



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY PŘEDNÍCH VIDLIC
MOTOCYKLŮ A ELEKTROKOL**

EQUIPMENT FOR TESTING THE FRONT FORKS OF MOTORCYCLES AND E-BIKES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Vaněk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Tomáš Vaněk**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.**
Akademický rok: 2021/22

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:

Zařízení pro zkoušky předních vidlic motocyklů a elektrokol

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Měření pružin a tlumičů na závěsu předního kola jednostopého vozidla má svá specifika v případě teleskopických vidlic. Při provozu vidlic s daným konstrukčním sklonem se na výsledcích podílí smykové tření kluzného uložení. Pro kvantifikaci tohoto jevu je nezbytné provést měření jak ve svislé poloze nosníku, tak při uvažovaném jízdním sklonu. Přípravek by měl sloužit pro upnutí co nejširšího sortimentu nosníků.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je vyvinout upínací zařízení pro zkoušky nosníků teleskopických předních vidlic motocyklů, či elektrokol ve svislé poloze a také s nastavitelným provozním sklonem. Konstrukce bude limitována parametry zkušebního rámu pulsátoru Inova: výška 1400 mm, šířka 340 mm, maximální síla 5000 N.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- provést rešerši variant možných ukončení nosníků,
- navrhnout způsob upevnění nosníku pro test ve svislé poloze,
- navrhnout způsob upevnění nosníku pro test v úhlové poloze,
- provést pevnostní kontrolu přípravků,
- vytvořit manuál pro použití navrženého upínacího systému.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

DIXON, J. C. The Shock Absorber Handbook. John Wiley & Sons Ltd, Chichester 2007. 427 s. ISBN 0-7680-0050-5.

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. VUTUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

VLK, F. 2004. Teorie a konstrukce motocyklů. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-1601-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Jednou z nejdůležitějších částí podvozků motocyklů a kol je teleskopická vidlice. Její správná funkce se testuje na pulsátorech. Výrobci testovacích pulsátorů upínají testované zavěšení svisle a zatěžující síla působí ve směru osy vidlice. Při skutečném přejíždění nerovností různých velikostí se ovšem směr působení síly mění. Z tohoto důvodu bylo vyvinuto přídavné zařízení k pulsátoru, které napodobuje průběh reálného zatížení. Kromě vhodné kinematiky měnící směr působící síly na zavěšení je nutné napodobit i pohyb konce zavěšení. Největší přesnost napodobení sil má zkonstruované zařízení při hodnotách úhlu řízení od 20° do 30°. Neodmyslitelnou částí je také systém uchycení k rámu pulsátoru, který dovoluje upnout velké množství zavěšení s různými rozměry. Pro jednotlivé části zařízení jsou provedeny pevnostní výpočty s maximální působící silou 3 kN. K dalšímu vylepšení kinematiky zatěžování je vhodné provést zkoušky přejezdu kola přes nerovnosti ve skutečnosti a upravit zařízení dle výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

testování, reálné zatížení, teleskopické vidlice, motocykl, kolo

ABSTRACT

One of the most important parts of motorcycle and bicycle chassis is the telescopic fork. Its proper function is tested on pulsators. The manufacturers of the test pulsators clamp the suspension under test vertically and the load force is applied in the direction of the fork axis. However, the direction of the force changes when actually crossing bumps of different sizes. For this reason, an add-on device to the pulsator has been developed to simulate the real load waveform. In addition to suitable kinematics changing the direction of the force applied to the suspension, the movement of the end of the suspension must also be simulated. The designed device has the highest accuracy in simulating the forces at steering angle values between 20° and 30°. The attachment system to the pulsator frame is also an integral part, allowing a large number of suspensions with different dimensions to be clamped. Strength calculations have been carried out for the individual parts of the device with a maximum applied force of 3 kN. In order to further improve the loading kinematics, it is advisable to carry out tests of the wheel crossing over unevenness in reality and to adjust the device according to the results.

KEYWORDS

testing, telescopic forks, motorcycle, bike, real load

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VANĚK, Tomáš. *Zařízení pro zkoušky předních vidlic motocyklů a elektrokol*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139730>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych velmi poděkovat vedoucímu své práce doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi, CSc., za odborné vedení, cenné rady, připomínky a čas strávený při konzultacích.

Dále děkuji také rodině za podporu během celého studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Zavěšení předního kola dvoustopých vozidel	14
2.1.1	Geometrie	15
2.1.2	Funkce zavěšení	15
2.1.3	Vliv druhu tření na tlumení	18
2.2	Konstrukce vidlice kola a motocyklu	18
2.3	Druhy zakončení vidlic a nosníků	19
2.3.1	Motocykly	19
2.3.2	Kola	20
2.4	Testování vidlic a nosníků	22
2.5	Průzkum trhu měřících zařízení vidlic a nosníků	23
2.6	Vybraná vozidla pro srovnávání navrženého zařízení	24
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	25
3.1	Analýza problému	25
3.2	Analýza a zhodnocení řešerše	25
3.3	Specifikace a omezení	26
3.4	Cíl práce	27
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	28
4.1	Analýza nájezdu kola na nerovnost	28
4.1.1	Statická síla na přední osu kola	29
4.1.2	Síla na osu předního kola při nájezdu na nerovnost	30
4.1.3	Pro pružení teleskopické vidlice	31
4.1.4	Aplikace uvedených vztahů na vybraná vozidla	32
4.2	Kompenzační člen	33
4.3	Spodní uchycení	36
4.3.1	Šroubované	36
4.3.2	Svařované	37
4.3.3	Srovnání spodního uložení	38
4.4	Horní uchycení	38
4.4.1	Rozříznutý hranol s vyvrtanou dírou	38
4.4.2	Trubka s přivařenými patkami	39

4.4.3	Srovnání horního uchycení	40
4.5	Horní nosník	40
4.5.1	Svařovaný	40
4.5.2	Ohýbaný	41
4.5.3	Šroubovaný	41
4.5.4	Srovnání horních nosníků	42
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	43
5.1	Kompenzační člen	43
5.2	Spodní uchycení	44
5.2.1	Spodní uložení kompenzační páky	46
5.2.2	Horní uložení kompenzační páky	46
5.3	Upínač	47
5.4	Horní nosník	48
5.5	Návod před započítím měření	49
5.6	Pevnostní výpočty součástí	50
5.6.1	Šrouby	50
5.6.2	Ložiska	50
5.6.3	Bočnice a deska horního nosníku	51
6	DISKUSE	52
7	ZÁVĚR	53
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	57
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	58
11	SEZNAM TABULEK	60
12	SEZNAM PŘÍLOH	61

1 ÚVOD

Přední odpružená vidlice motocyklů a jízdních kol je nejdůležitější součástí podvozku. Hlavním účelem je při přejíždění jakýchkoli nerovností vozovky zajistit neustálý kontakt kola se zemí a co nejmenší přenášení rázů na rám vozidla. Nejčastěji používaný druh vidlic jsou teleskopické vidlice. Skládají se z pružicí a tlumicí jednotky. Nastavováním těchto dvou částí je možné měnit jízdní vlastnosti vidlice. Uložení jednotlivých částí vidlice do sebe je realizováno pomocí kluzných vedení. Smykové tření v těchto uloženích je špatně říditelné. Při přejezdu malých nerovností toto tření způsobuje špatnou funkci celého zavěšení, což ovlivňuje ovladatelnost vozidla a následně může způsobit ztrátu kontroly nad řízením. Jelikož u jednostopých vozidel není jako v automobilu řidič chráněn velkými kusy karoserie, je nutné věnovat nastavení odpružení a tlumení mnohem větší pozornost. Testování předních vidlic ve většině případů probíhá na speciálních zařízeních, kdy vidlice je svisle upevněna a zatížení působí pouze silou v její ose. Při této konfiguraci však nepůsobí žádné síly kolmo k ose a tření se prakticky neprojeví. Aby docházelo také ke kolmému namáhání a ohýbání celé vidlice jako v reálné aplikaci, je nutné ji upnout pod určitým úhlem. Na volném trhu se nyní nenachází žádný přípravek, který by dovoľoval toto upevnění a zkoušení s reálným zatěžováním jako při přejíždění nerovností. Z tohoto důvodu je třeba k testovacímu zařízení umístěnému v laboratořích Ústavu konstruování vyvinout speciální upínací zařízení. Při konstrukci je nutné dbát, aby zatěžování co nejvíce kopírovalo reálné zatížení přejezdu kola přes nerovnost vozovky.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Zavěšení předního kola dvoustopých vozidel

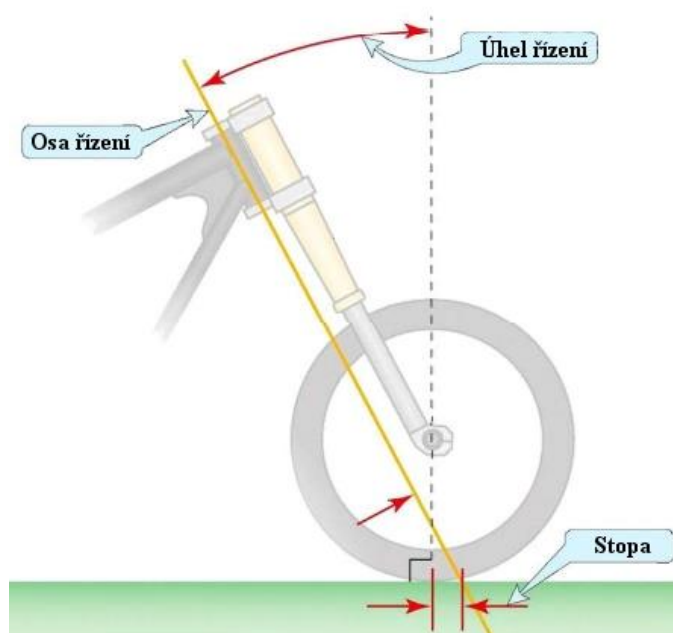
Úkolem předního zavěšení kola je vést kolo v určeném, tedy přímém směru a dovolit kolu při jízdě eliminovat nerovnosti. Proti zadnímu zavěšení je přední vždy mnoho komplikovanější, protože u předního kola přibývá úloha řízení. V minulosti se objevovali různé druhy systémy. Počínaje různými pákovými, kyvnými soustavami až k teleskopickým vidlicím. Kyvné systémy se v současné době téměř nevyskytují. U motocyklů a jízdních kol se v posledních desetiletích používají výhradně vidlice s teleskopickými tlumiči rozmanitých konstrukčních variant. Důležitým parametrem tohoto typu odpružení předního kola je úhel řízení, stopa a nastavení odpružení. [1] [2]



Obr. 2-1 Teleskopická vidlice a) motocyklu; b) jízdního kola [3] [4]

2.1.1 Geometrie

Geometrie přední vidlice má značný vliv na ovladatelnost dvoustopých vozidel. Nejdůležitější proměnnou je úhel sklonu přední vidlice. Je definován jako úhel vytyčený svislicí procházející osou kola a osou řízení. Nabývá nejčastěji hodnot mezi 20° až 27° . Někdy se také udává mezi osou otáčení hlavy řídítek a rovinou vozovky. Pokud budeme brát v úvahu první zmíněný způsob měření, který je i na Obr. 2-2, způsobuje jeho změna následující jízdní vlastnosti. Větší úhel sklonu přední vidlice má za následek stabilizující účinek na řízení jednostopého vozidla a lepší vedení předního kola při vysokých rychlostech. Při nízkých rychlostech však působí motocykl neohrabaným dojmem. Naopak menším sklonu přední vidlice lépe eliminuje kmitání řídítek a vozidlo je v nižších rychlostech více obratné. [5] [6]



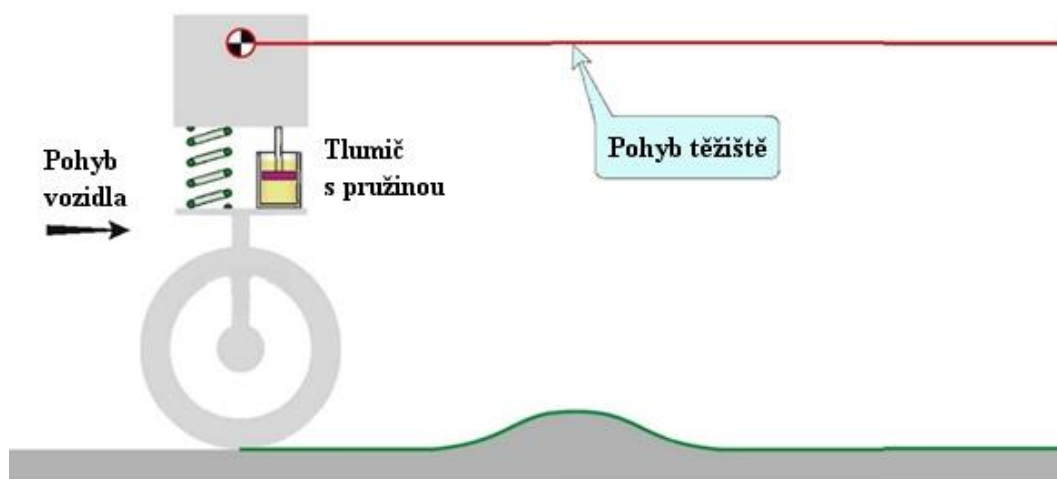
Obr. 2-2 Geometrie předního kola jednostopých vozidel [1]

2.1.2 Funkce zavěšení

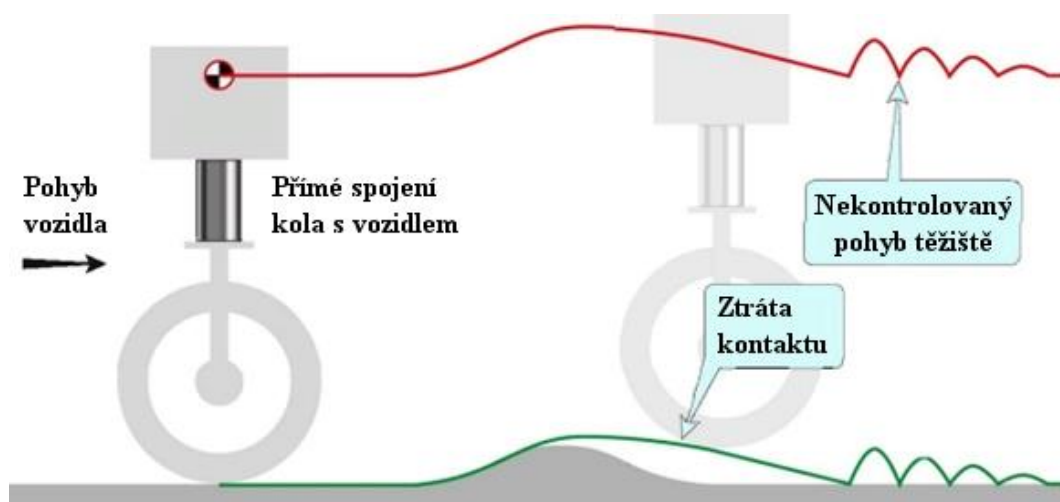
Na přední odpruženou vidlici máme následující požadavky:

- Udržet nepřerušovaný styk kola s vozovkou při jízdě po nerovnostech
- Zajistit dostatečný komfort a snížit únavu jezdce při jízdě

Pokud si představíme vozidlo s ideální přední vidlicí, jako je na Obr. 2-3, mělo by maximální přilnavost a konzistentní pohyb těžiště. Uvnitř tlumiče by byla zanedbatelná drsnost naopak by odolával zasunutí u brždění. Při srovnání zmíněných vlastností si můžeme všimnout, že některé z nich jsou protichůdné. Například minimální drsnost a odolnost proti ponoření. Z tohoto vyplývá, že vytvořit zavěšení s dobrými vlastnostmi nebude úplně jednoduché. Hlavní podstatou předních vidlic je snížit přenos kmitavých pohybů náprav vozidla na jeho rám a další části pevně připevněné s nosnými trubkami teleskopických vidlic. Zabezpečuje tak ochranu nákladu a posádky vůči nežádoucím vibracím. Vidlice snižuje opotřebení dílů podvozku, nevystavuje rám nebo zadní vidlici nadměrnému namáhání a zabraňuje při přejetí nerovností odskakování pneumatiky od vozovky. Díky tomu je umožněn přenos obvodových sil (hnací a brzdící). Ztráta kontaktu předního kola s vozovkou by měla nepříznivý vliv na ovladatelnost vozidla. Důsledek špatného nebo žádného pružení a tlumení je viditelný na Obr. 2-4. [6] [2]



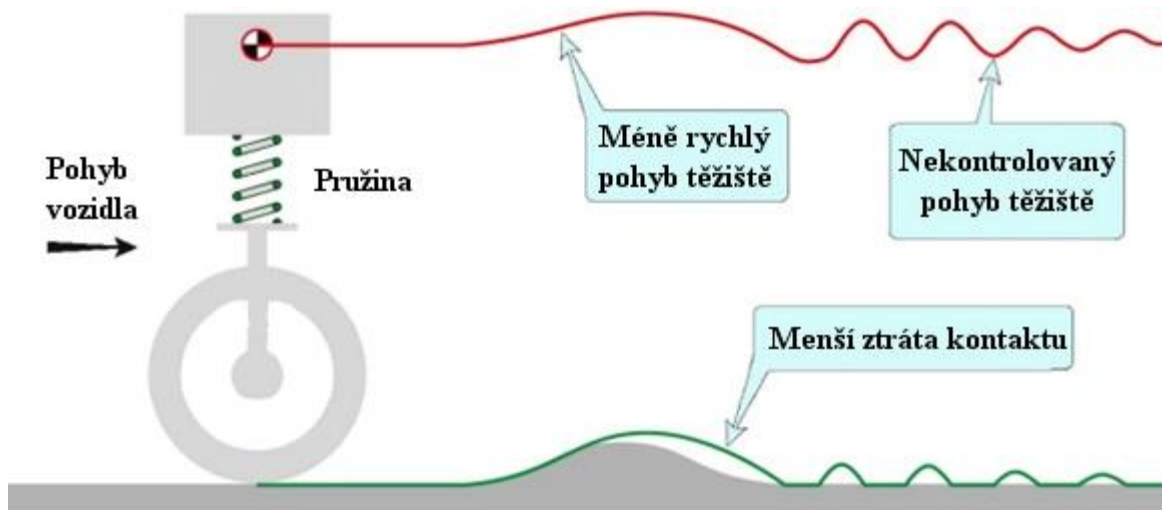
Obr. 2-3 Přejezd kola přes nerovnost s ideální vidlicí [1]



Obr. 2-4 Přejezd kola přes nerovnost bez tlumení a pružení [1]

Pružení

Pružení má za úkol citlivě a progresivně reagovat na nerovnosti terénu, aniž by jeho vzájemně se pohybující části na sebe dosedaly. Dovoluje kolu nerovnost silnice přejet bez prudké změny polohy těžiště vozidla jako na Obr. 2-5 a následně znovu přitlačí kolo k vozovce. Uvnitř pružiny dochází k akumulaci kinetické energie. Velikost síly vyvolané pružinou je přímo závislá na zdvihu zavěšení. Nejčastěji používané typy pružících jednotek jsou u dvoustopých vozidel mechanické pružiny (šroubové válcové) nebo ve výjimečných případech pružiny plynové využívající stlačený plyn, např. dusík. Dochází k mírnému tlumení vlivem přeměny části akumulované energie na teplo. [1] [2]



Obr. 2-5 Přejezd kola přes nerovnost pouze s pružením [1]

Tlumení

Tlumení je přeměna kinetické energie v jiný druh energie. Nejčastěji se v tlumičích používá přeměna v energii tepelnou. Jak se vidlice stlačuje, píst tlumicí tyče protlačuje olej různými otvory a zpomaluje pohyb. Při zpětném pohybu olej protéká jinou sadou otvorů a opět tlumí pohyb (obvykle ve větší míře), protože potřebujeme menší tlumení stlačování než navracení do původní polohy. Tlumení je závislé pouze na rychlosti pohybu zasouvání a nikoli na poloze zdvihu zavěšení. Touto vlastností se zásadně liší od pružin. Na trhu jsou dostupné i tlumení s jiným principem, od jednoduchých, kdy je médium umístěné uvnitř tlumiče protlačováno otvorem, nebo složitější konstrukce s externě nastavitelnými vlastnostmi tlumení. Mimo viskózní tření dopomáhá k tlumení také tření smykové. Tento druh tření ovšem není žádoucí a má za následek špatné tlumení malých nerovností. [1]

2.1.3 Vliv druhu tření na tlumení

V zavěšení předních kol působí tedy dva druhy tření

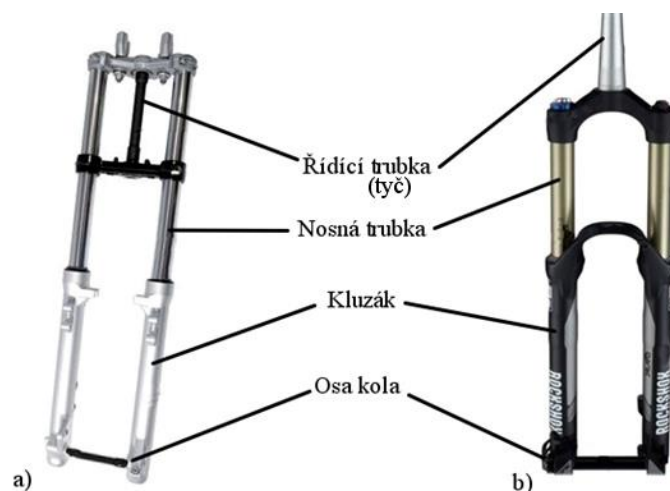
- Viskózní tření v kapalině
- Smykové tření

Tření je odpor proti pohybu, vznikající při pohybu dvou těles po sobě. Může se jednat jak o pohyb dvou vzájemně se dotýkajících ploch těles, tak o pohyb vrstev kapaliny. Jeho velikost je závislá na charakteru tření, normálové síle a zda jsou plochy vůči sobě již v pohybu či nikoli. Třením se mění kinetická energie na tepelnou. Účelem tlumící jednotky je zavést do systému odpružení přední vidlice řízené tření. Bohužel uložením pohyblivých částí se do soustavy vnáší i těžce ovladatelné smykové tření. Smykové tření se dělí do dvou částí, tření statické a dynamické. Skokový charakter přechodu mezi jednotlivými druhy je v tlumení nechtěný, jelikož při malé síle od nerovnosti nedochází k překročení statické hodnoty třecí síly a celý systém zavěšení se stává prakticky nefunkční. V tomto stavu se všechny síly přenášejí přímo na rám stroje, což způsobuje poškození jednotlivých částí a zhoršuje ovladatelnost. [1] [7]

2.2 Konstrukce vidlice kola a motocyklu

Teleskopická vidlice tvoří největší část předního zavěšení kola motocyklů a jízdních kol. Jsou na ni připevněny třmeny brzd, kolo a další příslušenství. Velikou výhodou je dobrá nastavitelnost tlumení a pružení. Nevýhodou je složitá konstrukce. Od toho se odvíjí také cena a nutná údržba. Přední vidlice motocyklů i jízdních kol plní stejnou funkci. Kluzná trubka, která je posuvně uložena na nepohyblivé nosné trubce. U vidlice typu upside down je pevně uchycena kluzná trubka. Oba díly se vzájemně axiálně posouvají podle působících sil na kolo způsobené nerovnostmi vozovky, či bržděním. Při pohlednutí na Obr. 2-6 i pro běžného uživatele je patrný rozdíl. Přední vidlice kola je tvořena ze dvou trubek, které jsou již přibližně ve dvou třetinách délky vidlice nedemontovatelně spojeny s řídící trubkou. Za to vidlice motocyklů se skládá ze dvou separátních nosníků spojených vidlicovým můstkem. Celá takto smontovaná sestava je připevněna k řídítkům přes řídící tyč. [6]

Vnitřní stavba obou vidlic Obr. 2-7 dost záleží na individuálním provedení. Vidlice motocyklů je sestavena ze dvou stejných teleskopických nosníků. Každá tato samostatná jednotka má pružící a tlumící část. Pružina je obvykle vinuty okolo tlumičů umístěna uvnitř nosných trubek. Zatím co u velké části jízdních kol je z důvodu ušetření hmotnosti a výrobních nákladů v jedné trubce tlumící jednotka a uvnitř druhé pouze jednotka pružící. Jsou však na trhu i případy, kdy tlumící jednotka úplně chybí, nebo je konstrukce stejná jako u motocyklových vidlic. [1] [8]



Obr. 2-6 Vnější konstrukce vidlice; a) motocyklu; b) jízdního kola [9] [10]



Obr. 2-7 Vnitřní konstrukce vidlice; a) motocyklu; b) jízdního kola [8] [11]

2.3 Druhy zakončení vidlic a nosníků

2.3.1 Motocykly

Vidlice motocyklů jako upínací rozměry používá řídící tyč a otvor ve spodní části jednotlivých nosníků určený pro osu kola. Jelikož jsou však oba nosníky stejné při testování se nejčastěji zkouší pouze jeden nosník. Vzhledem k velkému počtu druhů motocyklů podle velikosti a rozmanitému množství výrobců po celém světě je rozpětí upínacích rozměrů veliké. U klasických teleskopických tlumičů je potřeba rozměr kluzáku. Naopak tlumiče typu upside down Obr. 2-8 se upínají za nosnou trubku. Tyto průměry se pohybují v rozmezí od 27 mm do 50 mm. [12]



Obr. 2-8 Upside down nosníky [13]

Spodní konec bývá tvořen soustavou děr k upnutí třmene brzd a otvorem osy kola. Pro upevnění při měření je důležitá největší díra Obr. 2-9, která slouží k provlečení osy kola. Většinou se používá jeden nosník s hladkou dírou a druhý se závitovou. Na trhu je však možné najít i nosníky jenom s hladkými otvory. Pro zamezení kývání kola je osa upevněna také svěrným spojem. Rozměry os kol motocyklů nabývají hodnot 10 mm, 12 mm, 15 mm, 17 mm, 20 mm a 25 mm. [14]



Obr. 2-9 Spodní část nosníku motocyklu [13]

2.3.2 Kola

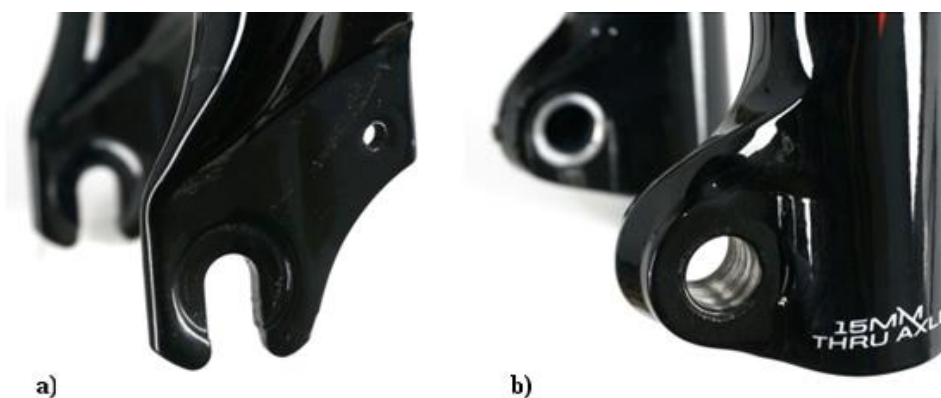
Ve světě kol se výhradně používají dva typy horního zakončení teleskopických vidlic. Zastaralejší způsob má na konci řídicí trubky závit. Připevnění vidlice ke kolu je zajištěno pomocí matice Obr. 2-10 a), která táhne vidlici směrem vzhůru a pomocí osazení na vidlici stlačuje dvě proti sobě uložená axiální ložiska. Další možností a dnes dominantní, je trubka z vnějšku hladká s uvnitř umístěnou speciální korunovou maticí Obr. 2-10 b). Utažení probíhá pomocí šroubu na stejném principu jako u předešlé varianty. [15]

Vyrábí se pouze čtyři druhy standartních rozměrů. U moderních kol se používají přední vidlice s průměrem řídicí trubky 25,4 mm, 28,575 mm, 31,75 mm nebo 38,1 mm. Hodnoty mají nezaokrouhlené rozměry, jelikož jsou převedeny z palců. Výjimkou jsou závodní kola, které používají kuželové trubky. Zároveň jsou na trhu také vidlice jízdních kol se stejnou konstrukcí jako vidlice motocyklů. Nosníky těchto vidlic mají maximální průměr 40 mm. [15]

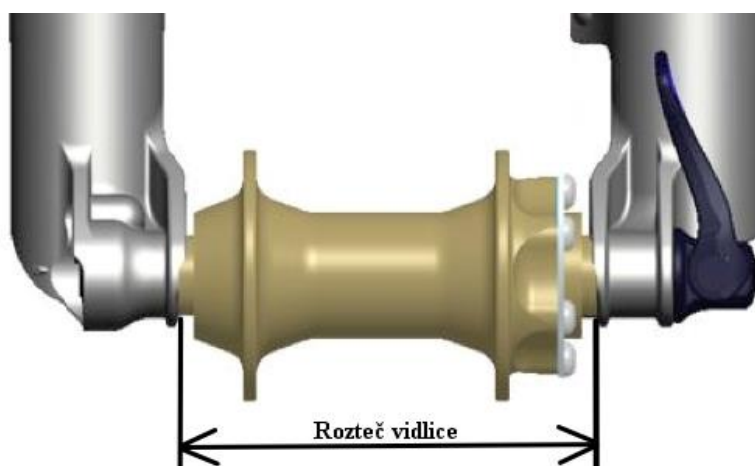


Obr. 2-10 Horní zakončení vidlice kola; a) závitové; b) hladké [16] [17]

Spodní konec vidlic jízdních kol je možné nalézt ve dvou variántách. Konec jednotlivých trubek vidlice je tvořen otevřenou drážkou, do které se osa kola nasune Obr. 2-11 a), popřípadě dvěma dírami, kterými je osu třeba provléknout Obr. 2-11 b). V obou případech dojde ke stažení šroubem. Jelikož kola mají menší hmotnost jejich osy jsou menšího průměru v porovnání s motocykly. Jejich hodnota nabývá hodnot 9 mm, 12 mm, 15 mm a 20 mm. U kol je třeba také znát rozměr spodní rozteč vidlic Obr. 2-12. Většina moderních kol má tuto rozteč 100 mm, výjimkou z pravidla jsou pouze horská sjezdová kola, která ji mají 110 mm. [18]



Obr. 2-11 Konec vidlic kol; a) otevřená drážka; b) otvor [19]



Obr. 2-12 Rozteč vidlice [20]

2.4 Testování vidlic a nosníků

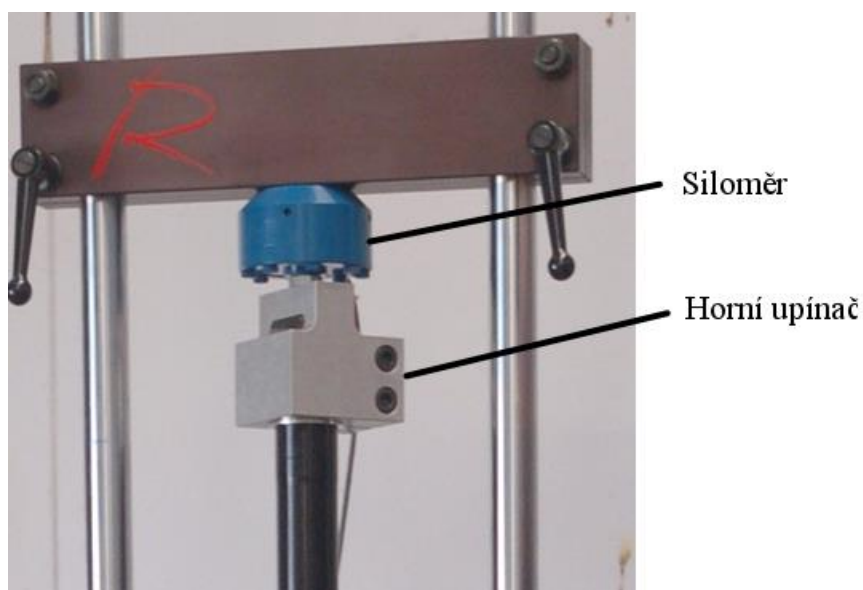
Aby bylo možné kontrolovat, zda tlumiče mají požadované vlastnosti je nutné změřit jeho charakteristiky. K přesnému zkoušení se používají demontážní zkoušky, během kterých je nutné celou vidlici nebo nosník upnout do dynamometru Obr. 2-13. V horní části je zkoušený tlumič připevněn k siloměru. Opačný konec je uchycen k zatěžovacímu pístu, který zatěžuje měřenou vidlici či nosník. Nejčastěji probíhá zkoušení ve vertikální poloze, kdy stroj působí ve spodní části a stlačuje pouze tlumič či celé zavěšení.



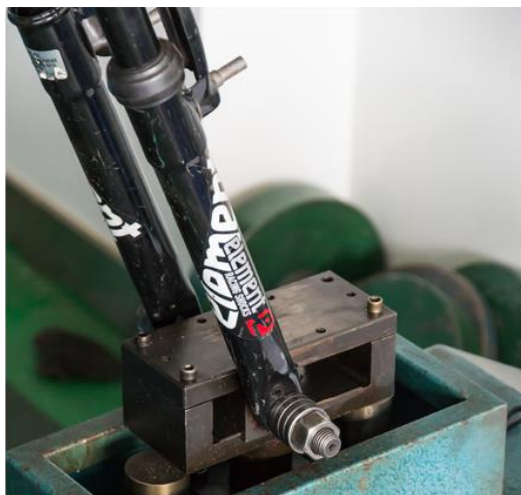
Obr. 2-13 Pulzní dynamometr [21]

2.5 Průzkum trhu měřících zařízení vidlic a nosníků

Byl proveden průzkum trhu existujících zkušebních zařízení a téměř všichni výrobci zkoušejí teleskopické zavěšení pouze ve svislé poloze jako na Obr. 2-13. Z těchto zařízení je však vhodné si vzít inspiraci v uchycení jednotlivých nosníků a vidlic. Dostatečné připevnění tlumiče k rámu stroje je pro správné provedení testu klíčové. Mnoho výrobců používá pro horní uchycení svěrný spoj, například jako na Obr. 2-14. Spodní uchycení bývá nejčastěji u nosníků i vidlic vyřešeno přes otvor pro osu kola jako na Obr. 2-15.



Obr. 2-14 Svěrné uchycení nosníku [22]



Obr. 2-15 Uchycení vidlice jízdního kola [23]

2.6 Vybraná vozidla pro srovnávání navrženého zařízení

Pro možnost porovnávat vymyšlené zařízení s reálnou aplikací volím čtyři motocykly a dvě kola. Tyto vozidla jsou vybraná napříč celým spektrem. Snažil jsem se vybrat různě velké a výkonné motorky u kol jsou vybrány dvě různá horská kola. Pro výpočty jsou od výrobců zjištěna potřebná data pro provedení výpočtů.

Zvolené motocykly:

- Kawasaki Z 1000 [24]
- Honda CB 500 F [25]
- Husqvarna TX 125 [26]
- Honda PCX 125 [27]

Zvolené kola:

- Pivot Mach 4 SL MD [28]
- Specialized Chisel [29]

Tab. 1 Technické parametry zvolených vozidel

Název vozidla (rok modelu)	Hmotnost m_m (kg)	Rozvor p (mm)	Sklon vidlice α (°)	Průměr kola d (mm)
Kawasaki Z 1000 (2021)	221,0	1435	24,5	600
Honda CB 500 F (2021)	189,0	1443	25,0	600
Husqvarna TX 125 (2019)	92,0	1485	26,1	733
Honda PCX 125 (2015)	125,0	1306	27,0	518
Pivot Mach 4 SL MD (2020)	9,4	1136	22,0	737
Specialized Chisel (2019)	12,1	1100	20,0	737

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Testování vidlic jednostopých vozidel nejčastěji probíhá ve svislé poloze. V tomto uspořádání však nedochází k projevení třecích sil vznikajících v kluzných uložení jednotlivých komponent zavěšení. Aby došlo k promítnutí všech vlivů do výsledků měření je nutné upnout zavěšení do stejné polohy jako při skutečném použití a působit na něj vhodně orientovanou silou. Na trhu se však nenachází přípravek, který by dokázal tyto vlivy do měření zahrnout. Z tohoto důvodu je třeba pro odbor technické diagnostiky vyvinout upínací zařízení pro zkoušení předního zavěšení. V rámci kapitoly 1 Současný stav poznání, bylo nalezeno několik problémů, které je třeba vyřešit a promítnout výsledky do koncepčních návrhů a následně konstrukčního řešení. Jako jsou horní, spodní uchycení zavěšení a kompenzace stranového posuvu.

3.2 Analýza a zhodnocení rešerše

Konstrukce zavěšení motocyklů dovoluje zkoušení pouze jednoho nosníku, kdy dojde k výraznému snížení zatěžovací síly při zachování výsledků. Naopak vidlice kol je nutné skoro vždy testovat celé. Nastavení úhlu řízení je zásadní pro vzniku smykového tření v uložení vidlice, pro zajištění tohoto úhlu je třeba vymyslet jednoduché ale funkční zajištění. [1] [7] [8] [11] [21]

Vlivem stlačování teleskopického zavěšení při určitém úhlu řízení dochází nejen k vertikálnímu pohybu, ale i k horizontálnímu posunutí konce nosníku. Aby nedošlo k poškození upínacího zařízení je třeba vložit mezi konec nosníku či vidlice a zkušební píst kompenzační člen.

Přední zavěšení motocyklů i jízdních kol má v horní části nejčastěji kruhový průřez, který je vhodný k uchycení pomocí svěrného spoje. Jako využívají různí výrobci zkušebních zařízení. Průměry konců se výrazně liší, proto je nutné vymyslet upnutí, do kterého se budou moc vkládat různé redukce. Stejný problém nastává s uchycením spodní části, kdy vozidla mají podle své velikosti jiný průměr osy kola. [12] [14] [15] [18]

3.3 Specifikace a omezení

Modifikovatelnost

Vidlice se na trhu v této době nachází velké množství. Aby bylo zařízení co nejvíce univerzální, bude třeba v některých případech díly měnit. Z tohoto důvodu by některé důležité spoje měly být rozebíratelné.

Typ testovaných vidlic

Přední vidlice motocyklů mohou být různé konstrukce a vytvořit přípravek, na kterém by bylo možné otestovat všechny druhy je těžko proveditelné. Zároveň toto zařízení by bylo velice složité a nákladné. Z těchto důvodů omezíme možnost testování pouze na teleskopické zavěšení. Primární je testování jednotlivých nosníků u motocyklů. V případě jízdních kol je možné testovat pouze celé vidlice, které jsou na horní straně zakončeny řídicí trubicí a dole mají dvě ramena. Pro zkoušení jinačích předních zavěšení bude nutná výroba dalšího vybavení. Nejdelší délku vidlice, při které je možné dosáhnout maximálního konstruovaného úhlu řízení volím 900 mm.

Maximální zatížení a rozměry

Rozměry jsou limitovány parametry zkušebního rámu pulsátoru Inova. Maximální výška mezi siloměrem a zkušebním pístem je 1400 mm. Zařízení se musí vejít mezi sloupky stavitelného portálu, jejichž vzdálenost je 340 mm. Upevnění zařízení je nahoře k siloměru i dole k testovacímu válci zajištěno pomocí šroubu M16. Velikost síly působící na celou vidlici u vybraných vozidel při nájezdu na běžné nerovnosti u nejtěžšího zvoleného vozidla dosahuje dle výpočtů v kapitole 4.1.4 sotva poloviny zadaného maximálního zatížení 5 kN. Jelikož u motocyklů, u kterých dosahuje tato síla nejvyšších hodnot budeme zkoušet pouze jeden nosník bylo by zařízení zbytečně robustní. Z tohoto důvodu snižuji maximální provozní sílu na 3 kN.

Rozsah nastavitelného úhlu řízení

Maximální sklon vidlice volím 30°, to odpovídá největším běžně používaným úhlům u moderních motocyklů a kol. Minimální hodnoty úhlu volím 5°. Zahrnutí svislého testování do navrhovaného přípravku by výrazně komplikovalo celou konstrukci. Z tohoto důvodu zkoušení zavěšení ve svislé poloze bude provedeno na zařízení, které se již v laboratořích technické diagnostiky nachází.

Spodní uchycení

Spodní uchycení musí zajišťovat uchycení všech dostupných průměrů os jak motocyklů, tak jízdních kol. V ojedinělých případech se musí dát na spodní uchycení dát připevnit i přípravek pro svěrné uchycení. U kol vystupuje i rozteč mezi jednotlivými větvemi vidlice.

Rozměry os motocyklů: 10 mm, 12 mm, 15 mm, 17 mm, 20 mm, 25 mm [14]

Rozměry os jízdních kol: 9 mm, 12 mm, 15 mm a 20 mm [18]

Rozteč vidlic u jízdních kol: 100 mm (ojediněle 110 mm) [18]

Horní uchycení

Horní část předního teleskopického zavěšení jednostopých vozidle je tvořena převážně obyčejnou hladkou trubkou a liší se jenom průměry. U motocyklů je rozpětí velmi velké, zatím co kola mají pouze velmi malý počet průměrů.

Průměry nosníků motocyklů: od 27 mm do 49 mm [12]

Průměry řídicí trubky kol: 25,4 mm, 28,575 mm, 31,75mm, 38,1mm [15]

3.4 Cíl práce

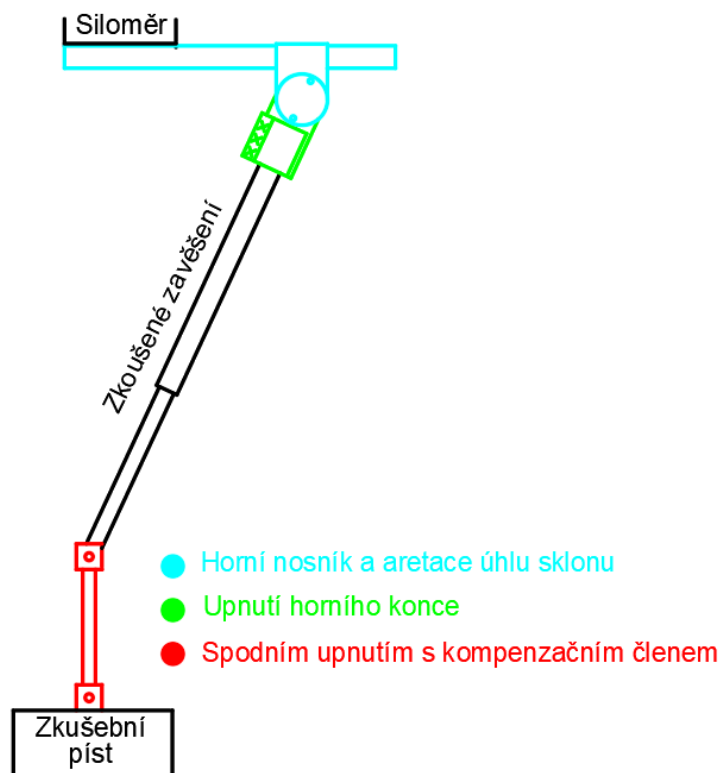
Výstupem práce bude vyvinout upínací zařízení pro zkoušky teleskopických nosníků přední vidlic motocyklů či teleskopických vidlic elektro kol. Tento přípravek musí napodobovat namáhání zavěšení při jízdě. Je důležité, aby vyvinutý přípravek vydržel zatížení při zkoušení a byl kompatibilní s hydraulickým pulsátorem značky Inova, který se nachází v laboratořích Ústavu Konstruování.

Dílčí cíle:

- Zkonstruovat horní a spodní uchycení zavěšení kol a motocyklů
- Navrhnout nastavování úhlu řízení v rozsahu 5° až 30°
- Navrhnout kompenzační prvek napodobující reálné působení sil
- Pevnostní kontrola přípravku při maximálním zatížení 3 kN
- Manuál pro použití vyvinutého zařízení.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Z analýz problému vyplývá, že je třeba návrh upínacího zařízení rozdělit na několik samostatných částí. U každého konstrukčního celku bude navrženo několik koncepčních variant, ze kterých se vybere finální varianta a ta se dále rozpracuje v konstrukčním řešení.



Obr. 4-1 Koncepční schéma zařízení

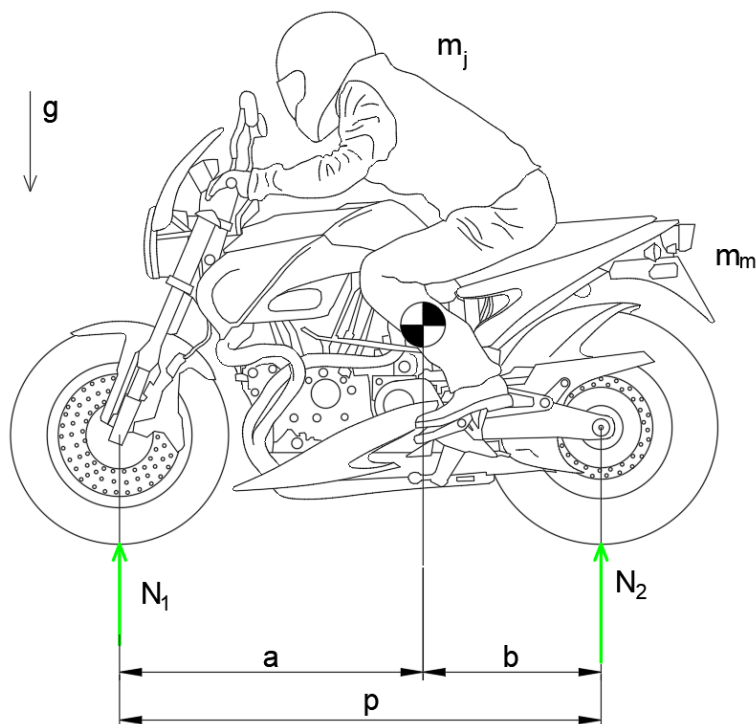
4.1 Analýza nájezdu kola na nerovnost

Pro správné navržení kinematiky kompenzačního členu, aby způsoboval podobné zatížení vidlice, jaké nastává při nájezdu na nerovnost je nutné nejdříve zjistit, jak se mění radiální síla působící na vidlici v závislosti na velikosti nerovnosti. Axiální síla způsobí zasunutí teleskopického zavěšení o určitou hodnotu.

Hodnota zatížení F je svázána dle vztahů v kapitole 4.1.2 s výškou nerovnosti h , poloměrem kola r a tíhovou silou na přední kolo N_1 . Následující výpočty a z nich vzniklé grafy byly provedeny na zmíněných čtyřech motocyklech, dvou horských kolech.

4.1.1 Statická síla na přední osu kola

Ze zjištěných parametru jednotlivých vozidel Tab. 1 a rovnic statické rovnováhy jsou vypočteny síly na osy kol N_1 a N_2 . Zatížení předního kola N_1 , dále použijeme ve výpočtech velikosti a směru síly působící na kolo při přejezdu nerovnosti. Váhu jezdce volím $m_j = 100$ kg.



Obr. 4-2 Zatížení kol vozidla

Celková tíha motocyklu s jezdcem:

$$F_G = (m_m + m_j) \cdot g \quad (1)$$

Těžiště vozidla není přesně uprostřed jeho rozvoru. Větší část váhy je na zadní kolo, a tedy i těžiště se nachází až za půlkou motorky. Pro výpočty bylo těžiště umístěno do vzdálenosti, která vyšla z aritmetického průměru měření různých typů jednostopých vozidel. Vzdálenost těžiště od osy předního kola $a = 0,55 \cdot p$. [30]

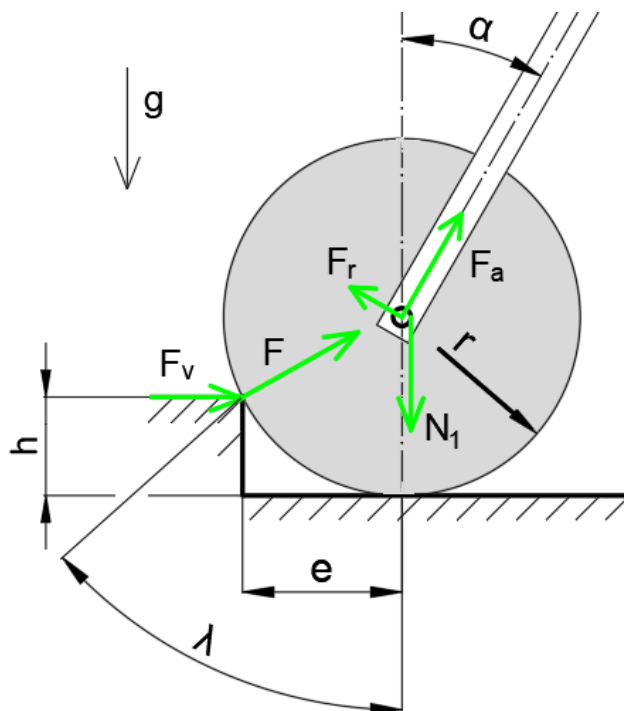
Z rovnováhy sil plyne:

$$N_2 = \frac{F_G \cdot a}{p} \quad (2)$$

$$N_1 = -N_2 + F_G \quad (3)$$

4.1.2 Síla na osu předního kola při nájezdu na nerovnost

Pokud kolo najede na nerovnost dochází ke vzniku síly F . Dle velikosti nerovnosti h se mění velikost síly F a úhel λ , pod kterým síla na kolo působí. Obě zmíněné veličiny vypočteme pomocí valivého odporu, která má podobný charakter jako nájezd kola na nerovnost a geometrických vazeb. Nejprve je nutné spočítat rameno valivého odporu e , pomocí něhož dále můžeme zjistit horizontální sílu F_v . Přepočteme přes geometrické vazby vyjádříme úhel λ a celkovou sílu F . Tento výpočet je správný pouze pro statické namáhání. Jelikož síly při jízdě působí dynamicky musíme sílu F přiblížit reálnému zatěžování vynásobením součinitelem rázu a_r . V automobilní průmyslu se používá pro prvotní návrhy rázový součinitel $a_r = 2$. Promítnutím síly F do souřadného systému natočeného tak, kdy jedna osa je totožná s osou zavěšení a druhá osa k ní kolmá dostáváme sílu F_a stlačující přední zavěšení a sílu F_r způsobuje ohýbání a smykové tření v uložení. Při výpočtu byla zanedbaná tuhost pneumatiky a ráfku kola. Velikost nerovnosti h v Obr. 4-3 se mění od 0 mm do 100 mm, což odpovídá běžným hrbolům na silnici.



Obr. 4-3 Schéma sil na přední kolo při nájezdu na nerovnost

Vzdálenost osy kola k hraně nerovnosti:

$$e = \sqrt{r^2 - (r - h)^2} \quad (4)$$

Vodorovná síla na kolo:

$$F_v = e \cdot \frac{N_1}{r} \quad (5)$$

Úhel působení síly na osu kola:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{F_v}{N_1} \right) \quad (6)$$

Výsledná síla na osu kola:

$$F = a_r \cdot \frac{F_v}{\sin(\lambda)} \quad (7)$$

Axiální síla působící na zavěšení:

$$F_a = F \cdot \cos(\alpha - \lambda) \quad (8)$$

Radiální síla působící na zavěšení:

$$F_r = F \cdot \sin(\alpha - \lambda) \quad (9)$$

4.1.3 Pro pružení teleskopické vidlice

Z výpočtu v kapitole 4.1.2. využijeme hodnoty sílu F_a , která působí v ose zavěšení a stlačuje teleskopický nosník. K získání hodnoty stlačení nejdříve potřebujeme určit tuhost pružiny k . Pružina ve vidlici je nalezena na určitou vlastní frekvenci f_0 . Pro běžné a závodní motorky se tato frekvence pohybuje od hodnoty 1 do 2,5 Hz [31]. Volím vlastní frekvenci $f_0 = 1,8$ Hz. Dále pomocí axiální síly působící vypočteme hodnotu pro pružení vidlice y_{pv} . K této hodnotě se budeme snažit také přiblížit zkonstruovaným zařízením.

Výpočet tuhosti pružiny z její vlastní frekvence:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow k = (2 \cdot \pi \cdot f_0)^2 \cdot \frac{N_1}{g} \quad (10)$$

Pro pružení teleskopické vidlice:

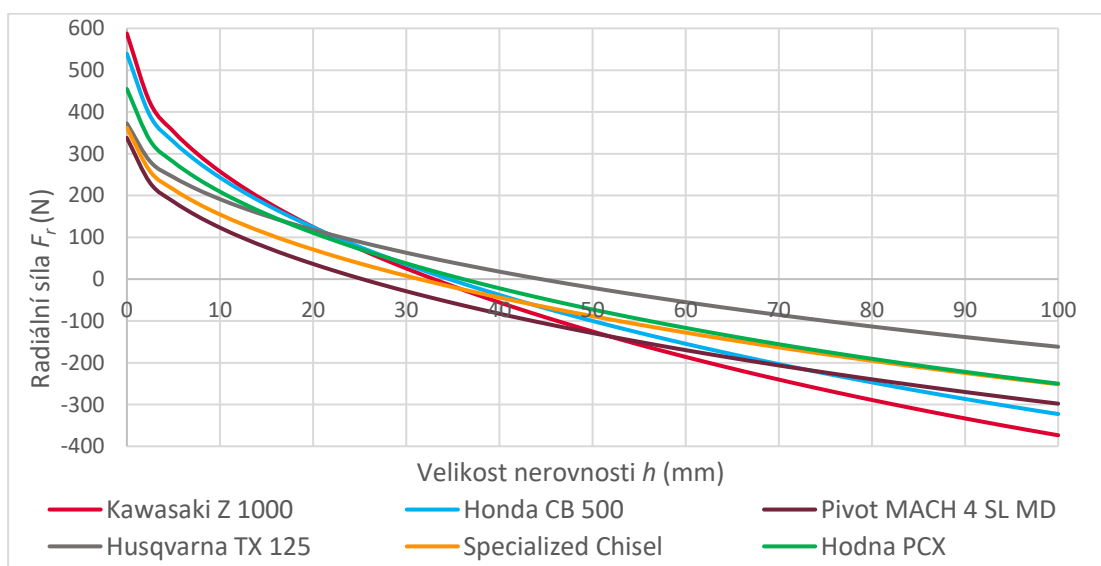
$$y_{pv} = \frac{k}{F_a} - \frac{k}{\frac{F_G}{\cos(\alpha)}} \quad (11)$$

4.1.4 Aplikace uvedených vztahů na vybraná vozidla

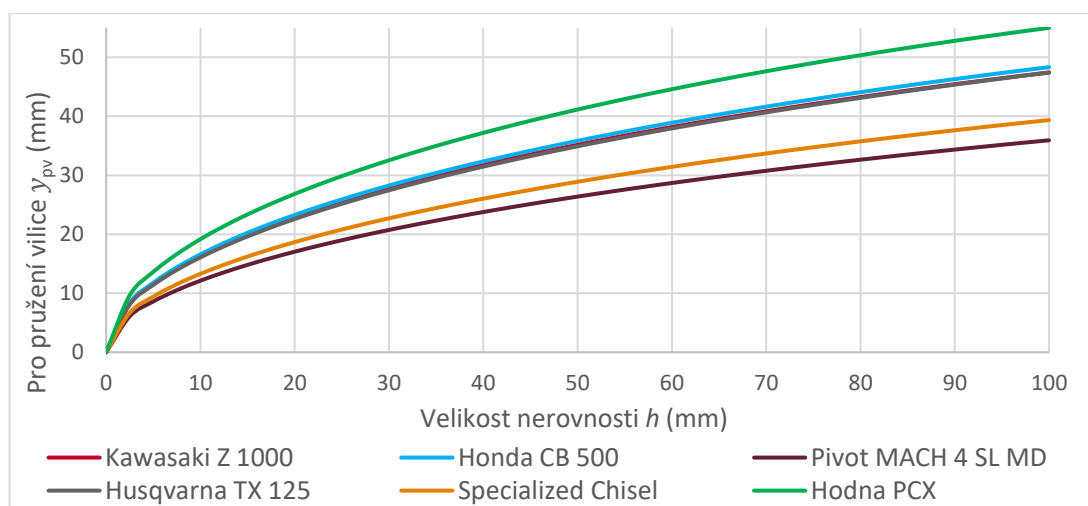
Pro odhad sil potřebných při zkoušení na vidlici či nosník byla zjištěna svislá síla působící na celé zavěšení F_y u jednotlivých vozidel. Její hodnoty jsou vloženy do Tab. 2 Velikosti svislé síly působící na celé zavěšení zvolených vozidel. Ze vztahů, které byly uvedeny sestavíme závislost radiální síly F_r na velikosti nerovnosti h na Obr. 4-4. Další pro nás potřebnou závislostí je velikost pro pružení vidlice y_{pv} na výšce nerovnosti h Obr. 4-5. Do vztahů byly dosazeny hodnoty pro vybraná vozidla z kapitoly 2.6. Při přejezdu kola přes nerovnost velikosti 0 až 100 mm. U motocyklů jsou hodnoty radiální sil již přepočítány pouze na jeden nosník. Pro porovnávání vypočtených dat se zkonstruovaným zařízením jsou křivky dále nahrazeny střední hodnotou.

Tab. 2 Velikosti svislé síly působící na celé zavěšení zvolených vozidel

Název vozidla (rok modelu)	Svislá síla na celou vidlici F_y (N)
Kawasaki Z 1000 (2021)	2834
Honda CB 500 F (2021)	2552
Husqvarna TX 125 (2019)	1694
Hodna PCX (2012)	2004
Pivot MACH 4 SL MD (2020)	966
Specialized Chisel (2019)	988



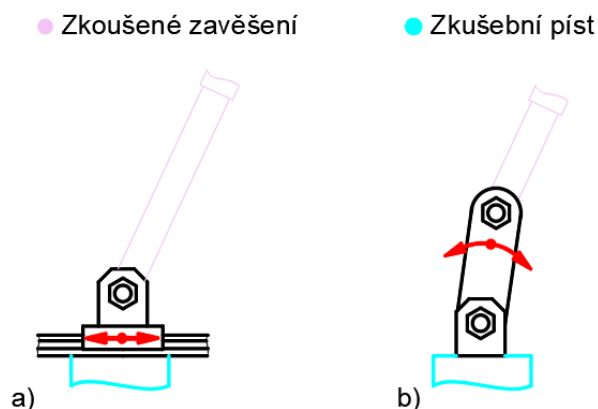
Obr. 4-4 Graf radiální síly působící na zavěšení zvolených vozidel



Obr. 4-5 Graf pro pružení teleskopického zavěšení zvolených vozidel

4.2 Kompenzační člen

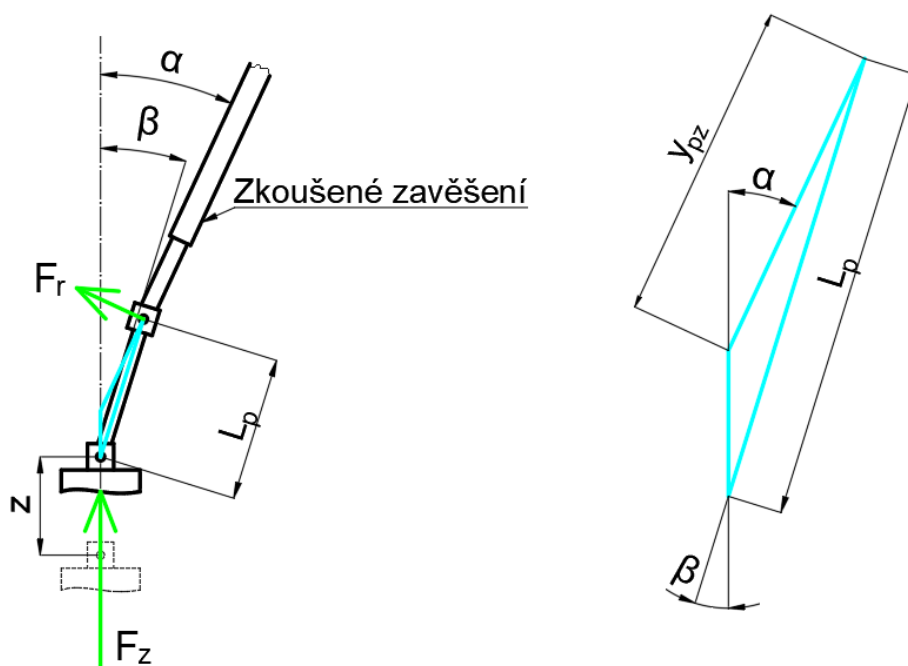
Z grafů v předchozí kapitole 4.1.4 je viditelné, že pro různé velikosti nerovnosti se mění zatížení vidlice a s ním i pro pružení. Zároveň však při stlačení pod určitým úhlem řízení dochází také k horizontálnímu posuvu konce závěsní. Je tedy potřeba mezi zkušební píst a zavěšení vložit člen, který bude napodobovat reálné působení tak i kompenzovat horizontální pohyb. Pro kompenzační člen jsou vymyšleny dvě varianty. Lineární vedení Obr. 4-6 a) a kompenzační páka Obr. 4-6 b). Nyní je třeba vyhodnotit působení radiální síly u jednotlivých řešení kompenzačního členu



Obr. 4-6 Kompenzační člen; a) lineární vedení; b) páka

Provedeme odvození vztahů pro kompenzační páku. Ze schématu spodního uchycení na Obr. 4-7 a tyrkysového trojúhelníku jsou odvozeny matematické vztahy pro jednotlivé úhly, pomocí kterých přepočteme závislost velikosti radiální síly zavěšení na imaginární výšce nerovnosti.

Úhel sklonu vidlice α byl zvolen $24,1^\circ$ což odpovídá průměrnému úhlu sklonu předního zavěšení u vybraných vozidel. Zdvih z volím od 0 mm do 75 mm což odpovídá přejez nerovnosti od 0 do 100 mm pro páku s osovou vzdáleností $L_p = 50$ mm. Dále volím poloměr imaginárního kola $r_i = 0,3237$ mm pro výpočet výšky imaginární nerovnosti h_i . Tato hodnota odpovídá průměrné hodnotě velikosti kol zvolených vozidel. Jako zkušební sílu pístu opět použijeme střední hodnotu ze svislých sil působících na vidlici $F_{zp} = 1\,030$ N. Z hodnot motocyklů byla brána pouze polovina z důvodu zkoušení jednoho nosníku.



Obr. 4-7 Výpočtové schéma spodního uchycení s kompenzační pákou

Úhel působení síly na zavěšení:

$$\beta = 180 - \sin^{-1} \left[(L_p - z) \cdot \frac{\sin \alpha}{L_p} \right] - (180 - \alpha) \quad (12)$$

Síla působící ve vodorovném směru na zavěšení:

$$F_r = \frac{F_z}{\cos \beta} \cdot \sin (\alpha - \beta) \quad (13)$$

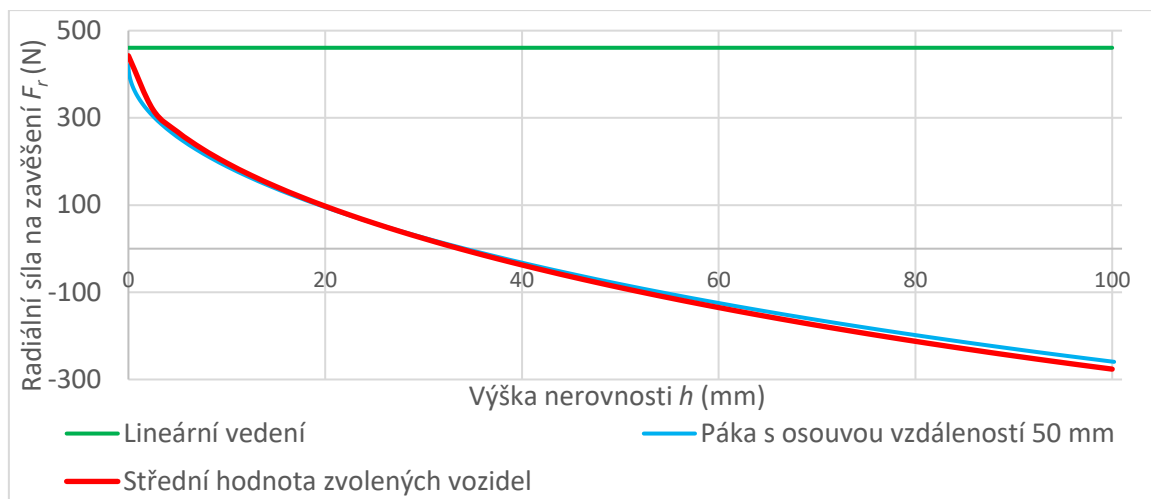
Pro pružení vidlice při zkoušení:

$$y_{pz} = \frac{\sin(\beta) \cdot L_p}{\tan \alpha} \quad (14)$$

Výška imaginární nerovnosti:

$$h_i = r_i - \sqrt{r_i^2 - \left(\frac{F_{px}}{F_{zp}} \right)^2} \quad (15)$$

U lineárního vedení není třeba odvození výpočtů, protože síla vždy působí stejným směrem, a to kolmo k vedení tedy svisle vzhůru. Radiální sílu určíme použitím goniometrické funkce a úhlu α . Do vypočtených závislosti pro porovnání je vložena i střední hodnota závislosti pro zvolená vozidla z kapitoly 4.1.4

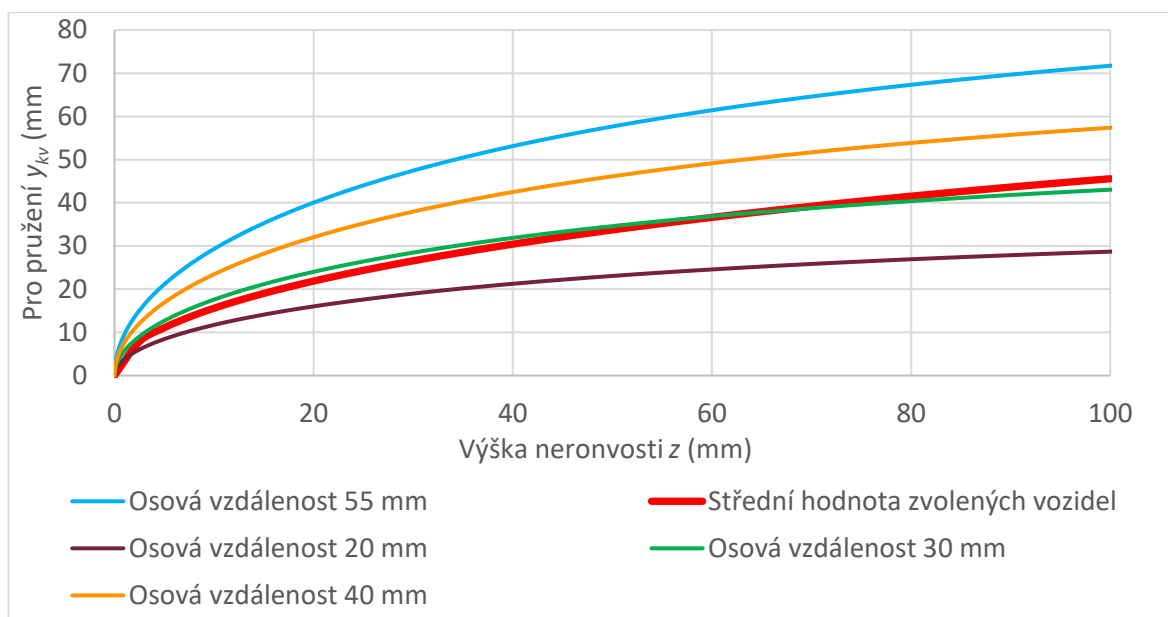


Obr. 4-8 Graf radiální síly kompenzačních členů

Je naprosto viditelné, že lineární vedení vůbec neodpovídá požadavku reálného namáhání. Z tohoto důvodu volím kompenzační páku. Vhodnou volbou zdvihu z v poměru k délce páky L_p jsme schopni docílit téměř totožnosti působení sil páky a reálného působení. Ovšem značný rozdíl nastává, pokud srovnáme graf závislosti pro pružení vidlice na velikosti nerovnosti Obr. 4-9. Pro pružení se mění s délkou osové vzdálenosti páky. Mezi závislosti jednotlivých pák je pro srovnání vložena i střední hodnota této závislosti zvolených vozidel. Velikost zdvihu je vždy upravena, aby odpovídala imaginární nerovnosti o velikosti 0 mm až 100 mm jednotlivé hodnoty jsou v Tab. 3.

Tab. 3 Zdvihu pulsátoru pro různé osové vzdálenosti kompenzační páky

Osová vzdálenost páky L_p (mm)	Rozsah zdvihu z (mm)
20	0-30
30	0-45
40	0-60
50	0-75



Obr. 4-9 Graf pro pružení kompenzačních pák s různými osovými vzdálenostmi

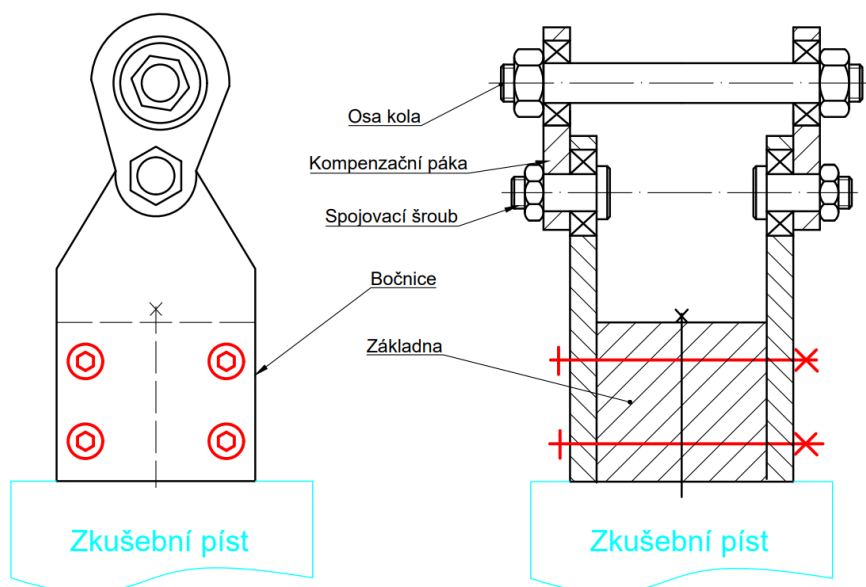
Nejlépe odpovídá reálnému zatížení páka o velikosti 30 mm. Tato vzdálenost je ovšem dosti malá a při návrhu konstrukčního řešení je třeba nalézt vhodná ložiska s dostatečnou únosností a malými rozměry.

4.3 Spodní uchycení

Spodní uchycení má za úkol spojit kompenzační člen pohyblivě se zkušebním pístem pulsátoru. Všechny navrhované spodní uchycení počítají s použitím kompenzační páky. Důležité je, aby bylo jednoduše modifikovatelné. Obě řešení uvažují stejný koncept, liší se v technologii použité pro výrobu. Pro zvýšení stability a únosnosti jsou zvoleny dvě kompenzační páky.

4.3.1 Šroubované

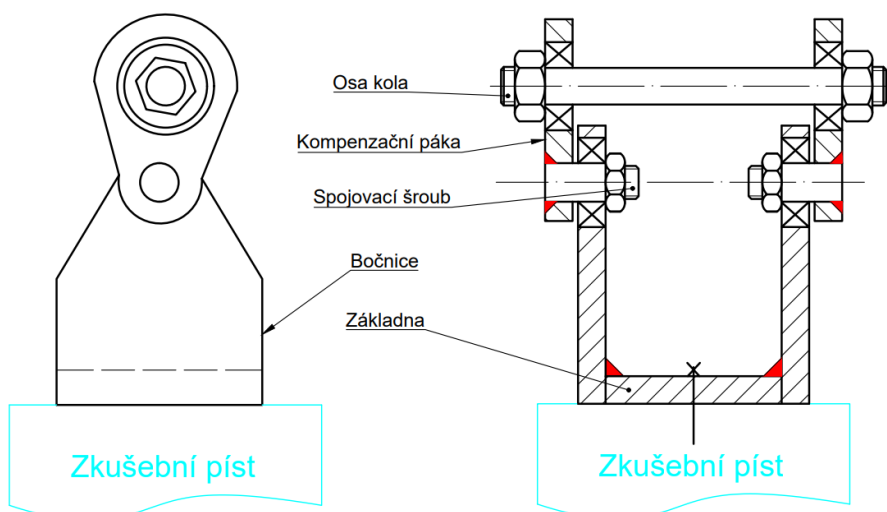
Je tvořen masivní ocelovou základnou s vyvrtanými dírami pro upevnění zkušebního pístu a bočnic. Bočnice mají v sobě vytvořenou díru k uložení ložiska pro pohyb kompenzační páky. V případě nutnosti vyšších bočnic lze obě jednoduše vyměnit. Páka má ve své horní části opět ložisko, kterým se provlékne osa. Plechové díly jako jsou bočnice a kompenzační páky mohou být vypáleny a pouze doobrobeny potřebné funkční otvory, což snižuje cenu přípravku. Nevýhodou je vyšší hmotnost. Základnu je možné uřezat z tažené oceli a pouze vyvrtat potřebné otvory.



Obr. 4-10 Šroubované spodní uchycení

4.3.2 Svařované

Základnu svařovaného konceptu tvoří kus ploché ocelové tyče s přivařenými bočnicemi. Jako v předešlém případě jsou v bočnicích vyrobeny díry pro upevnění kompenzační páky. V případě nutnosti změny je nutné vyrobít celý svařenec znovu. Ke kompenzační páce jsou přivařeny dva čepy, pomocí kterých je přišroubována k bočnici. Celá konstrukce je lehčí. Musí se však po svaření ještě dodatečně obrobít. Velkou nevýhodou je tepelné ovlivnění, kdy může dojít k deformacím.



Obr. 4-11 Svařované spodní uchycení

4.3.3 Srovnání spodního uložení

Při srovnání jednotlivých parametrů jako spodní uchycení volím šroubovanou variantu, protože dovoluje případnou modifikaci při zkoušení atypického zavěšení. Vyšší hmotnost v tomto případě není překážkou. Podrobné srovnání je v Tab. 4

Tab. 4 Srovnání variant spodního uchycení

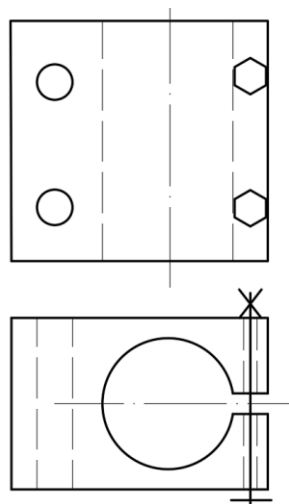
Koncepce spodního upnutí	Technologická náročnost	Nepřesnosti a deformace vlivem výroby	Modifikovatelnost
Svařované	vysoká	vysoké	nízká
Šroubované	nízká	nízké	vysoká

4.4 Horní uchycení

Obě varianty horního uchycení pracují na principu svěrného spoje. Důvod použití tohoto druhu spojení je, že skoro všechny zavěšení jízdních kol a motocyklů jsou zakončeno trubkou kruhového průměru. Pro větší kompatibilitu do jednotlivých upínačů budou vkládány vložka na redukci průměru otvoru.

4.4.1 Rozříznutý hranol s vyvrtanou dírou

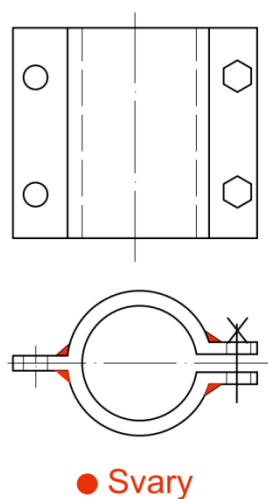
Hranol s vyvrtanou dírou, odpovídající největšímu průměru běžně používaných tlumičů. Na jedné straně se vyrobena drážky, která umožní šrouby stáhnout části k sobě a vytvořit upínací sílu. Jedná se o velmi levné řešení, kdy pro zhotovení stačí sloupová či stojanová vrtačka. Po obrobení je upínač již přímo připraven k použití. Při špatném navržení může mít upínač vysokou tuhost, že nedojde ke stažení zkoušeného zařízení. Upnutí k hornímu nosníku probíhá přes dva šrouby.



Obr. 4-12 Upínač z hranolu

4.4.2 Trubka s přivařenými patkami

Hlavní částí je trubka, rozříznuta na jedné straně. V místě rozříznutí jsou na obě půlky navařeny dva kusy ploché tyče s dírami. Utažením šroubů dojde ke stažení. Na opačnou stranu se přivaří další kus ploché oceli pro uchycení k hornímu nosníku. Výroba tohoto typu upínače je technologicky náročnější, protože svařením může dojít k tepelnému ovlivnění a deformacím. Následovat musí další třískové obrábění, které upínač výrazně prodražuje. Při upínání může dojít k situaci, kdy patky vlivem šroubu na sebe dosedat, ale zavěšení není pevně upnuto.



Obr. 4-13 Svařovaný upínač

4.4.3 Srovnání horního uchycení

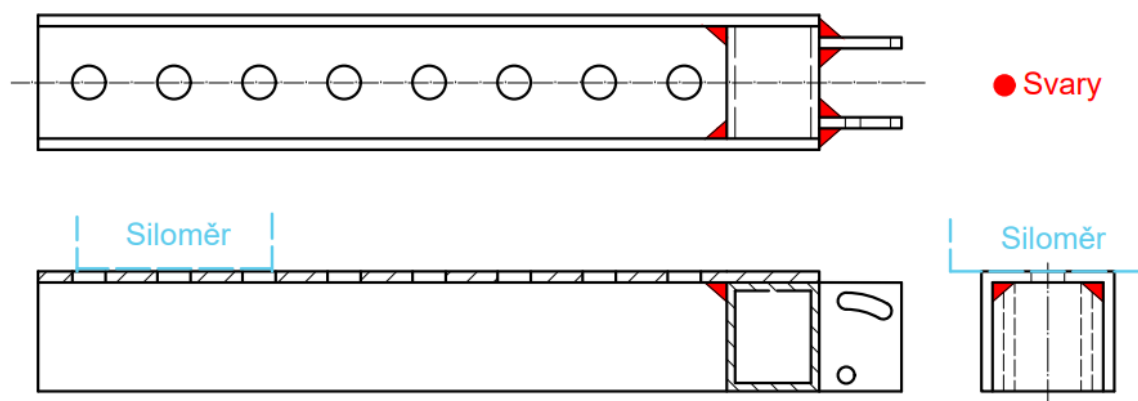
Horní uchycení obrobené z trubky je složitější na výrobu a tepelným ovlivněním může dojít k deformacím. Zároveň vlivem pružnosti patek může dojít k jejich dosednutí a špatnému upnutí. Z tohoto důvodu volím upínač z hranolu, který je lehce vyrobitelný a nehrozí u něj žádné výrobní deformace.

4.5 Horní nosník

Pro zabezpečení testovaných nosníku při určitém úhlu řízení volím svěrný spoj, který zajistí pojení upínače s horním nosníkem. Jelikož není nutné přesné nastavení úhlu, protože se při jízdě mění je vytvořen určitý počet úchytných bodů.

4.5.1 Svařovaný

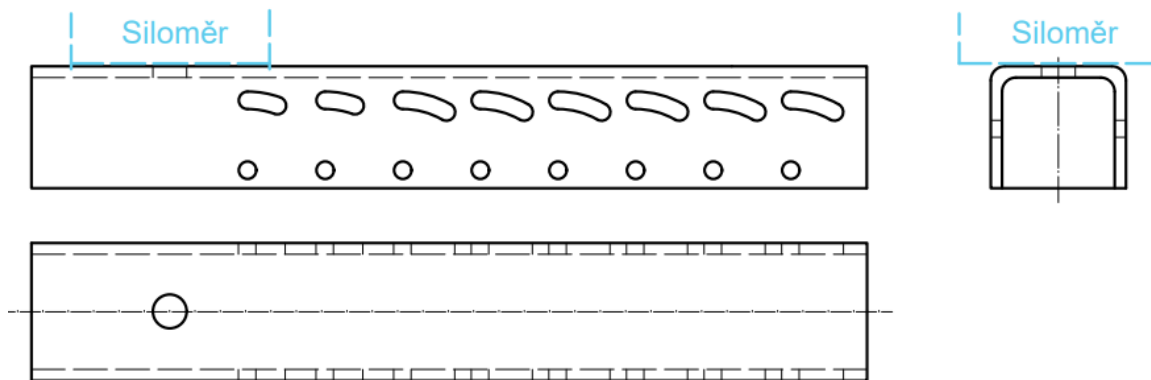
Vhodně upravené ploché tyče s vyvrtanými či pálenými dírami jsou k sobě přivařeny v místech podle Obr. 4-14. Vznikne nosník tvaru U, na jehož konci se nachází napříč přivařená čtyřhranná trubka s držáky pro upínač. Nastavení vyložení probíhá změnou díry, kterou je celý svařovaný celek připevněn k siloměru. Nevýhodou je velká vzdálenost jednotlivých otvorů. Vlivem tepelného ovlivnění svařováním však může dojít ke zkroucení celého profilu. Změna rozměrů a tvarů může mít negativní vliv na kvalitu upnutí.



Obr. 4-14 Svařovaný horní nosník

4.5.2 Ohýbaný

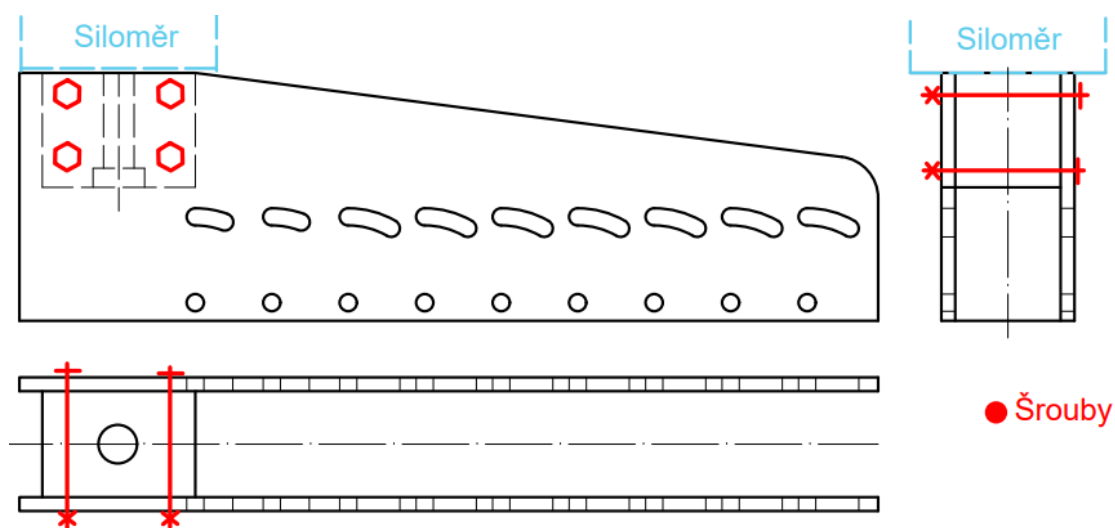
Nosník je ohnutý z tlustostěnného plechu, do kterého jsou vypáleny díry pro přišroubování horního upnutí. Nosník je k siloměru přišroubovaný přes díru v horní ploše. Výroba ohnutého nosníku je jednoduchá, pouze nastává problém v souososti drážek a děr, kdy ohnutím se mohou posunout. Při umístění drážek a otvorů do dvou řad dojde k dostatečné možnosti nastavení úhlu řízení.



Obr. 4-15 Ohýbaný horní nosník

4.5.3 Šroubovaný

Dvě desky jsou sešroubovány ke kostce, která je připevněna k siloměru. Desky mají díry a drážky vytvořené například pálením laserem, díky kterým se k nim uchytí upínač. Tvar těchto desek může být velmi rozmanitý například může být v místě vyššího napětí rozšířen jako na Obr. 4-16. Výhodou je jednoduchá výroba, nízká cena a dobré upínací vlastnosti, protože nedochází vlivem výroby k deformacím. Při umístění drážek a otvorů do dvou řad dojde k dobré možnosti nastavení úhlu řízení. Nevýhodou je vyšší hmotnost.



Obr. 4-16 Šroubovaný horní nosník

4.5.4 Srovnání horních nosníků

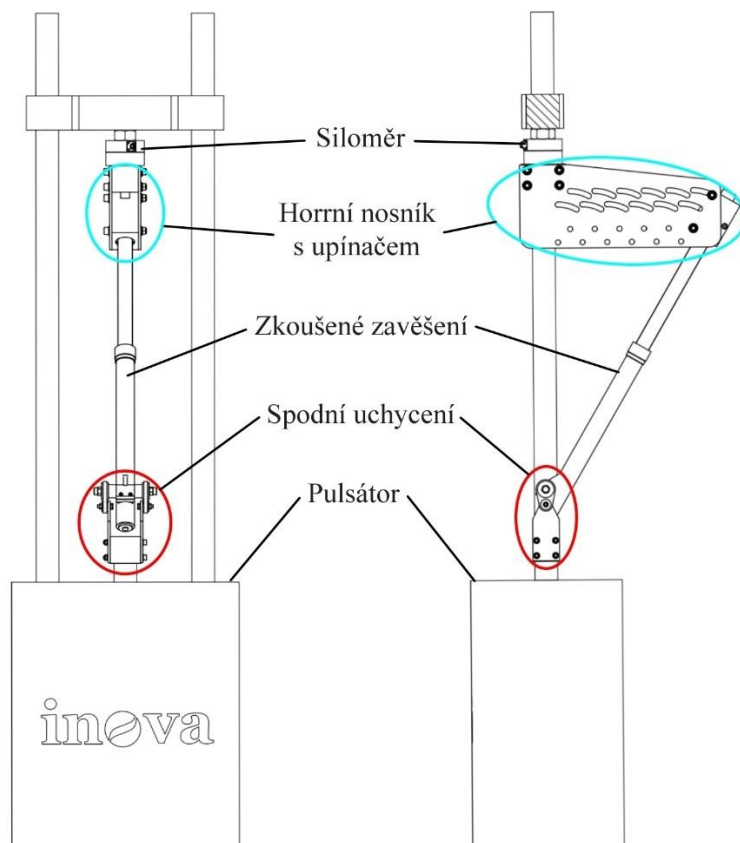
Jednotlivé vlastnosti nosníků byly vloženy do tabulky, ze které vyplívá, že nejvhodnější je šroubovaný horní nosník. Tento nosník má pro naše použití nejlepší vlastnosti. Zároveň je jednoduše vyrobitelný a umožňuje malý krok při změně vzdálenosti vyložení od osy. Vyšší hmotnost není překážkou k použití.

Tab. 5 Srovnání variant horního nosníku

Koncepce nosníku	Modifikovatelnost	Cena	Nepřesnosti a deformace vlivem výroby	Množství poloh
Svařovaný	složitá	vysoká	vysoké	nízké
Ohýbaný	složitá	nízká	střední	vysoké
Šroubovaný	jednoduchá	střední	nízké	vysoké

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

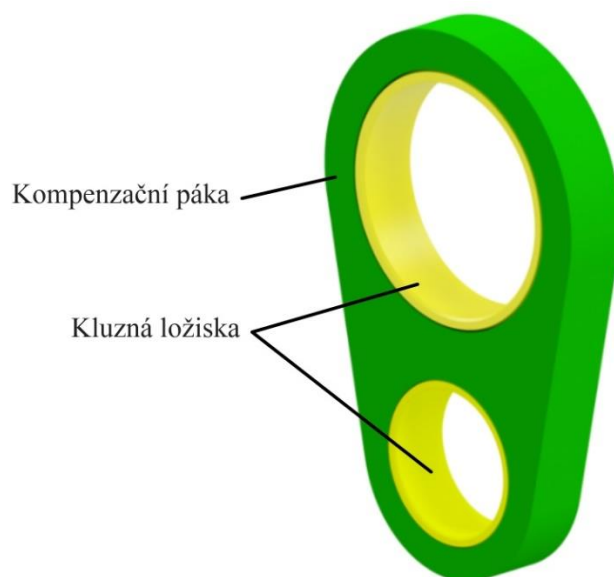
V kapitole 4 Koncepční řešení byly vybrány jednotlivé varianty vhodné ke konstrukčnímu řešení. V následujících kapitolách dojde k rozpracování jednotlivých řešení do konečné podoby. Na Obr. 5-1 je vidět celková sestava konstruovaného zařízení umístěného do pulsátoru Inova.



Obr. 5-1 Konstrukční řešení testovacího zařízení připevněné k pulsátoru Inova

5.1 Kompenzační člen

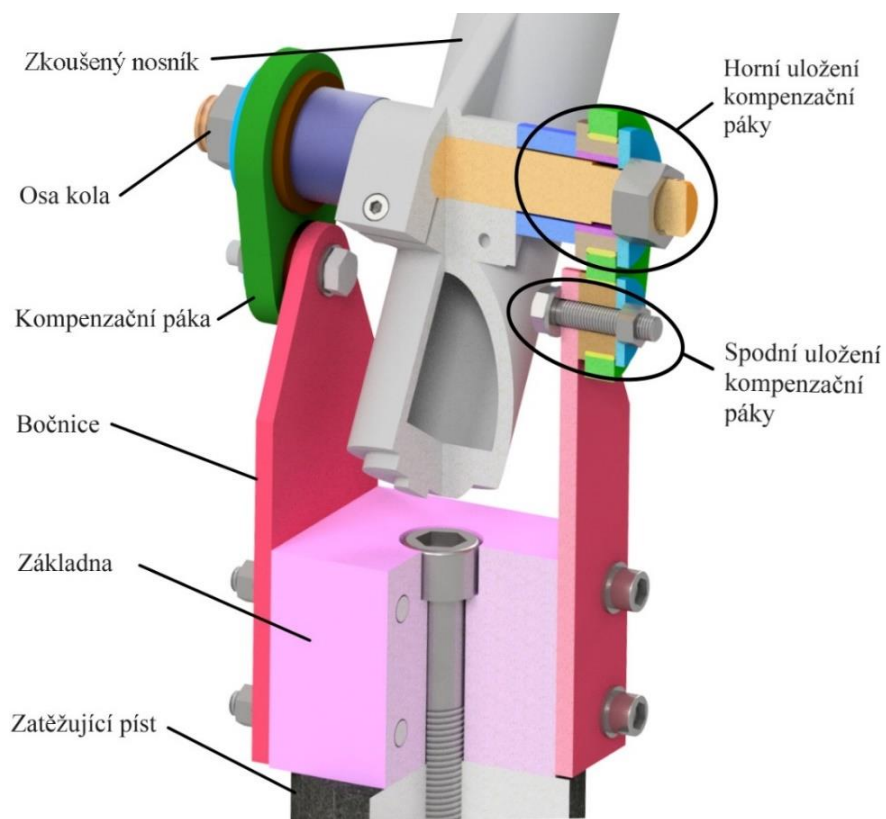
Jako kompenzační prvek byla zvolena páka Obr. 5-2, která napodobuje reálné zatížení s drobnými odchylkami. Osovou vzdálenost děr volím 40 mm s pracovním zdvihem pístu v rozsahu 0 mm až 60 mm. Při této osově vzdálenosti a zdvihu páka napodobuje reálné zatěžování, ale závislost pro pružení na výšce nerovnosti se odchyluje od vypočtených do 20 % střední hodnoty zvolených vozidel. Přiblížení pro pružení reálným hodnotám je možná zmenšením osově vzdálenosti děr, ale poté je problém nalézt ložiska s dostatečnou únosností a zamezit kolizím součástí. Pro rotační uložení volím kluzná ložiska. Tyto ložiska v porovnání s valivým mají menší zástavbové rozměry.



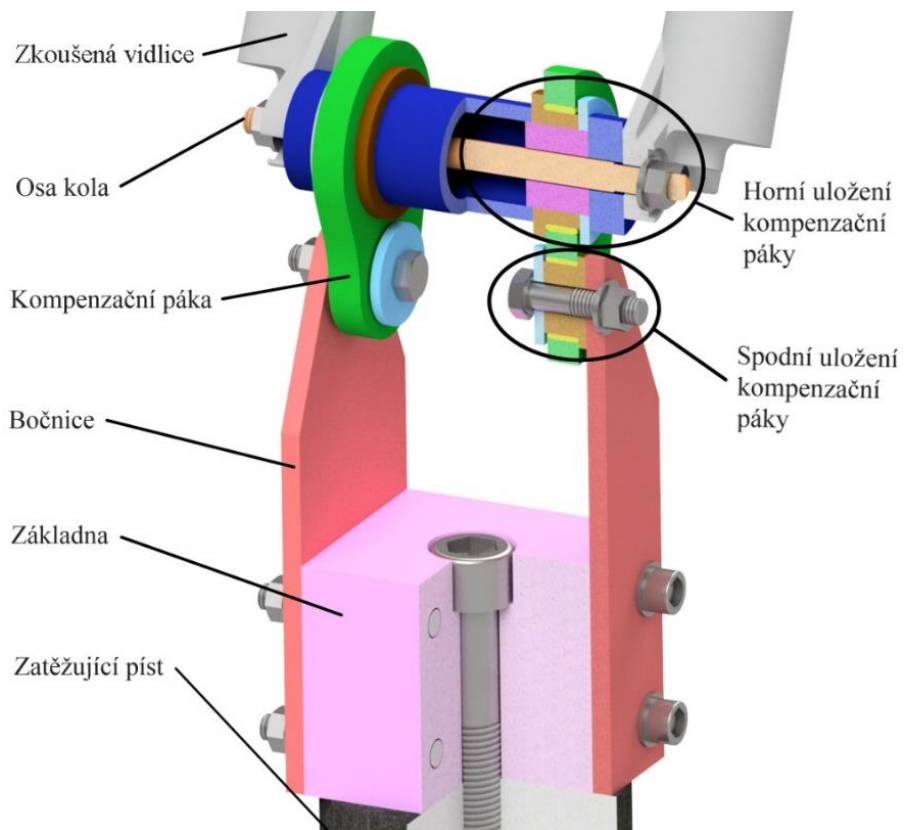
Obr. 5-2 Kompenzační páka

5.2 Spodní uchycení

Spodní uchycení je zvoleno uchycení šroubované. Bočnice jsou k základní krychli přišroubovány čtyřmi šrouby M8. V horní části bočnice se nachází také šroub M8, který spojuje bočnici s kompenzačním členem. Pro zkoušení jednoho nosníku odpružení jsou obě páky přichyceny vně bočnic Obr. 5-3. Naopak zkoušení celých vidlic probíhá s pákami zevnitř Obr. 5-4. Osa kola je provlečená skrz obě kompenzační páky na konci stažena maticemi. K měření vidlic lze použít originální osu z kola. Při měření vidlic bylo zjištěno, že největší vzdálenost otvoru pro osu od spodního konce nosníku je 100 mm. Z tohoto důvodu volím vzdálenost spodního uložení od základny 95 mm, aby byla zajištěn prostor pro pohyb konce nosníku. Maximální šířka nosníku, kterou je ještě možné upnout je 65 mm. Naopak vidlice je možné zkoušet s roztečí 100 mm a také 110 mm. V případě zkoušení vidlice a nosníků s atypickým rozměrem stačí vyrobít potřebné součásti a namontovat je místo originálních. Všechny šrouby v celé sestavě spodního uložení vytváří pouze osovou sílu, které způsobí třecí spoj.



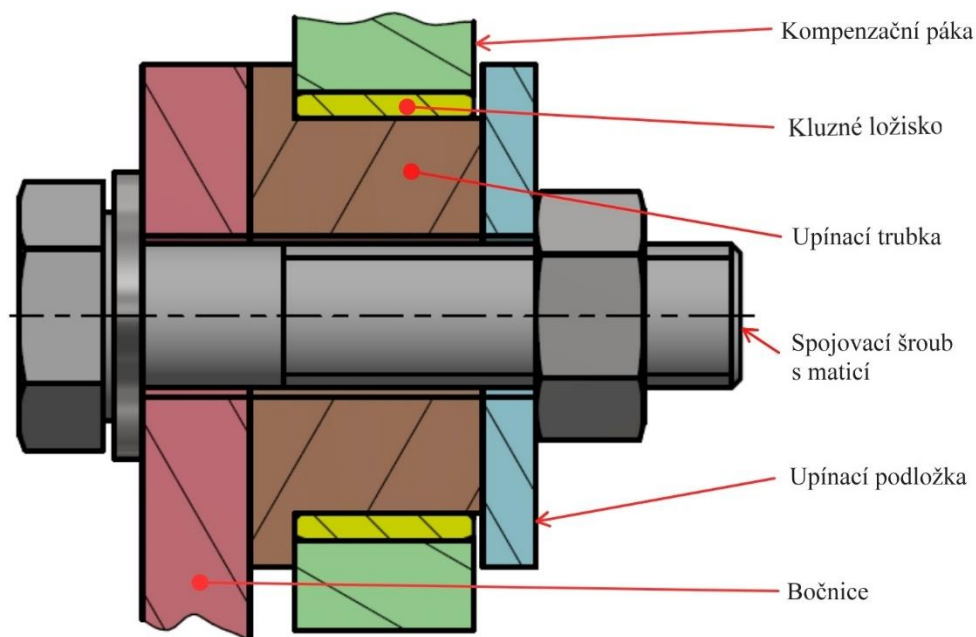
Obr. 5-3 Spodní uchycení pro testování nosníků motocyklů



Obr. 5-4 Spodní uchycení pro testování vidlic kol

5.2.1 Spodní uložení kompenzační páky

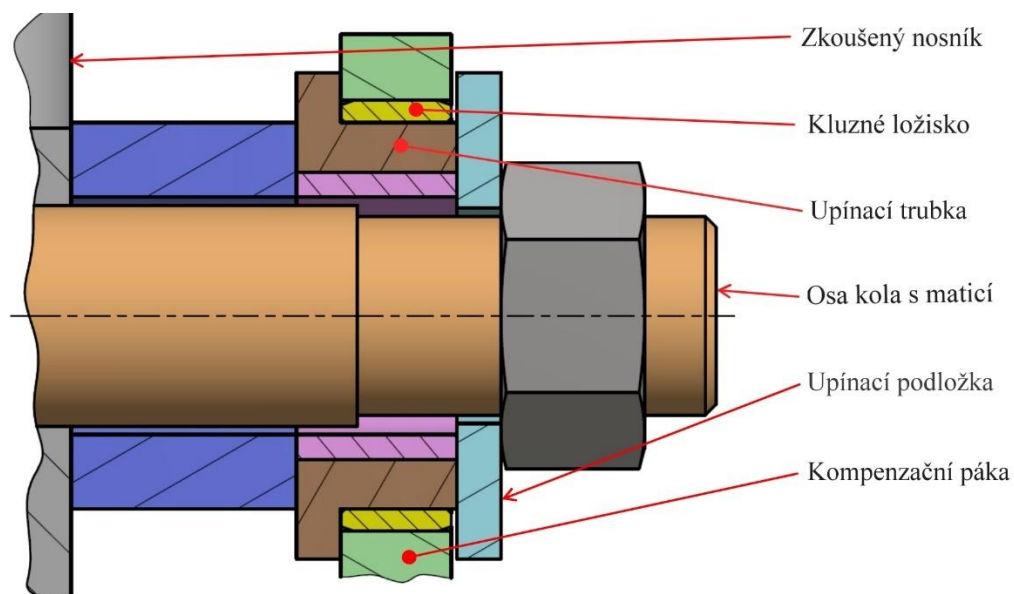
Spodní uložení zprostředkovává silovou interakci mezi kompenzační pákou a bočnicí. Pro jakékoli rozměry zkoušeného zavěšení jsou všechny součásti stejné. Kluzné ložisko zalisované do díry kompenzační páky se volně otáčí na hladce opracované upínací trubce. Pro správnou funkci má páka v axiálním směru vůlí vymezenou osazením upínací trubky a vymezovací podložkou. Šroub vytváří třecí spoj, který přenáší zkušební sílu na kompenzační páku. Toto uložení je pro upnutí nosníku a vidlice pouze zrcadlově otočeno kolem bočnice.



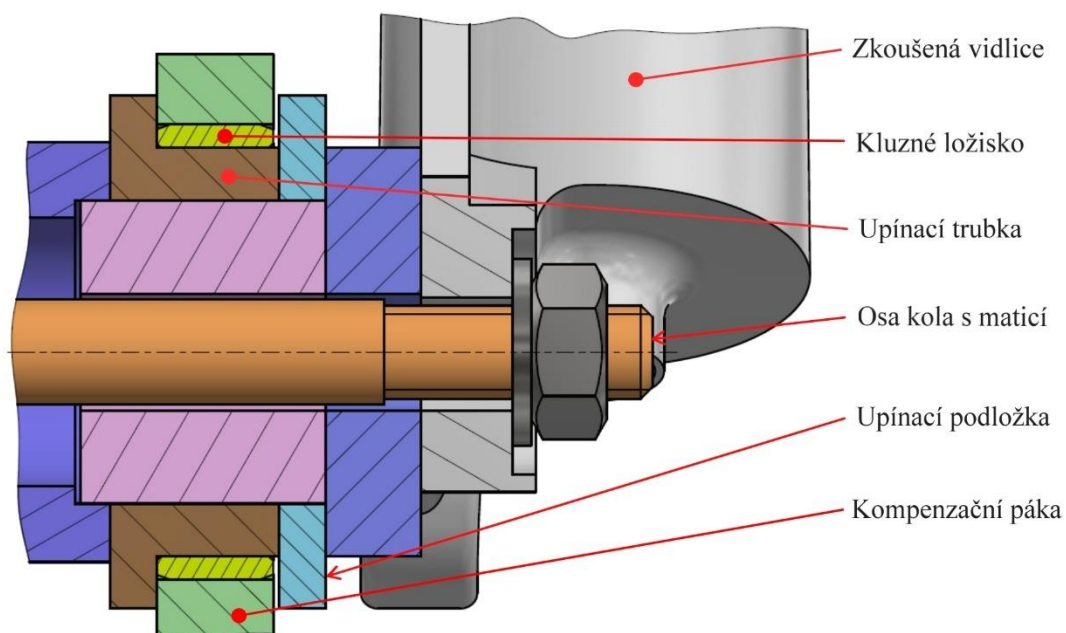
Obr. 5-5 Spodní uložení

5.2.2 Horní uložení kompenzační páky

Horní uložení přenáší zatěžující sílu z kompenzační páky na zkoušené zavěšení. Kvůli rozdílných upínacích rozměrů nosníků a vidlic se jednotlivé řešení liší. Upnutí nosníku probíhá mezi pákami Obr. 5-6, zatím co zkoušení vidlic se upínají vně Obr. 5-7. Ložiskové pouzdro je zalisované do kompenzační páky. Pro správnou funkci je uloženo s axiální vůlí na upínací trubce. Tato trubka ze svým osazením zabraňuje vypadnutí ložiska. Z druhé strany je šroubem dotlačena upínací podložka. Po utažení dojde k přenosu síly pomocí třecího spoje. Růžové vymezovací kroužky zajišťují pouze bezproblémovou smontovatelnost a je nutné je měnit pro různé průměry osy, ale nepřenášejí silové zatížení. Dle konkrétních rozměrů zavěšení je nutné vyrobit také tmavě modré vymezovací trubky. Ostatní součásti horního upnutí zůstávají stejné pro zkoušení jakéhokoli zavěšení s průměrem osy do 25 mm.



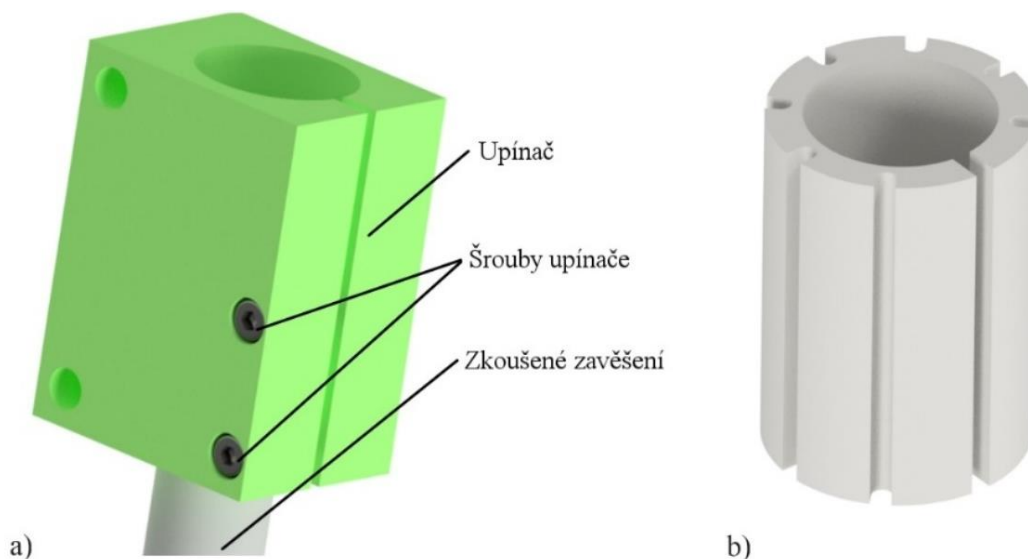
Obr. 5-6 Horní uložení pro testování nosníků motocyklů



Obr. 5-7 Horní uložení pro testování vidlic kol

5.3 Upínač

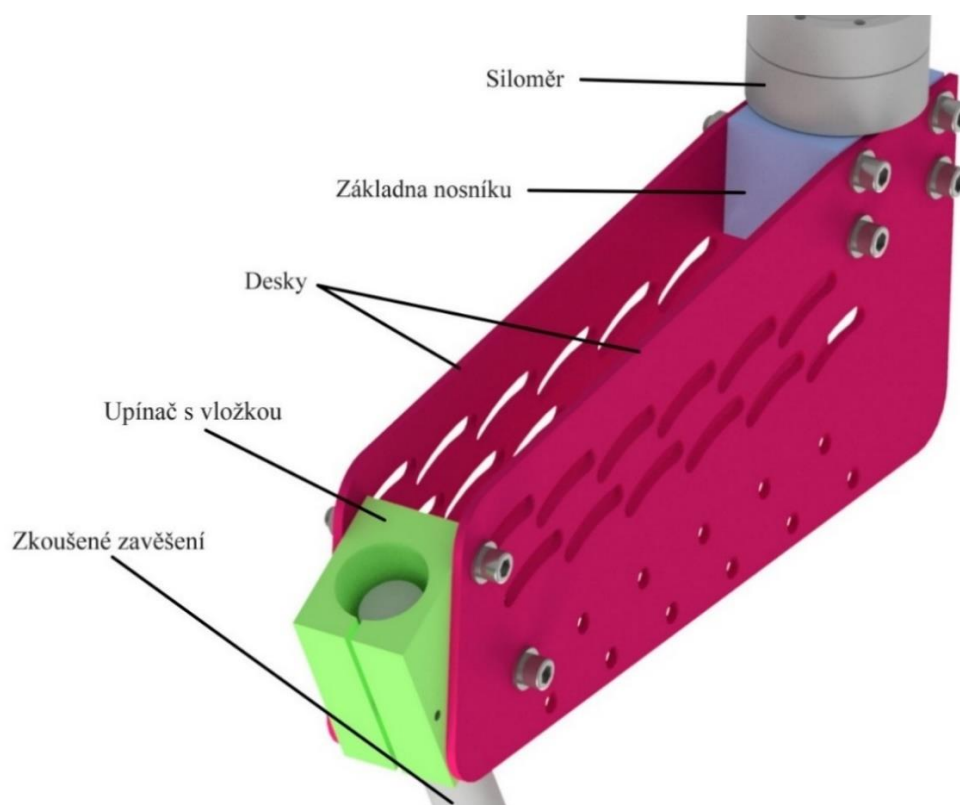
Upínač je tvořen z hranolu, do kterého je vyvrtaná díra pro upnutí vidlice či nosníku s průměrem 50 mm, což je největší nalezený průměr zavěšení. Pro menší průměry je do otvoru umístěna vložka z trubky s po obvodu vytvořenými radiálními řezy. Naříznutí dovoluje větší deformaci při sevření a tím i lepší upnutí. Celý upínač je stažen dvěma šrouby. Dále se zde nacházejí další dva otvory pro upnutí k deskám horního nosníku.



Obr. 5-8 Horní upnutí zavěšení a) sestava upínače; b) vložka do upínače

5.4 Horní nosník

Nosná část horního nosníku je základna, ke které jsou přišroubovány dvě desky pomocí čtyř šroubů utažených maticí. Tvarově složité desky jsou vyrobeny technologií pálení, která zajišťuje dostatečnou přesnost a jednoduchost výroby. Desky mají tvar navržený tak, aby měly větší tuhost při zkoušení. Pro připevnění upínače k deskám jsou vytvořeny díry a drážky. Tyto prvky zajišťují ustavení polohy zavěšení a zároveň jeho natočení o požadovaný úhel řízení. Většího počtu uchytných bodů je dosaženo vytvořením dvou přesazených řad těchto otvorů a drážek. Z důvodu určitého počtu vyrobených děr není možné nastavit libovolnou vzdálenost a úhel. Toto omezení však není velký problém, protože při jízdě na motocyklu či kole se úhel řízení neustále mění vlivem přejíždění nerovností i zadním kolem. Jeho přesné nastavení není tedy nutné. Všechny šrouby slouží k vytvoření třecího spoje mezi jednotlivými plochami.



Obr. 5-9 Sestava horního nosníku s upínačem

5.5 Návod před započítáním měření

Před započítáním měření je nutné znát určité parametry zkoušeného vozidla a zavěšení. Díky těmto hodnotám můžou být vhodně nastaveny zkušební hodnoty např. zdvih, vyrobeny vymezovací trubky a ostatní části pro upnutí zkoušeného zavěšení.

Potřebné parametry:

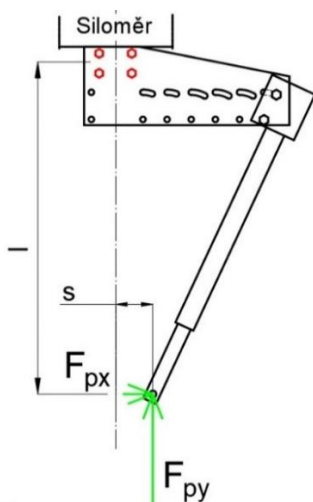
- Váha působící na přední kolo vozidla
- Úhel řízení vozidla
- Délka zavěšení
- Průměr řídicí trubky vidlice či horní průměr nosníku
- Rozteč vidlice či šířku spodní části nosníku
- Průměr osy předního kola
- Velikost simulované nerovnosti

5.6 Pevnostní výpočty součástí

Pro lepší přehlednost jsou zde uvedeny pouze důležité výsledky výpočtu. Úplné výpočty jsou provedeny v Příloze 1 Výpočtová zpráva. V případě složitě tvarovaných součástí, kde není možné použít analytické vztahy je využívána metoda konečných prvků. U namáhaných součástí není nutné provádět výpočet k meznímu únavy, jelikož při zkoušení je tlumič zatížen maximálně nižšími desítkami cyklů. Zároveň frekventovanost prováděných zkoušek je předpokládána v desítkách testů za rok. K nasčítání dostatečného počtu cyklů pro únavovému porušení tedy dojde až za mnoho let.

5.6.1 Šrouby

U všech šroubů celého zařízení byl proveden návrhový a pevnostní výpočet. Nejvíce namáhané šrouby spojují desky horního nosníku se základnou. Tyto šrouby jsou namáhány dle Obr. 5-10. Pro tento spoj byly navrženy šrouby M12. Tyto šrouby mají bezpečnost k meznímu stavu pružnosti 1,21, což je nejnížší hodnota bezpečnosti celého zařízení. Tato hodnota je pouze při největším zatížení, s největším úhlem řízení. Za nastavených nejhorších podmínek stačí šrouby pevnostní třídy 8.8. Spoj je třecí, koeficient tření mezi deskami byl zvolen konzervativně, proto předpokládám ve skutečnosti vyšší bezpečnost. V případě nutnosti větší osově síly šroubu je možné použít šrouby s vyšší třídou pevnosti.



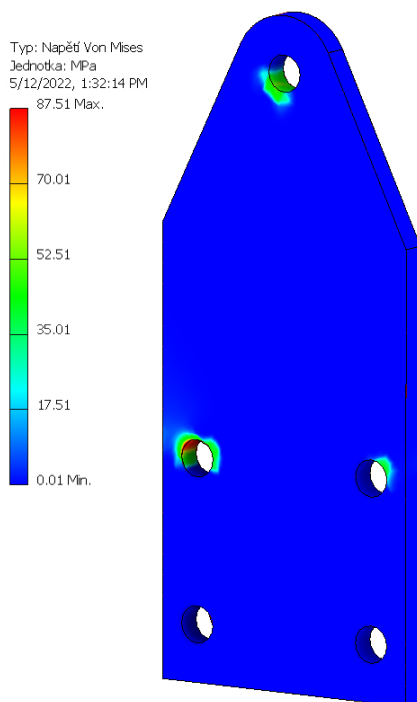
Obr. 5-10 Zatížení šroubů horního nosníku

5.6.2 Ložiska

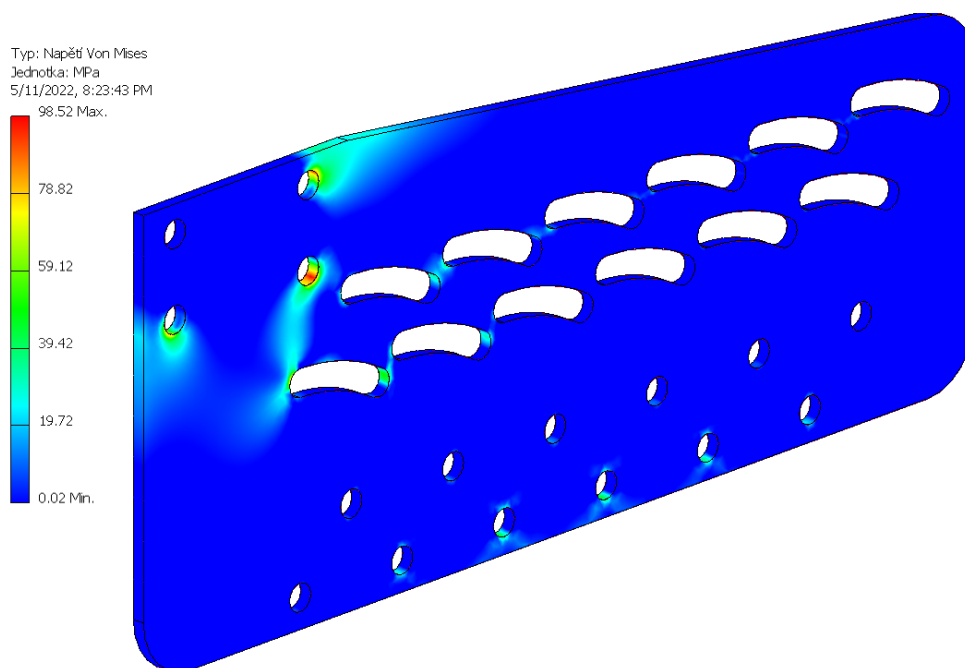
Pro spodní i horní uložení jsou zvolena kluzná pouzdra s polyamidovou výstelkou. Z katalogu výrobce byly zjištěny potřebné hodnoty pro kontrolu únosnosti a oteplení ložiska. Byl proveden výpočet na oba mezní stavy a obě ložiska i při maximálním zatížení vyhovují.

5.6.3 Bočnice a deska horního nosníku

Pro tvarovou složitost byla provedena pevnostní analýza metodou konečných prvků. Detaily jednotlivého nastavení analýzy jsou uvedeny v Příloze 1. Na Obr. 5-11 a Obr. 5-12 je vidět rozložení napětí na nejvíce namáhaných tvarově složitých součástech jako je bočnice a deska horního nosníku. Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti je u bočnice 2,68 a desky horního nosníku 2,38.



Obr. 5-11 Rozložení napětí na bočnici



Obr. 5-12 Rozložení napětí na desce horního nosníku

6 DISKUSE

Během návrhu zařízení došlo ke změně požadavku maximálního zatížení podle analýzy přejezdu kola přes nerovnost. Zadaná síla 5 kN byla příliš vysoká, jelikož z výpočtu vyplynulo, že na zavěšení působí mnohem menší síly. Z toto důvodu byla hodnota maximální síly snížena na 3 kN.

Pro možnost porovnání působení sil a pro pružení zavěšení při testování a reálném použití bylo zvoleno 6 jednostopých vozidel, kdy jsou zastoupeny téměř všechny běžně používané typy a velikosti. U těchto vozidel se provedla analýza nájezdu vozidla na nerovnost výšky 0 mm až 100 mm. Na velikost sil při nájezdu má vliv i tuhost kola a nafoukání pneumatiky. Pro zjednodušení jsou tyto hodnoty zanedbány. Při jejich započtení do výpočtu by se síla nejspíše snížila. V prospěch zpřesnění by bylo vhodné změřit reálné hodnoty sil a pro pružení při přejíždění jednotlivých nerovností a z naměřených dat lépe stanovit délku kompenzační páky. Další vliv na velikost působící síly má rázový součinitel, jeho hodnota je zvolena konzervativně. Reálná hodnota součinitele bude nižší.

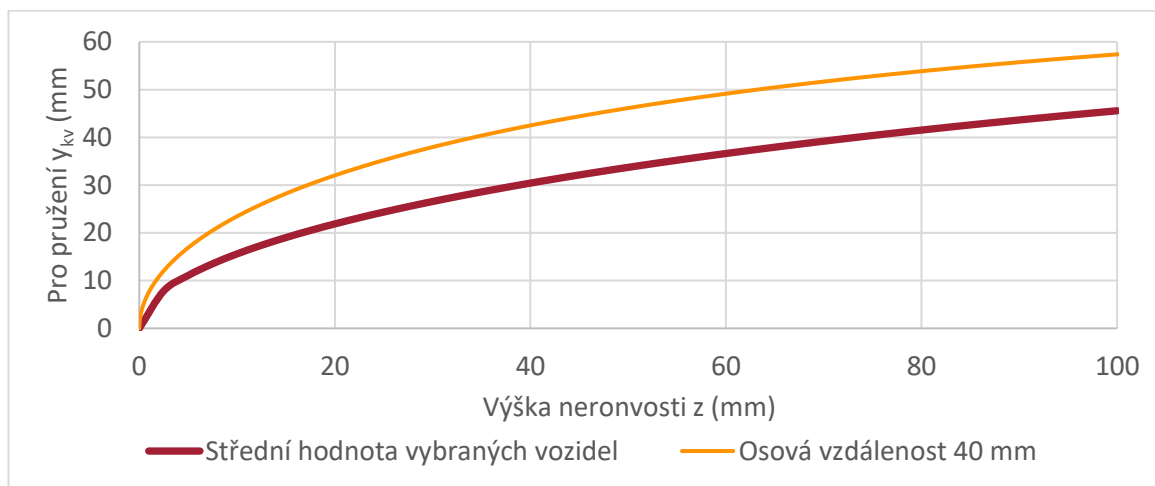
Jelikož vstupuje do měření spoustu proměnných způsobených různými sklony vidlic, velikostmi kol a hmotnostmi je třeba měnit dle typu motocyklu zdvih stroje. Navržená výška zdvihu 0 mm až 60 mm je nejvhodnější pro sklon přesně $24,1^\circ$ a střední průměr kola zvolených vozidel. Pro měření jinačího vozidla je třeba upravit zdvih pulsátoru. Ovšem pro pružení nebude nikdy přesně odpovídat vypočteným hodnotám, jelikož by bylo třeba měnit osovou vzdálenost. Z důvodu větší osové vzdálenosti napodobení pro pružení je lepší u větší úhlů řízení (kolem hodnoty 27°).

Z pevnostního výpočtu šroubů horního nosníku vyplynulo, že šrouby připevňující desky k základně, mají poměrně nízkou bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti 1,21. Tato hodnota však vyšla při maximálním zatížení s největším úhlem řízení. Tyto hodnoty jsou vyšší než hodnoty, které jsou běžně používány u jednostopých vozidel. Zároveň hodnota koeficientu tření je zvolena konzervativně. Takže předpokládám že reálný součinitel bude vyšší.

Pro tvarově složité namáhané součásti bylo využito výpočetního programu. Jelikož ještě nemám dostatečné zkušenosti s nastavením jednotlivých parametrů sítě. Je možné, že hodnoty jednotlivých napětí nejsou přesné a vhodnějším nastavením sítě by se dosáhlo lepších výsledků. Nemyslím si však že hodnoty jsou zatíženy větší chybou než v řádu jednotek procent. Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti je však dostatečně vysoká i při vyšší hodnotě napětí se součást nebude deformovat.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo navrhnout upínací zařízení pro zkoušení teleskopických vidlic motocyklů a kol s reálným průběhem působených sil. Tento cíl byl splněn, kdy vyvinuté zařízení se přibližuje reálným hodnotám odvozeným ze zjednodušené analýzy nájezdu kola na nerovnost. Je možné testovat zavěšení s průměrem osy do 25 mm a horním kruhovým rozměrem do 50 mm. Maximální délka testovaného zavěšení je 900 mm po statickém zatížení. Silové působení odpovídá nejlépe pro sklon zavěšení 20° až 30°. Velikost pro pružení v závislosti na velikosti nerovnosti Obr. 7-1 se již ovšem liší do 20 % v porovnání se střední hodnotou zvolených vozidel. Kromě samotné kinematiky spodního uchycení byl navržen i systém horního upnutí, který dovoluje upnutí odlišně dlouhých zavěšení pod různými úhly řízení s maximálním průměrem 50 mm. U všech kriticky namáhaných součástí byl proveden pevnostní výpočet a mají dostatečnou bezpečnost k meznímu stavu pružnosti při maximální síle zkušebního pístu 3 kN. Dále byl vytvořen návod, jaké parametry je nutné zjistit před započítím měření zavěšení. Oproti běžně dostupným zkušebním strojům, které namáhají zkoušené zavěšení pouze v ose, působí zkonstruované zařízení také radiální silou, která způsobuje smykové tření v uložení, což má vliv na průběh měřených charakteristik. Pro další přiblížení jednotlivých závislostí reálnému působení by bylo vhodné provést reálné měření přejezdu vozidel přes jednotlivé překážky a následně dle vzniklých grafů navrhnout kompenzační člen.



Obr. 7-1 Graf pro pružení kompenzační páky s osovou vzdáleností 40 mm

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] THEDE, Paul a Lee PARKS. *Race Tech's Motorcycle Suspension Bible*. 1st ed. Minneapolis: Motorbooks, 2010. ISBN 978-0-7603-3140-8.
- [2] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [3] The Basics: Modern Motorcycle Suspension. In: *RideApart* [online]. 2015 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.rideapart.com/news/247982/the-basics-modern-motorcycle-suspension/>
- [4] Yeti custom fox fork decals. In: *Mtbr* [online]. 2015 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.mtbr.com/threads/yeti-custom-fox-fork-decals.968998/>
- [5] Geometrie řízení. In: *Motorkari.cz* [online]. 2018 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/geometrie-rozeni-38287.html#:~:text=Na%20v%C4%9Bt%C5%A1in%C4%9B%20motocykl%C5%AF%2C%20kde%20jsou,kontakt%C3%ADm%20bodem%20pneumatiky%20s%20v%20ozovkou.>
- [6] NEPOMUCK, Bernd a Udo JANNECK. *Technická rukověť motocyklisty*. 5., rozš. vyd. Přeložil Jiří VOKÁLEK, přeložil Tomáš KOHOUT. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-354-8.
- [7] DIXON, John C. *The shock absorber handbook*. Second edition. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2007. Professional engineering publishing series (Wiley). ISBN 978-0-470-51020-9.
- [8] Manitou Minute Suspension Fork – Cutaway. In: *Bikerumor* [online]. 2010 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://bikerumor.com/2010-manitou-minute-suspension-fork-cutaway/>
- [9] KUDR, Jan. *Podvozky závodních motocyklů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing Václav Pištěk, DrSc.
- [10] Suspension 201: Basic Setup. In: *Blister* [online]. 2015 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://blisterreview.com/recommended/suspension-201-basic-setup/2>

- [11] How it works: Forks. In: *Bennetts* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.bennetts.co.uk/bikesocial/news-and-views/features/bikes/how-do-motorcycle-forks-work>
- [12] Motorcycle fork tube diameter list. In: *Organ-donor* [online]. 2019 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://organ-donor.org/motorcycle-data/fork-tube-diameter-list/#tube40>
- [13] FGRT 218. In: *Öhlins* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.ohlinsusa.com/parts/2014-2016-bmw-r-nine-t-street-rt-43-fork-fgrr-218>
- [14] Motorcycle front axle diameter. In: *Organ-donor* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://organ-donor.org/motorcycle-data/motorcycle-front-axle-diameter/>
- [15] The ultimate guide to headsets. In: *Bike radar* [online]. 2020 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bikeradar.com/features/the-ultimate-guide-to-headsets/#:~:text=What%20are%20the%20common%20steerer,threaded%20steerer%20in%20this%20size.%C2%A8>
- [16] Threaded Headset Removal & Installation. In: *Youtube* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=6kDUUufn8nE&ab_channel=FirstComponents
- [17] How to adjust a threadless bicycle headset. In: *Youtube* [online]. 2011 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=1LTCthtmjD0&ab_channel=WheeliePete
- [18] How To Identify Your Bike Wheel Axle. In: *Hot vehs* [online]. 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://hotvehs.com/how-to-identify-your-bike-wheel-axle/>
- [19] What Fits with Your Bike. In: *Grin technologies* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://ebikes.ca/learn/bike-compatibility.html>
- [20] Bicycle Fork 01 3D model. In: *Turbosquid* [online]. 2015 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/bicycle-fork-3d-model-1633716>
- [21] Shock dynamometer. In: *Oreca store* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://en.oreca-store.com/intercomp-shock-dynamometer-high-speed-version.html>

- [22] Roehrig Shock Dyno. In: *Shock treatment* [online]. 2017 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.shocktreatment.com.au/dyno.html>
- [23] Testing laboratory. In: *Battle* [online]. 2016 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.fuji-ta.com/bicycle-testing-laboratory>
- [24] Kawasaki Z 1000. In: *Bikes.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bikes.cz/2021/kawasaki-z-1000>
- [25] Honda CB 500 F. In: *Bikes.cz* [online]. 2020 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bikes.cz/2021/honda-cb-500-f>
- [26] Husqvarna TX 125. In: *Bikes.cz* [online]. 2019 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bikes.cz/2019/husqvarna-tx-125>
- [27] Honda PCX125. In: *Bikes.cz* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.bikes.cz/2015/honda-pcx125>
- [28] Mach-4-sl. In: *Pivot cycles* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://global.pivotcycles.com/products/mach-4-sl>
- [29] Chisel Frame 2019. In: *Specialized* [online]. 2019 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.specialized.com/us/en/chisel-frame/p/154331?color=239083-154331>
- [30] *Měření polohy těžiště motocyklu*. Brno, 2012. Diplomové práce.
Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vladimír Panáček.
- [31] Spring rates and suspension frequencies. In: *Drtuned racing* [online]. 2017 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.drtuned.com/tech-ramblings/2017/10/2/spring-rates-suspension-frequencies>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

F_G	tíhová síla vozidla a jezdce
m_m	hmotnost motorky
m_j	hmotnost jezdce
g	gravitační zrychlení
a	vzdálenost těžiště od osy předního kola
p	rozvor
N_1, N_2	tíhová síla působící na kola vozidla
e	rameno valivého odporu
r	poloměr kola vozidla
h	výška nerovnosti
F_v	horizontální síla od nerovnosti
λ	úhel působení síly na kolo
α	úhel řízení
F	síla od nerovnosti
a_r	součinitel rázu
F_a	axiální síla působící na zavěšení
F_r	radiální síla působící na zavěšení
f_0	vlastní frekvence
k	tuhost pružiny
γ_{pv}	pro pružení zavěšení
F_z	zatěžující síla pulsátoru
z	zdvih pístu
L_p	délka kompenzační páky
β	úhel působení síly kompenzační páky
h_i	imaginární výška nerovnosti

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Teleskopická vidlice a) motocyklu; b) jízdního kola [3] [4].....	14
Obr. 2-2 Geometrie předního kola jednostopých vozidel [1].....	15
Obr. 2-3 Přejezd kola přes nerovnost s ideální vidlicí [1]	16
Obr. 2-4 Přejezd kola přes nerovnost bez tlumení a pružení [1].....	16
Obr. 2-5 Přejezd kola přes nerovnost pouze s pružením [1]	17
Obr. 2-6 Vnější konstrukce vidlice; a) motocyklu; b) jízdního kola [9] [10]	19
Obr. 2-7 Vnitřní konstrukce vidlice; a) motocyklu; b) jízdního kola [8] [11]	19
Obr. 2-8 Upside down nosníky [13].....	20
Obr. 2-9 Spodní část nosníku motocyklu [13]	20
Obr. 2-10 Horní zakončení vidlice kola; a) závitové; b) hladké [16] [17]	21
Obr. 2-11 Konec vidlic kol; a) otevřená drážka; b) otvor [19].....	21
Obr. 2-12 Rozteč vidlice [20].....	22
Obr. 2-13 Pulzní dynamometr [21]	22
Obr. 2-14 Svěrné uchycení nosníku [22]	23
Obr. 2-15 Uchycení vidlice jízdního kola [23]	23
Obr. 4-1 Koncepční schéma zařízení	28
Obr. 4-2 Zatížení kol vozidla	29
Obr. 4-3 Schéma sil na přední kolo při nájezdu na nerovnost.....	30
Obr. 4-4 Graf radiální síly působící na zavěšení zvolených vozidel	32
Obr. 4-5 Graf pro pružení teleskopického zavěšení zvolených vozidel	33
Obr. 4-6 Kompenzační člen; a) lineární vedení; b) páka.....	33
Obr. 4-7 Výpočtové schéma spodního uchycení s kompenzační pákou	34
Obr. 4-8 Graf radiální síly kompenzačních členů	35
Obr. 4-9 Graf pro pružení kompenzačních pák s různými osovými vzdálenostmi	36
Obr. 4-10 Šroubované spodní uchycení.....	37
Obr. 4-11 Svařované spodní uchycení.....	37
Obr. 4-12 Upínač z hranolu	39
Obr. 4-13 Svařovaný upínač	39

Obr. 4-14 Svařovaný horní nosník	40
Obr. 4-15 Ohýbaný horní nosník	41
Obr. 4-16 Šroubovaný horní nosník	41
Obr. 5-1 Konstrukční řešení testovacího zařízení připevněné k pulsátoru Inova	43
Obr. 5-2 Kompenzační páka.....	44
Obr. 5-3 Spodní uchycení pro testování nosníků motocyklů	45
Obr. 5-4 Spodní uchycení pro testování vidlic kol	45
Obr. 5-5 Spodní uložení.....	46
Obr. 5-6 Horní uložení pro testování nosníků motocyklů.....	47
Obr. 5-7 Horní uložení pro testování vidlic kol.....	47
Obr. 5-8 Horní upnutí zavěšení a) sestava upínače; b) vložka do upínače	48
Obr. 5-9 Sestava horního nosníku s upínačem	49
Obr. 5-10 Zatížení šroubů horního nosníku	50
Obr. 5-11 Rozložení napětí na bočnici.....	51
Obr. 5-12 Rozložení napětí na desce horního nosníku	51
Obr. 7-1 Graf pro pružení kompenzační páky s osovou vzdáleností 40 mm	53

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Technické parametry zvolených vozidel	24
Tab. 2 Velikosti svislé síly působící na celé zavěšení zvolených vozidel	32
Tab. 3 Zdvihu pulsátoru pro různé osově vzdálenosti kompenzační páky.....	35
Tab. 4 Srovnání variant spodního uchycení	38
Tab. 5 Srovnání variant horního nosníku.....	42

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výpočtová zpráva

Příloha 2 Výkresová dokumentace

INFOMAČNÍ SESTAVA	(výkres sestavení)	SES-001
SPODNÍ UCHYCENÍ MOTOCYKL	(výkres sestavení)	SES-002
SPODNÍ UCHYCENÍ KOLO	(výkres sestavení)	SES-003
HORNÍ NOSNÍK	(výkres sestavení)	SES-004
ZÁKLADNA	(výkres součásti)	DÍL-001
BOČNICE	(výkres součásti)	DÍL-002
KOMPENZAČNÍ PÁKA	(výkres součásti)	DÍL-003
OSA	(výkres součásti)	DÍL-004
SPODNÍ POUZDRO	(výkres součásti)	DÍL-005
HORNÍ POUTDRO	(výkres součásti)	DÍL-006
UPÍNACÍ TRUBKA MOTOCYKL	(výkres součásti)	DÍL-007
DISTANČNÍ TRUBKA MOTOCYKL	(výkres součásti)	DÍL-008
PODLOŽKA MOTOCYKL	(výkres součásti)	DÍL-009
UPÍNACÍ TRUBKA KOLO	(výkres součásti)	DÍL-010
ROPĚRNÁ TRUBKA	(výkres součásti)	DÍL-011
DISTANČNÍ TRUBKA KOLO	(výkres součásti)	DÍL-012
PODLOŽKA KOLO	(výkres součásti)	DÍL-013
ZÁKLADN NOSNÍKU	(výkres součásti)	DÍL-014
DESKA	(výkres součásti)	DÍL-015
UPÍNAČ	(výkres součásti)	DÍL-016
VLOŽKA	(výkres součásti)	DÍL-017