



**Návrh konstrukce jednostopého vozidla  
s elektrickým pohonem**  
Bakalářská práce

**Vedoucí práce:**  
doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

**Vypracoval:**  
František Uhlíř



### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma Návrh konstrukce jednostranného vozidla s elektrickým pohonem vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat především svému konzultantovi Ing. Marku Žákovi, Ph.D. za trpělivost a cenné rady při zpracovávání této práce, svému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D. za možnost práce na tomto tématu a v neposlední řadě všem ostatním vyučujícím, kteří mě za dobu mých studií naučili mnoho věcí a díky nimž jsem se dostal až k napsání této práce. Z neakademických řad bych chtěl poděkovat svojí rodině a blízkým, za podporu během celého studia a to jak finanční, tak psychickou.

## **Abstrakt**

V této bakalářské práci se zabývám konstrukcí elektrických jednostopých vozidel. Popisuji vývoj, kterým si motocykly obecně prošly, legislativní informace týkající se motocyklů a náležitosti jejich konstrukce. Podrobnější popis jsem věnoval geometrii podvozku, specifikům jeho jednotlivých dílů, výhodám a nevýhodám jednotlivých konstrukčních řešení. V poslední části jsem popsal odlišnosti, které skýtá konstrukce elektrických dopravních prostředků, a v závěru jsou uvedeny do praxe, skrze návrh řešení rámu jednostopého motorového vozidla s elektrickým pohonem.

Klíčová slova: konstrukce motocyklu, podvozky motocyklu, elektrický motocykl

## **Abstract**

This bachelor thesis is my work on the matter of electrical two wheeled vehicles. It describes their evolution, information about legislation concerning motorcycles and features of their construction. More detailed description is given to geometry of their chassis, specialties of its components and advantages and disadvantages of different solutions. In the last part there are described differences in construction of electric vehicles and all that information is used in design of single-track motor vehicle with electric drive.

Keywords: motorcycle construction, motorcycle chassis, electric motorcycle

## Obsah

1	ÚVOD .....	8
1.1	Historie motocyklu .....	8
1.2	Rozdělení motocyklů podle zaměření .....	9
1.2.1	Cestovní .....	9
1.2.2	Sportovní .....	9
1.2.3	Naked bike .....	9
1.2.4	Chopper .....	9
1.2.5	Enduro .....	10
1.2.6	Cross .....	10
1.3	Rozdělení motocyklů v legislativě ČR .....	10
1.3.1	Jízdní kola s přidavným motorkem .....	11
1.3.2	Motocykly .....	11
2	DYNAMIKA JÍZDY .....	13
2.1	Geometrie .....	13
2.1.1	Rozvor kol .....	13
2.1.2	Poloha těžiště .....	14
2.1.3	Úhel sklonu přední vidlice .....	15
2.1.4	Závlek předního kola .....	15
2.2	Pohon motocyklu .....	16
2.2.1	Valivý odpor .....	16
2.2.2	Vzdušný odpor .....	16
2.2.3	Odpor zrychlení .....	17
2.2.4	Odpor stoupání .....	17
2.2.5	Hnací síla motocyklu .....	18
2.2.6	Přilnavost .....	19
3.	PODVOZEK MOTOCYKLU .....	20
3.1	Rám .....	20
3.1.1	Jednoduché rámy .....	21
3.1.2	Dvojité rámy .....	22
3.1.3	Rozdvojené rámy .....	22
3.1.4	Příhradové rámy .....	23
3.1.5	Lisované rámy .....	24

3.1.6	Odlévané rámy.....	24
3.1.7	Kompozitní rámy.....	25
3.2	Odpružení.....	26
3.2.1	Odpružení vinutou pružinou.....	27
3.2.2.	Odpružení plynovou pružinou.....	28
3.3	Tlumení.....	28
3.4	Zavěšení předního kola.....	31
3.4.1	Teleskopická vidlice.....	31
3.4.2	Vahadlová vidlice.....	34
3.4.3	Teleskopická páková přední vidlice.....	35
3.5	Zavěšení zadního kola.....	36
3.5.1	Dvouramenná zadní vidlice.....	37
3.5.2	Konzolová zadní vidlice.....	37
3.5.3	Jednoramenná zadní vidlice.....	38
3.5.4	Páková zadní vidlice.....	38
4	ELEKTRICKÉ MOTOCYKLY.....	39
4.1	Vývoj elektromotocyklu.....	39
4.1.1.	Historie elektromotocyklů.....	39
4.1.2	Současnost elektromotocyklů.....	40
4.2	Technika elektromotocyklů.....	41
4.2.1	Akumulátory elektromotocyklů.....	41
4.2.2	Olověné akumulátory.....	42
4.2.3	NiCd akumulátory.....	42
4.2.4	NiMH akumulátory.....	42
4.2.5	Li-Ion akumulátory.....	43
4.2.6	LiFePO <sub>4</sub> akumulátory.....	43
4.3	Elektromotory.....	43
4.3.1	Stejnoseměrné motory.....	44
4.3.2	Střídavé elektromotory.....	45
5	3D NÁVRHOVÉ SYSTÉMY.....	46
6	NÁVRH ŘEŠENÍ RÁMU ELEKTRICKÉHO MOTOCYKLU.....	47
8	ZÁVĚR.....	53
	POUŽITÉ ZDROJE.....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	56

# 1 ÚVOD

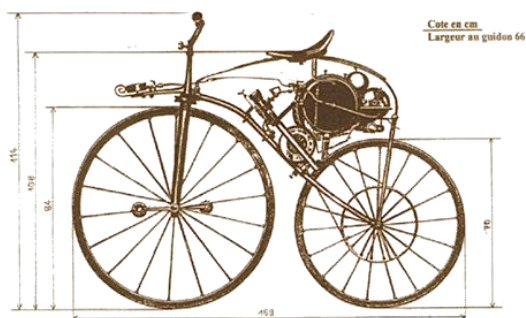
Jednostopá motorová vozidla už ve svém názvu vystihují svoji podstatu. Jedna stopa charakterizuje jejich geometrii, která je určena jedním nebo více koly, která jsou uspořádána za sebou v jedné rovině, kterou prochází i stopa těchto vozidel.

## 1.1 Historie motocyklu

První motocykly byly sestrojeny připevněním parního motoru na rám jízdního kola. Dokladem tohoto faktu jsou dva motocykly z roku 1867, které se dělí o příčku vůbec prvního motocyklu. Oba fungovaly na parní pohon, jeden zkonstruoval Američan jménem Sylvester Roper (viz obr. 1), druhý francouzští konstruktéři Pierre Michaux a Louis Guillame Pereaux (viz obr. 2). (Wikipedia, 2016)



*Obr. 1 Motocykl Roper*  
(TheVintagent, 2011)



*Obr. 2 Motocykl Michaux-Pereaux*  
(TheVintagent, 2011)

Dalším významným milníkem v motocyklové historii je rok 1885, kdy Gottlieb Daimler u motocyklu poprvé použil benzínový motor. I když byl motor na rám jízdního kola v tomto případě nainstalovaný jen za účelem vyzkoušení této pohonné jednotky, odstartovalo to rychlý vývoj motocyklu. Sériovou výrobu těchto “motorových dvoukolek zahájila firma Hildebrand & Wolfmüller již v roce 1894. (Wikipedia, 2016)

Tou dobou odstartovaný rozvoj motocyklismu se odehrával především ve Francii a v Německu. Už tehdy si motocykly začaly razit cestu jako stroje určené pro zábavu a většinou nebyly vyráběny pro užitkový provoz. V počátcích, celé převodové ústrojí



nahrazoval plochý řemen, poháněný malou řemenicí na motoru, který poháněl zadní kolo přes řemenici blížící se jeho průměru. (Husák, 2011)

V období po první světové válce dochází k dalšímu vývoji motocyklů a jednou z hlavních inovací se stává pohon přes nekrytý řetěz na dvou nebo třístupňovou převodovku a dalším řetězem na zadní kolo. Rámy byly tehdy především trubkové s odpruženým předním a pevně uloženým zadním kolem. Další inovace v podobě odpruženého zadního kola a převodovky v bloku motoru už daly motocyklům většinu dnešních znaků a docházelo především ke zlepšování již zaběhlých technologií. (Husák, 2011)

## **1.2 Rozdělení motocyklů podle zaměření**

### **1.2.1 Cestovní**

Jsou motocykly pro jízdu po silnici, zaměřené na pohodlí při překonávání velkých vzdáleností. Obvykle jsou relativně těžké, s mohutnou kapotáží a plexisklem chránícím řidiče před větrem. Poloha řidiče je zde vzpřímená a co nejkomfortnější. Pro usnadnění manipulace mívají tyto motocykly jako jediné i zpátečku.

### **1.2.2 Sportovní**

Tato skupina motocyklů je zaměřena především na rychlost. Tomu je uzpůsobena celá stavba motoru, která je co nejlehčí. Řidič je v jízdě v pozici značně předkloněný s ohnutýma rukama i nohama, aby dosáhl co nejlepšího kontaktu se strojem a nízkého aerodynamického odporu.

### **1.2.3 Naked bike**

Jinak řečeno "naháče" jsou určeny pro požitek z jízdy. Nemají žádnou ochranu jezdce před větrem a nedosahují výkonů sportovních motocyklů. Mívají však krátkou stavbu, široká řídítka a relativně pohodlný vzpřímený posez umožňující snadné ovládání a maximální dojem z jízdy.

### **1.2.4 Chopper**

"Čopry" jsou mohutné motocykly s velkou váhou a nízko položeným těžištěm. Mají motory s velkým objemem, které nedosahují vysokých otáček ani výkonů, ale mají mohutný krouticí moment. Jejich dlouhá a nízká stavba neumožňuje rychlý průjezd zatáčkou, ale snadnější manipulaci s jejich váhou. Řidič zde sedí opět vzpřímeně, ale s rukama i nohama nataženýma

daleko dopředu. Jejich největším lákadlem je dojem z motoru, zvuk a požitek z okolí při jízdě v legálních rychlostech.

### **1.2.5 Enduro**

Enduro je skupina na pomezí mezi motocykly pro jízdu na silnici a v terénu. Jsou určeny hlavně pro zkušené cestovatele, vydávající se na daleké cesty nejen po silnici. Mají těžiště relativně vysoko, což zlepšuje ovladatelnost nejen v terénu, ale naopak to ztěžuje manipulaci s motocyklem na místě. Řidič i zde sedí spíše vzpřímeně, ale široké stupačky mu umožňují se postavit a lépe tak zvládat terénní překážky.

### **1.2.6 Cross**

Takzvané “krosky“ jsou motocykly čistě do terénu a pro zábavu. Jsou to lehké motocykly s úzkou a vysokou stavbou, postavené na terénních pneumatikách. Nejčastěji se vyskytují na motokrosových tratích. Řidič na nich většinu času stojí a tomu je uzpůsobená i jejich ergonomie.

Výše uvedené rozdělení je uvedeno pro přiblížení jednostopých vozidel. Dále se v této práci podrobněji zaměřím na dynamiku jízdy na motocyklu a problematiku navrhování jejich dílčích funkčních prvků a pokusím se na základě těchto znalostí navrhnout možnost řešení rámu pro motocykl s elektrickým pohonem.

## **1.3 Rozdělení motocyklů v legislativě ČR**

Jednostopá motorová vozidla jsou u nás zákony rozdělena do dvou skupin. Kritériem je v tomto případě, zda je potřeba řidičské oprávnění:

Jízdní kola s přídatným motorkem

Motocykly

Dále mezi ně mohou patřit vozidla speciální konstrukce, například motorové jednokolky.

### 1.3.1 Jízdní kola s přídavným motorkem

Jsou vybavená motorem, který může pracovat sám jako pohonná jednotka u motocyklu, nebo v součinnosti se šlapáním řidiče. Motor je také možno vypnout úplně a poté dochází k pohonu stejně jako u klasického jízdního kola.

O jízdní kolo s pomocným motorkem se jedná, pokud je motor z kola demontovatelný. V tomto případě není k jeho řízení potřeba řidičské oprávnění.

### 1.3.2 Motocykly

Motocykly jsou motorová vozidla tvořená dvěma koly upevněnými na rám, poháněná motorem. Řízení těchto vozidel je prováděno natáčením předního kola přes řídítka a náklonem motocyklu.

Zákony České republiky jsou motocykly označeny písmenem L a rozděleny do dalších podkategorií:

- Moped – L<sub>A</sub>
- Moped – tříkolka nebo lehká čtyřkolka – L<sub>B</sub>
- Motocykl – L<sub>C</sub>
- Motocykl s postranním vozíkem – L<sub>D</sub>
- Tříkolka nebo čtyřkolka – L<sub>E</sub>
- Motokolo – L<sub>M</sub>

#### **„Moped**

*Dvoukolové mopedy jsou dvoukolová vozidla s objemem válců motoru nepřesahujícím 50 cm<sup>3</sup> v případě spalovacího motoru a s maximální konstrukční rychlostí nepřesahující 45 km.h<sup>-1</sup> při jakémkoli druhu pohonu.*

#### **Moped – tříkolka nebo lehká čtyřkolka**

*Tříkolové mopedy jsou tříkolová vozidla s jakýmkoli uspořádáním kol, s objemem válců motoru nepřesahujícím 50 cm<sup>3</sup> v případě spalovacího motoru a s maximální konstrukční rychlostí nepřesahující 45 km.h<sup>-1</sup> při jakémkoli druhu pohonu.*

*Lehké čtyřkolky, jejichž hmotnost v nenaloženém stavu je menší než 350 kg, do čehož se nezapočítává hmotnost baterií v případě elektrických vozidel a dále, jejichž nejvyšší*

konstrukční rychlost nepřesahuje  $45 \text{ km.h}^{-1}$  a jejichž zdvihový objem motoru nepřesahuje  $50 \text{ cm}^3$  u zážehových motorů, nebo u jiných druhů motorů maximální čistý výkon nepřesahuje 4 kW.

### **Motocykl**

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

### **Motocykl s postranním vozíkem**

Motocykly s postranním vozíkem jsou vozidla s třetími koly uspořádanými nesouměrně vzhledem ke střední podélné rovině, s objemem válců motoru přesahujícím  $50 \text{ cm}^3$  v případě spalovacího motoru, nebo s maximální konstrukční rychlostí přesahující  $45 \text{ km.h}^{-1}$  při jakémkoli druhu pohonu.

### **Tříkolka nebo čtyřkolka**

Motorové tříkolky jsou vozidla s třemi koly uspořádanými souměrně vzhledem ke střední podélné rovině s objemem válců motoru přesahujícím  $50 \text{ cm}^3$  v případě spalovacího motoru, nebo s maximální konstrukční rychlostí přesahující  $45 \text{ km.h}^{-1}$  při jakémkoli druhu pohonu.

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

### **Motokolo**

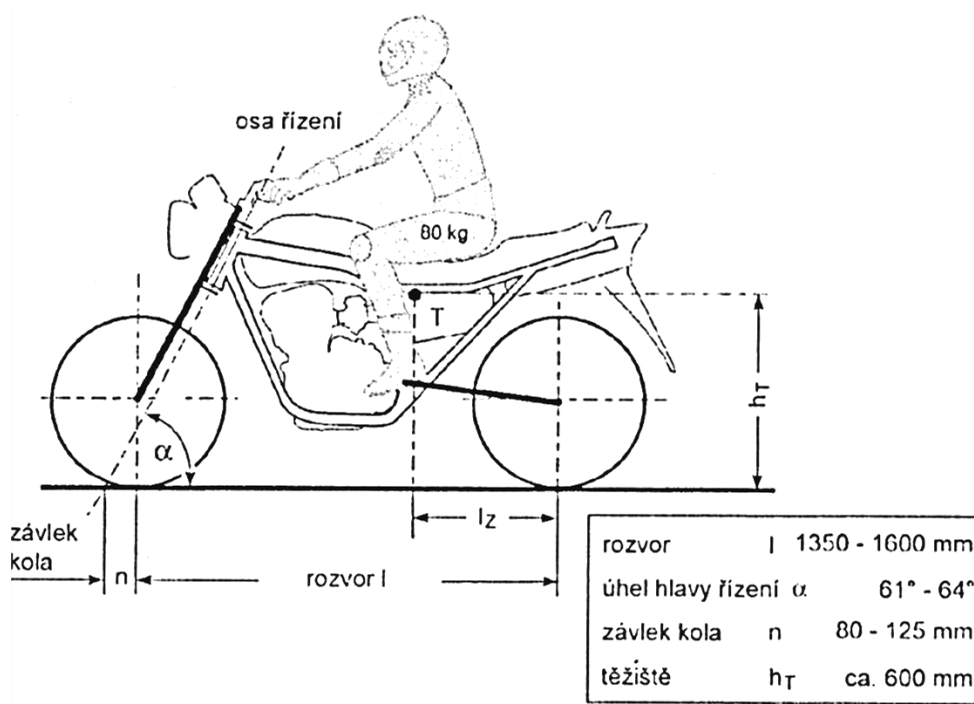
Jízdní kolo s trvale zabudovaným motorem s objemem válců motoru nepřesahujícím  $50 \text{ cm}^3$  v případě spalovacího motoru a s maximální konstrukční rychlostí nepřesahující  $25 \text{ km.h}^{-1}$  při jakémkoli druhu pohonu. “ (Příloha k zákonu č. 56/2001 Sb.)

## 2 DYNAMIKA JÍZDY

Tato kapitola je zaměřená na základní geometrii motocyklu, jízdní odpory a síly nutné k uvedení a uchování motocyklu v pohybu při zachování jeho říditelnosti. Celá tato problematika vychází z fyzikálních zákonů a její řešení je velkou konstrukční výzvou.

### 2.1 Geometrie

Geometrie motocyklu nejvíce předurčuje jeho jízdní vlastnosti. Nejdůležitějšími parametry určujícími geometrii motocyklu jsou: rozvor kol, poloha těžiště, rozdělení zatížení, úhel sklonu přední vidlice a závlek předního kola (viz obr. 3). (Vlk, 2004)



Obr. 3 Základní rozměry motocyklu (Vlk, 2004)

#### 2.1.1 Rozvor kol

Je to jeden z rozměrů, jehož volba určuje celkové rozměry motocyklu. U běžných motocyklů se pohybuje okolo 1400mm. Nejvíce ovlivňuje vedení podvozku motocyklu a tendenci k vlastnímu kmitání motocyklu. Delší rozvor znamená lepší vedení podvozku a přesouvá nebezpečné vlastní kmitání motocyklu do vyšších rychlostí. (Vlk, 2004) Hlavní nevýhodou delšího rozvoru je snižující se obratnost motocyklu. Ta může mít za následek obtíže při projíždění ostrých zatáček. (Rollinger, 2006)

### 2.1.2 Poloha těžiště

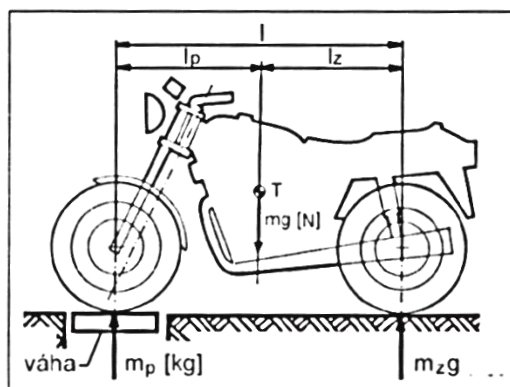
Poloha těžiště motocyklu se stanovuje v horizontálním i vertikálním směru. Je ve velké míře určena i polohou jezdce a proto důležitější než poloha těžiště samotného motocyklu je jeho poloha v celku motocykl-jezdec. Posunutí těžiště se pak snadno dosahuje změnou polohy stipaček či řídítek. V horizontálním směru je umístění těžiště důležité z hlediska ovladatelnosti a sklonu ke kmitání přední vidlice. Těžiště umístěné více vpředu snižuje náchylnost ke kmitání, avšak zhoršuje ovladatelnost stroje. Vzadu naopak těžiště pozitivně ovlivňuje ovladatelnost, ale projevuje se negativně na náchylnosti ke kmitání. Ve vertikálním směru pak těžiště ovlivňuje stabilitu a ovladatelnost. Nízko položené těžiště je výhodné z hlediska stability a ovladatelnosti v nízkých rychlostech, avšak pro ostřejší průjezdy zatáček je žádoucí výše umístěné těžiště. (Vlk, 2004)

#### *Určování polohy těžiště*

Polohu těžiště určujeme vážením. Pro zjištění délkové polohy těžiště, která je přímo spjata s rozdělením zatížení jednotlivých náprav stačí zjistit tato zatížení, a z jejich poměru snadno stanovíme délkovou polohu těžiště (viz obr. 4).

$$l_z = \frac{m_p}{m} \cdot l \quad [\text{m}] \quad (1)$$

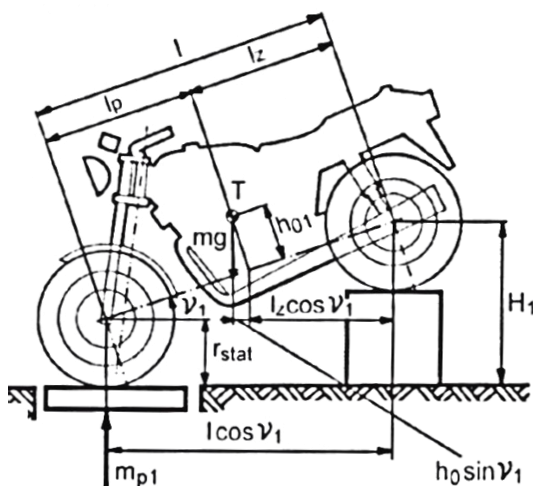
Při vážení je nutno dbát na vodorovnou polohu stroje, jejíž přesnost ovlivňuje přesnost výsledků.



Obr. 4 Určování horizontální polohy těžiště (Vlk, 2004)

Výšková poloha těžiště se zjišťuje podobně. Jedno kolo motocyklu v tomto případě zvedneme do určité výšky  $H_1$ , tím jej nakloníme o známý úhel a přitom zjistíme zatížení druhého kola (viz obr. 5). Tyto údaje použijeme pro zjištění polohy těžiště ze statické rovnice rovnováhy momentů. (Vlk, 2004)

$$m_{p1} \cdot \cos \nu_1 - m \cdot (h_{01} \cdot \sin \nu_1 + l_z \cdot \cos \nu_1) = 0 \quad (2)$$



Obr. 5 Určování vertikální polohy těžiště (Vlk, 2004)

### 2.1.3 Úhel sklonu přední vidlice

Je to úhel mezi rovinou vozovky a osou otáčení řídicích. Při menším úhlu sklonu přední vidlice je kolo více předsunutě před motocykl a vidlice je více položená. Když se tento úhel snižuje, roste tím stabilizační účinek předního kola, eliminuje se kmitání řídicích a stroj získává větší stabilitu ve vyšších rychlostech. Tento úhel bývá většinou kolem 24°-29°. (Vlk, 2004)

### 2.1.4 Závlek předního kola

Závlek předního kola je vzdálenost mezi průsečíkem osy řízení s vozovkou a styčným bodem kola se zemí. Styčný bod kola se zemí je bod, v němž se protíná kolmice k vozovce procházející jeho středem s rovinou vozovky. Při rostoucím závleku se zlepšuje stabilita motocyklu ve vyšších rychlostech na úkor ovladatelnosti. Závlek roste se snižujícím se úhlem řízení, současně s ním roste i stabilita v nízkých rychlostech. Se zvyšujícím se závlekiem však roste ohybový moment přenášený na přední vidlici a tím se zvyšuje její sklon ke kmitání.

(Vlk, 2004)

## 2.2 Pohon motocyklu

Pohon motocyklu stejně jako u všech ostatních vozidel zajišťuje překonání jízdních odporů. Jízdní odpory jsou síly působící proti pohybu vozidla. Některé na vozidlo působí neustále (např. odpor vzduchu, valivý odpor), některé pouze v určitých chvílích (např. při zrychlování odpor zrychlení, při jízdě do kopce odpor stoupání).

### 2.2.1 Valivý odpor

Je to odpor způsobený deformací pneumatiky a vozovky. Pro výpočet uvažujeme tuhou vozovku a valivý odpor je tedy způsobený pouze deformací pneumatiky. Ta se s vozovkou stýká plochou, kterou nazýváme stopou. V přední části stopy se ve směru valení pneumatika zplošťuje, v zadní části se opět vrací do svého původního kruhového tvaru. Síly, které pneumatiku vracejí do původního tvaru, jsou nižší o ztráty v pneumatice, tedy i měrné tlaky v přední části pneumatiky jsou vyšší. V důsledku toho je radiální reakce vozovky předsunuta před svislou osu kola. Působením této síly vzniká moment, který se v důsledku projeví jako odporová síla působící proti pohybu motocyklu. Velikost odporové síly je také závislá na vlastnosti vozovky nazývané jako součinitel valivého odporu (viz tab. 1). (Vlk, 2004)

Tab. 1 Součinitele valivého odporu pro některé povrchy (Vlk, 2004)

Povrch	$f_k$	Povrch	$f_k$
asfalt	0,01-0,02	travnatý terén	0,08-0,15
beton	0,015-0,025	hluboký písek	0,15-0,30
dlažba	0,02-0,03	čerstvý sníh	0,20-0,30
makadam	0,03-0,04	bahnitá půda	0,20-0,40
polní cesta - suchá	0,04-0,15	náledí	0,01-0,025
polní cesta - mokrá	0,08-0,20		

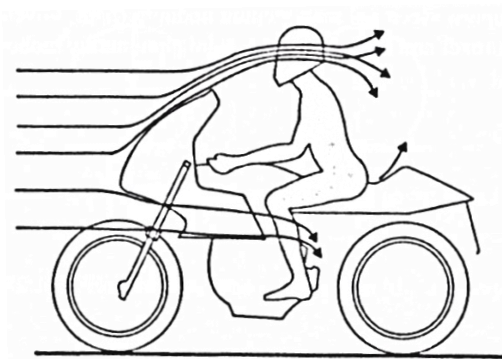
### 2.2.2 Vzdušný odpor

Jelikož se pohybujeme v atmosféře tvořené směsí plynů, musíme neustále překonávat jejich odpor vůči našemu pohybu (viz obr. 6). Běžně jej příliš nepocítujeme, ale jeho velikost roste s druhou mocninou rychlosti a při jízdě na motocyklu už jsou jeho vlivy nezanedbatelné. Při jeho výpočtu vycházíme z klasického aerodynamického vztahu, kde  $v_r$  je náporová rychlost proudění vzduchu kolem vozidla,  $S_x$  je čelní plocha vozidla,  $\rho$  je měrná hmotnost vzduchu a  $c_x$  je součinitel vzdušného odporu.

$$O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 \quad [\text{N}] \quad (3)$$



Náporová rychlost vozidla je výslednice součtu záporné rychlosti vozidla a rychlosti větru. Měrná hmotnost vzduchu závisí na teplotě a tlaku vzduchu. (Vlk, 2004)



Obr. 6 Obtékání motocyklu proudem vzduchu (Vlk, 2004)

### 2.2.3 Odpor zrychlení

Tento druh odporu vzniká při snaze vozidla zrychlit. Je to v podstatě setrvačná síla, která působí proti směru zrychlení a skládá se z posuvných a rotačních složek.

Odpor zrychlení posuvných částí o celkové hmotnosti  $m$  je při zrychlení  $\ddot{x}$  :

$$O_{Zp} = m \cdot \ddot{x} \quad [\text{N}] \quad (4)$$

Odpor zrychlení rotačních částí vychází z rovnice pro celkový moment:

$$M_r = O_{Zr} \cdot r_d = M_{rm} + M_{rp} + M_{rK} \quad [\text{Nm}] \quad (5)$$

kde  $M_{rm}$  je moment na hnacím kole vozidla potřebný pro zrychlení rotujících částí motoru,  $M_{rp}$  vyžadovaný moment pro zrychlení rotujících částí převodového ústrojí a  $M_{rK}$  je moment nutný ke zrychlení kol motocyklu.

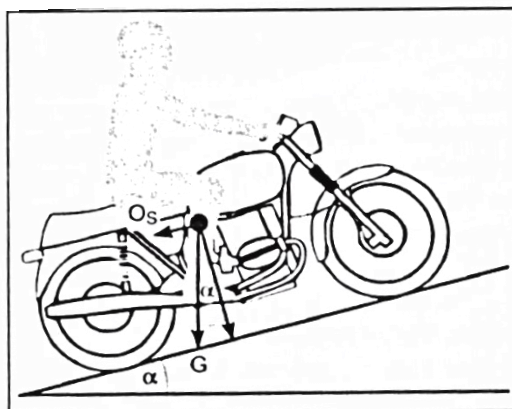
Odpor vytvořený zrychlením rotace částí převodového ústrojí je závislý na celkovém převodu, který je z části určený aktuálně zařazeným převodovým stupněm, a tudíž nabývá na každý rychlostní stupeň jiných hodnot. (Vlk, 2004)

### 2.2.4 Odpor stoupání

Je určen složkou tíhy vozidla rovnoběžnou s povrchem vozovky:

$$o_s = \pm G \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (6)$$

kde  $G$  je celková tíha vozidla a  $\alpha$  je úhel o který je rovina vozovky nakloněná od vodorovné roviny (viz obr. 7).



Obr. 7 Odpor stoupání (Vlk, 2004)

Všechny jednotlivé odpory jsou, každý svým způsobem, závislé na rychlosti a u všech jde s rostoucí rychlostí o vzrůstající tendenci. Tuto závislost můžeme zřetelně vidět na následujícím obrázku. (Vlk, 2004)

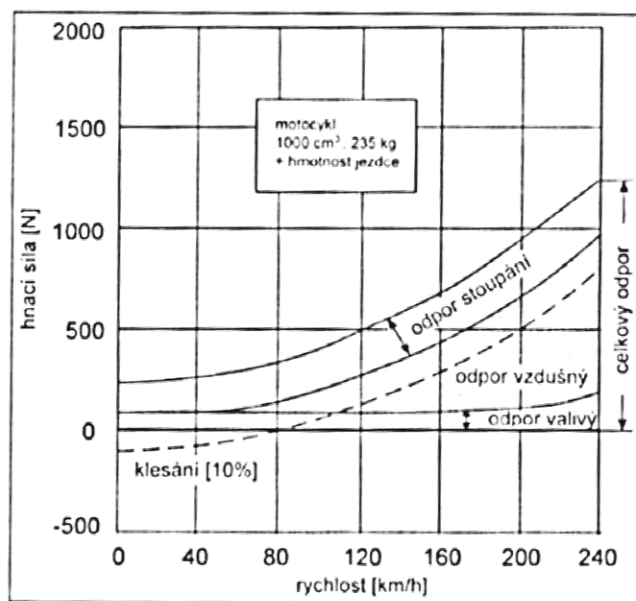
### 2.2.5 Hnací síla motocyklu

Hnací síla motocyklu potřebná pro jízdu v aktuálních podmínkách je prostým součtem jednotlivých jízdních odporů. Výkon potřebný k překonání jízdních odporů potom určíme z rovnice:

$$P_K = (O_f + O_V + O_S + O_Z) \cdot v \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Výkon k překonání odporu valení, stoupání i zrychlení, roste lineárně v závislosti na rychlosti, výkon potřebný pro překonání vzdušného odporu roste s třetí mocninou rychlosti (viz obr. 8).

(Vlk, 2004)



Obr. 8 Vliv rychlosti na jízdní odpory (Vlk, 2004)

## 2.2.6 Přílnavost

Kola jakéhokoliv dopravního prostředku mohou přenášet pouze omezeně velkou hnací sílu. Ta je podle experimentálních výsledků dána rovnicí:

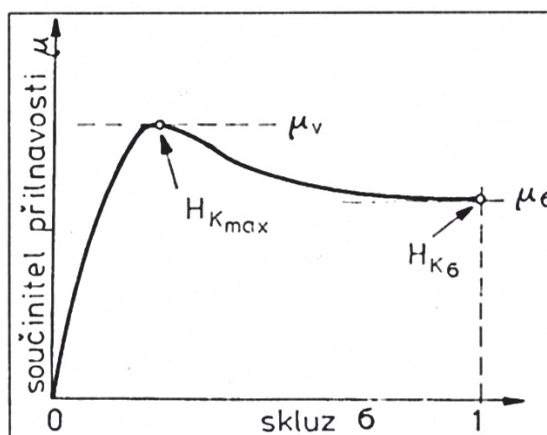
$$H_{Kmax} = \mu_v \cdot Z_K \quad [N] \quad (8)$$

kde  $\mu_v$  je součinitel valivé přílnavosti, závislý převážně na povrchu vozovky (viz tab. 2), méně pak na vlastnostech pneumatiky. Příklady součinitelů valivé přílnavosti pro různé povrchy najdeme v následující tabulce.

Typ vozovky		Součinitel přílnavosti	Typ vozovky		Součinitel přílnavosti
beton	suchý	0,8 - 1,0	asfalt	suchý	0,6 - 0,9
	mokrý	0,5 - 0,8		mokrý	0,3 - 0,8
dlažba	suchý	0,6 - 0,8	makadam	suchý	0,6 - 0,8
	mokrý	0,3 - 0,5		mokrý	0,3 - 0,5
polní cesta	suchý	0,4 - 0,6	tráva	suchý	0,4 - 0,6
	mokrý	0,3 - 0,4		mokrý	0,2 - 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 - 0,4	náledí		0,1 - 0,3

Tab. 2 Součinitel přílnavosti pro různé povrchy vozovky (Vlk, 2004)

Při překročení  $H_{Kmax}$  dochází k prokluzu mezi pneumatikou a vozovkou. Mění se hodnota přílnavosti ve skluz a tím i přenášené hnací síly vyjadřuje skluzová charakteristika pneumatiky (viz obr. 9). (Vlk, 2004)



Obr. 9 Skluzová charakteristika pneumatiky (Vlk, 2004)

### **3. PODVOZEK MOTOCYKLU**

Podvozek motocyklu je základní částí motocyklu, která určuje jízdní vlastnosti. Skládá se z následujících částí:

- Rám
- Odpružení
- Řízení
- Brzdový systém
- Kola s pneumatikami

Všechny tyto části mají dohromady zásadní vliv na jízdní vlastnosti motocyklu. Jejich společnou funkcí je například umožnění pohodlné jízdní pozice pro jezdce se správným rozložením hmotnosti, pokud motocykl stojí, musí umožnit jezdcovi poskytnout stroji oporu položením nohy na zem, po rozjezdu musí zajistit dostatečnou stabilitu motocyklu bez přílišných zásahů jezdce. (Vlk, 2004)

#### **3.1 Rám**

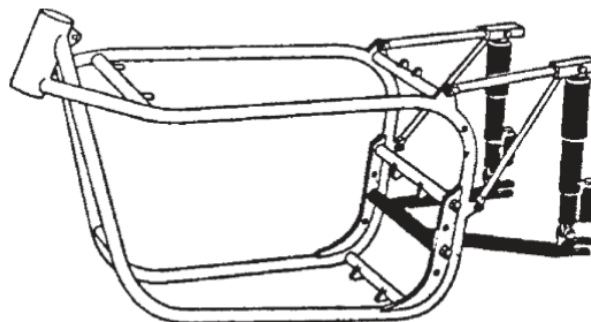
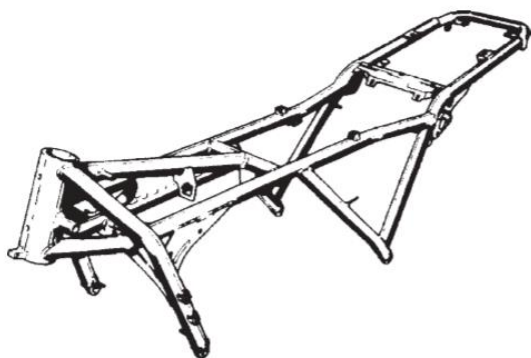
Rám motocyklu je jeho nosnou součástí. Musí poskytovat celou řadu potřebných vlastností, z nichž hlavními jsou dostatečná tuhost při co nejnižší hmotnosti a za přijatelných nákladů. Rámy mohou být dvojího druhu: samonosná nástavba vozidla nebo nosný rám.

Samonosná nástavba se u motocyklů používá v menší míře, převážně u skútrů, motocyklů menších rozměrů a některých silničních závodních motocyklů. Vzniká svařením rozměrných ocelových výlisků tvořících prostorově tuhý celek. Tvary plechů se volí podle namáhání jednotlivých částí motocyklu a na více namáhaných místech jsou podpořeny výztuhami. Tyto rámy při větším namáhání nepodléhají deformaci, ale poměrně brzo u nich dochází k prasklinám. (Vlk, 2004)

Klasický rám motocyklu nese motor, drží hlavu řízení, nádrž, zadní vidlici a často i sedačku. Rámy můžeme rozdělit podle základních tvarů nosné části.

Rozdělení rámu podle tvaru:

- Páteřové (viz obr. 10)
- Kolébkové (viz obr. 11)



Obr. 10 Páteřový rám BMW K 100 (Vlk, 2004)    Obr. 11 Kolébkový rám Norton (Vlk, 2004)

Druhou možností rozdělení rámu je podle tvarů a zpracování materiálů použitých k jejich výrobě.

Rozdělení rámu podle technologie výroby:

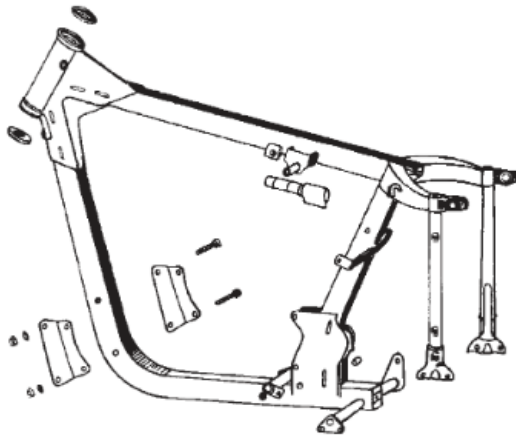
- Trubkové
  - o Jednoduché
  - o Dvojité
  - o Mřížové
- Lisované
- Odlévané

Jednotlivé skupiny typů rámu se mohou prolínat a některé rámy patří i do dvou skupin současně.

Velmi vhodným typem rámu pro konstrukci motocyklů jsou trubkové. Při nízké hmotnosti poskytují vysokou pevnost a při správné konstrukci i dostatečnou tuhost. Přitom jsou vcelku nenáročné na výrobu a za přijatelných nákladů umožňují kusovou, malosériovou i sériovou výrobu. Jsou sestaveny z jednotlivých kusů trubek různých tvarů, průřezů i délek a spojeny jsou svařováním. U některých typů motocyklů mohou být následně ještě žíhány pro odstranění vnitřního pnutí. (Kadlčík, 2016)

### 3.1.1 Jednoduché rámy

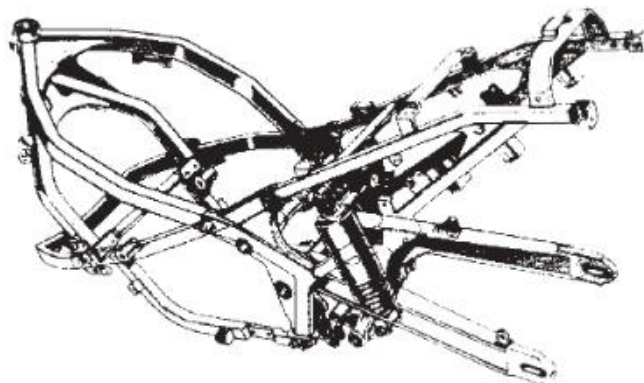
Jednou z podskupin trubkových rámu jsou rámy jednoduché. Ty mají sice výhodu v prostší konstrukci (viz obr. 12), ale nedosahují takové prostorové tuhosti, kterou poskytují např. dvoutrubkové rámy a jsou náchylné na kroucení. (Kadlčík, 2016)



*Obr. 12 Jednoduchý trubkový rám z trubek obdélníkového průřezu Jawa 350 (Vlk, 2004)*

### **3.1.2 Dvojité rámy**

Druhou skupinu mezi trubkovými rámy tvoří rámy dvojité. Ty mají ve své přední horní i dolní části vždy dvě rámové trubky vedle sebe (viz obr. 13). K hlavě řízení jsou tak upevněny čtyři trubky, což zvyšuje tuhost jejího uchycení i celkovou tuhost rámu. Pro zachování nízké hmotnosti je třeba použít trubky menšího průměru než u jednoduchých rámu, což činí jejich svařování obtížnějším a zvyšuje i jejich cenu. (Kadlčík, 2016)

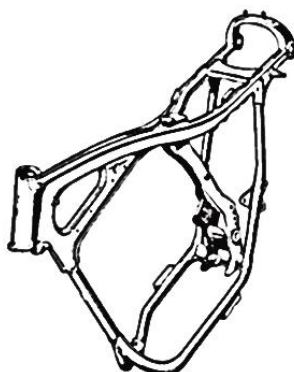


*Obr. 13 Dvoutrubkový rám z čtyřhranných trubek Kawasaki GPZ 1000 (Vlk, 2004)*

### **3.1.3 Rozdvojené rámy**

Rozdvojené rámy jsou skupinou na hranici mezi jednoduchými a dvojitými rámy. Jsou rozdvojené vždy v místě uchycení zadní kyvné vidlice a toto uchycení buďto začíná pod motorem a vede až pod sedlo (viz obr. 14), nebo začíná už u hlavy řízení, končí stejně jako v předchozím případě pod sedlem a jednoduchá trubka je tedy pouze pod nádrží. Jejich

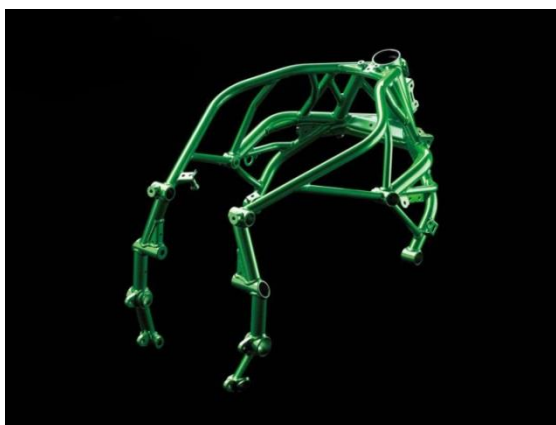
konstrukce je činí pevnějšími, ale těžšími než jsou rámy jednoduché, naopak oproti dvojitým jsou lehčí, ale nedosahují takové prostorové tuhosti. (Kadlčík, 2016)



*Obr. 14 Roz dvojený rám Honda CB 250 (Vlk, 2004)*

### **3.1.4 Příhradové rámy**

Mimořádnou odnoží trubkových ráků jsou příhradové ráky. Jsou to svařence z velkého počtu kratších trubek, které jsou náročné na výrobu, ale při správné konstrukci poskytují výjimečný poměr tuhosti a váhy. Je to také jediný druh ocelových ráků, který tímto poměrem může konkurovat a často předčí hliníkové ráky. Dokladem toho je nejenom dlouholetá tradice firmy Ducati, která je téměř výhradně používá ve svých motocyklech, ale také to, že jsou často používány u závodních motocyklů. (Vlk, 2004) Jedním z příkladů precizně zkonstruovaného trubkového ráku je například ten, který použili konstruktéři z Kawasaki při konstrukci motocyklu H2R (viz obr. 15).

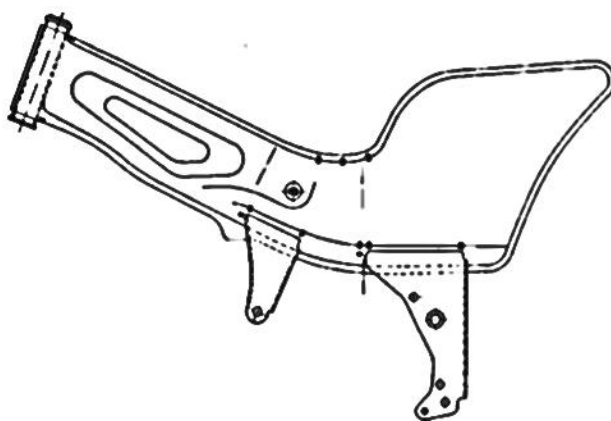


*Obr. 15 Příhradový rám Kawasaki H2R (Indianhoods, 2014)*

### 3.1.5 Lisované rámy

U velkosériově vyráběných motocyklů jsou s oblibou používány rámy lisované. Bývají většinou mostové konstrukce, která je přizpůsobena technologii výroby. Výroba je v jejich případě nákladná na vstupní investici, jíž je pořízení nástrojů nutných k výrobě výlisků. Jednotlivé výlisky jsou pak svařeny do finálního tvaru. Svařováním je možné dosáhnout změny průběhu profilu rámu a tak může být rám v místech nižšího namáhání odlehčený, nebo naopak na více namáhaných místech zesílený. Základem je zpravidla uzavřený tvarovaný profil, který je na jednom konci ukončený připojením k hlavě řízení a na druhé straně ukončený lisovanými nosníky, ke kterým se upevňuje zadní vidlice, odpružení zadního kola, či podsedlový rám (viz obr. 16).

Mezi lisované rámy patří také rámy s nosnou částí tvořenou výliskem, doplněnou o trubkové profily například pro upevnění motoru, nebo dílů šasi. (Kadlčík, 2016)



Obr. 16 Lisovaný rám Kreidler (Vlk, 2004)

### 3.1.6 Odlévané rámy

Další skupinou rámu jsou odlévané rámy. Jejich nosná část je vyráběna jako odlitek (viz obr. 17), což je značně technologicky i finančně náročné, avšak při použití moderních materiálů na bázi hliníku můžeme dosáhnout při zachování tuhosti výrazného snížení hmotnosti. I hliníkové lité rámy mají však svá úskalí. Prvním je jejich cena, která je sice stále o poznání vyšší než u ocelových avšak stále více se jim přibližuje. Dalšími jsou obtížná svařitelnost hliníku a jeho tuhost a elasticita. Problémy s nízkou elasticitou hliníkových slitin nastávají zejména při opravách zdeformovaných rámu, kdy v jejím důsledku často dochází k praskání a rám je třeba ve většině případů vyměnit za nový. (Kadlčík, 2016)





*Obr. 17 Odlévaný rám Yamaha MT 09 (Motorkari, 2013)*

Používání hliníkových rámu má však ještě jedno úskalí. Jelikož je hliník tvrdší než ocel, mnohem méně pohlcuje vibrace a rázy přenášené od kol přes tlumiče až na samotný rám a rychle je vrací zpět na kola. Ocel oproti tomu uvolňuje energii z nárazů zpět postupně a neovlivňuje proto takovou měrou jízdu motocyklu. Díky tomuto jevu je nastavení podvozku mnohem jednodušší u motocyklů s ocelovým rámem, než s hliníkovým, protože ocelový rám takzvaně více odpouští nedostatky. Důkazem toho je například rok 2003 v závodech WSBK, kde Ducati 998 zvítězila ve dvaceti ze čtyřadvaceti závodů a za jejím úspěchem měla tehdy z velké části stát jednoduchost, s níž se dal jejich podvozek tohoto motocyklu nastavit.

(Kadlčík, 2016)

### **3.1.7 Kompozitní rámy**

Kompozitní rámy jsou novinkou rozvíjející se především v posledních letech. Jedním z neznámějších a nepoužívanějších materiálů je karbon. Velký potenciál tohoto materiálu se už delší dobu projevuje v automobilovém či leteckém průmyslu, do motocyklového si však cestu stále hledá. Největším posunem v použití karbonu na motocyklu byl opět počín Ducati. V roce 2009 na start MotoGP nastoupila Ducati Desmosedici GP9 s rámem a zadní kyvnou vidlicí z karbonu (viz obr. 18). Casey Stoner tehdy suverénně zvítězil a jeho motocykl se jevil jako nepřekonatelný. Měl však významné problémy s přenášením vibrací a s nastavením podvozku. Typickým projevem byla náhlá ztráta přilnavosti předního kola. Karbonový rám se potýkal se stejnými problémy jako hliníkový a to s obtížností nastavení podvozku

a s netypickým pocitem z jízdy, který dával jezdcí. Již po několika závodech bylo od tohoto rámu upuštěno, ale samotný Stoner tvrdil, že je v něm potenciál a jakmile se podaří vyřešit obtížné nastavení, mohl by mít budoucnost. Pro použití v běžných motocyklech je však stále nevhodný zejména pro svoji vysokou cenu a proto ani vývoj v této oblasti není nijak rychlý.

(Kadlčík, 2016)



*Obr. 18 Karbonový rám Ducati Desmosedici GP9 (Visordown 2009)*

### **3.2 Odpružení**

Účelem odpružení u motocyklů je utlumení přenosu kmitavých pohybů z náprav na podvozkové části vozidla, čímž dochází ke zvýšení jízdního komfortu, životnosti většiny použitých dílů a zajištění stálého styku kol s vozovkou. To je velmi důležité pro přenos hnacích a brzdících sil a pro říditelnost motocyklu. Zároveň s odpružením je nutné použít také nějaký způsob tlumení odpružení, aby nedocházelo k rozkývání motocyklu a v jeho důsledku ke ztrátě kontroly. (Vlk, 2004)

Hmotnost motocyklu z hlediska pružení dělíme na dvě skupiny: hmotnost odpruženou a neodpruženou. Neodpruženou hmotnost tvoří obě kola a části pružících systémů na ně připevněné, které kmitají společně s nimi. Odpruženou hmotnost tvoří zbývající části motocyklu. Míru kvality odpružení určuje především způsob zavěšení kol, souhra jejich

frekvencí, tlumení a statických propružení, velikost odpružených a neodpružených hmot a účinnost tlumení. (Husák, 2011)

Při návrhu a nastavení odpružení motocyklu dochází ke kompromisu mezi dvěma úlohami, které plní. V první řadě zajišťuje co nejlepší styk kol s vozovkou a v druhé jízdni komfort. Z hlediska komfortu je lepší použít měkčí pérování, to má však nepříznivý vliv při snaze o omezení odsakování kol. Jedním z určujících faktorů je hodnota statického propružení, která úzce souvisí s kmitočtem pružení. Její hodnotu získáme ze vztahu:

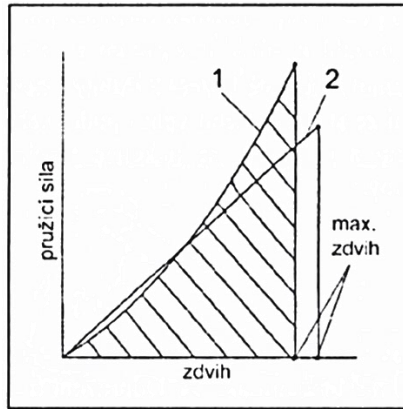
$$n \doteq 300 \cdot \sqrt{\frac{1}{y_{st}}} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (9)$$

kde  $n$  je výsledný kmitočet ( $\text{min}^{-1}$ ) a  $y_{st}$  je velikost statického propružení kola (cm).

Kmitočet pružení přímo ovlivňuje pohodlí jízdy. Při vysokých hodnotách řidič cítí z pružení nepříjemné otřesy, při nízkých naopak vzrůstá riziko vzniku nevolnosti. Optimální hodnota pro lidský organismus se pohybuje okolo  $60 - 70 \text{ min}^{-1}$ , což je i hodnota kmitočtu odpovídající příjemné procházkové chůzi. Po dosazení těchto hodnot do výše uvedené rovnice získáme vhodné rozmezí hodnot statického propružení ( $18,5 - 25 \text{ cm}$ ). Tyto hodnoty jsou pro konstrukci motocyklu nepoužitelné, protože celkové hodnoty propružení kola by byly  $35 - 50 \text{ cm}$ . V praxi se používá propružení okolo  $4 \text{ cm}$ , což odpovídá kmitočtu kolem 150 kmitů za minutu. (Husák, 2011)

### 3.2.1 Odpružení vinutou pružinou

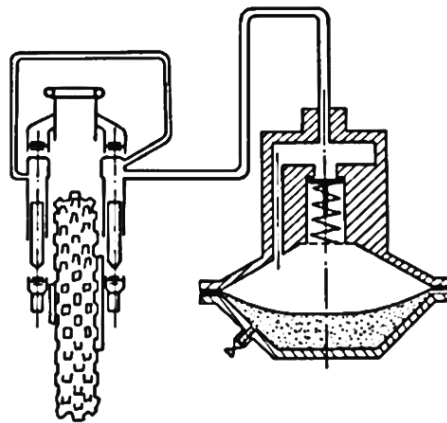
Pružení motocyklu může být řešeno několika způsoby. Nejpoužívanějším způsobem odpružení motocyklu je vinutá pružina, ta však není v základním provedení zcela vhodná pro svou lineární charakteristiku, a proto se používají pružiny s progresivní charakteristikou, které při stejném zdvihu umožňují větší pružící sílu (viz obr. 19). Progresivity u pružin se dnes dosahuje proměnlivým stoupáním závitů válcované pružiny, proměnlivým průměrem drátu válcované pružiny, nebo kombinací proměnlivého průměru drátu a proměnlivého průměru pružiny. (Vlk, 2006)



Obr. 19 Charakteristika pružiny: nelineární (1) a lineární (2) (Vlk, 2004)

### 3.2.2. Odpružení plynovou pružinou

Další možností řešení odpružení motocyklu jsou plynové pružiny. Stlačování uzavřeného objemu plynu má progresivní charakteristiku. Plynové pružiny jsou zpravidla řešeny jedním ze dvou následujících způsobů. První systém je tvořen plynem ve vzduchotěsně uzavřeném obalu, na který působí síly od pružení přenášené tlakem oleje (viz obr. 20). V případě druhého systému na plynový objem ve válci přímo působí píst spojený s neodpruženými částmi vozidla. (Vlk, 2004)



Obr. 20 Schéma vzduchokapalinového odpružení KTM (Vlk, 2004)

### 3.3 Tlumení

Pokud by bylo u vozidla použito pouze odpružení bez tlumení, docházelo by k jeho rozkmitávání. Pokud by motocykl najel na překážku, docházelo by k jeho rozhoupání. Obzvláště nebezpečné by to bylo v případě, že by vozidlo jelo přes stejně od sebe vzdálené nerovnosti takovou rychlostí, že by ke styku s nimi docházelo při frekvenci stejné,

jako je vlastní frekvence odpružení některého z kol a způsobilo by jejich rezonanci. Tlumení pomáhá účinně předcházet těmto nebezpečným jevům.

Tlumiče mají potom na motocyklu stejnou úlohu jako odpružení. Mají zajistit co nejvyšší bezpečnost jízdy při zachování určitého jízdního komfortu. Proto musí tlumiče tlumit nárazy přenášené od nerovností vozovky a nepřenášet je přitom na karoserii a omezovat kmitání neodpružených hmot motocyklu na co nejnižší možnou míru.

Tlumení musí při najetí na nerovnost co nejméně tlumit pohyb kluzáku nahoru, aby docházelo k co nejmenšímu nadzdvižení odpružených částí motocyklu a tento pohyb byl s co nejmenším zrychlením. V pružící soustavě se při přejetí překážky nakumuluje relativně velké množství energie, která po opuštění překážky uvádí systém zpět do polohy statického propružení. Při tomto návratu musí být pohyb vhodně tlumen, protože pokud by bylo tlumení příliš velké, nestihl by se systém před najetím na další překážku vrátit do původní polohy a pokud by bylo tlumení naopak malé, mohlo by dojít k rozkmitání stroje kolem statické polohy. V poloze odpovídající určitému stlačení tlumiče už nedokáže pojmout tolik energie a při najetí na větší nerovnost by mohlo dojít k propružení až doraz.

I u nejdokonalejších tlumičů může dojít k situaci, kdy tlumiče nedokáží pojmout veškerou energii z nárazu na překážku. Tato situace nejčastěji nastává u soutěžních motocyklů po dopadu ze skoku, ale může nastat i u běžného silničního motocyklu. Pohyblivá část tlumiče by v těchto chvílích narazila do nepohyblivé a řidič i stroj by byli vystaveni velkému otřesu, který by v extrémních případech mohl vést i k trvalé deformaci některé z částí motocyklu. Aby bylo účinně zabráněno těmto problémům, jsou tlumiče motocyklu v obou úvratích vybaveny tzv. měkkými dorazy. Ty bývají pryžové (viz obr. 21) nebo hydraulické a jsou schopny absorbovat velké množství energie. (Husák, 2011)

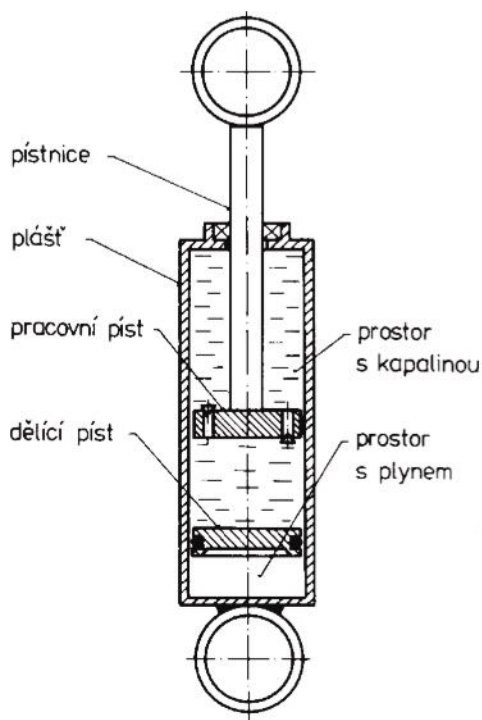


*Obr. 21 Pryžové dorazy tlumičů (Tunning-in, 2016)*

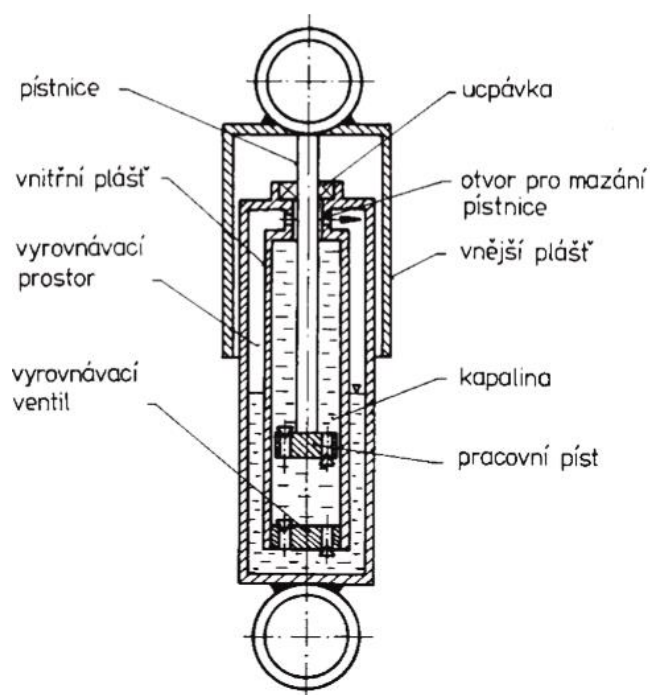
Tlumiče u motocyklů jsou zpravidla konstruovány jako teleskopické. Hloubku tlumení určuje stlačení pružiny, která je ovinutá z vnější strany kolem tlumiče, nebo je ukrytá uvnitř pístu. Při stlačení tlumiče dojde zároveň ke stlačení pružiny a k pohybu pístu uvnitř tlumiče, který tlačí hydraulický olej z jedné komory do druhé přes velké i malé otvory mezi nimi. Při zpětném pohybu dojde k uzavření jednocestných ventilů, které přeruší tok kapaliny velkými otvory a kapalina proudí zpět do první komory pouze malými obtokovými otvory. Tím se pohyb tlumiče zpomalí. Pro vylepšení pružících a tlumících vlastností tlumiče může být ještě použita přídatná plynová náplň. (Vlk, 2004)

Teleskopické tlumiče můžeme rozdělit na dva typy:

- jednokomorové tlumiče (viz obr. 22)
- dvoukomorové tlumiče (viz obr. 23)



Obr. 22 Schéma jednokomorového tlumiče  
(Vlk, 2004)



Obr. 23 Schéma dvoukomorového tlumiče  
(Vlk, 2004)

Používané typy teleskopických tlumičů:

- Hydraulický tlumič s nebo bez možnosti seřízení
- Hydraulický tlumič s externí vyrovnávací olejovou nádržkou
- Hydraulický tlumič s vyrovnávací olejovou nádržkou a vyrovnávací nádržkou s pomocnou plynovou náplní
- Hydraulický tlumič s pomocnou plynovou náplní, kde podstatnou část tlumení zajišťuje plynový polštář
- Hydraulický tlumič s pomocnou plynovou náplní s regulací zdvihu, který se automaticky přizpůsobuje zatížení

(Vlk, 2004)

### **3.4 Zavěšení předního kola**

Zavěšení předního kola k motocyklu zajišťuje přední vidlice. Dnes nejčastěji používaným typem zavěšení jsou teleskopické vidlice, méně často se pak používají vahadlové vidlice. Oba typy na motocyklu zajišťují nejen uchycení, ale i odpružení, vedení a řízení předního kola.

Druhy konstrukčních provedení přední vidlice:

- Teleskopická vidlice s kluzáky uchycenými na předním kole a nosnými trubkami spojenými s hlavou řízení
- Teleskopická vidlice s kluzáky uchycenými k hlavě řízení a s nosnými trubkami spojenými s předním kolem (“upside down“ vidlice)
- Vahadlová vidlice se dvěma tlumiči odpružení
- Pružinová vidlice s centrální pružicí a tlumící jednotkou
- Páková vidlice
- Vidlice s otočným čepem

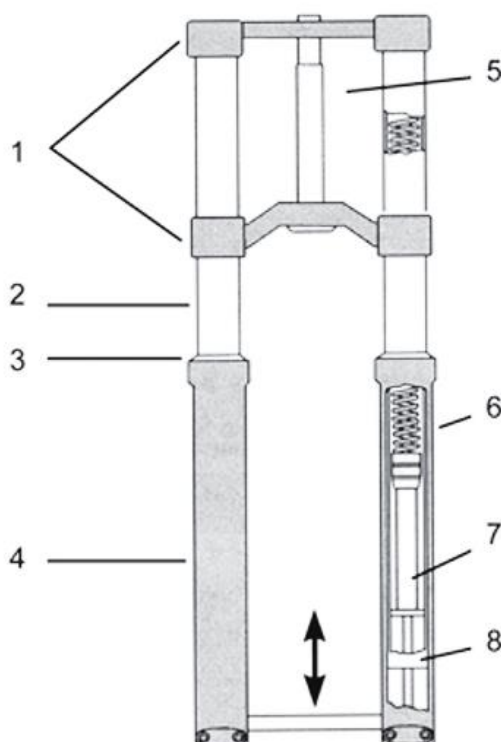
(Vlk, 2004)

#### **3.4.1 Teleskopická vidlice**

Starším typem a dnes stále hojně využívaným je zavěšení předního kola s kluznými trubkami uchycenými na ose předního kola a nosnými trubkami uchycenými přes vidlicový můstek k sloupku řízení na rámu motocyklu. Nosné trubky jsou uchyceny pevně a po nich kloužou kluzáky. V nosných trubkách jsou ve spodní části umístěny tlumiče, které jsou spojené

na jedné straně s kluzáky a na straně druhé s pružinami (viz obr. 24). Tlumení je řešeno jednokomorovým, či dvoukomorovým tlumičem. Je to jednoduchý způsob, který díky kluzákům umístěným dole nevyžaduje náročné těsnění, avšak má i svoje nedostatky. Jedním z největších neduhů je prohýbání nosných trubek při brždění. Na místě jejich spojení s můstkem řízení vzniká vlivem působení brzděné síly na relativně velkém rameni velký ohybový moment, který způsobí jejich krátkodobé prohnutí a vede k nepřesnému vedení kola. Tomuto jevu můžeme zabránit použitím masivnějších nosných a tím i kluzných trubek, což však vede k nežádoucímu zvětšení množství neodpružené hmoty, nebo použitím obrácené vidlice. Dalším neduhem těchto vidlic je velký sklon k jejich stlačování při brždění, čímž dochází k předklánění motocyklu, zkracování rozvoru a změně velikosti závleku předního kola. (Rollinger, 2006)

Princip teleskopické vidlice s kluzáky uchycenými na předním kole je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 24 Princip teleskopické vidlice: 1 – motocyklová vidlice (vidlicový můstek); 2 – sloupek; 3 – těsnění; 4 – kluzná trubka; 5 – sloupek řízení (trubka); 6 – pružící vidlice; 7 – tlumicí systém; 8 – kluzná trubka. (Vlk, 2004)



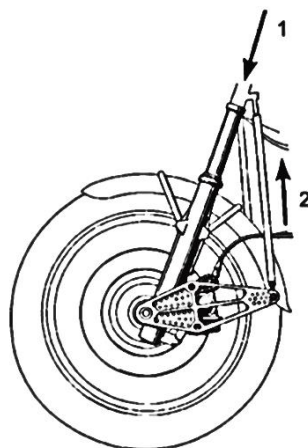
Druhý způsob (tzv. “upside down“, nebo “USD“) vidlice byl původně používán kvůli úspoře hmotnosti zejména u sportovních motocyklů, dnes se však prosazuje i u běžných silničních strojů. Vyžaduje lepší utěsnění, ale bez použití většího množství materiálu přináší požadovanou tuhost, protože větší ohybový moment v tomto případě působí na kluzné trubky, které mají větší průřez a tím jej lépe snáší. Nižší hmotnost neodpružených hmot urychluje reakce pružícího a tlumícího systému na nerovnosti a výrazně přispívá ke zlepšení jízdních vlastností a zvýšení bezpečnosti jízdy. USD vidlice mají také menší sklon k zanořování při brždění. (Vlk, 2004)

U obou těchto typů vidlic se nejčastěji u závodních motocyklů používají protiponořovací (“antidive“, nebo “ADS“) systémy. Ty zabraňují stlačování přední vidlice při brždění a tím jeho předklánění. Oba tyto systémy jsou náročné na výrobu a zvětšují neodpružené hmoty. To není až takovým problémem u závodních motocyklů pohybujících se na hladkých tratích, ale u běžných motocyklů se v podstatě nepoužívají, protože jejich výhody jsou převáženy nevýhodami pro běžný provoz a jejich cenou. (Vlk, 2004)

Řešení těchto systémů je dvojího druhu:

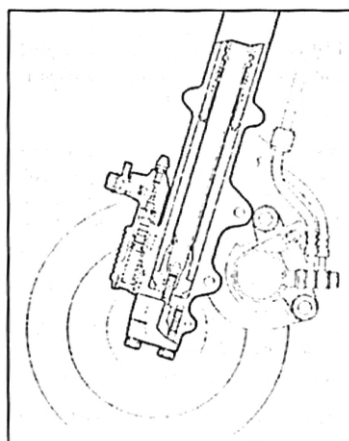
- Mechanický systém
- Hydraulický systém

Mechanický antidive systém zajišťuje spojení spodního konce kluzáků s nosníkem přední vidlice. Systém v sobě zahrnuje i brzdové třmeny a je řešený pomocí páky (viz obr. 25). Stlačovací pohyb přední vidlice je přenášený na soutyčí, které tomuto pohybu klade odpor. Nevýhody tohoto systému jsou jeho složitost, zvětšení množství neodpružených hmot a velmi znatelné ztvrdnutí přední vidlice při brždění, které má za následek horší reakci na nerovnosti a v krajním případě může vést i ke ztrátě kontaktu předního kola s vozovkou a k jeho odskočení. (Vlk, 2004)



*Obr. 25 Mechanický protiponořovací systém (Vlk, 2004)*

Hydraulický antidive systém je řešen přes mechanismus, který tlakem z brzd ovládá průtok oleje v tlumičích a při brždění jej omezí, čímž dojde ke ztvrdnutí vidlice a k omezení jejího ponoření (viz obr. 26).



*Obr. 26 Hydraulický protiponořovací systém (Vlk, 2004)*

Podobného efektu lze snáze dosáhnout použitím progresivních pružin, které nebrání ponořování tak efektivně jako výše zmíněné systémy, ale jsou mnohem jednodušší na výrobu i údržbu. (Vlk, 2004)

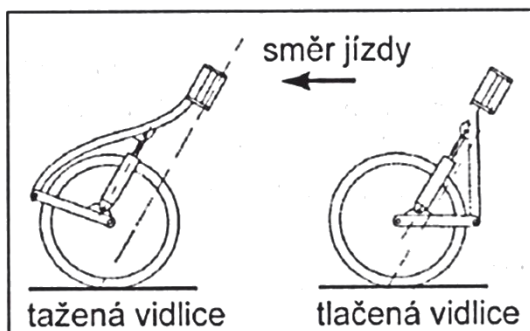
### **3.4.2 Vahadlová vidlice**

Vahadlové vidlice jsou pomalu ustupujícím typem zavěšení předního kola. Mezi jejich nesporné výhody patří dobré vedení předního kola, které si motocykl zachovává například i při větším zatížení, či jízdě s postranním vozíkem, a možnost navrhnout odpružení a tlumení přesně pro požadovanou situaci, protože v tomto případě plní pouze svoji primární funkci

a nezajišťují vedení kola. Nevýhodou je náročná výroba promítající se do vyšší ceny a obtížnější ovládání zapříčiněné rozmístěním relativně velké hmoty okolo osy řízení.

Vahadlové vidlice dělíme dle jejich uspořádání (viz obr. 27) na:

- Tažené vahadlové vidlice
- Tlačené vahadlové vidlice

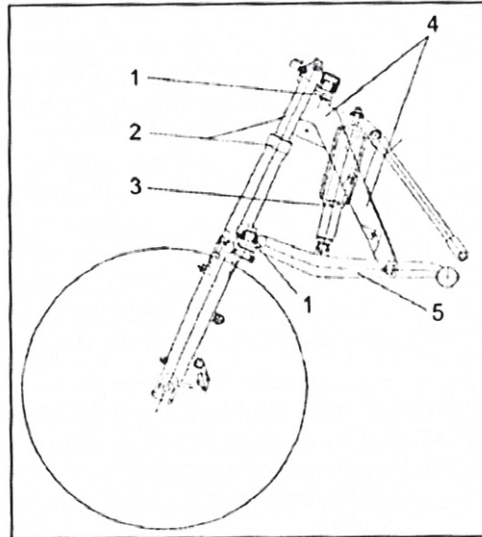


Obr. 27 Tažená a tlačená vahadlová vidlice (Vlk, 2004)

Podle délky ramen je můžeme také dělit na krátké a dlouhé kyvné vidlice. Krátká tažená vidlice se v dnešní době ještě hojně vyskytuje u skútrů. Dlouhé tlačené vidlice můžeme naopak nečastěji najít u "čoprů" kde jsou s oblibou používány pro jejich tuhost i při větších délkách vidlic těchto motocyklů a pro schopnost kompenzace předklánění motocyklu při brždění. (Vlk, 2004)

### 3.4.3 Teleskopická páková přední vidlice

Tento typ zavěšení předního kola vznikl spojením teleskopické a pákové vidlice v BMW, které jej stále u některých motocyklů využívá. Nosné trubky jsou relativně malého průměru, tudíž i kluzáky jsou na svém průřezu menší a zmenšují se tak neodpružené hmoty motocyklu (viz obr. 28). Odpružení s tlumením zde zajišťuje jedna centrální pružící a tlumící jednotka, uchycená mezi pákou a hlavou řízení, čímž se usnadňuje její nastavení a odpadá riziko nestejného chodu tlumičů. Vhodně navrhnutá a umístěná páka způsobuje, že většinu brzdících sil pohlcuje rám, zbylé pak centrální tlumící jednotka a teleskopická vidlice zajišťuje pouze vedení a řízení kola. Celý systém je také snadný na údržbu, protože kluzáky s nosnými trubkami jsou opatřeny teflonovou vrstvou a kulový čep na předním konci páky je také téměř bezúdržbový. (Vlk, 2004)



Obr. 28 Teleskopická páková přední vidlice (Vlk, 2004)

### 3.5 Zavěšení zadního kola

Zavěšení zadního kola stejně jako u předního zajišťuje jeho uchycení k motocyklu, odpružení s tlumením a vedení. Jedinou funkcí, kterou zadní zavěšení oproti přednímu nevykonává je řízení kola, což podstatně ulehčuje jeho konstrukci.

Druhy zavěšení zadního kola:

- Dvouramenná vidlice
- Jednoramenná vidlice
- Konzolová vidlice
- Vidlice s pákovým mechanismem

Všechny tyto typy mají vidlici přichycenou k rámu přes hřídel nebo dva čepy, kolem kterých se vidlice otáčí. Uložení je řešeno bronzovými objímkami, jehlovými ložisky, nebo v případě dražších motocyklů válečkovými ložisky. Konstrukci vidlic také ovlivňuje způsob přenosu výkonu motoru na zadní kolo. Nejčastějšími typy jsou kardanovým hřídelem, nebo řetězem. Při přenosu řetězem je nutné při návrhu vidlice počítat s jeho opotřebením a osu zadního kola umístit do vidlice v drážkách, které umožňují pohyb kola v horizontální poloze a tím jej napínat. Drážky přitom musí požadovat dostatečnou oporu bez vůlí ve svislém směru a musí být opatřeny napínáky zajišťujícími kolo horizontálně v poloze nastavené uživatelem, odpovídající aktuálnímu stavu řetězu. Při pohonu kardanovým hřídelem musí být ve vidlici tunel, ve kterém se hřídel nachází a poskytuje vhodné podmínky pro jeho mazání. (Vlk, 2004)

### 3.5.1 Dvouramenná zadní vidlice

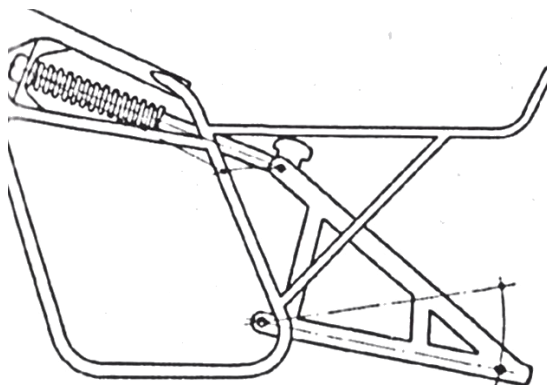
Nejčastěji používanou vidlicí je dvouramenná kyvná vidlice (viz obr. 29) se dvěma postranními pružicími jednotkami, nebo s jednou centrální pružicí jednotkou. Řešení s dvěma jednotkami je starším typem a nepřináší oproti centrální jednotce žádné významné výhody, naopak je dražší a je citlivé na seřízení a opotřebení jednotlivých tlumičů, což může vést k naklánění zadního kola. Dnes se používá pouze u motocyklů, u kterých je toto nutné kvůli jejich retro vzhledu. Při použití pouze jedné pružicí jednotky je jediným problémem udržení dostatečné tuhosti vidlice při zachování co nejnižší hmotnosti. (Rollinger, 2006)



Obr. 29 Dvouramenná zadní vidlice (Rollinger, 2006)

### 3.5.2 Konzolová zadní vidlice

Je obdobou dvouramenné zadní vidlice, avšak pro zajištění vyšší tuhosti při nízké hmotnosti nevyužívá samostatných nosných profilů, ale ty jsou zde zpevněny trubkovou konstrukcí. Tato konstrukce je ve tvaru pyramidy, na jejímž vrcholu je umístěna pružicí jednotka (viz obr. 30). Ta může díky tomuto uspořádání být umístěna ve vodorovné poloze nad motorem a poskytuje zadní vidlici větší zdvih. Nevýhodou může být prostorová náročnost jak samotné vidlice, tak jejího uchycení a nárůst neodpružených hmot. (Vlk, 2004)

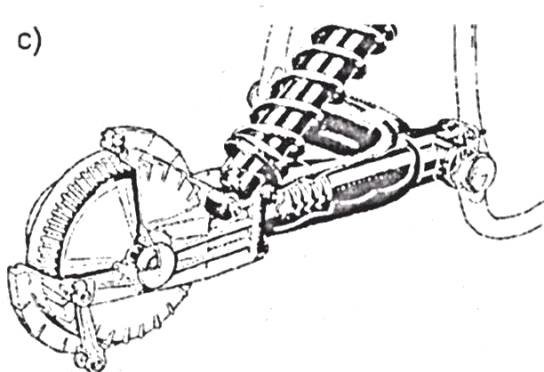


Obr. 30 Konzolová zadní vidlice (Vlk, 2004)

### 3.5.3 Jednoramenná zadní vidlice

Konstrukční řešení zadní vidlice pouze jedním ramenem (viz obr. 31) je moderní a stále oblíbenější. Rameno musí být vhodně navrženo, aby byla zachována pevnost vidlice i při větším zatížení. Mohutnější konstrukce tohoto ramene však paradoxně nezpůsobuje nárůst hmotnosti vidlice, ale oproti dvouramenné vidlici může poskytovat větší tuhost při zachování hmotnosti. Další nespornou výhodou je jednoduchost montáže a demontáže zadního kola.

(Vlk, 2004)



Obr. 31 Jednoramenná zadní vidlice (Vlk, 2004)

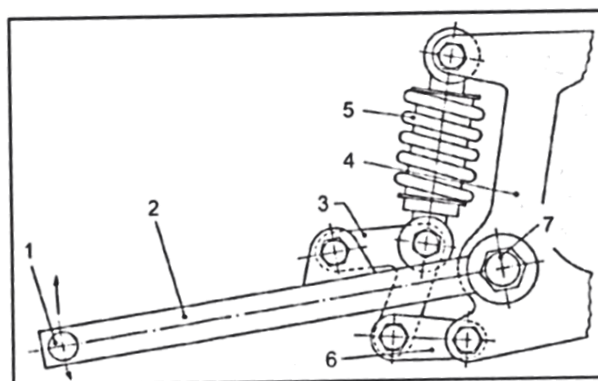
### 3.5.4 Páková zadní vidlice

Pákový systém uložení zadního kola (viz obr. 32) byl vyvinutý především kvůli potřebě většího zdvihu u terénních motocyklů, které klasicky řešené vidlice neposkytovaly. Většina velkých výrobců motocyklů má v dnešní době vlastní řešení tohoto uložení:

- Uni Trak (Kawasaki)
- Pro Link (Honda)
- Mono Cross (Yamaha)
- Full Floater (Suzuki)
- Mono Power Drive (Gilera)
- Zeta Link (Maico)

(Rollinger, 2006)

Všechny tyto systémy mají společnou progresivitu, která je dána jejich konstrukcí, což umožňuje dostatečně citlivé reakce na menší nerovnosti, ale při větším zdvihu se zvyšuje rychlost pohybu pístu v tlumiči, který tím klade větší odpor a jednotka se přitvrdí. Není proto třeba ani upravovat nastavení tlumiče pro různé provozní podmínky. (Vlk, 2004)



Obr. 32 Páková zadní vidlice (Vlk, 2004)

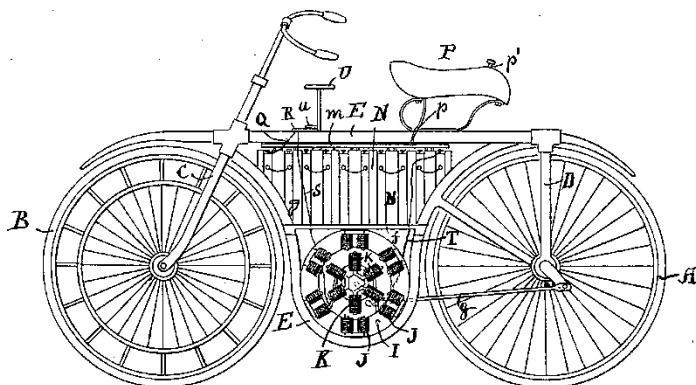
## 4 ELEKTRICKÉ MOTOCYKLY

### 4.1 Vývoj elektromotocyklu

Motocykly s elektrickým pohonem zažívají v dnešní době revoluci. Jejich výkony se rovnají a někdy i předčí motocykly se spalovacím motorem, podstatně méně zatěžují životní prostředí emisemi a náklady na jízdu jsou také výrazně nižší. (Frybert, 2015)

#### 4.1.1. Historie elektromotocyklů

První pokusy o jednostopý elektrický dopravní prostředek vznikly překvapivě už na konci 19. století, když roku 1895 Ogden Bolton Jr. Canton podal přihlášku patentu s názvem elektrické kolo. Další patentová přihláška byla podána roku 1897 Hosea W. Libbeyem z Bostonu (viz obr. 33).



Obr. 33 Patent H. W. Libbeyho (Electric bicycle, 1895)

Zajímavostí může být článek, který se objevil v roce 1911 v časopise Popular Mechanics, který pojednával o zavedení elektrického motocyklu do sériové výroby. Avizovaný motocykl měl mít dojezd 75-100 mil (121-160 km) na jedno nabití a to s regulací otáček ve třech stupních, která poskytovala výsledné rychlosti 4, 15 a 35 mil za hodinu (6,4, 24 a 56 km.h<sup>-1</sup>). Dalším milníkem byl rok 1941, kdy v reakci na nedostatek paliva za druhé světové války vzniklo kolem 400 elektrických skútrů. Ty byly vybaveny třemi šesti voltovými akumulátory a motorem o výkonu jednoho koně. Posledním významnějším momentem předcházejícím sériové výrobě elektromotocyklů byl stroj Dr. Karla Kodesche, který vyvinul Ni-Cd akumulátor a s jeho pomocí přestavěl svůj motocykl na elektrický. Prvním sériově vyráběným motocyklem se v roce 1996 stal elektrický skútr Peugeot Scoot'Elec s nikel-kadmiovými akumulátory a s dojezdem 40km. Elektrický pohon byl od té doby stále rozšířenější, ačkoliv se soustředil především na skútry a na speciální motocykly stavěné pro účely závodů, či překonávání rekordů. (Frybert, 2015)

#### 4.1.2 Současnost elektromotocyklů

Původně vysoké členy baterií a motorů dnes pomalu klesají a díky tomu se začínají objevovat i běžné elektromotocykly všech kategorií. Stále nemohou konkurovat benzínovým motorům svým dojezdem a pořizovací cenou, ale rozdíly mezi nimi jsou pomalu mazány s každou další inovací v tomto perspektivním oboru. Například skútry s elektrickým pohonem můžeme dnes pořídit za ceny srovnatelné s běžnými. Dojezd nedosahuje hodnot rovnajících se zážehovým strojům, ale s hodnotou například 120 km už denní jízdy do práce nepředstavují problém.

Velké elektromotocykly se pomalu také stávají běžnou realitou. Vznikly například sportovní motocykly s podvozkovými díly od nejlepších výrobců, s motory dosahujícími výkonu 200 koní, s maximální rychlostí 347 km.h<sup>-1</sup> a s akumulátory umožňujícími dojezd kolem 270km (viz obr. 34). ( Lightning Motorcycle, 2016)



Obr. 34 Motocykl Lightning LS-218 ( Lightning Motorcycle, 2016)



Jedním z nejvýznamnějších výrobců je americká firma Brammo. Jejich motocykl Empulse R je jednou z inspirací k tvorbě této bakalářské práce a v předběžném návrhu rámu motocyklu se počítá s motorem právě této značky.

### ***Brammo Empulse R***

Je to motocykl kategorie naked (viz obr. 35) určený k běžnému ježdění po městě a na kratší výlety. Svou konstrukcí je zaměřen na zachování požitku z jízdy, který poskytují běžné motocykly. Jeho výjimečnost tkví například ve vodou chlazeném elektromotoru o výkonu 42 kW a točivém momentu 90 Nm kombinovaném se šestistupňovou převodovkou a maximální rychlostí 177 km.h<sup>-1</sup>. Kombinovaný dojezd ve výši 124 km sice nijak neohromí, ale taky už není příliš limitujícím, což je podpořeno i rychlonabíjením, schopným akumulátory dobít z 20 na 80 % kapacity za méně než 2 hodiny. (Madson, 2013)



*Obr. 35 Řez motocyklem Brammo Empulse R (Madson, 2016)*

## **4.2 Technika elektromotocyklů**

Elektromotocykly jsou konstrukčně jednodušší než motocykly s benzínovými motory a jejich hlavními částmi jsou akumulátor, motor a regulační prvky.

### **4.2.1 Akumulátory elektromotocyklů**

Hlavním limitujícím prvkem elektrických pohonů v dopravních prostředcích je váha, kapacita a životnost akumulátorů. Právě až pokroky v jejich výzkumu umožnily rozvoj elektrických vozidel.

Nejčastěji používané akumulátory můžeme dělit do následujících skupin:

- Olověné akumulátory
- NiCD akumulátory
- NiMH akumulátory
- Li-ion akumulátory
- LiFePO<sub>4</sub> akumulátory

(Frybert, 2015)

#### **4.2.2 Olověné akumulátory**

Elektrody jsou tvořeny olovem (Pb) a oxidem olovičitým (PbO<sub>2</sub>), elektrolytem je roztok kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) s vodou (H<sub>2</sub>O). Jeho koncentrace se mění v průběhu nabíjení a vybíjení. Při plném nabití je kolem 35 % a s vybíjením pomalu klesá. Jejich velkou nevýhodou je sulfatace, což je nevratný proces degradace elektrod, který nastává při uchovávání akumulátoru ve vybitém stavu a vede ke snižování kapacity. Dalšími nevýhodami jsou malá hustota energie na kilogram (30-40 Wh.kg<sup>-1</sup>), nízká účinnost dobíjení (70-92 %) a malá životnost spolu s vysokou toxicitou. Mezi hlavní výhody patří cena a možnost dodávat velké proudy. (Frybert, 2015)

#### **4.2.3 NiCd akumulátory**

Nikl-kadmiové akumulátory jsou typem galvanického článku, který je bezúdržbový a plně recyklovatelný. Mezi hlavní výhody těchto článků patří odolnost proti hlubokému vybití a nízký vnitřní odpor umožňující odebírat velké proudy. Nevýhodami je jedovatost kadmia, paměťový efekt, což je jev, při kterém akumulátor ztrácí maximální kapacitu po opakovaném nabíjení jen z částečného vybití a rychlé samovybíjení (až 20 % za měsíc). Hustota energie na kilogram činí (40-60 Wh.kg<sup>-1</sup>), účinnost dobíjení (66-90 %). (Frybert, 2015)

#### **4.2.4 NiMH akumulátory**

Nikl-metal hybridový akumulátor je v dnešní době jedním z nejpoužívanějších typů článků a zároveň jeden z typů galvanických článků. Mezi jeho výhody patří vysoká kapacita, schopnost dodávat poměrně velký proud a schopnost udržet si napětí téměř do úplného vybití. Nevýhodou je nevelká hustota energie na kilogram (30-80 Wh.kg<sup>-1</sup>), poměrně nízká účinnost dobíjení (66 %), samovybíjecí a paměťový efekt a nižší počet nabíjecích cyklů (asi 1000).

(Frybert, 2015)

#### 4.2.5 Li-Ion akumulátory

Lithium-ion akumulátory jsou velmi rozšířeným typem článků. Jejich vlastnosti z nich činí ideální zdroj pro přenosnou elektroniku, avšak použití v dopravních prostředcích je u nich problematické. Největší nevýhodou Li-ion akumulátorů je snižování jejich kapacity nezávisle na používání a to při teplotě 20 °C o 20 % za rok. Kvůli vyššímu vnitřnímu odporu také nemohou dodávat větší proudy a při větším zatížení mohou explodovat. Jejich kvality však spočívají ve vysoké hustotě energie na kilogram (160 Wh.kg<sup>-1</sup>), dobré účinnosti dobíjení (80-90%), absenci paměťového efektu a nízkému samovybíjení. (Frybert, 2015)

#### 4.2.6 LiFePO<sub>4</sub> akumulátory

Tyto akumulátory patří také mezi lithium-iontové a jsou založené na lithiu železo fosfátu, který tvoří katodu. Na rozdíl od Li-Ion akumulátorů v extrémních podmínkách nevybuchují, ale mohou selhat při velkém množství cyklů hlubokého vybití a rychlým dobíjením se jim snižuje životnost. Mezi výhody patří vysoký počet dobíjecích cyklů (2000-3000), absence paměťového efektu, vysoké životnosti (3-10let), vyšší hustota energie na kilogram (80-120 Wh.kg<sup>-1</sup>) a výborná účinnost dobíjení (95 %).

Akumulátory jsou ve vozidlech uspořádány do tzv. batteryboxů, kde jsou umístěny a vzájemně propojeny. Batterybox musí chránit nejen baterie před poškozením a znečištěním, ale také chrání před dotykem s živými částmi elektrických obvodů. Tyto boxy obsahují čidla monitorující teplotu a napětí jednotlivých článků, data pak zpracovává řídicí jednotka, která může řídit nabíjení a vybíjení jednotlivých článků a v případě poruchy některé úplně odpojit.

(Frybert, 2015)

### 4.3 Elektromotory

Druhů elektromotorů je celá řada a mnoho z nich se používá i v elektrických vozidlech. Každý typ má jisté silné a slabé stránky (viz tab. 3) a výrobci je používají podle toho, na co se chtějí zaměřit. Jelikož elektrické dopravní prostředky zažívají největší rozvoj až v posledních letech, žádný z typů se ještě neprojevil jako výrazně lepší než ostatní. (Vlk, 2004)

Rozdělení elektromotorů:

- Stejnoseměrné elektromotory
  - o Stejnoseměrný motor se sériovým buzením
  - o Stejnoseměrný motor s cizím buzením
  - o Stejnoseměrný motor s derivačním buzením
  - o Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením
- Střídavé elektromotory
  - o Asynchronní motor
  - o Synchronní motor s permanentním buzením

(Vlk, 2004)

V následující tabulce můžeme vidět porovnání různých koncepcí elektromotorů s bodovým ohodnocením v určitých oblastech, kdy nejlepší vlastnosti jsou ohodnoceny 10 ti body.

Tab. 3 Porovnání koncepcí elektromotorů (Vlk, 2004)

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Přetížitelnost	Spolehlivost
Stejnoseměrný	10	7	6	10	7
Asynchronní	8	8	6	10	9
Synchronní	8	10	7	10	9
Magnetický	8	10	10	9	10

#### 4.3.1 Stejnoseměrné motory

Stejnoseměrné motory poskytují obecně snadnou regulaci a příznivou momentovou charakteristiku, nedosahují však výkonů a účinností střídavých elektromotorů a jsou dražší na výrobu a náročnější na údržbu. (Vlk, 2004)

##### *Stejnoseměrný motor se sériovým buzením*

U těchto motorů je budící vinutí sériově spojeno s kotvou a proud puštěný do motoru se stává i budícím proudem. Toto řešení poskytuje velmi jednoduchou regulaci, jelikož napětí je úměrné proudu, takže regulátor výkonu je jednoduchý tranzistor, či tyristor, který řídí napětí. Typická je samočinná reakce na změnu zatížení činící jej vhodným pro použití ve vozidlech, ale také jeho stálá potřeba. V případě běhu motoru bez zatížení mohou otáčky vzrůst natolik, že dojde k jeho poškození. (Vlk, 2004)

### ***Stejnoseměrný motor s cizím buzením***

V případě tohoto řešení je budící vinutí napájeno z cizího zdroje a je třeba regulovat jak napětí rotoru, tak budící proud. Tento motor umožňuje snadné obrácení směru otáčení a rekuperaci. Regulace je snadná a plynulá v celém rozsahu otáček. Při použití vyšších napětí, které tyto motory umožňují, protéká motorem nižší proud, čímž může být motor při zachování výkonu menší, lehčí a levnější. (Vlk, 2004)

### ***Stejnoseměrný motor s derivačním buzením***

V tomto případě jsou obvody budícího vinutí a kotvy připojené k akumulátoru odděleně přes samostatné regulátory, které umožňují snadnou a plynulou regulaci, snadnou možnost rekuperace a lineární závislost točivého momentu na otáčkách. (Vlk, 2004)

### ***Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením***

Kombinací motoru se sériovým buzením a s derivačním vinutím vzniká motor se smíšeným buzením, který využívá výhod obou těchto systémů. Vinutí jsou v motoru obsažena obě a reagují na potřeby motoru. V případě vysokých otáček jejich vzájemné reakce způsobí snížení otáček motoru a zvětšení momentu a derivační vinutí také omezuje otáčky motoru na prázdno.

(Vlk, 2004)

## **4.3.2 Střídavé elektromotory**

### ***Asynchronní motor***

Díky absenci vinutí kotvy a kolektoru dosahují asynchronní motory vysokých otáček a při stejných výkonech mohou být podstatně menší a lehčí. Navíc mají dobré využití výkonu v celé jejich charakteristice, jsou silně přetížitelné a umožňují velmi účinnou rekuperaci brzděné energie. Nevýhodou může být složitější regulace vedoucí k dražším výkonovým obvodům, které musí být schopny regulovat jak frekvenci, tak napětí. (Vlk, 2004)

### ***Synchronní motor s permanentním buzením***

Motory této kategorie jsou velmi kompaktní, s vysokou účinností plynoucí z bezdrátového magnetického pole buzeného permanentními magnety. Pole v tomto případě nemůžeme nijak regulovat a proto je nutný vícenásobný regulátor výkonu, nebo víceúrovňová převodovka.

(Vlk, 2004)

#### **4.4 Regulační prvky elektromotocyklů**

Regulační prvky jsou zásadní součástí elektrických vozidel. V závislosti na zatížení, otáčkách a rychlosti musí umožňovat ovládání výkonu dodávaného elektromotorem na zadní kolo, nebo naopak převádět brzdovou energii zpět na elektrický proud a ukládat v akumulátorech.

V závislosti na typu motoru používáme různé typy měničů:

- Usměrňovač – usměrňuje střídavý proud a napětí na stejnosměrný
- Střídač – převádí stejnosměrný proud a napětí na střídavé
- Měnič frekvence – mění frekvenci signálu při zachování velikosti proudu a napětí
- Transformátor – mění amplitudu vstupního signálu, frekvence je zachována
- DC/DC měnič – mění velikost vstupního stejnosměrného napětí

Měniče mohou být klasické konstrukce fungující na elektromechanickém, či elektromagnetickém principu, nebo elektronické, pracující na principu polovodičových prvků.

(Vlk, 2004)

## **5 3D NÁVRHOVÉ SYSTÉMY**

Počítačové návrhové systémy jsou dvojího druhu, 2D systémy a 3D systémy. V oboru konstrukce se v poslední době používají téměř výhradně 3D systémy, které poskytují rychlejší tvorbu modelů, jednodušší práci s nimi, okamžitý náhled na vzhled a rozměry výsledné součásti a v neposlední řadě možnosti výpočtů a simulací namáhání dílů. Nejpoužívanějšími systémy v dnešní době jsou Autodesk Inventor a SolidWorks.

Oba tyto systémy umožňují pokročilé modelování zahrnující velké množství funkcí, které usnadňují tvorbu modelů. S jejich příchodem se zcela změnilы předvýrobní postupy návrhu dílů. Díky 3D návrhovým systémům už se nemusí uplatňovat postup zahrnující nejdříve představení si dílu a poté vytvoření jeho výkresové dokumentace. Nyní vzniká 3D model definovaný křivkami jejichž změnou můžeme snadno dosáhnout změny rozměrů či tvaru výsledných částí. To přináší urychlení aplikace inovací při návrhovacím procesu.

Další důležitou součástí jsou konstrukční a analytické nástroje, umožňující vkládání normovaných dílů, tvorbu technické dokumentace, napojení na výrobu, výpočty spojů, nosníků, ložisek pružin, tvorbu simulací a prezentací výrobku a mnoho dalšího.

Pro můj model motocyklu jsem zvolil program SolidWorks, který jsme se učili používat ve škole a máme jej k dispozici. (Vláčilová, 2007; Fořt 2012)

## 6 NÁVRH ŘEŠENÍ RÁMU ELEKTRICKÉHO MOTOCYKLU

Na základě znalostí získaných zpracováním této bakalářské práce jsem vypracoval návrh rámu elektrického motocyklu. Parametry byly voleny s ohledem na plánované využití stroje jako příměstského dopravního prostředku, který by umožňoval jak bezproblémový pohyb v městském provozu, tak zážitek z jízdy v zatáčkách. Jako základ pro geometrii jsem vycházel z motocyklu Yamaha MT-07 (viz obr. 36), velmi populárního stroje, který si získal přízeň mnoha jezdců nejen svou nízkou cenou, ale také vynikajícími jízdními vlastnostmi.

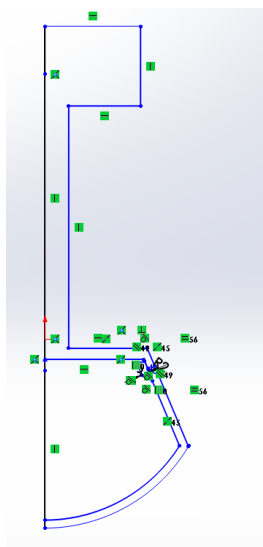


Obr. 36 Yamaha MT-07 (Yamaha motor, 2016)

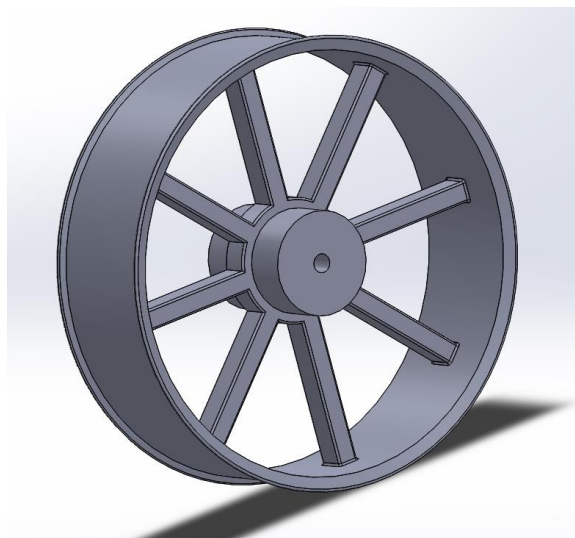
Základními parametry v mém případě jsou úhel hlavy řízení  $66^\circ$  stejný jako u MT-07 a rozvor 1500 mm, který je o 100 mm vyšší než u jmenovaného stroje z důvodu většího prostoru pro uspořádání všech komponent. Dalšími určujícími parametry byla délka vidlic, jejich umístění, velikost akumulátoru a velikost motoru.

Nejdříve jsem si v CAD systému SolidWorks vytvořil modely ráfků, pneumatik, zadní vidlice, předních teleskopů s můstkem řízení, akumulátorů a motoru. Poté jsem je postupně vkládal do sestavy a přidával k nim vazby zajišťující požadovanou geometrii motocyklu. Po předběžném umístění samotných akumulátorů a motoru jsem začal tvořit drátový model rámu za pomoci 3D skici. Následně jsem za pomoci tažení skici po křivce postupně vytvářel jednotlivé úseky rámu. V posledním kroku jsem vytvořil úchyty rámu k přední vidlici, zadní vidlici a k centrálním pružicím jednotce zadní vidlice.

Ráfky a pneumatiky vznikaly podobným způsobem. Nejdříve jsem si za pomoci 2D skici vytvořil polovinu jejich průřezu (viz obr. 37), kterou jsem poté zrcadlil pro vytvoření druhé poloviny a nechal rotovat kolem jejich středu. Tím vznikla pneumatika a základ pro ráfek. Na bok ráfku jsem následně nakreslil tvar pro vyříznutí a za pomoci nástroje kruhového pole jsem jej sedmkrát zkopíroval kolem středu kružnice. Za pomoci funkce odebrat vysunutím vznikly paprsky ráfku, kterým jsem nakonec zaoblil hrany (viz obr. 38).

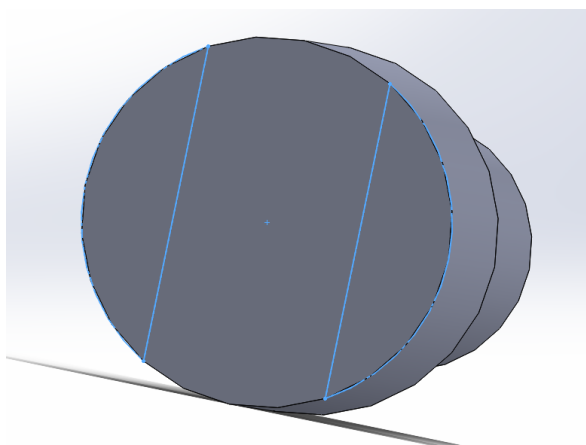


Obr. 37 Skica ráfku a pneumatiky (autor, 2016)



Obr. 38 Model ráfku (autor, 2016)

Další částí, kterou jsem modeloval, byla přední vidlice. Kluzné trubky vznikly jednoduchým vysunutím profilu a následně jeho ukončením plným průřezem. Nosné trubky (viz obr. 40) jsou kombinací dvou průřezů, z nichž jeden je opět pouze vysunut, druhý, větší průměr, je určený připojení k ose předního kola a odebráním vysunutím (viz obr. 39) vznikly plochy, do kterých jsem vyřízl otvory ke spojení s kolem.



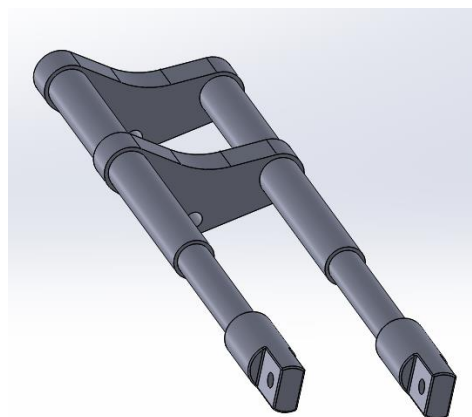
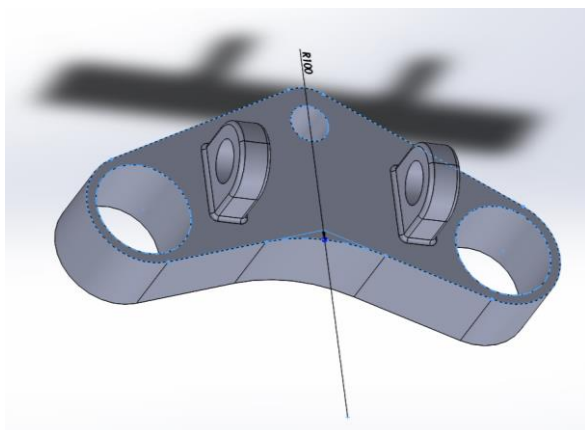
Obr. 39 Tvorba uchycení (autor, 2016)



Obr. 40 Nosná trubka tlumiče (autor, 2016)

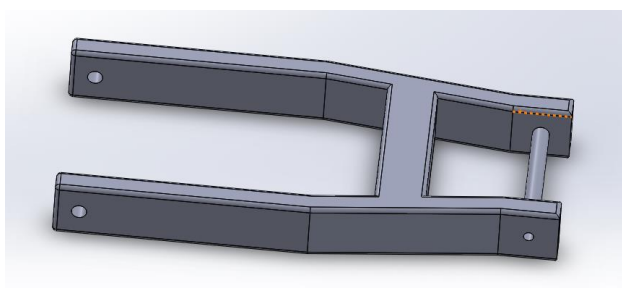


Další částí přední vidlice je vidlicový můstek (viz obr. 41), který vznikl tečným spojením kružnic a výřezem s radiusem, který byl opět vytvořen vysunutím. Na horní díl můstku byly stejnou funkcí vytvořeny výstupky k uchycení řídítek, jejichž horní okraj jsem zaoblil a odebráním vysunutím jsem vytvořil otvor pro vložení řídítek. Celou vidlici jsem pak v sestavě pomocí soustředných, sjednocených a rovnoběžných vazeb se vzdáleností poskládal (viz obr. 42).



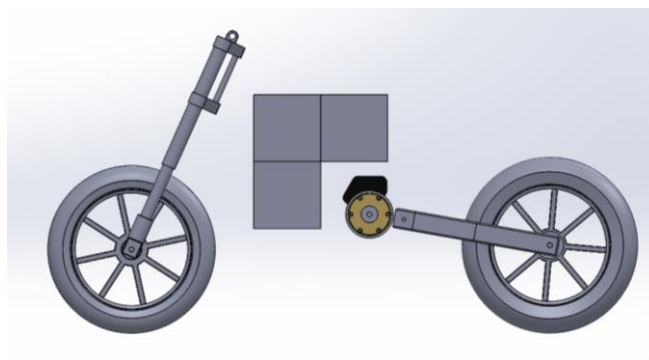
*Obr. 41 Můstek přední vidlice (autor, 2016) Obr. 42 Teleskopická přední vidlice (autor, 2016)*

Zadní kyvná vidlice (viz obr. 43) je opět dílem funkce přidat vysunutím. Po načrtnutí skici vytvořené v závislosti na velikosti kola byla vysunuta a hrany zaobleny. Odebráním vysunutím kruhových průřezů vznikly otvory pro spojení s kolem a s rámem a přidáním vysunutím vznikla výztuha mezi konci vidlice na straně rámu.



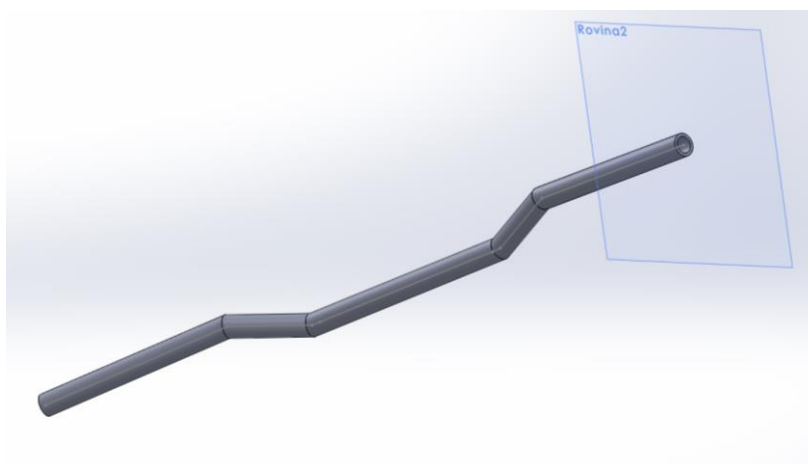
*Obr. 43 Zadní kyvná vidlice (autor, 2016)*

Obdobnými způsoby jako předešlé díly vznikly i motor a články baterie a následně byly všechny díly umístěny do sestavy a za použití vazeb umístěny pro vznik požadované geometrie motocyklu (viz obr. 44). V místech připojení kol k vidlicím ještě vznikly čepy pro jejich uchycení.



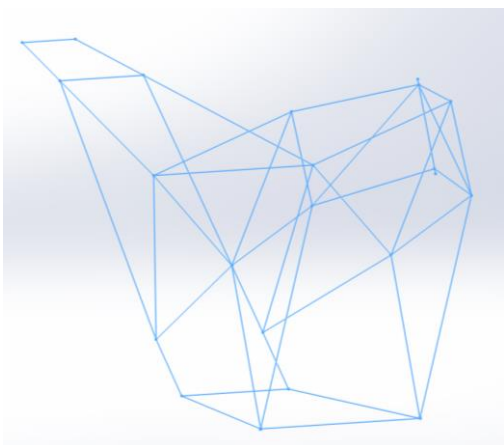
*Obr. 44 Prvky motocyklu v sestavě (autor, 2016)*

Řídítka jsem už tvořil za pomoci 3D skici v sestavě, aby jejich tvar korespondoval s geometrií motocyklu. Vznikla tak 3D křivka po které jsem funkcí tažením po křivce táhl skicu kruhového průřezu a tak vznikl tvar řídítek (viz obr. 45).

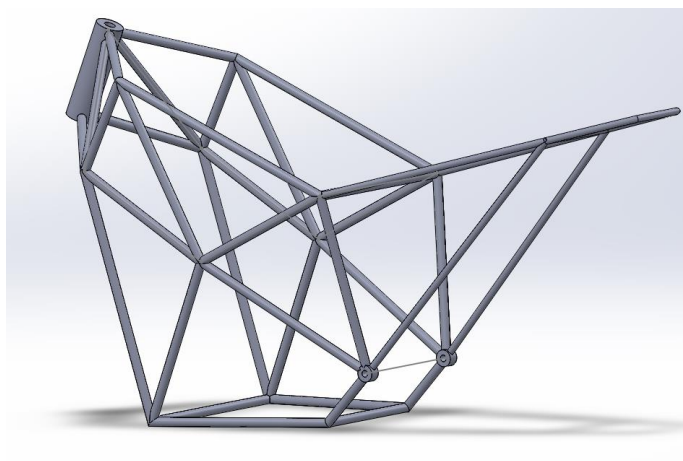


*Obr. 45 Tvorba řídítek (autor, 2016)*

V tuto chvíli mohl začít vznikat samotný rám. Opět pomocí 3D skici postupně vznikala kostra obepínající motor s akumulátorem, napojující se na můstek přední vidlice a úchyty zadní vidlice. Tato konstrukce byla složitá a pro správné vedení jednotlivých úseček bylo třeba vždy vytvořit sérii rovin, z jejichž průsečíků vznikly body pro umístění úseček. Po dokončení drátového modelu (viz obr. 46) jsem skicu otevřel jako samostatný díl a začal jsem po částech za pomoci tažení kruhových profilů po křivce tvořit výsledný rám. V místě připojení k můstku řízení vznikla vysunutím hlava rámu a v místech připojení zadní vidlice vznikly stejným způsobem zadní úchyty (viz obr. 47).

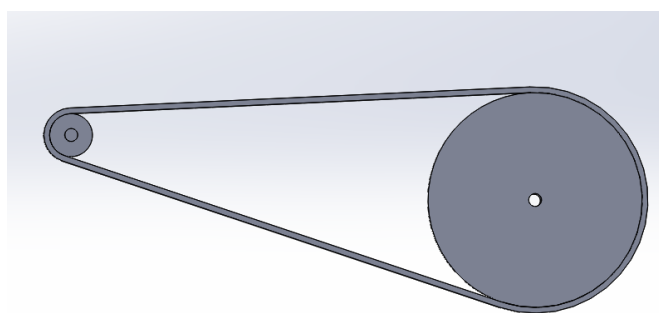


*Obr. 46 3D skica rámu (autor, 2016)*

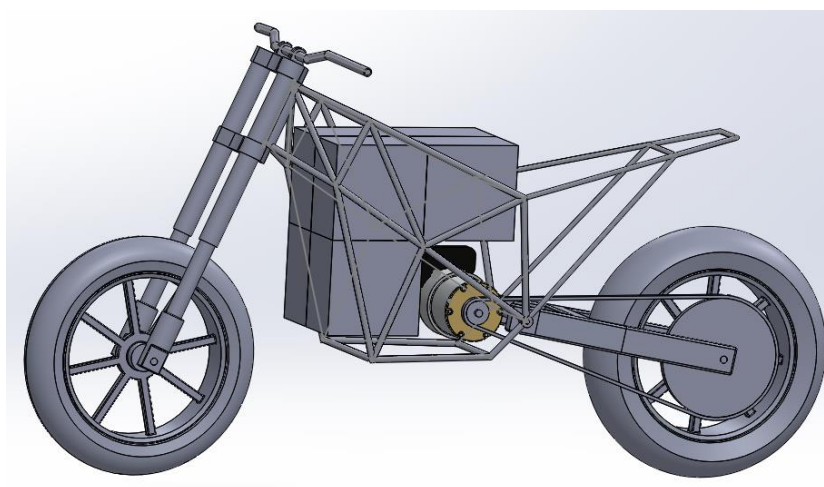


*Obr. 47 Rám (autor, 2016)*

Na závěr jsem vytvořil a vložil zjednodušené modely pastorku na motoru, rozety na zadním kole a řetězu, který je spojuje (viz obr. 48).



*Obr. 48 Zjednodušený model řetězového převodu (autor, 2016)*



*Obr. 49 Díly motocyklu v sestavě (autor, 2016)*

Motocykl je v návrhu vybaven motorem Brammo o výkonu 42 kW a šesti třináctičlánkovými akumulátory firmy Kokam, které mají každý napětí 48,1 V a kapacita každého z nich je 40 Ah. Pro udržení bezpečného napětí v obvodu, a tudíž snadnější manipulace a oprav by bylo ideální články zapojit paralelně, napětí by zůstalo 48 V, ale maximální výkon, který by akumulátory mohly motoru dodat, byl při maximálním dlouhodobě možném odběru proudu 600 A (ze specifikace motoru) pouze 28,8 kW. Tento výkon zdaleka neuspokojí potřebu motoru pro využití jeho parametrů. Proto je výhodné zkombinovat zapojení článků po třech v sérii a dvou těchto trojic paralelně. Maximální proudy dodávané akumulátory a požadované motorem budou zhruba stejné a při maximálním odběru jsou takto akumulátory schopny dodat do obvodu výkon 86,4 kW, což znamená, že i při největším zatížení motoru budou akumulátory zatíženy jen na polovinu možné hodnoty a tím se bude šetřit jejich životnost a budou se méně zahřívat. Díky tomu bude dostačující jejich chlazení vzduchem a nebude třeba vodního chlazení. Napětí v obvodu bude v tomto zapojení 144,3 V, tedy bude patřit do oboru nízkého napětí. Každý z akumulátorů má energii 1924 Wh a dohromady se dostanou na hodnotu 11544 Wh. Spotřeba dle zkušeností z testů motocyklu Brammo Empulse R vybaveným stejným motorem je kolem 80 W.km<sup>-1</sup> při ostřejší jízdě mimo město a asi 50 W.km<sup>-1</sup> při klidné jízdě zaměřené na maximální dojezd. To dává navrhnutému motocyklu dojezd 144 km při ostřejší jízdě, a celých 230 km při ekonomickém stylu jízdy. Převodový poměr byl počítán pro maximální rychlost 180 km.h<sup>-1</sup> při maximálních otáčkách motoru 9000 min<sup>-1</sup>. Jeho hodnota  $i=5$  a rychlost kterou při něm dosáhne je teoretická, ve skutečnosti bude o něco nižší.

## 8 ZÁVĚR

Konstrukce motocyklů má již více než stoletou tradici a důkazem toho jsou i pokroky, kterých bylo v tomto oboru dosaženo. Moderní konstrukce motocyklů jsou dílem složitých výpočtů a návrhů, které se zaměřují na maximální bezpečnost a pohodlí jízdy a i díky tomu se motocykly stávají stále populárnějšími. Obrovský potenciál se u motocyklů skýtá především v oblasti použití moderních materiálů pro jejich konstrukci, které ji mohou výrazně odlehčit a zmenšit. Nejvýznamnějším z těchto materiálů jsou kompozity v čele s karbonovými vlákny. V dnešní době, kdy je snaha redukovat emise oxidu uhličitého na minimum, šetřit neobnovitelné zdroje energie a celkově méně zatěžovat životní prostředí, se naskýtá obrovská šance pro uplatnění elektrických motocyklů. Zákazy vjezdu aut s méně ekologickými motory množící se ve velkých městech, jejich spotřeba, hustá doprava a problémy s parkováním činí pro tyto účely ideální právě motocykl s elektrickým pohonem. Již je na trhu mnoho typů těchto motocyklů od skútrů až po závodní stroje, ale právě univerzálních motocyklů nabízející obratnou konstrukci vhodnou pro pohyb v městském provozu v kombinaci s možností sportovnějšiho typu jízdy s rozumným dojezdem je relativně málo. Hlavním negativem těchto motocyklů je jejich cena, protože ceny akumulátorů dávajících požadovanou kapacitu za přijatelné hmotnosti a rozměrů jsou stále vysoké a staví je v konkurenčním boji do nevýhodné pozice. Dalším negativem vozidel s elektrickým pohonem je omezený dojezd, který se ale stále zvyšuje a už není zdaleka tak limitní jako dřív. Při mém návrhu jsem zjistil, že už s dnešní běžně dostupnou technologií je možné vytvořit stroj s rozumnými parametry. Dojezd 230 km s motorem o výkonu 42kW při hospodárné jízdě je dle mého názoru naprosto dostačující a dovoluje už i delší projížďky.

Dle mého názoru se v oblasti elektrických vozidel mnoho v nejbližších letech změní a jejich dostupnost a popularitu podpoří nejen další vývoj akumulátorů, ale i dotační programy státu podporující vývoj těchto vozidel a podporující jejich prodej, což je činí velmi zajímavými pro případné výrobce.

## POUŽITÉ ZDROJE

VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 661 s. ISBN 80-239-1601-7

HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem: konstrukce, výpočty a stavba motocyklů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2011, 280 s. ISBN 978-80-251-2280-8.

VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.

FRYBERT, Jan. *Alternativní pohony*. Brno: Integrovaná střední škola automobilní, 2015, 125 s. ISBN 978-80-260-7548-6.

VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 367 s. ISBN 80-238-5276-0.

VLÁČILOVÁ, Hana, Milena VILÍMKOVÁ a Lukáš HENCL. *SolidWorks*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 319 s. ISBN 80-251-1314-0.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. *Autodesk Inventor: tvorba digitálních prototypů*. 3., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2012, 314 s. Učebnice. ISBN 978-80-251-3728-4.

Michaux-Perreaux steam velocipede. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 5. 2. 2016 [cit. 2016-3-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Michaux-Perreaux\\_steam\\_velocipede](https://en.wikipedia.org/wiki/Michaux-Perreaux_steam_velocipede)

Steam cycles and history [online]. Paul d'Orléans, 2011, 7. 4. 2011 [cit. 2016-4-4]. Dostupné z: <http://thevintagent.blogspot.cz/2011/04/steam-cycles-and-history.html>

Technika motocyklu - 8. část - podvozek [online]. Mirek Rollinger, 2006, 30. 1. 2006 [cit. 2016-4-8]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-8.-cast-podvozek-3456.html>

VLK, František. Ovladatelnost a stabilita motocyklu. *Soudní inženýrství*. 2004, roč. 15, č. 6, s. 303-311. Dostupné také z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-06-303-311.pdf>

Dorazy tlumičů a ostatní příslušenství k podvozku [online]. [cit. 2016-4-10]. Dostupné z: <http://www.tuning-in.cz/dorazy-tlumicu-a-ostatni-prislusenstvi-k-podvozku/>

Ducati Desmosedici GP9 carbon frame explained [online]. Visordown News, 2009, 14. 4. 2009 [cit. 2016-4-10]. Dostupné z: <http://www.visordown.com/features/ducati-desmosedici-gp9-carbon-frame-explained>

Electric bicycle [online]. Hosea W. Libbey, 14. 12. 1985 [cit. 2016-4-18]. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US596273>

Elektrické skútry české značky AKUMOTO [online]. AKUMOTO, [cit. 2016-4-20]. Dostupné z: <http://www.akumoto.com/elektro-skutry>

The Lightning LS-218 [online]. Lightning Motorcycle, [cit. 2016-4-10]. Dostupné z: <http://lightningmotorcycle.com/>

Brammo Empulse R Motorcycle Review [online]. Bart Madson, 2013, 1. 3. 2013 [cit. 2016-4-23]. Dostupné z: <http://www.motorcycle-usa.com/2013/03/article/brammo-empulse-r-motorcycle-review/>

Příloha k zákonu č. 56/2001 Sb [online]. [cit. 2016-14-3]. Dostupné z: [www.autoklub.cz/dokument/1597-priloha-zakona-c-562001-sb-kategorie-vozidel.html](http://www.autoklub.cz/dokument/1597-priloha-zakona-c-562001-sb-kategorie-vozidel.html)

2015 Kawasaki Ninja H2R Revealed At Intermot [online]. Udit Vishal, 2014, 1. 10. 2014 [cit. 2016-4-22]. Dostupné z: <http://www.indianhoods.com/news/2015-kawasaki-ninja-h2r-revealed-at-intermot-germany-video/>

2015 Yamaha MT-09: tříválcová revoluce [online]. Petr Poduška, 2013, 11. 6. 2013 [cit. 2016-4-23]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/yamaha/yamaha-mt-09-trivalcova-revoluce-25366.html>

Technika motocyklu - motocyklové rámy [online]. Roman Kadlčík, 2016, 16. 2. 2016 [cit. 2016-4-20]. Dostupné z: <http://www.okruhari.cz/cs/technika-motocyklu-ramy>

Yamaha MT-07 [online]. Yamaha motor 2016, [cit. 2016-4-26]. Dostupné z: <https://www.yamaha-motor.eu/ie/products/motorcycles/hyper-naked/mt-07.aspx>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Motocykl Roper .....	8
Obr. 2 - Motocykl Michaux-Pereaux .....	8
Obr. 3 - Základní rozměry motocyklu .....	13
Obr. 4 - Určování horizontální polohy těžiště .....	14
Obr. 5 - Určování vertikální polohy těžiště .....	15
Obr. 6 - Obtékání motocyklu proudem vzduchu .....	17
Obr. 7 - Odpor stoupání .....	18
Obr. 8 - Vliv rychlosti na jízdní odpory .....	18
Obr. 9 - Skluzová charakteristika pneumatiky .....	19
Obr. 10 - Páteřový rám BMW K 100 .....	21
Obr. 11 - Kolébkový rám Norton .....	21
Obr. 12 - Jednoduchý trubkový rám z trubek obdélníkového průřezu Jawa 350 .....	22
Obr. 13 - Dvoutrubkový rám z čtyřhranných trubek Kawasaki GPZ 1000 .....	22
Obr. 14 - Rozdvojený rám Honda CB 250 .....	23
Obr. 16 - Lisovaný rám Kreidler .....	23
Obr. 15 - Příhradový rám Kawasaki H2R .....	24
Obr. 17 - Odlévaný rám Yamaha MT 09 .....	25
Obr. 18 - Karbonový rám Ducati Desmosedici GP9 .....	26
Obr. 19 - Charakteristika pružiny .....	28
Obr. 20 - Schéma vzduchokapalinového odpružení KTM .....	28
Obr. 21 - Pryžové dorazy tlumičů .....	29
Obr. 22 - Schéma jednokomorového tlumiče .....	30
Obr. 23 - Schéma dvoukomorového tlumiče .....	30
Obr. 24 - Princip teleskopické vidlice .....	32
Obr. 25 - Mechanický protiponořovací systém .....	34
Obr. 26 - Hydraulický protiponořovací systém .....	34
Obr. 27 - Tažená a tlačená vahadlová vidlice .....	35
Obr. 28 - Teleskopická páková přední vidlice .....	36
Obr. 29 - Dvouramenná zadní vidlice .....	37
Obr. 30 - Konzolová zadní vidlice .....	37
Obr. 31 - Jednoramenná zadní vidlice .....	38



Obr. 32 - Páková zadní vidlice .....	39
Obr. 33 - Patent H. W. Libbeyho .....	39
Obr. 34 - Motocykl Lightning LS-218 .....	40
Obr. 35 - Řez motocyklem Brammo Empulse R .....	41
Obr. 36 - Yamaha MT-07 .....	47
Obr. 37 - Skica při tvorbě ráfku a pneumatiky .....	48
Obr. 38 - Model ráfku .....	48
Obr. 39 - Tvorba uchycení nosné trubky tlumiče .....	48
Obr. 40 - Nosná trubka tlumiče .....	48
Obr. 41 - Můstek přední vidlice .....	49
Obr. 42 - Teleskopická přední vidlice .....	49
Obr. 43 - Zadní kyvná vidlice .....	49
Obr. 44 - Prvky motocyklu v sestavě .....	50
Obr. 45 - Tvorba řídítek .....	50
Obr. 46 - 3D skica rámu .....	51
Obr. 47 - Rám .....	51
Obr. 48 - Zjednodušený model řetězového převodu .....	51
Obr. 49 - Díly motocyklu v sestavě .....	51