vymrštěno tělo motocyklisty, je možno přibližně vypočítat nárazovou rychlost motocyklu na překážku podle vztahu:

$$v = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}{(\cos \varphi + \mu \cdot \sin \varphi)^2}} \quad (36)$$

kde:

$d$  [m].....celková vzdálenost odhození těla motocyklisty (od místa střetu do konečné polohy)

$\varphi$  [°] .....úhel vyvrstvení motocyklisty

Část dráhy motocyklisty (od místa nárazu motocyklu na překážku po místo prvního kontaktu těla s vozovkou) vypočítáme pomocí šikmého vrhu podle vztahu:

$$d_1 = \frac{v^2 \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi) + \sqrt{v^4 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + 252,2 \cdot v^2 \cdot h \cdot \cos^2 \varphi}}{126,1} \quad (37)$$

kde:

$h$  [m] .....výška těžiště řidiče

$v$  [m/s] .....nárazová rychlost

Uvedené vztahy je však možno použít pouze tehdy, pokud tělo motocyklisty nekontaktovala překážku, ale pokud přes ni přeletělo.

### 3.2.1.5 Nárazová rychlost na základě odhození střepin

Pro přibližné stanovení nárazové rychlosti je v některých případech možno použít odhození střepin, stejně jako šířku pole střepin. Je však nutné vzít v úvahu, zda nedošlo k rozježdění střepin dalšími vozidly [2].

### 3.2.2 Střet

K řešení střetů těchto typů nehod lze použít následující metody:

- zákon zachování hybnosti a zákonu zachování energie metoda (ZZH+ZZE)

#### 3.2.2.1 Metoda ZZH a ZZE

Metoda ZZH a ZZE, kterou někdy nazývá také DRHI a EES, vychází ze zákona zachování hybnosti a zákona zachování energie. Používá se převážně pro střety s podobnými nebo stejnými úhly podélných os vozidel (čelní střety, zadní střety, hromadné střety apod.)

Je vhodnější pro centrické střety čelní a zadní, kdy vozidla po střetu nerotovala (rotační složky energie zanedbáme). Je však použitelná i v případě známé rotace. Kromě hybnostního řešení zohledňuje i energetický rozsah poškození jednotlivých vozidel.

Hledáme předstřetové rychlosti vozidel řešením soustavy dvou rovnic o dvou neznámých se znalostí rychlostí po střetu a EES obou vozidel. Řešením soustavy získáme rychlosti vozidel před střetem. V případě centrických čelních, resp. zadních střetů bez rotačních složek dostaneme:

Podle zákona zachování hybnosti (dále jen ZZH):

$$m_A \cdot \vec{v}_A + m_B \cdot \vec{v}_B = m_A \cdot \vec{v}'_A + m_B \cdot \vec{v}'_B \quad (38)$$

Podle zákona zachování energie (dále jen ZZE):

$$m_A \cdot v_a^2 + m_B \cdot v_B^2 = m_A \cdot v'_A{}^2 + m_B \cdot v'_B{}^2 + m_A \cdot EES_A^2 + m_B \cdot EES_B^2 \quad (39)$$

Pro čelní střet dvou protijedoucích vozidel A a B, která se budou po střetu pohybovat ve směru vozidla A, dostaneme rychlost vozidla A ( $v_A$ ) před střetem:

$$v_A = \frac{m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B + m_B \cdot v_B}{m_A} \quad (40)$$

Pro náraz vozidla A zezadu do vozidla B, když se obě budou po střetu pohybovat ve směru vozidla A, dostaneme rychlost vozidla A ( $v_A$ ) před střetem:

$$v_A = \frac{m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B - m_B \cdot v_B}{m_A} \quad (41)$$

Pozn.: Rychlosti vozidel po střetu jsou odlišeny pomocí apostrofů.

Pro zjednodušení zavedeme substituce se známými hodnotami pro dosažení:

$$X = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \quad (42)$$

$$Y = m_A \cdot v'_A{}^2 + m_B \cdot v'_B{}^2 + m_A \cdot EES_A^2 + m_B \cdot EES_B^2 \quad (43)$$

Pro čelní střet s použitím substituce a dosazením do rovnic dostaneme:

$$\left(m_B + \frac{m_B^2}{m_A}\right) \cdot v_B^2 + \left(\frac{2 \cdot X \cdot m_B}{m_A}\right) \cdot v_B + \left(\frac{X^2}{m_A} - Y\right) = 0 \quad (44)$$

Pro střet zezadu s použitím substituce a dosazením do rovnic dostaneme:

$$\left(m_B + \frac{m_B^2}{m_A}\right) \cdot v_B^2 - \left(\frac{2 \cdot X \cdot m_B}{m_A}\right) \cdot v_B + \left(\frac{X^2}{m_A} - Y\right) = 0 \quad (45)$$

což je základním tvarem kvadratické rovnice

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad (46)$$

kde:

$$a = \left( m_B + \frac{m_B^2}{m_A} \right) \quad (47)$$

$$b = \left( \frac{2 \cdot X \cdot m_B}{m_A} \right) \quad (48)$$

$$c = \left( \frac{X^2}{m_A} - Y \right) \quad (49)$$

Řešením kvadratické rovnice za použití diskriminantu dostaneme v případě kladné hodnoty diskriminantu 2 kořeny (2 hodnoty rychlosti  $v_B$ )

$$D = b^2 - 4 \cdot a \cdot c \quad (50)$$

$$v_B = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2 \cdot a} \quad (51)$$

### 3.2.2.2 Metoda průniku pásem

Metoda průniku pásem je graficko-početní metoda, která slouží k výběru správného kořene vyhovujícímu zadání. Průnikem pásem se rozumí průnik oblastí, které vzniknou z rozmezí přímek ze ZZH a ZZE. Při použití středních hodnot rychlostí, tj. bez rozmezí, dostaneme průsečík dvou přímek.

Metoda průniku pásem vychází tedy rovněž ze ZZH a ZZE doplněním o koeficient restituice ( $k$ ) a zjednodušení, že rychlosti vozidel po střetu jsou stejné ( $v_A' = v_B' = v'$ ).

$$k = \frac{v_B' - v_A'}{v_A - v_B} \quad (52)$$

### Zákon zachování hybnosti (ZZH)

Předstřetovou rychlost vozidla A ( $v_A$ ) lze pomocí rovnice ZZH vyjádřit lineární rovnicí o neznámé  $v_B$ :

$$v_A = \left( \frac{m_A + m_B}{m_A} \right) \cdot v - \frac{m_B}{m_A} \cdot v_B \quad (53)$$

což je směrnicový tvar přímky:

$$y = K \cdot x + q \quad (54)$$

kde:

$$K = \left(-\frac{m_B}{m_A}\right) = \tan \alpha \quad (55)$$

$$q = \left(\frac{m_A+m_B}{m_A}\right) \cdot \dot{v} \quad (56)$$

kde:

$K [-]$  .....směrnice přímky ( $K>0$  je rostoucí funkce,  $K<0$  je klesající funkce)

$\alpha [^\circ]$  .....úhel přímky

V dalším kroku je potřeba získat poměr mezi rychlostmi  $v_A$  a  $v_B$ . K tomuto se užije grafického vyjádření, kdy na svislou osu umístíme rychlost  $v_A$  a na vodorovnou osu rychlost  $v_B$ .

Poté položíme  $v_B = 0$  a získáme bod na svislé ose:

$$v_A = \left(\frac{m_A+m_B}{m_A}\right) \cdot \dot{v} \quad (57)$$

kterým povede přímka o směrnici:

$$K = \left(-\frac{m_B}{m_A}\right) \quad (58)$$

### Zákon zachování energie (ZZE)

Předstřetovou rychlost vozidla A ( $v_A$ ) lze pomocí rovnice ZZE vyjádřit lineární rovnicí o neznámé  $v_B$  za použití koeficientu restituce z výsledného vzorce metody  $\Delta v$ .

$$\Delta v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{def} \cdot (m_A + m_B)}{(1 - k^2) \cdot (m_A \cdot m_B)}} \quad (59)$$

kde:

$E_{def} [J]$ .....deformační energie

$$E_{def} = \frac{1}{2} \cdot m_A \cdot EES_A^2 + \frac{1}{2} \cdot m_B \cdot EES_B^2 \quad (60)$$

Po rozepsání  $\Delta v$  na ( $v_A-v_B$ ) dostaneme vztah:

$$v_A = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{def} \cdot (m_A + m_B)}{(1 - k^2) \cdot (m_A \cdot m_B)}} + v_B \quad (61)$$

což je opět tvar směrnice přímky:

$$y = K \cdot x + q \quad (62)$$

$$q = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{def} \cdot (m_A + m_B)}{(1 - k^2) \cdot (m_A \cdot m_B)}} \quad (63)$$

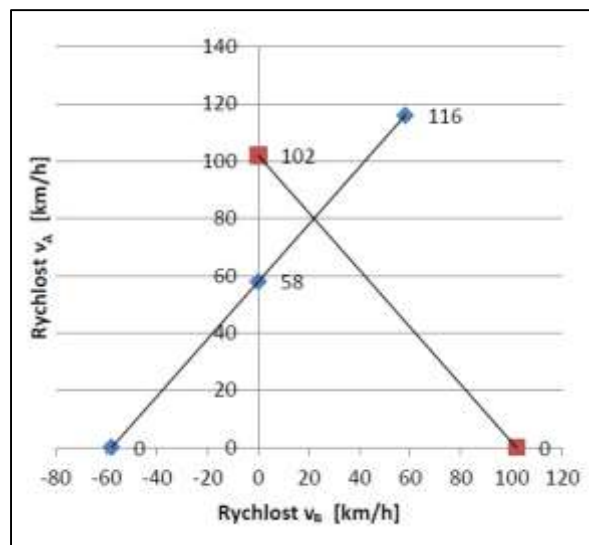
Směrnice přímky K je tedy vždy rovna jedné a úhel předmětné vzniklé přímky je vždy roven:

$$K = \tan \alpha = 1 \Rightarrow \tan^{-1}(1) = 45^\circ \quad (64)$$

V dalším kroku je potřeba opět získat poměr mezi rychlostmi  $v_A$  a  $v_B$ . K tomuto se nejlépe užije grafického vyjádření, kdy na svislé ose umístíme rychlost  $v_A$  a na vodorovnou osu rychlost  $v_B$  (stejně jako v případě ZZH).

Poté položíme  $v_B=0$  a při volbě koeficientu restituce ( $k$ ) získáme bod na svislé ose  $v_A$ , kterým povede přímka o směrnici  $+45^\circ$ .

Nyní je možné zkonstruovat nebo vypočítat průsečík obou přímek a najít tak řešení soustavy rovnic.



Graf 21: Metoda průniku pásem

### 3.2.2.3 Nárazové zkoušky motocyklů – využití pro stanovení nárazové rychlosti

V současnosti téměř všichni výrobci vozidel provádějí crashtesty (nárazové zkoušky) jednotlivých typů vozidel. Provádějí se za účelem ověření a zdokonalení prvků pasivní bezpečnosti (deformačních zón karosérie, atd.).



Většinou se provádí deformační zkouška pouze určitých částí vozidla, protože je nutno minimalizovat náklady. Také se používá počítačová simulace deformace vozidla, ale ta je značně nákladná, protože vyžaduje vysoký stupeň detailizace popisu geometrických a materiálových vlastností a je náročná na výpočtový čas. Přesnost těchto výpočtů se pohybuje v toleranci většinou do 40 % od skutečného průběhu. Z výše uvedeného vyplývá, že reálný crashtest není často nákladnější než vykonání přesné počítačové simulace.

Průběh nárazové zkoušky je podrobně zaznamenán a zdokumentován a slouží nejen výrobcům vozidla, ale často i znalcům z oboru silniční dopravy.

V roce 1988 vykonala firma Dekra sérii nárazových zkoušek motocyklu s osobním vozidlem. Výsledkem zkoušek je katalog rozdělený na dvě části:

- Náraz motocyklu do stojícího vozidla
- Náraz motocyklu do jedoucího vozidla.

V obou částech jsou jednotlivé nárazy uspořádány následovně:

- Náraz motocyklu do vozidla zepředu (úhel podélných os vozidel: 180°)
- Náraz motocyklu do vozidla z boku (úhel podélných os vozidel: 90°) v místě:
  - předního kola,
  - předního blatníku,
  - dveří,
  - zadního kola,
  - zadního blatníku.

Po vyhodnocení výsledků crashtestů byla hledána závislost mezi velikostí poškození (vozidla i motocyklu) a nárazovou rychlostí. Bylo vykonáno 48 nárazových zkoušek motocyklu s osobním vozidlem. Při testech byly použity různé značky a druhy motocyklů a osobních vozidel.

#### *3.2.2.4 Stanovení nárazové rychlosti na základě trvalého zkrácení rozvoru*

Pro určení nárazové rychlosti motocyklu je vhodnou veličinou trvalé zkrácení rozvoru motocyklu. Základem této hypotézy byly výsledky pokusů v USA. Při těchto pokusech narážely motocykly značky Honda do boku stojícího vozidla. Vyhodnocením těchto pokusů byla nalezena lineární závislost mezi trvalým zkrácením rozvoru a nárazovou rychlostí.

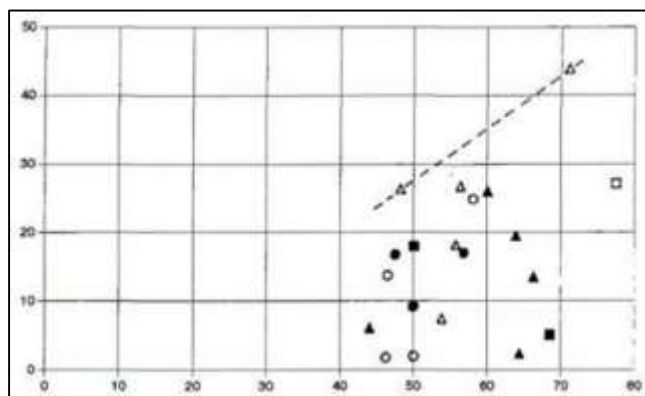
Na tyto pokusy navázala firma Dekra sérií 20 nárazů motocyklu do stojícího osobního vozidla. Nebyla však potvrzena hypotéza lineární závislosti nárazové rychlosti na trvalém zkrácení rozvoru [2].

Na trvalé zkrácení rozvoru má vliv velké množství faktorů:

- tuhost tlumičů,
- tuhost ráfku kola,
- tuhost zavěšení motoru a rámu,
- typ motocyklu (silniční, enduro, skútr, atd.),
- úhel, který svírají podélné osy vozidel v okamžiku nárazu,
- úhel natočení předního kola vozidla.

### *Deformační přístup*

Z vykonaných nárazových zkoušek vyplývá, že není možno stanovit nárazovou rychlost motocyklu s dostatečnou přesností pouze na základě trvalého zkrácení rozvoru. [2]



*Graf 22: Trvalé zkrácení rozvoru v závislosti na nárazové rychlosti pro pohybující se vozidlo (svislá osa – trvalé zkrácení rozvoru [cm], vodorovná osa – rychlost motocyklu [km/h])*

### *Energetický přístup*

Dále byla zkoumána závislost součtu trvalých deformací motocyklu (trvalého zkrácení rozvoru a trvalé hloubky vniknutí) od nárazové kinetické energie motocyklu. Nárazová kinetická energie motocyklu je dána vztahem:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (65)$$

kde:

$E_K$  [J] .....kinetická energie

$m$  [kg] .....hmotnost motocyklu bez dummy figuríny

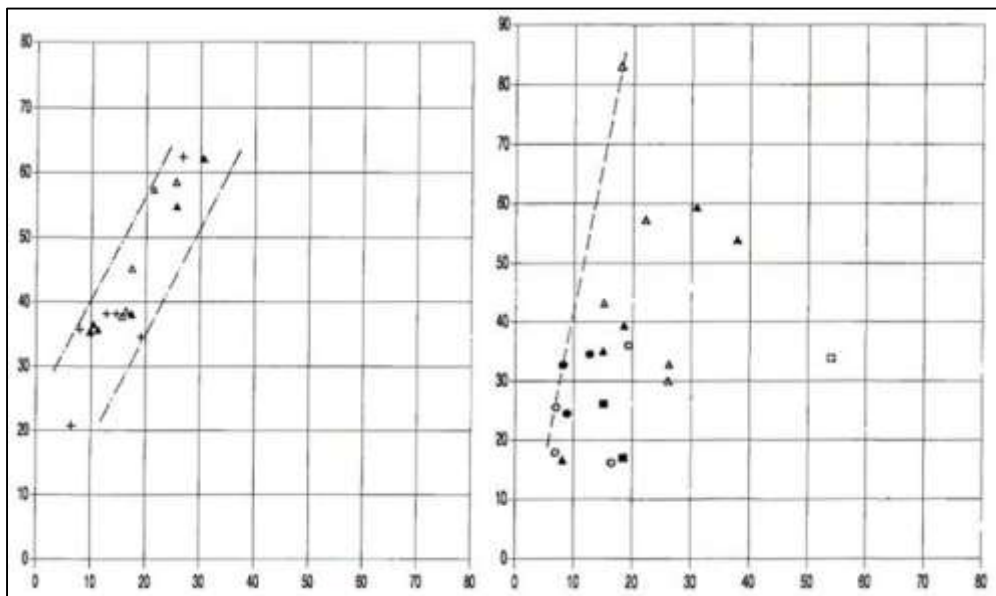
$v$  [m/s] .....rychlost motocyklu v okamžiku nárazu

Z analýzy výsledků nárazových zkoušek dále vyplývá, že pro stojící vozidlo existuje lineární závislost mezi kinetickou energií motocyklu a součtem trvalého zkrácení rozvoru a trvalé hloubky vniknutí. Pro pohybující se vozidlo tato závislost neplatí.

Na základě součtu trvalých deformací lze po zakreslení naměřených a vypočítaných hodnot do grafu stanovit nárazovou kinetickou energii motocyklu. Z té je poté možno vypočítat nárazovou rychlost motocyklu [2].

Je však potřeba upozornit, že platnost uvedené závislosti je jen za následujících podmínek:

- úhel podélných os vozidel je v okamžiku nárazu cca  $90^\circ$ ,
- oblastí nárazu vozidla jsou dveře,
- vozidlo se nepohybuje, resp. se pohybuje velmi malou rychlostí.



Graf 23: Trvalé zkrácení rozvoru (vlevo) a trvalá hloubka deformací (vpravo) v závislosti na kinetické energii motocyklu pro stojící vozidlo - vlevo a jedoucí vozidlo – vpravo (svíslá osa – trvalé zkrácení rozvoru + trvalá hloubka vniknutí [cm], vodorovná osa – kinetická energie motocyklu [kJ])

Navzdory skutečnosti, že neexistuje lineární závislost mezi trvalým zkrácením rozvoru a nárazovou rychlostí, trvalou hloubkou vniknutí a nárazovou rychlostí a součtem trvalých deformací (trvalé hloubky vniknutí a trvalým zkrácením rozvoru) a nárazovou rychlostí, je možno uvedené diagramy použít při stanovení minimální nárazové rychlosti motocyklu. Stanovení horní hranice nárazové rychlosti však není tímto způsobem (z poškození) možno (kromě případu stojícího, resp. pomalu pohybujícího se vozidla).

V případě stojícího, resp. pomalu pohybujícího se vozidla je možno odvodit dolní i horní hranici nárazové rychlosti motocyklu z existence závislosti součtů trvalých deformací (trvalé hloubky vniknutí a trvalým zkrácením rozvoru od kinetické energie motocyklu).

### 3.2.3 Předstřet

#### 3.2.3.1 *Předstřetová rychlost*

Rychlost motocyklu na začátku zanechávání brzdných stop je tedy možno vypočítat na základě brzdného zpomalení:

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \quad (66)$$

kde:

a [m.s<sup>-2</sup>] .....brzdné zpomalení

s [m] .....délka brzdných stop

Uvedený vztah je možno použít pro výpočet rychlosti motocyklu za předpokladu, že je konec brzdných stop totožný s místem, kde byla rychlost motocyklu nulová.

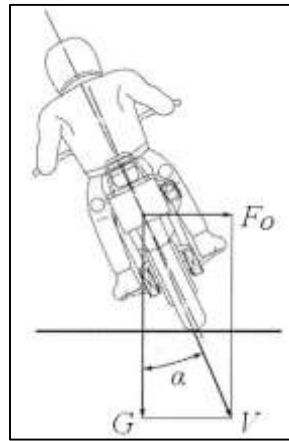
Následující vztah je možno použít pro výpočet rychlosti motocyklu při brzdění z rychlosti v<sub>2</sub> do rychlosti v<sub>1</sub>.

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \cdot a \cdot s} \quad (67)$$

#### 3.2.3.2 *Maximální rychlosti průjezdu zatáčkou*

Při jízdě motocyklu je potřebné rozlišovat, o jaký úhel se motocykl při jízdě zatáčkou naklopí. Pro jednostopé vozidlo platí rovnováha sil při průjezdu zatáčkou, při kterých výslednice působících sil prochází těžištěm a kontaktním bodem pneumatiky a vozovky.

Dokud výslednice sil ( $V$ ) neprochází kontaktním bodem je narušená rovnováha a musí dojít k ztrátě stability motocyklu. Tato úvaha platí bez vlivu podélných sil (brzdných nebo hnacích). Pokud se řidič bude pohybovat na hranici této rovnováhy, nemá rezervu na brzdění nebo zrychlování motocyklu [2].



Obr. 92: Zjednodušené silové působení na soustavu motocyklista a motocykl při průjezdu zatáčkou [2]

Na základě této úvahy je možno stanovit přibližnou maximální rychlost průjezdu zatáčkou následujícím postupem:

Při zanedbání vlivu šířky pneumatiky je možno ze silového trojúhelníku vyjádřit:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{F_0}{G} \quad (69)$$

kde:

$\delta$  [°] .....úhel klopení motocyklu

$\alpha$  [°] .....úhel výsledné síly

$F_0$  [N] .....odstředivá síla

$G$  [N] .....tíhová síla

Po vyjádření jednotlivých sil:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{m \cdot \frac{v^2}{R}}{m \cdot g} \quad (70)$$

kde:

R [m] .....aktuální poloměr křivosti trajektorie motocyklu

v [m/s] ..... aktuální rychlost motocyklu

m [kg] .....hmotnost motocyklu

g [m.s<sup>-2</sup>] .....tíhové zrychlení

Dále je možno vypočítat maximální rychlost motocyklu, který je naklonený o úhel  $\alpha$  (je možno přibližně předpokládat, že úhel klopení motocyklu je stejný jako úhel výsledné síly) a prochází zatáčkou, jejíž minimální poloměr je R:

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot \operatorname{tg}(\alpha)} \quad (71)$$

### 3.2.3.3 Příčné přemístění motocyklu

Příčné (boční) přemístění motocyklů je oproti příčnému přemístění vozidel zcela odlišné.

Příčné přemístění na motocyklu lze dále rozdělit na tři fáze:

- v první fázi motocyklista natočí říditka na opačnou stranu, než na kterou chce vyhnout,
- druhou fázi tvoří samotný vyhýbací manévr,
- třetí fáze se skládá ze srovnání řídítek s jízdní stopou motocyklu.

Pro příčné přemístění motocyklů byl stanoven samostatný vzorec:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \quad (72)$$

$$t_1 = 0,7 \text{ až } 1,0 \text{ s}$$

$$t_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{y}{4 \cdot a_y}} \quad (73)$$

$$t_3 = 0,9 \text{ až } 1,2 \text{ s}$$

kde:

y [m] .....příčné přemístění

a<sub>y</sub> [m.s<sup>-2</sup>] .....příčné zrychlení

### 3.2.3.4 Příčné přemístění vozidel

Příčné přemístění vozidla neboli vyhýbací manévř lze rozdělit na dva základní druhy:

- příčné přemístění jedním obloukem,
- příčné přemístění dvěma oblouky.

Pro výpočet příčného přemístění vozidel se používá Kovaříkův vzorec [1].

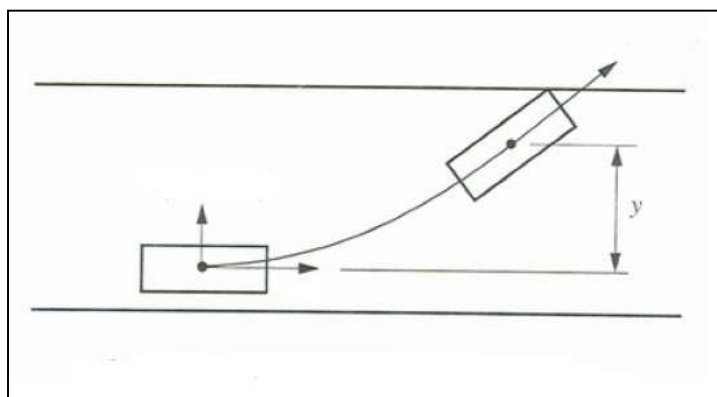
Příčné přemístění jedním obloukem je krátké příčné přemístění, např. nouzové vyhnutí překážce, bez ohledu na to, kam bude směřovat následný pohyb.

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění jedním obloukem bez přechodnic:

$$t_y \geq 1,41 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (74)$$

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění jedním obloukem s přechodnicemi:

$$t_y \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (75)$$



Obr. 93: Příčné přemístění jedním obloukem [1]

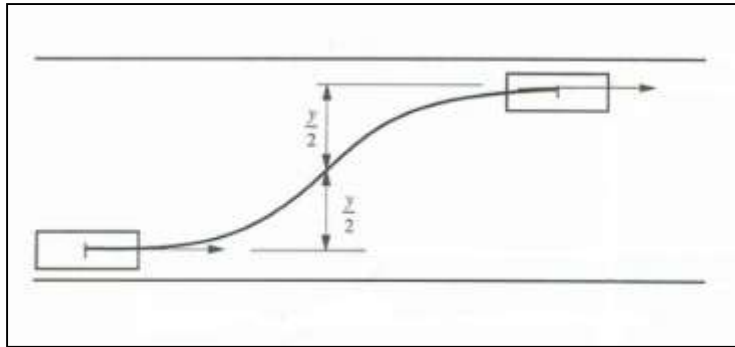
Příčné přemístění dvěma oblouky je vyhýbání dvěma oblouky, kdy po ukončení vyhýbaní je jízda rovnoběžná s původním směrem.

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění dvěma oblouky bez přechodnic:

$$t_y \geq 2,5 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (76)$$

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění dvěma oblouky s přechodnicemi:

$$t_y \geq 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (77)$$



Obr. 94: Příčné přemístění dvěma oblouky [1]

### 3.2.3.5 Minimální čas pádu motocyklu

Pro velmi jednoduchý a přibližný výpočet času pádu motocyklu je možno využít předpoklad, že těžiště soustavy motocykl – motocyklista se ve vertikálním směru pohybuje rovnoměrně zrychleným pohybem se zrychlením  $g$  a s počáteční nulovou rychlostí [2]. Potom čas pádu je dán vztahem:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{g}} \quad (78)$$

kde:

$\Delta h$  [m] .....změna výšky těžiště v průběhu pádu

$g$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ] .....tíhové zrychlení

Čas samovolného pádu motocyklu z výchozí polohy mezi rovinou komunikace a svislou rovinou motocyklu, která je definovaná úhlem  $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ , lze stanovit s pomocí výšky těžiště  $h_t$  (cca 0,5 m), poloměru setrvačnosti k podélné ose  $i_s$  (cca 0,2 až 0,25 m) a změny výšky těžiště v průběhu pádu  $h$  (cca 0,25 m) pomocí následujícího vztahu [7]:

$$t = \varphi \cdot \sqrt{\frac{i_s^2 \cdot h_t^2}{2 \cdot g \cdot h}} \quad (79)$$

kde:

$\varphi$  [°].....úhel pádu motocyklu

$i_s$  [m].....poloměr setrvačnosti k podélné ose

$h_t$  [m].....výška těžiště



h [m]..... změna výšky těžiště v průběhu pádu

### **3.3 Metody řešení střetu mezi vozidlem a motocyklem – typ B, C, D, E**

#### **3.3.1 Postřet**

Postup řešení je podobný jako u typu A, F.

#### **3.3.2 Střet**

K řešení střetů těchto typů nehod lze použít následující metody:

- diagram rovnováhy hybností a impulsů (DRHI)
- modifikovaný diagram rovnováhy hybností a impulsů (MDRHI)
- metoda rhomboidního řezu (DRRHI-diagram rovnováhy rotačních hybností a impulsů)
- metodu energetického prstence

##### *3.3.2.1 Metoda DRHI*

Diagram rovnováhy hybností a impulsů (DRHI) je základem početně-grafické analýzy střetů. Používá se převážně pro střety s rozdílnými úhly podélných os vozidel (střety na křižovatkách apod.) DRHI vychází z Newtonových zákonů a I. Impulsové věty (součet hybností soustavy těles, na která nepůsobí vnější síla je před střetem a po střetu stejný). Ze zákona akce a reakce vyplývá, že velikost rázové síly, kterou působí jedno vozidlo na druhé, je stejná jako velikost rázové síly, kterou působí druhé vozidlo na první. Doba trvání rázu je pro obě vozidla stejná, proto i impuls rázu je stejný, má pouze opačný směr.

Hybnost vozidla je dána součinem hmotnosti vozidla a jeho rychlosti.

$$H = m \cdot v \tag{80}$$

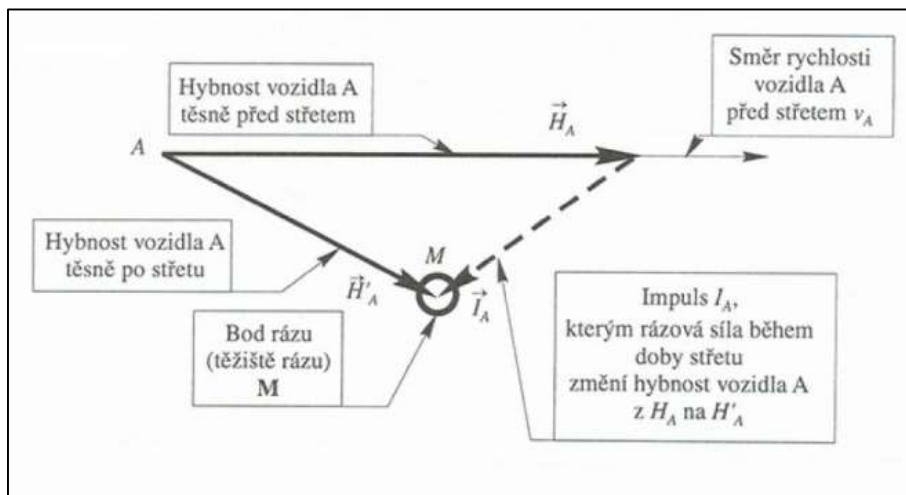
kde:

H [kg.m/s] .....hybnost vozidla před střetem

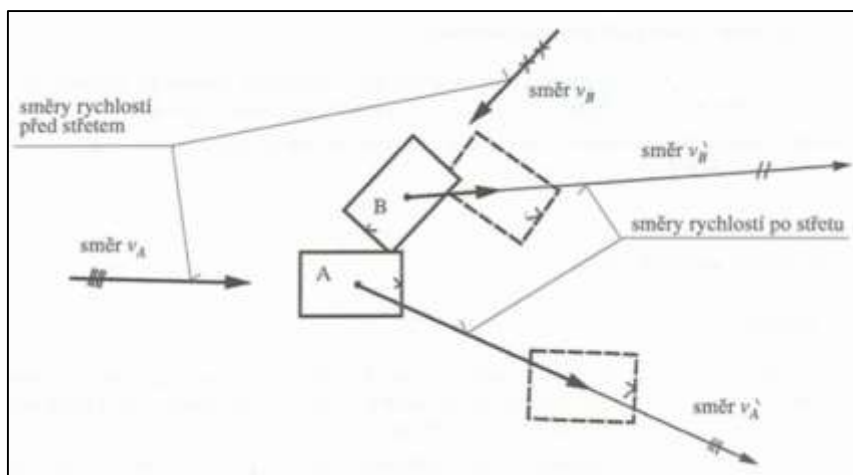
m [kg] .....hmotnost vozidla

v [m/s] ..... rychlost vozidla před střetem

DRHI umožňuje tedy hybnostní řešení střetu vozidel bez ohledu na jejich velikost poškození vyjádřenou energeticky.

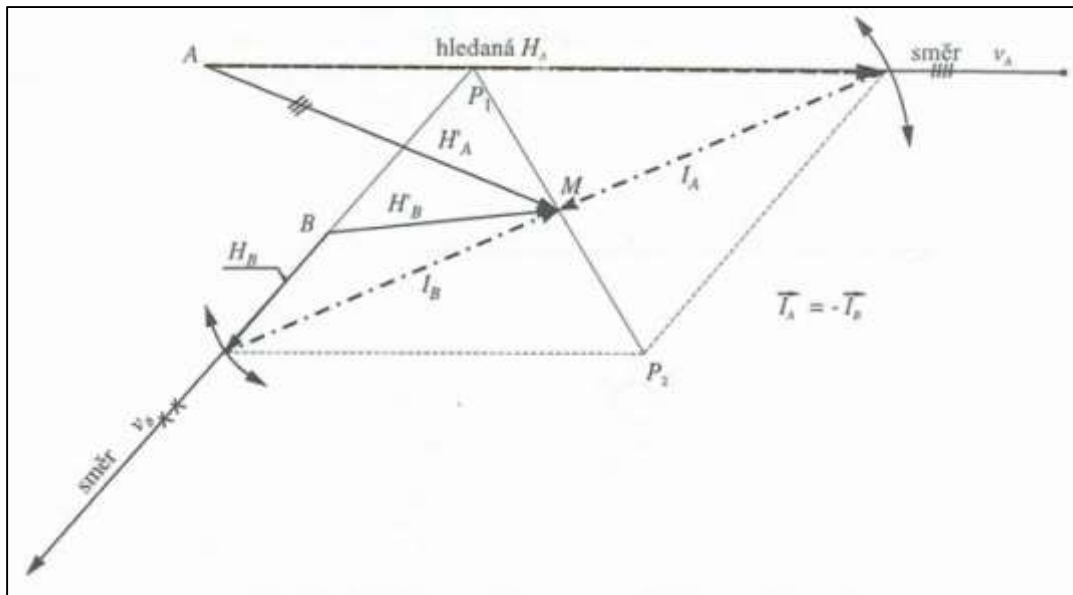


Obr. 95: Grafické znázornění změny hybnosti vozidla během střetu [1]



Obr. 96: Přípravný náčrt DRHI [1]

Pro konstrukci DRHI je třeba znát poškození vozidel, předstřetový směr vozidel (natočení v okamžiku střetu), postřetový směr vozidel (z pohybu do konečných poloh) a velikost postřetové (výběhové) rychlosti. Postřetová rychlost se vypočítá ze známých vzdáleností a zpomalení během postřetového pohybu. Pokud je pohyb vozidel po střetu nutno dělit na jednotlivé fáze, pro konstrukci DRHI potřebujeme pouze rychlost těsně po střetu.



Obr. 97: Konstrukce DRHI [1]

Výsledkem DRHI jsou střední hodnoty předstřetových rychlostí obou vozidel. DRHI neumožňuje rozptýl velikostí ani směrů, užívá se proto jejich středních hodnot.

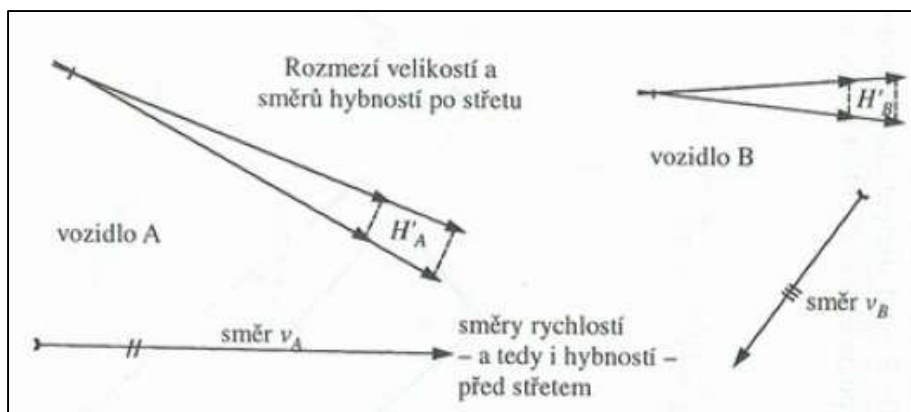
### 3.3.2.2 Metoda MDRHI

Modifikovaný diagram rovnováhy hybností a impulsů (MDRHI) slouží ke zpřesnění výsledků.

Používá se převážně u kolmých střetů, střetů s rozdílnými úhly podélných os vozidel (střety na křižovatkách, apod.)

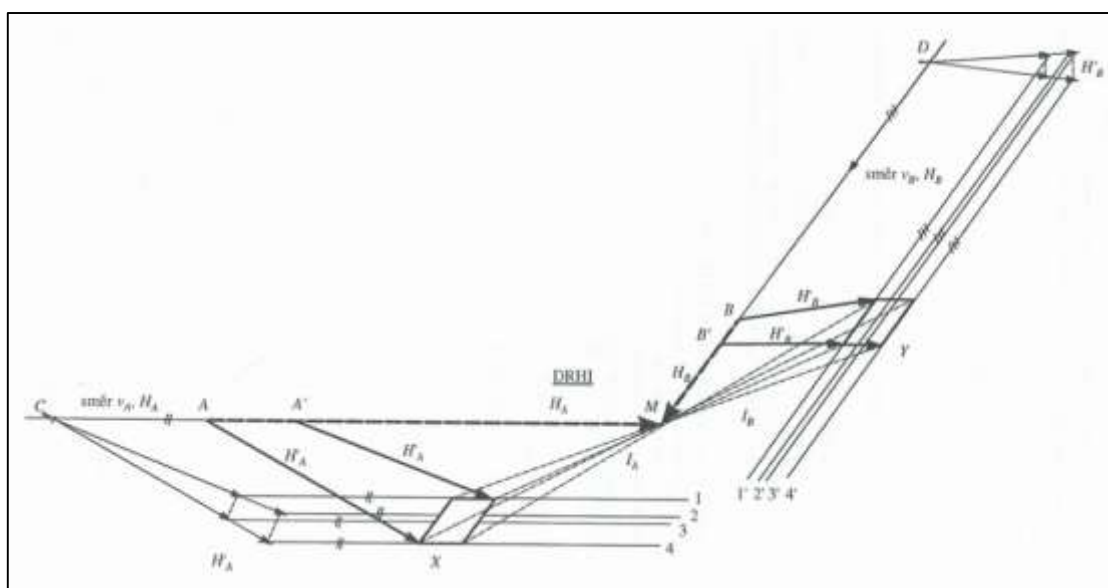
MDRHI neuvažuje pouze střední hodnoty vstupních veličin, ale jejich technicky přijatelné rozmezí. Rozmezí hybností jak vzhledem k velikostem, tak směrům by znamenalo velké množství diagramů. Proto byla vyvinuta modifikace DRHI (MDRHI), která umožňuje řešit všechny varianty v jednom diagramu.

Diagramy DRHI a MDRHI jsou konstruovány ze znalostí translačního pohybu po střetu a vzájemné polohy vozidel při střetu.



Obr. 98: Vstupní veličiny v rozmezí pro konstrukci MDRHI [1]

Pro konstrukci MDRHI je třeba znát poškození vozidel, předstřetový směr vozidel (natočení v okamžiku střetu), postřetový směr vozidel (z pohybu do konečných poloh v uvažovaném rozmezí) a velikost postřetové (výběhové) rychlosti v rozmezích. Postřetová rychlost se vypočítá ze vzdáleností a zpomalení během postřetového pohybu v rozmezí.



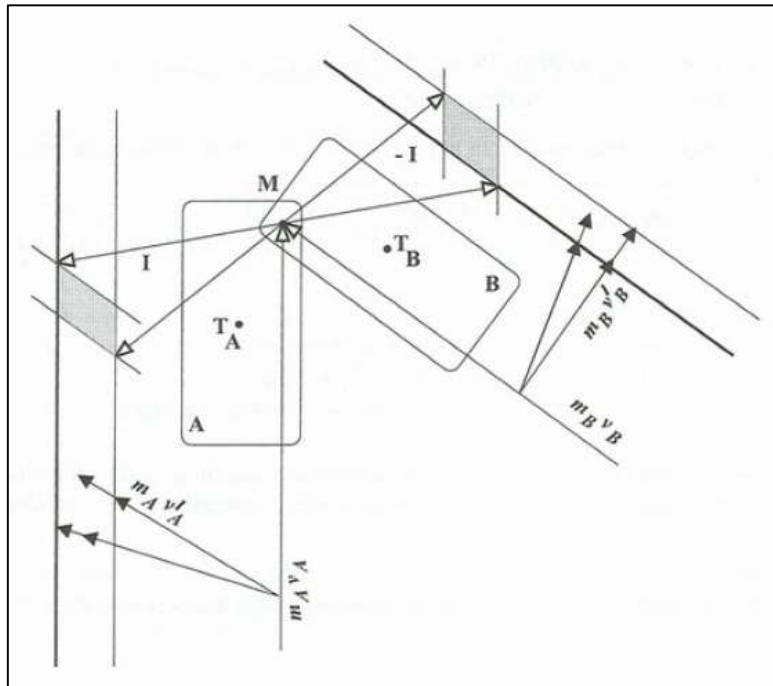
Obr. 99: Konstrukce MDRHI [1]

Oproti DRHI má tedy MDRHI podstatné výhody. Avšak velkým rozsahem vstupních hodnot hybností a směrů by mohlo dojít k nežádoucímu výraznému rozptylu výsledků.

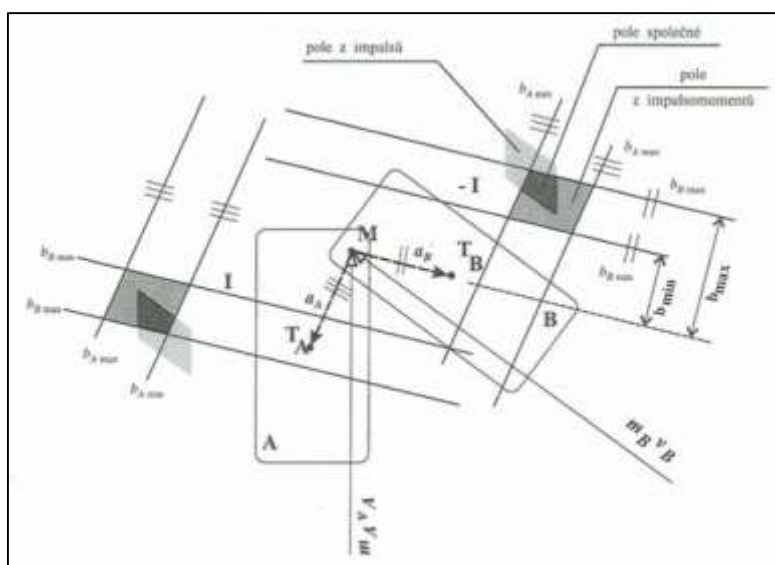
### 3.3.2.3 Metoda rhomboidního řezu

Někdy také nazývána diagram rovnováhy rotačních hybností a impulsů (DRRHI). Metoda je vhodná zejména pro řešení bočních střetů a nevhodná pro řešení čelních a zadních střetů s velkým překrytím. Slouží k zúžení řešené oblasti.

Tato metoda vychází ze znalosti rotačního pohybu po střetu a ze znalosti bodu rázu vzhledem k těžištům jednotlivých vozidel.



Obr. 100: Metoda rhomboidního řezu – 1. fáze, impulsní symetrie [1]



Obr. 101: Metoda rhomboidního řezu – 2. fáze, zúžení intervalu MDRHI [1]

Vychází z toho, že impuls momentu rázové síly vyvolá na rameni změnu úhlové rychlosti vozidla.

$$I \cdot n = J \cdot \omega \quad (81)$$

kde:

$I$  [N.s] .....impuls rázové síly

$n$  [m] .....velikost ramene působící síly

$J$  [kg.m<sup>2</sup>].....moment setrvačnosti vozidla vzhledem ke svislé ose

$\omega$  [s<sup>-1</sup>] .....změna úhlové rychlosti během střetu

$$J = m \cdot \left(\frac{l_n}{2}\right)^2 \quad (82)$$

kde:

$m$  [kg] .....hmotnost vozidla

$l_n$  [m] .....rozvor vozidla

$$b_{min} = \frac{J \cdot \omega_{min}}{a} \quad (83)$$

$$b_{max} = \frac{J \cdot \omega_{max}}{a} \quad (84)$$

kde:

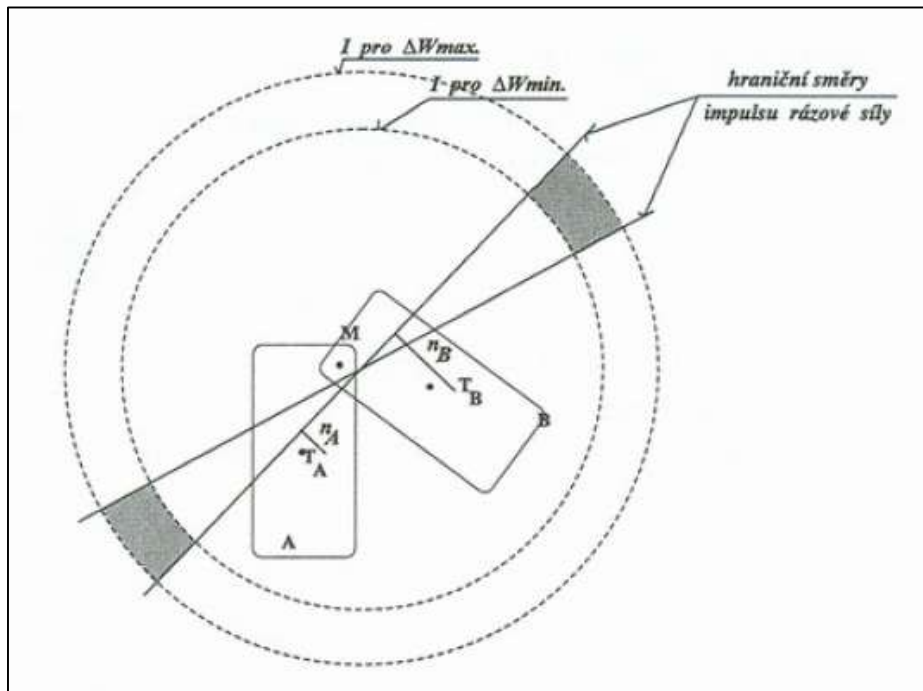
$a$  [m].....kolmá vzdálenost těžišť vozidel od bodu rázu

Vzhledem k rozmezí úhlové rychlosti vozidel opět uvažujeme pro obě vozidla s rozmezím, tj.  $b_{min}$  a  $b_{max}$ . Průnikem tohoto rozmezí s ploškami z MDRHI dostaneme zúžení použitelné oblasti impulsů. Tato metoda je obtížně použitelná v případě sekundárního rázu vozidel. Problematickostí této metody spočívá zejména ve správném zjištění úhlové rychlosti vozidla.

#### 3.3.2.4 Metoda energetického prstence

Dosavadní grafické metody nezohledňovaly, s výjimkou střetové polohy, poškození vozidel během střetu. Metoda energetického prstence slouží k zúžení oblasti. Metoda nepočítá velikost impulsu ze změny hybnosti, ale ze změny energie vozidla a z koeficientu restituce, na jehož správném určení závisí velikost oblasti impulsu. Při nízkých hodnotách koeficientu

restituce je tato metoda velmi dobře aplikovatelná, hodí se tedy více na centrické typy střetů, kde není ani třeba vypočítat tzv. redukovanou hmotnost.



Obr. 102: Metoda energetického prstence [1]

Metoda energetického prstence, zjednodušeně energetické kružnice, výsledný impuls stanoví z rozsahu deformační energie obou vozidel  $\Delta W$ , koeficientu restituce a redukované hmotnosti  $m^*$  podle vztahu:

$$I = \sqrt{2 \cdot \Delta W \cdot m^* \cdot \frac{1+k}{1-k}} \quad (85)$$

kde:

$I$  [N.s] .....impuls rázové síly

$\Delta W$  [J] .....změna energie vozidla včetně deformační práce

$m^*$  [kg] .....redukovaná hmotnost

$k$  [-] .....koeficient restituce

$$\Delta W = \frac{1}{2} \cdot m_A \cdot EES_A^2 + \frac{1}{2} \cdot m_B \cdot EES_B^2 \quad (86)$$

kde:

$EES$  [m/s].....ekvivalentní energetická rychlost

EES udává, jaká část kinetické energie vozidla se při nárazu přeměnila na trvalou deformaci vozidla.

Pro centrický ráz platí vzorec:

$$m^* = \frac{m_A \cdot m_B}{m_A + m_B} \quad (87)$$

Pro excentrický ráz platí vzorec:

$$m^* = \frac{\overline{m}_A \cdot \overline{m}_B}{\overline{m}_A + \overline{m}_B} \quad (88)$$

kde:

$$\overline{m}_A = m_A \cdot \frac{i_A^2}{i_A^2 + n_A^2} \quad (89)$$

$$\overline{m}_B = m_B \cdot \frac{i_B^2}{i_B^2 + n_B^2} \quad (90)$$

kde:

$i$  [m].....poloměr setrvačnosti vozidla

$n$  [m].....složka vektoru rázové síly kolmá k impulsu nárazu

### 3.3.2.5 *Shrnutí metod DRHI, MDRHI, metody rhomboidního řezu, metody energetického prstence.*

Správně zpracovaná kombinace uvedených metod může výrazně zpřesnit výsledky. Není vyloučena ani kombinace metody MDRHI a energetického prstence přímo.

Aplikace kombinace uvedených metod není striktně použitelná pouze v případě tzv. křížovatkových střetů, nýbrž za určitých okolností je možná i pro čelní střety v případech malého vzájemného překrytí vozidel (případná postřetová rotace). Grafická konstrukce je náročnější na představivost a klade vyšší nároky na přesnost, jinak je postup analogický.

Uvedené metody však mají rovněž svá pravidla a omezení, což z nich nečiní metody univerzální.

### 3.3.3 Předstřet

Postup řešení je podobný jako u typu A, F.



## **4 HODNOTY VSTUPNÍCH VELIČIN PRO TECHNICKOU ANALÝZU**

### **4.1 Měření zrychlení a zpomalení motocyklů**

Měření zrychlení a zpomalení motocyklů bylo zrealizováno za účelem získání nových poznatků o dynamice jízdy motocyklů, které by následně mohly být použity ve znalecké analýze silničních nehod.

#### **4.1.1 Měřicí zařízení**

Měření bylo realizováno pomocí zařízení XL METR™, kterým je možné měřit jak pozitivní, tak i negativní zrychlení v rozsahu  $\pm 2g$ . Přesnost naměřených hodnot je  $\pm 1\%$ . Montáž na motocykl je realizována pomocí vakuové přísavky.

#### **4.1.2 Měřené motocykly**

Yamaha YZF R6 - rok výroby 2004, motor 599,8 ccm, výkon 90,5 kW při 13000 ot/min, hmotnost 178 kg, brzdy bez úprav, motor bez úprav, pneumatiky Michelin Pilot Road, praxe motocyklisty – 6 let + 2 roky okruhové ježdění.

Kawasaki Z 1000 - rok výroby 2003, motor 953 ccm, výkon 93,4 kW při 10000 ot/min, hmotnost 198 kg, brzdy – pancéřové hadice, brzdové destičky Vesrah JL, motor – koncovka Leo Vince GP styl EVO II, pneumatiky Continental Race Attack Street, praxe motocyklisty – 7 let 50ccm, 4 roky velký objem.

Kawasaki Z 750 - rok výroby 2004, motor 748 ccm, výkon 79,8 kW při 11000 ot/min, hmotnost 195 kg, brzdy bez úprav, motor – koncovka Arrow, pneumatiky Michelin Pilot, praxe motocyklisty – 5 let motocross, půl roku silnice.

Suzuki GSX-R 1000 - rok výroby 2005, motor 998,5 ccm, výkon 133 kW při 11000 ot/min, hmotnost 201 kg, brzdy – pancéřové hadice, motor – výfuk Yoshimura, pneumatiky Michelin Pilot Power 2CT, praxe motocyklisty – 4 roky.

Honda CB 600 Hornet - rok výroby 2002, motor 599 ccm, výkon 70 kW při 12000 ot/min, hmotnost 183 kg, brzdy bez úprav, motor – výfuk Mivv, pneumatiky Dunlop Sportmax Roadsmart, praxe motocyklisty – 1 rok 50 ccm, 2 roky 125 ccm, 1 rok 600 ccm.

Suzuki GSX-R 600 - rok výroby 2004, motor 599 ccm, výkon 77 kW při 13500 ot/min, hmotnost 192 kg, brzdy – pancéřové hadice, závodní brzdové destičky Vesrah RLJXX, motor bez úprav, pneumatiky Dunlop Moto2 (pneumatiky pro MS v Moto2), praxe motocyklisty – 6 let + 2 roky okruhové ježdění.



*Obr. 103: Ilustrační foto motocyklů Yamaha YZF R6, Kawasaki Z 1000, Kawasaki Z 750, Suzuki GSX-R 1000, Honda CB 600 Hornet, Suzuki GSX-R 600*

#### 4.1.3 Místo měření

Měření jednotlivých testů probíhalo na letištní ploše u Prostějova. Povrch testovaného povrchu byl suchý asfalt.

#### 4.1.4 Klimatické podmínky

V době měření byly stálé klimatické podmínky, slunečno, teplota 25 °C.

#### 4.1.5 Výsledky měření

Vzhledem k velkému množství měření, jejichž zobrazení by bylo velmi rozsáhlé, jsou uvedena jen některá. Celý průběh měření je shrnut v tabulce.

Ke každému motocyklu je přiřazen soubor tří grafů. První znázorňuje průběh naměřeného zrychlení (kladné hodnoty), resp. zpomalení (záporné hodnoty) na čase. V druhém grafu je pomocí integrace zobrazen průběh rychlosti na čase. Třetí znázorňuje závislost dráhy na čase.

Uvedené hodnoty brzdného zpomalení jsou průměrné, dosažené po náběhu plného brzdného účinku. Z průběhu zrychlení jsou zřejmé okamžiky přerážení na vyšší rychlostní stupeň. Z grafu lze odečíst dobu nutnou pro přerážení při řazení se spojkou nebo bez spojky.

Eliminace klonění motocyklů v průběhu měření nebyla realizována. Pro přesnější výsledky by bylo vhodné se touto problematikou zabývat. Vhodnou metodou by mohlo být vyřešení kinematiky podvozku motocyklu (jak moc se motocykl kloní v průběhu akcelerace a brzdění), případně měření zdvihů obou tlumičů. Vzhledem k tuhému přednastavení, jak předních, tak i zadních tlumičů o malých zdvích měřených motocyklů byla eliminace klonění minimalizována. Dalším důležitým faktorem je systém přepákování zadní vidlice. Jiná situace by nastala u motocyklů s méně tuhými tlumiči o vysokých zdvích, kde by docházelo k vyššímu klonění.

Yamaha YZF R6 - zrychlení z 0 – 100 km/h 4,0 s, maximální rychlost 184 km/h, zpomalení při brzdění  $8,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , řazení rychlostních stupňů mezi 1. a 2. většinou se spojkou, dále bez spojky, brzdění pouze přední brzdou se stisknutou páčkou spojky.



Graf 24: Průběh měření na motocyklu Yamaha YZF R6 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ], rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], dráha [m])

Kawasaki Z 1000 - zrychlení z 0 – 100 km/h 3,5 s, maximální rychlost 183 km/h, zpomalení při brzdění 7,4 m.s<sup>-2</sup>, řazení rychlostních stupňů vždy se spojkou, brzdění pouze přední brzdou (jedna nebo dvě jízdy zapnutá spojka, zbytek vypnutá – stisknutá páčka spojky)



Graf 25: Průběh měření na motocyklu Kawasaki Z1000 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m.s<sup>-2</sup>], rychlost [m/s], dráha [m])

Kawasaki Z 750 - zrychlení z 0 – 100 km/h 3,6 s, maximální rychlost 181 km/h, zpomalení při brzdění 3,9 m.s<sup>-2</sup>.

Suzuki GSX-R 1000 K5 - zrychlení z 0 – 100 km/h 3,6 s, maximální rychlost 210 km/h, zpomalení při brzdění 9,3 m.s<sup>-2</sup>, řazení rychlostních stupňů při řazení páčka spojky lehce přimáčknuta, nestisknuta do konečné polohy, brzdění pouze přední brzdou se stisknutou páčkou spojky.

Honda CB 600 Hornet - zrychlení z 0 – 100 km/h 4,0 s, maximální rychlost 176 km/h, zpomalení při brzdění 7,3 m.s<sup>-2</sup>, řazení rychlostních stupňů se spojkou, brzdění přední a zadní brzdou bez spojky.



Graf 26: Průběh zrychlení motocyklu Honda CB 600 Hornet (vodorovná osa – čas [s], svislá osa – zrychlení [m.s<sup>-2</sup>])

Suzuki GSX-R 600 - zrychlení z 0 – 100 km/h 4,3 s, maximální rychlost 195 km/h, zpomalení při brzdění 9,8 m.s<sup>-2</sup>, řazení rychlostních stupňů bez spojky, brzdění pouze přední brzdou, 1. až 4. jízda zapnutá spojka, 5. a 6. jízda vypnutá spojka (stisknutá páčka spojky)

#### 4.1.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot

|                                                                | Yamaha<br>YZF-R6         | Kawasaki<br>Z1000               | Kawasaki<br>Z750  | Suzuki<br>GSX-<br>R1000 | Honda<br>CB600<br>Hornet | Suzuki<br>GSX-<br>R600                 |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| Průměrné<br>zrychlení<br>při<br>rozjezdu 0<br>– 100km/h<br>[s] | 4,0<br>3,6<br>3,7<br>3,6 | 3,5<br>3,6<br>3,4<br>3,4<br>3,2 | 3,6<br>3,8<br>3,7 | 3,6                     | 4,0<br>3,9<br>4,1<br>3,8 | 4,3<br>4,1<br>4,2<br>4,1<br>4,4<br>4,0 |
| Maximální<br>rychlost<br>[km/h]                                | 184<br>196<br>204<br>203 | 183<br>182<br>182<br>183<br>190 | 181<br>174<br>183 | 210                     | 176<br>171<br>177<br>165 | 195<br>185<br>202<br>192<br>195<br>186 |
| Průměrné<br>zpomalení<br>při brzdění<br>[m.s <sup>-2</sup> ]   | 8,1<br>8,2<br>8,9<br>8,5 | 7,4<br>8,5<br>8,6<br>8,6<br>8,3 | 3,9<br>6,5<br>5,6 | 9,3                     | 7,3<br>7,1<br>6,2<br>7,2 | 9,8<br>9,6<br>8,8<br>9,0<br>8,8<br>9,4 |

Tab. 21: Celkový soubor naměřených hodnot všech motocyklů

Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h u motocyklu Yamaha YZF-R6 bylo 3,7 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení 8,4 m.s<sup>-2</sup>. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Kawasaki Z1000 bylo 3,4 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení 8,3 m.s<sup>-2</sup>. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Kawasaki Z750 bylo 3,7 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení 5,4 m.s<sup>-2</sup>. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Suzuki GSX-R1000 bylo 3,6 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení 9,3 m.s<sup>-2</sup>. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Honda CB600 Hornet bylo 4,0 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení 7,0 m.s<sup>-2</sup>. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Suzuki GSX-R600 bylo 4,2 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení 9,2 m.s<sup>-2</sup>.

## **4.2 Měření zrychlení motocyklů na jednotlivé převodové stupně (sólo/spolujezdec)**

Předmětem tohoto souboru měření bylo zjištění zrychlení motocyklů na jednotlivé převodové stupně. Bylo provedeno měření jak pouze s motocyklistem, tak i se spolujezdcem. Tato naměřená data mohou posloužit jako vstupní parametry pro řešení nehod, kde se motocykl rozjížděl např. z vedlejší silnice.

### **4.2.1 Měřicí zařízení**

Měření bylo realizováno pomocí tříosého akcelerometru Bosch Sensortech BMA 220, integrovaného v mobilním telefonu. Rozsah měření je  $\pm 2g$  až  $\pm 16g$ , frekvence snímání dat 1 kHz ... 32 Hz. Přesnost naměřených hodnot je  $\pm 2\%$ .

### **4.2.2 Měřené motocykly**

TMEC Betka 50 - rok výroby 2006, motor 48 ccm, výkon 2,6 kW při 8600 ot/min, 4. rychlostní stupně, hmotnost 76 kg.

Honda CRF 450 - rok výroby 2012, motor 449 ccm, výkon 38,7 kW při 9000 ot/min, 5. rychlostních stupňů, hmotnost 110 kg.

Honda CBR 600 F – rok výroby 2001, motor 599 ccm, výkon 75 kW při 12000 ot/min, 6. rychlostních stupňů, hmotnost 190 kg.

Motocykl Honda CBR 1000 F - rok výroby 1993, motor 998 ccm, výkon 95 kW při 9500 ot/min, hmotnost 235 kg, Dual CBS (Dual Combined Brake System).





*Obr. 104: Foto motocyklů TMEC Betka 50, Honda CRF 450, Honda CBR 600 F, Honda CBR 1000 F (ilustrační foto)*

#### 4.2.3 Místo měření

Měření testů probíhalo v areálu blanenského lomu a na silnici vedoucí ke kamenolomu v obci Baldovec. Povrch testovaného povrchu tvořil suchý asfalt.

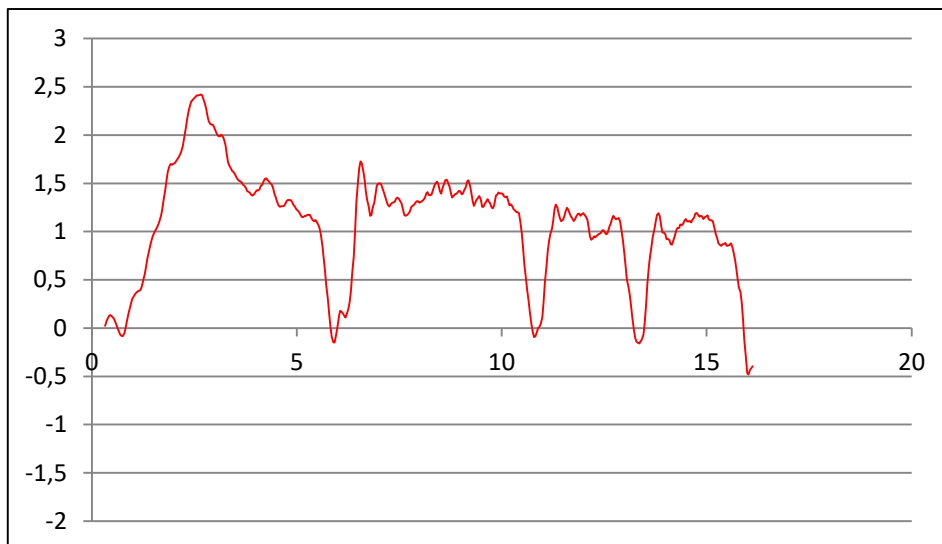
#### 4.2.4 Klimatické podmínky

V době měření byly stálé klimatické podmínky, zataženo, teplota 22 a 24 °C.

#### 4.2.5 Výsledky měření

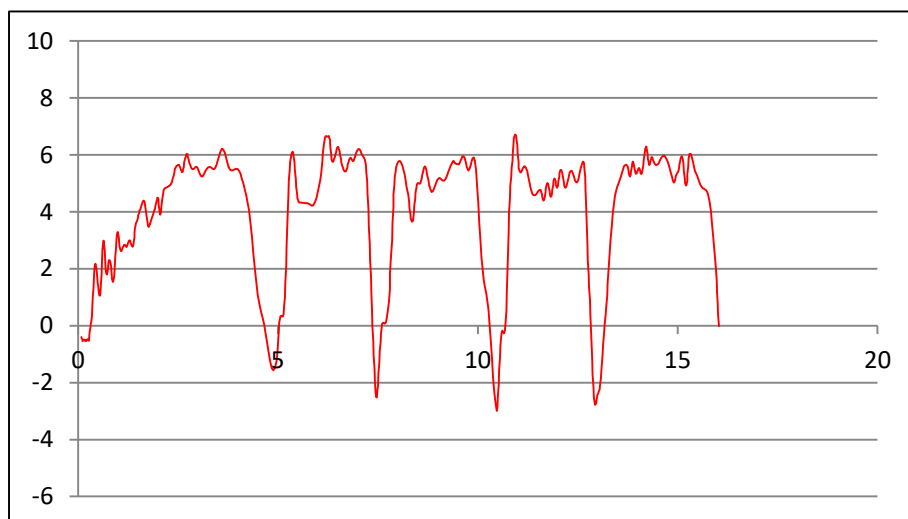
Bylo změřeno velké množství měření, každý soubor celkem třikrát pro dosažení přesnějších výsledků. V následující kapitole jsou proto graficky znázorněna jen vybraná měření, celé měření je shrnuto v tabulce na konci kapitoly.

TMEC Betka 50 – měření proběhlo celkem třikrát, průměrné zrychlení jen s motocyklistem (sólo) na první rychlostní stupeň bylo  $1,6 \text{ m.s}^{-2}$ , na druhý rychlostní stupeň  $1,5 \text{ m.s}^{-2}$ , na třetí rychlostní stupeň  $1,2 \text{ m.s}^{-2}$ , na čtvrtý rychlostní stupeň  $1,1 \text{ m.s}^{-2}$ . Dále bylo provedeno měření zrychlení se spolujezdcem, viz tabulka 26 na konci kapitoly.



Graf 27: Průběh zrychlení motocyklu TMEC Betka 50 na 1. až 4. rychlostní stupeň  
(vodorovná osa – čas [s], svislá osa – zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ])

Honda CRF 450 – měření proběhlo celkem třikrát, průměrné zrychlení bylo provedeno z bezpečnostních důvodů jen s motocyklistem (sólo). Na první rychlostní stupeň bylo  $5,7 \text{ m.s}^{-2}$ , na druhý rychlostní stupeň  $6,0 \text{ m.s}^{-2}$ , na třetí rychlostní stupeň  $5,6 \text{ m.s}^{-2}$ , na čtvrtý rychlostní stupeň  $5,2 \text{ m.s}^{-2}$ , na pátý rychlostní stupeň  $5,6 \text{ m.s}^{-2}$ .



Graf 28: Průběh zrychlení motocyklu Honda CRF 450 na 1. až 5. rychlostní stupeň  
(vodorovná osa – čas [s], svislá osa – zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ])



#### 4.2.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot

| Moto                            | Průměrné zrychlení na jednotlivé převodové stupně<br>[m.s <sup>-2</sup> ] |     |     |     |     |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                 | 1.                                                                        | 2.  | 3.  | 4.  | 5.  |
| TMEC Betka 50 sólo              | 1,6                                                                       | 1,5 | 1,2 | 1,1 |     |
| TMEC Betka 50 spolujezdec       | 1,3                                                                       | 1,2 | 0,9 | 0,8 |     |
| Honda CRF 450 sólo              | 5,7                                                                       | 6,0 | 5,6 | 5,2 | 5,6 |
| Honda CBR 600 F sólo            | 5,2                                                                       | 4,8 | 4,0 |     |     |
| Honda CBR 600 F<br>spolujezdec  | 4,8                                                                       | 4,2 | 3,1 |     |     |
| Honda CBR 1000 F sólo           | 5,0                                                                       | 4,8 | 4,4 |     |     |
| Honda CBR 1000 F<br>spolujezdec | 4,9                                                                       | 4,6 | 4,1 |     |     |

Tab. 22: Celkový soubor naměřených hodnot zrychlení motocyklů

Zrychlení malých motocyklů dosahuje vzhledem k nízkým výkonům zpravidla nízkých hodnot. Opakem je zrychlení motocyklů o vysokých výkonech, kde hodnoty zrychlení dosahují běžně hodnot mezi 4 až 8 m.s<sup>-2</sup>. Na motocyklu Honda CRF 450 můžeme pozorovat téměř shodné zrychlení na jednotlivé převodové stupně. To je dáno vysokým výkonem motocyklu a zpřevodováním jednotlivých převodových stupňů. Rovněž hmotnost hraje důležitou roli, zrychlení se spolujezdcem dosahuje nižších hodnot. Čím menší je objem a výkon motocyklu a čím větší hmotnost, tím je rozdíl ve zrychlení znatelnější. U malého motocyklu TMEC Betka 50 byl rozdíl ve zrychlení sólo a se spolujezdcem v rozmezí od 23 do 37 %. Nejnižší rozdíl byl na 1. rychlostní stupeň a nejvyšší na 4. rychlostní stupeň. V případě motocyklu Honda CBR 600 F a CBR 1000 F bylo vzhledem k délce měřící plochy měřeno zrychlení pouze na první tři rychlostní stupně jak se samotným jezdce, tak i se spolujezdcem. Rozdíly ve zrychlení těchto motocyklů v případě samotného motocyklisty a motocyklisty se spolujezdcem nebyly tak znatelné jako u malého motocyklu.

### 4.3 Měření brzdného zpomalení motocyklů

V této kapitole bylo měřeno brzdné zpomalení různých typů motocyklů s použitím pouze přední brzdy, zadní brzdy a obou brzd současně. Také jsou uvedeny záznamy s použitím ABS a duálním brzdícím systémem.

#### 4.3.1 Měřící zařízení

Pro měření brzdného zpomalení byl použit tříosý akcelerometru Bosch Sensortech BMA 220, stejný jako v předchozím měření (kapitola 4.2).

#### 4.3.2 Měřené motocykly

Opět byly použity stejné motocykly jako v kapitole 4.2, navíc zde byl použit motocykl Honda VFR 800 s ABS a Honda CBR 1000 F Dual CBS (Dual Combined Brake System).

Motocykl Honda VFR 800 - rok výroby 2002, motor 782 ccm, výkon 80,3 kW při 10500 ot/min, hmotnost 210 kg, ABS.



*Obr. 105: Foto motocyklu Honda VFR 800 s ABS (ilustrační foto)*

#### 4.3.3 Místo měření

Měření probíhalo na silnici vedoucí ke kamenolomu v obci Baldovec a na parkovišti u propasti Macocha. Povrch testovaného povrchu tvořil suchý asfalt bez výtluků a nerovností.

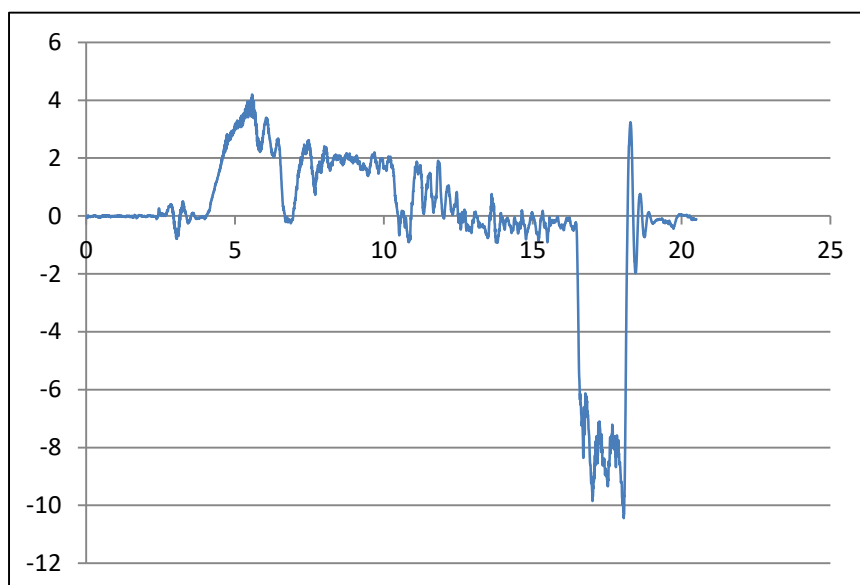
#### 4.3.4 Klimatické podmínky

V době měření byly stále klimatické podmínky, slunečno, částečně zataženo, teplota 28 °C.

#### 4.3.5 Výsledky měření

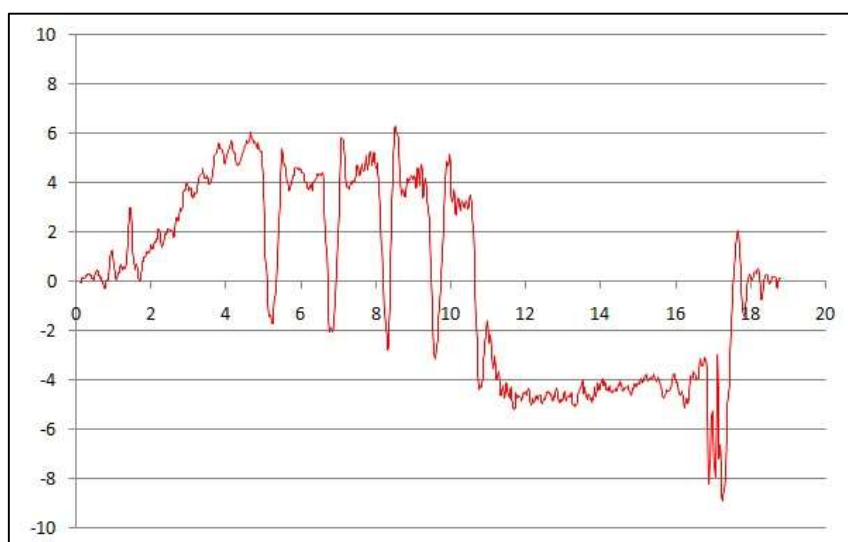
Bylo změřeno velké množství měření, každý soubor celkem třikrát pro dosažení přesnějších výsledků. V následující kapitole jsou proto graficky znázorněna jen vybraná měření, celé měření je shrnuto v tabulce na konci kapitoly.

Honda CBR 1000 F Dual CBS měření proběhlo celkem třikrát, průměrné brzdné zpomalení s použitím pouze přední brzdy dosahovalo hodnot  $8,6 \text{ m.s}^{-2}$ , pouze zadní brzdy  $6,2 \text{ m.s}^{-2}$  a obě brzdy  $8,8 \text{ m.s}^{-2}$ .



*Graf 29: Průběh brzdného zpomalení motocyklu Honda CBR 1000 F s duálním brzdným systémem (vodorovná osa – čas [s], svislá osa – zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ])*

Honda CRF 450 – měření proběhlo celkem třikrát, brzdné zpomalení s použitím pouze přední brzdy dosahovalo hodnot  $7,3 \text{ m.s}^{-2}$ , pouze zadní brzdy  $4,5 \text{ m.s}^{-2}$  a obě brzdy  $8,9 \text{ m.s}^{-2}$ . Na konci grafu je patrné zvýšení brzdného účinku. Motocykl byl brzděn zadní brzdou, ale na konci došlo k přibrzdění přední brzdou a následnému zablokování zadního kola.



*Graf 30: Průběh brzdného zpomalení zadní brzdou motocyklu Honda CRF 450 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa – zrychlení [ $\text{m.s}^{-2}$ ])*

#### 4.3.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot

| Moto                        | Průměrné brzdné zpomalení [m.s <sup>-2</sup> ] |             |           |                 |                      |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-------------|-----------|-----------------|----------------------|
|                             | Přední brzda                                   | Zadní brzda | Obě brzdy | Obě brzdy (ABS) | Obě brzdy (Dual CBS) |
| TMEC Betka 50               | 5,6                                            | 4,3         | 6,6       |                 |                      |
| Honda CRF 450               | 7,3                                            | 4,5         | 8,9       |                 |                      |
| Honda CBR 600 F             | 8,9                                            | 3,8         | 9,6       |                 |                      |
| Honda VFR 800 (ABS)         | 8,2                                            | 5,4         | 8,6       | 8,9             |                      |
| Honda CBR 1000 F (Dual CBS) | 8,6                                            | 6,2         |           |                 | 8,8                  |

Tab. 23: Celkový soubor naměřených hodnot brzdného zpomalení motocyklů

Brzdné zpomalení se systémem ABS zpravidla dosahuje vyšších hodnot. Pokud je však ideální povrch a klimatické podmínky, dosahujeme vyšších hodnot brzdného zpomalení bez systému ABS, zde velmi záleží na zkušenostech motocyklisty. U motocyklů vybavených duálním systémem je patrná vyšší účinnost zadní brzdy, kdy je současně při použití pedálu zadní brzdy částečně brzděno i přední kolo.

#### 4.4 Měření příčného přemístění motocyklu

Vyhýbací manévr motocyklu je takový manévr, kdy se motocykl během jízdy přemístí o určitou vzdálenost kolmou k jeho původnímu směru jízdy. Jedná se příčné přemístění, což můžeme v silničním provozu chápat například jako přejíždění z pruhu do pruhu před zahájením odbočování, předjíždění jiných účastníků silničního provozu nebo jako nečekané vyhýbání se překážce. Hodnoty příčného zrychlení mohou být různé. V případě normálního předjíždění dosahujeme nižších hodnot (zpravidla do 2 m.s<sup>-2</sup>). V okamžiku výskytu náhlé překážky se lze běžně setkat s hodnotami vyššími. Úkolem tohoto měření bylo zjistit příčné zrychlení motocyklu Honda CBR 1000 F při příčném přemístění dvěma oblouky. Jednotlivé výsledky z měření byly přehledně zpracovány do grafů a tabulek. Velikost příčného zrychlení jednotlivých motocyklů může být při řešení dopravních nehod pro znalce užitečná.

##### 4.4.1 Měřicí zařízení

XL METR<sup>TM</sup> PRO GAMMA je universální přístroj s alfanumerickým LCD displejem, který je napájen integrovanými bateriemi. Montáž na vozidlo nebo motocykl je realizována

pomocí vakuové přísavky, která je se samotným zařízením spojena pomocí kloubového ramena.



*Obr. 106: Zařízení XL METR™ PRO GAMMA*

XL METR™ PRO GAMMA slouží k měření podélného a příčného zrychlení/zpomalení. Je vhodný pro analýzu dopravních nehod a pro komplexní měření jízdní dynamiky vozidel.

#### 4.4.2 Měřený motocykl

Motocykl Honda CBR 1000 F - rok výroby 1993, motor 998 ccm, výkon 95 kW při 9500 ot/min, hmotnost 235 kg.



*Obr. 107: Motocykl Honda CBR 1000 F*

#### 4.4.3 Místo měření

Veškeré měření probíhalo na parkovišti v obci Jedovnice – u rybníka Olšovec (okres Blansko). Parkoviště bylo dlouhé asi 200 m a široké asi 40 m, bez podélného i příčného sklonu. Povrch parkoviště tvořila asfaltová plocha bez výrazných nerovností.

#### 4.4.4 Počet měření

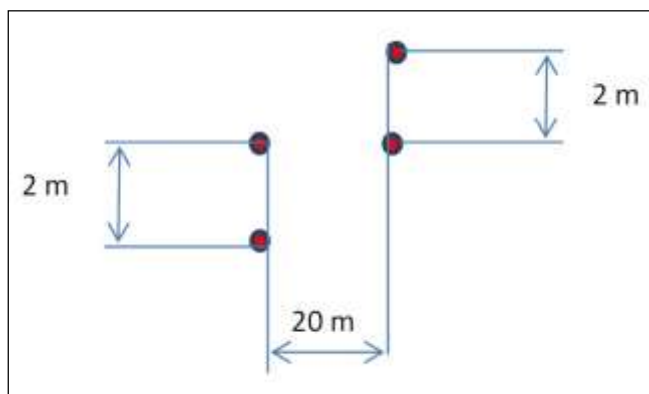
Měření příčného přemístění motocyklu bylo pro každou rychlost pro dosažení přesnějších výsledků provedeno třikrát. A to při konstantních rychlostech motocyklu 30 km/h, 50 km/h a 60 km/h. Výsledkem měření byla tabulka obsahující celkem osm měření (jeden záznam nebyl vyhodnocen).

#### 4.4.5 Klimatické podmínky

V době měření byly stále klimatické podmínky, jasno, bezvětří, teplota 19 °C.

#### 4.4.6 Postup měření

Pomocí kuželů byla vytyčena měřící plocha, jejíž délka byla 20 m (obrázek č. 8). Start byl zvolen cca 100 m před měřící plochou, aby bylo možné motocykl rozjet na požadovanou konstantní rychlost a co nejvíce ustálit v přímém směru na střed mezi kužely na začátku měřící plochy, které od sebe byly vzdáleny 2 m. Úkolem motocyklisty bylo nasimulovat příčné přemístění o velikosti 2 m, kde průjezdní rychlost byla zvolena na 30 km/h, 50 km/h a 60 km/h. Výjezd motocyklu byl opět směřován na střed mezi kužely na konci měřící plochy. Motocyklista obsluhoval XL METR™ PRO GAMMA, další pověřená osoba obsluhovala kameru, která byla umístěná na konci měřící dráhy v ose jízdy motocyklu a která natáčela průběh jednotlivých měření.



*Obr. 108: Schéma měřící plochy*

#### 4.4.7 Montáž XL METRU™ PRO GAMMA na motocykl

XL METR™ byl nainstalován pomocí vakuové přísavky na nádrž motocyklu, kde byl dále pomocí lepicí pásky připevněn. Po kalibraci zařízení následovala zkušební jízda a následně samotné měření.



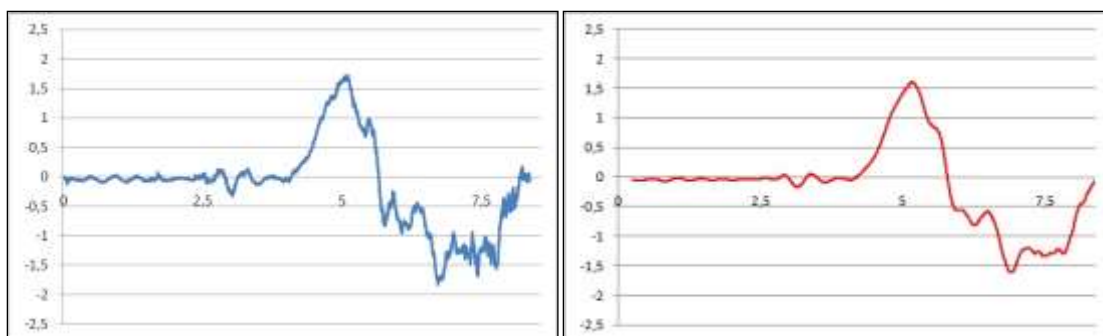
*Obr. 109: Instalace XL METRU<sup>TM</sup> PRO GAMMA na motocykl*

#### 4.4.8 Výsledky měření

Výsledkem měření byl graf č. 31 vlevo, na kterém je zobrazena velikost bočního zrychlení naměřena XL METREM<sup>TM</sup> při vykonaném vyhýbacím manévru, kdy jel motocykl rychlostí 30 km/h. Pro přehlednost je uveden graf č. 313 vpravo, kde je signál bočního zrychlení vyfiltrován. Z grafů lze vyčíst, že hodnota maximálního bočního zrychlení dosahovala hodnot mezi 1,5 až 1,8 m.s<sup>-2</sup>. Tento manévr nebyl vykonán ani rychle ani pomalu, jednalo se o normální vyhýbací manévr.

Téměř rovný úsek v grafu (oblast od 0 s do cca 4 s) znázorňuje přímou jízdu. Následuje naklápění motocyklu při vyhýbání vlevo až do maximální hodnoty bočního zrychlení o velikosti 1,75 m.s<sup>-2</sup> (oblast od cca 4 s do cca 5 s). Dále dochází k rovnání motocyklu při vyhýbání vlevo (oblast od cca 5 s do cca 6 s). V okamžiku přechodu mezi levým a pravým naklopením jede motocykl chvíli přímo (oblast, kde dochází k přechodu z kladných hodnot do záporných hodnot bočního zrychlení – cca 6 s). Následuje naklápění motocyklu při vyhýbání vpravo až do maximální hodnoty bočního zrychlení o velikost – 1,8 m.s<sup>-2</sup> (oblast od cca 6 s do cca 7 s). Dále dochází k rovnání motocyklu při vyhýbání vpravo (oblast od cca 7 s do cca 8 s). Potom jede motocykl zase přímou jízdou s téměř nulovou hodnotou bočního zrychlení.

Eliminace klopení motocyklu v průběhu měření byla realizována přepočtem. Hodnoty bočního zrychlení naměřených na motocyklu pomocí XL Metru jsou přepočítány na hodnoty příčného zrychlení vzhledem k vozovce. Maximální sklon motocyklu byl uvažován 20° (na základě rozboru videozáznamu).

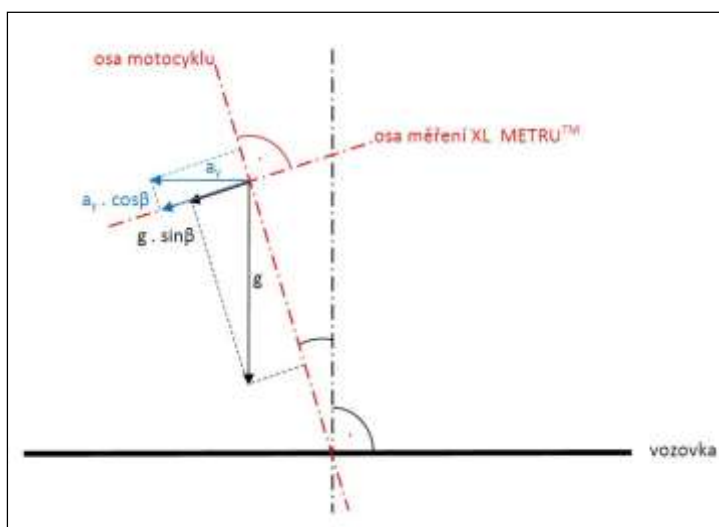


Graf 31: Příčné přemístění motocyklu Honda při rychlosti 30 km/h (vodorovná osa – čas [s], svislá osa – boční zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]), vlevo před filtrací, vpravo po filtraci

| Motocykl         | Rychlost | Měření č. | XL METR™ PRO GAMMA – boční zrychlení $a_{xLM}$ [ $m \cdot s^{-2}$ ] |
|------------------|----------|-----------|---------------------------------------------------------------------|
| Honda CBR 1000 F | 30 km/h  | 1         | 1,78                                                                |
|                  |          | 2         | 1,73                                                                |
|                  |          | 3         | 1,57                                                                |
|                  | 50 km/h  | 4         | 1,42                                                                |
|                  |          | 5         | 1,6                                                                 |
|                  |          | 6         | 1,32                                                                |
|                  | 60 km/h  | 7         | 1,29                                                                |
|                  |          | 8         | 1,5                                                                 |
|                  |          | 9         | Nezdařila se komunikace s PC (nebylo možné stáhnout data)           |

Tab. 24: Tabulka naměřených hodnot bočního zrychlení naměřených pomocí XL Metru™

V následujícím obrázku je graficky znázorněn rozdíl mezi bočním a příčným zrychlením motocyklu při naklopení motocyklu. Maximální naklopení motocyklu bylo uvažováno 20°.



Obr. 110: Osa naklopení motocyklu při vyhýbacím manévru a osa měření bočního zrychlení

XL METRU™



Přepočítání z bočního zrychlení (které bylo změřeno XL METREM<sup>TM</sup>) na příčné zrychlení je realizováno pomocí následujícího vzorce.

$$a_{XLM} = a_y \cdot \cos \beta + g \cdot \sin \beta \quad (95)$$

kde:

$a_{XLM}$  – boční zrychlení (změřené pomocí XL METRU<sup>TM</sup>)

$a_y$  [m.s<sup>-2</sup>] ..... příčné zrychlení

$\beta$  [°] ..... úhel naklonění motocyklu ( $\beta=20^\circ$ )

$g$  [m.s<sup>-2</sup>] ..... tíhové zrychlení

Hodnotu příčného zrychlení pak vypočítáme z odvozeného vztahu.

$$a_y = \frac{a_{XLM} - g \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \quad (96)$$

V následující tabulce jsou vypočítané hodnoty příčného zrychlení z výše uvedeného vzorce.

| Motocykl         | Rychlost | Měření č. | Příčné zrychlení $a_y$ [m.s <sup>-2</sup> ]                  |
|------------------|----------|-----------|--------------------------------------------------------------|
| Honda CBR 1000 F | 30 km/h  | 1         | 1,68                                                         |
|                  |          | 2         | 1,73                                                         |
|                  |          | 3         | 1,9                                                          |
|                  | 50 km/h  | 4         | 2,06                                                         |
|                  |          | 5         | 1,87                                                         |
|                  |          | 6         | 2,17                                                         |
|                  | 60 km/h  | 7         | 2,2                                                          |
|                  |          | 8         | 1,97                                                         |
|                  |          | 9         | Nezdařila se komunikace s PC<br>(nebylo možné stáhnout data) |

Tab. 25: Tabulka vypočítaných hodnot příčného zrychlení

Výsledkem měření byly grafy bočního přemístění, pro ilustraci byl uveden graf bočního přemístění motocyklu Honda CBR 1000 F při rychlosti 30 km/h. Kompletní data z měření jsou v tabulce naměřených hodnot. Následně byly hodnoty bočního zrychlení přepočteny na příčné zrychlení. U příčného přemístění při rychlosti 30 km/h dosahoval motocykl průměrného příčného zrychlení 1,8 m.s<sup>-2</sup>, při 50 km/h byla průměrná hodnota příčného zrychlení 2,0 m.s<sup>-2</sup> a při 60 km/h byla průměrná hodnota příčného zrychlení 2,1 m.s<sup>-2</sup>.

#### **4.5 Měření zrychlení vozidel při rozjezdu na první a druhý rychlostní stupeň**

Velmi často dochází k dopravním nehodám mezi motocykly a vozidly na křižovatkách, kdy vozidlo přijede po vedlejší silnici a následně chce odbočit na hlavní silnici. Po hlavní silnici přijíždí motocykl, řidič osobního vozidla špatně vyhodnotí rychlost blížícího se vozidla a následuje střet. Odhad rychlosti motocyklu přibližujícího se v ose pohledu řidiče je velmi složitý.

Při rozjezdu vozidel má každé vozidlo jinou hodnotu zrychlení, stejně tak se lze například z křižovatkы rozjet pomaleji nebo rychleji podle dané situace v provozu. Velikost zrychlení jednotlivých vozidel může být při řešení dopravních nehod pro znalce užitečná. Úkolem tohoto měření bylo zjistit zrychlení vozidel na první a druhý rychlostní stupeň, kdy rozjezdy byly realizovány v různých režimech. Jednotlivé výsledky z měření byly přehledně zpracovány do grafů a tabulek.

##### **4.5.1 Měřicí zařízení**

Měřicím zařízením byl XL METR™, který sloužil k měření podélného a příčného zrychlení pomocí elektromagnetického snímače zrychlení.

##### **4.5.2 Měřená vozidla**



*Obr. 111: Foto vozidel Honda Civic 1,3, Renault Megane 1.6 RT, VW Transporter T3 1.9D ,  
VW Sharan 1,9 TDi*

Honda Civic 1,3 – rok výroby 1995, motor 1343 ccm, výkon 55 kW při 6300 ot/min, hmotnost 1105 kg.

Renault Megane 1.6 RT – rok výroby 1998, motor 1598 ccm, výkon 66 kW při 5000 ot/min, hmotnost 1265 kg.

VW Transporter T3 1.9D – rok výroby 1985, motor 1896 ccm, výkon 47 kW při 4300 ot/min, hmotnost 1720 kg.

VW Sharan 1,9 TDi, rok výroby 2002, motor 1896 ccm, výkon 124 kW při 4000 ot/min, hmotnost 1678 kg.

#### 4.5.3 Místo měření

Měření probíhalo na parkovišti v obci Jedovnice, na stejném místě jako předchozí měření příčného přemístění motocyklu.

#### 4.5.4 Počet měření

Náplní měření byly rozjezdy vozidel na první a druhý rychlostní stupeň, kdy první měření bylo pomalé (motor byl vytáčen do nižšího pásma otáček), druhé normální (motor byl vytáčen do středního pásma otáček) a třetí rychlé (motor byl vytáčen do vyššího pásma otáček). Pro přesnější výsledky probíhalo každé měření třikrát. Výsledkem měření byly čtyři tabulky (podle počtu vozidel) a v každé tabulce devět měření.

#### 4.5.5 Klimatické podmínky měření

V době měření byly stálé klimatické podmínky, jasno, vítr 3 m/s, teplota 14 °C.

#### 4.5.6 Postup měření

Po příjezdu na místo byla pomocí kuželů vytyčena měřící plocha v délce 30 m. Start byl zvolen u prvního kužele, kde se nacházela spára. Další rozmístění kuželů bylo vždy po pěti metrech (0, 5, 10, 15, 20, 25 a 30 m). XL METRTM byl nainstalován na vnitřní část čelního skla vozidla a po kalibraci bylo vše připraveno na započítání měření. Časoměřič, zapisovatel a osoba pověřená k oznámení startu se nacházeli v polovině měřící plochy a asi 50 m kolmo od ní (pro přesnější odečítání hodnot). Každé vozidlo absolvovalo 9 měření (3 pomalá, 3 normální, 3 rychlá). Ve vozidle se nacházel řidič a obsluha XL METRUTM včetně přenosného počítače. Vozidlo přijelo na start (středem předních kol na spáru u prvního kužele) a po oznámení startu se rozjelo na první rychlostní stupeň. Dále byl dle druhu měření zařazen druhý rychlostní stupeň s následnou akcelerací. Poté byl uvolněn plynový pedál a vozidlo bylo brzděno až do zastavení, kdy bylo ukončeno měření.

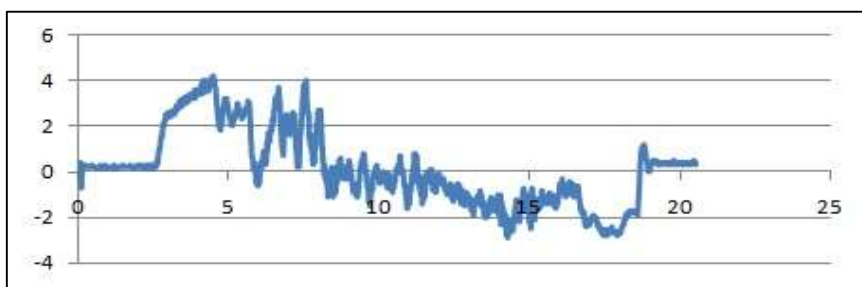
#### 4.5.7 Výsledky měření

Jednotlivá měření byla zobrazena pomocí dvou grafů a jedné tabulky. První graf znázorňuje celkový průběh měření. Zde se někdy objevuje určitá časová prodleva bez zrychlení, to je dáno tím, že XL METR<sup>TM</sup> byl spuštěn dříve, než začalo vozidlo akcelarovat.

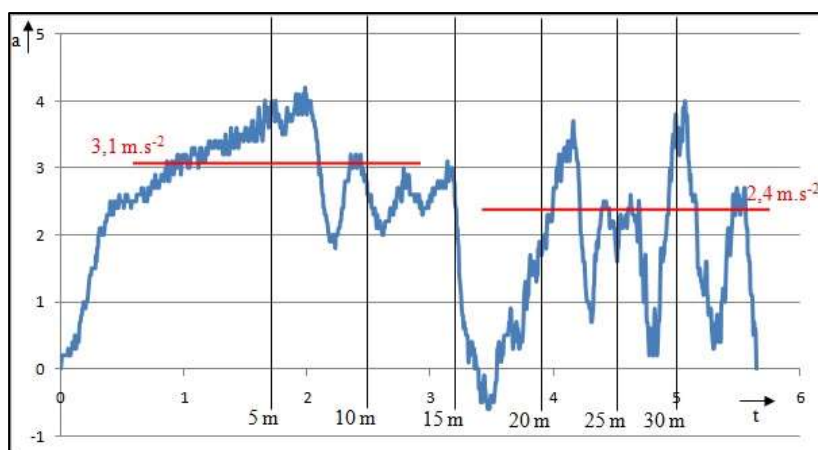
Další graf zobrazuje výřez, při kterém vozidlo zrychlovalo na první a druhý rychlostní stupeň. Přerazení na druhý rychlostní stupeň je znatelné z grafu – je to oblast, kdy dochází ke snižování zrychlení do oblasti blízké nulové hodnotě a následné zvyšování zrychlení, kdy je již druhý převodový stupeň zařazen a vozidlo akcelaruje. Prodleva mezi řazením z prvního na druhý rychlostní stupeň byla odečtena přímo z grafu – od poklesu zrychlování na první rychlostní stupeň do zvyšování zrychlování na druhý rychlostní stupeň. Dále jsou v grafu zaneseny svislé černé úsečky, které znázorňují okamžiky, kdy vozidlo (střed předního kola vozidla) minulo jednotlivé kužele postavené po 5 m. Červené vodorovné čáry značí průměrné zrychlení na jednotlivé převodové stupně – hodnoty z XL METRU<sup>TM</sup>.

Poslední informační prvek tvoří tabulka, kde jsou zaznamenány časy, následně vypočítané zrychlení na jednotlivých úsecích. Můžeme porovnat odlišnost od naměřených a vypočítaných hodnot.

Protože proběhlo velké množství měření, jejichž zobrazení by bylo velmi rozsáhlé, jsou uvedena jen některá. Jako příklad jsou uvedena měření při normálním rozjezdu, pro každé vozidlo jeden příklad. Celý průběh měření je shrnut v tabulce (Tab. 27).



Graf 32: Celkový graf (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [ $m.s^{-2}$ ]) – normální rozjezd (Honda Civic)



Graf 33: Výřez z grafu – normální rozjezd na první a druhý rychlostní stupeň (Honda Civic)

| Dráha | Čas  | Zrychlení            | Na dráze | Průměrné zrychlení 1. stupeň | Průměrné zrychlení 2. stupeň | Časová prodleva přěžení |
|-------|------|----------------------|----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| [m]   | [s]  | [m.s <sup>-2</sup> ] | [m]      | [m.s <sup>-2</sup> ]         | [m.s <sup>-2</sup> ]         | [s]                     |
| 5     | 1,77 | 3,19                 | 0 – 5    | 3,0                          | 2,5                          | 0,35                    |
| 10    | 2,55 | 3,08                 | 0 – 10   |                              |                              |                         |
| 15    | 3,26 | 2,82                 | 0 – 15   |                              |                              |                         |
| 20    | 3,92 | 2,60                 | 0 – 20   |                              |                              |                         |
| 25    | 4,57 | 2,39                 | 0 – 25   |                              |                              |                         |
| 30    | 5,01 | 2,39                 | 0 – 30   |                              |                              |                         |

Tab. 26: Tabulka naměřených hodnot – normální rozjezd (Honda Civic)

#### 4.5.8 Porovnání hodnot

V následující tabulce jsou porovnány hodnoty měření pomocí stopky (s následným výpočtem zrychlení) a výsledky naměřeného zrychlení přímo z XL METRU<sup>TM</sup>.

| Vozidlo     | Měření č.  | Stopky – zrychlení v závislosti na ujeté dráze [m.s <sup>-2</sup> ] |           | XL METRU <sup>TM</sup> – zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] |           |
|-------------|------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|-----------|
|             |            | 1. stupeň                                                           | 2. stupeň | 1. stupeň                                               | 2. stupeň |
| Honda Civic | 1 pomalý   | 2,5                                                                 | 2,1       | 2,45                                                    | 1,85      |
|             | 2 pomalý   | 3,2                                                                 | 2,2       | 2,6                                                     | 1,75      |
|             | 3 pomalý   | 3,0                                                                 | 2,5       | Nedošlo k zápisu                                        |           |
|             | 4 normální | 3,0                                                                 | 2,5       | 3,1                                                     | 2,4       |
|             | 5 normální | 2,6                                                                 | 2,3       | 3,15                                                    | 2,3       |
|             | 6 normální | 2,9                                                                 | 2,5       | 3,1                                                     | 2,45      |
|             | 7 rychlý   | 2,4                                                                 | 2,1       | 3,15                                                    | 2,55      |
|             | 8 rychlý   | 2,5                                                                 | 2,6       | 3,55                                                    | 3,1       |
|             | 9 rychlý   | 2,8                                                                 | 2,7       | 3,45                                                    | 3,05      |

|                   |            |     |     |      |      |
|-------------------|------------|-----|-----|------|------|
| Renault Megane    | 1 pomalý   | 0,9 | 1,0 | 2,0  | 1,45 |
|                   | 4 normální | 2,1 | 2,1 | 3,35 | 2,8  |
|                   | 7 rychlý   | 3,3 | 3,0 | 3,45 | 2,95 |
| VW Transporter T3 | 1 pomalý   | 1,0 | 0,9 | 1,45 | 0,9  |
|                   | 4 normální | 1,7 | 1,5 | 1,85 | 1,4  |
|                   | 7 rychlý   | 2,3 | 2,1 | 3,55 | 2,0  |
| VW Sharan         | 1 pomalý   | 1,5 | 1,7 | 2,35 | 2,2  |
|                   | 4 normální | 2,6 | 2,5 | 2,7  | 2,5  |
|                   | 7 rychlý   | 2,4 | 2,3 | 3,2  | 3,0  |

Tab. 27: Tabulka naměřených hodnot – celkový průběh měření vozidel

Předmětem měření pro každé vozidlo byly tři různé režimy po třech měřeních. U prvního měření byl motor vytáčen do nižšího pásma otáček – pomalá měření. Následovalo druhé měření, kdy byl motor vytáčen do středního pásma otáček – normální měření. Při třetím měření byl motor vytáčen do vyššího pásma otáček – rychlé měření. Pro přesnější výsledky bylo každé měření opakováno třikrát. Výsledkem měření byly grafy a tabulky. U vozidla Honda Civic jsou uvedena všechna měření – celkem 8 (2 pomalá, 3 normální a 3 rychlá). Jedno měření neproběhlo – XL METR<sup>TM</sup> nezaznamenával data. U dalších vozidel (Renault Megane, VW Transporter T3 a VW Sharan) pouze 3 měření – od každého jedno (pomalý, normální a rychlý start).

Z tabulky porovnání hodnot je patrné, že hodnoty zrychlení, počítané pomocí stopek, byly vyšší než hodnoty zrychlení z XL METRU<sup>TM</sup>. To bylo způsobeno především nepřesnostmi při měření (nesjednocená současná akcelerace vozidla v okamžiku zahájení měření).

## **5 POSTUPY PRO ŘEŠENÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ DOPRAVNÍCH NEHOD**

### **5.1 Postup řešení – typ A, F**

Při těchto typech nehod dochází k čelním a zadním střetům, kdy podélné osy vozidel jsou téměř rovnoběžné (úhly podélných os svírají úhel 0° pro zadní střety a 180° pro čelní střety nebo jim blízký).

K čelním střetům nejčastěji dochází při předjíždění, výjezdu motocyklu ze zatáčky apod. Typickým příkladem je střet vozidla, které předjíždí pomaleji jedoucí vozidlo a kvůli špatnému odhadu rychlosti přibližujícího se motocyklu z protisměru a také díky jeho špatné viditelnosti dochází k čelnímu střetu vozidla s motocyklem.

Důvodem většiny zadních střetů je nedobrzdnění například v kolonách, na křižovatkách, na světelných křižovatkách, přechodech, apod. Řidič vozidla zastaví například u přechodu pro chodce a řidič motocyklu jedoucí stejným směrem vzhledem k nedodržení bezpečné vzdálenosti a pozdní reakci nestihne dobrzdit a naráží do tohoto vozidla.



*Obr. 112: Střetové konfigurace – typ A, F*

Postup řešení těchto typů dopravních nehod je znázorněn ve vývojovém diagramu v **příloze č. 1**, která je součástí této práce.

#### 5.1.1 Postřet

Pro výpočet postřetové rychlosti je třeba znát přesný postřetový pohyb obou vozidel, případně posádky motocyklu.

Velmi důležité jsou konečné polohy obou vozidel, zanechané stopy na vozovce a okolí po střetu.

Pohyb po střetu se většinou skládá z více fází (jízdní stopy, brzdné stopy, blokovací stopy, smykové stopy, dřecí stopy, ostatní stopy, stopy s ABS). Jednotlivým fázím postřetového pohybu náleží různé hodnoty zpomalení v rozmezí odpovídajícím charakteru a stavu povrchu (např. součinitel adheze pneumatiky na vozovce), popřípadě součinitelům tření (např. dření mezi kovem a asfaltem).

Je velmi důležité počítat se skutečností, že motocykl a motocyklista většinou po střetu netvoří jeden celek. Motocykl po střetu většinou zanechává po pádu na vozovku dřecí stopy od stupaček, řídítek atd. Vozidlo zanechává brzdné nebo smykové stopy.

Jelikož po střetu dochází zpravidla k odpoutání motocyklisty od motocyklu, jsou zde uvedeny pouze hodnoty brzdného zpomalení vozidel. V literatuře [1] jsou uvedeny minimální předepsané hodnoty brzdného zpomalení pro vozidla schválená od 1. 7. 1972 a od 1. 7. 1995.

| Kategorie vozidla | Střední hodnota brzdného zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] (od 1972) | Střední hodnota brzdného zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] (od 1995) |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Osobní vozidla    | 5,8                                                                           | 5,8                                                                           |
| Nákladní vozidla  | 4,4                                                                           | 5,0                                                                           |
| Autobusy          | 5,0                                                                           | 5,0                                                                           |

Tab. 28: Minimální předepsané hodnoty brzdného zpomalení vozidel [1]

Hodnoty maximálních hodnot zpomalení u osobních vozidel jsou v rozmezí 9,0 až 9,5  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ , výjimečně i přes 10  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . V následující tabulce jsou uvedena rozmezí brzdného zpomalení vozidel různých kategorií [107].

| Kategorie vozidla   | Hodnota zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|---------------------|----------------------------------------------------|
| Mini                | 8,2 až 9,6                                         |
| Nižší střední třída | 8,9 až 10,2                                        |
| Střední třída       | 9,2 až 10,5                                        |
| Vyšší střední třída | 9,2 až 10,3                                        |
| Luxusní             | 9,2 až 10,4                                        |
| Terénní             | 9,2 až 10,3                                        |
| Nákladní            | 6,3 až 8,2                                         |
| Dodávky             | 8,1 až 8,6                                         |

Tab. 29: Rozmezí hodnot brzdného zpomalení vozidel na suchém asfaltovém povrchu [107]

V případě smyku vozidla lze uvažovat jeho zpomalení na suchém asfaltu v rozmezí přibližně 4 až 6  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ , kdy lze dosáhnout zpomalení na mezi příčné adheze.

Okamžitá velikost součinitele adheze pneumatiky na vozovce závisí na následujících faktorech:

- jakosti a stavu povrchu vozovky a pneumatiky,
- rychlosti jízdy,
- poměrech ve stopě kola, především na velikosti skluzu (skluz – pomalejší otáčení kola, než by odpovídalo rychlosti pohybu obvodu kola při dané rychlosti a dynamickému poloměru kola).

Nejvyššího součinitele adheze dosahuje kolo při optimálním skluzu, po jeho překročení hodnota klesá až na hodnotu odpovídající 100% skluzu, kdy se kolo neotáčí – smyk.



Významný vliv na součinitel adheze má výška vrstvy vody na vozovce. Pokud nestačí dezén pneumatiky odvést vodu ze stopy natolik, aby pneumatika dosedla na vozovku a nikoliv na vodu nad ní, pak se pneumatika pohybuje po vodě. Z vlečného tření se stává kapalinové s velmi malým součinitelem tření, dochází k tzv. aquaplaninku [1].

| Povrch vozovky |       | Součinitel adheze | Povrch vozovky      |       | Součinitel adheze |
|----------------|-------|-------------------|---------------------|-------|-------------------|
| beton          | suchý | 0,8 – 1,0         | polní cesta         | suchá | 0,4 – 0,6         |
|                | mokrý | 0,5 – 0,8         |                     | mokrá | 0,3 – 0,4         |
| asfalt         | suchý | 0,6 – 0,9         | Tráva               | suchá | 0,4 – 0,6         |
|                | mokrý | 0,3 – 0,8         |                     | mokrá | 0,2 – 0,5         |
| dlažba         | suchá | 0,6 – 0,9         | hluboký písek, sníh |       | 0,2 – 0,4         |
|                | mokrá | 0,3 – 0,5         | náledí              | 0°C   | 0,05 – 0,10       |
| makadam        | suchý | 0,6 – 0,8         |                     | -10°C | 0,08 – 0,15       |
|                | mokrý | 0,3 – 0,5         |                     | -20°C | 0,15 – 0,20       |

Tab. 30: Součinitel adheze na různém povrchu [1]

V následující tabulce je uvedeno brzdné zpomalení na různém druhu povrchu.

| Povrch vozovky |       | Zpomalení [m.s <sup>-2</sup> ] | Povrch vozovky      |       | Zpomalení [m.s <sup>-2</sup> ] |
|----------------|-------|--------------------------------|---------------------|-------|--------------------------------|
| beton          | suchý | 7,8 – 9,8                      | polní cesta         | suchá | 3,9 – 5,9                      |
|                | mokrý | 4,9 – 7,8                      |                     | mokrá | 2,9 – 3,9                      |
| asfalt         | suchý | 5,9 – 8,8                      | tráva               | suchá | 3,9 – 5,9                      |
|                | mokrý | 2,9 – 7,8                      |                     | mokrá | 2,0 – 4,9                      |
| dlažba         | suchá | 5,9 – 8,8                      | hluboký písek, sníh |       | 2,0 – 3,9                      |
|                | mokrá | 2,9 – 4,9                      | náledí              | 0°C   | 0,5 – 1,0                      |
| makadam        | suchý | 5,9 – 7,8                      |                     | -10°C | 0,8 – 1,5                      |
|                | mokrý | 2,9 – 4,9                      |                     | -20°C | 1,5 – 2,0                      |

Tab. 31: Brzdné zpomalení na různém povrchu [1]

Postřetová fáze v případě motocyklů velmi často spočívá v odpoutání motocyklisty (letu, dopadu) a sunutí motocyklu a motocyklisty po střetu do konečných poloh. Stopy dření od motocyklu nezačínají hned po nárazu, ale až po jeho pádu na vozovku. K pádu může dojít i při ztrátě stability bez jakéhokoliv kontaktu motocyklu s jiným objektem.

Pokud motocykl narazí na pevnou, dostatečně vysokou překážku, dojde k vymrštění osob ve směru původního pohybu motocyklu.

|              | Úhel odpoutání od motocyklu [°] |
|--------------|---------------------------------|
| Motocyklista | 15 až 25                        |
| Spolujezdec  | 18 až 45                        |

Tab. 32: Úhel odpoutání motocyklisty a jezdce po nárazu na překážku [2]

Výška těžiště osob jedoucích na motocyklu se zpravidla pohybuje v rozmezí 90 až 105 cm nad úrovní vozovky, podle typu motocyklu.

Na základě dráhy smýkání je možno stanovit, zda je zpomalení těla motocyklisty v technicky přijatelných hranicích.

| Typ vozovky   | Zpomalení těla motocyklisty při sunutí [ $\text{m.s}^{-2}$ ] |
|---------------|--------------------------------------------------------------|
| Suchá vozovka | 3,5 až 6,0                                                   |
| Mokrá vozovka | 2,5 až 5,0                                                   |

Tab. 33: Zpomalení těla motocyklisty při sunutí po pádu [2]

Zpomalení těla motocyklisty při sunutí závisí na druhu oblečení [7].

| Druh oblečení    | Zpomalení těla motocyklisty při sunutí [ $\text{m.s}^{-2}$ ] |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| Běžné oblečení   | 5,0 až 7,0                                                   |
| Kožená kombinéza | 8,0 až 12,0                                                  |

Tab. 34: Zpomalení těla motocyklisty při sunutí podle druhu oblečení [7]

V případě použití motocyklové kombinézy dosahuje motocyklista vyšších hodnot zpomalení než samotný motocykl [7].

K pádu motocyklu a motocyklisty a k následnému smýkání se motocyklu a posádky po vozovce dochází často v důsledku ztráty stability motocyklu, která nastává při kolizi motocyklu s jiným účastníkem.

V některých případech dokážou velmi zkušené motocyklisté po kolizi záměrně položit motocykl do horizontální polohy (na vozovku), sklouznout z motocyklu a dál se pohybovat samostatně bez motocyklu. To vše za účelem minimalizace potenciálních zranění.

Výčnělky na stranách smýkajícího se motocyklu – říditka, stupačky, brzda, řadicí páka, padací rámy apod. zanechávají zpravidla na vozovce dřecí stopy. U kapotovaných motocyklů však může za určitých okolností zůstat jen velmi lehce pozorovatelná stopa (ve formě otěrů barvy z kapotáže, atd).

Na základě dráhy smýkání smýkajícího se motocyklu a reálného koeficientu tření mezi motocyklem a vozovkou nebo na základě skutečného zpomalení po dobu smýkání (za předpokladu, že dřecí stopa není výrazně nepřerušovaná od jejího začátku až po konečnou polohu motocyklu) je možno vypočítat počáteční rychlost motocyklu v okamžiku, kdy výčnělky na boku motocyklu poprvé kontaktovaly vozovku.

V [2] je uvedeno průměrné zpomalení smýkajícího se motocyklu na vozovce, byla zjištěna hodnota zpomalení 2,7 až 4,9  $\text{m.s}^{-2}$  (u kapotovaných motocyklů byly hodnoty spíše nižší). Hodnota zpomalení motocyklu na trávě se může pohybovat ve velmi širokém rozmezí 6,9 až 24,4  $\text{m.s}^{-2}$ , v závislosti na struktuře povrchu a konstrukci motocyklu.

|                                       | Zpomalení [m.s <sup>-2</sup> ]           |
|---------------------------------------|------------------------------------------|
| Motocyklista na asfaltu               | 6,4 až 10,4 (od stopy do konečné polohy) |
| Motocykl na asfaltu                   | 3,3 až 7,4                               |
| Motocykl na dlažbě                    | 3,0 až 7,0                               |
| Motocykl na trávě při 20 km/h         | 5,0 (nejméně)                            |
| Motocykl na trávě při 40 km/h a vyšší | 8,0 (nejméně)                            |

Tab. 35: Zpomalení při sunutí po pádu [1]

Hodnoty zpomalení mohou být podle charakteru terénu i výrazně vyšší, kdy dochází k případnému zarytí části motocyklu do zeminy.

S rostoucí výchozí rychlostí zpomalení klesá. U některých motocyklů byl pozorován rozdíl mezi zpomalením při sunutí po levém a pravém boku, intenzita rovněž závisí na hloubce stop v povrchu komunikace.

| Typ povrchu  | Součinitel tření při sunutí motocyklu |
|--------------|---------------------------------------|
| Suchý asfalt | 0,35 až 0,50                          |
| Mokrý asfalt | 0,30 až 0,40                          |

Tab. 36: Koeficienty tření při sunutí motocyklu na asfaltě [86]

| Typ povrchu       | Součinitel tření při sunutí motocyklu |
|-------------------|---------------------------------------|
| Asfalt, beton     | 0,4 až 0,75                           |
| Nezpevněný povrch | 0,65 až 1,05                          |

Tab. 37: Koeficienty tření při sunutí motocyklu na různých površích [85]

### 5.1.2 Střet

Pokud již známe na základě výše uvedených vstupních parametrů postřetové rychlosti vozidel a jejich směry pohybů, můžeme přistoupit k řešení samotného střetu. Tato fáze je určena pro výpočet předstřetových rychlostí, které jsou pro posouzení dopravní nehody velmi důležité. Zpravidla se jedná o jednu z nejčastěji pokládaných otázek ve znaleckém posudku - jaká byla střetová rychlost vozidla, případně motocyklu v okamžiku střetu.

Pro postup řešení střetu u střetových konfigurací typu A, F, kde úhly podélných os jsou téměř rovnoběžné (úhly podélných os svírají úhel 0° pro zadní střety a 180° pro čelní střety nebo jim blízký), je možno použít metodu zákona zachování hybnosti a zákona zachování energie (ZZH a ZZE) a metodu průniku pásem. Ta kromě hybnostního řešení zohledňuje i energetický rozsah poškození jednotlivých vozidel.

Podrobný popis jednotlivých metod je popsán v kapitole 3.2.2.

### 5.1.3 Předstřet

Pokud známe střetové parametry a jejich předpokládané trajektorie před střetem, můžeme přistoupit k řešení pohybu vozidel před střetem. Pro výpočet předstřetových rychlostí je třeba znát přesný předstřetový pohyb obou vozidel, případně posádky motocyklu.

Vycházíme ze stop zanechaných na vozovce, poškození okolí, polohy místa potencionální reakce, atd. Pokud vozidlo před střetem nejelo konstantní rychlostí (bez reakce na vzniklou situaci), je nutné znát hodnoty zpomalení. Pro případ rozjezdu vozidla nebo motocyklu např. z křižovatky případně jejich zrychlení.

V případě, že vozidlo či motocykl před střetem brzdilo, je nezbytné znát náběh brzdného účinku a reakční dobu.

Je velmi důležité počítat se skutečností, že motocykl a motocyklista nemusí v případě předstřetového pádu tvořit jeden celek. Motocykl po střetu většinou nechává po pádu na vozovku dřecí stopy od stupaček, řídítek atd.

Reakční doba se skládá z optické reakce (zpozorování objektu), psychické reakce (vyhodnocení), svalové reakce (např. přesun nohy z plynového na brzdový pedál). Je velmi důležité do reakční doby řidiče zahrnout jeho aktuální věk, zdravotní stav, zrak, aktuální počasí, především viditelnost apod. [1].

|                       | Druh pohledu | Doba trvání [s] |
|-----------------------|--------------|-----------------|
| Optická reakce        | přímý pohled | 0,00            |
|                       | do 5°        | 0,48            |
|                       | nad 5°       | 0,61            |
| Psychická reakce      |              | 0,45            |
| Svalová reakce        |              | 0,19            |
| Prodleva brzd         |              | 0,05            |
| Náběh brzdného účinku |              | 0,15            |
| Celková reakční doba  | přímý pohled | 0,84            |
|                       | do 5°        | 1,32            |
|                       | nad 5°       | 1,45            |

Tab. 38: Průměrné hodnoty reakční doby a odezvy vozidla [1]

Podle provedených studií [20] je délka reakční doby motocyklistů rovna přibližně 0,55 s, v případě, že není motocyklista připraven a má ruku na plynové rukojeti a nohu na stupače. Rovněž je zde uvažována minimální optická reakční doba (0 s - přímý pohled na objekt v rozsahu 1°). Pokud by motocyklista přímo nesledoval objekt, reakční doba by se patřičně prodloužila (přibližně 0,5 s pro objekt v rozsahu do 5° nebo přibližně 0,6 s pro objekt v rozsahu nad 5°) [1]. V případě, že je motocyklista připraven a čeká na signál s prsty

umístěnými před pákou přední brzdy a nohou nad pákou zadní brzdy, je reakční doba přibližně o 0,15 s kratší, tj. přibližně 0,40 s [20].

Pokud je motocyklista připraven, je reakční doba potřebná pro použití přední brzdy rychlejší než pro použití zadní brzdy. V opačném případě je reakční doba potřebná pro použití přední brzdy pomalejší, a to z důvodu přesunutí prstů z plynové rukojeti před páku přední brzdy. Zatímco noha zůstává v obou případech v podstatě ve stejné pozici.

Obecně lze uvažovat délku reakční doby jak motocyklisty, tak řidiče vozidla 0,8 s pro přímý pohled.

V literatuře [20] bylo zjištěno, že střední hodnota reakční doby je o 0,154 s kratší v připraveném módu oproti nepřipravenému módu. Střední hodnota reakční doby žen byla 0,473 s se standardní odchylkou 0,121 s. Střední hodnota reakční doby mužů byla 0,462 s se standardní odchylkou 0,113 s.

Podle [22] byly sledovány časy aktivování jednotlivých ovládacích prvků, a to od okamžiku kompletního zavření plynové rukojeti. Prvně byla použita zadní brzda 0,22 s, následovala přední brzda 0,23 s, zmáčknutí spojkové páčky, kdy dojde k odpojení zadního kola od motoru 1,07 s. Stlačení předních tlumičů do poloviny zdvihu proběhlo za 0,62 s.

Náběh brzdného účinku je složen z prodlevy brzd a náběhu plného brzdného účinku. Ve fázi náběhu brzdného účinku uvažujeme poloviční hodnotu brzdného zpomalení. U motocyklů hraje důležitou roli vliv tlumení a zkušenosti motocyklisty.

|                         | Doba náběhu plného brzdného účinku [s] |
|-------------------------|----------------------------------------|
| Osobní vozidla          | 0,2 (max 0,4)                          |
| Nákladní vozidla        | 0,2 až 0,5                             |
| Motocykl – zadní brzda  | 0,3                                    |
| Motocykl – přední brzda | 0,6                                    |

*Tab. 39: Doba náběhu plného brzdného účinku [107]*

Zkušený řidič je schopný i v kolizních situacích účinně používat obě brzdy (přední i zadní), zatímco nezkušený řidič zpravidla použije pouze zadní brzdu, a proto je nutné brát v úvahu zkušenosti řidiče motocyklu.

Na základě tvaru brzdné stopy můžeme v některých případech zjistit, kterou brzdou byla daná stopa vytvořena. Pokud je stopa dlouhá, tvaru plynulého S, potom je s největší pravděpodobností vytvořena použitím pouze zadní brzdy. Naopak krátká brzdná stopa je

s největší pravděpodobností vytvořená použitím pouze přední brzdy, přičemž na konci brzdné stopy dojde většinou ke ztrátě stability motocyklu. Při použití obou brzd má stopa většinou přímý tvar.

Brzdění u motocyklů je oproti brzdění osobních vozidel rozdílné. U většiny motocyklů se ovládá přední i zadní brzda nezávisle na sobě, kdežto u vozidel je pouze jeden pedál, který brzdí všechna kola. Výjimku tvoří motocykly vybavené dual brzdovým systémem.

Ideální a velmi efektivní brzdění motocyklu se skládá ze 4 fází, jejichž sled je ve velmi krátkém časovém intervalu:

- Decelerace – kompletní zavření plynu a aplikace zadní brzdy.
- Fáze vyrovnání – nastavení řízení do přímého směru, kdy je možné aplikovat maximální brzdění. Dále vzpřímení a zpevnění těla, hlavy a paží motocyklisty, případně jeho spolujezdce, nastavení pozice prstů na páku přední brzdy, použití větší síly na páku nožní brzdy. Jen samotným vzpřímením těla motocyklisty dochází ke značnému zpomalení motocyklu, převážně ve vyšších rychlostech, kdy je velikost vzdušného odporu vysoká. V důsledku brzdění zadního kola dochází ke kompresi (stlačování) zadního tlumiče, čímž se nepatrně snižuje poloha těžiště celé soustavy motocykl – motocyklista. V této fázi, než se většina váhy ze zadního kola přenese na přední kolo, je účinnost zadní brzdy nejvyšší.
- Brzdění - současně, motocyklista působí vhodným tlakem na páku přední brzdy a vymáčkne páku spojky. Motocyklista by se měl soustředit prioritně na použitý tlak na páku přední brzdy a dále na tlak použitý na páku zadní brzdy.
- Nastavení – motocyklista nastavuje intenzitu brzdění, přitom se soustředí na tlak páky přední brzdy [108].

Při brzdění se zablokovaným zadním kolem je možno udržovat směrovou stabilitu, ale v případě zablokování předního kola dochází k pádu. Nejvyššího možného zpomalení lze dosáhnout při zablokovaném zadním kole a optimálním, pokud možno maximálním dávkování páky přední brzdy. Jedná se o velmi složitý proces, který vyžaduje dlouholeté zkušenosti motocyklisty.

Motocykly mají nezávislé ovládání přední i zadní brzdy. Účinek zadní brzdy se pohybuje v rozmezí 30 až 40 %, přední brzdy 50 až 75 % a v případě obou brzd současně pak 60 až 95 %. Velmi důležitým parametrem je aktuální zatížení motocyklu [2].

V literatuře [1] jsou uvedeny minimální předepsané hodnoty brzdného zpomalení pro motocykly schválené od 1. 7. 1972 a od 1. 7. 1995.

| Kategorie vozidla          | Střední hodnota brzdného zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] (od 1972) | Střední hodnota brzdného zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] (od 1995) |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Motocykl – přední brzda    | 3,9                                                                           | 4,4                                                                           |
| Motocykl – zadní brzda     | 3,1                                                                           | 2,9                                                                           |
| Motocykl – obě brzdy       | 5,0                                                                           | 5,8                                                                           |
| Se spolujezdcem – zadní b. | 3,7                                                                           |                                                                               |

Tab. 40: Minimální předepsané hodnoty brzdného zpomalení motocyklů [1]

Dále je uvedena velikost zpomalení motocyklu zadní brzdou (se zanechanou dlouhou rovnou brzdou stopou) v rozmezí 3,0 až 4,5  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ , při brzdění oběma brzdami 6,0 až 9,0  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

| Způsob brzdění                  | Brzdné zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] | Měření autora [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Motocykly – přední brzda        | 7,6 až 9,4                                        | 8,2                                            |
| Motocykly – zadní brzda         | 3,0 až 4,5                                        | 5,4                                            |
| Motocykly – obě brzdy           | 8,4 až 9,8                                        | 8,6                                            |
| Motocykly – Dual systém         | 7,5 až 8,0                                        | 6,2 až 8,8                                     |
| Motocykly – ABS (suchá vozovka) | 7,6 až 9,5                                        | 8,9                                            |
| Motocykly – ABS (mokrý vozovka) | okolo 7,5                                         |                                                |

Tab. 41: Brzdné zpomalení motocyklů [2], [měření autora]

Pro porovnání jsem do tabulky uvedl soubor naměřených dat z kapitoly 4.3.6. Jedná se o motocykl Honda VFR 800 se systémem ABS a Honda CBR 1000 F se systémem Dual CBS. Naměřené hodnoty jsou téměř ve shodě s hodnotami z literatury [2].

[21] se zabývá účinností systému ABS a Dual CBS na motocyklech při různých jízdách manévrech a zatížení. Na suchém povrchu motocykly s ABS mají o 5 % kratší brzdnu dráhu v porovnání s motocykly bez ABS. Brzdná dráha byla ještě kratší u zatížených motocyklů vybavených ABS (o 7 %) a nejkratší u motocyklů s ABS, které brzdily pouze zadní brzdou (o 17 %).

Na mokřím povrchu motocykly s ABS mají o 5 % kratší brzdnu dráhu v porovnání s motocykly bez ABS. Brzdná dráha byla více znatelná při brzdění oběma brzdami (o 10,8 %). Nejkratší brzdná dráha byla u zatížených motocyklů vybavených ABS, které brzdily oběma brzdami (o 15,5 %).

| Jawa Babeta 210 | Typ povrchu  | Brzdné zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] | Měření autora [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|-----------------|--------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Zadní brzda     | Suchý asfalt | 2,5 až 2,6                                        | 4,3                                            |
| Přední brzda    |              | 1,7 až 1,9                                        | 5,6                                            |
| Obě brzdy       |              | 4,1 až 4,3                                        | 6,6                                            |

|              |              |            |          |
|--------------|--------------|------------|----------|
| Zadní brzda  | Mokrý asfalt | 2,2 až 2,3 | neměřeno |
| Přední brzda |              | 1,6        | neměřeno |
| Obě brzdy    |              | 3,4 až 4,2 | neměřeno |

Tab. 42: Brzdné zpomalení malého motocyklu [2], [měření autora]

Pro porovnání jsem do tabulky uvedl soubor naměřených dat z kapitoly 4.3.6. Jedná se o malý motocykl TMEC Betka 50, který je oproti modelu Jawa Babeta 210 konstrukčně novější. Z toho důvodu dosahuje motocykl vyšších hodnot brzdného zpomalení.

Výsledkem [65] celého souboru měření byly průměrné hodnoty brzdného zpomalení.

| Způsob brzdění | Brzdné zpomalení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|----------------|---------------------------------------------------|
| Zadní brzda    | 3,6                                               |
| Přední brzda   | 5,9                                               |
| Obě brzdy      | 7,3                                               |

Tab. 43: Brzdné zpomalení motocyklů [65]

Hodnoty zpomalení vozidel jsou uvedeny v 5.1.1.

Rozdíl mezi zrychlením motocyklu a vozidla je velmi markantní. Dnešní moderní motocykly dosahují velmi vysokých hodnot zrychlení, které konkurují silným sportovním automobilům. V silniční dopravě se často stává, že rychlost přibližujícího se motocyklu řidiči vozidel špatně odhadují, k tomu přispívá i oproti rozměrům vozidla menší rozměr motocyklů. Rychlé přiblížení motocyklů bývá pro ostatní účastníky provozu nezvyklé.

Velmi často dochází k dopravním nehodám na křižovatkách, kdy řidič vozidla nedá přednost v jízdě motocyklistovi, případně špatně vyhodnotil jeho rychlost a vjede mu do jeho koridoru pohybu. V tomto případě je pro posouzení nehodového děje velmi užitečným parametrem zrychlení vozidla, především na první a druhý převodový stupeň.

| Kategorie vozidla   | Hodnota zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|---------------------|----------------------------------------------------|
| Mini                | 2,2 až 2,9                                         |
| Nižší střední třída | 2,9 až 3,9                                         |
| Střední třída       | 3,0 až 4,2                                         |
| Vyšší střední třída | 3,6 až 4,2                                         |
| Luxusní             | 4,1 až 6,2                                         |
| Terénní             | 3,6 až 5,5                                         |
| Sportovní           | 4,1 až 7,5                                         |

Tab. 44: Rozmezí hodnot zrychlení vozidel na suchém asfaltovém povrchu z 0 – 60 km/h [107]

Podle [113] je rozmezí hodnot zrychlení osobních vozidel na první rychlostní stupeň je 2,5 až 4,5  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  a na druhý rychlostní stupeň pak 1,8 až 3,2  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Hodnoty zrychlení sportovních vozidel na první rychlostní stupeň dosahují 5,0 až 8,0  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  a na druhý rychlostní stupeň pak



3,5 až 6,0 m.s<sup>-2</sup>. U malých nákladních vozidel je situace velmi ovlivněna hmotností převáženého nákladu. Na první rychlostní stupeň bez nákladu 2,5 až 4,0 m.s<sup>-2</sup>, s nákladem (plně naloženo) 1,5 až 2,2 m.s<sup>-2</sup>. Na druhý rychlostní stupeň bez nákladu 2,1 až 3,5 m.s<sup>-2</sup>, s nákladem 1,2 až 1,8 m.s<sup>-2</sup>.

| Vozidlo           | Průměrné hodnoty zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] |           |
|-------------------|-------------------------------------------------|-----------|
|                   | 1. stupeň                                       | 2. stupeň |
| Honda Civic       | 3,1                                             | 2,4       |
| Renault Megane    | 2,9                                             | 2,4       |
| VW Transporter T3 | 2,3                                             | 1,4       |
| VW Sharan         | 2,8                                             | 3,0       |

Tab. 45: Průměrné hodnoty zrychlení na 1. a 2. rychlostní stupeň [měření autora]

Při zrychlování motocyklu hraje důležitou roli výkon motocyklu, jeho aktuální hmotnost (včetně posádky), zařazený rychlostní stupeň (převodový poměr), atd. Hodnoty zrychlení u motocyklů jsou podstatně vyšší než u vozidel.

| Druh rozjezdu    | Hodnota zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] |
|------------------|----------------------------------------|
| Pomalý rozjezd   | 1,5 až 2,5                             |
| Normální rozjezd | 2,5 až 3,5                             |
| Rychlý rozjezd   | až do 6,5                              |

Tab. 46: Rozmezí hodnot zrychlení motocyklů pro různé typy rozjezdů [2]

| Druh rozjezdu    | Hodnota zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] |
|------------------|----------------------------------------|
| Normální rozjezd | 1,5 až 3,0                             |
| Rychlý rozjezd   | 2,0 až 3,5                             |

Tab. 47: Rozmezí hodnot zrychlení motocyklů v zatáčce [2]

Hodnoty maximálních zrychlení motocyklů bez spolujezdce a běžných rozjezdů jsou uvedeny v následující tabulce. V případě plně obsazeného a naloženého motocyklu mohou být udávány hodnoty zrychlení až o třetinu nižší [107].

| Druh rozjezdu    | Hodnota zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] |
|------------------|----------------------------------------|
| Rychlý rozjezd   | 4,0 až 7,0                             |
| Normální rozjezd | 3,0 až 3,5                             |

Tab. 48: Rozmezí hodnot zrychlení motocyklů pro rychlý a normální rozjezd [107]

| Moto                      | Průměrné zrychlení na jednotlivé převodové stupně [m.s <sup>-2</sup> ] |     |     |     |     | Průměrné zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------------|
|                           | 1.                                                                     | 2.  | 3.  | 4.  | 5.  |                                         |
| TMEC Betka 50 sólo        | 1,6                                                                    | 1,5 | 1,2 | 1,1 |     | 1,4                                     |
| TMEC Betka 50 spolujezdec | 1,3                                                                    | 1,2 | 0,9 | 0,8 |     | 1,1                                     |
| Honda CRF 450 sólo        | 5,7                                                                    | 6,0 | 5,6 | 5,2 | 5,6 | 5,6                                     |
| Honda CBR 600 F sólo      | 5,2                                                                    | 4,8 | 4,0 |     |     | 4,7                                     |

|                              |     |     |     |  |  |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|--|--|-----|
| Honda CBR 600 F spolujezdec  | 4,8 | 4,2 | 3,1 |  |  | 4,0 |
| Honda CBR 1000 F sólo        | 5,0 | 4,8 | 4,4 |  |  | 4,7 |
| Honda CBR 1000 F spolujezdec | 4,9 | 4,6 | 4,1 |  |  | 4,5 |

Tab. 49: Zrychlení motocyklů na jednotlivé převodové stupně a průměrné hodnoty zrychlení různých druhů motocyklů [měření autora]

Dobře provedeným vyhybacím manévrem může motocyklista předejít dopravní nehodě. Výsledkem provedených jízdních zkoušek bylo, že změna jízdního pruhu trvá na motocyklu zpravidla 2,8 až 3,4 s a nezávisí na příčné vzdálenosti. Dosahované časy při vyšších rychlostech byly kratší. Hodnoty příčného zrychlení byly maximálně  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  [107].

Podle [23] se hodnoty příčného zrychlení motocyklů pohybují v rozmezí 2 až  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Vyšší hodnoty příčného zrychlení odpovídají nižším rychlostem motocyklu.

| Příčné přemístění | Doba příčného přemístění (druhé fáze) [s] | Doba všech fází [s] |
|-------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| Jedním obloukem   | 0,5 až 1,5                                | 0,9 až 2,2          |
| Dvěma oblouky     | 0,5 a 1,7                                 | 1,4 až 3,3          |

Tab. 50: Doba příčného přemístění motocyklu jedním a dvěma oblouky [91]

| Rychlost ohýbacího manévru [km/h] | Průměrné hodnoty příčného přemístění [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 30                                | 1,8                                                                   |
| 40                                | 2,0                                                                   |
| 50                                | 2,1                                                                   |

Tab. 51: Příčné zrychlení motocyklu [měření autora]

| Typ jízdy                    | Hodnoty příčného zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Normální klidnou jízda       | do 2,0                                                      |
| Sportovní dynamičtější jízda | do 4,0                                                      |

Tab. 52: Příčné zrychlení vozidel [1]

Pokud byly na místě následkem manévru zanechány vozidlem stopy, lze jít až na hodnotu odpovídající adhezi dané pneumatiky na daném povrchu. U malých rychlostí (do 20 km/h) již nelze použít Kovaříkův vzorec. V těchto případech je možné hodnotu  $a_{\text{ymax}}$  odečíst z grafu na obr. 23.6.9. str. 385 z literatury BRADÁČ, A. a kol.: Soudní inženýrství, Brno 1999 [1].

Z vyhodnocených měření byla vysledována závislost okamžitého úhlu naklonění na okamžitém příčném zrychlení a bylo zjištěno, že se u jednotlivých vozidel pohybovala

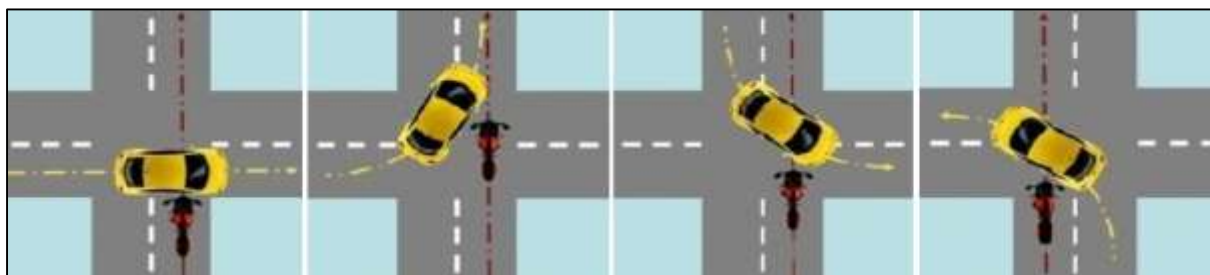
v rozmezí 0,2 až 0,5°/m.s<sup>-2</sup>. Tedy abychom z bočního zrychlení, naměřeného ve vozidle, získali zrychlení příčná (v rovině rovnoběžné s vozovkou), je zapotřebí od každého jednoho m.s<sup>-2</sup> odečíst složku tíhového zrychlení odpovídající sin (0,3° až 0,6°), což je 0,05 až 0,10 m.s<sup>-2</sup>, tedy 5 až 10 %.

Doba pádu motocyklu v závislosti na výchozí rychlosti dosahuje 0,35 až 0,7 s [8]. Výška těžiště motocyklu a motocyklisty závisí na druhu motocyklu a posedu motocyklisty. Silniční motocykly mají těžiště niž než motocykly typu enduro.

V [17] je popsán pád motocyklu od uvolnění motocyklu z vodícího vozíku do okamžiku kontaktu stupačky či bloku motoru motocyklu s vozovkou (vznik dřecí stopy). Doba pádu motocyklu byla v rozmezí 0,35 až 0,7 s.

## 5.2 Postup řešení – typ B, C, D, E

Nejčastěji dochází k těmto střetům na křižovatkách, kdy jeden z účastníků jede po hlavní silnici a druhý po vedlejší. U těchto typů dochází nejčastěji k bočním střetům, kdy úhel podélných os mezi vozidly svírá zpravidla pravý úhel nebo podobný (nejčastěji v rozmezí 45 až 135°).



*Obr. 113: Střetové konfigurace – typ B, C, D, E*

Střety při nedání přednosti v jízdě a střety odbočovací mají hodně společného, co se vypracování znaleckých posudků týče, také jejich zpracování podléhá podobnému postupu.

Střety při nedání přednosti v jízdě jsou typické u úrovnových křižovatek, kdy je přednost v jízdě upravena svislým dopravním značením (křížení hlavní a vedlejší silnice) a na kruhových objezdech. Patří mezi nejčastější typy střetů mezi vozidlem a motocyklem. Střetová poloha bývá zpravidla kolmá nebo jí blízká. Většina střetů vzniká tak, že se motocykl jedoucí po hlavní silnici střetne s rozjíždějícím se vozidlem z vedlejší silnice nebo naopak.

Podstatnou roli zde hraje zpravidla vysoká rychlost motocyklisty a nesprávné vyhodnocení situace řidiče vozidla. Velmi důležité je zde posouzení trajektorie drah obou účastníků, zrychlování při rozjezdu z křižovatky, dosahované brzdné pomalení před střetem, výhledové poměry, apod.

Střety odbočovací lze rozdělit na dvě podskupiny - předjíždění vozidla odbočujícího vlevo (vozidla jedoucí za sebou) a střet s protijedoucím vozidlem při odbočování vlevo.

Pro první případ je typická situace, kdy vozidlo jedoucí po hlavní silnici hodlá odbočit vlevo a současně je předjížděno motocyklem nebo naopak.

Klasickým druhým případem je střet vozidla jedoucího po hlavní s úmyslem odbočit vlevo, které se následně střetne s protijedoucím motocyklem nebo naopak.

Pro první případ je důležité posoudit, jestli začalo dříve předjíždění nebo odbočování. Pro druhý případ je opět důležité posouzení trajektorií obou účastníků včetně posouzení první možné reakce a dalších rozhodných okamžiků celého nehodového děje.

Postup řešení těchto typů dopravních nehod je znázorněn ve vývojovém diagramu v **příloze č. 2**, která je součástí této práce.

### 5.2.1 Postřet

Po střetu zpravidla dochází k odpoutání posádky od motocyklu. V případě posádky motocyklu dochází k letu, dopadu a sunutí do konečné polohy. U motocyklu po pádu následuje rovněž sunutí do konečné polohy.

Pro výpočet postřetové rychlosti je třeba znát přesný postřetový pohyb obou vozidel, případně posádky motocyklu.

Postup řešení je podobný jako u typu A, F.

### 5.2.2 Střet

Pokud známe velikosti postřetových rychlostí a směry hybností vozidel po střetu, můžeme začít řešit samotný střet. Pro postup řešení střetu u střetových konfigurací typu B, C, D, E, kde úhly podélných os jsou rozdílné (nejčastěji 45 až 135°), je možno použít modifikovaný diagram rovnováhy hybností a impulsů (MDRHI). Ten vychází ze změny hybnosti vozidel

během střetu způsobené impulsem rázové síly. Při střetu dochází ke skokové změně rychlosti a změně směru.

Podrobný popis jednotlivých metod je popsán v kapitole 3.3.2.

### 5.2.3 Předstřet

Předstřetová fáze se většinou skládá z běžné jízdy. V případě zpozorování nebezpečného objektu následuje reakční doba. Ta zahrnuje optickou reakci (zpozorování objektu), dále psychickou reakci (vyhodnocení) a svalovou reakci (např. přesun nohy z plynového na brzdový pedál). Od prvního kontaktu nohy, nebo v případě přední brzdy motocyklu ruky, začíná náběh plného brzdného účinku, poté je vozidlo nebo motocykl schopen brzdit plným brzdným účinkem, podle velikosti ovládací síly na pedál nebo páku brzdy.

Rovněž zde může být i rozjezd vozidla nebo motocyklu z křižovatky, zde je pak důležitá hodnota dosahovaného zrychlení. Případně maximální rychlost průjezdu zatáčkou o daném poloměru. Součástí předstřetového pohybu může být i vyhýbací manévr.

Pro výpočet předstřetové rychlosti je třeba znát přesný předstřetový pohyb obou vozidel, a v případě předstřetového pádu motocyklu i posádky motocyklu.

Postup řešení je podobný jako u typu A, F.

## **5.3 Postup řešení dopravní nehody pomocí simulačního programu**

Po prvotních znaleckých úkonech (posouzení lhůty, příslušnosti znalce a jeho možné podjatosti), následuje celá škála velmi důležitých úkolů. Pro zpracování znaleckého posudku je pro znalce z technického hlediska velmi důležitým prvotním úkonem zkoumání předložených podkladů.

Jak již bylo zmíněno, pro vypracování kvalitního znaleckého posudku je nezbytné značné množství kompletních a objektivních vstupních podkladů. Mezi tyto podklady patří zejména protokol o nehodě, plánek místa dopravní nehody, fotodokumentace, výpovědi účastníků a svědků dopravní nehody (subjektivní podklady), lékařská zpráva, zápis o poškození předmětných vozidel, technické údaje vozidel, apod. Pokud nemá znalec pro vypracování znaleckého posudku dostatek podkladů, požádá zadavatele o jejich doplnění. Pokud není doplnění možné, znalecký posudek nemůže být zhotoven kvalitně. V některých případech je

nezbytné podrobné zaměření místa dopravní nehody, případně provedení vyšetřovacího pokusu.

### 5.3.1 Podrobné zaměření místa dopravní nehody

Z hlediska technického znalce je potřeba, aby při ohledání bylo dokumentováno zejména:

- situace místa nehody (protokolem, plánkem a fotografiemi)
- jeli to možné, provést zaměření místa nehody
- směry a způsoby pohybů jednotlivých účastníků nehody
- brzdné stopy (především jejich délka, tvar, poloha na vozovce a kvalita)
- dřecí stopy od stupaček, řídítek a dalších částí motocyklu
- místo střetu (např. podle zalomení brzdných stop apod.)
- konečná poloha motocyklu a motocyklisty, popř. jeho spolujezdce
- konečná poloha vozidla, eventuelně jeho součástí
- detailní poškození motocyklu a vozidla
- popis poranění motocyklisty, popř. jeho spolujezdce
- přesná poloha vozidel a dalších překážek rozhledu, které se v daném místě střetu nacházely
- výhledové poměry jednotlivých účastníků dopravní nehody
- poloha dopravního zařízení, značek a sloupů veřejného osvětlení
- technický stav vozidel jednotlivých účastníků nehody, zejména brzdového systému (v noci též dosvit světlometů)
- technický stav vozovky, její sklon a kvalita
- aktuální počasí v místě nehody (teplota, viditelnost, atd)

### 5.3.2 Osnova vyšetřovacího pokusu, resp. znaleckého experimentu

- cíl pokusu (ověřit technické možnosti průběhu nehodového děje, technicky doplnit nezajištěné údaje o nehodě, dohlednost – zjišťování na jakou

vzdálenost se účastníci mohli vidět, pokus možných variant nehody – směr a rychlost pohybu účastníků nehody, vzdálenosti a doby reakcí účastníků nehody)

- podmínky (potřeba zajistit odpovídající dobu, místo dopravní nehody, upravit okolí, aby co nejvíce připomínalo podmínky nehody)
- metody (určit jakými metodami a jaké hodnoty je potřeba zjistit)
- způsob dokumentace výsledků (písemná, grafická, fotografie, videozáznam s časovou základnou nebo bez ní, atd.)
- pomůcky (vozidla a jejich potřebný stav, barva apod., měřicí přístroje a pomůcky, přístroje pro záznam, atd.)
- účastníci (nutní ze znaleckého hlediska, včetně obsluhy vozidel a přístrojů pro měření a záznam)
- časový plán (jak a kdy provést jednotlivé úkony vyšetřovacího pokusu, aby byla časová návaznost)
- bezpečnostní opatření (zejména omezení eventuálně vyloučení nebo přerušení dopravy v daném úseku komunikace)
- opatření z hlediska hospodárnosti (pronájem přístrojů, cena měřických, demontážních a montážních prací atd.)

### 5.3.3 Zadání vstupních podkladů

#### 5.3.3.1 *Import plánu do simulačního programu*

Plánek místa dopravní nehody importujeme do simulačního programu a sjednotíme ho s měřítkem v plánu, pomocí polygonů nastavíme odpovídající sklon vozovky, případně použijeme polygon zaměřený totální geodetickou stanicí. Adhezi nastavíme podle aktuálních podmínek v době a místě nehody, popřípadě různé adheze pro různé povrchy (suchý asfalt, mokrá asfalt, travnatý povrch, atd.).

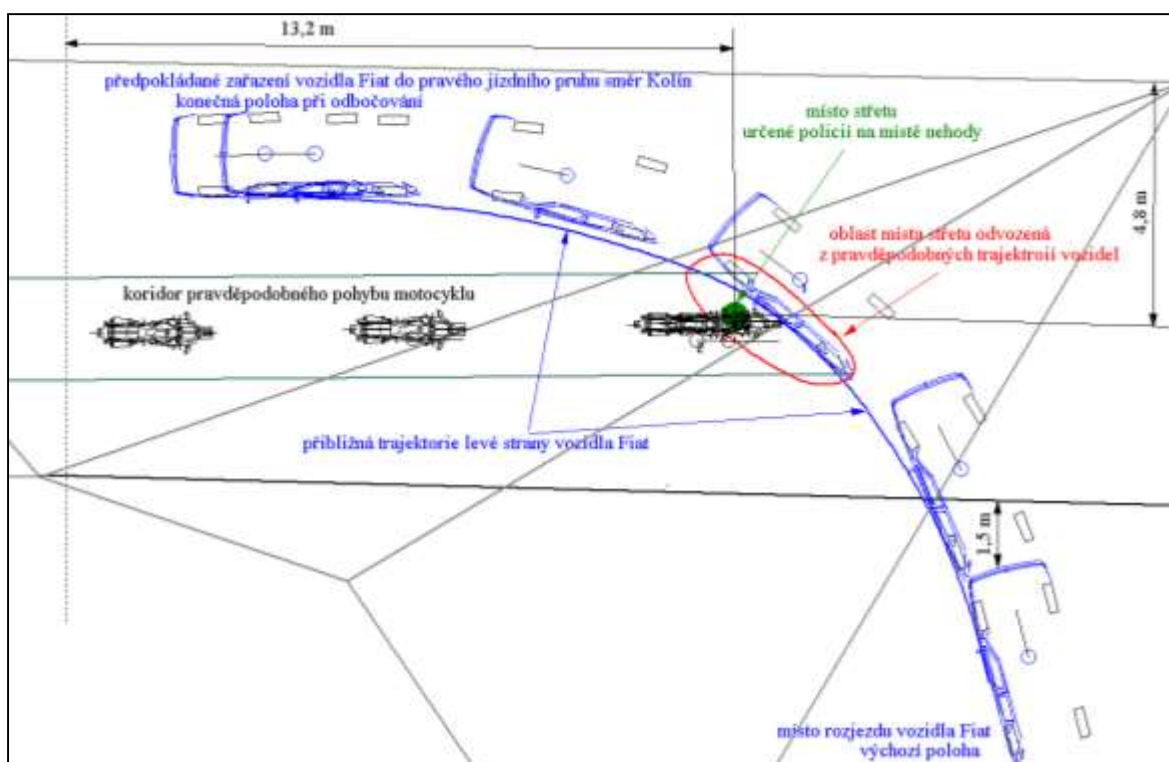
#### 5.3.3.2 *Výběr vozidel, motocyklů*

Ze znalostí technických údajů vozidel (z velkého TP) vybereme vozidlo či motocykl. Zvýšenou pozornost věnujeme rozměrům vozidla (délka, šířka, výška, rozvor, rozchod atd.) a také jeho aktuální hmotnosti včetně posádky a nákladu. Simulační programy zpravidla

obsahují mimo jiné velmi rozsáhlou a neustále aktualizovanou databázi vozidel a motocyklů. Na motocykl lze umístit motocyklisty, případně jeho spolujezdce.

### 5.3.3.3 Oblast místa střetu

Poškození na vozidlech je pro posouzení dopravní nehody velmi důležité a obvykle spolu se stopami zanechanými na vozovce umožňují určit oblast místa střetu a následně simulovat průběh dopravní nehody. Oblast místa střetu vybereme podle předpokládaných trajektorií vozidel a zanechaných stop v místě dopravní nehody. Velmi užitečné jsou brzdné stopy, přesněji jejich zalomení, dřecí stopy (převážně od stupaček, řídicích a ostatních ostrých částí motocyklu), stopy na vozovce ve formě střepin, vyteklých provozních kapalin atd.



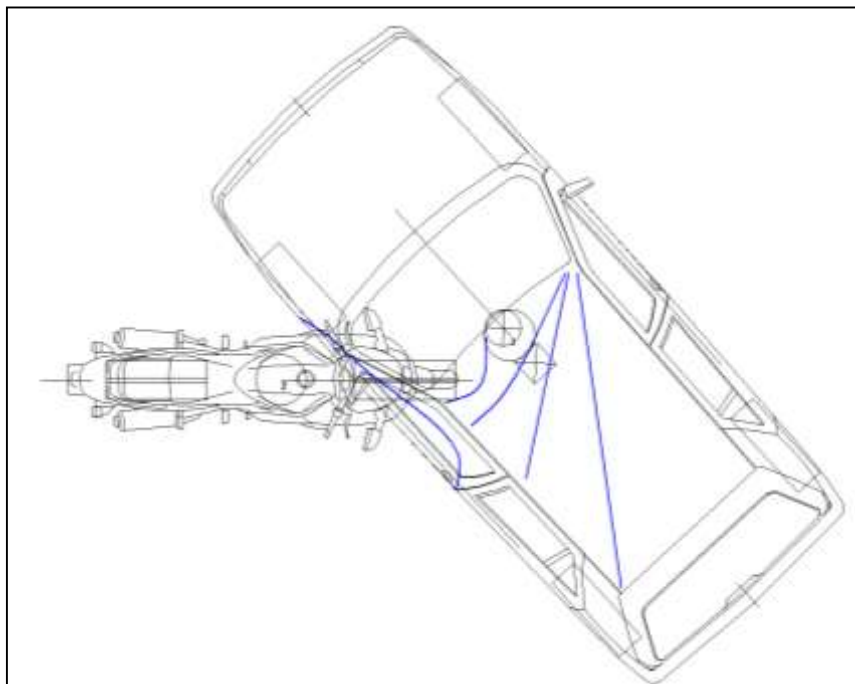
Obr. 114: Předpokládané trajektorie vozidla a motocyklu, oblast místa střetu [116]

### 5.3.3.4 Střetová poloha

Střetovou polohu odvozujeme na základě předpokládaných trajektorií vozidel a z korespondence jejich poškození. Poškození vozidel vyhodnotíme z příložené fotodokumentace, nebo ještě lépe (pokud je to možné) z osobní prohlídky předmětných vozidel. Analýza poškození vozidel se provádí většinou v půdorysu, někdy i v bočních pohledech (zde například výšková korespondence). Podle trvalých deformací lze zjistit



hloubku poškození, směr působící rázové síly a tomu odpovídající střetovou polohu vozidla a motocyklu.



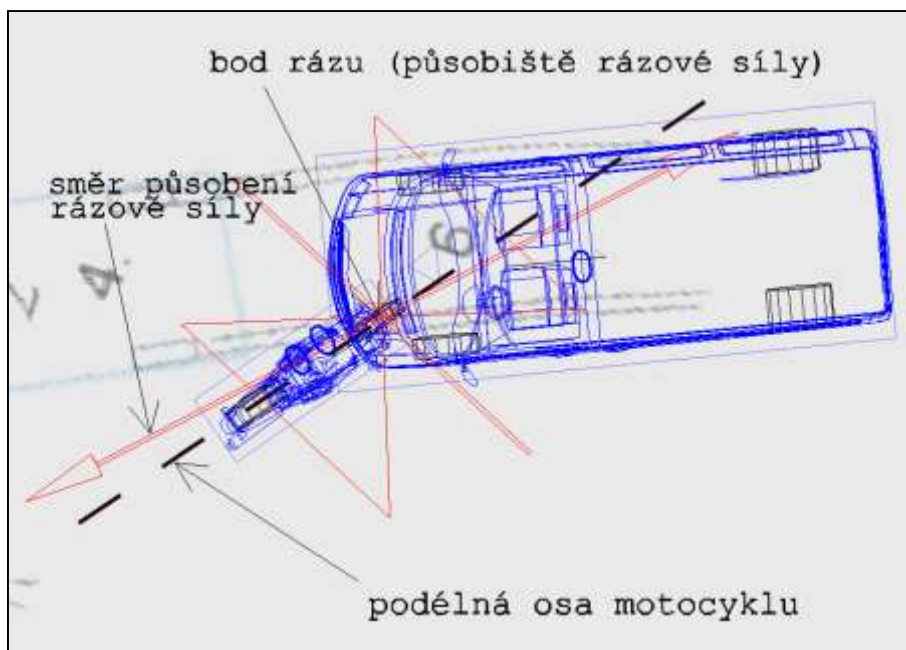
*Obr. 115: Střetová poloha motocyklu a vozidla [116]*

#### 5.3.4 Řešení střetu

U samotného řešení střetu s podporou simulačních programů vidíme postřetový pohyb vozidel téměř okamžitě. Zadáváním vstupních veličin pozorujeme okamžitou změnu veličin výstupních. Výsledkem simulace je výpočet technicky přijatelných rozmezí střetových rychlostí vozidel.

##### 5.3.4.1 *Bod rázu*

Bod rázu leží v oblasti překrytí poškození vozidel a prochází jim výslednice působících rázových sil. Jeho volba (také volba střetové polohy a natočení vozidel) značně ovlivňuje pohyb vozidel po střetu. Je důležité jeho umístění správně vyhodnotit s ohledem na působiště největší působící rázové síly a tuhosti částí vozidel. Spolu s rovinou rázu určuje především postřetové rotace vozidel a přerozdělení EES (ekvivalentních energetických rychlostí) z hloubky deformací vozidel [1].



Obr. 116: Bod rázu, rovina rázu, rázové síly, třecí kužel [116]

#### 5.3.4.2 Koeficient restituce

Vyjádření pomocí impulsu rázové síly, koeficient restituce je dán poměrem velikostí impulsu restituční a deformační fáze [1].

Koeficient restituce vyjadřuje elasticnost rázu, mění pouze velikost impulsu, ne jeho směr. Pokud je materiál zcela pružný (elastický), hovoříme o pružném rázu, nebo také elastickém rázu. V tomto případě je deformační práce nulová.

Pokud je materiál zcela nepružný, potom se určitá (u nárazu na tuhou překážku o velké hmotnosti veškerá) kinetická energie spotřebuje na deformaci, hovoříme o nepružném rázu, nebo také rázu plastickém.

Mezi těmito dvěma polohami se pohybuje převážná většina všech reálných těles, včetně vozidel (ráz polopružný).

Koeficient restituce obvykle dosahuje hodnot v rozmezí 0 až 1, kde hodnota 0 znamená plně plastický ráz a hodnota 1 ráz plně elastický.

V ojedinělých případech může být hodnota koeficientu restituce i záporná, kde dochází k průniku deformačních zón při destruktivních střetech (např. průjezd motocyklu jedoucího velmi vysokou rychlostí vozidlem).

Koeficient restituce je dále možno definovat jako poměr rozdílu výběhových (postřetových) a doběhových (předstřetových) rychlostí vozidel:

$$k = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2} \quad (91)$$

kde:

$k$  [-] .....koeficient restituce

$v'$  [m/s] .....postřetová rychlost vozidla

$v$  [m/s] .....předstřetová rychlost vozidla

Koeficient restituce je závislý na relativní rychlosti narážejících objektů a konstrukci (tuhosti, resp. elasticitě).

V praxi hodnota koeficientu restituce dosahuje hodnot v rozmezí 0,05 až 0,25. U malých rychlostí, kdy dochází k odpružení vozidel (například nárazníky) může hodnota koeficientu restituce dosahovat hodnoty kolem 0,6. Naopak v případě intenzivního nárazu vozidla vysokou rychlostí do stojícího vozidla překoná výjimečně hodnotu 0,1.

### 5.3.4.3 Součinitel tření

Ráz těles lze rozdělit na:

- ráz bez skluzu – v okamžiku maximálního silového působení dojde k úplnému vyrovnání rychlostí v bodě rázu (na konci deformační fáze),
- ráz se skluzem – k vyrovnání rychlosti dojde pouze ve směru normály rázu, v tečném směru se rychlosti nevyrovnají.

Na obr. 117 je zobrazen šikmý excentrický střet dvou vozidel s vyznačeným překrytím a bodem rázu B. Dále je zobrazen směr tečny dotyku (horizontální rovina rázu, ve které probíhá případný skluz vozidel), směr normály dotyku a směr impulsu rázové síly. Vertikální rovina rázu vystihuje podjetí vozidel, převrácení jedním druhým. Jednotlivé složky ve směru tečny a normály dotyku jsou označeny jako  $F_T$  a  $F_N$ . Poměr těchto složek vypovídá o velikosti skluzu (relativní pohyb vozidel vůči sobě) a označujeme ho součinitel tření v rázu -  $\mu$ .

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (92)$$

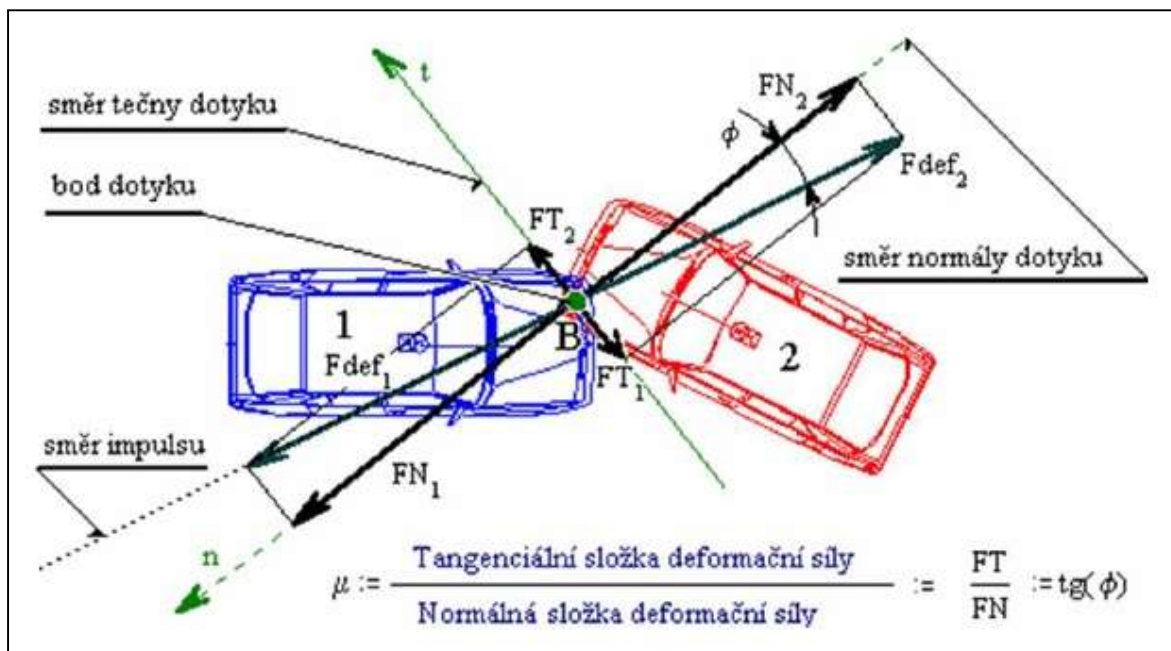
kde:

$\mu$  [-] .....součinitel tření

$F_T$  [N].....tangenciální složka deformační síly

$F_N$  [N].....normálová složka deformační síly

Pokud je součinitel tření v rozmezí 0,5 až 0,6 nebo více, hovoříme o rázu bez skluzu. Pokud jsou hodnoty součinitele tření nižší, pak hovoříme o rázu se skluzem.



Obr. 117: Impulsně – rázový model střetu [116]

V bodě rázu (bod B) je umístěna výslednice rázových sil. Rovina rázu je rovina, která je kolmá na normálovou složku výslednice rázové síly a prochází bodem rázu. Tření v rovině rázu je definováno jako tangenta úhlu mezi výslednicí normální a tangenciální složky rázové síly.

### 5.3.5 EES

Ekvivalentní energetická rychlost (EES) vyjadřuje množství kinetické energie spotřebované na vznik trvalé deformace vozidla nebo motocyklu.

Ekvivalentní energetická rychlost je veličinou vyjadřující rychlost, která odpovídá příslušné části kinetické energie, přeměněné během střetu na deformační práci. Jinými slovy je to rychlost, jakou by muselo vozidlo narazit do pevné nedeformovatelné překážky, aby na něm vznikly shodné deformace jako při předemětné dopravní nehodě.

V současné době je pro stanovení technicky přijatelného rozmezí EES nejvhodnější použít porovnávací metodu pomocí EES katalogů. Při hledání se snažíme najít podobně poškozené vozidlo, pokud možno podobného typu a hmotnosti. Po výběru vhodného vozidla (můžeme vybrat vozidel více) je potřeba EES vozidla z katalogu přepočítat na EES našeho předmětného vozidla, na jeho okamžitou hmotnost.

$$EES = EES_{kat} \cdot \sqrt{\frac{m_{kat}}{m}} \quad (93)$$

kde:

EES [m/s] .....ekvivalentní energetická rychlost předmětného vozidla, motocyklu

EES<sub>kat</sub> [m/s].....ekvivalentní energetická rychlost vozidla, motocyklu z EES katalogu

m [kg] .....hmotnost předmětného vozidla, motocyklu

m<sub>kat</sub> [kg] .....hmotnost vozidla, motocyklu z EES katalogu

### 5.3.6 GEV

Vhodným kontrolním parametrem je GEV, který charakterizuje typ střetu. Hodnoty 0,9 až 1,2 znamenají ráz bez skluzu; 0,76 až 0,9 začínající skluz; a hodnoty pod 0,75 ráz se skluzem.

$$GEV = \frac{\Delta V}{EES} \quad (94)$$

kde:

GEV [-] .....kontrolní parametr charakterizující typ střetu

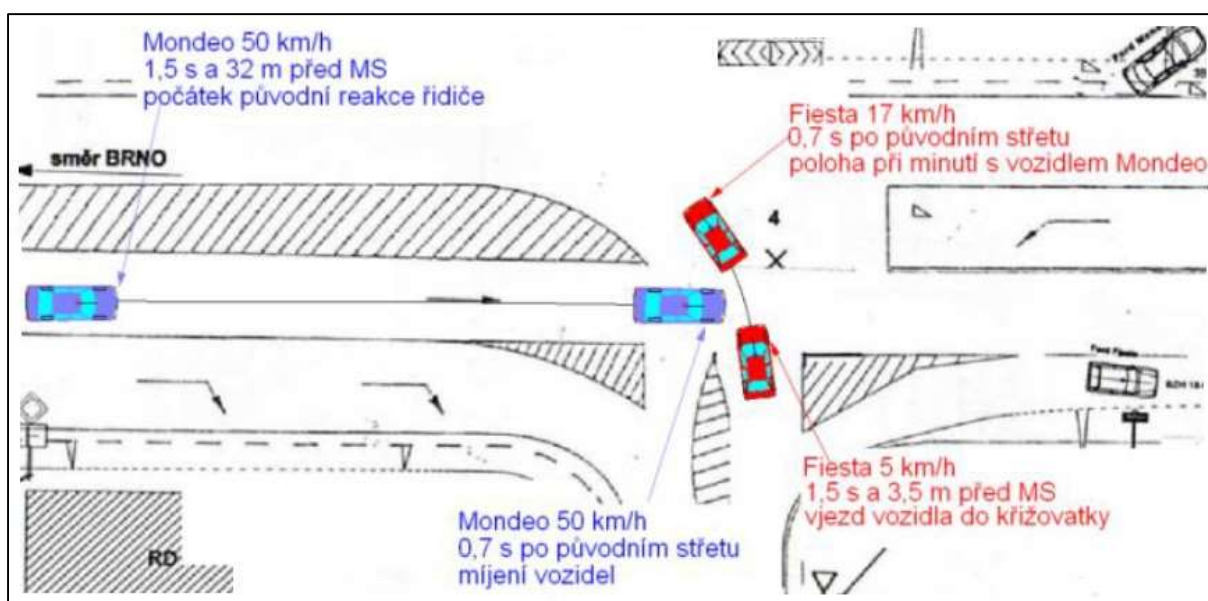
### 5.3.7 Předstřetový pohyb

Pokud známe rozmezí střetových rychlostí jednotlivých vozidel, můžeme přistoupit k řešení pohybu vozidel před střetem, kinematicky zpětným přístupem. Nastavíme jednotlivé sekvence pohybu vozidla (brzdění, zrychlování, konstantní jízda, příčné přemístění, atd). Výsledkem pak budou rychlosti vozidel na počátku nehodového děje, případně v ostatních důležitých okamžicích (na počátku reakční doby, na počátku brzdných stop, apod).

### 5.3.8 Analýza nehodového děje v jednotném čase

Výsledkem znaleckého posudku zpravidla bývá analýza nehodového děje v prostoru a čase. Jedná se o kompletní popis celé dopravní nehody, tj. předstřetového pohybu, samotného střetu a postřetového pohybu. Okamžik střetu je z hlediska časového nastaven na 0 s.

Komplexní analýza dopravní nehody podrobně popisuje pohyb účastníků (motocyklu a vozidla) v prostoru a jednotném čase. Je tvořena graficky, včetně popisků, které náleží jednotlivým účastníkům v rozhodných okamžicích. K určitému jednotnému časovému okamžiku je přiřazena rychlost a dráha od místa střetu každého účastníka dopravní nehody. Taková prezentace se nazývá intervalový diagram.

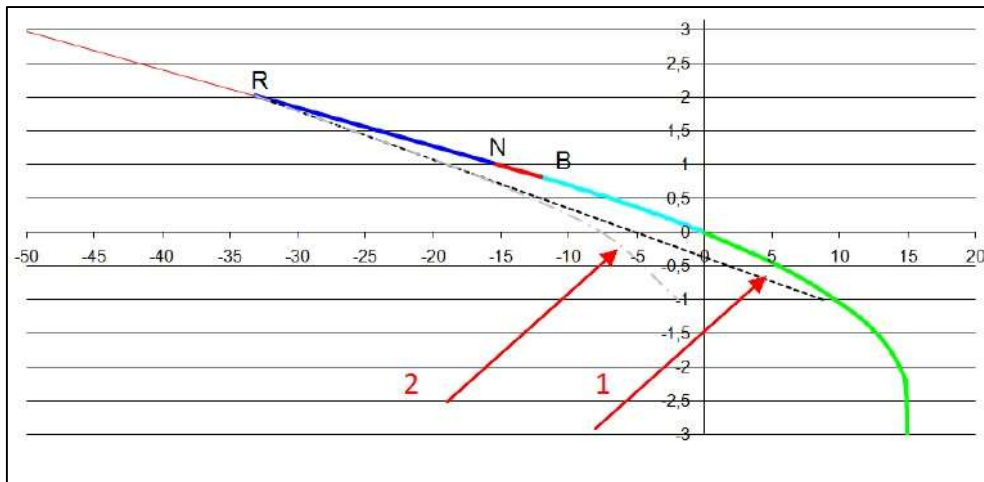


Obr. 118: Intervalový diagram s možností odvrácení střetu [116]

Důležitým prvkem analýzy nehodového děje je střetová rychlost (její rozmezí) obou účastníků dopravní nehody.

### 5.3.9 Analýza možnosti odvrácení střetu

Další nedílnou součástí znaleckého posudku bývá analýza možnosti odvrácení střetu (MOS), případně analýza vedoucí ke snížení následků střetu. Tato analýza se provádí pro jednotlivé účastníky dopravní nehody. Velmi názorným příkladem je diagram dráha-čas.



Graf 34: Diagram dráha-čas (STD) s možnostmi odvrácení střetu [13]

V grafu 34 jsou znázorněny dvě varianty možnosti odvrácení střetu. První popisuje situaci, kdy vozidlo jede nižší konstantní rychlostí od okamžiku reakce. Druhá pak popisuje brzdění z nižší rychlosti po uplynutí reakční doby a náběhu brzdného účinku.

Nedílnou součástí je zahrnutí výhledových poměrů a oblastí zakrytého výhledu (OZV) na místě nehody.

Motocykl se může vyhnout kolizi brzděním, vyhýbacím manévrem, brzdným a vyhýbacím manévrem nebo sklopením motocyklu na zem a opuštěním motocyklu [1]. Možnost odvrácení nehody závisí na součiniteli adheze, rychlosti motocyklu, technickém stavu motocyklu a zkušenostech motocyklisty. Při brzdění jen předním kolem je zachována plně směrová stabilita. Při brzdění ze svahu existuje nebezpečí, že vlivem velkého klopného momentu dojde k úplnému odlehčení zadního kola a dojde k pádu motocyklisty.

## 6 ZÁVĚR

Dizertační práce představuje podrobnou analýzu české, ale v převážné míře i zahraniční literatury na téma komplexní systém pro analýzu silničních nehod typu střet vozidla s motocyklem. Z dosavadních studií vyplývá, že hlavním faktorem způsobující dopravní nehody s účastí motocyklů je lidské zavinění. Nejčastější příčiny střetu motocyklu s vozidlem jsou pak nesprávný způsob jízdy, nedání přednosti v jízdě a nepřiměřená rychlost.

Jak je již zmiňováno v textu a jak z něho vlastně vyplývá, stav metodologie řešení střetu motocyklu s vozidlem je v současné době nedostačující, neboť jednotlivé metody používané pro vyhodnocování dopravních nehod nejsou vhodné pro jednotlivé typy střetu motocyklů

s vozidly. Tato dizertační práce v reakci na tuto situaci navrhuje různé metody řešení dopravních nehod aplikovatelné pro jednotlivé typy nehod a nabízí schéma, podle kterého mohou například soudní znalci při vyhodnocování dopravní nehody postupovat.

Jelikož doposud podobný návrh komplexního řešení různých typů střetů motocyklu s vozidly chyběl, mohla by být tato práce užitečnou příručkou s jak teoretickým, tak i praktickým využitím.

Výsledky dizertační práce budou mít přínos pro soudní inženýrství jako vědní obor, znaleckou praxi i pedagogickou činnost.

V teoretické rovině by tato dizertace a v ní obsažené poznatky mohly být využity jak studenty všech stupňů studia znalectví v oboru dopravních nehod, tak také všem zájemcům o tuto problematiku.

Dizertační práce je využitelná rovněž při pedagogické činnosti, protože může posloužit jako rozšiřující (prohlubující) učební pomůcka pro výuku v magisterském programu na ÚSI VUT v Brně či specializovaných kurzech zaměřených na znalectví dopravních nehod.

V rovině praktické by mohla poskytnout potřebné informace, podklady a návody pro znalce zabývající se vyhodnocováním střetů motocyklu, tak i pro účastníky praktického kurzu soudního znalectví dopravních nehod.

Experimentální část práce zahrnuje pět souborů autorových vlastních měření provedených na různých typech motocyklů a vozidel.

V prvním souboru měření jsou vstupní data získaná z měření zrychlení a zpomalení silničních motocyklů. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h bylo v rozmezí 3,4 až 4,2 m.s<sup>-2</sup> a průměrné brzdné zpomalení v rozmezí 5,4 až 9,3 m.s<sup>-2</sup>. Při brzdění bylo použito u různých motocyklů různých technik brzdění.

V druhém souboru bylo provedeno měření zrychlení motocyklů na jednotlivé převodové stupně. Zrychlení malých motocyklů dosahuje vzhledem k nízkým výkonům zpravidla nízkých hodnot, pro motocykl TMEC Betka 50 v rozmezí 1,1 až 1,6 m.s<sup>-2</sup> pro jízdu bez spolujezdce a 0,8 až 1,3 m.s<sup>-2</sup> pro jízdu se spolujezdcem. Opakem je zrychlení motocyklů o vysokých výkonech, kde hodnoty zrychlení dosahují podstatně vyšších hodnot, u motocyklu Honda CBR 1000F v rozmezí 4,4 až 5,0 m.s<sup>-2</sup> pro jízdu bez spolujezdce a 4,1 až 4,9 m.s<sup>-2</sup> pro jízdu se spolujezdcem.



Ve třetím souboru měření bylo měřeno brzdné zpomalení motocyklů. Motocykl Honda VFR 800 vybavený systémem ABS dosahoval průměrných hodnot brzdného zpomalení  $8,9 \text{ m.s}^{-2}$ , s vypnutým systémem ABS pak  $8,6 \text{ m.s}^{-2}$ . U motocyklu Honda CBR 1000 F vybaveným duálním systémem Dual CBS byla průměrná hodnota brzdného zpomalení za použití přední brzdy  $8,6 \text{ m.s}^{-2}$ , zadní brzdy  $6,2 \text{ m.s}^{-2}$  a obou brzd  $8,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

Ve čtvrtém souboru bylo provedeno měření příčného přemístění motocyklu Honda CBR 1000F. Hodnoty bočního zrychlení naměřených na motocyklu pomocí XL Metru byly přepočítány na hodnoty příčného zrychlení vzhledem k vozovce. U příčného přemístění při rychlosti 30 km/h dosahoval motocykl průměrného příčného zrychlení  $1,8 \text{ m.s}^{-2}$ , při 50 km/h byla průměrná hodnota příčného zrychlení  $2,0 \text{ m.s}^{-2}$  a při 60 km/h byla průměrná hodnota příčného zrychlení  $2,1 \text{ m.s}^{-2}$ .

Poslední soubor obsahoval měření zrychlení vozidel na první a druhý rychlostní stupeň. Vozidlo Honda Civic dosahovalo zrychlení  $3,1 \text{ m.s}^{-2}$  na první rychlostní stupeň a  $2,4 \text{ m.s}^{-2}$  na druhý rychlostní stupeň. Renault Megane dosahoval zrychlení  $2,9 \text{ m.s}^{-2}$  na první rychlostní stupeň a  $2,4 \text{ m.s}^{-2}$  na druhý rychlostní stupeň. Vozidlo VW Transporter T3 dosahovalo zrychlení  $2,3 \text{ m.s}^{-2}$  na první rychlostní stupeň a  $1,4 \text{ m.s}^{-2}$  na druhý rychlostní stupeň. Vozidlo VW Sharan dosahovalo zrychlení  $2,8 \text{ m.s}^{-2}$  na první rychlostní stupeň a  $2,6 \text{ m.s}^{-2}$  na druhý rychlostní stupeň. Všechna výše uvedená měření jsou brána jako průměrné hodnoty.

Soubor provedených měření v experimentální části může posloužit k doplnění a zpřesnění vstupních údajů pro analýzu silničních nehod za účasti motocyklů.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha č. 1: Vývojový diagram pro komplexní analýzu silniční nehody motocyklu s vozidlem – čelní a zadní střety
- Příloha č. 2: Vývojový diagram pro komplexní analýzu silniční nehody motocyklu s vozidlem – boční střety

## LITERATURA

- [1] BRADÁČ, A. a kol.: *Soudní inženýrství*. AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM s.r.o., Brno, 1999. ISBN 80-7204-133-9.
- [2] KASANICKÝ, G., KOHÚT, P.: *Analýza nehod jednostopových vozidel*. Žilinská universita v Žilině, Žilina, 2000. ISBN 80-7100-598-3.
- [3] KOVANDA, J., FIRST, J.: *Kolize osobního automobilu a motocyklu* (časopis Soudní inženýrství). 2005.
- [4] OSENDORFER, H., RAUSCHER, S.: *The development of a new class of two-wheeler vehicles*. Geneve, 1996.
- [5] BRADÁČ, A.: *Příčné přemístění vozidel při analýze silniční nehody*. 2005.
- [6] BURG, H., MOSER, A.: *Handbook of accident reconstruction*. 2014.
- [7] HUGEMANN, W.: *Unfall rekonstruktion*. 2007.
- [8] SEMELA, M.: *Analýza silničních nehod II*. 2012.
- [9] WILLIAMS, M. J., HOFFMANN, E. R.: *Motorcycle conspicuity and tradic accidents*. 1979.
- [10] DANIELLO, A., GABLER, H. C.: *Fatality risk in motorcycle collision with roadside objects in the United States*. 2010.
- [11] BÜROS, PRIESTER, WEYDE.: *Motorroller Crashversuche, Versuchsreihe*. Mai 2004.
- [12] PRIESTER, J., WILHELM, B., BRUTSCHER, B., KNOPP, W., SCHUFF, A., KÜHN, M., LANG, A.: *Unfälle mit krafträdern im Saarland*. 2015.
- [13] SEMELA, M.: *Analýza silničních nehod I*. 2012.
- [14] WALSH, D., WOOD, D., ALLIOT, R., GLYNN, C., SIMMS, C.: *Motorcycle capsizemechanisms and confidence limits for motorcycle capsizeme speed from slide/bounce distance*. 2009.
- [15] GLYNN, C., WOOD, D.: *Collision speed from individual vehicle deformation in motorcycle to car collision*. Dublin, 2014.
- [16] GLYNN, C., WOOD, D.: *Motorcycle reconstruction methods – speed from vehicle deformation and motorcycle slide distance*. Brno, 2016.
- [17] RÁBEK, V.: *Vybrané postupy analýzy dopravních nehod*. 2009.
- [18] ŠOTOL, M., HÖNIG, M., FIRST, J.: *Active and passive safety of motorcycles with reference to sitting geometry*. Praha, 2010.
- [19] TEOH, E.: *Effectiveness of Antilock Bracking Systems in Reducting Motorcycle Fatal Crash Rates*. Arlington, 2010.
- [20] BELMONTE, J., GRÉGOIRE, Y., ROBITAILLE, P.: *Evaluation of brake reaction times on a motorcycle*. Quebec, 2003.
- [21] GREEN, D.: *A comparison of Stopping Distance Performance for Motorcycles Equipped with ABS, CBS and Conventional Hydraulic Brake System*. California, 2006.
- [22] BELMONTE, J.: *Task analysis for intensive braking of motorcycle in a straight line*. Qebec, 2004.
- [23] SEDLÁK, R.: *Příčné přemístění motocyklu*. Brno, 2011.
- [24] ADAMSON, et al.: *Seventeen Motorcycle Craash Test into Vehicle and Barrier*. Detroit, 2002.
- [25] DEYERL, E., CHENG, L.: *Computer Simulation of Staged Motorcycle - Vehicle Collisions Using EDSMAC4*. California, 2008.
- [26] MUKHERJEE, et al., SAKURAI, et. al.: *Motorcycle - Car side impact simulation*. New Delhi, Japan.
- [27] CHAWLA, A., MUKHERJJE, S.: *Modeling of car - motor cycle crashes*. Japan.

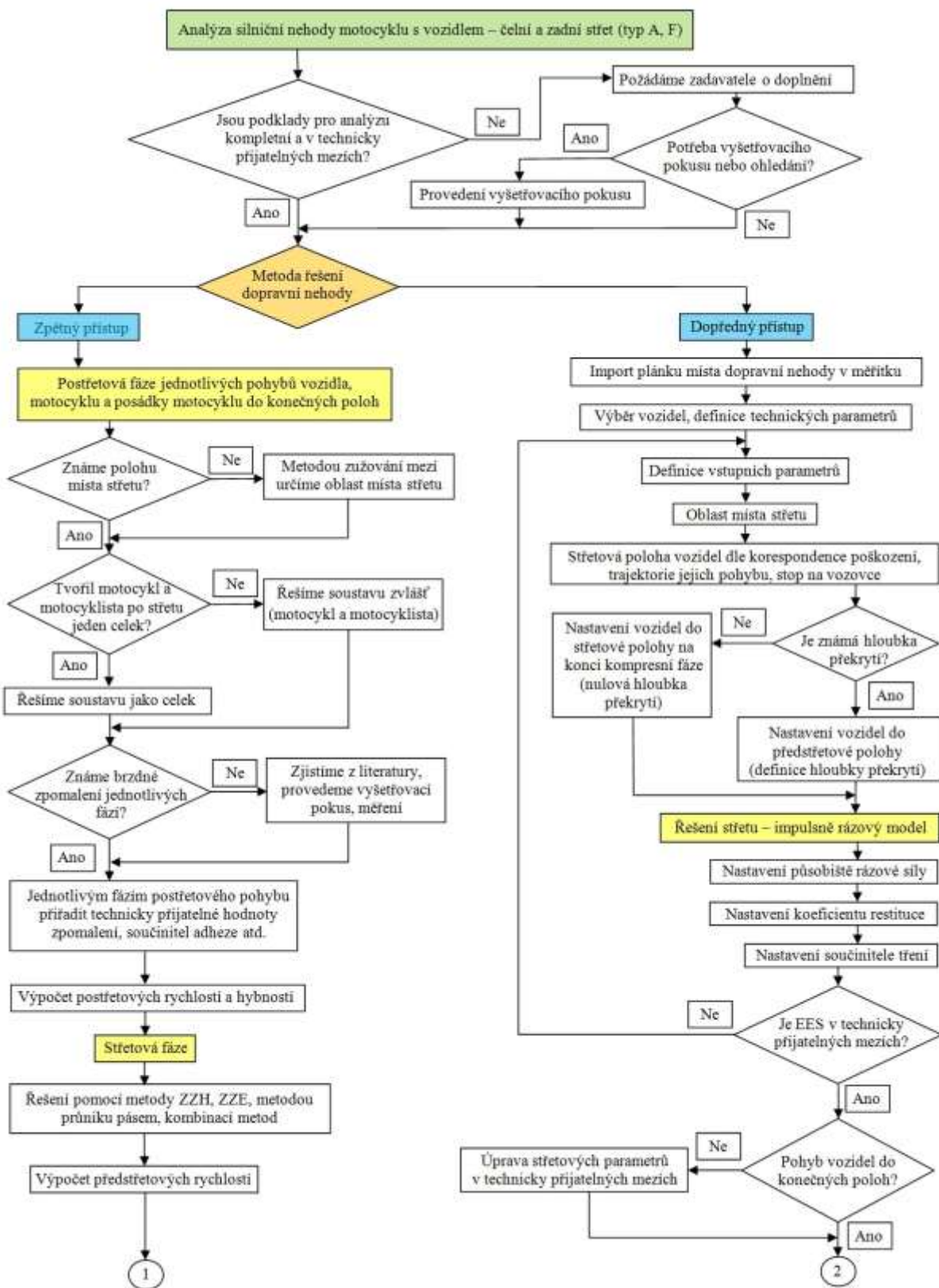
- [28] BECK, et al.: *Motorcycle collinear collisions involving motor vehicle equipped with event data recorders*. California.
- [29] JANSSEN, E.: *Standard and research activities conducted on motorcycles, infrastructure, protective clothing & helmets*. Netherlands, 2005.
- [30] INOUE, T., MIURA, et al.: *Experimental Collision Test on Motorcycles with Passenger Cars*. Japan, 1969.
- [31] SEVERY, D., BRINK, H., BLAISDELL, D.: *Motorcycle Collision Experiments*. Michigan, 1970.
- [32] HIRSCH, A., BOTHWELL, P.: *Air bag crash protection for motorcycle application*. Washington, 1973.
- [33] PETERSON, H., BOTHWELL, P.: *Dynamics of Motorcycle Impacts*. San Francisco, 1973.
- [34] GRANDEL, J., SCHAPER, D.: *Motorcycle Collisions with Passenger Cars – Analyses of Impact Mechanism, Kinematics, and Effectiveness of Full Face Safety Helmets*. Michigan, 1985.
- [35] BERG, F.: *Unfallsimulationen mit Motorrädern und Personenkraftwagen*. Germany, 1988.
- [36] HAPPIAN-SMITH, J., CHINN, B.: *Simulation of airbag restraint systems in forward impacts of motorcycles*. Detroit, 1990.
- [37] SPORNER, A., LANGWIEDER, K., POLAUKE, J.: *Passive Safety for Motorcyclists - from the Leg protector to the Airbag*. Detroit, 1990.
- [38] BERG, F., GRANDEL, J., QUECK, S.: *Motorrad mit nach vorne verlagerbarer Sitzbank*. Germany, 1991.
- [39] NAIRN, R. et al.: *Motor Cycle Safety Research and Literature Review: 1987 to 1991*. 1993.
- [40] GROSE, G., PATEL, B., OKELLO, J.: *The Development Of A Motorcycle Rider Airbag Restraint System*. 1996.
- [41] IJIMA, S., HOSONO, S., OTA, A., YAMAMOTO, T.: *Exploration of an airbag concept for a large touring motorcycle*. Japan, 1998.
- [42] YAMAZAKI, T., IJIMA, S., YAMAMOTO, T.: *Exploration Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle*. Japan, 2001.
- [43] CHAWLA, et al.: *FE Simulations of Motorcycle - Car Frontal Crashes, Validation and Observations*. 2003.
- [44] DEGUCHI, M.: *Modeling of a Motorcycle for Collision Simulation*. Japan.
- [45] SHIGERU, F.: *Crash analysis of motorcycle tire*. 2003.
- [46] RÜCKER, P., BERG, F.: *Analysis of the Benefit Potential of a Motorcycle Airbag to improve Rider Safety - Results from Accident Research and Crash Tests*. Paris, 2003.
- [47] BERG, F., RÜCKER, P., KÖNIG, J.: *Motorcycle Crash Tests – an Overview*, 2004.
- [48] *International Standards Organisation: ISO 13232: Motorcycles – Test and Analysis Procedures for Research Evaluation of Rider Protective Devices fitted to Motorcycles*. 1996.
- [49] JANSSEN, E.: *Standard and research activities conducted with regard to the compatibility of motorcycles with other vehicles*. 2005.
- [50] APPEL, H., MIDDELHAUVE, V., OTTE, D.: *Der Beitrag anderer Kraftfahrzeuge zur passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen*. Germany, 1986.
- [51] BERG, F., BÜRKLE, H., GROER, M.: *Reproduzierbarkeit von Motorrad-Crashtests am Beispiel der Konfiguration 413 nach ISO 13232*. München, 2000.
- [52] NAKATANI, et al.: *A methodology for motorcycle-vehicle crash simulation*. 2001.
- [53] Winterthur a DEKRA: *Accidents between cars and motorbikes*. 2004.

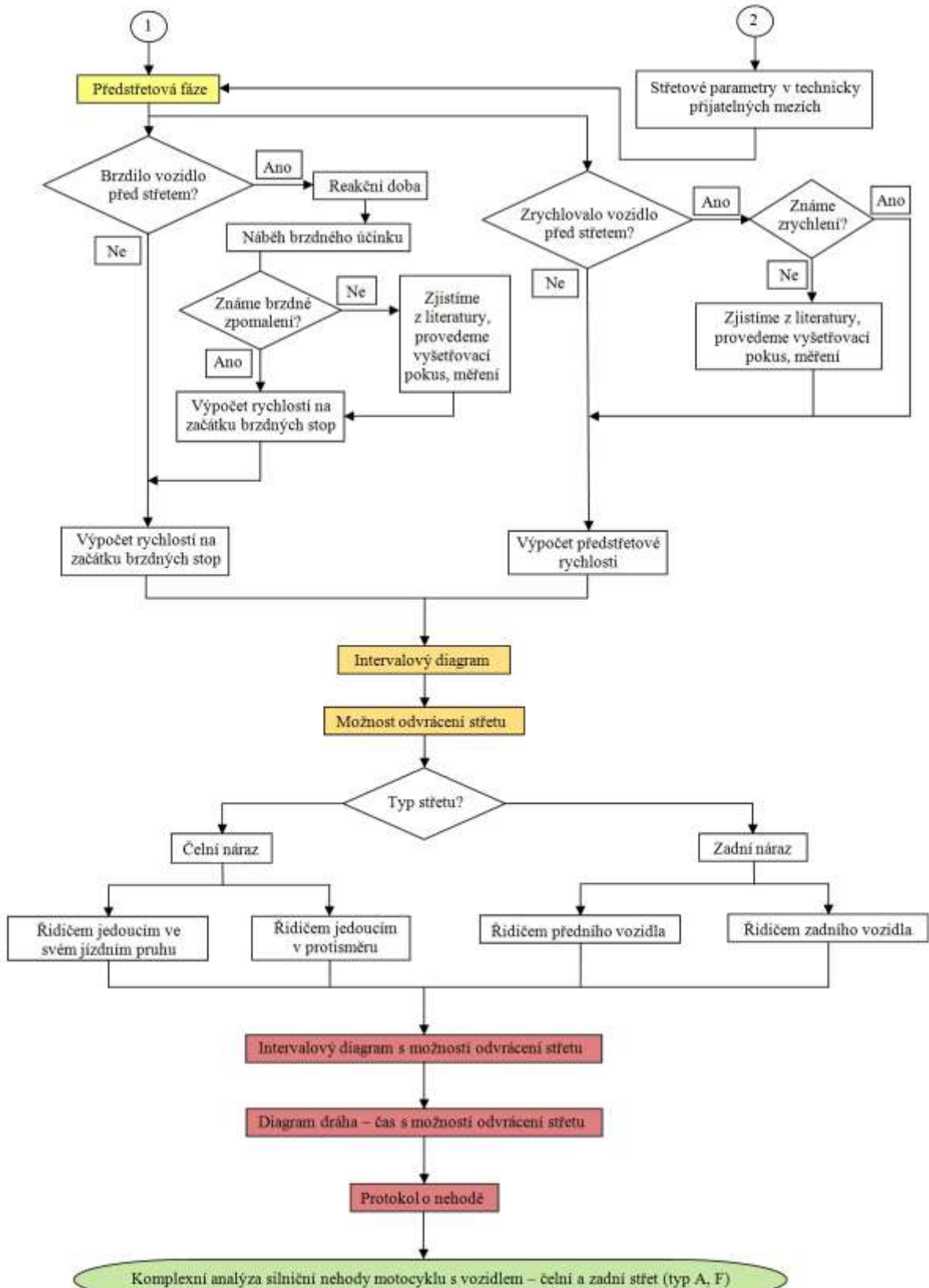
- [54] ACEM - *Association des Constructeurs Européens de Motocycles*. 2004.
- [55] MAIDS - *Motorcycle Accidents In Depth Study* [online], 2017 [cit. 1. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.maids-study.eu>.
- [56] MAIDS, *In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers*. 2009 Final Report 2.0.
- [57] BROOKS, et al.: *A driving simulator methodology for evaluating enhanced motorcycle conspicuity*. USA, Netherlands, Belgium.
- [58] KUROE, T.: *Exploratory study of an airbag concept for large touring motorcycle*. Japan.
- [59] DEGUCHI, et al.: *Simulation of motorcycle-car collision*. Japan, 2005.
- [60] MASORY, O, BARTLETT, W., WRIGHT, B.: *Motorcycle Accident Reconstruction Part I - Physical Models*. Florida, 2012.
- [61] MC NALLY, B., BARTLETT, W.: *Motorcycle Speed Estimates Using Conservation of Linear and Rotational Momentum*. Florida, 2002.
- [62] SMITH, J., FRANK, T., FOWLER, G.: *Full-Scale Moving Motorcycle into Moving Car Crash Testing for Use in Safety Design and Accident Reconstruction*. 2012.
- [63] FRANK, T., SMITH, J., WERNER, S.: *Motorcycle Rider Trajectory in Pitch-Over Brake Applications and Impacts*. 2008.
- [64] FRANK, T., SMITH, J., FOWLER, G.: *Simulating Moving Motorcycle to Moving Car Crashes*. 2012.
- [65] BARTLETT, W., BAXTER, A., ROBAR, N.: *Motorcycle braking tests I.P.T.M. data through 2006*. 2006.
- [66] PROCHOWSKI, L., PUSTY, T.: *Analysis of motorcyclist's body movement during a motorcycle impact against a motor car side*. Warsaw, 2013.
- [67] SMITH, et al.: *Full-Scale Moving Motorcycle into Moving Car Crash Testing for Use in Safety Design and Accident Reconstruction*. 2012.
- [68] BERG et al.: *Analysis of the passive safety of motorcycles using accident investigations and crash test*. Germany.
- [69] CLARKE et al.: *In Depth Study of Motorcycle Accidents*. London, 2004.
- [70] CRAEN et al.: *The roles of motorcyclists and car drivers in conspicuity-related motorcycle crashes*. Leidschendam, 2011.
- [71] DIAS, J., PAULINO, T.: *Powered two wheelers accident investigation and reconstruction*. Portugal.
- [72] HAMZAH et al.: *Motorcycle Structural Response in Simulated Vehicular Collision*. Malaysia, 2014.
- [73] Institut for Traffic Accident Research and Data Analysys. Japan, 2011.
- [74] PROCHOWSKI, L., PUSTY, T.: *Analysis of the rotation and lifting of a motorcycle following an impact against a motor car side*. Warsaw.
- [75] Danish Road Traffic Accidents Investigation Board: *Motorcycle Accidents*. Copenhagen, 2009.
- [76] HELMAN et al.: *The effect of two novel lighting configuration on the conspicuity of motorcycles*. New Zealand, 2014.
- [77] KOBAYASHI, Y., MAKABE, T.: *Crash detection method for motorcycle airbag system with sensors on the front fork*. Japan.
- [78] National Highway Traffic Safety Administration: *Fatal Two-Vehicle Motorcycle Crashes*. Washington, 2007.
- [79] PAINE et al.: *Daytime running lights for motorcycles*. Australia.
- [80] PECK, L., FOCHA, B., GLOEKLER, T.: *Motorcycle Sliding Friction for Accident Investigation*. USA.

- [81] NAMIKI, H., NAKAMURA, T., IJIMA, S.: *A computer simulation for motorcycle rider Indry evaluation incollision*. Japan.
- [82] HONDA MOTOR: *Motorcycle Airbag Systém*. 2006.
- [83] McNALLY, B., BARTLETT W.: *Motorcycle Sliding Coefficient of Friction Tests*. Jacksonville.
- [84] McNALLY, B.: *Summary of Motorcycle Friction Test*.
- [85] FRICKE, L.: *Traffic AccidentReconstruction*. Illinois, 1990.
- [86] SEARLE, J., SEARLE, A.: *The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclist, etc., Following a Road Accident*. 1983.
- [87] TURNER et al.: *Development of a statewide motorcycle safety plan for Texas*. Texas, 2013.
- [88] HURT, H.: *Motorcycle accident Cause Factors and Identification of Countermeasures Volume I*. California, 1981.
- [89] COFELICE, N., CIUBOTARU, L.: *Motorcycle accident reconstruction in VL motion*. 2009.
- [90] WOOD, D., GLYNN, C., WALSH, D.: *Motorcycle to car and scooter to car collisions: speed estimation from permanent deformation*. Dublin, 2008.
- [91] FRIEDEL, D.: *Analýza doby příčného přemístění motocyklů*. Diplomová práce, Brno, VUT v Brně ÚSI, 2013.
- [92] PRIESTER, J.: *CD - Nárazové skúšky motocykel – osobné motorové vozidlo*. Saarbrücken, 2001.
- [93] PRIESTER, J., WEYDE, M.: *Motocykel – EES – nárazové skúšky 5/2001*. Saarbrücken, 2001.
- [94] *Výzkum a vývoj – Honda Goldwing* [online], 2013 [cit. 7. 5. 2013]. Dostupné z: <http://www.honda.cz>.
- [95] *Airbag pro motorkáře* [online], 2013 [cit. 1. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.autoweb.cz>.
- [96] *Anti-dive systém* [online], 2012 [cit. 23. 6. 2012]. Dostupné z: <http://www.classicmotorcycles.about.com>.
- [97] VLK, F. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vydání, Brno: František Vlk, 2004, ISBN 80-239-1601-7.
- [98] *Brzdový systém dual CBS* [online], 2013 [cit. 17. 5. 2013]. Dostupné z: <http://www.motomohelnice.cz>.
- [99] LINDENAU, M., KÜHN, M.: *Intelligente Systeme zur Verbesserung der Motorradsicherheit*. Berlin, 2014.
- [100] *Statistiky dopravních nehod* [online], 2017 [cit. 16. 10. 2017]. Dostupné z: <http://www.besip.cz>.
- [101] *Statistiky dopravních nehod* [online], 2017 [cit. 28. 10. 2017]. Dostupné z: <http://www.policie.cz>.
- [102] HUANG, B., PRESTON, J.: *A literature Review on Motorcycle Collisions Final Report*. Oxford, 2004.
- [103] PORADA, V. a kol.: *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha: Linde Praha a.s., 2000.
- [104] BRADÁČ, A. a kol.: *Příručka znalce I. a II. Analytika silničních nehod. 1. a 2. díl*. Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1985, Publikační číslo 60/858 A/85.
- [105] BRADÁČ, A., KREJČÍŘ, P. a kol.: *Znalecký standard č. III. Základní postupy pro technickou analýzu průběhu a příčin silničních dopravních nehod*. Nevydáno. Brno: Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, 1990. Aktualizováno 2002.

- [106] BRADÁČ, A., KREJČÍŘ, P., GLIER, L.: *Znalecký standard č. IV. Technická analýza nárazu vozidla na překážku*. Brno: Nakladatelství VUT, 1991.
- [107] BURG, H., MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion – Unfallaufnahme – Fahrdynamik – Simulation*. 1. vydání 2007, Vieweg, ISBN 978-3-8348-0172-2.
- [108] *Task analysis for intensit braking of a motorcycle in a straight line* [online], 2012 [cit. 28. 4. 2012]. Dostupné z: <http://www.promocycle.com>.
- [109] KASANICKÝ, G.: *Teória pohybu a ráze při analýze a simulacii nehodového deja*. Žilinská universita v Žilině, Žilina, 2001, ISBN 80-7100-597-5.
- [110] KASANICKÝ, G.: *Súčasné perspektívne možnosti analýzy dopravných nehôd*. 1. vydání, Žilinská universita v Žilině – Ústav súdneho inženierstva, Žilina, 1999.
- [111] MELEGH, G.: *AutoExpert – CD EES 4.0*. Hungary, 2005 – katalog EES vozidel.
- [112] JANSSEN, E.: *Advanced Passive Safety Network – APSN, Standard and research activities conducted on motorcycles, infrastructure, protective clothing and helmets* [online], 2012 [cit. 7. 2. 2005]. Dostupné z: <http://www.passivesafety.com>.
- [113] PROCHOVSKI L., UNARSKI J., WACH W., WICHER J.: *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. 1. Vydání, Varšava (PL), 2008, ISBN 978-83-206-1688-0.
- [114] *Reviw of motorcycle brake standards* [online], 2012 [cit. 28. 4. 2012]. Dostupné z: <http://www.nhtsa.dot.gov>.
- [115] Virtual Crash Technical Manual – VIZI 2005 – 2009.
- [116] *Virtual Crash* [počítačový program]. Dostupné z: <http://www.vcrash3.com>.
- [117] *PC Crash* [počítačový program]. Dostupné z: <http://www.pc-crash.com>.
- [118] *Analyzer Pro* [počítačový program]. Dostupné z: <http://www.english.analyzer.at>.
- [119] SLEPÁNEK, P.: *Měření zrychlení vozidel při rozjezdu na první a druhý rychlostní stupeň*. Konference JuFoS, 2010.
- [120] SLEPÁNEK, P.: *Příčné přemístění motocyklu*. Konference JuFoS, 2012.
- [121] SEDLÁK, R., SLEPÁNEK, P.: *Zrychlení/zpomalení motocyklů a automobilů*. Propagační materiál ÚSI ve spolupráci se závodním týmem Okruhari.cz. VUT v Brně, ÚSI. Brno, 2012.

Příloha č. 1:







Příloha č. 2:

