



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE UMĚLÉ PŘEKÁŽKY NA SIMULÁTOR VOZOVKY

CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL RAMP ON THE ROAD SIMULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ KOMENDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN MAZŮREK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Komenda

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:

Konstrukce umělé překážky na simulátor vozovky

v anglickém jazyce:

Construction of artificial ramp on the road simulator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je navrhnout konstrukci sady přejezdových překážek pro rychlou instalaci na simulátor vozovky KOLOTEC .

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 bakalářské práce: průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ práce: konstrukční

Účel práce : pro V-V a tvůrčí činnost ÚK.

Seznam odborné literatury:

VLK, F.: Teorie a konstrukce motocyklů, Brno, vydavatelství a nakladatelství Prof.ing.František Vlk DrSc., 2004, ISBN:80-239-1601-7

MAZŮREK, I.; PRAŽÁK, F.; KLAPKA, M. Over-crossing test to evaluation of shock absorber. In Recent Advances in Mechatronics. 2007. Heidelberg, Springer Verlag. 2007. p. 425 - 432. ISBN 978-3-540-73955-5

STODOLÁK, M.: Rekonstrukce simulátoru vozovky, bakalářská práce, Brno 2009, FSI VUT Brno

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.



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

M. Doupovec
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí umělých překážek na simulátor vozovky KOLOTEC, který se nachází v laboratořích Ústavu konstruování. První část je věnována rozborem vybraným typům simulátorů vozovky, jež se vyskytují v dopravním průmyslu. Ve druhé části je popsán význam měření na simulátorech vozovky a simulátor KOLOTEC. Poslední část se zabývá řešením a rozborem vybraných konstrukcí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bubnový silniční simulátor, tester, tlumič, tlumící jednotka

ABSTRACT

This bachelor's thesis is deals with constructions of artificial ramps for the road simulator KOLOTEC, which is placed in the laboratories of the Institute of Machine Design. The first part is devoted to different kinds of road Simulator used in the transport industry. The second part describes the importance of measuring on road simulators and the simulator KOLOTEC. The last part deals with solutions and analysis of chosen mechanical constructions.

KEY WORDS

Drum road simulator, tester, damper, dampening unit.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOMENDA, L. *Konstrukce umělé překážky na simulátor vozovky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc..

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych věnoval mé poděkování všem, kteří mi během vypracování této práce poskytli cenné informace a rady. Zvláště panu doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi, CSc., pod jehož odborným vedením jsem došel k daným výsledkům.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *konstrukce umělé překážky na simulátor vozovky* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ivana Mazůrka, CSc. V seznamu zdrojů jsem uvedl veškerou použitou literaturu a odborné zdroje.

V Brně dne 27. května 2011

.....
Komenda Lukáš

OBSAH

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 13 |
| 2 | PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ | 14 |
| 2.1 | Analýza samostatné tlumící jednotky | 14 |
| 2.2 | Silniční simulátory | 15 |
| 2.2.1 | Bubnové silniční simulátory (s horizontální osou rotace) | 15 |
| 2.2.2 | Silniční simulátory se svislou osou rotace | 18 |
| 2.2.3 | Pásové silniční simulátory vozovky | 19 |
| 2.3 | Měření na silničních simulátorech | 20 |
| 3 | FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA | 22 |
| 3.1 | Popis a rozbor simulátoru KOLOTEC | 22 |
| 3.1.1 | Servomotor | 22 |
| 3.1.2 | Nosná konstrukce | 23 |
| 3.1.3 | Rotační buben | 23 |
| 3.1.4 | Náprava | 24 |
| 3.2 | Formulace řešeného problému | 24 |
| 4 | VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE | 25 |
| 5 | NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ | 26 |
| 5.1 | Metodické řešení série překážek | 26 |
| 5.2 | Metodické řešení multiprahu | 26 |
| 6 | NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY | 27 |
| 6.1 | Návrhy variant řešení | 27 |
| 6.1.1 | Návrh série prahů č. 1 | 27 |
| 6.1.2 | Návrh série prahů č. 2 | 27 |
| 6.1.3 | Návrh multiprahu | 28 |
| 6.2 | Výběr optimální varianty | 28 |
| 7 | Konstrukce řešení | 29 |
| 7.1 | Série prahů | 29 |
| 7.1.1 | Konstrukce série prahů | 29 |
| 7.1.2 | Statické vyvážení | 29 |
| 7.1.3 | Kinematická analýza kola při přejezdu prahu | 31 |
| 7.2 | Multiprah | 31 |
| 7.2.1 | Předpokládaná konstrukce | 31 |
| 7.2.2 | Simulace vozovky multiprahy | 32 |
| 7.2.3 | Kinematická analýza kola při přejezdu multiprahů | 32 |
| 7.2.4 | Rychlá Fourierova transformace (zkráceně FFT) | 34 |
| 8 | ZÁVĚR | 35 |
| 9 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 36 |
| 10 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 38 |
| 11 | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ | 39 |
| 12 | SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH | 40 |

ÚVOD

V dnešní době hraje při vývoji vozidel důležitou roli jejich ovladatelnost, která má významný podíl na celkové bezpečnosti vozidel při jízdě po vozovce. Jelikož se vyskytují různé typy povrchů silnic, ať jsou to vozovky pokryté čtenými výmoly či vozovky s vyjetými koleji, ne všichni řidiči jsou ochotni tyto změny akceptovat a přizpůsobit tak svoji jízdu danému prostředí.

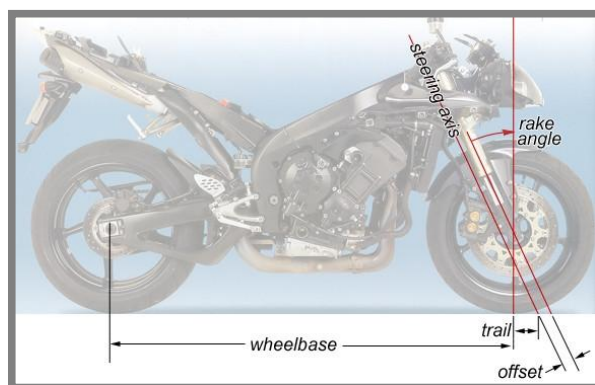
Aby se minimalizovaly změny chování vozidla při změně povrchu vozovky, testují se proto podvozky, zavěšení kol a tlumící jednotky právě na tyto změny nerovností. V dřívější době se pro tyto testy a diagnostiky používala přímo testovací vozidla. Toto měření však nebylo až tak přesné a efektivní, jak požadoval další vývoj vozidel. Proto byly z důvodu přesnějších diagnostik podvozků, ať se jednalo o automobilový, letecký či motocyklový průmysl, vyvinuty tzv. silniční simulátory. Tyto přístroje poskytují možnost snadnější, přesnější a ekonomicky výhodnější diagnostiky podvozků vozidel, a to díky simulaci jízdy po reálné vozovce.

V případě diagnostik tlumících jednotek motocyklů není možné využívat stejných přístrojů jako v případě automobilů, a to kvůli odlišným zavěšením tlumičů k podvozku.

Tato práce se zabývá bubnovým silničním simulátorem KOLOTEC pro diagnostiku tlumení závěsu kola, konkrétně konstrukcí přejezdové překážky pro tento simulátor.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Při určování funkčnosti tlumicí jednotky motocyklů hraje významnou roli zavěšení kol, zejména na přední vidlici. Přední kolo motocyklu je uloženo spolu s tlumiči na vidlici pod úhlem řízení. Vlivem uložení předního a zadního kola nelze provádět měření tlumících jednotek stejným způsobem, jak je tomu u automobilů, jež mají uložení tlumičů svislé vzhledem k vozovce.



Obr. 1 Zavěšení kol [11]

Vyhodnocování charakteristik podvozku a tlumících jednotek motocyklů lze provést diagnostikou samotného tlumiče pomocí speciálních zařízení nebo prostřednictvím simulátorů vozovky.

1.1 Analýza samostatné tlumicí jednotky

Metoda analýzy tlumicí jednotky spočívá v testování samostatného tlumiče umístěného na testovacím zařízení. Vlivem kmitů, které jsou buzeny samotným zařízením, je možné vyhodnocovat charakteristiky tlumení v tlumiči.



Obr. 2 Analýza tlumiče [12]

1.2 Silniční simulátory

2.2

Tyto testery jsou konstruovány tak, aby bylo možné dosáhnout dostatečné simulace jízdy po vozovce. Díky této metodě měření lze získat poměrně přesné hodnoty průběhu tlumení od tlumících jednotek či celého zavěšení kola (např. informace o působícím radiálním a axiálním zatížení v tlumiči).

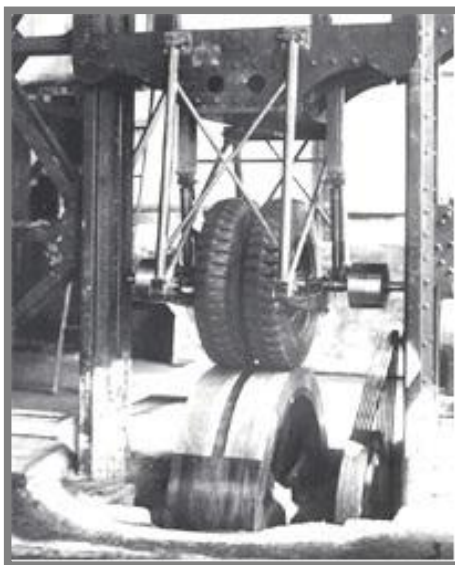
1.2.1 Bubnové silniční simulátory (s horizontální osou rotace)

2.2.1

Simulátory tohoto typu využívají pro simulaci vozovky rotující buben s horizontální osou rotace, který je zpravidla poháněn elektromotorem. K rotujícímu bubnu je přiloženo kolo spolu s tlumící jednotkou, jež tlumí vibrace a rázy vznikající při odvalování kola.

Tyto simulátory vozovky s horizontální osou rotace jsou více rozšířené než stroje s vertikální osou rotace, a to především díky jejich kompaktnějšímu upořádání.

Jeden z prvních bubnových simulátorů byl vytvořen v roce 1948 panem Gorhamem (obr. 3). Jeho prvotní myšlenkou bylo zkonstruování stroje, který by sloužil pro testování podvozků letadel. Teprve později se tato zařízení začala uplatňovat i v klasickém dopravním průmyslu pro testování tlumících jednotek vozidel.



Obr. 3 Simulátor z roku 1948 [13]

Simulátory pro přejezdový test

Na rotujícím bubnu těchto simulátorů se vyskytuje jedna nebo více překážek. Tento systém vyhodnocuje mechanické vlastnosti kola či tlumících jednotek při přejezdu přes překážku.

Simulátor od firmy IE (Intellectual Equipmens):

Firma IE, sídlící ve Sangli - Maharashtra – Indie, se zabývá testováním jednotlivých komponent z dopravního průmyslu. Jedním ze zkoušecích zařízení, které pro svoji činnost využívá, je silniční simulátor zobrazený na obr. 4.

Zde jsou na rotačním bubnu rozmístěny přejezdové překážky s pravidelnou roztečí 90°. K tomuto bubnu dále dosedá kolo uložené v testovaném tlumiči.



Obr. 4 Stroj od firmy IE [2]

Simulátor od firmy ATZ:

Tato německá společnost srovnává komponenty z dopravního průmyslu, obdobně jako výše zmíněná firma IE. Jednou z věcí, jimiž se tato společnost zabývá, je srovnávání chování kol či celé nápravy od různých výrobců při jízdě po vozovce. K tomuto účelu používá simulátor, který je vybaven dvěma bubny se společnou osou rotace (obr. 5).



Obr. 5 Stroj od firmy ATZ [8]

Simulátor od firmy PRO-LITE:

Firma PRO-LITE, sídlící v Číně, se věnuje výrobě jízdních kol. Pro testování ráfků a chování kola při jízdě po vozovce používá tato společnost simulátor, který je uveden na obr. 6.

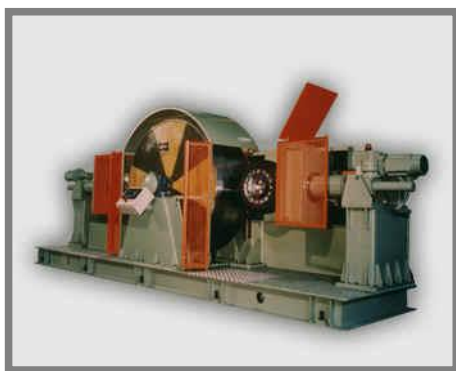
Rotační buben tohoto stroje je vybaven přejezdovým prahem pouze z jedné poloviny, díky čemuž je zde možnost odvalování kola bez simulace přejezdu překážky. Další výhodou je výklopné rameno, u něhož můžeme přidáváním nebo odebráním závaží regulovat působící přítlačné síly na kolo. Toto rameno tedy umožňuje simulaci jízdních podmínek při svislé či sklopené poloze kola.



Obr. 6 Stroj od firmy PRO LITE [10]

Další možné provedení simulátorů:

V dnešní době se v silničním průmyslu vyskytuje mnoho typů simulátorů, jež se odlišují konstrukcí (obr. 7,8) či použitím.



Obr. 8 Rozsáhlá konstrukce [4]



Obr. 7 Drobná konstrukce [5]

Simulátor s buzenými kmity od společnosti LABTECH

Společnost LABTECH, s hlavním sídlem v Indonésii, se věnuje produkci vzdělávacích systémů a zařízení určených pro specifická školení či výuku na technických školách a univerzitách. Pro simulaci jízdy po vozovce poskytuje firma LABTECH zařízení znázorněné na obr. 9.

Tento stroj testuje nápravy, tlumiče a vinuté pružiny, kde místo přejezdového prahu využívá vlastních kmitů rotačního bubnu. Buben je schopen pohybovat se směrem nahoru a dolů s regulací otáček, a tím simulovat hladké a hrubé povrchy vozovky. Horní část stroje simuluje karoserii (podvozek), která může být osazována přídatnou zátěží pro změnu namáhání tlumící jednotky.



Obr. 9 Stroj s buzenými kmity od firmy LABTECH [9]

1.2.2 Silniční simulátory se svislou osou rotace

Pro simulaci jízdy po vozovce se u těchto strojů nepoužije rotující buben, jak tomu bylo v předchozí kapitole, ale kolo je odvalováno po rovině s horizontální osou rotace. Tuto simulaci jízdy lze realizovat dvojím způsobem:

- a) Simulace pomocí rotující základní plochy:

Tento simulátor (obr. 10) se nachází na fakultě strojního inženýrství univerzity Padova Via Venezia a pracuje na principu odvalování kola po rotující ploše, která je poháněna elektromotorem. Rameno uložené na čepu umožňuje naklonění kola do určitého úhlu pro simulaci jízdy v zatáčce.



Obr. 10 Stroj s rotující základní deskou [7]

b) Simulace prostřednictvím rotujících kol:

Simulátor tohoto typu používá VTI – Švédský národní silniční a dopravní výzkumný ústav, zabývající se vývojem a výzkumem v mnoha odvětvích.

Kola silničního simulátoru (obr. 11) umístěna na ramenou s vertikální osou rotace, kolem které se otáčejí a vytvářejí tímto kruhovou dráhu kol. Díky možnosti změny povrchu základní plochy, po které kola obíhají, lze vytvářet různé podmínky pro zatěžování nápravy.

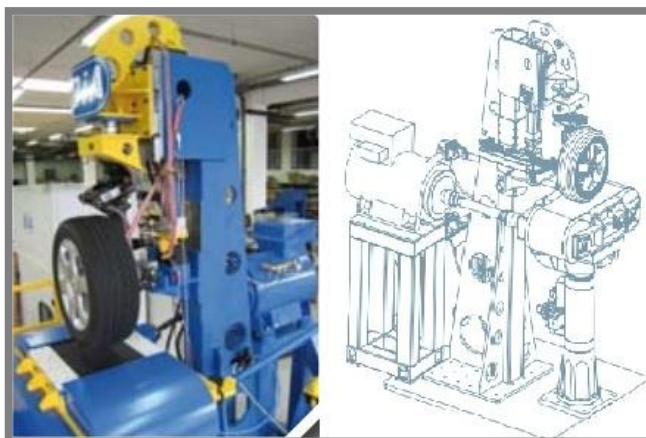


Obr. 11 Stroj s obíhajícími koly [3]

1.2.3 Pásové silniční simulátory vozovky

Silniční simulátor uvedený na obr. 12 je produktem Francouzské společnosti BIA, která navrhuje testovací zařízení pro automobilový, letecký a průmyslový průmysl. Kolo je odvalováno po pásu, jehož pohyb je vyvozován dvěma rovnoosými válci, z nichž jeden je poháněn elektromotorem.

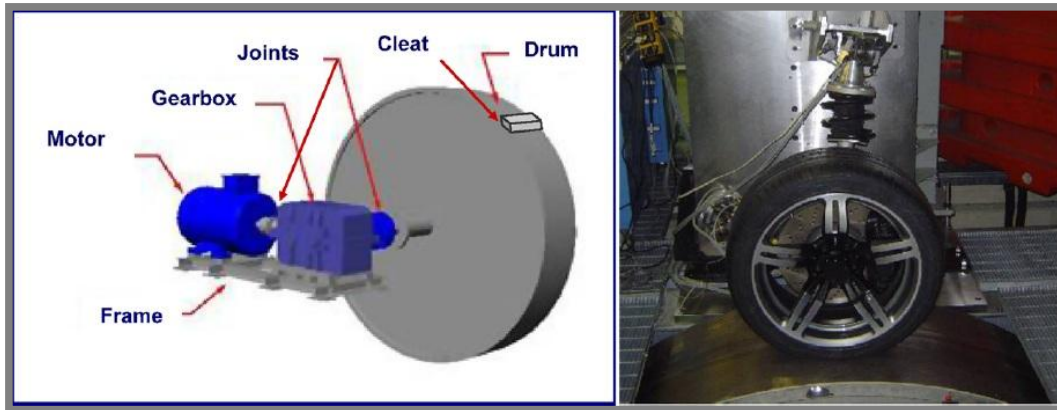
2.2.3



Obr. 12 Pasový simulátor od firmy BIA [6]

1.3 Měření na silničních simulátorech

Jako příklad vyhodnocování dat z měření na simulátorech jsem vybral bubnový silniční simulátor, který se nachází v laboratořích pro bezpečnost v dopravě na univerzitě Politecnico di Milano (obr. 13).

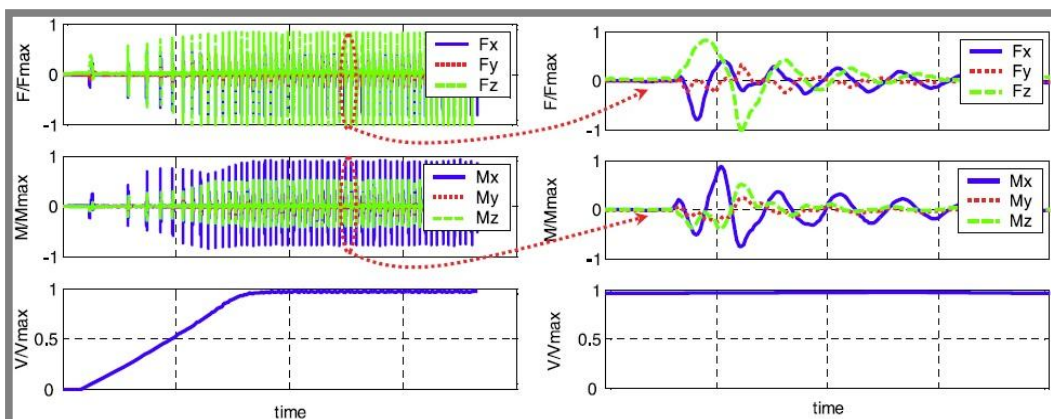


Obr. 13 Bubnový simulátor Politecnico di Milano [13]

Na rotačním bubnu tohoto přístroje je umístěna jedna překážka, díky níž je kolo vychylováno vždy jedenkrát za jednu otáčku bubnu, jak je zobrazeno na obr. 13.

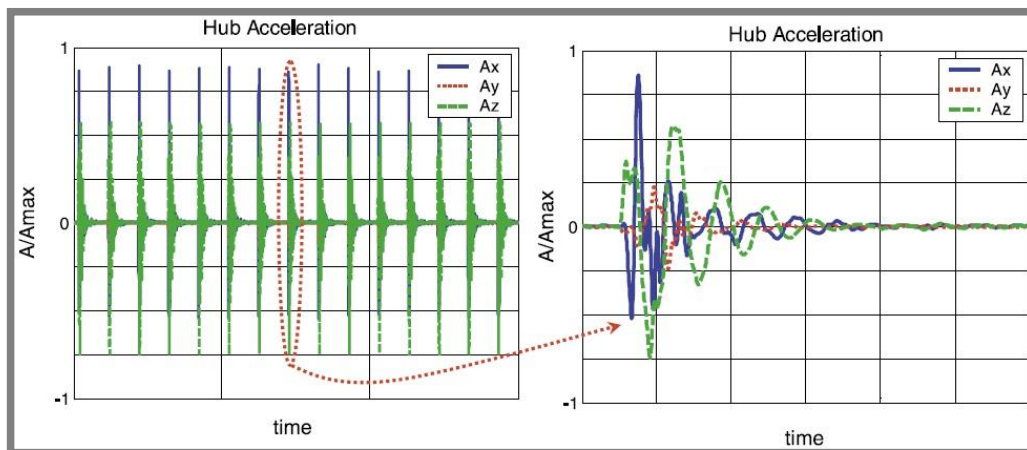
Hlavním účelem tohoto měření je určení sil a momentů působících v zavěšené tlumící jednotce. Získaná data slouží především pro vyhodnocení funkčnosti tlumících zařízení.

Základní analýzy k získávání dat můžeme rozdělit na měření při konstantní rychlosti a měření při proměnné rychlosti. Při každém přejezdu přes překážku dostane kolo tzv. ráz, který ho vychýlí z dané polohy ve vertikálním směru. Díky tomuto pohybu je možné určit výsledné síly a výsledné momenty působící v tlumící jednotce ve třech hlavních osách (x , y , z), jak je uvedeno na obr. 14 (v posledním schématu tohoto obr. je ukázán náběh rychlosti).



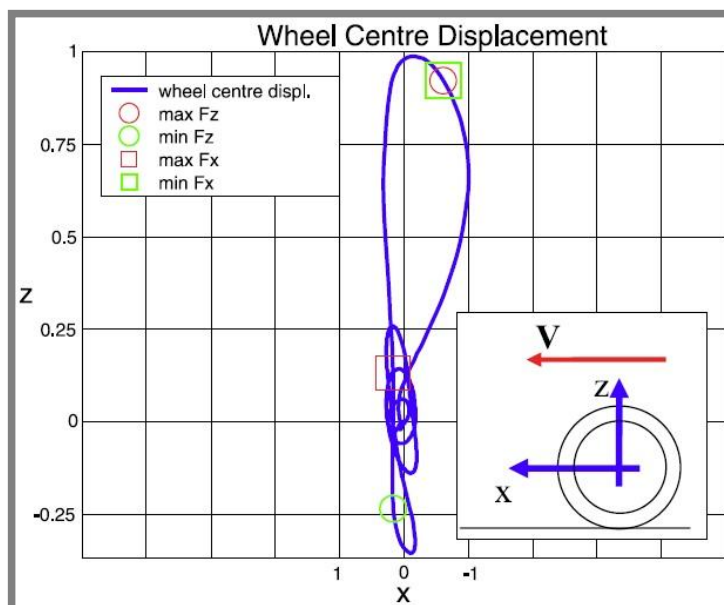
Obr. 14 Síly a momenty působící na kolo [13]

Dále je možné provést měření zrychlení tlumení (zrychlení pohybu středu kola) ve vertikálním směru v závislosti na čase. Příklad tohoto měření, probíhajícího při konstantní rychlosti rotujícího bubnu (30 km/h), je zobrazen na obr. 15.



Obr. 15 Tlumení v závislosti na čase [13]

Dalším způsobem zpracování dat je například vyhodnocení vychýlení kola (středu kola) v podélném a vertikálním směru (obr. 16).



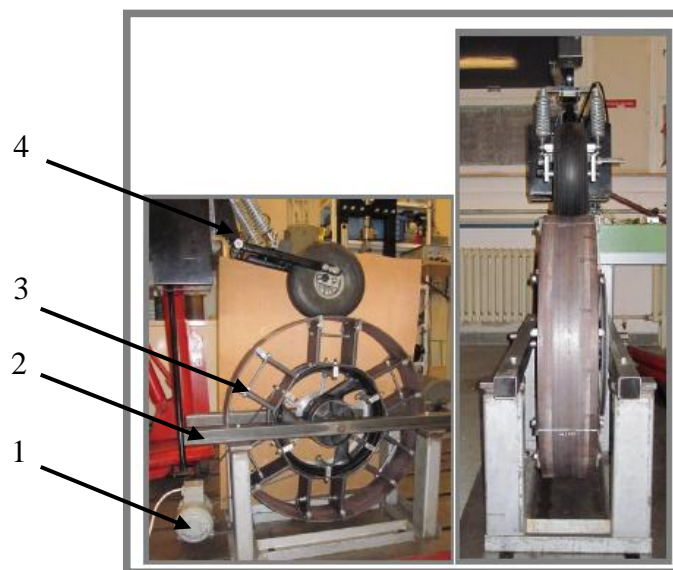
Obr. 16 Výchylka kola

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2.1 Popis a rozbor simulátoru KOLOTEC

Nyní se simulátor nachází ve školních laboratořích ve stavu, v jakém je zobrazen na obr. 17. Tento simulátor, jak je na první pohled viditelné, se skládá z několika částí:

1. Servomotor
2. Nosná konstrukce
3. Rotační buben
4. Náprava



Obr. 17 Simulátor [14]

2.1.1 Servomotor

Tento motor o výkonu 0,55 kW (obr. 18) pohání buben simulátoru řemenovým převodem. Převodový poměr mezi motorem a bubnem je 7,5. Servomotor je připojen do sítě přes frekvenční měnič (obr. 19), díky čemuž lze regulovat jeho otáčky a tím i otáčky bubnu. Avšak maximální otáčky servomotoru jsou 2800/min.



Obr. 18 Servomotor



Obr. 19 Frekvenční měnič

2.1.2 Nosná konstrukce

Tato konstrukce byla navržena tak, aby splňovala požadavek maximální tuhosti a bránila vibracím vznikajícím při rotaci bubnu. K této konstrukci je připevněna nosná hřídel bubnu, která je uložena v pouzdrech nacházejících se na středech bočních profilů.

Potenciometry (obr. 20), které slouží pro vyhodnocování měření, se nacházejí na spodní straně profilů a jsou vyvedeny do společné sběrnice na zadní straně simulátoru (obr. 21).

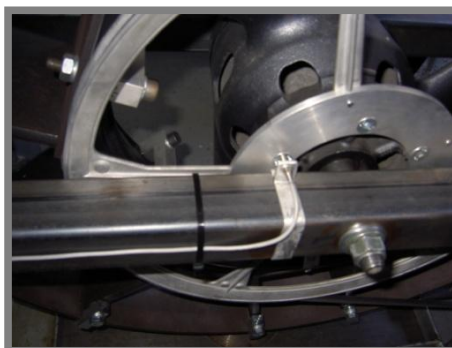


Obr. 20 Potenciometry



Obr. 21 Sběrnice

Pro stanovení okamžité rychlosti otáčení bubnu slouží čidlo (obr. 22) nacházející se na horní straně profilu. Funguje na principu snímání bodů umístěných na boční straně bubnu.



Obr. 22 Čidlo měření rychlosti

2.1.3 Rotační buben

Tento buben (obr. 23) o průměru 0,8 m je vyroben z ocelového pásu o šířce 0,15 m, který slouží pro odvalování testovaného kola. Střed bubnu, k jehož výrobě byl použit disk motocyklu, je spojen s ocelovým pásem šesti páry vzpěr, které mají mezi sebou rozteč vždy 60°.



Obr. 23 Rotační bubna

2.1.4 Náprava

Náprava simuluje zavěšení kola reálného motocyklu (obr. 17). V její přední části je testované kolo zavěšeno k nápravě přes tlumící jednotku, v níž dochází k akumulaci rázů při přejezdu kola přes překážku. Pro regulaci hmotnosti slouží boxy, do kterých lze umístit přídatné závaží a které se nacházejí po bocích nápravy.

Na zadním konci nápravy se nachází čep sloužící pro odklopení testovaného kola od bubny.

2.2 Formulace řešeného problému

Aby bylo možné na simulátoru KOLOTEC měřit charakteristiky tlumení závěsu motocyklu, je nutné opatřit hladký povrch bubny přejezdovým prahem obdobně, jak tomu bylo u simulátoru v odstavci 3.3. Proto jsem navrhl sérii překážek, které způsobí dostatečné vychýlení kola, což vyvolá námi požadovaný tlumící efekt.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

4

1. Konstrukce série přejezdových překážek na simulátor vozovky KOLOTEC. Výšky překážek jsou stanoveny na 30, 20 a 15 mm. Tyto překážky musí splňovat požadavky pro snadnou výrobu a snadné připevnění k simulátoru.
2. Návrh drobné překážky, tzv. multiprahu, který bude v předem zvoleném počtu náhodně rozmístěn po obvodu simulátoru.
3. Vyřešení náhodného rozmístění multiprahů a ověření tohoto rozmístění za pomoci metody rychlé Fourierovy transformace.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Návrh metodického přístupu k řešení jsem rozdělil do těchto jednotlivých částí:

4.1 Metodické řešení série překážek

- Volba tvaru a následné zvolení materiálu a polotovaru
- Vytvoření 3D modelu v programu SolidWorks 2011
- Návrh statického vyvážení prahu
- Provedení pohybové analýzy
- Zhotovení výkresů součástí v programu AutoCAD 2010

4.2 Metodické řešení multiprahu

- Volba tvaru a následné zvolení materiálu a polotovaru
- 3D model v programu SolidWorks 2011
- Návrh náhodného rozmístění v programu MO Excel
- Provedení pohybové analýzy
- Ověření náhodného rozmístění pomocí FFT

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

6

5.1 Návrhy variant řešení

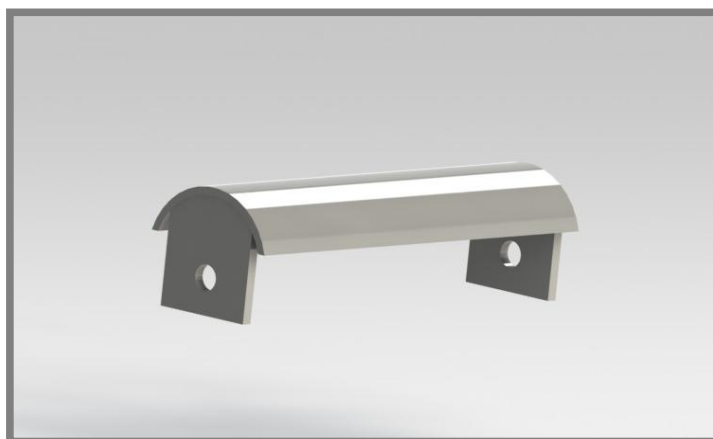
6.1

Pro sérii přejezdových překážek jsem z důvodu snadné vyrobitelnosti zvolil kruhovitý tvar, jenž rovněž zaručí dobré přilehnutí překážky na buben simulátoru.

5.1.1 Návrh série prahů č. 1

6.1.1

Překážku jsem navrhl jako část odříznuté trubky v podélném směru, a to ve třech výškách, které byly pro sérii přejezdů požadovány. Pro uchycení k bubnu simulátoru jsem tento práh opatřil z obou stran plochou ocelí, kde jsem v každé z nich umístil otvor pro závitovou tyč. Závitová tyč měla dva významy. Prvním z nich je sevření plochých ocelí směrem k sobě, aby byl práh připevněn k bubnu. Druhou funkcí bylo zabránění případnému posunutí prahu pomocí opřené závitové tyče o vzpěru bubnu.



Obr. 24 Návrh prahu č. 1

5.1.2 Návrh série prahů č. 2

6.1.2

Při tomto návrhu jsem vycházel z návrhu předcházejícího, avšak s tím rozdílem, že jsem plochou ocel odsadil z obou stran od okrajů prahů směrem dovnitř. Tuto úpravu jsem vytvořil spíše z estetického hlediska, aby došlo ke schování svarů pod okraj trubky prahu. Druhou odlišností od předchozí varianty jsou další otvory, jež jsem přidal po stranách ploché oceli. Otvory jsou především výhodné pro odlehčení prahu a rovněž jako pomocný konstrukční prvek pro výrobu.



Obr. 25 Návrh prahu č. 2

5.1.3 Návrh multiprahu

Jelikož velikost tohoto prahu je oproti ostatním menší, (10x10)mm, a jeho rozmístění bude po obvodu bubnu simulátoru náhodné, nemohl jsem při návrhu jeho konstrukce uvažovat vzpěry bubnu jako opěrný bod proti posunu. Proto jsem zvolil jako polomateriál U-profil, který díky svému tvarování zajistí dostatečné přilehnutí prahu po celé šířce bubnu simulátoru a zabrání tak možnosti posunutí vlivem nárazové síly od kola.



Obr. 26 Návrh multiprahu

5.2 Výběr optimální varianty

V případě **série prahů** jsem se řídil při konstrukčním řešení návrhem č. 2, a to z důvodu jeho výhodnějších vlastností.

Při konstrukčním řešení **multiprahu** jsem vycházel z předem zmíněného návrhu

6 KONSTRUKCE ŘEŠENÍ

7

6.1 Série prahů

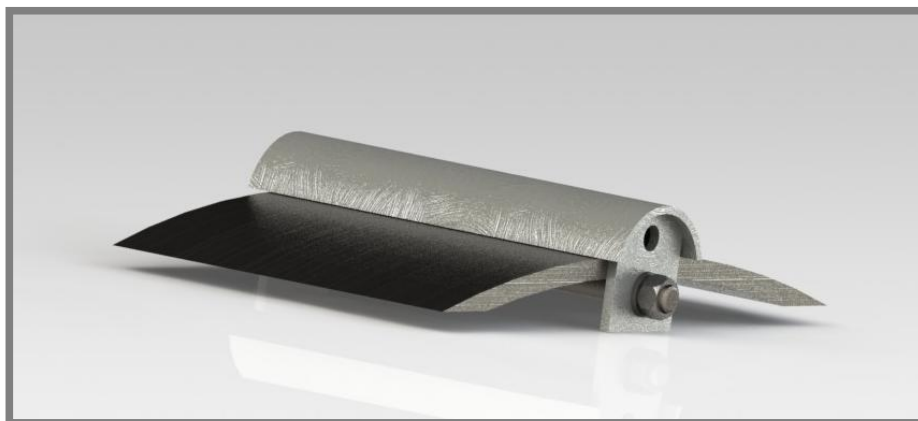
7.1

6.1.1 Konstrukce série prahů

7.1.1

Překážky jsem navrhl z trubky EN10219 (57x3)mm a ploché oceli (40x4)mm EN10058 - S235JRG2 dle EN10025. Tyto rozměry zajistily univerzální polotovary pro všechny velikosti prahu. Veškeré rozměry prahů, které jsou rozlišovány podle výšky na 30, 20 a 15 mm, jsem uvedl na jednotlivých výrobních výkresech.

Pro montážní řešení prahů na simulátor jsem použil závitové tyče M10 a jeden pár matek spolu s podložkami, jak je schematicky zobrazeno na obr. 27.



Obr. 27 Montážní provedení prahu

6.1.2 Statické vyvážení

7.1.2

Statická nevyváženost

Statická nevyváženost je způsobena nepravidelným rozložením hmoty okolo své osy rotace.

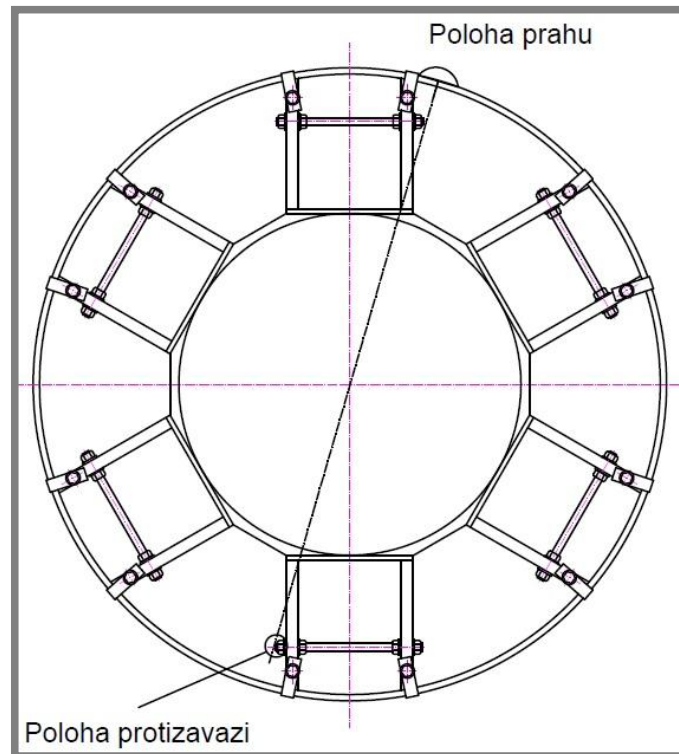
Princip statického vyvážení spočívá ve vyrovnání přídatných silových účinků tak, aby se těžiště tělesa dostalo do osy rotace. Tato metoda se liší od dynamického vyvažování tím, že „zanedbává“ šířku tělesa a používá pouze jednu rovinu vyvažování.

Vlastní vyvážení

Prah umístěný na bubnu vytváří nevyváženost, kterou způsobuje odstředivá síla, závislá na hmotnosti prahu, jeho vzdálenosti od osy rotace (v tomto případě se tato vzdálenost rovná poloměru bubnu) a rychlosti otáčení.

Pro rozložení protizávaží jsem zvolil pozici na závitové tyči spojující páry vzpěr. Jak je viditelné z obr. 28, při proložení osy mezi těžištěm prahu a středem rotace vychází uložení pro protizávaží téměř přesně na vnější konec závitové tyče, kde se nachází i matice. Jelikož buben sám není zcela přesně vyvážen a hmotnost prahu je ve

srovnání s bubnem daleko menší, mohl jsem si dovolit zanedbat drobné nepřesnosti mezi přesnou polohou protizávaží a polohou konce této závitové tyče. Pro montáž protizávaží jsem tedy zvolil způsob uložení mezi vzpěrou a maticí na vnějším konci závitové tyče.



Obr. 28 Statická vyvažování

Výpočet hmotnosti protizávaží

Jelikož obě tělesa leží na jedné ose procházející středem rotace, zvolil jsem k určení hmotnosti protizávaží metodu vycházející z podmínky rovnosti momentů setrvačnosti jednotlivých těles. Tento postup lze uplatnit pro vyjádření protizávaží pro všechny tři velikosti prahů.

Pro moment setrvačnosti prahu platí:

$$I_p = m_p \cdot R^2$$

Z podmínky rovnosti momentů setrvačnosti:

$$I_z = I_p$$

$$m_z \cdot r^2 = I_p$$

$$m_z = \frac{I_p}{r^2}$$

| | | | |
|------|-------|------------------|---------------------------------|
| Kde: | I_p | $[kg \cdot m^2]$ | moment setrvačnosti prahu |
| | m_p | $[kg]$ | hmotnost prahu |
| | R | $[m]$ | poloměr bubnu |
| | I_z | $[kg \cdot m^2]$ | moment setrvačnosti protizávaží |

| | | |
|-------|------|--|
| m_z | [kg] | hmotnost protizávaží |
| r | [m] | vzdálenost pozice protizávaží od středu rotace |

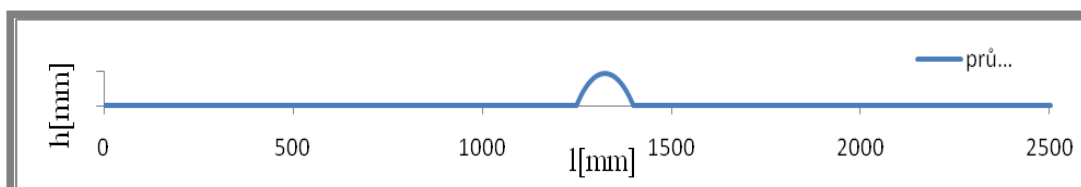
6.1.3 Kinematická analýza kola při přejezdu prahu

7.1.3

Tato analýza je založena na matematickém odhadu pohybu kola během přejezdu přes překážku, na jejichž předpokladech lze upravit podmínky reálných testů na simulátoru.

Při každém střetu kola s překážkou je kolo vždy vychýleno do své maximální polohy (ta je dána výškou překážky) a následně opět vráceno do původní pozice. Jelikož je na rotujícím bubnu v tomto případě umístěna pouze jedna překážka, děje se tato činnost jedenkrát za jednu otáčku bubnu. Tento celý jev je provázen správnou funkcí tlumící jednotky kola, která především ovlivňuje velikost vychýlení a absorpci nárazu při střetu.

V grafu na obr. 29 jsem zobrazil schematické vychýlení kola právě při střetu s jednou překážkou. Zde vodorovná osa symbolizuje rozvinutou délku bubnu simulátoru a svislá osa hodnoty vychýlení.



Obr. 29 Graf vychýlení kola

6.2 Multiprah

7.2

6.2.1 Předpokládaná konstrukce

7.2.1

Předpokládaná výroba těchto multiprahů vychází z nákupu pásů U profilu EN 10162 S235JR dle EN10025, které se následně nařežou a upraví na požadované rozměry podle výkresu a na potřebný počet kusů pro průběh testu.

Upevnění multiprahů k simulátoru jsem navrhl na principu dvou protikusů, které jsou navzájem stáhnuty šrouby M6, a tímto svírají mezi sebou bubnu simulátoru. Toto provedení charakterizuje obr. 30.



Obr. 30 Montážní provedení multiprahu

6.2.2 Simulace vozovky multiprahy

Jelikož povrch reálné vozovky je tvořen nepravidelně rozloženými nerovnostmi, je pro tuto simulaci nutné upravit povrch rotačního bubnu.

Proto je zapotřebí zvolit počet multiprahů, u kterých dojde k náhodnému rozmístění po obvodu bubnu, což je charakteristicky znázorněno na obr 31.



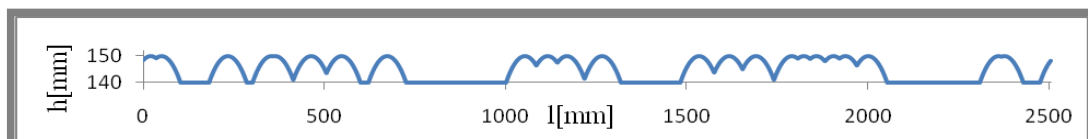
Obr. 31 Náhodné rozmístění multiprahů

Jak lze z tohoto obrázku vyvodit, náhodné rozmístění multiprahů je omezeno obsazenými pozicemi, které vymezují vzpěry od bubnu simulátoru. Proto je tedy u tohoto rozmístění požadavkem, zabránit vzájemnému střetnutí poloh vzpěr a multiprahů.

6.2.3 Kinematická analýza kola při přejezdu multiprahů

Tuto analýzu jsem založil na stejném principu, jak tomu bylo u samotného prahu, pouze s tím rozdílem, že zde není na bubnu umístěna pouze jedna překážka, ale série náhodně rozmístěného počtu multiprahů.

Díky početnějšímu množství multiprahů dochází ke kohezi jednotlivých drah, tvořených vychylováním kola během simulace. V grafu na obr. 32 je znázorněn předpokládaný průběh pohybu kola při menším počtu multiprahů (celkem je zde znázorněno 23 multiprahů).



Obr. 32 Graf vychýlení kola

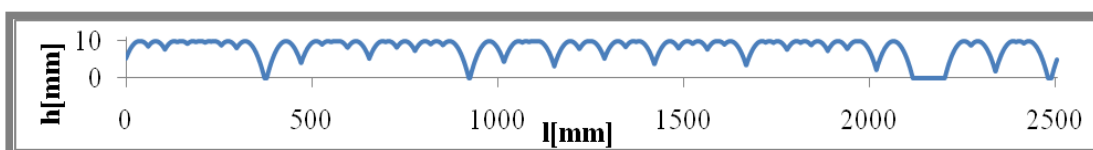
V tomto grafu lze vypořovat, že dochází k častému dosedání kola na buben simulátoru. Tento jev je kvůli velkým nárazovým silám při vyšších rychlostech nevhodný.

Tuto situaci je možné řešit dvěma způsoby:

- 1) Multiprah menších rozměrů – jelikož nelze zakoupit polotovar pro výrobu multiprahů menších rozměrů, byla by tato metoda velice pracná a časově náročná.
- 2) Zvýšení počtu multiprahů – tato metoda je ve srovnání s předchozí efektivnější a budu se jí nadále zabývat.

Vlivem většího počtu překážek dojde k zabránění častého dosedání kola na buben. Tento princip má za následek snížení nárazových sil vlivem zahuštění rotujícího bubnu simulátoru multiprahy.

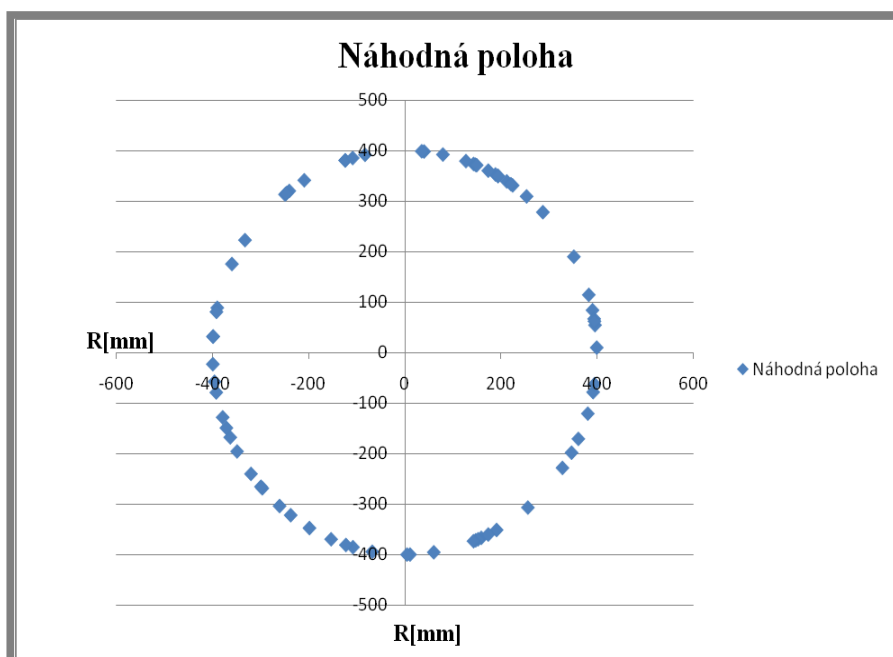
Příklad průběhu vychýlení kola při zvýšení počtu multiprahů na 70 kusů je znázorněn v grafu na obr. 33.



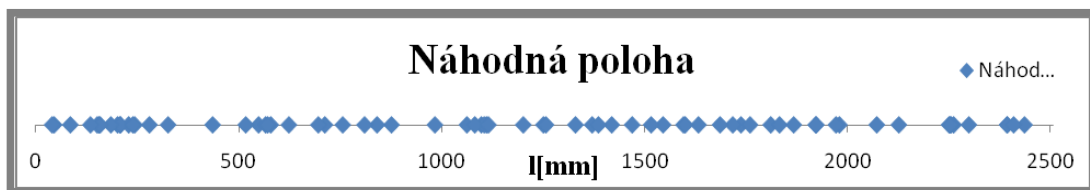
Obr. 33 Graf vychýlení kola

Z grafu je patrné, že při zvýšení hustoty multiprahů opravdu nedochází k tak častému dosedání kola na buben, jak tomu bylo v předchozím příkladě. Tento efekt je tedy pro reálnou simulaci vyhovující a bude ho využíváno při budoucích měřeních.

Příklad reálného rozmístění multiprahů, jež symbolizuje pohybová analýza na obr. 33, jsem uvedl v grafu náhodných poloh na obr. 34, kde je zřetelné rozmístění prahů po obvodu bubnu, a v grafu náhodných poloh na obr. 35, kde vodorovná osa symbolizuje rozvinutou délku bubnu.



Obr. 34 Graf náhodné polohy multiprahů po obvodu



Obr. 35 Graf náhodné polohy mutliprahů v rozvinutém pohledu

Pro hodnoty vychýlení kola během přejezdu přes sérii mutliprahů platí:

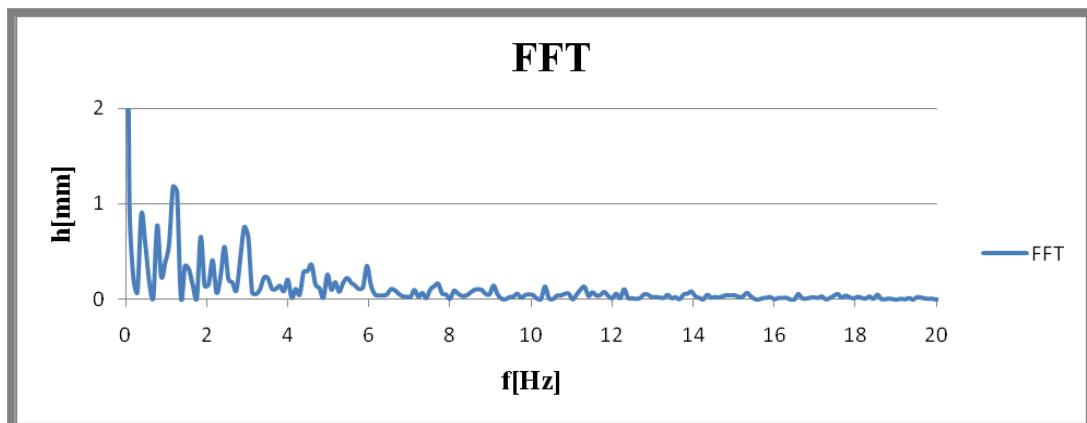
- **střední hodnota** tohoto vychýlení je 8,19 mm
- **směrodatná odchylka** tohoto vychýlení činí 2,62 mm.

6.2.4 Rychlá Fourierova transformace (zkráceně FFT)

Rychlá Fourierova transformace slouží k převodu signálů z časové do frekvenční oblasti. Jedná se o spektrální analýzu.

V tomto případě jsem využil FFT pro ověření, zda se v mnou zadaném poli pozic mutliprahů vyskytuje pravidelnost či nikoliv.

Z průběhu FFT, který je zobrazen na obr. 36, lze potvrdit, že opravdu neexistuje žádná pravidelnost mezi rozloženými mutliprahy po obvodu bubnu simulátoru. Jejich pozice jsou tedy zcela náhodně vygenerovány, jak bylo řečeno v předchozím odstavci.



Obr. 36 Graf FFT

7 ZÁVĚR

V první části této práce, která se týkala přehledu současného stavu poznání, bylo mým cílem uvést co nejužitečnější příklady silničních simulátorů, vyskytujících se v dnešním dopravním průmyslu. Jelikož se na trhu vyskytuje celá řada těchto strojů, rozhodl jsem se tuto rešerši rozdělit na jednotlivé kategorie. Tyto kategorie jsem členil na základě odlišných provedení simulátorů, kde jsem vždy uvedl příklad alespoň jednoho z nich.

V případě série překážek bylo docíleno vyrobení tohoto prahu a následně prokázáno, že mnou navržená konstrukce byla vyhovující. Vyrobený práh výšky 20 mm je uveden na obr. 37 a obr. 38. Pro možnost výroby těchto prahů jsem zakoupil potřebný materiál a při jejich návrhu konstrukce jsem vycházel z rozměrů produktů, které jsem měl k dispozici.

U návrhu multiprahu jsem opět vycházel z nabídky zboží poskytovaného výše zmíněnou firmou. Pro jeho konstrukci jsem proto vybral nejmenší možný rozměr U-profilu, který jsem měl k dispozici.



Obr. 38 Práh výšky 20 mm



Obr. 37 Práh výšky 20 mm

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SVOBODA, P; KOVÁŘÍK, R; BRANDEJS, J. *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 186 s. ISBN: 80-7204-212-2
- [2] *Intellectualequipments* [online]. 2005 [cit. 2011-02-22]. Auto Component Test Equipments. Dostupné z WWW: <<http://www.intellectualequipments.com/catalog.htm>>.
- [3] *20.vv* [online]. 2010 [cit. 2011-02-22]. EMFO. Dostupné z WWW: <http://www20.vv.se/fud-resultat/Publikationer_000801_000900/Publikation_000871/WEAREM%20Final%20Report%20June%202010.pdf>.
- [4] *Tradekey* [online]. 2011 [cit. 2011-02-25]. Business to Business (b2b) Marketplace. Dostupné z WWW: <http://www.tradekey.com/product_view/id/47718.htm>.
- [5] *Alibaba* [online]. 1999 [cit. 2011-03-01]. Manufacturers, Suppliers, Exporters & Importers. Dostupné z WWW: <http://www.alibaba.com/product-free/260819273/Testing_Machine.html>.
- [6] *Schobertestsystems* [online]. 2000 [cit. 2011-03-01]. Schober Test Systems. Dostupné z WWW: <<http://www.schobertestsystems.com/pdf/BIA.pdf>>.
- [7] *Sem* [online]. 2002 [cit. 2011-03-01]. Society for Experimental Mechanics (SEM). Dostupné z WWW: <<http://sem-proceedings.com/02s/sem.org-2002-SEM-Ann-Conf-SEM059-Identification-Motorcycle-Tire-Properties-by-Means-Testing-Machine..pdf>>.
- [8] *Atzonline* [online]. 2010 [cit. 2011-03-02]. ATZonline: More Technology. Greater Knowledge. The Most of Automobile . Dostupné z WWW: <<http://www.atzonline.com/index.php;do=show/site=a4e/sid=5978664264dcc40e7dea70145163045/alloc=3/id=8028>>.
- [9] *Labtech* [online]. 2006 [cit. 2011-03-03]. Labtech. Dostupné z WWW: <<http://www.labtech.org/site2/product/automotive/bs/bs1b.php>>.
- [10] *Pro-lite* [online]. 2011 [cit. 2011-03-12]. Pro-Lite. Dostupné z WWW: <http://www.pro-lite.net/index.php?option=com_content&task=view&id=69&Itemid=58>.
- [11] *Carbibles* [online]. 1994 [cit. 2011-03-12]. The Car Maintenance Bibles. Dostupné z WWW: <http://www.carbibles.com/suspension_bible_bikes.html>.
- [12] *Omegavalve* [online]. 2005 [cit. 2011-03-06]. Omega Valve: Servo Valve and Actuator Control System. Dostupné z WWW: <http://www.omegavalve.com/digital_test.html>.

- [13] *Springerlink* [online]. 2008 [cit. 2011-03-10]. SpringerLink. Dostupné z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/2081m1417271vg03/>>.
- [14] STODOLÁK, Michal. *REKONSTRUKCE SIMULÁTORU VOZOVKY*. Brno, 2010. 38 s. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Zavěšení kol [11] | 14 |
| Obr. 2 Analýza tlumiče [12] | 14 |
| Obr. 3 Simulátor z roku 1948 [13] | 15 |
| Obr. 4 Stroj od firmy IE [2] | 16 |
| Obr. 5 Stroj od firmy ATZ [8] | 16 |
| Obr. 6 Stroj od firmy PRO LITE [10] | 17 |
| Obr. 7 Drobná konstrukce [5] | 17 |
| Obr. 8 Rozsáhlá konstrukce [4] | 17 |
| Obr. 9 Stroj s buzenými kmity od firmy LABTECH [9] | 18 |
| Obr. 10 Stroj s rotující základní deskou [7] | 18 |
| Obr. 11 Stroj s obíhajícími koly [3] | 19 |
| Obr. 12 Pasový simulátor od firmy BIA [6] | 19 |
| Obr. 13 Bubnový simulátor Politecnico di Milano [13] | 20 |
| Obr. 14 Síly a momenty působící na kolo [13] | 20 |
| Obr. 15 Tlumení v závislosti na čase [13] | 21 |
| Obr. 16 Výchylka kola | 21 |
| Obr. 17 Simulátor | 22 |
| Obr. 18 Servomotor | 22 |
| Obr. 19 Frekvenční měnič | 22 |
| Obr. 20 Potenciometry | 23 |
| Obr. 21 Sběrnice | 23 |
| Obr. 22 Čidlo měření rychlosti | 23 |
| Obr. 23 Rotační buben | 24 |
| Obr. 24 Návrh prahu č. 1 | 27 |
| Obr. 25 Návrh prahu č. 2 | 28 |
| Obr. 26 Návrh multiprahu | 28 |
| Obr. 27 Montážní provedení prahu | 29 |
| Obr. 28 Statická vyvažování | 30 |
| Obr. 29 Graf vychýlení kola | 31 |
| Obr. 30 Montážní provedení multiprahu | 31 |
| Obr. 31 Náhodné rozmístění multiprahů | 32 |
| Obr. 32 Graf vychýlení kola | 32 |
| Obr. 33 Graf vychýlení kola | 33 |
| Obr. 34 Graf náhodné polohy multiprahů po obvodu | 33 |
| Obr. 35 Graf náhodné polohy mutliprahů v rozvinutém pohledu | 34 |
| Obr. 36 Graf FFT | 34 |
| Obr. 37 Práh výšky 20 mm | 35 |
| Obr. 38 Práh výšky 20 mm | 35 |

10 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**11**

| | | |
|-------|----------------------|--|
| I_p | [kg.m ²] | - moment setrvačnosti prahu |
| m_p | [kg] | - hmotnosť prahu |
| R | [m] | - polomer bubnu |
| r | [m] | - vzdálenosť pozície protizávaží od stredú rotácie |
| I_z | [kg.m ²] | - moment setrvačnosti protizávaží |
| m_z | [kg] | - hmotnosť protizávaží |

11 SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH

| | |
|-----------------------------|--------|
| Číslo dokumentu: 4-A3-31/00 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-31/01 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-31/02 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-32/00 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-32/01 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-32/02 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-33/00 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-33/01 | výkres |
| Číslo dokumentu: 4-A3-33/02 | výkres |
| | |
| Přiložené CD obsahuje: | |
| - Bakalářská práce | PDF |
| - Výkresová dokumentace | výkres |