

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ústav soudního znalectví v dopravě



**JÍZDA MOTOCYKLU V OBLOUKU Z POHLEDU SOUDNÍHO
ZNALECTVÍ**

MOTORCYCLE HANDLING THROUGH A CURVE

-

APPLICATION IN FORENSIC SCIENCE

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Alžběta Lenková, doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Dopravní systémy a technika

Bc. Lucie Hradecká

Praha 2016



K622 Ústav soudního znalectví v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Lucie Hradecká

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Jízda motocyklu v oblouku z pohledu soudního znalectví**

Název tématu (anglicky): **Motorcycle Handling Through a Curve - Application in Forensic Science**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- jízdní dynamika jednostranných motorových vozidel a její specifika - s ohledem na analýzu dopravních nehod,
- pohyb motocyklu při průjezdu obloukem a faktory, které jej ovlivňují,
- možnosti měření základních dynamických parametrů popisujících pohyb motocyklu pro potřeby soudního znalectví,
- ověření metodiky umístění snímačů na motocyklu,
- měření jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku.

Rozsah grafických prací: určí vedoucí práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Cossalter, V.: Motorcycle dynamics, 2006, ISBN 0-9720514-0-6,
Kasanický, G.: Analýza nehod jednostopových vozidel, 2000, ISBN 80-710-0598-3,
Vlk, F.: Teorie a konstrukce motocyklů 1, 2004, ISBN 80-239-1601-7.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Alžběta Lenková**
doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **21. července 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.


.....
doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
vedoucí
Ústavu soudního znalectví v dopravě


.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Lucie Hradecká
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....27. května 2016

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala především Ing. Alžbětě Lenkové 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 přátelům 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 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 Praze19.9.2016.....

.....Hradecká'.....

podpis

Anotace bakalářské práce

Autor: Lucie Hradecká

Název práce: Jízda motocyklu v oblouku z pohledu soudního znalectví

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

Druh práce: Diplomová práce

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

Vedoucí práce: Ing. Alžběta Lenková, doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2016

Rozsah práce: 79 stran textu, 3 přílohy

Klíčová slova: dynamika motocyklu, snímače pro jízdní dynamiku motocyklu, faktory ovlivňující jízdu motocyklu v oblouku, úhel klopení motocyklu.

Abstrakt:

Předmětem diplomové práce „Jízda motocyklu v oblouku z pohledu soudního znalectví“ je postup a metodika měření úhlů klopení motocyklu v obloucích. Tyto hodnoty jsou důležité pro analýzu nehod v soudním znalectví. Část práce je věnována statistikám nehodovosti a jízdní dynamice motocyklu se zaměřením na pohyb motocyklu při průjezdu obloukem. V další kapitole jsou sepsány faktory, které ovlivňují motocykl během jízdy. Nejedná se totiž pouze o konstrukci motocyklu, ale také o vlivy prostředí a vliv jezdce. Součástí práce je aplikace snímacího zařízení pro jízdní dynamiku a ověření metodiky stanovené v bakalářské práci. Naměřené hodnoty jsou zpracovány do tabulek a grafických výstupů pro vzájemné porovnání jezdců.

Abstract of Master thesis

Author: Lucie Hradecká

Title: Motorcycle Handling Through a Curve - 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: Master thesis

Thesis advisor: Ing. Alžběta Lenková, doc. Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

The year of publication: 2016

Range of work: 79 pages of text, 3 supplement

Keywords: motorcycle handling, sensors for motorcycle handling, factors influencing motorcycle handling through a curve, motorcycle roll angle.

Abstract:

The subject of the master thesis „Motorcycle Handling Through a Curve - Application in Forensic Science“ is the process and methodology of measurement of motorcycle roll angle in the road curves. These values of roll angles are important for accident analysis. Part of the thesis is devoted to the statistics of accidents and motorcycle handling focused on movement of motorcycle in the road curves. The next part defines the factors, which influence the motorcycle handling. It's not only constructions of motorcycle, but the environmental influences and the influence of the rider too. Another part of the thesis is application of sensors for motorcycle handling and verification of methodology determined in the bachelor thesis. The measured values are processed in tables and graphic outputs for comparison between riders.

Obsah

Seznam použitých veličin a jejich jednotek	10
1 Úvod	11
2 Statistiky nehodovosti jednostopých motorových vozidel	13
3 Jízdní dynamika jednostopých motorových vozidel a její specifika - s ohledem na analýzu dopravních nehod	15
3.1 Základní parametry ovlivňující jízdní dynamiku	15
3.2 Stabilita motocyklu.....	18
3.2.1 Gyroskopické momenty	20
4 Pohyb motocyklu při průjezdu obloukem a faktory, které jej ovlivňují	21
4.1 Odstředivá síla a průjezd motocyklu obloukem	21
4.2 Vliv výšky těžiště	22
4.3 Vliv stopy	22
4.4 Vliv pneumatiky na stabilitu jízdy	23
4.5 Další faktory ovlivňující motocykl při průjezdu obloukem	24
4.5.1 Zkušenosti jezdce	24
4.5.2 Volba ideální linie průjezdu obloukem	25
4.5.3 Technika jízdy při průjezdu zatáčkou.....	27
4.5.4 Osobní předpoklady	28
4.5.5 Povrchové vlastnosti jízdní dráhy	29
4.5.6 Povětrnostní vlivy.....	31
4.5.7 Jízda za ztížených podmínek	31
4.5.8 Typ motocyklu a jeho technický stav	32
5 Možnosti měření základních dynamických parametrů popisujících pohyb motocyklu pro potřeby soudního znalectví	33
5.1 Princip činnosti snímače XSENS MTi-G (obrázek 22).....	33
5.2 Metodika umístění snímačů.....	34
5.3 Nastavení přístroje.....	35
5.4 Chyby měření	36
5.5 Postup při zpracování naměřených dat.....	38
6 Ověření metodiky umístění snímačů	41
6.1 Experiment 1 - měření shodnosti dat ze dvou snímačů XSENS	41
6.1.1 Lokalita experimentu.....	41
6.1.2 Klimatické podmínky	41
6.1.3 Bezpečnost před jízdou	42

6.1.4	Testovaný motocykl	42
6.1.5	Jezdec	43
6.2	Umístění dvou snímačů XSENS MTi-G na motocyklu	43
6.3	Výsledky měření	44
7	Měření jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku	46
7.1	Experiment 2 - měření jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku.....	46
7.1.1	Lokalita experimentu.....	46
7.1.2	Klimatické podmínky	47
7.1.3	Umístění snímačů a nastavení přístroje.....	47
7.1.4	Jezdci a jejich motocykly	48
7.1.5	Naměřené hodnoty	52
7.1.6	Výsledky měření.....	57
7.2	Experiment 3 - porovnání jízdních vlastností stejného motocyklu v oblouku pro dva různé jezdce.....	63
7.2.1	Lokalita experimentu.....	63
7.2.2	Klimatické podmínky	63
7.2.3	Umístění snímačů a nastavení přístroje.....	64
7.2.4	Jezdci a testovací motocykl	64
7.2.5	Naměřené hodnoty	64
7.2.6	Výsledky měření.....	64
7.3	Experiment 4 - porovnání jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku ve dvou různých dnech.....	68
7.3.1	Lokalita experimentu.....	68
7.3.2	Klimatické podmínky	69
7.3.3	Umístění snímačů a nastavení přístroje.....	69
7.3.4	Jezdec a testovací motocykl	69
7.3.5	Naměřené hodnoty	69
7.3.6	Výsledky měření.....	69
8	Závěr.....	74
9	Seznam použité literatury	76
	Seznam obrázků	78
	Seznam tabulek	80
	Seznam příloh.....	80

Seznam použitých veličin a jejich jednotek

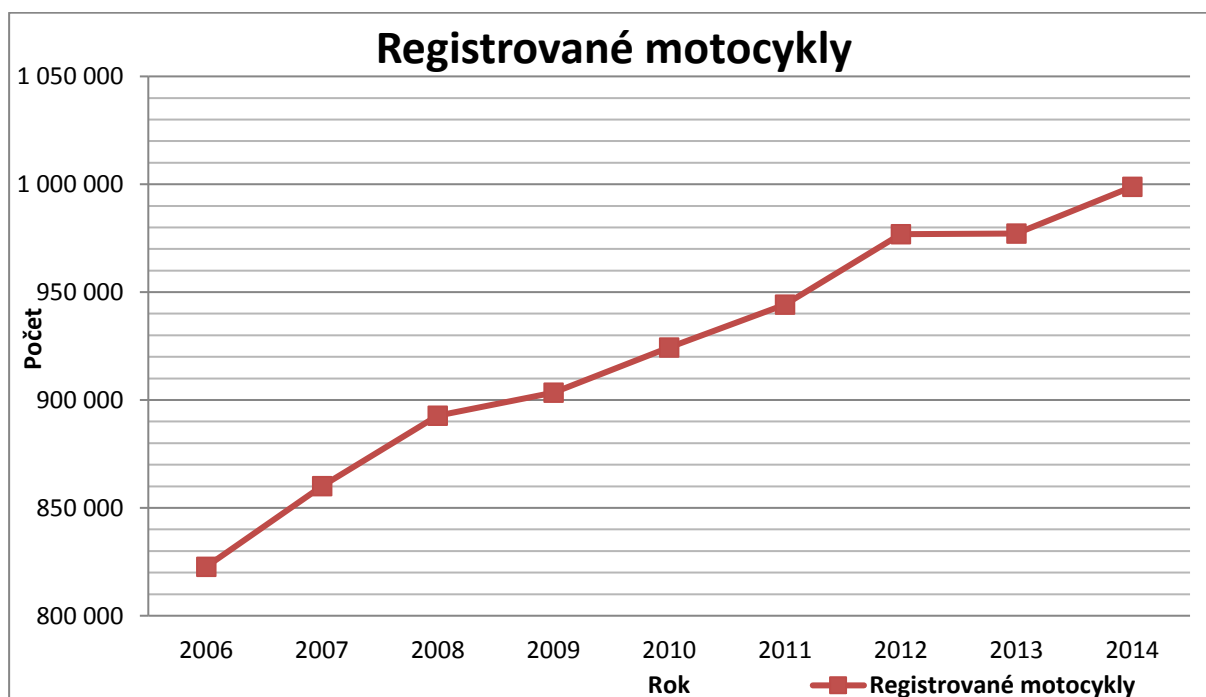
Značka	Jednotka	Veličina
a_y	$[m.s^{-2}]$	zrychlení v ose y
F_{adh}	[N]	adhezní síla
F_O	[N]	odstředivá síla
F_{Omax}	[N]	maximální odstředivá síla
G	[N]	tíha soustavy (motocykl + posádka + zátěž)
g	$[m.s^{-2}]$	gravitační zrychlení, $g=9,81 m.s^{-2}$
J	$[kg.m.s^2]$	moment setrvačnosti rotujících hmot
m	[kg]	hmotnost
M_{vg}	[kg.m]	vnější gyroskopický moment
R	[m]	poloměr křivosti trajektorie
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
μ	[1]	součinitel přilnavosti
μ_y	[1]	součinitel adheze v bočním směru
ψ	[°]	úhel klopení
ψ_{max}	[°]	maximální úhel klopení
ω_1	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost setrvačníku
ω_2	$[s^{-1}]$	úhlová rychlost vychýlení

1 Úvod

První motocykl byl vyroben v roce 1869 a byl poháněn párou. [1] Od té doby prošly motocykly rozsáhlým vývojem. Nezměnil se pouze jejich design, ale také hmotnost, technologie a v neposlední řadě se mnohonásobně zvýšila rychlost, jakou jsou dnešní motocykly schopné vyvinout. Počet motocyklů se díky lepší finanční dostupnosti stále zvyšuje, což ukazuje tabulka 1. [2] Vývoj počtu motocyklů registrovaných v ČR v letech 2006 - 2014 znázorňuje graf na obrázku 1.

Tabulka 1: Motocykly a automobily registrované v ČR v letech 2006 - 2014 [2]

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Počet registrovaných motocyklů	822 703	860 131	892 796	903 346	924 291	944 171	976 911	977 197	998 816
Počet registrovaných automobilů	4 108 610	4 280 081	4 423 370	4 435 052	4 496 232	4 581 642	4 706 325	4 729 185	4 833 386
Celkem	4 931 313	5 140 212	5 316 166	5 338 398	5 420 523	5 525 813	5 683 236	5 706 382	5 832 202
Procento motocyklů [%]	16,68	16,73	16,79	16,92	17,05	17,09	17,19	17,12	17,13



Obrázek 1: Motocykly registrované v ČR v letech 2006 - 2014

Motocykly už nejsou jen pouhým dopravním prostředkem, ale jsou také využívány jako forma aktivního odpočinku ve volném čase. Bohužel motocyklisté jsou často účastníky velmi vážných nehod, při kterých dochází k těžkým zraněním nebo úmrtím. Vzhledem k velikosti

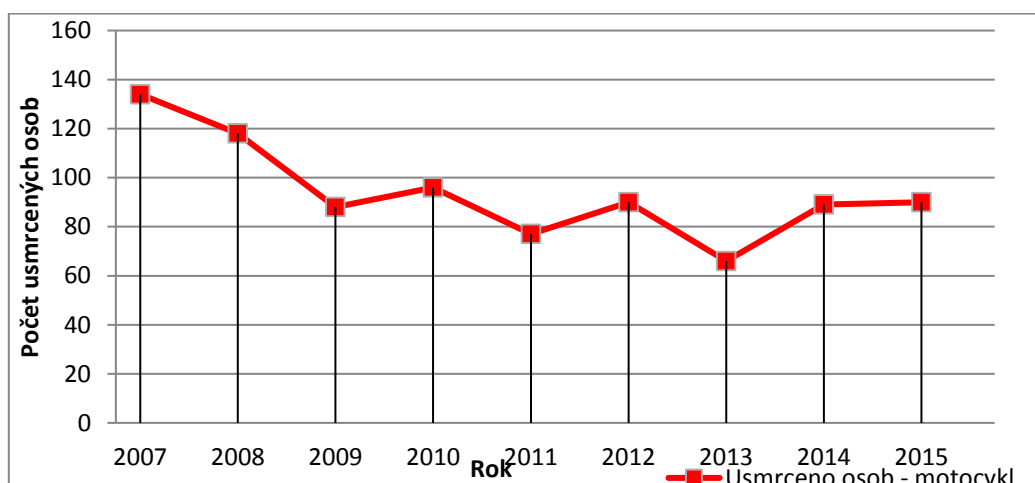
motocyklu a jeho pohyblivosti, bývají motocyklisté v provozu snadno přehlédnuti. Oproti řidičům automobilů, nejsou chráněni karoserií s deformačními zónami a energie nárazu při nehodě často působí přímo na tělo jezdce. Proto je důležité používat kvalitní přilbu, oblečení a ostatní výbavu. Ta může omezit zranění a někdy dokonce zachránit život.

Tato práce navazuje na bakalářskou práci s názvem „Jízdní vlastnosti motocyklu pro znaleckou činnost“, která byla věnována metodice měření brzdného zpomalení a úhlů klopení motocyklů. [3] Cílem diplomové práce je uplatnění poznatků o metodice osazení motocyklu snímači pro měření jízdní dynamiky. Dalším cílem je rozšíření experimentu měření jízdy motocyklu v oblouku o další jezdce a motocykly a vytvoření tabelovaných hodnot pro naměřené úhly klopení motocyklu. „Tyto hodnoty jsou důležité pro znaleckou praxi kvůli analýze záboru šířky jízdního koridoru a v současnosti neexistuje v ČR ucelený soubor praktických hodnot.“ [3]

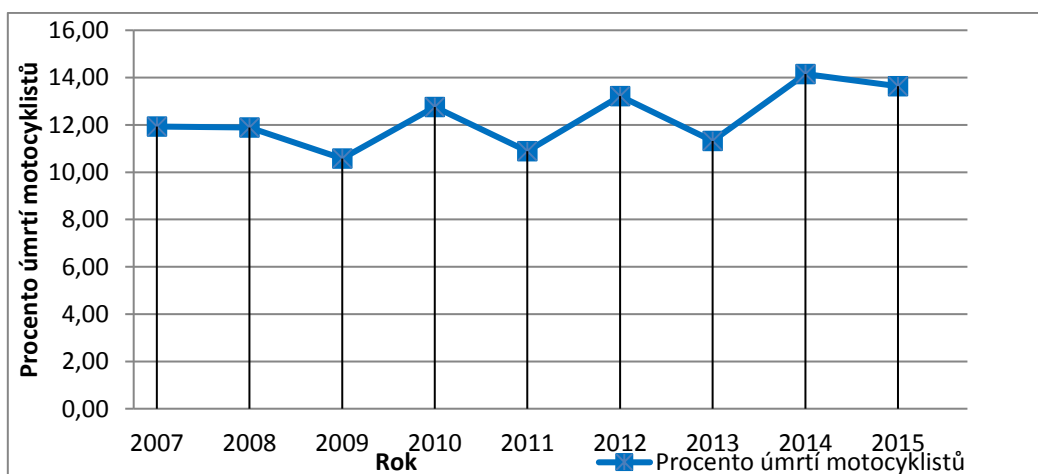
Část práce je zaměřena na statistiky nehodovosti motocyklů, jízdní dynamiku jednostopých motorových vozidel s ohledem na analýzu silničních nehod a se zaměřením na pohyb motocyklu při průjezdu obloukem. V další kapitole jsou sepsány faktory, které ovlivňují motocykl během jízdy. Nejedná se totiž pouze o konstrukci motocyklu, ale také o vlivy prostředí a vliv jezdce. Součástí práce je také aplikace snímacího zařízení pro jízdní dynamiku. Závěr práce je věnován vlastnímu praktickému měření úhlů klopení motocyklu a také vytvoření metodiky vyhodnocování a tabelování naměřených hodnot.

2 Statistiky nehodovosti jednostopých motorových vozidel

Tato kapitola se zaměřuje na statistiky nehodovosti motocyklů. Bohužel údaje o zraněních motocyklistů nebo příčinách nehod motocyklů se ve statistikách nevyčleňují. Tabulka 2 zachycuje počty úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2015. „Počet nehod celkem udává nehody všech motorových vozidel, protože není možno stanovit ke kolika střetům došlo s účastí motocyklu. Počet nehod se snížil v roce 2009 na méně než polovinu. Důvodem této skokové změny je však zvýšení limitu ohlašovací povinnosti dopravních nehod z 50 000 Kč na 100 000 Kč dle novely zákona č. 274/2008 Sb., kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím zákona o Policii České republiky.“ [3] Data jsou získána ze statistik nehodovosti Policie ČR. Graf na obrázku 2 znázorňuje počet usmrcených motocyklistů v letech 2007 - 2015 a graf na obrázku 3 znázorňuje procento usmrcených motocyklistů v letech 2007 - 2015. Jak je z grafů vidět, zpočátku se počet úmrtí snižoval, ale v posledních letech stoupá. [3]



Obrázek 2: Počet usmrcených motocyklistů v letech 2007 - 2015



Obrázek 3: Procento úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2015

Tabulka 2: Úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2015 [4]

	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
Počet nehod celkem	182 736		160 376		74 815		75 522		75 137		81 404		84 398		85 859		93 067	
Usmrceno osob celkem	1 123		992		832		753		707		681		583		629		660	
Usmrceno osob - motocykl	134		118		88		96		77		90		66		89		90	
Procento úmrtí [%]	11,93		11,90		10,58		12,75		10,89		13,22		11,32		14,15		13,64	
<i>z toho:</i>	počet	procento	počet	procento	počet	procento	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	61	92,42	75	84,27	81	91,01
řidiči malých motocyklů	8	5,97	8	6,78	5	5,68	3	3,13	4	5,19	3	3,33	1	1,52	3	3,37	2	2,25
spolujezdci na motocyklech	8	5,97	7	5,93	4	4,55	9	9,38	7	9,09	5	5,56	2	3,03	9	10,11	4	4,49
řidiči mopedů	3	2,24	2	1,69	3	3,41	4	4,17	1	1,30	3	3,33	2	3,03	2	2,25	3	3,37

3 Jízdní dynamika jednostopých motorových vozidel a její specifika - s ohledem na analýzu dopravních nehod

Jízdní dynamika jednostopých motorových vozidel byla důkladně popsána v bakalářské práci „Jízdní vlastnosti motocyklu pro znaleckou činnost“ [3], a proto zde budou zopakovány jen nejdůležitější pojmy týkající se jízdních vlastností motocyklu při průjezdu obloukem.

3.1 Základní parametry ovlivňující jízdní dynamiku

Mezi nejdůležitější parametry ovlivňující jízdní dynamiku patří těžiště, rozvor kol, úhel sklonu přední vidlice, závlek, rozdělení zatížení kol a úhel klopení motocyklu. [3]

Těžiště je hmotný střed. Poloha těžiště má velký vliv na jízdní dynamiku a závisí na rozložení a množství hmot jednotlivých složek motocyklu (motor, nádrž, baterie, kola, rám, vidlice apod.). Protože motor je nejtěžší část, tak jeho umístění velmi ovlivňuje umístění těžiště. [5] „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.“ [6] „Podélná poloha těžiště významným způsobem ovlivňuje silové působení na jednotlivá kola.“ [3][7]

„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 zlepší ovladatelnost. Při odlehčení přední části motocyklu se však s menším úhlem hlavy řídítek zvyšuje sklon ke kmitání.“ [3][5][6]

„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.“ [3][5][6]

„**Rozvor kol** je podélná vzdálenost os kol viz obrázek 4. Velkým rozvorem se zabezpečuje dobrá směrová stabilita (extrémně velký rozvor mají např. cruisery). Naopak sportovní motocykly mají rozvor co nejmenší.“ [3][7]



Obrázek 4: Znázornění rozvoru kol u motocyklu Honda CB600S Hornet

„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.“ [3][6][7]

„**Úhel sklonu přední vidlice (osy řízení)** je úhel mezi osou otáčení hlavy řídítek s kolmicí na rovinu vozovky. U motocyklů se úhel sklonu přední vidlice měří proti směru hodinových ručiček od svislice procházející středem předního kola při pohledu z pravé strany (obrázek 5).“ [3][7]



Obrázek 5: Způsob měření úhlu sklonu hlavy řízení u motocyklů

„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 zatačí. Menší úhel hlavy řízení zabezpečuje lehkou ovladatelnost.“ [3][7]

„**Závlek (stopa, předsunutí) předního kola** je vzdálenost mezi průsečíkem osy řízení se zemí a styčným bodem kola se zemí (svislou osou kola).“ [3][6] Závlek předního kola je znázorněn na obrázku 6.



Obrázek 6: Závlek (stopa) předního kola motocyklu

„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.“ [3][6][7]

„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.“ [3][7]

„Rozdělení zatížení kol má velký vliv na stabilitu při velkých rychlostech. Rozdělení zatížení kol je udáno v technických údajích o motocyklu nebo ho lze zjistit vážením.“ [3][6]

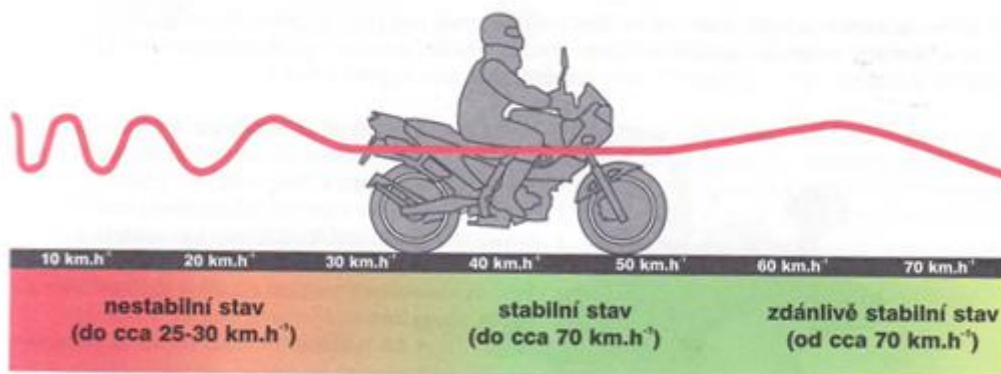
„Úhel klopení motocyklu je úhel, který svírá rovina symetrie motocyklu s rovinou kolmou k vozovce procházející stopou.“ [3][7]

3.2 Stabilita motocyklu

„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.“ [3][7]

„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 spojnícemi obrysů dotykových ploch přední a zadní pneumatiky se zemí.“ [3][7][8]

„Během jízdy získává jednostopé 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.“ [3][7][8] „Rozmezí působení rotačních sil a dalších vlivů na stabilitu jízdy ukazuje obrázek 7.“ [9]



Obrázek 7: Stabilita jízdy motocyklu [9]

„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.“ [3][10]

„Činitelé ovlivňující stabilitu jednostopého motorového vozidla:

- konstrukce motocyklu – mechanismus řízení, pneumatiky, tuhost konstrukce...
- boční sklon komunikace vzhledem k jízdní 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).“ [3][7][8]

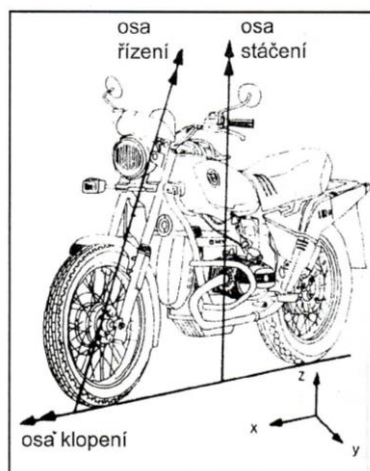
„Pro motocykly používáme třírozměrnou referenční soustavu dle ISO 4130. Skládá se nejen ze 3 os, ale také ze tří rovin na ně kolmých.

- dynamika podélná (osa x) - směr jízdy,
- dynamika příčná (osa y),
- dynamika svislá (osa z).“ [3][11]

„Hlavní otáčivé pohyby motocyklu:

- klopení kolem osy x ve styku kol s vozovkou,
- klonění kolem příčné osy y ,
- stáčení kolem svislé osy z .“ [3][11]

„Při natáčení řídítek motocyklu se přední kolo natáčí kolem osy řízení, motocykl se otáčí kolem osy stáčení a v zatáčce se naklápí kolem osy klopení (obrázek 8).“ [3][6]



Obrázek 8: Pohyby motocyklu při jeho řízení [3][6]

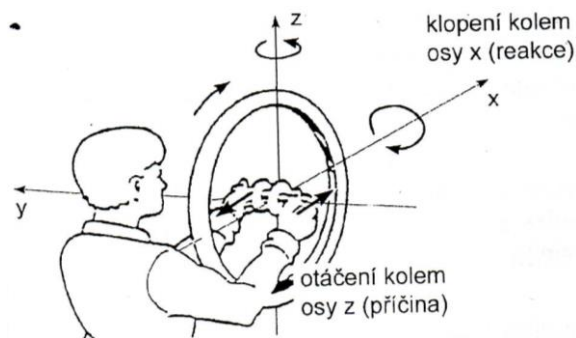
„Pokud se motocykl jedoucí přímo začne sklápět na jednu stranu, musí se díky vhodnému konstrukčnímu uspořádání jeho řízení samočinně stočit na stejnou stranu. Během toho vznikne vodorovná odstředivá síla, působící proti náklonu vlastní vahou, která uvede motocykl zpět do svislé polohy. Jede-li motocykl v oblouku, vzniká podobný jev.“ [3][7][8]

3.2.1 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.“ [3][7][8]

„Gyroskop je rychle rotující kolo, které má velmi vysokou osovou stabilitu, tzn. silnou tendenci, zachovávat si polohu své roviny rotace v prostoru.“ [3][6] „Gyroskopický moment vzniká u těles, která rotují okolo dvou os (rotace a precese).“ [3][7] „U motocyklu jsou to hlavně kola a součásti motoru (setrvačnick). Rotace vyjadřuje otáčivý pohyb tělesa a precese je orientace osy setrvačnicku, která se mění vlivem působení vnějších sil.“ [3][12]

„Na obrázku 9 je znázorněno klopení rotujícího kola při natáčení kolem svislé osy z - natočením kola doleva vznikne jako reakce klopení kola doprava.“ [3][6][13]



Obrázek 9: Klopení rotujícího kola [6][13]

„Vnější gyroskopický moment je vyjádřen rovnicí:

$$M_{vg} = J \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 \quad (1)$$

kde M_{vg} je vnější gyroskopický moment [kg.m], J moment setrvačnosti rotujících hmot [kg.m.s²], ω_1 úhlová rychlost setrvačnicku [s⁻¹] a ω_2 úhlová rychlost vychýlení [s⁻¹].“ [3][8]

4 Pohyb motocyklu při průjezdu obloukem a faktory, které jej ovlivňují

V této kapitole budou popsány vlivy působící na motocykl během průjezdu obloukem. Zejména odstředivá síla, vliv výšky těžiště, stopy a pneumatiky. Na motocykl působí také mnoho dalších faktorů jako např. technika jízdy jezdce, technický stav a znečištění vozovky, povětrnostní vlivy, volba stopy, adheze a zkušenosti jezdce apod.

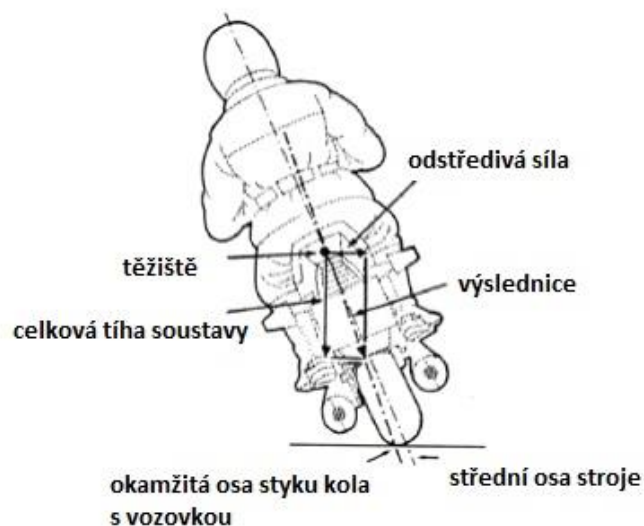
4.1 Odstředivá síla a průjezd motocyklu obloukem

„Při jízdě po zakřivené dráze působí na motocykl odstředivá síla:

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

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].“ [3][6]

„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 10).“ [3][6]



Obrázek 10: Rovnováha motocyklu v zatáčce [3][6]

„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 (3):

$$\Psi = \operatorname{arctg} \frac{F_O}{G} = \operatorname{arctg} \frac{v^2}{R \cdot g} \quad (3)$$

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].“ [3][4]

„Hodnota odstředivé síly může v mezním případě dosáhnout hodnoty boční adhezní síly, a pak tedy platí vztah (4):

$$\operatorname{tg}\Psi_{max} = \frac{F_{Omax}}{G} = \frac{F_{adh}}{G} = \mu_y = \frac{v_{max}^2}{R \cdot g} \quad (4)$$

kde μ_y je redukovaný součinitel dosáhnuté adheze v bočním směru. Zároveň lze ze vztahu určit vztah (5) pro maximální rychlost“ [3][6]:

$$v_{max} = \sqrt{R \cdot g \cdot \operatorname{tg}\Psi_{max}} = \sqrt{R \cdot g \cdot \mu_y} . \quad (5)$$

„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.“ [3][7]

4.2 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.“ [3][7][8]

„Účinek výšky těžiště je výsledkem dvou protichůdných vlivů:

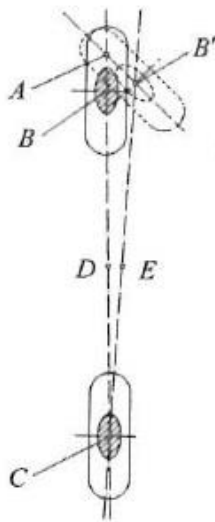
- a) vlivu stopy,
- b) vlivu zakřivení běhounu pneumatiky.“ [3][8]

4.3 Vliv stopy

Vliv stopy zobrazuje schéma na obrázku 11. „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 řídítka).“ [3][7][8]

„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.“ [7]

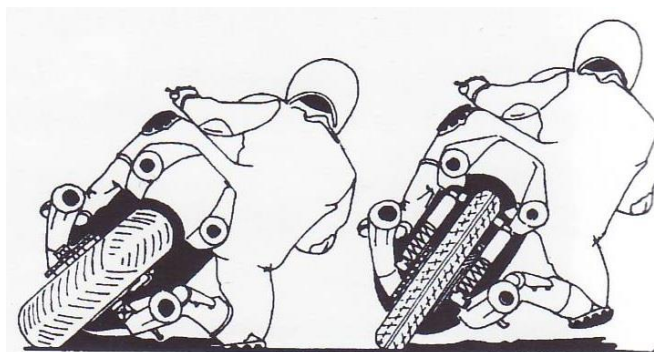


Obrázek 11: Vliv stopy na stabilitu motocyklu [7]

4.4 Vliv pneumatiky na stabilitu jízdy

„V případě, že je motocykl naklopený, 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.“ [3][7]

„Tvary styčných ploch pneumatik s vozovkou jsou velmi odlišné a závisí na použitých pneumatikách, na jejich hustění a na rychlosti jízdy.“ [3][8] Rozdíl náklonu u širokých a úzkých pneumatik je na obrázku 12.



Obrázek 12: Rozdílný náklon u širokých a úzkých pneumatik [14]

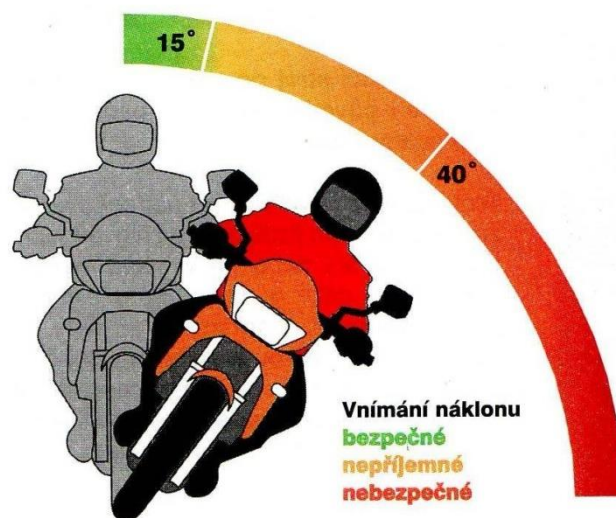
4.5 Další faktory ovlivňující motocykl při průjezdu obloukem

Existuje mnoho dalších faktorů, které ovlivňují motocykl při průjezdu obloukem, a které nesouvisí s konstrukčním uspořádáním motocyklu. Tyto faktory lze rozdělit dle místa jejich působení na vlivy týkající se:

- jezdce (zkušenosti, únava, zdravotní stav jezdce, apod.),
- prostředí (technický stav vozovky, povětrnostní vlivy, apod.),
- motocyklu (typ, technický stav).

4.5.1 Zkušenosti jezdce

Zkušenosti jezdce hrají při jízdě na motocyklu velkou roli. Jezdec musí umět neustále předvídat a vyhodnocovat možná nebezpečí okolního provozu (například slepý úhel zpětných zrcátek automobilů) a případně na ně správně reagovat. Řízení motocyklu je velmi náročné jak fyzicky, tak i psychicky, protože na motocyklistu působí velké množství různých vjemů. Důležité je také znát limity nejen své, ale také motocyklu a nepřeceňovat vlastní schopnosti. „Při průjezdu obloukem je také nezbytné dát si pozor na reálné vnímání náklonu - pocitovaný náklon musí odpovídat skutečnosti.“ [14] Vnímání náklonu jezdce je znázorněno na obrázku 13. Zkušenosti a řídicí dovednosti lze zlepšit např. trénováním ideální dráhy průjezdu obloukem nebo techniky jízdy.



Obrázek 13: Vnímání náklonu jezdce [9]

4.5.2 Volba ideální linie průjezdu obloukem

Linie průjezdu levotočivým obloukem

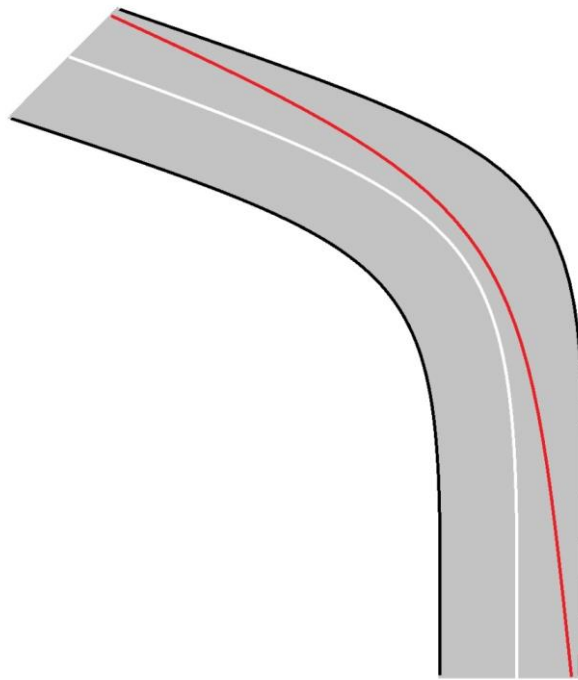
„Linii průjezdu levotočivým obloukem volíme tak, abychom do něj najížděli od pravého kraje vozovky, a stroj podle něj vedeme až do chvíle, kdy už do zatáčky a za ni zcela bezpečně vidíme. Pak nakloníme motocykl směrem ke středové čáře a začneme akcelerovat. Při průjezdu v náklonu vrcholem zatáčky u středové čáry si vždy necháme dostatečnou bezpečnostní rezervu. Protože se motocyklista naklání na levou stranu, měl by dbát na to, aby nejen motocykl, ale také jeho hlava a ramena nepřesahovaly do protisměru. Při výjezdu ze zatáčky se dostáváme téměř na pravou stranu krajnice.“ [9] Viz obrázek 14.

Linie průjezdu pravotočivým obloukem

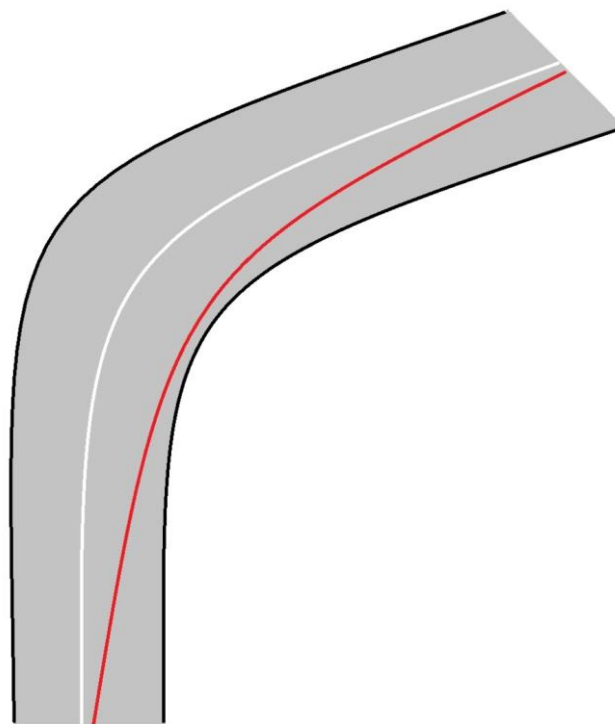
„Linii průjezdu pravotočivým obloukem volíme tak, abychom do zatáčky najížděli téměř od středové čáry, odkud máme do zatáčky nejlepší výhled. V zatáčce v náklonu vedeme motocykl k pravému okraji vozovky. Na výjezdu ze zatáčky se opět necháme vynést až téměř ke středové čáře a poté srovnáme linii jízdy zase na střed svého jízdního pruhu. Viz obrázek 15. Musíme dbát na to, aby nás vyšší nájezdová rychlost nevynesla do protisměru, což by mohlo mít fatální následky.“ [9]

Linie průjezdu dvojitou nebo vícenásobnou zatáčkou

„Zde se ideální dráha velmi liší od ideálních drah v zatáčkách izolovaných. Závisí na počtu zatáček, poloměru zatáček, ale také na šířce jízdního pruhu. Je výhodné stanovit si linii jízdy ne po jednotlivých zatáčkách, ale vcelku. Vždy dbáme na to, abychom zůstali ve svém jízdním pruhu, a do první zatáčky raději vjíždíme nižší nájezdovou rychlostí, abychom získali čas připravit se na další zatáčku.“ [9][14]



Obrázek 14: Linie průjezdu levotočivým obloukem



Obrázek 15: Linie průjezdu pravotočivým obloukem

4.5.3 Technika jízdy při průjezdu zatáčkou

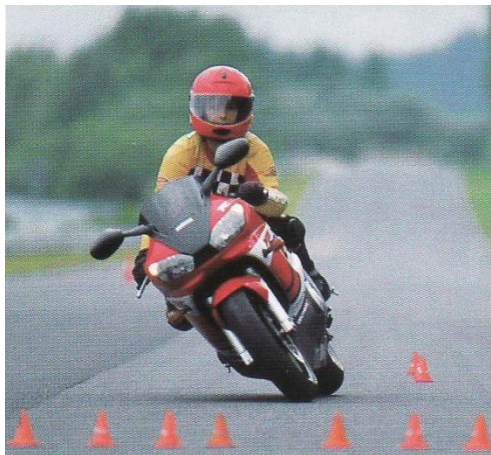
„Boční náklon motocyklu ovlivňuje také styl jízdy jezdce. Existují tři možné techniky jízdy při průjezdu zatáčkou:

1. Náklon jezdce je stejný jako úhel klopení motocyklu (obrázek 16).



Obrázek 16: Náklon jezdce stejný jako úhel klopení motocyklu [14]

2. Úhel klopení motocyklu je větší než náklon jezdce - toto umožňuje rychlé změny směru a tedy účinné projíždění zatáček typu „S“ (obrázek 17).



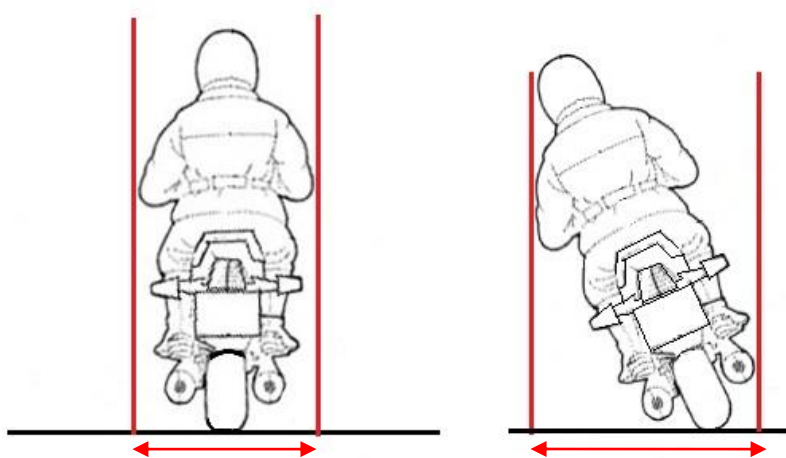
Obrázek 17: Úhel klopení motocyklu je větší než náklon jezdce [14]

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.“ (obrázek 18) [3][5][7][9]



Obrázek 18: Náklon jezdce je větší než úhel klopení motocyklu [14]

„Při průjezdu obloukem je také potřebné zmínit, že šířka jízdního koridoru se značně zvětší oproti jízdě v přímém směru, což je znázorněno na obrázku 19. Červené úsečky vymezují šířku jízdního koridoru. Z obrázku je patrné, že i pro malý náklon dojde k poměrně velkému rozšíření.“ [3]



Obrázek 19: Rozdíl šířky jízdního koridoru při přímé jízdě a při jízdě obloukem [3][6]

4.5.4 Osobní předpoklady

„Dobrá **tělesná kondice** je velmi důležitým předpokladem pro bezpečné zvládnání stroje, protože jízda na motocyklu je velmi fyzicky namáhavá a to zejména u těžkých výkonných motocyklů. Fyzické a pohybové schopnosti jezdce zde rozhodují daleko více než při řízení automobilu. Jezdec by měl vybírat takový motocykl, na který jeho tělesná zdatnost stačí.“ [9]

„Fyzická kondice může být oslabena **nemocí nebo únavou**. Tím se může velmi zhoršit kvalita smyslového vnímání. Snižuje se pozornost a prodlužuje se reakční doba. Např. prudké kýčání za jízdy může znamenat přímé ohrožení stability.“ [9]

„Dobrá **psychická kondice** je stejně důležitá jako fyzická kondice, protože jízda na motocyklu vyžaduje plnou koncentraci. Dle psychologů nejčastěji dochází k lidskému selhání a k nehodě tehdy, když duševní vyrovnanost a soustředění na jízdu ustoupí do pozadí. Řada řidičů (nejen na motocyklu) si během jízdy dokazuje domnělé kvality, případně nadřazenost nad ostatními. Pro některé řidiče je dokonce jízda příležitostí k vybití nastřádané agresivity.“ [9] K bezpečné jízdě a správnému vyhodnocení situací je nezbytná vyrovnanost a udržení pozornosti.

„**Alkohol a drogy** by měly být pro řidiče tabu, protože negativně ovlivňují smyslové vnímání a tím i bezpečnost dopravy. Velmi výrazně je zasaženo zrakové vnímání, ale také sluchové vnímání. Jezdec není schopen správně vyhodnocovat jízdni zvuky, a tím např. chybně odhaduje rychlost jízdy - své i ostatních účastníků provozu. Další negativní ovlivnění přichází v podobě špatného vnímání pohybů a hmatových vjemů, které zprostředkovávají informace o chování motocyklu, proudění vzduchu, nerovnostech na vozovce apod. Důležité je také ovlivňování psychiky - dochází k odbourávání zábrán a zvyšuje se ochota riskovat, což může být velmi nebezpečné.“ [9] I malé množství alkoholu v krvi má vliv na fungování člověka a tedy i na bezpečnost jízdy.

4.5.5 Povrchové vlastnosti jízdni dráhy

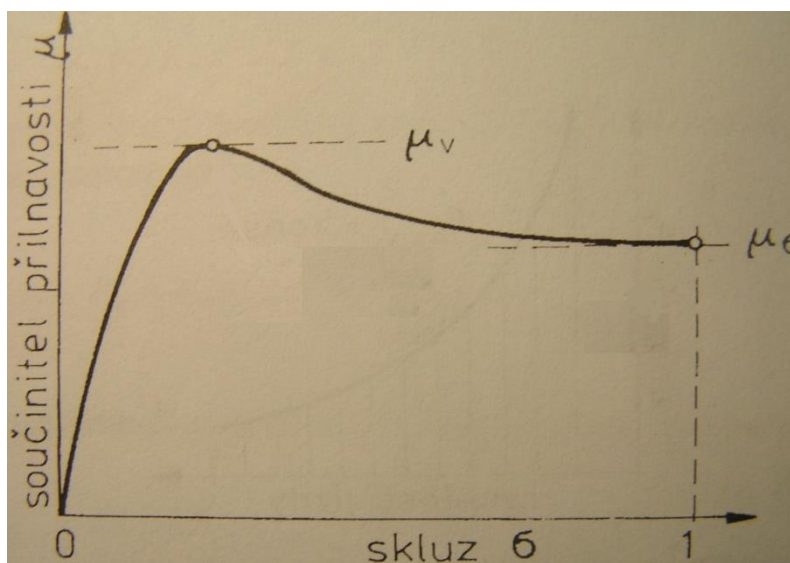
Při průjezdu motocyklu obloukem hrají velkou roli adhezní síly pneumatik. „Třením neboli adhezí se nazývá poměr mezi třecí silou působící v tečném směru ve stykové ploše pneumatiky s vozovkou a normálovou silou působící ve směru normály, tedy kolmo ke stykové ploše pneumatiky s vozovkou.“ [15] „Na velikost 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 živčinné vozovce dosahují hodnot značně vyšších (např. 2,5), kdy jde téměř o lepidlo, což snižuje životnost pneumatik. [16] „Maximální přilnavosti pneumatik k vozovce lze dosáhnout jen na suchém, čistém a přiměřeně drsném povrchu. Jakákoli odchylka povrchu vozovky od tohoto ideálu, znamená snížení adhezních sil, kterému je třeba přizpůsobit rychlost a styl

jízdy.“ [9] V tabulce 3 jsou uvedeny různé hodnoty součinitele přilnavosti pro odlišné povrchy vozovky.“ [3]

Tabulka 3: Součinitel přilnavosti pro různé povrchy [6]

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

Součinitel adheze je na suchém asfaltovém povrchu nejvyšší při 15% - 20% skluzu pneumatiky, což je znázorněno na obrázku 20.



Obrázek 20: Graf součinitele adheze v závislosti na skluzu pneumatiky [6]

„Má-li mít jezdec motocykl a situaci pod kontrolou, musí poměrně intenzivně sledovat také povrch vozovky. A to nejen jeho stav co nejdále před sebou, ale také bezprostředně před motocyklem.“ [9] Musí tedy sledovat vlivy, které by mohly mít za následek snížení stability, podklouznutí a případně i nehodu, např.:

- změnu povrchu z kvalitního na méně kvalitní,
- výtluky ve vozovce, odfrézovaný asfalt, mrazové trhliny,
- velmi nerovný a špatný povrch vozovky,

- znečištění - písek, štěrk, šotolina, bahno, střeby apod.,
- olejové a mastné naftové skvrny,
- mokré tlející listí, pyl, spadané ovoce, posekaná tráva, větve,
- vyplňovací hmotu ve spárách, dilatační spáry na mostech,
- tramvajové koleje,
- dlažební kostky,
- vodorovné dopravní značení,
- led, roztátý sníh apod. [9][14]

4.5.6 Povětrnostní vlivy

Velký vliv na jízdu motocyklisty má zejména boční vítr, kdy je jezdec nucen naklápět motocykl proti směru proudění. Tím je ovlivněna trajektorie jízdy a tedy i bezpečnost. V případě vanutí větru zepředu je velikost čelní plochy závislá na posazu jezdce. Když je jezdec napřímen, vzniká na jeho tělo poměrně velký tlak a to může být velmi únavné. Aerodynamiku lze zlepšit tzv. „zalehnutím“, kdy se motocyklista přikrčí a případně se schová za větrný štít, pokud je jím jeho motocykl vybaven.

4.5.7 Jízda za ztížených podmínek

„Do této kategorie patří např. **jízda v dešti**, kdy nebezpečí vzniká už po spadnutí prvních dešťových kapek, kdy se prach na silnici spolu s vodou smísí v mazlavý a velmi kluzký film. Dalším nebezpečím je aquaplaning, kdy je na vozovce vody až příliš a dochází k nekontrolovatelnému klouzání kola po vodním filmu. Motocykl klouže po vrstvě vody, kterou už pneumatiky nestačí odvádět, a stává se naprosto neovladatelný.“ [9] Samozřejmě mokrá vozovka je nebezpečná i při průjezdu obloukem, protože hrozí podklouznutí, a proto je lepší zatáčky projíždět jen v mírném náklonu a při snížené rychlosti.

Dalším faktorem ovlivňujícím jízdu je **jízda v mlze**. „Mlha je atmosférický aerosol, sestávající z velmi malých vodních kapiček popř. drobných ledových krystalků rozptýlených ve vzduchu, který zmenšuje vodorovnou viditelnost při zemi.“ [17] „Mlha je především velmi náročná na psychiku jezdce. Zrak je mimořádně namáhán zhoršenými podmínkami vidění a je vyžadována zvýšená pozornost pro rozeznávání neosvětlených překážek, chodců na krajnici apod. Zkreslené je také odhadování rychlosti a vzdálenosti vozidel jedoucích před námi a

v protisměru. I za mlhy se povrch vozovky stává velmi kluzkým vinou srážení vody. Také se výrazně zvyšuje riziko, že motocyklista bude přehlédnut.“ [9]

„**Jízda za tmy** ztěžuje sledování povrchu vozovky a nejbližšího okolí. Odhadování rychlosti jízdy za tmy je obtížné. Protože často vidíme jen světla ostatních vozidel a nejsme schopni přesně určit rychlost a někdy i směr jejich pohybu. Je-li světelných zdrojů v okolí hodně (např. ve městě), jedno světlo motocyklu se v tomto světelném „moři“ ztratí. Motocykly jsou za tmy a stmívání špatně viditelné zejména z boku, a proto je vhodné volit oblečení s reflexními prvky.“ [9]

4.5.8 Typ motocyklu a jeho technický stav

Běžně používané typy motocyklů byly podrobně rozepsány v bakalářské práci „Jízdní vlastnosti motocyklu pro znaleckou činnost“ [3], a proto už zde popisovány nebudou. Dobrý technický stav motocyklu má vliv na bezpečnost jízdy nejen při průjezdu obloukem. „I u nejlepšího motocyklu se vlastnosti zhorší zanedbáním péče o jeho technický stav. Pro příklad stojí za zmínění opotřebené pneumatiky, u kterých je důležitá včasná výměna, neboť jejich adhezní vlastnosti jsou pro jezdce životně důležité.“ [9] Před každou jízdou by měla být provedena alespoň jednoduchá prohlídka motocyklu, viz kapitola 6.1.3 Bezpečnost před jízdou.

5 Možnosti měření základních dynamických parametrů popisujících pohyb motocyklu pro potřeby soudního znalectví

Na základě poznatků z bakalářské práce byl pro měření náklonů znovu vybrán přístroj XSENS MTi-G (viz obrázek 21), který slouží k měření jízdní dynamiky. Obsahuje 3 osý akcelerometr, 3 osý gyroskop, GPS přijímač (hlavní snímače) a teploměr, barometr, magnetometr (vedlejší snímače). Pro měření jízdy motocyklu v oblouku je nezbytný zejména gyroskop. Výhodou tohoto snímače jsou malé rozměry, avšak nevýhodou je, že musí být připojen k notebooku, do kterého se data ukládají. [3]

„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.“ [3][18]

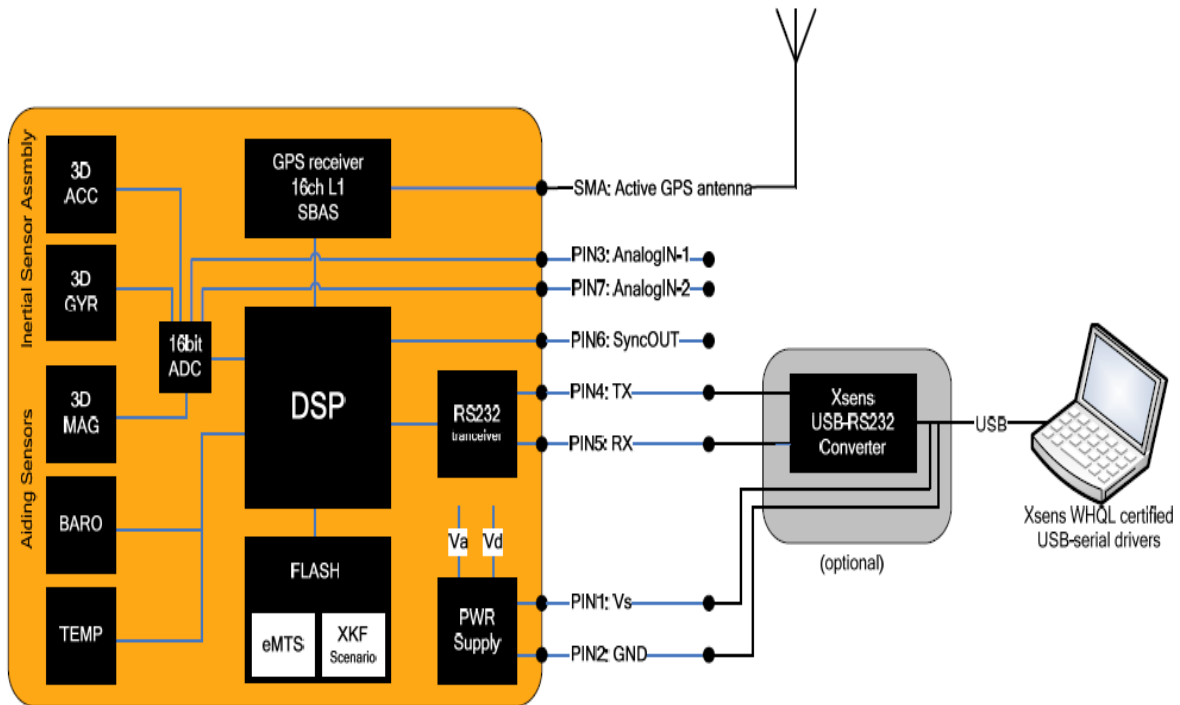


Obrázek 21: Snímač XSENS MTi-G a GPS přijímač [3]

5.1 Princip činnosti snímače XSENS MTi-G (obrázek 22)

„Signály z hlavních snímačů (3-osý akcelerometr a 3-osý 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. „Kalmanův filtr se skládá z procesu filtrace a z procesu predikce.“ [19] Výstup dat je přes USB přenesen do záznamového zařízení.“ [3]



Obrázek 22: Architektura snímače MTi-G [18]

5.2 Metodika umístění snímačů

Pro měření náklonů při průjezdu obloukem byla použita metodika umístění snímačů z bakalářské práce, kde bylo zvoleno umístění snímače XSENS MTi-G v přední části motocyklu na víčko nádrže. Toto místo je nejbližší předpokládanému těžišti soustavy motocykl - jezdec a také je dobře přístupné. Vodorovné umístění snímače bylo zajištěno pomocí libely a proběhlo s jezdce sedícím na motocyklu. Osa x snímače se shodovala s osou x motocyklu. Snímač byl připevněn oboustrannou lepící pěnovou páskou tloušťky 0,8 mm.

Anténa byla umístěna do horizontální plochy vzadu na horní nosič nebo sedlo, aby nebyla stíněna jezdce. Provedla jsem měření vzdálenosti mezi anténou a snímačem. Tyto hodnoty byly zadány prostřednictvím komunikačního protokolu do interní paměti snímače tak, aby

správně docházelo ke korekci chyb výpočtu integrace hodnot (výpočtu úhlů) z hodnot naměřených inerciálním systémem (snímač provádí automaticky pomocí Kalmanovy filtrace). [3]

Měřicí počítač byl připevněn na místo spolujezdce a to především kvůli dobrému přístupu, bezpečnosti a chlazení. [3]

„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 jezdce),
- kontrola sousostí (osa x snímače se shoduje s osou x motocyklu),
- umístění antény do horizontální plochy, musí být nestíněná (jezdce, kapotáží apod.), měření vzdáleností v ose x , y a z , mezi snímačem a anténou,
- umístění měřicího počítače na dobře přístupné, bezpečné, chlazené místo.“ [3]

5.3 Nastavení přístroje

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

Snímané veličiny:

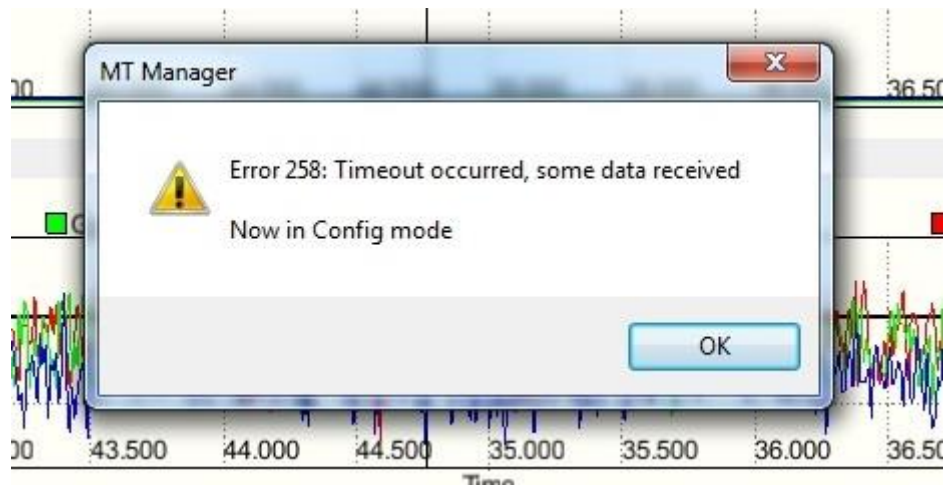
- zrychlení v ose x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- zrychlení v ose y [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- zrychlení v ose z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- rychlost v ose x [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- rychlost v ose y [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- rychlost v ose z [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- 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[°], zeměpisná délka[°],
- síla magnetického pole v osách x , y , z [mGauss – výstup je normalizován a vztažen ke gravitačnímu zrychlení].“ [3]

5.4 Chyby měření

Během měření se u několika pokusů vyskytly chyby, při kterých došlo ke ztrátě naměřených dat. Tyto pokusy nebyly vyhodnocovány.

První chybou byl Error 258: Timeout occurred, some data received, Now in Config mode. (viz obrázek 23) Způsobilo ji nečekané vysunutí USB konektoru z počítače. V tomto případě došlo k přerušení měření.



Obrázek 23: Chyba měření způsobená odpojením USB kabelu

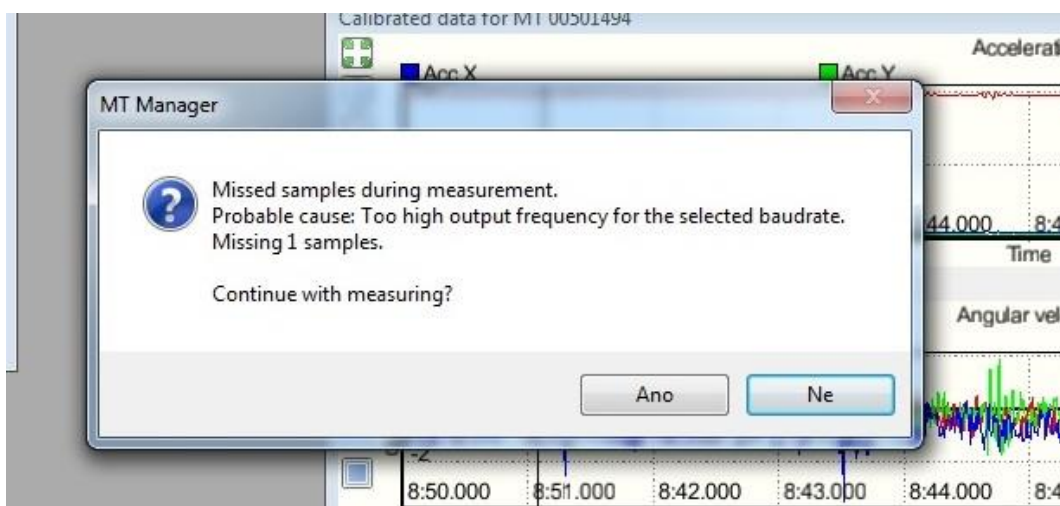
Druhá chyba se vyskytovala nejčastěji a dokonce při zachování naprosto stejných podmínek jako při předchozích úspěšných pokusech. Docházelo při ní ke ztrátě vzorků, kvůli vysoké frekvenci měření při zvolené přenosové rychlosti (viz obrázek 24). Frekvence je pro potřeby soudního znalectví nastavena na 100 Hz a přenosová rychlost byla nastavena na maximum. Během odhalování chyby bylo vyzkoušeno:

- otřesy počítače i snímače,
- přehřátí počítače,
- změna frekvence,
- změna přenosové rychlosti,
- měření možného nízkého napětí na portech při zavřeném notebooku.

K výskytu této chyby však docházelo náhodně a nelze s jistotou říci, zda souvisí s některým zmíněným faktorem. Při měření napětí na portech notebooku byly naměřeny hodnoty v rozmezí:

- otevřený notebook 4,88 - 4,97 V (viz obrázek 25),
- zavřený notebook 4,88 - 5,02 V (viz obrázek 26).

Z uvedených hodnot vyplývá, že napětí bylo stejné jak pro otevřený, tak pro zavřený notebook. V některých případech bylo napětí na portu u zavřeného notebooku dokonce vyšší.



Obrázek 24: Chyba měření související s frekvencí a přenosovou rychlostí



Obrázek 25: Napětí na portech při otevřeném notebooku



Obrázek 26: Napětí na portech při zavřeném notebooku

Nakonec byla kontaktována podpora firmy XSENS kvůli objasnění důvodu zobrazování této chybové zprávy. Odpovědí bylo, že je to pravděpodobně z důvodu špatné komunikace, tedy přenosovou rychlostí. Avšak ani po důkladném otestování závislosti frekvence měření, množství snímaných veličin a velikosti přenosové frekvence nedošlo k jednoznačnému potvrzení této hypotézy – chyba se vyskytovala i při dostatečné přenosové kapacitě a nízké přenosové frekvenci (malé množství přenášených dat). Problém se společností XSENS stále řeším. Dalšími možnými důvody výskytu výpadku mohou být silné vibrace motocyklu, uložení snímače blízko motoru nebo chyba na straně záznamového počítače.

5.5 Postup při zpracování naměřených dat

Z dat naměřených snímačem XSENS MTi-G jdou důležité zejména výstupy akcelerometru a gyroskopu. Naměřená data jsou zpracována v programu MT Manager a vyexportována do textových souborů. „Souřadný systém snímače, ve kterém zaznamenává zrychlení a úhlovou rychlost, je pevně spjat s jeho základnou (viz obrázek 27). 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 a to v programu Microsoft Excel. Z důvodu značného zatížení naměřených hodnot šumem, bude následně provedena filtrace dat.“ [3] Pro konečné vyhodnocení je použit program National

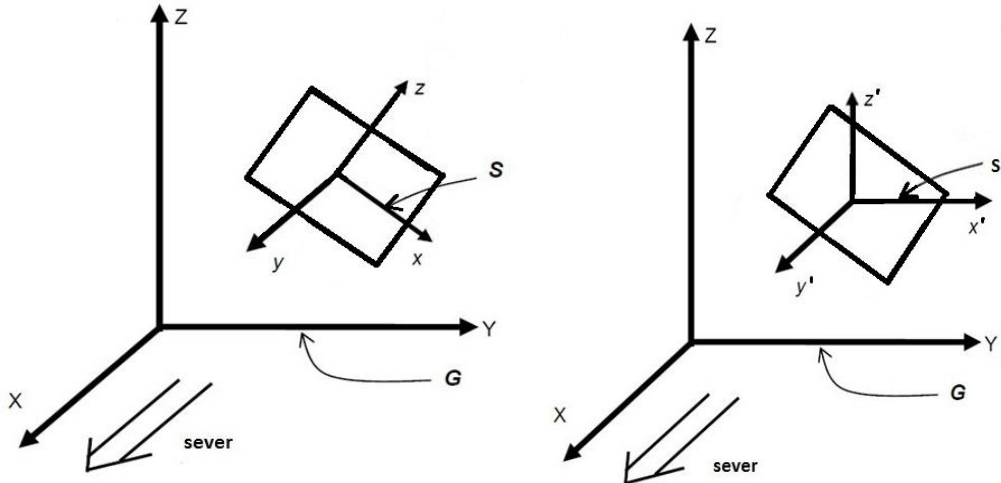
Instruments Diadem odkud jsou z grafů odečteny veškeré hodnoty, které jsou zaznamenány ve výsledných tabulkách. Z tohoto programu pochází také grafické výstupy.



Obrázek 27: Souřadný systém snímače XSENS MTi-G [18]

Transformace souřadnic

„Na obrázku 28 a 29 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.“ [3][20]



Obrázek 28: Lokální systém před transformací (vlevo) [3]

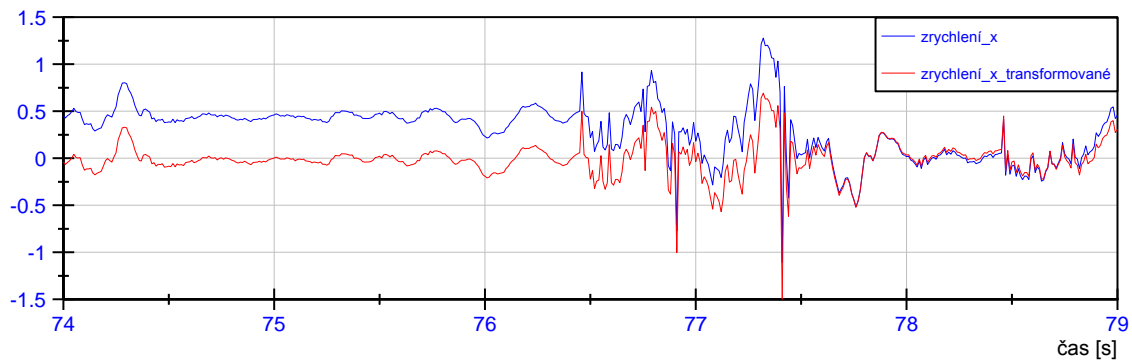
Obrázek 29: Lokální systém po transformaci (vpravo) [3]

Matice rotací a transformační matice

Klopení, klonění a stáčení motocyklu je pomocí Eulerových úhlů vyjádřeno v maticích rotací. Ty jsou uvedeny v bakalářské práci „Jízdní vlastnosti pro znaleckou činnost“ a stejně tak je tam rozepsán vznik transformační matice. [3][20]

Příklad původního a transformovaného signálu

„V grafu na obrázku 30 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 .“ [3]



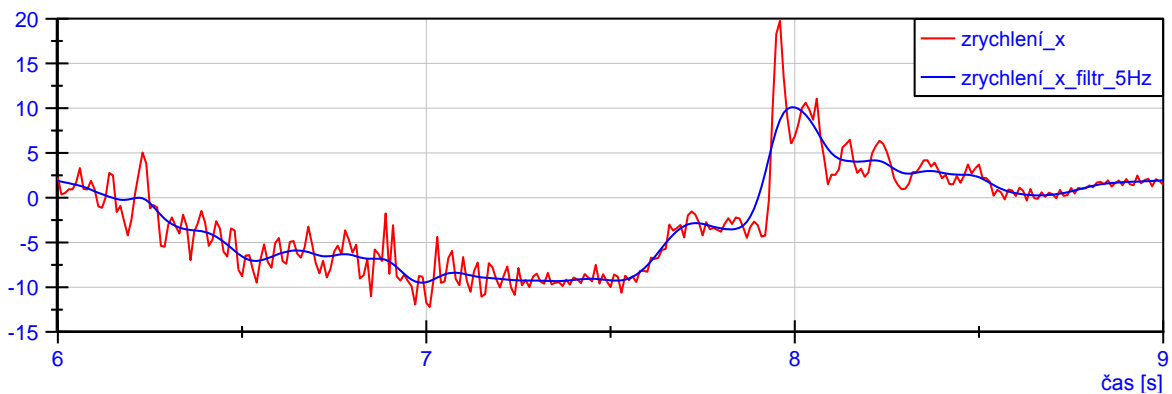
Obrázek 30: Transformace signálu [3]

Filtrace signálu

„Na základě zkušeností s měřením v bakalářské práci jsem zvolila filtraci s těmito parametry: dolní propust, s limitní frekvencí 5 Hz, filtr Butterworth, 4. řádu.“ [3]

Příklad původního a filtrovaného signálu

„V grafu na obrázku 31 je červeně znázorněna křivka zrychlení v ose x před filtrací. Následně byl použit filtr, čímž byly odstraněny šumy a došlo k vyhlazení křivky (v grafu znázorněno modrou křivkou).“ [3]



Obrázek 31: Filtrace signálu [3]

6 Ověření metodiky umístění snímačů

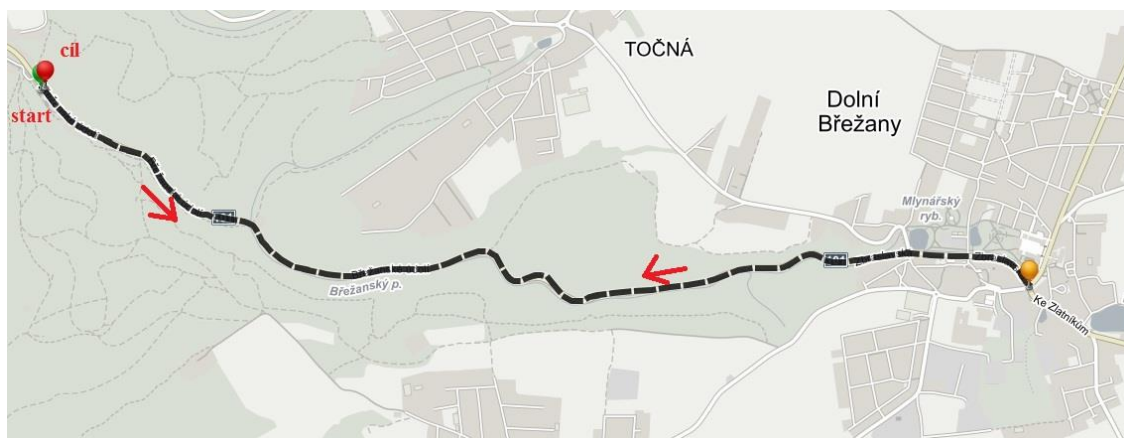
Pro ověření zvolené metodiky byl vybrán experiment se dvěma shodnými snímači umístěnými v těsné blízkost v ose motocyklu.

6.1 Experiment 1 - měření shodnosti dat ze dvou snímačů XSENS

Předmětem měření je porovnání shodnosti dat dvou snímačů XSENS MTi-G. Po umístění snímačů na motocykl Honda CB 600 S Hornet bude jezdec opakovaně projíždět vybraný úsek s několika levotočivými a pravotočivými oblouky.

6.1.1 Lokalita experimentu

Pro měření shodnosti dat náklonů motocyklu jsem vybrala úsek silnice č. II/101 (Břežanské údolí). Úsek začíná na parkovišti u malé ZOO za mostem Závodu míru, následuje úsek s pěti výraznými pravotočivými oblouky a pěti levotočivými. Poté dojde k otočení jezdece na kruhovém objezdu Zbraslavská x Pražská a celý úsek projede zpět k malé ZOO. Povrch je tvořen živíci. Na komunikaci nebylo vidět žádné poškození ani znečištění. Celková délka dráhy experimentu je přibližně 9 km. Měření probíhalo za plného provozu, a proto docházelo k ovlivňování jízdy ostatními vozidly (předjíždění, zpomalování apod.). Průměrný podélný sklon je 2,87 % (od startu ke kruhovému objezdu).



Obrázek 32: Mapa lokality experimentu 1

6.1.2 Klimatické podmínky

Během měření úhlů klopení u motocyklu Honda CB 600S Hornet dne 23.8.2014 bylo skoro zataženo a teplota byla 19 °C. Během měření vál velmi silný vítr. Tento nepříznivý vliv byl eliminován tím, že trasa je vedena v údolí a jezdec je od bočního větru chráněn skalami a vzrostlou zelení. Detaily viz tabulka 4.

Tabulka 4: Klimatické podmínky během měření se dvěma snímači

experiment	datum	čas	teplota	počasí	rychlost větru
Měření úhlů klopení	23.8.2014	18:50-20:00	19 °C	skoro zataženo	15-25 km/h

6.1.3 Bezpečnost před jízdou

Pro zvýšení bezpečnosti byla provedena před jízdou (u všech experimentů) prohlídka motocyklu dle uživatelské příručky motocyklu Honda XR 125L, která zahrnuje kontrolu:

- hladiny motorového oleje a netěsností,
- množství paliva a jeho doplnění,
- množství chladicí kapaliny,
- funkce přední a zadní brzdy,
- funkce světel a houkačky,
- stavu a prověšení řetězu sekundárního převodu,
- funkce spojky, otočné rukojeti plynu a vypínače motoru,
- stavu a předepsaného tlaku pneumatik. [21]

6.1.4 Testovaný motocykl

Pro měření byl použit motocykl kategorie Naked bike - Honda CB 600S Hornet, který má následující parametry:

- výkon: 70 kW, objem: 599 cm³, rok výroby: 2003,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 256 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. [3][22]



Obrázek 33: Motocykl Honda CB 600S Hornet

6.1.5 Jezdec

Testovacím jezdce byla žena ve věku 24 let, hmotnosti 58 kg a s 8letou praxí v řízení motocyklu. Motocykl Honda CB 600S Hornet řídí už 3 roky, a lze říci, že důkladně zná jeho chování.

6.2 Umístění dvou snímačů XSENS MTi-G na motocyklu

Provedla jsem měření se dvěma snímači XSENS MTi-G pro porovnání shodnosti dat. Oba snímače byly umístěny v přední části motocyklu na nádrži (viz obrázek 34). Zajistila jsem vodorovnost ploch pro oba snímače a také sousost snímačů s osou x motocyklu. Antény byly přilepeny na místo spolujezdce tak, aby nebyly stíněny jezdce. Měřicí počítač byl vezen v otevřeném batohu kvůli chlazení.



Obrázek 34: Umístění dvou snímačů XSENS MTi-G na motocyklu

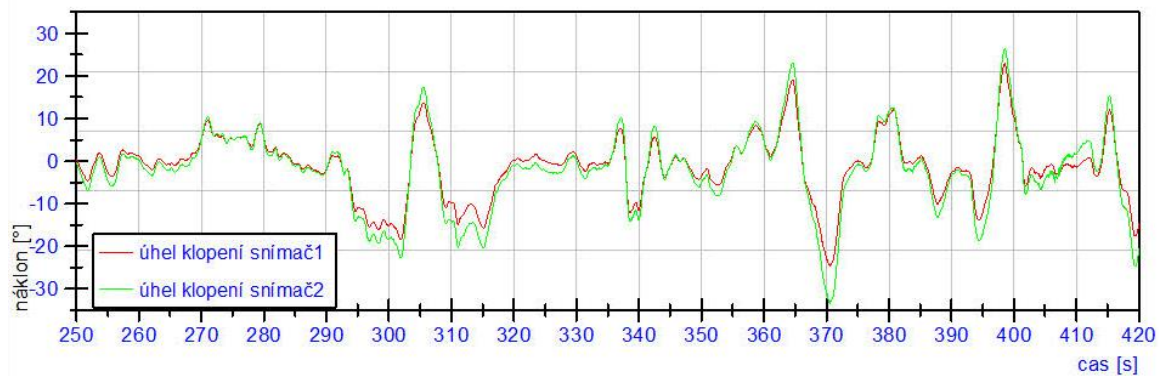


Obrázek 35: Zajištění sousostí snímačů a motocyklu

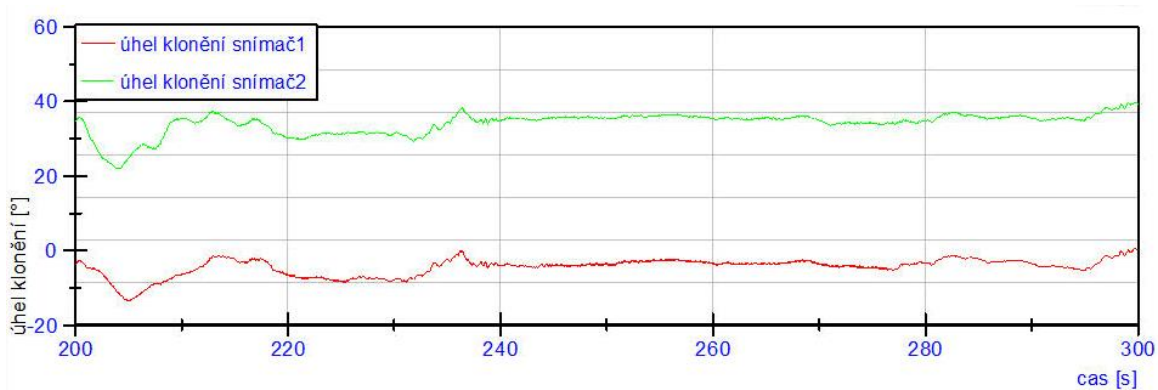
6.3 Výsledky měření

Pro tento experiment není třeba vytvářet tabelované hodnoty výsledných úhlů klopení, protože z grafu na obrázku 36 je patrné, že průběh úhlů klopení byl pro oba snímače stejný, ale snímač 2 zaznamenával vyšší úhly klopení a to zejména v levotočivých obloucích. V grafu na obrázku 37 jsou zaznamenány úhly klonění pro oba snímače a v grafu 38 jsou zrychlení v ose x . Z těchto obrázků vyplývá, že snímače sice byly na motocyklu vyrovnány, ale je patrný vzájemný posun úhlů klonění o 40° . Lze usoudit, že během nastavování snímače 2 došlo k jeho špatnému automatickému vyrovnání a data ze snímače 2 nelze brát v úvahu. Úhly klopení, klonění a stáčení se vzájemně ovlivňují a jsou pomocí Eulerových úhlů vyjádřeny v maticích rotací (viz bakalářská práce „Jízdní vlastnosti pro znaleckou činnost“). Na základě poznatků z předchozích měření byla kvůli stabilitě snímání dat zvolena pro další experimenty varianta měření s jedním snímačem. Pro všechny experimenty bude používáno totožné zařízení.

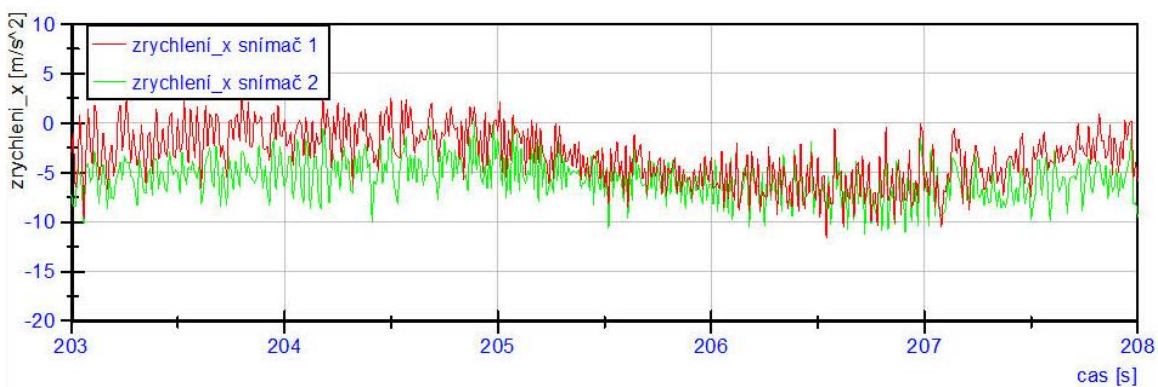
Tento experiment musel být měřen dvakrát, protože v prvním měřicím dni stále docházelo u jednoho snímače při všech pokusech ke ztrátě GPS signálu. Při druhém měření byly všechny pokusy úspěšné. Vyhodnocování následujících experimentů musí být prováděno velmi pečlivě, protože jezdec nenaklápěl motocykl pouze z důvodu průjezdu obloukem, ale také kvůli předjíždění, vyhýbacím manévřům a vyrovnávání stability na motocyklu.



Obrázek 36: Příklad průběhu úhlů klopení obou snímačů



Obrázek 37: Příklad průběhu úhlů klonění obou snímačů



Obrázek 38: Příklad zrychlení v ose x obou snímačů

7 Měření jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku

7.1 Experiment 2 - měření jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku

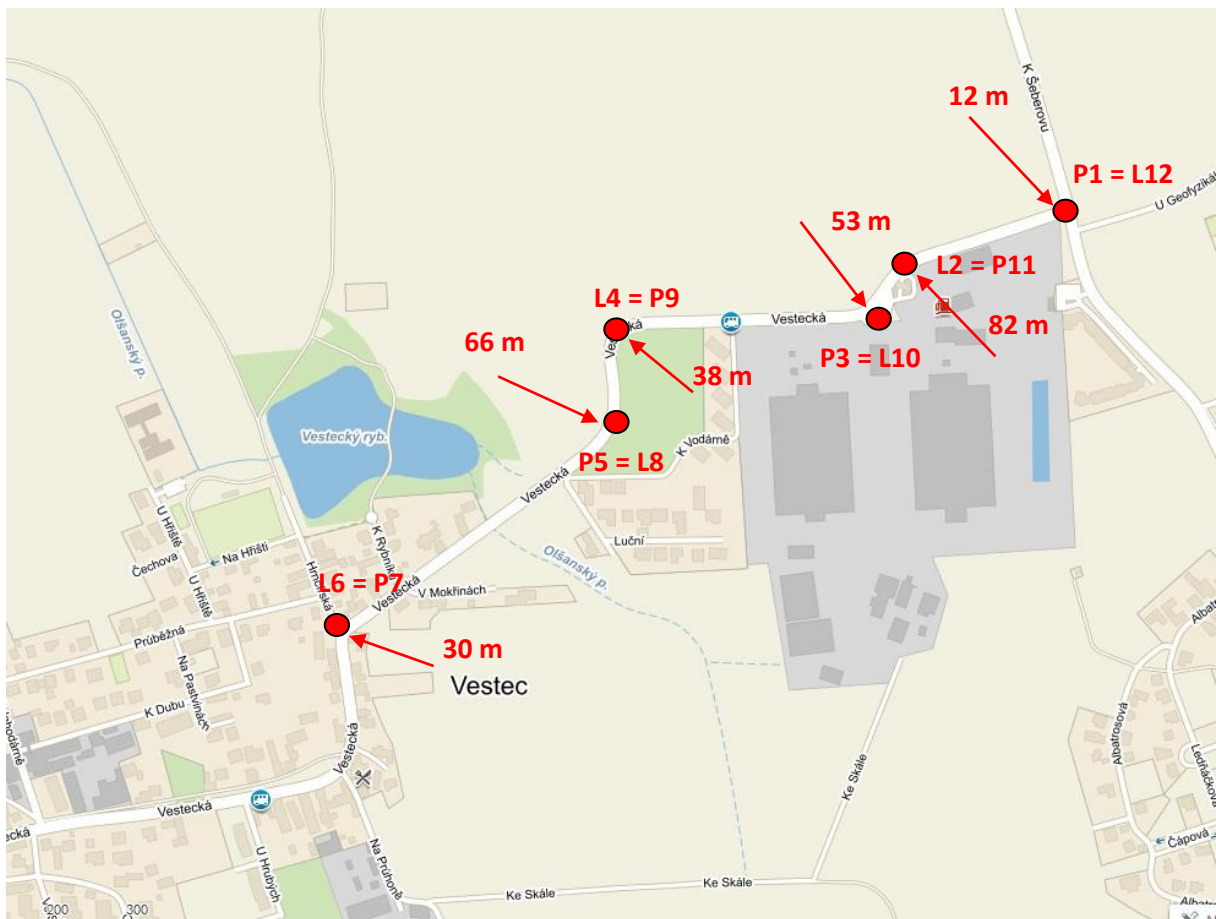
Předmětem experimentu je měření úhlů klopení různých jezdců na jejich motocyklech. Po umístění snímačů na motocykl, budou jezdci opakovaně projíždět vybraný úsek s šesti pravotočivými a šesti levotočivými oblouky.

7.1.1 Lokalita experimentu

Pro měření tohoto experimentu byl vybrán úsek silnice bez převýšení č. III/10114 Vestecká (okres Praha - západ). Začátek byl zvolen na vedlejší komunikaci U Hrnčír na kraji pražské městské části Hrnčír (Praha 4). Následně jezdci vyjíždí na hlavní pozemní komunikaci K Šeberovu a poté pravotočivým obloukem do ulice Vestecká. Následuje levotočivý a pravotočivý oblouk (2x), pak levotočivý a nakonec výjezd do ulice Na Průhoně. Zde se jezdci otáčejí a stejnou trasou se vrací zpět na start. Povrch komunikace je tvořen živíci a nebylo zde vidět žádné poškození ani znečištění. Celková délka dráhy je přibližně 4,4 km. Měření probíhalo za normálního provozu, a proto často docházelo k ovlivňování jinými vozidly včetně autobusů MHD. Na obrázku 40 označuje L levotočivý oblouk a P pravotočivý oblouk. Čísla zapsaná u těchto zkratkách značí pořadí průjezdu a také pořadí vyhodnocování v tabulkách. Číslo u šipky je poloměr oblouku.



Obrázek 39: Lokalita experimentů 2, 3 a 4



Obrázek 40: Oblouky vyhodnocované pro experimenty 2, 3 a 4

7.1.2 Klimatické podmínky

Přestože měření nebylo možné udělat v jeden den, jezdci měli přibližně stejné klimatické podmínky. Detaily viz tabulka 5.

Tabulka 5: Klimatické podmínky během měření experimentu 2

jezdec	datum	čas	teplota	počasí	rychlost větru
Jezdec 1	21.9.2015	14:20-15:15	16°C	oblačno	3-7 km/h
Jezdec 2	21.9.2015	16:50-17:45	16°C	oblačno	3 km/h
Jezdec 3	21.9.2015	18:00-18:50	16°C	skoro jasno	3km/h
Jezdec 4	28.9.2015	18:45-19:35	14°C	skoro jasno	7-10 km/h
Jezdec 5	28.9.2015	19:20-20:00	13°C	polojasno	7 km/h

7.1.3 Umístění snímačů a nastavení přístroje

Umístění snímačů a nastavení přístroje bylo stejné jako v kapitole 5.2 Metodika umístění snímačů pro všechny motocykly.

7.1.4 Jezdci a jejich motocykly

Jezdec 1

Prvním jezdce byl muž ve věku 38 let s velmi malými zkušenostmi v řízení motocyklu. Řidičský průkaz získal až v roce 2015. Motocykl Suzuki GSX650 řídil pouze několik měsíců, a tak lze říci, že ještě úplně nezná jeho chování.

Testovací motocykl 1

Pro měření byl použit motocykl kategorie SuperSport - Suzuki GSX650, který má následující parametry:

- výkon: 62 kW,
- objem: 650 cm³,
- rok výroby: 2009,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 340 kg.



Obrázek 41: Umístění snímačů na motocyklu Suzuki GSX650

Jezdec 2

Druhým testovacím jezdce byl muž ve věku 32 let, hmotnosti 90 kg a se 17letou praxí v řízení motocyklu. Motocykl Yamaha FZS 1000 Fazer řídí už 7 let a důkladně zná jeho chování.

Testovací motocykl 2

Pro měření byl použit motocykl kategorie Naked bike - Yamaha FZS1000 Fazer, který má následující parametry:

- výkon: 105 kW,
- objem: 998 cm³,
- rok výroby: 2003,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 308 kg.



Obrázek 42: Umístění snímačů na motocyklu Yamaha FZS1000 Fazer

Jezdec 3

Testovacím jezdce byla žena ve věku 25 let a 9letou praxí v řízení motocyklu. Motocykl Honda CB 600S Hornet řídí už 4 roky, a tak se dá říct, že důkladně zná jeho chování.

Testovací motocykl 3

Pro měření byl použit motocykl kategorie Naked bike - Honda CB 600S Hornet, který má následující parametry:

- výkon: 70 kW,
- objem: 599 cm³,
- rok výroby: 2003,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 256 kg.



Obrázek 43: Umístění snímačů na motocyklu Honda CB 600S Hornet

Jezdec 4

Čtvrtým jezdcem byl muž ve věku 21 let a 5letou praxí v řízení motocyklu. Ročně najezdí přibližně 4000 km, a proto lze říci, že zná chování svého motocyklu.

Testovací motocykl 4

Pro měření byl použit motocykl kategorie SuperSport - Honda CBR 600RR, který má následující parametry:

- výkon: 86 kW,
- objem: 600 cm³,
- rok výroby: 2005,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 260 kg.



Obrázek 44: Umístění snímačů na motocyklu Honda CBR 600RR

Jezdec 5

Pátým testovacím jezdcem byl muž ve věku 21 let a 5letou praxí v řízení motocyklu. Na motocyklu naježdí přibližně 3000 km ročně, a tak lze i u něj říci, že zná chování svého motocyklu.

Testovací motocykl 5

Pro měření byl použit motocykl kategorie Enduro - Yamaha XT660X, který má následující parametry:

- výkon: 35,3 kW,
- objem: 660 cm³,
- rok výroby: 2004,
- hmotnost motocyklu a jezdce: 279 kg.



Obrázek 45: Umístění snímačů na motocyklu Yamaha XT660X

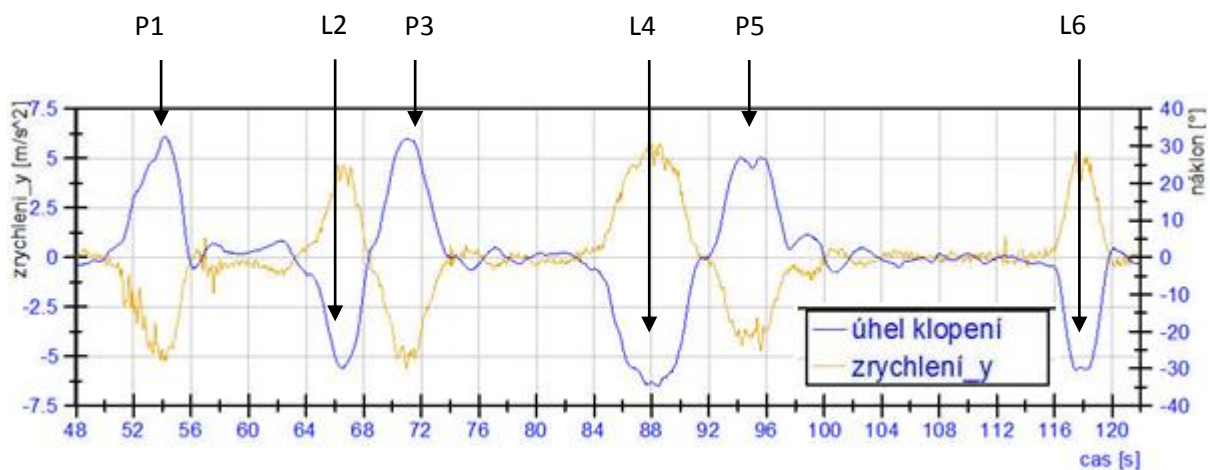
7.1.5 Naměřené hodnoty

Pro každý motocykl bylo naměřeno:

- 7x průjezd úsekem pro měření úhlů klopení.

Měření úhlů klopení v tomto experimentu nebylo ovlivněno sklonovými poměry trasy, a proto můžeme provést transformaci souřadnic dle kapitoly 5.5 Postup při zpracování naměřených dat, a vypočíst příčnou složku zrychlení v ose y .

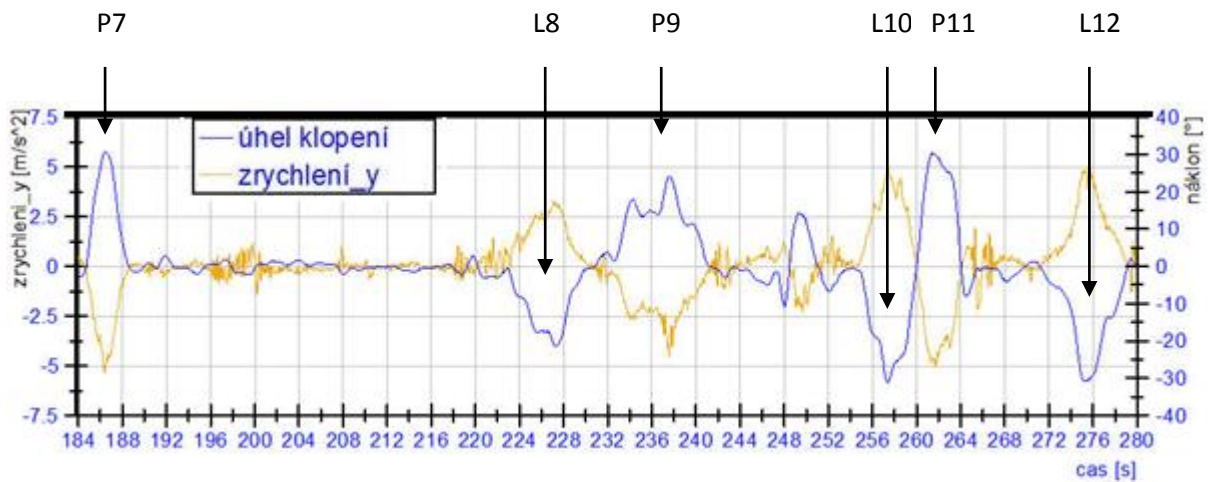
V následujícím grafu na obrázku 46 je vykreslen průjezd první části úseku pro měření úhlů klopení. Odpovídající zrychlení v ose x a rychlost pro tento úsek jsou znázorněny na obrázku 47. Grafy na obrázcích 48 a 49 znázorňují druhou část úseku pro měření úhlů klopení (cesta zpět na start). Na obrázcích 50 - 55 jsou příklady grafů pro jednotlivé motocykly, ze kterých byly odečítány hodnoty úhlů klopení, zrychlení v ose y a x a odpovídající rychlosti.



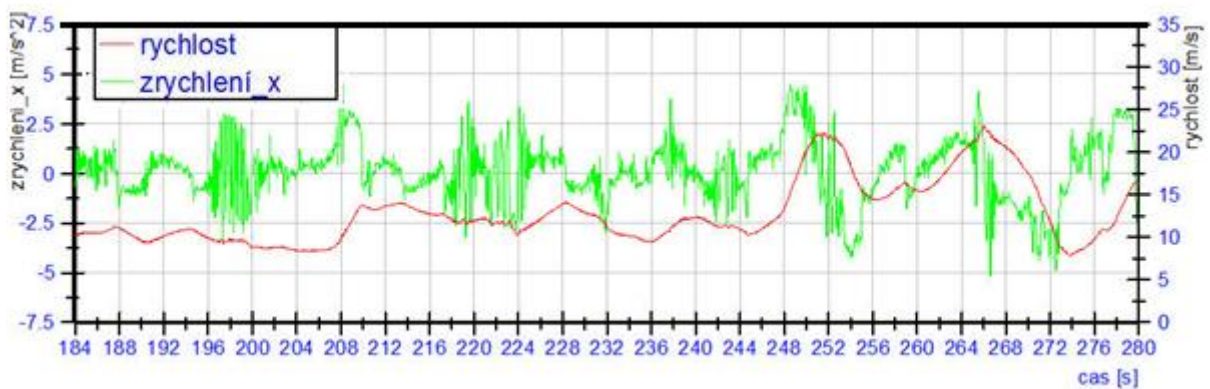
Obrázek 46: Určení vyhodnocovaných oblouků při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení



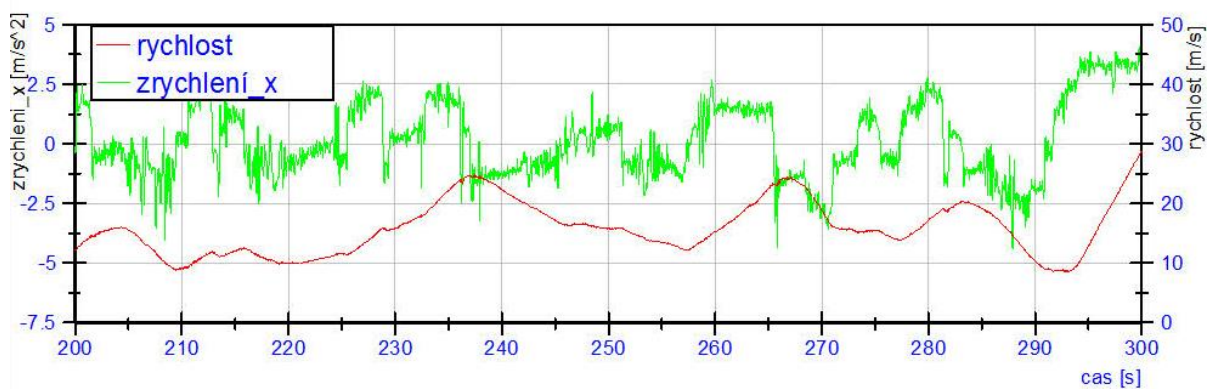
Obrázek 47: Průběh rychlosti při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení



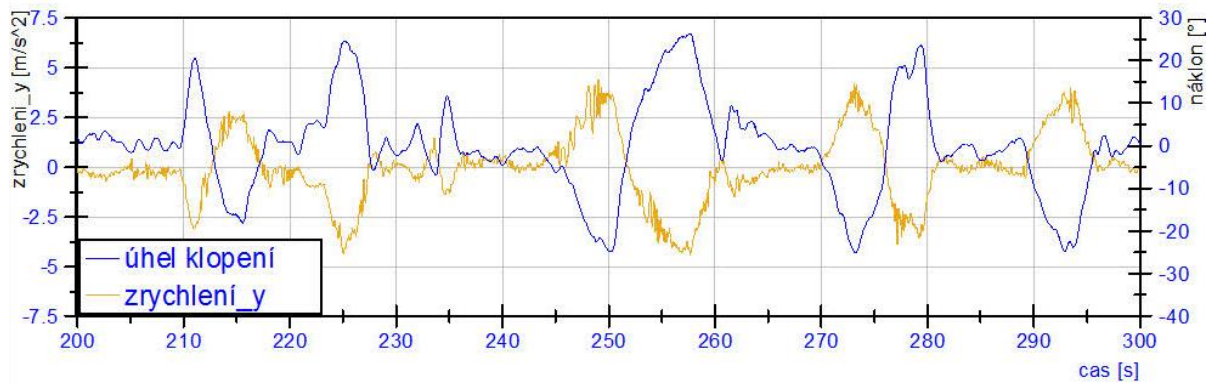
Obrázek 48: Určení vyhodnocovaných oblouků při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení (zpáteční cesta)



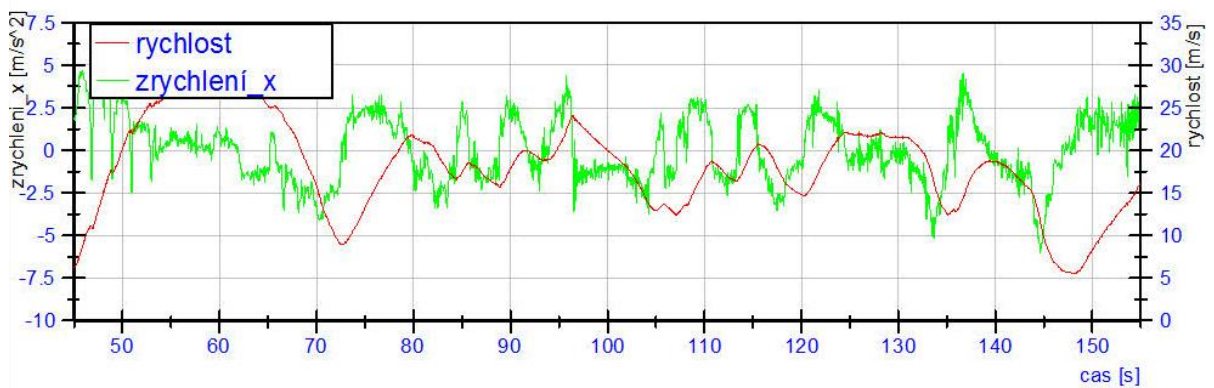
Obrázek 49: Průběh rychlosti při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení (zpáteční cesta)



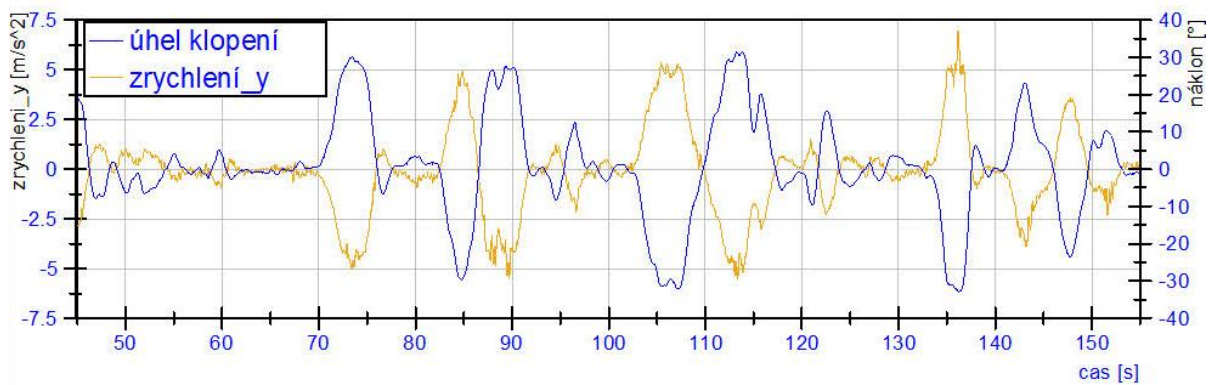
Obrázek 50: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Suzuki GSX650



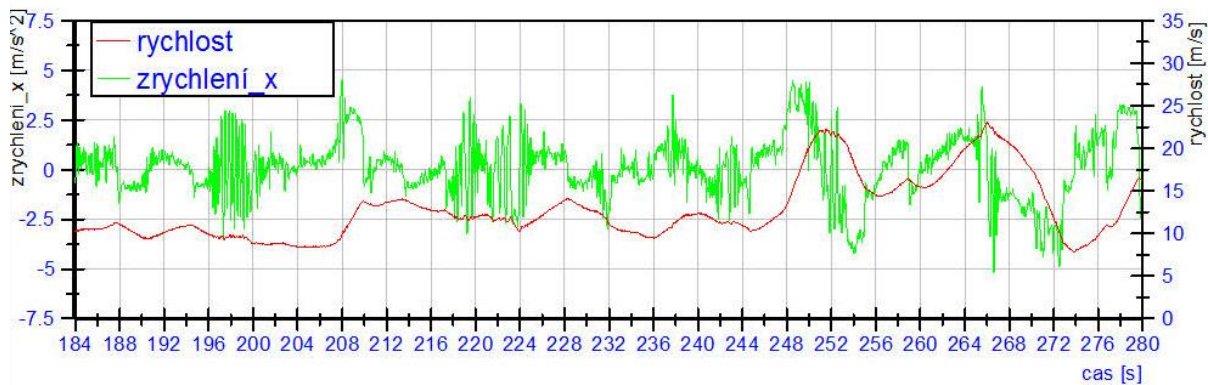
Obrázek 51: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Suzuki GSX650



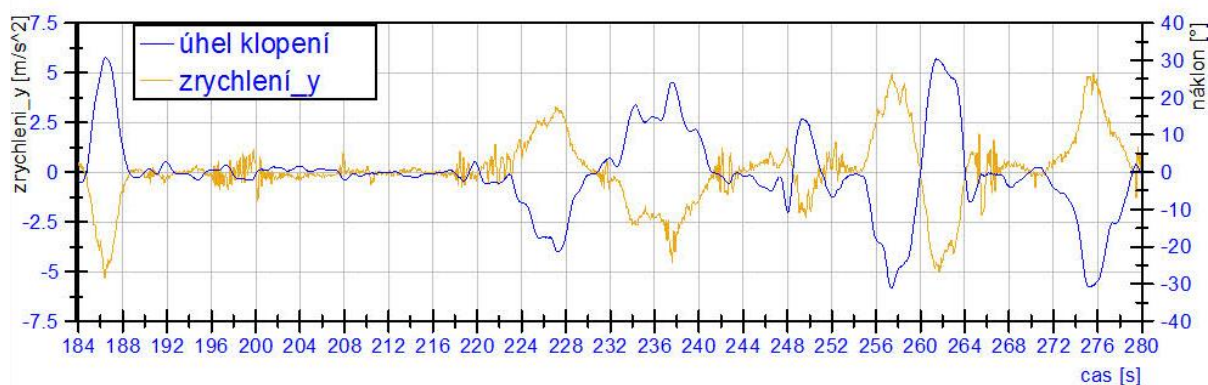
Obrázek 52: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Yamaha FZS1000 Fazer



Obrázek 53: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Yamaha FZS1000 Fazer



Obrázek 54: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Honda CB600S Hornet



Obrázek 55: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Honda CB600S Hornet

Všechny z grafů odečtené hodnoty, pro tento i následující experimenty, jsou zaznamenány do tabulek, které jsou uvedeny v přílohách. Pro každý oblouk byly vytvořeny dvě tabulky. První obsahuje maximální úhel klopení ψ_{max} , zrychlení v ose y a_y , a rychlost v bodě maximálního úhlu klopení $v(\psi_{max})$ - viz tabulka 6. Druhá tabulka udává nejdůležitější rychlosti zaznamenané v průběhu měření a to - 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 - viz tabulka 7. Některé oblouky mají tabulky společné, protože jsou tak těsně za sebou, že výjezd z jednoho ovlivňuje nájezd do druhého. Pro všechny odčítané hodnoty byl spočítán také průměr a směrodatná odchylka. Tabulky 1 - 16 v příloze č. 1 platí pro prvního jezdce (Suzuki GSX650), 17 - 32 pro druhého (Yamaha FZS1000 Fazer) a 33 - 48 pro třetího (Honda CB600S Hornet).

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro pravotočivý oblouk P7 pro motocykl Yamaha FZS1000 Fazer

pravotočivá P7				
č.	ψ_{\max} [°]	a_y [m.s ⁻²]	$v(\psi_{\max})$ [m.s ⁻¹]	$v(\psi_{\max})$ [km.h ⁻¹]
001	30,73	4,88	14,08	50,69
002	31,36	4,28	11,73	42,23
003	32,02	4,38	11,93	42,95
004	33,11	4,85	11,15	40,14
005	34,56	5,10	13,21	47,56
006	38,27	5,42	14,34	51,62
007	36,31	5,30	15,61	56,20
průměr	33,77	4,89	13,15	47,34
smod.	2,56	0,40	1,50	5,42

Tabulka 7: Naměřené hodnoty rychlostí v jednotlivých úsecích pro oblouk P7 pro motocykl Yamaha FZS1000 Fazer

pravotočivá P7			
	nájezd do P7	$v \psi_{\max}$	výjezd P7
č	v_L [m.s ⁻¹]	$v(\psi_{\max})$ [m.s ⁻¹]	v_p [m.s ⁻¹]
001	17,82	14,08	15,68
002	16,47	11,73	17,09
003	16,37	11,93	18,15
004	17,44	11,15	16,79
005	16,04	13,21	20,95
006	17,34	14,34	20,21
007	18,56	15,61	19,98
průměr	17,15	13,15	18,41
smod.	0,83	1,50	1,85

Honda CBR 600RR

Měření u motocyklu Honda CBR 600RR nemohlo být nakonec vyhodnoceno, protože po prvním pokusu došlo pravděpodobně k výpadku GPS signálu. Došlo tedy k ovlivnění dat o rychlosti i úhlu klopení a vzorky bylo nutné vyřadit. Jako příklad špatného měření lze uvést, že rychlost stojícího motocyklu vycházela na 18 m/s.

Yamaha XT660X

U tohoto motocyklu se nepovedlo změřit ani jeden vzorek, protože při každém měření došlo k úplnému zablokování počítače, který musel být následně vyrestartován přes spouštěcí tlačítko. Pravděpodobně to bude způsobeno příliš velkými vibracemi tohoto motocyklu, který je konstruován pro jízdu v terénu. Na obrázku 56 je znázorněn výpadek notebooku, který zaznamenal na video motocyklista jedoucí za měřícím jezdcem.



Obrázek 56: Výpadek měřící techniky u motocyklu Yamaha XT660X

7.1.6 Výsledky měření

Pro každý motocykl bylo změřeno pouze 7 pokusů. Protože se občas vyskytovaly chyby při měření, bylo nutné pokusy opakovat a ochota jezdců k účasti na měření velmi rychle klesala. Výsledky náklonů pro všechny oblouky byly pro jednotlivé motocykly sepsány do tabulek 8, 9 a 10. Červené hodnoty v tabulkách byly z výpočtů průměrů a směrodatných odchylek odstraněny, protože se velmi odchylovaly od ostatních hodnot. Tyto výrazně nižší hodnoty ve všech tabulkách jsou způsobeny pomalejší jízdou vozidel před motocyklisty, protože měření bylo prováděno za plného provozu. Kvůli zjednodušení vyhodnocování měli jezdci zakázáno předjíždět v obloucích.

Z tabulky 8 je patrné, že jezdec 1 je začátečník, protože v každém oblouku má poměrně velké rozpětí úhlů klopení. Na motocyklu jezdí velmi krátce a ještě zcela nezná jeho chování. Naopak jezdec 2 má největší zkušenosti a na motocyklu jezdí nejdéle ze všech. Důkladně zná chování svého motocyklu, a proto se odvážil dělat větší náklony. Téměř ve všech obloucích je vidět postupné zlepšení (viz tabulka 9). Jezdec 3 podával poměrně stabilní výkony a ve většině oblouků je vidět malé zlepšování s dalšími jízdami (viz tabulka 10).

Naměřené hodnoty u jezdce 4 se bohužel nedaly využít kvůli ztrátě signálu GPS, při které došlo k ovlivnění důležitých veličin. Žádný z pokusů u jezdce 5 nebyl zaznamenán nejspíš z důvodu velkých vibrací motocyklu, které způsobovaly „zamrznutí“ počítače.

Tabulka 8: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro motocykl Suzuki GSX650

	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$
001	26,36	45,00	41,52	26,38	27,39	19,50	27,79	20,66	25,94	24,50	16,43	20,91
002	26,73	21,02	21,63	18,33	7,82	25,37	27,74	28,59	29,89	21,88	18,92	19,36
003	27,21	20,52	7,68	26,27	27,12	29,04	21,72	24,17	25,18	26,11	19,71	25,77
004	24,19	21,66	26,25	23,71	22,27	22,71	25,38	25,19	26,74	24,95	20,40	20,96
005	28,89	18,15	27,30	28,73	25,61	31,57	24,62	24,86	26,18	24,99	23,45	24,76
006	27,12	20,14	26,74	32,46	28,60	33,06	26,35	26,71	30,73	27,11	22,72	29,63
007	25,55	19,85	24,76	30,05	25,33	29,28	26,49	22,78	28,86	19,96	18,42	30,75
průměr	26,58	20,22	25,34	27,93	26,05	29,66	26,40	24,71	27,65	25,53	20,60	24,59
smod.	1,36	1,10	2,04	2,85	2,02	2,61	1,15	2,38	2,00	0,95	1,87	4,12

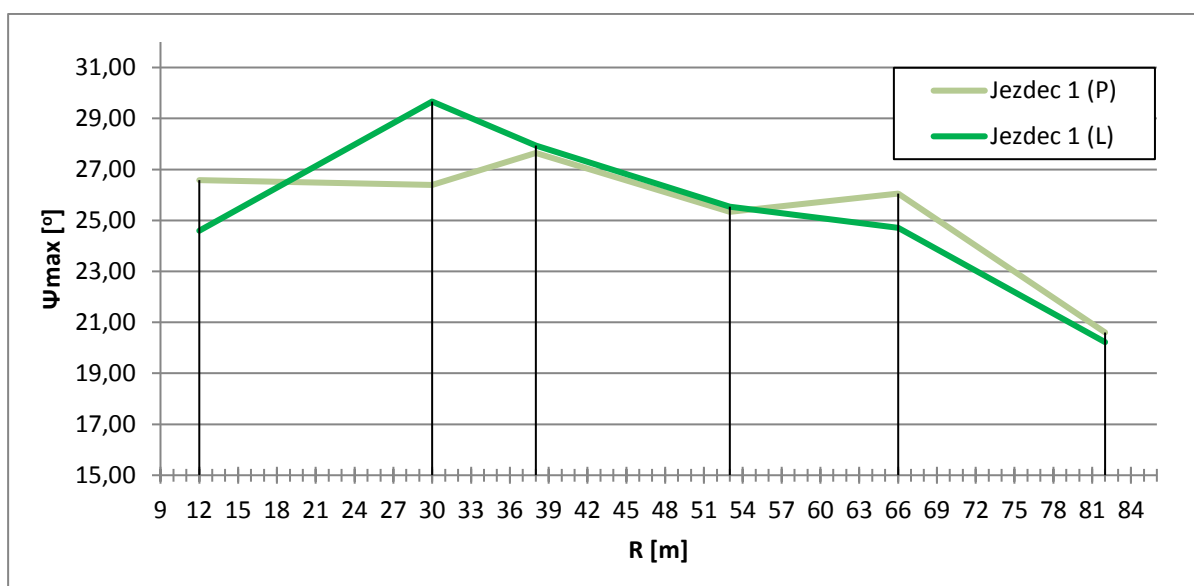
Tabulka 9: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro motocykl Yamaha FZS1000 Fazer

	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$
001	30,05	29,69	27,56	32,16	31,41	32,78	30,73	33,48	32,58	38,18	34,39	21,56
002	35,66	33,69	32,28	36,16	32,67	26,59	31,36	39,15	36,99	36,44	36,30	33,27
003	25,91	30,11	19,11	25,87	19,35	37,00	32,02	39,79	32,45	31,30	33,99	30,72
004	31,77	36,09	35,70	22,56	18,37	35,94	33,11	41,86	35,64	42,40	33,55	32,72
005	33,40	18,05	23,21	38,77	30,12	26,13	34,56	38,12	38,19	26,78	19,76	30,74
006	36,48	38,07	40,14	39,59	38,30	39,32	38,27	40,27	36,46	33,75	36,70	32,79
007	41,04	39,04	37,31	34,06	21,36	39,32	36,31	45,51	37,06	35,24	36,79	32,70
průměr	34,73	34,45	34,60	36,15	33,13	36,87	33,77	40,78	35,62	36,22	35,29	32,16
smod.	3,56	3,63	4,34	2,79	3,12	2,43	2,56	2,40	2,09	3,50	1,34	1,03

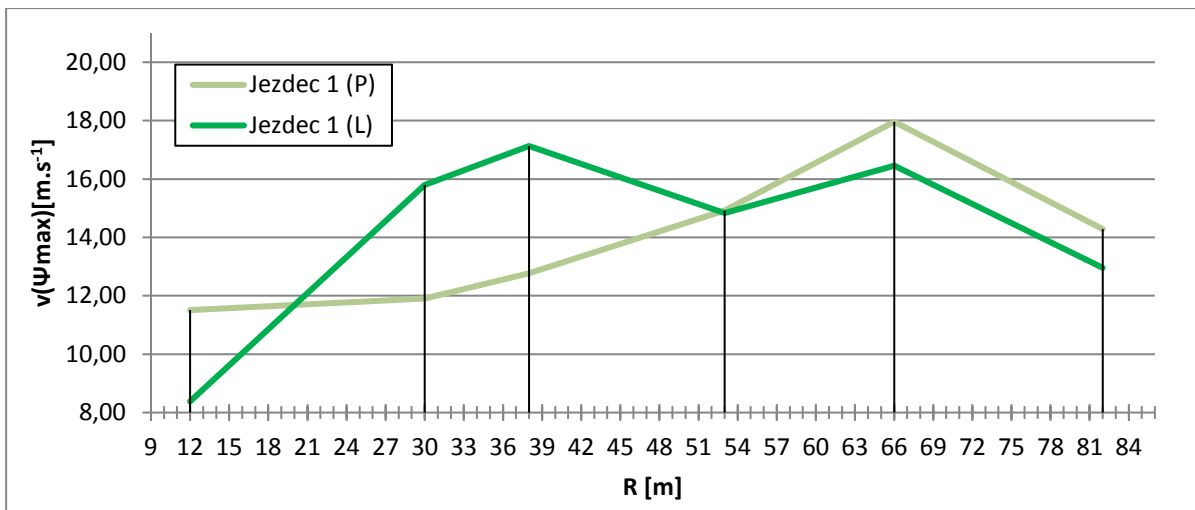
Tabulka 10: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro motocykl Honda CB600S Hornet

	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]	Ψ_{\max} [°]
001	30,89	27,64	28,24	33,00	26,41	30,04	32,35	31,61	30,25	27,13	29,45	29,13
002	30,66	23,61	19,30	32,54	24,40	29,37	33,85	33,94	33,28	29,95	28,83	20,29
003	25,40	30,05	33,98	34,06	29,06	30,26	31,81	32,31	33,02	19,11	22,80	27,79
004	32,53	29,88	31,86	34,58	26,80	30,25	30,70	21,42	24,05	31,01	30,35	30,84
005	30,89	28,42	33,02	34,84	31,36	31,78	28,44	29,84	30,34	31,99	35,36	27,00
006	33,03	28,57	34,95	35,65	31,31	31,27	32,68	27,09	29,22	27,20	23,92	31,52
007	34,03	29,52	34,20	34,92	32,99	31,55	30,63	33,48	29,87	29,93	29,21	31,26
průměr	32,01	29,01	32,71	34,23	28,90	30,65	31,49	31,38	31,00	29,54	30,64	29,59
smod.	1,27	0,87	2,22	1,03	2,91	0,83	1,63	2,33	1,57	1,82	2,41	1,74

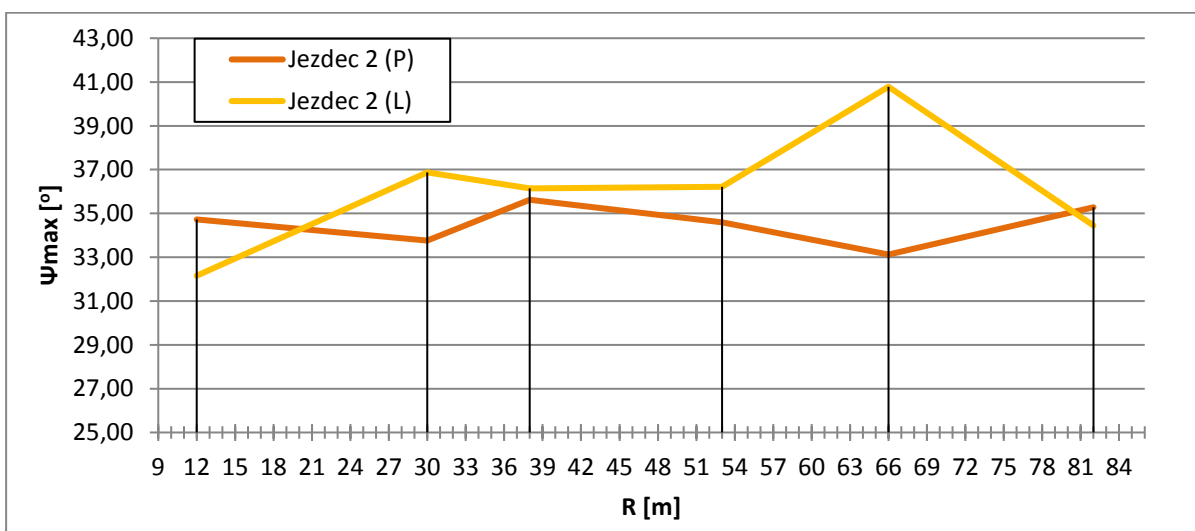
Výsledné průměrné hodnoty úhlů klopení pro jednotlivé jezdce byly také zpracovány do grafické podoby na obrázcích 57, 59 a 61. Stejně tak byly vytvořeny grafy pro průměrnou rychlost v maximálním úhlu klopení v jednotlivých obloucích (obrázek 58, 60, 62). Označení P v legendě značí pravotočivé oblouky a L značí levotočivé. V grafu 57 týkající se prvního jezdce je zřetelně vidět podobný průběh křivek pro levotočivé i pravotočivé oblouky. Dle mého názoru je to způsobeno tím, že tento jezdec je velmi nezkušený, a proto dělá nejmenší úhel klopení ze všech a rozdíl v náklonu na levou a pravou stranu se stírá. U druhého jezdce v grafu 59 jsou vidět větší úhly klopení na levou stranu. Jezdec sám vypověděl, že se cítí jistější při náklonu na tuto stranu. U jezdce 3 v grafu 61 je vidět celkem pravidelné střídání levotočivých a pravotočivých oblouků. Lze tudíž usoudit, že záleží na tom, po které polovině vozovky motocyklista oblouk projíždí. Z grafů týkajících se rychlosti je vidět stoupající tendence pro větší poloměry oblouků.



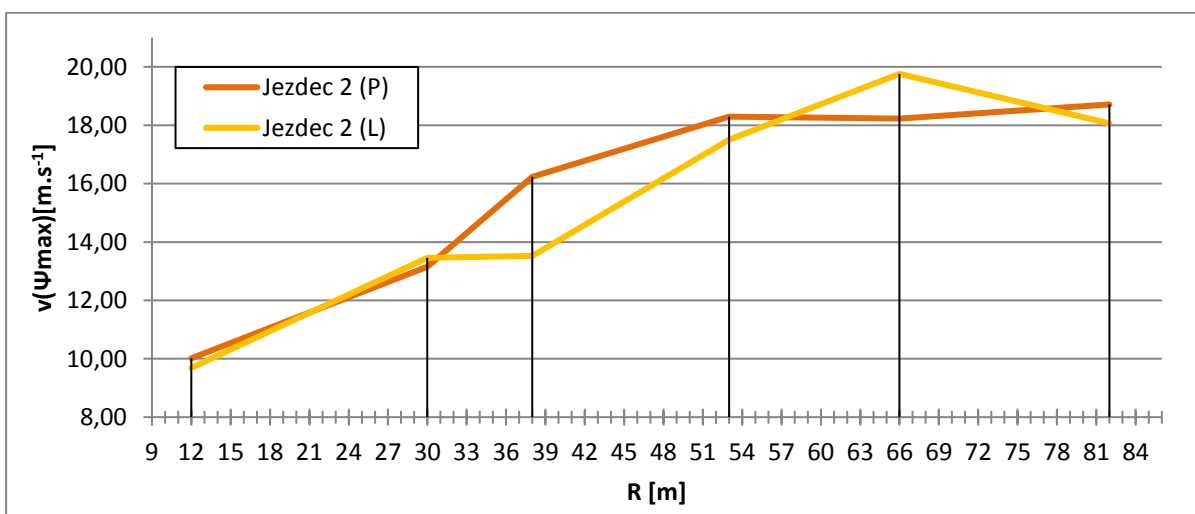
Obrázek 57: Průměrná hodnota Ψ_{\max} v obloucích - jezdec 1 (Suzuki GSX650)



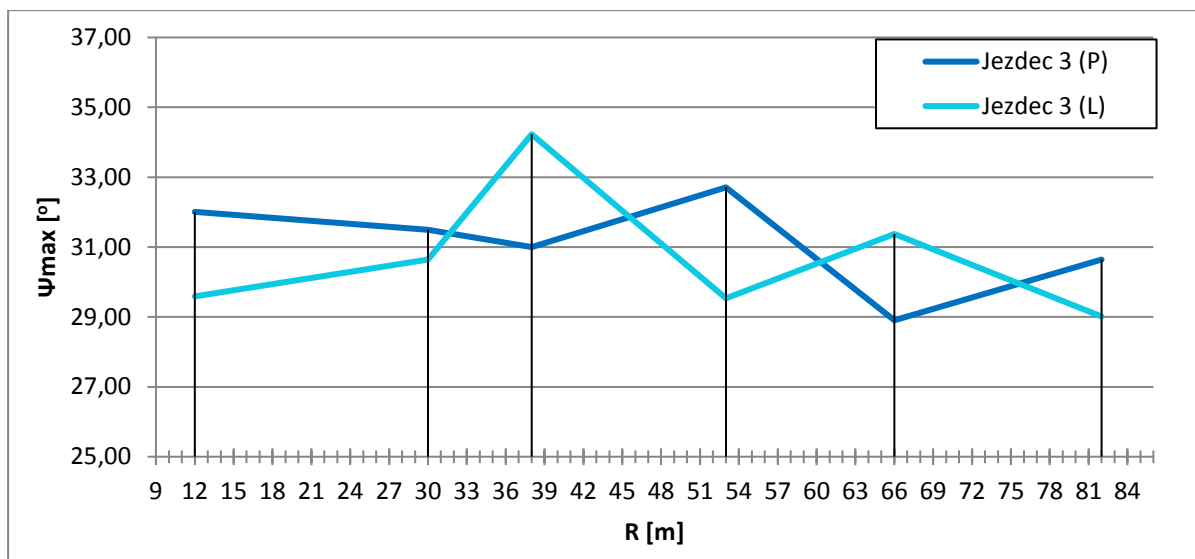
Obrázek 58: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 1 (Suzuki GSX650)



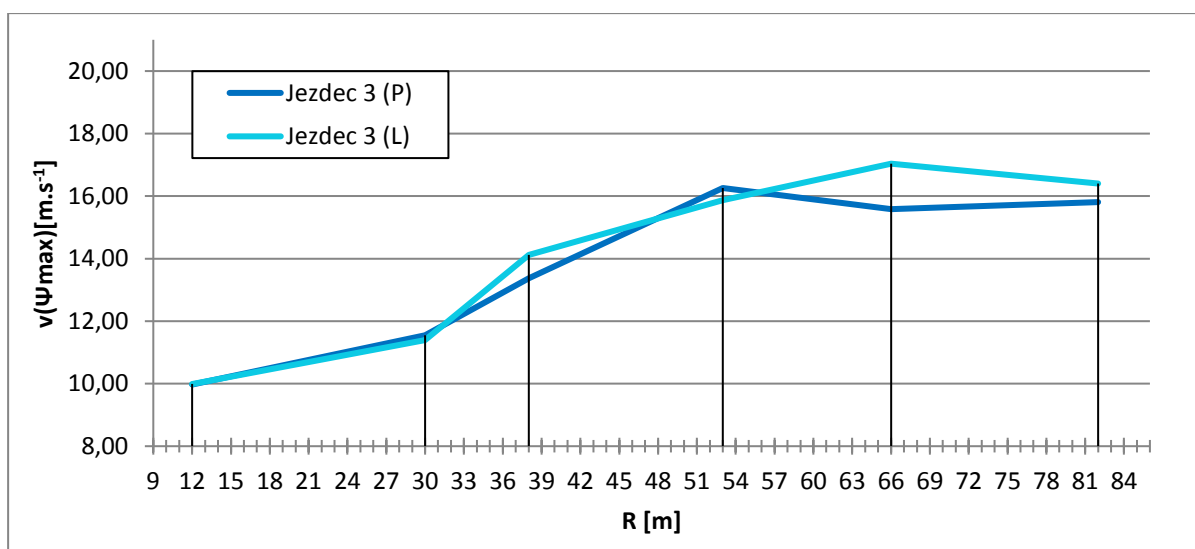
Obrázek 59: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 2 (Yamaha FZS1000 Fazer)



Obrázek 60: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 2 (Yamaha FZS1000 Fazer)

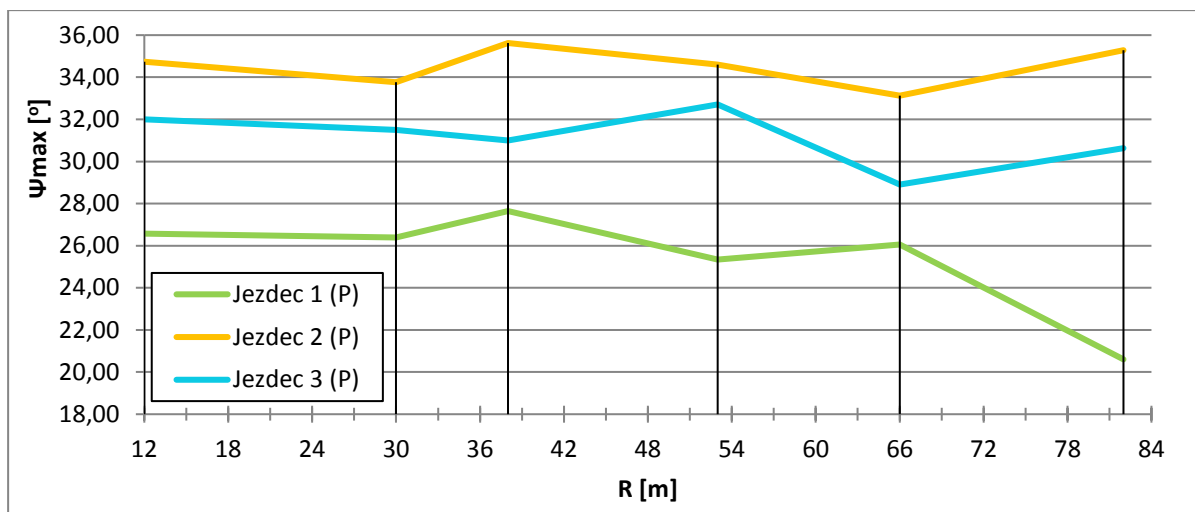


Obrázek 61: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3 (Honda CB600S Hornet)

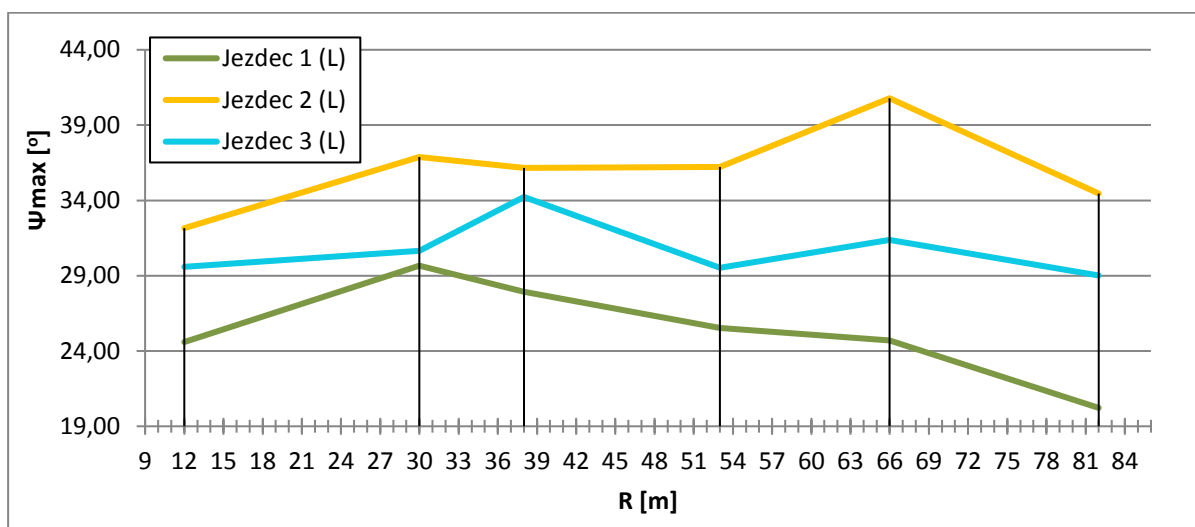


Obrázek 62: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3 (Honda CB600S Hornet)

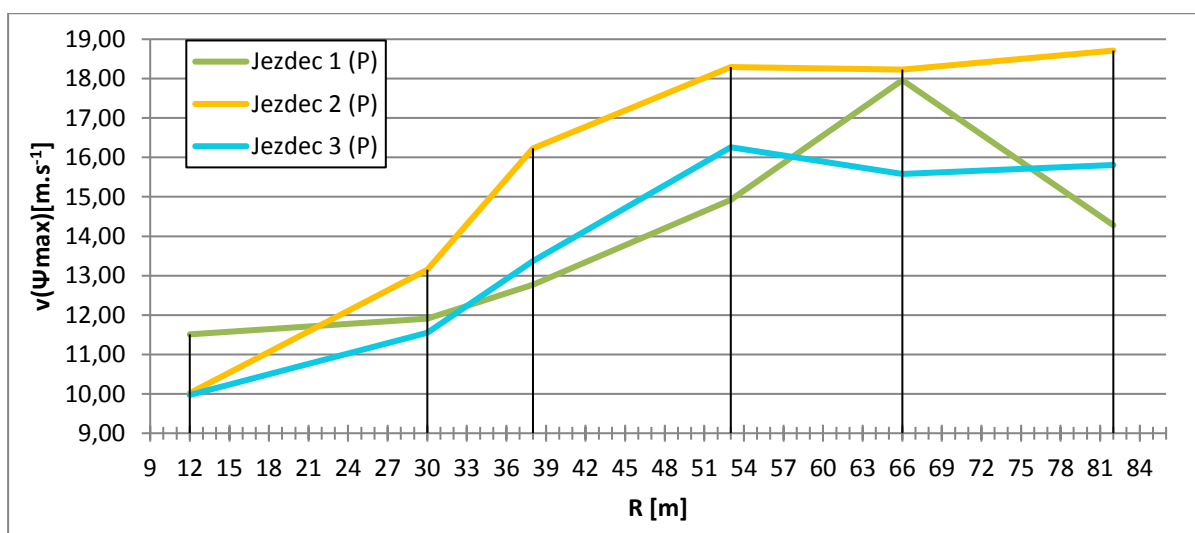
Pro vzájemné porovnání jezdců byly vytvořeny grafy na obrázcích 63 - 66. U vyhodnocení pravotočivých i levotočivých oblouků lze jasně stanovit, že zkušenost jezdců hraje největší roli. Nejvyšších úhlů klopení dosahoval jezdec 2, který má největší praxi v řízení. O něco menší náklony dělal jezdec 3, který je méně zkušený. Nezkušený jezdec 1 dosahoval nejmenších náklonů pod 30°. V grafech 65 a 66, které porovnávají průměrnou rychlost v maximálním úhlu klopení, je také vidět nárůst rychlosti spolu se zvětšujícím se poloměrem oblouku.



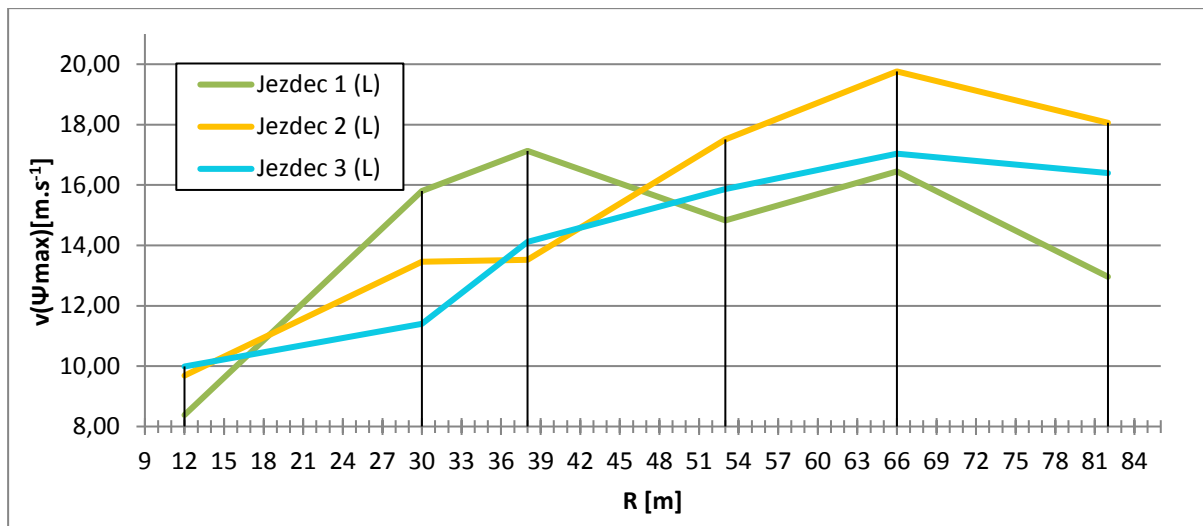
Obrázek 63: Porovnání výsledných úhlů kopení pravotočivých oblouků pro všechny jezdce



Obrázek 64: Porovnání výsledných úhlů kopení levotočivých oblouků pro všechny jezdce



Obrázek 65: Porovnání výsledných rychlostí v pravotočivých obloucích pro všechny jezdce



Obrázek 66: Porovnání výsledných rychlostí v levotočivých obloucích pro všechny jezdce

Z naměřených hodnot vyplývá, že zkušenosti a znalost chování vlastního motocyklu hraje velmi důležitou roli při jízdě v oblouku. Dalším faktorem ovlivňujícím jízdu během měření byl poměrně kvalitní povrch bez znečištění a dobré klimatické podmínky. Úsek pro měření úhlů klopení byl také poměrně přehledný, což pro motocyklisty hraje velkou roli, protože dobře vidí „co je za zatáčkou“. Všichni jezdci byli v dobré fyzické i psychické kondici, ale kvůli projíždění stále stejného úseku začínali být rychle zrudnutí a unavení.

7.2 Experiment 3 - porovnání jízdních vlastností stejného motocyklu v oblouku pro dva různé jezdce

Předmětem experimentu je měření úhlů klopení různých jezdců na stejném motocyklu. Po umístění snímačů na motocykl, budou jezdci opakovaně projíždět vybraný úsek s šesti pravotočivými a šesti levotočivými oblouky.

7.2.1 Lokalita experimentu

Stejná jako pro předchozí experiment. Viz 7.1 Lokalita experimentu.

7.2.2 Klimatické podmínky

Během měření experimentu 3 měli jezdci téměř stejné klimatické podmínky. Detaily viz tabulka 11.

Tabulka 11: Klimatické podmínky během měření experimentu 3

	datum	čas	teplota	počasí	rychlost větru
Jezdec 2	28.9.2015	14:35-15:15	17°C	skoro jasno	7-14 km/h
Jezdec 3	28.9.2015	15:20-16:10	17°C	skoro jasno	10-14 km/h

7.2.3 Umístění snímačů a nastavení přístroje

Umístění snímačů a nastavení přístroje bylo stejné jako v kapitole 5.2 Metodika umístění snímačů pro všechny motocykly.

7.2.4 Jezdci a testovací motocykl

Pro měření tohoto experimentu byli zvoleni jezdci 2 a 3 z experimentu předchozího a jako testovací motocykl byl vybrán motocykl jezdce 3 - Honda CB600S Hornet. Detaily viz kapitola 7.1.4 Jezdci a jejich motocykly.

7.2.5 Naměřené hodnoty

Pro každého jezdce bylo naměřeno:

- 5x průjezd úsekem pro měření úhlů klopení.

Měření úhlů klopení v tomto experimentu nebylo ovlivněno sklonovými poměry trasy, a proto můžeme provést transformaci souřadnic dle kapitoly 5.5 Postup při zpracování naměřených dat, a vypočítat příčnou složku zrychlení v ose y .

Tabulky 49 - 64 v příloze 2 platí pro jezdce 2 a 65 - 80 pro jezdce 3.

7.2.6 Výsledky měření

Výsledky náklonů pro všechny oblouky jsou pro jezdce 2 uvedeny v tabulce 12 a pro jezdce 3 v tabulce 13. Přestože motocykl Honda CB600S Hornet vlastní jezdec 3, dělal s ním jezdec 2 větší náklony. Zde hrají roli dlouholeté zkušenosti s různými motocykly. Jezdec 2 také najezdí ročně mnohem více kilometrů. Z výsledků je patrné, že postupně zkoumal chování motocyklu a zlepšoval se. Je také nutné dodat, že motocykl Honda CB600S Hornet je konstrukčně velmi podobný jeho motocyklu Yamaha FZS1000 Fazer a ani jejich dynamické vlastnosti se příliš neliší. Jezdec 3 si nechával oproti jezdci 2 v náklonech větší bezpečnostní rezervu.

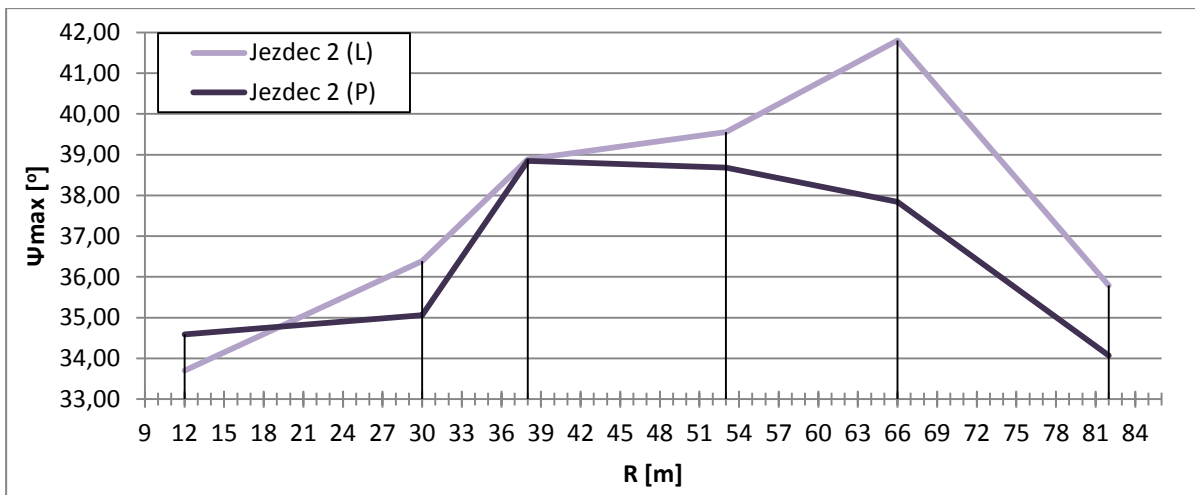
Tabulka 12: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro jezdce 2

	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$
001	27,75	32,66	29,79	35,86	33,68	33,82	32,21	39,38	30,40	31,85	18,64	31,02
002	31,33	36,24	37,35	36,79	37,21	36,48	33,37	43,22	38,30	36,78	30,75	31,95
003	34,17	35,28	36,57	37,59	39,60	35,71	36,78	41,05	37,68	41,13	25,44	34,90
004	34,66	34,21	39,35	42,54	38,65	37,86	36,59	43,43	39,77	40,30	35,65	37,00
005	38,21	40,56	41,45	41,66	40,08	38,09	36,35	41,93	39,63	40,01	35,80	33,64
průměr	34,59	35,79	38,68	38,89	37,84	36,39	35,06	41,80	38,85	39,56	34,07	33,70
smod.	2,45	2,66	1,89	2,69	2,30	1,56	1,89	1,49	0,88	1,65	2,35	2,13

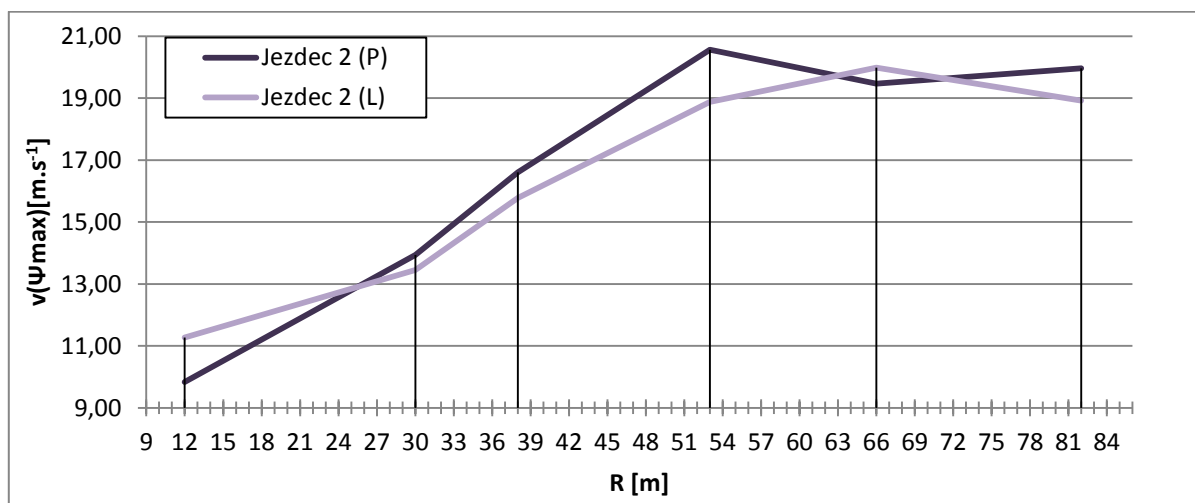
Tabulka 13: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro jezdce 3

	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$
001	30,85	32,08	33,40	34,76	33,23	29,90	33,12	31,12	33,67	28,33	28,59	32,22
002	31,01	19,24	23,83	24,78	18,70	28,76	30,90	28,44	33,14	28,91	19,43	29,24
003	32,67	30,05	33,47	37,45	31,02	32,92	32,27	30,79	33,21	21,48	17,56	26,75
004	32,61	29,63	35,61	34,18	26,75	31,73	34,59	34,55	31,77	33,18	30,09	32,47
005	32,81	30,78	32,70	34,97	35,44	31,02	33,31	34,79	35,38	31,20	30,39	31,62
průměr	31,99	30,64	33,80	35,34	31,61	30,87	32,84	31,94	33,43	30,41	29,69	31,39
smod.	0,87	0,93	1,09	1,25	3,21	1,44	1,22	2,42	1,16	1,93	0,79	1,28

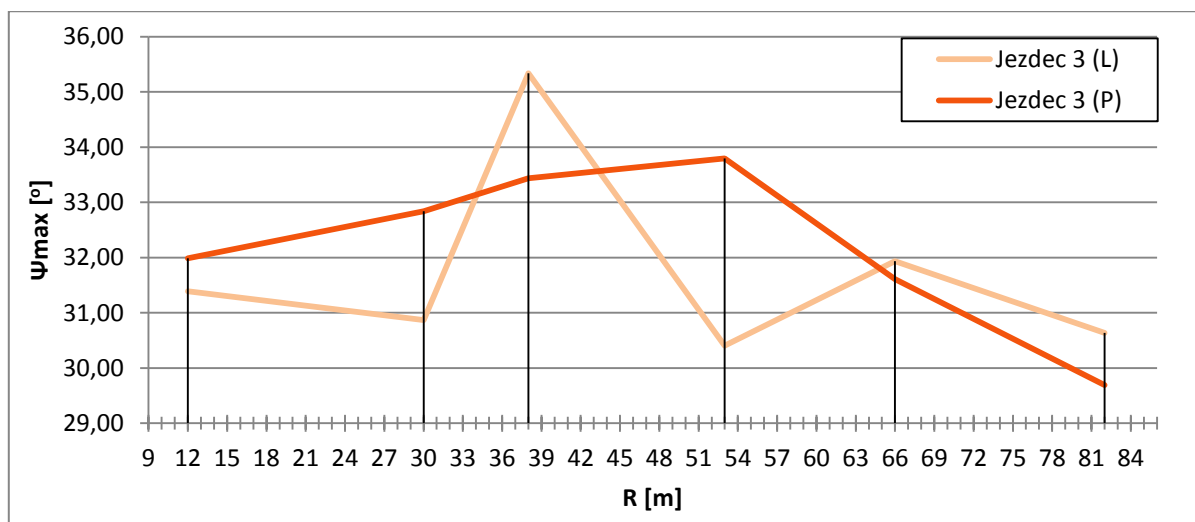
I v tomto experimentu byly pro každého jezdce vytvořeny grafy znázorňující průměrné úhly klopení v levotočivých a pravotočivých obloucích v závislosti na poloměru (obrázek 67 a 69) a také grafy pro průměrné hodnoty $v(\Psi_{\max})$ v obloucích (obrázek 68 a 70). Výsledné hodnoty byly také sloučeny do společných grafů (obrázek 71 - 74), kde se znovu potvrdily výsledky z předchozího experimentu. S rostoucím poloměrem oblouků se rychlost motocyklu zvyšuje, záleží, zda je oblouk projížděn jako levotočivý nebo pravotočivý a zkušenost jezdce hraje největší roli. Novým poznatkem je, že zkušenost s vlastním motocyklem hraje menší roli než zkušenost celková nasbíraná pro jakékoli motocykly. Jezdec 2 dosahoval větších úhlů klopení, přestože to nebyl jeho motocykl.



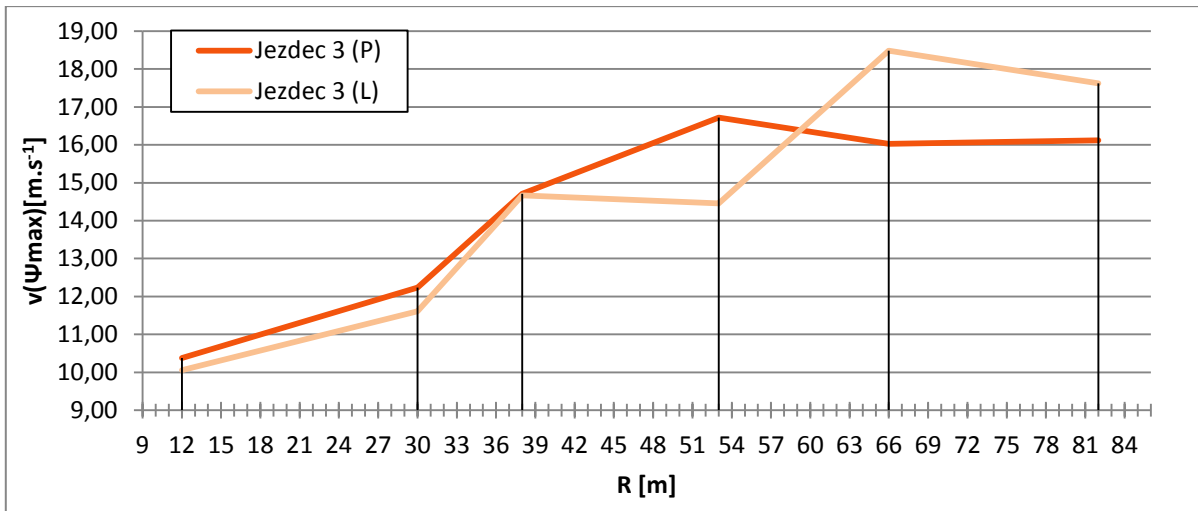
Obrázek 67: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 2



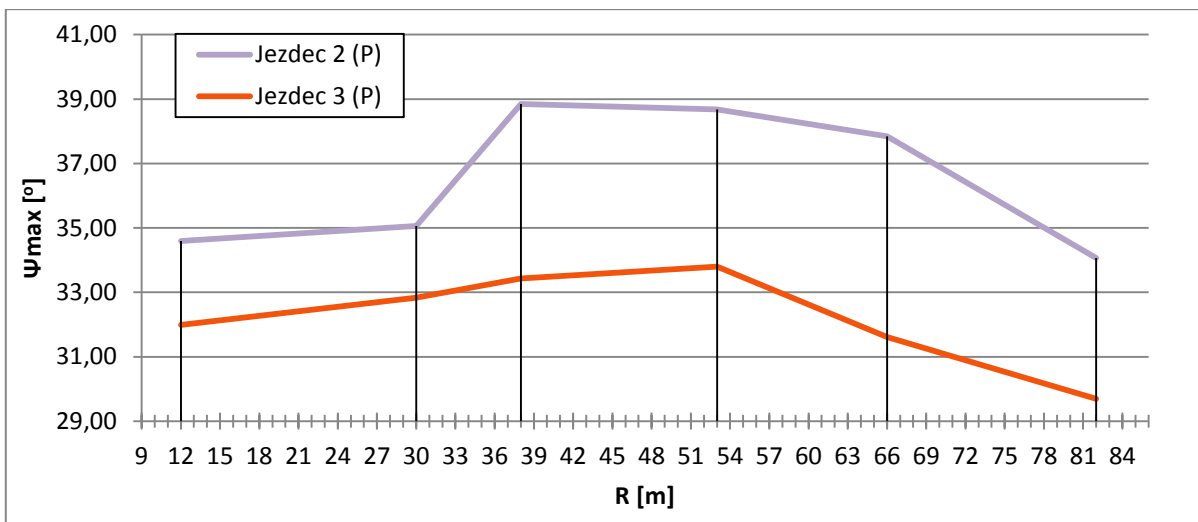
Obrázek 68: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 2



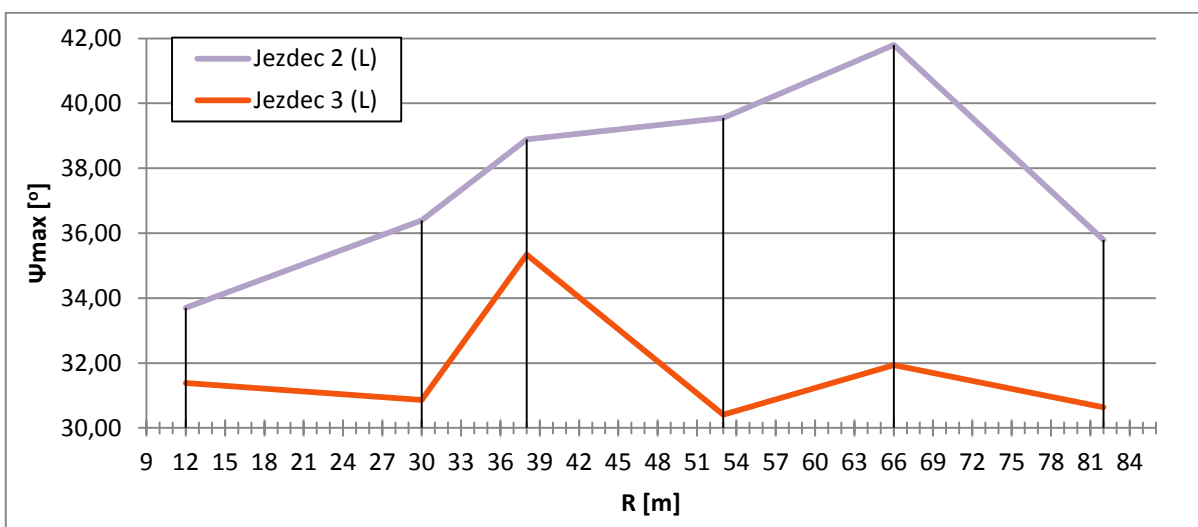
Obrázek 69: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3



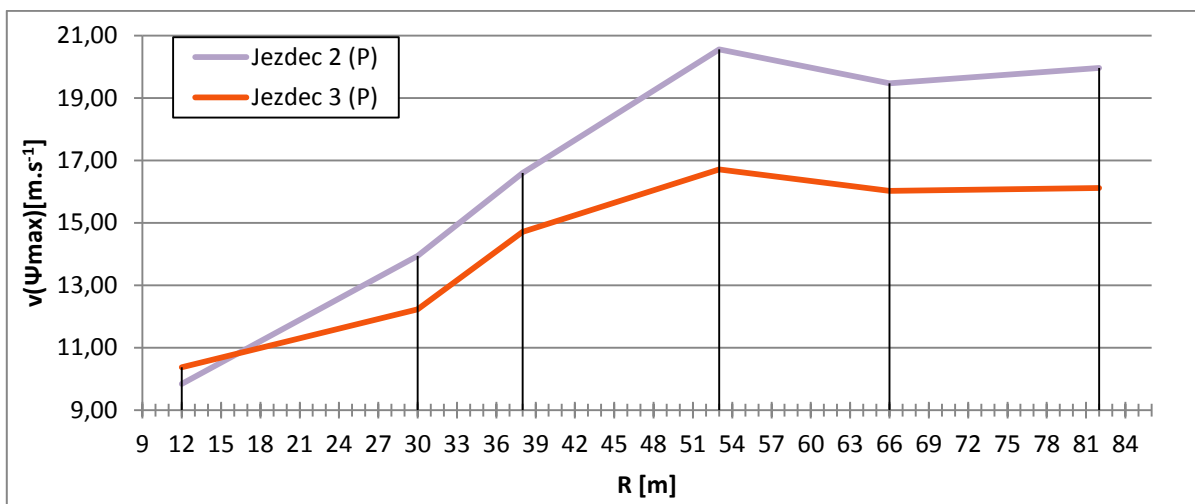
Obrázek 70: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3



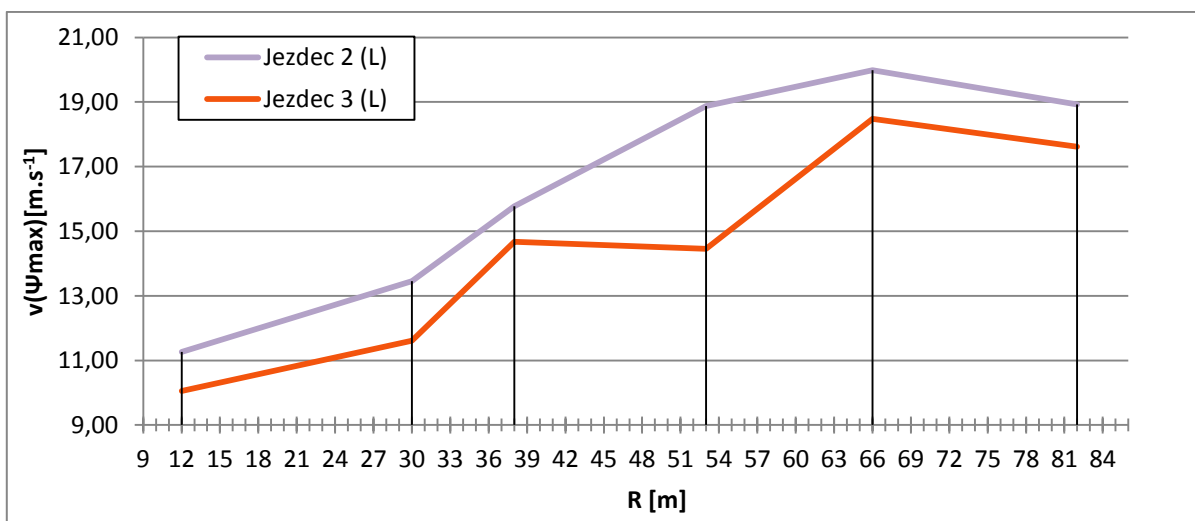
Obrázek 71: Porovnání výsledných úhlů kopení pravotočivých oblouků pro oba jezdce



Obrázek 72: Porovnání výsledných úhlů kopení levotočivých oblouků pro oba jezdce



Obrázek 73: Porovnání výsledných rychlostí v pravotočivých obloucích pro oba jezdce



Obrázek 74: Porovnání výsledných rychlostí v levotočivých obloucích pro oba jezdce

7.3 Experiment 4 - porovnání jízdních vlastností motocyklu a jezdce v oblouku ve dvou různých dnech

Předmětem experimentu je měření úhlů klopení stejného jezdce na vlastním motocyklu ve dvou různých dnech. Po umístění snímačů na motocykl, bude jezdec opakovaně projíždět vybraný úsek s šesti pravotočivými a šesti levotočivými oblouky.

7.3.1 Lokalita experimentu

Stejná jako v předchozích experimentech. Viz 7.1 Lokalita experimentu.

7.3.2 Klimatické podmínky

Měření probíhalo ve dvou různých dnech a kromě rychlosti větru byly obdobné klimatické podmínky. Detaily viz tabulka 14.

Tabulka 14: Klimatické podmínky během měření experimentu 4

	datum	čas	teplota	počasí	rychlost větru
pokus 1	21.9.2015	18:00-18:50	16°C	skoro jasno	3km/h
pokus 2	28.9.2015	15:20-16:10	17°C	skoro jasno	10-14 km/h

7.3.3 Umístění snímačů a nastavení přístroje

Umístění snímačů a nastavení přístroje bylo stejné jako v kapitole 5.2 Metodika umístění snímačů pro všechny motocykly.

7.3.4 Jezdec a testovací motocykl

Pro měření tohoto experimentu byl zvolen jezdec 3 z předchozích experimentů a jako testovací motocykl byl vybrán motocykl Honda CB600S Hornet. Detaily viz kapitola 7.1.4 Jezdci a jejich motocykly.

7.3.5 Naměřené hodnoty

Pro každý pokus bylo naměřeno:

- 7x průjezd úsekem pro měření úhlů klopení.

Měření úhlů klopení v tomto experimentu nebylo ovlivněno sklonovými poměry trasy, a proto můžeme provést transformaci souřadnic dle kapitoly 5.5 Postup při zpracování naměřených dat, a vypočítat příčnou složku zrychlení v ose y .

Naměřené hodnoty uvedené v tabulkách 81 - 96 v příloze 3 platí pro pokus 2. Tyto hodnoty budou porovnávány s pokusem 1, který je uveden v tabulkách 33 - 48 v příloze 1.

7.3.6 Výsledky měření

Výsledky náklonů pro všechny oblouky jsou pro pokus 1 uvedeny v tabulce 15 a pro pokus 2 v tabulce 16. Oba pokusy od sebe dělí přesně týden a z tabulek i z grafů (obrázky 75 - 82) je patrné, že příliš velký rozdíl v náklonech nebyl. Druhý pokus má hodnoty úhlů klopení

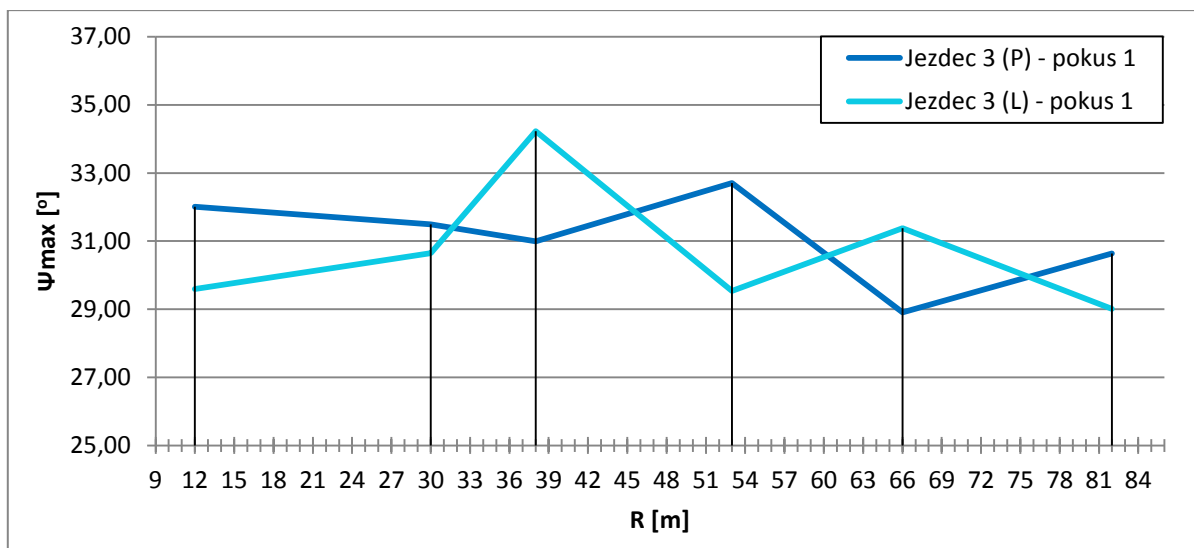
v levotočivých obloucích o trochu vyšší (viz obrázek 79), ale to je pravděpodobně dáno příznivější denní dobou. První pokus byl totiž měřen v podvečer, kdy už byla mírně zhoršená viditelnost. Úhel klopení v pravotočivých obloucích je téměř shodný pro oba pokusy. Časový odstup zkoumaný v tomto experimentu tedy nehrál žádnou roli. I když jezdec mezi měřeními často jezdil na motocyklu, není vidět nějaké výrazné zlepšení. Z grafů týkajících se průměrné rychlosti lze vidět, že všechny oblouky byly projížďeny téměř shodnou rychlostí v obou pokusech. Vzájemně se rychlost jízdy liší maximálně o 2 m/s a úhel klopení o 3°.

Tabulka 15: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro pokus 1

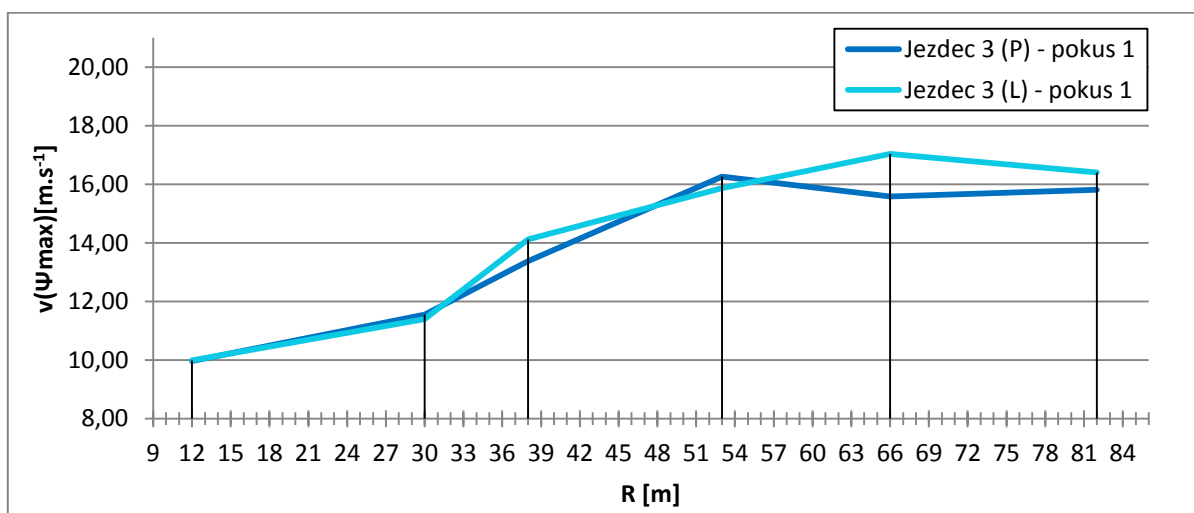
	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$
001	30,89	27,64	28,24	33,00	26,41	30,04	32,35	31,61	30,25	27,13	29,45	29,13
002	30,66	23,61	19,30	32,54	24,40	29,37	33,85	33,94	33,28	29,95	28,83	20,29
003	25,40	30,05	33,98	34,06	29,06	30,26	31,81	32,31	33,02	19,11	22,80	27,79
004	32,53	29,88	31,86	34,58	26,80	30,25	30,70	21,42	24,05	31,01	30,35	30,84
005	30,89	28,42	33,02	34,84	31,36	31,78	28,44	29,84	30,34	31,99	35,36	27,00
006	33,03	28,57	34,95	35,65	31,31	31,27	32,68	27,09	29,22	27,20	23,92	31,52
007	34,03	29,52	34,20	34,92	32,99	31,55	30,63	33,48	29,87	29,93	29,21	31,26
průměr	32,01	29,01	32,71	34,23	28,90	30,65	31,49	31,38	31,00	29,54	30,64	29,59
smod.	1,27	0,87	2,22	1,03	2,91	0,83	1,63	2,33	1,57	1,82	2,41	1,74

Tabulka 16: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro pokus 2

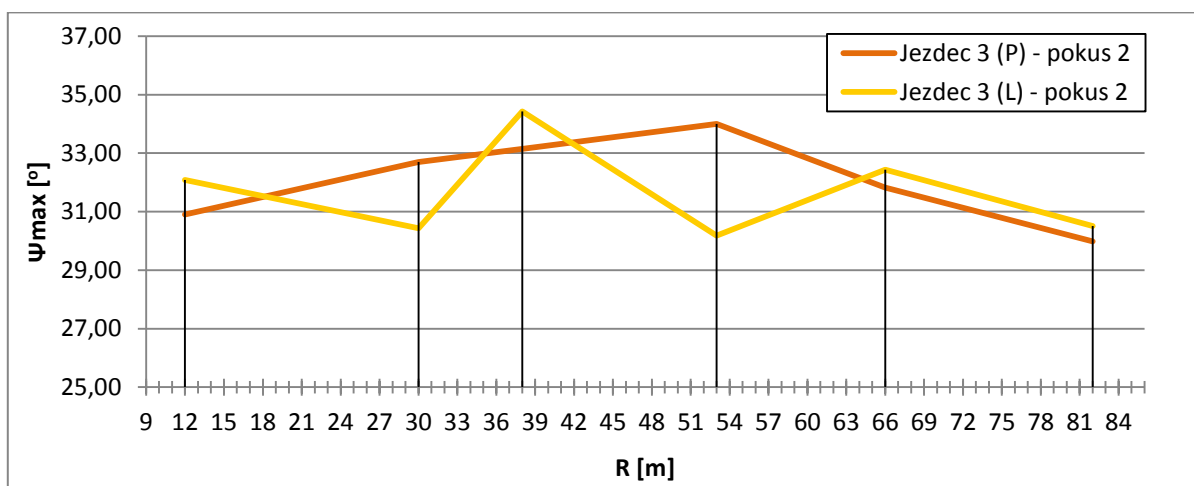
	P1	L2	P3	L4	P5	L6	P7	L8	P9	L10	P11	L12
č.	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$	$\Psi_{\max} [^\circ]$
001	30,85	32,08	33,40	34,76	33,23	29,90	33,12	31,12	33,67	28,33	28,59	32,22
002	31,01	19,24	23,83	24,78	18,70	28,76	30,90	28,44	33,14	28,91	19,43	29,24
003	32,67	30,05	33,47	37,45	31,02	32,92	32,27	30,79	33,21	21,48	17,56	26,75
004	32,61	29,63	35,61	34,18	26,75	31,73	34,59	34,55	31,77	33,18	30,09	32,47
005	32,81	30,78	32,70	34,97	35,44	31,02	33,31	34,79	35,38	31,20	30,39	31,62
006	27,27	16,61	26,06	29,37	21,11	27,02	31,99	32,76	29,53	29,25	18,25	25,07
007	29,09	29,98	34,83	35,85	32,69	31,68	32,71	34,61	35,30	30,21	30,86	34,89
průměr	30,90	30,50	34,00	34,43	31,83	30,43	32,70	32,44	33,14	30,18	29,98	32,09
smod.	1,93	0,87	1,06	2,49	2,90	1,87	1,07	2,24	1,89	1,63	0,85	1,81



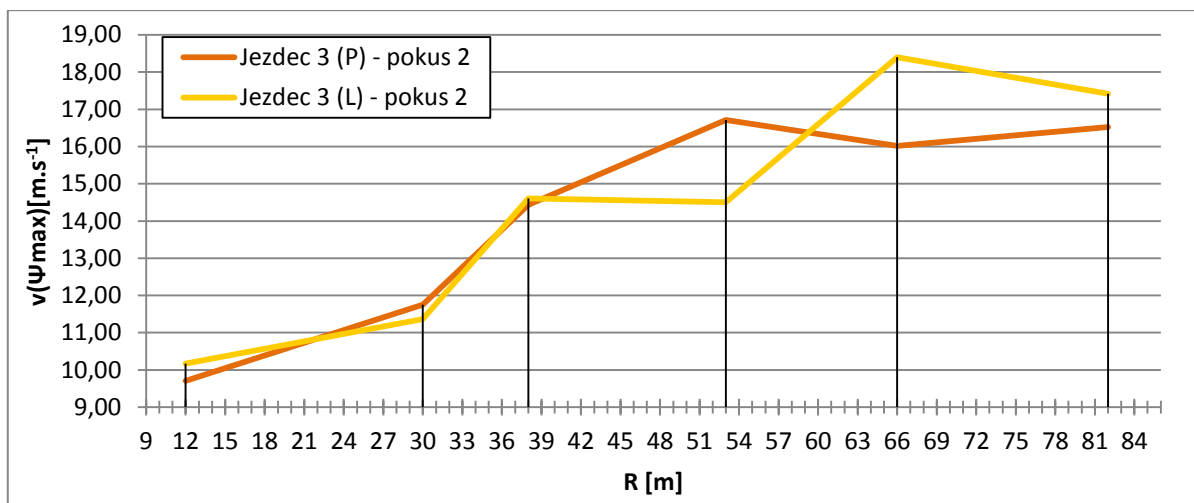
Obrázek 75: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3 (pokus 1)



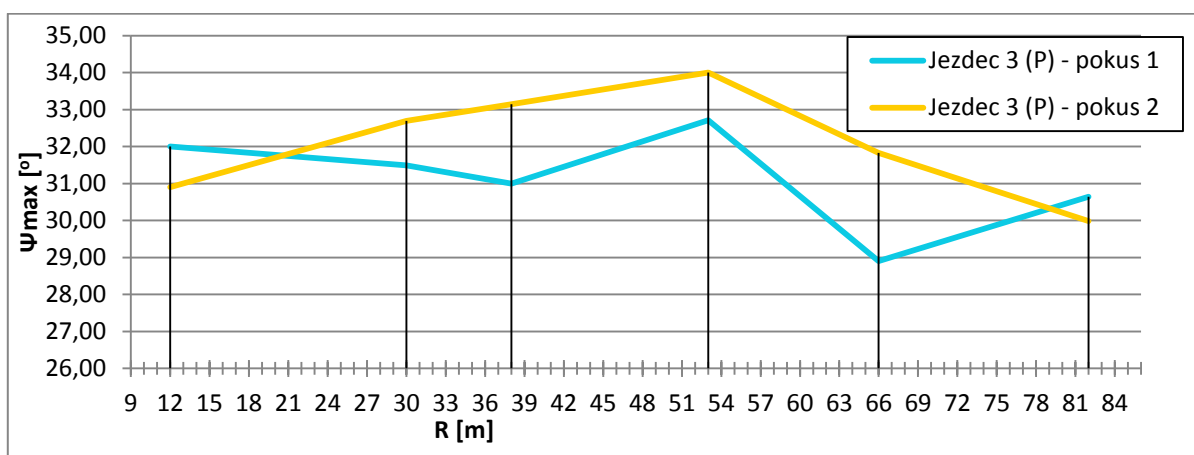
Obrázek 76: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3 (pokus 1)



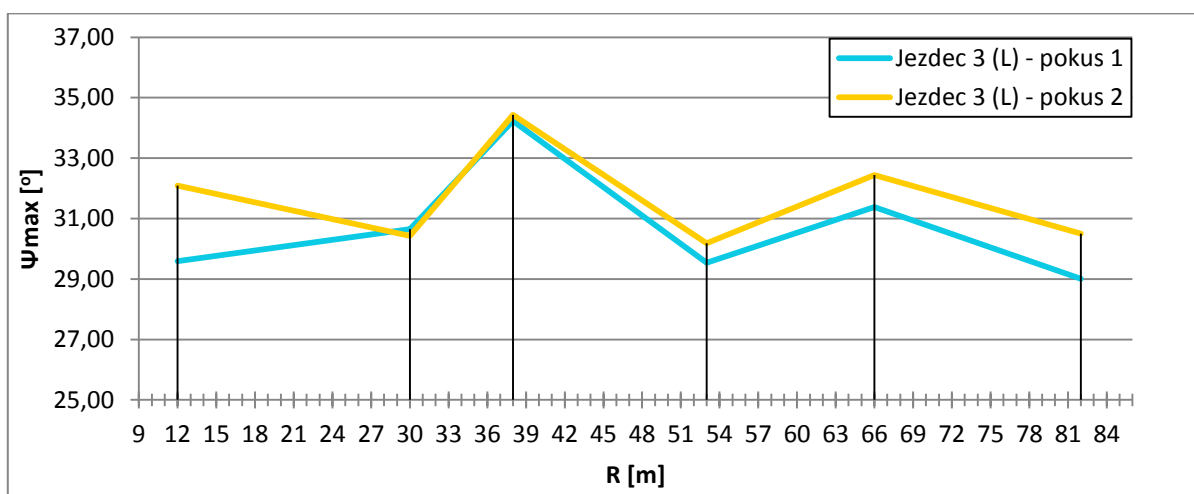
Obrázek 77: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3 (pokus 2)



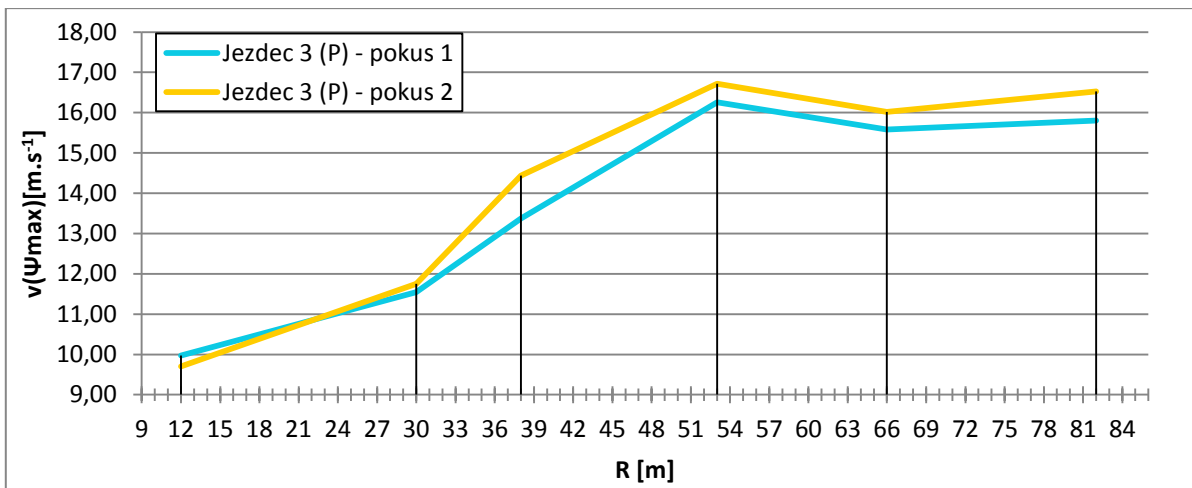
Obrázek 78: Průměrná hodnota $v(\Psi_{\max})$ v obloucích - jezdec 3 (pokus 2)



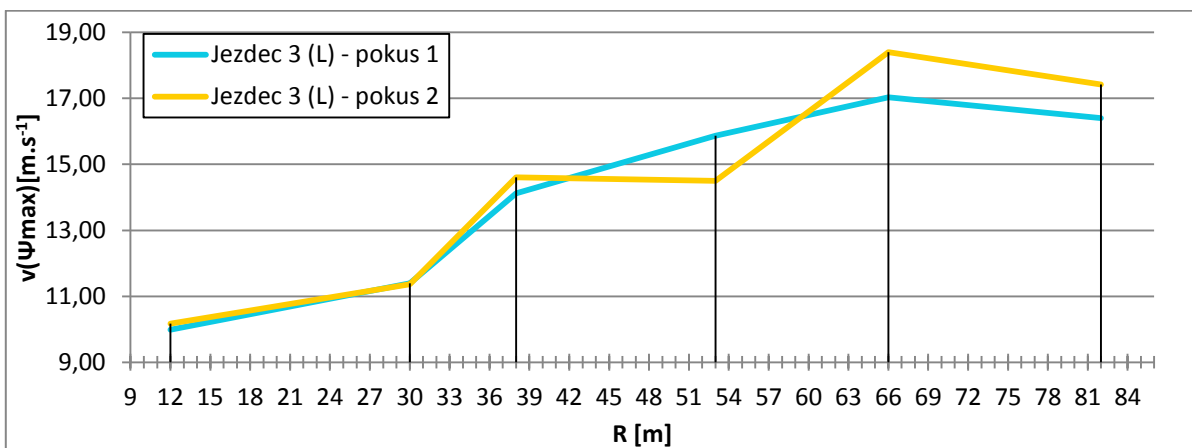
Obrázek 79: Porovnání výsledných úhlů kopení pravotočivých oblouků pro oba pokusy



Obrázek 80: Porovnání výsledných úhlů kopení levotočivých oblouků pro oba pokusy



Obrázek 81: Porovnání výsledných rychlostí v pravotočivých obloucích pro oba pokusy



Obrázek 82: Porovnání výsledných rychlostí v levotočivých obloucích pro oba pokusy

8 Závěr

V úvodní části diplomové práce „Jízda motocyklu v oblouku z pohledu soudního znaleství“ jsou řešeny statistiky úmrtí motocyklistů. V posledních letech tvoří úmrtí motocyklistů okolo 14 % ze všech úmrtí při dopravních nehodách. Motocyklisté patří do velmi rizikové skupiny, protože jsou v provozu díky velikosti motocyklu a jeho pohyblivosti lehce přehlédnutelní.

V další části práce byla provedena rešerše týkající se jízdní dynamiky jednostopých motorových vozidel se zaměřením na jízdu motocyklu v oblouku. Na motocykl nepůsobí jen odstředivá síla a gyroskopické momenty, ale také mnoho dalších faktorů jako např. technika jízdy jezdce, technický stav a znečištění vozovky, povětrnostní vlivy, adheze a zkušenosti jezdce apod. V práci byly také popsány jednotlivé jízdní styly a ideální linie průjezdu pro levotočivý i pravotočivý oblouk.

Na základě poznatků z bakalářské práce byl pro měření úhlů klopení motocyklů znovu vybrán přístroj XSENS MTi-G, který slouží k měření jízdní dynamiky. Výhodou tohoto snímače jsou jeho malé rozměry, avšak nevýhodou je, že musí být připojen k notebooku, do kterého se data ukládají. Další nevýhodou byly často se vyskytující chyby, kvůli kterým bylo měření přerušeno nebo negativně ovlivněno. Často docházelo ke ztrátě signálu GPS a velkým problémem je také chyba týkající se přenosu dat, která nebyla prozatím objasněna ani výrobcem. Metodika osazení motocyklu snímači stanovená v bakalářské práci byla následně ověřena hned v několika experimentech. U naměřených dat byl odstraněn vliv složky gravitačního zrychlení a provedena filtrace z důvodu odstranění šumů. K vyhodnocování a grafickému zpracování naměřených dat byl využíván převážně program National Instruments Diadem.

Předmětem měření prvního experimentu je porovnání shodnosti dat dvou snímačů XSENS MTi-G. Po umístění snímačů na motocykl Honda CB 600 S Hornet jezdec opakovaně projížděl vybraný úsek s několika levotočivými a pravotočivými oblouky. Z grafických výstupů bylo prokázáno, že data pro úhly klopení mají sice stejný průběh, ale velikostně se liší zejména v levotočivých obloucích. Z grafů dále vyplývá, že snímače sice byly na motocyklu vyrovnány, ale je patrný vzájemný posun úhlů klonění o 40°. Lze usoudit, že během nastavování snímače došlo k jeho špatnému automatickému vyrovnání a data ze snímače 2 nelze brát v úvahu. V každém případě byl pro všechny další experimenty využíván stále stejný snímač.

Předmětem druhého experimentu je měření úhlů klopení různých jezdců na jejich motocyklech. Třetí experiment se zaměřil na měření úhlů klopení různých jezdců na stejném motocyklu a poslední experiment se zabývá měřením úhlů klopení stejného jezdce na vlastním motocyklu ve dvou různých dnech. Po umístění snímačů na motocykl, jezdci opakovaně projížděli vybraný úsek s šesti pravotočivými a šesti levotočivými oblouky. Všechny naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a grafických výstupů.

Výsledky těchto experimentů ukázaly, že největší vliv na průjezd motocyklu obloukem mají celkové zkušenosti jezdce, a to dokonce větší než zkušenosti s jízdní dynamikou vlastního motocyklu. Nejzkušenější jezdec často dosahoval úhlů klopení okolo 40 °, což jinými jezdci už může být vnímáno jako nepříjemné a možná i nebezpečné. Lze také vyslovit hypotézu, že téměř každý motocyklista má silnější jednu stranu. Někteří jezdci jsou si jistější při průjezdu levotočivým a jiný pravotočivým obloukem. Z několika grafických výstupů bylo také zřetelné, že záleží na tom, zda motocyklista projíždí tutéž zatáčku jako levotočivou nebo jako pravotočivou v opačném směru. Toto ovšem bylo vidět spíše u zkušenějších jezdců. U začátečníka v experimentu 2 tento jev vidět nebyl, protože dosahoval přibližně stejných náklonů na obě strany, ale oproti ostatním jezdům o dost menších.

Byla také dokázána závislost mezi rychlostí v úhlu klopení a poloměrem oblouku. Z grafických výstupů bylo zřetelně vidět, že se zvětšujícím se poloměrem oblouku roste rychlost.

Dalším faktorem ovlivňujícím jízdu během měření byl poměrně kvalitní povrch bez znečištění a dobré klimatické podmínky během všech měření. Úsek pro měření úhlů klopení byl také poměrně přehledný, což pro motocyklisty hraje velkou roli, protože dobře vidí „co je za zatáčkou“. Všichni jezdci byli v dobré fyzické i psychické kondici, ale kvůli projíždění stále stejného úseku začínali být rychle znučení a unavení a tím pádem také neochotní k dalším jízdám. V každém případě lze tvrdit, že jízda obloukem se dá zlepšit pravidelným tréninkem.

Všechna změřená data jsou základem pro vytvoření budoucích přehledových tabulek pro znaleckou činnost. Je třeba rozšířit experiment o další jezdce a motocykly z důvodu zvýšení statistické hodnoty dat.

9 Seznam použité literatury

- [1] Motocykl. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-8]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Motocykl>
- [2] Ročenky dopravy. *Dopravní statistika ČR* [online]. 1998-2014 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <https://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>
- [3] HRADECKÁ, Lucie. *Jízdní vlastnosti motocyklu pro znaleckou činnost*. Praha 2013. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Ústav soudního znalectví v Praze.
- [4] Statistiky nehodovosti. *Policie ČR* [online]. 2007-2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>
- [5] COSSALTER, Vittore. *Motorcycle dynamics*. 2nd English ed., 2006. ISBN 978-1-4303-0861-4.
- [6] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 355 s. ISBN 80-239-1601-7.
- [7] KASANICKÝ, Gustáv. *Analýza nehod jednostopových vozidel*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000, 448 s. ISBN 80-710-0598-3.
- [8] JANSA, Vladimír. *Konstrukce motocyklu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960.
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ. *Motoškola: učebnice pro žadatele o řidičské oprávnění skupin AM, A1 a A*. 1. vyd. Praha: Vogel, 2002. ISBN 80-864-1128-1.
- [10] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů*. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [11] FIRST, Jiří. *Přednášky z předmětu Dynamika jízdy vozidel*. 2012
- [12] Precese. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Precese>
- [13] FOALE, Tony. *Motorcycle handling and chassis design: the art and science.*, 2006. ISBN 9788493328634.
- [14] *Dokonalá jízda na motocyklu*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 2003, 212 s. ISBN 80-723-2199-4.
- [15] NOUZOVSKÝ, Luboš. *Vlivy působící na jízdu cyklisty a jeho bezpečnost*. Praha 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Ústav soudního znalectví v Praze.

- [16] ŠACHL, Jindřich. *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod*. Praha: ČVUT, 2008.
- [17] ŠACHL, Jindřich. *Analýza nehod v silničním provozu*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 144 s. ISBN 978-80-01-04638-8.
- [18] XSENS TECHNOLOGIES B.V. *MTi-G User Manual and Technical Documentation*. XSENS, 2009.
- [19] LENKOVÁ, Alžběta. *Modelování jízdní dynamiky nákladních vozidel*. Praha, 2012. Studie k dizertační práci. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě.
- [20] LENKOVÁ, Alžběta. *Přednášky z předmětu Měřicí metody a technika*. 2013.
- [21] Uživatelská příručka motocyklu Honda XR125L, 2003.
- [22] *SUPERMOTO katalog 2003*. Praha: Svoboda, grafické závody, a.s., 2003.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Motocykly registrované v ČR v letech 2006 - 2014	11
Obrázek 2: Počet usmrcených motocyklistů v letech 2007 - 2015.....	13
Obrázek 3: Procento úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2015.....	13
Obrázek 4: Znázornění rozvoru kol u motocyklu Honda CB600S Hornet	16
Obrázek 5: Způsob měření úhlu sklonu hlavy řízení u motocyklů.....	16
Obrázek 6: Závlek (stopa) předního kola motocyklu	17
Obrázek 7: Stabilita jízdy motocyklu [9]	18
Obrázek 8: Pohyby motocyklu při jeho řízení [3][6]	19
Obrázek 9: Klopení rotujícího kola [6][13].....	20
Obrázek 10: Rovnováha motocyklu v zatáčce [3][6].....	21
Obrázek 11: Vliv stopy na stabilitu motocyklu [7]	23
Obrázek 12: Rozdílný náklon u širokých a úzkých pneumatik [14]	23
Obrázek 13: Vnímání náklonu jezdcem [9].....	24
Obrázek 14: Linie průjezdu levotočivým obloukem.....	26
Obrázek 15: Linie průjezdu pravotočivým obloukem.....	26
Obrázek 16: Náklon jezdce stejný jako úhel klopení motocyklu [14]	27
Obrázek 17: Úhel klopení motocyklu je větší než náklon jezdce [14].....	27
Obrázek 18: Náklon jezdce je větší než úhel klopení motocyklu [14].....	28
Obrázek 19: Rozdíl šířky jízdního koridoru při přímé jízdě a při jízdě obloukem [3][6]	28
Obrázek 20: Graf součinitele adheze v závislosti na skluzu pneumatiky [6].....	30
Obrázek 21: Snímač XSENS MTi-G a GPS přijímač [3]	33
Obrázek 22: Architektura snímače MTi-G [18]	34
Obrázek 23: Chyba měření způsobená odpojením USB kabelu.....	36
Obrázek 24: Chyba měření související s frekvencí a přenosovou rychlostí.....	37
Obrázek 25: Napětí na portech při otevřeném notebooku.....	37
Obrázek 26: Napětí na portech při zavřeném notebooku	38
Obrázek 27: Souřadný systém snímače XSENS MTi-G [18]	39
Obrázek 28: Lokální systém před transformací (vlevo) [3]	39
Obrázek 29: Lokální systém po transformaci (vpravo) [3]	39
Obrázek 30: Transformace signálu [3].....	40
Obrázek 31: Filtrace signálu [3].....	40
Obrázek 32: Mapa lokality experimentu 1	41
Obrázek 33: Motocykl Honda CB 600S Hornet.....	42
Obrázek 34: Umístění dvou snímačů XSENS MTi-G na motocyklu.....	43
Obrázek 35: Zajištění souososti snímačů a motocyklu	44
Obrázek 36: Příklad průběhu úhlů klopení obou snímačů	45
Obrázek 37: Příklad průběhu úhlů klonění obou snímačů	45
Obrázek 38: Příklad zrychlení v ose x obou snímačů	45
Obrázek 39: Lokalita experimentů 2, 3 a 4	46
Obrázek 40: Oblouky vyhodnocované pro experimenty 2, 3 a 4	47
Obrázek 41: Umístění snímačů na motocyklu Suzuki GSX650.....	48
Obrázek 42: Umístění snímačů na motocyklu Yamaha FZS1000 Fazer.....	49
Obrázek 43: Umístění snímačů na motocyklu Honda CB 600S Hornet	50
Obrázek 44: Umístění snímačů na motocyklu Honda CBR 600RR.....	50

Obrázek 45: Umístění snímačů na motocyklu Yamaha XT660X	51
Obrázek 46: Určení vyhodnocovaných oblouků při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení	52
Obrázek 47: Průběh rychlosti při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení	52
Obrázek 48: Určení vyhodnocovaných oblouků při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení (zpáteční cesta).....	53
Obrázek 49: Průběh rychlosti při průjezdu úsekem pro měření úhlů klopení (zpáteční cesta)	53
Obrázek 50: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Suzuki GSX650	53
Obrázek 51: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Suzuki GSX650	54
Obrázek 52: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Yamaha FZS1000 Fazer	54
Obrázek 53: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Yamaha FZS1000 Fazer	54
Obrázek 54: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Honda CB600S Hornet..	55
Obrázek 55: Příklad průjezdu části úseku pro měření náklonů motocyklem Honda CB600S Hornet..	55
Obrázek 56: Výpadek měřicí techniky u motocyklu Yamaha XT660X.....	57
Obrázek 57: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 1 (Suzuki GSX650)	59
Obrázek 58: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 1 (Suzuki GSX650).....	60
Obrázek 59: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 2 (Yamaha FZS1000 Fazer)	60
Obrázek 60: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 2 (Yamaha FZS1000 Fazer).....	60
Obrázek 61: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3 (Honda CB600S Hornet)	61
Obrázek 62: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3 (Honda CB600S Hornet)	61
Obrázek 63: Porovnání výsledných úhlů klopení pravotočivých oblouků pro všechny jezdce	62
Obrázek 64: Porovnání výsledných úhlů klopení levotočivých oblouků pro všechny jezdce.....	62
Obrázek 65: Porovnání výsledných rychlostí v pravotočivých obloucích pro všechny jezdce.....	62
Obrázek 66: Porovnání výsledných rychlostí v levotočivých obloucích pro všechny jezdce	63
Obrázek 67: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 2	66
Obrázek 68: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 2	66
Obrázek 69: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3	66
Obrázek 70: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3	67
Obrázek 71: Porovnání výsledných úhlů klopení pravotočivých oblouků pro oba jezdce.....	67
Obrázek 72: Porovnání výsledných úhlů klopení levotočivých oblouků pro oba jezdce.....	67
Obrázek 73: Porovnání výsledných rychlostí v pravotočivých obloucích pro oba jezdce	68
Obrázek 74: Porovnání výsledných rychlostí v levotočivých obloucích pro oba jezdce	68
Obrázek 75: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3 (pokus 1).....	71
Obrázek 76: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3 (pokus 1)	71
Obrázek 77: Průměrná hodnota Ψ_{max} v obloucích - jezdec 3 (pokus 2).....	71
Obrázek 78: Průměrná hodnota $v(\Psi_{max})$ v obloucích - jezdec 3 (pokus 2)	72
Obrázek 79: Porovnání výsledných úhlů klopení pravotočivých oblouků pro oba pokusy	72
Obrázek 80: Porovnání výsledných úhlů klopení levotočivých oblouků pro oba pokusy.....	72
Obrázek 81: Porovnání výsledných rychlostí v pravotočivých obloucích pro oba pokusy.....	73
Obrázek 82: Porovnání výsledných rychlostí v levotočivých obloucích pro oba pokusy.....	73

Seznam tabulek

Tabulka 1: Motocykly a automobily registrované v ČR v letech 2006 - 2014 [2].....	11
Tabulka 2: Úmrtí motocyklistů v letech 2007 - 2015 [4].....	14
Tabulka 3: Součinitel přílnavosti pro různé povrchy [6].....	30
Tabulka 4: Klimatické podmínky během měření se dvěma snímači.....	42
Tabulka 5: Klimatické podmínky během měření experimentu 2	47
Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro pravotočivý oblouk P7 pro motocykl Yamaha FZS1000 Fazer	56
Tabulka 7: Naměřené hodnoty rychlostí v jednotlivých úsecích pro oblouk P7 pro motocykl Yamaha FZS1000 Fazer	56
Tabulka 8: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro motocykl Suzuki GSX650.....	58
Tabulka 9: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro motocykl Yamaha FZS1000 Fazer.....	58
Tabulka 10: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro motocykl Honda CB600S Hornet.....	59
Tabulka 11: Klimatické podmínky během měření experimentu 3	64
Tabulka 12: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro jezdce 2.....	65
Tabulka 13: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro jezdce 3.....	65
Tabulka 14: Klimatické podmínky během měření experimentu 4	69
Tabulka 15: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro pokus 1	70
Tabulka 16: Výsledky náklonů pro všechny oblouky pro pokus 2	70

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Naměřené hodnoty experimentu 2
- Příloha č. 2: Naměřené hodnoty experimentu 3
- Příloha č. 3: Naměřené hodnoty experimentu 4