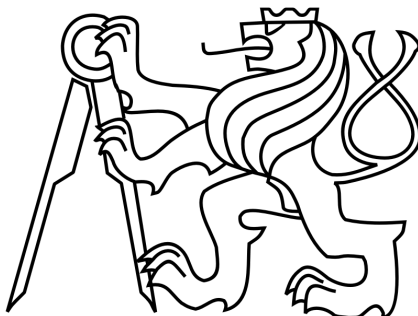


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ústav soudního znalectví v dopravě



**JÍZDNÍ VLASTNOSTI MOTOCYKLU PRO ZNALECKOU
ČINNOST**

**MOTORCYCLE HANDLING AND ITS CHARACTERISTICS
FOR APPLICATION IN FORENSIC SCIENCE**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Alžběta Lenková

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Dopravní systémy a technika

Lucie Hradecká

Praha 2013

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala především Ing. Alžbětě Lenkové za odborné vedení, čas věnovaný konzultacím a za rady, které mi poskytovala po celou dobu mého studia. Také bych ráda poděkovala ostatním členům Ústavu soudního znalectví v dopravě K622 ČVUT FD za cenné rady a za zapůjčení techniky. Dále velmi děkuji svému příteli Petrovi Šimečkovi za pomoc při měření experimentální části práce. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo během celého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze

.....

podpis

Anotace bakalářské práce

Autor: Lucie Hradecká

Název práce: Jízdní vlastnosti motocyklu pro znaleckou činnost

Obor: Technika a technologie v dopravě a spojích, Dopravní systémy a technika

Druh práce: Bakalářská práce

Pracoviště: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě

Vedoucí práce: Ing. Alžběta Lenková

Rok obhajoby práce: 2013

Rozsah práce: 74 stran textu, 2 přílohy

Klíčová slova: dynamika motocyklu, snímače pro jízdní dynamiku motocyklu, brzdění motocyklu, úhel klopení motocyklu.

Abstrakt:

Předmětem bakalářské práce „Jízdní vlastnosti motocyklu pro znaleckou činnost“ je postup a metodika měření brzdného zpomalení, vedoucí k získání aktuálních hodnot normálního a krizového brzdného zpomalení motocyklů, které jsou využitelné ve znalecké praxi. Zároveň je práce věnována měření úhlů klopení motocyklu v obloucích, které jsou také důležité pro analýzu nehod v soudním znalectví. Část práce je věnována kategorizaci jednostopých motorových vozidel, statistikám nehodovosti, jízdní dynamice a běžně používaným typům konstrukcí motocyklů.

Abstract of Bachelor thesis

Author: Lucie Hradecká

Title: Motorcycle Handling and Its Characteristics for Application in Forensic Science

Study Field: Technology and Technics of Transport and Communications, Transportation Systems and Technology

Department: CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Forensic Experts in Transportation

Document type: Bachelor thesis

Thesis advisor: Ing. Alžběta Lenková

The year of publication: 2013

Range of work: 74 pages of text, 2 supplement

Keywords: motorcycle handling, sensors for motorcycle handling, motorcycle braking, roll angle motorcycle.

Abstract:

The subject of the bachelor thesis „Motorcycle Handling and Its Characteristics for Application in Forensic Science“ is the process and methodology of measurement of braking deceleration. Results of the measurement provide actual values of normal and crisis braking deceleration of motorcycles. These values are frequently used in forensic science. This thesis also deals with measurement of motorcycle roll angle in the road curves. The value of roll angle is also important for accident analysis. Part of the thesis is devoted to the categorization of motorcycles, statistics of accidents, motorcycle handling and commonly used types of constructions of motorcycles.

Seznam použitých veličin a jejich jednotek	10
1 Úvod	12
2 Kategorizace jednostopých motorových vozidel	13
3 Statistika nehodovosti jednostopých motorových vozidel	15
4 Jízdní dynamika motocyklu	19
4.1 Parametry ovlivňující jízdní dynamiku.....	19
4.2 Stabilita jednostopých motorových vozidel.....	22
4.2.1 Gyroskopické momenty.....	24
4.2.2 Odstředivá síla a průjezd motocyklu obloukem	25
4.2.3 Technika jízdy při průjezdu zatáčkou.....	26
4.2.4 Vliv výšky těžiště	27
4.2.5 Vliv stopy	27
4.2.6 Vliv pneumatiky na stabilitu jízdy.....	28
4.3 Brzdění.....	28
4.3.1 Zatížení náprav (vliv rozvoru náprav a výšky těžiště)	30
4.3.2 Adheze	32
4.3.3 ABS	32
5 Běžně používané typy konstrukcí motocyklu	33
5.1 Moped a motokolo	33
5.2 Malý motocykl.....	34
5.3 Skútr.....	34
5.4 Motocykl.....	34
5.4.1 Cestovní motocykl.....	35
5.4.2 Sportovní silniční motocykl (Supersport)	35
5.4.3 Naked bike	36
5.4.4 Chopper, custom a cruiser	36
5.4.5 Enduro	37
5.4.6 Ostatní.....	37
6 Přístroje pro měření jízdní dynamiky	38
6.1 Metal Elektro E-tanu.....	38
6.2 Inventure XL Meter Pro.....	38
6.3 XSENS MTi-G	39
6.4 Výběr přístroje pro experiment.....	40

6.4.1	Podrobný popis zařízení XSENS MTi-G	40
6.4.2	Princip činnosti snímače XSENS MTi-G.....	43
7	Experiment	44
7.1	Testované motocykly	44
7.2	Jezdec.....	46
7.3	Teoretický základ pro zpracování naměřených dat	46
7.4	Experiment 1	49
7.4.1	Lokalita experimentu	49
7.4.2	Klimatické podmínky	50
7.4.3	Metodika umístění snímačů.....	51
7.4.4	Nastavení přístroje	53
7.4.5	Naměřené hodnoty.....	54
7.4.6	Výsledky měření.....	61
7.5	Experiment 2.....	62
7.5.1	Lokalita experimentu	63
7.5.2	Klimatické podmínky	64
7.5.3	Umístění snímačů a nastavení přístroje	64
7.5.4	Naměřené hodnoty.....	64
7.5.5	Výsledky měření.....	69
8	Závěr	70
9	Seznam použité literatury	72
	Příloha 1 – Grafické výstupy týkající se měření brzdného zpomalení	75
	Příloha 2 – Grafické výstupy týkající se měření úhlů klopení	80

Seznam použitých veličin a jejich jednotek

Značka	Jednotka	Veličina
a	$[m.s^{-2}]$	zpomalení
a_{ef}	$[m.s^{-2}]$	efektivní zpomalení
a_{max}	$[m.s^{-2}]$	maximální zpomalení
a_y	$[m.s^{-2}]$	zrychlení v ose y
F	$[N]$	síla
F_{adh}	$[N]$	adhezní síla
F_O	$[N]$	odstředivá síla
F_{Omax}	$[N]$	maximální odstředivá síla
F_S	$[N]$	setrvačná síla
F_T	$[N]$	třecí síla
G	$[N]$	tíha soustavy (motocykl + posádka + zátěž)
g	$[m.s^{-2}]$	gravitační zrychlení, $g=9,81 m.s^{-2}$
h	$[m]$	výška těžiště
J	$[kg.m.s^2]$	moment setrvačnosti rotujících hmot
l	$[m]$	rozvor
l_p	$[m]$	vzdálenost těžiště od přední nápravy
l_z	$[m]$	vzdálenost těžiště od zadní nápravy
m	$[kg]$	hmotnost
M_{vg}	$[kg.m]$	vnější gyroskopický moment
R	$[m]$	poloměr křivosti trajektorie
s	$[m]$	brzdná dráha
t	$[s]$	celková doba brzdění
t_n	$[s]$	doba náběhu brzd
v	$[m.s^{-1}]$	rychlost
v_{max}	$[m.s^{-1}]$	maximální rychlost
v_L	$[m.s^{-1}]$	rychlost při nájezdu do levotočivého oblouku
v_{LP}	$[m.s^{-1}]$	rychlost při výjezdu z levotočivého oblouku a při nájezdu do pravotočivého oblouku
v_P	$[m.s^{-1}]$	rychlost při výjezdu z pravotočivého oblouku
$v(\psi_{max})$	$[m.s^{-1}]$	rychlost v bodě maximálního úhlu klopení
Z_p	$[N]$	dynamické zatížení přední nápravy
Z_{pSTAT}	$[N]$	statické zatížení přední nápravy

Z_z	[N]	dynamické zatížení zadní nápravy
Zz_{STAT}	[N]	statické zatížení zadní nápravy
ε	[°]	úhel stáčení
μ	[1]	součinitel přilnavosti
μ_y	[1]	součinitel adheze v bočním směru
ψ	[°]	úhel klopení
ψ_{max}	[°]	maximální úhel klopení
φ	[°]	úhel klonění
ω_1	[s ⁻¹]	úhlová rychlost setrvačníku
ω_2	[s ⁻¹]	úhlová rychlost vychýlení

1 Úvod

Motocykly jsou nedílnou součástí silničního provozu a jsou stále oblíbenějším dopravním prostředkem. Jejich počet roste a motocyklisté jsou bohužel často účastníky nehod, u kterých dochází k jejich těžkým zraněním nebo úmrtím. Motocyklisté jsou nejrizikovější skupinou ze všech účastníků provozu, protože u nich dochází k největšímu počtu úmrtí vzhledem k počtu nehod, a to dokonce více než u chodců nebo cyklistů [1]. Dle mého názoru je možné, že se počet nehod s účastí motocyklu bude zvyšovat díky novele zákona o silničním provozu, která vstoupila v platnost v lednu 2013, a která upravuje zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a zákon č. 247/2000 Sb., o získávání a zdokonalování odborné způsobilosti k řízení motorových vozidel. Tato novela umožňuje řidičům osobních automobilů (skupina B) řídit skútr o objemu 125 cm³ s automatickou převodovkou bez předešlé praxe v řízení motocyklů. Toto opatření bylo zavedeno za účelem zklidnění dopravy ve městech. Řidiči, kteří této možnosti využijí, nejsou povinni absolvovat jízdy na motocyklu v autoškole, a tedy nejsou řádně seznámeni s chováním motocyklu. Je pravděpodobné, že se do provozu dostane mnoho nezkušených a nepřipravených jezdců, kteří mohou ohrozit nejen sebe, ale i ostatní účastníky provozu. [2]

Cílem bakalářské práce je metodika měření brzdného zpomalení, a to jak normálního, tak krizového. Hodnoty brzdného zpomalení, které jsou momentálně k dispozici, zastarávají a neodpovídají moderním motocyklům. Tyto hodnoty jsou velmi důležité pro analýzu nehod v soudním znalectví, a proto bych ráda pomohla vytvořit základ tabulek a grafů pro nové, aktuální hodnoty. Dalším cílem je také vytvoření tabelovaných hodnot pro úhly klopení při průjezdu motocyklu obloukem. I když jsou tyto hodnoty důležité pro znaleckou praxi kvůli analýze záboru šířky jízdního koridoru, v současnosti neexistuje v ČR ucelený soubor praktických hodnot.

Část práce je zaměřena na kategorizaci jednostopých motorových vozidel, statistiky nehodovosti, úvod do problematiky týkající se jízdní dynamiky motocyklů a běžně používané typy konstrukcí motocyklů. Závěr práce je věnován vlastnímu praktickému měření brzdného zpomalení a úhlů klopení motocyklu. Součástí je vzájemné porovnání, výběr a aplikace snímacího zařízení pro jízdní dynamiku na vybrané motocykly a následné měření, zpracování a vyhodnocení dat.

2 Kategorizace jednostránkových motorových vozidel

- dle Přílohy k zákonu č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích

„Rozdělení vozidel do kategorií

A) Základní kategorie vozidel

Kategorie L - motorová vozidla zpravidla s méně než čtyřmi koly

Kategorie M - motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob

Kategorie N - motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů

Kategorie O - přípojná vozidla

Kategorie T - traktory zemědělské nebo lesnické

Kategorie S - pracovní stroje

Kategorie R - ostatní vozidla, která nelze zařadit do výše uvedených kategorií“ [3]

„Kategorie vozidel L se člení na:

mopedy

a) dvoukolové mopedy jsou dvoukolová vozidla s objemem válců motoru nepřesahujícím 50 cm^3 v případě spalovacího motoru a s maximální konstrukční rychlostí nepřesahující 45 km.h^{-1} při jakémkoli druhu pohonu,

b) tříkolové mopedy jsou tříkolová vozidla s jakýmkoli uspořádáním kol, s objemem válců motoru nepřesahujícím 50 cm^3 v případě spalovacího motoru a s maximální konstrukční rychlostí nepřesahující 45 km.h^{-1} při jakémkoli druhu pohonu,

c) lehké čtyřkolky, jejichž hmotnost v nenaloženém stavu je menší než 350 kg, do čehož se nezapočítává hmotnost baterií v případě elektrických vozidel, dále, jejichž nejvyšší konstrukční rychlost nepřesahuje 45 km.h^{-1} a jejichž zdvihový objem motoru nepřesahuje 50 cm^3 u zážehových motorů nebo pro jiné druhy motorů maximální čistý výkon nepřesahuje 4 kW,

motocykly

a) motocykly jsou dvoukolová vozidla s objemem válců motoru přesahujícím 50 cm^3 v případě spalovacího motoru, nebo s maximální konstrukční rychlostí přesahující 45 km.h^{-1} při jakémkoli druhu pohonu,

b) motocykly s postranním vozíkem jsou vozidla se třemi koly uspořádanými nesouměrně vzhledem k střední podélné rovině, s objemem válců motoru přesahujícím 50 cm^3 v případě

spalovacího motoru, nebo s maximální konstrukční rychlostí přesahující 45 km.h⁻¹ při jakémkoli druhu pohonu,

motorové tříkolky

a) motorové tříkolky jsou vozidla s třemi koly uspořádanými souměrně vzhledem ke střední podélné rovině s objemem válců motoru přesahujícím 50 cm³ v případě spalovacího motoru, nebo s maximální konstrukční rychlostí přesahující 45 km.h⁻¹ při jakémkoli druhu pohonu,

b) čtyřkolky jiné než lehké tříkolky, jejichž hmotnost v nenaloženém stavu nepřesahuje 400 kg nebo 550 kg u vozidel určených k přepravě nákladů, do čehož se nezapočítává hmotnost baterií v případě elektrických vozidel a dále, u nichž maximální čistý výkon motoru nepřesahuje 15 kW,

motokolo

jízdní kolo s trvale zabudovaným motorem s objemem válců motoru nepřesahujícím 50 cm³ v případě spalovacího motoru a s maximální konstrukční rychlostí nepřesahující 25 km.h⁻¹ při jakémkoli druhu pohonu.

Vozidla zařazená podle EHK - OSN v kategoriích L₁ a L₂ s maximální konstrukční rychlostí 50 km.h⁻¹ se považují za mopedy, vozidla kategorií L₃ a L₄ se považují za motocykly a vozidla kategorie L₅ se považují za motorové tříkolky.“ [3] Shrnutí kategorizace vozidel L viz tabulka 1.

Tabulka 1: Shrnutí kategorizace vozidel L [4]

Kategorie L: motorová vozidla s méně než čtyřmi koly (motocykly , tříkolky)			
označení	typ (provedení)	zdvihový objem [cm ³]	maximální rychlost [km.h ⁻¹]
L ₁	dvoukolový	≤ 50	≤ 50
L ₂	tříkolový	≤ 50	≤ 50
L ₃	dvoukolový	> 50	> 50
L ₄	tříkolový s asymetrickým umístěním vzhledem k podélné ose vozidla	> 50	> 50
L ₅	tříkolový se symetrickým umístěním vzhledem k podélné ose vozidla	> 50	> 50
L _M	jízdní kolo s trvale zabudovaným hnacím motorem (motokolo)	> 50	< 20

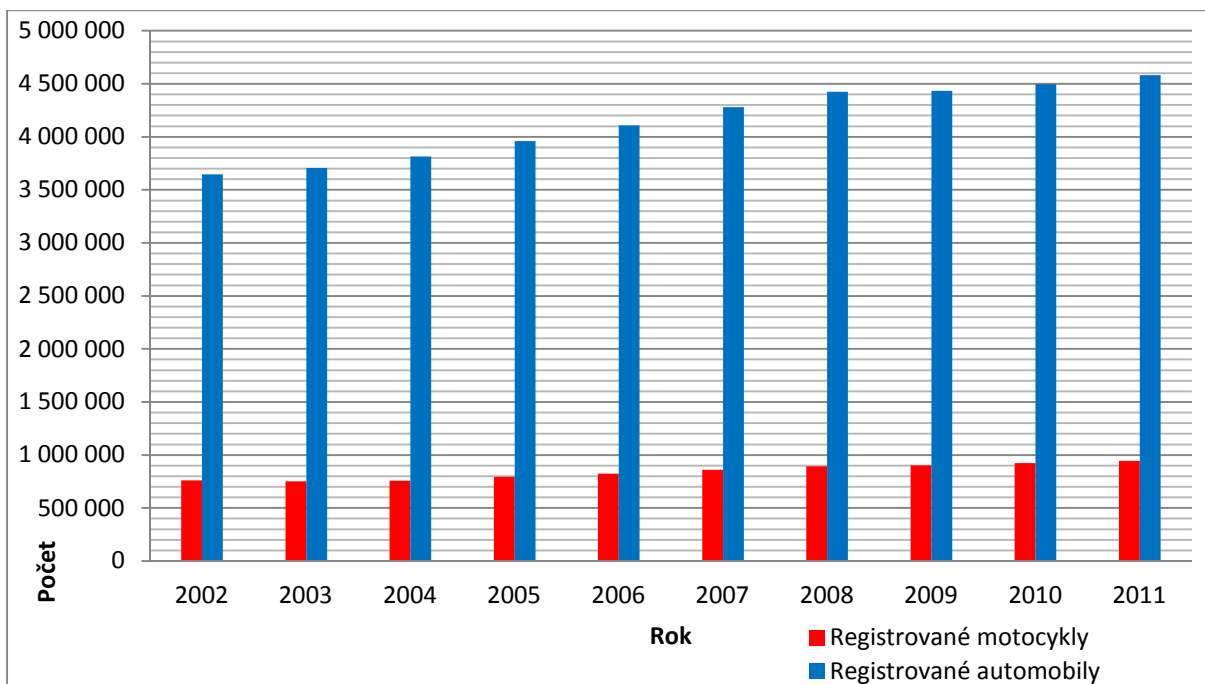
3 Statistika nehodovosti jednostopých motorových vozidel

Vzhledem k zaměření této práce budou statistiky nehodovosti věnovány pouze motocyklům. Bohužel se nepodařil zjistit počet nehod samotných motocyklů, protože údaje jsou zahrnuty v nehodovosti všech motorových vozidel. Údaje o zraněních se taktéž u motocyklů nevyčleňují. V rámci zpřesnění statistik nehodovosti by bylo vhodné rozlišovat jednotlivé druhy motorových vozidel.

Tabulka 2 poukazuje na důležitý fakt, že počet motocyklů se každým rokem zvyšuje. Z této tabulky také vyplývá, že roste i počet automobilů, a proto procento motocyklů roste jen mírně. Lze tedy říci, že motocykly i automobily mají stejný trend zvyšování počtu registrovaných vozidel. Vývoj počtu registrovaných motocyklů a počtu registrovaných automobilů v letech 2002 - 2011 zachycuje graf na obrázku 1. Tabulka 3 udává počet motocyklů registrovaných v ČR a rozdělených do kategorií dle objemu v letech 2005, 2007 - 2011. Bohužel se nepodařilo dohledat počty v těchto kategoriích v letech 2002 - 2004 a 2006.

Tabulka 2: Motocykly a automobily registrované v ČR v letech 2002 - 2011 [5]

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Počet registrovaných motocyklů	760 219	751 634	756 559	794 000	822 703	860 131	892 796	903 346	924 291	944 171
Počet registrovaných automobilů	3 647 067	3 706 012	3 815 547	3 958 708	4 108 610	4 280 081	4 423 370	4 435 052	4 496 232	4 581 642
Celkem	4 407 286	4 457 646	4 572 106	4 752 708	4 931 313	5 140 212	5 316 166	5 338 398	5 420 523	5 525 813
Procento motocyklů [%]	17,25	16,86	16,55	16,71	16,68	16,73	16,79	16,92	17,05	17,09



Obrázek 1: Motocykly a automobily registrované v ČR v letech 2002 - 2011

Tabulka 3: Motocykly registrované v ČR rozdělené dle objemu v letech 2005, 2007 - 2011 [5]

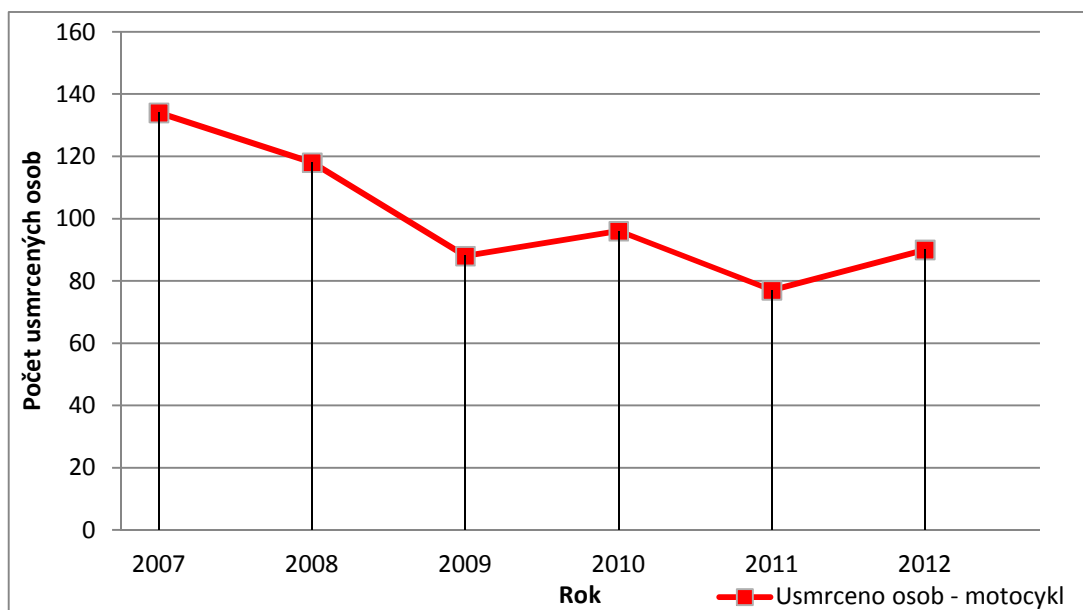
	2005	2007	2008	2009	2010	2011
Počet motocyklů celkem	794 000	860 131	892 796	903 346	924 291	944 171
<i>podle objemu motoru:</i>						
motocykly s objemem válce 50 cm ³ a nižší	459 962	475 846	478 362	473 365	478 184	480 674
motocykly s objemem válce od 50 cm ³ do 125 cm ³	46 120	57 336	62 712	66 085	69 205	72 747
motocykly s objemem válce více než 125 cm ³	287 842	326 949	351 722	363 896	376 902	390 750
nezařazeno	76	0	0	0	0	0

V tabulce 4 jsou uvedeny počty úmrtí motocyklistů. Počet nehod celkem udává nehody všech motorových vozidel, protože není stanoveno ke kolika střetům s účastí motocyklu došlo. Počet nehod se snížil v roce 2009 na méně než polovinu, z důvodu zvýšení limitu ohlašovací povinnosti dopravních nehod. Nejrizikovější skupinou jsou řidiči motocyklů (objem od 125 cm³), u kterých dochází ve všech letech k nejvíce úmrtím. Další velmi rizikovou skupinou jsou spolujezdci na motocyklech. Graf na obrázku 2 znázorňuje počet usmrcených motocyklistů v letech 2007 - 2012 a graf na obrázku 3 znázorňuje procento usmrcených

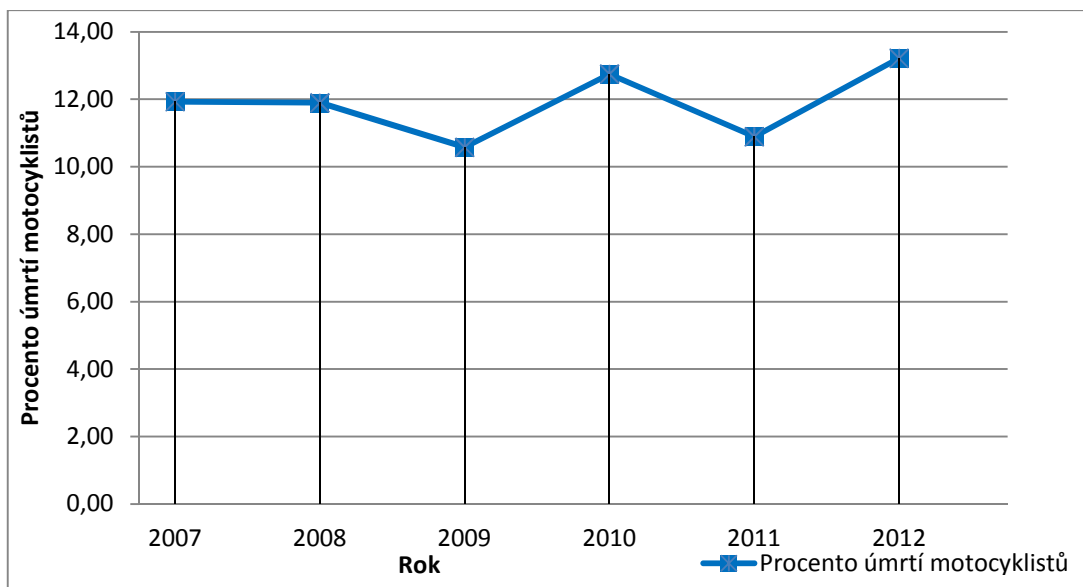
motocyklistů v letech 2007 - 2012. Jak je z grafů vidět, zpočátku se počet úmrtí snižoval, ale v posledních letech střídavě stoupá a klesá.

Tabulka 4: Úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2012 [1]

	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
Počet nehod celkem	182 736		160 376		74 815		75 522		75 137		81 404	
Usmrceno osob celkem	1 123		992		832		753		707		681	
Usmrceno osob - motocykl	134		118		88		96		77		90	
Procento úmrtí [%]	11,93		11,90		10,58		12,75		10,89		13,22	
<i>z toho:</i>	počet	procento	počet	procento	počet	procento	počet	procento	počet	procento	počet	procento
řidiči motocyklů	115	85,82	101	85,59	76	86,36	80	83,33	65	84,42	79	87,78
řidiči malých motocyklů	8	5,97	8	6,78	5	5,68	3	3,13	4	5,19	3	3,33
spolujezdci na motocyklech	8	5,97	7	5,93	4	4,55	9	9,38	7	9,09	5	5,56
řidiči mopedů	3	2,24	2	1,69	3	3,41	4	4,17	1	1,30	3	3,33



Obrázek 2: Počet usmrcených motocyklistů v letech 2007 - 2012



Obrázek 3: Procento úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2012

Tabulka 5 zachycuje závažnost nehod, což znamená počet usmrcených na 1000 nehod. Z tabulky vyplývá velký počet úmrtí motocyklistů oproti řidičům automobilů. Motocyklisté jsou nejrizikovější skupinou ze všech účastníků provozu. Závažnost nehod je dle policejních statistik nehodovosti dokonce vyšší i oproti chodcům - viz literatura [1].

Tabulka 5: Závažnost nehod (počet usmrcených na 1000 nehod) [1]

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Malý motocykl	25,3	12,0	13,3	15,2	13,0	26,3	25,6	18,8
Motocykl	33,2	41,3	38,7	38,0	38,0	47,5	28,1	34,1
Osobní automobil	5,7	5,1	6,3	6,9	13,0	11,6	11,7	10,4

4 Jízdní dynamika motocyklu

Pohyb motocyklu je možné sledovat z hlediska kinematického a dynamického. Předmětem této práce je převážně dynamická část. Teoretická část bakalářská práce bude zaměřena na vliv konstrukčních parametrů motocyklu na dynamiku, přestože na jízdní dynamiku motocyklu působí i další vlivy např. tlumení, pružení, jízdní odpory, nerovnosti vozovky apod. V práci se zaměřím zejména na brzdné zpomalení a klopení motocyklu během průjezdu obloukem, což bude předmětem mého experimentu.

Jak bylo výše zmíněno, pohyb motocyklu lze sledovat ze dvou hledisek:

- kinematické hledisko - zabývá se časovým a prostorovým popisem průběhu pohybu,
- dynamické hledisko - zkoumá příčiny pohybu. Základními dynamickými zákony jsou 3 Newtonovy zákony. [6]

Newtonovy zákony

1. Zákon setrvačnosti

Těleso setrvává v klidu nebo v pohybu rovnoměrném přímočarém, dokud není vnějšími silami přinuceno tento stav změnit. Pokud na těleso nepůsobí vnější síly, zachovává si svou hybnost. [6][7]

2. Zákon síly

„Zrychlení a pohybu tělesa (hmotného bodu) je přímo úměrné působící síle F a nepřímo úměrné jeho hmotnosti m .“ [6]

$$F = m \cdot a \text{ [N]} \quad (1)$$

3. Princip akce a reakce

„Každé akci přísluší stejně velká a opačná reakce.“ [6] „Síly tedy nikdy nepůsobí jednotlivě, nýbrž vždy ve dvou.“ [7]

4.1 Parametry ovlivňující jízdní dynamiku

Nejdůležitějšími konstrukčními parametry, které ovlivňují jízdní dynamiku, jsou těžiště, rozvor kol, úhel sklonu přední vidlice, závlek, rozdělení zatížení kol a úhel klopení motocyklu. Všechny zmíněné parametry budou v následujících odstavcích podrobně rozepsány.

Těžiště je hmotný střed. „Poloha těžiště může být stanovena ve směru horizontálním i vertikálním, avšak důležitější než její sledování u samotného stroje je posuzování polohy

těžiště celého celku jezdce a stroje. Nejjednodušeji se v případě potřeby změni poloha těžiště jezdce s motocyklem úpravou polohy stupaček, složitěji již změnou délky zadní kývačky.“ [4]
„Podélná poloha těžiště významným způsobem ovlivňuje silové působení na jednotlivá kola.“ [8]

„Pokud se těžiště motocyklu posune dopředu, projeví se to zhoršením ovladatelnosti, na druhou stranu se přitom potlačuje sklon ke kmitání přední vidlice a kývání motocyklu se přesune do oblasti větších rychlostí. Posunutím těžiště dozadu se odlehčí přední část motocyklu a tím se zlepši ovladatelnost. Při odlehčení přední části motocyklu se však s menším úhlem hlavy řídicích zvyšuje sklon ke kmitání.“ [4]

„Nízko umístěné těžiště má dobrý vliv na stabilitu stroje především při nízkých rychlostech a ulehčuje jeho ovládání. Výše položené těžiště má dobrý vliv na stabilitu při vyšších rychlostech. Při nižších rychlostech však způsobuje nestabilitu motocyklu.“ [4]

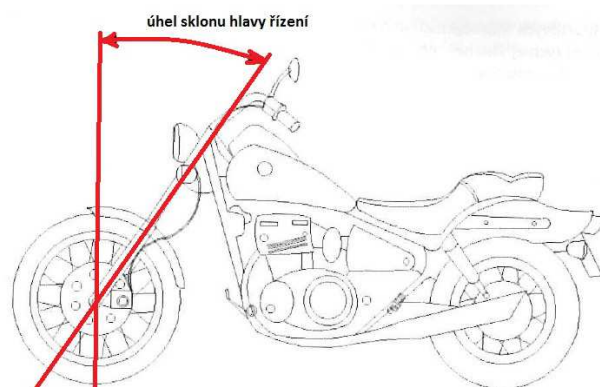
„**Rozvor kol** je podélná vzdálenost os kol. Velkým rozvorem se zabezpečuje dobrá směrová stabilita (extrémně velký rozvor mají např. cruisery). Naopak sportovní motocykly mají rozvor co nejmenší.“ [8]

„Větší rozvor kol zajišťuje lepší vedení podvozku a má za následek přesunutí nebezpečného vlastního kmitání do oblasti vyšších rychlostí. Velký rozvor způsobuje potíže při projíždění oblouků o malém poloměru. Výhodou motocyklů s relativně malým rozvorem kol je především jejich obratnost a velmi dobré chování v obloucích. To je důležité především u trialových sportovních strojů.“ [4][8]

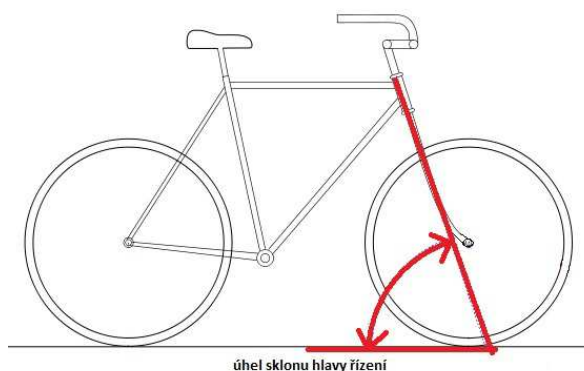
„**Úhel sklonu přední vidlice (osy řízení)** je úhel mezi osou otáčení hlavy řídicích s kolmicí na rovinu vozovky. Je to mimořádně významný parametr a moderní motocykly mají možnost změny tohoto parametru podle charakteru jízdy a trati v rozsahu jednoho stupně.“ [8]

U motocyklů se úhel sklonu přední vidlice měří proti směru hodinových ručiček od svislice procházející středem předního kola při pohledu z pravé strany (obrázek 4). Jedná se o rozdíl oproti jízdním kolům, kde je úhel sklonu přední vidlice měřen ve směru hodinových ručiček od vozovky při pohledu z pravé strany (obrázek 5). [9] I přes tento fakt, někteří autoři uvádí

měření úhlu sklonu hlavy řízení u motocyklů ve shodě s měřením úhlu sklonu řízení u jízdního kola - viz literatura [4].



Obrázek 4: Způsob měření úhlu sklonu hlavy řízení u motocyklů [8]



Obrázek 5: Způsob měření úhlu sklonu hlavy řízení u jízdních kol [9]

„Větší úhel sklonu přední vidlice má větší stabilizující účinek na přední vidlici. Větší setrvačný moment při menším sklonu přední vidlice lépe eliminuje kmitání řídítek. Dále zlepšuje vedení předního kola při přímé jízdě vyššími rychlostmi, musí však být v přímém souladu s předsunutím předního kola. Při nižších rychlostech se však s řízením s více předsunutým předním kolem hůře zatáčí. Menší úhel hlavy řízení zabezpečuje lehkou ovladatelnost.“ [8]

„**Závlek (stopa, předsunutí) předního kola** je vzdálenost mezi průsečíkem osy řízení se zemí a styčným bodem kola se zemí (svislou osou kola).“ [4]

„Směrová stabilita je kromě jiného značně podmíněná úhlem hlavy řízení a závlekiem kola. Velikost tohoto úhlu je zpravidla od 25° do 31° a velikost závleku v rozpětí 10 až 13 cm.“ [8]

„Větší závlek předního kola zajišťuje větší stabilitu při vysoké rychlosti jízdy nejen při menším úhlu sklonu přední vidlice. Většího předsunutí předního kola lze dosáhnout také zalomením přední vidlice tak, že přední vidlice není rovnoběžná s osou hlavy řízení. Ve spojení s malým zatížením přední vidlice se při větším předsunutí předního kola a menším úhlu sklonu přední vidlice značně zlepšuje i stabilita při nízkých rychlostech jízdy. Na druhou stranu se s rostoucím zatížením přední vidlice zvětšuje sklon ke kmitání.“ [4][8]

„U sportovních motocyklů je kladen hlavní důraz na lehkost ovládání při rychlé změně směru jízdy, proto je velikost stopy menší a nevýhodou je menší stabilita.“ [8]

„**Rozdělení zatížení kol** má velký vliv na stabilitu při velkých rychlostech. Rozdělení zatížení kol je udáno v technických údajích o motocyklu nebo se zjistí vážením.“ [4]

„**Úhel klopení motocyklu** je úhel, který svírá rovina symetrie motocyklu s rovinou kolmou k vozovce procházející stopou.“ [8]

4.2 Stabilita jednostopých motorových vozidel

Během jízdy jednostopého motorového vozidla je nutné zachování stability. Té je dosaženo vyrovnáváním pohybu řízení a těla řidiče vůči motocyklu. Čím je rychlost jízdy menší, tím větší úsilí musí jezdec vyvinout na udržení stability, ale ve vyšších rychlostech mu napomáhá vysoká úhlová rychlost kol motocyklu. [8]

„Stabilita je vyjádření příčné a podélné dynamické rovnováhy (hlavně pád motocyklu, kmitání na pérování při různých rychlostech jízdy a současně i o vyjádření, jak tuto rovnováhu vnímají jezdci fyziologicky).“ [8][10]

Hranici mezi stabilitou a nestabilitou lze chápat jako moment ztráty kontroly nad vozidlem. Z hlediska bezpečnosti je důležité, aby k tomu nedošlo během jízdy v provozu. [11]

Z hlediska zákonů mechaniky není jednostopé vozidlo stále stejně stabilní. Stojí-li motocykl v klidu bez dalších podpěr (stojánek, jiné pevné těleso), má tendenci se překlápět. „V nejpříznivějším případě lze bez použití opory dosáhnout jen labilní rovnováhy, a to pouze vnější silou, která ustálí motocykl do polohy, v níž se těžiště vozidla dostane svisle nad plošku, která je omezena spojnicemi obrysů dotykových ploch přední a zadní pneumatiky se zemí.“ [8][10]

Během jízdy získává jednopopé motorové vozidlo stabilitu samočinně, ale míra bezpečnosti proti překlopení se v různých rychlostech mění. V rozmezí od nulové rychlosti do minimální rychlosti pro počátek stability trvá oblast nestability, kdy je nutné udržovat stabilitu natáčením řízení nebo akcelerací. [8][10]

Činitelé ovlivňující stabilitu jednopopého motorového vozidla:

- konstrukce motocyklu – mechanismus řízení, pneumatiky, tuhost konstrukce....,
- boční sklon komunikace vzhledem k jízdni dráze vozidla,
- boční vítr,
- pružení, rozdělení hmot vozidla a zatížení, vlastnosti komunikace a pohyb vozidla,
- rozložení zátěže na motocyklu (posez jezdce a posádky, upevnění zátěže). [8][10]

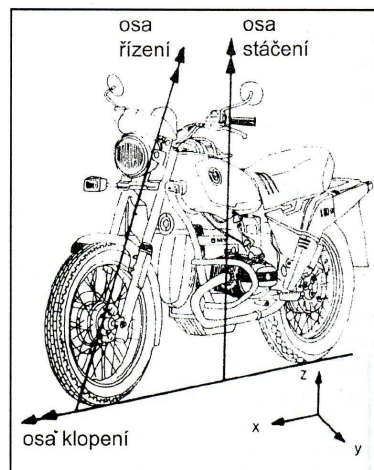
Pro motocykly používáme třírozměrnou referenční soustavu dle ISO 4130. Skládá se nejen ze 3 os, ale také ze tří rovin na ně kolmých.

- dynamika podélná (osa x) - směr jízdy,
- dynamika příčná (osa y),
- dynamika svislá (osa z). [12]

Hlavní otáčivé pohyby motocyklu:

- klopení kolem osy x ve styku kol s vozovkou,
- klonění kolem příčné osy y ,
- stáčení kolem svislé osy z . [12]

„Při natáčení řídek motocyklu se přední kolo natáčí kolem osy řízení, motocykl se otáčí kolem osy stáčení a v zatáčce se naklápí kolem osy klopení (obrázek 6).“ [4]



Obrázek 6: Pohyby motocyklu při jeho řízení [4]

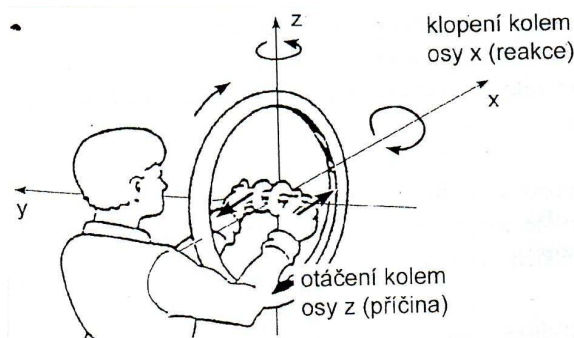
Stabilitu motocyklu lze ovlivnit některými konstrukčními veličinami, především velikostí stopy, úhlu hlavy řízení, polohou těžiště apod. Konstrukce motocyklu musí zajistit samočinné navracení řízení do polohy, ze které bylo vychýleno. Pokud se motocykl jedoucí přímo začne sklápět na jednu stranu, musí se díky vhodnému konstrukčnímu uspořádání jeho řízení samočinně stočit na stejnou stranu. Během toho vznikne vodorovná odstředivá síla, působící proti náklonu vlastní vahou, která uvede motocykl zpět do svislé polohy. Jede-li motocykl v oblouku, vzniká podobný jev. [8][10]

4.2.1 Gyroskopické momenty

V oblasti malých rychlostí musí jezdec udržovat stabilitu vyrovnáváním řízení motocyklu a pohyby těla. Čím je rychlost vyšší, tím více tuto úlohu přebírají především gyroskopické momenty, účinky odstředivých sil a účinek reakcí země při valení pneumatik. [8][10]

„Gyroskop je rychle rotující kolo, které má velmi vysokou osovou stabilitu, tzn. silnou tendenci, zachovávat si polohu své roviny rotace v prostoru.“ [4] „Gyroskopický moment vzniká u těles, která rotují okolo dvou os (rotace a precese).“ [8] U motocyklu jsou to hlavně kola a součásti motoru (setrvačník). Rotace vyjadřuje otáčivý pohyb tělesa a precese je orientace osy setrvačníku, která se mění vlivem působení vnějších sil. [13]

„Na obrázku 7 je znázorněno klopení rotujícího kola při natáčení kolem svislé osy z - natočením kola doleva vznikne jako reakce klopení kola doprava.“ [4]



Obrázek 7: Klopení rotujícího kola [4]

Vnější gyroskopický moment je vyjádřen rovnicí:

$$M_{vg} = J \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 \quad (2)$$

kde M_{vg} je vnější gyroskopický moment [kg.m], J moment setrvačnosti rotujících hmot [kg.m.s²], ω_1 úhlová rychlost setrvačníku [s⁻¹] a ω_2 úhlová rychlost vychýlení [s⁻¹]. [10]

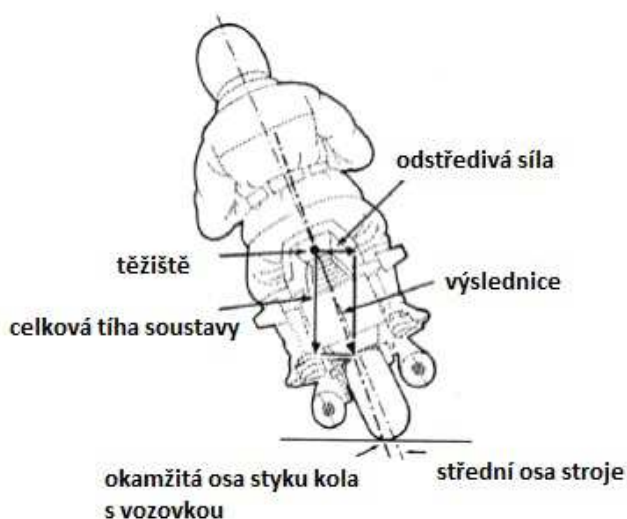
4.2.2 Odstředivá síla a průjezd motocyklu obloukem

Při jízdě po zakřivené dráze působí na motocykl odstředivá síla:

$$F_O = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (3)$$

kde F_O je odstředivá síla [N], m hmotnost soustavy motocykl+posádka (případně další zátěž) [kg], v rychlost motocyklu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a R je poloměr křivosti trajektorie motocyklu [m]. [4]

„Při průjezdu obloukem přistupuje k vnějším silám ještě síla odstředivá, která je v rovnováze s boční silou adhezní a síly od gyroskopických momentů kol. Rovnováha motocyklu v zatáčce je dosažena, jestliže výslednice z odstředivé síly a tíhy soustavy (motocykl + posádka + zátěž) prochází spojovací přímkou mezi stykovými body přední a zadní pneumatiky s jízdni dráhou (viz obrázek 8).“ [4]



Obrázek 8: Rovnováha motocyklu v zatáčce [4]

Aby motocykl dosáhl rovnováhy a nebyl vykloněn ven z oblouku, musí být skloněn o takový úhel klopení Ψ , který svírá spojnice těžiště soustavy motocykl - jezdec se stykovou přímkou kol s jízdni dráhou. Úhel klopení Ψ lze vypočítat dle vztahu (4):

$$\Psi = \arctg \frac{F_O}{G} = \arctg \frac{v^2}{R \cdot g} \quad (4)$$

kde G je tíha soustavy (motocykl+posádka+zátěž) [N], v rychlost vozidla [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], g gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] a R poloměr oblouku [m]. [4]

Hodnota odstředivé síly může v mezním případě dosáhnout hodnoty boční adhezní síly, a pak tedy platí vztah (5):

$$\text{tg} \Psi_{max} = \frac{F_{Omax}}{G} = \frac{F_{adh}}{G} = \mu_y = \frac{v_{max}^2}{R \cdot g} \quad (5)$$

kde μ_y je redukovaný součinitel dosáhnuté adheze v bočním směru. Zároveň lze ze vztahu určit vztah (6) pro maximální rychlost [4]:

$$v_{max} = \sqrt{R \cdot g \cdot \tan \Psi_{max}} = \sqrt{R \cdot g \cdot \mu_y} . \quad (6)$$

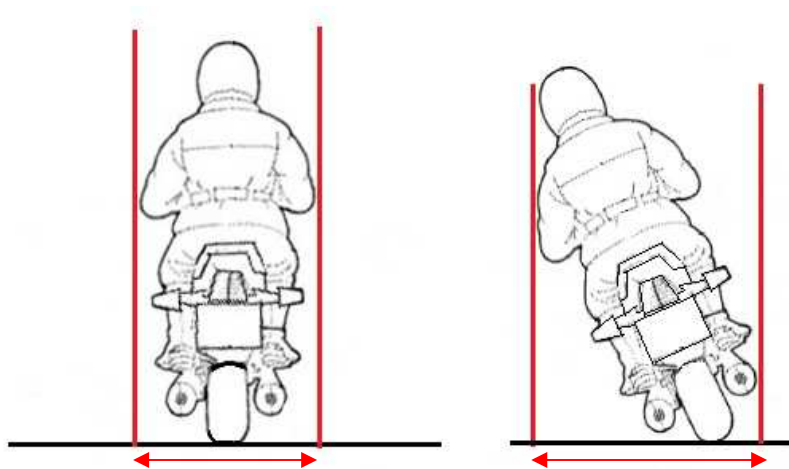
„Vjezd do zatáčky začíná krátkým natočením řízení do opačné strany (než je směr zatáčky). Tento pohyb umožňuje rychlejší naklopení motocyklu na vnitřní stranu zatáčky a jezdec ho vykonává podvědomě.“ [8]

4.2.3 Technika jízdy při průjezdu zatáčkou

Boční náklon motocyklu ovlivňuje také styl jízdy jezdce. Existují tři možné techniky jízdy při průjezdu zatáčkou:

1. Náklon jezdce je stejný jako úhel klopení motocyklu.
2. Úhel klopení motocyklu je větší než náklon jezdce - toto umožňuje rychlé změny směru a tedy účinné projíždění zatáček typu „S“.
3. Náklon jezdce je větší než úhel klopení motocyklu - tento styl jízdy je využíván především při jízdě na okruhu, ale v běžném provozu zhoršuje reakční schopnost, protože hlava jezdce je těsně nad komunikací, a tím je zhoršen rozhled a přístupnost k ovládacím prvkům. [8]

Při průjezdu obloukem je také potřebné zmínit, že šířka jízdního koridoru se značně zvětší oproti jízdě v přímém směru, což je znázorněno na obrázku 9. Červené úsečky vymezují šířku jízdního koridoru. Z obrázku je patrné, že i pro malý náklon dojde k poměrně velkému rozšíření.



Obrázek 9: Rozdíl šířky jízdního koridoru při přímé jízdě a při jízdě obloukem [4]

4.2.4 Vliv výšky těžiště

Samotná výška těžiště nemá na klopení motocyklu majoritní vliv. „Výjimkou je případ, kdy má motocykl velkou stopu a zatáčí malou rychlostí v téměř svislé poloze, a nebo v případě, že má motocykl pneumatiky s velkou šířkou a zatáčí rychle při velkém úhlu klopení.“ [8][10]

„Účinek výšky těžiště je výsledkem dvou protichůdných vlivů:

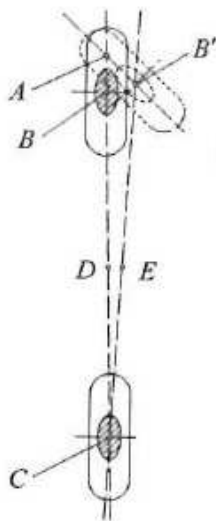
- a) vlivu stopy,
- b) vlivu zakřivení běhounu pneumatiky.“ [10]

4.2.5 Vliv stopy (obrázek 10)

„Při natočení řízení vlevo se vysune střed styčné plochy přední pneumatiky s vozovkou (bod B) proti spojnici bodů $A-C$ vpravo. Bod A je průsečík osy hlavy řízení s vozovkou, bod C je střed styčné plochy zadní pneumatiky s vozovkou. Výslednice vektorového součinu odstředivé síly a tíhové síly soustavy motocykl + posádka (resp. zátěž) při zanedbání gyroskopického momentu musí při rovnováze procházet spojnicí středu kontaktních ploch přední a zadní pneumatiky s vozovkou, tj. bodem D na čáře BC nebo bodem E ležícím na spojnici $B'C$ (stočená říditka).“ [8][10]

„Z této podmínky potom vyplývají odlišné sklony pro vozidla s nízkým a vysokým těžištěm dané vlivem velikosti stopy. Vliv velikosti stopy lze shrnout následovně:

- a) nízkému těžišti odpovídá menší úhel klopení motocyklu,
- b) vysokému těžišti odpovídá větší úhel klopení motocyklu.“ [8]



Obrázek 10: Vliv stopy na stabilitu motocyklu [8]

4.2.6 Vliv pneumatiky na stabilitu jízdy

„V případě, že je motocykl nakloněný, dochází k deformaci profilu běhounu pneumatiky, čímž dochází ke vzdalování středu kontaktní plochy pneumatiky s vozovkou od roviny souměrnosti motocyklu, a to v závislosti na druhu použité pneumatiky. Čím je pneumatika širší, tím je vzdálenost větší. Kvůli dosažení rovnováhy je nutno motocykl sklopit. Nižší poloha těžiště odpovídá většímu úhlu klopení a vyšší poloha těžiště odpovídá menšímu úhlu klopení motocyklu.“ [8] „Tvary styčných ploch pneumatik s vozovkou jsou velmi odlišné a závisí na použitých pneumatikách, na jejich hustění a na rychlosti jízdy.“ [10]

4.3 Brzdění

Brzdění znamená záměrné snižování rychlosti za účelem bezpečného zastavení nebo zpomalení vozidla v co nejkratším čase. „Při brzdění je mařena kinetická energie a je přeměněna nejčastěji na tepelnou. Základním požadavkem je zastavit vozidlo. Musí k tomu dojít za následujících podmínek:

- účinně (včas),
- opakovaně,
- bez ztráty stability (vybočení, smyk, nadměrný náklon),
- s určitou ovládací silou,
- bez ohrožení ostatních účastníků dopravy.“ [11]

Pokud je na kola motocyklu přiváděn brzdný moment, tak jsou otáčející se kola zpomalována. Vznikají vodorovné reakce mezi pneumatikou a vozovkou, které míří proti směru jízdy. [8]

„Účinek brzd je schopnost zpomalit rychlost jízdy o určitou hodnotu za určitou dobu nebo na určité dráze. Má-li být vozidlo rychle zastaveno, pak můžeme o kvalitě brzdové soustavy usuzovat dle délky brzdné dráhy.“ [4] „Celková brzdná dráha je dána reakční dobou jezdce, odezvou vozidla a dráhou, na které je motocykl schopen z určité rychlosti zastavit.“ [4] [14]

„Reakční doba se člení:

- optická reakce, což je doba od začátku optického vnímání objektu do jeho zafixování co do polohy i akomodace oka,
- psychická reakce - rozhodování zda je třeba brzdit nebo např. použít výstražné zařízení,
- svalová reakce - uvolnění akcelérátoru a přesun nohy na pedál brzd.“ [7]

„Do celkové reakční doby se pak připočítává odezva vozidla, jež se v případě brzd člení:

- prodleva brzd - časový interval od dotyku brzdového pedálu po první dotyk třecích ploch brzd,
- náběh brzdného účinku - časový interval od prvního dotyku třecích ploch po začátek zanechávání stop brzdění na vozovce.“ [7]

Délku celkové brzdné dráhy, na které motocykl zastaví (z určité počáteční rychlosti) ovlivňuje několik faktorů:

- „rychlost jízdy,
- váha motocyklu a účinnost brzd - čím lehčí stroj a účinnější brzdy, tím kratší brzdná dráha,
- stav vozovky a kvalita pneumatik - mokrá nebo prašná vozovka, sjeté pneumatiky, špatně nahuštěné pneumatiky, špatný typ pneumatik apod. = delší brzdná dráha,
- osobní zkušenosti jezdce - zkušený jezdec je schopen s moderními a účinnými brzdami brzdit lépe než osobní automobil.“ [4][14]

Uvažujeme-li konstantní brzdné zpomalení, pak pro brzdnou dráhu (do úplného zastavení) platí vztah (7):

$$s = \frac{v^2}{2a} \quad (7)$$

kde v je rychlost vozidla [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a a je zpomalení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

A vztah (8) pro dobu brzdění (bez reakční doby řidiče a odezvy vozidla) [4]:

$$t = \frac{2s}{a} \quad (8)$$

Veškerá ustanovení pro homologaci vozidel kategorie L vzhledem k brzdění jsou stanovena v předpisu EHK OSN č. 78. Předpis obsahuje také několik tabulek týkajících se předepsaných limitů brzdných drah a středního zpomalení pro jednotlivé kategorie motocyklů, a to v závislosti na brzdění pouze přední brzdou, pouze zadní brzdou a brzdění kombinovaným brzdovým systémem. Tyto tabulky byly sloučeny do jedné přehledné v literatuře [11], kterou níže předkládám (viz tabulka 6). Nutno poznamenat, že dle vyhlášky brzdná dráha nezahrnuje reakční dobu řidiče ani dobu odezvy vozidla. [15]

Tabulka 6: Účinek brzd vozidel kategorie L dle EHK č. 78 [11]

Kategorie	Přední brzda celková hmotnost			Zadní brzda celková hmotnost		Kombinovaná brzda celková hmotnost, hmotnost jen s řidičem	
	Rychlost	Brzdná dráha	Zpomalení	Brzdná dráha	Zpomalení	Brzdná dráha	Zpomalení
	v [km.h ⁻¹]	$s \leq$ [m]	$d_m \geq$ [m.s ⁻²]	$s \leq$ [m]	$d_m \geq$ [m.s ⁻²]	$s \leq$ [m]	$d_m \geq$ [m.s ⁻²]
L ₁	40	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{90}$	3,4	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{70}$	2,7	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{115}$	4,4
L ₂	40	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{70}$	2,7	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{70}$	2,7	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{115}$	4,4
L ₃	60	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{115}$	4,4	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{75}$	2,9	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{132}$	5,1
L ₄	60	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{95}$	3,6	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{95}$	3,6	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{140}$	5,4
L ₅	60	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{75}$	2,9	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{75}$	2,9	$0,1 \cdot v + \frac{v^2}{130}$	5,0

4.3.1 Zatížení náprav (vliv rozvoru náprav a výšky těžiště)

„Na vozidlo stojící nebo pohybující se rovnoměrným přímočarým pohybem působí tíhová síla G vyjádřená vztahem (9):

$$G = m \cdot g, \quad (9)$$

kde m je hmotnost soustavy [kg] a g je gravitační zrychlení [m.s⁻²].

Síla G působí v těžišti soustavy motocykl - posádka. Zatížení přední a zadní nápravy je možné vyjádřit vztahy (10) a (11):

$$Zp_{STAT} = G \cdot \frac{l_z}{l} \quad (10)$$

$$Zz_{STAT} = G \cdot \frac{l_p}{l} \quad (11)$$

kde l_p je vzdálenost těžiště od přední nápravy [m], l_z je vzdálenost těžiště od zadní nápravy [m] a l je rozvor [m].

Výška těžiště neovlivňuje zatížení náprav při rovnoměrném přímočarém pohybu. Brzdění při přímé jízdě po rovině vyvolává třecí síla F_T v místě styku obou kol s vozovkou. Síla F_T je v rovnováze se silou setrvačnou F_S . Platí tedy následující vztahy (12),(13) a (14):

$$F_T = m \cdot g \cdot \mu \quad (12)$$

$$F_S = m \cdot a \quad (13)$$

$$m \cdot g \cdot \mu = m \cdot a \quad (14)$$

kde a je brzdné zpomalení [m.s⁻²] a μ je součinitel přilnavosti (viz kapitola 4.3.2).

Z toho vyplývá vztah $a \leq g \cdot \mu$, který vyjadřuje maximální dosažitelné zpomalení na vodorovné vozovce.“ [8]

„Moment síly je daný působením dvojice sil, F_T ve styku kol s vozovkou a F_S v těžišti vozidla. Moment síly ovlivňuje dynamické zatížení náprav. Z momentové podmínky rovnováhy vyplývají vztahy (15) a (16):

$$Z_p \cdot l - F_S \cdot h - G \cdot l_Z = 0 \quad (15)$$

$$Z_Z \cdot l + F_S \cdot h - G \cdot l_p = 0 \quad (16)$$

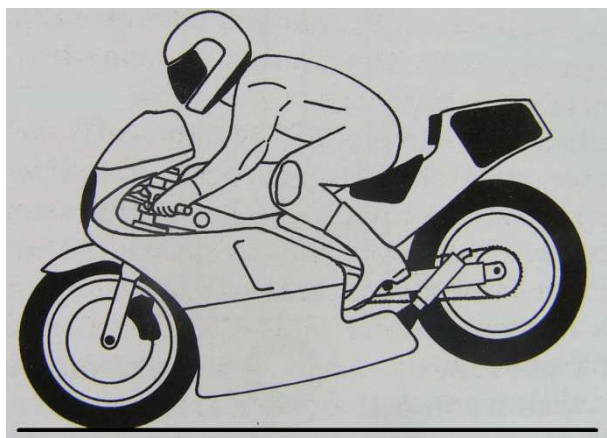
a z nich pro dynamické zatížení náprav dostaneme vztahy (17) a (18):

$$Z_p = G \cdot \frac{l_Z}{l} + F_S \cdot \frac{h}{l} = Z_{p_{STAT}} + F_S \cdot \frac{h}{l} \quad (17)$$

$$Z_Z = G \cdot \frac{l_p}{l} - F_S \cdot \frac{h}{l} = Z_{Z_{STAT}} - F_S \cdot \frac{h}{l} \quad (18)$$

kde h je výška těžiště soustavy [m].“ [8]

„Dynamické zatížení na přední nápravu při brzdění stoupá, na zadní nápravu klesá. V extrémních případech může dojít k převrácení motocyklu přes přední kolo. Na dynamické zatížení zadní nápravy má vliv obsazenost motocyklu (1 nebo 2 osoby), rozvor náprav a výška těžiště.“ [10] Zkušený jezdec umí dávkovat brzdění motocyklu tak, že dojde k postavení motocyklu na přední kolo, ale nedojde k převrácení (viz obrázek 11).



Obrázek 11: Postavení motocyklu na přední kolo [16]

„Při brzdění dochází ke snížení pružícího účinku vidlice. Na nerovné vozovce ztrácí kolo trvalý kontakt s vozovkou, přenos podélných brzdných a bočních vodících sil se snižuje. Vlivem stlačení teleskopické vidlice dále dochází ke změně geometrie řízení motocyklu.“ [10]

„Motocykly nejlépe brzdí na rovné vozovce. Přibližně 60% brzdného účinku zajišťuje přední kolo a 40% zadní kolo (při obsazení pouze jezdcem).“ [4] Řidič má možnost optimálně brzdit, díky odděleným okruhům přední a zadní brzdy (u motocyklů je používán i provázaný brzdový systém např. Brembo). Během brzdění může dojít k blokování předního, zadního nebo obou

kol současně. Blokování zadního kola je nebezpečné, protože vzniká nestabilní děj. Blokující zadní kolo vyvolává rotaci motocyklu kolem svislé osy a tím se stává hůře ovladatelný. Během blokování předního kola se motocykl chová stabilně, ale může dojít k převrácení motocyklu přes přední kolo. Pokud jezdec brzdí během jízdy v oblouku, vzniká klopivý moment, který se snaží motocykl napřímít do původní polohy. Tento moment je větší při brzdění pouze přední brzdou. V každém případě je bezpečnější upravit rychlost před nájezdem do zatáčky a vyhnout se brzdění v náklonu. [4][14]

„Brzdy fungují na principu tření pohyblivých součástí o nepohyblivé a podle způsobu používání je můžeme dělit na mechanické a kapalinové.“ [10][14]

4.3.2 Adheze

Na velikost součinitele přilnavosti μ působí především povrch vozovky, druh pneumatik, teplota, hustění pneu, znečištění vozovky, zatížení kol apod. „Hodnota součinitele tření bývá většinou menší než jedna. Speciální závodní pneumatiky se zvláště měkkou pryží v hladké běhounové ploše na hladké suché živičné vozovce dosahují hodnot značně vyšších (např. 2,5), kdy je téměř o lepivost, což snižuje životnost pneumatik.“ [17] V tabulce 7 jsou uvedeny různé hodnoty součinitele přilnavosti pro odlišné povrchy vozovky.

Tabulka 7: Součinitel přilnavosti pro různé povrchy [4]

Vozovka		Hodnota	Vozovka		Hodnota
beton	suchý	0,8 – 1,0	asfalt	suchý	0,6 – 0,9
	mokrý	0,5 – 0,8		mokrý	0,3 – 0,8
dlažba	suchá	0,6 – 0,8	makadam	suchý	0,6 – 0,8
	mokrá	0,3 – 0,5		mokrý	0,3 – 0,5
polní cesta	suchá	0,4 – 0,6	tráva	suchá	0,4 – 0,6
	mokrá	0,3 – 0,4		mokrá	0,2 – 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 – 0,4	náledí		0,1 – 0,3

4.3.3 ABS

Zkratka ABS značí protiblokovací brzdový systém (antilock braking system). Systém ABS již není výsadou pouze automobilů, ale často je využíván na moderních motocyklech. Účelem protiblokovacího systému je zabránit blokování kol během brzdění, a tedy zajistit ovladatelnost vozidla a tím zkrátit brzdovou dráhu. ABS na ideální, suché, kvalitní vozovce prodlužuje brzdovou dráhu, a proto je u motocyklů možnost vypnutí této funkce. [14][18]

5 Běžně používané typy konstrukcí motocyklu

Jednostopá motorová vozidla lze dělit nejen dle legislativy (viz kapitola 2), ale také podle konstrukce, charakteristického designu a účelu použití. Konstrukce motocyklu ovlivňuje posaz jezdce, ovládání a tím i styl jízdy.

V práci budou popsány tyto skupiny:

- moped a motokolo,
- malý motocykl,
- skútr,
- motocykl:
 - cestovní motocykl,
 - silniční sportovní motocykl,
 - naked bike,
 - chopper, custom a cruiser,
 - enduro,
 - ostatní.

V této práci nebude věnován prostor čtyřkolkám a tříkolkám z důvodu odlišného chování jízdní dynamiky.

5.1 Moped a motokolo

Moped vznikl spojením motocyklu a jízdního kola. Zařazujeme ho do kategorie L_1 . Je to stroj s maloobjemovým motorem (do 50 cm^3) a nejvyšší konstrukční rychlostí do $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Počítá se zde se spoluúčastí lidské síly např. v prudkém stoupání, a proto je vybaven pedály. Moped je konstruován pro jednu osobu a pro využití v městském provozu. Motokolo je jízdní kolo vybavené hnacím motorkem. [4][19][20] Příklad mopedu je na obrázku 12.



Obrázek 12: Moped Stadion S11 [21]

5.2 Malý motocykl

Malé motocykly mají motory o objemu do 125 cm³ a dosahují rychlosti okolo 100 km.h⁻¹. Jsou dobře ovladatelné, mají lehkou konstrukci a nízkou spotřebu. Oproti mopedu mají pevné stupačky a jsou konstruovány pro jednu nebo dvě osoby. Jsou vhodné především pro začátečníky a pro městský provoz. [19][20][22] Příklad malého motocyklu je na obrázku 13.



Obrázek 13: Malý motocykl Honda XR 125L (vlevo)



Obrázek 14: Skútr Piaggio XEvo 400 (vpravo) [23]

5.3 Skútr

Skútry řadíme do kategorie L₁ a L₃. „Je zde upřednostněna užitná hodnota a komfort jezdce před jízdními vlastnostmi a výkony.“ [19] Jsou konstruovány bez horní části rámu a s prostorem pro nohy v nosné části stroje. Jezdec nesedí obkročmo, ale „snožmo“ - je zde možnost dotyku kolen, když má nohy na stupačkách. Skútry jsou dobře ovladatelné díky malému rozvoru kol a malé hmotnosti a často jsou vybaveny automatickou převodovkou. Manévrovatelnost zlepšuje použití kol o malém průměru. Skútr je určen pro jízdu na krátké vzdálenosti v městských aglomeracích, a proto až na výjimky nedisponuje velkým výkonem motoru. Design skútrů se velmi přibližuje designu motocyklů. [19][20][22] Příklad skútru je na obrázku 14.

5.4 Motocykl

Motocykl řadíme do kategorie L₃. Je určen pro dopravu jedné nebo dvou osob sedících za sebou a pro jízdu po silnici, některé druhy případně v terénu. V prostoru kolen je umístěna palivová nádrž a pod ní motor. Pro podepření nohou slouží pevné stupačky. Objem motoru je

různý, ale vyšší než 50 cm³ a maximální rychlost přesahuje 50 km.h⁻¹. Podruhy jsou rozebrány níže. [4][20]

5.4.1 Cestovní motocykl

Cestovní motocykl je konstruován pro zdolávání velkých vzdáleností. Má dobře řešenou polohu řídítek ve vztahu k sedadlu a stupačkám, a proto je posaz jezdce i spolujezdce pohodlný. Cestovní motocykly se vyznačují velkou nádrží, dostatečným výkonem a mohou být pro zlepšení aerodynamiky a komfortu posádky vybaveny kapotáží. Motory jsou upraveny k lepšímu tahu už od nižších nebo středních otáček, což snižuje frekvenci řazení rychlostních stupňů. Ve výbavě cestovních motocyklů jsou často boční a zadní kufry, antiblokovací systém brzd, vyhřívaná řídítká a další doplňky zpříjemňující cestování. Nevýhodou těchto strojů bývá velká hmotnost. Cestovní motocykly mohou být opatřeny postranním vozíkem (sidecar). [19][20][22][24] Příklad cestovního motocyklu je na obrázku 15.



Obrázek 15: Cestovní motocykl Honda STX 1300 Pan - European [25]

5.4.2 Sportovní silniční motocykl (Supersport)

Tyto motocykly bývají obdobou závodních okruhových strojů upravených pro silniční provoz. Mají velký výkon motoru, kterého dosahují ve velmi vysokých otáčkách. Zaměření motocyklu je na rychlou, agresivní jízdu a velké náklony v obloucích. Pohodlí řidiče i spolujezdce je omezeno nízkým tuhým rámem, nižší polohou řídítek a vyšší polohou stupaček. Aerodynamické celokapotované motocykly umožňují jízdu i v rychlostech okolo 300 km.h⁻¹. Ke snížení hmotnosti se často používají speciální materiály - slitiny lehkých kovů, kevlar, karbon apod. Nevýhodou sportovních silničních motocyklů je velká spotřeba a cena. [19][22] Příklad sportovního silničního motocyklu je na obrázku 16.



Obrázek 16: Sportovní silniční motocykl Honda CBR 900RR (vlevo)

Obrázek 17: Naked bike Yamaha FZS 600 Fazer (vpravo)

5.4.3 Naked bike

Naked bike, neboli „naháč“, zachovává klasické uspořádání motocyklu. Motory jsou často přebírány ze sportovních silničních motocyklů, pouze je u nich snížen výkon, aby bylo dosaženo vyššího točivého momentu. Motocykly disponují velkými hodnotami zrychlení a maximální rychlost přesahuje $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. „Naked bike je motocykl bez kapotáže, případně s malou aerodynamickou kapotáží.“ [20] Posaz jezdce je oproti supersportům vzpřímenější a tedy i pohodlnější, což je způsobeno vyšší polohou řídků. [20][22] Příklad motocyklu naked bike je na obrázku 17.

5.4.4 Chopper, custom a cruiser (obrázek 18)

Styl a konstrukce těchto motocyklů pochází z USA a odpovídají tamní představě o pohodlném cestování na dlouhé vzdálenosti. Důraz je kladen především na design - charakteristickým znakem je mnoho chromovaných dílů. Tyto motocykly jsou většinou vybaveny dvouválcovým velkoobjemovým motorem s uspořádáním válců do V („vidlicový motor“). „Vyznačují se dlouhým rozvorem a plochou hlavou řízení.“ [4] Potřebného točivého momentu dosahují v nízkých otáčkách, takže není nutné neustálé řazení převodových stupňů. Dalším charakteristickým znakem těchto motocyklů je široká zadní a úzká přední pneumatika a vyplétané ráfky. „Velká hmotnost a delší rozvor kol mají za následek zhoršenou ovladatelnost.“ [22] Jezdec sedí vzpřímeně a má možnost natáhnout nohy na tzv. předkopy. „Jedná se o systém stupaček posunutých daleko dopředu, nahoru a do stran.“ [20] Konstrukce těchto motocyklů je vhodná pro přímou jízdu. Nelze je v obloucích příliš naklonit. Cruisery mají oproti chopperům mohutnější stavbu a mají méně výrazných vzhledových úprav. Výsledkem častých přestaveb a úprav chopperů a cruiserů je motocykl custom. [19][20][22]



Obrázek 18: Motocykl Moto Guzzi California Classic (vlevo) [26]

Obrázek 19: Enduro Suzuki DR 650 (vpravo)

5.4.5 Enduro

„Název enduro pochází z francouzského slova „endurance“ (vytrvalost).“ [4] Enduro je všestranný motocykl s velmi jednoduchou stavbou, určený pro jízdu po všech typech terénu. „Typický je pro něj dlouhý zdvih pérování a vyšší poloha sedla.“ [19] Posaz jezdců je vzpřímený, s koleny posunutými dopředu a řídky jsou ve výšce pasu. „Při jízdě v náročném terénu jezdec řídí téměř vestoje a vyvažuje stroj tělem.“ [19] U těchto motocyklů se preferuje ovladatelnost. Komfort jízdy snižuje měkce naladěný podvozek, hrubý vzorek pneumatik a úzké, tvrdé sedlo. [22][24] Příklad endura je na obrázku 19.

5.4.6 Ostatní

Existují i další skupiny motocyklů, které obvykle mívají jednostranné zaměření. Často jsou určeny k závodům, ale většinou nejsou schváleny k provozu na pozemních komunikacích. Patří sem např. závodní okruhové motocykly, motocrossové a trialové motocykly, dragstery, plochodrážní motocykly apod.

Konstrukční parametry jednotlivých skupin se vzájemně prolínají díky snaze přizpůsobit motocykl co nejvíce požadavkům na jeho využití. Některé stroje je obtížné zařadit do jedné kategorie.

6 Přístroje pro měření jízdní dynamiky

Na základě zaměření mého experimentu jsem zvolila 3 zařízení, která jsou standardně určena pro odborné měření jízdní dynamiky. Po vzájemném porovnání vyberu jedno zařízení, které bude nejvhodnější pro experiment, a použiji ho pro své měření.

- Metal Eletro E-tanu,
- Inventure XL Meter Pro,
- XSENS MTi-G.

6.1 Metal Elektro E-tanu

Metal Elektro E-tanu (obrázek 20) je přístroj pro zaznamenání dopravních nehod ve vozidle. Přístroj v prvním módu snímá a ukládá data 15 s před nárazem a ještě 5 s po nárazu. Ve druhém módu snímá kontinuálně. Nahrávání videa může pomoci rozhodnout sporné případy nebo může video sloužit jako podklad pro rekonstrukci. Snímač měří zrychlení pouze ve dvou osách x a y . Lze ho používat samostatně – nepotřebuje být připojen k záznamovému zařízení.

Technické parametry:

- citlivost na světlo: 0,1 Lux,
- úhel pozorování: 120° úhlopříčně, 97° vodorovně,
- rychlost záznamu: 5 snímků/s,
- záznam dění v délce (v prvním módu): 15 s před událostí a 5 s po události,
- záznam dění v délce (v druhém módu): kontinuální průběžné zaznamenávání,
- dvouosý akcelerometr pro jízdní dynamiku, rozsah ± 2 g,
- výkon: 2,5 W,
- rozměry: 50 x 46 x 65 mm, hmotnost 250 g,
- doporučená provozní teplota: -5°C až $+55^\circ\text{C}$. [27]

6.2 Inventure XL Meter Pro

XL Meter Pro (obrázek 21) snímá zrychlení ve dvou osách x a y . Po provedení experimentu dochází k okamžitému zobrazení výsledků měření provozní brzdy a měření zrychlení na displeji přístroje. K tomuto přístroji není nutné připojit nahrávací zařízení - vše se ukládá do přístroje.

„Technické parametry:

- dvouosý akcelerometr, rozsah $\pm 5 \text{ m.s}^{-2}$ až $\pm 20 \text{ m.s}^{-2}$,

- rozměry: 50 x 97 x 110 mm; LCD displej,
- doporučená provozní teplota: 0 °C až 50 °C,
- frekvence zápisu dat: 200 Hz,
- kapacita paměti: 3 x 40 s.“ [28][29]



Obrázek 20: Metal Elektro E-tanu (vlevo)



Obrázek 21: Inventure XL Meter Pro (vpravo) [28]

6.3 XSENS MTi-G

Přístroj XSENS MTi-G (obrázek 22) je přístroj určený primárně k měření jízdní dynamiky, který obsahuje 3 osý akcelerometr, 3 osý gyroskop, teploměr, barometr, magnetometr a GPS přijímač. Akcelerometr, gyroskop a GPS přijímač jsou hlavní snímače. Teploměr, barometr a magnetometr jsou pomocné snímače. Snímač je nutné mít připojený k počítači, do kterého se data ukládají.

„Technické parametry

- tříosý akcelerometr pro jízdní dynamiku, rozsah: ± 5 g,
- snímač úhlové rychlosti ve třech osách, rozsah: ± 300 st/s,
- snímač magnetického pole, rozsah: ± 750 mGauss,
- snímač teploty, rozsah: -55 °C až $+125$ °C,
- tlakový snímač - barometr, rozsah: 30 až $120 \cdot 10^3$ Pa,
- anténa GPS, 4Hz, 50ti kanálový přijímač - připraveno pro síť GALILEO,
- rozměry: 58 x 58 x 33 mm, hmotnost: 68 g,
- pracovní rozsah teplot: -20 °C až 60 °C.“ [30]



Obrázek 22: Snímač XSENS MTi-G a GPS přijímač

6.4 Výběr přístroje pro experiment

Nevýhodou snímačů Metal Eletro E-tanu a Inventure XL Meter Pro je, že zaznamenávají zrychlení pouze ve dvou osách x a y . Jejich výhodou je, že nepotřebují být připojeny k záznamovému zařízení. Výhodou Metal Elektro E-tanu je možnost pořízení videozáznamu.

Po vzájemném porovnání byl pro všechna měření vybrán přístroj XSENS MTi-G, protože snímá zrychlení ve 3 osách a jeho součástí je gyroskop, což je pro můj experiment měření úhlu klopení nezbytné a bohužel u ostatních dvou zařízení úplně chybí. XSENS MTi-G je snímač s největší přesností z výše porovnávaných. Další výhodou jsou nejmenší rozměry, což je pro měření jízdní dynamiky na motocyklu poměrně důležité.

6.4.1 Podrobný popis zařízení XSENS MTi-G

Jak již bylo výše zmíněno, XSENS MTi-G obsahuje základní a pomocná zařízení. Základními zařízeními jsou akcelerometry, gyroskopy a GPS přijímač a pomocnými jsou zejména magnetometr, teploměr a barometr. V následujících odstavcích budou tyto snímače popsány podrobněji.

„**Akcelerometr** - je senzor dynamického a statického zrychlení. Dynamické zrychlení je dáno změnou vektoru rychlosti pohybujícího se předmětu. Statické zrychlení pak zpravidla vlivem působení gravitace. Měrnou jednotkou je $[m \cdot s^{-2}]$ či odvozená jednotka tíhového zrychlení $[g]$.“ [31]

Druhy akcelerometrů dle konstrukce:

- polovodičové (piezoelektrické, piezorezistivní)
- kapacitní
- ostatní (tepelné, induktivní, apod.)

„Pro sledování jízdní dynamiky jsou nejčastěji používány akcelerometry piezorezistivní či kapacitní. Akcelerometry na piezoelektrickém principu totiž nejsou schopny měřit konstantní zrychlení.“ [31]

Akcelerometr použitý v XSENS MTi-G je „tříosý akcelerometr, kapacitní, typu MEMS¹. Struktura a funkce je založena na proměnné kapacitě tříelektrodeového vzduchového kondenzátoru. Využívá se nelineární závislosti kapacity na vzdálenosti elektrod kondenzátoru, kdy je jedna z elektrod pohyblivá a její pohyb je závislý na působící síle resp. zrychlení.“ [32]

„**Gyroskop** slouží pro určení orientace, snímá úhlovou rychlost [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$, $^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$]. Pracuje na principu momentu hybnosti a jeho zachování. Jedním z druhů gyroskopu je uspořádání Kardanova závěsu. Toto provedení je mechanicky komplikované a citlivé na údržbu. V současné době se tak v technických aplikacích častěji používají elektromechanické gyroskopy, které k určení úhlové rychlosti využívají principu Coriolisovy síly – jsou označovány jako gyroskopy s vibrační strukturou. Z pohledu přesnosti mají gyroskopy poměrně stabilní chování pouze během krátkých intervalů, proto potřebují vnější korekci.“ [31]

Gyroskop použitý v XSENS MTi-G je „typu MEMS, monolitický, elektromechanický, kapacitní. Pracuje na principu Coriolisovy síly. Základem je periodicky se pohybující (mechanicky rezonující) struktura přesně dané hmotnosti upevněná pomocí pružin v rámu. Směr pohybu musí být vždy kolmý ke směru otáčení. Za těchto podmínek vzniká, a na hmotnou pohybující se část snímače působí, Coriolisova síla, jejíž velikost je úměrná úhlové rychlosti otáčení. Ta způsobuje stlačení vnějších pružin rámu a způsobí vzájemný posuv měřících plošek fungujících jako elektrody vzduchových kondenzátorů. Výstup je tedy změna kapacity úměrná úhlové rychlosti otáčení [$^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$].“ [32]

¹ „MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems - na čipu (křemíková báze) se spolu s elektrickými obvody vytváří i mechanické mikrosoučásti, které tvoří samotný snímač“

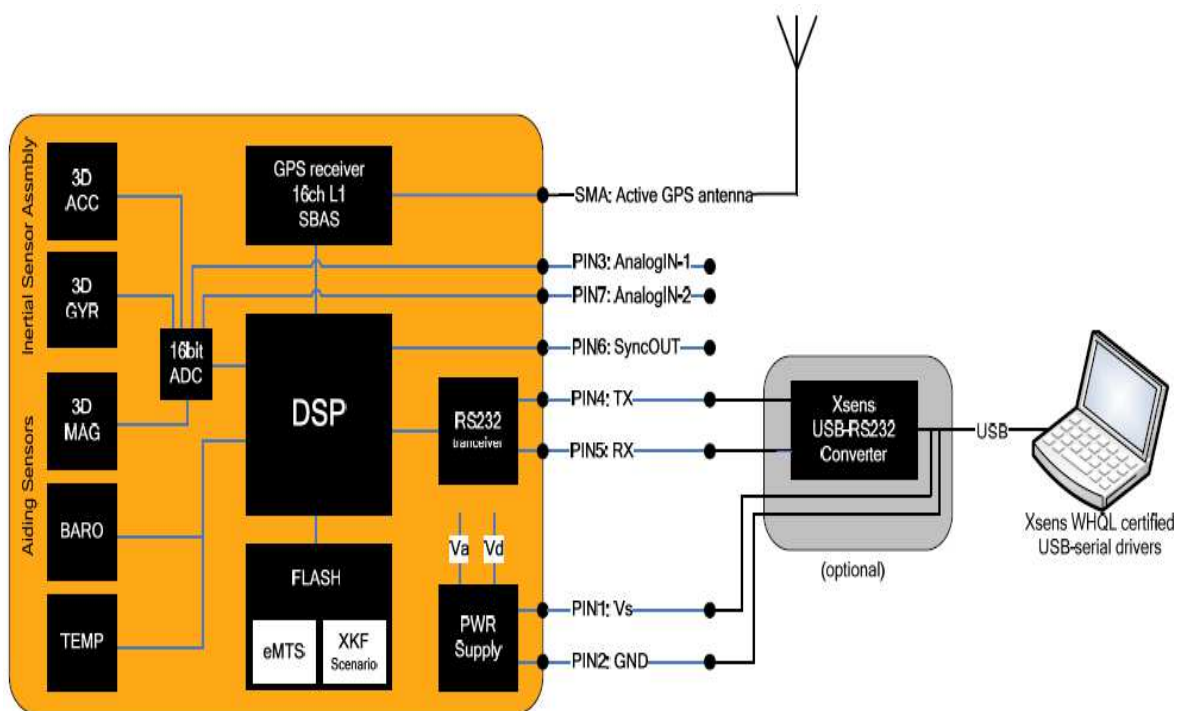
„Dalším typem snímače je **přijímač GPS signálu**, pomocí kterého se vypočítává aktuální rychlost a poloha. Měření GPS slouží ke korekci inerciálního měření (měření pomocí akcelerometrů a gyroskopů). Zatím jediný plně funkční Globální družicový polohový systém (GNSS) pro autonomní prostorové určování polohy je americký vojenský Global Positioning System (GPS). Poloha přijímače je počítána z poloh satelitů pomocí určení časového zpoždění signálu, který satelity vysílají. Pro určení polohy ve třech rozměrech a korekci chyby vnitřních hodin přijímače jsou potřeba signály ze čtyř různých satelitů. Přesnost výpočtu polohy narušují atmosférické podmínky a další náhodný šum. Kromě polohy je pomocí GPS získávána i informace o rychlosti. Rychlost z GPS není získávána prostým rozdílem sousedních poloh měření. Rychlost může být vypočítávána přijímačem pomocí 1575,42 MHz nosné vlny vysílacího kanálu L1, a to dvěma metodami. Jednou z metod je sledování změn ve frekvenci nosné vlny při vzájemném pohybu přijímače a vysílače – pomocí Dopplerova jevu. Poloha a rychlost satelitů je známá, proto může být dopočítána absolutní rychlost přijímače. Druhou metodou je použití změny ve fázi nosné vlny. Aby bylo možné použít GPS pro měření rychlosti objektu, je nutná transformace jejich souřadnic do souřadnic objektu – vozidla. K tomu se nejčastěji používá snímač úhlové rychlosti ve vozidle. Pomocí systému GPS je možno určit polohu a rychlost v prostoru s omezenou přesností, která se ale s časem nemění (je závislá na aktuálních podmínkách).“ [31]

Dalším snímačem (pomocným) je magnetometr pro určení polohy snímače v prostoru. „**Magnetometr** je snímací zařízení, které měří velikost a směr lokálního magnetického pole. Hodnota velikosti tohoto pole je dána součtem působení magnetického pole Země a jakéhokoli magnetického pole, které je tvořeno jinými objekty. Síla magnetického pole není všude stejná, je proměnná s polohou a časem, stejně jako se neshodují magnetické póly s geografickými póly Země. Princip měření magnetického pole je založen na magnetorezistivním jevu, který se projevuje změnou elektrického odporu magnetického materiálu v měnícím se magnetickém poli, které jej ovlivňuje. Pro tyto účely se používá materiál zvaný permalloy, slitina železa a niklu, s obsahem niklu cca 80 %. Magnetometr slouží pro zpřesnění měření pomocí gyroskopu, korekci vlivu rotace Země, a v případě, je-li měření spojeno s měřením pomocí GPS, je při výpadku signálu gyroskop používán k upřesnění lokalizace.“ [31]

„**Teploměr a barometr** zpravidla slouží pro další korekci měření. Výstupy snímačů jsou obecně na teplotě závislé, proto je nutné při výpočtu provést teplotní kompenzaci. Snímač tlaku, v jednodušších aplikacích, slouží primárně pro snímání tlaku atmosférického, a tedy jako pomocné čidlo pro určení vertikální výšky.“ [31]

6.4.2 Princip činnosti snímače XSENS MTi-G (obrázek 23)

Signály z hlavních snímačů (3 osy akcelerometry a 3 osy gyroskop) vstupují do převodníku Analog-Digital a dále do procesoru přístroje. Z vedlejších snímačů jde pouze signál 3 osého snímače magnetického pole do převodníku Analog-Digital a dále do procesoru a data z barometru a teploměru jdou rovnou do procesoru přístroje. Do procesoru vstupuje také signál z GPS přijímače. Data v procesoru ovlivňuje Kalmanův filtr uložený v paměti přístroje, který provádí korekci, aby se data zatížená šumem a jinými nelinearitami přiblížila reálným hodnotám. Výstup dat je přes USB přenesen do záznamového zařízení.



Obrázek 23: Architektura snímače MTi-G [30]

7 Experiment

Předmětem experimentu bude zjištění brzdného zpomalení motocyklů, a to proto, že tabelované hodnoty brzdného zpomalení, které se využívají ve znalecké praxi, vyžadují aktualizaci s ohledem na moderní motocykly. Dalším cílem experimentu bude vytvoření přehledu úhlů klopení v obloucích. I když jsou tyto hodnoty důležité pro znaleckou praxi kvůli analýze záboru šířky jízdního koridoru, v současnosti neexistuje v ČR ucelený soubor praktických hodnot.

Očekávaným výstupem experimentu bude:

1. Znalost metodiky osazení motocyklu snímači.
2. Vytvoření základu tabulek a grafů průměrných hodnot zpomalení u motocyklů, což bude vstupem pro širší analýzu problému.
3. Hodnoty úhlů klopení, které budou užitečné pro soudní znalectví kvůli analýze záboru šířky jízdního koridoru.

7.1 Testované motocykly

Pro mé měření jsem měla k dispozici dva motocykly kategorie Naked bike. Yamaha FZS 1000 Fazer a Honda CB 600S Hornet jsou konstrukčně velmi podobné stroje, ale liší se především výkonem a hmotností.

Technické parametry testovaných motocyklů

YAMAHA FZS 1000 FAZER (obrázek 24)

- výkon: 105 kW,
- objem: 998 cm³,
- rok výroby: 2003,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 308 kg,
- motor: kapalinou chlazený, čtyřdobý čtyřválec,
- přední brzda: 2x kotoučová,
- zadní brzda: 1x kotoučová,
- typ rámu: trubkový, ocelový,
- úhel hlavy řízení: 64°,
- závlek předního kola (stopa): 104 mm,
- rozvor: 1410 mm,
- zrychlení 0 - 100 km.h⁻¹: 3,3 s. [33]



Obrázek 24: Motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer

HONDA CB 600S HORNET (obrázek 25)

- výkon: 70 kW,
- objem: 599 cm³,
- rok výroby: 2003,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 278 kg,
- motor: kapalinou chlazený, čtyřdobý čtyřválec,
- přední brzda: 2x kotoučová,
- zadní brzda: 1x kotoučová,
- typ rámu: páteřový, lehká slitina,
- úhel hlavy řízení: 64,6°,
- závlek předního kola (stopa): 99 mm,
- rozvor: 1420 mm,
- zrychlení 0 - 100 km.h⁻¹: 3,5 s. [33]



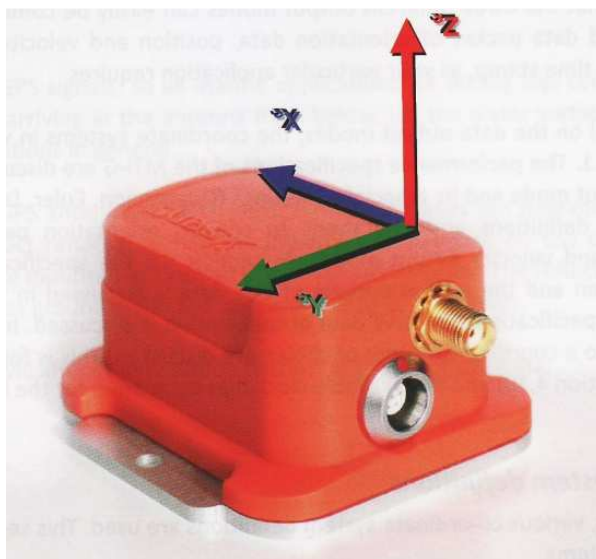
Obrázek 25: Motocykl Honda CB 600S Hornet

7.2 Jezdec

Testovacím jezdce byl muž ve věku 29 let, hmotnosti 100 kg a s 14letou praxí v řízení motocyklu. Zatímco motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer řídí už 5 let a důkladně zná jeho chování, s motocyklem Honda CB 600S Hornet měl jen minimální zkušenosti. Tento důvod může ovlivnit chování jezdce během jízdy a tedy i výsledky měření.

7.3 Teoretický základ pro zpracování naměřených dat

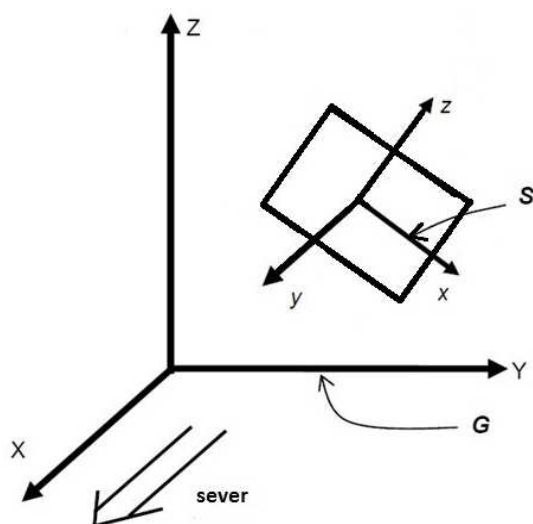
Data naměřená snímačem XSENS MTi-G budou vyhodnocována v programu National Instruments Diadem - zejména z důvodu množství a typu dat. Souřadný systém snímače, ve kterém zaznamenává zrychlení a úhlovou rychlost, je pevně spjat s jeho základnou (viz obrázek 26). Vlivem klopení a klonění motocyklu je velikost složky zrychlení v ose x a y ovlivňována působením gravitačního zrychlení, proto je tuto složku nutné následně odstranit. Z tohoto důvodu bude na naměřených datech provedena transformace souřadnic do systému horizontálně vertikálního. Z důvodu značného zatížení naměřených hodnot šumem, bude následně provedena filtrace dat.



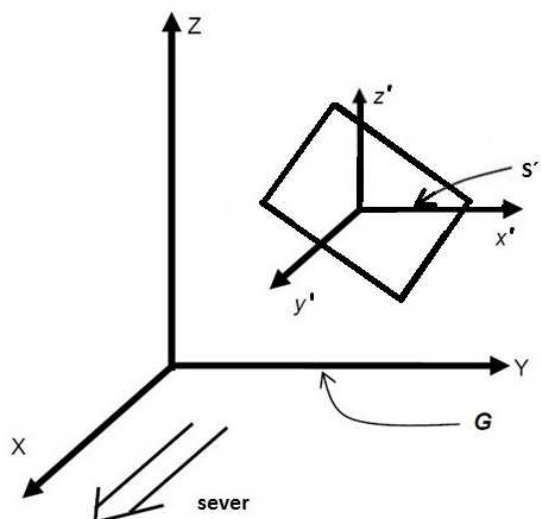
Obrázek 26: Souřadný systém snímače XSENS MTi-G [30]

Transformace souřadnic

Na obrázku 27 a 28 je znázorněna transformace souřadnic a tedy odstranění vlivu složky gravitačního zrychlení v ose x , y a z . G značí globální souřadný systém, S značí lokální souřadný systém, ve kterém snímač hodnoty měří a S' označuje transformovaný lokální systém. Lokální souřadný systém S' se natáčí volně kolem osy z' spolu se snímačem.



Obrázek 27: Lokální systém před transformací (vlevo)



Obrázek 28: Lokální systém po transformaci (vpravo)

Maticе rotací

Klopení, klonění a stáčení motocyklu je pomocí Eulerových úhlů vyjádřeno v maticích rotací v rovnicích č. (19), (20), (21): [32]

Osa x (úhel klopení ψ - roll)

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & \sin\psi \\ 0 & -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \quad (19)$$

Osa y (úhel klonění φ - pitch)

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (20)$$

Osa z (úhel stáčení ε - yaw)

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon & \sin\varepsilon & 0 \\ -\sin\varepsilon & \cos\varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Transformační matice

Transformační matice vznikne roznásobením matic rotací (22) a (23).

$$R = [R_x \cdot R_y \cdot R_z] \quad (22)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon \cdot \cos\varphi & \sin\varepsilon \cdot \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \cos\varepsilon \cdot \sin\varphi \cdot \sin\psi - \sin\varepsilon \cdot \cos\psi & \sin\varepsilon \cdot \sin\varphi \cdot \sin\psi + \cos\varepsilon \cdot \cos\psi & \cos\varphi \cdot \sin\psi \\ \cos\varepsilon \cdot \sin\varphi \cdot \cos\psi + \sin\varepsilon \cdot \sin\psi & \sin\varepsilon \cdot \sin\varphi \cdot \cos\psi - \cos\varepsilon \cdot \sin\psi & \cos\varphi \cdot \cos\psi \end{bmatrix} \quad (23)$$

Z důvodu korespondence osy x snímače s osou x motocyklu (diferenci obou os lze považovat za nulovou - tedy $\sin\varepsilon=0$) jsou červeně zvýrazněné členy nulové. Žlutě zvýrazněný člen je v jízdní dynamice zanedbán kvůli násobení dvou malých úhlů. Pokud $\sin\Psi$ není malý úhel, pak platí rovnice (23) bez červených členů. [32]

$$R = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon \cdot \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & \cos\varepsilon \cdot \cos\psi & \cos\varphi \cdot \sin\psi \\ \cos\varepsilon \cdot \sin\varphi \cdot \cos\psi & -\cos\varepsilon \cdot \sin\psi & \cos\varphi \cdot \cos\psi \end{bmatrix} \quad (24)$$

Transformace

Naměřené hodnoty zrychlení vynásobené zleva transformační maticí dávají transformované zrychlení v ose x , y , z . Tedy zrychlení bez vlivu složky gravitačního zrychlení. [32]

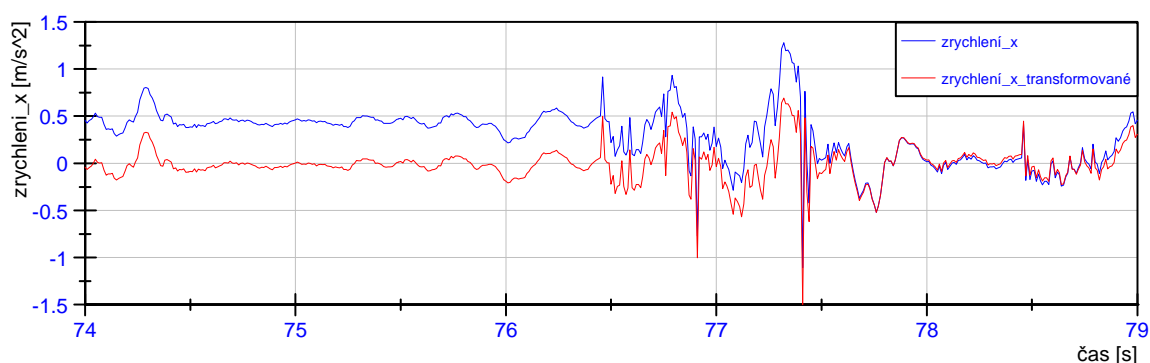
$$\text{transformovaný signál} \quad (x', y', z') = (x, y, z) \cdot R \quad \text{původní signál} \quad (25)$$

$$(x', y', z')^T = (x, y, z)^T \cdot R^T \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon \cdot \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & \cos\varepsilon \cdot \cos\psi & \cos\varphi \cdot \sin\psi \\ \cos\varepsilon \cdot \sin\varphi \cdot \cos\psi & -\cos\varepsilon \cdot \sin\psi & \cos\varphi \cdot \cos\psi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (27)$$

Příklad původního a transformovaného signálu

V grafu na obrázku 29 je modře znázorněna část původního signálu průběhu zrychlení v ose x a červeně je část původního signálu průběhu zrychlení v ose x po odstranění vlivu složky gravitačního zrychlení. Z grafu je zřetelné posunutí upraveného signálu do bodu 0 na ose y .



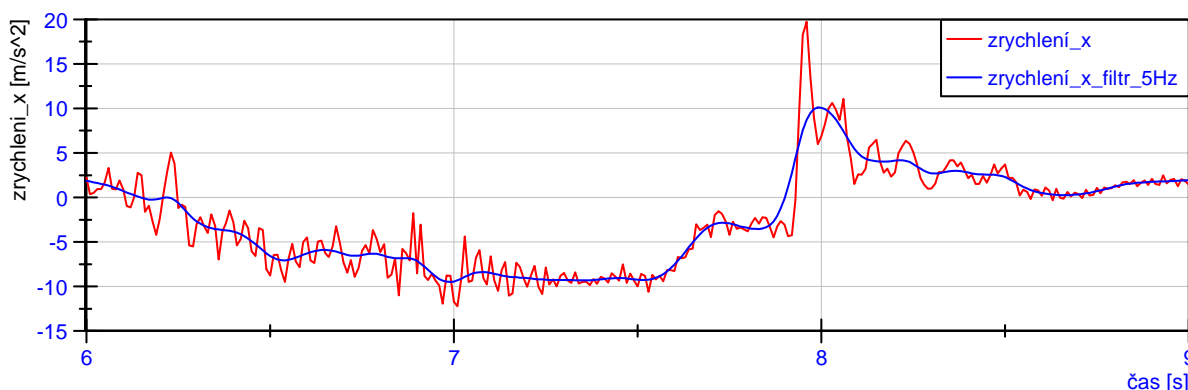
Obrázek 29: Transformace signálu

Filtrace signálu

Na základě zkušeností s měřením podobného průběhu děje na Ústavu soudního znalectví Fakulty dopravní jsem zvolila filtraci s těmito parametry: dolní propust, s limitní frekvencí 5 Hz, filtr Butterworth, 4. řádu.

Příklad původního a filtrovaného signálu

V grafu na obrázku 30 je červeně znázorněna křivka zrychlení v ose x před filtrací. Následně byl použit filtr, čímž byly odstraněny šумы a došlo k vyhlazení křivky (v grafu znázorněno modrou křivkou).



Obrázek 30: Filtrace signálu

7.4 Experiment 1

Předmětem je měření normálního a krizového brzdného zpomalení dvou motocyklů. Po umístění snímačů na motocykl bude jezdec opakovaně projíždět vybraný přímý úsek bez sklonových poměrů.

7.4.1 Lokalita experimentu

Pro měření brzdění jsem vybrala místní komunikaci mezi obcemi Hrnčiče a Rozkoš. Komunikace se napojuje na ulici Ke Statku. Slouží pouze jako příjezdová cesta k soukromému objektu a je velmi málo využívána. Povrch je tvořen živíci a jeho mikrotextura je drsná a makrotextura hrubá. Na této komunikaci nebylo viditelné poškození ani znečištění. Celková délka použitého úseku je přibližně 90 m.



Obrázek 31: Mapa lokality experimentu 1



Obrázek 32: Lokalita experimentu 1

7.4.2 Klimatické podmínky

Během měření brzdného zpomalení u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer dne 24.8.2012 bylo skoro zataženo a teplota byla 26 °C. Během měření stejného experimentu s motocyklem Honda CB 600S Hornet dne 5.10.2012 bylo také skoro zataženo a teplota byla 17 °C. Detaily viz tabulka 8.

Tabulka 8: Klimatické podmínky během měření brzdění

experiment	datum	čas	teplota	počasí	rychlost větru
fazer-brzdění	24.8.2012	13:30-15:30	26 °C	skoro zataženo	18 km/h
hornet-brzdění	5.10.2012	14:15-15:15	17 °C	skoro zataženo	20 km/h

7.4.3 Metodika umístění snímačů

Po provedení zkušebních pokusů různých umístění snímače na motocyklu, jsem vzhledem ke konstrukci motocyklů a z důvodu prostorového přístupu k měřicímu zařízení zvolila umístění snímače v přední části motocyklu na víčko nádrže pro oba testované motocykly. Pomocí libely jsem zajistila vodorovné umístění snímače. Vyrovnávání proběhlo s jezdcem sedícím na motocyklu. Provedla jsem také kontrolu sousosti – osa x snímače se shoduje s osou x motocyklu. Snímač byl připevněn oboustrannou lepící páskou tloušťky 0,8 mm.

Anténa byla umístěna do horizontální plochy vzadu na horní nosič, aby nebyla stíněna jezdcem. Provedla jsem přesné měření vzdálenosti mezi anténou a snímačem. Tyto hodnoty byly zadány prostřednictvím komunikačního protokolu do interní paměti snímače tak, aby korektně docházelo ke korekci chyb výpočtu integrace hodnot (výpočtu úhlů) z hodnot naměřených inerciálním systémem (snímač provádí automaticky pomocí Kalmanovy filtrace).

Měřicí počítač byl připevněn na místo spolujezdce a to především kvůli dobrému přístupu, bezpečnosti a chlazení. Při pokusu vézt počítač v batohu docházelo k přehřívání a k nechtěnému přerušování měření.

Metodiku umístění snímačů lze tedy obecně shrnout do několika nejdůležitějších bodů - konkrétně se jedná o metodiku měření se snímači, které sdružují inerciální měření a měření GPS:

- upevnění snímače, co nejbližší vypočtenému (předpokládanému) těžišti soustavy motocykl - jezdec (jako nejvhodnější místo doporučuji víčko nádrže),
- zajištění vodorovného umístění snímače (se sedícím jezdcem),
- kontrola sousosti (osa x snímače se shoduje s osou x motocyklu),
- umístění antény do horizontální plochy, musí být nestíněná (jezdce, kapotáží apod.), měření přesných vzdáleností v ose x , y a z , mezi snímačem a anténou,
- umístění měřicího počítače na dobře přístupné, bezpečné, chlazené místo.



Obrázek 33: Umístění snímačů na motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer



Obrázek 34: Umístění snímačů na motocyklu Honda CB 600S Hornet

Měření se dvěma snímači XSENS MTi-G

Pokusila jsem se provést měření se dvěma snímači XSENS MTi-G pro porovnání shodnosti dat. Jeden snímač byl umístěn v přední části motocyklu na víčko nádrže a druhý v zadní části motocyklu na horní nosič kufru (viz obrázek 35). Zajistila jsem vodorovnost ploch pro umístění snímačů a také souosost snímačů. Osy x obou snímačů byly shodné s osou x motocyklu. Antény byly přilepeny na místo spolujezdce tak, aby nebyly stíněny jezdce. Měřicí počítač byl vezen v otevřeném batohu kvůli chlazení.

Bohužel procesor měřicího počítače nezvládnul zaznamenávání dat kontinuálně ze dvou snímacích zařízení. Během pokusů docházelo k úplnému přerušení měření nebo částečné ztrátě dat, a proto jsem tuto variantu experimentu musela opustit.

snímač XSENS MTi-G č. 2 přijímače GPS měřicí počítač snímač XSENS MTi-G č. 1



Obrázek 35: Umístění dvou snímačů XSENS MTi-G na motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer

7.4.4 Nastavení přístroje

Pro nastavení přístroje bylo využito výrobcem předdefinovaného Kalmanova filtru pro měření jízdní dynamiky. Vzorkovací frekvence měření byla 100 Hz.

Snímané veličiny:

- zrychlení v ose x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- zrychlení v ose y [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- zrychlení v ose z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- rychlost v ose x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- rychlost v ose y [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- rychlost v ose z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- úhel klopení [$^{\circ}$],
- úhel klonění [$^{\circ}$],
- úhel stáčení [$^{\circ}$],
- úhlová rychlost v ose x [rad/s],
- úhlová rychlost v ose y [rad/s],
- úhlová rychlost v ose z [rad/s],
- výška GPS nad referenčním elipsoidem [m], zeměpisná šířka [$^{\circ}$], zeměpisná délka [$^{\circ}$],
- síla magnetického pole v osách x , y , z [mGauss – výstup je normalizován a vztažen ke gravitačnímu zrychlení].

7.4.5 Naměřené hodnoty

Pro každý motocykl bylo naměřeno:

- 5x normální brzdění přední brzdou z rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,
- 5x krizové brzdění přední i zadní brzdou z rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,
- brzdná dráha motocyklu.

Měření probíhalo v úseku bez sklonových poměrů, tedy úhel klonění lze považovat za úhel vzniklý vlivem pružení a tlumení motocyklu. Z toho důvodu je nutné z naměřené složky zrychlení v ose x eliminovat složku gravitačního zrychlení dle kapitoly 7.3 transformací souřadnic.

Dráha pro rozjezd a ustálení rychlosti na $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ byla po pár zkušebních jízdách stanovena na 60 m. Pro všechny pokusy byla pásmem změřena brzdná dráha, viz tabulky 9 a 10. Při zkoušce krizového brzdění motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer č. 009 došlo k velmi extrémnímu brzdění, a proto je délka brzdné dráhy od počátku do konce brzdění pouze 7,60 m.

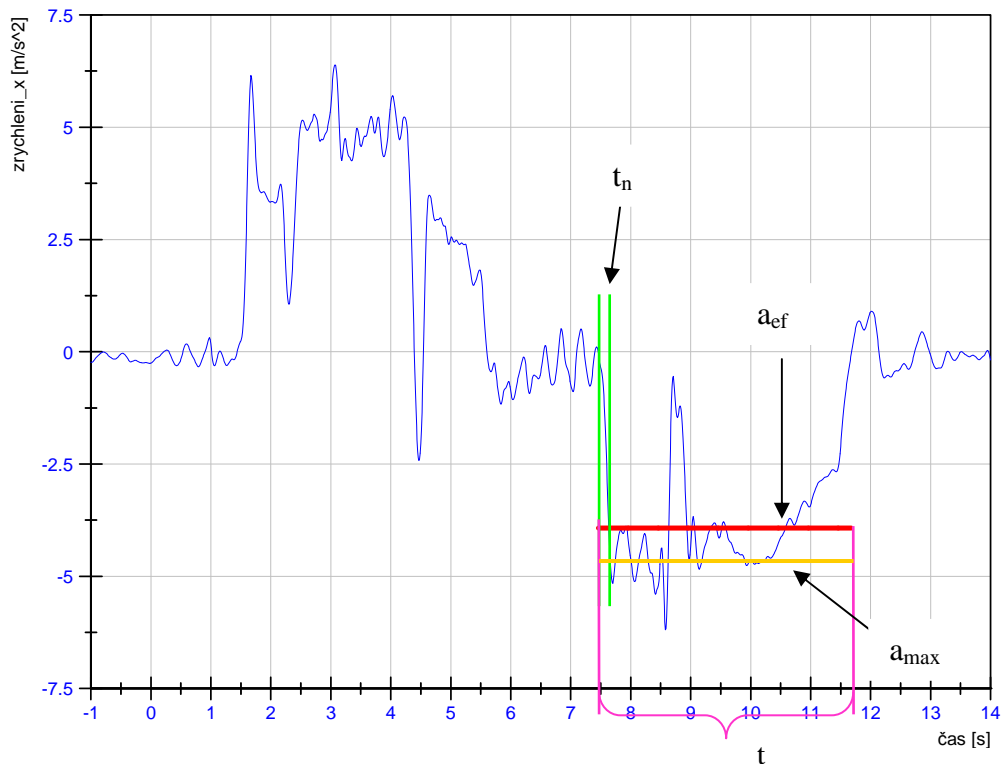
Tabulka 9: Brzdné dráhy pro normální brzdění motocyklů Yamaha FZS 1000 Fazer a Honda CB 600S Hornet

	Yamaha FZS1000 Fazer	Honda CB600S Hornet
	brzdná dráha	brzdná dráha
č.	[m]	[m]
000	23,70	25,30
001	23,75	24,60
002	24,90	24,00
003	24,90	26,20
004	25,60	25,60

Tabulka 10: Brzdné dráhy pro krizové brzdění motocyklů Yamaha FZS 1000 Fazer a Honda CB 600S Hornet

	Yamaha FZS1000 Fazer	Honda CB600S Hornet
	brzdná dráha	brzdná dráha
č.	[m]	[m]
005	11,60	12,20
006	11,60	11,00
007	14,70	13,60
008	14,10	10,10
009	7,60	10,90

Tabulka 11 se týká normálního brzdění motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer a tabulka 12 se týká krizového brzdění stejného motocyklu. V tabulce 15 a 16 jsou výsledky dat po odečtení působící složky gravitačního zrychlení motocyklu Honda CB 600S Hornet, první ze jmenovaných se týká normálního brzdění a druhá krizového brzdění. Výsledky v tabulkách 13 a 14 platí také pro motocykl Honda CB 600S Hornet, ale jsou to hodnoty bez odečtení působící složky gravitačního zrychlení vytvořené pro porovnání s netransformovanými hodnotami motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer. Ve všech tabulkách a_{ef} značí efektivní hodnotu zpomalení, a_{max} maximální zpomalení, t_n náběh brzd a t je celkový čas zpomalení. Pro lepší přehlednost jsou modře zvýrazněny tabulky s netransformovanými daty a žlutě tabulky s transformovanými daty. V grafu na obrázku 36 jsou tyto veličiny vyznačeny a to: efektivní hodnota zpomalení červeně, maximální zpomalení oranžově, doba náběhu brzd zeleně a celková doba zpomalení růžově.



Obrázek 36: Vyznačení veličin měřených z grafů pro zpomalení

U motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer neprovádím transformaci souřadnic, protože hodnoty úhlu klonění, které se dopočítávají z naměřené úhlové rychlosti, za předpokladu znalosti trajektorie a rychlosti pohybu z GPS, byly ovlivněny výpadkem GPS signálu, čímž byla data znehodnocena. Stejně tak i u motocyklu Honda CB 600S Hornet u vzorků 001 a 003, které tedy v tabulce 15 nejsou uvedeny. Vzorek č. 007 u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer byl vyřazen z důvodu úplné ztráty signálu GPS.

Tabulka 11: Netransformované hodnoty normálního brzdění pro motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer

č.	a_{ef} [m.s ⁻²]	a_{max} [m.s ⁻²]	t_n [s]	t [s]
000	3,39	4,21	0,28	4,62
001	3,81	4,55	0,36	4,33
002	3,55	4,38	0,28	4,31
003	3,81	4,42	0,38	4,47
004	3,97	4,83	0,24	4,05
aritmetický průměr	3,7060	4,4780	0,3080	4,3560
směrodatná odchylka	0,2076	0,2068	-	-

Tabulka 12: Netransformované hodnoty krizového brzdění pro motocykl Yamaha FZS 1000

Fazer

č.	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
005	6,97	8,91	0,34	2,24
006	6,02	7,76	0,27	2,56
008	5,72	7,29	0,40	2,64
009	9,37	10,31	0,32	1,78
aritmetický průměr	7,0200	8,5675	0,3325	2,3050
směrodatná odchylka	1,4331	1,1659	-	-

Tabulka 13: Netransformované hodnoty normálního brzdění pro motocykl Honda CB 600S

Hornet

č.	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
000	3,16	4,09	0,25	4,83
001	3,48	4,20	0,20	4,50
002	3,92	4,90	0,23	4,22
003	4,04	4,67	0,25	4,45
004	4,18	4,26	0,25	4,01
aritmetický průměr	3,7560	4,4240	0,2360	4,4020
směrodatná odchylka	0,3791	0,3085	-	-

Tabulka 14: Netransformované hodnoty krizového brzdění pro motocykl Honda CB 600S

Hornet

č.	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
005	7,37	8,44	0,19	2,26
006	8,15	9,61	0,19	2,11
007	6,76	8,2	0,19	2,18
008	8,45	9,94	0,20	2,09
009	7,40	8,99	0,20	2,32
aritmetický průměr	7,6260	9,0360	0,1940	2,1920
směrodatná odchylka	0,6033	0,6638	-	-

Tabulka 15: Transformované hodnoty normálního brzdění pro motocykl Honda CB 600S

Hornet

č.	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
000	2,75	3,64	0,25	4,79
002	3,48	4,41	0,25	4,16
004	3,18	3,54	0,26	4,07
aritmetický průměr	3,1367	3,8633	0,2533	4,3400
směrodatná odchylka	0,2996	0,3887	-	-

Tabulka 16: Transformované hodnoty krizového brzdění pro motocykl Honda CB 600S

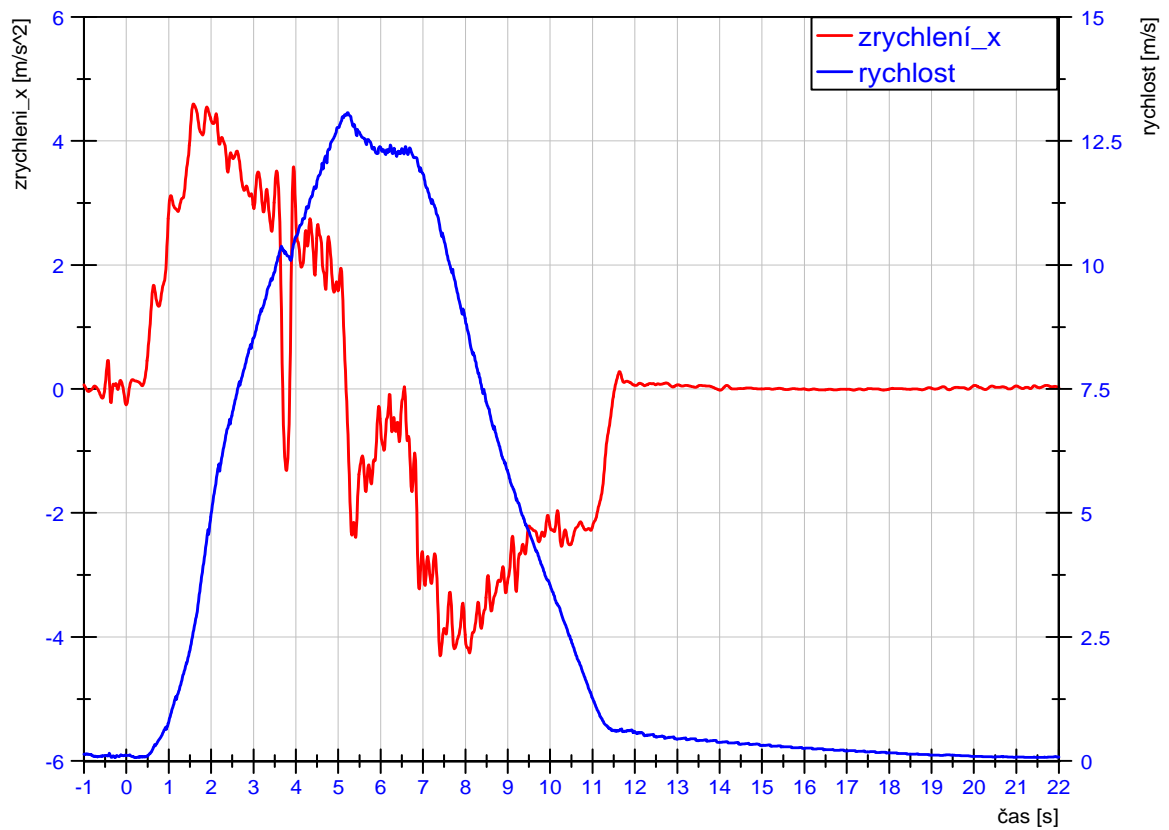
Hornet

č.	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
005	7,35	8,42	0,19	2,23
006	7,87	9,26	0,18	2,04
007	6,09	7,16	0,18	2,12
008	7,87	9,53	0,20	2,09
009	6,67	8,2	0,20	2,29
aritmetický průměr	7,1700	8,5140	0,1900	2,1540
směrodatná odchylka	0,6970	0,8402	-	-

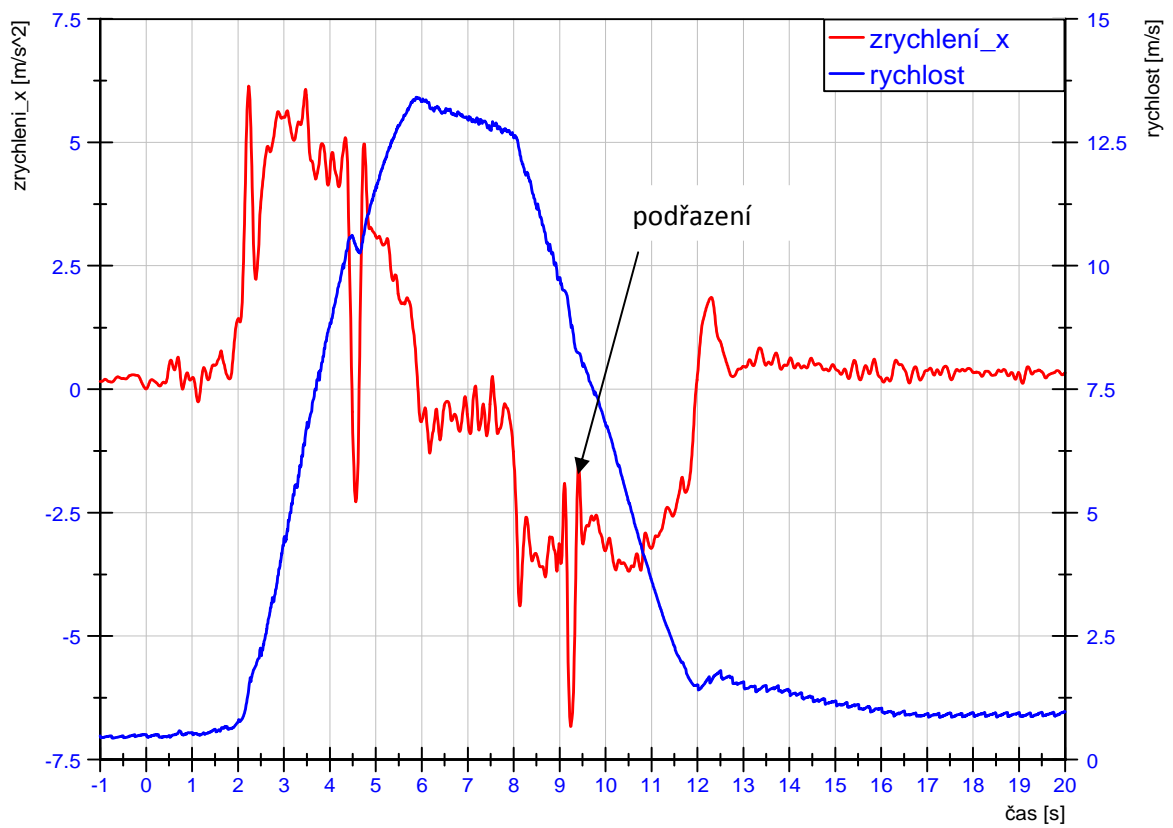
V grafu na obrázku 37 a 38 je viditelný průběh normálního brzdění pouze přední brzdou. Červené křivky značí zrychlení v ose x a modré křivky značí odpovídající rychlost. V grafu na obrázku 38 týkající se motocyklu Honda CB 600S Hornet je zřetelně vidět podřazení na nižší převodový stupeň během zpomalení a to v čase přibližně 9 - 9,5 s.

V grafu na obrázku 39 je viditelné krizové brzdění motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer, při kterém došlo k postavení motocyklu na přední kolo. Výchylka v čase 8 - 8,5 s značí spadnutí motocyklu zpět na zadní kolo, čímž došlo k odlehčení kola předního. V grafu na obrázku 40 je znázorněno krizové brzdění motocyklu Honda CB 600S Hornet, při kterém došlo k extrémnímu klonění a smyku předního kola v čase přibližně 8,5 s. Během tohoto jevu motocykl začal padat na bok, a proto jezdec krátce odbrzdil během působení zpomalení, aby motocykl navrátil do rovnovážného stavu.

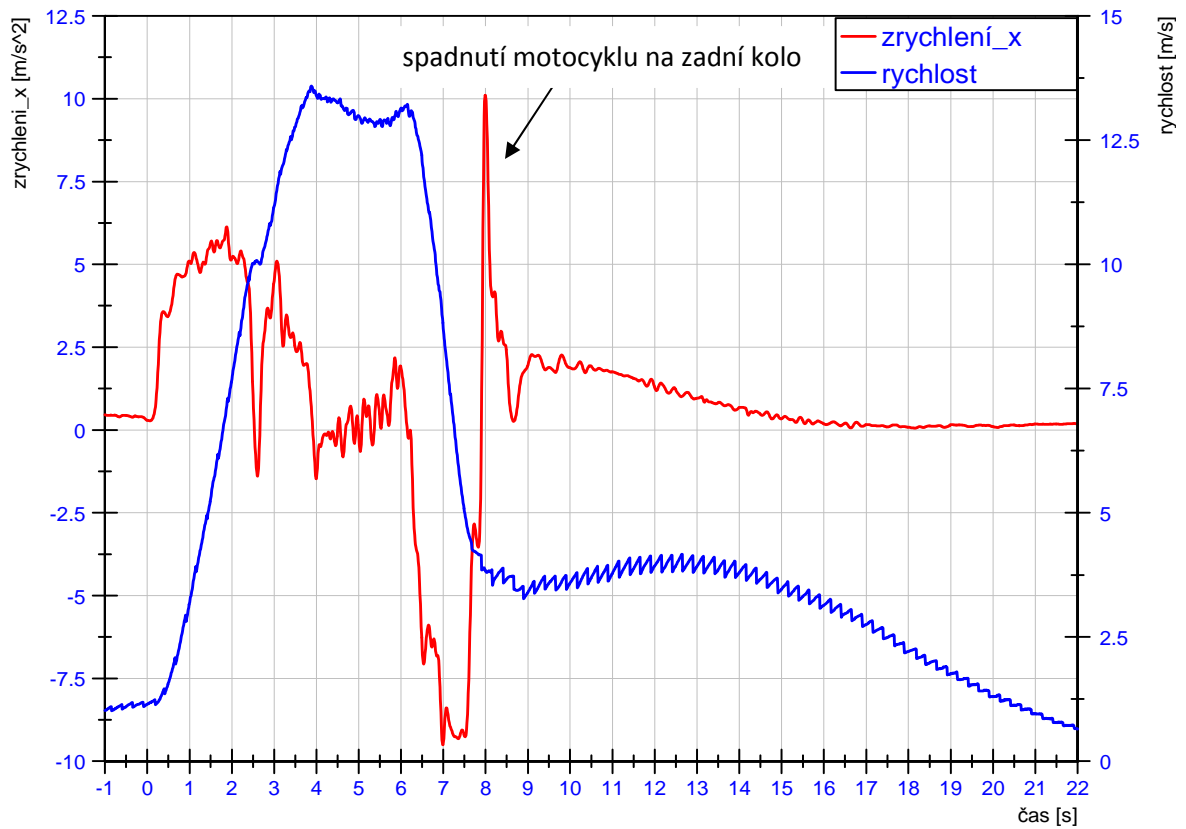
Další příklady grafických výstupů týkajících se brzdění jsou v příloze 1. V obrázcích týkajících se netransformovaných hodnot neuvádím křivky pro rychlost, protože tato data byla znehodnocena vlivem ztráty signálu z GPS přijímače.



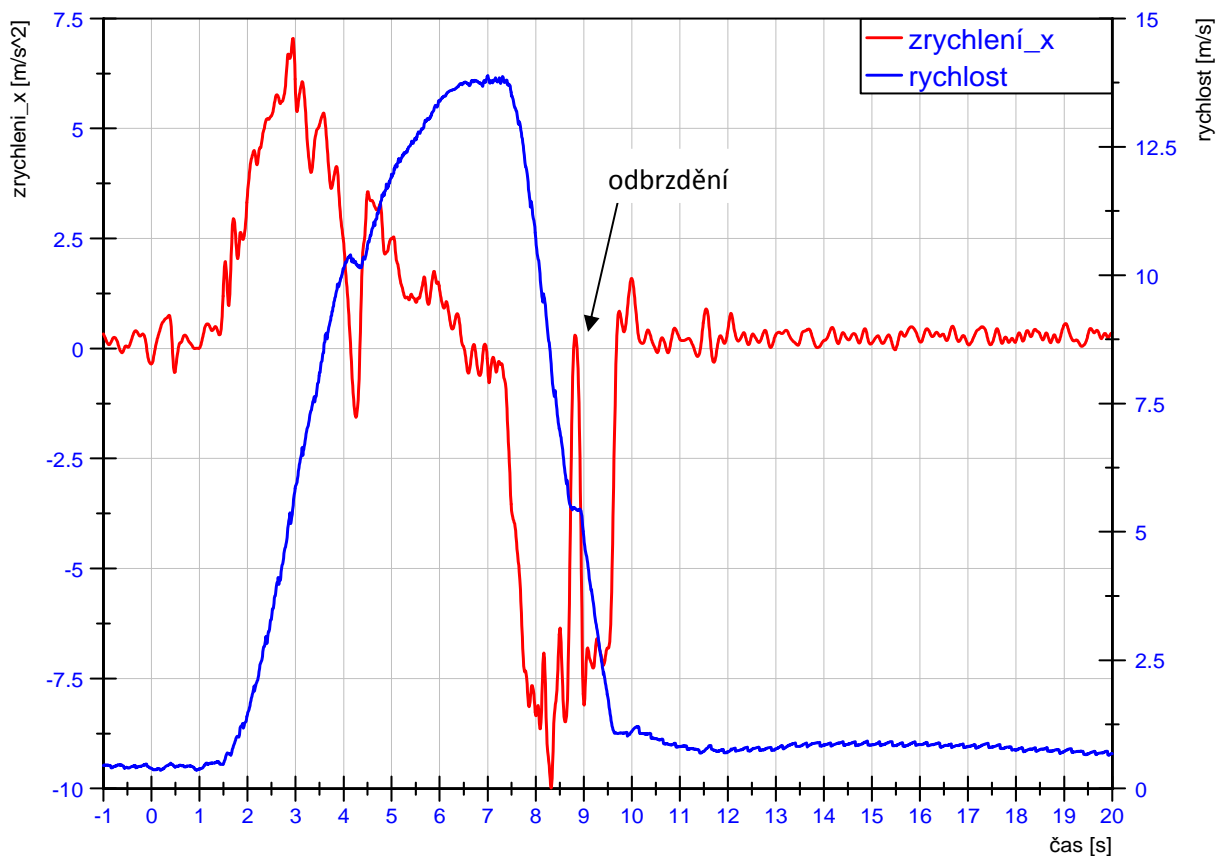
Obrázek 37: Příklad normálního brzdění motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer



Obrázek 38: Příklad normálního brzdění motocyklu Honda CB 600S Hornet



Obrázek 39: Příklad krizového brzdění motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer



Obrázek 40: Příklad krizového brzdění motocyklu Honda CB 600S Hornet

7.4.6 Výsledky měření

Z porovnání tabulek 17 a 18 s netransformovanými daty (modře zvýrazněné) lze vidět, že aritmetický průměr zpomalení pro normální brzdění u obou motocyklů se téměř neliší. Efektivní hodnoty zpomalení se pohybují okolo hodnoty $3,7 \text{ m.s}^{-2}$ a maximální průměrné zpomalení okolo $4,4 \text{ m.s}^{-2}$. U krizového brzdění jsou hodnoty rozdílné - pro motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer je průměrné efektivní zpomalení $7,0 \text{ m.s}^{-2}$ a maximální průměrné zpomalení je $8,6 \text{ m.s}^{-2}$. Pro motocykl Honda CB 600S Hornet je průměrné efektivní zpomalení $7,6 \text{ m.s}^{-2}$ a maximální průměrné zpomalení je $9,0 \text{ m.s}^{-2}$. U krizového brzdění motocyklu Honda CB 600S Hornet je aritmetický průměr efektivní hodnoty zpomalení i hodnoty maximálního průměrného zpomalení oproti hodnotám motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer přibližně o $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ větší. Efektivní zpomalení u krizového brzdění (zkouška č. 009) motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer dosáhlo hodnoty $9,37 \text{ m.s}^{-2}$, což je hodnota blízká gravitačnímu zrychlení $g=9,81 \text{ m.s}^{-2}$ a z toho je patrné, že se jednalo o velmi razantní brzdění za příznivých adhezních podmínek.

Tabulka 19 se týká výsledků transformovaných hodnot (žlutě zvýrazněná) pouze pro motocykl Honda CB 600S Hornet, protože transformovaná data motocyklu Yamaha FZS Fazer nejsou k dispozici z důvodu jejich znehodnocení vlivem ztráty signálu z GPS přijímače. Při porovnání transformovaných a netransformovaných hodnot motocyklu Honda CB 600S Hornet je patrné, že netransformované hodnoty jsou přibližně o $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ větší. Z toho usuzují, že transformovaná data týkající se motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer by byla oproti netransformovaným přibližně o $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ menší. Hodnota průměrného efektivního zpomalení pro motocykl Honda CB 600S Hornet je u normálního brzdění $3,1 \text{ m.s}^{-2}$ a u krizového $7,1 \text{ m.s}^{-2}$. Hodnoty maximálního průměrného brzdného zpomalení jsou pro normální brzdění $3,9 \text{ m.s}^{-2}$ a u krizového brzdění $8,5 \text{ m.s}^{-2}$.

Tabulka 17: Porovnání výsledků obou motocyklů pro normální brzdění

Veličina	Yamaha FZS 1000 Fazer				Honda CB 600S Hornet			
	$a_{ef} [\text{m.s}^{-2}]$	$a_{max} [\text{m.s}^{-2}]$	$t_n [\text{s}]$	$t [\text{s}]$	$a_{ef} [\text{m.s}^{-2}]$	$a_{max} [\text{m.s}^{-2}]$	$t_n [\text{s}]$	$t [\text{s}]$
aritmetický průměr	3,7060	4,4780	0,3080	4,3560	3,7560	4,4240	0,2360	4,4020
směrodatná odchylka	0,2076	0,2068	-	-	0,3791	0,3085	-	-

Tabulka 18: Porovnání výsledků obou motocyklů pro krizové brzdění

Veličina	Yamaha FZS 1000 Fazer				Honda CB 600S Hornet			
	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
aritmetický průměr	7,0200	8,5675	0,3325	2,3050	7,6260	9,0360	0,1940	2,1920
směrodatná odchylka	1,4331	1,1659	-	-	0,6033	0,6638	-	-

Tabulka 19: Výsledky motocyklu Honda CB 600S Hornet (transformované hodnoty)

Veličina	Honda CB 600S Hornet-normální brzdění				Honda CB 600S Hornet-krizové brzdění			
	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$	$a_{ef} [m.s^{-2}]$	$a_{max} [m.s^{-2}]$	$t_n [s]$	$t [s]$
aritmetický průměr	3,1367	3,8633	0,2533	4,3400	7,1700	8,5140	0,1900	2,1540
směrodatná odchylka	0,2996	0,3887	-	-	0,6970	0,8402	-	-

Náběh brzdného účinku u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer se pohybuje v rozmezí hodnot 0,24 - 0,40 s a u motocyklu Honda CB 600S Hornet je to jen 0,19 - 0,25 s. Přestože je u druhého motocyklu náběh brzdného účinku kratší, celkový čas průběhu brzdění obou motocyklů je téměř stejný. Z toho usuzuji, že brzdy u Hondy CB 600S Hornet jsou méně výkonné.

Změřené brzdné dráhy pro normální brzdění se u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer pohybovaly v rozmezí 23 - 26 m a u motocyklu Honda CB 600S Hornet v rozmezí 24 - 27 m. Brzdné dráhy pro krizové brzdění se u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer pohybovaly v rozmezí 11 - 15 m, až na jeden pokus, kdy došlo k extrémnímu brzdění a hodnota brzdné dráhy byla pouze 7,6 m. U motocyklu Honda CB 600S Hornet se naměřené hodnoty krizového brzdění pohybovaly v rozmezí 10 - 14 m.

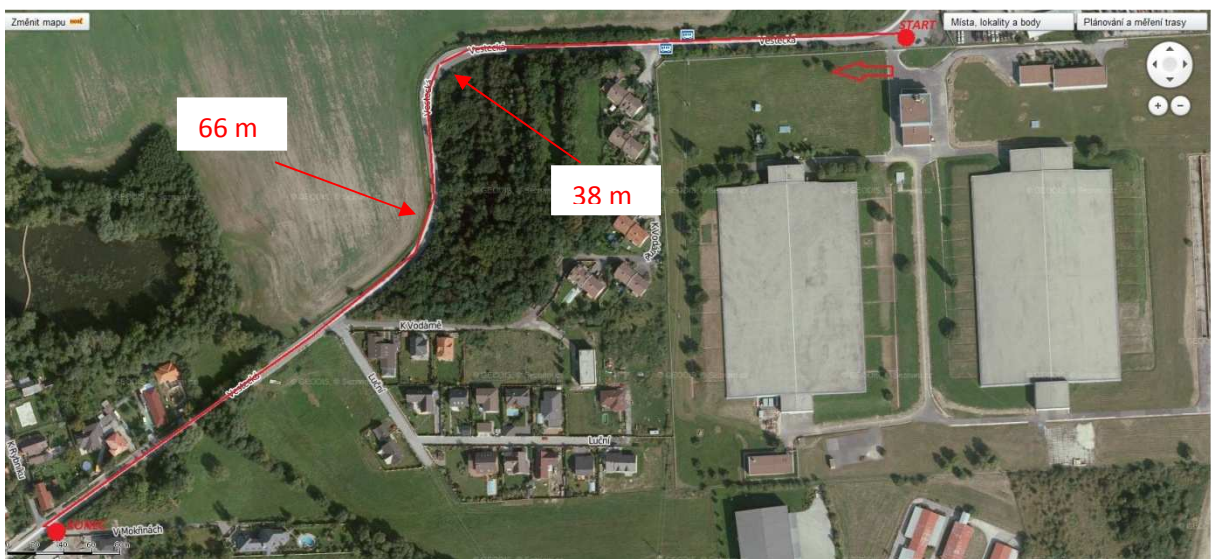
Měření je ovlivněno malým počtem vzorků, čímž je ovlivněno i statistické vyhodnocování a výsledky, a proto bych ráda podnikla rozšíření experimentů, pro jejich zpřesnění. Měření má omezenou statistickou hodnotu. Při měření jsem se potýkala s problémem ztráty signálu GPS. Tento problém bych ráda v dalším měření odstranila.

7.5 Experiment 2

Předmětem je měření úhlů klopení dvou motocyklů. Po umístění snímačů na motocykl bude jezdec opakovaně projíždět vybraný úsek s levotočivým a pravotočivým obloukem.

7.5.1 Lokalita experimentu

Pro měření náklonů jsem vybrala úsek silnice č. III/10114 Vestecká (okres Praha - západ) směrem do obce Vestec. Začátek byl zvolen mimo komunikaci před vraty vodárny, následuje přímá část, levotočivý oblouk o poloměru 38 m, pravotočivý oblouk o poloměru 66 m, přímá část a poté výjezd do místní komunikace V Mokřinách. Povrch je tvořen živíci a jeho mikrotextura je drsná a makrotextura hrubá. Na komunikaci nebylo viditelné žádné poškození ani znečištění. Celková délka dráhy experimentu je přibližně 770 m. Měření probíhalo za plného provozu, a proto mohlo občas dojít k ovlivnění jiným vozidlem.



Obrázek 41: Mapa lokality experimentu 2



Obrázek 42: Lokalita experimentu 2

7.5.2 Klimatické podmínky

Během měření úhlů klopení u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer dne 26.9.2012 bylo skoro zataženo a teplota byla 24 °C. Během měření stejného experimentu s motocyklem Honda CB 600S Hornet dne 5.10.2012 bylo také skoro zataženo a teplota byla 13 °C. Detaily viz tabulka 20.

Tabulka 20: Klimatické podmínky během měření úhlů klopení

experiment	datum	čas	teplota	počasí	rychlost větru
fazer-náklony	26.9.2012	14:15-16:00	24 °C	skoro zataženo	3 km/h
hornet-náklony	5.10.2012	11:45-12:45	13 °C	skoro zataženo	14 km/h

7.5.3 Umístění snímačů a nastavení přístroje

Umístění snímačů a nastavení přístroje bylo stejné jako v experimentu 1. Viz kapitola 7.4.3 a 7.4.4.

7.5.4 Naměřené hodnoty

Pro každý motocykl bylo naměřeno:

- 10x průjezd úsekem pro měření úhlů klopení.

Úhel klopení nelze považovat za malý úhel, ale měření nebylo ovlivněno sklonovými poměry trasy, tudíž lze provést transformaci souřadnic dle kapitoly 7.3 a vypočítat příčnou složku zrychlení v ose y .

V tabulce 21 jsou uvedeny výsledky měření úhlu klopení motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer pro levotočivý i pravotočivý oblouk. ψ_{max} značí maximální úhel klopení, a_y zrychlení v ose y , $v(\psi_{max})$ rychlost v bodě maximálního úhlu klopení. Výsledné hodnoty platné pro motocykl Honda CB 600S Hornet jsou uvedeny v tabulce 23.

V tabulkách 22 a 24 jsou uvedeny nejdůležitější rychlosti zaznamenané z průběhu měření - v_L značí rychlost při nájezdu do levotočivého oblouku, $v(\psi_{max})$ rychlost v bodě maximálního úhlu klopení, v_{LP} rychlost na výjezdu z levotočivého oblouku a nájezdu do pravotočivého oblouku, v_P rychlost při výjezdu z pravotočivého oblouku. Tabulka 22 platí pro měření

motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer a tabulka 24 platí pro měření motocyklu Honda CB 600S Hornet.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty pro motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer

č.	levotočivá				pravotočivá			
	Ψ_{\max} [°]	a_y [m.s ⁻²]	$v(\Psi_{\max})$ [m.s ⁻¹]	$v(\Psi_{\max})$ [km.h ⁻¹]	Ψ_{\max} [°]	a_y [m.s ⁻²]	$v(\Psi_{\max})$ [m.s ⁻¹]	$v(\Psi_{\max})$ [km.h ⁻¹]
000	38,03	5,90	16,19	58,28	37,41	5,83	21,05	75,78
001	42,18	5,97	16,37	58,93	43,24	6,97	20,58	74,09
002	37,07	5,50	15,42	55,51	39,35	5,75	19,39	69,80
003	38,87	5,61	16,47	59,29	38,60	5,63	20,66	74,38
004	37,15	5,81	15,79	56,84	41,14	6,36	19,09	68,72
005	42,93	5,82	15,65	56,34	41,03	6,20	20,71	74,56
006	42,51	6,10	16,70	60,12	43,49	5,81	19,36	69,70
007	40,54	6,02	16,37	58,93	41,89	6,12	20,89	75,20
008	40,26	6,29	16,35	58,86	41,75	6,66	19,78	71,21
009	42,12	6,52	15,64	56,30	43,92	6,86	19,40	69,84

Tabulka 22: Naměřené hodnoty rychlostí v jednotlivých úsecích pro motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer

č	nájezd do L	$v \Psi_{\max}$	výjezd L/nájezd P	$v \Psi_{\max}$	výjezd P
	v_L [m.s ⁻¹]	$v(\Psi_{\max})$ [m.s ⁻¹]	v_{LP} [m.s ⁻¹]	$v(\Psi_{\max})$ [m.s ⁻¹]	v_P [m.s ⁻¹]
000	20,06	16,19	21,02	21,05	19,13
001	19,53	16,37	20,24	20,58	20,44
002	19,52	15,42	19,21	19,39	22,18
003	17,33	16,47	20,59	20,66	20,77
004	18,07	15,79	20,96	19,09	20,78
005	17,38	15,65	21,38	20,71	21,13
006	18,84	16,70	18,78	19,36	21,11
007	18,45	16,37	19,36	20,89	22,56
008	18,85	16,35	19,02	19,78	21,16
009	18,04	15,64	19,52	19,40	21,16

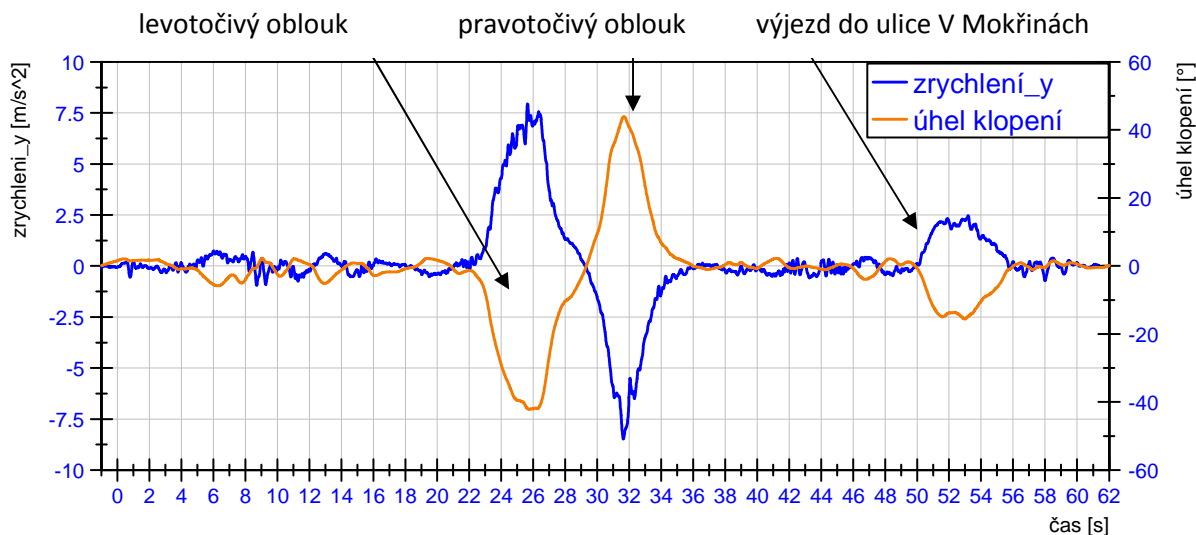
Tabulka 23: Naměřené hodnoty pro motocykl Honda CB 600S Hornet

č.	levotočivá				pravotočivá			
	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$a_y [m.s^{-2}]$	$v(\Psi_{\max}) [m.s^{-1}]$	$v(\Psi_{\max}) [km.h^{-1}]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$a_y [m.s^{-2}]$	$v(\Psi_{\max}) [m.s^{-1}]$	$v(\Psi_{\max}) [km.h^{-1}]$
000	33,20	4,62	14,78	53,21	31,01	4,82	16,85	60,66
001	33,51	4,71	15,46	55,66	34,33	5,28	17,76	63,94
002	28,30	3,99	16,53	59,51	34,43	5,23	17,33	62,39
003	33,93	5,21	16,22	58,39	37,63	5,62	20,57	74,05
004	39,22	6,77	14,82	53,35	35,93	5,24	17,84	64,22
005	32,35	4,12	14,54	52,34	37,34	5,54	18,90	68,04
006	32,67	4,51	14,23	51,23	39,21	5,93	16,76	60,34
007	35,93	5,62	15,38	55,37	39,90	6,03	18,73	67,43
008	35,92	5,48	16,15	58,14	37,32	5,91	19,29	69,44
009	37,53	5,65	16,45	59,22	39,12	6,11	20,19	72,68

Tabulka 24: Naměřené hodnoty rychlostí v jednotlivých úsecích pro motocykl Honda CB 600S Hornet

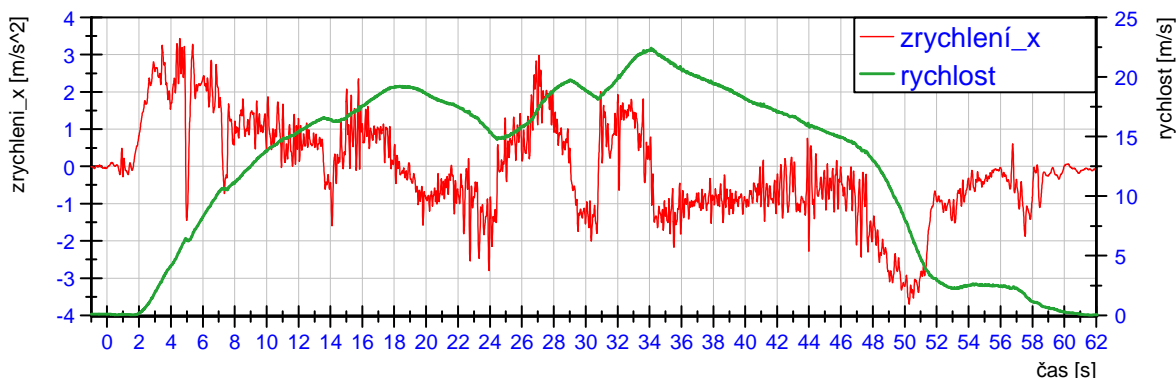
č	nájezd do L	$v \Psi_{\max}$	výjezd L/nájezd P	$v \Psi_{\max}$	výjezd P
	$v_L [m.s^{-1}]$	$v(\Psi_{\max}) [m.s^{-1}]$	$v_{LP} [m.s^{-1}]$	$v(\Psi_{\max}) [m.s^{-1}]$	$v_P [m.s^{-1}]$
000	18,35	14,78	17,22	16,85	19,18
001	17,43	15,46	18,56	17,76	20,44
002	15,86	16,53	17,35	17,33	19,56
003	17,71	16,22	19,61	20,57	22,61
004	18,40	14,82	17,14	17,84	20,00
005	18,10	14,54	16,72	18,90	22,81
006	19,38	14,23	15,78	16,76	21,39
007	16,89	15,38	18,34	18,73	21,66
008	18,57	16,15	18,77	19,29	20,24
009	18,50	16,45	19,79	20,19	22,85

V následujícím grafu na obrázku 43 je vykreslen a popsán průjezd celého úseku pro měření úhlů klopení. První je přímý úsek, následuje levotočivý oblouk, krátký přímý úsek, pravotočivý oblouk, přímý úsek a výjezd do místní komunikace V Mokřinách

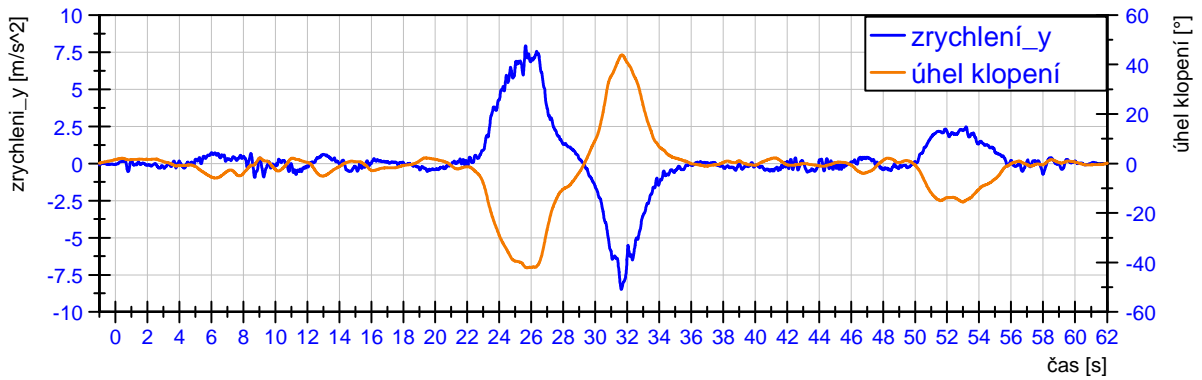


Obrázek 43: Popis průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení

V grafu na obrázku 44 je červeně znázorněn průběh zrychlení v ose x a zeleně rychlost při průjezdu celým úsekem pro měření úhlů klopení motocyklem Yamaha FZS 1000 Fazer. V grafu na obrázku 45 je modře znázorněn průběh zrychlení v ose y a oranžově úhly klopení v celém úseku. Tyto dva grafy spolu souvisí – oba jsou ze stejného pokusu, a proto je dobře rozpoznatelná vyšší rychlost v pravotočivé zatáčce, která má větší poloměr. Také je patrné ustálení rychlosti před nájездem do oblouků a mírné zrychlení na výjezdu z oblouků. V tomto pokusu je plynulý přechod z jednoho náklonu do náklonu na druhou stranu, což se u mnoha pokusů nepodařilo. Většinou mezi náklony následovalo narovnání motocyklu na krátké přímé části (např. viz obrázek 46). Grafy na obrázcích 46 a 47 znázorňují totéž, akorát pro motocykl Honda CB 600S Hornet. Další příklady grafických výstupů jsou v příloze 2.

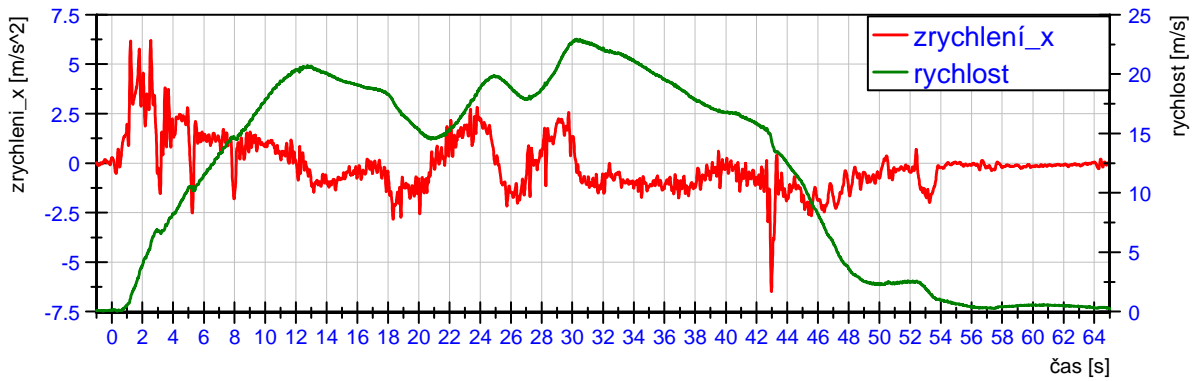


Obrázek 44: Příklad průjezdu úsekem pro měření náklonů motocyklem Yamaha FZS 1000 Fazer



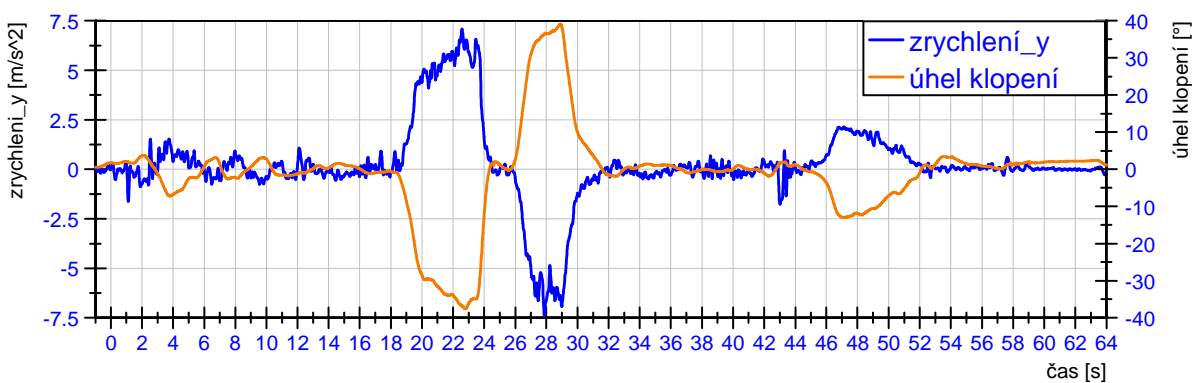
Obrázek 45: Příklad průjezdu úsekem pro měření náklonů motocyklem Yamaha FZS 1000

Fazer



Obrázek 46: Příklad průjezdu úsekem pro měření náklonů motocyklem Honda CB 600S

Hornet



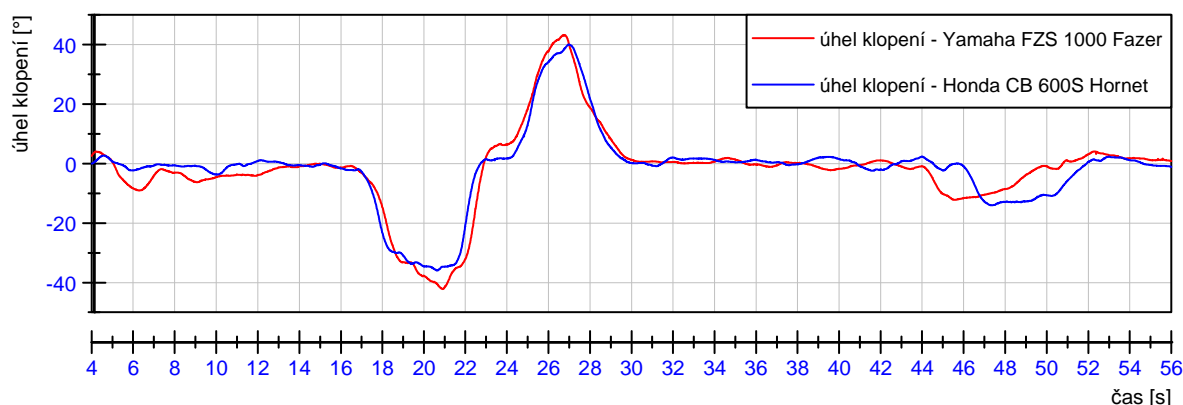
Obrázek 47: Příklad průjezdu úsekem pro měření náklonů motocyklem Honda CB 600S

Hornet

7.5.5 Výsledky měření

Úhly klopení se u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer pohybují v rozmezí $37^\circ - 43^\circ$ v levotočivém oblouku a $37^\circ - 44^\circ$ v pravotočivém oblouku. U motocyklu Honda CB 600S Hornet se pohybují v rozmezí $28^\circ - 39^\circ$ v levotočivém oblouku a $31^\circ - 40^\circ$ v pravotočivém oblouku. V pravotočivém oblouku je rychlost v maximálním náklonu vyšší z důvodu většího poloměru oblouku a lepší přehlednosti, toho „co je za zatáčkou“, což pro motocyklisty hraje velkou roli. Pokud není zřetelně vidět, co se odehrává na výjezdu ze zatáčky, dochází automaticky ke snížení rychlosti a tím i k menšímu úhlu klopení.

Pro porovnání úhlu klopení na měřeném úseku pro oba motocykly uvádím graf na obrázku 48, kde je červeně vyznačen úhel klopení motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer a modře úhel klopení motocyklu Honda CB 600S Hornet. Z grafu je patrný stejný styl jízdy jezdce na obou motocyklech. Záchvěv na počátku červené křivky je způsoben předjetím automobilu na přímém úseku. U modré křivky je výjezd do ulice V Mokřinách opožděn o několik sekund, což bylo pravděpodobně způsobeno dáváním přednosti protijedoucímu vozidlu.



Obrázek 48: Průběh úhlů klopení obou motocyklů

Z tabulek je patrné, že náklony u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer jsou větší. Dle mého názoru je to způsobeno minimální zkušeností jezdce s motocyklem Honda CB 600S Hornet. Motocykly jsou si velmi podobné konstrukcí a ani jejich dynamické vlastnosti se příliš neliší. Jezdec vypověděl, že kvůli neznalosti chování motocyklu Honda CB 600S Hornet si nebyl jist, jak moc může motocykl naklopit, a tak snížil rychlost a nechal si z důvodu bezpečnosti určitou rezervu. Na sledování těchto vlivů a jejich eliminaci bych se ráda zaměřila v další práci – tedy měření bych ráda rozšířila o další jezdce a další motocykly tak, aby byla zvýšena statistická hodnota dat.

8 Závěr

V teoretické části práce byla provedena rešerše podkladů, týkající se jízdních vlastností motocyklu, kategorizace motocyklů dle zákona, statistik úmrtí motocyklistů a také konstrukcí různých typů motocyklů. V další části práce došlo k porovnání několika zařízení pro snímání jízdní dynamiky a následnému vybrání jednoho pro experiment.

V praktické části jsem zpřesnila metodiku měření jízdní dynamiky na motocyklu. Provedla jsem zkušební měření pro nalezení optimálního místa na motocyklu pro osazení snímači. Následně jsem provedla měření normálního a krizového brzdění dvou motocyklů, a s tím spojené měření brzdných drah. Další měření jsem zaměřila na měření úhlů klopení motocyklů při průjezdu levotočivým a pravotočivým obloukem. Byl také proveden pokus měřit dvěma shodnými snímači XSENS MTi-G na jednom motocyklu, kvůli ověření shodnosti dat, avšak z důvodu slabého procesoru v měřicím počítači docházelo ke ztrátě některých dat, případně k úplnému přerušení měření během jízdy. U naměřených dat jsem odstranila vliv složky gravitačního zrychlení a provedla filtraci z důvodu odstranění šumů. K vyhodnocování a grafickému zpracování dat byl použit program National Instruments Diadem. Všechny tyto poznatky budou uplatněny při dalším měření.

Netransformované hodnoty efektivního zpomalení se pohybují okolo hodnoty $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a hodnoty maximálního průměrného zpomalení okolo $4,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. U krizového brzdění jsou hodnoty rozdílné - pro motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer je průměrné efektivní zpomalení $7,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a maximální průměrné zpomalení je $8,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Pro motocykl Honda CB 600S Hornet je průměrné efektivní zpomalení $7,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a maximální průměrné zpomalení je $9,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. U krizového brzdění motocyklu Honda CB 600S Hornet je aritmetický průměr efektivní hodnoty zpomalení i hodnoty maximálního průměrného zpomalení oproti hodnotám motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer přibližně o $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ větší. Efektivní zpomalení u krizového brzdění (zkouška č. 009) motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer dosáhlo hodnoty $9,37 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, což je hodnota blízká gravitačnímu zrychlení $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a z toho je patrné, že se jednalo o velmi razantní brzdění za příznivých adhezních podmínek. Při tomto pokusu byla změřena brzdná dráha 7,60 m. Ostatní brzdné dráhy pro krizové brzdění se u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer pohybovaly v rozmezí 11 - 15 m (23 - 26 m pro normální brzdění), a u motocyklu Honda CB 600S Hornet v rozmezí 10 - 14 m (24 - 27 m pro normální brzdění).

Náběh brzdného účinku u motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer se pohybuje v rozmezí hodnot 0,24 - 0,40 s a u motocyklu Honda CB 600S Hornet je to jen 0,19 - 0,25 s. Aritmetický průměr celkové doby brzdění pro normální brzdění je u obou motocyklů 4,4 s. Pro krizové brzdění je celková doba brzdění motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer 2,3 s a u motocyklu Honda CB 600S Hornet 2,2 s.

Během měření brzdného zpomalení jsem se potýkala s problémem ztráty signálu z GPS přijímače a tím ke ztrátě nebo ovlivnění dat o úhlu klopení, klonění a stáčení. Bohužel některé vzorky byly ovlivněny natolik, že u nich nešlo provést transformaci dat, případně bylo nutné je úplně vyřadit. Statistické výsledky jsou velmi ovlivněny malým počtem vzorků. V další práci bych ráda podnikla rozšíření měření kvůli zpřesnění výsledků.

V druhé části experimentu byly naměřeny hodnoty úhlů klopení pro oba motocykly. U motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer se pohybují v rozmezí 37° - 43° v levotočivém oblouku o poloměru 38 m a 37° - 44° v pravotočivém oblouku o poloměru 66 m. U motocyklu Honda CB 600S Hornet se pohybují v rozmezí 28° - 39° v levotočivém oblouku o poloměru 38 m a 31° - 40° v pravotočivém oblouku o poloměru 66 m. Došlo také k porovnání průjezdů úsekem pro oba motocykly (viz obrázek 48), ze kterého je patrné dodržování obdobných jízdních vlastností. Měření úhlů klopení u motocyklu Honda CB 600S Hornet bylo ovlivněno minimální zkušeností jezdce s tímto strojem. V navazující diplomové práci se budu zabývat rozšířením experimentu o další jezdce, případně další motocykly, z důvodu zvýšení statistické hodnoty dat. Všechna změřená data jsou základem pro vytvoření budoucích přehledových tabulek, pro znaleckou činnost, které budou obsahovat aktualizované hodnoty brzdného zpomalení a úhlů klopení.

9 Seznam použité literatury

- [1] Statistiky nehodovosti. *Policie ČR* [online]. 2007-2013 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>
- [2] Jízda na skútru do 125 cm³ s automatickou převodovkou. *Besip* [online]. 2012 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/motocyklista/rady-a-tipy/jizda-na-skutru-do-125-cm3-s-automatickou-prevodovkou>
- [3] *Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.* [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56#prilohy>
- [4] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů.* 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 355 s. ISBN 80-239-1601-7.
- [5] Ročenky dopravy. *Dopravní statistika ČR* [online]. 1998-2012 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <https://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>
- [6] MALÁ, Zuzana, Danuše NOVÁKOVÁ a Tomáš VÍTŮ. *Fyzika I.* 3., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 188 s. ISBN 978-80-01-04220-5.
- [7] ŠACHL, Jindřich. *Analýza nehod v silničním provozu.* 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 144 s. ISBN 978-80-01-04638-8.
- [8] KASANICKÝ, Gustáv. *Analýza nehod jednostopových vozidel.* 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000, 448 s. ISBN 80-710-0598-3.
- [9] Bicycle and motorcycle geometry. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_and_motorcycle_geometry
- [10] JANSÁ, Vladimír. *Konstrukce motocyklu.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960.
- [11] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů.* Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [12] FIRST, Jiří. *Přednášky z předmětu Dynamika jízdy vozidel.* 2012
- [13] Precese. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Precese>
- [14] NEPOMUCK, Bernd L a Udo JANNECK. *Technická rukověť motocyklisty.* 1. vyd. Překlad Jiří Vokálek. České Budějovice: Kopp, 1999, 478 s. ISBN 80-723-2059-9.
- [15] EHK/OSN č. 78. *Jednotné ustanovení pro homologaci vozidel kategorie L vzhledem k brzdění.* 1998.

- [16] BRADLEY, John. *The racing motorcycle: a technical guide for constructors*. York: Broadland Leisure, 1996. ISBN 09-512-9292-7.
- [17] ŠACHL, Jindřich. *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod*. Praha: ČVUT, 2008.
- [18] Test ABS: padouch nebo hrdina?. *Motorkari.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/clanky-reportaze/test-abs-padouch-nebo-hrdina-24942.html?kid=24628>
- [19] KOLEKTIV AUTORŮ. *Motoškola: učebnice pro žadatele o řidičské oprávnění skupin AM, A1 a A*. 1. vyd. Praha: Vogel, 2002. ISBN 80-864-1128-1.
- [20] Motocykl. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Motocykl>
- [21] Moped. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Moped>
- [22] FAUS, Pavel a Miroslav OLŠAN. *Motoškola: technika bezpečné jízdy, ovládání a údržba motocyklu*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2009, 164 s. ISBN 978-80-251-1952-5.
- [23] Piaggio XEvo 400. *Motorkari.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motokatalog/piaggio/piaggio-xevo-400.html>
- [24] *Dokonalá jízda na motocyklu*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2003, 212 s. ISBN 80-723-2199-4.
- [25] Honda STX 1300 Pan - European. *Motorkari.cz* [online]. 2001 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/redakcni-testy/honda/honda-stx-1300-pan-european-197.html>
- [26] Moto Guzzi California Classic. *Motorkari.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motokatalog/moto-guzzi/moto-guzzi-california-classic.html>
- [27] METAL ELEKTRO Méréstechnika KFT. *E-tanu (elektronikus-tanú): manual*. Metal Elektro.
- [28] XL Meter Pro: Návod k použití. In.: *Nehodar.cz* [online]. Inventure Automotive Electronics R&D, Inc. [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/?num=doporucuje>
- [29] XL Meter Pro. In.: *Inventure* [online]. [cit. 2013-05-31]. Dostupné z: http://www.inventure.hu/xl_meter_hu

- [30] XSENS TECHNOLOGIES B.V. *MTi-G User Manual and Technical Documentation*. XSENS, 2009.
- [31] LENKOVÁ, Alžběta. *Modelování jízdní dynamiky nákladních vozidel*. Praha, 2012. Studie k dizertační práci. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě.
- [32] LENKOVÁ, Alžběta. *Přednášky z předmětu Měřicí metody a technika*. 2013.
- [33] *SUPERMOTO katalog 2003*. Praha: Svoboda, grafické závody, a.s., 2003.

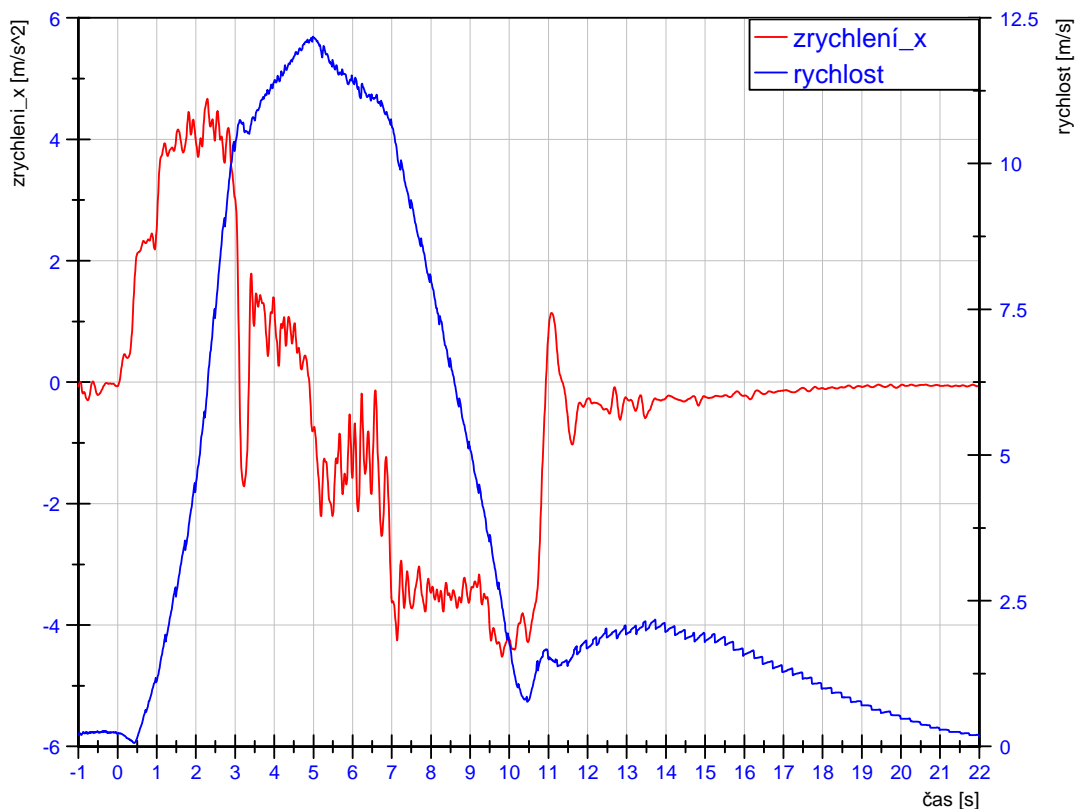
Seznam příloh

Příloha 1 - Grafické výstupy týkající se měření brzdného zpomalení

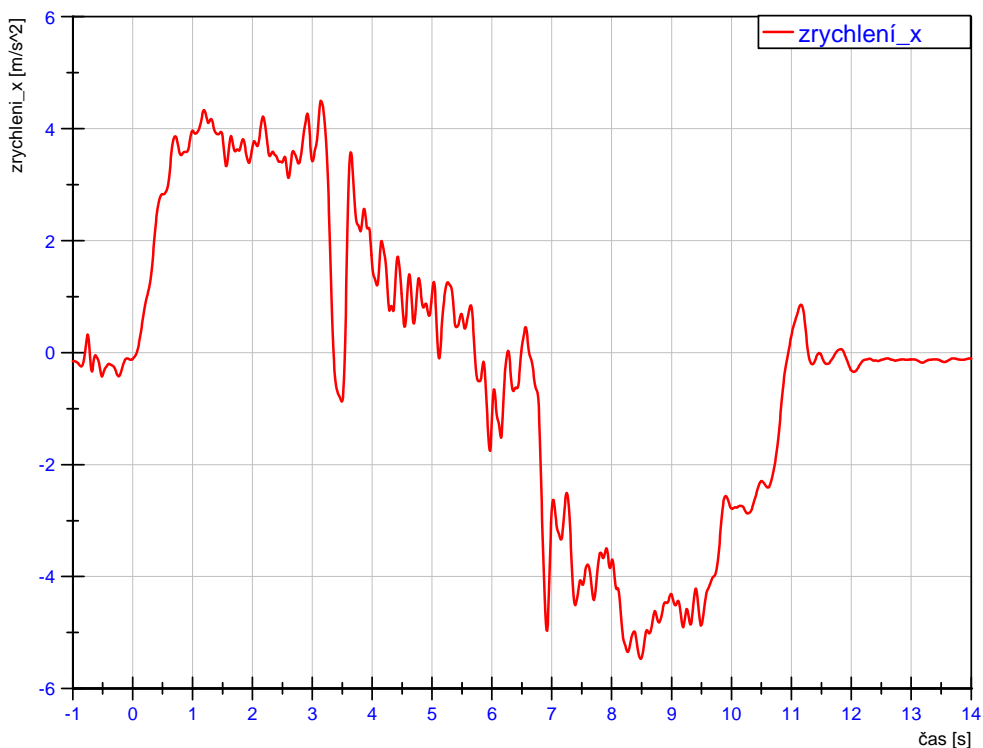
Příloha 2 - Grafické výstupy týkající se měření úhlů klopení

Příloha 1 – Grafické výstupy týkající se měření brzdného zpomalení

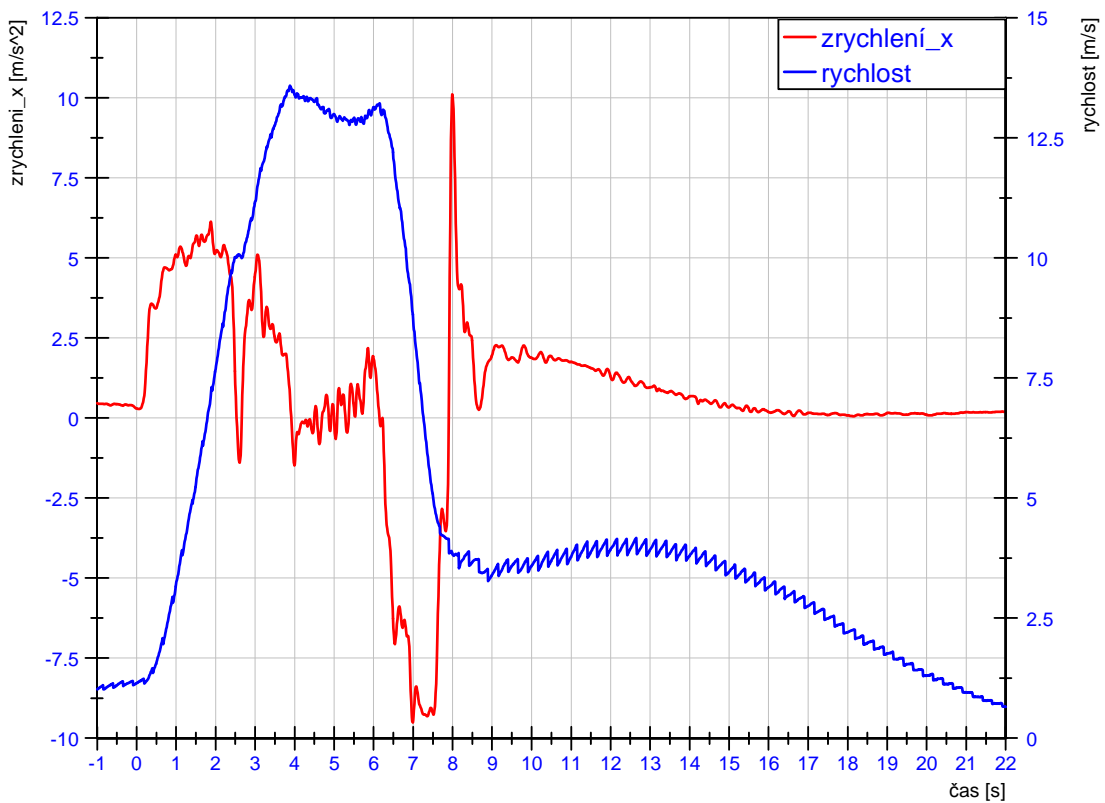
- Obrázek P1 - 1: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 002) - transformované hodnoty
- Obrázek P1 - 2: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 001) - netransformované hodnoty
- Obrázek P1 - 3: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 009) - transformované hodnoty
- Obrázek P1 - 4: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 008) - netransformované hodnoty
- Obrázek P1 - 5: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 000) - transformované hodnoty
- Obrázek P1 - 6: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 001) - netransformované hodnoty
- Obrázek P1 - 7: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 007) - transformované hodnoty
- Obrázek P1 - 8: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 008) - netransformované hodnoty



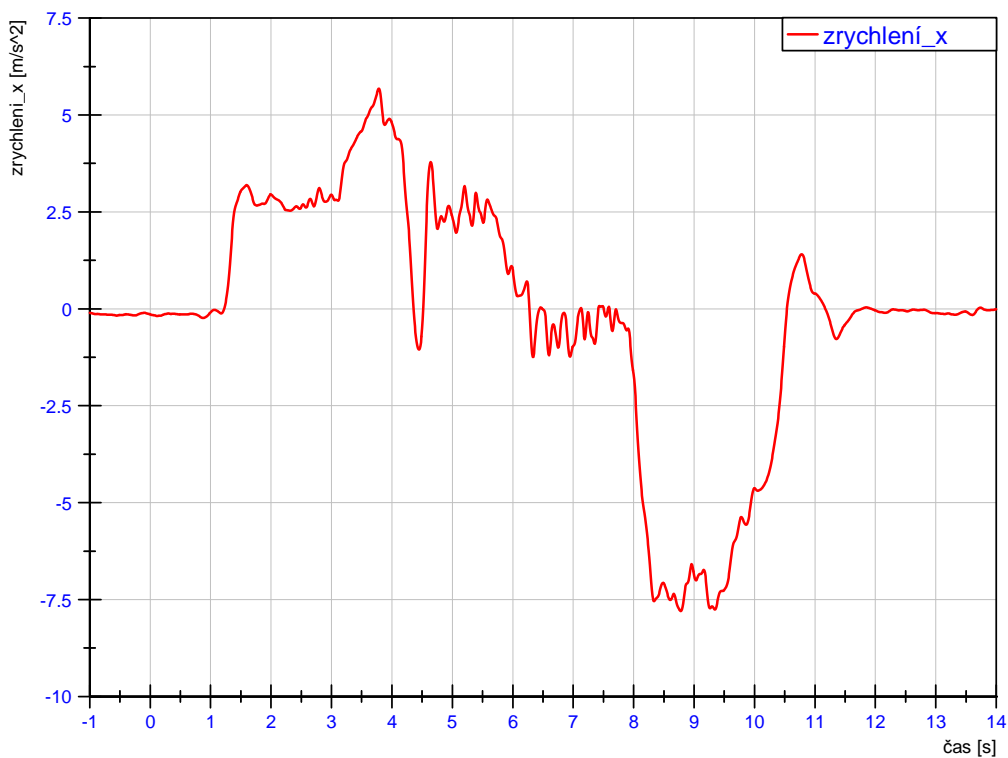
Obrázek P1 - 1: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 002) - transformované hodnoty



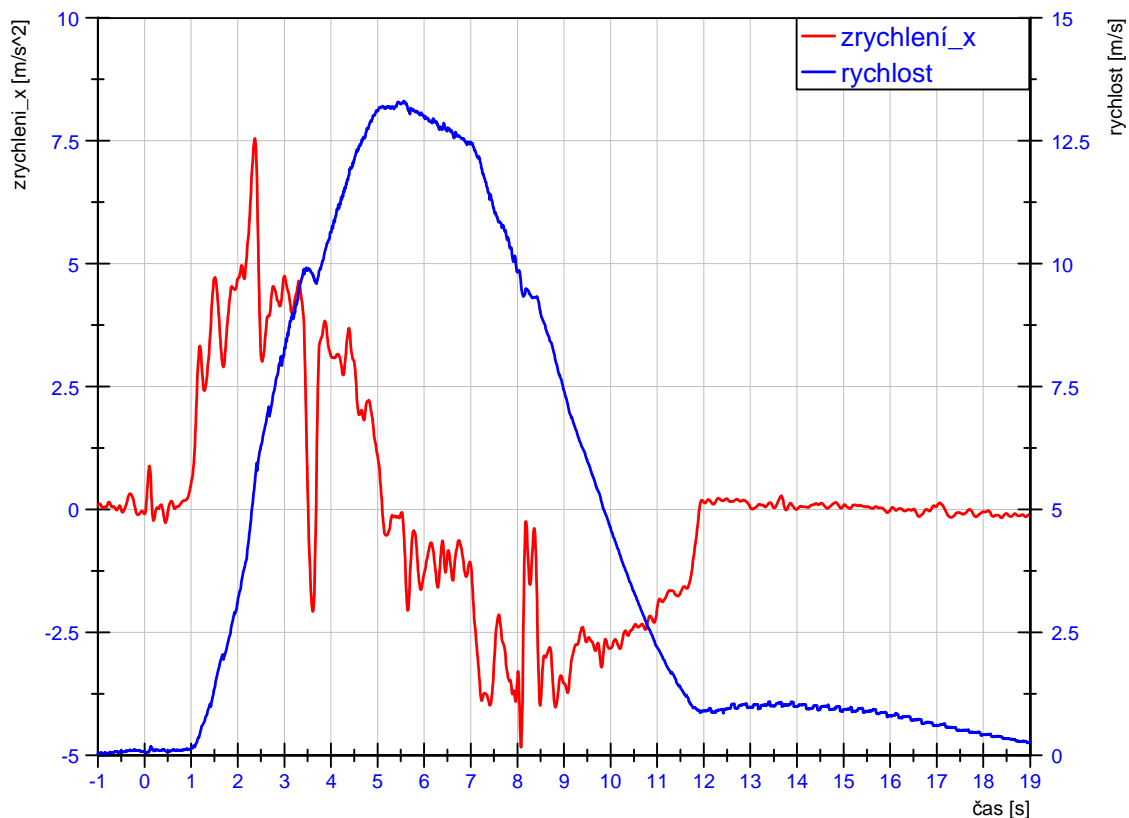
Obrázek P1 - 2: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 001) - netransformované hodnoty



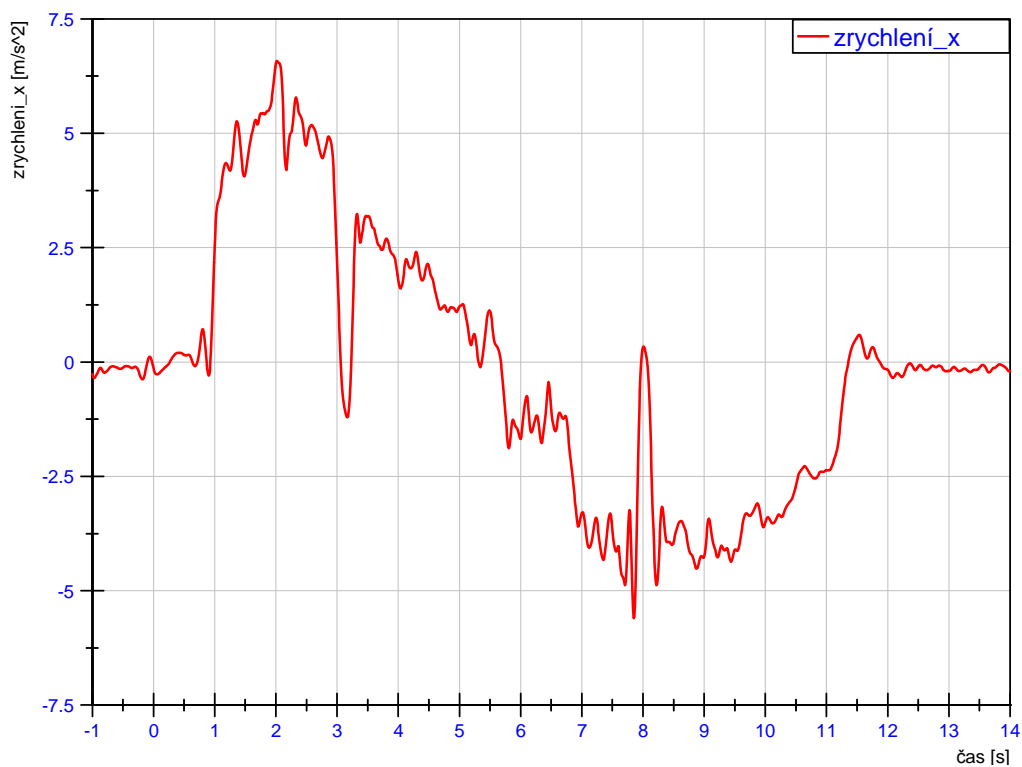
Obrázek P1 - 3: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 009) - transformované hodnoty



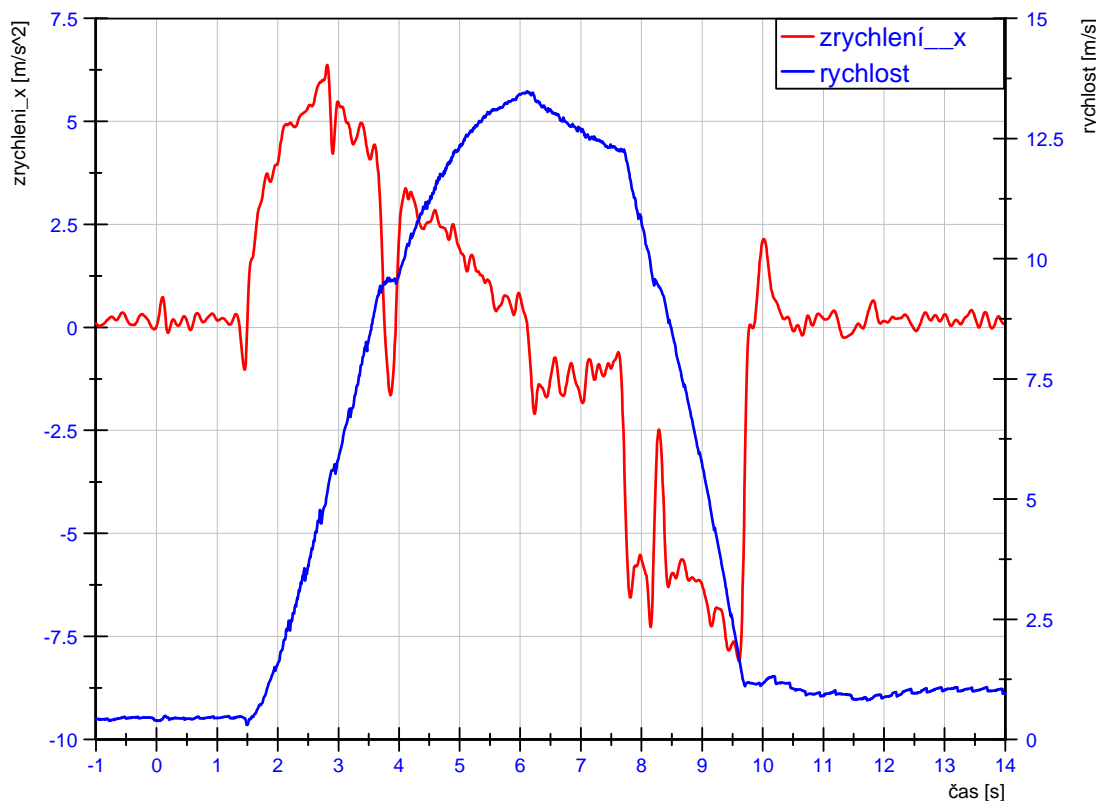
Obrázek P1 - 4: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 008) - netransformované hodnoty



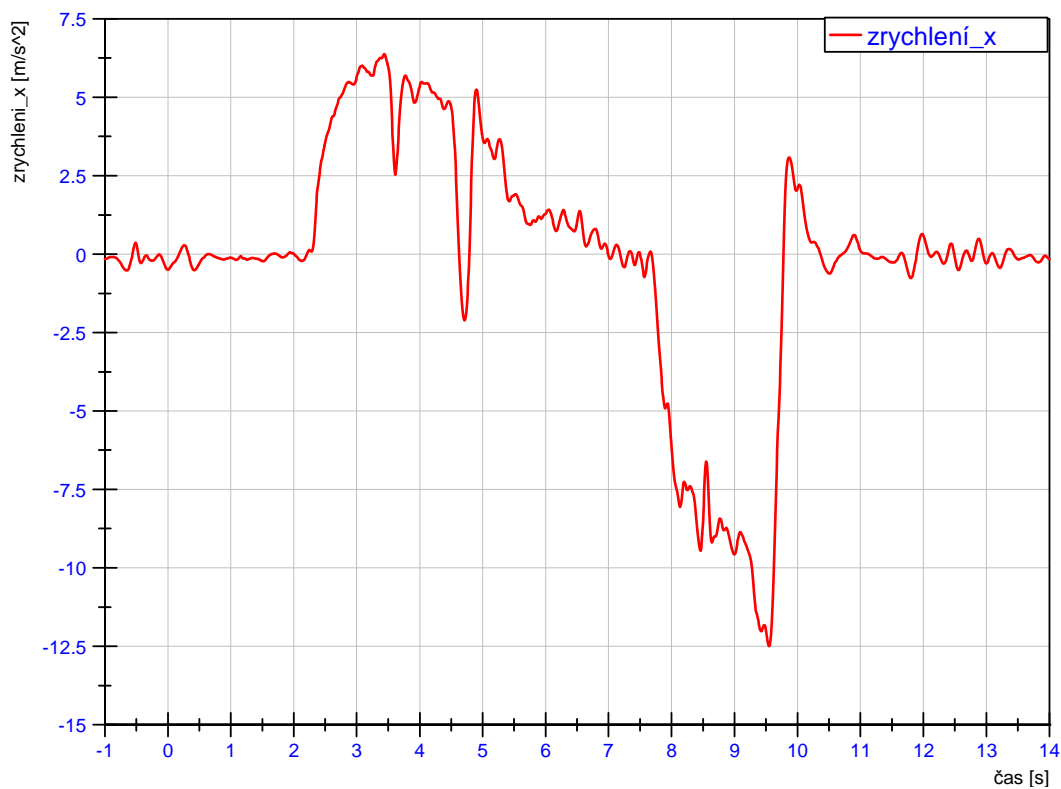
Obrázek P1 - 5: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 000) - transformované hodnoty



Obrázek P1 - 6: Grafické znázornění normálního brzdného zpomalení motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 001) - netransformované hodnoty



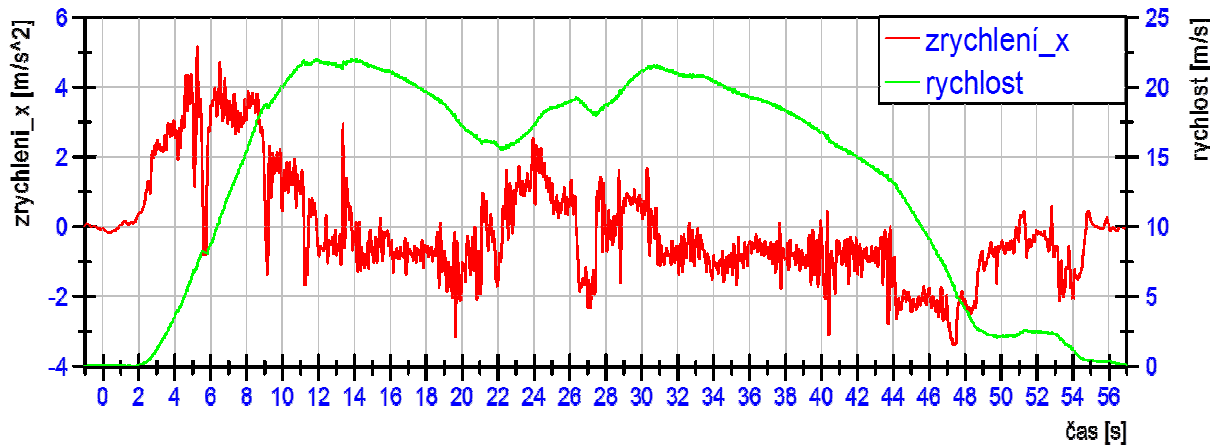
Obrázek P1 - 7: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení a rychlosti motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 007) - transformované hodnoty



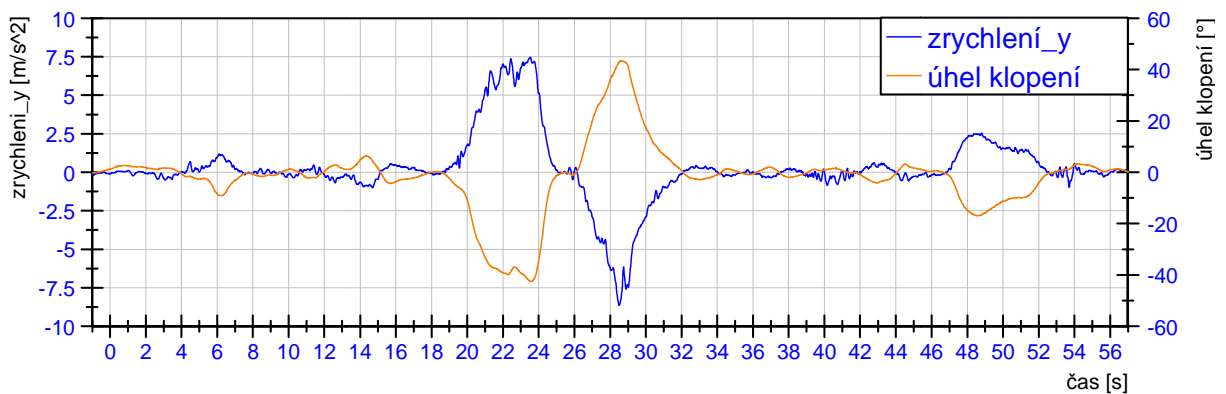
Obrázek P1 - 8: Grafické znázornění krizového brzdného zpomalení motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 008) - netransformované hodnoty

Příloha 2 – Grafické výstupy týkající se měření úhlů klopení

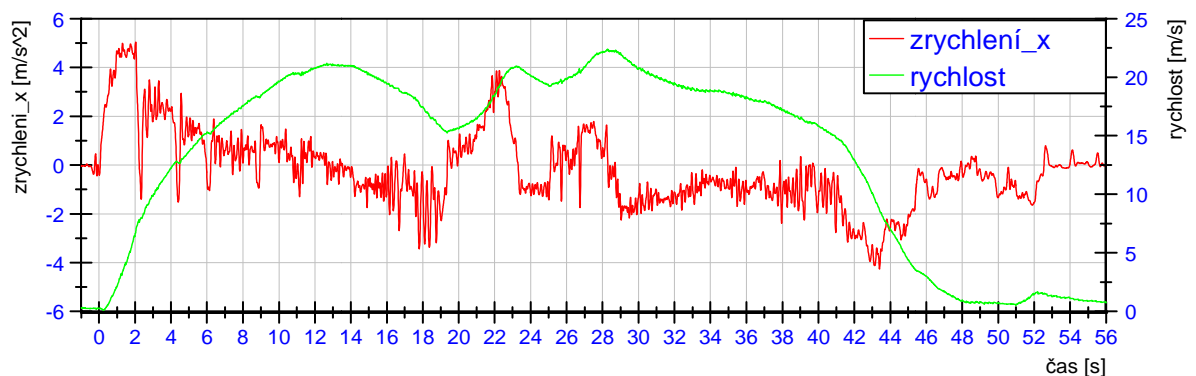
- Obrázek P2 - 1: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 006)
- Obrázek P2 - 2: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 006)
- Obrázek P2 - 3: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 001)
- Obrázek P2 - 4: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 001)
- Obrázek P2 - 5: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 003)
- Obrázek P2 - 6: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 003)
- Obrázek P2 - 7: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 003)
- Obrázek P2 - 8: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 003)
- Obrázek P2 - 9: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 004)
- Obrázek P2 - 10: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 004)
- Obrázek P2 - 11: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 008)
- Obrázek P2 - 12: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 008)



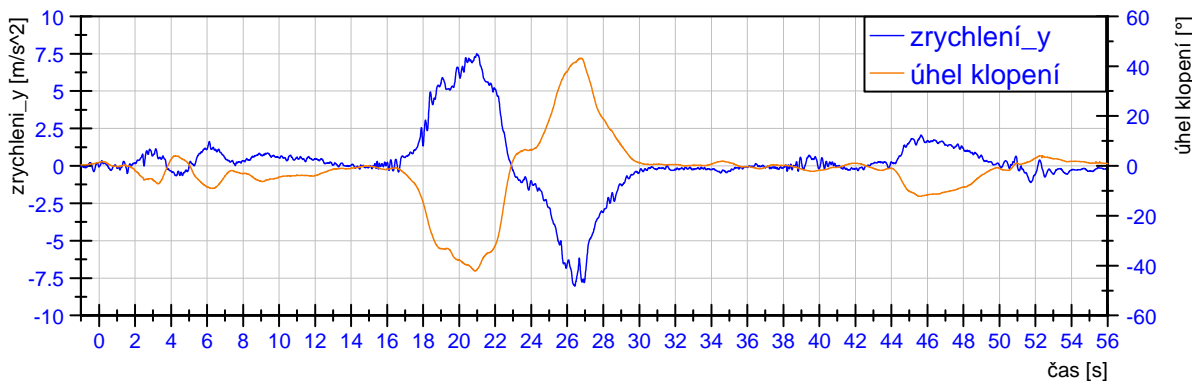
Obrázek P2 - 1: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 006)



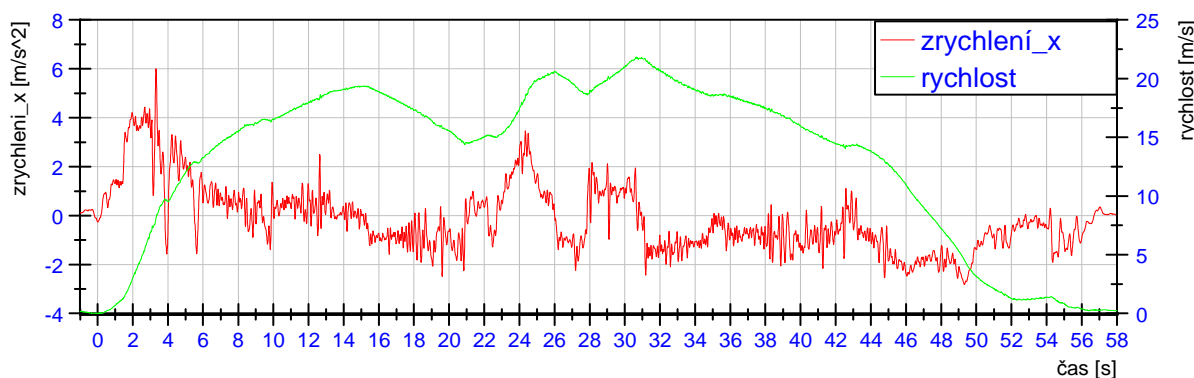
Obrázek P2 - 2: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 006)



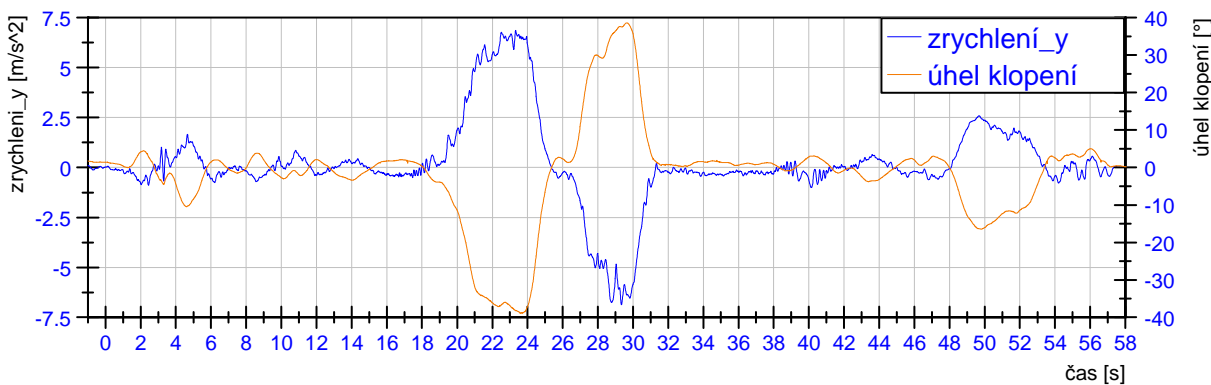
Obrázek P2 - 3: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 001)



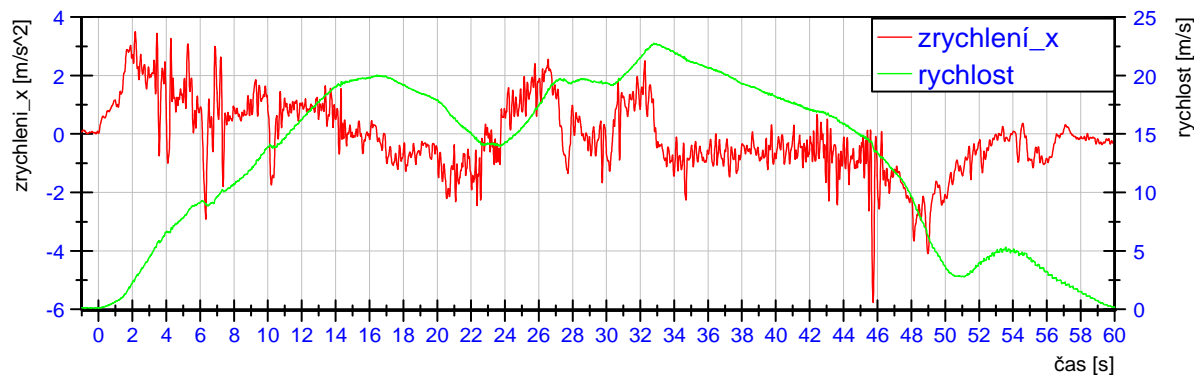
Obrázek P2 - 4: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 001)



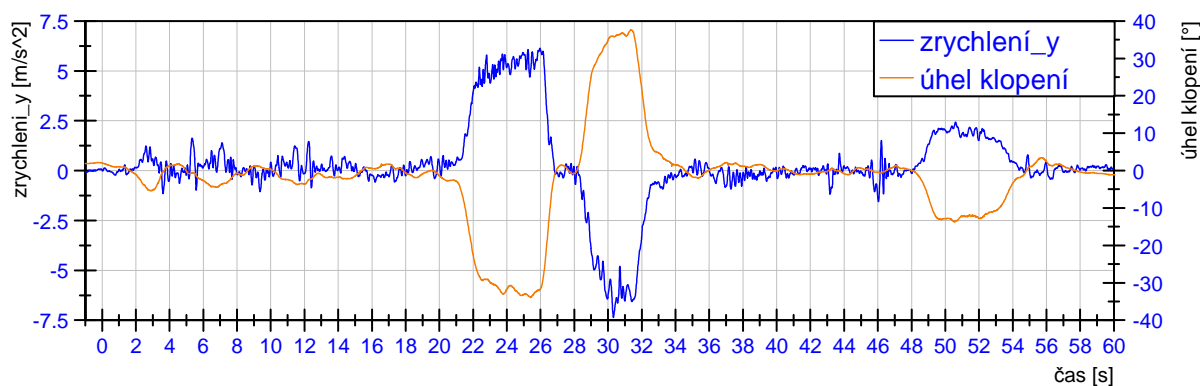
Obrázek P2 - 5: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 003)



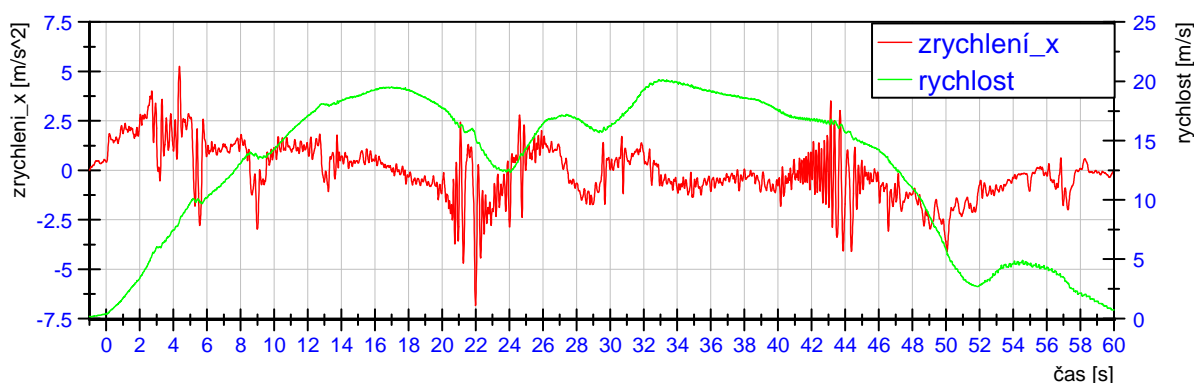
Obrázek P2 - 6: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Yamaha FZS 1000 Fazer (zkouška č. 003)



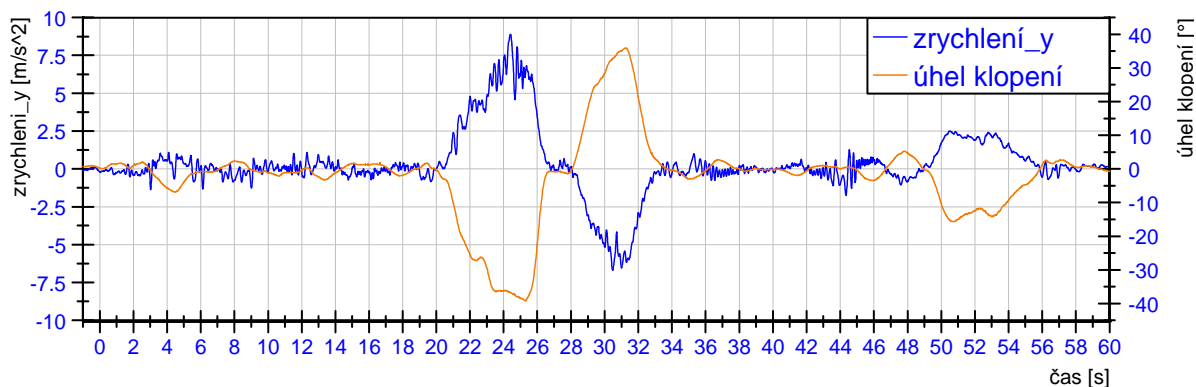
Obrázek P2 - 7: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 003)



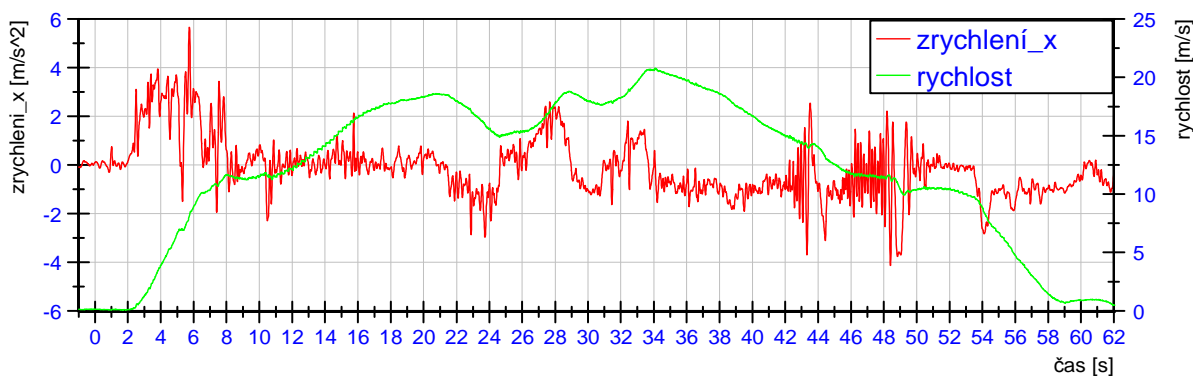
Obrázek P2 - 8: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 003)



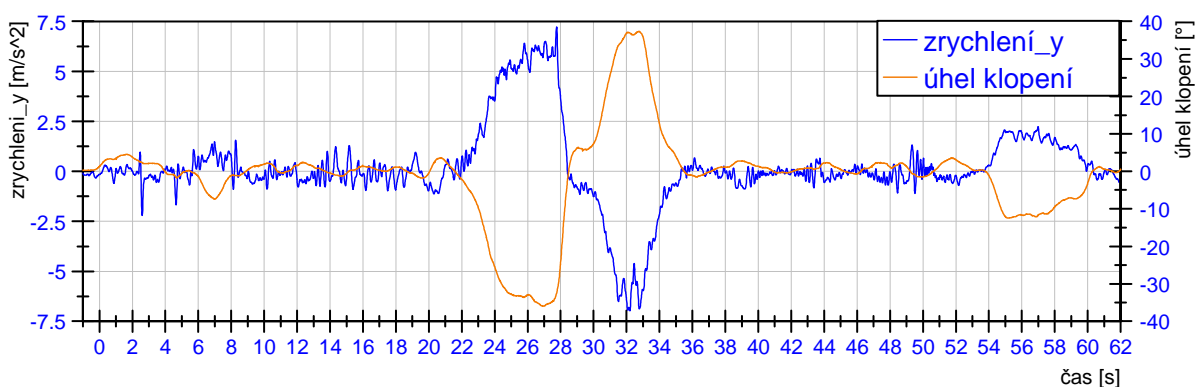
Obrázek P2 - 9: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 004)



Obrázek P2 - 10: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 004)



Obrázek P2 - 11: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose x a rychlosti v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 008)



Obrázek P2 - 12: Grafické znázornění průběhu zrychlení v ose y a úhlu klopení v úseku pro měření náklonů motocyklu Honda CB 600S Hornet (zkouška č. 008)