



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

MULTI-BODY MODEL ODPRUŽENÍ MOTOCYKLU

MULTI-BODY MODEL OF A MOTORCYCLE SUSPENSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kotas

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Březina, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Jakub Kotas**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Březina, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Multi-body model odpružení motocyklu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Motocykly s různým určením mají zpravidla různě konstrukčně řešený způsob odpružení zadního kola a to jak z hlediska kinematiky zadní stavby, tak z hlediska uložení a nastavení tlumiče. Náplní práce bude provést průzkum současných řešení odpružení zadního kola motocyklu, pro vybrané řešení sestavit multi-body model vhodný pro simulaci kinematiky a dynamiky zadní stavby a analyzovat chování modelu.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Provést průzkum aktuálně používaných řešení odpružení zadního kola motocyklu.
- 2) Pro vybraná řešení odpružení sestavit multi-body model.
- 3) Analyzovat chování sestavených multi-body modelů.
- 4) Na základě získaných výsledků formulovat závěry.

Seznam doporučené literatury:

VLK, F.: Teorie a konstrukce motocyklů, Brno, 2004

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce obsahuje základní informace ohledně odpružení zadního kola motocyklu. Jsou zde vymezeny základní pojmy, týkající se zadního odpružení motocyklu. Dále je zde přehled typů pružin, tlumičů a systému odpružení zadní vidlice, které jsou v dnešní době používány.

Klíčové slova

Motocykl, odpružení, tlumení, pružina, tlumič, zadní vidlice

Abstract

This bachelor's thesis deals with the rear wheel suspension of a motorcycle. Theoretical basics of the suspension design and terms, essential for the understanding of the work, are briefly explained. A review of contemporary used spring, shock-absorber and suspension system types is presented.

Key words

Motorcycle, suspension, damping, spring, shock absorber, rear fork

Bibliografická citace

KOTAS, J. Multi-body model odpružení motocyklu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Březina, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Lukáše Březiny, Ph.D. a veškerá použitá literatura je uvedena v seznamu použitých zdrojů.

21. května 2018

.....

Jakub Kotas

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lukáši Březinovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a trpělivosti při vedení této práce.

Obsah

1. Úvod	7
2. Vymezení základních pojmů	8
2.1. Odpružení	8
2.1.1. Požadavky na pružící soustavu	8
2.1.2. Požadavky komfortní jízdy	8
2.1.3. Druhy pružení	9
2.2. Předepnutí pružiny	9
2.3. Tlumení	10
2.4. Zavěšení zadního kola	10
3. Pružiny	11
3.1. Typy pružin používaných u motocyklů	12
4. Tlumiče	14
4.1. Negativní jevy vyskytující se při tlumení	14
4.2. Funkčnost tlumiče	15
4.3. Typy tlumičů	15
4.3.1. Konstrukce dvoupřístřového tlumiče	15
4.3.2. Konstrukce jednopřístřového tlumiče	17
4.4. Nastavení tlumiče	18
5. Zadní vidlice	18
5.1. Typy zadních vidlic používaných u motocyklů:	19
5.1.1. Konvenční dvouramenná zadní vidlice	19
5.1.2. Konzolová zadní vidlice	20
5.1.3. Jednoramenná zadní vidlice	21
5.1.4. Zadní vidlice s pákovým mechanismem a s centrální tlumící a pružící jednotkou	21
6. Systémy odpružení pomocí pákového mechanismu	22
6.1. Uni Trak (Kawasaki)	23
6.2. Pro – Link (Honda)	24
6.3. Mono Cross (Yamaha)	25
6.4. Full Floater (Suzuki)	26
6.5. Mono Power Drive (Gilera) a Zeta Link (Maico)	26

7. Praktická část	27
7.1. Cíl praktické části	27
7.2. Popis modelů	27
7.2.1. Konvenční dvouramenná zadní vidlice	27
7.2.2. Zadní vidlice s pákovým mechanismem a s centrální tlumicí a pružicí jednotkou	28
7.3. Simulace v programu ADAMS	29
7.3.1. Popis Simulace	29
7.3.2. Výsledky simulace závislosti síly v bodech na čase	33
7.3.3. Výsledky simulace rychlosti a zrychlení obou vidlic	40
8. Závěr	42
9. Seznam použité literatury	43

1. Úvod

Motocykl, popřípadě lidově „motorka“. Když slyším tento pojem nevybaví se mi jenom dopravní prostředek, ale také síla, rychlost, akcelerace anebo adrenalin. Ale vůbec ze všeho je na prvním místě vždy bezpečnost jezdce, na které nejvíce záleží. Bezpečnost při jízdě nám zaručí správně navržený rám a odpružení obou kol. A právě o jedné z nejdůležitějších částí, na které stojí bezpečnost celého motocyklu bude pojednávat tato práce. Tato práce by měla obeznámit základní pojmy, týkající se zadního odpružení kola motocyklu a ukázat možnosti, které dnešní doba nabízí v tomto odvětví. Součástí práce bude následně simulace dvou vybraných typů odpružení zadních vidlic. Tyto modely, skládající se ze zadní vidlice s tlumičem, budou simulovat chování zadní vidlice při jízdě po vozovce s nerovnostmi. Simulace bude provedena v programu ADAMS, kde budou obě vidlice zatěžovány stejně, aby bylo možné následně porovnat charakteristiky jejich chování.

2. Vymezení základních pojmů

2.1. Odpružení

Odpružení přední a zadní části motocyklu spolu s navrženou konstrukcí a definovanou geometrií tvoří jednotný systém podvozku motocyklu, který patří k jednomu z nejdůležitějších faktorů, které tvoří celkové jízdní vlastnosti tohoto motocyklu [1].

Odpružením se částečně eliminuje přenos kmitavých pohybů náprav motocyklu na části jeho podvozku a rám. Chrání tak posádku, popř. přepravovaný náklad před nežádoucími otřesy. Pomocí odpružení můžeme také dosáhnout zvýšení životnosti některých dílů podvozku (pokud navržené odpružení není správně vyřešeno, tak dochází k nadměrnému zatěžování zejména rámu a přední i zadní vidlice) a také plní funkci udržování stálého styku pneumatiky s vozovkou i při přejíždění nerovných částí vozovky. Tím je zajištěn přenos obvodových sil (hnacích a brzdících). Odpružení předního kola je podstatné pro bezpečnost jízdy, protože při ztrátě kontaktu předního kola s vozovkou by se snížila ovladatelnost motocyklu. Zadní odpružení je potřebné potom zejména pro zajištění komfortu při jízdě. Vozidlové tlumiče tlumí kmitavý pohyb náprav a podvozku. Větší nebo menší síly od nerovností na vozovce a síly při akceleraci a brzdění přenášené do podvozku se snaží motocykl rozkývat [2].

2.1.1. Požadavky na pružící soustavu jsou následující:

- Zajistit komfort při jízdě a snížit tělesnou únavu cestujícího.
- Nedovolit odskakování kol od vozovky a zajistit bezpečnost řízení za každé situace

2.1.2. Požadavky komfortní jízdy jsou:

- Poloha jezdce musí být umístěna tak, aby se jeho těžiště nacházelo ve středu mezi koly [1].
- Odstranění přímých dorazů pružících členů a snížit svislé výchylky odpružené hmoty na minimum [1].
- Volit kmitočty volného kmitání odpružené hmoty tak, aby byl pro lidský organismus co nejvhodnější [1].
- Nedovolit, aby vlivem opakujících se nerovností docházelo k rozkmitání motocyklu tak, aby amplituda přesáhla hranici kmitání, která by mohla zapříčinit vznik rezonance [1].

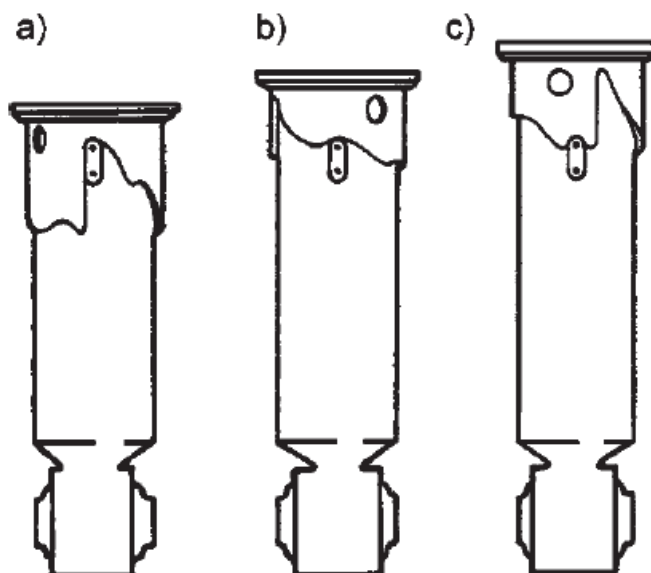
2.1.3. Druhy pružení

Jak pro přední, tak i zadní odpružení musíme rozlišovat pružení (tzn. při nájezdu zadní stavby na nerovnost začne stavba pérovat) z hlediska kinematiky. Kinematiku pružení rozlišujeme podle křivek, po kterých se pohybuje osa kola v místě, kde je kolo uchyceno k rámu [3]. Pružení rozdělujeme na:

- a) Pružení po přímce
- b) Pružení po kružnici
- c) Pružení po všeobecné křivce

2.2. Předepnutí pružiny

Předepnutí pružiny lze většinou řídit pomocí speciálně tvarovaného otočného prstence. Prstencem lze otáčet jednoduše pomocí speciálního hákového klíče. U centrálních tlumičů se z prostorových důvodů montují za tímto účelem velké seřizovací matice. Pomocí tohoto zařízení můžeme řídit předepnutí pružiny v tlumiči a tím i přizpůsobit tvrdost tlumiče tak, aby tlumič byl schopen odolávat většímu zatížení. Při velkém zatížení se může stát, že dojde k propnutí tlumiče, což má potom za následek, že tlumič přestane fungovat a jeho tlumící účinek klesne na nulu [2].



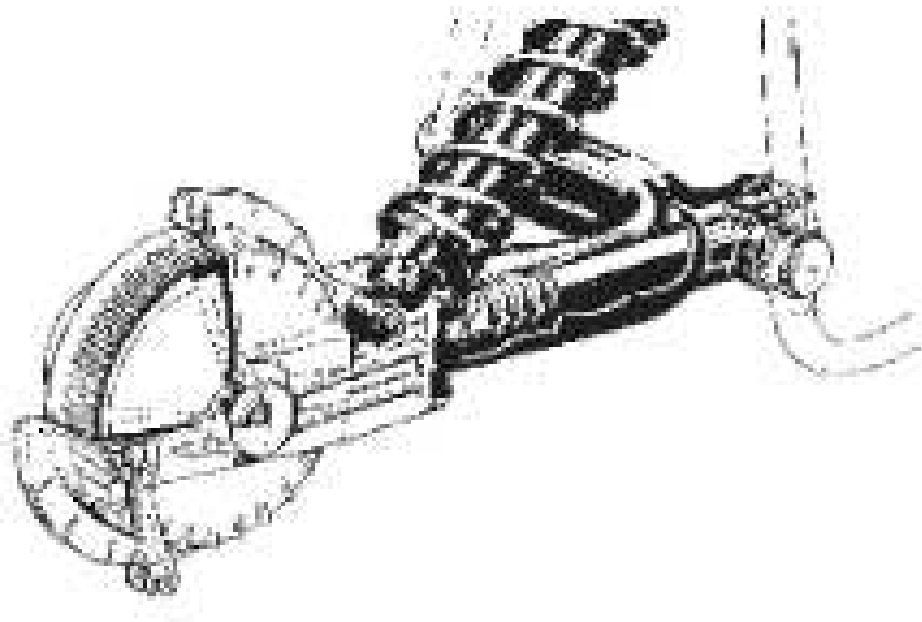
Obrázek 1 - Tlumič odpružení s třístupňovou regulací předepnutí pružiny (Honda): a – výchozí nastavení; b – střední předepnutí; c – maximální předepnutí [2]

2.3. Tlumení

Tlumení je důležitou součástí odpružení. Dostane-li se kolo do kontaktu s překážkou, propuží a pružicímu systému se dodá potřebná energie, aby nedošlo ke ztrátě kontaktu kola s vozovkou. Kdyby se vzájemný pohyb odpružených a neodpružených hmot netlumil, tak by docházelo ke kmitání motocyklu neustálým harmonickým periodickým pohybem. V praxi by to znamenalo, že by docházelo k rozhoupání a následné ztrátě stability už po kontaktu s jedinou překážkou nebo nerovností. Zvlášť důležité je tlumení tehdy, jede-li motocykl přes stejně od sebe vzdálené nerovnosti takovou rychlostí, že frekvence nárazů těchto nerovností na přední a zadní kolo je stejná jako vlastní frekvence odpružení některého z kol. V tomto případě by došlo k rezonanci, při níž by začalo toto kolo odskakovat od terénu anebo by výchylky odpružení vzrostly tak, že by docházelo k jeho doražení. Těmto nebezpečným jevům lze zabránit pouze účinným tlumením [2].

2.4. Zavěšení zadního kola

Zavěšení kol se rozumí způsob, kterým lze připojit kola ke karoserii nebo rámu motocyklu. Zavěšení kola řeší obecný pohyb kola z pohledu kinematiky vzhledem ke karoserii nebo rámu motocyklu. Zavěšení umožňuje svislý relativní pohyb kola vzhledem ke karoserii nebo rámu, který plní důležitou funkci z hlediska funkce zadní stavby. Zavěšením můžeme zabránit také nežádoucím pohybům kola, jako jsou například pohyb kola do stran či jeho naklápění. Jde o tzv. vedení kola [4].

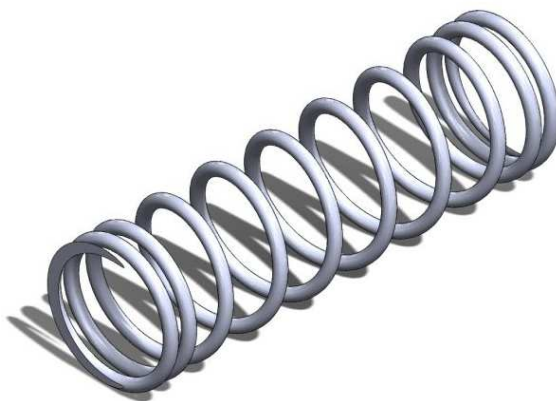


Obrázek 2 - Zavěšení zadního kola motocyklu [2]

Zavěšení přenáší svislé síly (zatížení motocyklu), podélné síly (hnací a brzdné síly), příčné síly (odstředivé síly) a momenty podélných sil od vozovky do karoserie a naopak. Máme mnoho způsobů a technických provedení zavěšení kol. Díky správnému výběru způsobu zavěšení docílíme zvýšené bezpečnosti a také zajištění většího komfortu při jízdě [4].

3. Pružiny

Pružina je strojní součást, díky které můžeme dosáhnout elastické deformace v jednom či více směrech. Při působení síly dochází k její deformaci, ale po přerušení tohoto působení, se opět pružina dostává do svého původního tvaru. Síla, kterou je pružina schopná vyvinout je závislá na výchylce z její klidové polohy a působí ve směru opačném ke směru výchylky. Charakteristika pružiny je obecně křivka vyjadřující závislost mezi silou působící na pružinu a její pružnou deformací [5]. Základní veličina, která charakterizuje každou vinutou pružinu je tuhost. Určuje sílu, potřebnou ke stlačení nebo naopak natažení pružiny o danou délku.



Obrázek 3 - Tlačná pružina [6]

Určuje jí vztah:

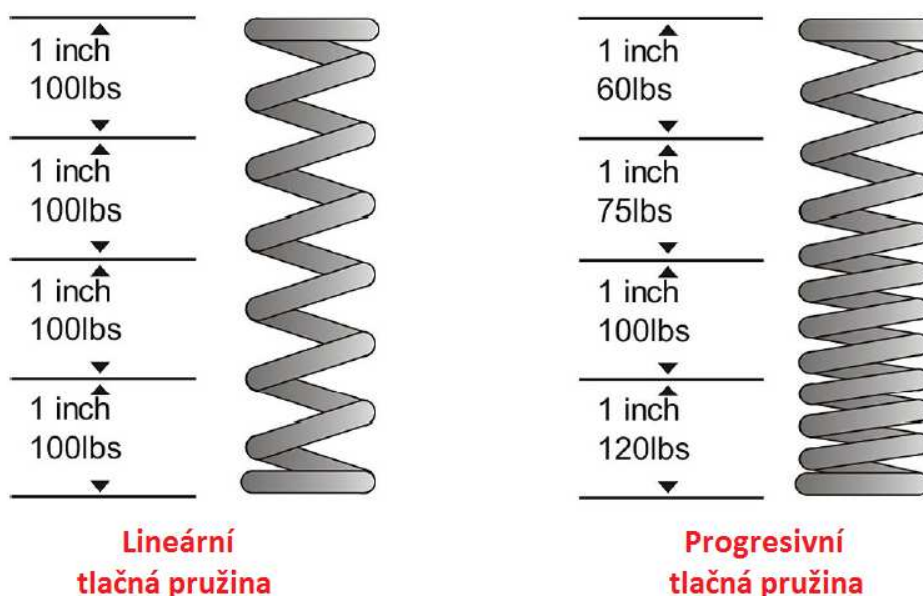
$$k = \frac{F}{\Delta x}$$

Rovnice 1 - rovnice pro výpočet tuhosti pružiny

Kde k je tuhost pružiny, F je působící síla na pružinu, Δx je změna délky, o kterou se pružina stlačí nebo natáhne při působení síly F .

Tuhost pružiny závisí na třech geometrických rozměrech: průměr drátu, průměr vinutí pružiny a počet závitů na jednotku délky. Jedním ze způsobů, kterým můžeme rozlišovat od sebe pružiny je rozložení jejich závitů po délce pružiny, která následně určuje charakteristiku pružiny:

- a) Závity jsou u lineárních pružin rozmístěny rovnoměrně po celé její délce. Odpor pružiny se zvětšuje přímo úměrně s jejím stlačením, tzn. účinek pružení je rovnoměrné a pérování má konstantní tvrdost [7].
- b) Závity u progresivních pružin jsou na rozdíl od závitů lineárních pružin rozmístěny po její délce nerovnoměrně. Odpor, který pružina klade roste s jejím stlačováním. To znamená, že i tuhost pružiny roste a pérování je tvrdší [7].



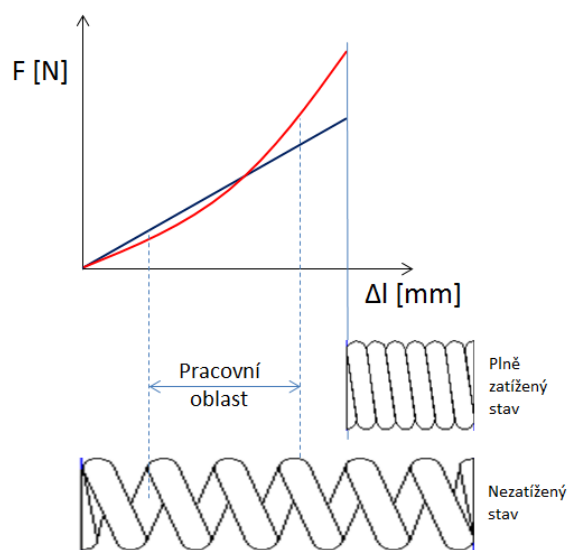
Obrázek 4 - Rozdíl vinutá lineární a progresivní tlačné pružiny [8]

3.1. Typy pružin používaných u motocyklů

Druhů pružin, které rozdělujeme z hlediska konstrukce, působící síly a charakteristiky je mnoho, ale u motocyklů se nejčastěji setkáme s vinutými pružinami a ve výjimečných situacích s pružinami vzduchovými. Tyto pružiny mají lineární tuhost, která se dá popsat vztahem pomocí tuhosti pružiny. To znamená, že tuhost je konstantní. Tyto pružiny řadíme do lineárních pružin.

- Vinutá pružina je vyrobena z drátu kruhového průřezu stočeným do spirály. Uložení pružiny je zvoleno tak aby síla, která pružinu stlačuje, působila v její ose. Pružina není po konstrukční stránce nijak složitá a značnou výhodou je, že nároky na její údržbu jsou minimální [9].
- Vzduchové pružiny se používají v případech, kde je nutné upravovat tuhost pružiny. Na rozdíl od vinutých pružin jsou zde náklady na údržbu o něco vyšší, protože je zapotřebí vzít v potaz náročnější konstrukci vzduchové pružiny, jako je například těsnění, což jsou součásti, které mají omezenou trvanlivost. Vzduchové pružiny mají také kratší životnost, než má obvyklé pružiny.

U motocyklů se můžeme setkat také s progresivní pružinou, jejíž tuhost není konstantní a mohli bychom si ji představit jako exponenciální funkci.



Obrázek 5 - Grafické znázornění průběhu lineární a progresivní pružiny [1]

Červená křivka nám znázorňuje příklad průběhu progresivní pružiny, tmavě modrá křivka pak zobrazuje průběh pružiny lineární. Charakteristiky těchto křivek mohou být samozřejmě i složitější. Průběhy křivek na obrázku nám ukazují, že v oblasti středního zdvihu tlumiče u progresivní pružiny dojde k prudké změně sklonu křivky, protože k ponoru je zapotřebí vyvinout větší sílu než při průběhu lineárním. Tento průběh je výhodný z mnoha důvodů. Jedním z nich může být například výpomoc jezdci, pokud se dopustí jezdecké chyby a dostatečně nepřibrzdí při průjezdu zatáčkou na příliš prudký plyn, přičemž progresivní pružina působí tak, aby kolo bylo nuceno udržet se ve stejném (také středním) zdvihu tlumičů. V dnešní době se toto odpružení pomocí progresivních typů pružin využívá čím dál častěji u cestovních strojů, právě z důvodu větší tolerance jezdeckých chyb a následně větší bezpečnosti při jízdě, zatímco u závodních motocyklů se převážně využívá odpružení pomocí lineárních typů pružin [1].

4. Tlumiče

Tlumič je strojní součást, která nám zajišťuje, aby pružicí systém citlivě reagoval při najetí na nerovnost terénu. Musí být navržen tak, aby byl schopen tlumit malé i velké nerovnosti. Při pomalé jízdě musí být tlumení menší než při jízdě rychlejší. To znamená, že tlumení musí být přímo úměrné rychlosti motocyklu. Tlumič musí být navržen tak, aby byl schopen tlumit nárazy, ale zároveň kmitání, aby nedocházelo k rozhoupání motocyklu [2].



Obrázek 6 - Tlumič [10]

4.1. Negativní jevy vyskytující se při tlumení

Tlumič a pružicí systém by měl vyvinout takovou energii, aby zajistil bezpečný průjezd po nerovnosti. Nicméně i u nejlépe vyřešeného pružení a tlumení může dojít k příliš velkému nárazu, při kterém tlumič s pružicí jednotkou nebude schopen vyvinout dostatečnou energii a dojde k jeho přepnutí. Mimo to v této situaci dochází také k doražení pohyblivé části pružícího systému na nepohyblivou, což může způsobit mimo zmíněné přepnutí také velké namáhání na jednotlivé části rámu nebo vidlice, u kterých může dojít k poškození nebo k jejich trvalé deformaci. K přepnutí může také dojít i při volném roztahování pružícího systému po jeho předchozím úplném stlačení [2].

S těmito jevy se setkáváme především u terénních a soutěžních motocyklů při skocích nebo při příliš rychlém nájezdu na velkou nerovnost, navzdory tomu, že mají

měkčí a přizpůsobivější pérování. Toto není vyloučené ani u cestovních motocyklů, kdy může tento jev nastat při rychlém najetí na nečekanou nerovnost [2].

Těmto negativním jevům můžeme zabránit tím, že přední i zadní pružící a tlumící prvky vybavíme v obou úvratích svého zdvihu tzv. měkkými dorazy. Tyto dorazy bývají řešeny nejrozumnějším způsobem, jako hydraulické nebo pryžové a mohou absorbovat velkou energii. Dobře vyřešené odpružení motocyklu zahrnuje tedy i účinné dorazy pružení [2].

4.2. Funkčnost tlumiče

Základem každého tlumiče je válec, v kterém se pohybuje píst. Tlumiče jsou teleskopické a smršťují a roztahují se podle smačkování a roztahování vinutých pružin a zároveň se tyto pohyby snaží tlumit. Při najetí na nerovnost, dojde ke stlačení pružiny, a tedy i tlumiče, přičemž píst uložený ve válci stlačuje hydraulický olej v tlumiči, který se protlačí z jedné komory do druhé přes velké otvory. Pomocí těchto otvorů se zpomalí tok oleje a tlumič tak může tlumit roztahování pružiny. Píst tlumiče je opatřen jednocestnými ventily, které při roztahování pružiny uzavřou velké otvory a dovolí oleji protékat z jedné do druhé komory pouze malými obtokovými otvory. Pro zlepšení tlumícího účinku oleje se přidává vzduchová nebo plynová náplň. Tato náplň zapříčiní, že čím rychleji se tlumič stlačí tím větší odpor mu bude olej s náplní klást a tlumení bude účinnější [2].

4.3. Typy tlumičů

Tlumiče rozdělujeme na dvouplášťové a jednoplášťové. Konstrukce obou typů tlumičů nejsou příliš odlišné a na první pohled se od sebe tolik neliší. Podíváme-li se dovnitř každého typu, zjistíme, že z pohledu mechaniky můžeme najít konstrukční prvky, které je odlišují.

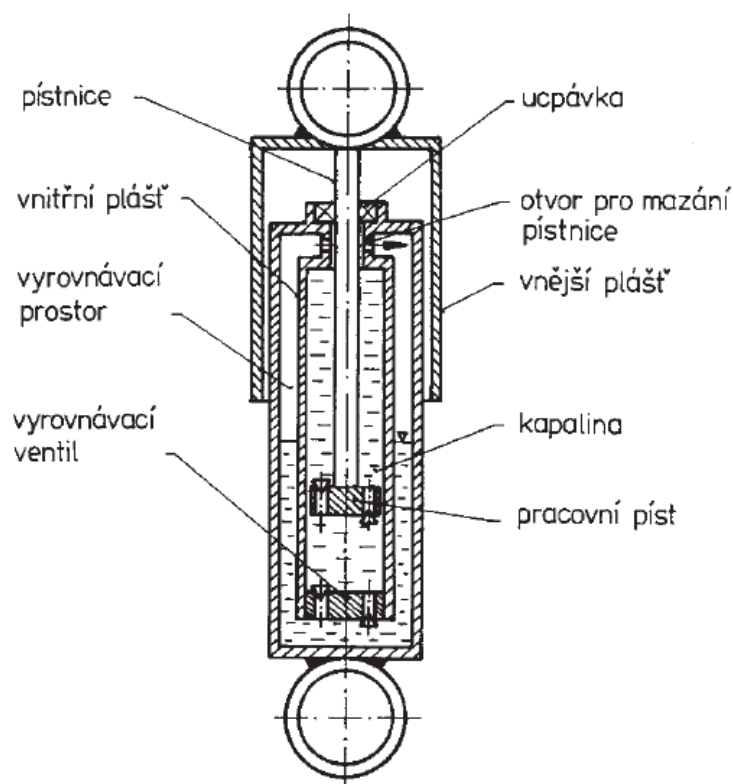
4.3.1. Konstrukce dvouplášťového tlumiče

U dvouplášťového tlumiče se píst s průtokovými ventily pohybuje v pracovním válci, který je naplněn kapalinou. Tento píst je upevněn na konci pístnice a při jeho pohybu dochází k protlačování dané kapaliny otvory průtokových ventilů v pracovním prostoru z jedné oblasti do druhé. Díky škrcení kapaliny ve válci přes průtokové ventily vzniká přes hydraulický odpor tlumící síla, závisící na rychlosti pístu. Mezi pracovním a vnějším válcem tlumiče se nachází vyrovnávací prostor, který je vyplněn z poloviny kapalinou. Spodní část tlumiče je opatřena vyrovnávacím ventilem, který slouží ke vzájemnému propojení pracovního a vyrovnávacího prostoru. Vyrovnávací prostor je potřebný k vyrovnávání rozdílů skutečného objemu pracovního prostoru, který se při pohybu pístnice pomalu zmenšuje o její objem a slouží nám k vyrovnávání rozdílů objemu tlumičové kapaliny, který je závislý na její teplotě [2].

Při stlačení tlumiče je přebytečná kapalina vytlačována z pracovního prostoru, zasouvající se pístnicí a proudí přes vyrovnávací ventil do vyrovnávacího prostoru. Při roztahení tlumiče tato kapalina proudí zase zpět do pracovního prostoru. Horní část pracovního a vyrovnávacího prostoru je uzavřena víkem, kde se nachází vodící pouzdro pístnice a ucpávka [2].

Pro správný chod tlumiče je zapotřebí zamezit vzniku vzduchového polštáře v pracovním prostoru tlumiče, tak aby celý objem pracovního prostoru byl dokonale vyplněn tlumičovou kapalinou. Pokud by se tak nestalo, docházelo by ke kolísání tlumící síly, vlivem stlačování vzduchu a tím by se zhoršoval tlumící účinek tlumiče [2].

Jednou z nevýhod dvouplášťových tlumičů je neschopnost pracovat v jakékoliv poloze. Pokud bychom ho uložili v příliš šikmé poloze, mohl by se tím dostat do tlumiče zmiňovaný vzduch, který se nachází nad hladinou kapaliny ve vyrovnávacím prostoru, přes vyrovnávací ventil přímo do pracovního prostoru. Další problém může nastat při změně objemu tlumičové kapaliny, při které dochází během vyrovnávání teplot zahřátého tlumiče s okolím při delší nečinnosti motocyklu (např. během noci). Kapalina se za těchto podmínek začne roztahovat a dochází ke vzniku vzduchového polštáře nad pístem (během nečinnosti je píst v klidu, průtokové ventily jsou uzavřené, tím pádem je přerušeno spojení s vyrovnávacím prostorem). Tento jev se začne projevovat na začátku další jízdy zhoršenou činností tlumiče a můžeme ho rozpoznat podle nepříjemného hluku v tlumiči [2].



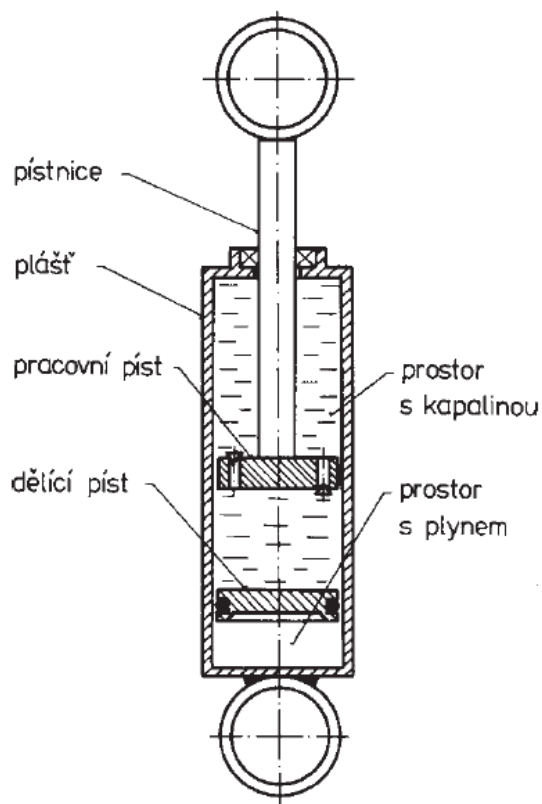
Obrázek 7 - Funkční schéma dvouplášťového tlumiče [2]

4.3.2. Konstrukce jednoplášťového tlumiče

Na rozdíl od dvouplášťového tlumiče se zde nesetkáme s vyrovňovacím prostorem. Ten je nahrazen pružnou plynovou náplní o tlaku 0,3 až 0,6 MPa. Tlumičová kapalina je oddělena od plynové náplně dělicím pístem, který se může pohybovat volně ve válci. Při pohybu pístnice dolů se kapalina protlačuje přes ventily pracovního pístu do pracovního prostoru nad tímto pístem. V těchto prostorech se nachází tlak 0,3 až 0,6 MPa, který brání nebezpečí vzniku bublin. Při průtoku kapaliny dochází v obou komorách ke vzniku tlakového rozdílu, který ale nikdy neklesne pod kritickou hodnotu a proto je citlivost tlumiče vysoká i na velmi malé zdvihy [2].

Můžeme se setkat také s jednoplášťovými tlumiči, které nejsou opatřeny dělicím pístem, tzn. že dochází k přímému styku kapaliny s plynem, ale je zapotřebí zabránit jejich smíšení při práci tlumiče, které by mělo nepříznivý vliv na jeho funkci. Jejich smíšení lze zabránit pomocí odrazné příčky nebo uklidňovacím pístem, který tlumí a uklidňuje pohyb kapaliny na rozhraní s plynem [2].

Nevýhoda tohoto typu tlumiče je těsnost a životnost jednotlivých částí jako je ucpávka, pístnice a vodící pouzdro. Při práci tlumiče je ucpávka vystavena přetlaku tlumičové kapaliny. Tento přetlak má ve statickém stavu stejnou hodnotu jako přetlak plynu ve vyrovnávacím prostoru (který je u dvouplášťového tlumiče zanedbatelný) a způsobuje riziko většího pronikání kapaliny přes ucpávku. Ucpávka tím působí víc na povrch pístnice a tím se zvětšuje tření a zapřičiňuje zkrácení životnosti ucpávky. Umístění vodícího pouzdra u jednoplášťového typu je na rozdíl od dvouplášťového až za ucpávkou, protože by nebylo možné docílit správnému odvedení protékající kapaliny přes pouzdro do bezpřetlakového vyrovnávacího prostoru. Životnost vodícího pouzdra a pístnice by klesala vlivem nedostatečného mazání [2].



Obrázek 8 - Funkční schéma jednoplášťového tlumiče [2]

4.4. Nastavení tlumiče

Pokud chceme, aby tlumič byl maximálně účinný, musíme vědět, jak ho správně nastavit a je doporučeno před každou jízdou provést nastavení znovu. Zejména pro každého jezdce bude nastavení jiné, z důvodu rozdílů hmotnosti jednotlivce. Při špatném nastavení by samozřejmě tlumič netlumil tak, jak má a mohlo by dojít k jeho havárii.

5. Zadní vidlice

Zadní vidlice patří k sestavě podvozku motocyklu. Podobně jako u přední vidlice pro přední kolo plní zadní vidlice funkci uchycení zadního kola k rámu motocyklu a k vedení kola. Zadní vidlice může být odpružena jednou centrální pružící jednotkou a nebo dvěma postranními pružícími jednotkami, které jsou z jednoho konce připevněny k rámu a druhým koncem k vidlici [2].

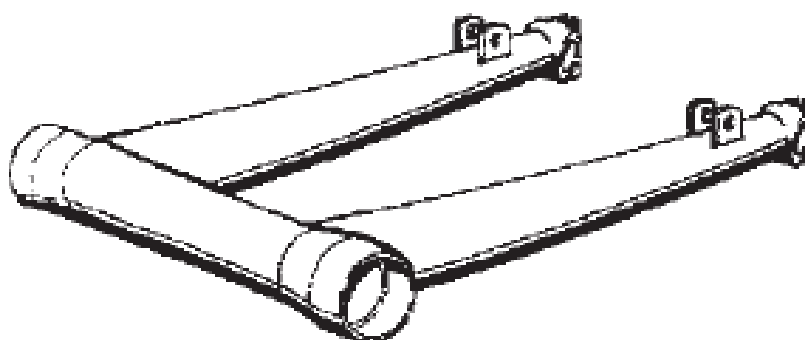
K zajištění optimálního vedení a tlumení zadního kola a udržení kontaktu zadního kola s vozovkou se u moderních motocyklů využívají vidlice s více nebo méně složitými pákovými systémy. U moderních motocyklů se prakticky nesetkáme s jinou vidlicí než kyvnou vidlicí. Spolehlivého pružení a tlumení můžeme dosáhnout i pomocí konvenční vidlice s dvěma pružícími jednotkami, ale pro lepší jízdní vlastnosti motocyklu je lepší použít vidlici s jednou centrální tlumicí jednotkou. Důvod vzniku pružících systému s jednou centrální jednotkou byly problémy s dvěma postranními jednotkami při navyšujícím se zdvihu pérování [2].

5.1. Typy zadních vidlic používaných u motocyklů:

- konvenční dvouramenná vidlice
- konzolová vidlice
- jednoramenná vidlice
- vidlice s pákovým mechanismem a s centrální pružicí a tlumicí jednotkou

5.1.1. Konvenční dvouramenná zadní vidlice

Tento typ vidlice je v dnešní době stále nejvíce využíván. Vidlice se skládá z dvou ramen, kde každá z nich je odpružená pomocí tlumiče, který je uchycený jedním koncem k rámu a druhým koncem k rameni vidlice. U motocyklů s kardanovým hřídelem slouží jedno rameno vidlice jako skříň pro kardanový hřídel. Na zadním konci vidlice je umístěn pohon zadního kola. Kardanový hřídel vychází z převodovky a hned za převodovkou je opatřen křížovým kloubem, který umožňuje hřídeli konat pohyby současně s vidlicí [2].

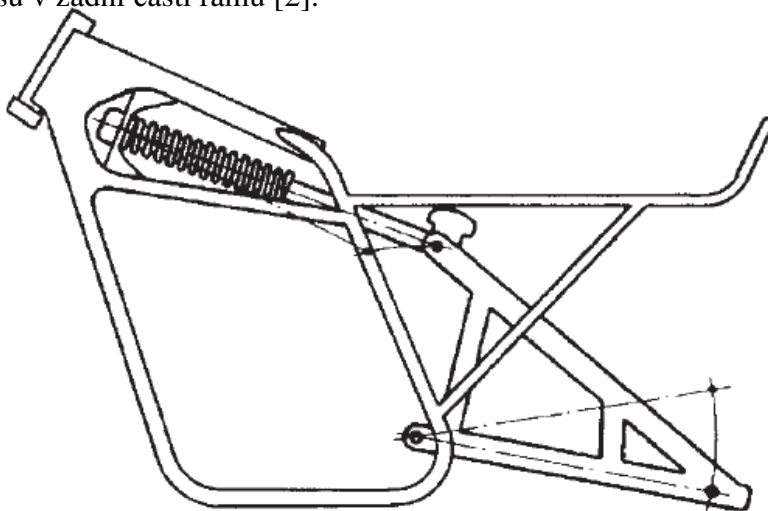


Obrázek 9 - Konvenční dvouramenná zadní vidlice [2]

Výhoda této vidlice je její konstrukční jednoduchost, díky které není zapotřebí použít přepákování pro dosažení správného odpružení. Toto konstrukční řešení se, ale odráží na hmotnosti vidlice, díky tomu je zapotřebí použít dva dostatečně silné tlumiče na každém rameni. Další nevýhoda, vyskytující se u dvouramenných vidlic, je jejich nedostačující stabilita. Výrobci se snaží tento problém kompenzovat za pomoci silně dimenzovaných skříňových konstrukcí. U motocyklů s dvěma pružicími jednotkami často dochází vlivem poruchy, špatné údržby nebo stárnutí jednotlivých dílů k nerovnoměrnému odpružení [2].

5.1.2. Konzolová zadní vidlice

Další typ dvouramenné vidlice, která je tentokrát odpružená pomocí jedné centrální pružicí jednotky. Tento typ byl původně vyvinut pro terénní motocykly. Z pohledu konstrukce je o něco složitější než předchozí typ. Horní část vidlice je opatřena špičatým nástavcem pyramidového tvaru, který je za pomoci tlumiče propojen s rámem a zajišťuje vysokou stabilitu motocyklu. Celá tato konstrukce se pak může otáčet okolo závěsu v zadní části rámu [2].



Obrázek 10 - Konzolová zadní vidlice [2]

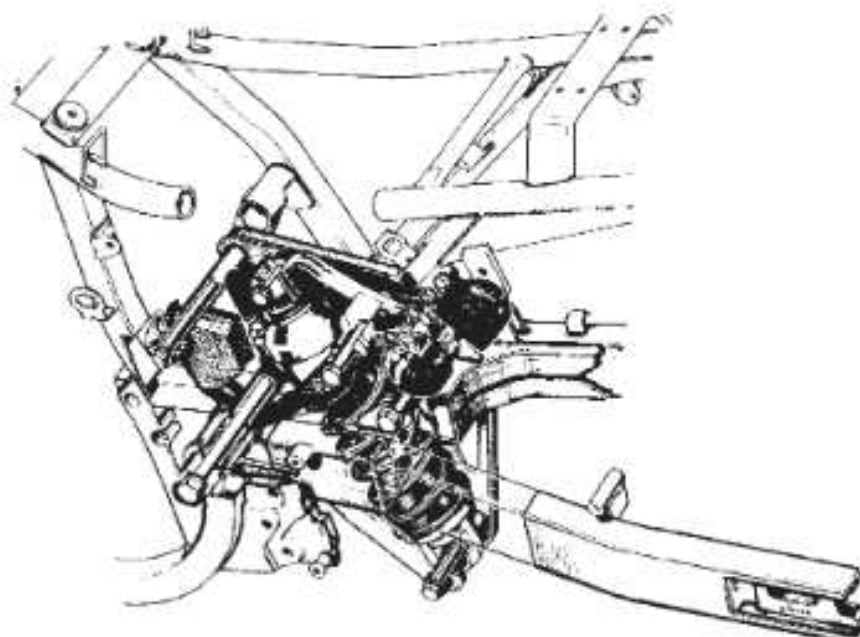
Zajímavostí je, že tlumič u tohoto typu je uložen téměř ve vodorovné poloze, díky čemuž můžeme především dosáhnout většího propružení a pružicí tlumič pérování zároveň odstraní odchylky u stranového nastavení zadního kola. Díky užití jednoho tlumiče zabráníme nerovnoměrnému odpružení, jaké může nastat u konvenční dvouramenné zadní vidlice. Jednou z nevýhod je pak prostorová náročnost [2].

5.1.3. Jednoramenná zadní vidlice

Konstrukční řešení tohoto typu vidlice je řešená jinak než u dvouramenných vidlic. Kolo je uchyceno pouze z jedné strany k jednomu rameni. Díky toho musí být jednoramenná vidlice velmi silné konstrukce, aby byla schopná absorbovat všechny síly, působící na zadní kolo a správně ho pružit. Jednoramenná vidlice je odpružená ve většině případech jednou tlumící jednotkou, umístěnou v zadní části rámu. Jednoramenná vidlice má mnoho výhod. Jednou z nich je hmotnost, která je výrazně nižší než u dvouramenných vidlic. Také stabilita, která se může zdát na první pohled nízká je velmi dobrá. Dokonce je často lepší nebo aspoň stejná jako u dvouramenných vidlic [2].

5.1.4. Zadní vidlice s pákovým mechanismem a s centrální tlumící a pružící jednotkou

Tento typ je mezi dosud vyvinutými typy zadních vidlic nejmladší. Vyvinul se na začátku osmdesátých let a způsob, jakým je zadní tlumič uchycen k rámu a vidlici se poměrně liší od ostatních typů. Konstrukce je založena na čtyřčlenných mechanismech. Nejčastěji využití tohoto typu je především v oblasti terénních motocyklů, rychlých cestovních motocyklů a supersportovních silničních strojů. Největší výhoda je velmi dobrá schopnost správně a komfortně tlumit, jak větší překážky, tak i krátkodobé silné vibrace. Nevýhodou tohoto systému je, že při dosažení určité polohy (úhlu) se stává systém neefektivní. Velkým problémem je také velké zatížení, které musí snášet jednotlivé součásti, a proto musí být vyrobeny z velmi kvalitního materiálu. Prvenství v používání tohoto systému drží Japonci, ale každý ze čtyř velkých japonských výrobců má systém vyřešen poněkud jinak podle umístění bodů uchycení. Honda – Pro Link, Yamaha – Mono-Cross, Kawasaki – Uni - Trak, Suzuki – Full Floater [2].



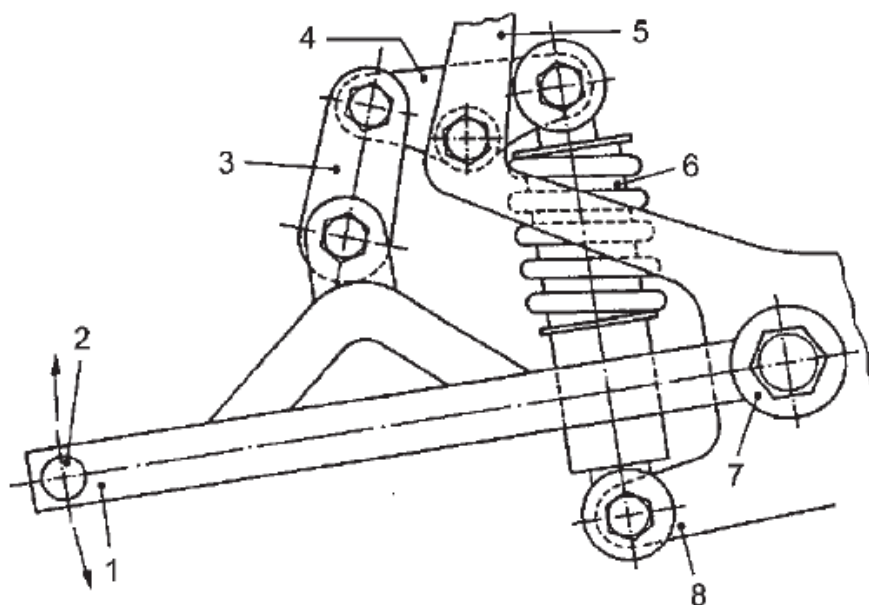
Obrázek 11 - Zadní vidlice s pákovým mechanismem [2]

6. Systémy odpružení pomocí pákového mechanismu

Všechny tlumící pákové systémy pracují progresivně, což znamená, že tlumící účinek neroste lineárně s velikostí propružení, ale jeho tlumící účinek se zvětšuje s rostoucím proružením zadního kola. Pokud zadní kolo najede na nerovnost, tak pomocí pákového systému jsme schopni docílit relativně delšího propružení, než jsme schopni docílit u klasického odpružení zadního kola. Během tohoto také dochází k úměrnému zvětšování tlumící síly, která působí na zadní kolo při jeho vychýlení. Pérování se stává tvrdším, protože s rostoucím proružením se zvětšuje rychlost pohybu pístu v tlumiči odpružení, což znamená, že tlumičový olej klade mnohem větší odpor proti pohybu pístu a tím dochází k zvětšování již zmiňované tlumící síly. Největší výhodou těchto pákových systémů je v jeho nastavení. Na rozdíl od klasických systému odpružení zde nemusíme přizpůsobovat tvrdost pérování za různých provozních podmínek (sólo jízda, jízda ve dvou, různé povrchy silnic nebo jízda se zavazadly) [2].

6.1. Uni Trak (Kawasaki)

Tento typ je charakteristický pro značku motocyklů Kawasaki. Systém odpružení spočívá v odpružení zadní vidlice jedním centrálním tlumičem přes systém pák. Z pohledu konstrukce je tlumič odpružení upevněn ke spodní části rámu vidlice téměř ve svislé (kolmé) poloze [2].

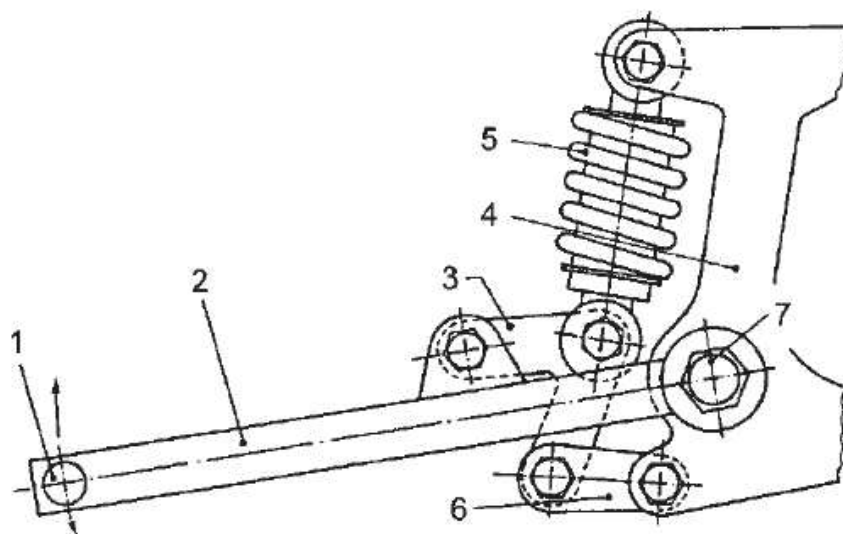


Systém odpružení zadního kola Uni Trak (Kawasaki): 1 – kyvné rameno; 2 – hřídel zadního kola; 3 – vodící páka; 4 – kyvná páka (vahadlo); 5 – konzola rámu; 6 – centrální pružicí jednotka; 7 – uložení kyvného ramene; 8 – konzola rámu.

Obrázek 12 - Systém odpružení Uni Trak s jeho popisem [2]

6.2. Pro – Link (Honda)

Dalším konstrukčním řešením odpružení pomocí pákových systému je systém Pro Link, využívající firma Honda. Systém Pro - Link využívá souborný systém dvou pák, který je odpružen jedním centrálním tlumičem, který je uchycen v šikmé poloze ve střední části rámu [2].

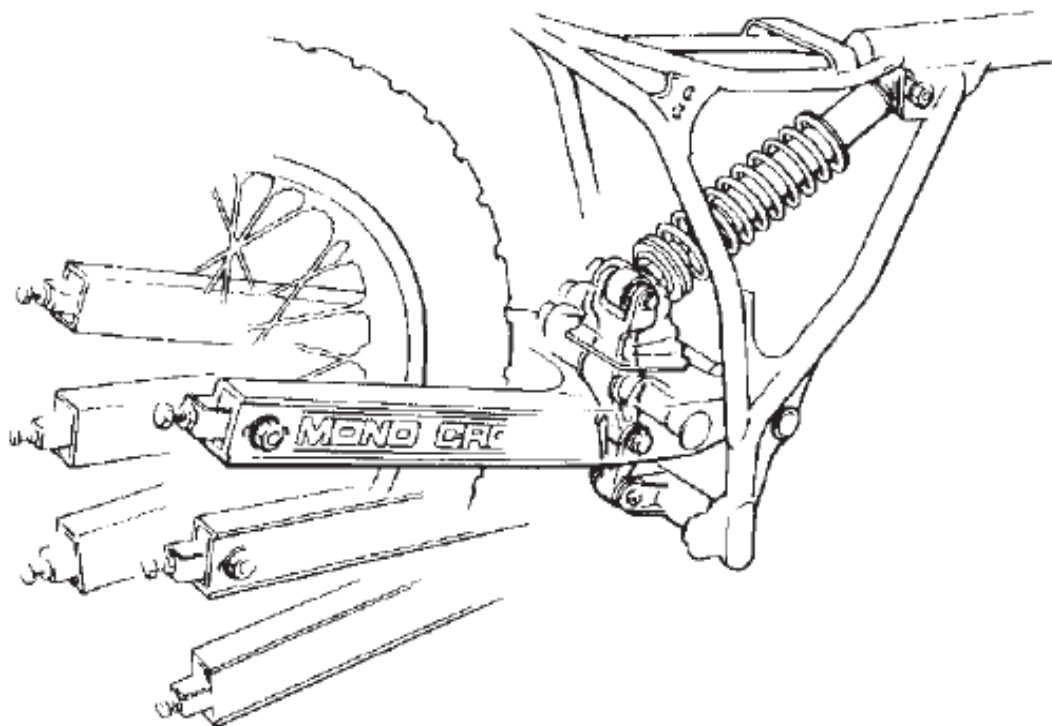


Systém odpružení zadního kola Pro-Link (Honda): 1 – hřídel zadního kola; 2 – kyvné rameno; 3 – kyvná páka (vahadlo); 4 – rám; 5 – centrální pružicí jednotka; 6 – vodící páka; 7 – uložení kyvného ramene.

Obrázek 13 - Systém odpružení Pro – Link s jeho popisem [2]

6.3. Mono Cross (Yamaha)

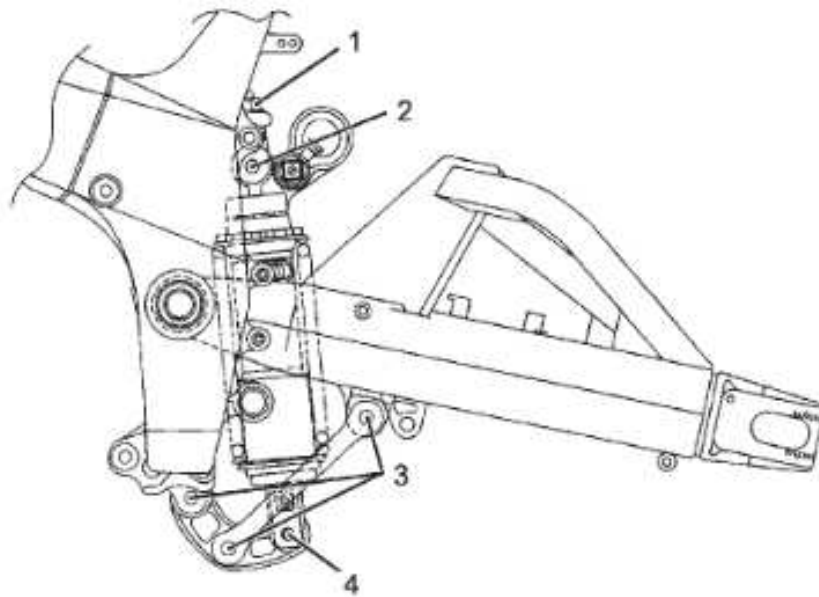
Tento systém je nástupcem původního systému Cantilever, který využívala firma Yamaha. Pomocí tohoto systému můžeme docílit značné progresivity, z důvodů jeho konstrukčního řešení. Jedno rameno pákového systému je uloženo v rámu, aby se mohlo otáčet, zatímco druhé rameno je pevně uchyceno k rámu tak, že silně tlačí na centrální tlumič, který je téměř v kolmé poloze, jako to bylo u systému Pro Link [2].



Obrázek 14 - Systém odpružení Mono Cross [2]

6.4. Full Floater (Suzuki)

Systém Full Floater, který je využíván firmou Suzuki má pákovou konstrukci řešenou podobně jako u systému Uni Trak. Odpružení je opatřeno centrální tlumicí jednotkou přes systém pák, ale u tohoto systému se tlumicí jednotka neopírá o rám, ale o kyvné rameno. Čím je větší propružení, tím víc zasahuje šikmá kyvná páka do směru osy a z tohoto důvodů jsme schopni dosáhnout silné progresivity [2].



Kyvná vidlice zadního kola s pružicí jednotkou Suzuki GSX-R 1000: 1 – horní matice pružicí jednotky; 2 – horní upevňovací šroub tlumiče; 3 – upevňovací šrouby vodicích táhel a pák; 4 – dolní upevňovací šroub tlumiče.

Obrázek 15 - Systém odpružení Full Floater [2]

6.5. Mono Power Drive (Gilera) a Zeta Link (Maico)

Tyto dva systémy nemají svou specifickou konstrukci, ale jsou obdoby předchozích systémů. Systém Zeta Link je obdobnou variantou systému Pro Link [2].

7. Praktická část

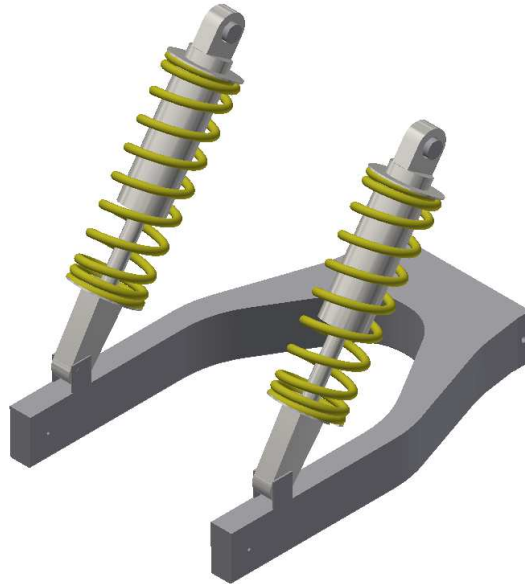
7.1. Cíl praktické části

Cílem praktické části bylo pomocí CAD programu Inventor vymodelovat návrhy dvou typů vidlic s pružicí a tlumicí jednotkou tak, aby byla celá sestava pohyblivá. Potom se modely importovaly do programu ADAMS, kde se při určitém zatížení porovnávaly reakční síly v určitých bodech modelů.

7.2. Popis modelů

Pro praktickou část byly porovnávány dva typy zadních vidlic, které byly taktéž zmíněny v teoretické části. Modely byly vybrány tak, aby bylo zastoupeno cestovní a sportovní provedení, se kterými se můžeme v dnešní době setkat. Všechny rozměry modelů motocyklů nebylo možné dohledat, a proto pro zjednodušení při modelování se musely některé rozměry přizpůsobit. Oba modely se modelovaly v programu Inventor, které se následně importovaly do programu SolidWorks, odkud bylo možné sestavu uložit jako pohybovou analýzu a následně ji importovat do programu ADAMS, ve kterém mohly být modely podrobeny simulaci.

7.2.1. Konvenční dvouramenná zadní vidlice



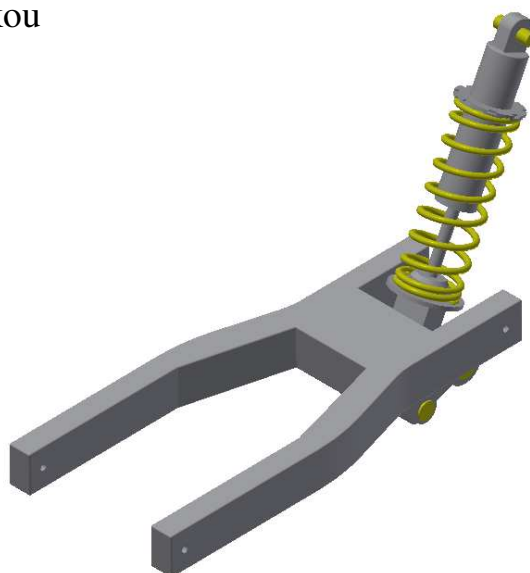
Obrázek 16 - Model dvouramenné konvenční vidlice v programu Inventor

Jako první model byl zvolen typ konvenční dvouramenné zadní vidlice. Sestava se skládá ze tří vymodelovaných součástí. Tento model má dvě tlumicí a pružicí jednotky a každá z nich je připevněná k jednomu ramenu zadní vidlice. Pro sestavení

pohyblivé sestavy bylo zapotřebí každou součást správně zavazbit, aby při následné simulaci nedocházelo k chybám.

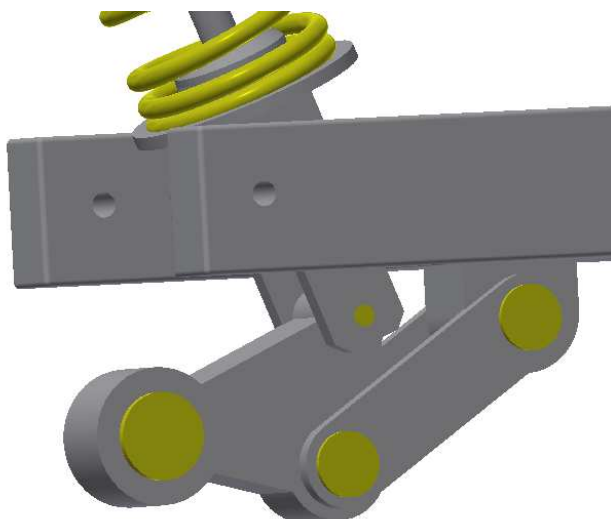
Nejdříve se musel správně sestavit tlumič. Tlumič se skládá z dvou protichůdných součástí a pružiny. Obě části tlumiče bylo zapotřebí zavazbit souose proti sobě a zajistit, aby píst spodní části tlumiče neprocházel jeho vrchní částí, takže bylo zapotřebí nastavit, aby se při dorazu pístu spodní část dále nepohybovala. Poté byla importována zadní vidlice a ke každému rameni vidlice byl zavazben jeden tlumič pomocí rotačních vazeb. Umístění tlumiče muselo být přesně uprostřed čepu. Toho bylo docíleno pomocí vazby sjednocení a byly zavazbené roviny čepu a tlumiče na sebe. Dále bylo zapotřebí nastavit výchozí polohu tlumičů pomocí úhlové vazby tak, aby svíraly s vidlicí úhel 125° a pomocí souosé vazby bylo zajištěno, aby se oba tlumiče pohybovaly souběžně. Poté se tlumiče zavazbily k čepům, které slouží jako náhrada rámu motocyklu a jsou tudíž pevně zavazbené.

7.2.2. Zadní vidlice s pákovým mechanismem a s centrální tlumicí a pružicí jednotkou



Obrázek 17 - Model vidlice s pákovým mechanismem a jedním centrálním tlumičem v programu Inventor

Druhý model je typem zadní vidlice s pákovým mechanismem s jednou centrální tlumicí a pružicí jednotkou. Tento model, jak můžeme vidět na obrázku výše, se skládá z více součástí, než tomu bylo u předchozího modelu. Důvodem je pákový mechanismus, u kterého je nutno přepákování navrhnout tak, aby celá sestava plnila svoji funkci. Detail řešení pákového mechanismu můžeme vidět na obrázku na druhé straně. Celá sestava obsahuje pět součástí. Základ tvoří stejně jako u předchozího modelu zadní vidlice a tlumič. Pákový mechanismus se potom dále skládá ze dvou spojnic a pákového tělesa.



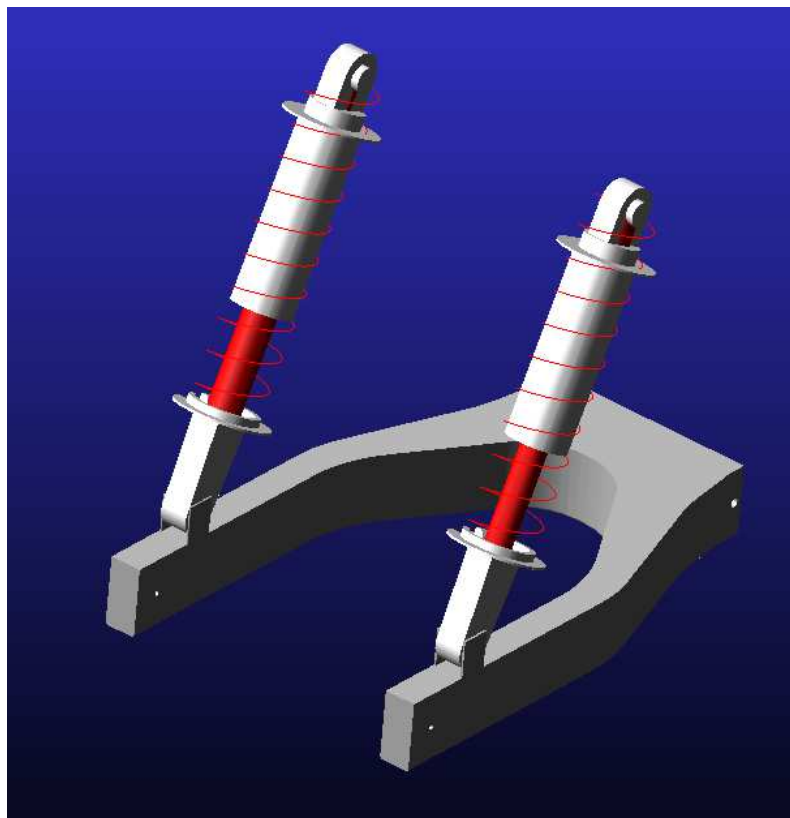
Obrázek 18 - Detail řešení pákového mechanismu

Tlumič je zde sestavený pomocí stejných vazeb a stejným způsobem, jak tomu bylo u prvního modelu. Následně se spojnice z jedné strany zavazbily pomocí rotačních vazeb ke spodní části zadní vidlice a z druhé strany se stejně tak pomocí rotační vazby zavazbily k pákovému tělesu. Spojnice musí být souose zavazbené, aby se zajistil jejich souběžný pohyb. U pákového tělesa jsou důležité tři otvory, jejichž středy musí mít geometricky přesnou polohu. Jeden z otvorů je spojen se spojnici, druhý je spojen pomocí rotační vazby k tlumiči a třetí otvor je spojen rotační vazbou s čepem, který je zavazbený na pevno a plní funkci rámu. Opět se musela nastavit správná výchozí poloha tlumiče, aby svíral tlumič s vidlicí úhel 119° a jeho konec spojit s čepem, který slouží opět jako substitute rámu.

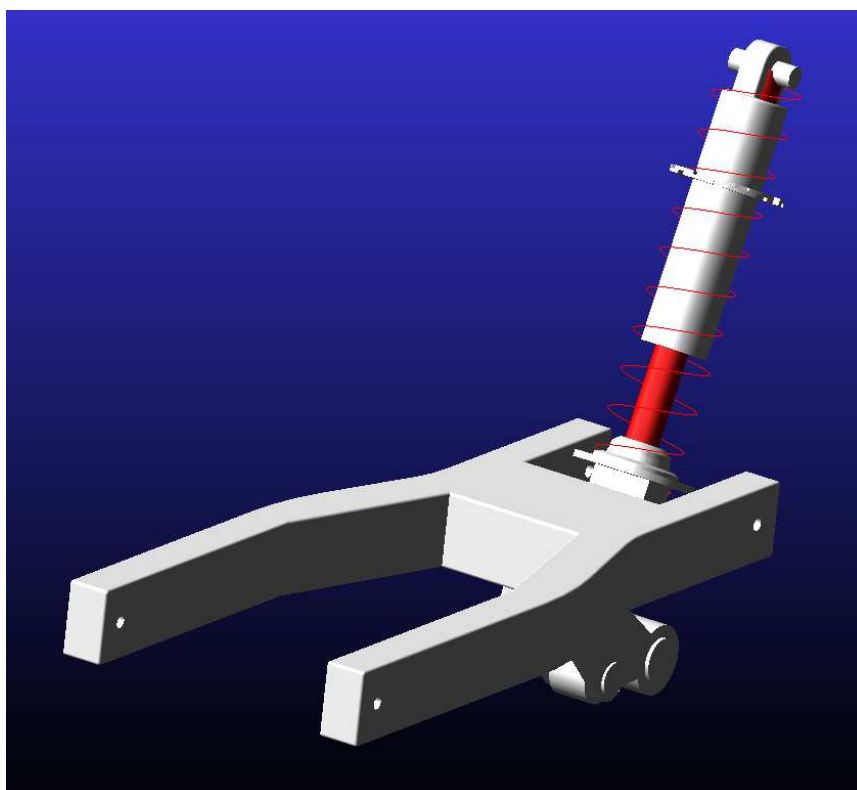
7.3. Simulace v programu ADAMS

7.3.1. Popis Simulace

Po vymodelování obou sestav se v programu SolidWorks pomocí doplňku SOLIDWORKS Simulation obě sestavy uložily jako pohybová analýza (formát .adm) a importovaly se do programu ADAMS. Tento postup byl výhodnější, protože kdyby se importovaly sestavy po částech, tak by se musely všechny části k sobě vazbit zvlášť a pomocí pohybové analýzy se nám všechny vazby importovaly společně se sestavou.



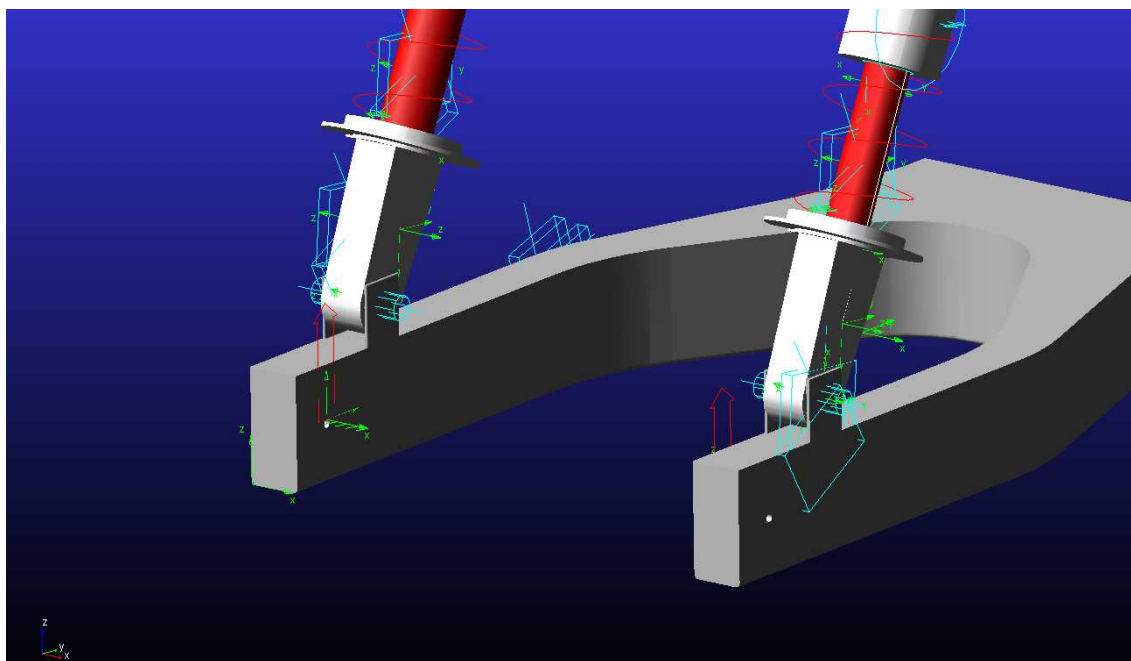
Obrázek 19 - Model dvouramenné konvenční vidlice v programu ADAMS



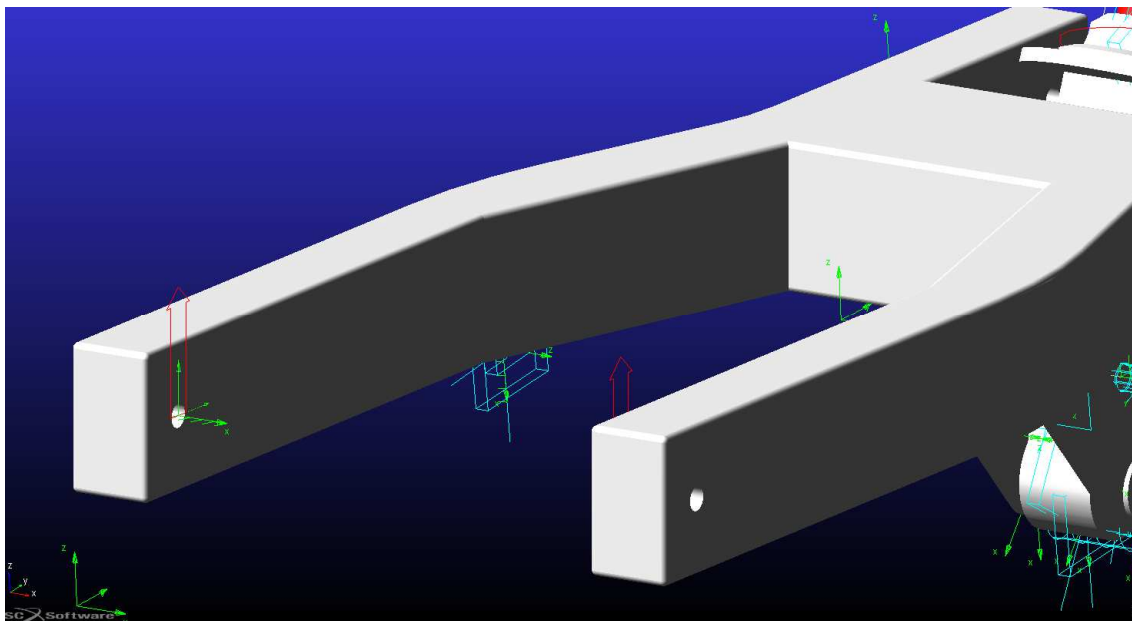
Obrázek 20 - Model zadní vidlice s pákovým mechanismem v programu ADAMS

Nyní se mohlo přistoupit k samotné simulaci obou modelů. Každá simulace byla měřená po dobu pěti sekund. Nejprve bylo zapotřebí určit všechny silové prvky jako jsou pružina a také způsob zatěžování vidlice, která nám bude simulovat jízdu po nerovné vozovce, na kterou bude tlumič reagovat. Jelikož nebylo možné dohledat přesně reálné hodnoty tuhosti pružin používané ve skutečnosti, protože se každý tlumič se správnou tuhostí pružiny musí vybrat individuálně podle hmotnosti jezdce, byla zvolena pro simulaci u obou modelů orientační hodnota tuhosti, která se pohybuje v rozmezí skutečných hodnot, která byla dostupná na internetu a pohybuje se mezi 80-95 N/mm. U dvouramenného konvenčního modelu, který je považovaný jako model zastupující cestovní typ motocyklu bylo zvoleno na každém tlumiči tuhost pružiny o velikosti 80 N/mm, protože u cestovních motorek se tvrdší pružení nezajišťuje ani tak tuhostí, ale dvěma tlumícími jednotkami, protože se nepředpokládá jízda po velkých nerovnostech a zvolila se nejmenší hodnota z intervalu. Na modelu s pákovým mechanismem, který zastupuje terénní typ motocyklu byla zvolena tuhost pružiny 95 N/mm, protože u terénních typů se používá zejména pružiny s větší tuhostí, a proto se zvolila maximální hodnota z nalezeného intervalu.

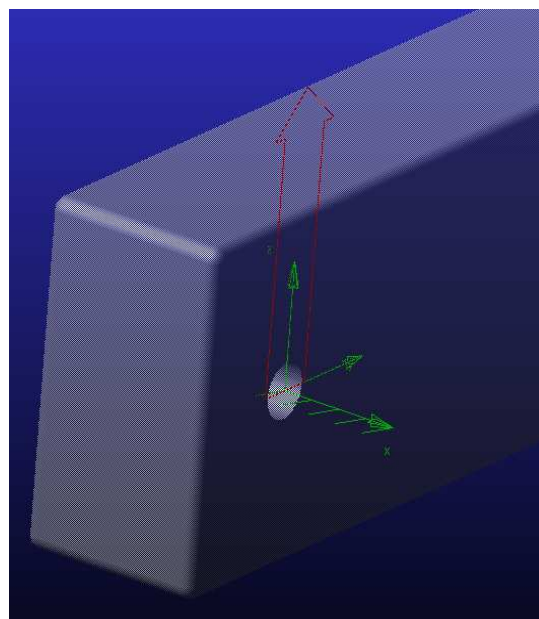
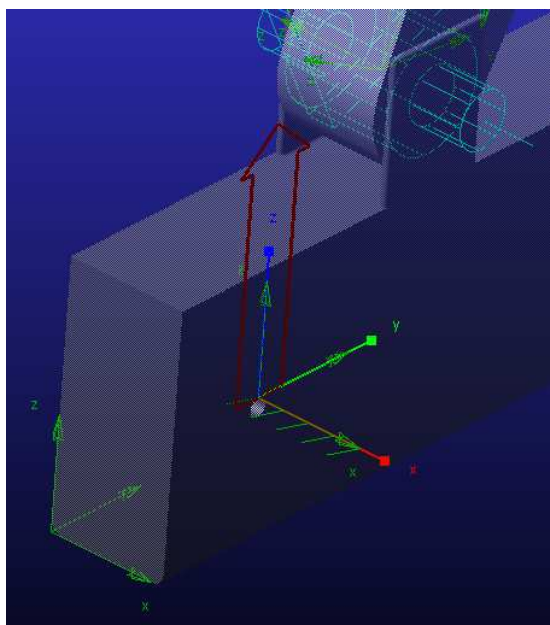
Aby bylo možné porovnat chování modelů musel se zvolit pro oba modely stejný typ zatěžování. Jako nejlepší způsob se jevil zatížit každé rameno vidlice určitou silou, která bude působit v místě díry pro čep, na kterém se otáčí kolo. Na každé rameno bylo zvoleno zatížení o velikosti 550 N, která odpovídá statické jízdě motocyklu. U obou modelů bylo zapotřebí také nastavit gravitační sílu orientovanou záporně v ose Z.



Obrázek 21 - Celkový pohled zatížené konvenční zadní vidlice



Obrázek 22 - Celkový pohled zatížené zadní vidlice s pákovým mechanismem

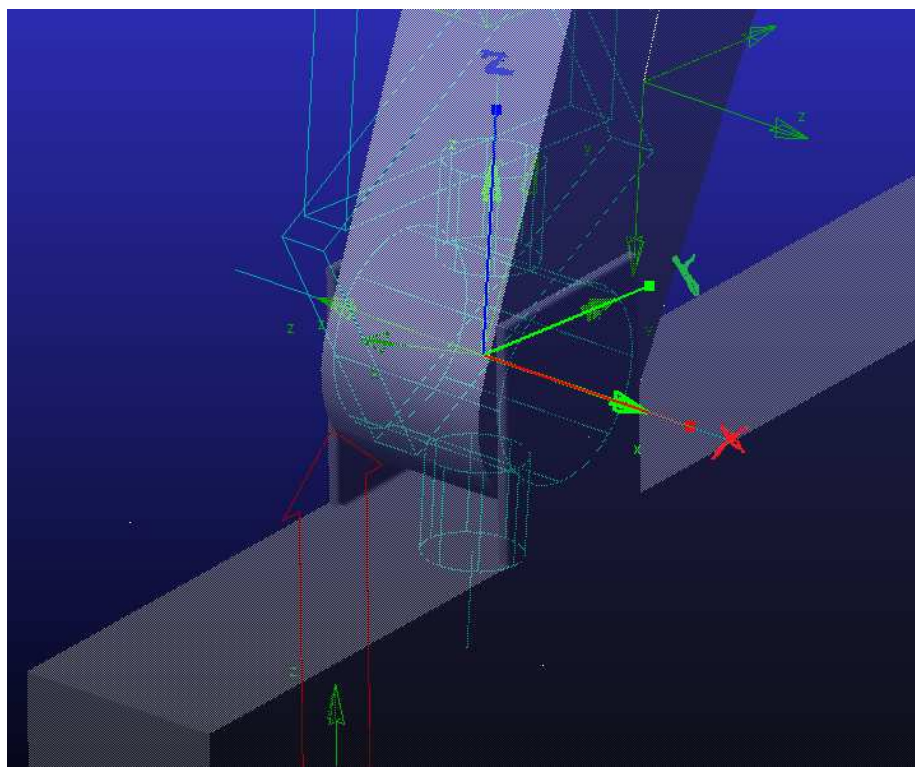


Obrázek 23 - Detail místa zatížení obou vidlic

7.3.2. Výsledky simulace závislosti síly v bodech na čase

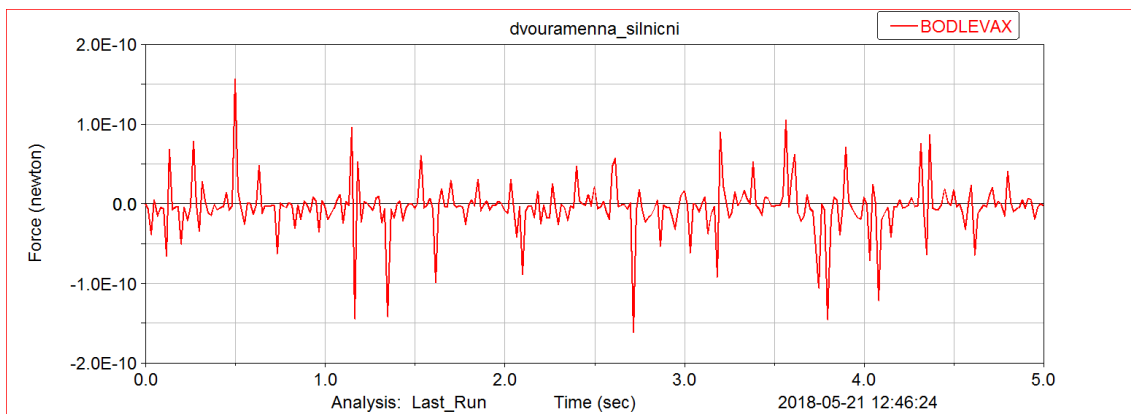
V první části simulace byla měřena síla, která působí v určitých bodech, při statické jízdě (tzn. zrychlení bylo nulové) motocyklu. Modely se liší svou náročností a konstrukcí, a proto při této simulaci nebylo možné zvolit přesně stejné body k porovnání.

U dvouramenné konvenční zadní vidlice byla měřena síla v místě čepů tlumiče, které bylo zvoleno jako reprezentativní místo pro zkoumání zatížení, na obou ramenech viz. obrázek 22. Síla byla měřena ve všech osách (tj. X, Y, Z).

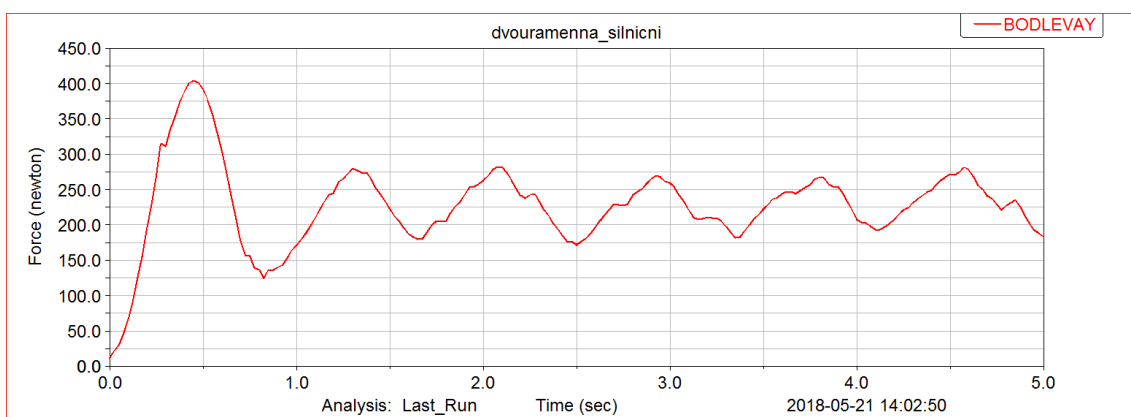


Obrázek 24 - Detail zatěžovaného bodu na čepu vidlice

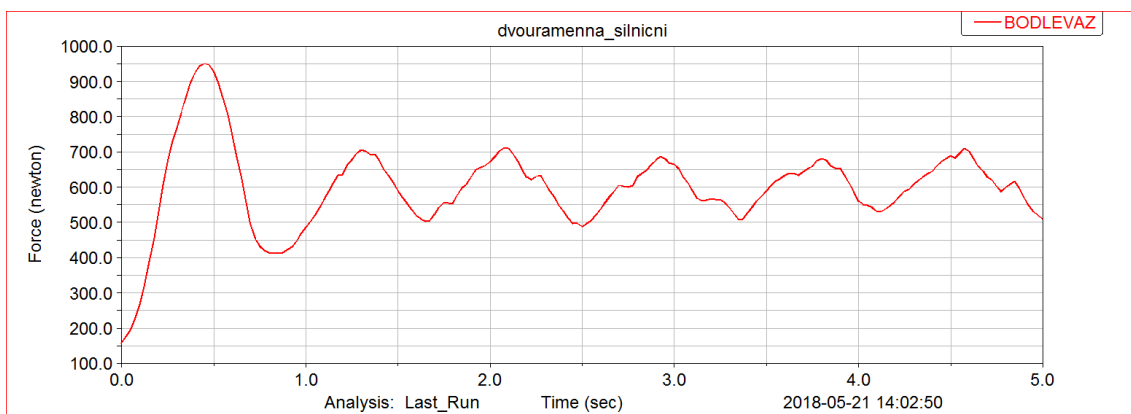
Výsledky simulace, kde byla měřena závislost síly na čase, lze vidět na následujících grafech. Nejprve se importovaly závislosti z levého ramena vidlice, následně pak z pravého ramena postupně podle měření v jednotlivých osách X, Y, Z. Na grafech lze vidět, že průběhy v ose Y a Z jsou zcela shodné, zatímco v ose X jsou téměř nulové, protože síla má orientaci axiálního směru osy.



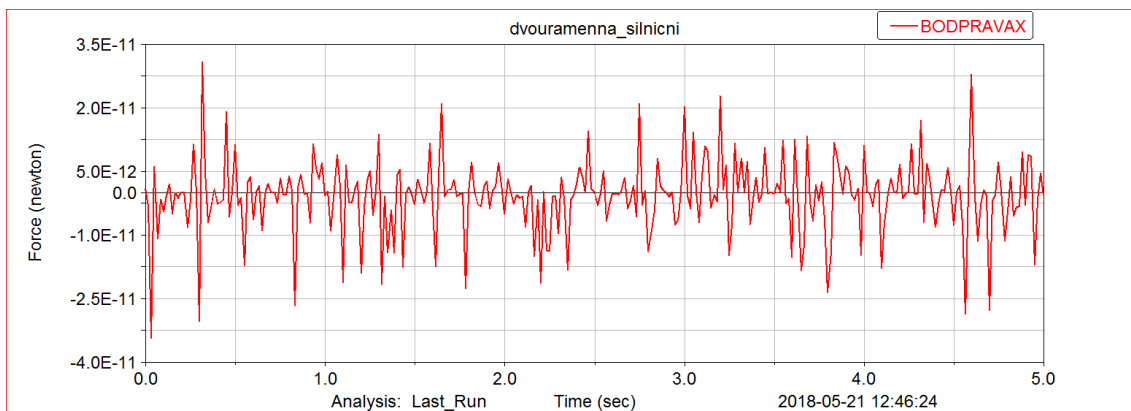
Obrázek 25 - Graf měření levého ramena v ose X



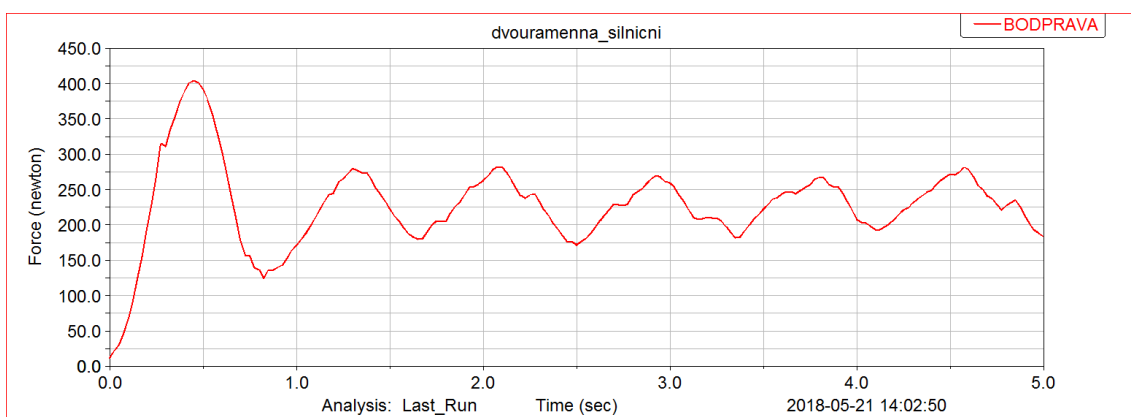
Obrázek 26 - Graf měření ramena v ose Y



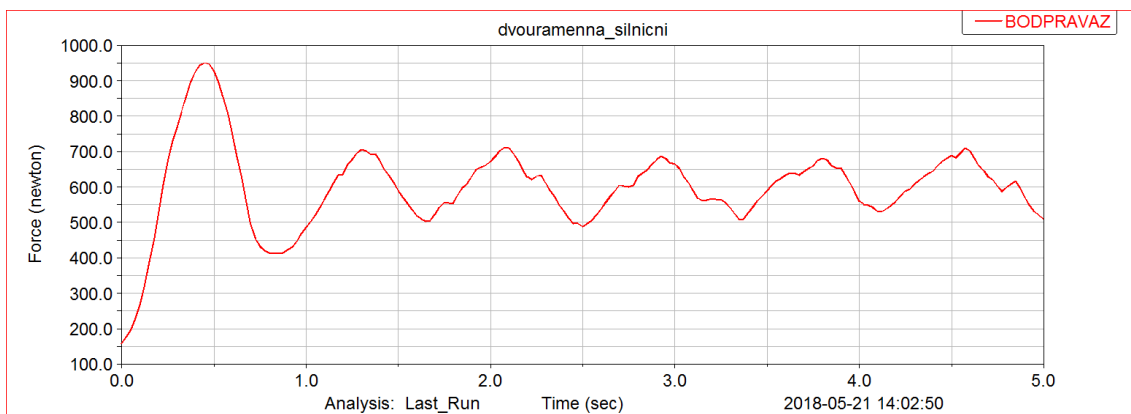
Obrázek 27 - Graf měření ramena v ose Z



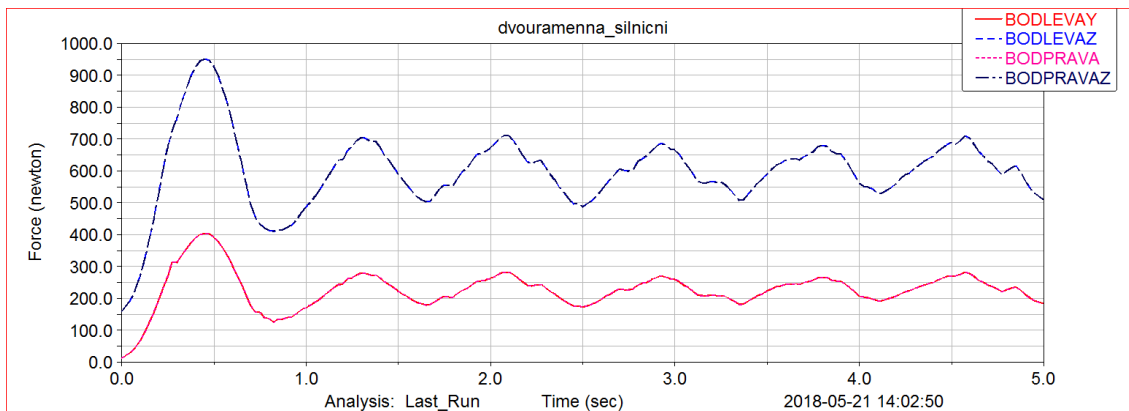
Obrázek 28 - Graf měření pravého ramena v ose X



Obrázek 29 - Graf měření pravého ramena v ose Y



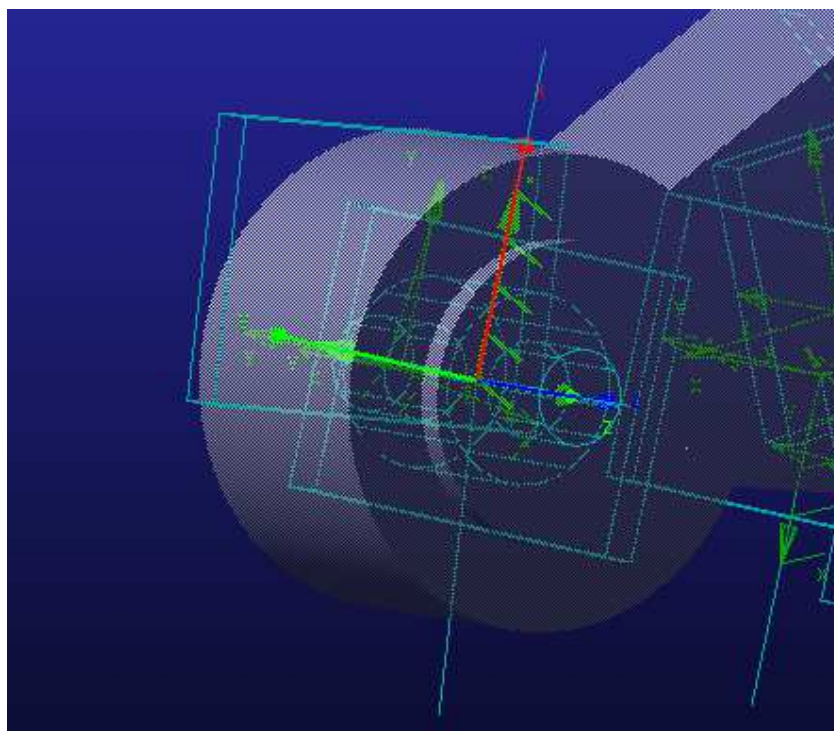
Obrázek 30 - Graf měření pravého ramena v ose Z



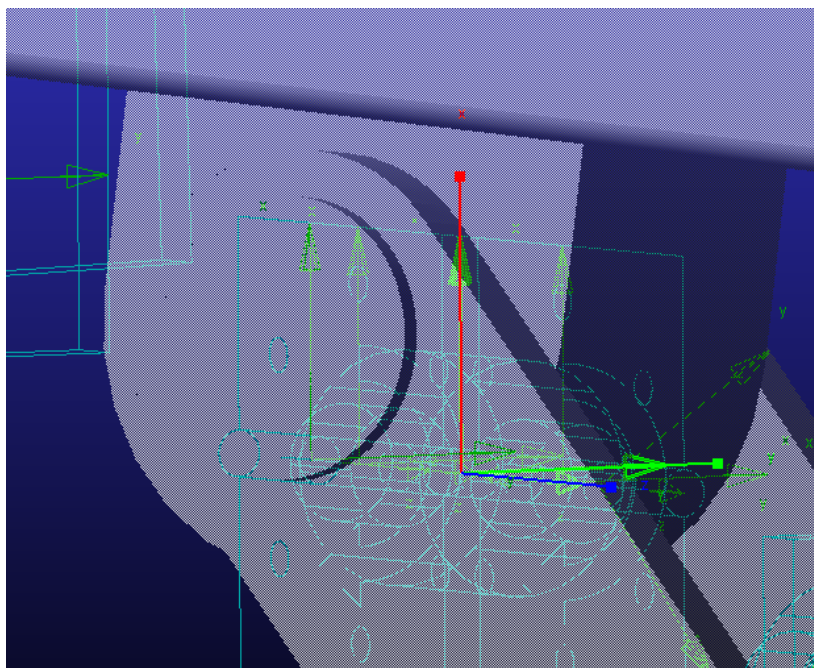
Obrázek 31 - Graf srovnání působících sil v osách Y a Z na obou ramenech

U zadní vidlice s pákovým mechanismem máme více variant, kde se síla dá měřit. Jako nejlepší se jevila možnost měřit síly v čepích pákového mechanismu, protože tam dochází k největšímu namáhání z celé sestavy. V čepích se opět měřila síla ve všech osách.

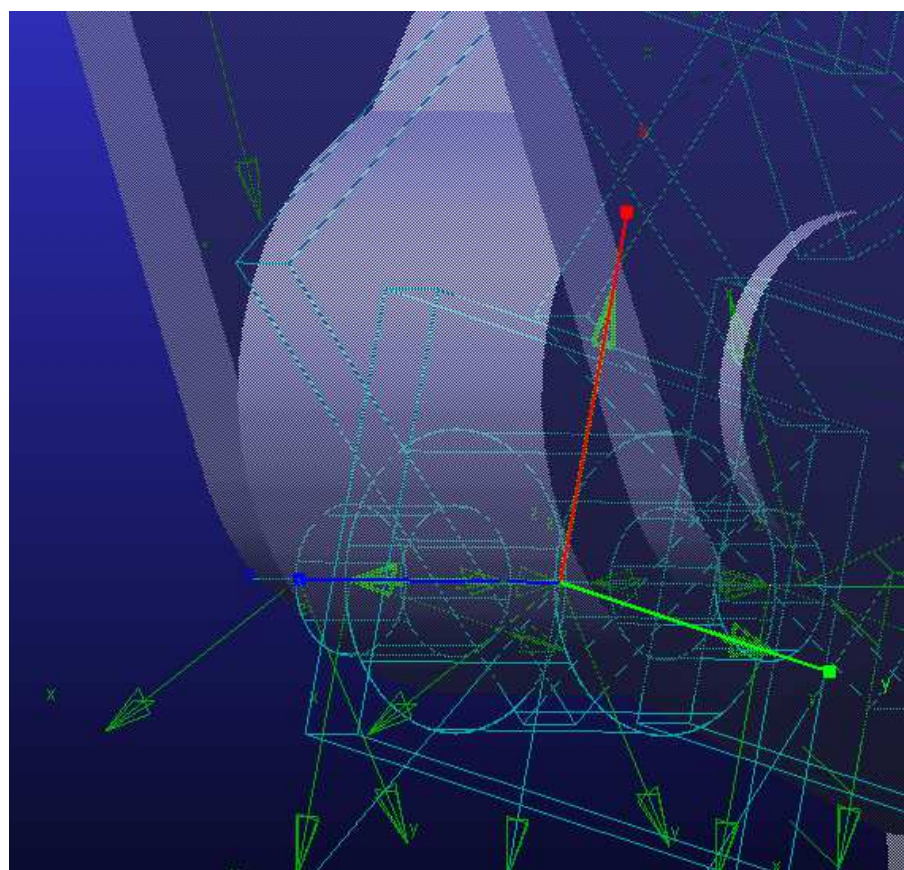
Pro měření byly vybrány 4 body. První z nich je čep rámu, druhý a třetí jsou čepy které spojují pákové těleso se zadní vidlicí z obou stran a poslední je čep, pomocí kterého je spojen tlumič s pákovým tělesem. Na obrázcích níže můžeme vidět detaily bodů, v kterých bylo měření provedeno.



Obrázek 32 - Detail zatěžovaného bodu čepu rámu



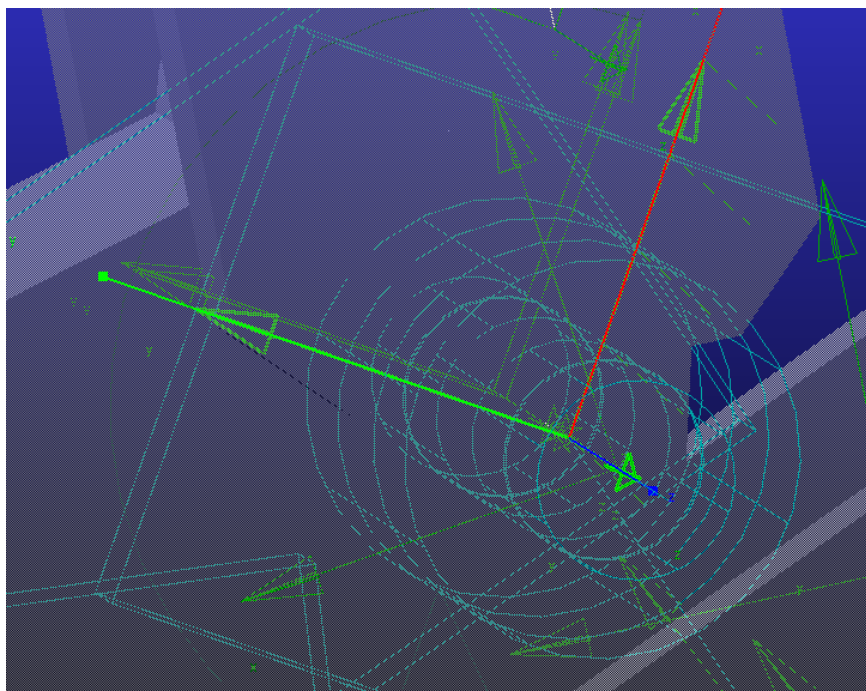
Obrázek 33 - Detail zatěžovaného bodu na vrchní straně spojnice



Obrázek 34 - Detail zatěžovaného bodu na spodní straně spojnice



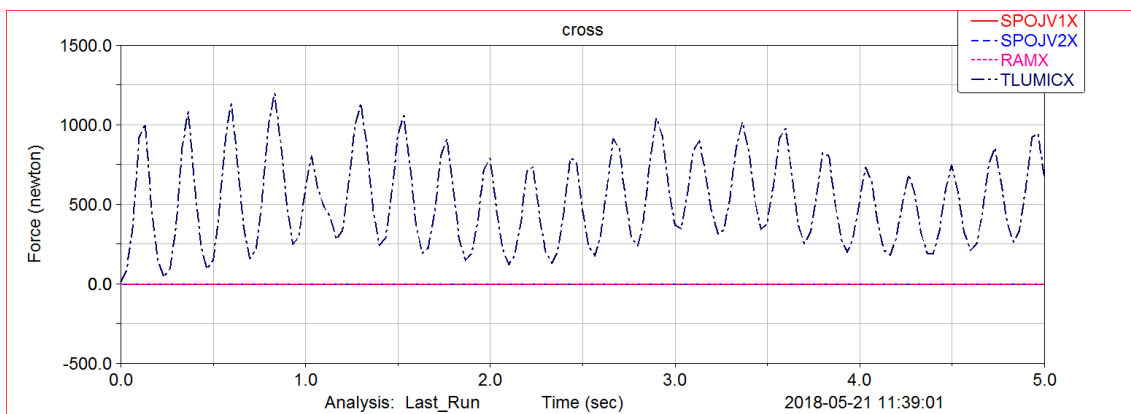
Obrázek 35 - Obecný pohled na jednotlivá místa čepů



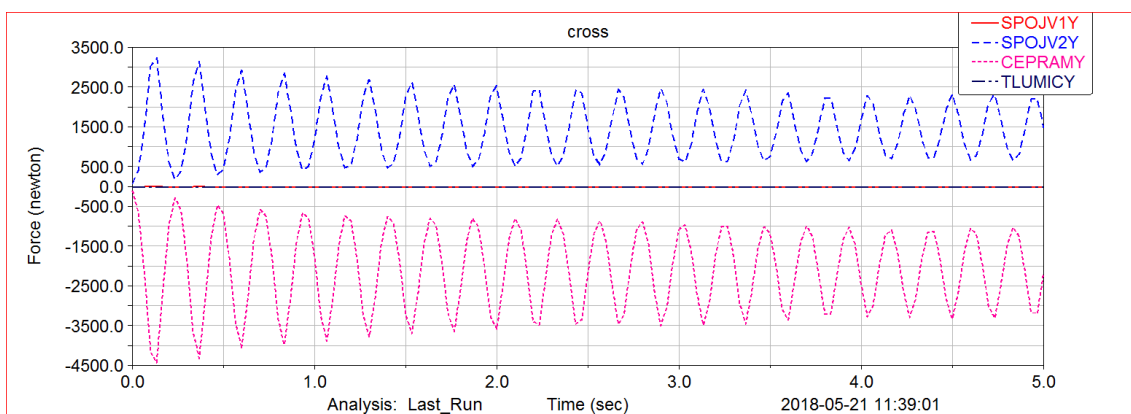
Obrázek 36 - Detail zatěžovaného bodu na čepu tlumiče

Pomocí simulace bylo možné zjistit síly v těchto bodech. Jednotlivé závislosti se vykreslily do grafů a tyto hodnoty se následně porovnaly podle toho, v jaké ose působí. Na grafech níže můžeme postupně vidět výsledky sil, působících v ose X, Y a Z. Síla v bodě, který můžeme vidět na obrázku č. 33 je oproti ostatním silám ve všech osách

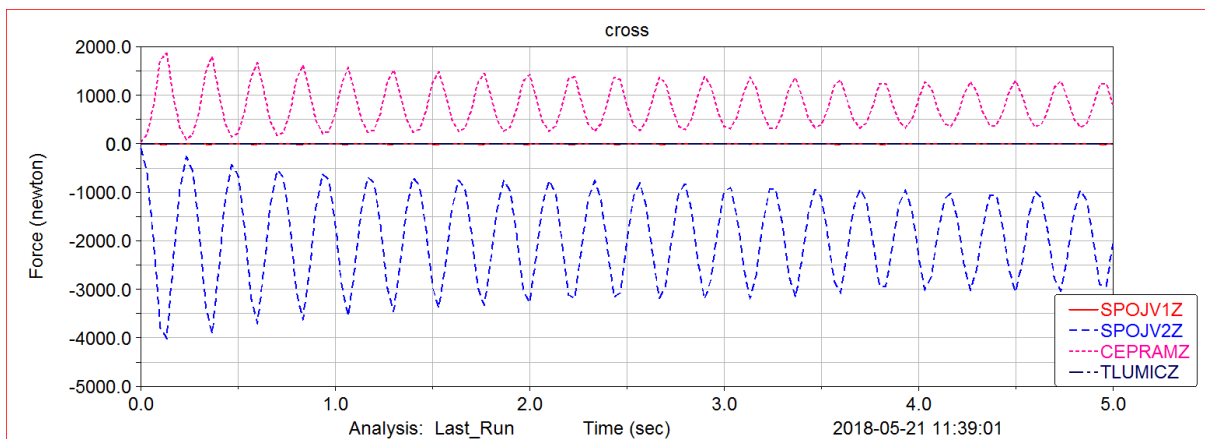
zanedbatelná, jak si můžeme všimnout na všech třech grafech. U ostatních bodů si můžeme všimnout, že každý ze zbylých tří čepů je v každé ose namáhaný jinak a každý z nich je vždy v jedné ose namáhaný nejvíce ze všech. V ose X je nejvíce zatěžovaným bodem čep tlumiče. V ose Y podléhá největšímu zatížení čep spodní části spojnice a v posledním případě je v ose Z nejvíce namáhán čep nahrazující rám.



Obrázek 37 - Srovnání zatížení ve všech bodech v ose X



Obrázek 38 - Srovnání zatížení ve všech bodech v ose Y

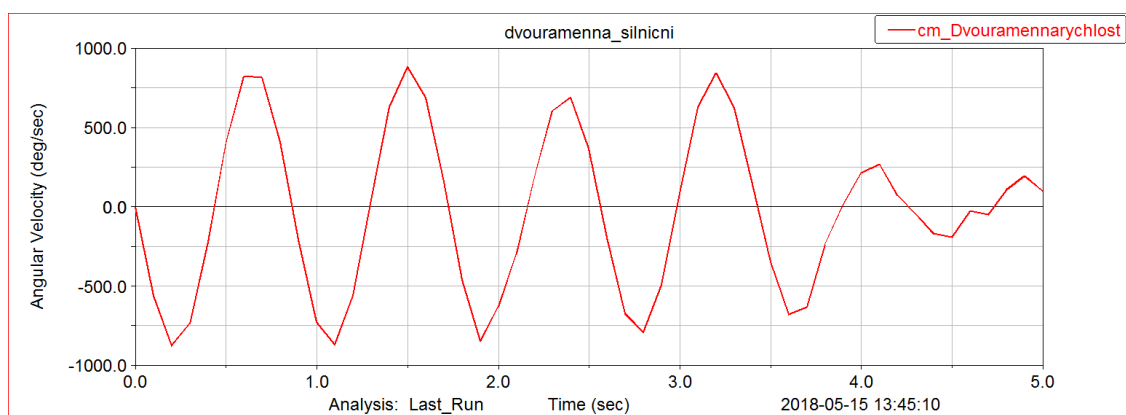


Obrázek 39 - Srovnání zatížení ve všech bodech v ose Z

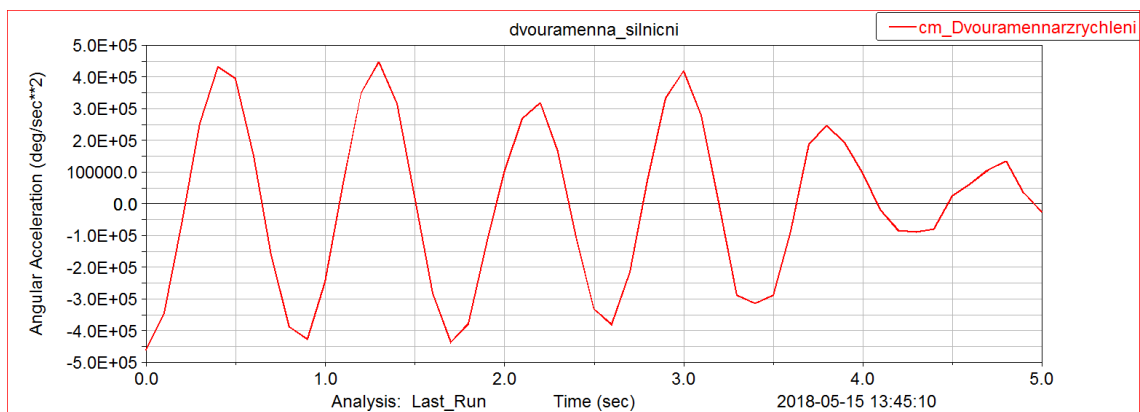
Jak už bylo na začátku kapitoly zmíněno, tyto dva modely nelze přímo porovnat, protože u obou modelů byly zatěžovány odlišné body. Při pohledu na grafy si lze všimnout že síly, působící v čepích pákového mechanismu zadní vidlice, jsou výrazně větší než síly, působící v čepch konstrukčně jednodušší konvenční zadní vidlice. Z tohoto lze vyvodit závěr, že konvenční dvouramenná vidlice je díky dvěma tlumičům stabilnější a lépe odolává zatížením než zadní vidlice s pákovým mechanismem.

7.3.3. Výsledky simulace rychlosti a zrychlení obou vidlic

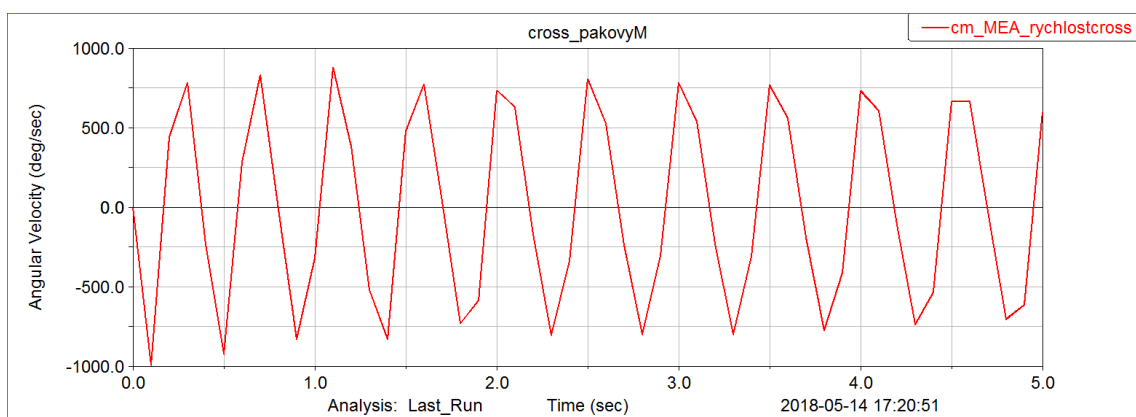
V druhé části simulace nás zajímala velikost úhlové rychlosti a úhlového zrychlení, které jsme měřili v těžišti obou vidlic. V tomto případě jsme měřili rychlost a zrychlení v ose X, což byla osa rotace. Poloha těžiště u obou vidlic byla poměrně stejná. Z grafů níže můžeme vidět, že průběhy rychlostí a zrychlení u obou vidlic se od sebe extrémně neliší. U rychlostí se dostáváme zhruba na stejné hodnoty u obou typů. Rozdíl můžeme najít u zrychlení, kde se dvouramenná konvenční vidlice pohybuje s mnohem větším zrychlením, než je tomu u vidlice s pákovým mechanismem.



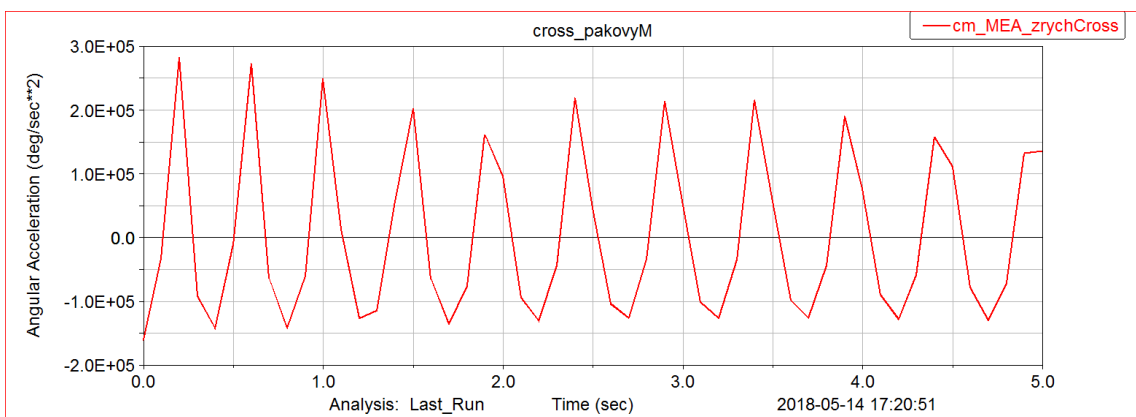
Obrázek 40 - Graf závislosti úhlové rychlosti na čase u dvouramenné konvenční vidlice



Obrázek 41 - Graf závislosti úhlového zrychlení na čase u dvouramenné konvenční vidlice



Obrázek 42 - Graf závislosti úhlové rychlosti na čase u vidlice s pákovým mechanismem



Obrázek 43 - Graf závislosti úhlové zrychlení na čase u vidlice s pákovým mechanismem

8. Závěr

Dnešní doba nabízí několik možností odpružení zadního kola motocyklu a můžeme vidět, jak je tato problematika široká a dala by se pojmout hned z několika pohledů. Také dostupné zdroje, se kterými se můžeme různě setkat nás seznámí jen se základními možnostmi, ale hlubší informace se velice špatně hledají, protože každý výrobce si své „know-how“ nechává pro sebe a nikdo Vám nic bližšího neřekne a vlastně kvůli konkurenci ani nemůže. Práce byla pojata jako řešerše základních způsobů odpružení zadního kola z hlediska typů vidlic, resp. systému odpružení těchto vidlic nebo druhů používaných tlumičů, které se běžně používají ve všech odvětvích od cestovních po závodní stroje. Simulací bylo možné vyzkoušet zajímavé měření, jako je rychlost a zrychlení vidlic při stejném zatěžování a měřily jsme body, které jsou během jízdy nejvíce zatěžovány. Výsledky nám ukázaly, že konvenční dvouramenná vidlice ukazuje lepší charakteristiky v odolnosti proti zatěžování. Síly, působící v jejich čepech, byly oproti zadní vidlici s pákovým mechanismem poloviční. Z toho lze vyvodit závěr, že silniční typy motocyklů jsou díky tomu stabilnější. Naopak u motocyklů, využívající zadní vidlici s pákovým mechanismem je možné dosáhnout většího propružení. Tyto výsledky by se daly využít například při návrhu konstrukcí vidlic či rámu.

9. Seznam použité literatury

- [1] *Teorie odpružení motocyklu* | *Motorkáři.cz* [online]. [vid. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/odpruzeni-motocyklu-36350.html>
- [2] FRANTIŠEK, VLK. *Teorie a konstrukce motocyklů. díl 2*. 1. vyd. Brno: ProfIngFrantišek Vlk, DrSc, 2004. ISBN 978-80-239-1601-0.
- [3] *Teorie odpružení motocyklu – část 2* | *Motorkáři.cz* [online]. [vid. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/teorie-odpruzeni-motocyklu-cast-2-36413.html>
- [4] Zavěšení kol | *autolexicon.net*. *www.autolexicon.net* [online]. [vid. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/zaveseni-kol/>
- [5] *Pružina* [online]. 2018 [vid. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pru%C5%BEina&oldid=15791215>
- [6] *Tlačná pružina* | *MůjSolidworks.cz* [online]. [vid. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.mujsolidworks.cz/tlacna-pruzina-2/>
- [7] VOKÁLEK, Jiří. *Dokonalá jízda na motocyklu*. Druhé upravené vydání 2008. České Budějovice: Kopp, 2008. ISBN 978-80-7232-347-0.
- [8] *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE* [online]. [vid. 2018-05-21]. Dostupné z: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:mBbxZhmc1-sJ:https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/26923/1/BP-Krestan_Petr.pdf+&cd=4&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [9] *Odpružení* [online]. 2017 [vid. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Odpru%C5%BEen%C3%AD&oldid=15430853>
- [10] Öhlins tlumiče s nádobkou universální pro všechny motocykly, zejména pro motocykly Yamaha. *VŠE PRO CHOPPERY ...* [online]. [vid. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.wildstyle.cz/p/661/ohlins-tlumice-s-nadobkou-24oh003os>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Tlumič odpružení s třístupňovou regulací předepnutí pružiny (Honda): a - výchozí nastavení; b - střední předepnutí; c - maximální předepnutí [2].....	9
Obrázek 2 - Zavěšení zadního kola motocyklu [2]	10
Obrázek 3 - Tlačná pružina [5]	11
Obrázek 4 - Rozdíl vinutá lineární a progresivní tlačné pružiny [7]	12
Obrázek 5 - Grafické znázornění průběhu lineární a progresivní pružiny [1]	13
Obrázek 6 - Tlumič [10]	14
Obrázek 7 - Funkční schéma dvouplášťového tlumiče [2]	17
Obrázek 8 - Funkční schéma jednoplášťového tlumiče [2]	18
Obrázek 9 - Konvenční dvouramenná zadní vidlice [2].....	19
Obrázek 10 - Konzolová zadní vidlice [2]	20
Obrázek 11 - Zadní vidlice s pákovým mechanismem [2]	22
Obrázek 12 - Systém odpružení Uni Trak s jeho popisem [2]	23
Obrázek 13 - Systém odpružení Pro – Link s jeho popisem [2].....	24
Obrázek 14 - Systém odpružení Mono Cross [2].....	25
Obrázek 15 - Systém odpružení Full Floater [2].....	26
Obrázek 16 - Model dvouramenné konvenční vidlice v programu Inventor	27
Obrázek 17 - Model vidlice s pákovým mechanismem a jedním centrálním tlumičem v programu Inventor	28
Obrázek 18 - Detail řešení pákového mechanismu	29
Obrázek 19 - Model dvouramenné konvenční vidlice v programu ADAMS.....	30
Obrázek 20 - Model zadní vidlice s pákovým mechanismem v programu ADAMS	30
Obrázek 21 - Celkový pohled zatížené konvenční zadní vidlice	31
Obrázek 22 - Celkový pohled zatížené zadní vidlice s pákovým mechanismem.....	32
Obrázek 23 - Detail místa zatížení obou vidlic	32
Obrázek 24- Detail zatěžovaného bodu na čepu vidlice	33
Obrázek 25 - Graf měření levého ramena v ose X	34
Obrázek 26 - Graf měření levého ramena v ose Y	34
Obrázek 27- Graf měření levého ramena v ose Z	34
Obrázek 28 - Graf měření pravého ramena v ose X.....	35
Obrázek 29 - Graf měření pravého ramena v ose Y	35
Obrázek 30 - Graf měření pravého ramena v ose Z	35
Obrázek 31 - Graf srovnání působících sil v osách Y a Z na obou ramenech	36
Obrázek 32 - Detail zatěžovaného bodu čepu rámu.....	36
Obrázek 33 - Detail zatěžovaného bodu na vrchní straně spojnice	37
Obrázek 34 - Detail zatěžovaného bodu na spodní straně spojnice	37
Obrázek 35 - Obecný pohled na jednotlivá místa čepů	38
Obrázek 36 - Detail zatěžovaného bodu na čepu tlumiče	38
Obrázek 37 - Srovnání zatížení ve všech bodech v ose X	39

Obrázek 38 - Srovnání zatížení ve všech bodech v ose Y	39
Obrázek 39 - Srovnání zatížení ve všech bodech v ose Z	40
Obrázek 40 - Graf závislosti úhlové rychlosti na čase u dvouramenné konvenční vidlice	40
Obrázek 41 - Graf závislosti úhlového zrychlení na čase u dvouramenné konvenční vidlice	41
Obrázek 42 - Graf závislosti úhlové rychlosti na čase u vidlice s pákovým mechanismem	41
Obrázek 43 - Graf závislosti úhlového zrychlení na čase u vidlice s pákovým mechanismem ...	41

Seznam rovnic

Rovnice 1 - rovnice pro výpočet tuhosti pružiny.....	11
--	----