



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav dopravních prostředků**

**Konstrukce motocyklu pro soutěž MotoStudent
Analýza parametrů**

**Motorcycle construction for the MotoStudent competition
Parameters analysis**

bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: Inteligentní dopravní systémy
Vedoucí práce: Ing. Jiří First

Jan Štěrba

Praha 2015



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jan Štěrba

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Konstrukce motocyklu pro soutěž MotoStudent -
analýza parametrů**

Název tématu (anglicky): Motorcycle construction for the MotoStudent competition -
parameters analysis

Zásady pro vypracování

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

- seznámení se s pravidly a předpisy projektu MotoStudent
- ve smyslu pravidel projektu sestavení souboru parametrů ovlivňujících soutěž
- výběr parametrů motocyklu nezbytných k ověření
- ověření vybraných parametrů dle možností
- porovnání parametrů s konkurenčními motocykly

Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího bakalářské práce


Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)


Seznam odborné literatury: Rules and regulations MotoStudent
First J.: Zkoušení automobilů a motocyklů, SnT CZ, 2008
Vlk František: Teorie a konstrukce motocyklů, František Vlk, 2004

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří First**


Datum zadání bakalářské práce: **15. října 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 bakalářské práce: **24. srpna 2015**
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


.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků


.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Jan Štěrba
jméno a podpis studenta

V Praze dne 15. října 2014

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu Ing. Jiřímu Firstovi za vedení a připomínkování mé bakalářské práce z oboru vývoje jednostopých vozidel.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užívání 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).

Dále prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Praha, Srpen 2015

Jan Štěrba

Abstrakt

Práce je podkladem pro soutěžní tým vyvíjející silniční závodní motocykl pro soutěž MotoStudent. Cílem práce je sestavení souboru parametrů, ke kterým je nutné přihlédnout při návrhu a konstrukci závodního motocyklu. Dále tato práce uvádí metody, kterými je nutné uvedené parametry zkoušet a ověřit. Analýza a ověřování parametrů je vedeno jak s přihlédnutím ke všeobecně žádaným hodnotám, tak k hodnotám, které jsou dány pravidly soutěže MotoStudent. Kromě analýzy parametrů a shrnutí metod jejich testování je v práci uvedeno i porovnání navrhovaného studentského motocyklu s dalšími modely. Vedle porovnání se sériovými motocykly je sledována shoda navrhovaného motocyklu s kategorií Moto 3 v rámci Moto GP. Uvedená porovnání s jinými modely pak vedou k doporučení použít obdobná řešení i u studentského motocyklu.

Klíčová slova

MotoStudent; motocykl; silniční závodní motocykl; těžiště; parametry motocyklu; jízdní odpory; stabilita; Moto 3; Honda CBR250R

Abstract

The thesis is a footing for a student team developing a roadrace motorcycle for the MotoStudent competition. The objective of the thesis is to establish a list of parameters that the team must take into consideration when designing and constructing a racing motorcycle. In addition, this thesis lists the methods needed to measure or verify all the parameters involved. The parameters analysis and the proposed testing are developed in according to generally required values as well as values prescribed by the competition rules. Besides, the thesis involves a comparison of the designed student motorcycle with other existing motorcycle models. Except of the comparison with basic series production models is found a similarity between the student motorcycle and the ones from Moto 3 category in Moto GP competition. The mentioned comparison lead to recommendation to use similar design solutions.

Keywords

MotoStudent; roadrace motorcycle; center of gravity; motorcycle parameters; driving resistances; stability; Moto 3; Honda CBR250R

Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	10
1. Úvod	12
2. Parametry motocyklu, jejich rozdělení a postup návrhu	14
2.1. Definování parametrů	14
2.2. Rozdělení parametrů	14
3. Statické parametry ovlivňující soutěž	15
3.1. Geometrické parametry	15
3.1.1 Rozměry motocyklu	15
3.1.2 Trojúhelník posedu	16
3.1.3 Geometrie řízení	19
3.2. Hmotnostní charakteristika	21
3.2.1 Sledované hmotnosti motocyklu	21
3.2.2 Těžiště a hmotnost připadající na jednotlivé nápravy	22
3.2.3 Moment setrvačnosti	24
4. Dynamické parametry ovlivňující soutěž	26
4.1. Jízdní odpory	26
4.1.1 Odpor valivý	26
4.1.2 Odpor vzdušný	27
4.1.3 Odpor stoupání	28
4.1.4 Odpor zrychlení	28
4.1.5 Celkový jízdní odpor a hnací síla na kole	28
4.2. Výkonnostní parametry	29
4.2.1 Motor a jeho použití	29
4.2.2 Charakteristika motoru	30
4.2.3 Výkon a hnací síla	30
4.2.4 Maximální rychlost	31
4.3. Parametry převodového ústrojí	33
4.3.1 Stávající převodová skříň	33
4.3.2 Návrh sekundárního převodu a rozety	33
4.4. Parametry brzd	34
4.4.1 Výpočet brzdných sil	34
4.4.2 Ideální brzdná síla	36
4.4.3 Brzdný moment síly na kole	37

4.4.4	Brzdové komponenty.	38
4.4.5	Zkoušky brzd.....	38
4.5.	Stabilita	39
4.5.1	Vliv boční síly na stabilitu při přímé jízdě	40
4.5.2	Vliv natočení kola na stabilitu při přímé jízdě	42
4.5.3	Stabilita motocyklu při jízdě po kruhové dráze.....	42
4.5.4	Metody zlepšení stability jednostopého vozidla.....	44
4.5.5	Zkoušení stability motocyklů	45
4.6.	Odpružení.....	46
4.6.1	Zdroj svislých kmitů.....	46
4.6.2	Parametry odpružení vozidel.....	47
4.6.3	Kritéria posuzování odpružení	48
4.6.4	Vliv parametrů při návrhu odpružení vozidel	50
4.6.5	Houpání motocyklu a vliv na odpružení	52
4.6.6	Kontrolní testování odpružení	53
5.	Emisní parametry ovlivňující soutěž.....	54
5.1.	Emise hluku.....	54
5.1.1	Limity hluku	54
5.1.2	Metody snižování emisí hluku	54
5.1.3	Zkoušení emisí hluku	54
5.2.	Emise vibrací.....	54
5.2.1	Limity vibrací.....	55
5.2.2	Snižování emise vibrací a jejich měření.....	55
5.3.	Emise exhalací a elektromagnetického záření.....	55
6.	Parametry obdobných motocyklů.....	55
6.1.	Konkurenční a obdobné kategorie motocyklů.....	56
6.2.	Geometrické parametry a parametry řízení	56
6.3.	Porovnání se závodními motocykly Moto3.....	57
7.	Závěr.....	61
	Seznam použité literatury	63

Seznam zkratk a symbolů

ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
MEF	Moto engineering foundation
P95	Percentil 95
GPS	Global positioning system
EU	Evropská unie

Seznam obrázků

Obrázek 1: Referenční roviny pro jednostopá vozidla [5]	16
Obrázek 2: Trojúhelník posedu - levá strana vozidla [8]	16
Obrázek 3: Trojúhelník posedu z pravé strany (vlevo) a trojúhelník v rovině půdorysu (vpravo) ..	17
Obrázek 4: Definované úhly " α " a " β " pravidly soutěže [1]	17
Obrázek 5: Průměrné trojúhelníky posedu na různých kategoriích motocyklů doplněné o polohu ramen a loktů [3]	18
Obrázek 6: Trojúhelník posedu pro supersportovní motocykl Honda NSR250 má téměř vodorovnou horní stranu	19
Obrázek 7: Úhel hlavy řízení zde označen jako „Head angle“ a stopa(závlek kola) zde označen jako „trail“. [2]	20
Obrázek 8: Měření polohy těžiště motocyklu pomocí vážení a natáčení motocyklu do jiného než vodorovného směru [2]	24
Obrázek 9: Kyvadlo používané pro zjištění momentu setrvačnosti dle [5].....	25
Obrázek 10: Zavěšená rovina používaná pro zjištění momentu setrvačnosti dle [5].....	26
Obrázek 11: Určení čelní plochy vozidla, která je vstupem do výpočtu vzdušného odporu [13]....	27
Obrázek 12: Aproximace průběhu brzdné síly zanedbáním doby náběhu [13]	35
Obrázek 13: Síly a z nich plynoucí momenty síly působící na vozidlo při brzdění [13]	37
Obrázek 14: Síly a momenty sil působící na kolo brzděného vozidla [13].....	37
Obrázek 15: Zkušební stav, na kterém bude v rámci soutěže provedena zkouška brzd [1].....	39
Obrázek 16: Schématické znázornění průběhu zkoušky brzdné dráhy [1]	39
Obrázek 17: Momentová rovnováha motocyklu při působení bočního větru [12]	41
Obrázek 18: Směrová tuhost pneumatiky při odvalování, výsledný směr pohybu kola a tvar styčné plochy pneumatiky s vozovkou Obrázek 19: Výslednice sil a směr pohybu při působení bočního větru na motocykl [12]	41
Obrázek 20: Závlek kola a vznikající vratný moment	42
Obrázek 21: Síly a jejich výslednice působící na motocykl při průjezdu zatáčkou [12].....	43
Obrázek 22: Možné pozice jezdce a jejich vliv na polohu těžiště motocyklu [12].....	43
Obrázek 23: Model odpružení kola a znázornění použitých veličin	47
Obrázek 24: Možná charakteristika pružin [5].....	47
Obrázek 25: Charakteristiky tlumičů [13].....	48
Obrázek 26: Mezní hodnoty zrychlení působící na člověka v závislosti na době trvání [12].....	49
Obrázek 27: Vliv tuhosti pružin c na zrychlení (vlevo) a přitlačnou sílu (vpravo) [13]	50
Obrázek 28: Vliv parametru tlumičů k na zrychlení (vlevo) a přitlačnou sílu (vpravo) [13].....	51
Obrázek 29: Vliv hmotnosti nápravy (m_1) a nastavby (m_2) na zrychlení (vlevo) a přitlačnou sílu (vpravo) [13]	51

Obrázek 30: Závislost pohodlí posádky a bezpečnosti provozu	52
Obrázek 31: Motocykl Husqvarna FR250GP [19].....	58
Obrázek 32: Motocykl KTM RC250GP českého jezdce Karla Haniky [17]	58
Obrázek 33: Motocykl Honda NSF250R [17]	59
Obrázek 34: Motocykl Mahindra MGP30 [18].....	59

1. Úvod

Tým studentů výukového projektu Bezpečný motocykl na Fakultě dopravní ČVUT, jehož jsem členem, se spolu s vedoucím projektu přihlásil do soutěže MotoStudent. Soutěž MotoStudent je soutěžní projekt vyhlášený španělskou nadací MEF (Moto Engineering Foundation) ve spolupráci s TechoPark MotorLand. Do soutěže se může přihlásit jakákoliv univerzita na světě. Soutěžním cílem je vyvinout a sestavit silniční závodní motocykl s použitím dodaných komponent, kterými jsou motor, brzdy, kola a pneumatiky. Motocykl je nutné nejprve prezentovat, následně uspět v jízdách zkouškách a nakonec se umístit v silničním okruhovém závodu. Z každé zmíněné etapy je možné získat určitý počet bodů. Celkový bodový součet určí vítěze soutěže. Soutěž byla vyhlášena začátkem kalendářního roku 2015. Na vývoj a zkonstruování studentského závodního motocyklu má tým čas do září roku 2016, kdy je prototyp nutné představit a zúčastnit se s ním jízdách zkoušek a okruhového závodu.

Vývoj studentského motocyklu je usměrněn zejména pravidly soutěže, provozuschopností vozidla a v neposlední řadě obecnými společenskými nároky na bezpečnost. Pravidla soutěže obsahují mnoho omezení, jakým způsobem může být určitá část motocyklu koncipována a následně vyrobena. Některé parametry jsou omezeny krajními hodnotami, ať už minimálními či maximálními. Některá omezení vycházejí také z povinného použití předepsaných komponent. Je proto důležité shromáždit veškerá omezení a pravidla, kterými se bude návrh motocyklu řídit a podle kterého budou vypočteny či vybrány konkrétní hodnoty parametrů. V této práci bude analyzován každý důležitý parametr a bude rozebrán jeho vliv na konstrukci motocyklu. Součástí zpracování analýzy parametru bude i sestavení podmínek a omezení, které je nutné při jeho stanovení respektovat. Vzhledem k tomu, že výstup takového souboru informací bude sloužit dalším konstruktérům, bude u některých parametrů nastíněn postup jejich návrhu.

Každý vývoj dopravního prostředku vyžaduje před samotnou konstrukcí prototypu definici jeho určení, návrh jeho základních charakteristik a parametrů a zhodnocení možností a schopností výrobce. Na základě těchto skutečností je možné přistoupit k vytvoření modelu či makety a následně konstrukci vozidla. Předem navržený parametr vozidla je při konstrukci prototypu zřetelně postupem výroby. I přesto, že konstrukční řešení a postupy byly předem navrženy tak, aby umožnily dodržení sledovaného parametru, je nutné po zhotovení prvního kusu výrobku veškeré parametry přeměřit a zkontrolovat. Tato práce se věnuje kromě zmíněné části analýzy a přípravy návrhu

základních parametrů také způsobům jejich ověření po zhotovení prototypu. Tuto práci studentský tým využije v průběhu vývoje jako podklad při návrhu i testování prototypu.

Ke dni zhotovení této práce prozatím nemáme k dispozici prototyp motocyklu ani potřebné jednotlivé části, zejména motor. Z tohoto důvodu práce neobsahuje výsledky zkoušení či testování jednotlivých parametrů ani některé údaje nutné pro konkrétní návrh parametrů.

2. Parametry motocyklu, jejich rozdělení a postup návrhu

2.1. Definování parametrů

Termín parametr je v této části práce používán v souvislosti s konstrukcí motorového vozidla. Parametr je tedy definován jako určitá charakteristika nebo soubor charakteristik a vlastností motorového vozidla, ze kterých vyplývají jak měřitelné objektivní, tak subjektivní údaje.

Pomocí navrženého souboru parametrů může vzniknout koncept či model vozidla. Měřitelné parametry jsou mimo jiné používány proto, aby bylo možné je mezi jednotlivými vozidly mezi sebou porovnávat. Pomocí porovnání parametrů lze pak vozidla mezi sebou i rozlišit či naopak zařadit do stejné kategorie. V našem případě lze analogicky použít parametry konkurenčních strojů obdobné kategorie jako inspiraci.

Každý parametr, který musí splňovat určitá omezení, je nutné v každé fázi vývoje vozidla kontrolovat a měřit, i když bylo v počátku návrhu definitivně rozhodnuto o jeho konkrétní hodnotě. Proces výroby původní záměr vždy alespoň minimálně zkreslí a výsledný výrobek tak nemusí přesně odpovídat modelu či plánu. Tato kontrola je důležitá zejména v případě výroby prototypu či nulté série.

2.2. Rozdělení parametrů

Parametry dělíme následujícím způsobem:

Parametry motorových vozidel	Statické	Geometrické parametry Hmotnostní parametry
	Dynamické	Výkonostní parametry Jízdní odpory Hnací síla Parametry brzd Stabilita Odpružení Emisní parametry

K rozdělení parametrů je přihlíženo i při tvorbě kapitol. Každá kategorie parametrů má vyhrazenou jednu kapitolu, případně podkapitolu. Takto je možné se zabývat všemi důležitými parametry, které je nutné při návrhu motocyklu odhadnout, spočítat nebo ověřit.

3. Statické parametry ovlivňující soutěž

3.1. Geometrické parametry

3.1.1 Rozměry motocyklu

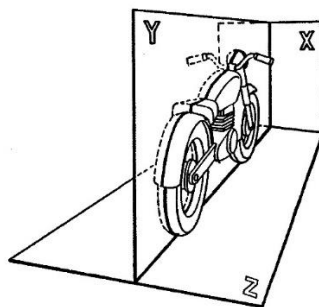
Omezení rozměrů vozidla daná pravidly soutěže jsou následující [1]:

- Minimální šířka mezi konci řídítek je 450 mm.
- Maximální šířka kapotáže je 600mm. Maximální šířka sedla je 450mm.
- Přední hranou motocyklu je hrana předního kola a zadní hranou motocyklu hrana zadního kola. Za tyto limity nesmí zasahovat žádná komponenta.
- Minimální světlá výška musí vždy být alespoň 100mm.
- Vztah výšky a šířky motocyklu musí být takový, aby úhel mezi vozovkou a spojnici místa kontaktu pneumatiky s vozovkou a bokem motocyklu byl vždy alespoň 50° za provozního stavu.
- Motocykl je navrhován na jezdce průměrné výšky.
- Přední kolo má velikost 17“x2,5“, zadní kolo 17“x3,5“

Dílčí podmínky vnitřních rozměrů kapotáže zde nejsou uvedeny.

Návrh rozměrů motocyklu souvisí zejména s návrhem rámu vozidla, který není předmětem této práce. Při návrhu rámu je však nutné se držet jak pravidel výše uvedených, tak níže sepsaných doporučení. Délka motocyklu závisí především na rozvoru a na velikosti kol [2], protože před hranou předního a za hranou zadního kola nesmí být již žádná komponenta [1]. Rozvor samotný je úzce spjat se zmíněným trojúhelníkem posedu (viz. kapitola 3.1.2) a ovlivňuje polohu těžiště. Naopak světlá výška motocyklu, měřená pod motorem, je dána kromě konstrukce rámu a velikostí kol také použitými tlumiči. Jejich krajní polohy určují minimální a maximální výšku motocyklu. Minimální světlá výška musí být ověřena.

Rozměry jsou udávány absolutně v milimetrech, jako např. délka, šířka či výška motocyklu apod. V případě, že je ale nutné určit umístění určitého bodu či komponenty v prostoru, je vhodné použít souřadnice x, y, z vztažené k referenční soustavě. Budeme se držet běžně používané referenční soustavy [5] dle obr. 1.

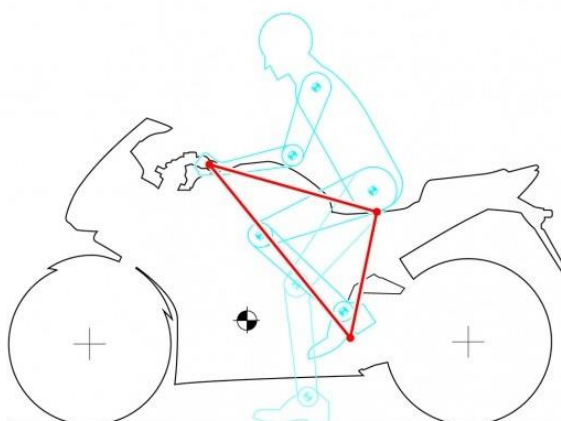


Obrázek 1: Referenční roviny pro jednostopá vozidla [5]

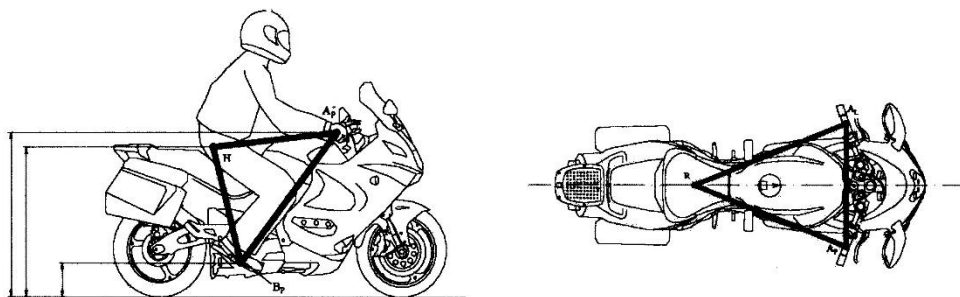
Po definování rozměrů motocyklu návrhem rámu, řídicích a kapotáže je nutné výsledné rozměry stroje ověřit tak, aby bylo potvrzeno, že hotový prototyp splňuje pravidla soutěže i potřebný komfort jezdce. Ověřování rozměrů motocyklu uvedených výše proběhne přeměřením všech veličin pomocí schválených pásových či posuvných měřitek, případně pomocí metru. [5]

3.1.2 Trojúhelník posedu

Trojúhelník posedu je imaginární trojúhelník sestrojený mezi třemi body na motocyklu, definující pozici jezdce. Trojúhelník je definován body řídicího, sedla, stupačka a má tedy strany řídicí-sedlo, sedlo-stupačka a stupačka-řídicí. Při návrhu se používá také druhý trojúhelník, který leží v rovině půdorysu motocyklu, tedy při pohledu shora. Tento trojúhelník je uveden na obrázku 3. Takový trojúhelník slouží zejména ke stanovení pozice jezdce v závislosti na šířce řídicích.



Obrázek 2: Trojúhelník posedu - levá strana vozidla [8]



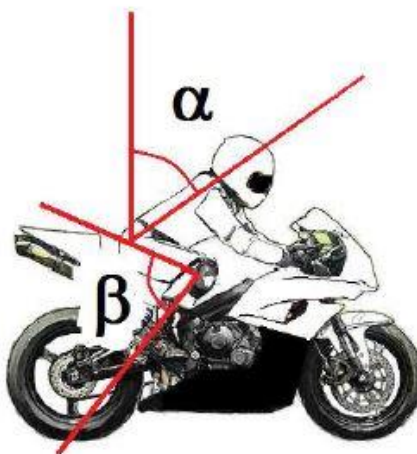
Obrázek 3: Trojúhelník posedu z pravé strany (vlevo) a trojúhelník v rovině půdorysu (vpravo)

Omezení plynoucí z pravidel soutěže [1] pro posed jezdce jsou tato:

- Motocykl je navrhován na jezdce průměrné výšky
- Všechny prvky a symboly promítané na přístrojové desce či na displeji musí být dobře viditelné z normální řidičské pozice.
- Normální řidičská pozice pro řízení sportovního silničního motocyklu při normální jízdě je pro P95 populace popsána těmito doporučenými úhly:

α – úhel ohybu zad: 19° až 40°

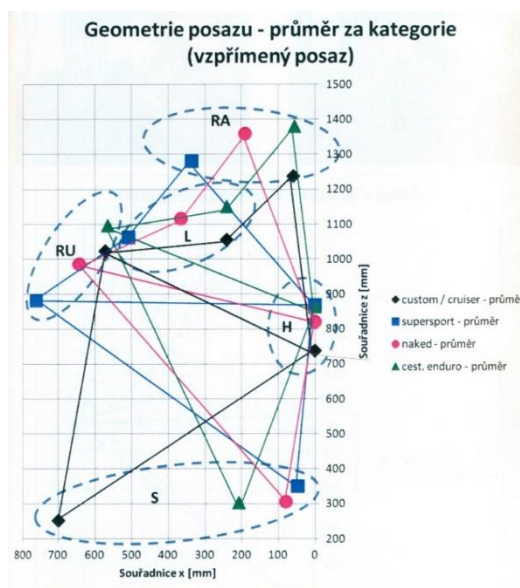
β - úhel ohybu kolena: 65° až 77°



Obrázek 4: Definované úhly "α" a "β" pravidly soutěže [1]

Návrh trojúhelníku posedu vychází především z druhu motocyklu. Pro různé kategorie motocyklů jsou běžné různé trojúhelníky [3] Jejich různé rozměry a tvary jsou patrné z obrázku 5. V našem případě je vyvíjený motocykl sportovním závodním motocyklem a tomu má i odpovídat trojúhelník posedu. Trojúhelník posedu na závodním motocyklu vychází především z potřeby vhodného proudění vzduchu a snížení

aerodynamického odporu. Trojúhelník posedu je nutné maximálně přizpůsobit tak, aby vzdušný odpor uvedený v kapitole 4.1.2 byl co nejvíce snížen.



Obrázek 5: Průměrné trojúhelníky posedu na různých kategoriích motocyklů doplněné o polohu ramen a loktů [3]

Návrh tohoto trojúhelníku na závodních motocyklech by měl být sestrojen na míru jezdcí, v našem případě průměrnému jezdcí. Je vhodné se držet průměrných antropometrických dat v ČR případně dat shromážděných v rámci studie posedů na sportovních motocyklech [3]. Podle [2] by horizontální vzdálenost mezi říditky a sedlem, tedy délka horní strany trojúhelníku posedu neměla překročit 75% rozvoru motocyklu. Tato teorie je odůvodněna schopností jezdce vejít se svou velikostí pohodlně na motocykl.

U závodních motocyklů není však primárním cílem pohodlí jezdce, ale konstrukce funkčního, lehkého motocyklu a vhodnou aerodynamikou, jak bude uvedeno dále. Rozměry jezdce, koncept rámu a podvozku, druh motocyklu, to jsou parametry, ke kterým musí návrhář rámu přihlídnout při základní koncepci těla motocyklu tak, aby umožnil následné umístění stupaček a sedla do vhodného místa.



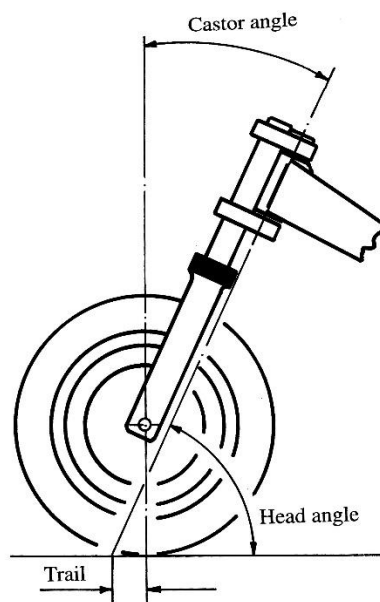
Obrázek 6: Trojúhelník posedu pro supersportovní motocykl Honda NSR250 má téměř vodorovnou horní stranu

Dalším faktorem, který ovlivňuje pozici jezdce a tedy i jeho posed, je operační dosah řidiče. Operačním dosahem se rozumí schopnost řidiče vhodným a bezpečným způsobem ovládat přístroje na motocyklu, zejména na řídítkách a pedálech, případně i jině. Dále je pak pod tímto pojmem rozuměna i dobrá viditelnost na přístrojové ukazatele. Podmínku operačního dosahu vyžadují i pravidla soutěže, tj. stanovují nutnost dobré viditelnosti na přístrojovou desku z normální jezdecké pozice.

Celkovou vhodnost trojúhelníku posedu, pohodlnost a operační dosah musí odzkoušet jak závodní jezdec, tak jezdec podobných rozměrů jako jsou rozměry průměrného jezdce, pokud jim neodpovídá závodní jezdec. Tito, případně ten, pokud se jedná o jednu osobu, odzkouší a určí splnění výše uvedených požadavků.

3.1.3 Geometrie řízení

Geometrie řízení obsahuje dva důležité parametry [2], úhel řízení a stopu, která je označována alternativně jako závlek kola. (obr. 7)



Obrázek 7: Úhel hlavy řízení zde označen jako „Head angle“ a stopa (závlek kola) zde označen jako „trail“. [2]

Pro běžné silniční a závodní motocykly používán úhel mezi 61° a 68° [2]. Tento úhel úzce souvisí s druhým parametrem, stopou. Stopa či závlek je vzdálenost průsečíku vozovky s prodlouženou osou řízení a bodem kontaktu předního kola s vozovkou [12]. Tento parametr je považován za kladný, je-li bod kontaktu kola s vozovkou blíže zadnímu kolu než zmíněný průsečík osy řízení a vozovky. Stopa zapříčiní vznik středícího kroutícího momentu a hlavním přínosem stopy je samovracení řízení, tedy vracení řízení do přímého směru. Běžně používané rozmezí tohoto parametru je 80-120mm. Čím větší bude (kladná) stopa, tím bude středící kroutící moment větší a motocykl bude při přímé jízdě stabilnější, konkrétně lépe zachová přímý směr jízdy.

V pravidlech soutěže není ani jeden z těchto parametrů nijak omezen. Je vhodné se držet běžně používaných hodnot v rozmezí uvedeném výše tak, aby motocykl byl dobře říditelný. Dle zkušenosti ostatních výrobců patrných z kapitoly 5.1 doporučuji omezit rozmezí úhlu řízení na 64° - 68° .

Kontrola a měření úhlu řízení a stopy motocyklu je nutné provádět vždy za totožných podmínek zatížení motocyklu, neboť se obě hodnoty mohou lišit dle stlačení tlumičů či nerovnosti podkladu (vozovky). Měření bude tedy vhodné provádět na vozidle bez zatížení na vodorovném podkladu. Samotné měření bude nevhodněji provedeno pomocí pásového metru s přesností 1mm. [5] Průsečík osy řízení s vozovkou je vhodné promítnout na vozovku pomocí laserového paprsku umístěného v ose řízení.

3.2. Hmotnostní charakteristika

3.2.1 Sledované hmotnosti motocyklu

V oboru motorových vozidel je hmotnost běžně sledovaným parametrem, neboť se jedná o klíčovou konstrukční vlastnost, která má vliv na většinu provozních parametrů. Konkrétní hmotnosti vozidel udává norma ČSN ISO 1176. Dle této normy je u našeho motocyklu relevantní měřit normovanou hmotnost kompletního dodávaného vozidla (ISO M05) a normovanou pohotovostní hmotnost kompletního vozidla (ISO M06) [10].

Hmotnost kompletního dodávaného vozidla je takzvaná suchá hmotnost motocyklu, na kterém jsou osazeny již všechny komponenty ihned po výrobě. Motocykl však není v tomto stavu provozuschopný, neboť musí být bez provozních náplní, tedy paliva, chladicí kapaliny, oleje, maziv a brzdící kapaliny. Na motocyklu taktéž není žádná povinná výbava (lékárnička, nářadí) ani volitelné příslušenství. Tato hmotnost poskytne možnost srovnání hmotnosti samotné konstrukce motocyklu.

Pohotovostní hmotnost kompletního vozidla je taková hmotnost, při které je motocykl schopen běžné jízdy, tedy včetně veškerých provozních náplní. Mezi tyto náplně patří (pokud je jimi vozidlo vybaveno) olej, maziva, chladicí kapaliny, brzdové kapaliny, palivo o objemu alespoň 90% kapacity nádrže a případně nutné vybavení [10].

Obě zmíněné hmotnosti je vhodné sledovat z toho důvodu, aby bylo možné motocykly včetně našeho prototypu mezi sebou porovnávat. Pro účel soutěže je však měřená hmotnost definována následujícími pravidly [1]:

- Celková hmotnost motocyklu je měřena včetně výbavy, všech náplní potřebných k provozu motocyklu a s minimálně jedním litrem paliva v nádrži.
- Celková hmotnost musí být vždy minimálně 95 kg.

Horní hranice hmotnosti není pravidly soutěže omezena. Je však nutné přihlížet k tomu, že ráfky, které budou povinně použity, mají určitou nosnost a tu je třeba dodržet. Parametry ráfků v době zpracování této práce nejsou k dispozici. Zároveň je evidentní, že příliš vysoká hmotnost bude mít negativní vliv na dynamické parametry motocyklu a sníží tak jeho výkonost. Je žádoucí snažit se tedy hmotnost snížit co nejbližší hranici 95kg.

Způsob kontroly hmotnosti probíhá pomocí vážení motocyklu. Metodika vážení prototypu nemusí být v tomto případě nutně ve shodě s normami popisujícími vážení

vozidel. Doporučuji vážení motocyklu pomocí průmyslové podlahové plošinové váhy, pomocí vážících ližin nebo pomocí jeřábové (závěsné) váhy. Poslední varianta se jeví dle [11] jako cenově nejdostupnější, naopak vážící ližiny umožní zjištění hmotnosti na jednotlivých nápravách. (viz níže)

3.2.2 Těžiště a hmotnost připadající na jednotlivé nápravy

Další velmi důležitou veličinou při návrhu konstrukce motocyklu je umístění těžiště. Těžiště neboli hmotný střed motocyklu, je bod v prostoru, který lze definovat souřadnicemi v rovinách x , y , a z dle referenční soustavy zmíněné v kapitole 4.1. Při návrhu správné polohy těžiště je důležité, aby byla zajištěna boční stabilita motocyklu při průjezdu zatáčkou a podélná stabilita při akceleraci a deceleraci [2][5]. Analogicky je definována i hmotnost připadající na přední a zadní kolo, určená polohou těžiště. Je nutné určit dvě polohy těžiště, polohu těžiště samotného motocyklu v pohotovostním stavu a následně polohu těžiště motocyklu i s jezdcem. Je totiž zřejmé, že jezdec svou váhou a rozměrem znatelně ovlivní polohu těžiště.

Hmotnost připadající na jednotlivou nápravu může být udána relativně k celkové hmotnosti, v procentech, nebo absolutně, v kilogramech. Vztah polohy těžiště a hmotnosti připadající na jednotlivou nápravu (zde kolo) je dán následovně:

Relativní hmotnosti získáme jako

$$m_{r_p} = 100 * \frac{l_p}{l} \quad (3.1)$$

pro přední nápravu, a

$$m_{r_z} = 100 * \frac{l_z}{l} \quad (3.2)$$

pro zadní nápravu.

V případě absolutních hmotností použijeme přepočet:

$$m_p = \frac{m_{r_p}}{100} * m \quad \text{případně} \quad m_z = \frac{m_{r_z}}{100} * m \quad (3.3).$$

(m je celková hmotnost vozidla, m_p (m_z) hmotnost na nápravu, l je rozvor a l_p (l_z) horizontální vzdálenost těžiště od osy příslušného kola.)

Na polohu těžiště je nutné brát ohled již při návrhu rámu, neboť rám definuje rozvor a umístění nejtěžší komponenty motocyklu – motoru. Pravidla soutěže neomezují

polohu těžiště. Správné umístění těžiště tak zůstává pouze problematikou dynamického chování motocyklu. V následující tabulce je patrné, jak překročení ideálních hodnot v podélném směru ovlivní dynamiku vozidla:

Umístění těžiště	Úkon	Dynamický jev
těžiště příliš vpředu	akcelerace	prokluz zadního kola
	brzdění	zdvih zadního kola
těžiště příliš vzadu	akcelerace	zdvih předního kola
	brzdění	skluz předního kola

Tabulka 1: Vliv umístění těžiště na dynamické chování motocyklu

Návrh polohy těžiště je nutné zpracovat jak v horizontálním (souř. X) tak i vertikálním (souř. Z) směru. Motocykly jsou jak rozměrově tak hmotnostně silně symetrické podle podélné osy, proto souřadnice Y těžiště se předpokládá v ose motocyklu. Následující tabulka dokumentuje změnu dynamického chování motocyklu dle změny souřadnic X a Z:

Úkon	Dynamický jev	Zvyšování souř. X (posun vzad)	Snižování souř. X (posun vpřed)	Zvyšování souř. Z (posun vzhůru)	Snižování souř. Z (posun dolů)
akcelerace	prokluz zad. kola	pokles	růst	pokles	růst
	zdvih před. kola	růst	pokles	růst	pokles
brzdění	skluz před. kola	růst	pokles	pokles	růst
	zdvih zad. kola	pokles	růst	růst	pokles

Tabulka 2: Vliv souřadnic těžiště na změnu dynamického chování motocyklu dle [2]

Z tabulky plyne, že při snížení jednoho nechtěného dynamického jevu bude zvýšen jiný. Lze tedy shrnout, že hledání konkrétní lokace těžiště je hledání rovnováhy mezi uvedenými dynamickými jevy tak, aby byly ideálně všechny tyto jevy minimalizované. Jejich konkrétní míra bude vždy daná situací a vybavením, tedy přilnavostí pneumatik, výkonem na zadním kole, povětrnostním stavem vozovky, apod.

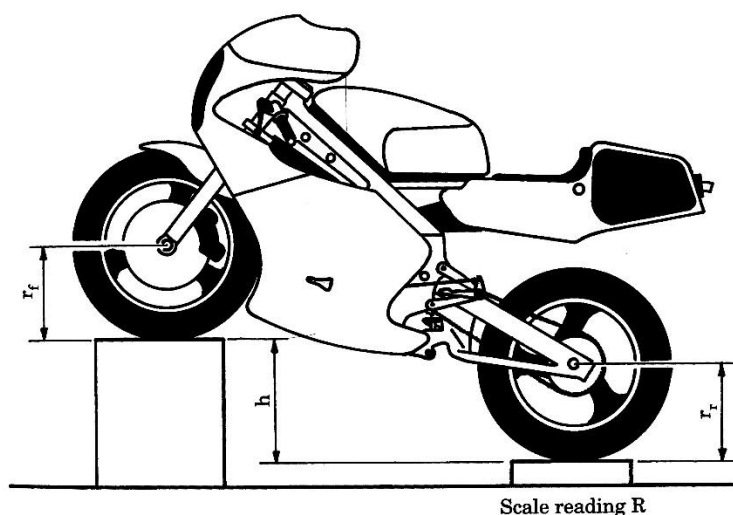
Při návrhu umístění těžiště bych se z důvodu jednoduchosti držel metody použití osvědčených hodnot z praxe jiných výrobců. Dle kapitoly 5.2 a [2] je vhodné orientační rozložení hmotnosti 54%/46% v nenaloženém stavu, 53%/47% s jezdce, případně 50%/50% s jezdce v případě lehčího motocyklu a těžkého jezdce. První číslo určuje podíl hmotnosti na přední nápravě, druhé číslo na zadní. Po vytvoření modelu je následně možné při známých hmotnostech motocyklu se všemi komponentami matematicky přepočítat polohu těžiště a případně navrhnout úpravu.

Měření polohy těžiště na hotovém vozidle probíhá zjišťováním souřadnic těžiště pomocí vážení a naklápění vozidla. Měření probíhá nejprve vážením v běžné poloze vozidla a dále vážením při různě nakloněném vozidle dle obrázku 8. Souřadnice se následně vypočtou podle vztahu [2]:

$$z = \frac{m_p * l - m * l_z}{m * t g \alpha} + r \quad (3.4)$$

Měření je třeba provádět s plně doplněnými kapalinami, aby se minimalizoval jejich přesun a pohyb a pérování musí být zachováno v poloze odpovídající vodorovnému stavu [5 str. 56]. Je vhodné provést měření při více úhlech a výsledek určit statisticky.

Jak poloha těžiště, tak moment setrvačnosti mohou být po změření vstupem pro různé počítačové simulace dynamického chování motocyklu. Pomocí simulace bude nutné ještě před sestavením prototypu ověřit tuhost rámu nebo dynamické chování motocyklu.



Obrázek 8: Měření polohy těžiště motocyklu pomocí vážení a natáčení motocyklu do jiného než vodorovného směru [2]

3.2.3 Moment setrvačnosti

Moment setrvačnosti je další veličinou, kterou je vhodné monitorovat u konstruovaného motocyklu. Moment setrvačnosti je jedinečný parametr každého vozidla, který je důležitý zejména při návrhu pérování a směrové stability [5 str. 57]. Moment setrvačnosti se určuje ke třem osám procházejícím těžištěm motocyklu. Tento parametr přímo závisí na vlastní frekvenci kmitů, proto je tedy nutné těleso rozkmitat respektive rozkřvat.

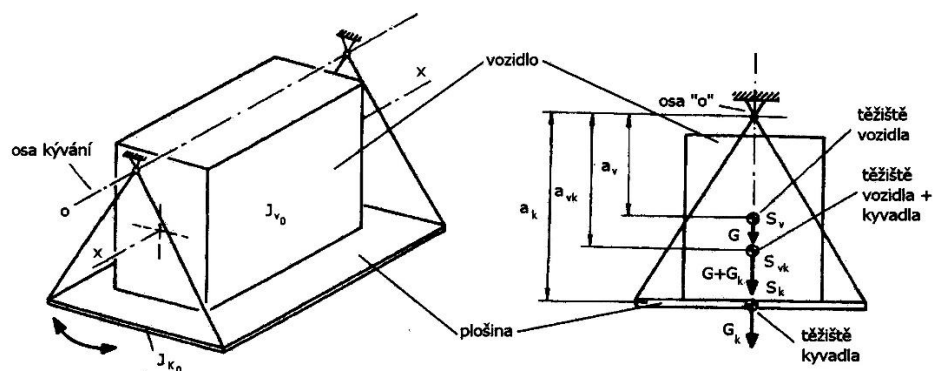
Moment setrvačnosti není ani tak důležité navrhnout, jako ho znát a vycházet z tohoto parametru při dalších výpočtech a návrzích. I z tohoto důvodu není moment setrvačnosti zpracován v pravidlech soutěže.

Metodu zjišťování momentu setrvačnosti, kterou použijeme, je nejjvhodnější provádět podle postupu uvedeného v [5, kap. 12.1.3, str. 57-58] pomocí kyvadla, neboli zavěšené plochy, na kterou je možné umístit vozidlo, a pomocí zavěšené roviny. Samotný výpočet J k osám x a y se vypočte dle [5]:

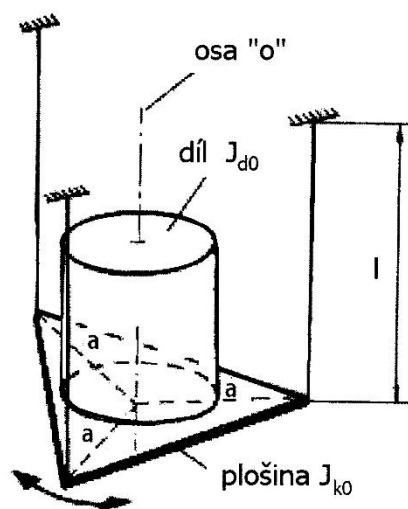
$$J_x = J_0 - \frac{G}{g} * a_v^2 = G * a_v * \left(\frac{T_{vk}^2}{4\pi^2} - \frac{a_v}{g} \right) + \frac{G_k * a_k}{4\pi^2} (T_{vk}^2 - T_{vk}^2) \quad (3.5)$$

Kde:

$J_{x(y)}$	–	moment setrvačnosti k ose x (y)	[kg m ²]
J_0	–	moment setrvačnosti k ose kývání	
G	–	tíha vozidla	[N]
G_k	–	tíha kyvadla	[N]
g	–	gravitační zrychlení	[m/s ²]
T_{vk}	–	doba kmitu celé soustavy	[s]
T_k	–	doba kmitu samotného kyvadla	[s]
a_v	–	vzdálenost osy x od osy kývání	[m]
a_k	–	vzdálenost těžiště kyvadla od osy kývání	[m]



Obrázek 9: Kyvadlo používané pro zjištění momentu setrvačnosti dle [5].



Obrázek 10: Zavěšená rovina používaná pro zjištění momentu setrvačnosti dle [5].

4. Dynamické parametry ovlivňující soutěž

4.1. Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou síly, které působí proti trakti motorového vozidla. Jedná se o všechny účinky sil, které musí motor vozidla překonat, aby se mohl pohybovat vpřed. Jednotlivé odpory není primárně nutné sledovat, jsou však potřebným podkladem pro další výpočty. Důležité jsou zejména metody snížení těchto odporů.

4.1.1 Odpor valivý

Odpor valivý vzniká [13] u silničního motocyklu deformací pneumatiky. V přední části kontaktní plochy pneumatiky s vozovkou, zvané stopa, dochází ke stlačování pneumatiky do roviny vozovky. Naopak, v zadní části stopy se vlivem reakce vozovky pneumatika vrací opět do oblého tvaru. [13 str. 21] Tato deformace vlivem hystereze gumy vytváří určitý odpor valení. Tento odpor lze spočítat jako

$$O_{fK} = Z_K \frac{e}{r_d} = Z_K f_K \quad (4.1)$$

kde Z_K je zatížení kola a f_K je součinitel valivého odporu kola. Tento součinitel závisí především na huštění pneumatiky, povrchu vozovky a na rychlosti vozidla, v případě, že je tato rychlost vyšší než 80km/h [13]. Pro asfalt a běžnou pneumatiku je jeho hodnota v rozmezí 0,01-0,02.

V praxi doporučuji snažit se snížit tento odpor správným huštěním pneumatik, neboť pneumatiky jsou dány organizátory soutěže.

4.1.2 Odpor vzdušný

Vozidlo při jízdě čelí náporu proudícího vzduchu a vytváří za sebou víření. Vzdušný odpor vzniká z tlaků vzduchu na povrch karoserie a z tření mezi vzduchem, který proudí kolem vozidla a karoserií. Tento odpor je dále tvořen odpory vířeného vzduchu v příčné rovině, odporem vzduchu otáčejících se kol případně dalšími zanedbatelnými odpory [13].

Celkový vzdušný odpor lze vyjádřit takto:

$$O_v = c_x * \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 \quad (4.2)$$

kde v_r je výsledná náporová rychlost vzduchu kolem vozidla

$$\vec{v}_r = \vec{v} + \vec{v}_v \quad (4.3)$$

S_x je čelní plocha vozidla, c_x je součinitel vzdušného odporu a ρ je měrná hmotnost vzduchu.

Čelní plocha vozidla závisí výhradně na tvaru karoserie a kapotáže motocyklu. Tuto plochu nejjednodušeji změříme projekcí světla následovně:



Obrázek 11: Určení čelní plochy vozidla, která je vstupem do výpočtu vzdušného odporu [13]

V případě studenty stavěného motocyklu bude vhodné tuto plochu minimalizovat tak, že kapotáž bude velmi těsně obepínat torzo i motor motocyklu. Docílí se tak snížení této plochy a následně i aerodynamického odporu (vzdušného odporu).

Obdobně, součinitel vzdušného odporu c_x je hodnota, která závisí na tvaru karoserie. Čím lépe umožní tvar kapotáže proudění vzduchu, tím nižší bude výsledný koeficient. Doporučuji tedy navrhnout kapotáž tak, aby její tvar byl co nejvíce zaoblený a tzv. aerodynamický. Následně doporučuji navrženou kapotáž otestovat buďto

v aerodynamickém tunelu, nebo pomocí počítačové simulace. Výsledky následně ukáží, zdali navržený tvar kapotáže skutečně podporuje proudění vzduchu.

4.1.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání je důležité znát v situaci, kdy je potřeba určit sílu motoru k překonání stoupání. Tento odpor závisí pouze na hmotnosti a lze vypočítat jako [13]:

$$O_S = G * \sin \alpha \quad (4.4)$$

kde G je celková tíha vozidla i s jezdcem.

Snížení odporu stoupání lze tedy docílit výhradně snížením hmotnosti motocyklu, eventuálně jezdce. Problematika snižování a omezení hmotnosti je rozepsána v kapitole č. 3.2.

4.1.4 Odpor zrychlení

Odpor zrychlení je odpor vznikající nutností uvést do translačního pohybu vozidlo včetně všech součástí a do rotačního pohybu veškeré rotační plochy a součástky.

$$O_Z = \left[1 + \frac{(J_m i_C^2 + J_p i_T^2) * \eta + \sum J_{K_i}}{m r_d^2} \right] * m * \ddot{x} = \vartheta m \ddot{x} \quad (4.5)$$

Výraz v hranaté závorce, následně nahrazený ϑ , je tzv. [13] součinitel vlivu rotačních částí. Jednoduše řečeno, tento součinitel závisí na množství a hmotnosti rotačních ploch, které je nutné při rozjezdu uvést do pohybu. Index m označuje částí motoru, index p částí převodovky a J_K je moment setrvačnosti kol.

Vzhledem k tomu, že návrh motoru ani převodového ústrojí není předmětem našeho projektu, nemůžeme ovlivnit rotující plochy uvnitř motoru ani převodového ústrojí, a obdobně i kola motocyklu jsou dodávána organizátorem soutěže. V rámci naší konstrukce budeme vkládat pouze tři rotující plochy. Těmito plochami budou rozeta na sekundárním převodu od převodové skříně k hnacímu kolu a dva brzdné kotouče. Proto jediné opatření, které lze týmu doporučit, je snažit se odlehčit co nejvíce jak rozetu, tak brzdné kotouče i celý motocykl, aby hmotnost celku uváděná do pohybu byla co nejnižší.

4.1.5 Celkový jízdní odpor a hnací síla na kole

Celkový jízdní odpor vozidla odpovídá nutné hnací síle na kole a je dán jednoduchým součtem jednotlivých dílčích odporů. [13]

$$F_K = O_f + O_V + O_S + O_Z \quad (4.6)$$

Následně je možné za dílčí odpory dosadit a dostaneme [13 str. 35]:

$$F_K = fG + c_x * \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \left(s + \vartheta \frac{\ddot{x}}{g} \right) \quad (4.7)$$

Výše uvedený vzorec pro hnací sílu na kole poslouží dále pro výpočty hnací síly a jízdních parametrů.

4.2. Výkonnostní parametry

4.2.1 Motor a jeho použití

Motor je základní stavební jednotkou každého vozidla. V případě motocyklu jsou jeho parametry obzvláště důležité, neboť poměr hmotnosti motoru ku zbytku motocyklu je velmi vysoký a proto výkon a hmotnost motoru jsou pro jízdní vlastnosti motocyklu rozhodující.

V tomto případě je motor vyroben společností Honda Motor Co. a jedná se o motor ze sériového modelu Honda CBR250R.

Parametry motoru udané dodavatelem[14]:

Počet válců	1
Typ motoru	4 taktní
Rozvod	DOHC
Počet ventilů	4
Objem	249,6 ccm
Vrtání	76
Zdvih	55
Kompresní poměr	10,7:1
Výkon motoru	19,4 kW / 8500 rpm
Krouticí moment	23,8 Nm / 7000 rpm

Tabulka 3: Parametry použitého motoru Honda CBR250R [14]

V našem případě není možné motor měnit ani upravovat. Lze pouze upravit zařízení pro přípravu směsi, a lze volně zvolit karburátor nebo elektronické vstřikování. Naším úkolem je použít motor i s převodovou skříní tak, jak nám bude dodán (s výjimkou přípravy směsi) a zabudovat ho do našeho motocyklu.

4.2.2 Charakteristika motoru

Jediným dostupným údajem je poměr otáček při maximálním točivém momentu ku otáčkám při maximálním výkonu. Tento poměr charakterizuje otáčkovou pružnost motoru [13 str. 47]:

$$e_n = \frac{n_{P_{max}}}{n_{M_{max}}} \quad \frac{1}{e_n} = \frac{n_{M_{max}}}{n_{P_{max}}} \quad (4.8)$$

po dosazení z tabulky výše dostaneme:

$$e_n = \frac{8500}{7000} = 1,21 \quad \frac{1}{e_n} = \frac{7000}{8500} = 0,82$$

4.2.3 Výkon a hnací síla

Motor, který bude v motocyklu implementován, disponuje maximálním výkonem 19,4 kW.

Okamžitý výkon motocyklu na kole, potřebný k vytvoření hnací síly na kole je dán dle [13 str. 35]:

$$P_K = F_K * v \quad (4.9)$$

kde v je okamžitá rychlost. Po dosazení za F_K dostaneme:

$$P_K = \left[fG + c_x * \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \left(s + \vartheta \frac{\ddot{x}}{g} \right) \right] * v \quad (4.10)$$

Vztah mezi výkonem motoru a výkonem motocyklu na hnacím kole je dle [13 str. 66]:

$$P_m = \frac{P_K}{\eta} \quad (4.11)$$

kde η je mechanická účinnost pohonu motocyklu. Dosadíme-li nyní za P_K , dostaneme:

$$P_m = \frac{\left[fG + c_x * \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + G \left(s + \vartheta \frac{\ddot{x}}{g} \right) \right] * v}{\eta} \quad (4.12)$$

případně:

$$P_m = \frac{\left\{ fG + c_x \cdot \frac{\rho}{2} S_x v_r^2 + Gs + G \left[1 + \frac{(J_m i_C^2 + J_p i_r^2) \cdot \eta + \Sigma J_{K_i}}{mr_d^2} \right] \frac{\ddot{x}}{g} \right\} \cdot v}{\eta} =$$

$$\frac{f \cdot G \cdot v + c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^3 + G \cdot s \cdot v + G \cdot v \cdot \left[1 + \frac{(J_m i_C^2 + J_p i_r^2) \cdot \eta + \Sigma J_{K_i}}{mr_d^2} \right] \frac{\ddot{x}}{g}}{\eta} \quad (4.13)$$

Poslední vztah obsahuje všechny odpory a parametry, které je potřeba dosadit, aby bylo možno spočítat potřebný výkon motoru. V našem případě naopak výkon motoru známý je, a tento vztah lze využít k výpočtu maximálního stoupání, které motocykl vyjede požadovanou rychlostí a s určitým zrychlením. Jednoduše se vyjádří požadovaná veličina a ostatní hodnoty se do vztahu dosadí. Alternativně lze použít vztah i k určení maximální rychlosti motocyklu. Úprava vztahu však vede na kubickou rovnici se složitým řešením, vhodným řešit pomocí programu či řešitele. I tak bude výsledkem složitá algebraická rovnice. Vztah lze také použít k výpočtu maximálního zrychlení. Taková úprava pak povede na diferenciální rovnici.

4.2.4 Maximální rychlost

Nejužitečnější z těchto hodnot je pro nás určení maximální rychlosti, neboť maximální rychlost je jedním z přímo hodnocených parametrů motocyklu v soutěži. Maximální rychlosti se dosahuje na rovině v přímém úseku, již bez zrychlení a v bezvětří. Jak bylo naznačeno výše, vztah pro výpočet teoretické maximální rychlosti z výkonu motoru vyjádříme z předchozí rovnice. Nebudeme uvažovat jízdní odpor stoupání a zrychlení ani nápor protivětru. Dostaneme:

$$P_m \eta = (O_f + O_v) \cdot v_{max} = f \cdot G \cdot v_{max} + c_x \cdot \left(\frac{\rho}{2} \right) \cdot S_x \cdot v_{max}^3 \quad (4.14)$$

úpravou na kubickou rovnici dostaneme:

$$v_{max}^3 + v_{max} \cdot \left(\frac{Gf}{c_x \left(\frac{\rho}{2} \right) S_x} \right) - \frac{P_m \eta}{c_x \left(\frac{\rho}{2} \right) S_x} = 0 \quad (4.15)$$

Řešením této rovnice pomocí počítačového řešitele dostaneme reálný kořen:

$$v_{max} = \frac{\sqrt[3]{\sqrt{3} \cdot \sqrt{27P_m^2 \cdot \eta^2 \cdot c_x^4 \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right)^4 \cdot S_x^4 + 4c_x^3 \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right)^3 \cdot S_x^3 \cdot f^3 \cdot G^3 + 9P_m \cdot \eta \cdot c_x^2 \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right)^2 \cdot S_x^2}}{\sqrt[3]{2 \cdot 3^{\frac{2}{3}} \cdot c_x \cdot \left(\frac{\rho}{2}\right) \cdot S_x}} \cdot \frac{\sqrt[3]{\frac{2}{3} \cdot f \cdot G}}{\sqrt[3]{3}} \quad (4.16)$$

Pro ilustraci funkčnosti výpočtového modelu zde uvedu příklad aplikace. V následujícím příkladu budou použity hodnoty získané z orientačních tabulek v [13] a dále:

Celková hmotnost je odhadnuta na 180kg, 100kg vozidlo a 80kg jezdec. Výkon motoru je známý. Koeficient c_x bude obdobný sportovním konceptům karoserie, a proto je odhadnut na 0,16. Přehled dosažených hodnot do programu Microsoft Excel a obdržený výsledek je tabulce 4.

Proměnná	Hodnota	Jednotka
Pm	19400	w
η	0,92	
Cx	0,16	
ρ/2	1,25	kg/m ³
Sx	0,9	
f	0,01	
G	2352	N
Rychlost v m/s	45,34	m/s
Rychlost v km/h	163,24	km/h

Tabulka 4: Přehled vstupních a výstupních hodnot výpočtu maximální rychlosti

Získaná hodnota je přiměřená vozidlu a síle motoru. Ze vzorce i z tabulky je patrné, že naším cílem je minimalizovat vzdušný odpor, neboť jeho vliv je nejvýraznější. Snížení tohoto odporu docílíme zejména tvarem kapotáže a tím snížení koeficientů C_x a S_x .

Maximální rychlost je možné zkusit pro ověření vypočtené hodnoty. Takováto zkouška proběhne pomocí úseku o známé délce a času potřebného k jeho projetí, případně zařízením snímající rychlost pomocí GPS.

4.3. Parametry převodového ústrojí

4.3.1 Stávající převodová skříň

Dle pravidel soutěže [1] je naší povinností použít motor i s převodovou skříní a to bez zásahu do ní. Dodaná rychlostní skříň je šestistupňová a spojka mokrá vícelamelová s vinutými pružinami. Primární převod stejně tak jako převody jednotlivých převodových stupňů nemůžeme ovlivnit. Lze pouze vyměnit lamely, pružiny či koš spojky. Hodnoty použitých převodů jsou následující [14]:

Rychlostní stupeň	Převod
1.	3,333
2.	2,118
3.	1,571
4.	1,304
5.	1,115
6.	0,963

Tabulka 5: Přehled převodů jednotlivých rychlostních stupňů u použité rychlostní skříně [14]

Dále má dodaný motor dle specifikací výrobce [8] převodový poměr primárního převodu 2,808. Návrh sekundárního převodu je v naší kompetenci. Při nahlédnutí do katalogu náhradních dílů [15] a ověření v obchodu s náhradními díly [16] bylo zjištěno, že řetězové kolečko neboli pastorek motoru Honda CBR250R má 14 zubů.

4.3.2 Návrh sekundárního převodu a rozety

Celkový převod na motocyklu zahrnuje primární převod, převod zařazeného rychlostního stupně a sekundární převod, daný pastorkem a rozetou. Základní převod, tedy převod nejvyššího rychlostního stupně je dán teoretickou maximální rychlostí motocyklu a otáčkami, při kterých chceme této rychlosti dosáhnout.

Vztah pro výpočet celkového převodu je dle [13]:

$$i_{C_{min}} = 0,377 * \frac{n_m r_d}{v_{max}} \quad (4.17)$$

kde n_m jsou požadované otáčky motoru, r_d je poloměr kola a v_{max} maximální rychlost. Maximální rychlost dosadíme ze vztahu 4.16. Z výsledného celkového převodu je možné vyjádřit sekundární převod, neboť zbylé převody jsou dané. Proto platí pro sekundární převod i_{sek} :

$$i_{sek} = \frac{i_{C_{min}}}{i_{prim} * i_6} = \frac{i_{C_{min}}}{2,808 * 0,963} = \frac{i_{C_{min}}}{2,704} \quad (4.18)$$

Podle takto spočteného parametru je možné zakoupit řetězovou sadu pro sekundární převod. Je nutné doplnit informaci o potřebné délce řetězu. Alternativně lze použít řetězové kolečko originálně náležící k motoru. Vzhledem k tomu, že řetězové kolečko na převodové skříně má 14 zubů, je výpočet počtu zubů zadní rozety dán vztahem:

$$N_{zubů} = i_{sek} * 14 \quad (4.19)$$

po dosazení všech dílčích výrazů:

$$N_{zubů} = \frac{0,377 * \frac{n_{mrd}}{v_{max}}}{2,704} * 14 \quad (4.20)$$

Maximální rychlost ale není jediným parametrem okruhového závodního motocyklu. Je nutné zvážit i minimální rychlost, zejména pro jízdu v zatáčkách či jiném pohybu po depu. Proto výpočet z minimální rychlosti provedeme obdobně:

$$N_{zubů} = \frac{0,377 * \frac{n_{mrd}}{v_{min}}}{9,359} * 14 \quad (4.21)$$

Následně je nutné hledat kompromis mezi získanými hodnotami, i když v praxi by bylo pochopitelné přizpůsobit minimální rychlost (nejvyšší převod) tomu nejnižšímu.

4.4. Parametry brzd

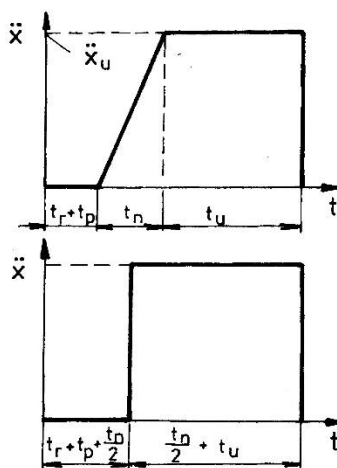
Návrh brzd je důležitou součástí návrhu motocyklu, neboť přesné a účinné brzdění je nezbytné pro bezpečný a funkční provoz motocyklu.

4.4.1 Výpočet brzdných sil

Výpočet potřebných brzdných sil a brzdného momentu na brzdě kola je založen na požadavku, jaká maximální brzdná dráha, zpomalení nebo doba brzdění má při dané rychlosti nastat. Pohybová rovnice celého vozidla při brzdění je následující:

$$m * (-a) = B \quad (4.22)$$

kde m je hmotnost vozidla, a je zrychlení (zpomalení) a B je brzdná síla. Toto platí za předpokladu, že dle [13 str. 123] zanedbáme postupný náběh brzdné síly a nahradíme celý proces skokem brzdné síly (obr. 12).



Obrázek 12: Aproximace průběhu brzdné síly zanedbáním doby náběhu [13]

Dále platí [13]:

$$B = B_p + B_z = -m * a \quad (4.23)$$

Pokud potřebujeme vyjádřit závislost nikoliv na zpomalení a , ale na brzdné dráze, vyjádříme vztah pro a z [13 str. 123]:

$$s \approx v_0 \left(t_p + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2a} \quad (4.24)$$

$$-\frac{2a}{v_0^2} \approx \frac{1}{v_0 t_p + \frac{v_0 t_n}{2} - s} \quad (4.25)$$

$$a \approx \frac{v_0^2}{-2 \left(v_0 t_p + \frac{v_0 t_n}{2} - s \right)} \quad (4.26)$$

Tento vztah dosadíme do původní rovnice.

$$B \approx -m * \frac{v_0^2}{-2 \left(v_0 t_p + \frac{v_0 t_n}{2} - s \right)} = \frac{1}{2} * \frac{m v_0^2}{v_0 t_p + \frac{v_0 t_n}{2} - s} \quad (4.27)$$

kde: t_p je prodleva brzdné soustavy, a dle [13] se běžně uvažuje 0,1s
 t_n je doba náběhu brzdného účinku a dle [13] se běžně uvažuje 0,2s
 v_0 je rychlost, ze které je vozidlo zpomalováno
 s je brzdná dráha

Takto může být určena potřebná brzdná síla pro zastavení motocyklu z rychlosti v_0 na brzdné dráze s . Je nutné podotknout, že maximální síla, kterou je možno skutečně využít, je omezena přilnavostí pneumatik.

4.4.2 Ideální brzdná síla

Většinou je v zájmu konstruktérů docílit co nejvyšší brzdné síly, bez ohledu na to, jakou brzdou dráhu požadujeme, respektive jakou nám udává legislativa. I v případě konstrukce studentského soutěžního motocyklu budeme usilovat o co nejvyšší brzdou sílu.

Z pravidel soutěže plyne omezení minimální brzdné síly na kole[1]. Pro přední kolo je tato hodnota rovna 0,3kN, pro zadní kolo je rovna 0,25kN. Ovládací síly, při kterých má tato brzdá síla nastat, však nejsou v současné verzi pravidel uvedeny. Budeme tedy předpokládat, že tyto limity mají být splněny při ovládacích silách daných legislativním předpisem EHK č.78. Jedno z hodnotících kritérií je založeno také na testu brzdě dráhy z rychlosti min. 80km/h. Zde není brzdá dráha omezena, ale za lepší výsledek je uděleno vyšší bodové hodnocení.

Jak již bylo řečeno, maximální brzdou sílu má smysl navrhnout jen takovou, kterou dokáže přenést pneumatika na vozovku, tedy ideální brzdou sílu. Ideální brzdá síla je dána součinitelem využívané přilnavosti μ_V [13]. V případě, že plně využijeme tuto přilnavost, docílíme maximální, tedy ideální brzdě síly. Celková brzdá síla se skládá ze síly na předním a zadním kole. Pro obě kola platí, že se snažíme maximalizovat součinitel μ_V .

Pro takovou situaci platí:

$$f_P = f_Z = \mu_V \quad (4.28)$$

μ_V je součinitel valivé přilnavosti, a závisí především na povrchu vozovky. Tento součinitel je nejvyšší, v situaci kdy je kolo z 80% odvalováno a z 20% smýkáno [13]. Je vhodné tedy nevést kola při brzdě do úplného smyku. V případě suchého asfaltu se jeho hodnota pohybuje v rozmezí 0,6-0,9 [13].

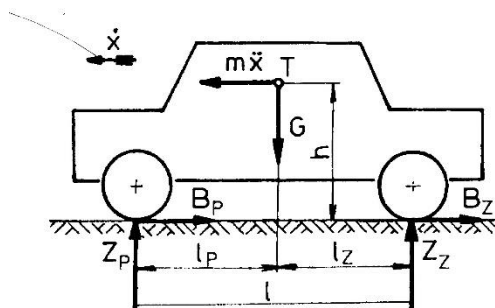
Dále pro výpočet maximální přenositelné síly pneumatikou použijeme [13]:

$$B_{ideální} = B_{P_{ideální}} + B_{Z_{ideální}} = \mu_V * (Z_P + Z_Z) \quad (4.29)$$

Takto určíme, při známém předpokládaném zatížení jednotlivých náprav (kol), velikost brzdě síly na každém z nich. Při brzdě však vozidla doprovází kloně stroj. Podle podmínky momentové rovnováhy[13]:

$$Z_P l - m * a * h - m * g * l_Z = 0 \quad (4.30)$$

kde význam veličin určuje obr. 13. Z této rovnice plyne, že čím větší bude zrychlení a , tím větší bude zatížení Z_p , aby podmínka rovnováhy zůstala platná. Z_p , které budeme dále dosazovat do rovnic, musí vycházet z výše uvedené rovnice a nesmí být zaměněno za statické zatížení.



Obrázek 13: Síly a z nich plynoucí momenty síly působící na vozidlo při brzdění [13]

4.4.3 Brzdný moment síly na kole

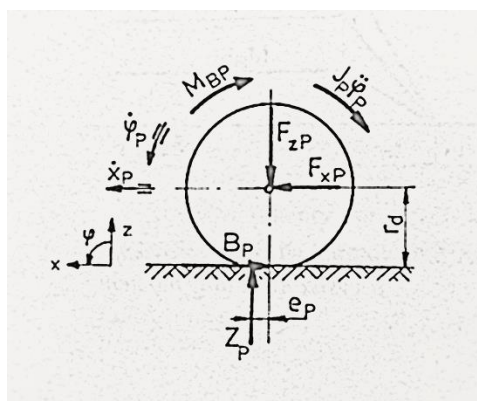
Pohybová rovnice předního brzděného kola je:

$$J_P * \frac{d\omega_P}{dt} + M_{BP} + Z_P e_P = B_P r_d \quad (4.31)$$

V případě zadního kola:

$$J_Z * \frac{d\omega_Z}{dt} + M_{BZ} + Z_Z e_P = B_Z r_d \quad (4.32)$$

kde význam veličin odpovídá obr. 14.



Obrázek 14: Síly a momenty sil působící na kolo brzděného vozidla [13]

Chceme-li tedy vyjádřit brzdný moment M_{BP} :

$$M_{BP} = B_P r_d - Z_P e_P - J_P \frac{d\omega_P}{dt} \quad (4.33)$$

Dle tohoto brzdného momentu je nutné vybírat brzdové komponenty.

4.4.4 Brzdové komponenty.

Podle pravidel soutěže je nutné použít kotoučové brzdy jak na přední tak na zadní nápravě. Dále je povinné použít pořadatelem dodané brzdové třmeny. Přední třmen je dvoupístkový, zadní jednopístkový. Použití brzdových destiček dodaných se třmeny není povinné. Brzdové kotouče je nutné doplnit. Jejich omezení plyne pouze z podmínky, že musí být ze slitin oceli, nikoliv z jiného materiálu, a bez vnitřní ventilace.

Návrh brzd vychází ze spočteného brzdného momentu na kole výše. Chceme-li stanovit součinitel tření, který musí mít brzdové destičky při kontaktu s kotoučem, použijeme vztah dle [12 str. 526]:

$$\mu = \frac{M_B}{2 * N * r} \quad (4.34)$$

kde N je přítláčná síla pracovního válce brzdy na jednu brzdou destičku, r je poloměr brzdového kotouče. Jak je patrné, použitím většího brzdného kotouče zvýšíme brzdný moment při stejném tření mezi destičkou a kotoučem, respektive s větším kotoučem můžeme použít destičky s menším třením. Pro výpočet velikosti kotouče lze vztah upravit:

$$r = \frac{M_B}{2 * N * \mu} \quad (4.35)$$

Nabízená sportovní brzdová obložení mají dle krátkého průzkumu internetových obchodů součinitel tření 0,3 – 0,6. Velikost kotouče je nutné volit i s přihlédnutím k vhodnosti velikosti kotouče pro povinný brzdový třmen.

4.4.5 Zkoušky brzd

Při zkoušení brzd vozidla podstupují zkoušku brzdného účinku. Brzdy se u motocyklů zkouší většinou dvěma metodami pomocí dvou různých zařízení. Prvním je válcová zkušebna (obr. 15), kde je kolo vozidla umístěno na válec poháněný elektromotorem, proti kterému působí brzdný moment kola. Při této zkoušce je měřena změna příkonu elektromotoru, který musí překonat brzdný účinek vozidla. Snímaná veličina je následně převedena na brzdou sílu. Při zkoušce musí být také snímán prokluz či skluz kola, který je rozhodující pro stanovení maximální brzdé síly přenesené pneumatikou [5]. Nevýhodou této zkoušky je, že při ní vozidlo není v pohybu a nedochází

tak k některým dynamickým účinkům, zejména ke klonění vozidla. To má za následek značné zkreslení adheze předního kola.



Obrázek 15: Zkušební stav, na kterém bude v rámci soutěže provedena zkouška brzd [1]

Druhým způsobem provedení zkoušky brzdného účinku je přímý úsek vozovky, na kterém je měřena brzdná dráha. Motocykl je nejprve urychlen na stanovenou rychlost, tato rychlost je změřena, a při dosažení určitého bodu tratě jsou aktivovány naplno brzdy. Měřena je vzdálenost, po které motocykl zastaví, a to k přednímu kolu (čelu vozidla). Průběh testu je znázorněn na obr. 16.

Dle pravidel soutěže bude závodní motocykl podroben oběma těmito testům. Kritéria pro úspěch v soutěži jsou dána pro první způsob testování na brzdém válci. Kritéria udávají omezení krajními hodnotami brzdné síly 0,3kN na předním kole, 0,25kN na zadním kole. Druhý test nemá stanoveny minimální hodnoty brzdné dráhy. Přesto tato zkouškou zjištěná hodnota má přímý vliv na bodové hodnocení v soutěži, je tedy v našem zájmu brzdnu dráhu motocyklu zkrátit na minimum. Oběma testům ve stejném provedení bude motocykl podroben i při našem vývoji k ověření splnění požadovaných či lepších zamýšlených hodnot.



Obrázek 16: Schématické znázornění průběhu zkoušky brzdné dráhy [1]

4.5. Stabilita

Pojem stability není v současnosti jednoznačně definován [5]. V našem případě budeme pojednávat o stabilitě ve smyslu udržení kontroly nad vozidlem v požadovaném

provozním stavu. Součástí stability je v tomto pojetí především říditelnost (ovladatelnost) motocyklu a jeho odolnost proti pádu. Různé vlivy na stabilitu jednostopého vozidla nastávají při přímé jízdě a při jízdě po kruhové dráze.

4.5.1 Vliv boční síly na stabilitu při přímé jízdě

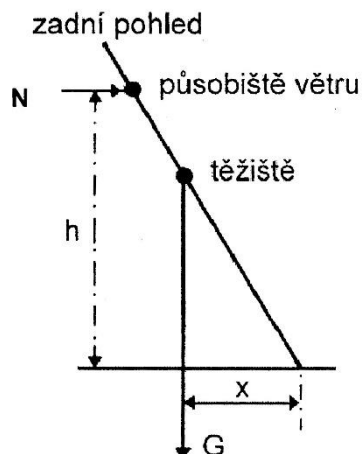
Stabilní motocykl při přímé jízdě dokáže dobře udržet stopu a zachovat přímý směr jízdy bez výchylek a nutnosti významného zásahu řidiče do řízení. Ke ztrátě stability dochází vlivem různých poruch, které mohou na jednostopé vozidlo při jízdě působit.

Prvním druhem poruch je působení boční síly na motocykl, která má svádět motocykl ke klopení kolem podélné osy. Taková porucha může být způsobena chybou jezdce, který neúmyslně motocykl vychýlil do boku, bočním poryvem tlaku vzduchu nebo zejména vlivem bočního větru. V případě jednoduchého impulzu, jako náraz proudy vzduchu, stabilizuje motocykl především gyroskopický moment předního kola [12]. Vzhledem k tomu, že kolo motocyklu je rotující těleso o nezanedbatelné hmotě m , lze ho považovat za gyroskop. Z tohoto důvodu při vychýlení kola při jízdě působí na stejné kolo gyroskopický moment, který má tendenci působit proti síle klopící motocykl. V případě, že se jedná o boční vítr, je nutný složitější zásah řidiče.

Vliv bočního větru na stabilitu závisí především na tvaru kapotáže motocyklu a odpovídajícím součiniteli boční vzdušné síly [13], který určuje výslednou boční sílu působící na motocykl. Tato síla působí v působišti větru [12]. Prvním účinkem bočního větru je vznik klopného momentu na motocykl, který musí řidič vyrovnat klopením motocyklu proti větru. Vlivem tíhy motocyklu vznikne moment působící v opačném směru. Dle obrázku 17 platí, že

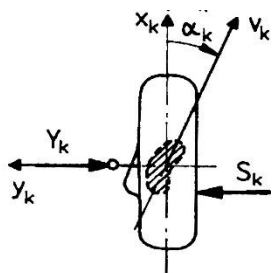
$$G * x = N * h \quad (4.36)$$

kde N je boční síla větru, zbylé veličiny plynou z obrázku 17.

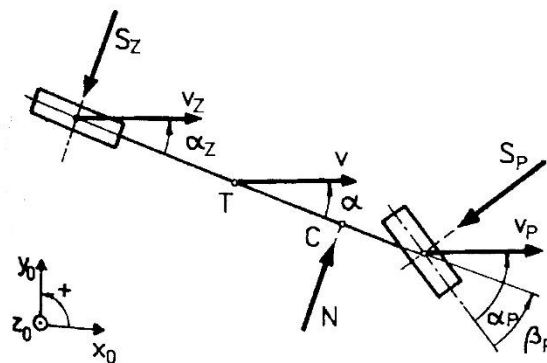


Obrázek 17: Momentová rovnováha motocyklu při působení bočního větru [12]

Pokud by řidič motocykl nenaklopil, účinek boční síly by způsobil stočení motocyklu případně jeho pád. Druhým účinkem bočního větru je vlivem směrové tuhosti pneumatik (obr.18) směrová úchylka těžiště motocyklu [12]. Ten se v takové situaci pohybuje nikoliv přímo, ale šikmo ke své ose (obr. 19). Aby řidič udržel motocykl ve stabilní přímé jízdě, musí natočit kolo proti směru boční síly. Výslednice sil pak bude směřovat přímo.



Obrázek 18: Směrová tuhost pneumatiky při odvalování, výsledný směr pohybu kola a tvar styčné plochy pneumatiky

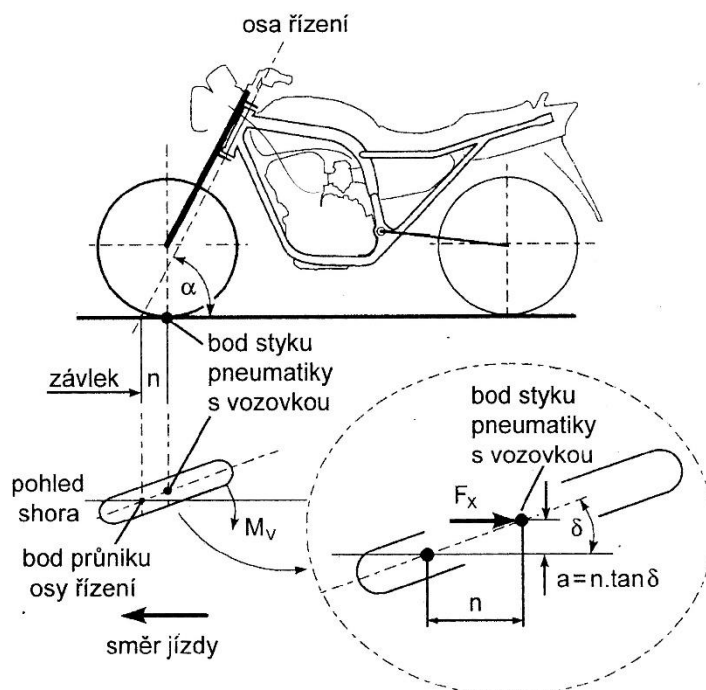


s vozovkou Obrázek 19: Výslednice sil a směr pohybu při působení bočního větru na motocykl [12]

4.5.2 Vliv natočení kola na stabilitu při přímé jízdě

Druhým druhem poruch, které na motocykl jedoucí přímo působí, je natočení předního kola. Natočení kola může zapříčinit překážka, nerovnost na vozovce nebo impulzní vychýlení řídítek jezdcem. Kromě jednoduchého impulsu do řízení může také dojít k rozkmitání kola vlivem podhuštěné pneumatiky či špatně nastaveného podvozku. I špatný návrh tuhosti přední vidlice může způsobit rozkmitání kola, a to zejména při brzdění. Málo tuhá vidlice se může při velkém brzděném momentu na předním kole prohnout a způsobit rozkmitání změnou geometrie [12].

Konstrukční řešení sloužící ke stabilizaci vychýleného kola je závlek kola, již zmíněný v kapitole 3.1.3, kde bylo také uvedeno, že slouží k návratu řízení do přímé polohy. Rozdílné umístění osy řízení a bodu styku pneumatiky s vozovkou způsobí vznik vratného momentu na kole (obr. 20). Vratný moment má stabilizující účinek na vychýlení či rozkmitání předního kola, neboť vrací kolo do přímého směru. Při rozkmitání kola však může vlivem závleku dojít k velkým netlumeným kmitům přední vidlice, které mohou vést k havárii motocyklu.



Obrázek 20: Závlek kola a vznikající vratný moment

4.5.3 Stabilita motocyklu při jízdě po kruhové dráze

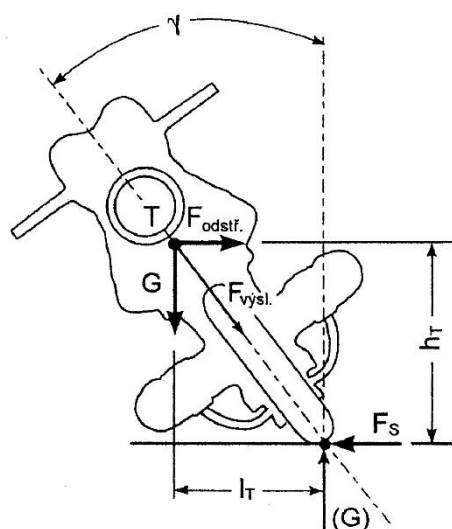
Stabilita motocyklu při jízdě po kruhové dráze, tedy zpravidla v zatáčkách obsahuje i rovnováhu motocyklu. Při jízdě v zatáčkách musí řidič kompenzovat boční síly na něj

působící obdobně jako při jízdě v bočním větru. Při jízdě motocyklu po kruhové dráze působí na motocykl odstředivá síla a síla tíhová:

$$F_{odstř} = \frac{mv^2}{R} \quad F_{tíhová} = m * g \quad (4.37)$$

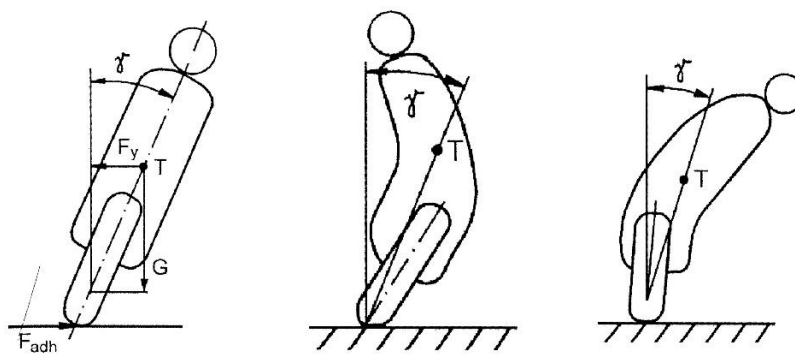
kde R je poloměr zatáčení a v aktuální rychlost vozidla. Aby byla zachována stabilita motocyklu a motocykl zůstal v rovnováze, musí být soustava motocykl-jezdce naklopena směrem do středu kružnice, kterou opisuje. Naklopení musí být takové, aby výslednice sil procházela spojnicí stykových ploch kol motocyklu. Takové naklopení odpovídá úhlu:

$$\gamma = \arctg \frac{F_{odstř}}{F_{tíhová}} \quad (4.38)$$



Obrázek 21: Síly a jejich výslednice působící na motocykl při průjezdu zatáčkou [12]

Důležitá v tomto případě není poloha motocyklu, ale poloha těžiště celé soustavy. Docílení efektu náklonu může být způsobeno i změnou polohy jezdce dle obrázku 22.



Obrázek 22: Možné pozice jezdce a jejich vliv na polohu těžiště motocyklu [12]

Z nutnosti náklonu motocyklu v zatáčce plyne i maximální rychlost průjezdu zatáčkou. Maximální úhel, kterého je možné dosáhnout, je dán boční adhezí pneumatik:

$$tg\gamma_{max} = \frac{F_{odstřmax}}{F_{třhová}} = \mu_y = \frac{v_{max}^2}{R * g} \quad (4.39)$$

$$v_{max} = \sqrt{R * g * \mu_y} \quad (4.40)$$

kde μ_y je součinitel dosažitelné boční adheze [12]. Tento součinitel je dán vlastnostmi pneumatiky a vozovky, obdobně jako součinitel μ_V v kapitole 4.4.2.

Při překročení této rychlosti dochází k prokluzu pneumatik a pádu motocyklu. To je hlavní příčina nestability v zatáčce.

Obdobně jako při působení bočního větru je i v tomto případě nutné, aby jezdec protříděním kompenzoval směrovou úchylku motocyklu, která je způsobena působením boční síly na motocykl a směrovou tuhostí pneumatik.

4.5.4 Metody zlepšení stability jednostopého vozidla

Vzhledem k tomu, že předpisy soutěže nepředepisují konkrétní meze stability, ať už v podobě maximální rychlosti projetí určenou zatáčkou nebo rychlost stabilizace po vychýlení kola, je cílem zlepšit stabilitu motocyklu na co nejvyšší úroveň. Lepší stabilita a říditelnost motocyklu je důležitá pro bezpečnější a jednodušší provoz motocyklu, jak na závodní trati, tak v běžném provozu.

Zlepšení stability řízení je možné pomocí tlumiče řízení. Tlumič řízení na motocyklu tlumí kmity přední vidlice a pomáhá tak navrácení do její přímé polohy. Tlumič řízení je jediným účinným systémem proti přílišnému rozkmitání řídítek. Běžně rozkmitaná řídítka nebo vychýlená ze své přímé polohy pomáhá vracet obdobně jako závlek kola nebo gyroskopický moment. V současnosti existují i progresivní či elektronicky nastavitelné tlumiče řízení, kde elektronika nastavuje tuhost tlumiče dle rychlosti jízdy. Tlumič řízení je vhodnou komponentou k umístění na studenty konstruovaný motocykl, navíc jeho použití pravidla soutěže výslovně povolují. Je možné použít pouze mechanicky nastavitelný tlumič řízení.

K obecnému zlepšení jízdní stability dále přispívá vhodné a dostačené huštění pneumatik, dostatečná tuhost přední vidlice a správná výška těžiště. Jak plyne z kapitoly 4.5.1 a 4.5.3, výška těžiště ovlivňuje potřebný náklon motocyklu. Vyšší těžiště u motocyklu vyžaduje menší náklon pro vytvoření vyššího momentu síly.

Ovladatelnost motocyklu vychází jednak ze stability řízení, dále pak z naklápění motocyklu v zatáčkách. Stabilní a dobře samovratné řízení motocyklu vykazuje pro jezdce přívětivější ovladatelnost a dobré vedení stopy jak v přímém směru, tak v zatáčce. Druhý aspekt ovladatelnosti, klopení v zatáčkách, vyžaduje velkou míru úsilí od řidiče a je vhodné se zaměřit i na tuto vlastnost motocyklu. Klopný moment, který musí řidič vyvinout, aby motocykl během času t naklopil je dle [12 str. 126]:

$$M_{klop} = J_M * \frac{4\gamma}{t^2} = J_M * \frac{4 * (\arctg \frac{v^2}{R * g})}{t^2} \quad (4.41)$$

Bude-li jezdec chtít projet zatáčkou tvaru „S“ dvakrát rychleji, bude nutné, aby vyvinul 32krát vyšší klopný moment. Z výše uvedeného je patrné, že ovladatelnost, zejména na závodním okruhu, extrémně zlepšuje nízká hmotnost motocyklu, se kterou klesá i její moment setrvačnosti. Je tedy vhodné držet hmotnost našeho motocyklu co nejnižší a tedy nejbližší minimální hranici.

4.5.5 Zkoušení stability motocyklů

Vzhledem k tomu, že ovladatelnost a část stability motocyklu je subjektivní záležitost, není jednoznačná zkouška, která by přímo ověřila stabilitu motocyklu. V rámci soutěže musí motocykl projít dynamickým testem [1], který je do značné míry subjektivní, neboť stabilitu posuzuje zkušební jezdec. Tento test vyžaduje, aby motocykl byl schopen projet sérii zatáček různými rychlostmi a aby jezdec byl schopen bezpečně brzdit. Na subjektivitu tohoto hodnocení poukazuje i absence mezních hodnot. V rámci vývoje motocyklu je obtížné odhadnout požadavky zkušební komisaře, podobný zkušební test je však jistě vhodné provést. Mělo by se tedy jednat o zkoušku ovladatelnosti a chování motocyklu při různých rychlostech jak při přímé jízdě, tak v zatáčkách různého charakteru. Posouzení a vyhodnocení bude i při našem testování na zkušebním jezdcí. V rámci takovéto zkoušky může být posouzena i schopnost motocyklu vrátit řízení do přímého směru po vychýlení či naklopení motocyklu.

Pro objektivní hodnocení stability je zpravidla možné sledovat několik různých reakcí vozidla v daných situacích. Jednou z možných sledovaných charakteristik, je citlivost na boční vítr [5] s použitím simulovaného větru na zkušebním úseku vozovky. Sledováno je stáčení vozidla při působení větru o známé rychlosti. V případě jednostopých vozidel je vhodné sledovat i úhel naklopení motocyklu. Tímto způsobem lze testovat i maximální boční vítr, který je jezdec s motocyklem schopen zvládnout.

Další metodou objektivního posuzování stability je zkouška ustáleného zatáčení. Tímto dynamickým testem se ověří či stanoví maximální rychlost projetí kruhovou dráhou. Zkouška se provádí zvyšováním rychlosti při průjezdu dráhou o konstantním poloměru až do té doby, dokud nedojde ke ztrátě stability [5 str. 142]. Jednostopý motocykl musí být při takovémto testu vybaven zařízením proti pádu. I přesto, že není stanovena minimální mezní hodnota rychlosti pro dráhu určitého poloměru, je patrné, že tato hodnota znatelně ovlivní potenciální úspěšnost motocyklu v závodě. Čím vyšších rychlostí bude motocykl schopen v zatáčkách dosáhnout, tím rychlejší průjezd tratí může vykonat.

4.6. Odpružení

Základními důvody použití odpružení vozidel je eliminace kmitů, rázů a vibrací přenášených vlivem jízdy po nerovnosti na silnicích na konstrukci vozidla a posádku. Odpružení ošetřuje potřebnou zdravotní nezávadnost vozidla, bezpečnost provozu vozidla a zvyšuje životnost dílů a rámu vozidla. Bez odpružení by byl rám vozidla namáhán rázy a vibracemi, které by mohly znatelně zkrátit jeho životnost. Obdobně by i na posádku vozidla byly přenášeny kmity a vibrace, které jsou nepohodlné a některé dokonce při určité době trvání zdraví škodlivé. Posledním a neméně důležitým důvodem umístění odpružení na vozidla je nutnost zajistit trvalé přitlačení kol k vozovce tak, aby nedocházelo k odlehčení kol a následnému smyku. Nutno podotknout, že u jednostopých vozidel a především závodních motocyklů je tento poslední důvod nejzásadnější.

4.6.1 Zdroj svislých kmitů

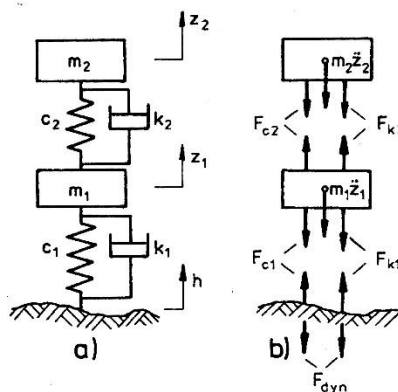
Základním zdrojem kmitů a vibrací přenášených na vozidlo a posádku jsou nerovnosti na poježděném povrchu. V případě silničních motorek je uvažován jako zdroj nerovný povrch asfaltu s případnými trhlinami, spárami a jinými nedostatky. Nerovnosti vozovky lze vyjádřit především statistickými hodnotami. Nerovnost vozovky je charakterizována veličinou $S_h(\omega)$, nebo $S_h(\Omega)$. První veličina se nazývá výkonová spektrální hustota výšky nerovností vozovky, druhá veličina je spektrální hustota nerovností. Vztah mezi oběma veličinami je následující:

$$S_h(\omega) = \frac{1}{v} S_h(\Omega) \quad (4.42)$$

Spektrální hustota nerovností je zpravidla dle [13] zjišťována experimentálně. Tato charakteristika slouží jako vstupní parametr do matematických modelů odpružení.

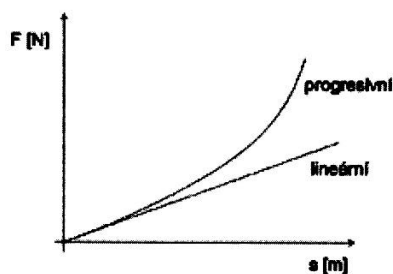
4.6.2 Parametry odpružení vozidel

Každé odpružení vozidla by mělo dle [12] sestávat z pružící a tlumící jednotky. Celkově lze mluvit o systému odpružení. Při návrhu odpružení vozidla je však nutné zahrnout do dynamického modelování i pružné vlastnosti pneumatik, kterými je dnes každý silniční motocykl vybaven. Z tohoto důvodu je dynamický model odpružení na obrázku 23 sestaven ze dvou částí, části odpružení pneumatikou a nesoucí parametry c_1 a k_1 , a části odpružení pružinou a tlumičem, nesoucí parametry c_2 a k_2 . Jedná se tedy o systém o dvou stupních volnosti. Obdobně jako u jiných systémů lze i u systému odpružení definovat přenos. Přenos v tomto případě bude sloužit jako hodnotící kritérium a zmíníme se o něm v následující kapitole.



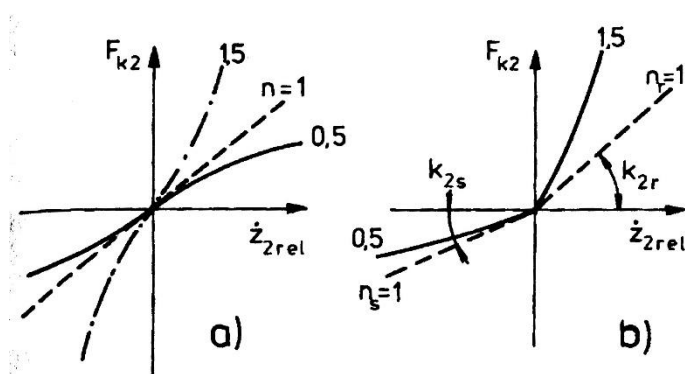
Obrázek 23: Model odpružení kola a znázornění použitých veličin

Pružící jednotka, ve většině případů vinutá pružina, je nutná k vyvinutí přítláčivé síly na kolo tak, aby mělo stálý kontakt s vozovkou a umožnila jeho návrat do původní polohy po vychýlení. Vinutá pružina je charakterizována svou tuhostí c . Každá pružina má charakteristiku lineární nebo progresivní. Oba druhy pružin vycházejí ze závislosti síly potřebné ke stlačení pružiny na dráze (obr. 24).



Obrázek 24: Možná charakteristika pružin [5]

Pružina musí být doplněna tlumičí jednotkou, tlumičem, který nedopustí rozkmitání soustavy pružení a opakovaný odskok kola od vozovky. Tlumič je charakterizován součinitelem tlumení k . Tento parametr určuje míru, kterou tlumič tlumí kmity soustavy. V současné době je možné použití i tlumičů, u kterých lze jejich parametr v určitém rozmezí měnit. Charakteristika tlumičů může být jak nelineární, tak nesymetrická pro stlačování a roztahování, jak je uvedeno na obr. 25.



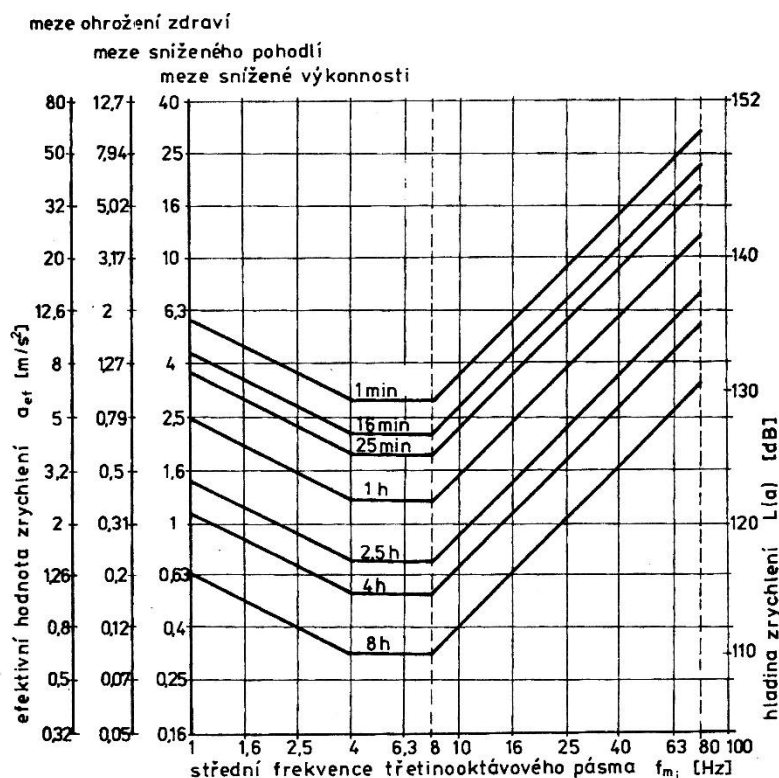
Obrázek 25: Charakteristiky tlumičů [13]

Další charakteristikou, kterou je nutné zmínit, je vlastní frekvence nápravy vozidla ω_1 , a vlastní frekvence nastavby vozidla ω_2 . Vlastní frekvence systému je frekvence buzení, při které je systém nejcitlivější a jeho přenos bude nejvyšší. Vlastní frekvence systému je také frekvence, při které dochází k rezonanci. Vlastní frekvence nápravy a nastavby se v praxi liší přibližně desetkrát. Je pochopitelné, že při provozu vozidla se budeme stavům rezonance snažit vyhnout.

4.6.3 Kritéria posuzování odpružení

Hlavní kritéria pro běžné posouzení vhodnosti odpružení silničního vozidla jsou dvě [13]. Prvním kritériem je zdravotní nezávadnost a pohodlí jezdce. Druhým kritériem je bezpečnost provozu motocyklu.

Zdravotní nezávadnost a pohodlí jezdce pramení ze zrychlení, kterému podléhá jezdec. Dle české legislativy je toto zrychlení omezeno mezními hodnotami v závislosti na délce jeho působení na člověka. Kromě hygienických předpisů je dobré zvážit dle kategorie vozidla i pohodlí jezdce či posádky. Mezní hodnoty zdraví škodlivých kmitů udává graf na obrázku 26. Je pochopitelné, že ideální hodnoty vibrací a kmitů přenášených na člověka by měly být co nejnižší. Zrychlení může být statisticky popsáno i svou směrodatnou odchylkou. Ta vyjadřuje statistickou míru variability zrychlení.



Obrázek 26: Mezní hodnoty zrychlení působící na člověka v závislosti na době trvání [12]

Bezpečnost provozu motocyklu je v tomto případě dána již zmíněnou silou, kterou je kolo přitlačováno zpět k vozovce tak, aby nedošlo k odlehčení kola, ztrátě kontaktu s vozovkou a následnému smyku. Zejména při průjezdu zatáčkou by taková situace mohla vést k pádu jezdce a dopravní nehodě. Statisticky je míra přitlačení charakterizována časovým průběhem zatížení kola Z_K . Toto zatížení odpovídá přitlačné síle a v průběhu času se vlivem odskoků a kmitání kola mění. Statistický průběh je dán směrodatnou odchylkou následovně:

$$\sigma_{F_{dyn}} = \sqrt{F_{dyn}^2(t)} = \overline{Z_K(t) - \bar{Z}_K(t)} \quad (4.43)$$

Tato směrodatná odchylka musí být co nejmenší, ideálně rovna nule, aby síla co nejméně kolísala.

Jak jsme již zmínili v minulé kapitole, hodnotící veličinou tlumičů a pružin může být v tomto případě přenos systému odpružení. Pomocí přenosu můžeme všeobecně porovnávat vliv parametrů c a k na výstupní charakteristiky soustav. Hodnotu přenosu však nelze přímo porovnávat s kriteriálními hodnotami danými hygienickou normou či udané odchylky. V takovém případě bude nutný přepočítání výstupní požadované hodnoty při známých vstupních parametrech nerovnosti vozovky.

Podle současného znění předpisů soutěže [1] nesmí pérování instalované na soutěžní motocykl být aktivní, semiaktivní ani elektronicky nastavitelné. Odpružení smí být pouze mechanicky nastavitelné.

4.6.4 Vliv parametrů při návrhu odpružení vozidel

Vzhledem k tomu, že celé vozidlo je z hlediska odpružení systém o dvou stupních volnosti, je nutné použít dvě pohybové rovnice pro popis průběhu kmitání všech částí vozidla.

První rovnice slouží pro svislý pohyb nápravy [13]:

$$m_1 \ddot{z}_1 - F_{k_2} - F_{c_2} + F_{k_1} + F_{c_1} = 0 \quad (4.44)$$

Druhá rovnice slouží pro pohyb odpružených částí vozidla [13] – tedy rámu a karoserie:

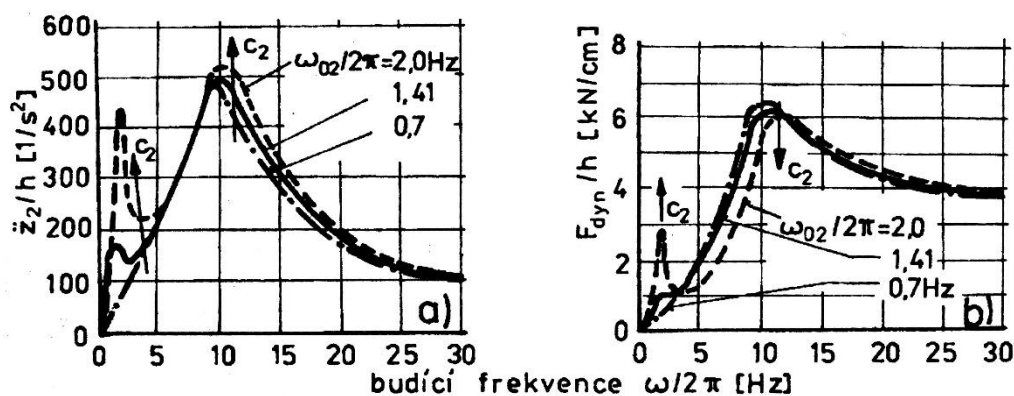
$$m_2 \ddot{z}_2 + F_{k_2} + F_{c_2} = 0 \quad (4.45)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 + k_2(z_2 - z_1) + c_2(z_2 - z_1) = 0 \quad (4.46)$$

Význam veličin je patrný z obrázku 23.

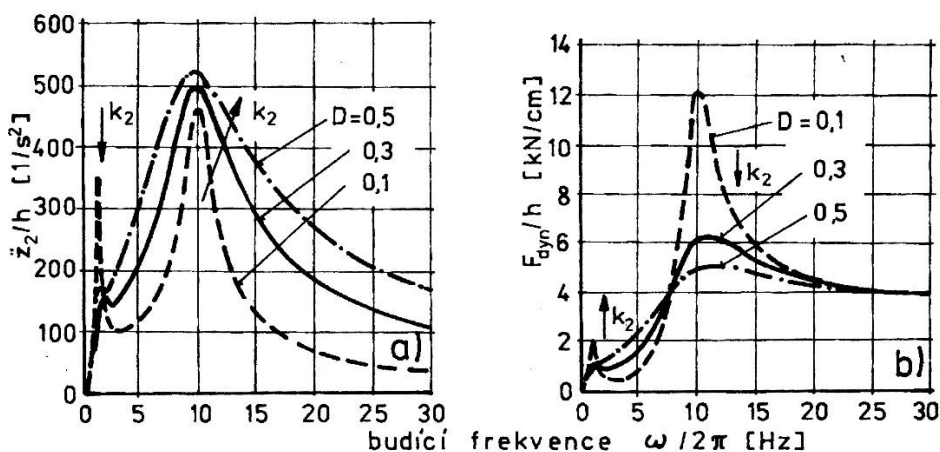
Pomocí matematické úpravy pohybových rovnic můžeme dospět k vyjádření přenosu pružící soustavy. Samotný přenos soustavy je závislý kromě koeficientů c a k také na budící frekvenci vibrací. Posouzení vlivu hodnoty jednotlivých parametrů je možné učinit z grafů dle [13]. Mezi sebou můžeme vlivy porovnávat pomocí přenosu systému odpružení. Ideální soustava by měla minimální přenos.

Vliv tuhosti pružin c_2 na zrychlení a přítlačnou sílu lze vyčíst z grafů:



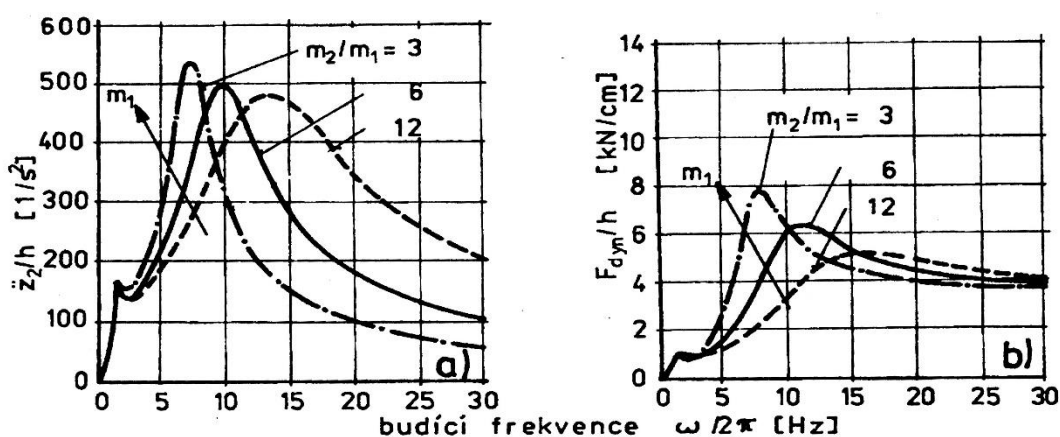
Obrázek 27: Vliv tuhosti pružin c na zrychlení (vlevo) a přítlačnou sílu (vpravo) [13]

Optimální hodnota koeficientu c je pak nulová.



Obrázek 28: Vliv parametru tlumičů k na zrychlení (vlevo) a přítlačnou sílu (vpravo) [13]

Hmotnost samotné nápravy není parametrem systému odpružení, avšak hodnota hmotnosti přímo ovlivňuje přenos a tedy použitelnost daného systému odpružení.

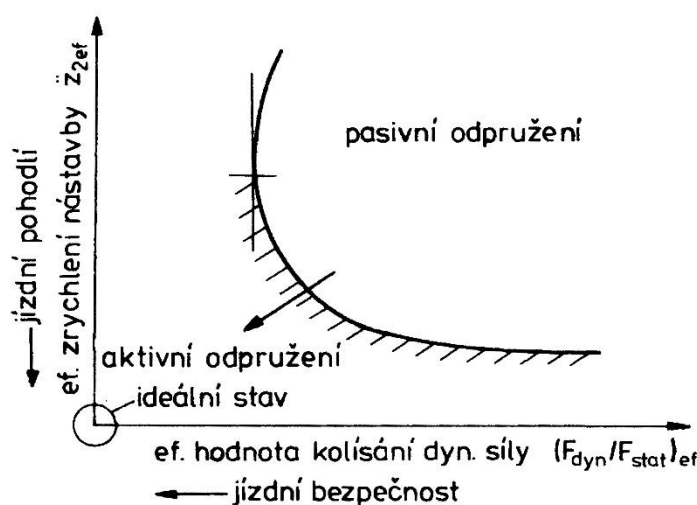


Obrázek 29: Vliv hmotnosti nápravy (m_1) a nástavby (m_2) na zrychlení (vlevo) a přítlačnou sílu (vpravo) [13]

Další veličiny, obdobně jako hmotnost nápravy, které mají na přenos systému vliv, je radiální tuhost pneumatik a celkové zatížení vozidla. Radiální tuhost pneumatik c_1 je daná výrobkem a v našem případě nemůžeme ovlivnit. Nižší koeficient c_1 , tedy měkčí pneumatika, může snížit vlastní frekvenci nápravy, tedy budící frekvenci, při které nastává maximum přenosu. Obdobně, s větší hmotností nástavby klesá vlastní frekvence nástavby, a tedy budící frekvence, při které nastává maximum přenosu.

Obecně je vhodné navrhovat vozidlo tak, aby bylo dosaženo zároveň nejvyššího pohodlí posádky a nejvyšší bezpečnosti. Dle výše uvedených grafů a shrnutí [13 str. 225] platí, že tuhost pružin c_2 by měla být nízká, při jejím návrhu je nutné brát v úvahu její

maximální průhyb. Součinitel tlumení k_2 by měl být velký. Z hlediska bezpečnosti jízdy je vhodné, aby byla co nejvíce snížena hmotnost nápravy. Poměr zatížení nápravy ke koeficientu c_1 je vhodné udržovat vysoký a konstantní, proto je ideální použít pružiny a pneumatiky s progresivním pružícím průběhem. Problémem však je již zmíněný rozdíl vlastních frekvencí nápravy a nástavby, patrný ze všech grafů jako dvě lokální maxima přenosu. Tento rozdíl nutí konstruktéra, v případě nastavitelných tlumičů potom jezdce či mechanika, aby se rozhodl, zdali bude motocyklové odpružení více citlivé na nižší budící frekvence nebo vyšší budící frekvence. Od toho se pak bude odvíjet i pohodlnější nebo bezpečnější styl odpružení (obr. 30).



Obrázek 30: Závislost pohodlí posádky a bezpečnosti provozu

V případě silničního závodního motocyklu je důležitá především stabilita motocyklu v zatáčkách a bezpečnost. Je tedy vhodné se přiklánět k bezpečnějšímu nastavení podvozku námi konstruovaného motocyklu na úkor pohodlí jezdce.

4.6.5 Houpání motocyklu a vliv na odpružení

Při návrhu odpružení motocyklu je vhodné ověřit navrhované parametry tlumičů a pružin jako celek. Vzhledem k tomu, že při jízdě je u motocyklu odpružena přední i zadní náprava, není pohyb motocyklu při průjezdu přes náhodné nerovnosti čistě svislý, ale houpavý. Pozice v čase každého bodu motocyklu je dána buzením pod každým kolem, přenosem každé z náprav a umístěním bodu na motocyklu. Výsledný kmitavý pohyb je charakterizován čtyřmi pohybovými rovnicemi, neboť celé vozidlo má pak z hlediska svislých kmitů čtyři stupně volnosti. Ověřování a modelování odpružení je pak vhodné provádět pomocí počítačové simulace, neboť výpočty se dle [13] stávají značně složitými.

4.6.6 Kontrolní testování odpružení

Obdobně jako u jiných parametrů vozidla, je nutné při vývoji zkouškou ověřit vhodnost navrženého a použitého systému odpružení motocyklu. Tato zkouška prokáže, zdali vypočtené či odhadnuté parametry odpružení splňují podmínky zmíněné v kap. 4.6.3 případně jiné před zkouškou určené podmínky.

Metodu zkoušení zhotoveného motocyklu je vhodné zvolit dle [5]. Nejjednodušší a nejprehlednější metodou, kterou bych doporučoval zvolit, je rezonanční amplitudová metoda. Tato metoda, dle [5 str. 156], spočívá v rozkmitání vozidla na zkušebním stavu vysokou frekvencí, vyšší než odhadovaná či známá vlastní frekvence soustavy. Následně je umělé buzení přerušeno a soustava ponechána k setrvačnému dokmitání. Frekvence kmitů soustavy tak následně klesá přes obě vlastní frekvence, nápravy i nástavby. Měřením amplitud kmitání je docíleno záznamu průběhu závislosti amplitudy kmitů na frekvenci kmitání. Dle hodnoty maximální amplitudy A_{max} patrně v rezonanční oblasti je možné hodnotit účinnost systému odpružení. Zvlášť je vhodné sledovat a zaznamenávat kmitání nástavby a kmitání kol. Průběh získaných kmitů je nutné následně matematicky zpracovat a určit např. sklon křivky tlumení kmitů, která přímo charakterizuje odskakování kola, apod.

Alternativně, zejména pro hodnocení vibrací přenášených na člověka, je možné použít metody dle [5 kap. 12.7.2] pro měření vibrací. V takovém případě je možné vozidlo nechat projet přes úsek vozovky o daných parametrech, zejména známou budící amplitudou a frekvencí nerovností. Při takovémto průjezdu je pomocí akcelerometrů umístěných na vhodném místě (např. na sedadle) snímáno zrychlení přenášené na člověka. Tato metoda však vyžaduje řádné zpracování dat, neboť snímače detekují i vibrace způsobené jinými zdroji než jsou nerovnosti vozovky.

5. Emisní parametry ovlivňující soutěž

5.1. Emise hluku

5.1.1 Limity hluku

Limity hluku jsou dány pravidly soutěže [1]. Dle těchto pravidel, je maximální hodnota hluku 115dB měřeno staticky při 5500 ot/min. Tato hodnota nesmí být překročena.

Další limity hluku by mohly pramenit z případných legislativních omezení v situaci, kdy by měl být motocykl homologován. Taková legislativní omezení jsou daná předpisy příslušného státu a naším záměrem není v současné době homologace motocyklu.

5.1.2 Metody snižování emisí hluku

Hluk na motocyklu, který stojí na místě, jeho motor je v chodu a je přidán plyn tak, aby motor točil 5500 ot/min, je výhradně mechanického původu. Tento hluk je z nejvyšší míry způsoben termodynamickými ději v motoru. Dalšími zdroji hluku mohou být hluky způsobené vibracemi (např. klepání), třením apod.

Nejúčinnější metodou snížení hluku motoru, který je z pravidla emitován výfukovým potrubím, je umístění funkčního tlumiče výfuku. Ten má primárně za úkol tlumit hlukové emise.

5.1.3 Zkoušení emisí hluku

Hodnota hluku, kterou námi konstruovaný motocykl vydává, zpravidla není možné přesně spočítat a je proto nutné tuto hodnotu experimentálně ověřit. Pro tento účel je vhodné provést totožnou zkoušku, k jaké bude motocykl připuštěn v rámci soutěže MotoStudent. Standardní metoda pro měření hladiny hluku je zaměřena na hluk vycházející z výfuku. Měření probíhá umístění hlukoměru cca 50cm za výfuk ve směru emise výfukových plynů tak, aby mezi hlukoměrem a výfukem nebyly jiné překážky [1]. Vzhledem k možným odchylkám je vhodné snížit tlumičem hluk na takovou hladinu, aby byla mezi touto hladinou a maximální přípustnou hodnotou dostatečná rezerva.

5.2. Emise vibrací

Vibrace jsou zpravidla škodlivé kmity přenášené na posádku vozidla. Tyto vibrace vznikají jednak přenosem vibrací buzených nerovnostmi vozovky, o kterých bylo pojednáno v kapitole 4.6, dále také vibracemi vzniklými při provozu motocyklu od rotujících částí a od posuvných částí [5].

5.2.1 Limity vibrací

Vibrace jsou primárně omezovány z hygienického hlediska, tedy pro svou škodlivost při působení na člověka. Jejich mezní hodnoty udávané především legislativními předpisy ČR či EU jsou zmíněny v kapitole 4.6. Z hlediska soutěže MotoStudent nejsou dle předpisů [1] žádná omezení vibrací. Sledování vibrací tedy má smysl pouze z hlediska zdravotní nezávadnosti motocyklu a životnosti jednotlivých dílů, která je vibracemi snižována.

5.2.2 Snižování emise vibrací a jejich měření

Jak bylo uvedeno, je vhodné minimalizovat veškeré vibrace, které mohou působit na posádku vozidla. Kromě vhodného odpružení a eliminace vibrací z nerovností vozovky můžeme snižovat vibrace dvěma způsoby, aktivním či pasivním způsobem. Aktivním způsobem se rozumí odstranění příčiny vibrací, tedy vhodným snížením vůlí, dorazů či tření. Pasivní způsob pak izoluje již vzniklé vibrace. K tomuto účelu jsou používány zejména drobnější odpružení různými mechanismy, např. silentbloky motoru, pryžovými podložkami či odpružením sedadla.

Vibrace jsou v případě potřeby měřeny umístěním akcelerometrů na příslušná místa. Statistickým zpracováním dat zrychlení může být provedeno srovnání s hygienickou normou či známými mezními hodnotami pro životnost součástí.

5.3. Emise exhalací a elektromagnetického záření

Emise exhalací a elektromagnetického záření nejsou upraveny předpisy soutěže a z hlediska úspěchu v projektu MotoStudent není tedy nutné se jimi zabývat. Možné hraniční hodnoty by mohly vzniknout v případě, že by motocykl měl být homologován pro provoz v určitém státě. V takovém případě by byly limity stanoveny příslušnou legislativou. Primární záměr tohoto motocyklu není jeho homologace.

6. Parametry obdobných motocyklů

Jednotlivé výše popisované parametry budou v následující kapitole ilustrovány jednak hodnotami použitých u sériově vyráběných motocyklů, ale také hodnotami závodních motocyklů podobné kategorie. V této kapitole budou uvedeny zejména parametry, které se při návrhu stanoví empiricky či jsou volně zvoleny. Zpravidla se jedná o základní geometrické parametry či technická provedení. Nebude zde uveden přehled

všech parametrů. Následující přehled nám umožní inspiraci při stanovení parametrů studentského motocyklu.

6.1. Konkurenční a obdobné kategorie motocyklů

Motocykly, které je v tomto případě relevantní porovnávat mezi sebou a jejichž rozměry se případně může studentský tým inspirovat, je možné čerpat ze dvou již zmíněných kategorií.

Náš motocykl bude obsahovat motor ze sériového modelu, je proto možné jeho hodnoty porovnávat s originálem celého sériového modelu CBR250R či jinými sériovými modely stejné kubatury. Mezi tyto modely patří jak dvoudobé tak čtyřdobé sériově vyráběné motocykly kubatury 250ccm, neboť konstrukce zejména geometrických rozměrů není závislá na chodu motoru.

Vzhledem k tomu, že námi konstruovaný motocykl je závodní model určený na silniční okruh, je vhodnější porovnávání a čerpání inspirace provádět na základě dat závodních motocyklů této kategorie. Kategorie, která je zde zmiňována u závodních strojů, je velmi srovnatelná s kategorií serialu Moto GP kategorie Moto3, tedy jednoválcové čtyřtaktní motocykly do 250ccm. V této kategorii působí jako výrobci přednostně 4 společnosti, kterými je Honda s modelem NSF 250 R (RW), KTM model RC 250 GP, Mahindra s MGP30 a Husqvarna s modelem FR250 GP. Bohužel, v profesionální závodní sféře jsou technologická data tím nejcennějším a proto jsou patřičně utajována. Není tak možné získat přesný technický popis všech motocyklů. Jako závodní motocykl obdobné kategorie je ještě uvažován model MD250 japonské značky Moriwaki, který nepůsobí v Moto3.

6.2. Geometrické parametry a parametry řízení

Následující tabulky umožňují přehled použitých rozvorů, úhlů řízení a stopy u jednotlivých sériově vyráběných motocyklů a závodních motocyklů.

Model	Rozvor (mm)	Stopa (mm)	Úhel řízení (°)
Aprilia RS250	1370	102	64,5
Suzuki RGV250SP(96)	1330	89	66
Aprilia RSV250	1340	76	69
Yamaha TZ250	1328	82	67,5
Honda NSR250R SP	1340	85	67
Honda NSF250R	1219	-	67,4
Honda CBR250R	1370	95	65
Moriwaki MD250H	1230	122	65,5

Tabulka 6: Porovnání geometrických charakteristik různých motocyklů

Je patrné, že u uvedených sériově vyráběných silničních motocyklů 250 ccm se hodnota rozvoru nachází mezi 1328 a 1370. Naopak závodní motocykl Honda NSF250R a Moriwaki MD250H s totožným motorem jako Honda CBR250R(i naším motorem) má rozvor 1219mm a tomuto rozmezí se zcela vymyká. Závodní nesériové motocykly mají patrně kratší rozvor.

Úhly řízení u všech motocyklů obdobné kubatury jsou ve velmi úzkém rozmezí 64,5°-69° a ani závodní motocykly zde nevystupují z řady. Ohledně stopy je možné stanovit rozmezí 76-122mm. Pozoruhodné je, že obě zde uvedené krajní hodnoty jsou mimo doporučenou mez uvedenou v kapitole 4.1.3.

Světlá výška, kterou je nutné i u našeho motocyklu sledovat, je u několika málo motocyklů uvedena níže:

Model	Světlá výška (mm)
Honda NSR250R SP	130
Honda CBR250R	145
Honda NSF250R	107
Moriwaki MD250H	120

Tabulka 7: Porovnání Světlé výšky dvou sériových a dvou závodních modelů motocyklů

Opět je patrné, že okruhový speciál NSF250 je nositelem nejnižší hodnoty.

6.3. Porovnání se závodními motocykly Moto3

Konstrukční a technologická řešení motocyklů určených na závodní okruh je zajímavější a přínosnější pro vývoj moderního stroje čerpat zejména ze zvládnuté technologie závodních speciálů. U závodních speciálů však není úplně možné porovnávat jednotlivá číselná data, neboť každý motocykl je originálem vyvinutým pro konkrétní podmínky a konkrétního jezdce. Můžeme však nahlédnout do celkové technologie použité

u některých modelů. Část zvládnuté technologie je patrná z fotografiích výše vyjmenovaných modelů.



Obrázek 31: Motocykl Husqvarna FR250GP [19]

Jak můžeme při srovnání vidět, celková koncepce motocyklů je podobná a nejeví známky extrémní odlišnosti mezi jednotlivými modely. Zásadní rozdíly jsou pak v utajených detailech.



Obrázek 32: Motocykl KTM RC250GP českého jezdce Karla Haniky [17]



Obrázek 33: Motocykl Honda NSF250R [17]



Obrázek 34: Motocykl Mahindra MGP30 [18]

U všech modelů je patrné, jak vyplynulo i ze základních rozměrů Hondy a Moriwaki, že výrobci se snaží minimalizovat rozměry pro vhodně malého jezdce, což napomáhá i snížení hmotnosti. Snaha o minimalizaci hmotnosti plyne i z použití kompozitních materiálů či absence jakýchkoliv zbytečných prvků. Důraz je také kladen na vhodnou aerodynamiku kapotáže. Dále je vhodné upozornit na jednoznačné použití

obracené přední vidlice, která je dnes běžná u závodních strojů a pomáhá snížit hmotnost přední nápravy a zlepšit jízdní podmínky na okruhu. Krátký zdvih předních tlumičů napovídá tvrdému nastavení podvozku, a jak bylo uvedeno v kapitole 4.6, i bezpečnějšímu ale i méně pohodlnému provozu. Za pozornost stojí i malé rozety, které jsou standardně na závodních modelech používány. Je zřejmé, že dle návrhu nastíněného v kap. 4.3 odpovídá malá rozeta vyšším výkonům strojů uvedeným níže.

U modelů Honda NSF250 R a KTM RC250 GP můžeme shledat vyšší výkon motocyklu, který je pro Hondu 35,8kW a pro KTM 38 kW [17]. Tyto údaje odpovídají vyladěným motorům pro okruhové závody a je pochopitelné, že sériový motor bez úpravy má výkon znatelně nižší. Vyšší jsou pak i maximální otáčky motoru, které se u obou závodních motocyklů pohybují kolem 14000 ot./min.

7. Závěr

V práci byly zmíněny všechny důležité parametry, které je nutné mít na paměti při návrhu motocyklu a částečně i při jeho konstrukci. U statických parametrů byly zmíněny rozměry, hmotnosti a jiné veličiny ovlivňující další vlastnosti vozidla. U těchto statických parametrů bylo dle porovnání s podobnými modely v rámci poslední kapitoly navrženo rozmezí, ve kterém by se měly pohybovat. V části zabývající se statickými parametry se nachází i krátká analýza vlivu umístění těžiště na dynamické parametry a chování motocyklu. Z analýzy vyplynulo, že umístění těžiště je nutné pečlivě zvážit již při návrhu rámu motocyklu a že má zásadní vliv na dynamiku zrychlení i brzdění motocyklu. U všech těchto parametrů bylo také uvedeno, že je vhodné je patřičným způsobem ověřit. Metoda ověření je uvedena u každého parametru, pokud bude nutné ho ověřit, zvlášť.

V části zabývající se dynamickými parametry akcelerace motocyklu byla provedena analýza jednotlivých parametrů a zmíněna souvislost mezi nimi. Z této analýzy vyplynulo, že statické parametry mají znatelný vliv na některé dynamické parametry, které dále ovlivňují jiné veličiny. Vliv na další parametry má zejména hmotnost vozidla. Výpočty se tak stávají komplexním celkem, který má ve svém nitru mnoho vazeb. Na základě jízdních odporů byl vyjádřen vztah pro výpočet teoretické maximální rychlosti, která je silně závislá na návrhu karoserie a výkonu motoru. Dále byl uveden způsob výběru a výpočtu vhodné zadní rozety na základě jednotlivých převodů. U rozety bylo prokázáno, že její výběr závisí na maximální rychlosti a převodech rychlostní skříně.

Bezpečnost motocyklu je založená především na jeho stabilitě, brzdných schopnostech a zdravotní nezávadnosti. V rámci dynamických parametrů brzd byly zmíněny výpočty, které umožní výběr správného kotouče a veličiny, které mají vliv na celkovou brzdou účinnost vozidla. Kotouč a případně brzdové destičky jsou jedinými brzdovými komponentami, jejichž výběr je v našich rukou. Dále byly uvedeny obě metody, kterými musí být ověřena brzdná schopnost navrhovaného stroje, jak metoda zkoušení na válcích tak metoda měření brzdné dráhy. Kromě parametrů brzd byly analyzovány i parametry stability a příčiny vzniku nestability. V rámci analýzy byly zmíněny jak příčiny povětrnostní, zejména boční vítr, tak příčiny náhodně způsobené jezdce či nerovností vozovky. V rámci posuzování stability byly uvedeny jednotlivé mechanismy zajišťující stabilitu tak, aby na ně při návrhu byla brána dostatečná zřetel. Stejně tak byly zmíněny i metody, které musí použít jezdec vozidla, aby stabilitu udržel i konstrukční prvky, které mají jezdci v této činnosti pomoci. V rámci stability bylo také prokázáno, že hmotnost

vozidla má na ni extrémní vliv stejně tak i na říditelnost. Z tohoto důvodu je vhodné, aby hmotnost motocyklu byla maximálně snížena. Tento závěr byl potvrzen i výstupem z kapitoly týkající se odpružení, neboť z té vyplynulo, že snížení hmotnosti nápravy je žádoucí pro lepší jízdní vlastnosti motocyklu. Dále je vhodné odpružení nastavovat tak, aby bylo tvrdé, účinně tlumilo kmity a kolo tak přiléhalo k vozovce. Následkem pak bude zvýšení bezpečnosti ale i snížení pohodlí jezdce.

V práci je věnován prostor emisím vozidel, které, jak bylo shledáno, nepředstavují významné omezení pro soutěž, kromě hladiny hluku. Byly však zmíněny způsoby snížení hladiny hluku tak, aby motocykl splnil předepsané limity. V rámci omezení hluku byla i popsána metoda, kterou by měl být hluk měřen.

V závěru práce je porovnáno několik sériových i závodních motocyklů. Z porovnání vyplynulo několik hodnot i konstrukčních řešení, kterými by bylo vhodné se inspirovat při návrhu studentského motocyklu. V rámci porovnání bylo shledáno, že námi vyvíjený motocykl je velmi blízký profesionální závodní kategorii Moto 3. Z tohoto důvodu je vhodné hledat inspiraci i u profesionálních závodních motocyklů. Některé číselné hodnoty geometrických charakteristik je možné použít přímo od sériových výrobců, především úhel řízení a závlek kola. Kromě inspirace číselnými hodnotami je ve srovnání zmíněno i několik konstrukčních prvků, které používají výrobci pro závodní stroje, jako je obrácená přední odpružená vidlice.

Do této práce nemohly být bohužel zařazeny žádné prvky inteligence či telematiky, zejména z oboru inteligentních vozidel. Motocykl je ve fázi vývoje a je tak přednostně důležité nejprve navrhnout správný koncept, navíc použití aktivních systému pravidly není povoleno. Na druhou stranu bude motocykl po účasti v závodě vhodným vozidlem k testování nových aplikací ITS, kterých je pro motocykly v současné době stále málo.

Seznam použité literatury

- [1] MOTO ENGINEERING FOUNDATION. *MotoStudent: Competition Regulations*. Španělsko, 2015. Dostupné také z: <http://motostudent.com/>
- [2] BRADLEY, John. *The racing motorcycle: a technical guide for constructors*. York: Broadland Leisure Publications, 1996. ISBN 09-512-9292-7.
- [3] ŠOTOLA, Martin. *Vliv posazu řidiče motocyklu a jeho objektivní hodnocení*. Praha, 2011. Disertační. České vysoké učení technické.
- [4] KOVAŘÍK, Martin. *Antropometrický výzkum dospělé populace a jeho aplikace v oblasti interiéru a architektury*. Brno, 2011. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=43720. Disertační práce. VUT Brno.
- [5] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Vyd. 1. Praha: S, 2008, 348 s. ISBN 978-80-254-1850-5.
- [6] SILER, Wes. Rideapart review: 2013 Honda CBR500. *RideApart* [online]. 2013 [cit. 2015-07-08]. Dostupné z: <https://rideapart.com/articles/rideapart-review-2013-honda-cbr500r>
- [7] *NSR250.net: Honda NSR250 Forums, Classifieds, Service Manuals, History, Specifications and Resources* [online]. 2013 [cit. 2015-07-10]. Dostupné z: <http://nsr250.net>
- [8] HONDA MOTOR CO., LTD. *Honda Worldwide: Honda Motor Co., Ltd.* [online]. 2015 [cit. 2015-07-10]. Dostupné z: <http://world.honda.com/>
- [9] Moriwaki: MD250H. *Moriwakiengineering* [online]. - [cit. 2015-07-10]. Dostupné z: http://www.moriwaki.co.jp/global/product/ccr_md250.php
- [10] ISO 1176. *Silniční vozidla. Hmotnosti. Terminologie a kódy*. Český normalizační institut, 1994.
- [11] *LESAK s.r.o.: váhy a vážicí zařízení* [online]. 2015 [cit. 2015-08-20]. Dostupné z: <http://www.profivahy.cz/>

- [12] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 2 sv. (355 s., s. 356-661). ISBN 80-239-1601-7.
- [13] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [14] MOTO ENGINEERING FOUNDATION. *Honda CBR250R engine: technical specs*. Španělsko, 2015.
- [15] *Partsdepot: Originální náhradní díly* [online]. 2015 [cit. 2015-08-06]. Dostupné z: <http://www.partsdepot.cz/>
- [16] Řetězová sada Honda CBR250R. JIRMAN, Jan. *Motodrive.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-08-06]. Dostupné z: <http://www.motodrive.cz/retezova-sada-honda-cbr-250-r?p96=2629>
- [17] *Cycle world* [online]. c2015 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <http://www.cycleworld.com/>
- [18] Mahindra racing: MGP30. MAHINDRA & MAHINDRA LTD. *Mahindra racing* [online]. c2014 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <http://mahindraracing.com/our-bikes-mgp30.aspx>
- [19] Husqvarna FR 250 GP Danny Kent. *Husqvarna* [online]. c2015 [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: http://www.husqvarna-motorcycles.com/it_it/news/detail/news/kent-in-gran-forma-ai-test-moto3-di-jerez.html