VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

NÁVRH ZÁSTAVBY ČIDLA ZDVIHU DO PŘEDNÍ ODPRUŽENÉ VIDLICE KOLA

INTEGRATION OF STROKE SENSOR INTO THE FRONT BIKE FORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE **Richard Pešout**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **Ing. Zbyněk Strecker, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	**Richard Pešout**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Zbyněk Strecker, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

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:

Návrh zástavby čidla zdvihu do přední odpružené vidlice kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Semiaktivní řízení odpružení elektro enduro kola se neobejde bez signálu zdvihu vidlice. Vhodným senzorem s dostatečným rozlišením se zdá být bezkontaktní lineární magnetický senzor iC–MHL200. Tento senzor dosud nebyl nikdy použit pro snímání zdvihu vidlice kola, proto je třeba jeho funkčnost pro toto použití ověřit.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je návrh zástavby desky plošného spoje s čidlem a magnetického pásku do přední odpružené vidlice.
Dílčí cíle bakalářské práce:
– identifikace pracovních podmínek čidla zdvihu,
– návrh upnutí čidla a magnetického pásku zajišťující konstantní vzdálenost mezi čidlem a magnetickou páskou,
– experimentální ověření funkčnosti snímání,
– návrh zakrytování čidla zajišťující odolnost vůči vodě.

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–ukonceni/

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

PIERCE, Robert, Sudhir KAUL, Jacob FRIESEN a Thomas MORGAN. Mountain Bike Rear Suspension Design: Utilizing a Magnetorheological Damper for Active Vibration Isolation and Performance. International Journal of Acoustics and Vibration. 2020, 25(4), 504-512. Dostupné z: doi:0.20855/ijav.2020.25.41659

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem zástavby senzoru iC-MHL200 do přední odpružené vidlice kola, kde bude měřit zdvih za účelem ovládání magnetorologického tlumiče. V práci jsou nejprve popsány vybrané systémy odpružení, v současnosti dostupné systémy umožňující měření zdvihu vidlice kola a samotný senzor iC-MHL200. Dále se práce zabývá návrhem a výrobou testovacího držáku, testem senzoru a jeho výsledky. S pomocí výsledků byl následně vytvořen vlastní návrh zástavby. Při návrhu bylo nutné překonat několik překážek, což se s jistými kompromisy povedlo a cíl práce byl splněn. Tato zástavba umožní další, přesnější testování čidla a později i ovládání MR tlumičů cenově dostupným, ale přesným čidlem.

KLÍČOVÁ SLOVA

čidlo zdvihu, iC-MHL200, semiaktivní tlumič, magnetoreologický tlumič, elektrokolo

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design of the installation of the iC-MHL200 sensor in the front suspension fork of a bike, where it will measure the stroke in order to control a magnetorological damper. The thesis first describes selected suspension systems, currently available systems enabling the measurement of bike fork lift and the iC-MHL200 sensor itself. Furthermore, the thesis deals with the design and production of a test holder, the sensor test and its results. Using the results, the installation design itself was subsequently created. During the design, it was necessary to overcome several obstacles, which was achieved with certain compromises and the goal of the thesis was fulfilled. This installation will allow further, more accurate testing of the sensor and later also the control of MR dampers with an affordable but accurate sensor.

KEYWORDS

stroke sensor, iC-MHL200, semi-active damper, magnetorheological damper, e-bike

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEŠOUT, Richard. *Návrh zástavby čidla zdvihu do přední odpružené vidlice kola.* Brno, 2023, 53 s. Dostupné také z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145796. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Strecker, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Zbyňku Streckerovi, Ph.D, za jeho trpělivost, rady a konstruktivní poznámky k práci, panu Luďku Provazovi z CYKLO MTW za poskytnutí užitečných odborných rad a v neposlední řadě i všem přátelům a rodině, kteří mě při vypracovávání této práce a při studiu nepřestali podporovat.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Zbyňka Streckera, Ph.D. 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 Systémy odpružení 14

2.1.1 Semiaktivní tlumiče 15

2.1.2 Magnetoreologické tlumiče 15

2.2 Využití semiaktivních systémů odpružení 16

2.2.1 Fox E-Live Valve 17

2.2.2 HiRide ESAS 18

2.3 Dostupné systémy měření zdvihu přední vidlice kola 18

2.3.1 Systémy Motion Instruments, BYB Telemetry 19

2.3.2 Systém Quarq ShockWiz 20

2.3.3 Systém SussMyBike 20

2.4 Senzor iC-MHL200 21

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE **22**

3.1 Analýza problému 22

3.2 Cíl práce 22

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ **23**

4.1 Koncepce testovacího držáku 23

4.1.1 Koncepční řešení držáku č. 1 24

4.1.2 Koncepční řešení držáku č. 2 25

4.1.3 Vyhodnocení koncepčních řešení testovacího držáku 25

4.2 Koncepce zástavby čidla 26

4.2.1 Koncept zástavby čidla č.1 28

4.2.2 Koncept zástavby čidla č.2 29

4.2.3 Vyhodnocení koncepčních řešení zástavby čidla 29

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ **30**

5.1 Konstrukce testovacího držáku 30

5.2 Konstrukce zástavby čidla 31

5.2.1 Spodní koncovka 32

5.2.2 Válec pístu 32

5.2.3 Víčko válce 33

5.2.4 Pístnice 33
5.2.5 Píst 33
5.2.6 Horní koncovka 34
5.2.7 Uzávěr nohy 34

6 DISKUZE 35

6.1 Testování senzoru 35

6.2 Výsledky měření 36

6.2.1 Detail 1 38
6.2.2 Detail 2 40
6.2.3 Detail 3 42
6.2.4 Druhé měření 44
6.2.5 Závěr měření 45

6.3 Navrhované řešení zástavby 46

7 ZÁVĚR 47

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 48

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN 50

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ 51

11 SEZNAM PŘÍLOH 53

1 ÚVOD

V posledních letech dochází k velkému rozvoji elektrifikace jízdních kol. Hlavními výhodami elektrického kola jsou zejména snížení fyzické náročnosti jízdy na kole, zvýšení komfortu jízdy a prodloužení dojezdové vzdálenosti. Dalším benefitem, oproti klasickému jízdnímu kolu, je možnost využití moderních systémů, které můžeme běžně najít u elektrických automobilů, vlaků, tramvají a jiných elektromobilů. Některá elektrokola například využívají systém rekuperace energie při brzdění.

Dalším systémem, který je možné díky elektrifikaci jízdního kola s výhodou použít, je elekrtonicky řízené semiaktivní odpružení. Tento typ odpružení zaručuje rychlou odpověď na změny terénu a umožňuje přenastavení parametrů tlumení v rámi zlomků sekund. Aby byla zajištěna správná funkčnost semiaktivního odpružení je zapotřebí zejména řídící jednotka a snímač, který poskytuje potřebná data. Řídící jednotka následně data vyhodnocuje a optimalizuje nastavení tlumičů, tak aby byla jízda pohodlná a bezpečná.

Tato bakalářská práce se bude zabývat možností uplatnění bezkontaktního lineárního magnetického senzoru iC-MHL200 pro snímání zdvihu přední odpružené vidlice jízdního kola a dále také možnostmi jeho zástavby do vidlice tak, aby byla zajištěna funkčnost senzoru a odolnost vůči nečistotám vodě.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Tato kapitola se zaměří na používané systémy odpružení, blíže popíše semiaktivní a zejména magnetoreologické tlumiče a nabídne pohled na využití semiaktivních tlumičů v cyklistice. Dále shrne dostupné systémy pro měření zdvihu přední vidlice kola a v závěru přiblíží senzor iC-MHL200.

2.1 Systémy odpružení

Cílem systému odpružení je izolovat dopravní prostředek od nerovností vozovky a zároveň zlepšit jízdní vlastnosti. Systémy odpružení se dají rozdělit do tří kategorií podle toho jakým způsobem jsou jsou řízeny:

- Pasivní odpružení - Jedná se o nejrozšířenější typ odpružení. Není nijak elektronicky řízeno, jde o čistě mechanické odpružení skládající se z pružné a tlumící části. Tato jednoduchá stavba je však příčinou toho, že je modifikace tlumících vlastností, aniž by došlo k výměně dílů, značně omezená.
- Aktivní odpružení - Zakomponováním regulovatelných součástí a přivedením energie do systému pasivního odpružení vzniká aktivní odpružení. Hlavní předností tohoto typu odpružení je možnost jeho přenastavení vůči změně zatížení. U automobilů se například jedná o nastavení světlé výšky podvozku.
- Semiaktivní odpružení - Pokud je odpružení elektronicky regulováno s využitím pouze malého množství energie, potřebné k chodu elektronické součásti, jedná se o semiaktivní odpružení. [1] Semiaktivní systémy odpružení jednak nabízí řešení omezeného výkonu pasivních systémů odpružení a jednak snížení vysokých systémových nákladů a spotřeby energie plně aktivních systémů odpružení. Hardware a ovládací prvky plně aktivního systému odpružení jsou také vyžadovány pro semiaktivní systém, avšak pohon, hydraulická čerpadla a akumulátory jsou nahrazeny jednoduchou ovladatelnou klapkou. Semiaktivní systémy tak mohou jednoznačně nabídnout levnější řešení ovládání odpružení ve srovnání s aktivními systémy.[2] Pro tuto práci je právě tento typ odpružení podstatný, proto bude dále rozebrán.

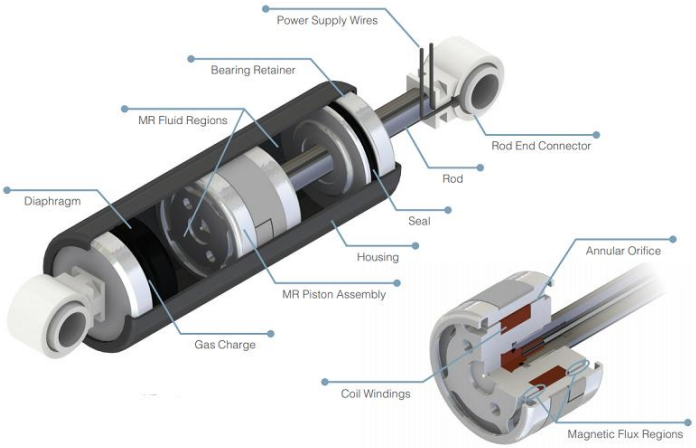
2.1.1 Semiaktivní tlumiče

Podstatou semiaktivních systémů odpružení je regulace tlumících účinků odpružení, tedy regulace tlumiče. Semiaktivní tlumiče jsou hydromechanická zařízení se schopností měnit množství energie, kterou rozptylují pomocí malého množství spotřebované energie. Takové systémy rozšiřují možný rozsah tlumicích charakteristik dosažitelných z běžného (pasivního) tlumiče. Pro účely semiaktivního řízení tlumení jsou pro dosažení požadovaného tlumení používána různá zařízení disipující energii. Jedná se nejčastěji o:

- Servo/Solenoidové tlumiče - Využívají elektronicky ovládané klapky v pístu, čímž ovlivňují proudění kapaliny v tlumiči.
- Elektromagnetické tlumiče - K zajištění tlumícího účinku využívají odporu při pohybu cívky magnetickým polem permanentního magnetu nebo elektromagnetu.
- Magnetoreologické (MR)/Elektroreologické (ER) tlumiče - tento typ tlumičů bude podrobněji rozebrán v následující kapitole. [2]

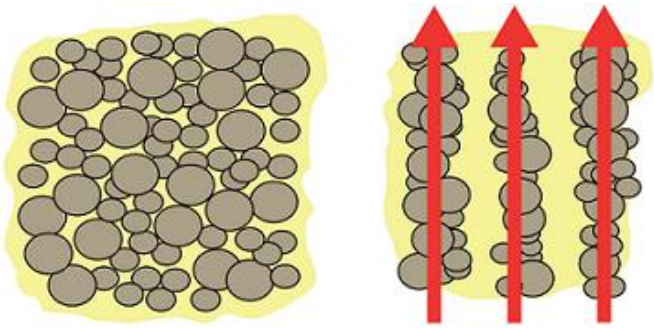
2.1.2 Magnetoreologické tlumiče

Podobně jako pasivní hydraulické tlumiče se MR tlumič skládá z kapaliny, která se pohybuje mezi různými komorami přes malé otvory v pístu a přeměňuje energii rázu na teplo. Rozdílem však je zabudovaný elektrický obvod do sestavy pístu MR tlumiče (Obr. 2-1). Uvnitř pístu je cívka, která po přivedení elektrického proudu vytváří magnetické pole a okamžitě mění vlastnosti magnetoreologické kapaliny proudící v pístu. [3]



Obr. 2-1 MR tlumič a píst [3]

MR kapaliny se skládají z magnetických (typicky železných) částic v nosné kapalině. Po aplikaci magnetického pole se během milisekund částice zarovnají do řetězců se směrem pole (Obr. 2-2). Tvorba těchto řetězců částic omezuje pohyb tekutiny mezerou v pístu, protože se zvyšuje mez kluzu tekutiny. Když je magnetické pole odstraněno, kapalina se stejně rychle vrátí zpět do svého přirozeného volně proudícího stavu. [3]



Obr. 2-2 Částice MR kapaliny ve volném stavu a v magnetickém poli [3]

Další nespornou výhodou je, že intenzita, ve které se kapalina mění na polopevnou látku, je úměrná síle magnetického pole, což dává kapalině nekonečnou ovladatelnost a přesnost. V důsledku toho lze odpor tlumiče plynule měnit v reálném čase, regulací elektrického proudu procházejícího cívkou v tlumiči. [3]

2.2 Využití semiaktivních systémů odpružení

Semiaktivní systémy si již našly cestu na trh vozidel. V současnosti dostupné semiaktivní tlumiče využívají solenoidové ventily nebo MR kapaliny, díky jejich technologickým výhodám a nákladové efektivitě. [2] Používány jsou ve vybraných modelech automobilů a motocyklů různých výrobců jako například BMW, Ducati, nebo KTM. [4] V cyklistice tyto systémy zatím běžně využívány nejsou, přesto tyto systémy na kolech lze najít.

2.2.1 Fox E-Live Valve

Prvním semiaktivním systémem, který se dostal do sériové výroby byl v roce 2018 systém semiaktivního odpružení pro horská kola Live Valve od společnosti FOX. V roce 2020 pak společnost FOX představila systém i pro elektrická horská kola E-Live Valve (Obr. 2-3). [5]

Obr. 2-3 Systém odpružení E-Live Valve [5]

Důsledkem odpružení E-Live Valve jsou dva kabely na rámu kola navíc, vedoucí k vidlici a jeden vedoucí k zadnímu senzoru v rámu. Akcelerometry s obnovovací frekvencí 1 kHz na vidlici a zadní části určují aktuální jízdní podmínky a sdělují pohyby přední a zadní části řídící jednotce. To zahrnuje nárazy od nerovností, kořenů, kamenů, brzdění a také aktuální stav a náklon kola, ať už jde o rovinu, jízdu do kopce, z kopce nebo dokonce let po skoku nebo pádu. Na základě nashromážděných dat řídící jednotka určí aktuální jízdní podmínky, ve kterých se kolo nachází a rozhodne zda odemknout nebo zamknout vidlici, tlumič nebo obojí a to vše během 3 ms. [5]

2.2.2 HiRide ESAS

Společnost HiRide vyvinula semiaktivní systém odpružení ESAS (Obr. 2-4) pro silniční, gravel a cyklokrosová kola. ESAS spojuje nejlepší vlastnosti kola se zadním odpružením a bez něj. Výsledkem je kolo, které nejen sprintuje a stoupá jako běžné, tuhé silniční kolo, ale v případě potřeby dokáže maximalizovat přilnavost a pohodlí. Díky sofistikovanému algoritmu a palubním senzorům dokáže ESAS otevřít nebo zavřít zadní pružící jednotku na bázi elastomeru a poskytnout až 11 mm odpružení zadního kola. [6]

Obr. 2-4 Kolo Pinarello Dogma K10S se systémem ESAS [6]

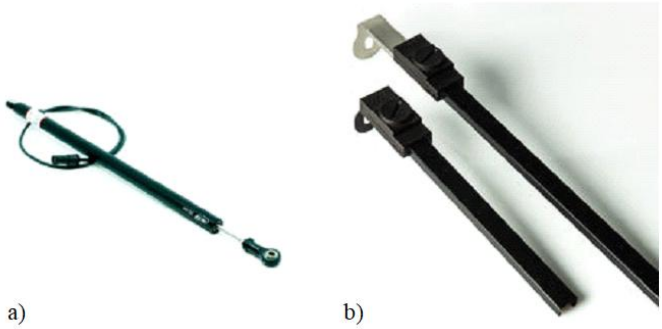
Kromě samotného tlumiče je součástí systému ESAS také chytrá bateriová jednotka umístěná v rámu kola. Tato 130g jednotka, namontovaná pod držáky na láhev v sedlové trubce, funguje také jako mozek systému a obsahuje šestiosý akcelerometr/gyroskop, který používá k analýze povrchu po němž se kolo pohybuje. Tento systém je však dostupný pouze výhradně prostřednictvím kola Pinarello Dogma K10S. [6]

2.3 Dostupné systémy měření zdvihu přední vidlice kola

Měření zdvihu přední vidlice kola je důležité nejen při vývoji, ale také při závodech ve sjezdu horských kol, neboli „MTB Downhill". Získaná data pomáhají v optimálním nastavení kola za nejrůznějších okolností nejen týmům profesionálních závodních jezdců, ale jsou užitečné i nadšencům do horských kol. Na trhu jsou dostupné systémy vyvinuté několika společnostmi. Tyto systémy jsou založené na různých principech. [7]

2.3.1 Systémy Motion Instruments, BYB Telemetry

Společnost Motion Instruments nabízí dva typy senzorů založených na principu lineárního potenciometru. Senzor MIPS (Motion Instruments Position Sensor) je kvalitní a přesný lineární potenciometr, jehož montáž je usnadněna kloubovým zakončením. Nabízí měření zdvihu až 350 mm a frekvenci vzorkování zdvihu 200 Hz za cenu asi 650 $. Snímač Tracer je také odolný lineární potenciometr, který disponuje podobnými vlastnostmi jako snímač MIPS, ovšem s výhodou nižší ceny a to od 350 $. Dodává se ve velikostech 200 mm nebo 300 mm a zajišťuje se pod krytkou ventilu vzduchové vidlice. Design snímače Tracer minimalizuje tření ve směru měření a snímač umožňuje vzorkování 200krát za sekundu. Tato data jsou bezdrátově odesílána do aplikace MotionIQ, která je okamžitě kvantifikuje pro vylepšení během jízdy nebo pro pozdější kontrolu. [7][8][9]



Obr. 2-5 Senzory společnosti Motion Instruments; a) Senzor MIPS; b) snímač Tracer [8]

Společnost BYB Telemetry, podobně jako Motion Instruments nabízí senzory zdvihu na bázi lineárních potenciometrů, akcelerometrů a gyroskopů, které jsou k dispozici nejen profesionálním závodním jezdcům, ale jsou dostupné i běžným uživatelům horských kol. Předností těchto systémů je snadná montáž na téměř jakékoliv kolo s odpružením jak vzduchovým, tak pružinovým. Systém umožňuje dvě frekvence vzorkování, 500 Hz a 1000 Hz a snímání zdvihu do 200 mm. Nashromážděná data systém ukládá a následně poskytuje ke stažení a analýze. [10] Pořízení tohoto senzoru se pohybuje od 330 $ za samostatný senzor až od 2000 $ za sadu senzorů. [11]

Obr. 2-6 Senzory zdvihu od společnosti BYB Telemetry [10]

2.3.2 Systém Quarq ShockWiz

Systém ShockWiz se připojuje přímo na vzduchovou pružinu pomocí malé hadičky, která se našroubuje na ventil vzduchové komory a do malé řídící jednotky. Ta se pásky připevní k vidlici. Díky tomu je velmi universální a lze ho namontovat na většinu vzduchových vidlic. ShockWiz přibližně 100krát za sekundu analyzuje změny tlaku ve vidlici, při jízdě po nerovnostech. Dokáže se připojit se k telefonu pomocí Bluetooth a poskytnout návrh nastavení, které pomůže optimalizovat odpružení kola. Cena takovéhoto senzoru začíná na 359 $. [12]

Obr. 2-7 Systém Quarq ShockWiz [12]

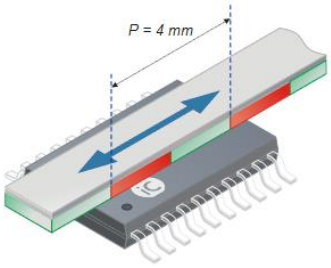
2.3.3 Systém SussMyBike

SussMyBike nabízí řešení „SMB flow“, které je založeno na senzoru typu draw-wire. Senzor je připevněn ke spodní části vidlice a konec drátu k horní části. Toto jednoduché řešení je velmi universální a lze jej použít pro vidlice jak vzduchové, tak pružinové. Senzor pracuje společně s mobilní aplikací, která definuje dostupná nastavení odpružení. [13][14]

Obr. 2-8 Senzor SMB flow [14]

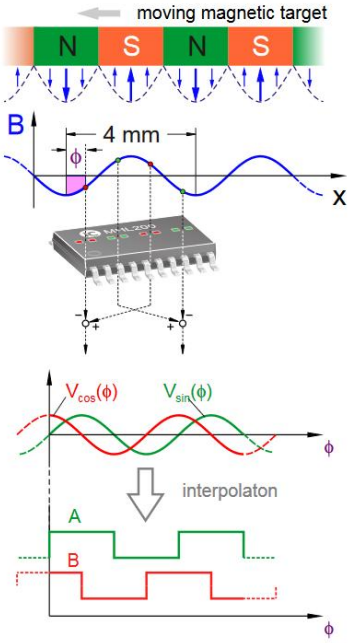
2.4 Senzor iC-MHL200

Senzor iC-MHL200 je magnetický snímač polohy, který využívá principu Hallova jevu. Obvykle se společně s iC-MHL200 také používá samolepicí magnetická páska se zmagnetizovaným vzorem sever-jih. Senzor umožňuje snímání polohy při maximálním rozlišení až 0,98 µm, tedy až 4096 přírůstků v rámci jedné magnetické periody, při rychlosti vzájemného pohybu až 8 m/s a vzorkování až 8 MHz. [15] Pořizovací cena senzoru se pohybuje do 7 $ [16] a cena pásky kolem 40 $ za metr. [17]



Obr. 2-9 Typické uspořádání iC-MHL200 a magnetické pásky [15]

Pro zajištění přesných signálů senzoru musí být magnetická páska tvořena periodicky se opakujícím uspořádáním severních a jižních pólů. Rozteč těchto pólů (vzdálenost NS) je 2 mm a magnetické pole má tedy periodické kolísání 4 mm (P na obrázku 2-9 výše), což odpovídá periodě pole Hallových senzorů ve snímači. Z periodického magnetického pole vytvářeného magnetickým páskem generuje pole Hallových senzorů signály, které jsou pak dále zpracovávány a předávány interpolátoru, který generuje přírůstková polohová data (Obr. 2-10). [15]



Obr. 2-10 Generování signálu a výstupní data [15]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

V rešeršní části této práce byly nejprve představeny různé systémy odpružení, podrobněji rozebrány semiaktivní tlumiče a následně bylo popsáno fungování magnetoreologických tlumičů. K regulaci takovéhoto tlumiče by v budoucnu měl být použit senzor iC-MHL200, jehož zástavba do vidlice kola je předmětem této práce.

Dále se práce zaměřuje na již používané semiaktivní systémy odpružení v cyklistice. Bylo zjištěno, že k dostání jsou pouze dva systémy, z čehož je jeden pro horská kola a druhý pro kola silniční. Důležitým poznatkem je, že oba tyto systémy k zjišťování dat potřebných pro optimalizaci nastavení odpružení kola používají akcelerometry. Tyto systémy tedy nemají pro problém, kterým se tato práce zabývá, významný přínos.

Bylo tedy nutné pokusit se najít jiný systém, který by pomohl vyřešit zástavbu senzoru iC-MHL200 do vidlice kola. Komerčně dostupné systémy, používané k měření zdvihu přední vidlice kola a následné analýze nashromážděných dat, se proto zdály být možným zdrojem potřebných informací. Nicméně žádný z těchto systémů nevyužívá k měření zdvihu magnetický snímač polohy, kterým je senzor iC-MHL200, ani jiný senzor jehož zástavba by mohla sloužit jako základ návrhu v této práci. Ačkoliv senzor Tracer firmy Motion Instruments se dá považovat za tvarově podobný senzor, jeho konstrukce nebude možné využít z důvodu rozdílného principu a požadavku zajištění voděodolnosti nového systému. Bude tedy nutné vytvořit zcela nový systém, aby mohl být problém vyřešen.

3.2 Cíl práce

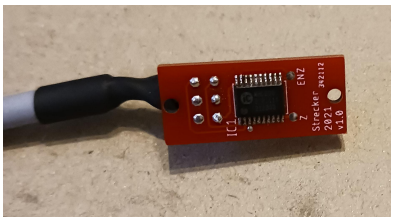
Hlavním cílem této práce je navrhnout zástavbu senzoru iC-MHL200 do přední vidlice kola. Vzhledem k tomu, že senzor iC-MHL200 není přímo konstruován pro měření zdvihu vidlice kola, bude dobré jej nejprve otestovat. Dílčími cíli práce tedy jsou návrh a výroba prototypu držáku senzoru, který bude použit k připevnění senzoru k vidlici a testování. Dalším dílčím cílem bude vyhodnocení dat nashromážděných během testování, čímž se ověří funkčnost čidla, jeho použitelnost pro tuto aplikaci a získají se data užitečná při návrhu zástavby.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

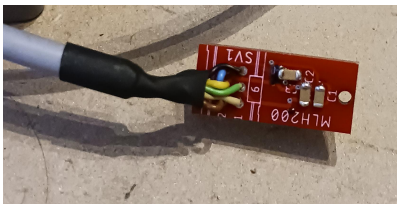
Tato kapitola se bude zabývat návrhem testovacího držáku, testem spolehlivosti senzoru při měření pístových zrychlení a vytvořením konceptů pro zástavbu čidla do nohy vidlice.

4.1 Koncepce testovacího držáku

Aby mohl být senzor iC-MHL200 otestován bylo nejprve nutné vytvořit prototyp držáku, pomocí kterého bude připevněn k vidlici testovacího kola. Senzor iC-MHL200 se skládá ze dvou částí, magnetického pásku o rozměrech 10×1,6 mm, přičemž jeho maximální délku (1000 mm) lze libovolně zkrátit a čipu s Hallovými senzory na malé základní desce o rozměrech 11×25×4,1 mm (Obrázky 4-1 a 4-2 níže). Tyto dvě součásti se od sebe během měření nesmí vzdálit na více než 1 mm, aby pracovaly správně a bez problémů. S ohledem na všechny tyto rozměry bude tedy potřeba navrhnout testovací držák a současně také bude vhodné brát v potaz maximální možný tiskový prostor 3D tiskárny Renkforce RF 100, tedy 100×100×100 mm, která je pro výrobu tohoto prototypu snadno k dispozici.



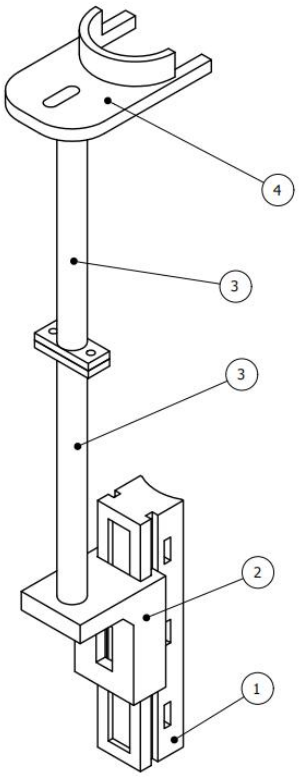
Obr. 4-1 Základní deska - strana s čipem s Hallovými senzory



Obr. 4-2 Základní deska - strana s připojeným kabelem

4.1.1 Koncepční řešení držáku č. 1

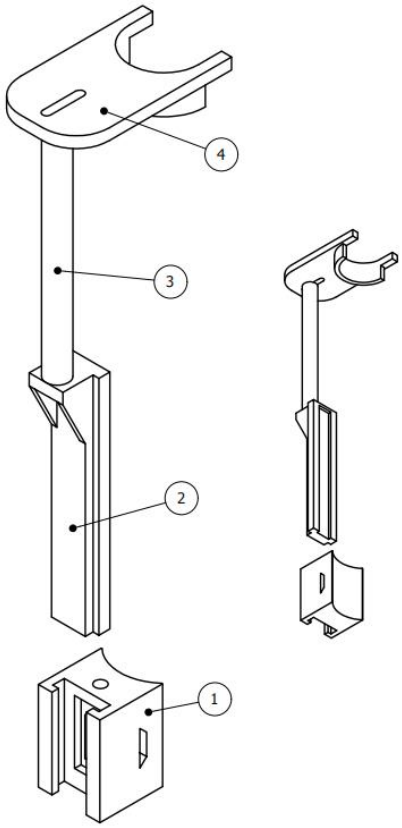
První koncept se skládá z pěti dílů (Obr. 4-3). Součást 1 je pevně připevněna ke spodní části nohy vidlice a drážka v ní slouží k přilepení magnetického pásku. Jednoduchým vedením je spojena se součástí 2, která také slouží k upevnění čipu senzoru. Dvě vzájemně propojené součásti 3 pak spojují součást 2 se součástí 4, která je pevně připevněná k horní části nohy vidlice, v místě upevnění tlumiče do korunky.



Obr. 4-3 Koncept držáku č. 1

4.1.2 Koncepční řešení držáku č. 2

Druhý koncept se skládá z čtyř součástí (Obr. 4-4). Součást 1 je pevně připevněna ke spodní části nohy vidlice a současně slouží k upevnění čipu senzoru. Jednoduchým vedením je spojena se součástí 2, která současně umožňuje přilepení magnetického pásku v drážce. Součást 3 spojuje součást 2 se součástí 4, která je pevně připevněná k horní části nohy vidlice, v místě upevnění tlumiče do korunky.



Obr. 4-4 Koncept držáku č. 2

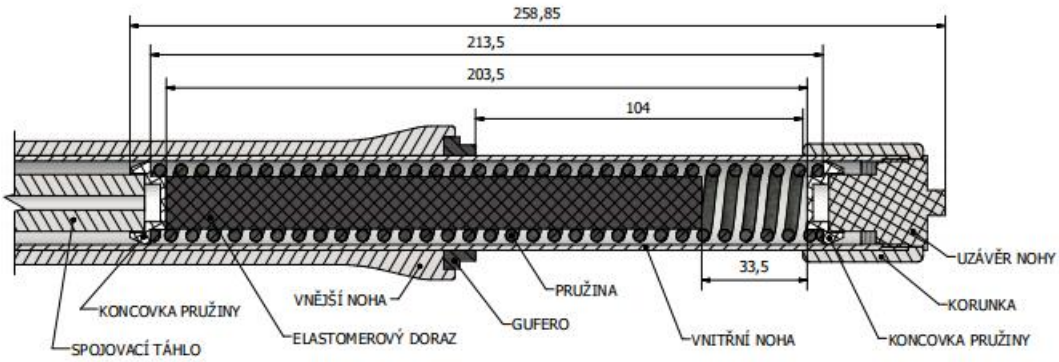
4.1.3 Vyhodnocení koncepčních řešení testovacího držáku

Pro konstrukci prototypu držáku bylo vybráno koncepční řešení 2 pro větší kompaktnost a snazší smontovatelnost. Součást 1 (Obr. 4-4) této koncepce také umožňuje bezpečnější uložení elektronického čipu a minimalizuje tak možnost jeho poškození. Testovací držák poslouží jako jednoduché řešení k úspěšném otestování senzoru, avšak zejména pro svou velikost, způsob spojení s vidlicí, vnější umístění a pouze nízkou ochranu měřících součástí nebude vhodný jako finální řešení zástavby a případnou sériovou výrobu.

4.2 Koncepce zástavby čidla

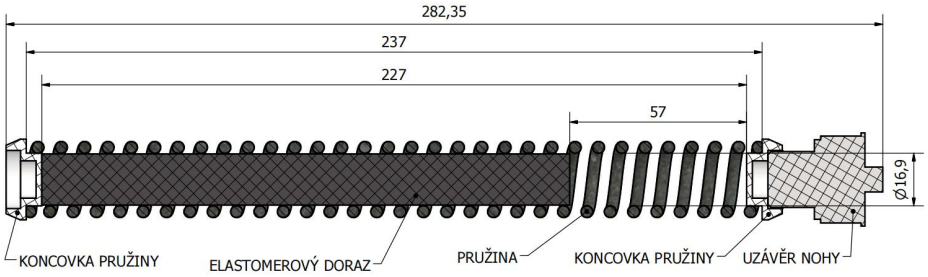
Pro konečnou verzi zástavby byla zvolena vidlice SR SUNTOUR XCR 011 Series (Obr. 4-5) s mechanickou pružinou z mého vlastnictví. Aby bylo možné mechanismus do této vidlice správně navrhnout, bylo nejprve nutné vidlici rozmontovat a zjistit rozměry, se které bude třeba pracovat.

Obr. 4-5 Vidlice SR SUNTOUR XCR 011 Series



Obr. 4-6 Řez pravou nohou vidlice

Po rozebrání vidlice a bližším pohledu na vnitřní části nohy s pružinou (Obr. 4-8) bylo jasné, že mechanismus bude muset být umístěn namísto černého elastomerového dorazu (Obr. 4-7) uprostřed pružiny. Oměřením bylo zjištěno, že vnitřní průměr pružiny je 16,9 mm, její délka je 237 mm, vzdálenost mezi koncovkami 227 mm a doraz umožňuje stačení o 57 mm. Avšak pokud je noha složená, pružina je v předepjatém stavu (Obr. 4-6). Její délka se tak zkrátí na 213,5 mm, vzdálenost mezi koncovkami na 203,5 mm a doraz umožňuje stačení pouze o 33,5 mm. Všechny tyto rozměry budou tedy rozhodující při navrhování mechanismu.



Obr. 4-7 Řez vnitřními součástmi vidlice po vyjmutí

Obr. 4-8 Vnitřní části vidlice

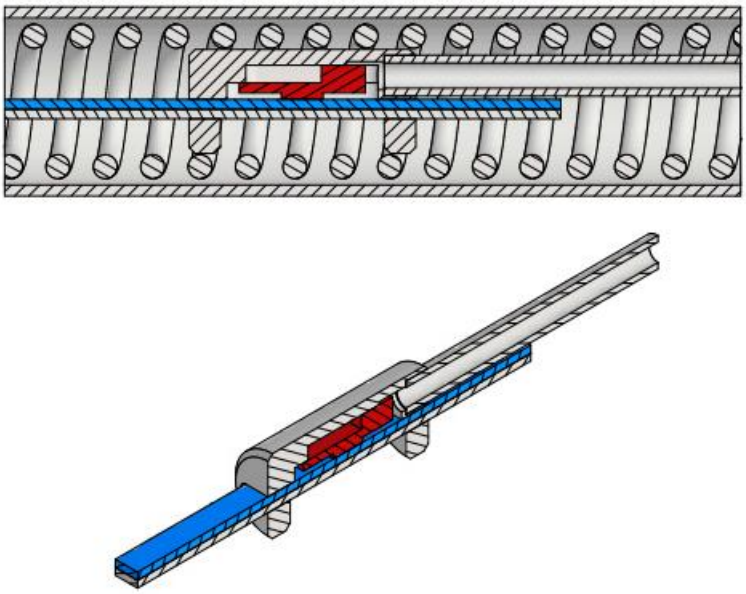
Na oba konce pružiny byly umístěny totožné bílé plastové koncovky (Obr. 4-8), které svým tvarem pasují do středu pružiny a na jedné straně do uzávěru nohy a na druhé straně do spojovacího táhla. Tyto koncovky tedy zprostředkovávají styk pružiny s oběma vzájemně se pohybujícími částmi vidlice, čehož lze využít a při samotné konstrukci mechanismu použít tvar těchto koncovek a ve vidlici je nahradit součástmi s podobným tvarem.

Dále bude třeba zajistit, aby při stačení pružiny nedošlo k mechanickému poškození čidla, kabelu, magnetického pásku ani částí mechanismu a zároveň se od sebe čidlo a magnetický pásek nevzdálili o více než 1 mm, jak už bylo řečeno dříve. Jelikož bude z vnitřku vidlice třeba vyvést kabel, bude také nutné zabezpečit odolnost vůči vodě a jiným nečistotám a zabránit jejich proniknutí do vidlice.

4.2.1 Koncept zástavby čidla č.1

První koncepční řešení částečně vychází z již vytvořeného prototypu držáku, použitého při testování senzoru. Toto řešení počítá s vytvořením hlavní konzole, ve které bude jednak umístěn čip s Hallovými senzory (červený na obr. 4-9) a také jí bude procházet magnetický pásek (modrý na obr. 4-9) na podpoře. Tato podpora by měla zajistit vyšší tuhost pásku, jeho správnou polohu vůči čipu a upevnění ke spodní části vidlice. Celá konzole pak bude spojena s horní částí vidlice za pomoci trubičky, která bude současně sloužit jako ochrana pro kabel vedoucí k čipu.

Toto řešení je poměrně jednoduché, avšak výroba konzole by mohla být náročnější vzhledem k jejímu tvaru.

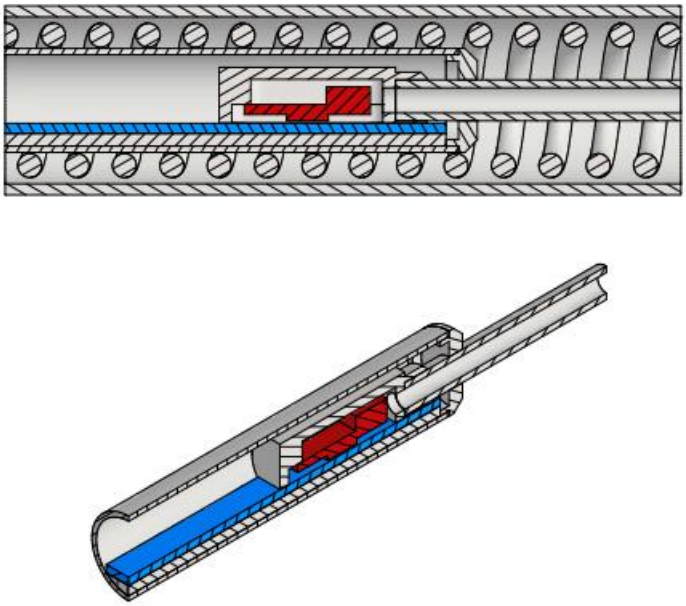


Obr. 4-9 Koncept zástavby č.1

4.2.2 Koncept zástavby čidla č.2

Druhé koncepční řešení se inspiruje modelem pístu ve válci. Válec bude sloužit jako ochrana nejpodstatnějších komponent, uložení magnetického pásku (modrý na obr. 4-10) a jeho upevnění ke spodní části vidlice. V pístu bude zabudován čip (červený na obr. 4-10) a jeho uložení s válcem umožní přesnou vzájemnou polohu čipu a pásku. Pístnice pak zajistí spojení pístu a horní části vidlice a zároveň poskytne ochranu pro kabel vedený k čipu.

Tato koncepce je sice složitější, než koncepce první, avšak veškeré součásti jsou symetrické osově, případně rovinově, což by mělo usnadnit výrobu těchto dílů.



Obr. 4-10 Koncept zástavby č.2

4.2.3 Vyhodnocení koncepčních řešení zástavby čidla

Pro řešení konstrukce zástavby bude vhodnější využít druhé koncepce (Obr. 4-10). Jak už pro lepší ochranu nejdůležitějších dílů, tak i jejich výhodnější pozice ve srovnání s konceptem prvním. Příkladem může být izolování čipu a magnetického pásku od maziva v noze vidlice, nebo vyvedení kabelu osou celé nohy vidlice.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Tato kapitola se bude zabývat nejprve konstrukcí testovacího držáku a následně konstrukcí zástavby senzoru do nohy vidlice a jejími podstatnými součástmi (výkresy součástí lze nalézt v příloze).

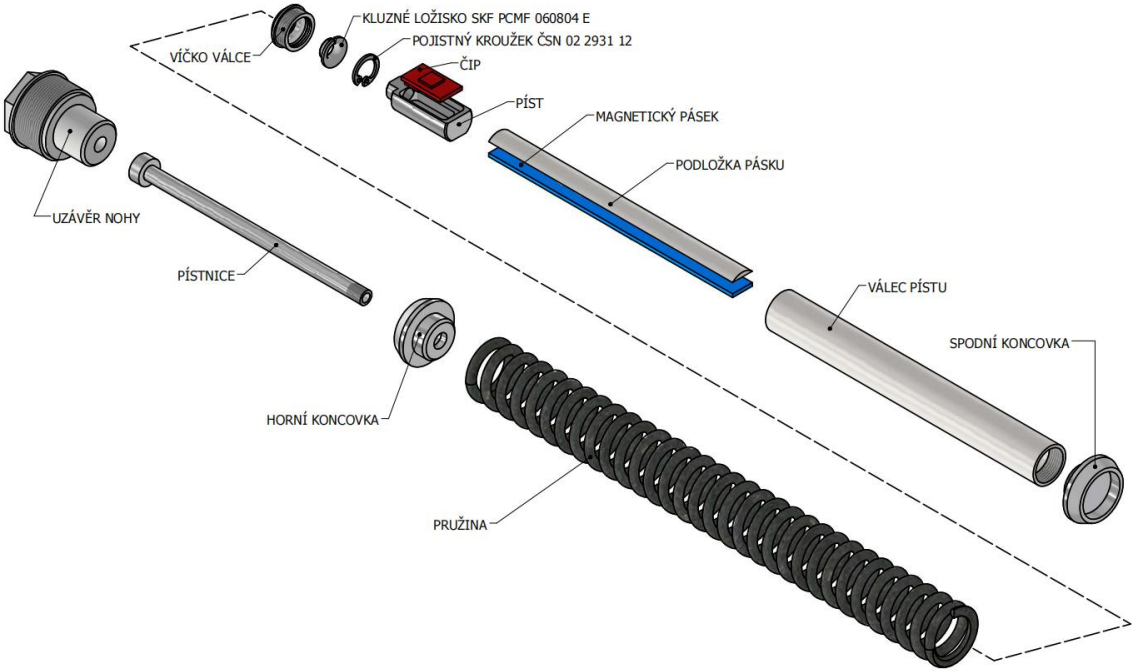
5.1 Konstrukce testovacího držáku

Koncepční řešení 2 bylo mírně upraveno (model držáku je součástí příloh) a součásti byly vytištěny na 3D tiskárně Renkforce RF 100. Následně byly součásti ručně broušeny, aby bylo možné sestavení a byl zajištěn hladší vzájemný pohyb součástí. Součásti 2, 3 a 4 (Obr. 4-4) byly spojeny pomocí vrutů a do žlábku v součásti 2 byl přilepen magnetický pásek. Do součásti 1 byl přiveden kabel, jednotlivé dráty připájeny k čipu senzoru iC-MHL200 a kabel byl zajištěn průchodkou. Součást 2 byla nakonec zasunuta do součásti 1, ke konstrukci byly přiloženy hadicové spony pro připevnění k vidlici a testovací držák byl připraven k měření (Obr. 5-1).

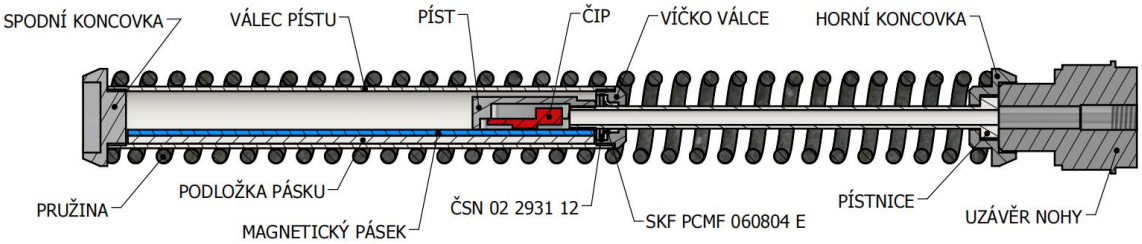
Obr. 5-1 Vytištěný a sestavený prototyp držáku.

5.2 Konstrukce zástavby čidla

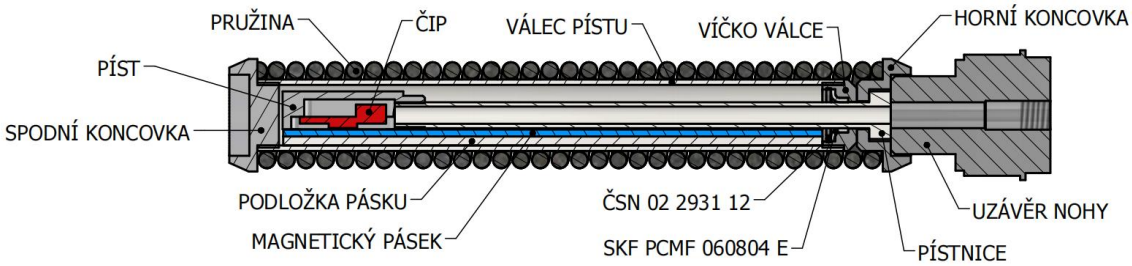
Po zvolení vhodné koncepce mechanismu pro zástavbu bylo možné vytvořit vlastní konstrukci (Obrázky 5-2, 5-3, 5-4). Při konstruování byly jednotlivé díly koncepce optimalizovány a minimalizovány. Všechny součásti jsou vyrobené z válcových polotovarů, a většina je i osově souměrná, což by mělo usnadnit výrobu těchto dílů a následně i kompletaci. Pro většinu spojů bylo využito závitů a pístnice byla vložena do kluzného ložiska pro zajištění bezproblémového, hladkého chodu a ochrany vnitřku válce před mazivem a nečistotami.



Obr. 5-2 Konstrukční řešení zástavby - rozložený pohled



Obr. 5-3 Konstrukční řešení zástavby



Obr. 5-4 Konstrukční řešení zástavby - stlačený stav

5.2.1 Spodní koncovka

Tato součást je téměř identická s původní plastovou koncovkou pružiny, ale rozdílem je závit M15x1, kterým je spojena s „válcem pístu“ a zajišťuje jeho pevnou polohu vůči spodní části nohy vidlice. Pro odlehčení konstrukce je součást vyrobena z hliníku.

5.2.2 Válec pístu

Na vnitřní stěnu válce je za pomoci „podložky pásku“ umístěn magnetický pásek, tedy jedna ze dvou částí měřícího senzoru. Díl slouží jako ochranné pouzdro měřícího zařízení a zároveň společně s „pístem“, který v něm klouže, jako vodící prvek pro čip, druhou část senzoru.

Stěna válce je velmi tenká, pouze 1,25 mm. Je to zapříčiněno hlavně umístěním ostatních součástí uvnitř válce. Vnější průměr válce je omezen vnitřním průměrem pružiny, přičemž je mezi nimi radiální vůle 0,4 mm. Naproti tomu zmenšení vnitřního průměru válce by mělo za následek posunutí magnetického pásku blíže středu válce a další zmenšení prostoru pro „pístnici“, jejíž průměr také není možné více zmenšit.

Jelikož je stěna válce tenká, je válec vyroben z oceli 11 500 pro zajištění lepší pevnosti, ale zachování stále nízké ceny součásti. Ze stejného důvodu, tedy aby příliš neoslabil stěnu válce, byl vybrán jemný závit M15x1, který na jednom konci umožňuje spojení se „spodní koncovkou“ a na druhém s „víčkem válce“. Malé průměry těchto závitů však mohou mít průměr 13,917 mm, což je menší rozměr díry, než jaký je zapotřebí k zasunutí „pístu“ dovnitř válce. Proto je nutné malé průměry obrobit na Ø 14 H6 a tím bezpečně zajistit složitelnost součástí.

5.2.3 Víčko válce

Víčko je spojeno závitem M15x1 s „válcem pístu“ a brání vniknutí nečistot a nežádoucích částic dovnitř válce. Současně je v něm za pomoci pojistného kroužku ČSN 02 2931 12 zajištěno kluzné ložisko SKF PCMF 060804 E, které poskytuje styk s „pístnicí“, zlepšuje těsnící funkci této součásti a umožňuje hladký vzájemný pohyb těchto dílů sestavy. Společně s „válcem pístu“ a „spodní koncovkou“ slouží také jako doraz při nadměrném stlačení pružiny. Vyrobeno je opět z hliníku pro odlehčení.

5.2.4 Pístnice

Hlavní funkcí tohoto dílu je zprostředkování spojení „pístu“, a s ním i čipu s Hallovými senzory, s horní části nohy vidlice přes další součástky. Spojení s pístem je tvořeno závitem M6x0,5 a druhý konec pístnice je s malou vůlí uložen do „horní koncovky“, aby byl umožněn prokluz součástí při zkrutu pružiny během jejího stlačení. Pístnice je dutá, aby jejím jádrem bylo možné vyvést dráty od čipu ven z vidlice. To má ovšem i nežádoucí důsledek a sice tenkou stěnu pístnice. Z toho důvodu byla jako materiál pro pístnici vybrána ocel 11 500, pro zlepšení pevnosti součásti, podobně jako u „válce pístu“. Při výrobě tohoto dílu je také možné využít jako polotovar zbytek kulatiny použité při výrobě „podložky pásku“ a z toho důvodu jsou ze stejného materiálu.

5.2.5 Píst

Píst je nejkomplikovanější prvek této konstrukce. Slouží jako úložný prostor pro čip a vede ho podél magnetického pásku ve vzdálenosti asi 0,35 mm, čímž umožňuje samotné pracování senzoru. Vzájemný lineární pohyb je možný díky malé vůli mezi válcovými plochami pístu a „válce pístu“, kterou zajišťuje smykové uložení H7/h6.

Součást má tvar válce, který je ze dvou protějších stran zploštěný. Jedno z těchto zploštění tvoří prostor, kterým proudí vzduch ve válci kolem pístu, druhé tvoří prostor pro magnetický pásek a zabraňuje rotaci pístu ve válci. Směrem ke středu pístu pod touto plochou je vytvořený lem, který slouží k připevnění čipu, a místo ve středu pístu sloužící k vyvedení drátů od čipu skrz pístnici. Píst je s pístnicí spojen za pomoci závitu M6x0,5. Díl je vyroben z hliníku, což pomáhá odlehčení konstrukce a nenarušuje magnetická pole tvořená páskem.

5.2.6 Horní koncovka

Podobně jako „spodní koncovka“ je vyrobena z hliníku a příliš se neodlišuje od původní plastové koncovky pružiny. Tvar součásti byl pouze upraven tak, aby v ní bylo možné uložení koncové části „pístnice“.

5.2.7 Uzávěr nohy

Tento díl je svým tvarem také podobný původnímu plastovému uzávěru. Nyní se však jedná o jednodílnou hliníkovou součást, která neumožňuje předpětí pružiny. V její ose je díra poskytující prostor pro spojení drátů vedoucích od čipu do kabelu a jeho vyvedení ze středu nohy ven. Díra je zakončená závitem M8 6H, který dovoluje zajištění kabelu průchodkou a utěsnění celé nohy. S nohou je uzávěr spojen závitem M28 6g a pro snazší utažení byl na součásti vytvořen šestihran, aby nebylo zapotřebí speciálního nástroje jako u původní součásti.

6 DISKUZE

6.1 Testování senzoru

Po vyrobení a sestavení prototypu držáku mohlo být provedeno měření. Senzor iC-MHL200 byl jako součást držáku připevněn k vidlici testovacího kola pomocí hadicových spon (Obr. 6-1).

Obr. 6-1 Prototyp držáku připevněný k vidlici

Aby bylo možné naměřená data nějakým způsobem vyhodnotit, byl k vidlici stejným způsobem připevněn také druhý senzor (Obr. 6-2). Tímto senzorem byl lineární potenciometr s vzorkovací frekvencí 500 Hz, který byl již dříve použit v práci **Z. Streckera et al.** [18] a tím pádem bylo zaručeno, že bude při měření poskytovat spolehlivá data.

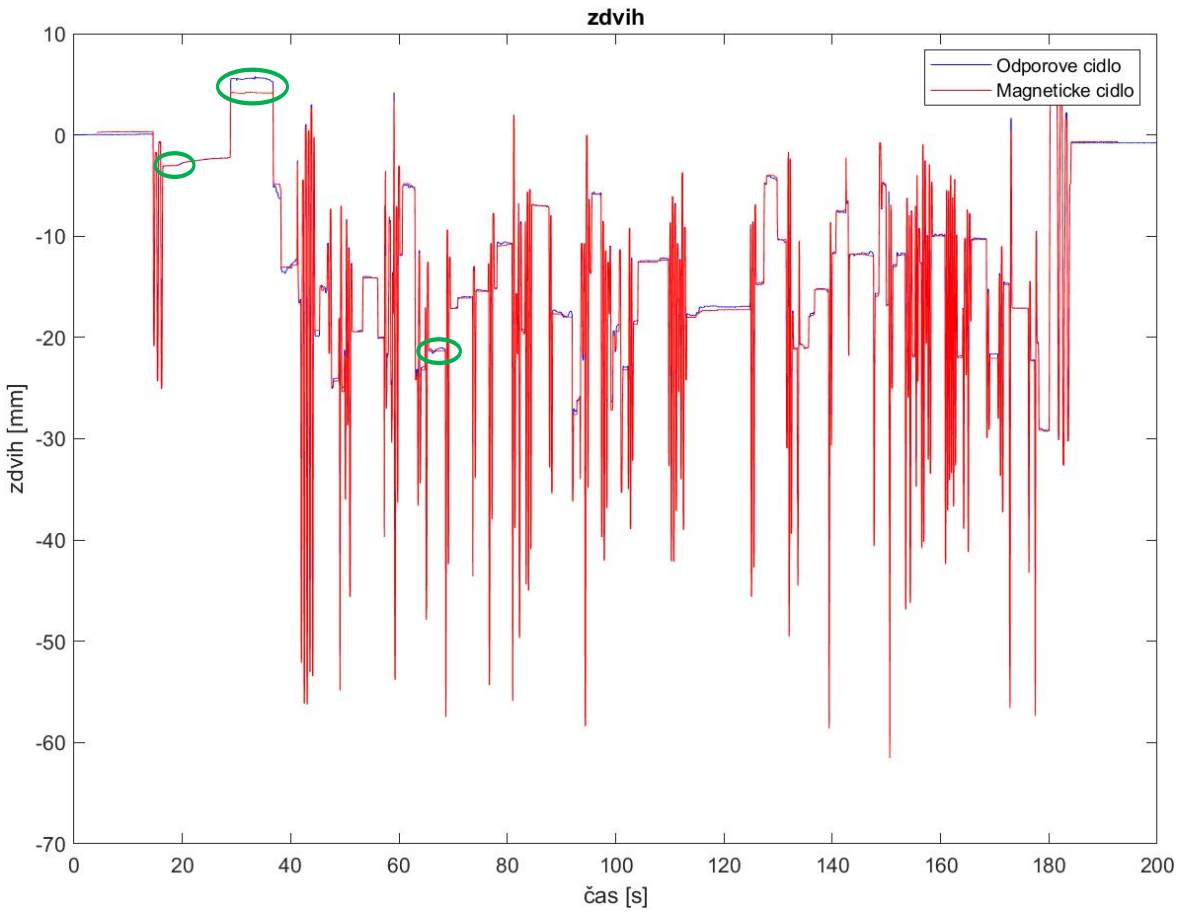
Obr. 6-2 Lineární potenciometr připevněný k vidlici

Následně bylo provedeno několik jízd na testovacím kole, během kterých obě čidla zaznamenávala stlačení vidlice při přejezdech nerovností. Nashromážděná data ze dvou nejúspěšnějších jízd byla použita k hodnocení vhodnosti senzoru a jsou přiložena v příloze.

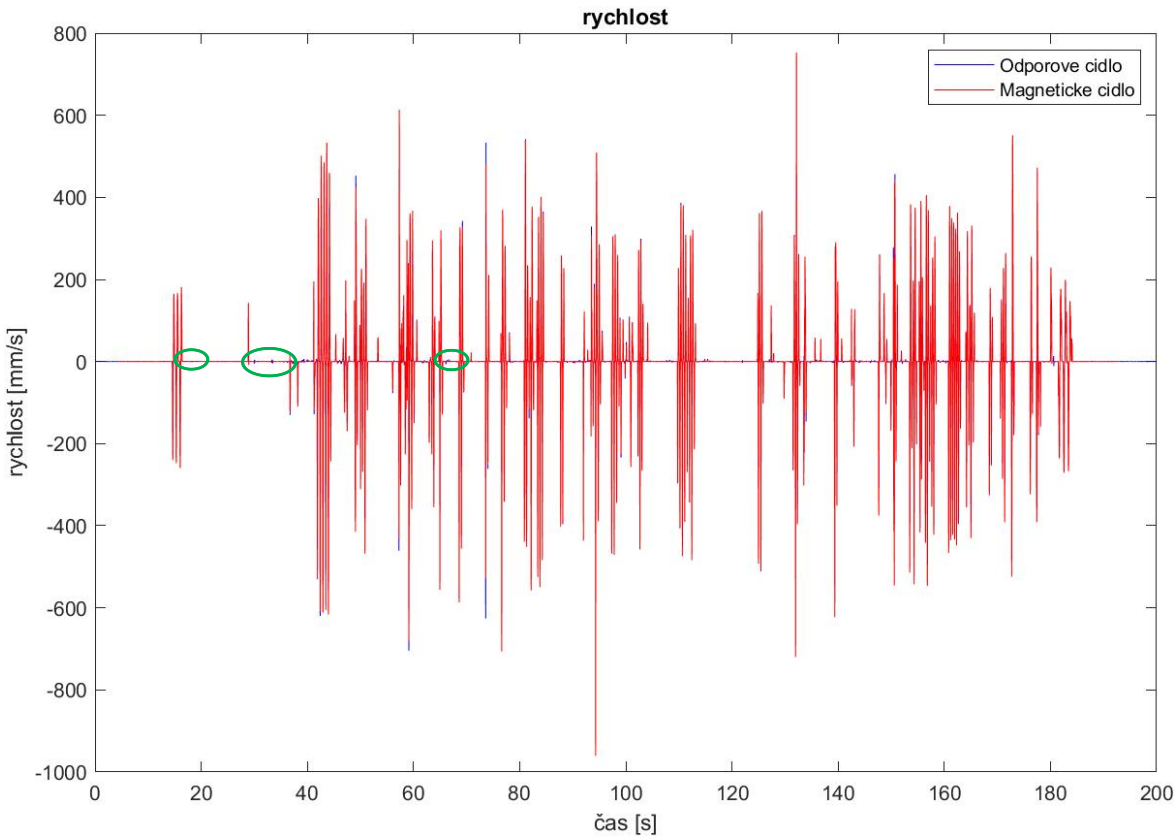
6.2 Výsledky měření

Po získání potřebných dat je bylo potřeba vyhodnotit, což bylo provedeno v program MATLAB. Obě čidla použitá při testu měří vzájemný posuv spodní a horní části vidlice kola, avšak pro řízení semiaktivního tlumiče je třeba znát i vzájemnou rychlost těchto dvou částí kola. Z toho důvodu byla data vzájemného posuvu přepočítána na vzájemnou rychlost a následně i na vzájemné zrychlení. Současně byly vytvořeny i grafy pro tyto charakteristiky. Scripty pro vytvoření grafů v programu MATLAB lze nalézt v příloze.

Obrázky 6-3 a 6-4 níže ukazují graf naměřených hodnot zdvihu respektive graf hodnot rychlosti během prvního měření při vzorkování 50 Hz. Zeleně jsou zde zvýrazněna místa detailů, které jsou pak rozebrány v podkapitolách 4.4.1 až 4.4.3. Na grafu hodnot rychlosti (Obr. 6-4) lze snadno vidět, že hodnoty vzájemné rychlosti jsou bezpečně pod limitem rychlosti 8 m/s, při níž je senzor schopný pracovat (kapitola 2.4).



Obr. 6-3 Graf naměřených hodnot zdvihu

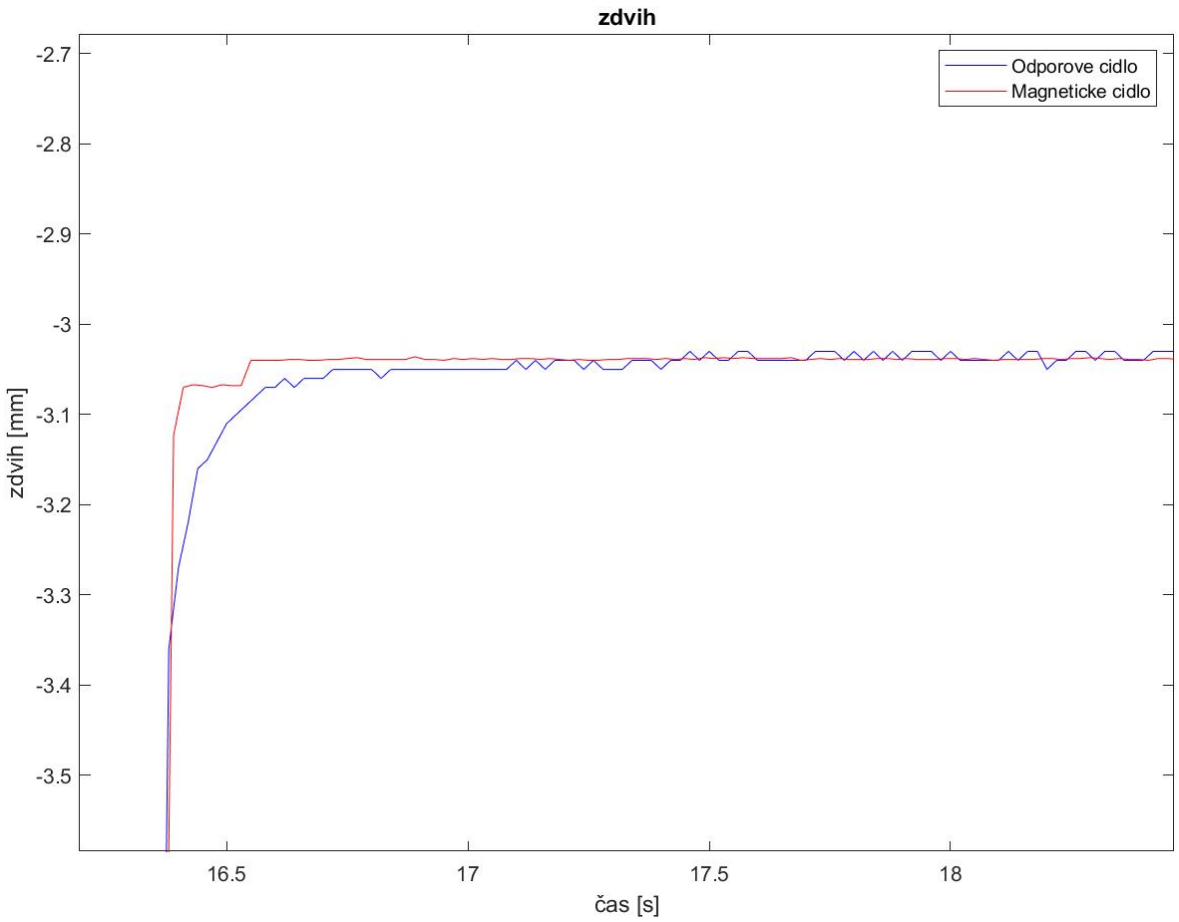


Obr. 6-4 Graf hodnot rychlosti

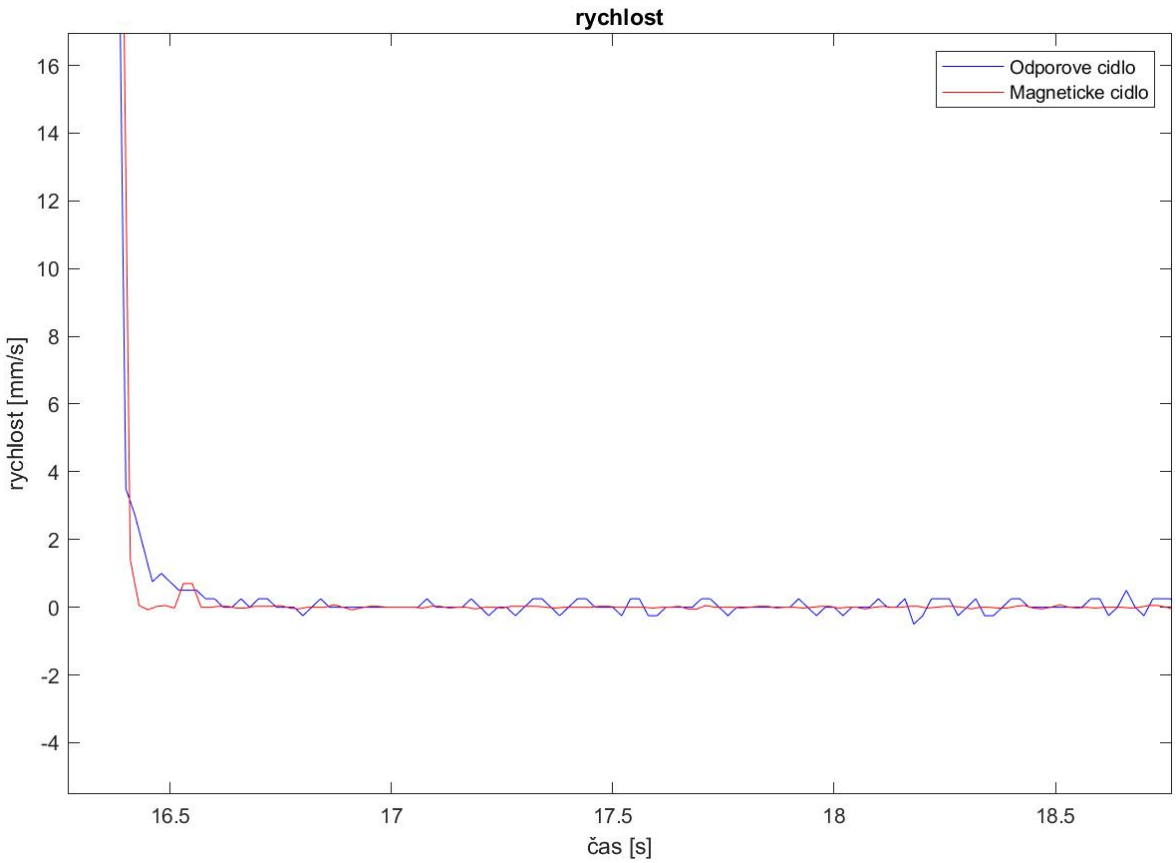
6.2.1 Detail 1

V obrázku 6-5 níže, zobrazující detail mezi 16. a 18,5. sekundou, můžeme pozorovat, že lineární potenciometr (odporové čidlo) měřil zdvih s vyšší přesností a zaznamenal jemné výchylky zdvihu v rámci tisícin milimetru. Ačkoliv magnetický senzor má potenciálně rozlišení, aby tyto výchylky zaznamenal, nestalo se tak a zaznamenaná data jsou ve stejném časovém úseku měření více konstantní. Tento rozdíl způsobil kolísání hodnot rychlosti u odporového čidla (Obr. 6-6) do ±0,5 mm/s^2. Nezaznamenání těchto výchylek magnetickým senzorem bylo zřejmě zapříčiněno strukturou testovacího držáku. I po obroušení 3D tištěných součástí na jejich povrchu zůstaly nedokonalosti. Tyto malé rýhy pak způsobily plastické deformace a drobné zadírání držáku a nepřesnosti v měření.

Takovéto výchylky mohou být způsobeny například pouhou jízdou po asfaltovém povrchu, nebo vzorkem pneumatiky. Jejich neznamenání by tudíž nemuselo mít markantní vliv na ovládání MR tlumiče a komfort jízdy.



Obr. 6-5 Graf naměřených hodnot zdvihu - detail 1



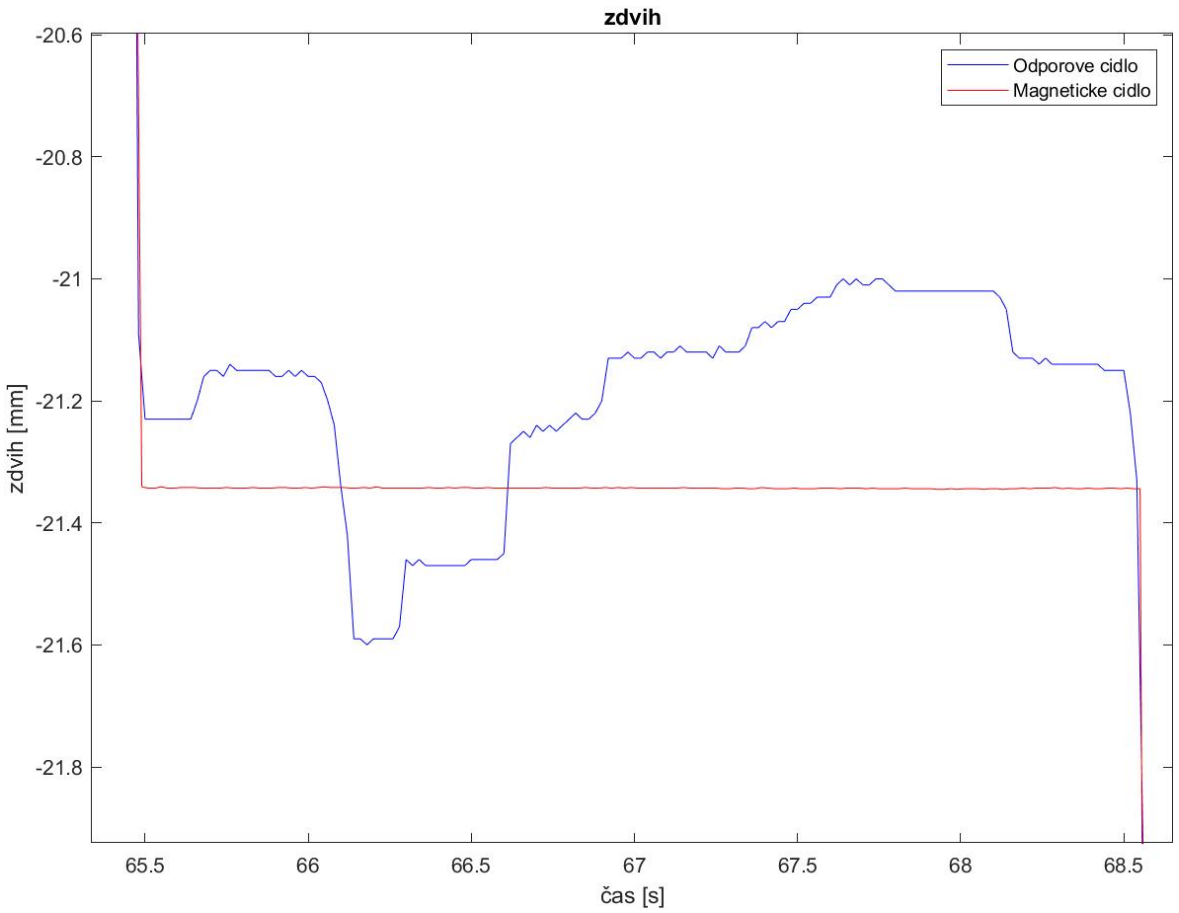
Obr. 6-6 Graf hodnot rychlosti - detail 1

6.2.2 Detail 2

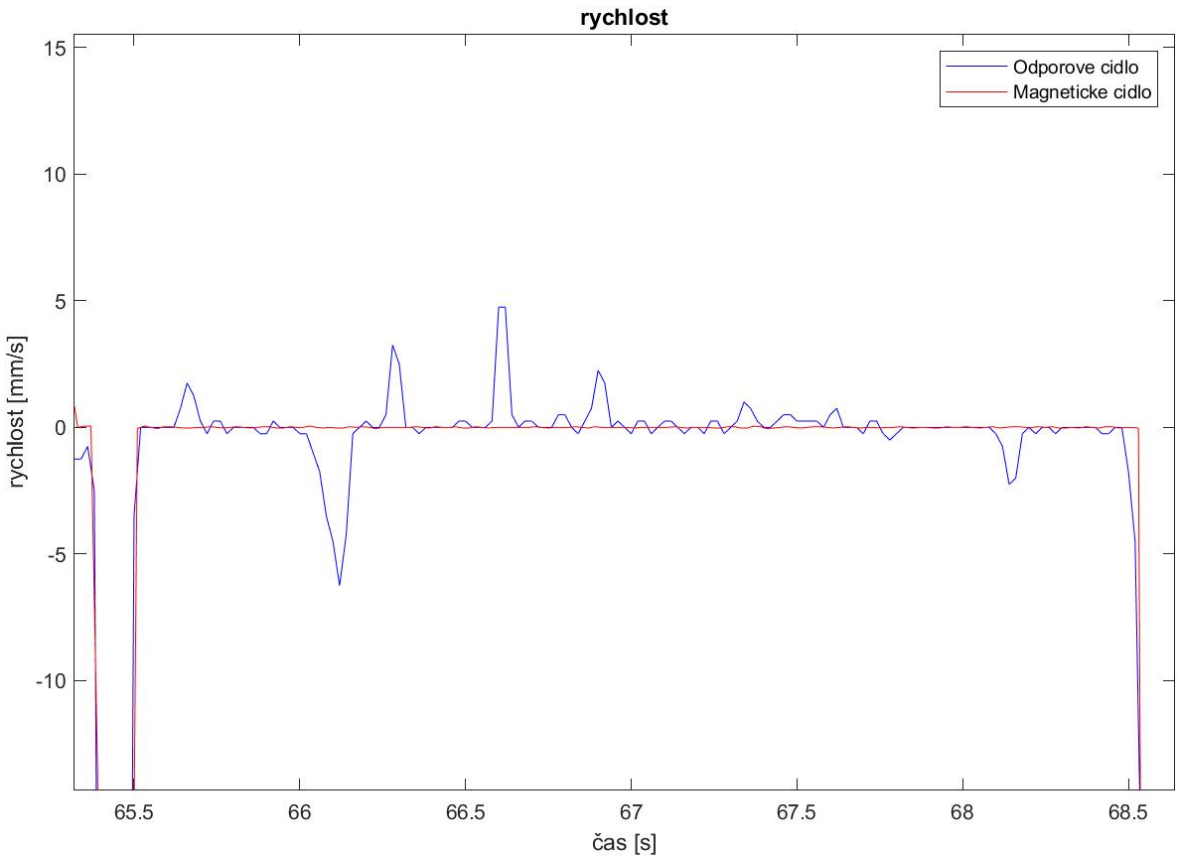
Detail 2 (Obr. 6-7 níže) při porovnání s detailem 1 (Obr. 6-5 výše) ukazuje mezi 65. a 69. sekundou, že došlo k jistému posunu v grafu, kdy magnetické čidlo měří hodnoty asi o 0,1 mm menší, než čidlo odporové. Pravděpodobně to způsobilo upnutí magnetického čidla hadicovými sponami. Při přejezdu přes větší nerovnost, jako tomu bylo právě ve chvíli před tímto detailem, došlo k o něco většímu vzpříčení držáku, což mělo za následek malý posun součásti držáku, případně spony po vidlici a tím vznikl i posun v měřených hodnotách zdvihu.

Opět také pozorujeme zaznamenání množství menších výchylek odporovým čidlem. Tyto výchylky také způsobují rozdíl v grafu rychlosti a sice několik vrcholů o velikosti kolem 5 mm/s^2, které jsou však asi 40krát menší než průměrná velikost hrotů grafu a z toho důvodu i zanedbatelné.

Co je ale podstatnější, magnetické čidlo dokáže dobře reagovat na velké změny zdvihu, jaké můžeme vidět na začátku a konci detailu grafu, a to srovnatelnou rychlostí jako čidlo odporové. Právě toto jsou změny způsobené nerovnostmi v cestě kola na něž bude potřeba reagovat upravením vlastností semiaktivního tlumiče.



Obr. 6-7 Graf naměřených hodnot zdvihu - detail 2

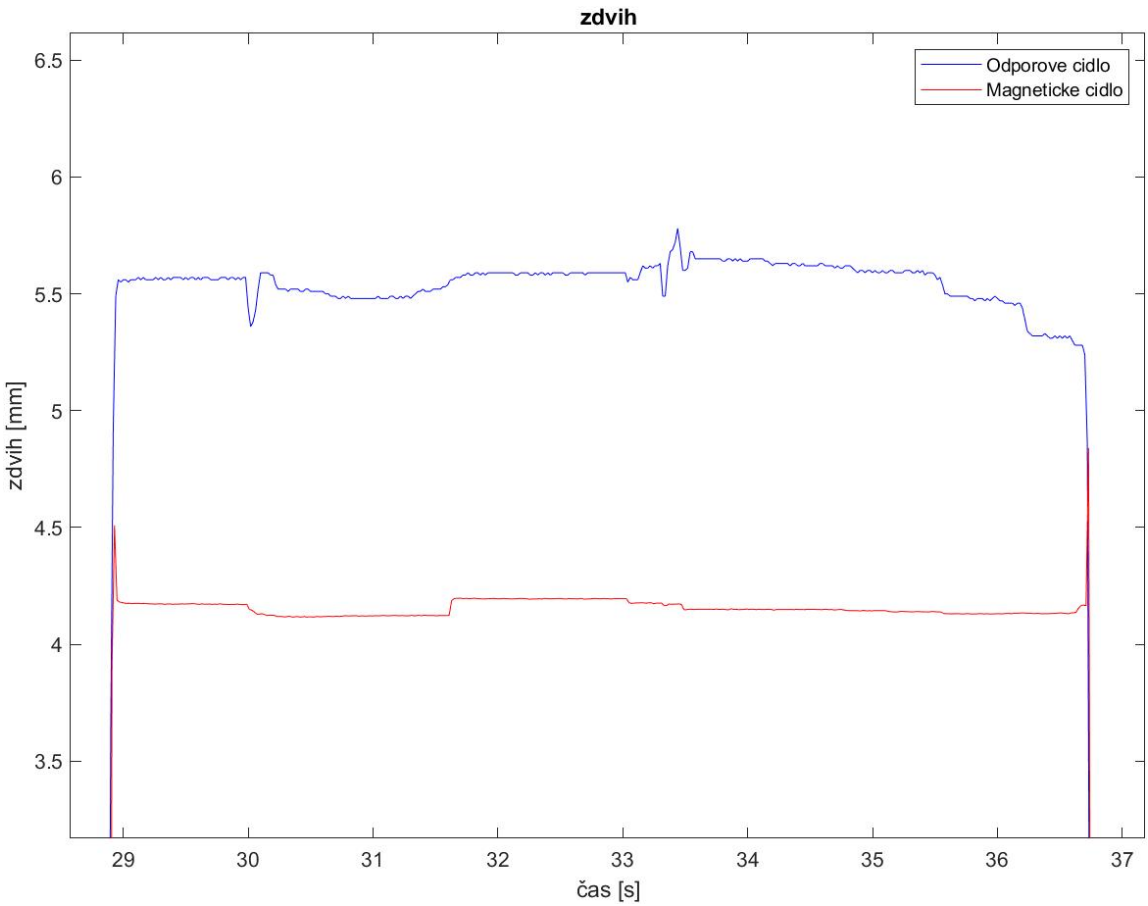


Obr. 6-8 Graf hodnot rychlosti - detail 2

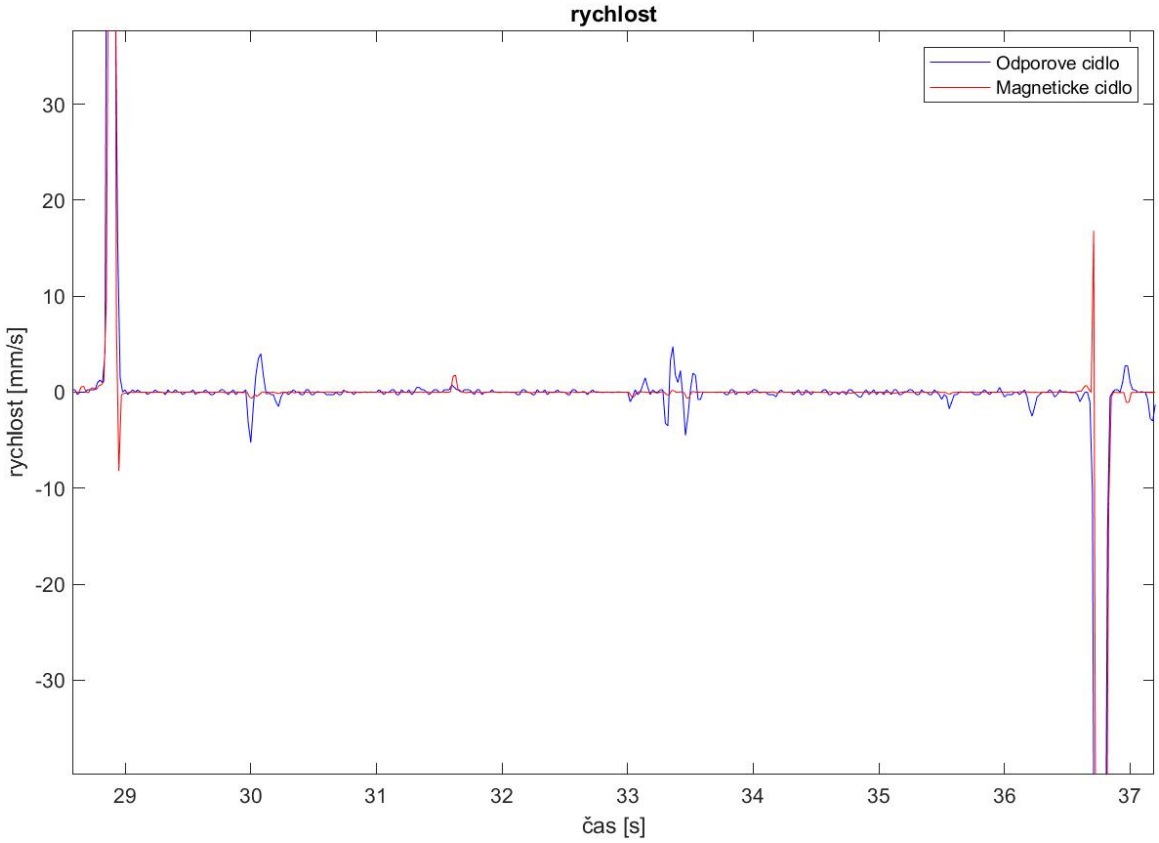
6.2.3 Detail 3

Detail 3 se zabývá nepřesností magnetického čidla při určování polohy, která vznikla mezi 28. a 37. sekundou v průběhu grafu (Obr. 6-9). Podobná nepřesnost vznikla také mezi 180. a 181,5. sekundou. Toto jsou jediné dva případy, kdy se hodnoty zdvihu naměřené magnetickým čidlem dostávají přes +4 mm. Takové hodnoty byly měřeny při menším zatížení vidlice, než vlastní váhou kola, tedy při jejím plném odlehčení. V takovém případě pravděpodobně došlo k posunu součástí držáku takovým způsobem, že magnetický pásek ztratil podporu v místě, kde dochází k jeho čtení čipem s Hallovými senzory, vzdálil se od čipu a vznikla tato chyba v měření.

Přestože se jedná o největší nepřesnost v grafu naměřených hodnot zdvihu v prvním testu (Obr. 6-3), při pohledu na graf hodnot rychlosti (Obr. 6-10) lze zjistit, že se tato chyba v měření nepromítne do grafu o moc více, než rozdíly způsobené zadíráním držáku, jak bylo rozebráno v detailu 1 (kap. 6.2.1.).



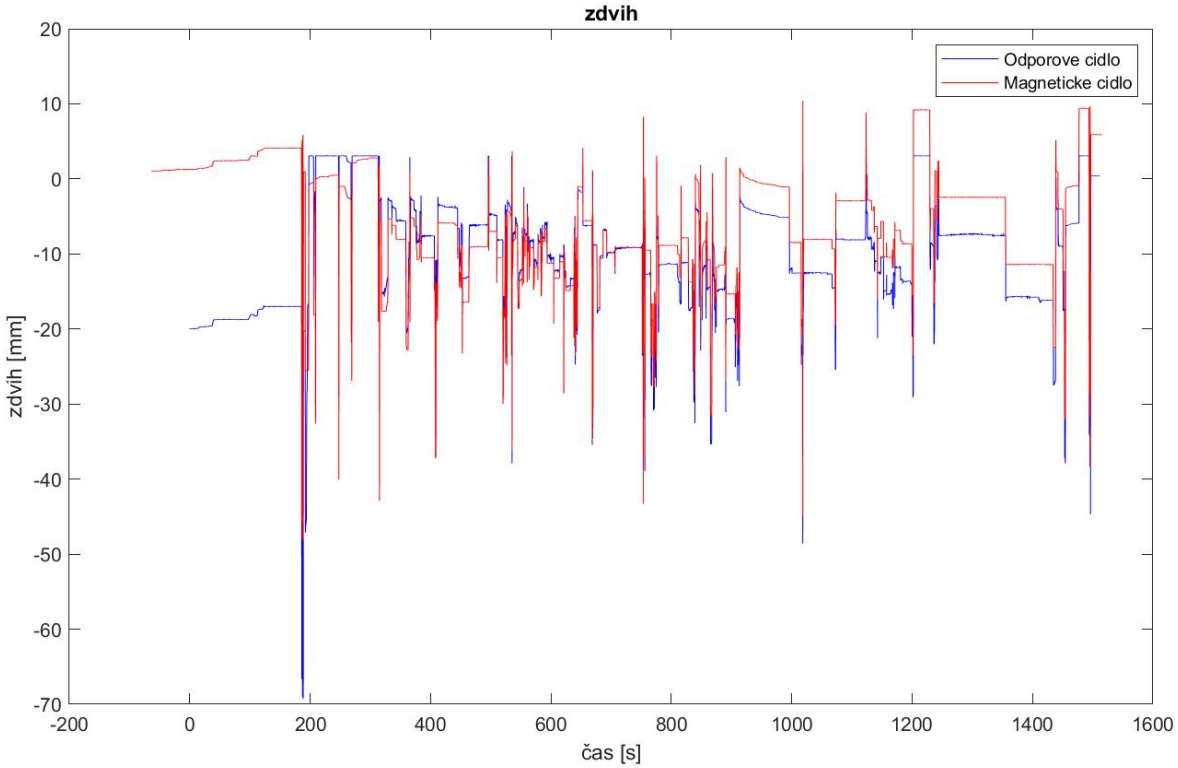
Obr. 6-9 Graf naměřených hodnot zdvihu - detail 3



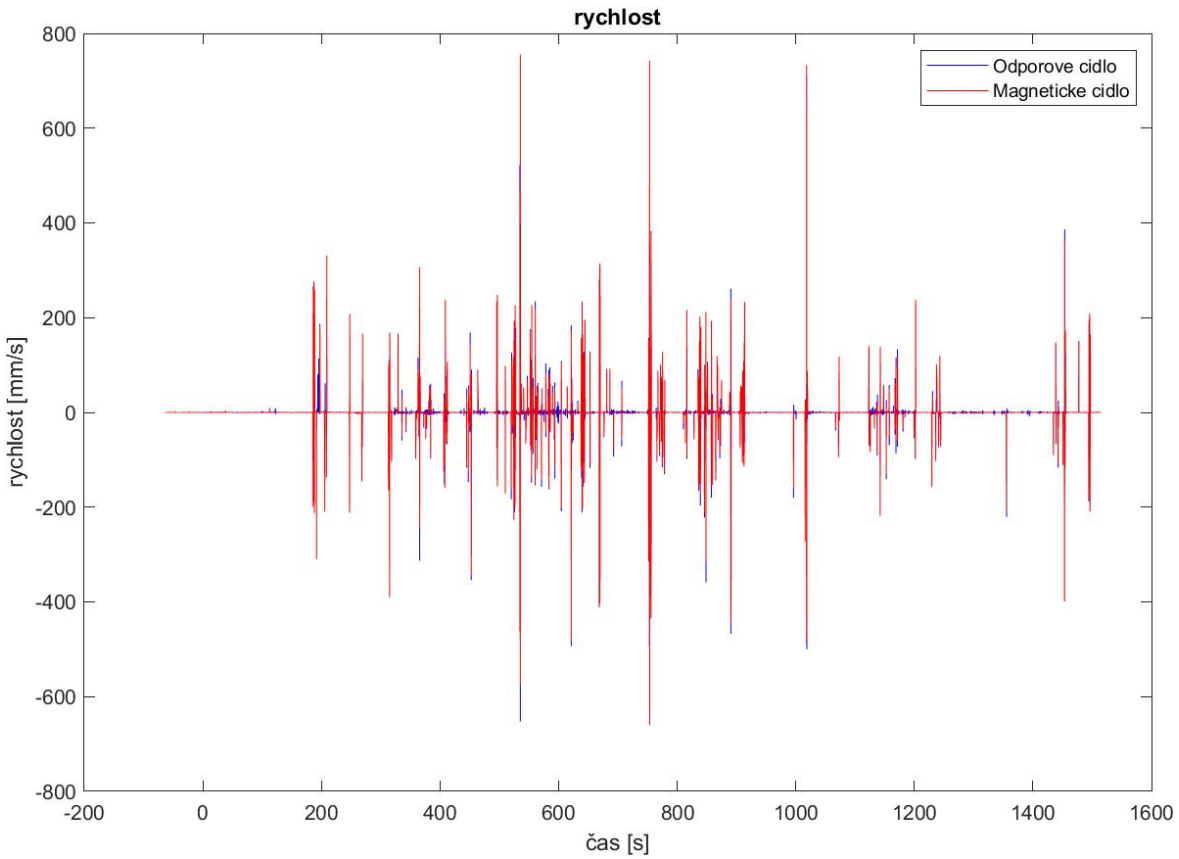
Obr. 6-10 Graf hodnot rychlosti - detail 3

6.2.4 Druhé měření

Během druhé testovací jízdy došlo k většímu počtu posunů grafu zdvihu (Obr. 6-11 níže) nejspíše zapříčiněné uvolněním jednoho ze snímačů zdvihu. Pokud se ale podíváme na graf hodnot rychlosti (Obr. 6-12) a zanedbáme jednotlivé extrémy, kdy došlo k chybnému měření zdvihu, a zaměříme se na části grafu mezi těmito extrémy, zjistíme, že graf potvrzuje vlastnosti senzoru iC-MHL200 zjištěné vyhodnocením prvního testu.



Obr. 6-11 Graf naměřených hodnot zdvihu - měření 2



Obr. 6-12 Graf hodnot rychlosti - měření 2

6.2.5 Závěr měření

Testování prokázalo, že cenově dostupné magnetické čidlo dokáže měřit zdvih vidlice s dostatečnou spolehlivostí a bude tedy použitelné pro měření zdvihu a pístové rychlosti vidlice kola za účelem regulace semiaktivního tlumiče.

Jeliož však během měření docházelo k odchylkám od hodnot naměřených odporovým čidlem způsobených zadíráním, či posunem dílů testovacího držáku, bylo by dobré, podobný test senzoru provést znovu, například jako součást navrhované zástavby. Tím by se upřesnily výsledky a případně otevřely nové možnosti pro použití senzoru a zástavby.

6.3 Navrhované řešení zástavby

Hlavním cílem této práce byl návrh zástavby senzoru iC-MHL200 do přední odpružené vidlice kola. Tento cíl byl splněn po vybrání jednoho ze dvou konceptů a jeho finalizaci. Navržená konstrukce zástavby, blíže popsaná v kapitole 5.2, adresuje zjištění získaná při testu senzoru a umožňuje jeho umístění a práci uvnitř vidlice SR SUNTOUR XCR 011 Series. Sestava zabezpečuje vzdálenost mezi oběma díly senzoru menší než je 1 mm a tím i správné fungování senzoru.

Výhodami této koncepce jsou ochrana elektronických komponent proti nečistotám a vodě a jejich vzájemné polohy zjednodušující sestavení. Jako nevýhody lze brát rozměry některých součástí, které však již nebylo možné upravit při zachování této koncepce.

Výslednou zástavbu bude možné využít pro ovládání semiaktivního tlumiče, kdy každý z těchto prvků bude součástí jedné nohy vidlice. Malými modifikacemi návrhu bude také možné použití v jiných vidlicích a to jak s mechanickou, tak případně i se vzduchovou pružinou.

7 ZÁVĚR

V první části této bakalářské práce byla provedena rešerše v současnosti používaných systémů odpružení se zaměřením na semiaktivní a konkrétně magnetoreologické tlumiče. Dále byly rozebrány systémy používající semiaktivní tlumiče na jízdních kolech a dostupné systémy měřící zdvih přední vidlice jízdního kola a v závěru první části byl popsán senzor iC-MHL200, jehož zástavbou se zabývá další část této práce.

Pro senzor iC-MHL200 byl nejprve navržen a vyroben zkušební držák a byl proveden jeho test . Poté, vytvořením grafů zdvihu a pístové rychlosti, byla vyhodnocena nashromážděná data, což pomohlo při následném konstruování. Dále byly vytvořeny koncepty zástavby senzoru do přední vidlice kola, byl vybrán vhodný koncept a vytvořen návrh zástavby, čímž byl zároveň splněn cíl práce.

Úspěšným zabudováním senzoru bylo umožněno jeho využití pro ovládání magnetoreologického tlumiče a to sice velmi levným čipem, avšak s dostatečnou přesností měření.

Práce navazující na tuto by se mohla zabývat výrobou navržené zástavby a její zkouškou v praxi. Dále by mohlo být provedeno nové otestování senzoru iC-MHL200, jakožto součásti zástavby, čímž by bylo dosaženo přesnějších výsledků a bylo by lépe popsáno využití potenciálu senzoru. Případně by součástí práce mohla být i zkušební použití zástavby při ovládání magnetoreologického tlumiče.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Semi-active suspension control design for vehicles. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. ISBN 978-0-08-096678-6.
2. Semi-active suspension systems from research to mass-market – A review. SAGE Journals [online]. Egypt: SAGE Publications, 2019 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1461348419876392
3. How Does an MR Damper Work?. Parker LORD [online]. Parker Hannifin, 2020 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.lord.com/products-and-solutions/active-vibration-control/industrial-suspension-systems/how-does-mr-damper-work
4. Semi-Active Suspension. Cycle World [online]. Octane Media, 2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.cycleworld.com/sport-rider/tech/semi-active-suspension/
5. The new FOX E-Live Valve for eMTBs on test – Intelligent suspension 2.0?. E-MOUNTAINBIKE Magazine [online]. E-MOUNTAINBIKE Magazine, 2021 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: https://ebike-mtb.com/en/fox-e-live-valve-e-mtb-review/
6. Riding HiRide's semi-active suspension system for road bikes. Bikeradar [online]. Our Media, 2018 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.bikeradar.com/news/riding-hirides-semi-active-suspension-system-for-road-bikes/
7. 08 Motion Instruments offers affordable suspension data acquisition for the masses. Bikeradar [online]. Our Media, 2020 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.bikeradar.com/news/motion-instruments-data-acquisition-stem/
8. Technology. Motion Instruments [online]. Motion Instruments, 2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://motioninstruments.com/pages/technology
9. PRODUCT DATA SHEET. Motion Instruments [online]. Motion Instruments, 2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0050/4997/4819/files/Tracer_Final_6.pdf?916
10. THE WORLD FIRST PROFESSIONAL TELEMETRY SYSTEM DESIGNED FOR MTB. *BYB Telemetry* [online]. BYB Telemetry, 2021 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.bybtech.it/telemetry
11. BYB Telemetry - Official store. *BYB Telemetry* [online]. BYB Telemetry, 2021 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.bybtech.it/store
12. Quarq ShockWiz first ride review. Bikeradar [online]. Our Media, 2017 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.bikeradar.com/reviews/components/forks/suspension-forks/quarq-shockwiz-first-ride-review/?image=5&type=gallery&gallery=1&embedded_slideshow=1

13. How It Works. SussMyBike [online]. SussMyBike [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.sussmybike.com/howitworks/

14. 3DPRINTUK [online]. 3DPRINTUK, 2016 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: https://www.3dprint-uk.co.uk/portfolio-item/suspension-set-up-parts-batch-production-run/

15. IC-MHL200. IC-Haus [online]. Bodenheim, Germany [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.ichaus.de/upload/pdf/MHL200_datasheet_D1en.pdf

16. Ic-mhl200 tssop20. *Findchips* [online]. Supplyframe.com, 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.findchips.com/search/ic-mhl200%20tssop20

17. Aikron MS50 series magnetic tape -1M. *AIKRON* [online]. Sichuan Aikron Precision Tool Co., 2023 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.aikrondro.com/product/aikron-ms50-series-magnetic-tape/

18. STRECKER, Zbyněk, Ivan MAZŮREK, Jakub ROUPEC a Milan KLAPKA. Influence of MR damper response time on semiactive suspension control efficiency. Meccanica [online]. 2015, 50(8), 1949-1959 [cit. 2022-04-10]. DOI: 10.1007/s11012-015-0139-7. ISSN 0025-6455. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s11012-015-0139-7

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

MR	magntorologický
ER	elektroreologický
P	perioda kolísání magnetického pole
Ø	průměr

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 MR tlumič a píst [3] 15
Obr. 2-2 Částice MR kapaliny ve volném stavu a v magnetickém poli [3] 16
Obr. 2-3 Systém odpružení E-Live Valve [5] 17
Obr. 2-4 Kolo Pinarello Dogma K10S se systémem ESAS [6] 18
Obr. 2-5 Senzory společnosti Motion Instruments; a) Senzor MIPS; b) snímač Tracer [8] 19
Obr. 2-6 Senzory zdvihu od společnosti BYB Telemetry [10] 19
Obr. 2-7 Systém Quarq ShockWiz [12] 20
Obr. 2-8 Senzor SMB flow [14] 20
Obr. 2-9 Typické uspořádání iC-MHL200 a magnetické pásky [15] 21
Obr. 2-10 Generování signálu a výstupní data [15] 21
Obr. 4-1 Základní deska - strana s čipem s Hallovými senzory 23
Obr. 4-2 Základní deska - strana s připojeným kabelem 23
Obr. 4-3 Koncept držáku č. 1 24
Obr. 4-4 Koncept držáku č. 2 25
Obr. 4-5 Vidlice SR SUNTOUR XCR 011 Series 26
Obr. 4-6 Řez pravou nohou vidlice 26
Obr. 4-7 Řez vnitřními součástmi vidlice po vyjmutí 27
Obr. 4-8 Vnitřní části vidlice 27
Obr. 4-9 Koncept zástavby č.1 28
Obr. 4-10 Koncept zástavby č.2 29
Obr. 5-1 Vytištěný a sestavený prototyp držáku. 30
Obr. 5-2 Konstrukční řešení zástavby - rozložený pohled 31
Obr. 5-3 Konstrukční řešení zástavby 31
Obr. 5-4 Konstrukční řešení zástavby - stlačený stav 32
Obr. 6-1 Prototyp držáku připevněný k vidlici 35
Obr. 6-2 Lineární potenciometr připevněný k vidlici 36
Obr. 6-3 Graf naměřených hodnot zdvihu 37
Obr. 6-4 Graf hodnot rychlosti 38

Obr. 6-5 Graf naměřených hodnot zdvihu - detail 1 39
Obr. 6-6 Graf hodnot rychlosti - detail 1 40
Obr. 6-7 Graf naměřených hodnot zdvihu - detail 2 41
Obr. 6-8 Graf hodnot rychlosti - detail 2 42
Obr. 6-9 Graf naměřených hodnot zdvihu - detail 3 43
Obr. 6-10 Graf hodnot rychlosti - detail 3 43
Obr. 6-11 Graf naměřených hodnot zdvihu - měření 2 44
Obr. 6-12 Graf hodnot rychlosti - měření 2 45

11 SEZNAM PŘÍLOH

Data naměřená při testu senzoru:

MC_mereni1

MC_mereni2

OC_mereni1

OC_mereni2

MATLAB skripty pro vytvoření grafů:

mereni_1_2

mereni_3_2

Informace

Model testovacího držáku:

Sestava2_final

Výkresová dokumentace sestavy:

Sestava - stlačená

Sestava

Výkresová dokumentace součástí:

Horní koncovka

Píst

Pístnice

Podložka pásku

Spodní koncovka

Uzávěr nohy

Válec pístu

Víčko válce