

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

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ALBERT BRADÁČ, PH.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

student(ka): Ing. Petr Slepánek

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

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

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

V anglickém jazyce

Comprehensive system for road accident analysis – collision between vehicle and motorcycle

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 odborné 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 nehôd jednostopových vozidiel, Žilinská universita v Žilině, 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

Vedoucí dizertační práce: Ing. Albert Bradáč, Ph.D.

Termín odevzdání dizertační práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 16. 7. 2013

L.S.

doc. Ing. Robert Kledus, Ph.D.

Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Dizertační práce popisuje problematiku komplexního systému pro analýzu silničních nehod, konkrétně metodiku pro řešení střetu vozidla s motocyklem. Jsou zde popsány statistiky dopravních nehod motocyklů, bezpečnostní prvky motocyklů, základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem, návrh metodiky pro řešení dopravních nehod mezi vozidly a motocykly. V práci je proveden soubor různých měření, který slouží k doplnění a zpřesnění vstupních údajů pro analýzu silničních nehod za účasti motocyklů. Práce obsahuje data získaná z měření.

Abstract

The thesis describes the problems of a complex system for analysis of road accidents, specifically the methodology for solving the collision between vehicle and motorcycle. There are statistics described motorcycle accidents, motorcycle safety features, the basic types of collision positions between vehicles and motorcycles, design methodology for solving with traffic accidents between vehicles and motorcycles. The work is performed a set of different measurements used to supplement and refine the input data for the analysis of road accidents involving motorcycles. The work contains data obtained from measurements.

Klíčová slova: střet motocyklu, střet vozidla, silniční nehoda, pasivní bezpečnost

Key words: collision of motorcycle, collision of vehicle, road accidents, passive safety

Bibliografická citace

SLEPÁNEK, P. *Komplexní systém pro analýzu silničních nehod typu střet vozidla s motocyklem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2013. 135 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 16. 7. 2013

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 a všem svým blízkým za podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

Úvod	11
1 Stávající stav dané problematiky.....	13
1.1 Statistiky dopravních nehod motocyklů.....	13
1.1.1 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2008	13
1.1.2 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2009	14
1.1.3 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2010	14
1.1.4 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2011	15
1.1.5 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2012	15
1.1.6 Shrnutí statistik nehody motocyklistů	16
1.2 Bezpečnostní prvky motocyklů	17
1.2.1 Pasivní prvky bezpečnosti.....	17
1.2.2 Aktivní prvky bezpečnosti	24
1.3 Dopravní nehoda.....	27
1.3.1 Základní znaky dopravní nehody	28
1.3.2 Rozdělení silničních dopravních nehod.....	29
1.3.3 Příčiny a podmínky dopravní nehodovosti	32
1.4 Obvyklá jízda motocyklisty.....	32
1.4.1 Před jízdou	32
1.4.2 Manévrování s motocyklem.....	33
1.4.3 Jízda na motocyklu	33
1.4.4 Několik rad pro bezpečnou jízdu:	33
1.4.5 Jízda ve dvou.....	34
1.4.6 Brzdění.....	35
1.4.7 Vyhýbání.....	36
1.4.8 Průjezd zatáčkou.....	36
1.4.9 Předjíždění	37
1.4.10 Smyk	37
1.5 Rozdělení nehod motocyklů	38
1.5.1 Rozdělení střetů.....	38
1.5.2 Fáze střetu	39
1.5.3 Fáze nehodového děje.....	40
1.5.4 Zjednodušený kinematický výpočet odhozu motocyklisty	41
1.5.5 Základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem	43
1.5.6 Nehody motocyklů a jejich zvláštnosti.....	45
2 Současné metody a postupy pro řešení dopravních nehod za účasti motocyklů.....	47
2.1 Metody zpětného výpočtu	48
2.1.1 Výpočet rychlosti motocyklu na základě brzdných stop	48
2.1.2 Výpočet maximální rychlosti průjezdu zatáčkou	49
2.1.3 Výpočet bočního přemístění motocyklu	50
2.1.4 Výpočet minimálního času pádu motocyklu.....	56
2.1.5 Výpočet rychlosti motocyklu na základě dřecích stop motocyklu.....	56
2.1.6 Výpočet nárazové rychlosti motocyklu při nárazu na překážku	57
2.1.7 Stanovení nárazové rychlosti jednostopého vozidla.....	59
2.1.8 Stanovení nárazové rychlosti na základě odhození střepin.....	59
2.1.9 Nárazové zkoušky motocyklů – využití pro stanovení nárazové rychlosti	59

2.1.10 Stanovení nárazové rychlosti na základě trvalého zkrácení rozvoru.....	65
2.1.11 Stanovení nárazové rychlosti vozidla do jednostopého vozidla	74
2.2 Metody dopředného výpočtu.....	75
3 Komplexní systém analýzy střetu motocyklu s vozidlem.....	76
3.1 Stopy na vozovce.....	76
3.1.1 Stopy jízdy vozidla	76
3.1.2 Brzdné stopy.....	77
3.1.3 Blokovací stopy.....	78
3.1.4 Smykové stopy	78
3.1.5 Dřecí stopy	79
3.1.6 Ostatní stopy.....	79
3.1.7 Stopy s ABS	80
3.2 Brzdění	80
3.2.1 Součinitel adheze.....	81
3.2.2 Zpomalení motocyklů	82
3.2.3 Příklad dosažených zpomalení u různých typů motocyklů.....	83
3.2.4 Zpomalení vozidel	85
3.3 Zrychlení	86
3.3.1 Zrychlení vozidel.....	86
3.3.2 Zrychlení motocyklů.....	87
3.4 Reakční doba	87
3.5 Odezva vozidla, motocyklu.....	87
4 Postup řešení nehody - střet vozidla s motocyklem.....	88
4.1 Systematizace střetů vozidla s motocykly.....	88
4.1.1 Střety při nedání přednosti v jízdě - typ A.....	89
4.1.2 Střety odbočovací - typ B	89
4.2 Postup řešení dopravní nehody motocyklu s vozidlem pomocí simulačního programu	89
4.2.1 Podrobné zaměření místa dopravní nehody.....	90
4.2.2 Osnova vyšetřovacího pokusu resp. znaleckého experimentu.....	90
4.2.3 Zadání vstupních podkladů	91
4.2.4 Řešení střetu	93
4.2.5 EES	96
4.2.6 Analýza nehodového děje v jednotném čase	100
4.2.7 Možnost odvrácení střetu	100
4.3 Otázky zadávané znalcům v případě střetu vozidla s motocyklem	101
4.4 Návrh otázek pokládaných znalci v případě střetu vozidla s motocyklem	101
4.5 Návrh skladby znaleckého posudku v případě střetu vozidla s motocyklem.....	102
4.6 Shrnutí stávajícího stavu	102
5 Experimentální část.....	103
5.1 Měření zrychlení a zpomalení motocyklů.....	103
5.1.1 Měřicí zařízení.....	103
5.1.2 Měřené motocykly	103
5.1.3 Místo měření	107
5.1.4 Klimatické podmínky	107
5.1.5 Výsledky měření.....	107
5.1.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot	112
5.2 Měření příčného přemístění motocyklu	112
5.2.1 Měřicí zařízení.....	113

5.2.2	Měřený motocykl.....	115
5.2.3	Místo měření	115
5.2.4	Počet měření.....	116
5.2.5	Klimatické podmínky	116
5.2.6	Postup měření.....	116
5.2.7	Montáž XL METRU™ PRO GAMMA na motocykl	117
5.2.8	Výsledky měření.....	117
5.3	Měření zrychlení vozidel při rozjezdu na první a druhý rychlostní stupeň.....	121
5.3.1	Měřicí zařízení.....	122
5.3.2	Měřená vozidla	122
5.3.3	Místo měření	124
5.3.4	Počet měření.....	124
5.3.5	Klimatické podmínky měření.....	125
5.3.6	Postup měření.....	125
5.3.7	Výsledky měření.....	125
5.3.8	Porovnání hodnot.....	131
6	Závěr.....	132
	Literatura.....	134

ÚVOD

Dizertační práce s názvem Komplexní systém pro analýzu silničních nehod typu střet vozidla s motocyklem velice úzce souvisí s analýzou silničních nehod. Analýza silničních nehod se v současné době řeší nejčastěji s podporou simulačních programů, kterých je celá řada, mezi nejpoužívanější patří Virtual CRASH, PC-Crash, a další.

Dopravní nehody s účastí motocyklistů patří dlouhodobě mezi nejvíce závažné. K nejvíce zraněním 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, smrtí. Proto je velmi důležité používání prvků pasivní bezpečnosti – přilba, vhodné oblečení s reflexními prvky, které jsou součástí aktivní bezpečnosti, pevná obuv, rukavice, atd. Pokud však motocyklista jede riskantně - nepřizpůsobí rychlost své jízdy stavu pozemní komunikace, hustotě provozu, dohlednosti (do zatáčky, přes překážku), počasí, apod., je veškerá výbava nedostatečná.

Jedním z nejúčinnějších způsobů zabránění vzniku zranění motocyklisty je v současné době použití airbagu, kdy při nárazu motocyklu do vozidla nebo do překážky nedojde k primárnímu kontaktu motocyklisty s karosérií vozidla, při tomto kontaktu dochází ke vzniku nejzávažnějších poranění motocyklisty. Při sekundárních kontaktech motocyklisty s vozovkou zpravidla nedochází, u dobře vystrojených motocyklistů, ke vzniku závažných zranění. Jako vhodnou ochranou proti poranění motocyklisty při pádu z motocyklu je speciální airbag instalovaný přímo do kombinézy motocyklisty.

V teoretické části práce je shrnut Stávající stav dané problematiky, kde jsou uvedeny statistiky dopravních nehod za účasti motocyklů, bezpečnostní prvky motocyklů, základní znaky a rozdělení dopravních nehod, obvyklá jízda motocyklisty, základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem. Dále jsou v práci zpracovány Současné metody a postupy pro řešení dopravních nehod mezi vozidly a motocykly. V kapitole Komplexní systém analýzy střetu motocyklu s vozidlem jsou popsány stopy, které se vyskytují na vozovce v případě dopravních nehod, vstupní data ohledně brzdění a zrychlení. V následující kapitole, která nese název Postup řešení nehody – střet vozidla s motocyklem je uvedena systematizace střetů vozidla s motocyklem, podrobný postup řešení dopravní nehody s podporou simulačního programu Virtual CRASH, návrh otázek

pokládáných znalci a návrh skladby znaleckého posudku v případě střetu vozidla s motocyklem.

V experimentální části práce je proveden soubor různých měření, který slouží k doplnění a zpřesnění vstupních údajů pro analýzu silničních nehod za účasti motocyklů. Práce obsahuje data získaná z měření zrychlení a zpomalení motocyklů, měření příčného přemístění motocyklu a měření zrychlení vozidel na první a druhý rychlostní stupeň. Naměřená data mohou být užitečná pro analýzu silničních nehod za účasti motocyklů.

1 STÁVAJÍCÍ STAV DANÉ PROBLEMATIKY

1.1 Statistiky dopravních nehod motocyklů

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Počet nehod motocyklistů	1711	1925	1818	2169	3406	3170	-	-	2971
Počet usmrcených motocyklistů	56	64	75	115	101	88	96	78	90

Tab. 1: Vývoj dopravních nehod zaviněných řidiči motocyklů (pro rok 2010 a 2011 počet nehod za účasti motocyklů nezjištěn)

1.1.1 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2008

V roce 2008 došlo v ČR k 3406 nehodám motocyklistů, 180 nehodám mopedů a 434 nehodám malých motocyklů. Byl zaznamenán druhý nejvyšší počet usmrcených řidičů motocyklů (101 osob) za období 2004 až 2008. Oproti roku 2007 (115 osob) došlo k poklesu o 14 usmrcených osob. Zraněno bylo celkem 1 329 motocyklistů.

- Téměř 10% všech usmrcených při dopravních nehodách zaviněných řidiči motorových vozidel jsou motocyklisté.
- Řidiči motocyklů, včetně řidičů malých motocyklů, zavinili v roce 2008 2 % z celkového počtu dopravních nehod.
- Z celkového počtu nehod za účasti motocyklu zavinili motocyklisté 46 % dopravních nehod.
- Nejčastěji zavinili dopravní nehodu motocyklisté řídící motocykl vyrobený v letech 2005 až 2009.
- Nejčastěji zavinili dopravní nehodu motocyklisté v objemové třídě 460–850 ccm.
- Nejvíce usmrcených motocyklistů bylo u motocyklů objemové třídy 860–1250 ccm, nejméně v objemové třídě do 100 ccm.
- V roce 2008 umíralo nejvíce řidičů motocyklů (101) a „pouze“ v 7 případech umírali spolujezdci na motocyklech. To znamená, že z celkového počtu usmrcených motocyklistů bylo 93,1 % řidičů motocyklů, zbytek spolujezdci na motocyklech. [22]

1.1.2 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2009

V roce 2009 bylo v ČR celkem 3170 dopravních nehod s účastí motocyklů, malých motocyklů a mopedů. Celkem 1065 dopravních nehod bylo zaviněno motocyklisty. Usmrceno bylo celkem 88 osob (76 řidičů motocyklů, 4 spolujezdci na motocyklu, 5 řidičů malých motocyklů a 3 řidiči mopedů) a 2 636 osob bylo zraněno.

- Motocyklisté zavinili v roce 2009 celkem 55,6 % dopravních nehod, na kterých měli motocyklisté účast (to znamená, že každá 1,8. dopravní nehoda s účastí motocyklů, malých motocyklů a mopedů byla zaviněna řidičem jednostopého motorového vozidla).
- 75 % usmrcených při nehodách s účastí motocyklistů bylo usmrceno při dopravních nehodách zaviněných řidiči motocyklů, malých motocyklů nebo mopedů, přičemž 66,5 % usmrcených osob (58 osob) bylo usmrceno při dopravních nehodách zaviněných řidiči motocyklů nad 50 ccm.
- Usmrcení při dopravních nehodách s účastí motocyklů, malých motocyklů a mopedů tvořili v roce 2009 10,6 % z celkového počtu usmrcených osob.
- Usmrcení při dopravních nehodách zaviněných řidiči motocyklů, malých motocyklů a mopedů tvořili 7,68 % z celkového počtu usmrcených při dopravních nehodách zaviněných v roce 2009 řidiči motorových vozidel.

Od roku 2000 do roku 2009 včetně bylo při dopravních nehodách zaviněných řidiči motocyklů, malých motocyklů a mopedů usmrceno celkem 781 osob, 4092 osob bylo těžce zraněno a 12 113 osob bylo lehce zraněno. [22]

1.1.3 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2010

V roce 2010 zavinili motocyklisté v ČR 1290 dopravních nehod a celkem bylo usmrceno 96 motocyklistů.

- V roce 2010 byl podíl motocyklistů nejvyšší (13 %), naopak v roce 1994 nejnižší (5 %).
- V roce 2010 bylo usmrceno 80 řidičů motocyklů, 9 spolujezdců na motocyklu, 3 řidiči malých motocyklů a 4 řidiči mopedu.
- Z 80 usmrcených řidičů motocyklu jich bylo usmrceno 31 v obci a 49 mimo obec.

- Z 9 usmrcených spolujezdců na motocyklu byli usmrceni 2 v obci a 7 mimo obec. [9]

1.1.4 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2011

V roce 2011 zavinili motocyklisté v ČR 1446 dopravních nehod. Bylo usmrceno 78 motocyklistů, přesněji řečeno 65 řidičů motocyklu, 7 spolujezdců na motocyklu, 4 řidiči malých motocyklů, 1 spolujezdec na malém motocyklu a jeden řidič mopedu.

- Závažnost dopravních nehod motocyklistů v roce 2011 činila 28,1 usmrcených osob na 1 000 dopravních nehod.
- V roce 2011 byl zaznamenán pokles dopravních nehod motocyklů vůči roku 1993 v řádu 20 %.
- V celém období 1993 až 2011 je zaznamenán průměrný pokles usmrcených motocyklistů jen o 1 %.
- Na celkovém počtu usmrcených osob v období 1993 až 2011 činil podíl motocyklistů 8 %, což znamená, že přibližně každá 12. až 13. usmrcená osoba byla motocyklista.
- Nejčastěji zavinili dopravní nehodu motocyklisté řídící motocykl vyrobený v letech 2005 až 2009. [22]

1.1.5 Dopravní nehody motocyklistů v roce 2012

V roce 2012 došlo v ČR ke 2971 nehodám motocyklistů, kdy zemřelo 90 motocyklistů. V roce 2012 zavinili motocyklisté v ČR 1308 dopravních nehod.

- V roce 2012 bylo usmrceno 90 motocyklistů, tj. o 12 více než v roce 2011.
- Za období 1993 až 2012 je zaznamenán průměrný pokles usmrcených motocyklistů jen o 1,1%.
- Na celkovém počtu usmrcených osob v období 1993 až 2012 činil podíl motocyklistů 8,4%, což znamená, že přibližně každá 12. usmrcená osoba byla motocyklista.
- Závažnost dopravních nehod motocyklistů v roce 2012 činila 30,3 usmrcených osob na 1 000 dopravních nehod. To znamená, že dopravní nehody motocyklistů vykazují 3,6x vyšší závažnost než je celkový průměr, jedná se o vůbec nejvyšší

závažnost ze všech druhů vozidel. Nejčastěji zavinili dopravní nehodu motocyklisté řídící motocykl vyrobený v letech 2005 až 2009.

- Z celkového počtu dopravních nehod s účastí motocyklistů (2 971) bylo 1 308 dopravních nehod zaviněno motocyklisty, tj. 44 %. Ve 44 případech (48,9 %) z 90 usmrcených motocyklistů byl viníkem dopravní nehody právě motocyklista. [22]

1.1.6 Shrnutí statistik nehody motocyklistů

K nejčastějším příčinám dopravních nehod, které zavinění motocyklisté patří nesprávný způsob jízdy (předjíždění, nedání přednosti v jízdě, apod.) a nepřiměřená rychlost.

Nejčastější zdravotní důsledky dopravních nehod motocyklistů:

- otevřené, komplikované zlomeniny dolních končetin,
- vážné úrazy hlavy, zlomeniny obličejových kostí, a to i přes použití přilby,
- úrazy páteře,
- zlomeniny pánve.

Motocyklisté by si měli uvědomit, že:

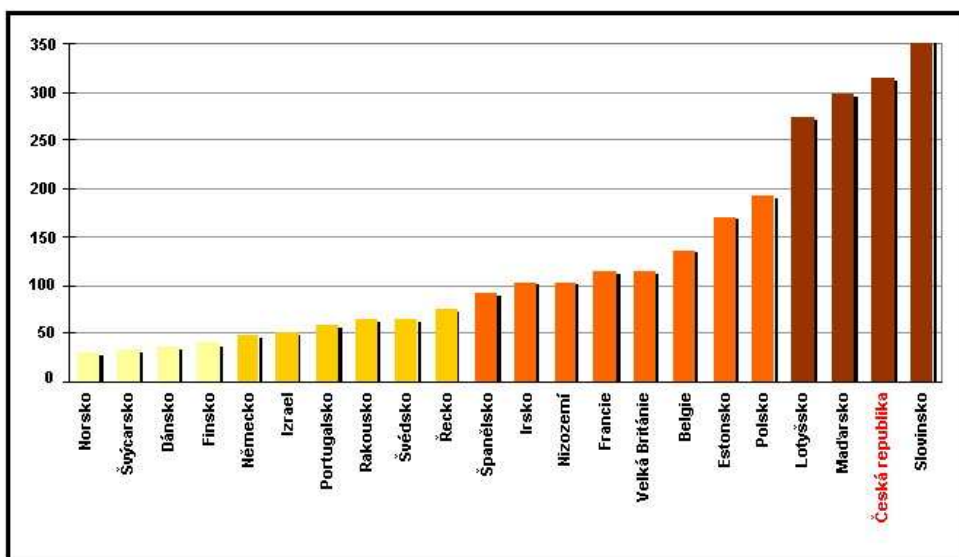
- patří mezi nejzranitelnější účastníky silničního provozu,
- brzdná dráha motocyklu má určitou délku, především ve velkých rychlostech,
- při jízdě je nutné dbát zvýšené opatrnosti, pokud se na vozovce vyskytuje:
 - olejové skvrny,
 - nafta,
 - spadané listí,
 - dochází ke změně povrchu vozovky (například asfalt – beton),
 - dilatační spáry na mostech,
 - povrch je pokrytý dlažebními kostkami.

Řidiči ostatních motorových vozidel by si měli uvědomit, že:

- motocyklisté jezdí velmi často vyšší než dovolenou rychlostí,
- často předjíždějí jak zleva, tak i zprava,
- motocyklisté jsou snadno přehlédnutelní,
- motocykl je nestabilní a motocyklista jej nemusí vždy zvládnout,

- při předjíždění motocyklu je nutné dodržovat bezpečný boční odstup.

Během jízdy je nutné stále předvídat, zejména si uvědomit existenci slepých úhlů zpětných zrcátek automobilů a také skutečnost, že jsou motocyklisté snadno přehlédnutelní.



Obr. 1: Graf znázorňuje počet usmrcených řidičů motocyklů připadajících na 1 miliardu ujetých kilometrů. Statistické údaje jsou platné pro rok 2006 s výjimkou Belgie, Polska a Slovinska (rok 2005), Portugalska (rok 2001) a Nizozemí (rok 2000)

1.2 Bezpečnostní prvky 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.

1.2.1 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).

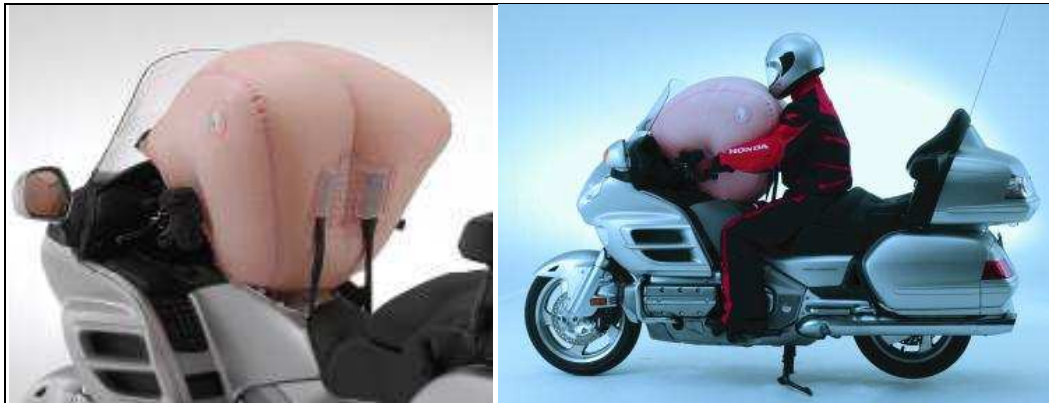
Mezi základní prvky pasivní bezpečnosti motocyklů patří:

- airbag,

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

1.2.1.1 Airbag

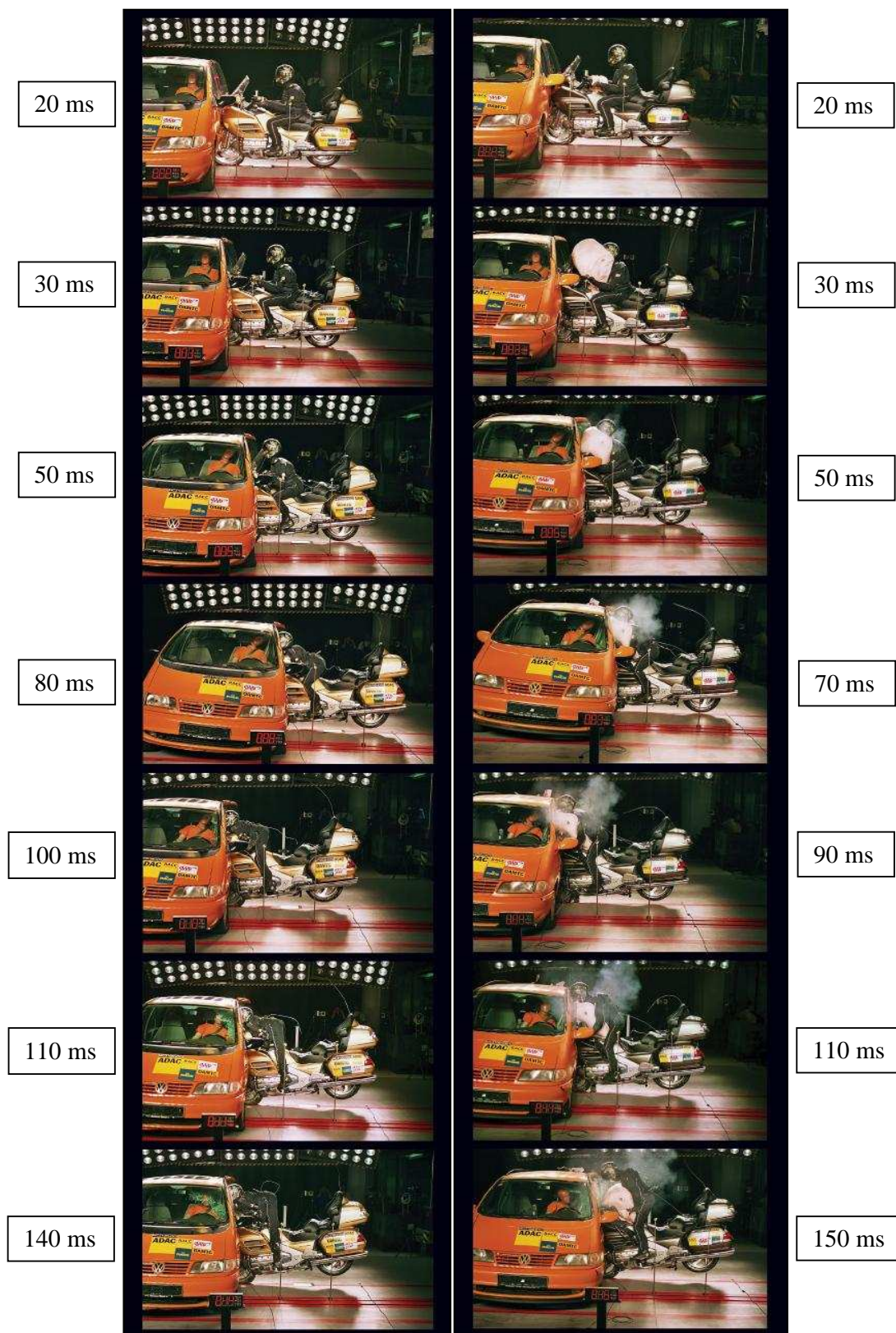
Airbasy používané u motocyklů slouží k usměrnění pohybu těla motocyklisty po střetu a zabraňují kontaktu části těla s vozidlem. K nejzávažnějším zraněním dochází při primárním kontaktu motocyklisty s vozidlem. Naopak při sekundárních kontaktech těla motocyklisty s vozovkou většinou k závažným zraněním nedochází (podmínkou je dobrá výstroj motocyklisty). Jedním z nejúčinnějších způsobů zabránění vzniku zranění motocyklisty při nárazu do vozidla, respektive do překážky, je v současnosti airbag. [24]



Obr. 2: Airbag na motocyklu Honda Goldwing



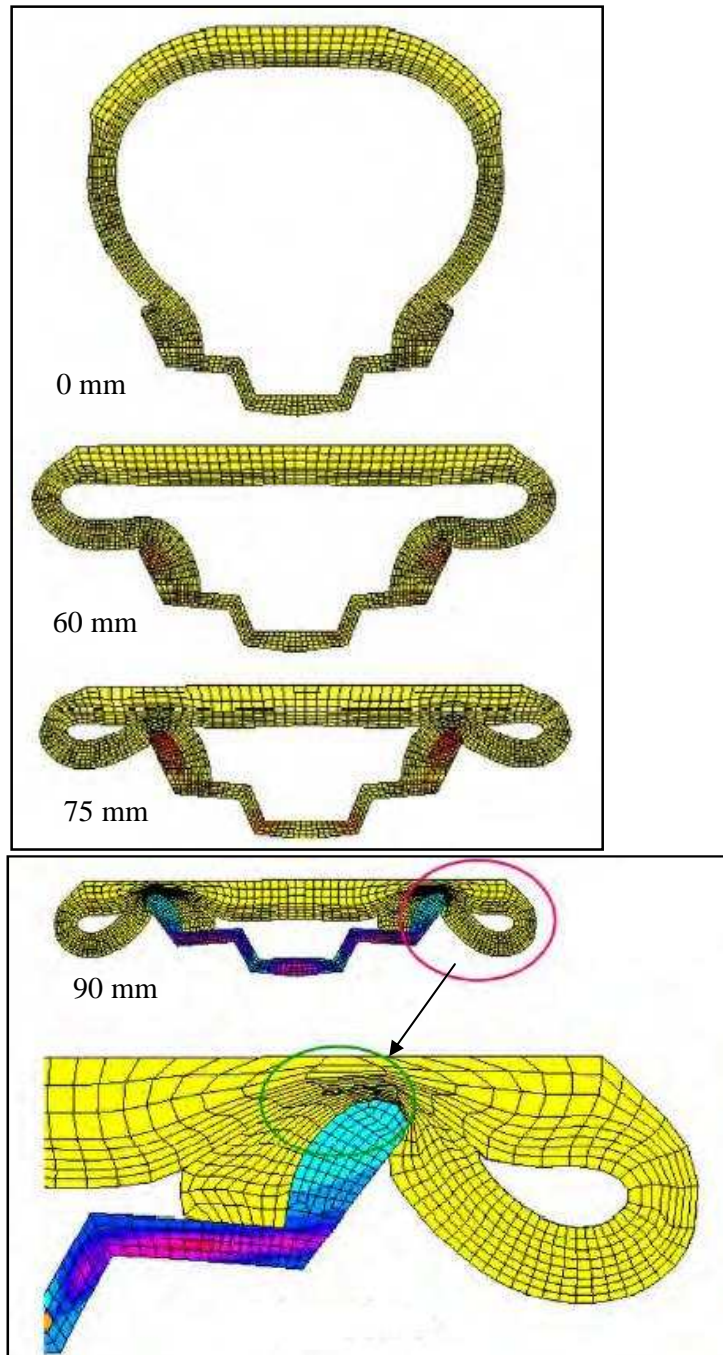
Obr. 3: Aktivovaný airbag na motocyklu Honda Goldwing při střetu s vozidlem



Obr. 4: Crash test motocyklu Honda Goldwing bez airbagu a s airagem

1.2.1.2 Absorbování energie předním kolem motocyklu

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. [23]



Obr. 5: Komprese pneumatiky při střetu

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

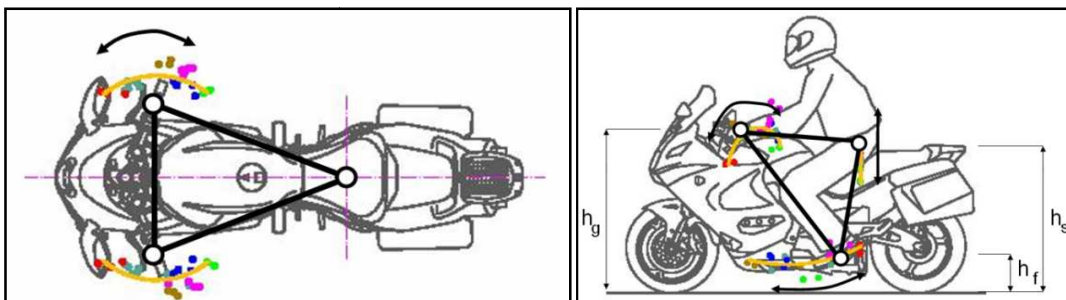
1.2.1.3 Geometrie posezu motocyklisty

Geometrie posezu motocyklisty na motocyklu je velmi důležitým prvkem pasivní a aktivní bezpečnosti, která vyplývá ze samotného řízení, ovládání a bezpečnostních podmínek. Co se týče pasivní bezpečnosti, parametry testované geometrie posezu motocyklisty, dávají předpoklady k poloze motocyklisty na motocyklu a tvoří kontaktní zóny jeho těla s motocyklem. Následně jsou uvedeny tři různé příklady čelního střetu motocyklu do automobilu, prvním motocyklem je silniční motocykl, druhé cestovní enduro a třetí je klasický motocykl.

Jedním z nejdůležitějších prvků bezpečnosti je manévrování s motocyklem, to je velmi ovlivněno polohou posezu na motocyklu. Studie zabývající se ergonomií a vztahem mezi motocyklem a motocyklistem se nazývají HMI (Human Machine Interaction). Tato studie se zejména soustředí na optimální posez motocyklisty na motocyklu.

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

Geometrie posezu je definována kontaktními body mezi motocyklem a motocyklistou. Místa kontaktu jsou sedadlo, řídítka a stupačky. Ve skutečnosti se nejedná pouze o kontaktní body, ale spíše o kontaktní plochy, ale pro zjednodušení bereme v úvahu pouze kontaktní body. Jednoduše můžeme definovat polohu posezu pomocí dvou trojúhelníků, viz obr. 6,7.



Obr. 6: Geometrie posezu motocyklisty – půdorys (vlevo)

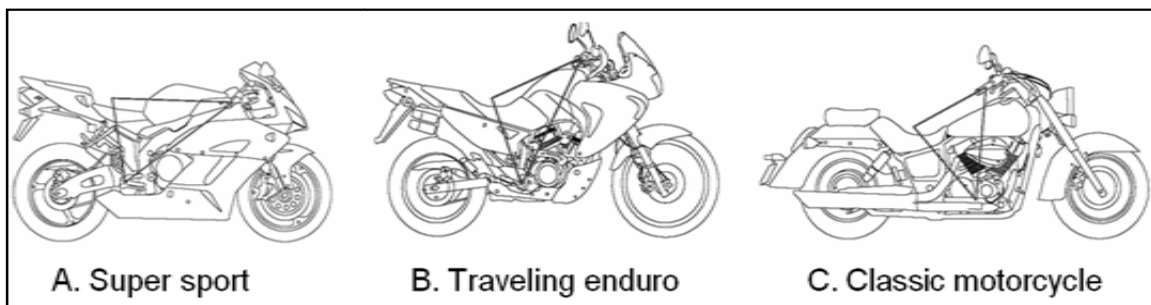
Obr. 7: Geometrie posezu motocyklisty – bokorys (vpravo)

Kontaktní body na řídítkách a stupačkách uvažujeme v jejich středu. Určení kontaktního bodu sedadla je složitější, protože se jedná o měkkou část. K určení tohoto bodu bylo použito speciální Dummy figuríny, která byla na sedadlo posazena. [26]

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

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

Na následujících obrázcích je vidět rozdílné geometrie posezu motocyklisty.



Obr. 8: Geometrie posezu motocyklisty na různých typech motocyklů – bokorys

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

Ve studii byly provedeny tři příklady zkoušek dynamické pasivní bezpečnosti neboli crash testů. Byly provedeny různé simulace kolizí mezi motocyklem a osobním vozidlem. Ve všech případech se jednalo o boční střet jedoucího motocyklu do stojícího osobního vozidla.

V prvním crash testu narazila Jawa 650 (super sport) rychlostí 59 km/h do stojící Škoda Octavia.

V druhém crash testu narazila Suzuki DR 600 (cestovní enduro) rychlostí 60 km/h do stojící Škoda Fabia.

Ve třetím crash testu narazila Jawa 650 classic (chooper) rychlostí 50 km/h do stojící Škoda Felicia.

První dva crash testy byly více vhodné, důvodem byla podobná rychlost motocyklů a hmotnost osobního vozidla. Značným rozdílem zde byla geometrie posezu v případě motocyklu Jawa 650 (super sport), kde byl motocyklista nakloněn dopředu v poloze, která odpovídá super sportovnímu motocyklu. U motocyklu Suzuki DR 650 (cestovní enduro) byl motocyklista ve vzpřímené poloze jako na většině cestovních endur.

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 uvedeny 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 (chooper)	63

Tab. 2: Kritérium poranění hlavy při primárním kontaktu

Při různých konfiguracích docházelo k rozdílným místům nárazu motocyklisty do karoserie vozidla a rozdílné trajektorii. Tyto rozdíly byly způsobeny odlišnými geometriemi posezu motocyklisty.

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

	časový interval
Jawa 650 (super sport)	82 ms
Suzuki DR 650 (cestovní enduro)	100 ms
Jawa 650 classic (chooper)	99 ms

Tab. 3: Časové intervaly jednotlivých motocyklů

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

1.2.1.4 Airbag vesta

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. [25]



Obr. 9: Airbag vesta Dainese



Obr. 10: Airbag D-Tec

1.2.2 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 zabráňující 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.

1.2.2.1 Anti-dive systém

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. [28]



Obr. 11: Anti-dive systém

1.2.2.2 ABS

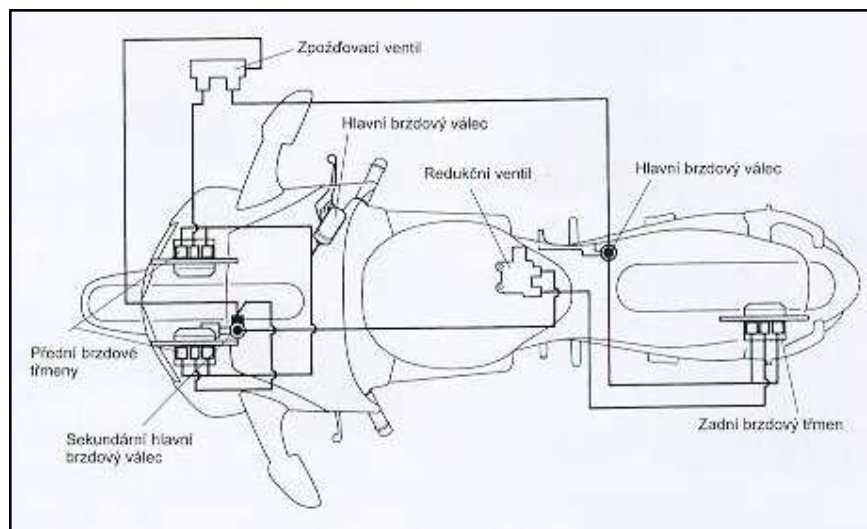
ABS (Anti-lock Brake System) je systém aktivní bezpečnosti, který zamezuje zablokování kola při brzdění. Pokud se kolo dostane do smyku, následuje často pád, přinejmenším se stává motocykl neovladatelný. ABS zajišťuje pohybovat se těsně před hranicí smyku, ve skutečnosti však dochází ke krátkým blokacím 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 neotáčí. [11]



Obr. 12: ABS systém

1.2.2.3 Integrální brzdné systémy

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 řídítkách, 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 zpožděvacím 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 předě motocyklu a s tím související ztrátě ovladatelnosti. [27]



Obr. 13: Integrální brzdový systém – DUAL CBS

1.3 Dopravní nehoda

Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.

Z hlediska počtu dopravních nehod jsou jistě nejpočetnější silniční dopravní nehody. Silniční dopravní nehodou je nezamýšlená, nepředvídaná událost v silničním provozu na veřejných komunikacích způsobená dopravními prostředky, která měla škodlivý následek na životech, zdraví osob nebo na majetku. [12]

1.3.1 Základní znaky dopravní nehody

- Neočekávanost a náhlost s momentem překvapení – na druhou stranu je zde zpravidla i jistá míra předvídatelnosti nehody. Například vzhledem k jednání účastníka silničního provozu lze očekávat, že dojde k dopravní nehodě (třeba při riskantní jízdě řidiče v nepřehledném úseku silnice a v hustém provozu). Zda-li však skutečně k této nehodě dojde je dílem náhody.
- Silniční provoz – za silniční dopravní nehodu lze událost považovat pouze tehdy, dojde-li k ní na místech, kde platí pravidla silničního provozu, tj. na dálnicích, silnicích, místních a účelových komunikacích. Dopravní nehodou není ta událost, k níž dojde například na poli, v lese, na zahradě apod.
- Škoda – jde o reálnou, přímou škodu vzniklou v příčinné souvislosti s nehodovou událostí. Je to škoda na životě nebo zdraví osoby, nebo na majetku.
- Provoz vozidla – přímá souvislost s provozem vozidla, tedy s jízdou (pohybem) po pozemní komunikaci. Vozidlo může být motorové či nemotorové nebo tramvaj (trolejbus). Není rozhodující ani to, zda vozidlo při této události bylo řízeno řidičem, nebo jelo bez něho. O dopravní nehodu nejde, vznikne-li škoda nebo zranění při opravě vozidla, manipulaci s nákladem apod.

Vznik a průběh každé silniční dopravní nehody je způsoben dvěma faktory. Oba jsou u každé silniční dopravní nehody jedinečné, specifické a neopakovatelné, a jsou to tyto:

- Nehodové jednání, tj. konání či opomenutí účastníka silniční dopravy, kterým způsobil nehodovou událost.
- Nehodová událost, tj. konkrétní projev silniční dopravní nehody (např. srážka, havárie apod.), tzn. určitý průběh a následek nehody.

1.3.2 Rozdělení silničních dopravních nehod

Silniční dopravní nehody lze klasifikovat podle celé řady rozličných kritérií.

1.3.2.1 *Podle hlediska charakteru, tj. podle konkrétního typu nehodové události:*

- Srážky – střet dvou nebo více účastníků silničního provozu, z nichž alespoň jeden se pohyboval na silničním vozidle (silniční vozidlo je motorové nebo nemotorové vozidlo, které je vyrobené za účelem provozu na pozemních komunikacích pro přepravu osob, zvířat nebo věcí). Srážky mohou být čelní, boční nebo náraz zezadu. Dále se může jednat o náraz dopravního prostředku na pevnou překážku, střet dopravního prostředku s chodcem nebo se zvířetem.
- Havárie – na silniční dopravní nehodě se účastní pouze jediné silniční vozidlo, např. převrácení vozidla. Čili nedochází ke střetu účastníků silničního provozu, ani ke střetu dopravního prostředku s překážkou.
- Jiné nehody – sem patří takové, které nelze zařadit do předchozích dvou skupin, např. vypadnutí z jedoucího vozidla.

1.3.2.2 *Z hlediska nehodového jednání dělíme silniční dopravní nehody na dvě velké skupiny, kdy druhá skupina prakticky odpovídá dělení silničních dopravních nehod podle hlavní příčiny (viz níže):*

- Objektivní – zde můžeme vyčlenit například tyto podskupiny:
 - špatný technický stav komunikace, nepředvídatelná událost apod.
- Subjektivní – svým členěním odpovídá rozdělení silničních dopravních nehod podle hlavní příčiny. Je hierarchicky uspořádaná dle celostátně sledované statistické četnosti. Patří sem tyto podskupiny:
 - nepřiměřená rychlost – nejčastěji jde o nepřizpůsobení rychlosti stavu a povrchu vozovky, tj. mokrý povrch, sníh, náledí. Dále nepřizpůsobení rychlosti vozidla dopravně-technickému stavu vozovky, tj. zatáčka, křižovatka. Následuje nepřizpůsobení rychlosti vozidla viditelnosti, tj. mlha, déšť, sněžení apod.
 - nesprávné předjíždění – nejčastěji jde o nehody zaviněné předjížděním vozidla, které odbočuje vlevo, předjíždění bez dostatečného bočního odstupu, ohrožení protijedoucího vozidla, předjíždění bez dostatečného

rozhledu, předjíždění vpravo, předjíždění v místech, kde to je zakázané příslušnými dopravními značkami atd.

- nedání přednosti v jízdě – pořadí podle počtu u tohoto druhu dopravních nehod je takovéto: nerespektování značky „Dej přednost“, nedání přednosti na komunikaci, nedání přednosti při přejíždění z jednoho jízdního pruhu do druhého, nerespektování dopravní značky „STOP“, nedání přednosti vozidlu přijíždějícímu zprava atd.
- nesprávný způsob jízdy – nejčastěji jde o nedodržení bezpečné vzdálenosti, nevěnování potřebné pozornosti řízení vozidla, nesprávné otáčení anebo couvání, jízda po nesprávné straně komunikace atd.
- technická závada vozidla zaviněná řidičem – jedná se většinou o nesprávné uložení nákladu, uvolnění kola, závada na závěsu pro přívěs, nezajištění bočnice atd.

1.3.2.3 Podle zavinění silniční dopravní nehody:

- Dopravní nehody zaviněné (vyvolané) – vznikly anebo byly vyvolány účastníky podílejícími se přímo anebo nepřímo na dopravním provozu. Vznikají porušením platných dopravních či jiných předpisů. Podle viníků silniční dopravní nehody můžeme vyčlenit tyto podskupiny:
 - silniční dopravní nehoda zaviněná řidičem silničního vozidla,
 - silniční dopravní nehoda zaviněná chodci,
 - silniční dopravní nehoda zaviněná ostatními osobami (např. ten kdo vypustí vodu na silnici, ten kdo vede zvíře apod.),
 - silniční dopravní nehoda zaviněná lesní zvěří anebo jinou zvěří (pokud ovšem takovouto dopravní nehodu nezařadíme mezi nezaviněné).
- Dopravní nehody nezaviněné (nevyvolané) – jsou nezaviněné ze strany účastníků, jejich vznik byl podmíněn objektivními událostmi, např. pád vyvráceného stromu na projíždějící vozidlo.

1.3.2.4 Podle vozidla zúčastněného na nehodě:

- Dopravní nehody mezi vozidly stejného druhu (osobní-osobní, nákladní-nákladní, motocykl-motocykl),

- Dopravní nehody mezi vozidly různých druhů (osobní-motocykl atd.),
- Dopravní nehody jediného vozidla (převrácení apod.).

1.3.2.5 Podle místa silniční dopravní nehody:

- Dopravní nehody v intravilánu (v uzavřené obci),
- Dopravní nehody v extravilánu (mimo uzavřené obce),
- Dopravní nehody mimo veřejných komunikací.

V tomto rozdělení dle charakteristiky místa silniční dopravní nehody, bez ohledu na to, jestli se nachází uvnitř nebo vně obce, lze ještě rozdělit nehody takto:

- na přímém úseku komunikace,
- v zatáčce,
- v křižovatce,
- na elektrické trati,
- na železničním přejezdu.

1.3.2.6 Podle následků nehody.

Pokud mezi následky nehody zahrneme i škody na majetku, pak se jedná v podstatě o rozdělení podle škod na zdraví a majetku. Tato klasifikační skupina člení následky dopravních nehod tak, jak jsou vnímány společností. Škody (následky) na zdraví je možné rozdělit takto:

- usmrcení osob,
- těžké zranění osob,
- lehké poranění osob,
- bez poranění osob.

Když nedošlo ke spáchání škody na životě a zdraví dle předchozího rozdělení, je možné ostatní škody způsobené silniční dopravní nehodou rozdělit do podskupin:

- škody na dopravních prostředcích,
- škody na komunikaci a vybavení komunikace,
- ostatní škody (plot, zeď, atd.).

1.3.3 Příčiny a podmínky dopravní nehodovosti

Silniční dopravní nehody jsou obvykle výsledkem vzájemné interakce tří činitelů:

- člověk,
- vozidlo,
- objektivní podmínky provozu.

Jde o komplexní jev vznikající často společným působením různých psychofyzilogických a technických faktorů.

Nejvýznamnějším a nejčastějším faktorem při silničních dopravních nehodách je selhání člověka – řidiče nebo jiného účastníka dopravního provozu, které je příčinou většiny silničních dopravních nehod.

Nejproblematictější a nejvíce selhávajícím článkem celého systému je řidič jako účastník silničního provozu.

Příčiny dopravních nehod z důvodů selhání dopravního prostředku jsou zejména technické poruchy, způsobené nedostatečnou kontrolou, údržbou nebo stářím a opotřebením vozidel. [12]

K objektivním podmínkám provozu lze řadit technické poruchy provozního, signalizačního a zabezpečovacího zařízení. Dále sem lze přiřadit i 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, nedokonalou organizaci a řízení dopravního provozu. Významným faktorem, který není možno ovlivnit je počasí.

1.4 Obvyklá jízda motocyklisty

1.4.1 Před jízdou

Dnešní motocykly dosahují rychlostí blížících se 300 km/h. Jízda na motocyklu klade vysoké nároky jak na jeho technický stav, tak na psychický a fyzický stav motocyklisty. Při prvních jízdách po delší přestávce je třeba jezdit mimořádně opatrně, neboť všechny návyky se musí nejdříve znovu procvičit a obnovit. To se týká zejména odhadu rychlosti a vzdálenosti a také předvídat chování ostatních účastníků silničního provozu. Před každou jízdou je vhodné zkontrolovat základní funkce motocyklu. Především povrch pneumatik a jejich tlak, stav oleje a paliva, funkci elektrických zařízení, bowdenů a brzd. Důkladnější prohlídku je vhodné provést po dlouhé zimní přestávce.

1.4.2 Manévrování s motocyklem

Manipulace s motocyklem v téměř nulové rychlosti je příčinou mnoha pádů. Obecně však platí, že všechny manévry a manipulace s motocyklem se musí provádět rozhodně a soustředěně. Už při nasedání na motocykl je dobré se podívat, kam bude došlapovat ta "přehozená" noha. Došlápne-li totiž třeba na štěrky, může dojít k uklouznutí a následnému pádu motocyklu. Při otáčení se na silnici záleží zejména na rejdu motocyklu, na jeho vyváženosti a na cviku motocyklisty. Pokud je nutné si v zatáčce přibrzdit, je vhodné použít zadní brzdu, která motocykl ustálí, případně velmi citlivě brzdu přední. Postavení motocyklu na hlavní stojánek je samozřejmě věcí cviku a potíže vznikají jen na začátku, kdy si motocyklista nešlápne pořádně na nášlapnou plošku hlavního stojánku a rukou nezatáhne dostatečně dozadu a nahoru za zadní madlo motocyklu. Je-li kopec prudký, není vhodné motocykl stavět na hlavní stojánek předním kolem směrem z kopce, ale naopak do kopce. Na pohotovostní stojánek lze postavit motocykl na mírném kopci i z kopce, ale pak je nutné nechat zařazenou rychlost (nejlépe první rychlostní stupeň).

1.4.3 Jízda na motocyklu

Jedním ze základů jízdy na motocyklu je přirozený, uvolněný posaz. Dříve se určitý druh posazu přímo doporučoval, ale dnešní motocykly umožňují vlastně jenom jeden posaz, a to ten nejpříjemnější, popř. nejúčelnější pro daný model. Geometrie posazu je dána polohou sedadla, stupaček a řídítek. Navíc bývají často některé prvky individuálně nastavitelné (např. řídítka). Páčky na řídítkách je vhodné seřadit tak, aby bylo zápěstí v přímém prodloužení loktů (když se dají prsty na páčku, aby zápěstí nebylo ohnuté ani nahoru, ani dolů). Kolena objímají nádrž, chodidla se opírají uprostřed po celé délce stupaček, lokty jsou mírně od sebe. Některé modely motocyklů mají seřaditelné základní polohy (např. vzdálenosti páček brzdy a spojky od řídítek).

1.4.4 Několik rad pro bezpečnou jízdu:

1. Rozhlížet se před sebe, vyhledávat potenciální nebezpečí. Oči neustále sledují horizont a místo těsně před motocyklem. Kromě toho oči sledují zpětná zrcátka (situaci za motocyklem) i situaci po stranách (periferní vidění).
2. Identifikovat možná rizika (odbočující auta, křižovatky s vedlejší silnicí, koleje, stojící auta, osoby apod.).

3. Určení, zda by se toto nebezpečí mohlo týkat i jedoucího motocyklisty.
4. Rozhodnutí, jak se vyvarovat riziku.
5. Uskutečnit toto rozhodnutí. Snažit se být viditelný - samozřejmostí je rozsvícený hlavní světlomet. Dávat včas najevo úmysly a vyžaduje-li to situace, je-li to nutné k odvrácení hrozícího nebezpečí, neváhat použít i klakson. Při jízdě je nutné se neustále rozhlížet a snažit získat co nejvíce detailů.
6. Kontrola zpětných zrcátek:
 - před zapnutím ukazatelů směru,
 - před vyjetím nebo před změnou směru,
 - před přejetím z pruhu do pruhu,
 - před začátkem brzdění,
 - před zahájením předjíždění.

Nestačí-li informace o provozu za námi zprostředkovaně přes zpětné zrcátko, je dobré se navíc krátce ohlédnout.

1.4.5 Jízda ve dvou

Před jízdou je třeba si domluvit některé základní postupy a způsoby komunikace. Předně je třeba spolujezdci, který se veze na motocyklu poprvé, vysvětlit, že se motocykl v zatáčce bude naklánět směrem dovnitř, což vyplývá z mechaniky průjezdu zatáčkou. A že když se bude snažit motocykl vyrovnávat vykloněním se ven, pošle motocykl tímto činem ven ze zatáčky. Stejně tak působí ovšem i přílišné naklánění spolujezdce do zatáčky. Spolujezdec by měl nejlépe sedět klidně a udržovat stejnou polohu těla vzhledem k motocyklu jako motocyklista. Při jízdě je lepší obejmout rukama pas motocyklisty, než se stydlivě držet za různá madla. Většinou je ale nejlepší se oběma rukama opírat za zadní horní část nádrže. Motocyklista to ocení hlavně při brzdění, když musí v rukou držet svoji hmotnost, hmotnost spolujezdce, to vše zvětšené o setrvačnost a ještě přitom řídit a mít v rukou cit. Navíc je nádrž pevná část motocyklu, a drží se za ní tedy lépe. Ovšem při tomto způsobu držení musí spolujezdec nějak zvládnout rychlou akceleraci, protože se nemá čeho držet. Někdy se lze tedy jednou rukou držet řidiče a druhou rukou se opírat o nádrž. Motocyklista se musí rozjíždět, až když se přesvědčí, že spolujezdec v pořádku sedí a drží se. Komunikace je při jízdě vzhledem k aerodynamickému hluku docela problémová (je vhodné si pořídit dorozumívací zařízení do přileb – interkom). Při

zastavování na krátkou dobu (na semaforech apod.) má spolujezdec vždy nohy na stupačkách a nesundává je na zem. Při jízdě ve dvou je nutné upravit tlak v pneumatikách, seřídít pérování, počítat s horší akcelerací a delší brzdou dráhou.

1.4.6 Brzdění

Brzdění na motocyklu je trochu jiné než brzdění ve vozidle. Na rozdíl od vozidla ovládáme na motocyklu brzdu předního i zadního kola nezávisle (výjimku tvoří duální brzdové systémy, kdy s použitím přední brzdy motocykl přibrzdí i zadní kolo a naopak). To proto, že při měnící se rychlosti se mění i poměr brzdných účinků obou kol. Při vyšších rychlostech je brzdící účinek ze 70 i více procent zajišťován předním kolem. Přesto se používá při normálním i nouzovém brzdění zadní brzdy, což výrazně snižuje délku brzděné dráhy. Na rozdíl od starších značek motocyklů není důvod mít na moderních typech strach brzdit přední brzdou, a to i v zatáčce. Existuje samozřejmě fyzikální hranice přilnavosti pneumatik, ale ta je u dnešních pneumatik a motocyklů posunuta podstatně dále než tomu bylo dříve. Nouzové brzdění je nejlepší trénovat na opuštěném parkovišti. Je to poměrně složitý proces, protože lidský mozek není uzpůsoben na to plně se soustředit na dvě rozdílné věci zároveň. A při nouzovém brzdění je nutno soustředit se na obě kola. Kdo tyto dvě rozdílné věci nedokáže dělat optimálně, ten by se měl soustředit na brzdění předním kolem a držet jej těsně nad hranicí adheze, zatímco zadní kolo může být úplně zablokováno. I když zadní kolo blokuje, zůstává totiž motocykl při přímé jízdě ovladatelný. Blokující zadní kolo je možná nebezpečné u těžkých motocyklů s nedokonalým pérováním a tlumením, protože kolo a s ním celý motocykl má tendenci se rozkmitat. Při nouzovém brzdění by se měla vymáčknout spojka. Přední kolo naopak blokovat nesmí. Pokud dojde k zablokování předního kola, je nutné uvolnit okamžitě na chvíli brzdu a pak ji stisknout o něco méně, jinak následuje pád. Protože však většina majitelů motocyklů hranici blokování předního kola nezná, zůstávají před ní zbytečně daleko. Nejkratšího brzdění lze dosáhnout, když se stlačuje páčka brzdy progresivně. To znamená ne ji hned napoprvé stlačit naplno, ale postupně ji stlačovat stále víc. V případě ostrého brzdění např. před dírou ve vozovce nebo jiné překážce na silnici zůstává technika brzdění stejná, pouze těsně před dírou je třeba uvolnit obě brzdy a odlehčit motocykl stoupnutím si do stupaček. To proto, aby přední

vidlice nebyly v důsledku brzdění zanořené a měly k dispozici celý zdvih pérování. Při jízdě na motocyklu je nutné předvídat a nejlépe se nouzovému brzdění vyhnout.

1.4.7 Vyhýbání

Dobře provedeným vyhýbacím manévrem může motocyklista předejít dopravní nehodě. Situací jako je náhlé vyjetí vozidla z vedlejší ulice nebo z průjezdu, otevření dveří u zaparkovaného vozidla, vykročení chodce mezi zaparkovanými vozidly, atd. je spousta. To jsou okamžiky, kdy je potřeba jednat rychle. Tady pomáhá jenom blesková reakce a naučený manévr. Vynoří-li se překážka příliš pozdě, nezbyvá na brzdění mnoho času. V takovém případě je vhodné použít vyhýbací manévr. Je-li na vyhýbání již pozdě, následuje obvykle střet. V případě střetu s vozidlem většinou nebývá na přemýšlení čas. Přesto se udává, že lepší je z motocyklu těsně před nárazem vyskočit, aby motocyklista vozidlo přelétl, než aby došlo ke kontaktu jeho hlavy s vozidlem (nejčastěji v oblasti střechy).

1.4.8 Průjezd zatáčkou

Samotný průjezd zatáčkou vyžaduje naklopení motocyklu směrem do zatáčky. A čím je zatáčka prudší a čím vyšší je rychlost průjezdu, tím musí být větší i náklon. Zatímco většina motocyklistů dosahuje náklon necelých 20 stupňů (je to hodnota, o které nám netrénovaný lidský mozek říká, že musí být limitní) umožňují moderní motocykly při dostatečném profilu pneumatik i 45 stupňový náklon.

V zásadě existují tři druhy průjezdu zatáčkou:

- sklon motocyklu a motocyklisty je totožný: optimální styl při normální uvolněné jízdě,
- motocykl je nakloněn více než motocyklista: tento styl je vhodný pro endura a chopery a pro rychlé změny směru v malých rychlostech,
- motocyklista je nakloněn více než motocykl (je vysednutý z motocyklu): závodní styl, přestože je nejefektivnější, na normální silnici nepřináší žádné velké výhody. Tím, že je hlava motocyklisty nízko nad vozovkou, zmenšuje se rozhled a ovládací prvky jsou hůře přístupné.

Hlavu motocyklisty by měla směřovat vždy co nejvíc kolmo k vozovce a pozorovat oblast výjezdu ze zatáčky. Je nutné si uvědomit, že šířka motocyklu se s náklonem

zvětšuje. Zatímco při přímé jízdě je motocykl široký asi 70 cm, v náklonu to dělá 120 cm i víc.

1.4.9 Předjíždění

Pro současné motocykly je předjíždění díky jejich akceleraci a dosahovaným rychlostem velice snadné. Velké riziko může nastat v situaci, kdy například řidič vozidla nekontroluje zpětné zrcátko a nepočítá s motocyklem, který může jet velmi vysokou rychlostí. Vždy je třeba počítat s nečekaným manévrem předjížděného vozidla. Proto je vhodné je objíždět s dostatečným odstupem. Důležité je být vidět, aby řidič vozidla o motocyklistovi věděl (např. ve zpětném zrcátku). Pozor na mrtvý úhel zpětného zrcátka předjížděného vozidla, ve kterém se motocyklista určitou dobu pohybuje.

1.4.10 Smyk

Tuto nepřijatelnou situaci lze rozdělit na smyky, které jdou vyrovnat a smyky, které vyrovnat nejdou.

Mezi hlavní příčiny smyku patří:

- nadměrné brzdění nebo akcelerace za mezí adheze,
- nepřizpůsobení rychlosti jízdám podmínkám (zatačka, déšť, koleje apod.),
- nezvládnutí motocyklu při najetí na překážku (výmol, kamení či písek na silnici apod.).

Pro chování motocyklu v oblasti smyku rozhodují samozřejmě nejvíce pneumatiky. Čím je jejich směs měkčí, tím déle drží. Diagonální pneumatiky při smyku varují - na chvíli podklouznou, ale pak se zase chytí - dávají šanci něco udělat. Naproti tomu radiální pneumatiky na mezi adheze ustřelí bez varování, ovšem s tím, že tato mez je podstatně dál, než u pneumatik diagonálních. Nastane-li smyk při vysoké rychlosti v zatáčce najetím na vrstvu písku, někdy pomůže "kontra" říditky. To znamená, že když v levé zatáčce motocykl ustřelí doprava (zadní kolo "předbíhá"), natočí se říditka také doprava. Smyslem je udržet motocykl vyvážený do doby, než z rozsypaného písku vyjede. Nastane-li smyk při brzdění, stačí povolit brzdy a pak je stisknout o něco méně. Nastane-li smyk neboli spíše prokluz zadního kola při rozjezdu, stačí zavčas ubrat plyn a akcelarovat pozvolněji. V malých rychlostech do 30 km/h se dá smyk vyrovnat odrazem

nohy. Opření nohou vám pomůže získat stabilitu, ale vyžaduje to dost síly a velké úsilí. Při vyšších rychlostech se odražení nohou v případě smyku provádět nesmí.

1.5 Rozdělení nehod motocyklů

Je možno klasifikovat následující druhy a typy nehod jednostopých vozidel:

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. [2]

1.5.1 Rozdělení střetů

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.

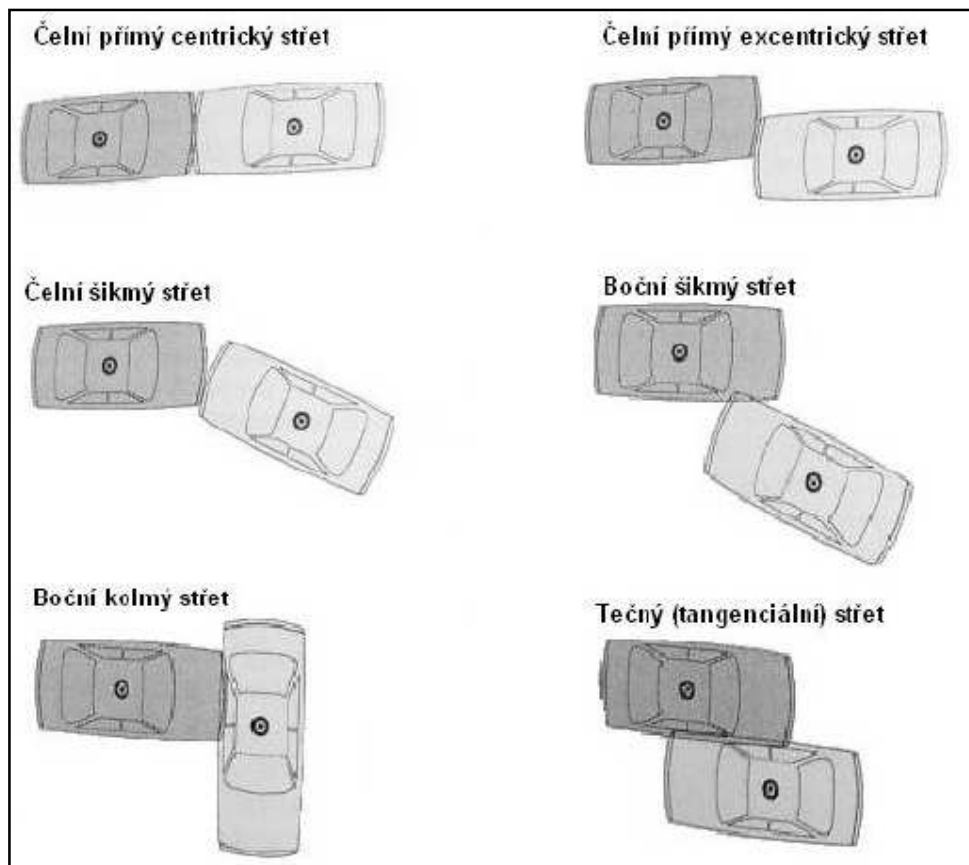
Dělení podle rovnoběžnosti směru pohybu vozidel před střetem

- 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 předě nebo zádě,
- Boční – ostatní typy střetů, kdy vozidlo nenarazí ani do předě ani do zádě.

[1]



Obr. 14: Rozdělení střetů

1.5.2 Fáze střetu

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 (dochází k vyrovnání rychlostí – velmi krátký časový okamžik).

Následuje restituční fáze, 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 svoji výběhovou rychlostí. [1]

1.5.3 Fáze nehodového děje

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.

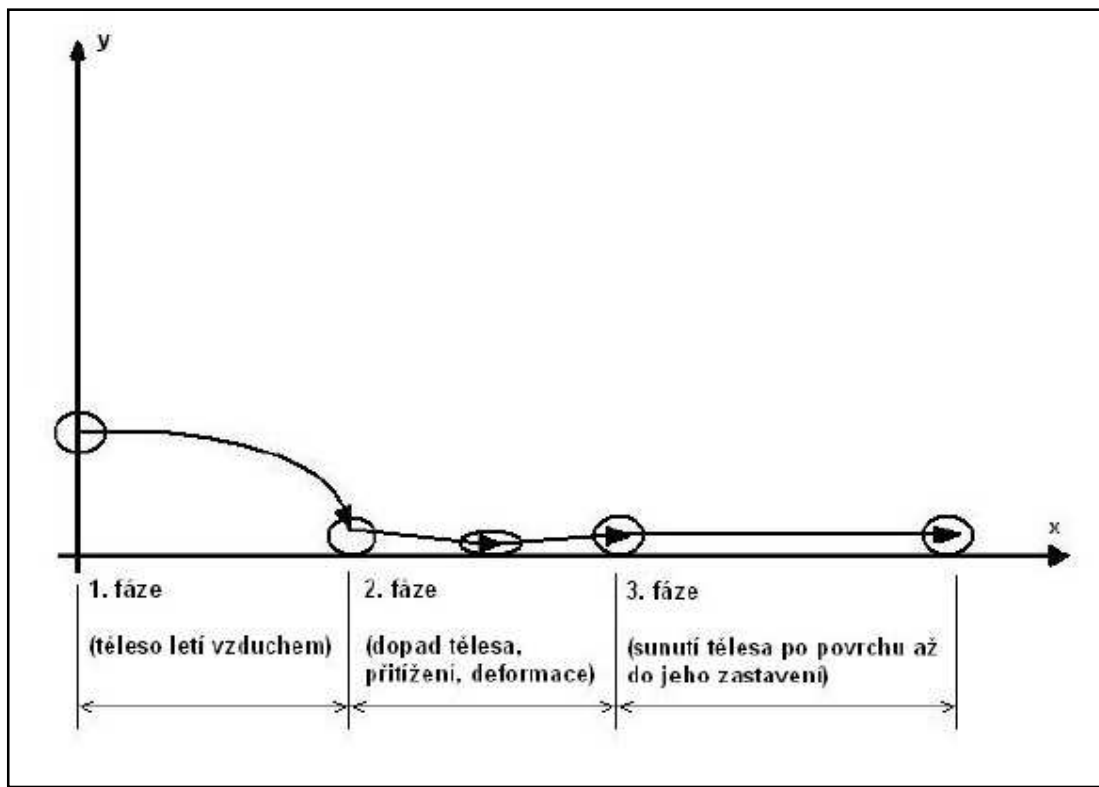
- Pohyb před střetem – ve fázi pohybu před srážkou je potřebné brát většinu momentů dynamiky jízdy. Podle výsledku ankety se 80 % řidičů motocyklu před srážkou nacházelo v stabilním stavu, 8 % v nestabilním a 12 % v nedefinovatelném stavu.
- Fáze střetu – při kolizi motocyklu s osobním automobilem je 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 z pravidla 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]

1.5.4 Zjednodušený kinematický výpočet odhozu 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 (ve fázi sunutí lze uvažovat zpomalení motocyklisty na asfaltu $6,4$ až $10,4 \text{ m/s}^2$). [1]



Obr. 15: Jednotlivé fáze letu předmětu po střetu

1.5.4.1 I. Fáze letu

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

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha \quad (1)$$

$$v_{0z} = v_0 \sin \alpha \quad (2)$$

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

$$z = h_0 + v_{0z} t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 \quad (3)$$

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:

$$t_1 = \frac{v_{0z} + \sqrt{v_{0z}^2 + 2h_0g}}{g} \quad (4)$$

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

$$L_1 = v_{0x} t_1 \quad (5)$$

1.5.4.2 II. Fáze sunutí s přitížením

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

$$v_{1x} = v_{0x} \quad (6)$$

$$v_{1z} = v_{0z} - g t_1 \quad (7)$$

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 :

$$a_z = \frac{v_{1z}^2}{2s_z} \quad (8)$$

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

$$t_2 = \frac{|v_{1z}|}{a_z} \quad (9)$$

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:

$$a_x = (a_z + g)f \quad (10)$$

rychlost v podélném směru se sníží o:

$$\Delta v = a_x t_2 \quad (11)$$

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

$$L_2 = v_{1x} t_2 - \frac{1}{2} a_x t_2^2 \quad (12)$$

1.5.4.3 III. Fáze sunutí po vozovce

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

$$v_{3x} = v_{1x} - \Delta v \quad (13)$$

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

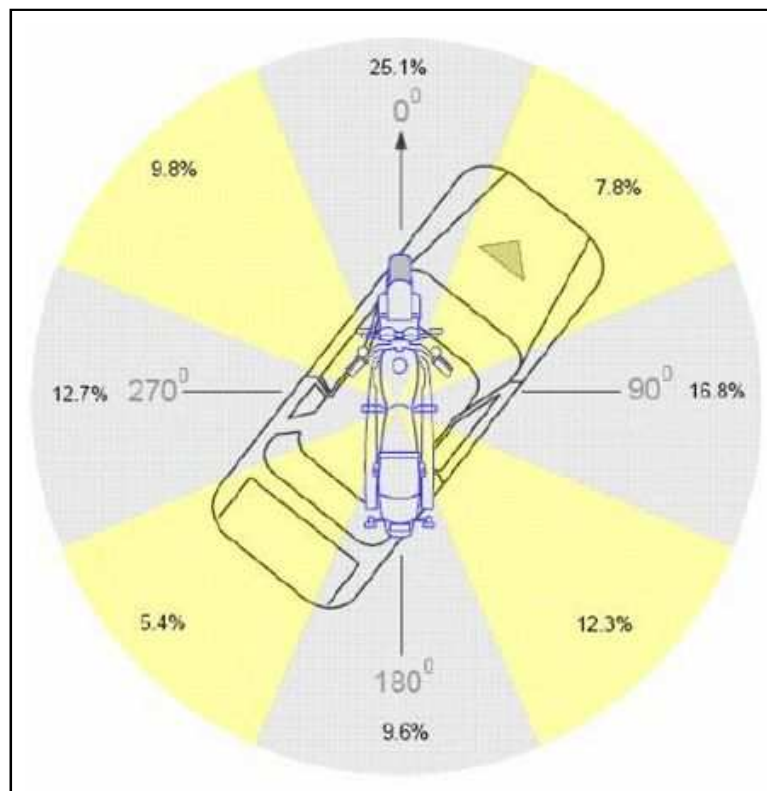
$$L_3 = \frac{v_{3x}^2}{2fg} \quad (14)$$

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

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (15)$$

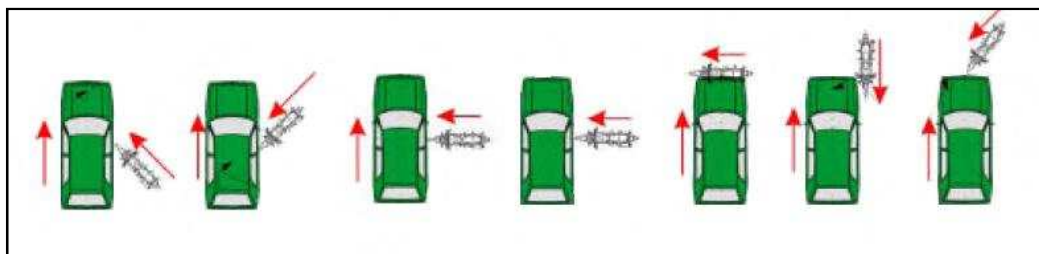
1.5.5 Základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem

V okamžiku střetu motocyklu s vozidlem je nutné počítat s velkým množstvím faktorů, které se mohou projevit - rychlost vozidla, rychlost motocyklu, bod střetu vozidla a motocyklu a také úhel střetu, atd.



Obr. 16: Model ze studia mnoha reálných dopravních nehod, který ukazuje procentuální počet nehod v závislosti na úhlu srážky vozidla a motocyklu

Na základě studií bylo stanoveno 7 základních typů testů srážek motocyklu a vozidla. Nové technologie v motocyklovém průmyslu se testují na základě podkladů, které vznikly z údajů, z měření a výpočtů. Mnoho výrobců motocyklů již prvky této normy uplatňovalo při vývoji nových modelů, neboť i jejich vývojové týmy se podílely na tvorbě těchto typů testů. V současné době je tato norma základem pro posuzování pasivní bezpečnosti motocyklisty. [21]



Obr. 17: 7 základních typů testů srážek motocyklu a vozidla

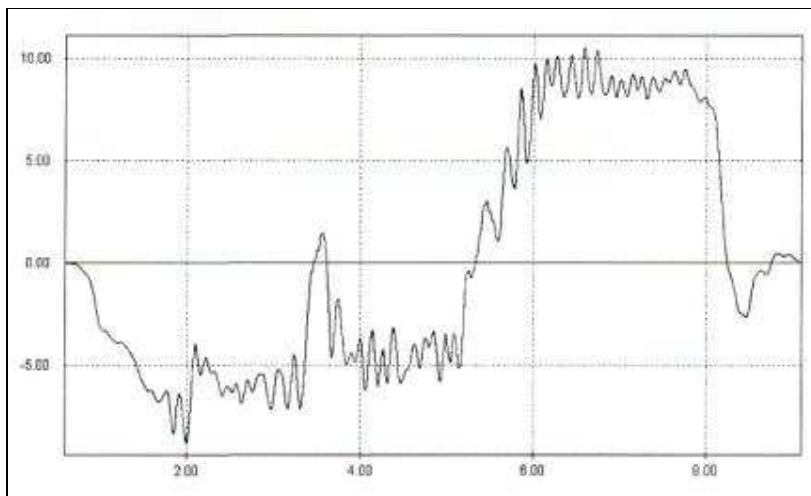
1.5.6 Nehody motocyklů a jejich zvláštnosti

Při analýze nehod je potřeba zohlednit následující poznatky:

- Dlouhá rovná stopa byla s největší pravděpodobností vytvořena zadním kolem.
- Při brzdění se zablokovaným zadním kolem je možno udržovat směrovou stabilitu. Při zablokování předního kola dochází k pádu.
- U kotoučové brzdy bez otvorů nastává při mokřem počasí určité zpoždění náběhu brzdného účinku do odstranění vodního filmu.
- Začátečníci zvyklí používat pouze zadní brzdu (např. při přechodu z automobilu na motocykl) používají převážně jen zadní brzdu.
- Nejvyššího zpomalení bylo dosaženo při brzděných zkouškách při zablokovaném zadním kole a dávkováním brzdě síly na přední brzdě.

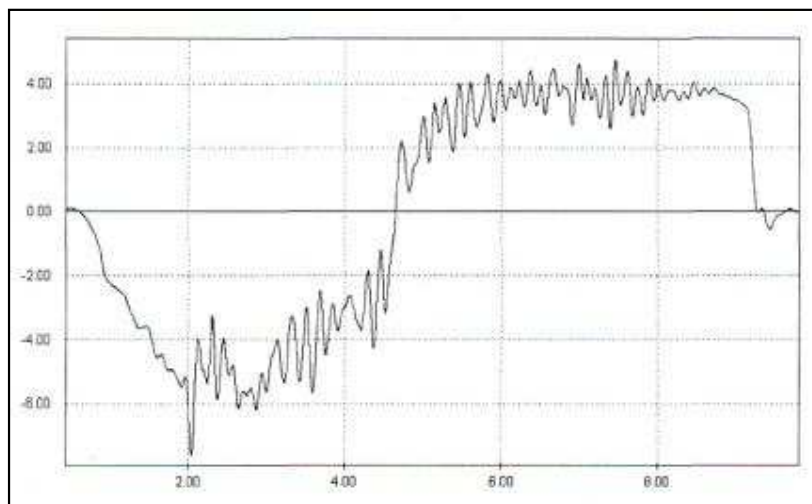
Motocykl se může vyhnout kolizi brzděním, vyhýbacím manévrem, brzděním a vyhýbacím manévrem nebo sklopením motocyklu na zem a opuštěním motocyklu. [1]

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.



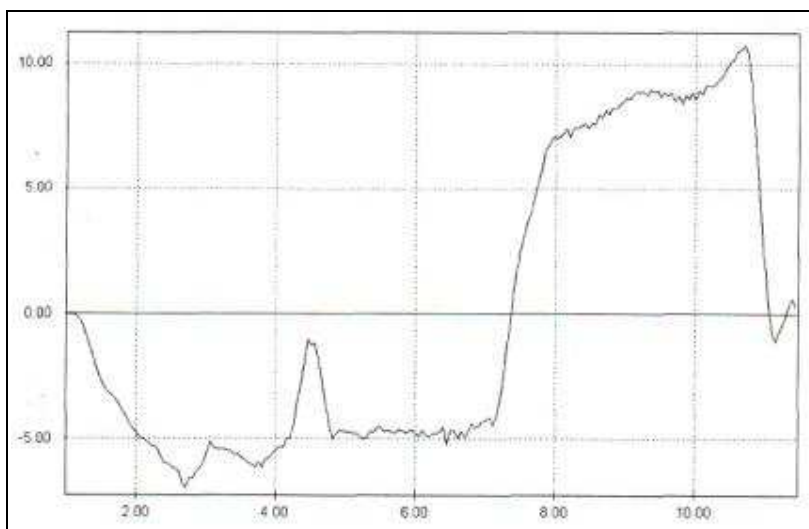
Obr. 18: Zpomalení Hondy CBR 900 RR – přední brzda (svislá osa – zrychlení [m/s^2],
vodorovná osa – čas [s])

Při intenzivním brzdění pouze zadní brzdou může dojít k zablokování zadního kola následkem jeho odlehčení klopným momentem. Ten je značný, protože těžiště soustavy motocykl – jezdec leží vysoko nad vozovkou.



Obr. 19: Zpomalení Hondy CBR 900 RR – zadní brzda (svislá osa – zrychlení [m/s^2],
vodorovná osa – čas [s])

Při citlivém brzdění oběma koly současně lze dobře využít tíhy motocyklu pro adhezní sílu. Tím je možno dosahovat zpomalení srovnatelných při dané adhezi s vozidly. [2]



Obr. 20: Zpomalení Hondy CBR 900 RR – obě brzdy (svislá osa – zrychlení [m/s^2],
vodorovná osa – čas [s])

Získané poznatky:

- Pokud dojde v zatáčce ke smyku, na mokré asfaltové vozovce (bez jiných vlivů), dojde zpravidla ke smyku předního kola.
- Pokud dojde v zatáčce ke smyku, na suché asfaltové vozovce, dojde zpravidla ke smyku zadního kola.

- Při smyku předního kola padá jezdec před řídítka a jeho další pohyb probíhá před motocyklem.
- Pokud dojde ke smyku zadního kola nebo obou kol současně, motocykl se pohybuje ve směru k původní trajektorii pohybu, před jezdcem.
- Motocykl se po pádu pohybuje směrem k původní trajektorii pohybu. Kontaktní místa vozovka-motocykl jsou obvykle stupačky, řídítka, výfuk, sedlo. Motocykl smýkající se po zemi může začít rotovat kolem některého kontaktního bodu s vozovkou.
- Na znečištěné vozovce (prach, písek, olej, bláto, nafta apod.) dojde ke smyku toho kola, které se první kontaktuje se znečištěnou částí vozovky.
- Hlavním činitelem, který ovlivňuje parametry pádu je počáteční rychlost motocyklu.
- Každý pád je originální a není možno dosáhnout opět stejné podmínky, aby byl zopakován.
- Problematika pádu motocyklu a jezdce a jejich pohyb po pádu je velmi komplikovaný kvůli velkému počtu vstupních parametrů, které výrazně ovlivňují následný pohyb motocyklů a posádky.
- Při pádu motocyklu se bude chovat jinak zkušený řidič a řidič „amatér“ a proto i následky zdánlivě stejného pádu mohou být odlišné.
- Přilba omezuje viditelnost a slyšitelnost, což může způsobit opožděnou reakci motocyklisty. [1]

Kolize může také nastat v situaci, kdy motocykl zůstane v tzv. mrtvém úhlu vozidla.

2 SOUČASNÉ METODY A POSTUPY PRO ŘEŠENÍ DOPRAVNÍCH NEHOD ZA ÚČASTI MOTOCYKLŮ

Řešení dopravních nehod je velmi složitý proces založený převážně na základních fyzikálních zákonech, jako například Newtonovy zákony, zákon zachování energie, zákon zachování hybnosti, zákon zachování točivosti.

Mezi základní metody řešení dopravních nehod patří:

- Metody zpětného výpočtu,
- Metody dopředného výpočtu,

2.1 Metody zpětného výpočtu

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 potřebného, bodu.

2.1.1 Výpočet rychlosti motocyklu na základě brzdných stop

Na základě brzdných stop můžeme stanovit rychlost motocyklu, avšak musíme rozlišovat, které kolo zanechalo brzdnou stopu. Nejnižší výsledný účinek brzdění 30 až 40 % nastává v případě, že stopu zanechalo pouze zadní kolo. V případě, že brzdnou stopu zanechalo pouze přední kolo, je výsledný účinek brzdění 50 až 75 %. Nejvyšší výsledný účinek brzdění 60 až 95 % nastává v případě, že byla zanechána brzdná stopa při použití přední i zadní brzdy. [2]

Rychlost motocyklu na začátku zanechávání brzdných stop je možno vypočítat podle následujícího vztahu:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot \eta \cdot s} \quad (16)$$

kde:

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

μ - součinitel tření [-]

η – účinnost brzdění [-]

s – délka brzdných stop [m]

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 vytvořena použitím pouze přední brzdy, přičemž na konci brzdné stopy dojde většinou k ztrátě stability motocyklu. Při použití obou brzd má stopa většinou přímý tvar.

Rychlost motocyklu je možno vypočítat i na základě dosahovaného brzdného zpomalení. Hodnota zpomalení výrazně závisí na skutečnosti, zda byla použita pouze zadní brzda, nebo přední i zadní brzda.

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

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \quad (17)$$

kde:

a – brzdné zpomalení [m/s²]

s – délka brzdných stop [m]

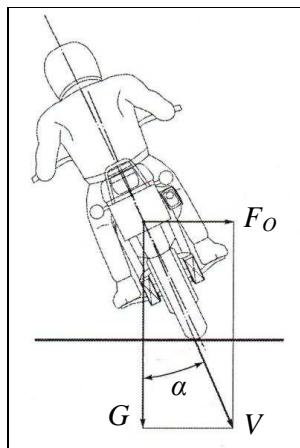
Uvedený vztah je možno použít pro výpočet rychlosti motocyklu za předpokladu, že je konec brzdných stop totožný s místem, kde byla rychlost motocyklu nulová.

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

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \cdot a \cdot s} \quad (18)$$

2.1.2 Výpočet 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. 21: Zjednodušené silové působení na soustavu motocyklista a motocykl při průjezdu zatáčkou

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:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{F_0}{G} \quad (19)$$

kde:

δ – úhel klopení motocyklu [°]

α – úhel výsledné síly [°]

F_0 – odstředivá síla [N]

G – tíhová síla [N]

Po vyjádření jednotlivých sil:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{m \cdot \frac{v^2}{R}}{m \cdot g} \quad (20)$$

kde:

R – aktuální poloměr křivosti trajektorie motocyklu [m]

v – aktuální rychlost motocyklu [m/s]

m – hmotnost motocyklu [kg]

g – tíhové zrychlení [m/s²]

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

$$v = \sqrt{R \cdot g \cdot \operatorname{tg}(\alpha)} \quad (21)$$

2.1.3 Výpočet bočního přemístění motocyklu

Boční (příčné) přemístění motocyklu, neboli vyhýbací manévr lze rozdělit na dva základní druhy:

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

Příčné přemístění na motocyklu lze dále rozdělit na tři fáze:

- v první fázi motocyklista natočí řídítka 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 výpočet příčné přemístění se používá Kovaříkův vzorec. [1]

Pro příčné přemístění motocyklů byl stanoven samostatný vzorec:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \quad (22)$$

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

$$t_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{y}{4 \cdot a_y}} \quad (23)$$

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

Výsledkem provedených jízdních zkoušek bylo, že změna jízdního pruhu trvá na motocyklu zpravidla 2,8 až 3,4 sekundy. [3]

2.1.3.1 Příčné přemístění jedním obloukem

Jedná se o krátké příčné přemístění motocyklu, např. nouzové vyhnutí překážce, bez ohledu na to, kam bude směřovat následný pohyb motocyklu.

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění jedním obloukem bez přechodnic:

$$t_y \geq 1,41 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (24)$$

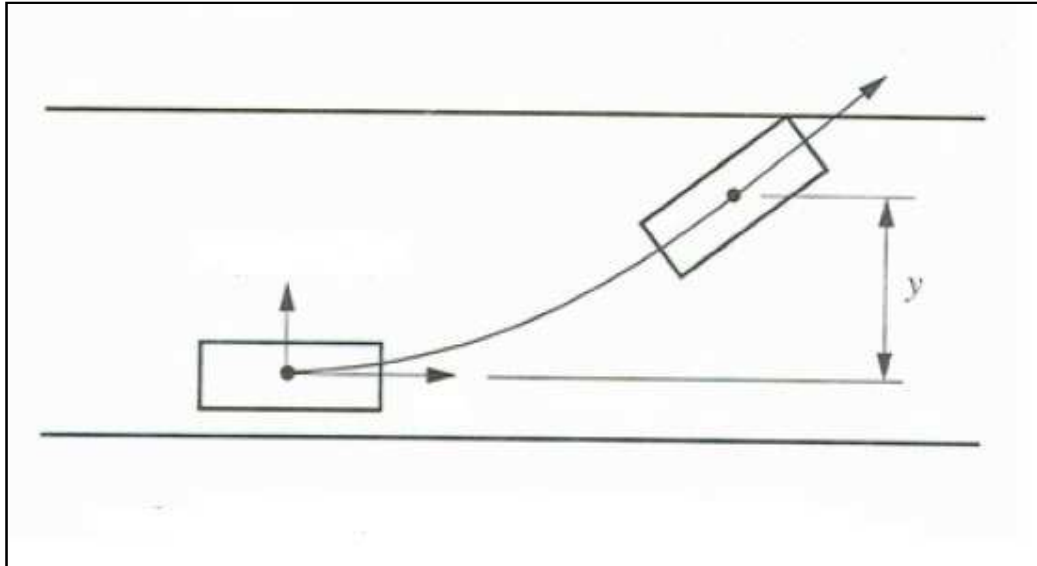
kde:

y – příčné přemístění [m]

a_y – příčné zrychlení [m/s²]

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění jedním obloukem s přechodnicemi:

$$t_y \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (25)$$



Obr. 22: Příčné přemístění jedním obloukem

2.1.3.2 Příčné přemístění jedním obloukem

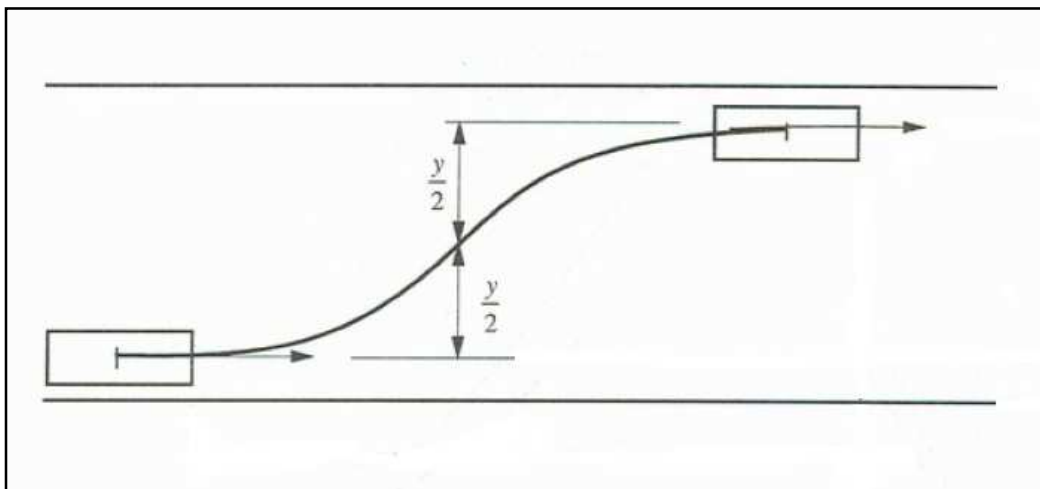
Jedná se o vyhýbání dvěma oblouky, kdy po ukončení vyhýbání je jízda rovnoběžná s původním směrem.

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění dvěma oblouky bez přechodnic:

$$t_y \geq 2,5 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (26)$$

Kovaříkův vzorec pro příčné přemístění dvěma oblouky s přechodnicemi:

$$t_y \geq 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (27)$$



Obr. 23: Příčné přemístění dvěma oblouky

Příklad bočního přemístění dvěma oblouky:

Boční přemístění malého motocyklu značky Simson Skútr bylo měřeno na Ústavě soudního inženýrství ŽU v Žilině. [2] Cílem měření bylo vyhodnotit trajektorii motocyklu při konstantní rychlosti motocyklu, kde tato rychlost byla zvolena:

- a) 20 km/h
- b) 30 km/h
- c) 35 km/h

Samotné boční přemístění motocyklu bylo vykonávané tak, že motocyklista prováděl jízdní manévr normálně (ani rychle ani pomalu).

Velikost bočního přemístění motocyklu byla proměnná

- a) 1 m
- b) 2 m
- c) 3 m
- d) 4 m

Při manévru bočního přemístění motocyklu byla zaznamenána trajektorie motocyklu tak, že za zadním kolem motocyklu byla připevněná dýza, z které na vozovku stříkala voda. Tato trajektorie pohybu motocyklu byla z výšky cca 2,5 m fotograficky zadokumentovaná a v půdoryse byl zobrazený skutečný tvar trajektorie motocyklu.

Dále bylo měřeno boční přemístění při velmi rychlém jízdním manévru. Motocyklista se snažil při konstantní rychlosti

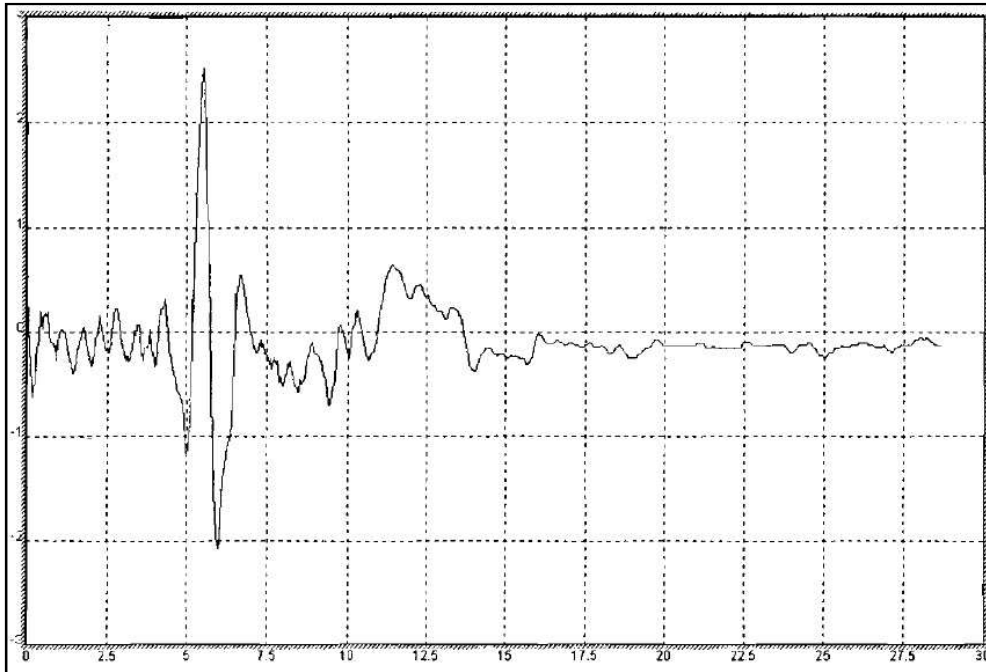
- a) 20 km/h
- b) 30 km/h
- c) 35 km/h

vykonávat jízdní manévr za minimální čas. Hodnota příčného přemístění motocyklu (v metrech) při tomto jízdním manévru byla dána skutečností, že se motocyklista snažil vykonávat jízdní manévr tak, že se

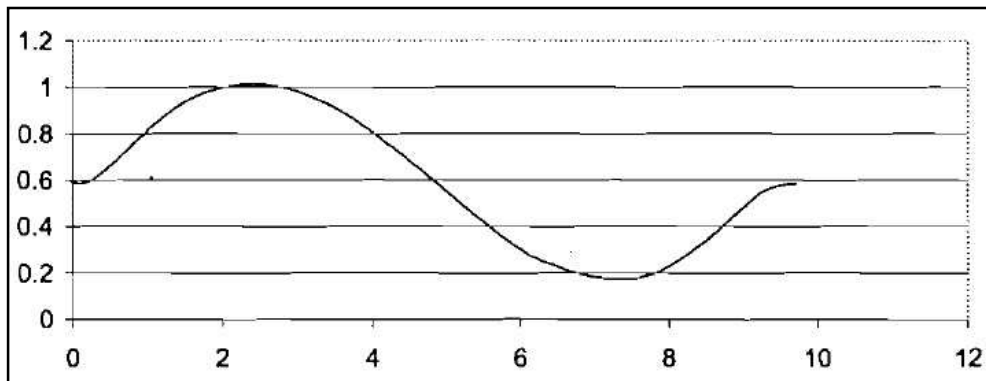
a) snažil motocykl rychle naklopit a poté rychle narovnat, při čem probíhalo i naklápění těla motocyklisty.

b) snažil motocykl rychle naklopit a poté rychle narovnat, při čem naklápění těla motocyklisty bylo omezené (tento manévr byl rychlejší než předcházející, kde docházelo k výraznějšímu naklápění těla motocyklisty, byla však dosažená menší hodnota bočního přemístění motocyklu).

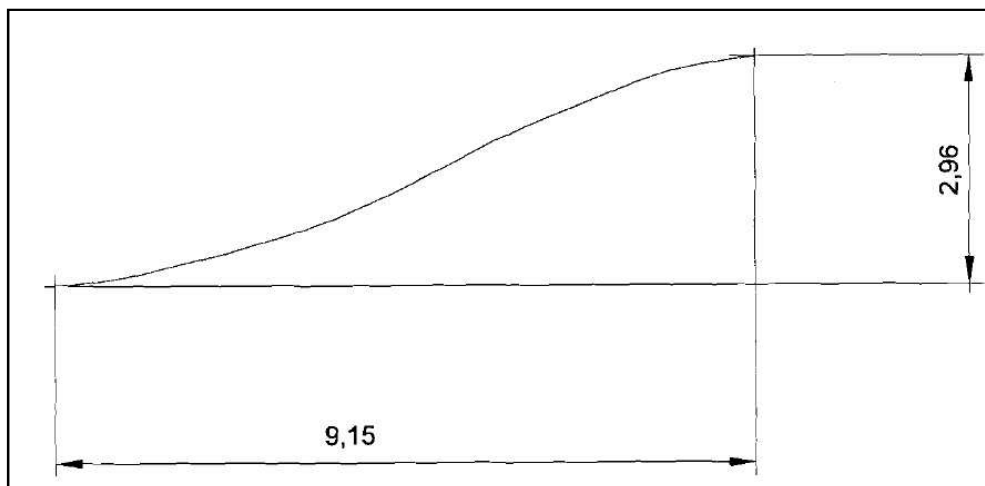
Zaznamenaný byl tvar trajektorie motocyklu a z toho byl vypočítaný průběh úhlu klopení motocyklu. Čas trvání manévru bočního přemístění motocyklu byl vyhodnocený na základě záznamu z měřícího zařízení, které bylo pevně připevněné k motocyklu.



Obr. 24: Průběh naměřeného příčného přemístění motocyklu – rychlý manévr při rychlosti 30 km/h (svislá osa – zrychlení [$m.s^{-2}$], vodorovná osa – čas [s])



Obr. 25: Vypočítaný přibližný úhel naklopení motocyklu – rychlý manévr při rychlosti 30 km/h (svislá osa – úhel klopení [rad], vodorovná osa – dráha [m])

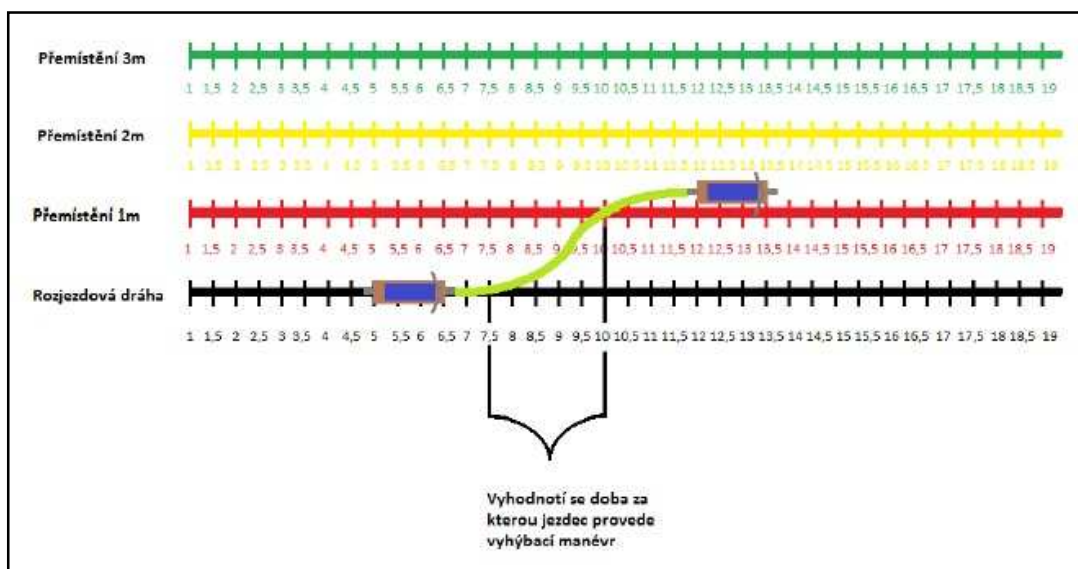


Obr. 26: Trajektorie pohybu motocyklu – rychlý manévr při rychlosti 30 km/h

Příklad 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 výjezdové 1, 2 a 3 metry).

Na nádrži motocyklu byl umístěn XL Metr, 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. [16]



Obr. 27: Schéma měření ohýbacího manévru

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, že se celková doba všech fází pohybovala v rozmezí 0,9 až 2,2 sekundy, doba příčného přemístění 2. fáze se pohybovala v rozmezí 0,5 až 1,5 sekundy.

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

2.1.4 Výpočet minimálního času 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:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{g}} \quad (28)$$

kde:

Δh – změna výšky těžiště v průběhu pádu [m]

2.1.5 Výpočet rychlosti motocyklu na základě dřecích stop motocyklu

K pádu motocyklu a motocyklisty a k následnému smýkaní 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 – řídítka, 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. [2]

Zpomalení při sunutí po pádu:

- motocyklista na asfaltu 6,4 až 10,4 m/s² (pouze vzorec $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$, pro s měřené od první zjistitelné stopy do konečné polohy),
- motocykl na asfaltu 3,3 až 7,4 m/s²,
- motocykl na dlažbě 3 až 7 m/s²,
- motocykl na trávě při 20 km/h nejméně 5 m/s²,
- motocykl na trávě při 40 km/h a vyšší nejméně 8 m/s² (hodnoty mohou být i výrazně vyšší podle charakteru terénu).

2.1.6 Výpočet nárazové rychlosti motocyklu při nárazu na překážku

Pokud motocykl narazí na pevnou, dostatečně vysokou překážku dojde k vymrštění osob ve směru původního pohybu motocyklu. Na základě nárazových zkoušek byl stanoven úhel, pod kterým dochází zpravidla k vymrštění těla řidiče motocyklu: 15 až 25°, u spolujezdce dochází k vymrštění pod úhlem 18 až 45°. [2]

Výška těžiště osob jedoucích na motocyklu se zpravidla pohybuje v rozmezí 90 až 105 cm nad úrovní vozovky, podle typu motocyklu.

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:

$$v = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d}{(\cos \varphi + \mu \cdot \sin \varphi)^2}} \quad (29)$$

kde:

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

φ – úhel vymrštění motocyklisty [°]

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

$$d_1 = \frac{v^2 \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi) + \sqrt{v^4 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi + 252,2 \cdot v^2 \cdot h \cdot \cos^2 \varphi}}{126,1} \quad (30)$$

kde:

h – výška těžiště řidiče [m]

v – nárazová rychlost [m/s]

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

Na základě dráhy smýkání je možno stanovit, zda je zpomalení těla motocyklisty v technicky přijatelných hranicích. Na suché vozovce je možno toto zpomalení předpokládat v rozmezí 3,5 až 6 m/s². Na mokré vozovce 2,5 až 5 m/s².

Je zřejmé, že vypočítaná hodnota nárazové rychlosti je pouze přibližnou hodnotou a nezohledňuje specifika konkrétního rázu (konstrukce motocyklu, tuhost motocyklu, tuhost překážky, výška překážky, atd.) Přesnější výpočet, zohledňující i uvedená specifika, je možno provést použitím vícetělesového systému.

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

Ve fázi sunutí lze uvažovat zpomalení motocyklisty na asfaltu 6,4 až 10,4 m/s² (podle literatury [1]). Pomocí vztahu (10) lze vypočítat x-ovou složku rychlosti v místě dopadu.

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s_1} \quad (31)$$

V první fázi dojde k odpoutání motocyklisty od motocyklu, který narazil na pevnou překážku. Dále se motocyklista pohybuje rychlostí, která je zpravidla nižší nebo stejná jako rychlost motocyklu v okamžiku nárazu.

$$v_x = v \quad (32)$$

$$v_y = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (33)$$

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \quad (34)$$

$$s_2 = v_x \cdot t = v_x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \quad (35)$$

$$s = s_1 + s_2 \quad (36)$$

2.1.7 Stanovení nárazové rychlosti jednostopého vozidla

Na základě rychlosti posádky jednostopého vozidla v prvním okamžiku letu je možno stanovit nárazovou rychlost tohoto vozidla. Ta je jen o něco vyšší než rychlost posádky tohoto vozidla v prvním okamžiku letu.

Uvedená závislost platí pro následující omezení:

- Výška těžiště motocyklu $h_0=1$ m,
- Zpomalení posádky jednostopého vozidla $a = 8$ až 11 m/s^2 ,
- Posádka jednostopého vozidla nekontaktovala kolemjedoucí vozidlo, ani během následující dráhy smýkání,
- Úhel, pod kterým posádka opouští jednostopé vozidlo je 5° nebo 10° . [2]

2.1.8 Stanovení nárazové rychlosti 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]

2.1.9 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 2 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.

Příklad nárazové zkoušky motocyklu s vozidlem:

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 pohybovali v rozmezí 78 až 122 km/h. [13]

Pokus číslo	Střet motocyklu s vozidlem	Typ střetu (podle ISO 13232)	Střetová rychlost, střetový úhel
1	Suzuki GSX 400 do VW Golf II	 D17	$v_{K, \text{ moto}} = 86 \text{ km/h}$ $\square_K = 270^\circ$

2	Yamaha XS 400 do VW Polo	 C17	$v_{K, moto} = 78 \text{ km/h}$ $\square_K = 270^\circ$
3	Yamaha XS 400 do Mazdy 323	 D17	$v_{K, moto} = 122 \text{ km/h}$ $\square_K = 270^\circ$
4	Yamaha XS 360 do Škody Favorit	 C17	$v_{K, moto} = 117 \text{ km/h}$ $\square_K = 270^\circ$
5	Honda CB 400N do Toyoty Camry	 C17	$v_{K, moto} = 100 \text{ km/h}$ $\square_K = 270^\circ$

Tab. 4: Přehled vykonaných nárazových zkoušek motocyklů do stojících vozidel

Pokus č. 3:

Kolmý náraz motocyklu Yamaha XS 400 s dummy figurínou do boku (oblast levého předního kola) vozidla Mazda 323.

Střetová rychlost motocyklu: 122 km/h
 Střetová rychlost vozidla: 0 km/h
 Střetový úhel: 270°

Hmotnost motocyklu (včetně pomocných koleček): 182 kg
 Hmotnost Dummy figuríny: 82 kg
 Hmotnost vozidla: 996 kg

Naměřené hodnoty

Hloubka deformace na vozidle: 32 cm
 Zkrácení rozvoru motocyklu: 48 cm

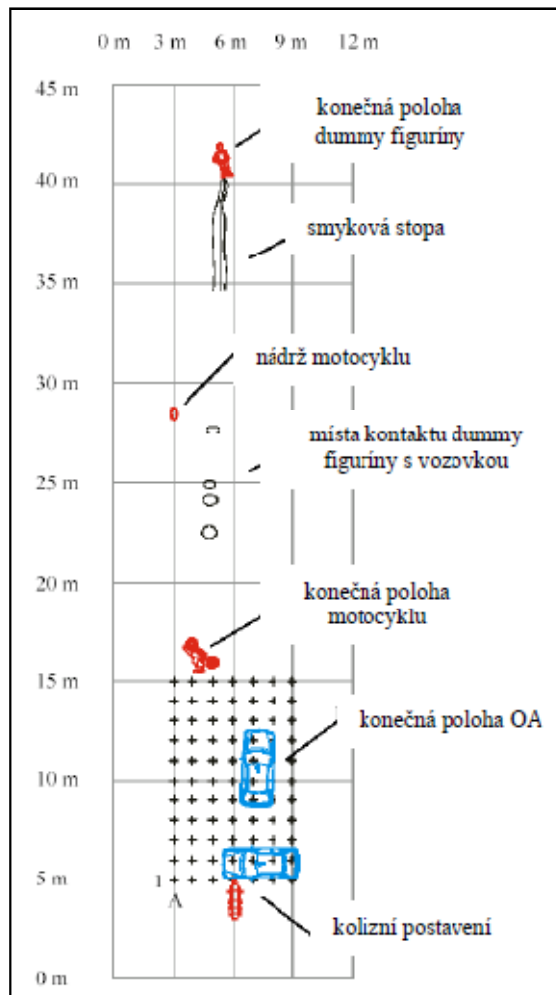
Vzdálenost odhození Dummy figuríny (konečná poloha):

podélně: 37,5 m
 příčně: 0,8 m

Motocykl Yamaha XS 400 narazil do levého předního kola vozidla Mazda 323. Přední vidlice byla silně deformovaná směrem dozadu, došlo k deformaci rámu v oblasti hlavy řízení a deformaci výfuku. Přední kolo motocyklu bylo několikrát zlomené.

Dummy figurína se oddělila od motocyklu, přeletěla řídítka motocyklu a kapotu vozidla. První kontakt dummy figuríny s vozovkou nastal ve vzdálenosti 18,75 m, následovala smyková stopa o délce 6,6 m. Konečná poloha dummy figuríny byla 37,5 m od první fáze letu. Vozidlo se následkem střetu otočilo o 93° ve směru hodinových ručiček, kdy ruční brzda byla po celou dobu zatažená.

Motocykl se zaklínil do předního levého blatníku vozidla a posunul nárazník z uchycení a nakonec se převrátil dopředu.



Obr. 28: Plánek crash testu, měřítko 1:250



Obr. 29: Motocykl Yamaha XS400 (vlevo)

Obr. 30: Sřretov poloha vozidla Mazda 323 (vpravo)



Obr. 31: Pohyb dummy figuríny přes řdtk a kapotu vozidla (vlevo)

Obr. 32: Fáze letu dummy figuríny (vpravo)



Obr. 33: Konen poloha motocyklu a vozidla (vlevo)

Obr. 34: Konen poloha dummy figuríny (vpravo)



Obr. 35: Poškození vozidla (vlevo)

Obr. 36: Hloubka deformace na vozidle 32 cm (vpravo)



Obr. 37: Detailní záběr na poškození vozidla (vlevo)

Obr. 38: Oblast kontaktu dummy figuríny – červená oblast (vpravo)



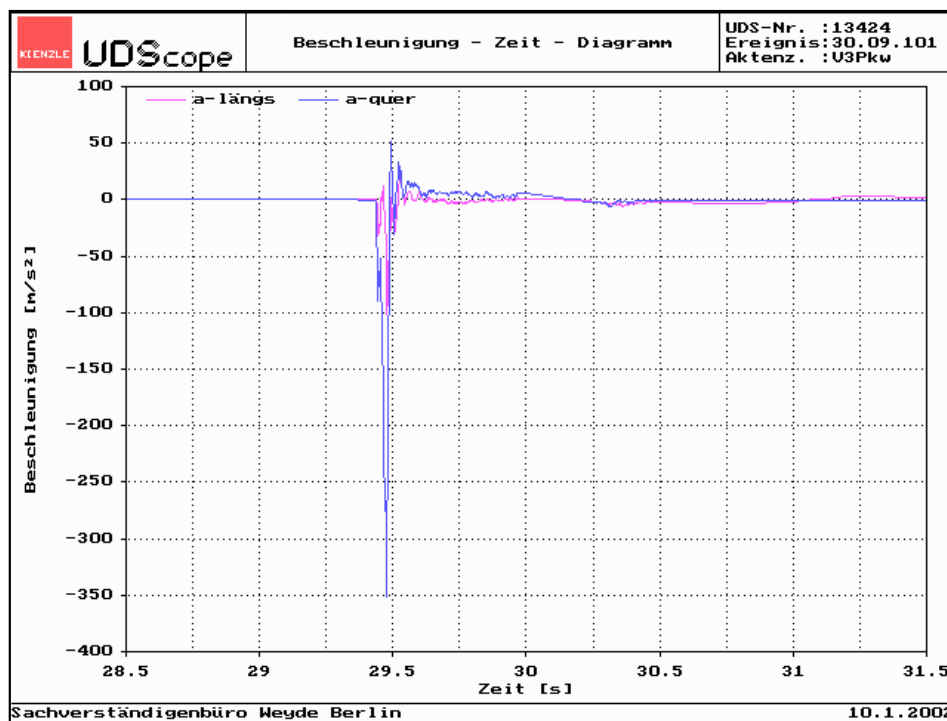
Obr. 39: Poškození motocyklu (vlevo)

Obr. 40: Zkrácení rozvoru 48 cm (vpravo)



Obr. 41: Poškození nádrže – pohled zepředu (vlevo)

Obr. 42: Poškození nádrže – pohled zleva (vpravo)



Obr. 43: Průběh zrychlení v okamžiku střetu motocyklu do vozidla

2.1.10 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]

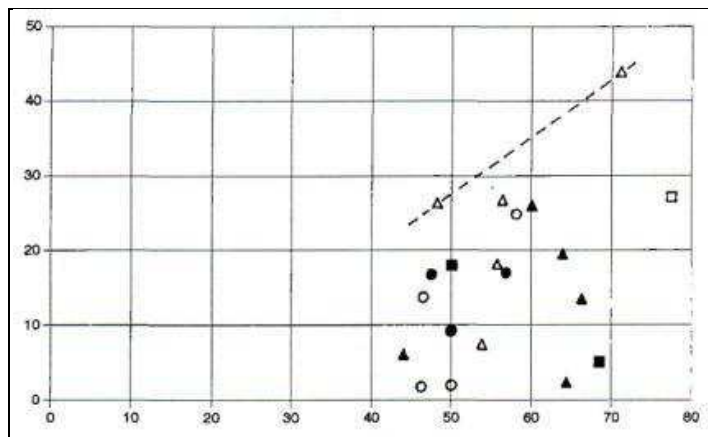
Na trvalé zkrácení rozvoru má vliv velké množství faktorů:

- 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.

2.1.10.1 Deformační přístup

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

[2]



Obr. 44: Trvalé zkrácení rozvoru v závislosti na nárazové rychlosti pro pohybující se vozidlo (svislá osa – trvalé zkrácení rozvoru [cm], vodorovná osa – rychlost motocyklu [km/h])

2.1.10.2 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:

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (37)$$

kde:

m – hmotnost motocyklu bez dummy figuríny [kg]

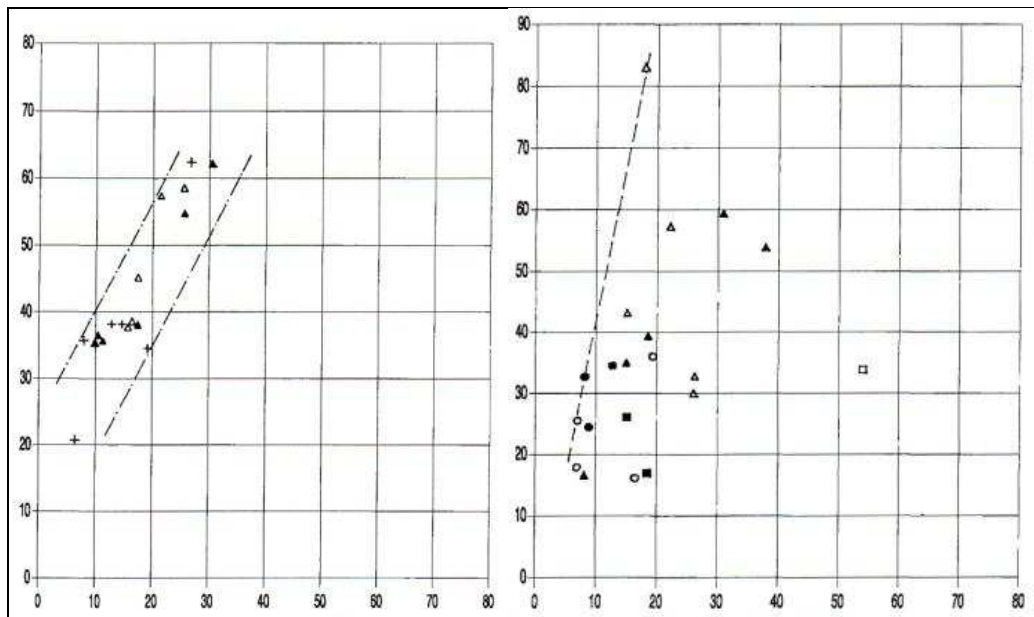
v – rychlost motocyklu v okamžiku nárazu [m/s]

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 potřebné upozornit, že platnost uvedené závislosti je jen za následujících podmínek:

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



Obr. 45: 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).

Příklad určení EES motocyklů:

Měřením nárazových zkoušek motocyklů do pevné nedeformovatelné překážky, kterou tvořily betonové panely o hmotnosti 12 500 kg, byly zjištěny hodnoty EES (energetické ekvivalentní rychlosti) motocyklů. Výška betonových panelů byla 2 m. 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. [14]

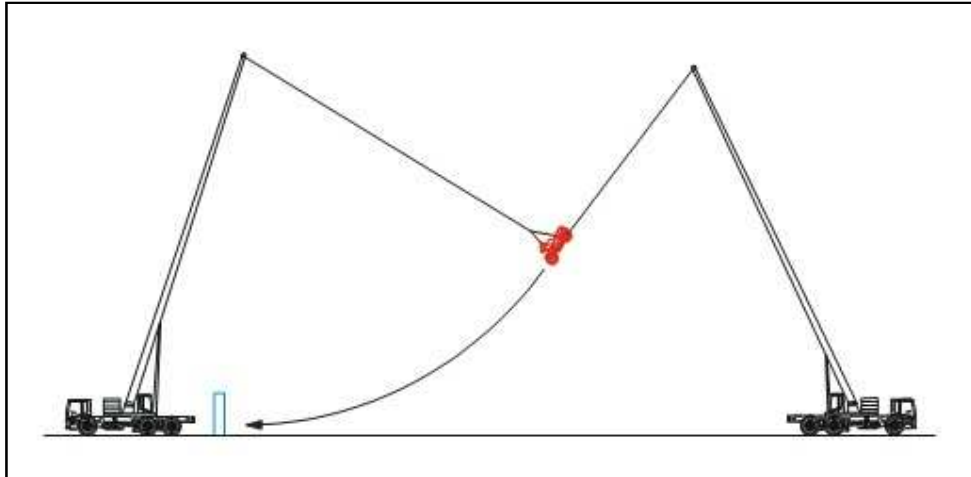
Výsledná rychlost vyplývá z následující rovnice:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (38)$$

Na určení EES hodnot byla použita rovnice energií následovně:

$$E_{Kin\ moto} + E_{Kin\ lano} = E'_{Kin\ moto} + E'_{Kin\ lano} + E_{Def\ moto} + E_{Pot} \quad (39)$$

Při pokusech 5 a 6 došlo k lehkému posunu betonových panelů, proto byla tolerance měření ± 3 km/h, při ostatních pokusech ± 2 km/h. Údaje rychlostí jsou zaokrouhlené na celé hodnoty v km/h.



Obr. 46: Průběh měření – znázornění zavěšení motocyklu na laně jeřábu

Pokus č. 1:

Náraz motocyklu Yamaha XS 400 do tuhé, nedeformovatelné překážky.

Počáteční výška:	10,2 m
Rychlost nárazu:	51 km/h
Hmotnost motocyklu:	169 kg

Výsledky testu

Zkrácení rozvoru:	31 cm
Celkové zkrácení délky:	47 cm
EES:	50 km/h

Motocykl Yamaha XS 400, kterému chyběl přední blatník, narazil relativně přesně pod 90° stupňovým úhlem do betonových panelů.

Popis poškození:

Zlomená pravá trubice přední vidlice, nadvakrát zlomené přední kolo, a to v oblasti nárazu vepředu, dále v zadní části směrem k motoru. Z videozáznamu bylo viditelné, že trubice jsou v okamžiku kolize více deformované směrem k motoru, jako bylo viditelné při pozdějším ohledání. Dynamické zkrácení rozvoru je proto o cca 10 cm větší než

statické naměřené. Po demontáži motocyklu byla rozpoznatelná značná deformace rámu v horní oblasti za hlavou řízení.



Obr. 47: Yamaha XS 400 s porovnávacím měřítkem



Obr. 48: Střetová poloha (vlevo)

Obr. 49: Zkrácení rozvoru 31 cm a celkové zkrácení délky 47 cm (vpravo)



Obr. 50 : Vidlice posunuté doprava (vlevo)

Obr. 51 : Pravá trubice zlomená (vpravo)



Obr. 52: Zdeformovaná horní trubice rámu a rozpoznatelné odloupení laku (vlevo)

Obr. 53: Stopy kontaktu na betonových panelech (vpravo)



Obr. 54: Průběh podélného zrychlení v okamžiku nárazu motocyklu do betonových panelů

2.1.10.3 Přehled změřených dat ostatních motocyklů

Pokus č.	Motocykl	Hmotnost		Pneumatiky		Počáteční výška
		přední náprava	zadní náprava	vepředu	vzadu	
1	Yamaha XS 400	74 kg	95 kg	3.25/18	110/80/18	10,2 m
2	Suzuki GSX 250	69 kg	80 kg	3,00/18	3,50/18	6,3 m
3	CB 400 N	72 kg	86 kg	3.60/19	4.10/18	2,6 m
4	CB 400 N	79 kg	90 kg	3.60/19	4.10/18	1,3 m
5	CB 400 N	79 kg	90 kg	3.60/19	4.10/18	17,1 m
6	Suzuki GSX 250	71 kg	84 kg	3,00/18	3,50/18	19,8 m

Tab. 5: Změřená a vypočítaná data ostatních měřených motocyklů

Pokus č.	Motocykl	Kolizní rychlost	Zkrácení rozvoru	Celkové zkrácení	EES
1	Yamaha XS 400	51 km/h	31 cm	47 cm	50 km/h
2	Suzuki GSX 250	40 km/h	17 cm	25 cm	38 km/h
3	CB 400 N	26 km/h	10 cm	10 cm	24 km/h
4	CB 400 N	18 km/h	7 cm	7 cm	17 km/h
5	CB 400 N	66 km/h	38 cm	55 cm	65 km/h
6	Suzuki GSX 250	71 km/h	43 cm	63 cm	70 km/h

Tab. 6: Výsledky testů ostatních měřených motocyklů



Obr. 55: EES = 17 km/h, zkrácení rozvoru 7 cm (vlevo)

Obr. 56: EES = 24 km/h, zkrácení rozvoru 10 cm (vpravo)



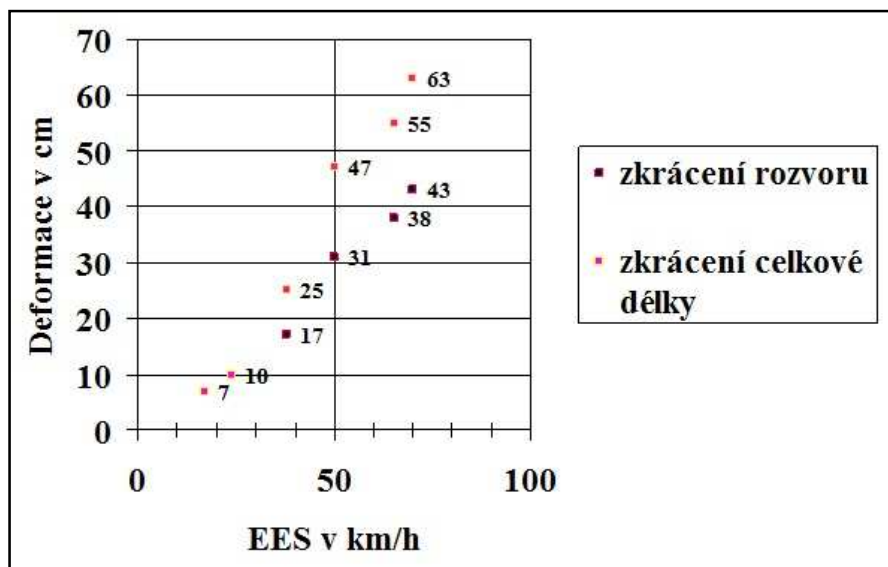
Obr. 57: EES = 38 km/h, zkrácení rozvoru 17 cm (vlevo)

Obr. 58: EES = 50 km/h, zkrácení rozvoru 31 cm (vpravo)



Obr. 59: EES = 65 km/h, zkrácení rozvoru 38 cm (vlevo)

Obr. 60: EES = 70 km/h, zkrácení rozvoru 43 cm (vpravo)

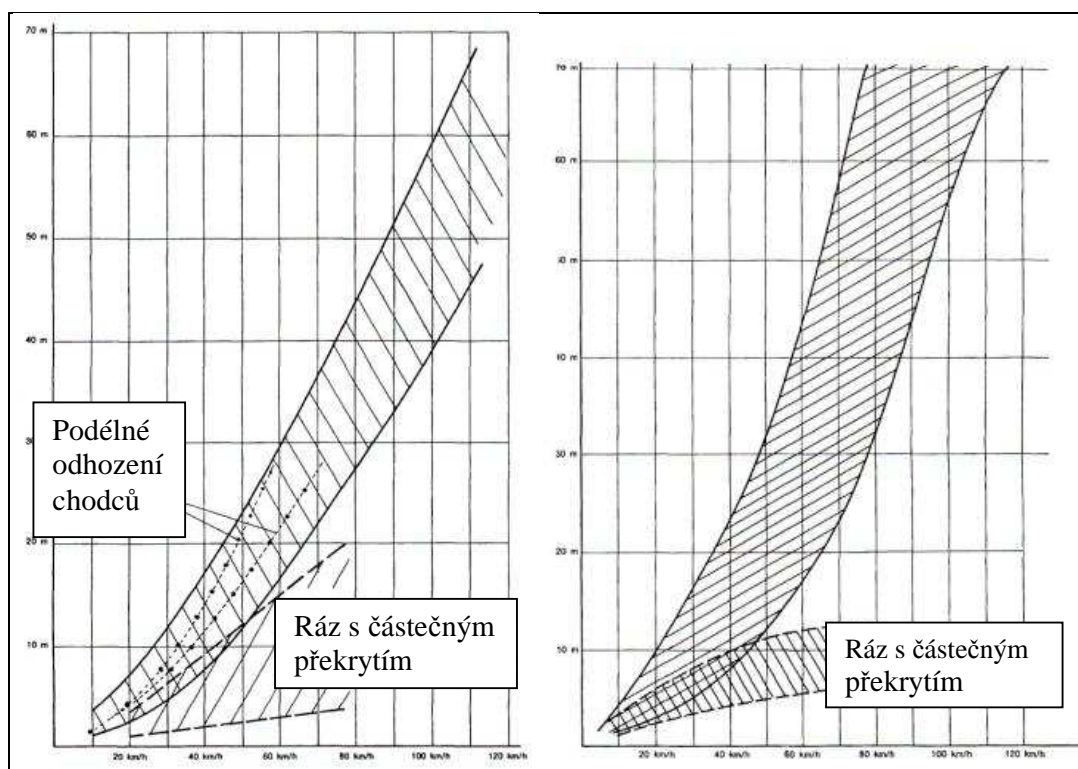


Obr. 61: Zkrácení rozvoru a zkrácení celkové délky jednotlivých testů

2.1.11 Stanovení nárazové rychlosti vozidla do jednostopého vozidla

Pro určení nárazové rychlosti vozidla do motocyklu je možno použít obr. 62 (vlevo) sestrojený na základě crashtestů a obr. 62 (vpravo), sestrojený na základě reálných nehod. Při těchto testech vozidlo naráželo do zadní části motocyklu zezadu, do přední části motocyklu zepředu, nebo vozidlo naráželo do boku motocyklu (podélné osy vozidla a motocyklu byly při prvním kontaktu různoběžné). Následně byly vyhodnocovány parametry:

- podélná vzdálenost odhození jednostopého vozidla,
- podélná vzdálenost odhození těla řidiče jednostopého vozidla.



Obr. 62: Vzdálenost podélného odhození těla řidiče jednostopého vozidla v závislosti od nárazové rychlosti vozidla při crashtestech (vlevo) a reálných nehodách (vpravo). Svislá osa – přibližná vzdálenost odhození těla řidiče motocyklu [m], vodorovná osa – nárazová rychlost motocyklu [km/h]

V grafech jsou znázorněny výsledky pokusů, přičemž dummy figurína seděla na kole, mopedu, motocyklu. Nárazová rychlost byla postupně měněna z 25 do 65 km/h.

Na základě vyhodnocení pokusů s koly bylo konstatováno, že pokud zůstanou nějaké dřecí stopy, potom jsou výrazně kratší než celková vzdálenost odhození. Pro motocykl není tento rozdíl tak výrazný. [2]

Pro celkovou vzdálenost odhození je možno na základě délky dřecích stop pro pokusy s kolem velmi přibližně vyjádřit:

Celková vzdálenost odhození = (1,5 až 3)* délka dřecích stop.

Pro celkovou vzdálenost odhození je možno na základě délky dřecích stop pro pokusy s mopedy velmi přibližně vyjádřit:

Celková vzdálenost odhození = (1,1 až 1,2) * délka dřecích stop.

Pokusy s motocykly nebyly tímto způsobem vyhodnoceny. Je však nutné poznamenat, že tahle závislost byla vyhodnocená na základě uskutečněných crashtestů a není to možno zobecňovat pro všechny případy vzájemného kontaktu jednostopého vozidla s dvojstopým vozidlem.

Koeficient, který vyjadřuje závislost mezi vzdáleností odhození a délkou dřecích stop, je funkcí rychlosti a pro rostoucí hmotnost jednostopého vozidla se blíží k číslu 1.

2.2 Metody dopředného výpočtu

Tato metoda je realizována s podporou simulačních programů, které řeší dopravní nehody od počátku nehodového děje až po jeho konec s pomocí matematických modelů. Simulační programy umožňují velmi rychlou změnu vstupních parametrů při současné kontrole výstupních parametrů.

Mezi nejpoužívanější simulační programy patří zejména:

- Virtual Crash
- PC Crash
- Carat
- Analyzer Pro
- atd.

Pomocí simulačních programů je možné řešit i velmi složité střety. Lze použít rozdělení brzdné síly, použití ABS, nastavení tlumení a pružení, atd. Další velkou výhodou je možnost použití vícetělesového systému, který umožní modelaci těla motocyklisty. Výstupem je pak přesný plánec nehodového děje (importovaný do programu přímo v měřítku, případně zaměřený totální geodetickou stanicí obsahující i sklony) včetně simulace, kterou je možno zobrazit i v trojrozměrné videosimulaci. Pro účely znaleckého posudku je možné vygenerovat protokol a diagram. Za znalecký posudek vypracovaný pomocí simulačního programu je vždy zodpovědný sám znalec.

3 KOMPLEXNÍ SYSTÉM ANALÝZY STŘETU MOTOCYKLU S VOZIDLEM

Cílem této disertační práce je na základě dosavadního stavu poznání ve zmíněné oblasti vytvořit metodiku pro řešení nehod s motocykly, přesněji střetu motocyklu s vozidlem.

Součástí samotné metodiky bude soubor provedených měření (zrychlení a zpomalení motocyklů, příčné přemístění motocyklu, zrychlení vozidel na první a druhý rychlostní stupeň).

Řešení střetu je velmi složité a je nutné zde postupovat velmi precizně. K tomu je nezbytné shromáždit pokud možno co nejvíce vstupních dat. Jedině na základě kvalitních vstupních dat je možné zpracovat kvalitní znalecký posudek.

Dopravní nehodu je možné rozdělit na pohyb vozidel před střetem, samotný střet vozidel a pohyb vozidel po střetu.

Pomocí zpětného výpočtu se postupuje od známého (konečné polohy vozidel) k neznámému (střetové rychlosti). Z pohybu vozidel po střetu (postřehového pohybu) a znalosti zanechaných stop vozidel na vozovce je možné vypočítat postřehovou rychlost obou vozidel. Postup musí být co nejpřesnější, zejména přesná volba vzdáleností a odpovídající součinitel adheze daného povrchu.

3.1 Stopy na vozovce

3.1.1 Stopy jízdy vozidla

Jízdní stopy vozidla jsou vytvořeny volně se otáčejícími nebrzděnými koly. Kvalita těchto stop závisí na typu povrchu vozovky, na konstrukci a hmotnosti vozidla, případně na stavu a tlaku pneumatik. Stopy jsou dobře znatelné především na měkkém povrchu (sníh, bláto, prašné cesty, teplem změkнутý asfalt, atd.). Na běžném asfaltu, betonu bývají velmi těžce zjištělné. Jízdní stopy jsou charakteristické tím, že jejich tvar i reliéf dezénu naprosto odpovídá skutečnosti, což umožňuje zjištění konkrétního vozidla. Ze stop je možné zjistit rozchod kol vozidla, rozměry, případně stav opotřebení pneumatik. [12]



Obr. 63: Jízdní stopa vozidla na hliněném povrchu

3.1.2 Brzdné stopy

Vznikají na vozovce stále ještě se otáčejícími koly. Brzděním je pohyb vozidla již zpomalován, ale vlivem setrvačnosti jsou kola stále nucena se otáčet. Vlivem gravitace, odstředivých sil a hmotnosti vozidla dochází k deformaci otisku pneumatiky (je zkreslený, rozmazaný ve směru jízdy a tvar jednotlivých obrazců vzorku je větší než ve skutečnosti). Na měkkém povrchu bývají tyto stopy výraznější a hlubší než jízdní stopy, protože vozidlo je brzděním více přitlačováno k vozovce. [12]



Obr. 64: Brzdná stopa vozidla na hliněném povrchu

3.1.3 Blokovací stopy

Vznikají neotáčejícími se koly. Na pevném povrchu mají podobu výrazného tmavého pruhu, který vzniká extrémním třením pneumatiky o vozovku. Na měkkém povrchu jsou zase tvořeny hlubokými výraznými stopami. Délka blokovacích stop je velmi důležitá pro výpočet rychlosti vozidla na počátku brzdných stop.

Při ohledání místa dopravní nehody je proto velmi důležité co nejpřesněji zjistit nejen délku a průběh blokovací stopy, ale také stav, povrch a sklon vozovky, stav pneumatik, účinnost brzda a zatížení vozidla. [12]



Obr. 65: Blokovací stopa vozidla na asfaltě

3.1.4 Smykové stopy

Vznikají vychýlením vozidla do strany při současném pohybu vpřed, např. při rychlém průjezdu zatáčkou, náhlém brzdění nebo při prudkém otočení volantu na kluzkém povrchu. Smykové stopy mají na vozovce podobu tmavé křivky. V některých případech bývá smyk způsoben defektem pneumatiky nebo najetím vozidla na olejovou skvrnu. Ke vzniku smyku přispívá nesprávný tlak v pneumatikách či špatný stav dezénu. [12]



Obr. 66: Smyková stopa vozidla na asfaltě

3.1.5 Dřecí stopy

Vznikají v důsledku tlaku tvrdých těžkých předmětů, popř. jejich částí na vozovku při jejich současném pohybu. Zpravidla k jejich vzniku dochází po nárazu na překážku, která je následně tlačena nebo vlečena vozidlem. U motocyklů se jedná především o dřecí stopy od stupaček, řídítek, atd. [12]



Obr. 67: Dřecí stopa od motocyklu na asfaltě

3.1.6 Ostatní stopy

Mezi ostatní stopy patří např. stopy provozních kapalin (olej, palivo, brzdová nebo chladicí kapalina, apod.), stopy obuvi a oblečení, biologické stopy, atd. Stopy provozních kapalin mohou pomoci při určení průběhu drah jednotlivých vozidel po střetu. [12]



Obr. 68: Ostatní stopy (únik provozních kapalin motocyklu)

3.1.7 Stopy s ABS

Dnešní vozidla a motocykly vybavené systémem ABS (protiblokovací systém) a na něj navazujícími systémy ESP (elektronický stabilizační program) a ASR (systém regulace prokluzu kol) za běžných podmínek nezanechávají na vozovce téměř žádné okem viditelné brzdné ani blokovací stopy. Hned při ohledání místa dopravní nehody je třeba brát tuto skutečnost na vědomí a následnou diagnostikou řídicí jednotky zjistit, zda byly tyto systémy v době nehody funkční. Protiblokovací stopy tvoří kombinace jízdnicích stop a brzdnicích stop střídajících se ve velmi krátkém časovém úseku. Na měkkém povrchu jsou tyto stopy dobře patrné a jsou hlubší než stopy jízdnic. Na pevném povrchu jsou stopy patrné pouze při pohledu z boku nebo při šikmém osvětlení. Jeví se jako střídání tmavých a lesklých plošek na vozovce. Viditelné bývají tyto stopy také po fotografické expozici. Nejmodernější metodou je zjišťování blokovacích stop pomocí termokamer. Avšak tuto metodu lze uplatnit jen v krátkém časovém úseku po nehodě, zpravidla 10 až 30 minut a pouze na suchém povrchu. [12]



Obr. 69: ABS stopy vozidla na asfaltě

3.2 Brzdění

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 brzdnicím 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 přenesne na přední kolo, je nejvyšší účinnost zadní brzdy.
- 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. [29]

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.

3.2.1 Součinitel adheze

Okamžitá velikost součinitele adheze pneumatiky na vozovce závisí na následujících faktorech:

- jakosti a stavu povrchu vozovky,
- jakosti a stavu povrchu 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 optimální 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. 7: Součinitel adheze na různém povrchu

V následující tabulce je uvedeno zpomalení, které je možné dosáhnout na různém druhu povrchu.

Povrch vozovky		Zpomalení [m/s^2]	Povrch vozovky		Zpomalení [m/s^2]
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. 8: Zpomalení na různém povrchu

3.2.2 Zpomalení motocyklů

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.

Pokud motocykl brzdí pouze přední brzdou, uvažujeme brzdné zpomalení v rozmezí 7,6 až 9,4 m/s^2 , při použití pouze zadní brzdy 3,0 až 4,5 m/s^2 a při použití jak přední, tak i zadní

brzdy přibližně 8,4 až 9,8 m/s². Pokud je motocykl vybaven Dual systémem, pak v případě použití pouze přední brzdy (nebo pouze zadní brzdy) je možné dosáhnout zpomalení 7,5 až 8,0 m/s². Moderní motocykly vybavené systémy ABS jsou velmi bezpečné při brzdění a vyhýbání na různých typech povrchů. Dosahované zpomalení u takových motocyklů je 7,6 až 9,5 m/s² na suché vozovce, na mokré pak okolo 7,5 m/s².

V případě pádu motocyklu lze uvažovat jeho zpomalení na asfaltu v rozmezí 3,3 až 7,4 m/s² a zpomalení motocyklisty na asfaltu v rozmezí 6,4 až 10,4 m/s².

Zpomalení motocyklu na dlažbě 3 až 7 m/s², motocykl na trávě při 20 km/h nejméně 5 m/s² a motocykl na trávě při 40 km/h a vyšší nejméně 8 m/s² (hodnoty mohou být i výrazně vyšší podle charakteru terénu, případného zarytí části motocyklu do zeminy). [2]

3.2.3 Příklad dosažených zpomalení u různých typů motocyklů

V prvním souboru měření bylo měřeno brzdné zpomalení motocyklů v přímém směru a na suchém asfaltu. Motocykly byly vybaveny systémem ABS a byly bržděny z různých rychlostí až do úplného zastavení. Bylo provedeno měření se zapnutým, ale i vypnutým systémem ABS, kdy obě brzdy byly použity současně.

V následující tabulce je znázorněno rozdílné brzdné zpomalení při zapnutém a vypnutém systému ABS.

Motocykl	Rychlost [km/h]	ABS	Zpomalení [m/s ²]
Honda VFR	48,3	zapnuto	8,9 až 9,8
		vypnuto	7,6 až 9,3
	128,8	zapnuto	8,4 až 9,5
		vypnuto	8,1 až 9,2
Honda ST1100	48,3	zapnuto	7,4 až 10,6
		vypnuto	8,4 až 10,9
	128,8	zapnuto	8,4 až 10,4
		vypnuto	7,9 až 9,8
BMW C1	48,3	zapnuto	6,6 až 9,7
	60,0	vypnuto	6,3 až 7,9
	73,3	zapnuto	8,1 až 9,7

Tab. 9: Brzdné zpomalení motocyklů v přímém směru se zapnutým a vypnutým systémem ABS

V druhém souboru měření bylo měřeno brzdné zpomalení motocyklů při průjezdu zatáčkou o konstantním poloměru 61m, opět na suchém asfaltu. Motocykly byly vybaveny systémem ABS a byly bržděny až do úplného zastavení. Bylo provedeno měření se zapnutým, ale i vypnutým systémem ABS, kdy obě brzdy byly použity současně. [30]

Motocykl	Rychlost [km/h]	ABS	Zpomalení [m/s ²]
Honda VFR	48,3	zapnuto	7,4 až 9,2
		vypnuto	6,0 až 8,7
Honda ST1100	48,3	zapnuto	6,8 až 8,6
		vypnuto	Nezměřeno
BMW C1	48,3	zapnuto	6,8 až 10,0
		vypnuto	6,6 až 7,9

Tab. 10: Brzdné zpomalení motocyklů při průjezdu zatáčkou o konstantním poloměru 61 m se zapnutým a vypnutým systémem ABS

Hodnota zpomalení při vypnutém systému ABS nebyla změřena důsledkem chybné komunikace mezi optickým senzorem a sběrníci dat.

Poslední soubor měření znázorňuje hodnoty brzdného zpomalení při použití pouze přední brzdy, pouze zadní brzdy a obou brzd současně. Hodnoty zpomalení jsou brány jako průměrné.

Motocykl	Použité brzdy	Rychlost [km/h]	Zpomalení [m/s ²]
Honda ST1100	přední	60	6,5
	zadní	60	4,6
	obě	60	8,1
Harley Davidson	přední	60	4,1
	zadní	60	3,8
	obě	60	6,2
Honda VFR	přední	60	7,9
	zadní	60	5,7
	obě	60	9,5
Suzuki GZ250	přední	60	6,8
	zadní	60	4,6
	obě	60	8,1

BMW C1	přední	60	7,3
	zadní	60	3,5
	obě	60	5,7

Tab. 11: Brzdné zpomalení motocyklů s použitím pouze přední brzdy, pouze zadní brzdy a obou brzd současně

3.2.4 Zpomalení vozidel

Hodnoty maximálních hodnot zpomalení u osobních vozidel jsou v rozmezí 9,0 až 9,5 m/s². V následující tabulce jsou uvedeny rozmezí brzdného zpomalení vozidel různých kategorií. [3]

Kategorie vozidla	Hodnota zpomalení [m/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. 12: Rozmezí hodnot brzdného zpomalení vozidel na suchém asfaltovém povrchu.

V případě smyku vozidla lze uvažovat jeho zpomalení na suchém asfaltu v rozmezí přibližně 4 až 6 m/s², kdy lze dosáhnout zpomalení na mezi příčné adheze. Zpomalení převráceného vozidla na suchém povrchu je možné uvažovat v rozmezí 3,5 až 5 m/s², na měkkém povrchu, třeba na trávě hodnoty zpravidla dosahují hodnot 15 m/s² i vyšších.

Pokud již známe na základě výše uvedených vstupních dat postřehové 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.

Jakmile známe střetovou rychlost vozidla, příp. motocyklu a jejich předpokládané trajektorie pohybu před střetem, je možné se zaměřit na předstřetový pohyb vozidel. Při řešení

nehod na křižovatkách hraje velmi důležitou roli průběh zrychlení jednotlivých účastníků dopravní nehody.

3.3 Zrychlení

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 menší rozměr motocyklů oproti rozměrům vozidla. Rychlé přiblížení motocyklů bývá pro ostatní účastníky provozu nezvyklé.

3.3.1 Zrychlení vozidel

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. V tabulce jsou uvedeny hodnoty zrychlení vozidel různých kategorií. [3]

Kategorie vozidla	Hodnota zrychlení [m/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
Nákladní	0,7 až 1,5
Sportovní	4,1 až 7,5

Tab. 13: Rozmezí hodnot zrychlení vozidel na suchém asfaltovém povrchu z 0 – 60 km/h

Rozmezí hodnot zrychlení osobních vozidel na první rychlostní stupeň je 2,5 až 4,5 m/s² a na druhý rychlostní stupeň pak 1,8 až 3,2 m/s². U malých nákladních vozidel je situace velmi ovlivněna hmotností převáženého nákladu. Na první rychlostní stupeň bez nákladu 2,5 až 4,0 m/s², s nákladem (plně naloženo) 1,5 až 2,2 m/s². Na druhý rychlostní stupeň bez nákladu 2,1 až 3,5 m/s², s nákladem 1,2 až 1,8 m/s².

3.3.2 Zrychlení motocyklů

Při zrychlování motocyklu hraje důležitou roli výkon motocyklu, jeho aktuální hmotnost (včetně posádky), zařazený rychlostní stupeň, atd. Hodnoty zrychlení u motocyklů jsou podstatně vyšší než u vozidel. Hodnoty maximálních zrychlení motocyklů bez spolujezdce se pohybují v rozmezí 4 až 7 m/s², běžné rozjezdy (např. z křižovatek) pak 3 až 3,5 m/s². V případě plně obsazeného a naloženého motocyklu mohou být udávané hodnoty zrychlení až o třetinu nižší. [3]

3.4 Reakční doba

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 zohlednit jeho aktuální věk, zdravotní stav, zrak, aktuální počasí, především viditelnost, apod. [1]

Podle provedených studií je délka reakční doby motocyklistů rovna přibližně 0,55 sekundy, v případě, že není motocyklista připraven a má ruku na plynové rukojeti a nohu na stupačce. Rovněž je zde uvažovaná minimální optická reakční doba (0 sekund - přímý pohled na objekt v rozsahu 1°). Pokud by motocyklista přímo nesledoval objekt, reakční doba by se patřičně prodloužila (přibližně 0,5 sekundy pro objekt v rozsahu do 5° nebo přibližně 0,6 sekundy pro objekt v rozsahu nad 5°). 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 sekundy kratší, tj. přibližně 0,40 sekund. Rozdíl 0,15 sekundy při rychlosti 100 km/h je ve výsledku rozdíl v dráze cca 4,2 metru, což rozhodně není zanedbatelná hodnota.

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 sekundy.

3.5 Odezva vozidla, motocyklu

Je složena z prodlevy brzd a náběhu plného brzdného účinku. Ve fázi náběhu brzdného účinku uvažujeme poloviční hodnotu brzdného zpomalení. Náběh brzd u osobních vozidel uvažujeme přibližně 0,2 sekundy. U motocyklů 0,3 sekundy v případě použití pouze zadní

brzdy a až 0,6 sekund v případě použití přední brzdy (vlivem tlumení a zkušenostech motocyklisty). U nákladních vozidel je odezva v rozmezí 0,2 až 0,5 sekund. [3]

4 POSTUP ŘEŠENÍ NEHODY - STŘET VOZIDLA S MOTOCYKLEM

4.1 Systematizace střetů vozidla s motocykly

Mezi nejčastější typy dopravních nehod mezi motocykly a vozidly patří následující 4 kategorie:

- kolmý střet (nebo mu blízký, tzn. 60 až 120°) motocyklu s vozidlem, kdy motocykl jede po hlavní silnici a vozidlo vyjíždí z vedlejší,
- vozidlo odbočuje z hlavní silnice vlevo a střetne se s motocyklem, který vozidlo předjíždí,
- vozidlo odbočuje z hlavní silnice doleva a střetne se s motocyklem jedoucím z protisměru rovněž po hlavní silnici,
- ostatní typy střetů.

Systematizace	Typ střetu	Charakteristika střetu
A	Střety při nedání přednosti v jízdě	Zpravidla kolmé střety na křižovatkách, kdy jeden z účastníků nadá přednost druhému
B1	Střety odbočovací	Předjíždění vozidla odbočujícího vlevo (vozidla jedoucí za sebou)
B2	Střety odbočovací	Střet s protijedoucím vozidlem při odbočování vlevo
C	Ostatní typy střetů	Střety při otáčení, čelní střety, pojistné podvody, atd.

Tab. 14: Systematizace střetů

Mezi hlavní příčiny střetů motocyklů s vozidly patří vysoká rychlost motocyklů a nedání přednosti řidičů vozidel, především špatným odhadem rychlosti motocyklu. Dále je to nezvládnutí motocyklu ze strany méně zkušeného motocyklisty, pozdní reakce, technické závady, atd.

Střety při nedání přednosti v jízdě (A) a střety odbočovací (B1, B2) mají hodně společného, co se týče zpracování znaleckých posudků, také jejich zpracování podléhá podobnému postupu.

4.1.1 Střety při nedání přednosti v jízdě - typ A

Střety při nedání přednosti v jízdě (A) 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.

4.1.2 Střety odbočovací - typ B

Střety odbočovací lze rozdělit na dvě podskupiny, (B1) předjíždění vozidla odbočujícího vlevo (vozidla jedoucí za sebou) a (B2) střet s protijedoucím vozidlem při odbočování vlevo.

Pro první případ (B1) je typická situace, kdy vozidlo jedoucí po hlavní silnici hodlá odbočit vlevo a současně je předjížděno motocyklem nebo naopak.

Klasickým druhým případem (B2) 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.

4.2 Postup řešení dopravní nehody motocyklu s vozidlem 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, plánec místa dopravní nehody, fotodokumentace, výpovědi účastníků a svědků dopravní nehody (subjektivní podklady), lékařská zpráva, zápis o poškození

předmětných vozidel, technické údaje vozidel. V některých případech může být užitečné podrobné zaměření místa dopravní nehody, případně vyšetřovací pokus.

4.2.1 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, eventuálně 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 v 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).

4.2.2 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 eventuelně vyloučení nebo přerušení dopravy v daném úseku komunikace),
- opatření z hlediska hospodárnosti (pronájem přístrojů, cena měřických, demontážních a montážních prací, atd.).

4.2.3 Zadání vstupních podkladů

4.2.3.1 *Import plánu do simulačního programu*

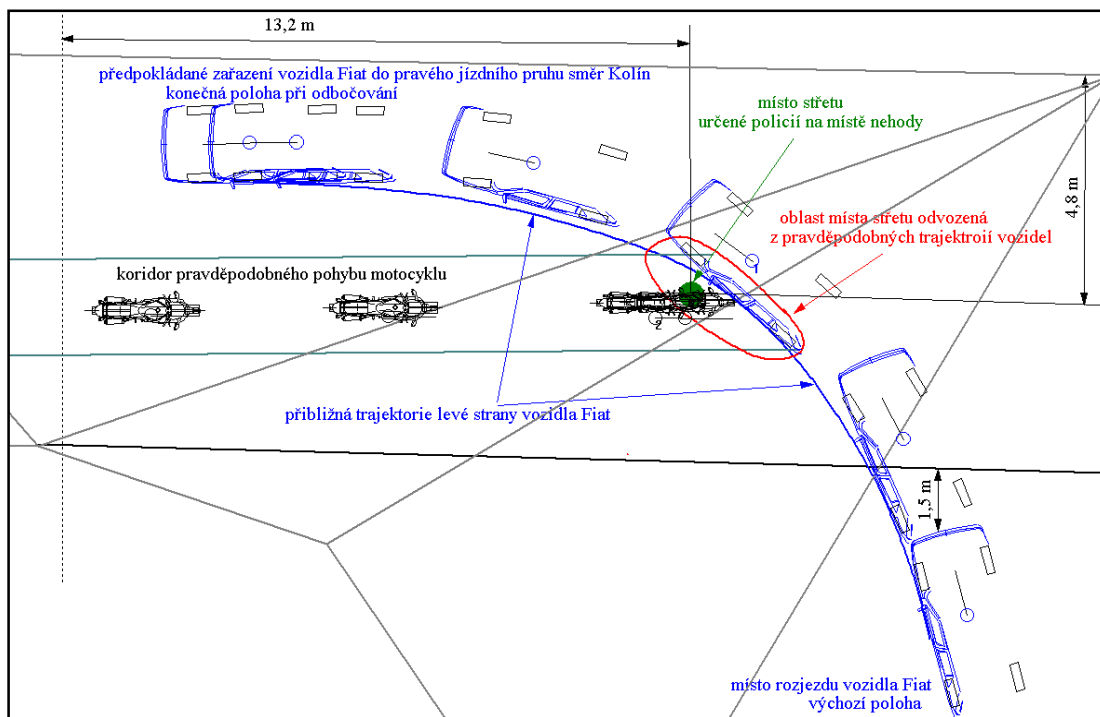
Plánek místa dopravní nehody importujeme do simulačního programu a sjednotíme ho s měřítkem v plánu, pomocí polygonů nastavíme odpovídající sklon vozovky, případně použijeme polygon zaměřený totální geodetickou stanicí. Adhezi nastavíme podle aktuálních podmínek v době a místě nehody, popřípadě různé adheze pro různé povrchy (suchý asfalt, mokrá asfalt, travnatý povrch, atd.).

4.2.3.2 *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.

4.2.3.3 Oblast místa střetu

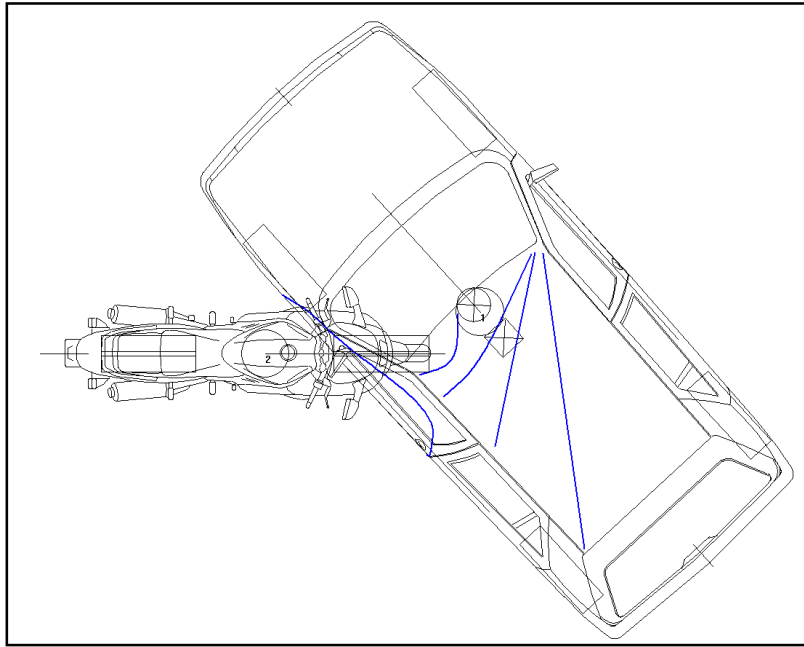
Poškození na vozidlech je pro posouzení dopravní nehody velmi důležité a obvykle spolu se stopami zanechanými na vozovce umožňují určit oblast místa střetu a následně simulovat průběh dopravní nehody. Oblast místa střetu vybereme podle předpokládaných trajektorií vozidel a zanechaných stop v místě dopravní nehody. Velmi užitečné jsou brzdné stopy, přesněji jejich zalomení, dřecí stopy (převážně od stupaček, řídítek a ostatních ostrých částí motocyklu), stopy na vozovce ve formě střepin, vyteklých provozních kapalin, atd.



Obr. 70: Předpokládané trajektorie vozidla a motocyklu, oblast místa střetu

4.2.3.4 Střetová poloha

Střetovou polohu odvozujeme na základě předpokládaných trajektorií vozidel a z korespondence jejich poškození. Poškození vozidel vyhodnotíme z přiložené 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.

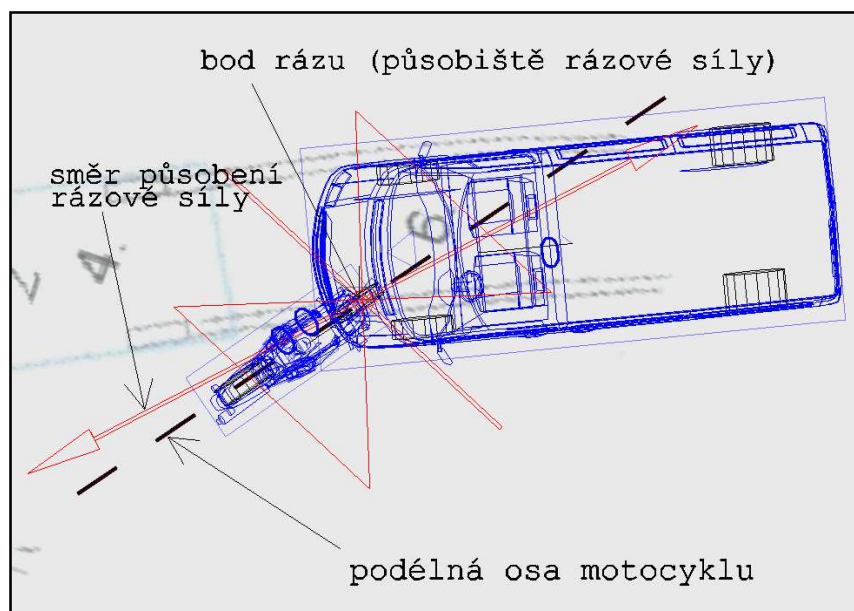


Obr. 71: Sřetov poloha motocyklu a vozidla

4.2.4 Řešení sřetu

4.2.4.1 *Bod rázu*

Bod rázu leží v oblasti překrytí poškození vozidel a prochází jim výslednice působících rázových sil. Jeho volba (také volba sřetové polohy a natočení vozidel) značně ovlivňuje pohyb vozidel po sřetu. Je důležité jeho umístění správně vyhodnotit s ohledem na působiště největší působící rázové síly a tuhosti částí vozidel. Spolu s rovinou rázu určuje především postřehové rotace vozidel a přerozdělení EES (ekvivalentních energetických rychlostí) z hloubky deformací vozidel. [1]



Obr. 72: Bod rázu, rovina rázu, rázové síly, třecí kužel

4.2.4.2 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 (postřehových) a doběhových (předstřetových) rychlostí vozidel:

$$k = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2} \quad (40)$$

kde:

k – koeficient restituice [-]

v' - postřetová rychlost vozidla

v – předstřetová rychlost vozidla

Koeficient restituice je závislý na relativní rychlosti narážejících objektů a konstrukci (tuhosti, resp. elasticitě).

V praxi hodnota koeficientu restituice dosahuje hodnot v rozmezí 0,05 až 0,25. U malých rychlostí, kdy dochází k odpružení vozidel (například nárazníky) může hodnota koeficientu restituice dosahovat hodnoty kolem 0,6. Naopak v případě intenzivního nárazu vozidla vysokou rychlostí do stojícího vozidla překoná výjimečně hodnotu 0,1.

4.2.4.3 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. 67 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 jednoho 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 - μ .

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad (41)$$

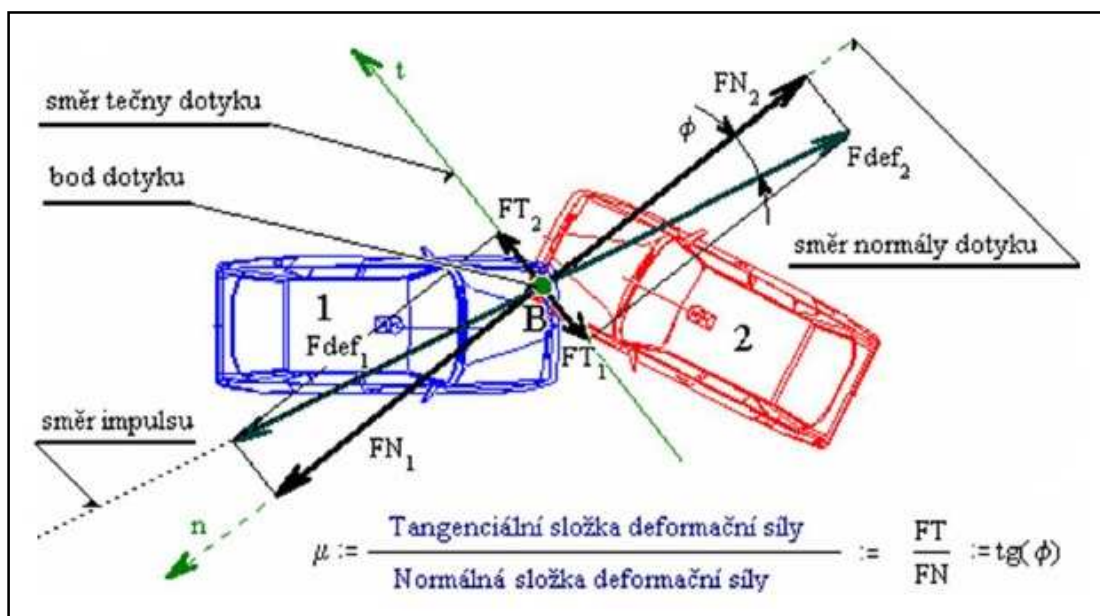
kde:

μ – součinitel tření [-]

F_T - tangenciální složka deformační síly [N]

F_N – normálová složka deformační síly [N]

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. 73: Impulsně – rázový model střetu

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.

4.2.5 EES

Ekvivalentní energetická rychlost 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 předmětné 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.

$$EES = EES_{kat} \cdot \sqrt{\frac{m_{kat}}{m}} \quad (42)$$

kde:

EES – ekvivalentní energetická rychlost předmětného vozidla, motocyklu

EES_{kat} - ekvivalentní energetická rychlost vozidla, motocyklu z EES katalogu

m – hmotnost předmětného vozidla, motocyklu

m_{kat} – hmotnost vozidla, motocyklu z EES katalogu

4.2.5.1 Stanovení hodnoty EES motocyklů

Příklad:

V případě motocyklů je stanovení EES poměrně problematické. Vzhledem k významnému podílu této veličiny na celkovém určení střetové rychlosti motocyklu je vhodné provést stanovení rozmezí EES více způsoby:

- porovnáním celkového poškození motocyklu s údaji v databázích EES katalogů,
- ze zkrácení rozvoru a délky motocyklu,
- z rozsahu poškození vozidla.

Jako výslednou hodnotu EES lze pak použít vhodné rozmezí na základě porovnání obdržených výsledků.

Porovnání celkového poškození motocyklu s údaji v databázích EES katalogů

Stanovení EES se běžně provádí na základě porovnání daného poškození s poškozeními zdokumentovanými a setříděnými v EES katalogích. V těchto databankách je uvedena fotodokumentace poškození s příslušnými parametry důležitými pro stanovení EES.

Motocykl byl poškozen v přední části. Přední vidlice byly zlomené, přední kolo bylo zaražené ve směru proti motocyklu a částečně vytočené vpravo, došlo k deformaci výfukového potrubí. Litý disk předního kola byl prasklý, poškozená byla i pneumatika. Nádrž motocyklu byla deformována v důsledku pohybu těla motocyklisty při střetu. Na kapotáži motocyklu, řidítkách a dalších dílech se nacházely stopy dřevního poškození po kontaktu s vozidlem a po pádu motocyklu na zem.



Obr. 74: Fotodokumentace z prohlídky motocyklu

Pro dané poškození motocyklu byla vybrána srovnatelná poškození motocyklů. Po přepočtení EES těchto motocyklů na hmotnost motocyklu Honda obdržíme rozmezí technicky přijatelných hodnot EES 50÷85 km/h.

Zkrácení rozvoru a délky motocyklu

Při prohlídce motocyklu byla změřena délka a rozvor poškozeného motocyklu. Délka poškozeného motocyklu byla 175 cm a rozvor 120 cm. Dle technického popisu vozidla byla původní délka motocyklu 214 cm a rozvor 145 cm. V důsledku střetu došlo ke zkrácení délky motocyklu o 39 cm a rozvoru o 25 cm. Hodnotu EES můžeme stanovit ze zkrácení délky a rozvoru pomocí grafu. Z uvedeného grafu (viz obr. 61) vyplývá, že na základě zkrácení délky a rozvoru motocyklu by byla hodnota EES přibližně 45 km/h. Graf vychází z deformačních zkoušek motocyklů staršího data výroby, s nýtovanými koly a nižší hmotností. Motocykl Honda byl těžší s litými koly, tudíž měl vyšší tuhost. Proto lze uvažovat výsledné EES jako spodní hranici intervalu pro odhad skutečné hodnoty.

Z rozsahu poškození vozidla

Podobně jako v případě motocyklu můžeme i u vozidla provést odhad EES. Vozidlo bylo poškozené v oblasti levých předních dveří, blatníku a sloupku. Deformace začínaly za levým předním kolem a zasahovaly po celé délce levých předních dveří. V důsledku deformace levého předního sloupku došlo ke zlomení střechy a rozbití čelního skla. V interiéru vozidla byla poškozena levá část palubní desky a věnec volantu.



Obr. 75: Poškození vozidla

Porovnáním s katalogy poškozených vozidel obdržíme technicky přijatelné rozmezí EES vozidla $26 \div 31 \text{ km/h}$.

Z tohoto intervalu můžeme pak stanovit i rozmezí EES motocyklu. Nejdříve musíme zavést tuhostní předpoklady, kdy uvažujeme, že poměr tuhostí vozidel leží v rozmezí:

$$1 \div \frac{m_{\text{VOZIDLA}}}{m_{\text{MOTOCYKLU}}} \quad (43)$$

tzn. tuhostí vozidel jsou buď stejné, nebo odpovídají hmotnostem vozidel. Přesný poměr tuhostí neznáme a ani nemůžeme stanovit, avšak můžeme vycházet z toho, že daný poměr leží v uvedeném rozmezí. Pro poměr hodnot EES platí:

$$\frac{EES_{\text{MOTOCYKLU}}}{EES_{\text{VOZIDLA}}} = \sqrt{\frac{k_{\text{VOZIDLA}} \cdot m_{\text{VOZIDLA}}}{k_{\text{MOTOCYKLU}} \cdot m_{\text{MOTOCYKLU}}}} \quad (44)$$

kde $\frac{k_{\text{VOZIDLA}}}{k_{\text{MOTOCYKLU}}}$ představuje poměr tuhostí. Využijeme-li výše uvedeného předpokladu, pak

rozmezí EES motocyklu Honda lze dopočítat dle nerovnice

$$\sqrt{\frac{m_{\text{VOZIDLA}}}{m_{\text{MOTOCYKLU}}}} \cdot EES_{\text{VOZIDLA}} \leq EES_{\text{MOTOCYKLU}} \leq \frac{m_{\text{VOZIDLA}}}{m_{\text{MOTOCYKLU}}} \cdot EES_{\text{MOTOCYKLU}} \quad (45)$$

kde: $m_{\text{VOZIDLA}} = 1170 \text{ kg}$, $m_{\text{MOTOCYKLU}} = 275 \text{ kg}$. Výsledkem pak je interval technicky přijatelných hodnot EES motocyklu $54 \div 131 \text{ km/h}$. Jedná se o široký interval hodnot, což je důsledkem technických předpokladů, které mají zahrnout všechny možnosti. Jednoznačně však lze předpokládat, že skutečná hodnota EES motocyklu neleží mimo tento interval.

Porovnání, výsledné stanovení EES

V následující tabulce jsou uvedeny technicky přijatelné intervaly EES zjištěné různými metodami.

Způsob odhadu EES	Výsledek
porovnáním celkového poškození motocyklu s údaji v databázích EES	50÷85 km/h
ze zkrácení rozvoru a délky motocyklu	nad 45 km/h
z rozsahu poškození vozidla	54÷131 km/h

Tab. 15: Srovnání odhadů EES motocyklu

Vzhledem ke způsobu stanovení jednotlivých intervalů lze považovat za výchozí nejširší interval 54÷131 km/h, který byl odvozen z rozsahu poškození vozidla a tuhostních předpokladů mezi oběma vozidly. Pomocí dalších intervalů lze zúžit toto široké rozmezí. Průnikem s intervalem 50÷85 km/h stanoveným na základě porovnání poškození motocyklu s databázemi EES obdržíme rozmezí technicky přijatelných hodnot 54÷85 km/h. Odhad EES ze zkrácení rozvoru a délky motocyklu pak potvrzuje zvolené rozmezí hodnot.

4.2.6 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 postřehového pohybu. Okamžik střetu je z hlediska časového nastaven na 0 sekund.

Komplexní analýza dopravní nehody podrobně popisuje pohyb účastníků (motocyklu a vozidla) v prostoru a jednotném čase. Je tvořena graficky, včetně popisků, které náležejí 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.

Důležitým prvkem analýzy nehodového děje je střetová rychlost (její rozmezí) obou účastníků dopravní nehody.

4.2.7 Možnost odvrácení střetu

Další nedílnou součástí znaleckého posudku bývá analýza možnosti odvrácení střetu, případně analýza vedoucí ke snížení následků střetu. Tato analýza se provádí pro jednotlivé účastníky dopravní nehody. V případě dopravních nehod za účasti vozidel a motocyklů jsou nejčastějšími problémy nedání přednosti v jízdě, překročení rychlosti a s tím související nesprávné vyhodnocení situace.

4.3 Otázky zadávané znalcům v případě střetu vozidla s motocyklem

- Provést zaměření křižovatky silnic => pomocí totální geodetické stanice.
- Jaká byla rychlost motocyklu a vozidla těsně před nehodovým dějem a v místě střetu => řešení např. pomocí dopředného nebo zpětného odvíjení děje, aplikací základních zákonů, atd.
- Posoudit zjištěné stopy na vozovce, čím byly způsobeny => zda se jedná o stopy brzdné, dřecí, atd. Zde problém brzd s ABS – nutno použít termokameru (omezeno časem).
- Mechanismus vlastního střetu => korespondence poškození, zda je vše v souladu, zda poškození motocyklu odpovídá poškození vozidla, atd.
- Místo střetu => zde lze využít např. metodu zužování mezí – k přesnějšímu určení MS.
- Jaká byla přiměřená rychlost pro danou situaci => dodržení maximální povolené rychlosti, rychlosti přiměřená rozhledu, mezní rychlost pro průjezd danou zatáčkou, atd.
- Jaký byl technický stav motocyklu a vozidla => stav a účinnost brzd, dosvit světlometů, stav řízení, kmitání řídítek, funkce tlumičů, apod.
- Jaký byl směr nárazu při dopravní nehodě => kolizní úhel a směr nárazu motocyklu a vozidla.
- Možnosti odvrácení střetu => jaké měli jednotliví účastníci nehody možnosti nehodu odvrátit, nebo alespoň snížit její následky.
- Další důležité okolnosti mající vliv na posouzení dopravní nehody.

4.4 Návrh otázek pokládaných znalci v případě střetu vozidla s motocyklem

Pokud znalec provede precizně komplexní analýzu střetu motocyklu s vozidlem, analýzu možností odvrácení střetu jednotlivými účastníky, je schopen odpovědět na většinu pokládaných otázek.

K netechnickým otázkám (alkohol, poranění jednotlivých účastníků, atd.) se znalec nevyjadřuje.

4.5 Návrh skladby znaleckého posudku v případě střetu vozidla s motocyklem

Následující návrh skladby znaleckého posudku je použitelný pro střety vozidel s motocykly. Z hlediska použitelnosti je universální pro různé typy střetů motocyklu s vozidlem.

NÁLEZ

Spisový materiál

Protokol o nehodě

Plánek místa nehody

Fotodokumentace

Výpovědi jednotlivých účastníků a svědků nehody

Lékařská zpráva

Předchozí znalecké posudky

Ohledání místa nehody a technická prohlídka poškozeného motocyklu a vozidla

Technické údaje o motocyklu a vozidle

Použitá literatura

POSUDEK

Znalecký úkol

Zaměření místa nehody

Analýza nehodového děje

Poškození motocyklu a vozidla, korespondence poškození

Místo střetu a střetová poloha

Postřetový pohyb motocyklu a vozidla

Řešení střetu motocyklu s vozidlem

Předstřetový pohyb motocyklu a vozidla

Možnosti zabránění střetu jednotlivými účastníky

Znalecké posudky

Odpovědi na položené otázky

Přílohy

Znalecká doložka

4.6 Shrnutí stávajícího stavu

Z předchozích kapitol je patrné, že existují metody a postupy pro řešení dopravních nehod za účasti motocyklů. Co se týče vstupních parametrů, tak ty jsou sice také k dispozici, ale jejich modernizace a rozšíření není nikdy na škodu. Konkrétně vstupních dat pro řešení

dopravních nehod s účastí motocyklů není takové množství, jako při běžnějších nehodách dvou vozidel a podobně.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 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.

5.1.1 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.

5.1.2 Měřené motocykly

5.1.2.1 Yamaha YZF R6



Obr. 76: Yamaha YZF R6 (ilustrační foto)

- 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

5.1.2.2 *Kawasaki Z 1000*



Obr. 77: Kawasaki Z 1000 (ilustrační foto)

- 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

5.1.2.3 *Kawasaki Z 750*



Obr. 78: Kawasaki Z 750 (ilustrační foto)

- 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

5.1.2.4 Suzuki GSX-R 1000 K5



Obr. 79: Suzuki GSX-R 1000 (ilustrační foto)

- 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

5.1.2.5 Honda CB 600 Hornet



Obr. 80: Honda CB 600 Hornet (ilustrační foto)

- 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 50ccm, 2 roky 125 ccm, 1 rok 600ccm

5.1.2.6 Suzuki GSX-R 600



Obr. 81: Suzuki GSX-R 600 (ilustrační foto)

- 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

5.1.3 Místo měření

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

5.1.4 Klimatické podmínky

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

5.1.5 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 přeřazení na vyšší rychlostní stupeň. Z grafu lze odečíst dobu nutnou pro přeřazení 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 zdvizích 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 zdvizích, kde by docházelo k vyššímu klonění.

5.1.5.1 *Yamaha YZF R6*

- zrychlení z 0 – 100 km/h: 4,0 s

- maximální rychlost: 184 km/h
- zpomalení při brzdění: $8,1 \text{ m/s}^2$
- řazení rychlostních stupňů: mezi 1. a 2. většinou se spojkou, dále bez spojky
- technika brzdění: pouze přední brzda se stisknutou páčkou spojky



Graf. 1: Průběh měření na motocyklu Yamaha YZF R6 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s^2], rychlost [m/s], dráha [m])

5.1.5.2 Kawasaki Z 1000

- zrychlení z 0 – 100 km/h: 3,5 s
- maximální rychlost: 183 km/h
- zpomalení při brzdění: $7,4 \text{ m/s}^2$
- řazení rychlostních stupňů: vždy se spojkou
- technika brzdění: pouze přední brzda (jedna nebo dvě jízdy zapnutá spojka, zbytek vypnutá – stisknutá páčka spojky)



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

5.1.5.3 Kawasaki Z 750

- zrychlení z 0 – 100 km/h: 3,6 s
- maximální rychlost: 181 km/h
- zpomalení při brzdění: $3,9 m/s^2$



Graf. 3: Průběh měření na motocyklu Kawasaki Z750 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s^2], rychlost [m/s], dráha [m])

5.1.5.4 Suzuki GSX-R 1000 K5

- zrychlení z 0 – 100 km/h: 3,6 s
- maximální rychlost: 210 km/h
- zpomalení při brzdění: $9,3 \text{ m/s}^2$
- řazení rychlostních stupňů: při řazení páčka spojky lehce přimáčknuta, nestisknuta do konečné polohy
- technika brzdění: pouze přední brzda se stisknutou páčkou spojky



Graf. 4: Průběh měření na motocyklu Suzuki GSX-R1000 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s^2], rychlost [m/s], dráha [m])

5.1.5.5 Honda CB 600 Hornet

- zrychlení z 0 – 100 km/h: 4,0 s
- maximální rychlost: 176 km/h
- zpomalení při brzdění: $7,3 \text{ m/s}^2$
- řazení rychlostních stupňů: se spojkou
- technika brzdění: přední a zadní brzda bez spojky



Graf. 5: Průběh měření na motocyklu Honda CB 600 Hornet (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s^2], rychlost [m/s], dráha [m])

5.1.5.6 Suzuki GSX-R 600

- zrychlení z 0 – 100 km/h: 4,3 s
- maximální rychlost: 195 km/h
- zpomalení při brzdění: $9,8 m/s^2$
- řazení rychlostních stupňů: bez spojky
- technika brzdění: pouze přední 1. až 4. jízda zapnutá spojka, 5. a 6. jízda vypnutá spojka (stisknutá páčka spojky)



Graf. 6: Průběh měření na motocyklu Suzuki GSX-R600 (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s^2], rychlost [m/s], dráha [m])

5.1.6 Celkové shrnutí naměřených hodnot

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

Tab. 16: Celkový soubor naměřených hodnot všech motocyklů

5.2 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⁻²). 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.



Obr. 82: Motocykl Honda CBR 1000 F v průběhu měření

5.2.1 Měřicí zařízení

XL METR™ 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. 83: 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.

Maximální počet zaznamenaných měření:	8
Kapacita paměti:	3 x 80 s + 5 x 40 s
Frekvence zápisu dat:	200 Hz ... 25 Hz
Měřicí rozsah:	-20 až 20 m.s ⁻²
Citlivost:	0,002 m.s ⁻²
PC rozhraní:	RS 232, USB
Displej:	16 x 2 znaků PLED nebo LCD s poosvětlením
Rozměry (v x š x h):	50 x 97 x 110 mm
Externí zdroj napájení:	6 až 18 V DC
Baterie:	4 x typ AA

Tab. 17: Technické parametry přístroje XL METRTM PRO GAMMA

5.2.2 Měřený motocykl



Obr. 84: Motocykl Honda CBR 1000 F

- rok výroby 1993
- motor 998 ccm
- výkon 95 kW při 9500 ot/min
- hmotnost 235 kg
- najeto 68 000 km

5.2.3 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.



Obr. 85: Místo měření v Jedovnicích (parkoviště u rybníku Olšovec – červená oblast)

5.2.4 Počet měření

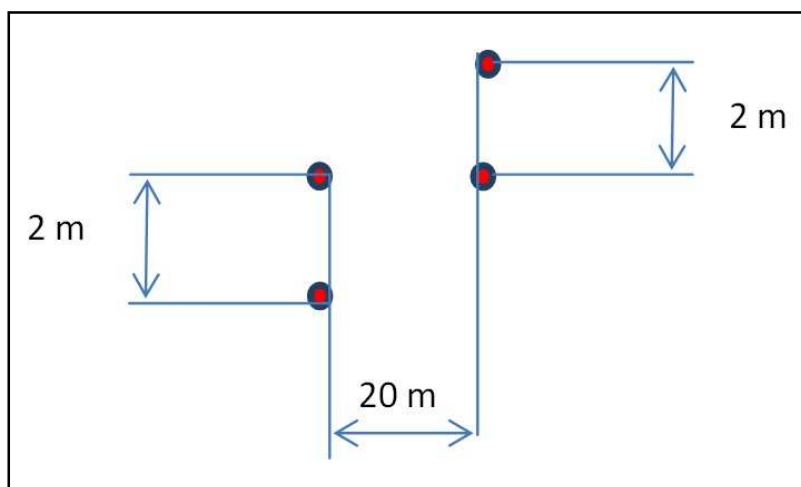
Měření příčného přemístění motocyklu bylo pro každou rychlost pro dosažení přesnějších výsledů provedeno třikrát. A to při konstantní rychlosti motocyklu 30 km/h, 50 km/h a 60 km/h. Výsledkem měření tedy byla tabulka, která obsahovala celkem osm měření (jeden záznam nebyl vyhodnocen).

5.2.5 Klimatické podmínky

V době měření byly stálé klimatické podmínky, jasno, bezvětří, teplota 19 °C.

5.2.6 Postup měření

Pomocí kuželů byla vytyčena měřicí plocha, jejíž délka byla 20 m (obrázek č. 8). Start byl zvolen cca 100 m před měřicí plochou, aby bylo možné motocykl rozjet na požadovanou konstantní rychlost a co nejvíce ustálit v přímém směru na střed mezi kužely na začátku měřicí 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 měřicí plochy. Motocyklista obsluhoval XL METRTM PRO GAMMA, další pověřená osoba obsluhovala kameru, která byla umístěná na konci měřicí dráhy v ose jízdy motocyklu a která natáčela průběh jednotlivých měření.



Obr. 86: Schéma měřící plochy

5.2.7 Montáž XL METRUTM PRO GAMMA na motocykl

XL METRTM 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. 87: Instalace XL METRUTM PRO GAMMA na motocykl

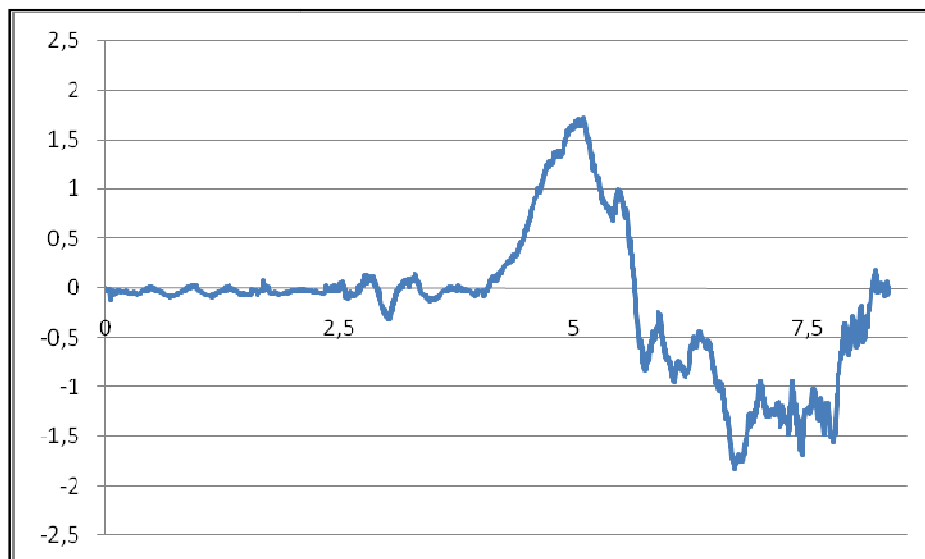
5.2.8 Výsledky měření

Výsledkem měření byl graf č. 7, na kterém je zobrazena velikost bočního zrychlení naměřena XL METREMTM při vykonaném vyhýbacím manévru, kdy jel motocykl rychlostí 30 km/h. Pro přehlednost je uveden graf č. 8, kde je signál bočního zrychlení vyfiltrován.

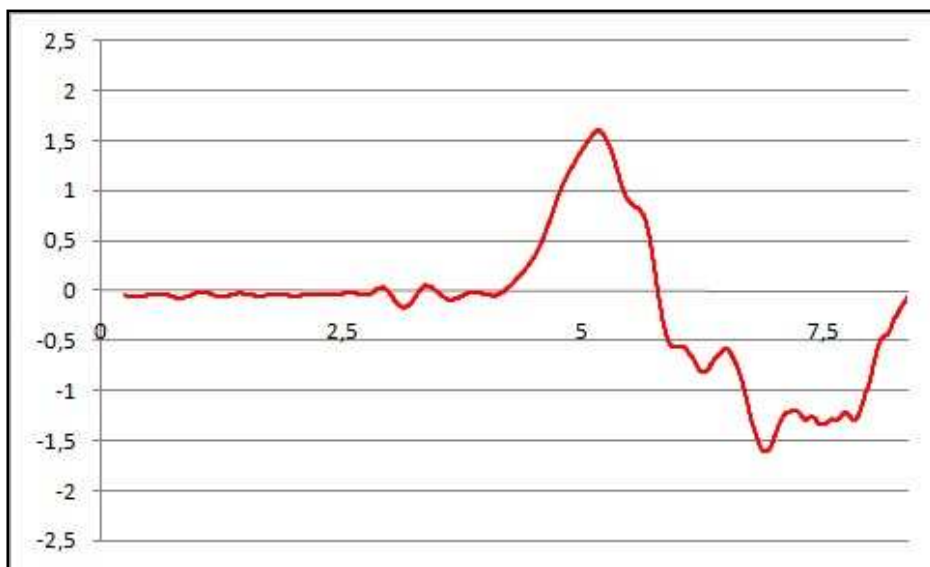
Z grafů lze vyčíst, že hodnota maximálního bočního zrychlení dosahovala hodnot mezi 1,5 až 1,8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Tento manévr nebyl vykonán ani rychle ani pomalu, jednalo se o normální vyhýbací manévr.

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 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (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 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (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. 7: Příčné přemístění motocyklu Honda při rychlosti 30 km/h (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – boční zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$])

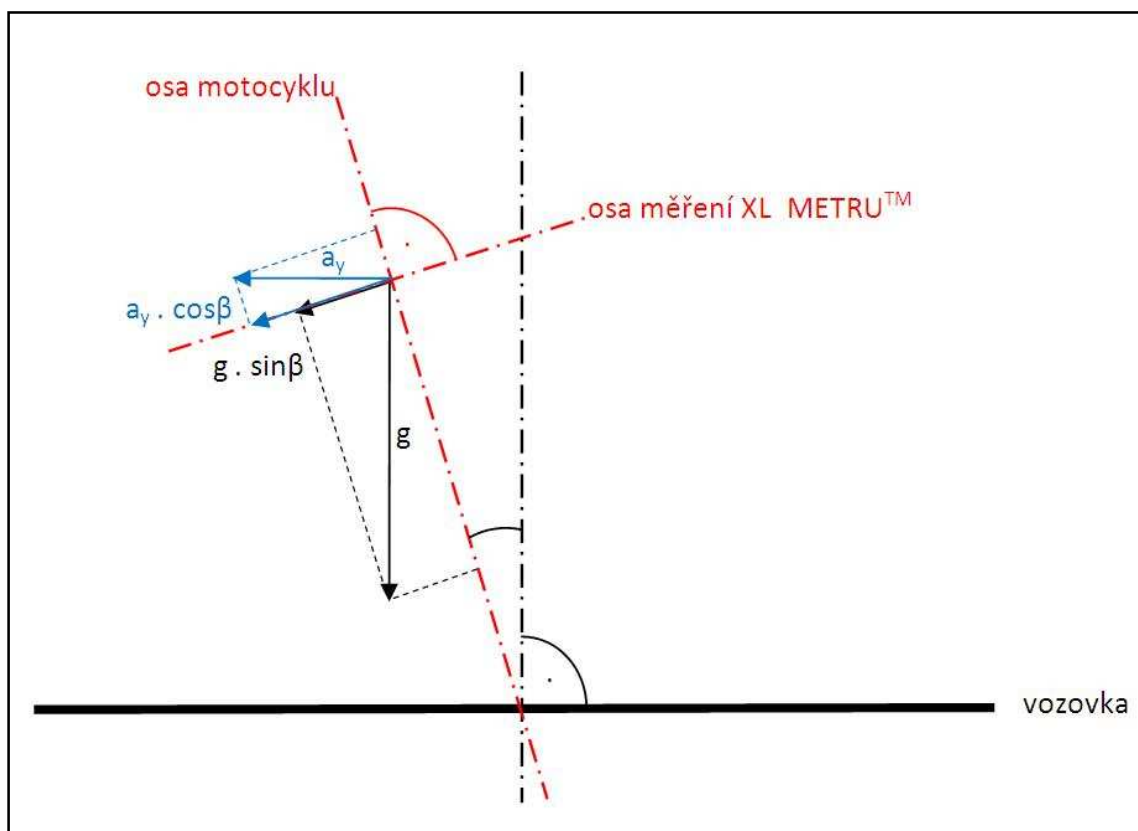


Graf. 8: Stejný graf po filtraci (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – boční zrychlení [m/s^2])

Motocykl	Rychlost	Měření č.	XL METR™ PRO GAMMA – boční zrychlení a_{XLM} [m/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. 18: 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. 88: Osa naklonění motocyklu při vyhýbacím manévru a osa měření bočního zrychlení XL METRUTM

Přepočítání z bočního zrychlení (které bylo změřeno XL METREMTM) na příčné zrychlení je realizováno pomocí následujícího vzorce.

$$a_{XLM} = a_y \cdot \cos \beta + g \cdot \sin \beta \quad (46)$$

kde:

a_{XLM} – boční zrychlení (změřené pomocí XL METRUTM)

a_y – příčné zrychlení

β – úhel naklonění motocyklu ($\beta=20^\circ$)

g – tíhové zrychlení

Hodnotu příčného zrychlení pak vypočítáme z odvozeného vztahu.

$$a_y = \frac{a_{XLM} - g \cdot \sin \beta}{\cos \beta} \quad (47)$$

V následující tabulce jsou vypočítané hodnoty příčného zrychlení z výše uvedeného vzorce.

Motocykl	Rychlost	Měření č.	příčné zrychlení a_y [m/s^2]
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 (nebylo možné stáhnout data)

Tab. 19: 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 $1,8 m/s^2$, při 50 km/h byla průměrná hodnota příčného zrychlení $2,0 m/s^2$ a při 60 km/h byla průměrná hodnota příčného zrychlení $2,1 m/s^2$.

5.3 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 křižovatky 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.

5.3.1 Měřicí zařízení

XL METR™

Maximální počet zaznamenaných měření:	3
Kapacita paměti:	3 x 40 s
Frekvence zápisu dat:	200 Hz
Měřicí rozsah:	-12,7 až 12,7 m.s ⁻²
Citlivost:	0,1 m.s ⁻²
PC rozhraní:	RS 232
Přenosový formát:	ASCII data
Rozměry (v x š x d):	50 x 97 x 100 mm
Napájení:	6 až 18 V DC
Baterie:	4 Ah

Tab. 20: Technické parametry přístroje XL METR™

XL METR™ sloužil k měření podélného a příčného zrychlení pomocí elektromagnetického snímače zrychlení.

5.3.2 Měřená vozidla

5.3.2.1 *Honda civic 1.3*



Obr. 89: Honda Civic

- rok výroby 1995
- motor 1343 ccm
- výkon 55 kW při 6300 ot/min
- hmotnost 1105 kg
- najeto 184000 km

5.3.2.2 Renault Megane 1.6 RT



Obr. 90: Renault Megane

- rok výroby 1998
- motor 1598 ccm
- výkon 66 kW při 5000 ot/min
- hmotnost 1265 kg
- najeto 142000 km

5.3.2.3 VW Transporter T3 1.9D



Obr. 91: VW Transporter T3

- rok výroby 1985
- motor 1896 ccm
- výkon 47 kW při 4300 ot/min
- hmotnost 1720 kg
- najeto 270000 km

5.3.2.4 VW Sharan 1.9 TDi



Obr. 92: VW Sharan v průběhu měření

- rok výroby 2002
- motor 1896 ccm
- výkon 124 kW při 4000 ot/min
- hmotnost 1678 kg
- najeto 102000 km

5.3.3 Místo měření

Měření probíhalo na parkovišti v obci Jedovnice, na stejném místě jako předchozí měření příčného přemístění motocyklu.

5.3.4 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 4 tabulky (podle počtu vozidel) a v každé tabulce devět měření.

5.3.5 Klimatické podmínky měření

V době měření byly stálé klimatické podmínky, jasno, vítr 3 m/s, teplota 14 °C.

5.3.6 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 pro 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 METRTM 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.

5.3.7 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 METRTM byl spuštěn dříve, než začalo vozidlo akcelarovat.

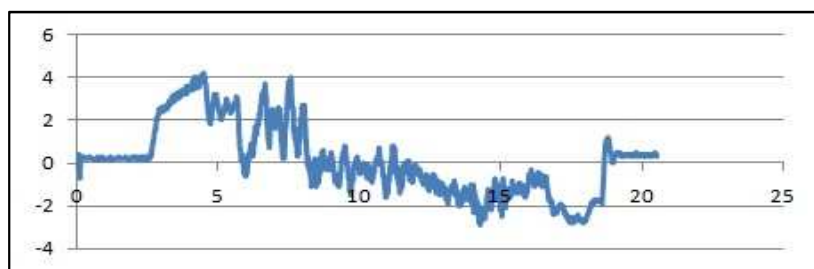
Další graf zobrazuje výřez, při kterém vozidlo zrychlovalo na první a druhý rychlostní stupeň. Přeražení na druhý rychlostní stupeň je znatelné z grafu – je to oblast, kdy dochází ke snižování zrychlení do oblasti blízké nulové hodnotě a následné zvyšování zrychlení, kdy je již druhý převodový stupeň zařazen a vozidlo akceleruje. 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 svíslé 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 METRTM.

Poslední informační prvek tvoří tabulka, kde jsou zaznamenány časy, následně vypočítané zrychlení na jednotlivých úsecích. Můžeme porovnat odlišnost od naměřených a vypočítaných hodnot.

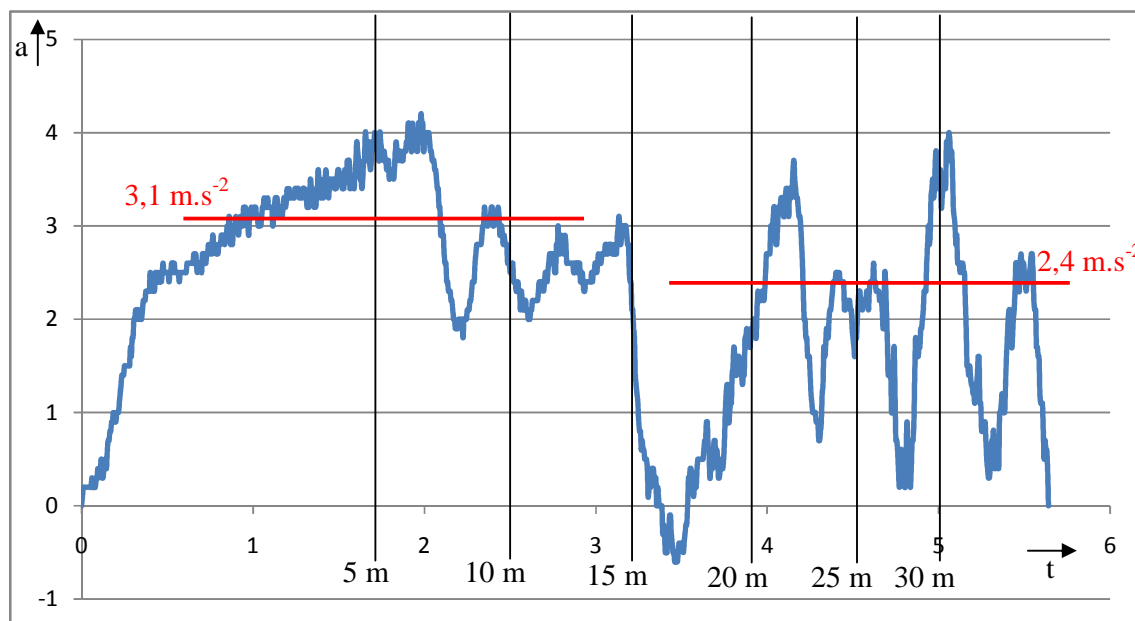
Protože proběhlo velké množství měření, jejichž zobrazení by bylo velmi rozsáhlé, jsou uvedena jen některá. Jako příklad jsou uvedena měření při normálním rozjezdu, pro každé vozidlo jeden příklad. Celý průběh měření je shrnut v tabulce (Tab. 24).

5.3.7.1 Honda Civic

Měření č. 4 – normální rozjezd



Graf 9: Celkový graf (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s²]) – normální rozjezd (Honda Civic)



Graf 10: Výřez z grafu – normální rozjezd na první a druhý rychlostní stupeň (Honda Civic)

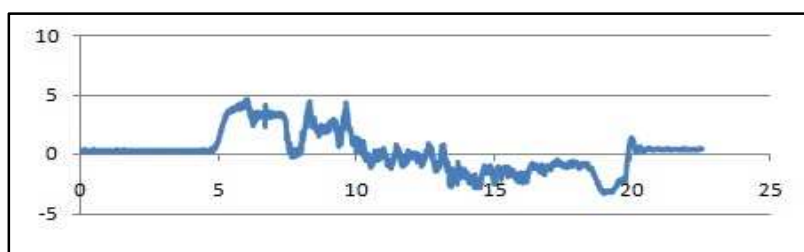
Dráha	Čas	Zrychlení	Na dráze	Průměrné zrychlení 1. stupeň	Průměrné zrychlení 2. stupeň	Časová prodleva přeřazení
[m]	[s]	[m.s ⁻²]	[m]	[m.s ⁻²]	[m.s ⁻²]	[s]
5	1,77	3,19	0 – 5	3,0	2,5	0,35

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			

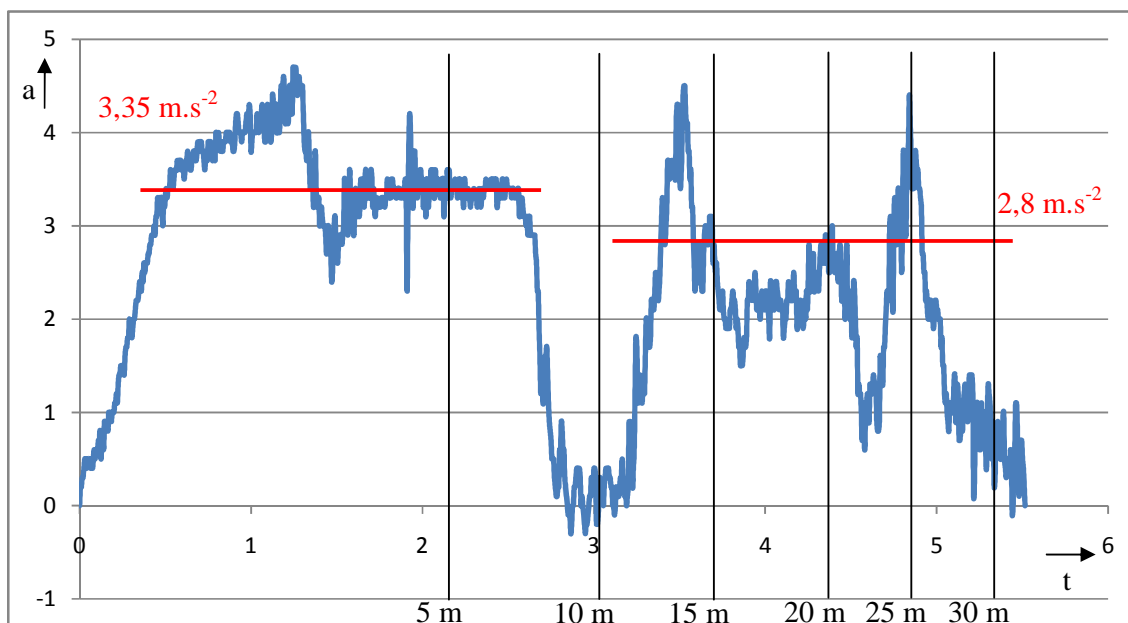
Tab. 21: Tabulka naměřených hodnot – normální rozjezd (Honda Civic)

5.3.7.2 Renault Megane

Měření č. 4 – normální rozjezd



Graf 11: Celkový graf (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s^2]) - normální rozjezd (Renault Megane)



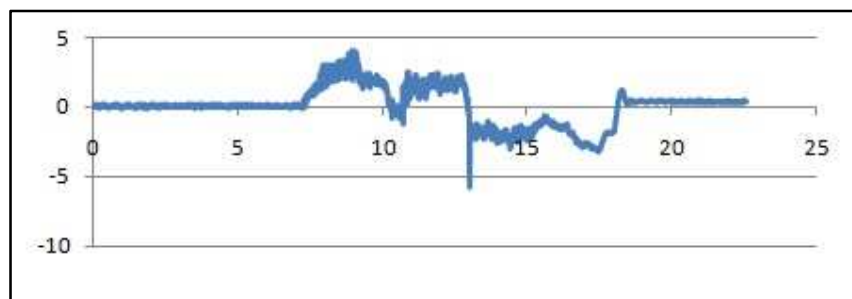
Graf 12: Výřez z grafu – normální rozjezd na první a druhý rychlostní stupeň (Renault Megane)

Dráha	Čas	Zrychlení	Na dráze	Průměrné zrychlení 1. stupeň	Průměrné zrychlení 2. stupeň	Časová prodleva přeřazení
[m]	[s]	[m.s ⁻²]	[m]	[m.s ⁻²]	[m.s ⁻²]	[s]
5	2,19	2,09	0 – 5	2,1	2,1	0,5
10	3,03	2,18	0 – 10			
15	3,68	2,22	0 – 15			
20	4,35	2,11	0 – 20			
25	4,86	2,12	0 – 25			
30	5,39	2,07	0 – 30			

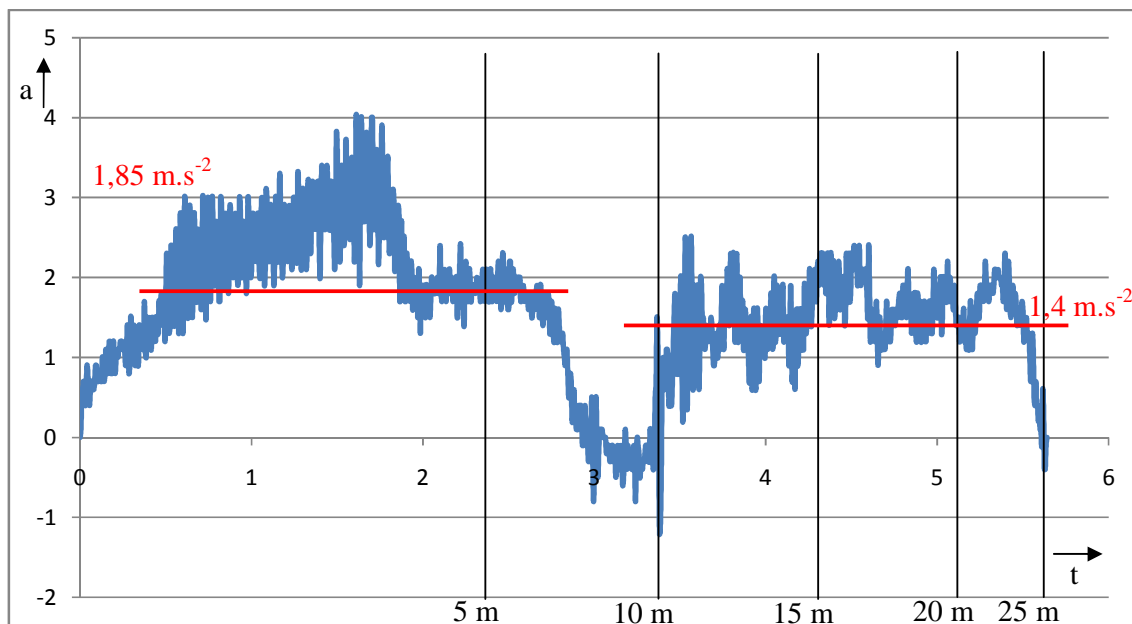
Tab. 22: Tabulka naměřených hodnot – normální rozjezd (Renault Megane)

5.3.7.3 VW Transporter T3

Měření č. 4 – normální rozjezd



Graf 13: Celkový graf (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s²]) - normální rozjezd (VW Transporter T3)



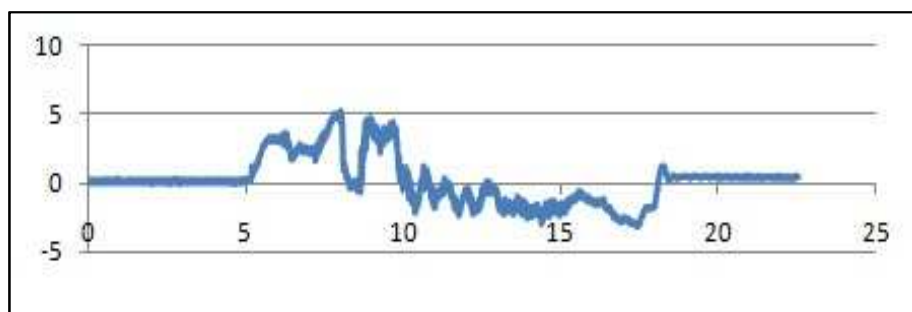
Graf 14: Výřez z grafu – normální rozjezd na první a druhý rychlostní stupeň
(VW Transporter T3)

Dráha	Čas	Zrychlení	Na dráze	Průměrné zrychlení 1. stupeň	Průměrné zrychlení 2. stupeň	Časová prodleva přeřazení
[m]	[s]	[m.s ⁻²]	[m]	[m.s ⁻²]	[m.s ⁻²]	[s]
5	2,38	1,77	0 – 5	1,7	1,5	0,65
10	3,44	1,69	0 – 10			
15	4,3	1,62	0 – 15			
20	5,16	1,50	0 – 20			
25	5,74	1,52	0 – 25			
30	6,47	1,43	0 – 30			

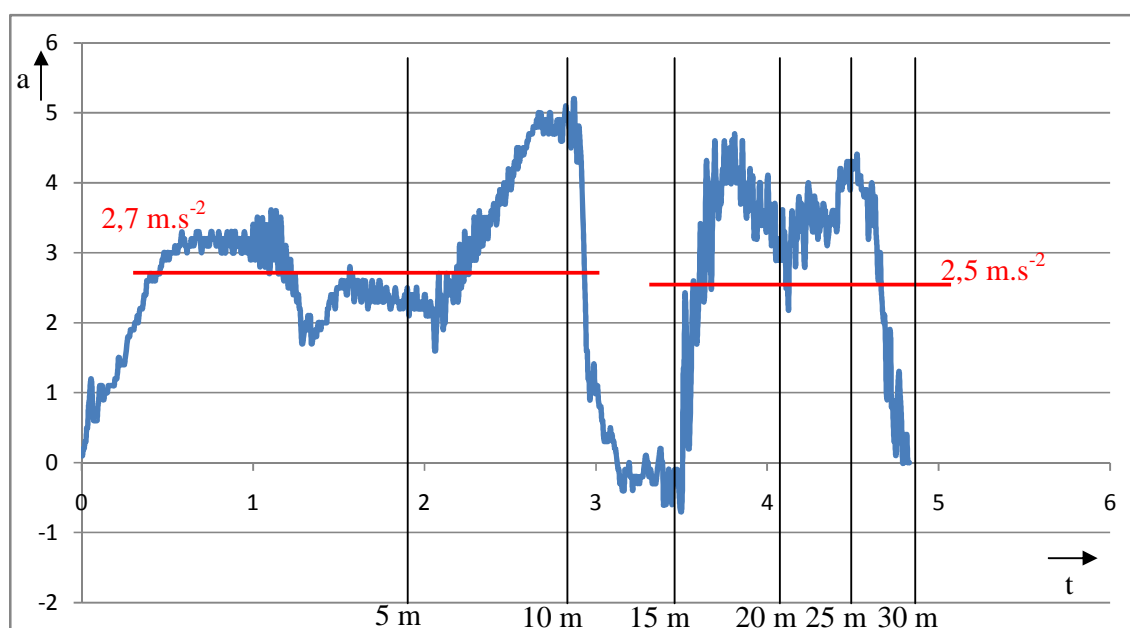
Tab. 23: Tabulka naměřených hodnot – normální rozjezd (VW Transporter T3)

5.3.7.4 VW Sharan

Měření č. 4 – normální rozjezd



Graf 15: Celkový graf (vodorovná osa – čas [s], svislá osa shora – zrychlení [m/s²]) - normální rozjezd (VW Sharan)



Graf 16: Výřez z grafu – normální rozjezd na první a druhý rychlostní stupeň (VW Sharan)

Dráha	Čas	Zrychlení	Na dráze	Průměrné zrychlení 1. stupeň	Průměrné zrychlení 2. stupeň	Časová prodleva přecházení
[m]	[s]	[m.s ⁻²]	[m]	[m.s ⁻²]	[m.s ⁻²]	[s]
5	1,9	2,77	0 – 5	2,6	2,5	0.55
10	2,79	2,57	0 – 10			
15	3,44	2,54	0 – 15			
20	4,07	2,41	0 – 20			

25	4,5	2,47	0 – 25			
30	4,82	2,58	0 – 30			

Tab. 24: Tabulka naměřených hodnot – normální rozjezd (VW Sharan)

5.3.8 Porovnání hodnot

V následující tabulce jsou porovnány hodnoty měření pomocí stopek (s následným výpočtem zrychlení) a výsledky naměřeného zrychlení přímo z XL METRU™.

Vozidlo	Měření č.	Stopky – zrychlení v závislosti na ujeté dráze [m/s ²]		XL METR™ – zrychlení [m/s ²]	
		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. 25: Tabulka naměřených hodnot – celkový průběh měření vozidel

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™ nezaznamenával data. U dalších vozidel (Renault Megane, VW Transsporter 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™. To bylo způsobeno především nepřesnostmi při měření (nesjednocená současná akcelerace vozidla v okamžiku zahájení měření).

6 ZÁVĚR

Téma dizertační práce nese název Komplexní systém pro analýzu silničních nehod typu střet vozidla s motocyklem, a jak již název napovídá, jedná se o velmi rozsáhlé téma. Cílem dizertační práce bylo mj. na základě analýzy současného stavu poznání v oblasti analýzy střetu vozidla s motocyklem navrhnout systémový přístup pro řešení tohoto typu nehod.

V teoretické části práce je popsán Stávající stav dané problematiky, kde jsou uvedeny statistiky dopravních nehod za účasti motocyklů, a to za období 2008 až 2012. Dále jsou v práci popsány prvky pasivní i aktivní bezpečnosti, základní znaky a rozdělení dopravních nehod, obvyklá jízda motocyklisty, základní typy střetových poloh mezi vozidlem a motocyklem.

Dále jsou v práci zpracovány Současné metody a postupy pro řešení dopravních nehod mezi vozidly a motocykly, které jsou dále rozděleny na metody zpětného a dopředného výpočtu. V této kapitole jsou uvedeny výpočty potřebné pro řešení analýzy střetů vozidla s motocyklem.

V kapitole Komplexní systém analýzy střetu motocyklu s vozidlem jsou popsány stopy, které se vyskytují na vozovce v případě dopravních nehod, vstupní data ohledně brzdění a zrychlení jak motocyklů, tak i vozidel.

V následující kapitole, která nese název Postup řešení nehody – střet vozidla s motocyklem je uvedena systematizace střetů vozidla s motocyklem, podrobný postup řešení dopravní nehody s podporou simulačního programu Virtual CRASH, návrh otázek pokládaných znalci a návrh skladby znaleckého posudku v případě střetu vozidla s motocyklem.

V experimentální části práce je proveden soubor různých měření.

V prvním souboru měření jsou data získaná z měření zrychlení a zpomalení motocyklů. Uvedené hodnoty brzdného zpomalení jsou průměrné, dosažené po náběhu plného brzdného účinku. Z průběhu zrychlení jsou zřejmé okamžiky přeřazení na vyšší rychlostní stupeň. Z grafu lze odečíst dobu nutnou pro přeřazení při řazení se spojkou nebo bez spojky. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h u motocyklu Yamaha YZF-R6 bylo $3,7 \text{ m/s}^2$ a průměrné brzdné zpomalení $8,4 \text{ m/s}^2$. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Kawasaki Z1000 bylo $3,4 \text{ m/s}^2$ a průměrné brzdné zpomalení $8,3 \text{ m/s}^2$. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Kawasaki Z750 bylo $3,7 \text{ m/s}^2$ a průměrné brzdné zpomalení $5,4 \text{ m/s}^2$. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Suzuki GSX-R1000 bylo $3,6 \text{ m/s}^2$ a průměrné brzdné zpomalení $9,3 \text{ m/s}^2$. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Honda CB600 Hornet bylo $4,0 \text{ m/s}^2$ a průměrné brzdné zpomalení $7,0 \text{ m/s}^2$. Průměrné zrychlení při rozjezdu z 0 na 100 km/h motocyklu Suzuki GSX-R600 bylo $4,2 \text{ m/s}^2$ a průměrné brzdné zpomalení $9,2 \text{ m/s}^2$. Při brzdění bylo použito u různých motocyklů různých technik brzdění.

V druhém 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. Výsledkem měření byly grafy a tabulky. U každého vozidla bylo provedeno měření pomalého, normálního a rychlého rozjezdu. 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.

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 nehôd jednostopových vozidiel, Žilinská univerzita v Žilině, 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] BRADÁČ, A. a kol.: Příručka znalce I. a II. Analytika silničních nehod. 1. a 2. díl, Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1985, Publikáční číslo 60/858 A/85
- [5] 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.
- [6] BRADÁČ, A., KREJČÍŘ, P., GLIER, L.: Znalecký standard č. IV. Technická analýza nárazu vozidla na překážku, Brno: Nakladatelství VUT 1991.
- [7] KASANICKÝ, G., KOHÚT, P.: Analýza nehôd jednostopových vozidiel, Žilinská univerzita v Žilině, Žilina 2000, ISBN 80-7100-598-3
- [8] KASANICKÝ, G.: Teória pohybu a ráze při analýze a simulácii nehodového deja, Žilinská univerzita v Žilině, Žilina 2001, ISBN 80-7100-597-5
- [9] KASANICKÝ, G.: Súčasneá perspektívne možnosti analýzy dopravných nehôd, 1. vydání, Žilinská univerzita v Žilině – Ústav súdneho inženierstva, Žilina 1999
- [10] HUGEMANN, W., et al.: Unfallrekonstruktion, 1. vydání 2007, Darmstadt: Shönbach Druck, ISBN 3-00-019419-3
- [11] VLK, F. Teorie a konstrukce motocyklů, 1. vydání, Brno: František Vlk, 2004, ISBN 80-239-1601-7
- [12] PORADA, V. a kol.: Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha: Linde Praha a.s., 2000, ISBN 80-7201-212-6
- [13] PRIESTER, J.: CD - Nárazové skúšky motocykel – osobné motorové vozidlo, Saarbrücken 2001
- [14] PRIESTER, J., WEYDE, M.: Motocykel – EES – nárazové skúšky 5/2001, Saarbrücken 2001
- [15] SEMELA, M.: Analýza silničních nehod II, 1. vydání, VUT v Brně ÚSI, ISBN 978-80-214-4560-4
- [16] FRIEDEL, D. Analýza doby příčného přemístění motocyklů, diplomová práce, Brno, VUT v Brně ÚSI, 2013

- [17] SLEPÁNEK, P.: Měření zrychlení vozidel při rozjezdu na první a druhý rychlostní stupeň, Konference JuFoS, 2010
- [18] SLEPÁNEK, P.: Příčné přemístění motocyklu, Konference JuFoS, 2012
- [19] Virtual Crash Technical Manual – VIZI 2005 – 2009
- [20] MELEGH, G.: AutoExpert – CD EES 4.0, Hungary 2005 – katalog EES vozidel
- [21] TICHÝ, F.: Bezpečnost motorkářů – projekt APSN, [online], 28. 2. 2007 <http://www.motorkari.cz>
- [22] Dopravní nehody motocyklistů 2008 až 2012, [online] <http://www.ibesip.cz>
- [23] JANSSEN, E.: Advanced Passive Safety Network – APSN, Standard and research activities conducted on motorcycles, infrastructure, protective clothing and helmets, [online], 7. 2. 2005, <http://www.passivesafety.com>
- [24] Výzkum a vývoj – Honda Goldwing, [online], 7. 5. 2006 <http://www.honda.cz>
- [25] Airbag pro motorkáře, [online], 1. 4. 2008 <http://www.autoweb.cz>
- [26] ŠOTOLA, M., HÖNIG, M., FIRST, J.: Active and passive safety of motorcycles with reference to sitting geometry, [online], 10. 5. 2013 www.dcii.eu
- [27] Brzdový systém dual CBS, [online], 17. 5. 2013 <http://www.motomohelnice.cz>
- [28] Anti-dive systém, [online], 23. 6. 2009 <http://www.classicmotorcycles.about.com>
- [29] Task analysis for intensit braking of a motorcycle in a straight line, [online], 28. 4. 2012 <http://www.promocycle.com>
- [30] Review of motorcycle brake standards, [online], 28. 4. 2012 <http://www.nhtsa.dot.gov>