

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING INSTITUTE OF  
MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## REKONSTRUKCE SIMULÁTORU VOZOVKY RECONSTRUCTION OF ROAD SIMULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL STODOLÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC.ING. IVAN MAZŮREK, CSC.

BRNO 2010







## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí bubnového silničního simulátoru, který se nachází v laboratořích Ústavu konstruování. První část je věnována základnímu dělení silničních simulátorů. Druhá část obsahuje popis a rozbor stávajícího zařízení. Ve třetí části je návrh několika variant bubnového silničního simulátoru. V další části je řešen rozbor vybrané varianty a její konstrukce. Poslední část práce se věnuje odlehčování zatíženého kola v období, kdy neprobíhá zkouška.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bubnový silniční simulátor, tester, tlumič, podvozek motocyklu.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is dealing with reconstruction of drum road simulator, which is placed in laboratory of The Institute of Machine and Industrial Design. The first part is attended to basic dividing of road simulator. The second part contains description and analysis of the current machine. In the next part is an analysis of chosen variation and their construction. The last part of thesis is attended to the lightening of the load wheel in period, when the test doesn't run.

## **KEY WORDS**

Drum road simulator, tester, damper, chassis motorcycle.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

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.

---



## PODĚKOVÁNÍ

---

Rád bych poděkoval všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na vzniku této bakalářské práce. Zvláště bych chtěl poděkovat doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi, CSc. za jeho odborné připomínky a pomoc při řešení technických problémů. Také bych rád poděkoval své přítelkyni a rodině za jejich trpělivost a porozumění ve dnech strávených psaním této bakalářské práce.

---





## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

---

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *rekonstrukce simulátoru vozovky* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ivana Mazůrka, CSc. A uvedl jsem v seznamu literatury všechnu použitou literaturu a odborné zdroje.

V Brně 27. Května 2010

.....  
Stodolák Michal

---



**OBSAH**

<b>ABSTRAKT</b> .....	<b>5</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>KEY WORDS</b> .....	<b>5</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE</b> .....	<b>5</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b> .....	<b>7</b>
<b>ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ</b> .....	<b>9</b>
<b>OBSAH</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b> .....	<b>14</b>
2.1 Silniční simulátory s otočnou osou rotace (testovaná součást rotuje) .....	14
2.1.1 Simulační stroje pro testování nerovnoměrností v pneumatice a vyvažovací stroje .....	14
2.1.2 Tester životnosti pneumatik .....	15
2.1.3 Dyna Drive Jízdní simulátor pro pohon plochým řemenem.....	15
2.1.4 Čtyřkolí silniční simulátor .....	16
2.2 Silniční simulátory bez otočné osy rotace .....	16
2.2.1 Vibrační tester.....	16
2.2.2 Testery pro diagnostiku chování tlumičů .....	17
<b>3 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA</b> .....	<b>18</b>
3.1 Silničním simulátoru pro diagnostiku podvozku motocyklu .....	18
3.1.1 Diagnostika tlumících jednotek .....	18
3.2 Rozdělení silničních simulátorů pro diagnostiku podvozku motocyklu.....	18
3.2.1 Demontážní diagnostika .....	19
3.2.2 Bezdemontážní diagnostika .....	19
3.3 Forma řešeného problému .....	20
3.4 Technická a vývojová analýza-popis současného stavu .....	20
3.4.1 Současný stav .....	20
3.4.2 Provozní podmínky .....	21
<b>4 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE</b> .....	<b>22</b>
<b>5 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ</b> .....	<b>23</b>
<b>6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY</b> .....	<b>24</b>
6.1 Návrh variant řešení.....	24
6.1.1 Varianta 1. ....	24
6.1.2 Varianta 2. ....	25
<b>7 NÁVRH KONSTRUKCE VARIANTY 2.</b> .....	<b>26</b>
7.1 Model konstrukce horního rámu .....	26
7.2 Uchycení horního rámu .....	26
7.3 Celková konstrukce rámu .....	27
7.3.1 Jednotlivé kryty kapotáže .....	27
7.4 Použité přejezdové prahy .....	28
<b>8 VÝPOČET POVRCHOVÝCH NAPĚTÍ NA NOSNÍKU</b> .....	<b>29</b>
8.1 Výpočet zátěžné síly nosníků $F_1$ .....	29
8.1.1 Výpočet statické přítláčné síly na kole .....	29

---

8.1.2	Výpočet váhové síly bubnu $F_b$ .....	29
8.1.3	Výpočet zátěžné síly nosníků $F_1$ .....	29
8.2	Výpočet zátěžné síly nosníků $F_2$ .....	29
8.3	Výpočet napětí od zátěžné síly $F_1$ : .....	30
8.4	Výpočet napětí od zátěžné síly $F_2$ : .....	31
<b>9</b>	<b>VYŘEŠENÍ ODLEHČOVÁNÍ ZATÍŽENÉHO KOLA</b> .....	<b>33</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>35</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>36</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ</b> .....	<b>37</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH</b> .....	<b>38</b>
14.1	Seznam výkresů .....	38

## 1 ÚVOD

Dříve lidé své nové produkty jako jsou kola, tlumiče, podvozky atd., testovaly přímo v terénu na zkušebních vozidlech, což bylo zdlouhavé a často vedlo k haváriím, které zbytečně ohrožovaly lidské životy. Nyní, kdy se automobilový, motocyklový a také letecký průmysl stal jednou z nejrychleji rozvíjejících se odvětví ve světě, bylo nutné, aby každé malé i velké firmy měly své produkty testovány na různých typech simulátorů. Testy jsou nutné provádět z důvodu kvality, bezpečnosti, životnosti používaných prvků a také ušetření času při out-door testování.

Velké množství klientely vyžaduje od automobilů a motocyklů stále vyšší výkony, kvalitnější jízdní vlastnosti a ty se podílí na prožitku z jízdy. Právě prožitek z jízdy má jeden z největších vlivů při výběru automobilu nebo motocyklu. Díky simulátorům dosáhneme nejlepších kvalit od vozidla.

Silniční simulátory a testery také umožňují vyvíjet nové a zlepšovat stávající produkty. Z tohoto důvodu je nutné stále vyvíjet, konstruovat a zdokonalovat různé typy simulátorů a testerů, u kterých je snahou napodobit a co nejreálněji nasimulovat situace z běžného provozu a tím předejít zbytečným a nám tak nepříjemným nehodám.

Různých typů simulátorů je spousta, ale tahle práce se zabývá rekonstrukcí bubnového silničního simulátoru vozovky, který je umístěn na Ústavu konstruování. Simulátor je zaměřen na opotřebení tlumící jednotky ta má dopad na bezpečnost provozu a proto je zapotřebí ji kontrolovat. Jeho rekonstrukcí bude umožněna bezpečná manipulace se simulátorem a jeho proměňování.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Ve světě existuje spousta druhů simulátorů a typů testerů, které umožňují nasimulovat chování jednotlivých součástí nebo celků v laboratorních podmínkách. Dají se rozdělit podle různých faktorů.

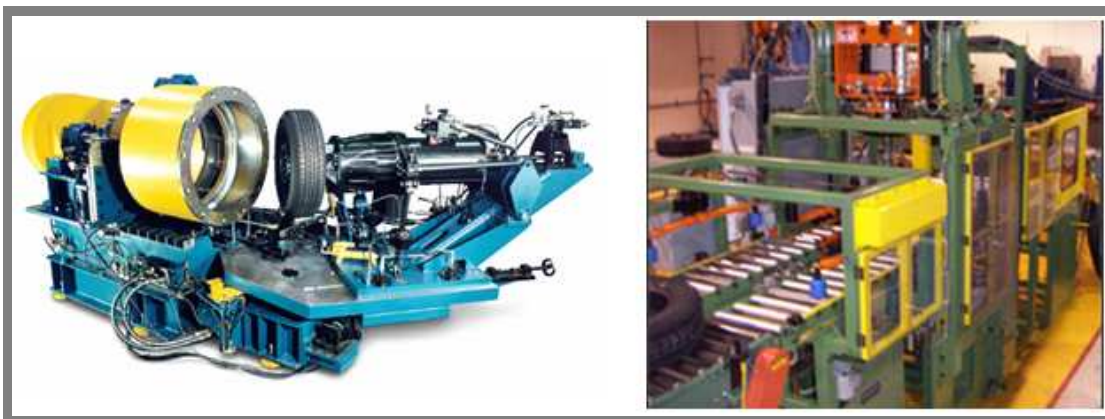
Na simulátory s otočnou osou rotace zde by se dali zmínit vyvažovací stroje na nerovnoměrnosti pneumatiky, házení pneumatik, házení disků atd. Dále pak na simulátory s bez otočné osy rotace, jako jsou testery pro diagnostiku tlumičů, podvozku automobilu a jiné druhy. Dle daných faktorů si simulátory rozebereme a jednotlivé typy popíšeme.

### 2.1 Silniční simulátory s otočnou osou rotace (testovaná součást rotuje)

#### 2.1.1 Simulační stroje pro testování nerovnoměrností v pneumatice a vyvažovací stroje

Jelikož pneumatiky jsou vyráběny pomocí laminárního kaučuku, chemických vláken, ocelových lan a jiných materiálů, které mají za následek nerovnoměrné rozložení hmot v pneumatikách [7]. Při pohybu vozidla se vytvářejí vibrace, které jsou přenášeny na auto. Proto se na strojích pro testování nerovnoměrností v pneumatice testují pneumatiky, které jsou upevněny na pevnou rotující hřídel, která se přitlačí na rotující bubnu. U strojů lze provádět měření na radiální síly, boční síly a nerovnováhu v pneumatice. Měření se obvykle provádí při nízkých rychlostech, asi 8 km/h, takže je obtížné přesně určit nevyváženost ve vysokých rychlostech. Díky tomu se vyvíjí stroje, které musí být schopné vyvinout rychlosti kolem 120 km/h, ale zde je problém s vlivem vibrací způsobených od rotujícího bubnu.

*Dynamické stroje na vyvažování pneumatik pro osobní a malé nákladní automobily*



Obr. 1 Dynamická vyvažování pneumatik [8]

Obr. 2 Dynamická vyvažování pneumatik [6]

*Vysoko rychlostní stroje na testování nerovnoměrností pneumatik*

Simulátory pracující při běžných rychlostech automobilů na silnici. Výkonnější stroje jsou schopny vyvinout rychlosti bubnu kolem 200km/h v laboratorním

prostředí [7]. Stroje využívají horizontální polohy bubnu, díky které je zajištěna dobrá tuhost stroje, ta vymezí vlivy vibrací.



Obr. 3 Vysoko rychlostní tester [7]

Obr. 4 Vysoko rychlostní tester [6]

### 2.1.2 Tester životnosti pneumatik

2.1.2

---

V první řadě se musí podotknout, že testy životnosti pneumatik hrají velkou roli na životní prostředí, které je v dnešní době na prvním místě při výrobě nových typů pneumatik. Pneumatiky by měly mít co nejdelší životnost, proto se provádí dlouhodobé testování samostatných pneumatik nebo pneumatik s kolem na bubnových simulátorech. Pomocí příslušného softwaru se naprogramují co nejpřesnější provozní hodnoty. To zajistí dosažení co nejrealističtějších testovacích podmínek, které se budou podobat běžné jízdě vozidla.



Obr. 5 Tester životnosti pneumatik [6]

### 2.1.3 Dyna Drive Jízdní simulátor pro pohon plochým řemenem

2.1.3

---

Jedná se o multi-úhlové, multi-zatěžovací a multi-rychlostní tester, který umožňuje uživatelům rychlé změny montáží kol a pneumatiky na různé systémy zavěšení. Používá se pro testování systémů pérování, náboje kol, brzdových systémů a pneumatik [6].



Obr. 6 Dyna Drive silniční simulátor [6]

---

#### 2.1.4 Čtyřkolí silniční simulátor

Jak už plyne z názvu, jedná se o simulátor testující chování celého vozidla. Testy se zde provádí přímo testované vozidlo, kdy se k osám vozidla připevní servomotory, díky nimž bude umožněno nasimulovat reálný pohyb vozidla. Příslušný software naprogramuje různé druhy povrchů vozovky při různých rychlostech.



Obr. 7 Čtyřkolí silniční simulátor [8]

---

### 2.2 Silniční simulátory bez otočné osy rotace

Především se jedná o simulátory, jež mají za úkol nasimulovat chování motorového vozidla jako celku a to nejčastěji na vibrace podvozku automobilu, dále možnost nasimulovat různé povrchy vozovky při různých rychlostech nebo jednotlivých součástí jako jsou tlumiče atd.

---

#### 2.2.1 Vibrační tester

Vibrační testery slouží pro přenos vibrací na celek, tím se dá ověřit chování vozidla při jízdě v nerovném terénu. Vibrace vyvolávají speciální servomotory umístěné po koly testovaného vozidla. U servomotorů se nastaví odlišné frekvence kmitání, které jsou přenášeny na jednotlivá kola vozidla. Nejčastěji je testováno chování tlumičů a chování celého podvozku vozidla.





Obr. 8 Vibrační tester [6]

### 2.2.2 Testery pro diagnostiku chování tlumičů

2.2.2

---

Tyto testery jsou hojně používány po celém světě a to z důvodů velice přesného napodobení chování tlumiče v běžné situaci. Používají se k určení tlumících vlastností tlumiče během reálných životních podmínek a tím vyhodnotit zda konstrukce tlumiče splňuje dané specifikace. Diagnostické stroje na testování rázů tlumičů jsou schopny napodobit různý terén, ale problém je dlouhý čas a s tím rostou ceny jednotlivých testů.



Obr. 9 Tester tlumičů [9]

### 3 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

#### 3.1 Silničním simulátoru pro diagnostiku podvozku motocyklu

V současné době lidé kladou velké nároky na požitek z jízdy a tím pádem i na bezpečnost, proto je důležité posuzovat chování podvozku motocyklu. Podvozek má nesmírný vliv na chování celého motocyklu, jeho tlumicí jednotky, brzdný systém a pneumatiky to vše udává kvalitu jízdy. Všechny ty to aspekty je proto nutné kontrolovat.[4] My se budeme zabývat diagnostikou tlumících jednotek, ale nejprve si uvedeme základní typy testování. Hlavní prioritou pro nás bude směřování do testů v in-door prostředí.

##### 3.1.1 Diagnostika tlumících jednotek

Je velký rozdíl v diagnostickém řešení tlumících jednotek pro automobily a pro motocykly. Motocykly mají ten rozdíl, že tlumicí jednotky nejsou uloženy svisle jako je u automobilů, ale jsou pod určitým pracovním úhlem. Simulátory pro testování tlumících jednotek u motocyklů jsou složitější. Je proto známo, že tento okruh testování není ve světě doposud důkladně prozkoumán a je stále na bodech poznání a vyvíjení nových simulátorů.[4]



Obr. 10 Umístění tlumičů u motocyklu [4]



Obr. 11 Umístění tlumičů u automobilu

#### 3.2 Rozdělení silničních simulátorů pro diagnostiku podvozku motocyklu

Diagnostiku silničních simulátorů lze rozdělit do dvou základních a to na diagnostiku demontážní a bezdemontážní. Jednotlivé typy jsou rozebrány a uvedeny výhody a nevýhody.

### 3.2.1 Demontážní diagnostika

Jak už z nadpisu kapitoly vyplývá, jedná se o demontážní diagnostiku. Tlumicí jednotka je demontována a je poté testována na speciálních strojích tomuto účelu určených. Při testování se určuje závislost tlumicí síly na rychlosti pístu a poloze pístu. Test se provádí rozkmitáním tlumiče kinematickým buzením a měří se vyvozená síla od tlumiče. Výhodou měření je, že získané informace jsou velmi přesné na úkor časové náročnosti. Důsledkem toho roste cena jednotlivých testů.[4]



Obr. 12 Tester tlumičů pro demontážní diagnostiku [9]

### 3.2.2 Bezdemontážní diagnostika

Jak už vypovídá název kapitoly, jedná se o metodu měření přímo na kontrolovaném motocyklu bez demontáže jednotlivých prvků. Je spousta firem zabývajících se bezdemontážní diagnostikou jednou je i firma RaceTech [5]. Provádí měření pomocí tahových potenciometrů, které jsou umístěny na přední a zadní vidlici. Měření se provádí za jízdy v terénu a data jsou posléze vyhodnocena příslušným softwarem. (viz obr. 13). [4]



Obr. 13 Umístění tahových potenciometrů [5]

### 3.3 Forma řešeného problému

Cílem bakalářské práce je navrhnout nezbytné úpravy a karosování stávajícího bubnového simulátoru vozovky. Systém je nutné doplnit tenzometrickým měření přitlačné síly a vyřešit odlehčování zatíženého kola v období, kdy neprobíhá zkouška.

### 3.4 Technická a vývojová analýza-popis současného stavu

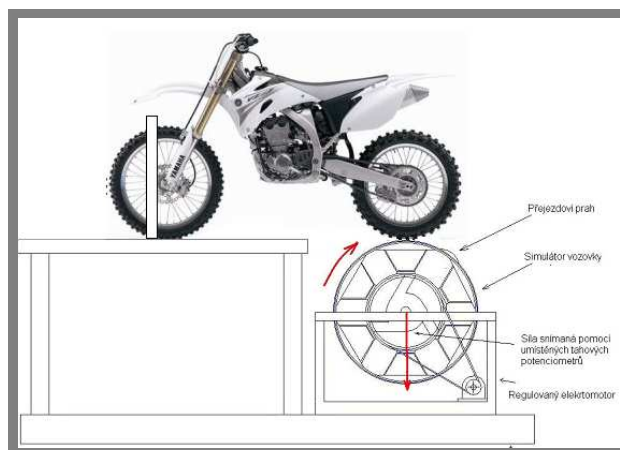
#### 3.4.1 Současný stav

V současné době je bubnový simulátor vozovky v podobě, kterou lze vidět na (viz obr. 14). Buben je upevněn v pouzdrech, která jsou vyřešena podobně jako u motocyklů a to tak, že nosná hřídel je vedena pouzdrem přivařeným do středu profilu. Je to provedeno z toho důvodu, aby nedocházelo k deformaci profilu při dotažení nosné hřídele. Hlavním problémem bylo vyřešení konstrukce bubnu, ten byl vyroben z disku motocyklu, na který poté byly připevněny ocelové distanční komory rozmístěné na obvodu disku motocyklu po  $60^\circ$ . Poté na ně byl připevněn ocelový pás plechu ve tvaru kruhu, který je pro nás nyní povrchem simulované vozovky.



Obr. 14 Současný stav simulátoru

Časem bychom se chtěli ubírat směrem, že místo upevněného testovaného závěsného kola (viz obr. 14), bude upevněna celá konstrukce motocyklu. U kterého by se dalo pozorovat více aspektů (viz obr. 15).



Obr. 15 Vize do budoucna [4]

3.4.2

**3.4.2 Provozní podmínky**

- Bubnový simulátor vozovky je poháněn pomocí servomotoru o výkonu 0,55 kW,
- maximální otáčky 2800/min,
- převodový poměr  $i = 7,5$ ,
- průměr bubnu  $D = 0,8$  m,
- hmotnost bubnu 73,5 kg,
- simulátor disponuje se stávajícím servomotorem rychlostí vozovky 30 km/hod,
- povrch bubnu - zatepla válcovaný profil.

## **4 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE**

Úkolem je navrhnout karosování stávajícího bubnového simulátoru vozovky, které bude nutné provést tak, aby splňovalo funkci bezpečnostní a technologicky co nejjednodušší konstrukce, kterou by bylo možné z větší části vyrobit v dílnách FSI. Systém je nutné doplnit o tenzometry pro měření přítláčné síly a vyřešit odlehčování zatíženého kola v období, kdy neprobíhá zkouška. Posledním faktorem je cena ta by měla být co nejnižší.

## 5 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

5

---

Metodický přístup dělíme na tyto etapy:

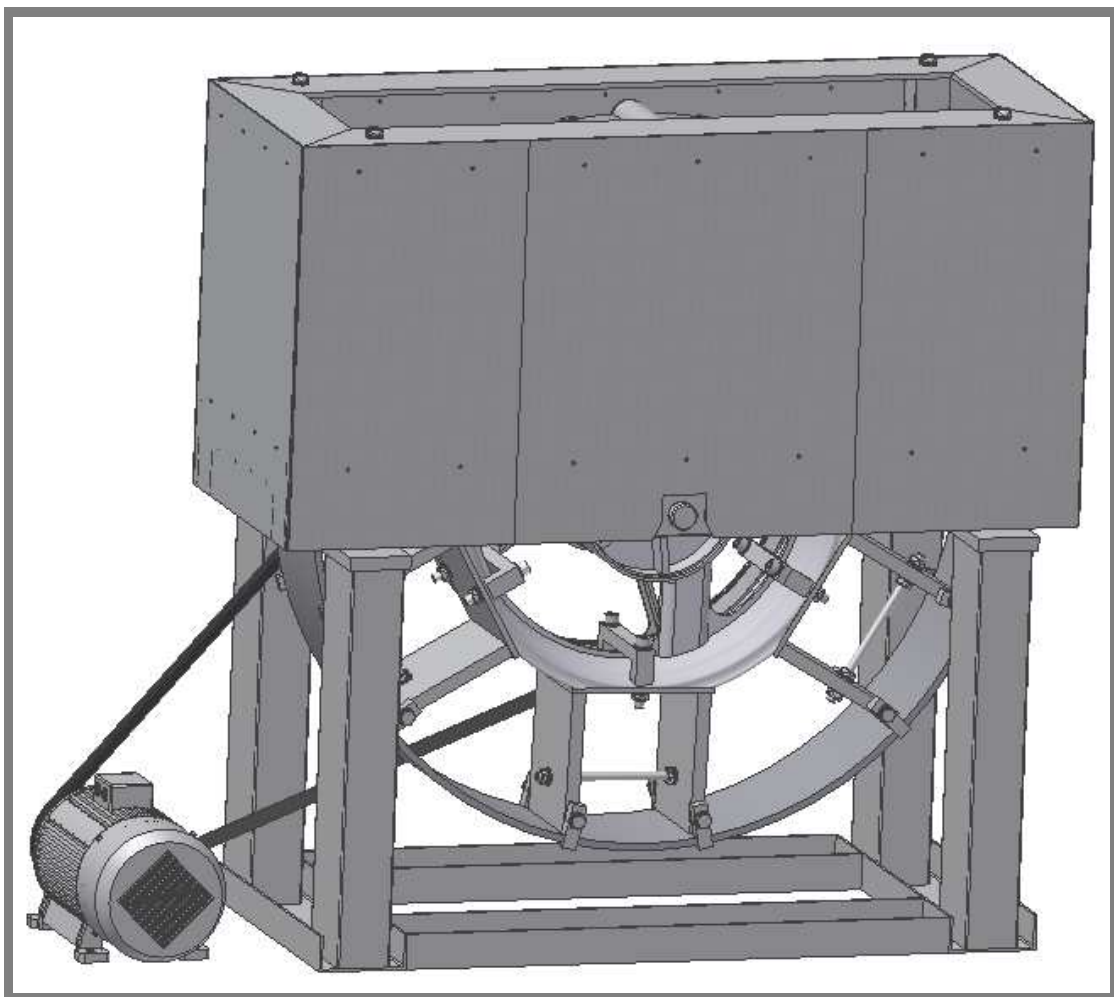
- Variantní návrh karosování simulátoru vozovky v programu Autodesk Inventor Professional 2008,
- tvarové a pevnostní dimenzování vybraných variant,
- vyřešit odlehčování zatíženého kola,
- vytvoření technické zprávy a výkresové dokumentace.

## 6 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

### 6.1 Návrh variant řešení

#### 6.1.1 Varianta 1.

Varianta 1. byla řešena způsobem, že celá kapotáž byla provedena na horním nastavbové polovině. Bylo potřeba upravit délky nosných profilů z důvodů ušetření prostoru na kapotování. Kapotování je provedeno z více kusů plechů pro snadnou údržbu bubnu a rychlou demontáž jednotlivých kusů. Největší nevýhodou varianty je malá pracovní plocha na horní části bubnového silničního simulátoru.

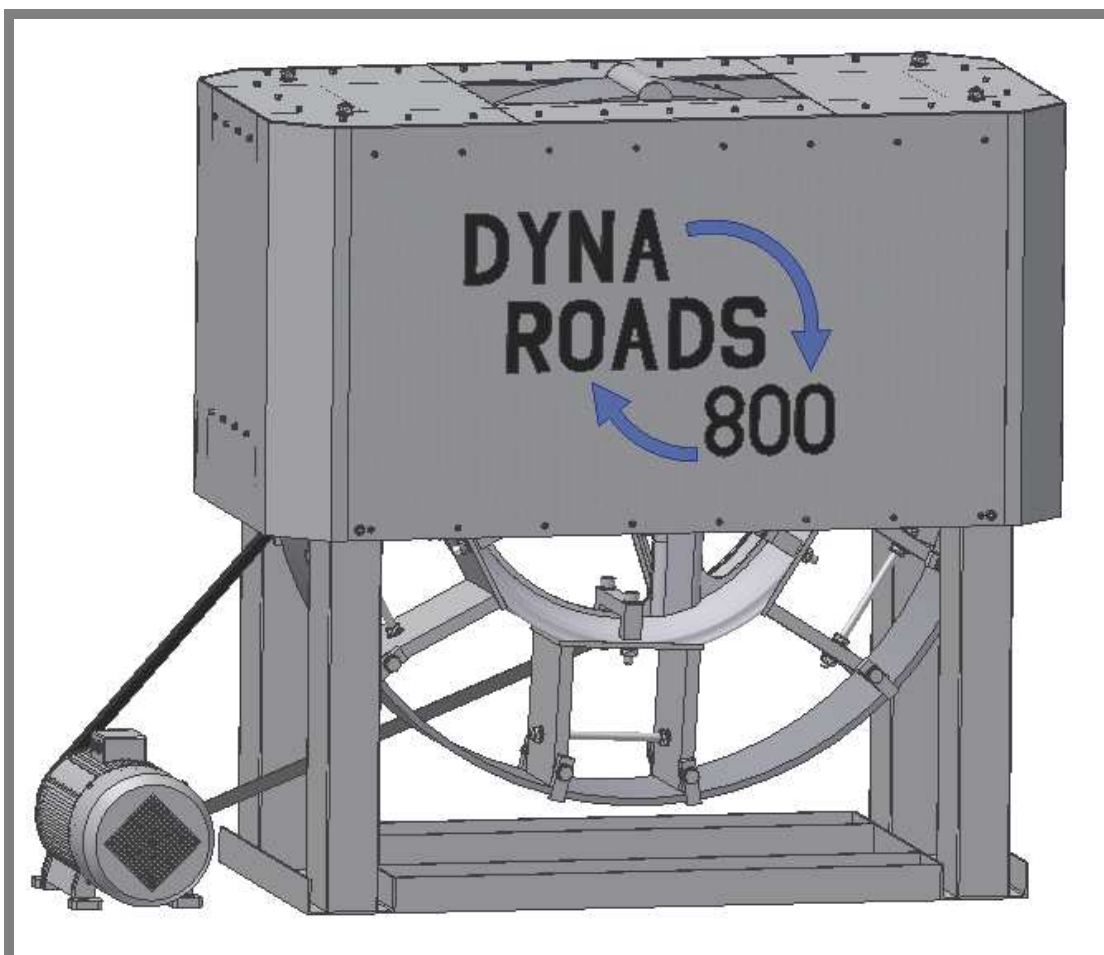


Obr. 16 varianta1. [6]



**6.1.2 Varianta 2.**

Druhá varianta je obdobná první jen kapotování je provedeno i přes spodní část původní konstrukce. Plechy jsou celistvé a jsou vyhnuté pod úhly 135°, z důvodu lepšího designu. Největší výhodou je u varianty 2, velká pracovní plocha na povrchu kapotovaného bubnového simulátoru. Horní plocha bude také sloužit jako opěrná plocha při odlehčování zatíženého kola, v období kdy neprobíhá zkouška. Jako konstrukční řešení proto volí tuto variantu.



Obr. 17 varianta 2. [6]

## 7 NÁVRH KONSTRUKCE VARIANTY 2.

Pro vytvoření 3D modelu bylo využito parametrického modeláře Autodesk Inventor Professional 2008 od společnosti Autodesk. Jedná se o 3D software primárně určený pro návrh strojírenských konstrukcí.

### 7.1 Model konstrukce horního rámu

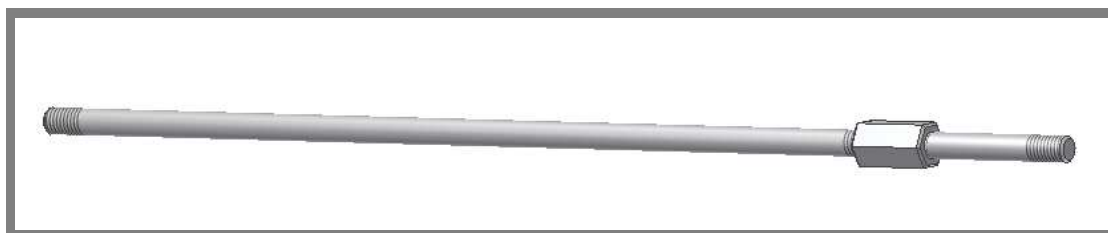
Horní rám slouží k přichycení bočních, zadních a horního krytu. Je zhotoven z ocelových L-profilů o rozměrech L (120x60x5) mm (viz obr. 18). V L-profilech jsou vyvrtány díry na přichycení krytů. Dále díry na přitažení celého rámu k původnímu spodnímu rámu.



Obr. 18 Model konstrukce horního rámu

### 7.2 Uchycení horního rámu

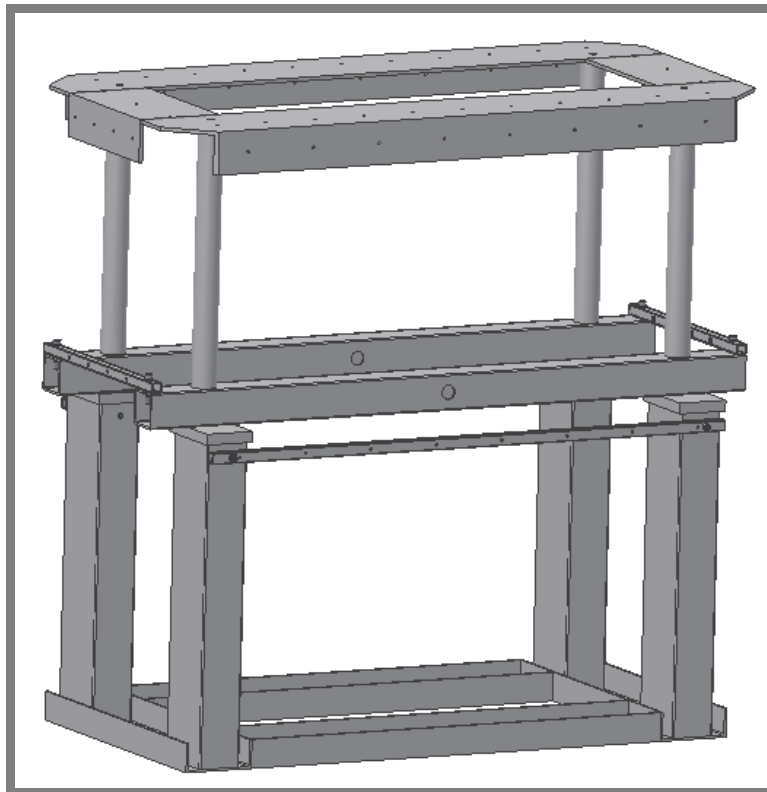
Rám bude spojen pomocí tyčových šroubů M10 (viz obr. 19) vedených skrz trubku. Na trubkách je položen L-profilový rám, který pak bude přitažen ke spodnímu rámu. Velká výhoda daného spojení je rychlá demontáž celé kapotáže, po které zůstane jen spodní rám se setrvačником.



Obr. 19 Tyčový šroub M10

### 7.3 Celková konstrukce rámu

Ráma je zkonstruován s ohledem na co nejméně zásahu do původní sestavy. Proto do původního spodního rámu vrtáme pouze 4 průchozí díry na uchycení čtvercových profilů TR4HR (15 x 15 x 2), ke kterým se budou přišroubovávat kryty.

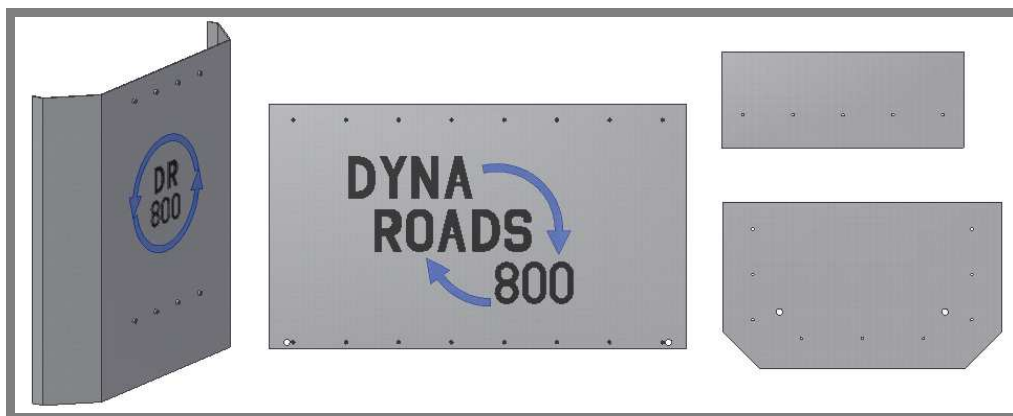


Obr. 20 Celková konstrukce rámu

#### 7.3.1 Jednotlivé kryty kapotáže

Jedná se o plech tloušťky 2 mm, s kterými bude provedena celá kapotáž. Plechy jsou navrženy tak, aby byly úpravy co nejmenší. Boční a zadní plechy budou splňovat funkci bezpečnostní s přívětivým designem. Na design se podílelo i vytvoření příhodného znaku a názvu, který by znázorňoval a popisoval stávající bubnový simulátor. Horní plechy budou splňovat funkci pracovní plochu pro odlehčování zatíženého kola v době nečinnosti. Vše by se mělo dát vyrobit v dílnách FSI.

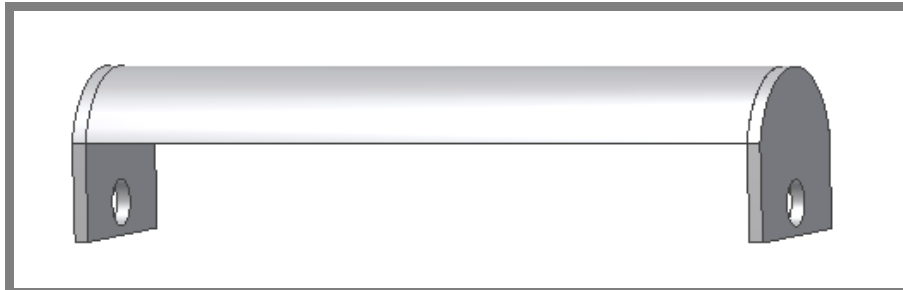
7.3.1



Obr. 21 Modely plechů

#### 7.4 Použité přejezdové prahy

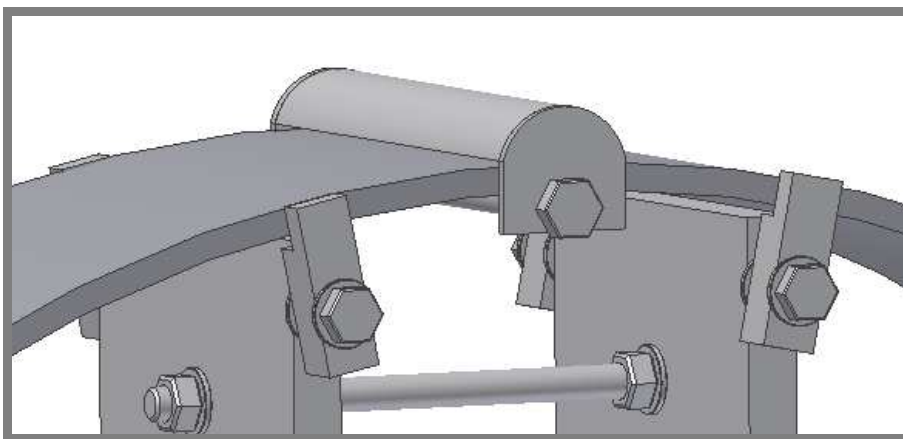
Přejezdové prahy budou simulovat umělé nerovnosti na vozovce. Budeme používat 2 typy prahů. První bude mít přejezdovou výšku 15 mm a druhý 25 mm. Jsou vyrobeny z trubek a budou připevněny pomocí šroubu k bubnu (viz obr. 24).



Obr. 22 Prah 15 mm



Obr. 23 Prah 25 mm



Obr. 24 Uchycení prahu

## 8 VÝPOČET POVRCHOVÝCH NAPĚTÍ NA NOSNÍKU

8

U nosníku je potřeba spočítat povrchové napětí, které je pro nás důležité z důvodů správného výběru tenzometru, pro jejich uspořádání, rozložení po povrchu nosníku a rovněž pro jejich elektrické zapojení.

### 8.1 Výpočet zátěžné síly nosníků $F_1$

8.1

Zátěžnou sílu  $F_1$  vypočítáme ze statické síly  $F_s$ , ke které se ještě připočte váhovou sílu bubnu  $F_b$ .

#### 8.1.1 Výpočet statické přítláčné síly na kole

8.1.1

Dáno:  $m_1 = 150 \text{ kg}$   
 $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$F_s = m_1 \cdot g = 150 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = \underline{\underline{1471,5 \text{ N}}}$$

Kde:  $F_s$  [N] statická přítláčná síla  
 $m_1$  [kg] hmotnost plně zatíženého zkušebního vozíku při statickém zatížení  
 $g$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] gravitační zrychlení

#### 8.1.2 Výpočet váhové síly bubnu $F_b$

8.1.2

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

$$F_b = m_b \cdot g = 73,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = \underline{\underline{721 \text{ N}}}$$

Kde:  $F_b$  [N] váhová síla bubnu  
 $m_b$  [kg] hmotnost bubnu  
 $g$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] gravitační zrychlení

#### 8.1.3 Výpočet zátěžné síly nosníků $F_1$

8.1.3

Dáno:  $F_b = 721 \text{ N}$   
 $F_s = 1471,5 \text{ N}$

$$F_1 = F_s + F_b = 1471,5 \text{ N} + 721 \text{ N} = \underline{\underline{2192,5 \text{ N}}}$$

Kde:  $F_b$  [N] váhová síla bubnu  
 $F_s$  [N] statická přítláčná síla  
 $F_1$  [N] zátěžná síla nosníků při statickém namáhání

### 8.2 Výpočet zátěžné síly nosníků $F_2$

8.2

Zátěžná síla  $F_2$  je pro dynamické namáhání při přejezdu prahu. Bude počítána ze statické síly  $F_s$  vynásobené dynamický součinitel  $k_d$  a přičtením váhové síly bubnu  $F_b$ .

Dáno:  $F_s = 1471,5 \text{ N}$   
 $F_b = 721 \text{ N}$

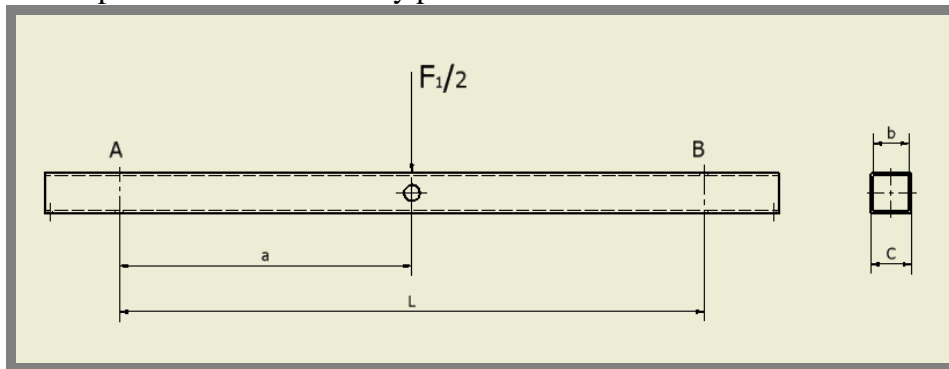
$$k_d = 2$$

$$F_2 = F_s \cdot k_d + F_b = 1471,5 \cdot 2 + 721N = \underline{\underline{3664N}}$$

Kde:	$F_b$	[N]	váhová síla bubnu
	$F_s$	[N]	statická přitlačná síla
	$k_d$	[-]	dynamický součinitel
	$F_2$	[N]	zátěžná síla nosníků při dynamickém namáhání

### 8.3 Výpočet napětí od zátěžné síly $F_1$ :

Zátěžná síla působící na oba nosníky při statickém namáhání.



Obr. 25 Namáhaný nosník zátěžnou silou  $F_1/2$

Nejdříve si vypočteme reakce od zátěžné síly  $F_1$ :

Dáno:  $F_1 = 2192,5 \text{ N}$   
 $a = 0,362 \text{ m}$   
 $L = 0,724 \text{ m}$   
 $C = 0,044 \text{ m}$   
 $b = 0,050 \text{ m}$

$$F_A + F_B - F_1 = 0$$

počítáme k bodu A:

$$F_a + F_B L \Rightarrow F_B = \frac{(F_1/2)a}{L} = \frac{1096,25N \cdot 0,362m}{0,724m} = \underline{\underline{548,1N}}$$

Kde:	$F_1$	[N]	zátěžná síla
	$a$	[m]	vzdálenost od zátěžné síly $F_1$
	$L$	[m]	početní délka nosníku
	$C$	[m]	šířka profilu
	$b$	[m]	vnitřní šířka profilu
	$F_A$	[N]	reakce v bodě A
	$F_B$	[N]	reakce v bodě B

Výpočet ohybového momentu  $M_{o1}$ : počítáme k bodu A

Dáno:  $F_B = 548,1 \text{ N}$   
 $a = 0,362 \text{ m}$

$$M_{o1} - F_B a = 0$$

$$M_{o1} = F_B a = 548,9N \cdot 0,362m = \underline{\underline{198,4Nm}}$$

Kde:  $F_B$  [N] reakce v bodě B  
 $a$  [m] vzdálenost síly  $F_1$   
 $M_{o1}$  [N·m] ohybový moment

Výpočet ohybového napětí  $\sigma_{o1}$ :

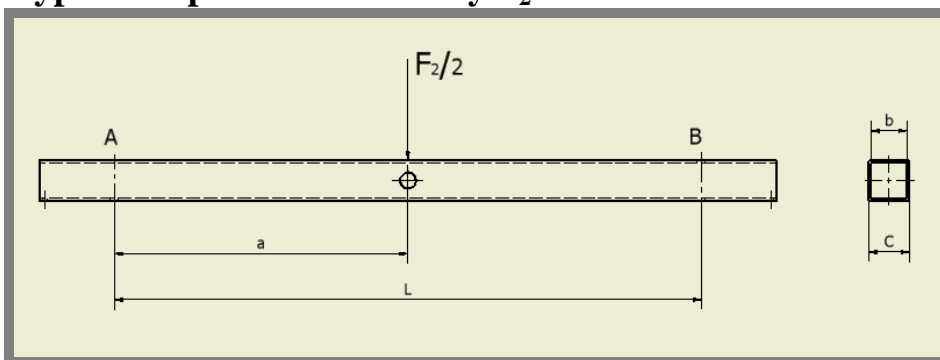
Dáno:  $M_{o1} = 198,4 \text{ N} \cdot \text{m}$   
 $C = 0,050 \text{ m}$   
 $b = 0,044 \text{ m}$

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_o} = \frac{M_{o1}}{\frac{C^4 - b^4}{6C}} = \frac{198,4N \cdot m}{\frac{0,050m^4 - 0,044m^4}{6 \cdot 0,050m}} = \underline{\underline{23,8MPa}}$$

Kde:  $M_{o1}$  [N·m] ohybový moment  
 $W_o$  [m<sup>3</sup>] kvadratický modul průřezu  
 $\sigma_{o1}$  [MPa] ohybové napětí při  $F_1$   
 $C$  [m] šířka profilu  
 $b$  [m] vnitřní šířka profilu

#### 8.4 Výpočet napětí od zátěžné síly $F_2$ :

8.4



Obr. 26 Namáhaný nosník zátěžnou silou  $F_2/2$

Nejdříve si vypočteme reakce od zátěžné síly  $F_2$ :

Dáno:  $F_2 = 3664N$   
 $a = 0,362 \text{ m}$   
 $L = 0,724 \text{ m}$   
 $C = 0,044 \text{ m}$   
 $b = 0,050 \text{ m}$

$$F_A + F_B - F_2 = 0$$

počítáme k bodu A:

$$F_a + F_B L \Rightarrow F_B = \frac{(F_2 / 2)a}{L} = \frac{1832N \cdot 0,362m}{0,724m} = \underline{\underline{916,2N}}$$

Kde:	$F_2$	[N]	zátěžná síla
	$a$	[m]	vzdálenost od zátěžné síly $F_2$
	$L$	[m]	početní délka nosníku
	$C$	[m]	šířka profilu
	$b$	[m]	vnitřní šířka profilu
	$F_A$	[N]	reakce v bodě A
	$F_B$	[N]	reakce v bodě B

Výpočet ohybového momentu  $M_{o2}$ : počítáme k bodu A

Dáno:  $F_B = 916,2 \text{ N}$

$a = 0,362 \text{ m}$

$$M_{o2} - F_B a = 0$$

$$M_{o2} = F_B a = 916,2 \text{ N} \cdot 0,362 \text{ m} = \underline{\underline{331,6 \text{ Nm}}}$$

Kde:	$F_B$	[N]	reakce v bodě B
	$a$	[m]	vzdálenost síly $F_1$
	$M_{o2}$	[N · m]	ohybový moment

Výpočet ohybového napětí  $\sigma_{o1}$ :

Dáno:  $M_{o2} = 331,6 \text{ N} \cdot \text{m}$

$C = 0,050 \text{ m}$

$b = 0,044 \text{ m}$

$$\sigma_{o2} = \frac{M_{o2}}{W_o} = \frac{M_{o2}}{\frac{C^4 - b^4}{6C}} = \frac{331,6 \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{0,050 \text{ m}^4 - 0,044 \text{ m}^4}{6 \cdot 0,050 \text{ m}}} = \underline{\underline{39,8 \text{ MPa}}}$$

Kde:	$M_{o2}$	[N · m]	ohybový moment
	$W_o$	[m <sup>3</sup> ]	kvadratický modul průřezu
	$\sigma_{o2}$	[MPa]	ohybové napětí při $F_2$
	$C$	[m]	šířka profilu
	$b$	[m]	vnitřní šířka profilu

Při výpočtech byly zanedbány tyto faktory:

- 1.) Předpokládáme, že nosník bude na podporách a ne jak jde vidět na obrázku (viz obr. 14), kde je přišroubován ke spodnímu rámu.
- 2.) Vypouštíme vliv vyvařené trubky do nosníku a počítáme pouze se čtvercovým průřezem nosníku.

Zhodnocení:

- Pro materiál nosníku 11 373 je mez kluzu  $R_e = (185 \text{ až } 250) \text{ MPa}$  a maximální ohybové napětí při dynamickém zatížení  $\sigma_{o2} = 39,8 \text{ MPa}$ , které je menší než  $R_e$  → jsme na bezpečné straně,
- pro materiál nosníku 11 373 je mez únavy materiálu v ohybu  $\sigma_{oc} = (130 \text{ až } 155) \text{ MPa}$ , maximální ohybové napětí při dynamickém zatížení  $\sigma_{o2} = 39,8 \text{ MPa}$  → jsme na bezpečné straně.



## 9 VYŘEŠENÍ ODLEHČOVÁNÍ ZATÍŽENÉHO KOLA

Odlehčování zatíženého kola v době nečinnosti je nebytné nutné pro správný chod simulátoru, protože jak jde vidět z obrázku (viz obr. 14) kolo je neustále položeno na bubnu což má za následek jeho deformaci. Kolo ztrácí kruhovitost a při rotačním pohybu bubnového simulátoru bude poskakovat i bez přejezdových prahů.

Původní myšlenkou bylo navržení vlastního typu zvedacího zařízení, které by sloužilo pro odlehčování zatíženého kola v době nečinnosti, ale jako nejvýhodnější varianta pro odlehčování zatíženého kola se jeví použití pákového zvedáku motocyklů (viz obr. 24). Ten se používá pro rychlé zvednutí motocyklu jedním pohybem. Jediným požadavkem pro správný chod daného zvedáku je volný prostor před a za zvedaným kolem a rovný, tvrdý povrch. Aby mohl zvedák správně fungovat, bude nutné u kola prodloužit osovou hřídel tak, aby bylo za co uchytit pákový zvedák. Nebo drobnými úpravami pákového zvedáku bude zajištěno pohodlné odlehčení zatíženého kola.



Obr. 27 pákový zvedák motocyklu

Parametry pákových zvedáků:

- Zdvihová výška se pohybuje v rozmezí (250 až 500) mm,
- nosná hmotnost se pohybuje kolem 500 kg,
- cena je relativně dostupná od 500 do 2000 Kč.

## 10 ZÁVĚR

Během práce bylo naším cílem vytvořit přehled současného stavu řešení různých typů testerů a simulátorů. Z hlediska druhů byly rozděleny do dvou základních skupin. S otočnou osou rotace a bez otočné osy rotace. Náš bubnový silniční simulátor patří do skupiny s otočnou osou rotace a z hlediska montáže patří do bezdemontážní.

V konstrukční části byly vytvořeny 3D modely dvou různých variant řešení kapotování bubnového simulátoru vozovky v programu Autodesk Inventor Professional 2008. Daná varianta byla podrobně rozebrána z hlediska konstrukčního i funkčního. Dále pak bylo vyřešeno odlehčení zatíženého kola pomocí pákového zvedáku motocyklů. Práce byla vytvořena s využitím dostupných informací z literatury a internetu. Úspěšně byly splněny všechny vytyčené cíle bakalářské práce.

**11 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] LEINVEBER, J; ŘASA, J; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*, 3. vydání. Praha Pedagogické nakladatelství Scientia, s.r.o., 2000. 985s ISBN 80-7183-164-6
- [3] MAZUREK, I.; PRAŽÁK, F.; KLAPKA, M. *In Recent Advances in Mechatronics*. Springer : Heidelberg, 2007. Over-crossing test to evaluation of shock absorber, s. 425 - 432. ISBN 978-3-540-73955-5.
- [4] ČÍŽ, P. *Diagnostika podvozku motocyklu*, In 32. mezinárodní konference TD 2009 – DIAGON 2009 - *Sborník přednášek*. Academia Centrum UTB, Mostní 5139, Zlín, Academia centrum UTB ve Zlíně. 2009
- [5] *RaceTech* [online]. 2004 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.racetechmx.com>>.
- [6] *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>>.
- [7] *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>>.
- [8] *ACTM inc. : Automotive Component Testing Machines* [online]. 2002 [cit. 2010-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.actminc.com/products/Machines.html>>.
- [9] *MTS Landmark™ : Servohydraulic Test Systems* [online]. 2000 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.mts.com/en/Material/Dynamic/Landmark/index.asp>>.

**12 SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Dynamická vyvažování pneumatik [8].....	144
Obr. 2 Dynamická vyvažování pneumatik [6].....	14
Obr. 3 Vysoko rychlostní tester [7] .....	15
Obr. 4 Vysoko rychlostní tester [6] .....	15
Obr. 5 Tester životnosti pneumatik [6].....	15
Obr. 6 Dyna Drive [6].....	16
Obr. 7 Vibrační tester [6].....	16
Obr. 8 Čtyřkolí silniční simulátor [6] .....	17
Obr. 9 Tester tlumičů [9] .....	17
Obr. 10 Umístění tlumičů u motocyklu [4].....	18
Obr. 11 Umístění tlumičů u automobilu .....	18
Obr. 12 Tester tlumičů pro demontážní diagnostiku[9].....	19
Obr. 13 Umístění tahových potenciometrů [5] .....	19
Obr. 14 Současný stav simulátoru .....	20
Obr. 15 Vize do budoucna [4] .....	21
Obr. 16 Varianta1. ....	24
Obr. 17 Varianta2. ....	25
Obr. 18 Model konstrukce horního rámu.....	26
Obr. 19 Tyčový šroub M10.....	26
Obr. 20 Celková konstrukce rámu .....	27
Obr. 21 Modely plechů .....	27
Obr. 22 Prah 15 mm.....	28
Obr. 23 Prah 25 mm.....	28
Obr. 24 Uchycení prahu.....	28
Obr. 25 Namáhaný nosník zátěžnou silou F1/2.....	30
Obr. 26 Namáhaný nosník zátěžnou silou F2/2.....	31
Obr. 27 Pákový zvedák motocyklu.....	33

**13 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**

$F_1$	[N]	zátěžná síla nosníků při statickém namáhání
$F_2$	[N]	zátěžná síla nosníků při dynamickém namáhání
$F_b$	[N]	váhová síla bubnu
$F_s$	[N]	statická přitlačná síla
$k_d$	[-]	dynamický součinitel
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	gravitační zrychlení
$m_1$	[kg]	hmotnost plně zatíženého zkušebního vozíku při statickém zatížení
$m_b$	[kg]	hmotnost bubnu
$a$	[m]	vzdálenost zátěžné síly $F_1$
$L$	[m]	početní délka nosníku
$C$	[m]	šířka profilu
$b$	[m]	vnitřní šířka profilu
$F_A$	[N]	reakce v bodě A
$F_B$	[N]	reakce v bodě B
$M_{o1}$	[N·m]	ohybový moment
$M_{o2}$	[N·m]	ohybový moment
$W_o$	[m <sup>3</sup> ]	kvadratický modul průřezu
$\sigma_{o1}$	[MPa]	ohybové napětí od zátěžné síly $F_1$
$\sigma_{o2}$	[MPa]	ohybové napětí od zátěžné síly $F_2$

## **14 SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH**

### **14.1 Seznam výkresů**

Výkres sestavení      BUBNOVÝ SILNIČNÍ SIMULÁTOR      Č.V. BP-110-0