



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

METODIKA JÍZDNÍCH TESTŮ MOTOCYKLU ZA ÚČELEM IDENTIFIKACE PARAMETRŮ MODELU PNEUMATIK

MOTOCYCLE RIDE TEST METHODOLOGY TO IDENTIFY TYRE MODEL
PARAMETRES

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Ph.D. THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Martin Tobiáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.

OPONENTI

OPPONENTS

Oponent A

Oponent B

DATUM OBHAJOBY

DATE OF DEFENCE

29. 2. 2024

KLÍČOVÁ SLOVA

motocykl, dynamika motocyklu, modely pneumatik, inverzní multibody simulace, měření

KEYWORDS

motorcycle, motorcycle dynamics, tyre models, inverse multibody simulations, measurement

MÍSTO ARCHIVACE

Vysoké učení technické v Brně
Areálová knihovna fakulty strojního inženýrství
Technická 2896/2
616 69 Brno

© Martin Tobiáš, 2024

ISBN

ISSN

OBSAH

ÚVOD.....	5
1 ANALÝZA VÝCHOZÍHO STAVU A CÍLE PRÁCE.....	6
1.1 PŘÍMÁ MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PNEUMATIK	6
1.2 NEPŘÍMÁ MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PNEUMATIK	6
1.3 Cíle práce	7
2 VYTVOŘENÍ INVERSNÍHO MULTIBODY MODELU	7
2.1 Experimentální vozidlo	7
2.1.1 Získání parametrů motocyklu pro tvorbu multibody modelů.....	9
2.2 Popis inverzního MB modelu.....	9
3 REALIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU MOTOCYKLU.....	11
4 METODIKA MĚŘENÍ JÍZDNÍCH STAVŮ MOTOCYKLU	15
4.1 Limity metody, okrajové podmínky a cíle metodiky	15
4.2 Měřené jízdní manévry	17
4.2.1 Dojezdová zkouška; A-II	17
4.2.2 Brzdění; A-III, B-V, C-II	18
4.2.3 Akcelerace; A-IV, B-VI, C-III	18
4.2.4 Kruhový test; A-V, B-VII, C-IV	18
4.2.5 Paraboly; A-VI, B-IX, C-VI a Spirály; A-VII, B-VII, C-V.....	18
5 VIRTUÁLNÍ REKONSTRUKCE MĚŘENÝCH JÍZDNÍCH STAVŮ	18
5.1 Dojezdová zkouška	19
5.2 Brzdění a akcelerace	20
5.3 Kruhový test.....	22
5.4 Paraboly a spirály	25
5.5 Interpretace výsledků	25
ZÁVĚR.....	26
ŽIVOTOPIS.....	28
ABSTRAKT	30

ÚVOD

Motocykl, potažmo jednostopá vozidla obecně patří k nejstarším motorovým pozemním dopravním prostředkům. Společně s automobily jsou předmětem více než století vývoje a nic nenasvědčuje tomu, že by se měl zastavit. Zatímco v první polovině 20. století byly motocykly především levnější alternativou k automobilům, postupně se na vyspělých trzích přerodily i ve sportovní náčiní díky výhodnému poměru mezi jejich výkonem vzhledem k hmotnosti. Je otázkou živé diskuse, zdali takové stroje patří na veřejné pozemní komunikace, neboť jsou častými aktéry dopravních nehod s fatálními následky. Nejedná se přitom jen o motocykly s vysoko objemovými motory. Rychlost nad 100 km/h dnes snadno vyvine motocykl s motorem o zdvihovém objemu 125 cm³, jenž je možno provozovat ve skútrech pouze s řídičským oprávněním kategorie B bez jakýchkoliv zkušeností s ovládním jednostopých vozidel.

Své obhájce, většinou z řad jejich uživatelů (včetně autora této práce) motocykly stále mají a tím je jim zajištěno místo na trhu. Je proto jisté, že motocykly do budoucna z provozu nevymizí, ale budou přizpůsobeny požadavkům doby. Změny lze pozorovat již nyní, výrobci jsou tlačeni (nejen legislativou) k zavádění různých stabilizačních systémů, kdy některé z nich (např. proti-blokovací brzdový systém ABS) jsou v zemích EU na nových motocyklech již několik let povinné. Vyvíjí se též aktivní i pasivní bezpečnostní prvky jak na motocyklech samotných, tak na osobním vybavení jejich uživatelů.

Tato práce se zabývá inovativní metodou získávání parametrů matematických modelů pneumatik motocyklu. Metoda spočívá v propojení veličin naměřených na vozidle při testovací jízdě s inverzním multibody modelem motocyklu, pomocí něž lze dopočítat parametry, které nebyly na vozidle přímo měřeny. Výhodou tohoto postupu jsou výrazně nižší náklady v porovnání s konvenčními metodami, které se opírají o speciální měřicí zařízení. Použití nepřímých metod za účelem popsání vlastností pneumatik je v současnosti předmětem zájmu různých výzkumných pracovišť specializovaných na automobily. Aplikování principů již ověřených na dvoustopých vozidlech na motocykl je proto aktuálním tématem, které s sebou navíc přináší řadu dosud nevyřešených problémů.

Cíle práce jsou vzhledem k rozsáhlosti dané problematiky zaměřeny na realizaci sběru dat při vhodných manévrech a vytvoření výpočetních modelů.

1 ANALÝZA VÝCHOZÍHO STAVU A CÍLE PRÁCE

Výzkum dynamiky vozidel je do značné míry závislý na znalosti charakteristik použitých pneumatik. Velká část vývoje vozidel se opírá o přímé multibody simulace, pro něž se tyto charakteristiky modelují na základě měření (model kontaktu kola s vozovkou). Ta lze rozdělit na přímá a nepřímá.

1.1 PŘÍMÁ MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PNEUMATIK

Jedná se o měření laboratorní a probíhající na reálných vozovkách. Oba přístupy se opírají o empirická měření sil a momentů přenášených pneumatikou při předem definovaných zatěžovacích stavech za použití speciálních měřicích zařízení, např [1]. Výsledkem jsou úplné charakteristiky pneumatik. Pořizovací ceny měřicích zařízení se pohybují řádově nad množstvy mnoha výzkumných pracovišť, stejně jako jednotlivá měření formou služeb. Přesto tato měření nejsou dokonalá. V případě laboratorních měření je ve styku s pneumatikou umělý povrch, výsledné charakteristiky jsou proto odlišné od charakteristik, které pneumatiky vykazují v provozu. Ačkoliv měření na vozovkách tento problém eliminuje (navíc rozšiřuje možnosti měření o různé povrchy a klimatické podmínky, např [2]), nevýhodou je obtížná opakovatelnost testů zejména vlivem proměnlivých povětrnostních podmínek. Mezi různými měřicími stroji stejného druhu, ale provozovaných na pracovištích v různých částech světa není zaručena přenositelnost výsledků. Jinými slovy, pro stejnou pneumatiku nebudou naměřeny zcela shodné charakteristiky.

1.2 NEPŘÍMÁ MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PNEUMATIK

Tento způsob získávání charakteristik pneumatik je založen na empirickém měření fyzikálních veličin během jízdy vozidla, např. články [3] a [4]. Vozidlo je za tímto účelem osazeno měřicí technikou, jejímž základem je přesná inerciální jednotka GPS, poskytující přesné údaje o poloze, rychlosti a zrychlení vozidla. Ta je poté zpravidla doplněna vestavěnými senzory vozidla komunikujícími po interní sběrnici CAN Bus a externími senzory montovanými na vozidlo výzkumným týmem (senzory jízdní výšky, pohyby částí náprav a řízení, teplot a tlaků pneumatik, úhly směrových úchylek, měřicí kola aj.). V případech, kde nejsou k dispozici měřicí kola je pro získání charakteristik pneumatik nutné využít alternativní metody, které pro jejich výpočet využijí pouze data nasbíraná z dostupných snímačů. Tímto přístupem obecně získávají výzkumné týmy hluboký vhled do jízdních vlastností vozidla, funkce jednotlivých podsystémů, přičemž nasbíraná data mohou být využita i jako vstupy pro určení charakteristik pneumatik za pomoci matematických modelů. Vysoká časová náročnost přípravy těchto měření je tak částečně vykoupena množstvím informací o vozidle získaných. Kvalita výsledných charakteristik pneumatik je nicméně závislá na mnoha dílčích faktorech a zůstává otázka jejich validace.

1.3 CÍLE PRÁCE

Na základě rešerše odborných článků je zřejmé, že v problematice výzkumu motocyklu existují místa, kde je potřeba rozšířit dosavadní oblast poznání. Ve vztahu k motocyklům je oblast výzkumu dynamiky vozidel o pomyslný krok pozadu za automobily a dvoustopými vozidly obecně. Nepřímé měření charakteristik pneumatik a dalších parametrů motocyklu pomocí rekonstrukce měřené jízdy za pomoci inverzních MB simulací v současném souboru poznání zcela chybí.

Cíle práce jsou stanoveny s ohledem na know-how a technické zázemí ústavu, na kterém se budou realizovat. Potřeba jejich řešení vyplývá z rešerše současných trendů ve vývoji motocyklů a moderních způsobů zkoumání dynamiky vozidel. Zde se napříč všemi pracovišti (akademickými i průmyslovými) ukazuje potřeba přesných matematických modelů pneumatik, přičemž jejich získávání je finančně velmi nákladný proces. Inovativní metoda jejich určení pomocí rekonstrukce měřených jízd motocyklu tento problém obchází.

Za tímto účelem byly vytyčeny následující dílčí cíle:

- a) Vytvoření inverzního MB modelu
- b) Realizace měřicího řetězce motocyklu
- c) Vytvoření metodiky měření jízdních stavů motocyklu
- d) Virtuální rekonstrukce měřených jízdních stavů

2 VYTVOŘENÍ INVERSNÍHO MULTIBODY MODELU

K vytvoření multibody modelu libovolného vozidla je nutné znát jeho kinematický popis a vybrané fyzikální parametry jednotlivých komponent. Výrobce může tato data vyčíst z CAD modelů, nicméně výzkumné týmy, které tato data nemají, musí potřebné parametry vozidla změřit. Jedná se o poměrně komplikovaný a zdoluhavý proces, co se týká přesnosti naměřených parametrů je v některých případech nutné přijmout zjednodušení a případnou chybu měření. Jednak z důvodů limitů laboratoře a měřicích zařízení, které má výzkumný tým k dispozici a také z časových důvodů.

K měření parametrů motocyklu byly využity laboratoře a zařízení na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství, FSI, VUT. Ty jsou primárně určeny pro měření parametrů dvoustopých vozidel, bylo tedy nutné v případě některých parametrů motocyklu vymyslet a využít postupy nové.

2.1 EXPERIMENTÁLNÍ VOZIDLO

Pro účely této práce byl panem Ing. Luborem Zháňalem, Ph.D. zapůjčen motocykl KTM RC 390, na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 KTM RC 390

Jedná se o moderní, lehký, sportovně-silniční jednoválcový motocykl, nižší-střední objemové třídy. Přední teleskopická vidlice je typu upside-down, zadní kyvná vidlice je odpružena centrální tlumicí a pružicí jednotkou. Základní vybrané technické parametry jsou uvedeny v *Tabulka 2.1*.

Z motocyklu byly odmontovány některé plastové díly pro usnadnění přístupu k jednotlivým prvkům motocyklu a snaze omezit riziko jejich poškození při manipulaci se strojem. Zároveň však pouze do té míry, aby byl motocykl stále provozovatelný na pozemních komunikacích. Tento stav je patrný z fotografií v dalších kapitolách.

Tabulka 2.1 KTM RC 390, vybrané technické parametry

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Zdvihový objem	373,2 ccm	Světlost (bez zatížení)	178,5 mm
Vrtání	89 mm	Výška sedla (bez zatížení)	820 mm
Zdvih	60 mm	Zdvih předního odpružení	125 mm
Maximální výkon	32 kW/9000 rpm	Zdvih zadního odpružení	150 mm
Max. točivý moment	35 Nm/7000 rpm	Průměr předního brzd. kotouče	320 mm
Rozvor	1340 +/- 15mm	Průměr zadního brzd. kotouče	230 mm
Úhel hlavy řízení	66,5°	Objem palivové nádrže	10 l
Přední pneumatika	110/70 R17	Zadní pneumatika	150/60 R17

2.1.1 Získání parametrů motocyklu pro tvorbu multibody modelů

Motocykl bylo nutné idealizovat jako soustavu tuhých těles vázaných kinematickými vazbami s hmotnostmi, polohou těžišť a momenty setrvačnosti odpovídající reálnému motocyklu. Za tímto účelem byla provedena řada měření, jejichž popis lze nalézt zde [5]. Jednalo se zejména o změření:

- Kinematických bodů motocyklu
- Polohy těžiště motocyklu
- Momenty setrvačnosti komponent
- Výkonové charakteristiky motoru
- Charakteristiky odpružení a tlumičů

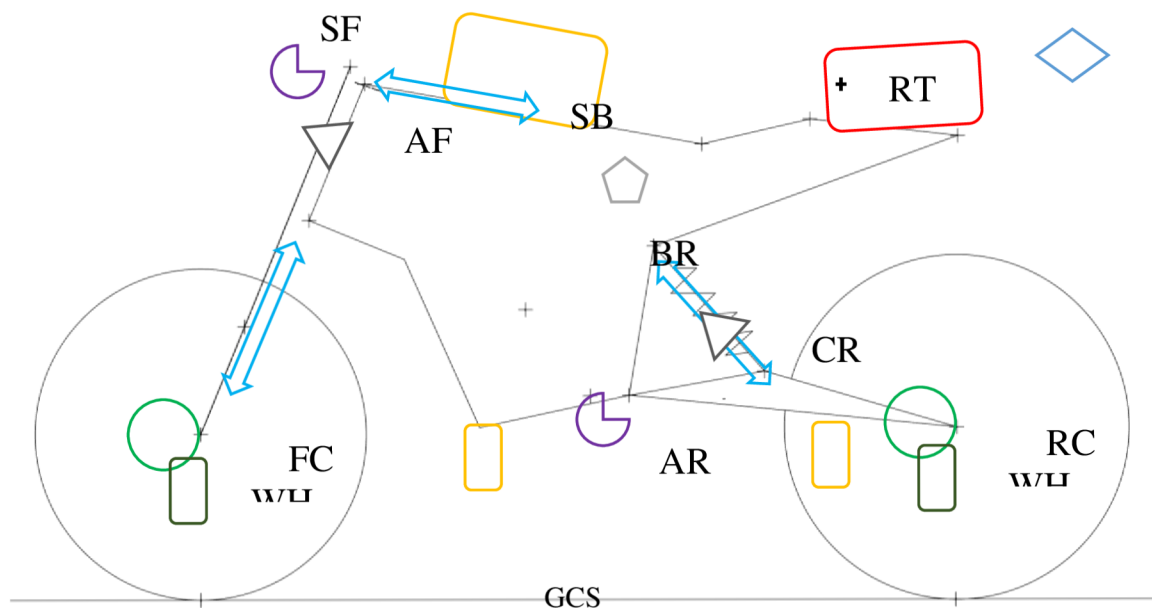
2.2 POPIS INVERSNÍHO MB MODELU

Na základě naměřených parametrů byl v systému SAMS [6] vytvořen multibody model experimentálního motocyklu a propojen s naměřenými daty pomocí softwaru Telematrix. Dynamický model motocyklu navíc obsahuje prvky se známými (naměřenými; např. síly působící od pružících tlumicích jednotek) a neznámými silovými účinky, jejichž velikost je vypočtena z pohybu vozidla (síly na pneumatiky, hnací nebo brzdné momenty, řetězové síly, síly aerodynamického vztlaku, točivý moment řízení, aj.). Schematický popis modelu poskytuje Tabulka 2.2,

Obr. 2.2 a 3D grafické znázornění na Obr. 2.3. Model využívá principy popsané.

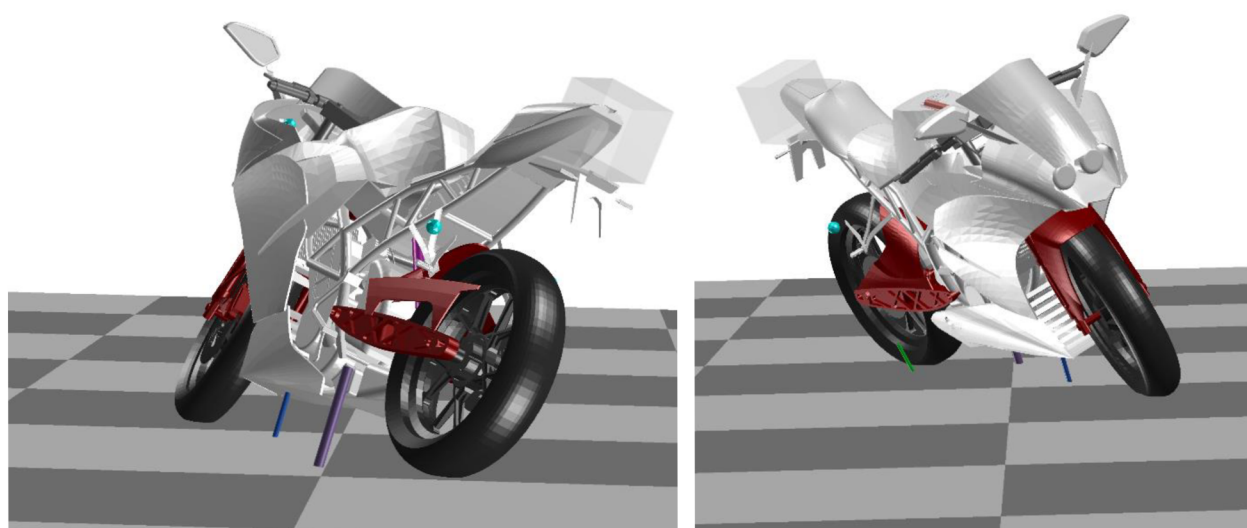
Tabulka 2.2 Topologie dynamického modelu

Popis vazeb		DOF	Typ vazby
GCS	ARM (auxiliary body) - GCS (global coordinate)	+3	Translační
RT	BODY - ARM (auxiliary body)	+3	Sférická
AF	FORK - BODY	+1	Válcová (jen rotace)
AF	TUBE - FORK	+1	Válcová (jen translace)
FCWH	FWH (front wheel) - TUBE	+1	Válcová (jen rotace)
AR	RARM (rear arm) - BODY	+1	Válcová (jen rotace)
RCWH	RWH (rear wheel) - RARM (rear arm)	+1	Válcová (jen rotace)
CR	RDM (rear damper) - RARM (rear arm)	+1	Sférická (jen 1 rotace)
CR	RPR (rear damper piston rod) - RDM (rear damper)	+1	Translační (jen 1 posuv)
BR	RPR (rear damper piston rod) - BODY	-2	Omezení – bodové (x z)
SB	SPOT (steering potentiometer) - BODY	+2	Sférická (jen 2 rotace)
SB	SPR (steering pot. piston rod) - SPOT (steering pot.)	+1	Translační (jen 1 posuv)
SF	SPR (steering potentiometer piston rod) -FORK	-3	Omezení bodové (x y z)



- ↔ 3x Potenciometry – stlačení tlumičů, natočení řízení
- 2x ABS sensory – otáčky kol, zrychlení neodpružených hmot
- ▭ 3+4 LED snímače vzdálenosti RHS 50-400 – relativní poloha vozovky
- ▭ OxTS RT3002 inerciální GPS jednotka – zrychlení, rychlost, poloha
- ▭ Měřicí ústředna a datalogger
- △ tenzometry – síly na tlumičích, zrychlení odpružených hmot
- ◇ 2x GoPRO kamera – poloha jezdce
- ◡ ◡ CAN BUS – poloha škrtkové klapky, otáčky motoru, zrychlení odpružených hmot
- ◡ 2x sensor tlaku brzd

Obr. 2.2 Kinematický model, umístění senzorů pro měření jízdy



Obr. 2.3 3D zobrazení inverzního modelu motocyklu, průjezd zatáčkou

3 REALIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU MOTOCYKLU

Měřicí systém byl realizován částečně za pomoci a díky finanční podpoře fondu vědy RV90200100332 FV 20-32; RV90210100332 FV 21-32; a z techniky dostupné na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství na FSU. Dále do budoucna umožňuje připojení dalších měřicích prvků. V následující Tabulka 3.1 je přehled snímaných veličin (celkem 36) a použitých sensorů. Schematický přehled jejich rozmístění na motocyklu je na

Obr. 2.2 a celkový pohled na osazený motocykl přichystaný k měřené jízdě na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Motocykl KTM RC390 připravený k měřené jízdě

Tabulka 3.1 přehled měřených fyzikálních veličin a použitých sensorů

Popis snímaných veličin	Použitý sensor
Rychlost a zrychlení motocyklu: <ul style="list-style-type: none"> 3 translační rychlosti (zrychlení) + 3 úhlové rychlosti (zrychlení) 	<ul style="list-style-type: none"> OXTS RT 3002
Poloha motocyklu v prostoru a jeho orientace: <ul style="list-style-type: none"> 3 translační souřadnice + 3 úhly (stáčení Z, klonění Y, klopení X) 	<ul style="list-style-type: none"> OXTS RT 3002
<ul style="list-style-type: none"> Otáčky kol, motoru, poloha škrtkové klapky 	<ul style="list-style-type: none"> CAN Bus vozidla
<ul style="list-style-type: none"> Polohy přední a zadní vidlice, resp. stlačení tlumičů 	<ul style="list-style-type: none"> Lineární potenciometry
<ul style="list-style-type: none"> Natočení přední vidlice kolem osy řízení 	<ul style="list-style-type: none"> Lineární potenciometr
<ul style="list-style-type: none"> Relativní polohu vozovky vůči motocyklu, stlačení pneumatik 	<ul style="list-style-type: none"> 7x Texense RHS 50-400
<ul style="list-style-type: none"> Síly na tlumičích 	<ul style="list-style-type: none"> 3x tenzometrický můstek
<ul style="list-style-type: none"> Tlaky v brzdových okruzích 	<ul style="list-style-type: none"> 2x Baumer PBM4

<ul style="list-style-type: none"> • Zrychlení neodpružených hmot ve směru jejich pohybu při propružení 	<ul style="list-style-type: none"> • 2x Kistler 8315A
<ul style="list-style-type: none"> • Zrychlení odpružených hmot v krku řízení a pod sedadlem řidiče opružení 	<ul style="list-style-type: none"> • 2x Kistler 8315A

Měřicí řetězec byl vytvořen na míru danému motocyklu. Byl napájen akumulátorem motocyklu, přes zdroj stabilizovaného napětí 12 VDC, který zároveň vyrovnává pokles napětí, během startování motocyklu elektrickým spouštěčem. Dále byl přítomen stabilizovaný zdroj 5 VDC, pro napájení snímačů vyžadujících nižší napěťovou hladinu a zdroj 1.5 VDC vlastní konstrukce, který poskytuje stabilizované a vyhlazené napětí pro napájení tenzometrů. Základem měřicího systému byla zvolena měřicí ústředna NI cDAQ-9178, ovládaná malým průmyslovým počítačem, připevněným v jednom konstrukčním celku s výše popsány komponenty k nádrži motocyklu pomocí odklopné platformy umožňující tankování paliva. Software obsluhující měřicí ústřednu, byl instalován na tomto průmyslovém počítači, který zároveň plnil funkci data loggeru. Měřicí systém motocyklu tedy sestával z veškerých potřebných zařízení připevněných přímo k motocyklu. K průmyslovému počítači bylo možné se připojit přímo pomocí standardních kancelářských periférií, nebo bezdrátově pomocí přidaného Wi-Fi modulu. Řešení bylo modulární z hlediska použití různých měřicích karet, zůstával zároveň prostor i na přidání dalších, viz Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Měřicí systém NI cDAQ-9178

Měření všech datových kanálů bylo časově synchronní, na frekvenci 100 Hz. Tato frekvence je v oblasti výzkumu dynamiky vozidel zpravidla dostačující.

K zaznamenání údajů o poloze, rychlosti a zrychlení motocyklu ve 3 osách byla použita inerciální GPS jednotka OxTS RT3002, která snímá potřebné veličiny kombinací údajů z vestavěného tří-osého gyroskopu, tří-osého akcelerometru a navigačního satelitního systému. Ke zpřesnění satelitních dat byla použita bázeová GPS stanice, propojená radiově se zařízením na motocyklu. Umístění zařízení bylo zvoleno na místě spolujezdce viz Obr. 3.3.



Obr. 3.3 OxTS RT 3002 s radiovým přijímačem signálu z bázeové stanice

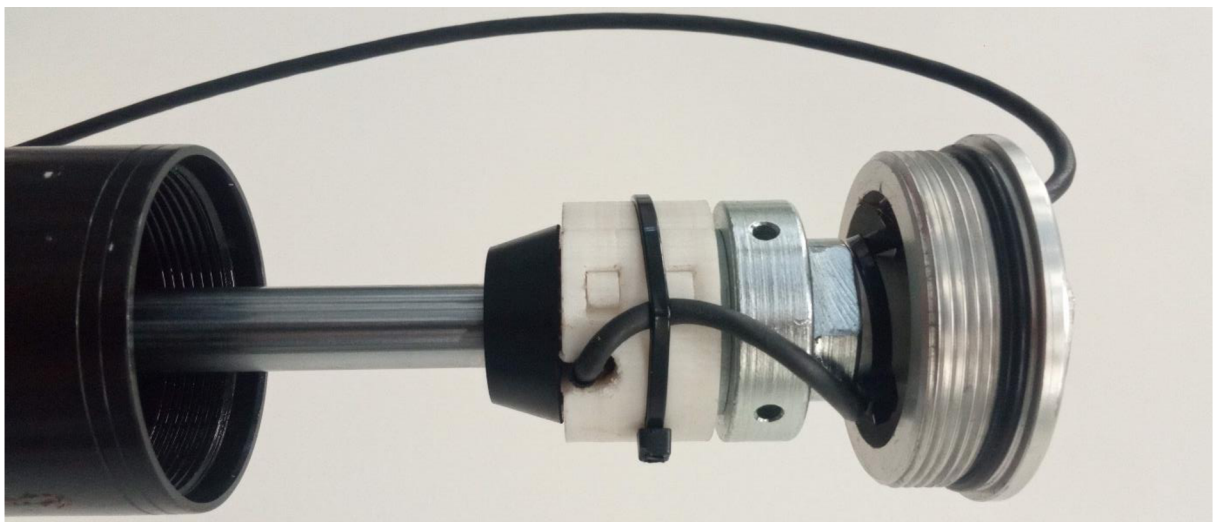
Údaje o otáčkách kol lze získat z řídicí jednotky motocyklu ze sběrnice CAN-BUS, na kterou se lze připojit pomocí konektoru umístěného pod sedlem motocyklu. Tyto údaje řídicí jednotce poskytují senzory systému ABS. Pro snímání stlačení tlumičů a natočení řídítek byly namontovány lineární potenciometry výrobce Penny & Giles typ SLS130 a 2x SLS095. K motocyklu byly přichyceny přes vhodně umístěné šrouby a vytištěné plastové přípravky, viz Obr. 3.4.

Pro snímání polohy vozovky vůči motocyklu byla použita trojice výškových senzorů Texys RHS 50-400, které fungují na bázi pulsní bodové LED-diody. Dva další páry těchto senzorů jsou použity pro snímání stlačení pneumatiky. Jejich umístění bylo provedeno tak, aby snímače byly chráněny před poškozením v případě pádu motocyklu. Zároveň byly úchyty vyrobeny tak, aby umožnily značný úhel klopení motocyklu a přitom aby vzdálenost snímačů od vozovky nebyla mimo jejich měřicí rozsah. Držáky byly zhotovené z duralových profilů a plechu, v případě pádu motocyklu jimi byly snímače chráněny před poškozením, viz Obr. 3.4.



Obr. 3.4 Umístění potenciometrů a optických snímačů vzdálenosti

Pro snímání sil na tlumičích byly na vhodná místa nalepeny miniaturní tenzometrické můstky HBM 1-XY31-0.6/120. Na předních tlumičích byly lepeny přímo na pístnice, které v tomto konstrukčním provedení přenášejí i reakci od pružin. V případě zadního tlumiče byly nalepeny na jeho plášť v blízkosti jeho spodního uchycení. Tenzometry byly zkalibrovány pomocí dynamometru MTS EMA v laboratořích ÚADI. Na obr. Obr. 3.5 je vidět umístění tenzometru na pístnici tlumiče, tenzometr chrání před poškozením 3D tištěný plastový kryt, o který se opírá gumový doraz.



Obr. 3.5 Provedení tenzometru na předním tlumiči motocyklu

Poloha a orientace veškerých snímačů byla zaměřena pomocí 3D skeneru a doplněna do inverzního multibody modelu. Při jakékoliv změně v umístění snímačů je nutné je znovu zaměřit. Je tedy třeba dbát zvýšené opatrnosti při manipulaci s motocyklem během převozu na testovací dráhu, stejně tak i při samotných testech.

Vzhledem k nezanedbatelné hmotnosti měřicího systému, byly multibody modely doplněny o hmotné body lokalizované v přibližných polohách těžišť měřicí ústředny na nádrži a GPS jednotky na místě spolujezdce. Veškeré snímače byly v obslužném software řádně zkalibrovány (nastaveny odpovídající přepočty z elektrických na fyzikální veličiny).

4 METODIKA MĚŘENÍ JÍZDNÍCH STAVŮ MOTOCYKLU

Způsob, jak získat potřebná data pro charakterizaci pneumatik **a kterým se zabývá tato práce**, je využití inverzních multibody simulací. Zjednodušeně řečeno, potřebné silové účinky se vypočítají z měřených dat v reálném provozu. Tato metoda má podobné limity, jako při měření s použitím tenzometrických kol, a to sice že nelze realizovat libovolné zatěžovací stavy, ale jejich absence je zároveň její hlavní výhodou. Potřebná měření lze provést s využitím snímačů, které mají univerzální možnosti použití (viz Tabulka 3.1), jejich pořízení je tedy z hlediska ekonomiky provozu výzkumných týmů v oblasti dynamiky vozidel snáze dostupné. Lze s jistotou tvrdit, že obdobnými snímači a inerciální GPS jednotkou již tyto týmy napříč kontinenty disponují.

4.1 LIMITY METODY, OKRAJOVÉ PODMÍNKY A CÍLE METODIKY

Měřené jízdní manévry z principu nemohou poskytnout údaje nutné pro identifikaci koeficientů modelu pneumatiky Magic formula tak, aby na základě nich bylo možné zkonstruovat kompletní silové a momentové charakteristiky pneumatik. Na rozdíl od specializovaných zařízení, není během jízdy možné nezávisle měnit parametry zatěžování pneumatik (např. odklon, úhel směrové úchylky, zatížení, aj.). Nicméně je zřejmé, že během jízdy se pneumatiky nachází v takových stavech, které umožňují vozidlu provádět měřené manévry. Ačkoliv tedy nebylo možné získat data pro konstrukci kompletních charakteristik, lze předpokládat, že bude možné popsat ty části charakteristik, které jsou využívány v reálném provozu.

Z praktických důvodů je tato metoda limitována i z hlediska hledání limitních stavů pneumatik. Při ztrátě kontroly nad motocyklem je vysoká pravděpodobnost pádu. Může dojít k poranění řidiče a poškození techniky. Řidič provádějící manévry musí být velmi zkušený a zavčas rozpoznat limit stroje a manévr přerušit. Možným řešením by bylo přidání robustních padacích rámců. Lze zkonstruovat i ochranný rám, který by byl odpružený vůči motocyklu a pro případný kontakt s vozovkou měl přidavné kolečko. Poměrně výrazně by se tím změnilo rozložení hmotností stroje, to však lze v modelu zahrnout. Dále by teoreticky bylo možné na tyto konstrukce umísťovat (i nesymetricky) závaží, měnit tím poměry mezi závislými parametry (např. mezi odklonem a boční silou) a rozšířit oblasti, pro které by bylo možné zkonstruovat křivky charakteristik pneumatik.

Dalším omezením pro řidiče, vyžadujícím jeho jezdeckou zkušenost bylo omezení jeho pohybu. To bylo dáno umístěním a velikostí komponent měřicího systému, a nemožnosti realizace měření jeho polohy během jízdy. Úkolem řidiče proto bylo setrvat během jízdy co nejbližší poloze, kterou zaujímal během statické kalibrace. Tělo neustále v ose motocyklu, nevysedat v zatáčkách, ani neodlehčovat svoji váhu zapřením nohama o stupačky. Motocykl bylo možné i za těchto podmínek zkušeným řidičem dobře ovládat, pouze aplikováním sil na řídítka. Lze se domnívat, že řidič tyto podmínky dokonale nedodržel po celou dobu testů, ale v rámci možností, které byly k dispozici se jednalo o nejlepší řešení.

Virtuální multibody modely motocyklů používané v praxi v tomto smyslu zaostávají za modely dvoustopých vozidel, neboť i zde je řidič zpravidla modelován jako nehybné těleso (s definovanou hmotností, polohou těžiště a momenty setrvačnosti), přičemž řízení stroje je realizováno pomocí točivého momentu aplikovaného na řízení. Multibody modely motocyklů totiž vycházejí z modelů dvoustopých vozidel, kde se vliv pohybů řidiče na celkové vlastnosti vozidla zanedbává (pohyb rukou a nohou při ovládání vozidla, případně malý přesun řidičovy polohy na sedadle vlivem dostředivých sil). Ačkoliv probíhají výzkumné snahy o popis chování řidiče motocyklu během jízdy (např. viz [8][9]), komerčně dostupné multibody modely pro přímé simulace těmito funkcemi v době řešení této práce nedisponovaly.

Dalším ze způsobů, jak by bylo možné zahrnout vliv řidiče na chování vozidla pomocí inverzního multibody modelu, aniž bychom měřili jeho přesnou polohu, by bylo tenzometrické měření jeho působení na komponenty motocyklu. Tedy na řídítka, sedlo a stupačky. Tyto snímače nejsou běžně dostupné, bylo by nutné jejich provedení realizovat vlastními silami.

Na základě výše popsaných skutečností, praktických limitů a absenci zkušeností s tímto dosud nevyužitým způsobem získávání dat o pneumatikách motocyklu byla naplánována série měřených jízdých manévru. Ta se stala základem v této práci představené metodiky. **Její cílem bylo prokázat funkčnost metody, prozkoumat její praktické limity a posoudit její potenciál pro další výzkum.**

Po odladění systému a postupu zpracování dat v areálu univerzity a následně brněnského veletržního výstaviště, byly naplánovány manévry na testovacím polygonu firmy Continental Barum s.r.o. v Otrokovicích, viz Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Testovací polygon Continental Barum s.r.o., vyznačená vzdálenost 505m
[10]

4.2 MĚŘENÉ JÍZDNÍ MANÉVRY

Měření bylo naplánováno na dva suché letní dny, souhrnný přehled měřených testů poskytuje Tabulka 4.1. V dalším textu je odkazováno na jednotlivé testy pomocí v tabulce zavedených souřadnic A-B-C a I-...-IX. Během testů ve sloupci B měl řidič v batohu na zádech umístěné závaží 20 kg, batoh byl zesponu podepřen sedadlem motocyklu. Obdobně i během testů ve sloupci C, resp. zde vezl závaží 40 kg.

Tabulka 4.1 přehled provedených měření

	A	B	C
I	Statická kalibrace	Test senzorů	Statická kalibrace + 40kg
II	Dojezdová zkouška	Vážení motocyklu, 1/2 nádrže	Brzdění + 40 kg
III	Brzdění	Vážení motocyklu, 1/1 nádrže	Akcelerace + 40 kg
IV	Akcelerace	Statická kalibrace + 20 kg	Kruhový test + 40 kg
V	Kruhový test	Brzdění + 20 kg	Spirály + 40 kg
VI	Paraboly	Akcelerace + 20 kg	Paraboly + 40 kg
VII	Spirály	Kruhový test + 20 kg	-
VII I	Kontrolní statická kalibrace	Spirály + 20 kg	-
IX	-	Paraboly + 20 kg	-

4.2.1 Dojezdová zkouška; A-II

Dojezdové zkoušky slouží pro posouzení a identifikaci vlastností vozidel zejména z hledisek aerodynamiky, valivého odporu a mechanických ztrát hnacího ústrojí. Tento typ testů se (správně) provádí na dostatečně dlouhé, rovné testovací dráze. Zároveň by se během testu měly podél dráhy měřit povětrnostní podmínky, teplota a tlak vzduchu, a tato data pak při zpracování výsledků zohlednit. Ačkoliv dráha nebyla dostatečně dlouhá, ani nebyla k dispozici zařízení měřící povětrnostní vlivy, pro principiální ověření funkčnosti inverzního modelu, bylo zkoušku možno provést nestandardním způsobem. Zkouška byla provedena v obou směrech a byla rozdělena na 5 rychlostí (120, 100, 80, 60, 40 km/h) ze kterých motocykl zpomaloval bez zapojení brzd a motoru. Data byla posléze upravena tak, aby na sebe jednotlivé úseky dat navazovaly a výsledná závislost rychlosti na čase byla zprůměrována v obou směrech do jedné křivky.

4.2.2 Brzdění; A-III, B-V, C-II

Test brzdění motocyklu v přímém směru hraje významnou roli nejen při hodnocení brzdného výkonu motocyklu, ale také při identifikaci a pochopení důležitých vlastností souvisejících s pneumatikami motocyklu. Test poskytuje cenné informace o tom, jak pneumatiky interagují s brzdovým systémem a povrchem vozovky za kontrolovaných podmínek. Tyto znalosti jsou zásadní pro optimalizaci brzdových systémů, zvýšení bezpečnosti jezdce a vývoj pneumatik, které musí splňovat rozmanité požadavky motocyklových aplikací a legislativy.

4.2.3 Akcelerace; A-IV, B-VI, C-III

Test akcelerace motocyklu v přímém směru hraje, podobně jako test brzdění významnou roli nejen při hodnocení výkonu motocyklu, ale také při identifikaci a pochopení důležitých vlastností souvisejících s pneumatikami motocyklu. Test poskytuje cenné informace o tom, jak je motocykl schopný přenést výkon motoru přes hnací ústrojí a pneumatiky na vozovku za kontrolovaných podmínek. Lze takto simulovat různé scénáře, jako je např. zrychlení od semaforu nebo předjížděcí manévry.

4.2.4 Kruhový test; A-V, B-VII, C-IV

Kruhový test je základním nástrojem v oblasti výzkumu pneumatik, který umožňuje výzkumníkům a inženýrům hlouběji porozumět chování pneumatik při zatáčení. Data získaná z těchto testů se využívají např. k vývoji vylepšených konstrukcí pneumatik, lepší ovladatelnosti vozidla a optimalizaci výkonu pneumatik za různých jízdních podmínek. Tento typ testu je navržen tak, aby vyhodnotil chování pneumatiky, když vozidlo projíždí zatáčkou s konstantním poloměrem ustálenou rychlostí.

4.2.5 Paraboly; A-VI, B-IX, C-VI a Spirály; A-VII, B-VII, C-V

Tento test patří mezi kombinované jízdní manévry (cornering and handling), které se s vozidly provádí za účelem zkoumání vlastností pneumatik. Jeho provedení bylo upraveno s ohledem na nové možnosti, které potenciálně poskytuje inovativní metoda, která je předmětem této práce. Účelem bylo rozšířit oblasti analýzy dat, které standardní testy nepokrývají. Vzhledem k principiálním omezením metody, které byly popsány výše (zejména vzájemných závislostí některých parametrů), nemůžeme během jízdy vyvolat libovolné zatěžovací stavy. Bylo proto žádoucí vyzkoušet realizaci ne zcela standardních manévru.

5 VIRTUÁLNÍ REKONSTRUKCE MĚŘENÝCH JÍZDNÍCH STAVŮ

Představená metodika jízdních testů motocyklu za účelem identifikace parametrů modelu pneumatik by nebyla úspěšná, kdyby nasbíraná data nebylo možné propojit s

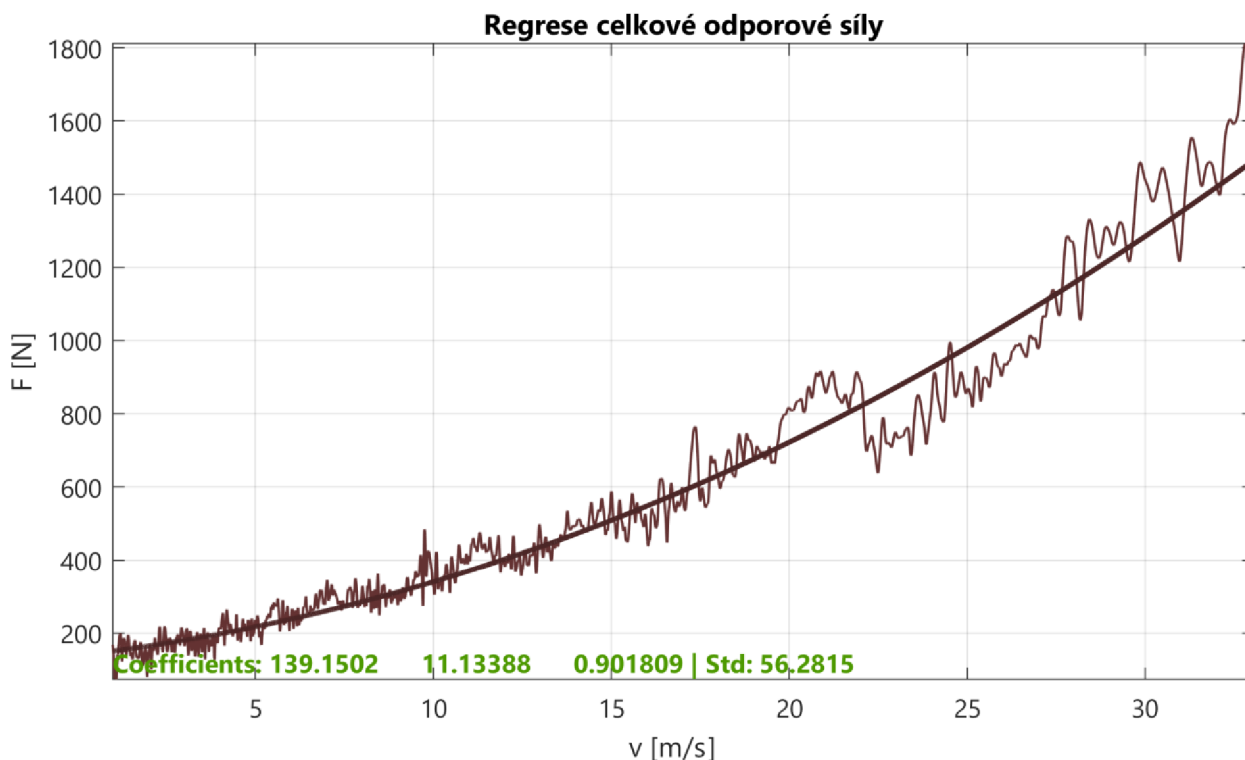
inversním multibody modelem. Pomocí něj se zrekonstruovaly celé jednotlivé testy (každé pole Tabulky 4.1), ve kterých bylo následně možné izolovat konkrétní jízdní stavy.

Veškeré datové záznamy byly propojeny s multibody modelem motocyklu SAMS a byly realizovány inverzní simulace, pomocí nichž lze dopočítat neměřené veličiny. (např. síly mezi pneumatikami a vozovkou v libovolném čase měřené jízdy). Dále byl vytvořen 3D grafický model motocyklu, ten byl propojen s naměřenými daty a ukazuje tak vždy aktuální polohu motocyklu a jeho komponent během rekonstruované jízdy (Obr. 2.3). Spuštěním přehrávání datového záznamu je možné vytvářet 3D animace měřené jízdy a zobrazit libovolné měřené i vypočtené veličiny. Byla zde tedy ověřena funkčnost propojení multibody modelu motocyklu s měřenými daty.

Testy byly naplánovány tak, aby poskytly data k identifikaci parametrů matematického modelu Magic Formula. Testy v laboratorních podmínkách (kapitola 1.1) sice nelze zkušebními jízdami plně nahradit, ale změnou vnějších vlivů se předpokládalo získání kombinací různých skluzů a sil. Cílem analýz virtuálních rekonstrukcí měřených jízd bylo zjistit citlivost metody na změnu vnějších vlivů ve vztahu k vypočteným hodnotám.

5.1 DOJEZDOVÁ ZKOUŠKA

Dojezdová zkouška, provedená způsobem popsáním v kapitole 4.2.1 poskytla data, ze kterých bylo možné kvantifikovat celkové jízdní odpory v závislosti na rychlosti. Tato závislost je zobrazena v grafu na *Obr. 5.1 Výsledky dojezdové zkoušky, regrese závislosti jízdních odporů na rychlosti*. Neideální podmínky testu se ve výsledcích projevíly nezanedbatelným rozptylem hodnot, přesto je bylo možné proložit polynomem druhého stupně (jehož koeficienty jsou vyčísleny v grafu dole).

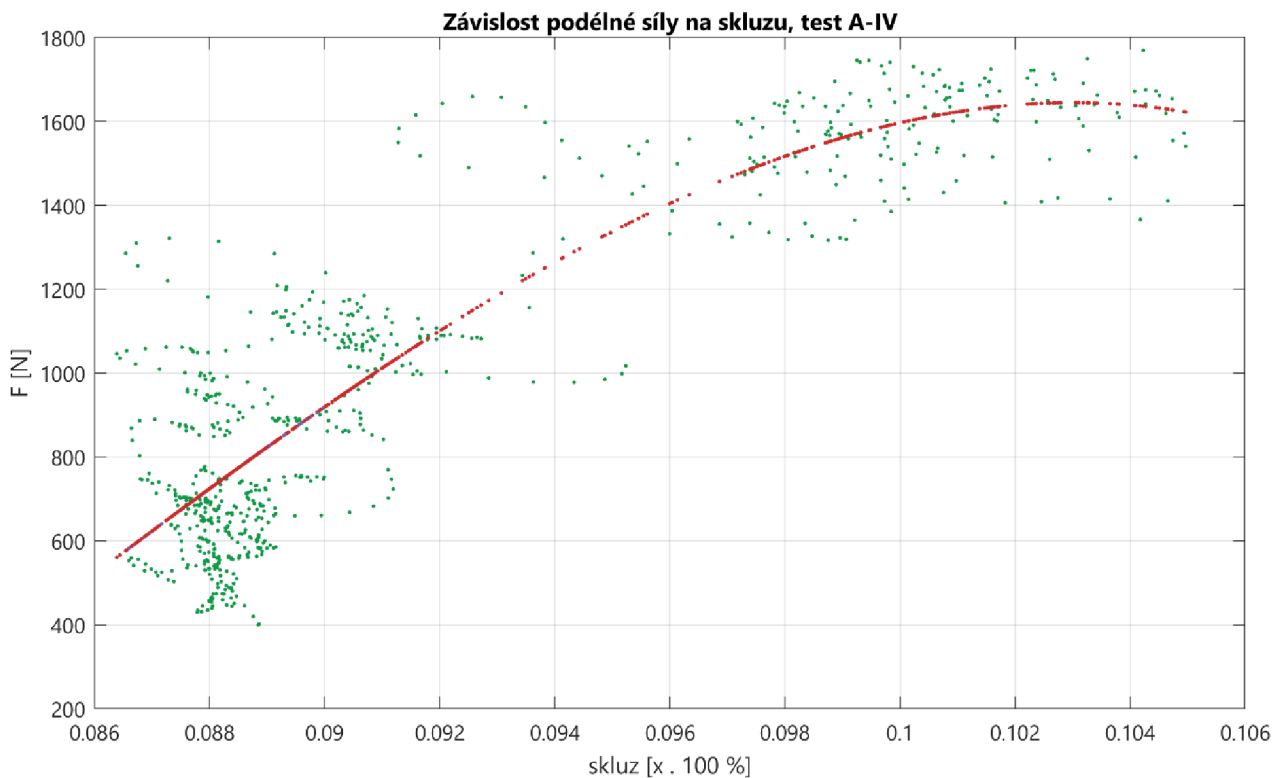


Obr. 5.1 Výsledky dojezdové zkoušky, regrese závislosti jízdních odporů na rychlosti

5.2 BRZDĚNÍ A AKCELERACE

Zkoušky brzdění a akcelerace, provedené způsobem popsáním v kapitole 4.2.2 a 4.2.3 měly za cíl poskytnout data, ze kterých bylo možné vypočítat podélné síly a skluzu pneumatik. Změnou vnějších vlivů se předpokládalo získání kombinací různých podélných skluzů a sil při nulovém úhlu směrové úchyly.

Graf na Obr. 5.2 zobrazuje závislost vypočtené podélné síly na skluzu pneumatiky na zadním kole, během testu akcelerace. Výsledky byly proloženy polynomem třetího stupně, vykresleným červeně. Podobným způsobem byly získány regresní polynomy pro různá zatížení motocyklu z testů brzdění a akcelerace (testy A-IV, A-V, C-II, C-III).

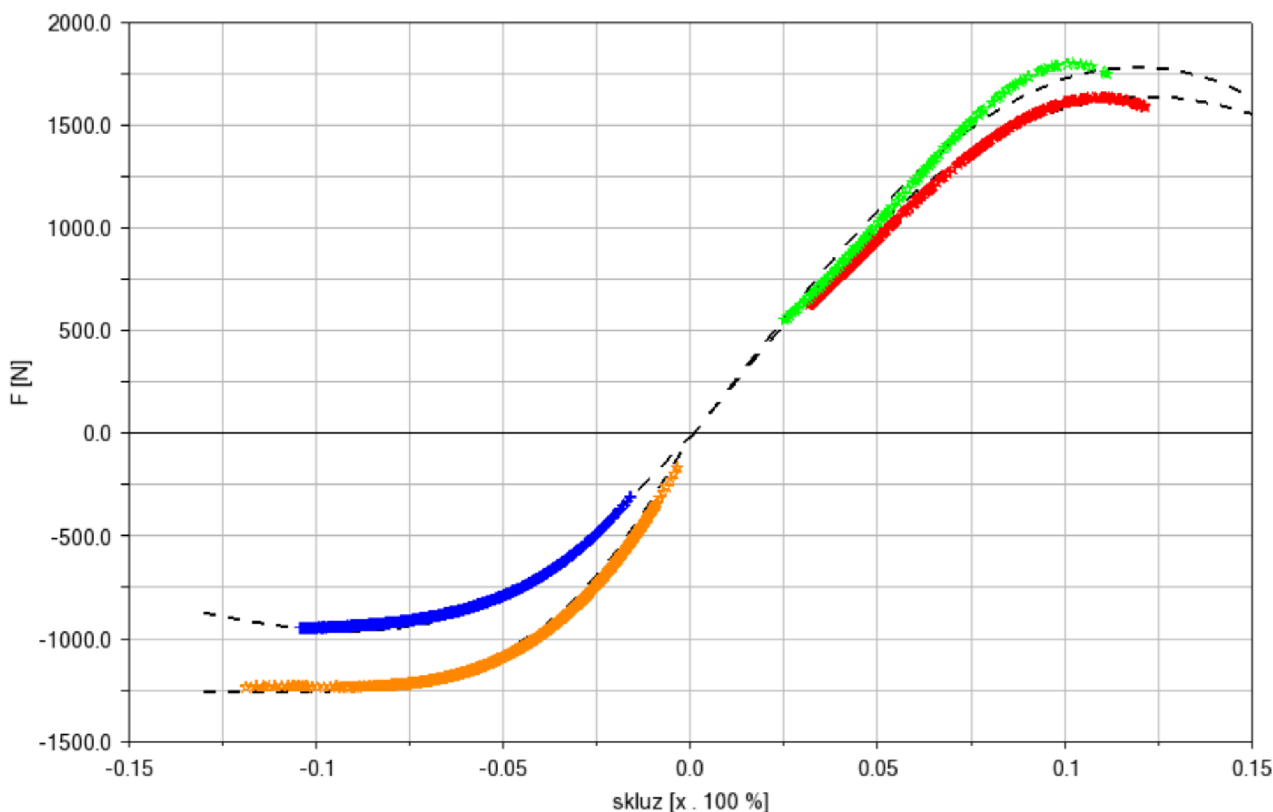


Obr. 5.2 Závislost podélné síly skluzu, akcelerace, zadní kolo

K výsledným polynomům byly v software Adams Car, přizpůsobeny části charakteristik matematického modelu MF pro pneumatiku 185/55 R17, jež je obsažen v adresáři výchozích sdílených matematických modelů pneumatik.

Vypočtené charakteristiky nebyly získány při konstantním zatížení pneumatiky, neboť to se vlivem přenosu zatížení během testů mění. Nelze proto očekávat získání křivek, které by tvarem odpovídaly typickým průběhům získávaným z laboratorních testů. Metoda zároveň neposkytla věrohodná data, pro malé a vysoké hodnoty skluzů (vysoké ve smyslu překonání adhezního maxima pneumatiky). Takto získané charakteristiky nicméně v principu mohou přímo vypovídat o reálných vlastnostech pneumatik, na reálném vozidle, vozovce a s reálným rozložením hmotností.

Křivky na Obr. 5.3 ukazují možnost práce s výsledky, která odpovídá primárnímu cíli představené metodiky. Graf souhrnně ukazuje výsledné polynomy a přizpůsobené charakteristiky modelu pneumatiky. Ty byly získány analýzou testů akcelerace a brzdění pro 4 různá zatížení zadní pneumatiky (červená A-IV, modrá A-V, oranžová C-II, zelená C-III). Černou barvou, přerušovanou čarou, jsou vykresleny průběhy částí přizpůsobených charakteristik matematického modelu pneumatiky.

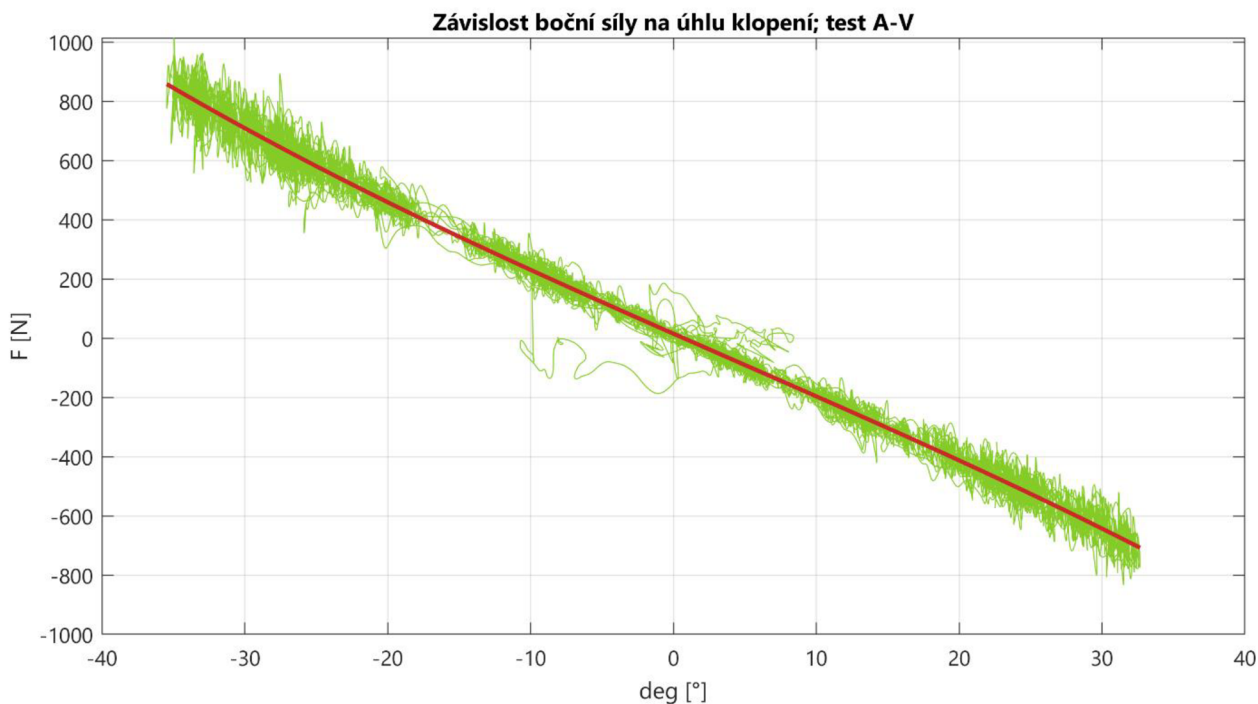


Obr. 5.3 Přizpůsobení matematického modelu pneumatiky MF

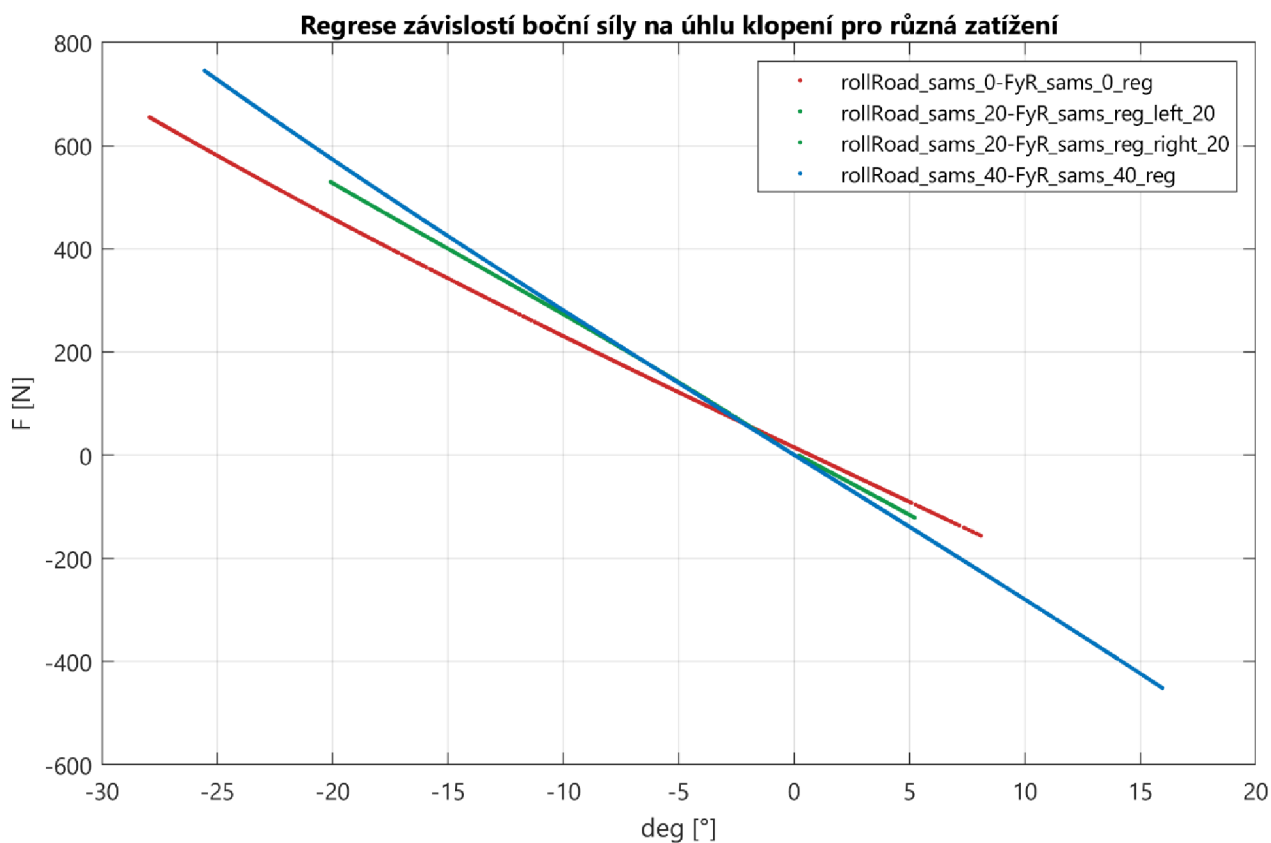
5.3 KRUHOVÝ TEST

Kruhové testy, provedené způsobem popsaným v kapitole 4.2.4 měly za cíl poskytnout data, ze kterých by bylo možné vypočítat závislosti boční síly na odklonu a směrové úchylce pneumatiky. Změnou vnějších vlivů se předpokládalo získání kombinací různých bočních sil a odklonů pneumatik, při nenulovém úhlu směrové úchylky.

U kruhových testů dvoustopých vozidel s rostoucí rychlostí a bočními silami působícími na vozidlo řidič tyto kompenzuje přizpůsobením úhlu natočení volantu (u nedotáčivých vozidel s rostoucí rychlostí zvětšuje úhel natočení volantu). Stejnou situaci musí jezdec jednostopého vozidla kompenzovat zvyšováním úhlu klopení, přičemž v obou případech rádius zatáčky udržují konstantní. V obou případech ovšem při těchto testech s rostoucí rychlostí roste i úhel směrové úchylky. V této fázi výzkumu není metoda dostatečně pokročilá na jeho spolehlivé rozlišení a tento jev proto nebyl podroben srovnání s modelem pneumatiky MF, obdobně jako v případě testů akcelerace a brzdění, resp. viz Obr. 5.3. Graf na Obr. 5.4 zachycuje závislost vypočtené boční síly na zadním kole na úhlu klopení motocyklu vůči vozovce (potažmo odklonu pneumatiky). Závislost je proložena regresním polynomem třetího stupně.



Obr. 5.4 Závislost boční síly na úhlu klopení motocyklu, zadní kolo

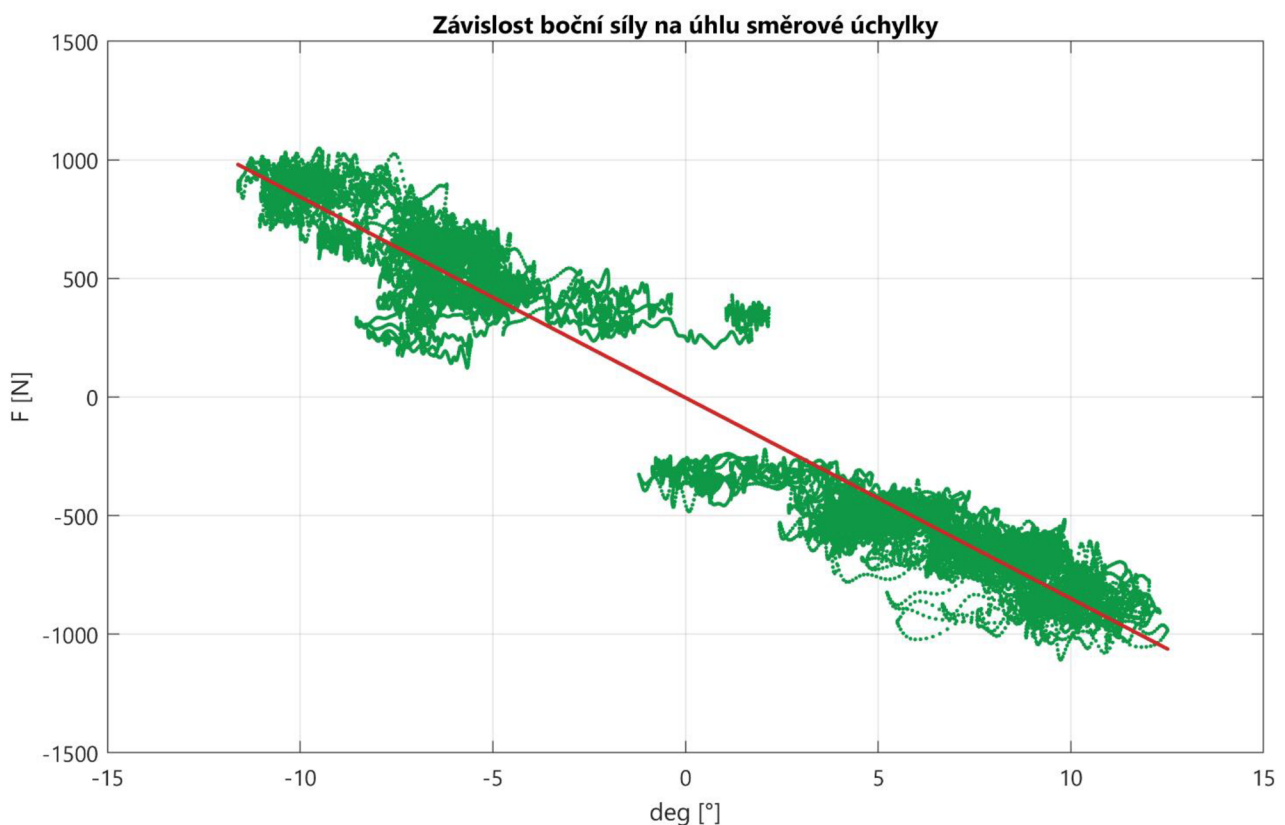


Obr. 5.5 Závislost boční síly na úhlu klopení motocyklu, zadní kolo, různá zatížení

Graf na Obr. 5.5 zobrazuje výsledky tohoto testu pro tři různá zatížení (testy A-V, B-VII, C-IV), resp. regresní polynomy proložené závislostmi měřených a vypočtených hodnot. Červenou barvou pro základní konfiguraci motocyklu (A),

zeleně pro zatížení +20 kg (B) a modře pro zatížení +40 kg (C). Znaménka v osách x-y, rozlišují směr, ve kterém byl test proveden. Lze si povšimnout, že výsledky nepokrývají ve všech zatíženích a směrech stejné rozsahy sil a úhlů klopení. Toto omezení bylo způsobeno nedostatečnou kvalitou naměřených dat, resp. regresní polynomy byly prokládány pouze těmi částmi dat, které nevykazovaly nepřijatelný rozptyl hodnot.

Graf na Obr. 5.6 zobrazuje (zelenou barvou) závislost vypočtené boční síly na skluzu pneumatiky na zadním kole, během kruhového testu C-IV. Výsledky byly proloženy přímkou (vykreslenou červeně) s předpokladem, že pneumatiky pracovaly v lineární části charakteristiky. Na rozdíl od testů akcelerace a brzdění, by vypočtené charakteristiky měly být získány při konstantním zatížení pneumatiky, proměnné změnou statického zatížení motocyklu. Lze proto očekávat získání křivek, které by tvarem odpovídaly typickým průběhům získávaným z laboratorních testů. Metoda zároveň neposkytlá zpracovatelná data, pro hodnoty směrové úchyly blízké nule. Takto získané charakteristiky v principu mohou přímo vypovídat o reálných vlastnostech pneumatik, na reálném vozidle, vozovce a s reálným rozložením hmotností. Vypočtené závislosti vykazovaly relativně velký rozptyl hodnot, nebylo proto přikročeno k jejich přizpůsobení matematickým modelům pneumatik MF (viz Obr. 5.3). Pro účely této práce, postačuje ukázka možností metodiky na Obr. 5.6.



Obr. 5.6 Závislost boční síly na úhlu směrové úchyly, zadní kolo, test C-IV

5.4 PARABOLY A SPIRÁLY

Zkoušky parabol a spirál, provedené způsobem popsáním v kapitole 4.2.5 měly za cíl poskytnout data, ze kterých bylo možné vypočítat podélné síly a skluzu pneumatik. Změnou vnějších vlivů se předpokládalo získání kombinací různých podélných skluzů a sil, ale na rozdíl od zkoušek brzdění a akcelerace při nenulovém, konstantním úhlu klopení motocyklu (resp. odklonu pneumatiky).

Byly vypočítány závislosti podélné síly na skluzu pro zadní kolo během testů parabol a spirál. Bylo možné předpokládat, že při těchto testech pneumatiky pracovaly v lineárních oblastech charakteristik, měřená data byla proto prokládána regresním polynomem prvního stupně (přímkou).

Trend výsledných přímk odpovídal základnímu předpokladu, resp. regresní přímk prochází osami x a y v blízkosti počátku souřadného systému. Prokládané hodnoty však vykazují relativně vysoký rozptyl hodnot, neboť testy v dané podobě vykazovaly nízkou míru opakovatelnosti a graficky zde proto nejsou vyobrazeny.

5.5 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

Zpracování a analýzy výsledků virtuálně rekonstruovaných jízd ukázaly, že představená metodika jízdnicích testů motocyklu poskytuje data, využitelná k identifikaci parametrů modelů pneumatik. Zároveň byly odhaleny některé její nedostatky, které vyplývají z kvality měřených dat a způsobu provedení jízdnicích testů.

Příklad využití výsledků k identifikaci parametrů MF modelu pneumatiky byl realizován pro případ podélné dynamiky, resp. zpracováním testů akcelerace a brzdění. Představené výsledky zbylých testů slouží primárně k představení možností a kvality výsledků této metody v její současné podobě. Všechny představené silové závislosti jsou vykresleny pro zadní kolo motocyklu, která je zatěžována točivým momentem od motoru i brzděním. Obdobně lze vykreslit i výsledky pro přední kolo motocyklu, pro účely této práce by však tyto grafy nepřinesly čtenáři nové informace.

Lze konstatovat, že metodika ve své současné podobě umožňuje pomocí inverzních multibody simulací vypočítat síly pod koly motocyklu, včetně zahrnutí vlivu přenosu zatížení během akcelerace a brzdění. Dále umožňuje vypočítat podélný skluz a směrovou úchytku pneumatik, kvalita těchto výsledků dává jasný směr k úpravám měřicího systému. Inverzní model při výpočtech výše zmíněných veličin mimo jiné zohledňuje i změny dynamického poloměru pneumatik pomocí měření LED snímači vzdálenosti umístěných poblíž středů kol (viz Obr. 2.2). Změna dynamického poloměru, během testů akcelerace a brzdění byla až 20 mm, má tedy výrazný vliv na výsledky.

Přesnost vypočtených skluzů by bylo žádoucí vylepšit použitím přesnějších měřicích zařízení. Konkrétně modernější inerciální GPS jednotkou, nahrazením LED snímačů vzdáleností laserovými, a především změnou způsobu snímání rychlosti otáčení kol. Ukázalo se, že kvalita informací dostupných z řídicí jednotky ABS, snímaných z CAN-BUS motocyklu této metodě nedostačuje. Obecně u všech měření

se ukázalo, že veličiny popisující polohu a orientaci vozidla v prostoru, poskytované inerciální GPS jednotkou OxTS RT 3002 jsou spolehlivé a přesné až od rychlosti přibližně 30 km/h.

Kontakt pneumatik s vozovkou je idealizován do bodu na vozovce pod středem kol. Při projíždění zatáček (nenulovém odklonu pneumatik) se tento bod přesouvá mimo podélnou rovinu souměrnosti motocyklu. Tento jev nebyl v inverzním MB uvažován. Pakliže by bylo cílem dalšího výzkumu identifikace parametrů pneumatik pro příčnou dynamiku, zde zůstává prostor pro doplnění inverzního MB modelu.

Manévry parabol a spirál jsou principiálně proveditelné a mohou rozšířit oblasti, pro které by bylo možné identifikovat parametry pneumatik. Otázkou zůstává jejich opakovatelnost, v dané podobě se ukázala být poněkud nízká, opakováním testů nedochází k výraznému zpřesnění výsledků. Jedná se zároveň o kombinovaný manévr podélné i příčné dynamiky, bez doplnění inverzního MB modelu o přesun kontaktu pneumatik mimo podélnou rovinu souměrnosti motocyklu, je do výsledků zanášena systematická nepřesnost. Pro tento účel by nebylo nutné provádět všechna měření znovu, funkčnost rozšířeného MB modelu lze vyzkoušet na již naměřených datech.

Pro další výzkum v této oblasti, po případném adresování zjištěných nedostatků a realizaci možných vylepšení, je nutné vyřešit otázku validace získaných výsledků. Veškeré zde představené výsledky nejsou validovány, ačkoliv číselně odpovídají základním předpokladům, jsou prezentovány jen jako ukázky principiální funkčnosti metody a správnosti navržené metodiky.

Představená metodika zároveň může sloužit nejen k výzkumu v oblasti pneumatik, Naměřená a vypočtená data vnáší vzhled do dynamický jízdnic stavů motocyklu během reálné jízdy. Lze tak poskytnout platformu pro výzkum jízdnic vlastností motocyklů na libovolném povrchu, vývoji asistenčních systémů, sběru dat pro analýzy a výzkum s pomocí nástrojů umělé inteligence, simulace dopravních situací a mnohých další oblastí.

ZÁVĚR

Tato dizertační práce se zabývala problematikou dynamiky vozidel, konkrétně návrhem a vyzkoušením metodiky, umožňující získat data pro identifikaci parametrů matematických modelů pneumatik z měřených jízd. Pro výpočet sil přenášených mezi pneumatikami a vozovkou metodika zahrnuje využití inverzních multibody simulací, vyvinutých na ÚADI, FSI, VUT na míru dvoustopým vozidlům [6]. Ty byly v rámci rešerše uvedeny do kontextu konkurenčních metod v dané oblasti výzkumu. Cíle práce byly stanoveny s ohledem na know-how a technické zázemí ústavu, na kterém se budou realizovat. Výsledky této práce, nové poznatky a jejich analýza by měly výrazně přispět ke kvalitě výsledků získaných z dynamických simulací motocyklu.

Na základě změřených fyzikálních vlastností motocyklu byly vytvořeny jeho virtuální multibody modely, které umožňují provádět potřebné simulace jízd. Dále byl vytvořen funkční měřicí systém, který umožňuje zaznamenávat potřebné veličiny a je

možné ho modulárně rozšiřovat. Měřená data lze zpracovávat samostatně a lze je také propojit s inverzním modelem, pomocí něž lze realizovat inverzní úlohy, resp. dopočítat neměřené veličiny. Bylo ověřeno, že zvolená metoda principiálně funguje, resp. lze i v případě motocyklu stanoveným způsobem dopočítat veličiny, které při jízdě nebyly přímo měřeny.

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit metodiku zahrnující konkrétní jízdní manévry, které by v kombinaci se záznamem měřených a vypočtených hodnot poskytl data použitelná pro identifikaci parametrů matematických modelů pneumatik. Jízdní manévry a jejich příprava byla představena v kapitole 4, výše zmíněnou metodiku tvoří společně s poznatky v kapitolách 2, 3 a 5.

Práce ukázala, že pro zamýšlené účely představená metodika jízdních testů potřebná data v principu poskytuje. Problematika je ovšem natolik rozsáhlá, že pro pokračování výzkumu by bylo žádoucí ji rozdělit na více podoblastí, zpracovávaných samostatně. Výzkum takového rozsahu by ovšem již potřeboval širší vizi, zahrnující mimo jiné i rozpočet na realizaci validačních měření. Množství informací, poskytovaných touto metodikou zároveň otevírá možnosti pro výzkum v dalších oblastech, nejen zaměřených na identifikaci parametrů pneumatik. Může se jednat např. o platformu pro výzkum jízdních vlastností motocyklů na libovolném povrchu, vývoj asistenčních systémů, ke sběru dat pro analýzy a výzkum s pomocí nástrojů umělé inteligence, simulace dopravních situací a mnohých další oblastí.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] GIM, Gwanhgun Howard, Archie JI a Marco LIN. Analysis on MTS Flat-Trac CT & SS [online]. In: . 2023 [cit. 2023-11-07]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.31928.93443
- [2] TASS International. "Tyre Testing," June 21, 2021. [online] [cit. 2023-08-20] Dostupné z: <https://tass.plm.automation.siemens.com/tyre-testing>
- [3] VASQUEZ, F., R. LOT, E. RUSTIGHI and R. PEGORARO. 2021. Tyre forces estimation for off-road motorcycles. Mechanical Systems and Signal Processing [online]. 150. Available at: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0888327020306142>
- [4] BARTOLOZZI, Mirco, Giovanni SAVINO and Marco PIERINI. 2022. Novel high-fidelity tyre model for motorcycles to be characterised by quasi-static manoeuvres – rationale and numerical validation. Vehicle System Dynamics [online]. 60(12), 4290-4316. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00423114.2021.2013506>
- [5] TOBIÁŠ, Martin. *Analýza dynamických měřených stavů motocyklu*. Diplomová práce, vedoucí doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ústav Automobilního a dopravního inženýrství, 2019.
- [6] Výzkum, Dynamika vozidel, SADT, ÚADI FSI VUT. Ústav automobilního a dopravního inženýrství [online]. Brno: PSoIT Pavel Schauer, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <http://www.iae.fme.vutbr.cz/vyzkum-dynamika-vozidel-sadt>

- [7] PORTEŠ, Petr. *Využití matematických modelů vozidel*. Brno, 2014. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojní.
- [8] CHELI, F., M. PEZZOLA, N. TARONI, P. MAZZOLENI a E. ZAPPA. Driver's movements influence on the lateral dynamic of a sport motorbike. In: 2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED) [online]. Corfu: IEEE, 2011, s. 916-921 [cit. 2023-11-09]. ISBN 9781457701245. Dostupné z: doi:10.1109/MED.2011.5983207
- [9] CHELI, F., P. MAZZOLENI, M. PEZZOLA, E. RUSPINI a E. ZAPPA. Vision-based measuring system for rider's pose estimation during motorcycle riding. Mechanical systems and signal processing [online]. LONDON: Elsevier, 2013, 38(2), 399-410 [cit. 2023-11-07]. ISSN 0888-3270. Dostupné z: doi:10.1016/j.ymsp.2013.01.009
- [10] Mapy.cz. © Seznam.cz, a.s. [online]. 2024 [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?m3d=1&height=251&yaw=77&pitch=-90&l=0&lgn=1&x=17.5294602&y=49.2022692&z=19&base=ophoto>. Creative Commons 4.0 (CC-BY-SA 4.0).

ŽIVOTOPIS

Osobní údaje

Jméno a příjmení: Martin Tobiáš
Národnost: Česká
Narozen: 24.01.1992, Brno
Adresa: Zlatá Hora 1352, Slavkov u Brna, 68401, okr. Vyškov
E-mail: Martin.tobias@vutbr.cz

Vzdělání

2019 - 2024 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Doktorský studijní program

2017 - 2019 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Magisterský studijní program

20011 - 2016 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Bakalářský studijní program

2003 - 20011 Gymnázium Bučovice

Pracovní zkušenosti

2019 - 2024	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství Ústav automobilního a dopravního inženýrství Výzkumný pracovník - junior
2016 - 2018	Bohrtrade s.r.o., VN-machinery, Liko-S a.s. Konstruktér, technolog, odborný technický pracovník
7 – 9/2011	Honeywell, spol. s r.o., Honeywell Turbo Technologies Student engineer

Projekty

2019 - nyní	smluvní výzkum s firmou Continental v oblasti dynamiky vozidel a chování podvozkové části motorových vozidel.
2024 - nyní	„KOSTKA - kolobka, s. r. o. - Aplikace 1 - Výzkum a vývoj druhé generace multiplatformy pro mikromobilitu a souboru komponentů pro zlepšení užitných vlastností koloběžek“ (OP TAK CZ.01.01.01/01/22_002/0000484)
2021 - 2023	„Výzkum a vývoj elektrokoloběžek s asistencí odrazu a inovativní platformy pro mikromobilitu“ (CZ.01.1.02/0.0/0.0/19_262/0020188, OP PIK Aplikace, výzva VII), projektu „Nové technologie pro nízkoe emisní mobilitu“ (FSI-S-20-6267)
2022	„Tenzometrické měřicí kolo pro motocykl“, FV 22-17
2021 - 2022	Vývoj prototypu dvoudobého jednoválcového motoru pro pohon motokrosové sajdkáry. Smluvní výzkum pro C.S.O. spol. s.r.o., podpořeno MPO – Inovační voucher,
2021	„Měřicí systém interakce řidič – motocykl“, FV 21-32
2020 - 2021	„Vývoj prototypu nového modelu okruhové závodní sajdkáry kategorie F2. Smluvní výzkum pro C.S.O. spol. s.r.o., podpořeno MPO – Inovační voucher,
2020	„Měřicí řetězec jízdní dynamiky motocyklu“, FV 20-32
2019 – 2020	Národní centrum kompetence Josefa Božka pro pozemní dopravní prostředky. TAČRT N01000026S

ABSTRAKT

Tématem práce je analýza dynamických jízdních stavů motocyklu v rámci dlouhodobého cíle tvorby nových nástrojů a metod pro účely výzkumu vozidel na Odboru motorových vozidel ÚADI FSI VUT. Cílem práce je vytvoření metodiky umožňující získat z měřené jízdy motocyklu data, využitelná pro tvorbu a ladění modelů pneumatik. Metoda spočívá v realizaci inverzních multibody simulací pomocí interně vyvinutých softwarových nástrojů. Ty vyžadují vytvoření věrohodného multibody modelu motocyklu a měřicího systému, který během jízdy s dostatečnou přesností zaznamená veličiny odpovídající stupňům volnosti multibody modelu motocyklu. Součástí vytvářené metodiky je i definice vhodných jízdních manévru. V práci jsou představeny realizace těchto požadavků, včetně výsledků inverzních multibody simulací. Ty jsou v práci dále zpracovány, za účelem ukázky jejich použitelnosti k zamýšlenému účelu. Následně je nabídnuta diskuze nad dosaženými výsledky a možnému pokračování výzkumu.