



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## **SIMULÁTOR VOZOVKY DYNOTEC**

ROAD SIMULATOR DYNO TEC

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MAREK PEKAR**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**DOC.ING. IVAN MAZŮREK, CSC.**

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Marek Pekar

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

### **Simulátor vozovky DynoTec**

v anglickém jazyce:

### **Road simulator Dyno Tec**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh potřebných úprav simulátoru s těmito parametry: V loňském roce byl na ÚK postaven prototyp bubnového simulátoru vozovky pro testy jízdních vlastností náprav. Je nezbytné dokončit některé konstrukční prvky a navrhnout vhodné doplňky a nářadí pro rutinní využití simulátoru: 1.Konstrukce úchyty vozíku pro natáčení a klopení 2.Návrh krytování simulátoru vozovky

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci):

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (Konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma práce: Průvodní zpráva, technická dokumentace, rozpočet

Typ BP: konstrukční

Účel zadání: pro V-V a tvůrčí činnost ÚK

Seznam odborné literatury:

- 1) STODOLÁK, M.: REKONSTRUKCE SIMULÁTORU VOZOVKY, bakalářská práce VUT Brno 2010
- 2) RaceTech [online]. 2004 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.racetechnx.com>>.
- 3) Kokusai : Kokusai is world leader in manufacturing precision measuring equipment. [online]. 2007 [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.kokusaiusa.com/products.asp>>.
- 4) Kobe Steel, sro : Ltd. has developed a high-speed tire testing machina [online]. 2004 [cit. 2010-04-14]. Dostupné z WWW: <http://www.kobelco.co.jp/english/alcu/products/index.html>>.
- 5) ACTM inc. : Automotive Component Testing Machines [online]. 2002 [cit. 2010-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.actminc.com/products/Machines.html>>.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 18.11.2011

L.S.

---

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

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Táto bakalárska práca sa zaoberá rekonštrukciou simulátoru vozovky, ktorý sa nachádza na Ústave konštruovania. Na začiatku práce som sa venoval prehľadu súčasných simulátorov vozoviek a testerov podvozkov. V druhej časti som rozoberal súčasný stav simulátoru a zaoberal som sa návrhom konštrukčných variant krytu a vystužení nosného rámu bubna. V ďalšej časti je uvedené konštrukčné riešenie optimálnej varianty krytu a uchytenia vozíka. V závere mojej práce je porovnanie vypočítaných a experimentálne nameraných hodnôt vlastnej frekvencie nosného rámu bubna a taktiež porovnanie frekvencie pred a po vystužení rámu.

## **KLÍČOVÉ SLOVÁ**

simulátor vozovky, tester podvozku, zavesenie kolesa

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis is concerned about reconstruction of road simulators, which is located in Institute of Machine and Industrial Design. At the beginning of this thesis I was interested in overview of current road simulators and undercarriage testers. In the second section I engaged in current state of simulators and I paid attention to various proposals of cover construction and reinforcing of a drum carriage frame. In the next section I have stated a solution for the ideal option of cover construction and a cart attachment. In the conclusion of my bachelor thesis I have compared calculated and experimental values of drum carriage frame frequency. I have also compared the frequency before and after reinforcing of carriage frame of the drum.

## **KEY WORDS**

road simulator, undercarriage tester, wheel suspension

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PEKAR, M. *Simulátor vozovky DynoTec*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 43 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc..

---



## **POĎAKOVANIE**

Na tomto mieste by som sa chcel poďakovať všetkým, ktorí mi pomáhali pri vypracovaní tejto bakalárskej práce. Predovšetkým by som sa rád poďakoval vedúcemu bakalárskej práce Doc. Ing. Ivanovi Mazúrkovi, CSc. za odborné pripomienky, cenné rady a pomoc pri riešení technických problémov. Taktiež by som sa chcel poďakovať svojej priateľke a rodine za podporu a trpezlivosť pri písaní tejto bakalárskej práce.

---



**ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne na základe pokynov a rád vedúceho práce Doc. Ing. Ivana Mazúrka, CSc., a že som všetky literárne zdroje uviedol v zozname použitej literatúry.

V Brne dňa: 23.5.2012

.....  
Marek Pekar

---



**OBSAH**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ABSTRAKT</b>   | <b>5</b>  |
| <b>KLÚČOVÉ SLOVÁ</b>  | <b>5</b>  |
| <b>ABTRACT</b>  | <b>5</b>  |
| <b>KEY WORDS</b>  | <b>5</b>  |
| <b>BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>POĎAKOVANIE</b>  | <b>7</b>  |
| <b>ČESTNÉ PREHLÁSENIE</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>1. ÚVOD</b>  | <b>13</b> |
| <b>2. PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA</b>                      | <b>14</b> |
| 2.1 Rotačné testery so zvislou osou rotácie                     | 14        |
| 2.1.1 Tester vyváženia pneumatík za nízkych rýchlostí           | 14        |
| 2.1.2 Tester nerovností v pneumatikách za vysokých rýchlostí    | 15        |
| 2.2 Rotačné testery s vodorovnou osou rotácie                   | 15        |
| 2.2.1 Tester životnosti pneumatík                               | 15        |
| 2.2.2 Simulátor vozovky na meranie trakcie                      | 16        |
| 2.2.3 Multifunkčný tester DynaDrive                             | 16        |
| 2.3 Vibračné testery  | 17        |
| 2.3.1 Štvorbodový vibračný tester                               | 17        |
| 2.3.2 Tester rezonančný adhézy                                  | 18        |
| 2.3.3 Tester impulzný dokmitový                                 | 18        |
| 2.3.4 Simulátor vozovky na kontrolu riadenia                    | 19        |
| 2.3.5 Štvorkolesový simulátor vozovky                           | 20        |
| 2.4 Rozdelenie testerov pre diagnostiku podvozkov motocyklov    | 20        |
| 2.4.1 Demontážna diagnostika podvozkov                          | 20        |
| 2.4.2 Bezdemontážna diagnostika podvozkov                       | 21        |
| <b>3. FORMULÁCIA PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ ANALÝZA</b>          | <b>22</b> |
| 3.1 Diagnostika podvozku motocyklu                              | 22        |
| 3.2 Popis riešených problémov                                   | 22        |
| 3.2.1 Kryt rotujúceho bubna                                     | 23        |
| 3.2.2 Naklápanie vozíka   | 23        |
| 3.2.3 Vystuženie nosnej konštrukcie bubna                       | 23        |
| 3.3 Parametre sústavy   | 24        |
| <b>4. VYMEDZENIE CIEĽOV PRÁCE</b>                               | <b>25</b> |
| <b>5. NÁVRH METODICKÉHO PRÍSTUPU K RIEŠENIU</b>                 | <b>26</b> |
| <b>6. NÁVRH VARIANTOV RIEŠENIA A VÝBER OPTIMÁLNEHO VARIANTU</b> | <b>27</b> |
| 6.1 Návrh variantov riešenia pre kryt bubna                     | 27        |
| 6.1.1 Návrh krytu vytvorený v roku 2010                         | 27        |
| 6.1.2 Mój návrh krytu z roku 2012                               | 27        |
| 6.2 Návrh variantov riešenia zvýšenia vlastného kmitočtu bubna  | 28        |
| 6.2.1 Zvýšenie kmitočtu variant 1                               | 28        |
| 6.2.2 Zvýšenie kmitočtu variant 2                               | 28        |
| <b>7. NÁVRH KONŠTRUKCIE KRYTU</b>                               | <b>29</b> |
| 7.1 Nosný rám krytu   | 29        |
| 7.2 Kryty nosnej konštrukcie                                    | 29        |
| 7.3 Výškovo nastaviteľné nohy                                   | 30        |
| <b>8. NÁVRH SPÔSOBU UCHYTENIA VOZÍKA</b>                        | <b>31</b> |
| 8.1 Prepojenie joklu a trubky                                   | 31        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 8.2        | Uchytenie kardanu na U-profil                  | 31        |
| <b>9.</b>  | <b>NÁVRH VYSTUŽENIA NOSNÉHO RÁMU BUBNA</b>     | <b>33</b> |
| 9.1        | Model a uchytenie prídavného nosníka           | 33        |
| 9.2        | Výpočet vlastnej frekvencie nevystuženého rámu | 33        |
| 9.2.1      | Výpočet tiažovej sily od bubna na jeden nosník | 33        |
| 9.2.2      | Výpočet maximálneho priehybu nosníka           | 34        |
| 9.2.3      | Výpočet tuhosti a frekvencie nosníka           | 34        |
| 9.3        | Výpočet vlastnej frekvencie vystuženého rámu   | 35        |
| 9.4        | Experimentálne zmeraná frekvencia              | 35        |
| <b>10.</b> | <b>ZÁVER</b>                                   | <b>38</b> |
| <b>11.</b> | <b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV</b>                | <b>39</b> |
| <b>12.</b> | <b>ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A VELIČÍN</b>     | <b>41</b> |
| <b>13.</b> | <b>ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV</b>                | <b>42</b> |
| <b>14.</b> | <b>ZOZNAM PRÍLOH</b>                           | <b>43</b> |



## 1. ÚVOD

Simulátory vozoviek nám v súčasnosti napomáhajú a zároveň uľahčujú prácu pri vývoji podvozkov motocyklov a automobilov. Dnes pri obrovskom množstve výrobcov áut a motocyklov si žiadna firma nemôže dovoliť prísť na trh s nekvalitným výrobkom. Každý z nás má vysoké nároky pri výbere vozidla a to najmä na výkon, zrýchlenie a spotrebu vozidla, ale len málokto si uvedomuje, že najdôležitejším faktorom by mala byť naša bezpečnosť. Lenže našu bezpečnosť nezvyšuje ani výkon, ani zrýchlenie a dokonca ani spotreba, ale sú to práve pneumatiky, brzdy a podvozky, ktoré nám môžu pomôcť v poslednej chvíli pred nárazom. Paradoxom je, že v žiadnej reklame na automobil nie sú prezentované vlastnosti ako kvalitné a vysokoúčinné brzdy, či spoľahlivé podvozky, ale sú to práve nízka cena a nízka spotreba. V začiatkoch bolo optimálne nastavenie podvozkov doménou najmä v motoršporte, ale v súčasnosti, kde aj sériovo vyrábané autá majú vysoké výkony je potrebné mať optimálne nastavený a spoľahlivý podvozok a k tomuto nám slúžia simulátory a testery vozoviek. A práve na rekonštrukciu jedného takéhoto simulátoru, ktorý sa nachádza na FSI VUT v Brne je zameraná táto práca.

V prvej polovici by som chcel poukázať na niektoré simulátory a testery, ktoré sa bežne využívajú k vývoju, kontrole, či nastaveniu podvozkov. Uvedený je rozdiel medzi testovaním automobilov a motocyklov, kde u motocyklov je testovanie ovplyvnené uhlom sklonu riadenia.

V druhej polovici tejto práce sa budem venovať rekonštrukcii Dynotecu, ktorá bude zameraná na odstránenie nedostatkov zistených po ročnej prevádzke.

## 2. PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

Chcel by som Vás zoznámiť s rôznymi druhmi simulátorov vozoviek a testerov podvozkov. V tejto kapitole sa budem zaoberať najmä rotačnými a vibračnými. Rotačné majú svoje využitie pri testovaní kvality zmesi pneumatík, vyvažovaní pneumatík, testovaní brzdnych kotúčov atď. Vibračné sú využívané najmä na skúšky kvality tlmičov, životnosti tlmičov, testovaní charakteristík pružín atď. Ďalej rozoberiem niektoré testery a simulátory podrobnejšie.

### 2.1 Rotačné testery so zvislou osou rotácie

#### 2.1.1 Tester vyváženia pneumatík za nízkych rýchlostí

Na začiatok by som chcel vysvetliť čo je to nevyváženosť. V podstate je to hmota telesa nerovnomerne rozmiestnená okolo osi rotácie, presne podľa ISO hlavná osa zotrvačnosti sa nezhoduje s hlavnou osou rotácie.

Nesprávnym vyvážením pneumatík vznikajú vibrácie, ktoré spôsobujú únavu vodiča, predčasné a nerovnomerné opotrebovanie pneumatík a opotrebovanie zavesení kôl. Pneumatiky by mali byť vyvážené pri prvom obutí na disk a potom pri každej ďalšej oprave. Vyvažovanie prebieha rýchlosťou okolo 8km/h. Pri vyvažovaní je dôležité správne upnutie kola, ako sa vraví: „kolo sa nedá zle vyvážiť, iba zle upnúť“. Chcel by som upozorniť, že vyvažovaním sa dajú odstrániť účinky vyvolané nevyváženosťou, ale v pneumatikách môžu vznikáť ešte ďalšie účinky podobné nevyváženosti ako napr. výškové alebo stranové odchýlky pneumatík. Tomuto môžeme rozumieť ako geometrickým odchýlkam pri odvaľovaní sa pneumatiky, ktoré majú radiálne, ale aj laterálne účinky na vozidlo [7]. Taktiež by sa nemala prehliadať vnútorná stavba pneumatík, pretože nie sme v servisoch obvyčajne schopní zmerať nevyváženosť plášťa.



Obr. 2-1 Tester vyváženia pneumatík osobných automobilov [8]

### 2.1.2 Tester nerovností v pneumatikách za vysokých rýchlostí

2.1.2

Pochopenie vlastností pneumatík je rozhodujúce pre pochopenie ich vplyvu na jazdu. Riadenie, zrýchlenie a brzdenie sú prenášané na vozovku pomocou pneumatík často za nepriaznivých podmienok. Toto všetko by nebolo možné bez kvalitných pneumatík. Pretože pneumatiky boli vyvažované za nízkych rýchlostí a nedali sa odhadnúť vibrácie vo vysokých rýchlostiach, boli vyrobené stroje, ktoré merajú celistvosť pneumatiky v rýchlostiach 120km/h, ale dokážu vyvinúť rýchlosť až 200km/h. Tento stroj má vertikálnu os rotácie a je skonštruovaný z väčších, pevnejších a tuhších materiálov tak, aby sa eliminovalo čo najväčšie množstvo vibrácií a dosiahlo sa čo najpresnejších výsledkov [9].



Obr. 2-2 Tester nerovností v pneumatikách za vysokých rýchlostí [9] [20]

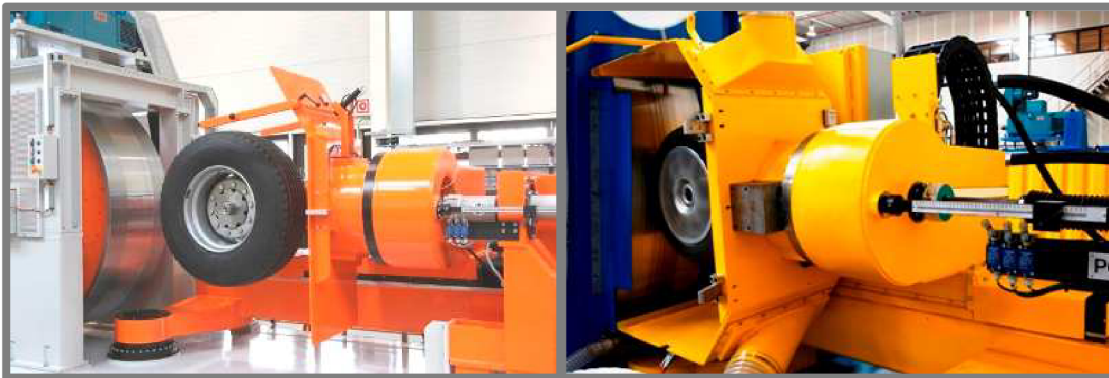
## 2.2 Rotačné testery s vodorovnou osou rotácie

2.2

### 2.2.1 Tester životnosti pneumatík

2.2.1

Testery na testovanie životnosti pneumatík majú čím ďalej väčší význam v odvetví výroby pneumatík. Dnes je vývojové obdobie nového modelu automobilu kratšie ako dva roky. Počet športových áut a terénnych vozidiel s pohonom všetkých kolies rastie a preto je potrebné pneumatiky s výborným on-road výkonom rovnako ako s off-road vlastnosťami. V rovnakom čase ľahké nákladné automobily a dodávky jazdia vyššími rýchlosťami za meniaceho sa počasia, preto potrebujú pneumatiky, ktoré profesionálne zvládnu tieto meniace sa podmienky. Na tieto stroje sú kladené vysoké požiadavky. Na testery môžeme nastaviť odklon, simuláciu dynamického preklznutia, simuláciu brzdenia šmykom, zmenu povrchu simulovanej vozovky, prítláčnú silu, ktorá je u osobných automobilov 25kN a u nákladných až 100kN. Jedným z najdôležitejších faktorov je nastavenie rýchlosti, ktoré je u osobných áut 320km/h a pri vysokorýchlostnom testovaní až 420km/h, u pneumatík pre nákladné autá je rýchlosť 220km/h [10]. Testujeme opotrebovanie behúňa, teplotu pneumatiky, valivý odpor, hlučnosť pneumatiky a meriame dobu do porušenia pneumatiky. Všetky tieto merania sú zaznamenávané a pomocou softwaru vyhodnocované.

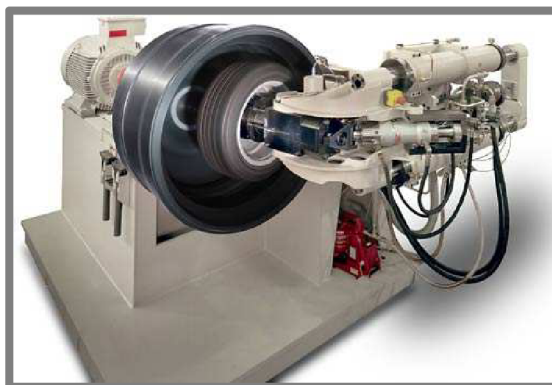


Obr. 2-3 Tester životnosti pneumatík [10]

---

### 2.2.2 Simulátor vozovky na meranie trakcie

Tak ako už je na prvý pohľad z názvu jasné, tento simulátor bol vytvorený pre simuláciu vozovky. Je kladený dôraz na čo najpresnejšie vytvorenie autenticity povrchu. Simulátor vyhodnocuje trakciu za sucha, za mokra, na snehu, na piesku. Toto je dôležité pre vývoj v špeciálnych odvetviach ako sú pretekárske pneumatiky, pneumatiky vojenskej techniky aj lietadiel [11].



Obr. 2-4 Simulátor vozovky na meranie trakcie [11]

---

### 2.2.3 Multifunkčný tester DynaDrive

DynaDrive bol navrhnutý a skonštruovaný v Japonsku. Na trh bol uvedený v roku 2006. Tak ako z nadpisu vyplýva, jeho doménou je jeho multifunkčnosť. Bol skonštruovaný tak, aby dokázal simulovať rôzne podmienky jazdy a následne ich aj vyhodnocovať. Testovanie môže byť zamerané na rôzne komponenty podvozku napr. závesné systémy, brzdy, náboje aj pneumatiky. Systém umožňuje užívateľovi rýchlo meniť pohon rôznych závesných systémov, môže byť vybavený štyrmi trojosími snímačmi, ktoré merajú sily a momenty, prípadne môžu byť snímače umiestnené na pneumatike alebo ako neoddeliteľná súčasť systému odpruženia. Bezšvové pásy z nerezovej ocele sú poháňané servomotormi AC s výkonom v rozmedzí od 22kW do 37kW a dokážu vyvinúť rýchlosť až 250km/h. Taktiež je možné nasimulovať jazdu do kopca alebo z kopca a to v rozsahu  $\pm 15^\circ$  a naklápanie sa vozidla do strán  $\pm 5^\circ$  [12]. Tento multifunkčný tester dokáže tieto podmienky meniť za chodu a tým dokonalo simulovať situácie na vozovke .





Obr. 2-5 Multifunkčný DynaDrive tester [12]

Obr. 2-6 Multifunkčný DynaDrive tester [12]

## 2.3 Vibračné testery

2.3

### 2.3.1 Štvorbodový vibračný tester

2.3.1

Tento trojosý štvorbodový vibračný tester, ktorý je zameraný na simuláciu cestných vibrácií je poháňaný štyrmi na sebe nezávislými servomotormi umiestnenými v každej jeho nohe. Tieto servomotory sú skonštruované tak, aby mali presnú reprodukovateľnosť a presné riadenie zdvihu silou 1G až 8G vo vertikálnom smere a 5G v horizontálnej smere. Výhodou tohto testeru je, že dokáže vytvárať rôzne profily vibrácií pre každé koleso automobilu nezávisle na druhom, čím je dosiahnutá výborná simulácia vozovky [13].



Obr. 2-7 Štvorbodový vibračný tester [13]



Obr. 2-8 Štvorbodový vibračný tester [21]

### 2.3.2 Tester rezonančný adhézny

Tester tohto typu sa používa aj v laboratóriu ústavu konštruovania, je to jeden z najpoužívanejších testerov v praxi. Hlavnou časťou je vibračná plošina, ktorá je umiestnená pod kolesom automobilu kmitajúca vo vertikálnom smere. Účelom tohto vibrovania je simulácia nerovností na vozovke, kde výsledkom je najmenšia prítlčná sila kola na plošinu. Nevýhodou týchto testerov je náchylnosť na hmotnosť spadajúcu na merané koleso a na tuhosť pneumatík. Naopak výhodou tohto testeru je takmer autentická simulácia pracovných podmienok, jednoduchá konštrukcia, jasne zrozumiteľné výsledky a tá najdôležitejšia je predstava o súčasnom technickom stave podvozku vozidla [2].



Obr. 2-9 Tester rezonančný adhézny

### 2.3.3 Tester impulzný dokmitový

Prototyp tohto testeru bol navrhnutý a skonštruovaný na ústave konštruovania, kde sa aj v súčasnosti nachádza. Jeho cieľom je rýchla kontrola závesov kolies automobilov. K testovaniu je potreba vložiť rameno snímača do výrezu blatníka a potom len vlastnou silou rozkmitať automobil, kde rameno snímača sníma kmity vo zvislom smere. Výsledkom tohto testu je merný útlm rozkmitanej hmoty. Výhodou týchto testerov je rýchlosť premerania celého automobilu, malé rozmery testera a tým pádom veľmi dobrá manipulácia s ním. Naopak hlavnou nevýhodou je fakt, že simulácia nie je veľmi autentická s jazdou po vozovke [2].



Obr. 2-10 Tester impulzný dokmitový

### 2.3.4 Simulátor vozovky na kontrolu riadenia

2.3.4

Tento druh simulátorov podrobujú skúšané riadiace systémy automobilov podmienkam na cestách alebo v teréne. Jeho využitie je zamerané na testovanie ovládateľnosti vozidla a kontrolovanie spätnej väzby vodičovi. Simulátor má špeciálne využitie pri simulovaní mokrej vozovky, kde počítač koriguje uhol natočenia kolies kvôli lepšej kontrole nad vozidlom. Taktiež má využitie pri únavových skúškach riadenia, kde sa kontroluje doba, v ktorej si v predpísanej tolerancii zachováva svoju funkčnosť [11].

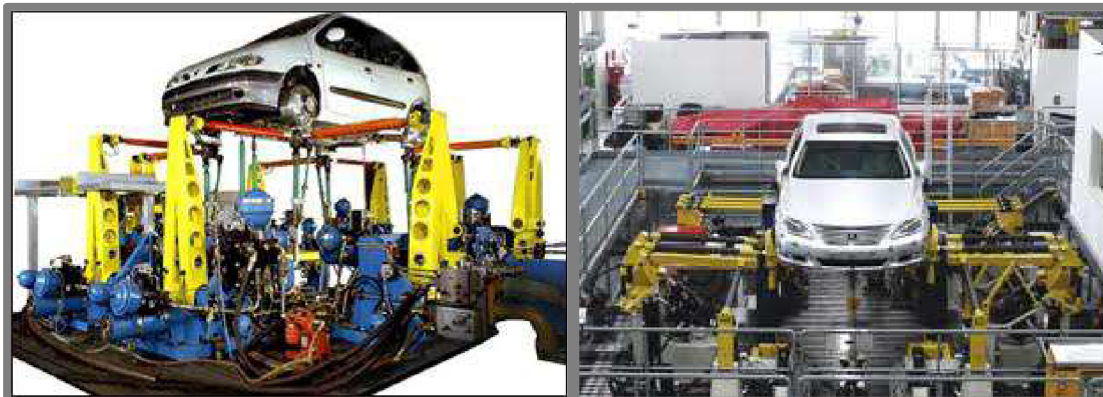


Obr. 2-11 Simulátor vozovky na kontrolu riadenia [11]



### 2.3.5 Štvorkolesový simulátor vozovky

Tieto simulátory testujú správanie sa celého vozidla. Na osách automobilov sú prichytené cez ramená zariadenia, ktoré vytvárajú rôzne situácie vzniknuté v bežnej prevádzke. Simulátor je počítačovo riadený a dajú sa na ňom nasimulovať rôzne druhy povrchov pri rôznych rýchlostiach [11].



Obr. 2-12 Štvorkolesový simulátor vozovky [11] Obr. 2-13 Štvorkolesový simulátor vozovky [14]

## 2.4 Rozdelenie testerov pre diagnostiku podvozkov motocyklov

Tieto testery môžeme rozdeliť do dvoch základných skupín s demontážnou a s bezdemontážnou diagnostikou, ktoré vám ďalej podrobnejšie opíšem.

### 2.4.1 Demontážna diagnostika podvozkov

Diagnostika tlmičov je dôležitá pre určenie ich charakteristických vlastností. Testery sú flexibilné systémy hodnotiace výkon, životnosť a kvalitu tlmičov. Tieto flexibilné, ľahko ovládateľné testery sa dokážu prispôbiť rôznym druhom požiadaviek. Môžu vykonať krátku dávku vysoko výkonných cyklov pre analýzu charakteristík tlmenia, ďalej môžu vykonať milióny cyklov pre určenie životnosti tlmiča, taktiež dosahujú extrémne vysoké rýchlosti a sily na meranie výkonu alebo pracujú pri nízkych rýchlostiach pre presné meranie vplyvu trenia na tesnenie. Kedykoľvek môžeme tieto systémy upraviť a rozšíriť ich o diagnostiku hlučnosti, taktiež pridať bočné statické alebo dynamické zaťaženie [15].



Obr. 2-14 Testery pre diagnostiku chovania tlmičov [15] [16]



### 2.4.2 Bezdemontážna diagnostika podvozku

Veľkou výhodou tohto spôsobu diagnostiky podvozku je, že môžeme vlastnosti vyhodnocovať v reálnom čase a na reálnych povrchoch. Chovanie podvozku zaznamenávajú potenciometre umiestnené na prednej alebo zadnej vidlici a posielajú hodnoty do zbernice dát. Využitie si našla najmä v motoršporte, kde poznatkami vodiča a z dát zo zariadenia môžeme dosiahnuť lepšieho nastavenia podvozku na danú trať [17].



Obr. 2-15 Umiestnenie potenciometra pre BD [17] Obr. 2-16 Potenciometer pre BD [18]

### 3. FORMULÁCIA PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ ANALÝZA

Táto práca je zameraná na rekonštrukciu testovacej sústavy, ktorá je zložená z bubnového simulátoru vozovky Dynotec a experimentálneho vozíka Pioneer. Táto sústava je určená k testovaniu podvozkov automobilov a motocyklov. V ďalšej časti vysvetlím rozdiel medzi diagnostikou podvozkov na motocykloch a automobiloch. Každý z nás pri zakúpení motocyklu si chce užiť rýchlu aj pomalú jazdu v patričnom komforte a zároveň chce mať svoj motocykel úplne pod kontrolou. Takže úlohou skúšok je skĺbiť tri základné parametre ovládateľnosť, komfort a jazdnú stabilitu, čo najefektívnejšie.

#### 3.1 Diagnostika podvozku motocyklu

Azda najväčším rozdielom v diagnostike podvozkov motocyklov a automobilov je uhol sklonu riadenia. Z dôvodu šikmého uchytenia tlmiacej jednotky nie je možné využiť totožné postupy ako u automobilov (viz obr. 3-1). Nevýhodou je že, podvozok motocyklu nie je možné testovať bez zaťaženia alebo jazdca. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim jazdu je závlak kolesa, nazývaný tiež ako stopa. Závlak je dĺžka medzi osou kolesa a osou riadenia (viz obr. 3-1). Nemalou mierou jazdu ovplyvňuje aj rázvor kolies, ktorý čím je väčší tým sa chová motocykel stabilnejšie v priamom smere, ale v ostrých zákrutách vyžaduje väčší nábeh [19].



Obr. 3-1 Parametre uloženia tlmiacej jednotky [19]

#### 3.2 Popis riešených problémov

V súčasnosti je simulátor vozovky Dynotec umiestnený v laboratóriu Ústavu konštruovania, bol navrhnutý a skonštruovaný v rámci diplomovej práce. Po ročnej prevádzke boli zistené nedostatky, ktoré sú riešené v tejto bakalárskej práci. K rekonštrukcii sa pristúpilo z dôvodu zlepšenia podmienok a zvýšenia presnosti pri testovaní vlastností podvozkov. Táto kapitola oboznamuje so súčasným stavom a popisuje riešené problémy. Skladá sa z troch hlavných častí a tými budú návrh a konštrukcia krytu rotujúceho bubna, naklápanie vozíka a vystuženie nosnej konštrukcie bubna.

### 3.2.1 Kryt rotujúceho bubna

3.2.1

V súčasnom stave bubon nechráni žiaden kryt, ktorý by zamedzil kontakt obsluhy s rotujúcim bubnom. Kryt by mal taktiež slúžiť ako opora pre odľahčovanie vozíka a stlmiť nepríjemný vietor spôsobený rotáciou bubna za chodu stroja. Kryt bude navrhnutý tak, aby bola možnosť výškového nastavenia v rozsahu 10cm.

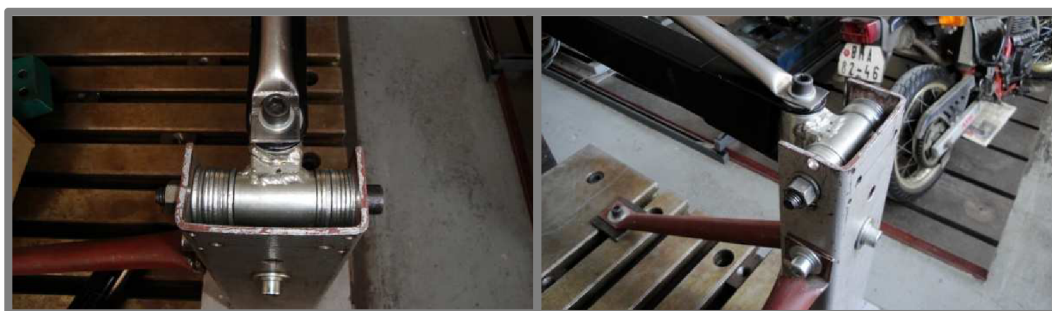


Obr. 3-2 Súčasný stav pred zakrytovaním

### 3.2.2 Naklápanie vozíka

3.2.2

Ďalším problémom je výmena uchytenia vozíka. Pretože súčasné uchytenie je dočasným riešením a vôle v nežiadanom smere sú príliš veľké, bude toto uchytenie nahradené kardanovým závesom. Súčasný vôle boli vymedzené podložkami, čo sa ukázalo ako nedostačujúce a stále spôsobovali chvenie vozíka, ktoré sa nepriaznivo prejavovalo v nameraných výsledkoch. Pretože sa po čase testovania ukázalo, že je potrebná možnosť naklápania vozíka, nové uchytenie je navrhnuté tak, aby sa vozík dal naklopiť v rozsahu 10°.



Obr. 3-3 Naklápanie vozíka pred rekonštrukciou

### 3.2.3 Vystuženie nosnej konštrukcie bubna

3.2.3

Táto úprava bude prevedená z dôvodu vlastnej frekvencie nosného rámu bubna, ktorá sa blíži, až takmer zhoduje, s frekvenciou meraných fyzikálnych modelov podvozkov a tým priamo ovplyvňuje výsledky namerané na podvozkoch. Aby bolo možné tieto nežiaduce vibrácie v danom software potlačiť tak prichádza do úvahy odľahčenie bubna alebo zvýšenie tuhosti rámu.

### 3.3 Parametre sústavy

- Bubnový simulátor je poháňaný motorom výkone 1,3kW
- Maximálne otáčky motora  $3000\text{min}^{-1}$
- Priemer bubna 0,8m
- Hmotnosť bubna 73,5kg
- Maximálna rýchlosť rotujúceho bubna 40km/hod
- Maximálne zaťaženie vozíka je 110kg

## 4. VYMEDZENIE CIEĽOV PRÁCE

**4**

---

Prvou úlohou tejto bakalárskej práce bude čo najefektívnejší návrh krytu rotujúceho bubna, ktorého úlohou je ochrana obsluhy, tak ako aj opora zdviháku vozíka. Dôležitými faktormi návrhu budú rozmery a hmotnosť kvôli dobrej manipulácii, dostatočná tuhosť a stabilita pre oporu zdviháku, ďalej jednoduchá konštrukcia vyrobiteľná v podmienkach dielne ÚK na FSI a v neposlednej rade cena.

Druhou úlohou je rekonštrukcia uchytenia vozíka. Rekonštrukcia bude prevedená tak, aby vôle v nežiaducich smeroch boli čo najmenšie a tým pádom sa dosahovalo presnejších výsledkov pri testovaní. Súčasné uchytenie bude nahradené kardanovým závesom z automobilu typu ARO M461. Nové uchytenie pomocou kardanového závesu bude navrhnuté tak, aby bolo možné vozík naklápať 5 stupňov v jednom i druhom smere.

V tretej úlohe musíme vyriešiť zvýšenie vlastného kmitočtu bubna, ktorý sa zhoduje s kmitočtom testovanej tlmiacej jednotky a tým priamo ovplyvňuje namerané výsledky. Tohto zvýšenia dosiahneme pomocou zvýšenia tuhosti rámu bubna.

## 5. NÁVRH METODICKÉHO PRÍSTUPU K RIEŠENIU

Poznatky získané v bakalárskom štúdiu na Fakulte strojného inžinýrství Vysokého učení technického v Brne a odborné pripomienky vedúceho práce Doc. Ing. Ivana Mazúrka, CSc. sú hlavnými zdrojmi tejto práce. Na vytvorenie modelov bude použitý program SolidWorks 2009 a k vytvoreniu náčrtov a výkresov použijeme program AutoCad 2009. Výpočty budú vykonané v programe MathCad. Meranie frekvencie na nosníkoch bude prebiehať pomocou tenzometrov a akcelerometru, ktorých výsledky budú zaznamenané a následne vykreslené do grafov pomocou programu DEWESoft.

Cieľom práce je návrh a následná konštrukcia problémov uvedených v kapitole 4:

- Kryt rotujúceho bubna
- Uchytenie a naklápanie vozíka
- Vystuženie nosnej konštrukcie bubna



## 6. NÁVRH VARIANTOV RIEŠENIA A VÝBER OPTIMÁLNEHO VARIANTU

6

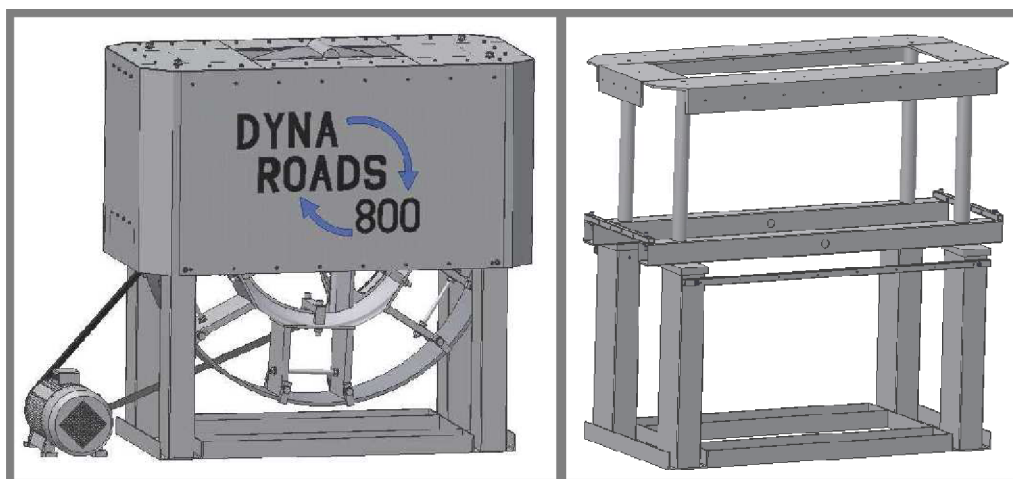
### 6.1 Návrh variantov riešenia pre kryt bubna

6.1

#### 6.1.1 Návrh krytu vytvorený v roku 2010

6.1.1

Prvý návrh krytu bol navrhnutý v rámci bakalárskej práce v roku 2010. Tento variant sa ukázal ako neuspokojivé riešenie z dôvodu zložitej konštrukcie, s ktorou by bola náročná manipulácia. Ďalšou nevýhodou bolo upevnenie priamo na nosnom ráme bubna, kde nebol zamedzený prenos vibrácií z rotujúceho bubna.



Obr. 6-1 Návrh krytu z roku 2010 [1]

#### 6.1.2 Môj návrh krytu z roku 2012

6.1.2

Druhý variant bol navrhnutý tak, aby bola skĺbená dostatočná tuhosť krytu a zároveň dobrá manipulácia. Minimálne množstvo dielov zabezpečuje jednoduchú rozobratelnosť a jednoduchú manipuláciu. Z dôvodu zabránenia prenosu vibrácií z rotujúceho bubna celý kryt stojí na vlastných nohách s gumovým zakončením. Výškovo nastaviteľné nohy umožňujú pohyb krytu v zvislom smere s rozsahom 50mm do oboch strán od pozície rovnobežnej s vrcholom bubna.

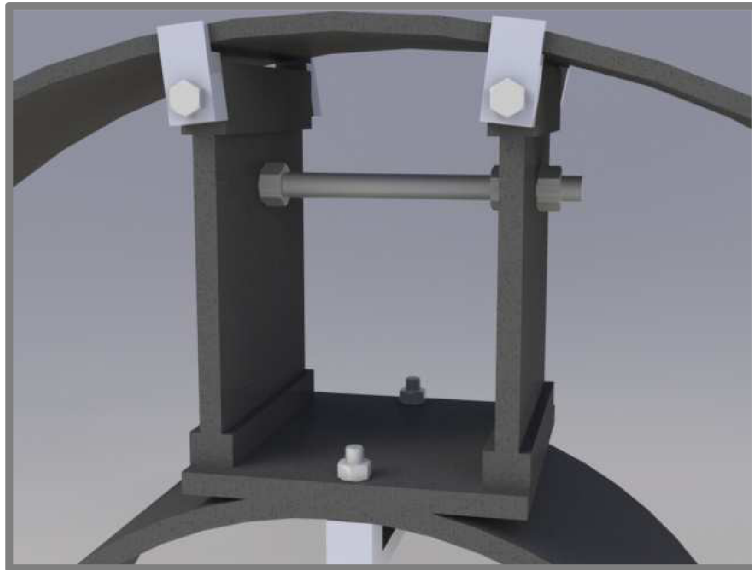


Obr. 6-2 Model súčasného návrhu krytu

## 6.2 Návrh variantov riešenia zvýšenia vlastného kmitočtu bubna

### 6.2.1 Zvýšenie kmitočtu variant 1

Prvým variantom je odľahčenie bubna. Tohto odľahčenia dosiahneme ofrézovaním nadbytočného materiálu na bubne (viz. Obr.6-3), čím by sme mohli dosiahnuť odľahčenie až o 12,8kg. Tento variant sa ukázal ako nevýhodné riešenie z dôvodu zdĺhavej práce, lebo jednotlivé časti pripravené na obrábanie by sa museli rozoberať postupne, pretože by sa mohlo narušiť presné vyváženie bubna.



Obr. 6-3 Model odľahčenia pomocou opracovania platní

### 6.2.2 Zvýšenie kmitočtu variant 2

Druhým variantom je zvýšenie tuhosti rámu nesúceho rotujúci bubon. Tohto zvýšenia dosiahneme pridaním ďalšieho nosníka, čím by sa mala zdvojnásobiť celková tuhosť. Zo vzorca pre frekvenciu  $\left(f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}\right)$ , kde  $k$  je tuhosť nosníka a  $m$  hmotnosť pripadajúca na jeden nosník vyplýva, že pri dvojnásobnej tuhosti nosníka by mala frekvencia narásť približne 1,41-krát.



## 7. NÁVRH KONŠTRUKCIE KRYTU

**7**

### 7.1 Nosný rám krytu

**7.1**

Rám bude slúžiť ako hlavná nosná konštrukcia celého krytu. Horná časť rámu je zvarená z oceľového L-profilu L50x6x543, bočnej oceľovej pásoviny 50x6x1145 a vrchnej oceľovej pásoviny 180x8x1145, ktorá slúži ako podpera pre odľahčovanie vozíka. Na uchytenie krytovania sú v L-profile a bočnej pásovine vytvorené závitové M6. V bočnej pásovine sú navyše vyvrtané diery na uchytenie madiel slúžiacich k ľahšej manipulácii s krytom. K hornému rámu sú privarené nohy z joklu o rozmeroch 50x35x2-698.

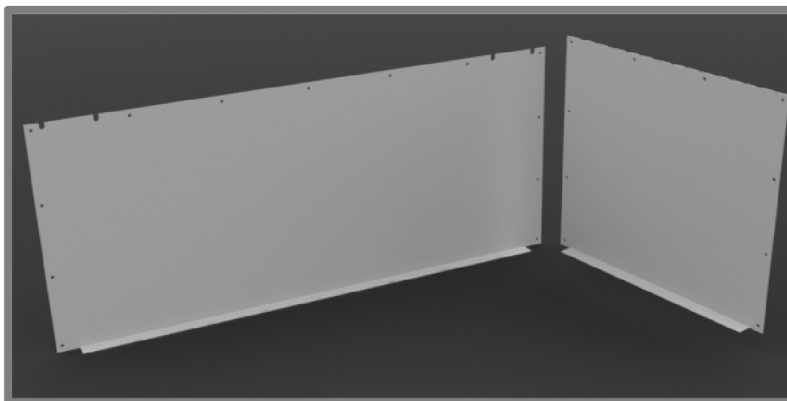


Obr. 7-1 Model nosného rámu krytu

### 7.2 Kryty nosnej konštrukcie

**7.2**

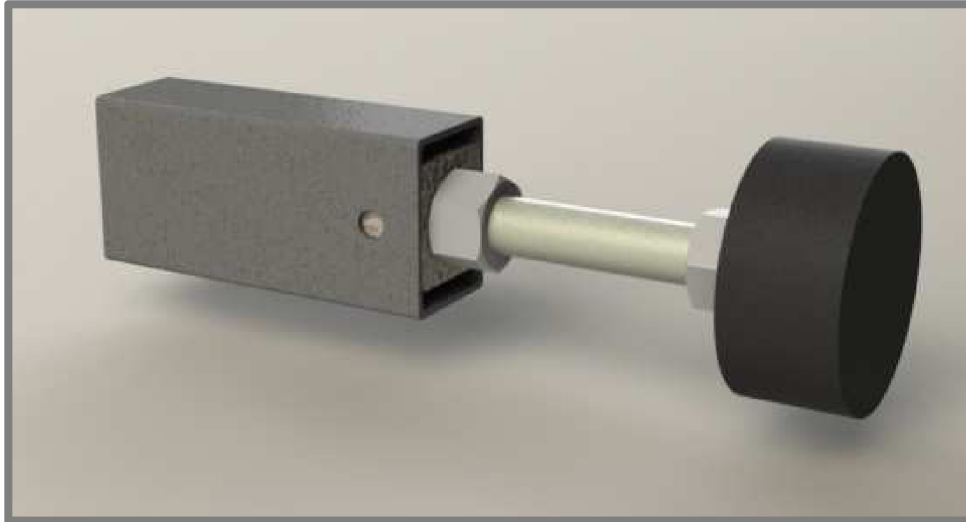
Kryty sú navrhnuté tak, aby zamedzili kontaktu s rotujúcim bubnom a prepustili čo najmenšie vírenie vzduchu, vzniknuté pri rotácii bubna. Tieto kryty boli vyrobené z hliníkového plechu o rozmeroch 1x535x500 na kratšej strane a 1x1125x500 na dlhšej. V spodnej časti bolo vytvorené zahnutie plechu o veľkosti 30mm pod uhlom 90°. Zahnutie bolo vytvorené z dôvodu zvýšenia pevnosti plechu a zabráneniu možným vibráciám tohto plechu.



Obr. 7-2 Model krytov nosnej konštrukcie

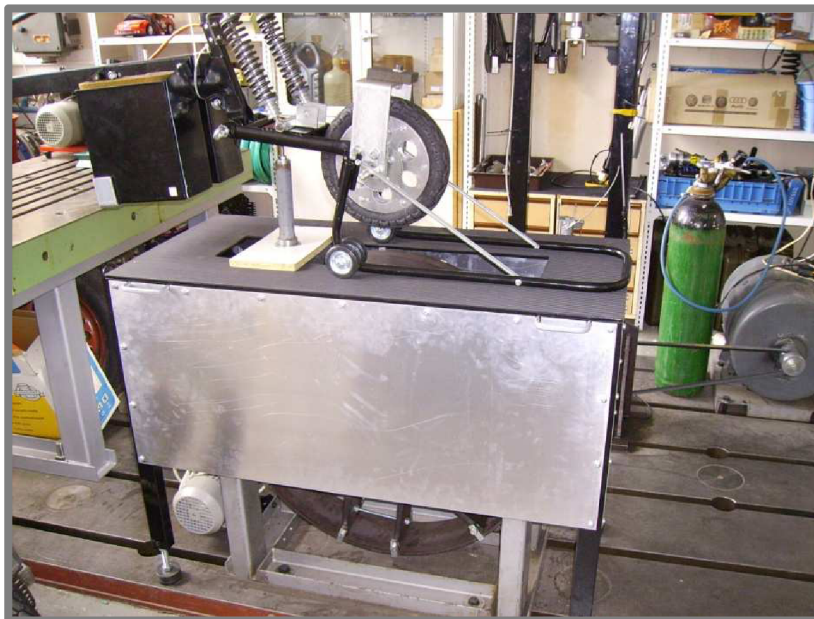
### 7.3 Výškovo nastaviteľné nohy

Nastaviteľné nohy slúžia k nastaveniu výšky krytu, ktorú je možné nastaviť vo vertikálnom smere +/-50mm od najvyššieho bodu rotujúceho bubna. Skrutkovica so závitom M16 a dĺžke 180mm je na jednej strane uchytená v oceľovej tyči štvorcového prierezu o rozmeroch 35x35x30, ktorá je obrobená podľa vnútorného rozmeru nohy, kde je vložená a privarená. Na druhej strane je do skrutkovice vytvorený závit M10 o dĺžke 20mm, do ktorého je zaskrutkované gumové ukončenie nohy, ktoré znižuje prenášanie vibrácií z bubna na rám. Kvôli zaisteniu presnej výšky je v spodnej i vrchnej časti použitá kontra matica.



Obr. 7-3 Model výškovo nastaviteľnej nohy

Modely jednotlivých dielov boli navrhnuté v programe SolidWorks 2009 a celý kryt bol vyrobený v dielňach ÚK. Kryt je umiestnený v laboratóriu ÚK, kde je využívaný v prevádzke.



Obr. 7-4 Kryt v prevádzke

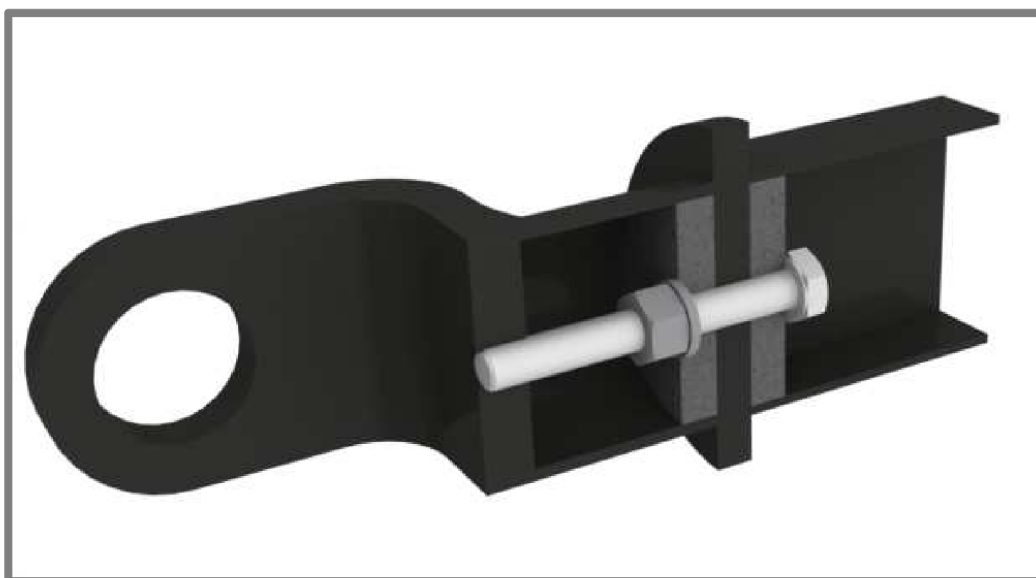
## 8. NÁVRH SPÔSOBU UCHYTENIA VOZÍKA

8

### 8.1 Prepojenie joklu a trubky

8.1

Prvým problémom bolo spojenie vozíka a nového náhradného kardanu, pretože vozík je tvorený joklom zatiaľ čo kardan trubkou kruhového prierezu. Spojenie musí byť dostatočne tuhé a zároveň sa musí dodržať súososť jednotlivých komponentov. Preto sa pristúpilo k návrhu troch dosiek, ktoré sú navrhnuté tak, aby odpovedali vnútorným rozmerom jednotlivých profilov a tretia bude slúžiť ako spojovacia, ku ktorej budú jednotlivé profily privarené. Tieto tri dosky sú spojené skrutkou M8, ktorá bude tak dlhá, aby ju bolo možné naskrutkovať až do čelnej steny v kardanovom závесе z dôvodu lepšieho vystredenia celej spojovacej časti (viz obr. 8-1)



Obr. 8-1 Spojenie kardanu a joklu

### 8.2 Uchytenie kardanu na U-profil

8.2

Druhým riešeným problémom bolo upevnenie celého vozíka na U-profil, ktorý slúži ako pevná opora vozíka na nepohyblivej strane. Toto upevnenie musí byť pevné, ale zároveň musí zabezpečovať jednoduché natáčanie do strán v prípade potreby. Z tohto dôvodu bola navrhnutá doska s dosadacou drážkou pre kardan, ktorá je na U-profile upevnená dvomi skrutkami so zápusťnou hlavou M6. Kardan je nasunutý na dosku s dosadacou drážkou a priskrutkovaný k U-profilu skrutkou M10 (viz obr. 8-2). Z druhej strany U-profilu je upevnená prítlačná doska, ktorá slúži na zvýšenie trecej sily a tým zabraňuje samovoľné natáčanie vozíka.



Obr. 8-2 Uchytenie kardanu na U-profil

Návrh modelov bol vytvorený v programe SolidWorks 2009. Bol použitý kardan z automobilu typu ARO M461, všetky ostatné komponenty boli vyrobené v dielni Ústavu konštruovania a v laboratóriu v budove B1 miestnosť 111. Uchytenie je plne funkčné a zapojené do prevádzky.



Obr. 8-3 Uchytenie v prevádzke

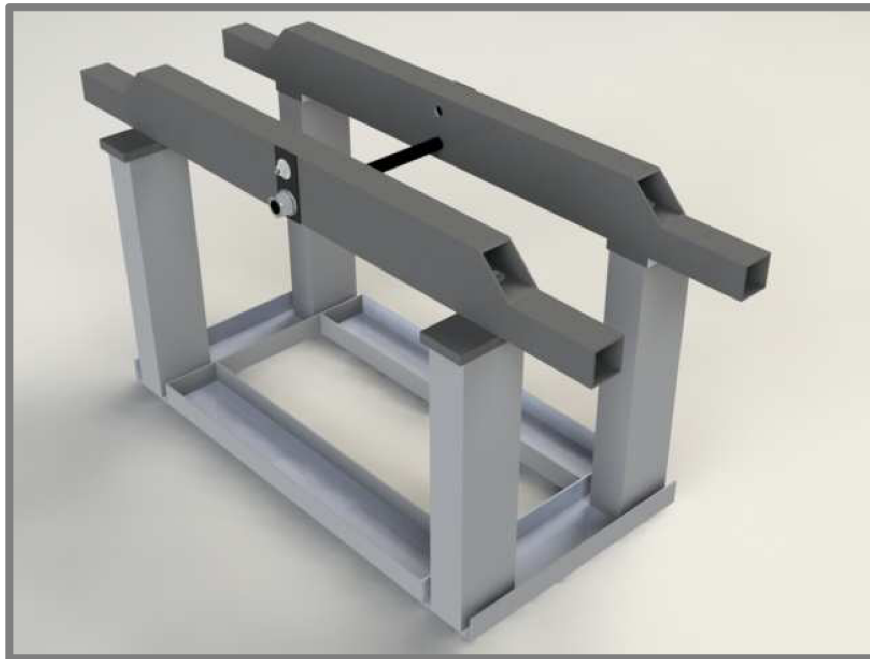
## 9. NÁVRH VYSTUŽENIA NOSNÉHO RÁMU BUBNA

9

### 9.1 Model a uchytenie prídavného nosníka

9.1

Nosník bol vytvorený z rovnakého profilu 50x50 s hrúbkou steny 3mm ako pôvodný nosník na konštrukcii nosného rámu. Nosníky sú medzi sebou prepojené pásovinou, ktorá je na jednej strane uchytená skrutkou a na druhej strane pritiahnutá maticou od osy kola.



Obr. 9-1 Model prídavného nosníka a jeho uchytenie

### 9.2 Výpočet vlastnej frekvencie nevystuženého rámu

9.2

Frekvencia nevystuženého rámu je vypočítaná z tuhosti nosníka  $k_1$  a hmotnosti bubna, kde tuhosť dostaneme z tiažovej sily kola  $F_1$  a maximálnej deformácie  $y_1$ .

#### 9.2.1 Výpočet tiažovej sily od bubna na jeden nosník

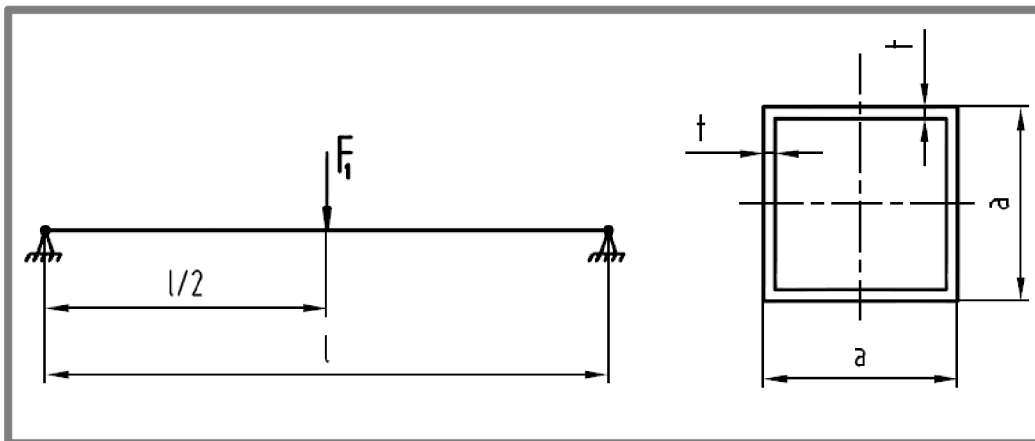
9.2.1

Zadané:  $m = 73,5\text{kg}$   
 $g = 9,81\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

$$F = m \cdot g = 73,5 \cdot 9,81 = 721,035\text{N}$$

$$F_1 = \frac{F}{2} = \frac{721,035}{2} = 360,5175\text{N}$$

|      |       |                                    |                                    |
|------|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| Kde: | $m$   | [kg]                               | hmotnosť bubna                     |
|      | $g$   | [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ] | gravitačné zrýchlenie              |
|      | $F$   | [N]                                | tiažová sila bubna na nosníky      |
|      | $F_1$ | [N]                                | tiažová sila bubna na jeden nosník |

**9.2.2 Výpočet maximálneho priehybu nosníka**


Obr. 9-2 Namáhaný nosník

Zadané:  $F_1 = 360,5175 \text{ N}$   
 $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$   
 $l = 724 \text{ mm}$   
 $a = 50 \text{ mm}$   
 $t = 3 \text{ mm}$

$$I = \frac{a^4}{12} - \frac{(a - 2 \cdot t)^4}{12} = \frac{50^4}{12} - \frac{(50 - 2 \cdot 3)^4}{12} = 208\,492 \text{ mm}^4$$

$$y_1 = \frac{F_1 \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{360,5175 \cdot 724^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 208\,492} = 0,0651 \text{ mm}$$

Kde:  $E$  [MPa] modul pružnosti v ťahu pre oceľ  
 $l$  [mm] vzdialenosť podpier nosníka  
 $a$  [mm] rozmer profilu  
 $t$  [mm] hrúbka steny profilu  
 $I$  [mm<sup>4</sup>] kvadratický moment zotrvačnosti  
 $y_1$  [mm] maximálny priehyb nosníka

**9.2.3 Výpočet tuhosti a frekvencie nosníka**

Zadané:  $F_1 = 360,5175 \text{ N}$   
 $y_1 = 0,0651 \text{ mm}$

$$k_1 = \frac{F_1}{y_1} = \frac{360,5175}{0,0651} = 5\,537,9 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} = 5\,537\,900 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_1}{m}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 5\,537\,900}{73,5}} = 61,78 \text{ s}^{-1}$$



Kde:  $k_1$  [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ] tuhosť jedného nosníka  
 $f_1$  [ $\text{s}^{-1}$ ] vlastná frekvencia nosníka

### 9.3 Výpočet vlastnej frekvencie vystuženého rámu

9.3

Frekvencia vystuženého rámu je vypočítaná z tuhosti  $k_2$  a hmotnosti bubna. Výpočet vychádza z predpokladu, že priehyb dvoch nosníkov je polovičný ako priehyb jedného.

Zadané:  $y_1 = 0,0651$  mm  
 $F_1 = 360,5175$  N

$$y_2 = \frac{y_1}{2} = \frac{0,0651}{2} = 0,03255 \text{ mm}$$

$$k_2 = \frac{F_1}{y_2} = \frac{360,5175}{0,03255} = 11\,075,8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1} = 11\,075\,800 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$$

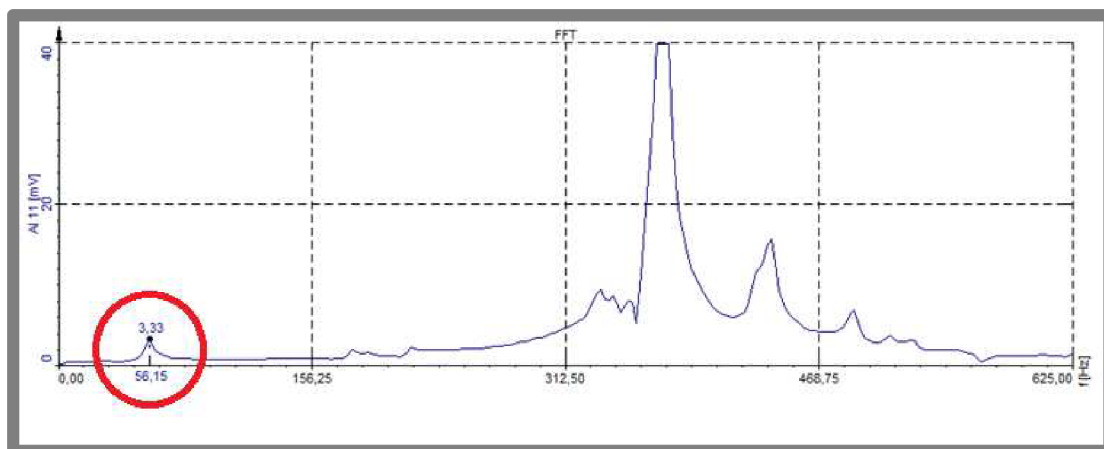
$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_2}{\frac{m}{2}}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 11\,075\,800}{73,5}} = 87,37 \text{ s}^{-1}$$

Kde:  $y_2$  [mm] maximálny priehyb dvojice nosníkov  
 $k_2$  [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ] tuhosť dvojice nosníkov  
 $f_2$  [ $\text{s}^{-1}$ ] vlastná frekvencia dvojice nosníkov

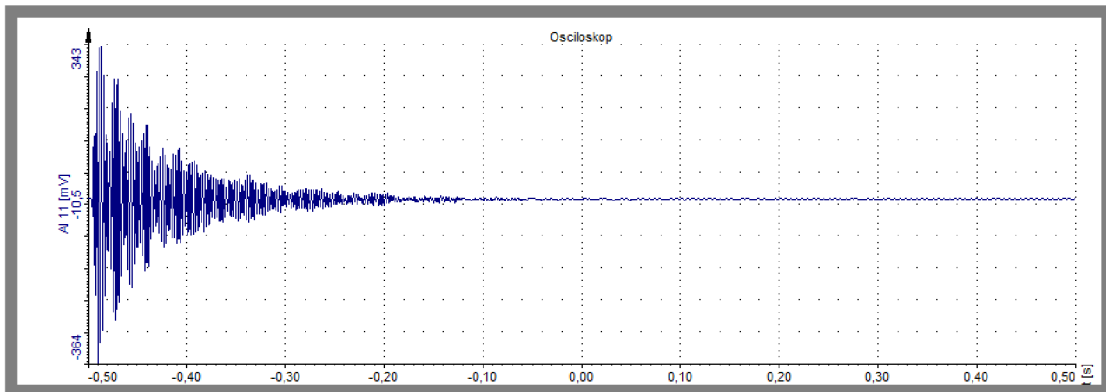
### 9.4 Experimentálne zmeraná frekvencia

9.4

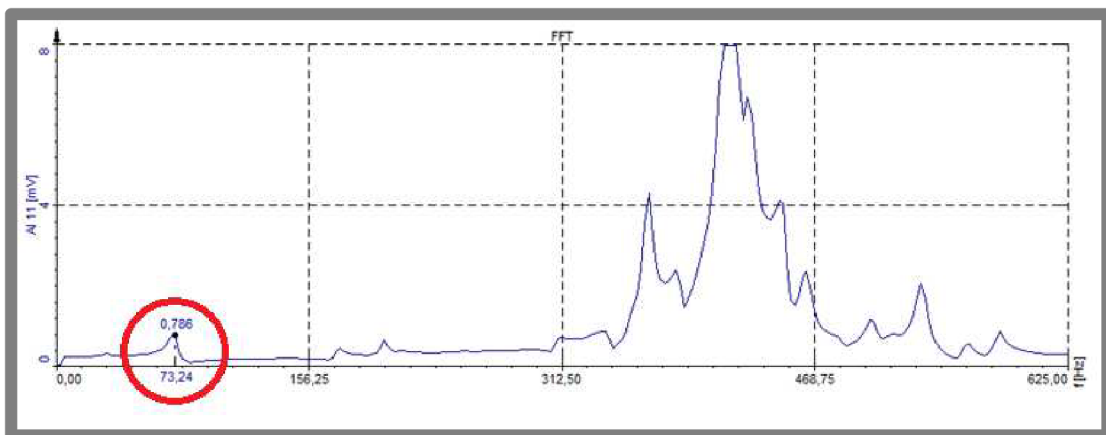
Prebíhali dve merania v stave pred a po vystužení rámu pomocou akcelerometru, prichyteného v spodnej časti nosníka. Tieto namerané údaje boli vyhodnocované pomocou systému DEWESoft, v ktorom boli následne vykreslené grafy.



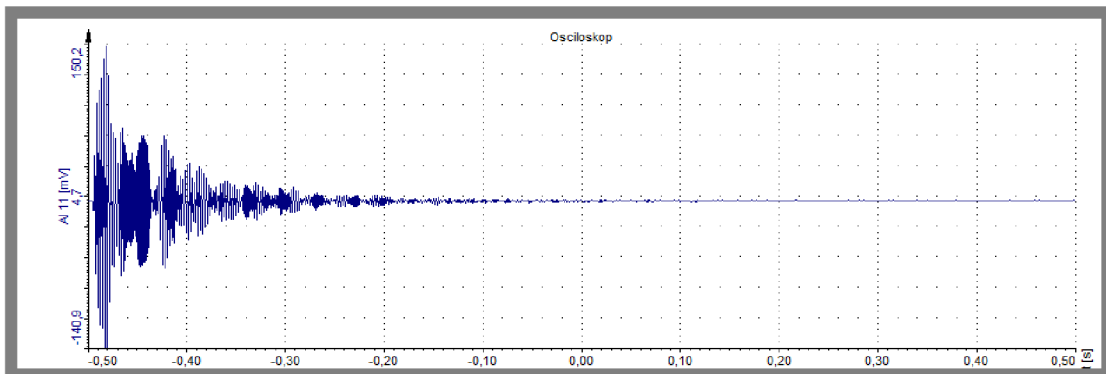
Graf 9-1 Frekvencia pred vystužením



Graf 9-2 Doba útlmu pred vystužením



Graf 9-3 Frekvencia po vystužení



Graf 9-4 Doba útlmu po vystužení

Z vypočítaných aj experimentálnych výsledkov môžeme vidieť, že použitím druhého nosníka sa nám podarilo zvýšiť vlastnú frekvenciu rámu na požadovanú hodnotu, ktorá nebude ovplyvňovať hodnoty meraných závesov kolies. Taktiež vidíme rozdiel medzi vypočítanými a zmeranými výsledkami. Pretože výpočet bol uvažovaný s upevnením na otočných kĺboch, ale nosník je v skutočnosti priskrutkovaný, z predpokladu vyplýva, že priskrutkovaný nosník by mal mať aj vyššiu frekvenciu



z dôvodu vyššej tuhosti. Keďže mi frekvencia vypočítaná vyšla väčšia ako nameraná, znamená to, že tuhosť reálneho nosníka je nižšia, čo môže byť zapríčinené materiálovými alebo geometrickými odchýlkami ako napr. iný modul pružnosti v ťahu, hrúbka steny nosníka nie je konštantná po celej dĺžke alebo zaoblenie hrán nosníka, s ktorými sa pri výpočte neuvažuje.

## 10. ZÁVER

Cieľom mojej práce bola rekonštrukcia simulátoru vozovky Dynotec.

V prvej časti práce som rozoberal niekoľko základných druhov simulátorov vozovky a testerov podvozkov, ktoré som rozdelil do troch skupín na rotačné testery so zvislou osou rotácie, rotačné testery s vodorovnou osou rotácie a vibračné testery. Vysvetlil som funkciu týchto simulátorov a testerov a ich využitie v praxi. Ďalej som popísal diagnostiku podvozkov u motocyklov a rozdelil ju do dvoch základných skupín a to na demontážnu a bezdemontážnu.

V druhej časti som sa venoval popisu stavu simulátora pred rekonštrukciou. V tejto časti som opísal problémy, ktoré boli zistené po ročnej prevádzke, a ktoré bolo treba odstrániť, aby sa dosahovalo lepších výsledkov pri meraní. Rekonštrukcia sa skladala zo zakrytovania bubna, uchytienia vozíka a zvýšenia vlastnej frekvencie nosného rámu bubna.

V tretej časti boli vytvorené konštrukčné varianty, z ktorých som potom vybral optimálne riešenia tak, aby spĺňovali dané požiadavky po stránke funkčnosti, jednoduchosti a taktiež po stránke ekonomickej. V prípade krytu bubna bol ako prvý variant uvedený návrh z roku 2010 taktiež riešený v rámci bakalárskej práce, ktorý sa ukázal ako nevyhovujúci.

Ďalej bola vytvorená výkresová dokumentácia optimálnych riešení a následne boli všetky komponenty vyrobené v dielňach Ústavu konštruovania a zmontované v laboratóriu tohto ústavu.

V poslednej časti tejto práce bolo mojou úlohou vystuženie nosného rámu bubna z dôvodu zvýšenia vlastnej frekvencie tohto rámu. Najprv som pristúpil k výpočtu frekvencií pred a po vystužení rámu, kde sa ukázalo, že vystuženie ďalším nosníkom bude dostačujúce. Následne som vypočítané hodnoty overil experimentálne, kde sa potvrdilo, že vystuženie je dostatočné. Aj keď vypočítané výsledky a experimentálne namerané hodnoty sa od seba líšia, čo môže byť spôsobené nerovnomernou geometriou alebo horšími materiálovými vlastnosťami nosníka oproti ideálnym vlastnostiam uvažovaných vo výpočte.

Všetky problémy boli úspešne vyriešené a v súčasnej dobe sú všetky komponenty naplno využívané v laboratóriu, kde slúžia na výskumnú činnosť Ústavu konštruovania.

**11. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV**

- [1] STODOLÁK, M. *Bubnoví silniční simulátor pro testování diagnostiky podvozku motocyklu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 38 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.
- [2] MAZŮREK, Ivan. *Bezdemontážní diagnostika automobilových závěsů kol*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 2000. 18 s. ISBN 80-214-1592-4. Habilitační práce.
- [3] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [4] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [5] SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 3., upr. a dopl. Brno: CERM, 2009, 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [6] SVOBODA, Pavel. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. vyd. 2. Brno: CERM, 2007, 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
- [7] *Pneuvreue* [online]. [cit. 2012-03-11]. Dostupné z WWW: <[http://www.pneuvreue.cz/external\\_files/Vyber/PR32001/3Vyvazovani.htm](http://www.pneuvreue.cz/external_files/Vyber/PR32001/3Vyvazovani.htm)>.
- [8] *The Poling Group Difference : Tire Uniformity Machine*. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.polinggroup.com/newsletter/v2i1/cx111.html>>
- [9] *KOBELCO : Kobe Steel develops high-speed tire uniformity machine*. [online]. 2004 [cit. 2012-03-13]. Dostupné z WWW: <[http://www.kobelco.co.jp/archive\\_e/topics/2004/12/1173535\\_9332.html](http://www.kobelco.co.jp/archive_e/topics/2004/12/1173535_9332.html)>
- [10] *VMI GROUP : Tire testing*. [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.vmi-group.com/tire/tire-testing>>
- [11] *ACTM : Road Simulator*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.actminc.com/products/Machines.html>>
- [12] *Kokusai : DynaDrive*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <[http://www.kokusaiusa.com/prod\\_dynadrive.asp](http://www.kokusaiusa.com/prod_dynadrive.asp)>
- [13] *Kokusai : Vibration testers*. [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z WWW: <[http://www.kokusaiusa.com/prod\\_vibration\\_testers.asp](http://www.kokusaiusa.com/prod_vibration_testers.asp)>

- [14] *TGM : Kinetics and compliance testing*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.toyota-motorsport.com/en/services-en/advanced-component-testing-en/30-english-categories/spec-sheets/advanced-component-testing>>
- [15] *MTS : Damper Test Systems*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.mts.com/en/products/producttype/test-systems/load-frames-uniaxial/servo-hydraulic/damper/index.htm>>
- [16] *Autospeed : The Beninca Motors Damper Dyno*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <[http://autospeed.com.au/cms/title\\_The-Beninca-Motors-DamperDyno/A\\_111344/article.html](http://autospeed.com.au/cms/title_The-Beninca-Motors-DamperDyno/A_111344/article.html)>
- [17] *RaceTech: Racetech - the science of winning*. [online]. [cit. 2012-04-5]. Dostupné z WWW: <<http://www.race-tech.com/emaillist/news/RTnews-030113.htm>>
- [18] *RaceTech: Racetech - the science of winning*. [online]. [cit. 2012-04-5]. Dostupné z WWW: <[http://www.racetechmx.com/links/racetech\\_USA.html](http://www.racetechmx.com/links/racetech_USA.html)>
- [19] *Motorkari : Technika motocyklu*. [online]. 2006 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-8.-cast-podvozek-3456.html>>
- [20] *Kokusai : Kobe Tire & Wheel Assembly Integrated Tester*. [online]. 2004 [cit. 2012-03-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.kokusaiusa.com/prod\\_uniformity.asp](http://www.kokusaiusa.com/prod_uniformity.asp)>
- [21] *Kokusai : 4 Post Vibration tester*. [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.quadcomm.net/KoKusai02.html>>

**12. ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A VELIČÍN**

|                |                      |                                       |
|----------------|----------------------|---------------------------------------|
| Obr.           |                      | - obrázok                             |
| ÚK             |                      | - Ústav konštruovania                 |
| a              | [mm]                 | - rozmer profilu                      |
| E              | [MPa]                | - modul pružnosti v ťahu pre oceľ     |
| F              | [N]                  | - ťažová sila bubna na nosníky        |
| F <sub>1</sub> | [N]                  | - ťažová sila bubna na jeden nosník   |
| f <sub>1</sub> | [s <sup>-1</sup> ]   | - vlastná frekvencia nosníka          |
| f <sub>2</sub> | [s <sup>-1</sup> ]   | - vlastná frekvencia dvojice nosníkov |
| g              | [m·s <sup>-2</sup> ] | - gravitačné zrýchlenie               |
| I              | [mm <sup>4</sup> ]   | - kvadratický moment zotrvačnosti     |
| k <sub>1</sub> | [N·m <sup>-1</sup> ] | - tuhosť jedného nosníka              |
| k <sub>2</sub> | [N·m <sup>-1</sup> ] | - tuhosť dvojice nosníkov             |
| l              | [mm]                 | - vzdialenosť podpier nosníka         |
| t              | [mm]                 | - hrúbka steny profilu                |
| y <sub>1</sub> | [mm]                 | - maximálny priehyb nosníka           |
| y <sub>2</sub> | [mm]                 | - maximálny priehyb dvojice nosníkov  |

### 13. ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Obr. 2-1  | Tester vyváženia pneumatík osobných automobilov [8].....              | 14 |
| Obr. 2-2  | Tester nerovností v pneumatikách za vysokých rýchlostí [9] [20] ..... | 15 |
| Obr. 2-3  | Tester životnosti pneumatík [10].....                                 | 16 |
| Obr. 2-4  | Simulátor vozovky na meranie trakcie [11] .....                       | 16 |
| Obr. 2-5  | Multifunkčný DynaDrive tester [12].....                               | 17 |
| Obr. 2-6  | Multifunkčný DynaDrive tester [12].....                               | 17 |
| Obr. 2-7  | Štvorbodový vibračný tester [13].....                                 | 17 |
| Obr. 2-8  | Štvorbodový vibračný tester [21].....                                 | 17 |
| Obr. 2-9  | Tester rezonančný adhézny .....                                       | 18 |
| Obr. 2-10 | Tester impulzný dokmitový .....                                       | 19 |
| Obr. 2-11 | Simulátor vozovky na kontrolu riadenia [11] .....                     | 19 |
| Obr. 2-12 | Štvorkolesový simulátor vozovky [11] .....                            | 20 |
| Obr. 2-13 | Štvorkolesový simulátor vozovky [14] .....                            | 20 |
| Obr. 2-14 | Testery pre diagnostiku chovania tlmičov [15] [16] .....              | 20 |
| Obr. 2-15 | Umiestnenie potenciometra pre BD [17] .....                           | 21 |
| Obr. 2-16 | Potenciometer pre BD [18] .....                                       | 21 |
| Obr. 3-1  | Parametre uloženia tlmiacej jednotky [19].....                        | 22 |
| Obr. 3-2  | Súčasný stav pred zakrytovaním .....                                  | 23 |
| Obr. 3-3  | Naklápanie vozíka pred rekonštrukciou .....                           | 23 |
| Obr. 6-1  | Návrh krytu z roku 2010 [1].....                                      | 27 |
| Obr. 6-2  | Model súčasného návrhu krytu .....                                    | 27 |
| Obr. 6-3  | Model odľahčenia pomocou opracovania platní .....                     | 28 |
| Obr. 7-1  | Model nosného rámu krytu .....  | 29 |
| Obr. 7-2  | Model krytov nosnej konštrukcie .....                                 | 29 |
| Obr. 7-3  | Model výškovo nastaviteľnej nohy .....                                | 30 |
| Obr. 7-4  | Kryt v prevádzke .....  | 30 |
| Obr. 8-1  | Spojenie kardanu a joklu .....  | 31 |
| Obr. 8-2  | Uchytenie kardanu na U-profil.....                                    | 32 |
| Obr. 8-3  | Uchytenie v prevádzke .....   | 32 |
| Obr. 9-1  | Model prídavného nosníka a jeho uchytenie .....                       | 33 |
| Obr. 9-2  | Namáhaný nosník .....   | 34 |
| Graf 9-1  | Frekvencia pred vystužením .....                                      | 35 |
| Graf 9-2  | Doba útlmu pred vystužením .....                                      | 36 |
| Graf 9-3  | Frekvencia po vystužení.....  | 36 |
| Graf 9-4  | Doba útlmu po vystužení .....   | 36 |

**14. ZOZNAM PRÍLOH****1. Výkresová dokumentácia krytu bubna**

|            |                 |             |
|------------|-----------------|-------------|
| 2-BP-KR-S1 | výkres zostavy  | (formát A2) |
| 4-BP-KR-S2 | zoznam položiek | (formát A4) |
| 2-BP-KR-SV | výkres zvarenca | (formát A2) |
| 4-BP-KR-01 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 4-BP-KR-02 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 3-BP-KR-03 | výrobný výkres  | (formát A3) |
| 4-BP-KR-04 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 3-BP-KR-05 | výrobný výkres  | (formát A3) |
| 3-BP-KR-06 | výrobný výkres  | (formát A3) |
| 3-BP-KR-07 | výrobný výkres  | (formát A3) |
| 4-BP-KR-08 | výrobný výkres  | (formát A4) |

**2. Výkresová dokumentácia uchytenia vozíka**

|            |                 |             |
|------------|-----------------|-------------|
| 3-BP-KA-SV | výkres zvarenca | (formát A3) |
| 4-BP-KA-SV | zoznam položiek | (formát A4) |
| 4-BP-KA-01 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 4-BP-KA-02 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 4-BP-KA-03 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 4-BP-KA-04 | výrobný výkres  | (formát A4) |
| 4-BP-KA-05 | výrobný výkres  | (formát A4) |

**3. CD obsahujúce:**

- bakalárska práca v pdf
- výkresová dokumentácia krytu bubna v pdf
- výkresová dokumentácia uchytenia vozíka v pdf