

OBHAJObA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Lukáš Houser

FS ČVUT v Praze

Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky

28. srpen 2015

Simulační modely tlumičů a jejich identifikace

Autor: Lukáš Houser

Studijní obor: Mechatronika

Vedoucí práce: Prof. Ing. Zbyněk Šika, Ph.D.

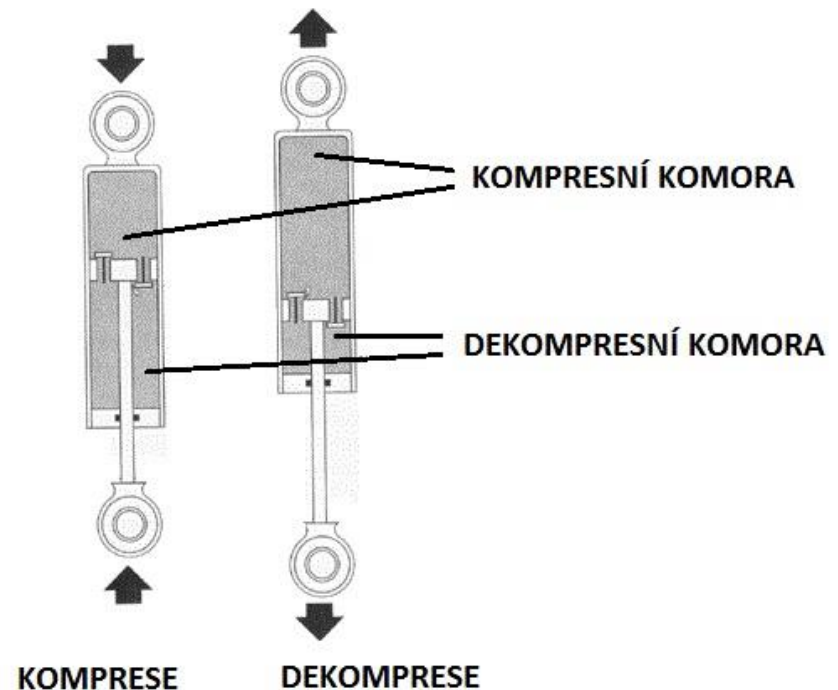
Konzultant: Ing. Jiří Volech

Cíle práce

- Seznámení se s problematikou simulování tlumičů
- Provedení rešerše odborných publikací se zaměřením na modely tlumičů
- Seznámení se s metodami experimentální identifikace tlumičů
- Sestavení simulačního modelu tlumiče zohledňující jeho vnitřní strukturu
- Provedení identifikace sestaveného modelu na základě experimentálních dat
- Zhodnocení chování simulačního modelu tlumiče

Teleskopický hydraulický tlumič

- Disipace energie
- Vlastnosti
 - Síla úměrná především rychlosti
 - Nelineární závislost
 - Hystereze



Simulační model tlumiče typ 1

- Převzat z DP Ing. Jiřího Volecha [1], upraven
- Sestaven z průtokového a tlakového modelu
- Uvažována stlačitelnost hydraulické kapaliny
 - Diferenciální rovnice, jako stav zvolen tlak

[1] VOLECH, J. *Optimalizace fyzikálních simulačních modelů automobilových tlumičů*.
Diplomová práce. Prague: Czech Technical University, 2013, 71 s.

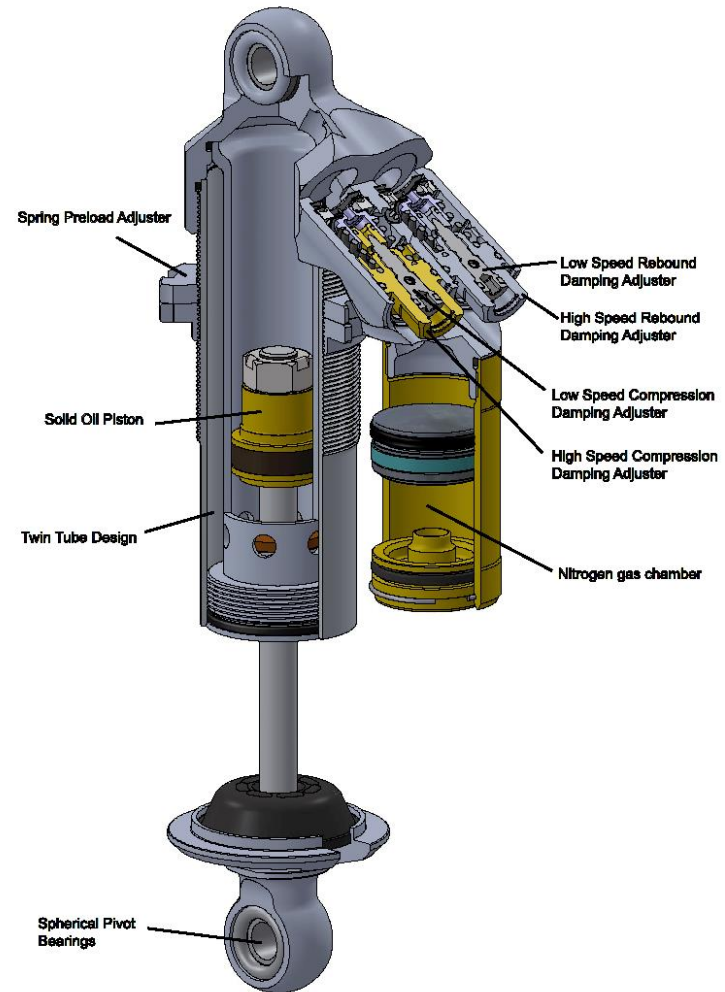
Simulační model tlumiče typ 2

- Sestaven dle rešerše [2], upraven
- Sestaven z popisu součtu toků a vlastností jednotlivých prvků
- Stlačitelnost neuvažována
 - Algebraické rovnice

[2] TALBOTT, M. a STARKEY, J. *An Experimentally Validated Physical Model of a High-Performance Mono-Tube Damper*. 2002. SAE Technical Paper 2002-01-3337.

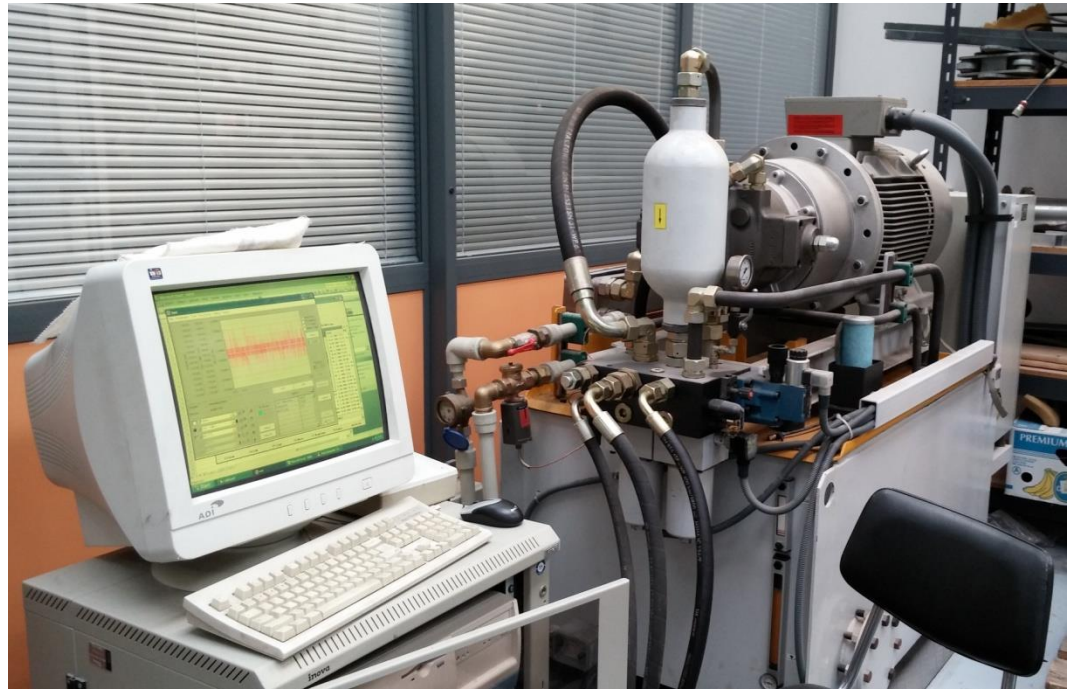
Tlumič Öhlins TTX25 MkII FSAE

- Použit ve voze Formule Student týmu CarTech CTU
- Twin tube, remote valve block, remote reservoir



Měření

- Provedeno v laboratoři Odboru mechaniky a mechatroniky
- Měřicí systém INOVA



Měření

- Měření při vstupech (průběhy polohy pístu) sinového a pilového průběhu

(a) SIN

f [Hz]	A [m]	v [m/s]
0.5	0.016	0.05
1	0.016	0.101
2	0.016	0.201
5	0.012	0.377
8	0.01	0.503

(b) SAW

f [Hz]	A [m]	v [m/s]
0.1	0.015	0.006
0.3	0.015	0.018



Měření

- Naměřená data
 - Průběhy polohy pístu (vstup systému)
 - Průběhy tlumící síly (výstup systému)

+ Znalost vzorkovací periody

+ VIDEO

Zpracování dat

VSTUP ZPRACOVÁNÍ

- Poloha

- Síla

Zašuměná data

VÝSTUP ZPRACOVÁNÍ

- Poloha
- Rychlost
- Zrychlení

- Síla

Šum odfiltrován

Zpracování dat

- Filtrace šumu
 - Spojitý filtr > diskrétní filtr > příkaz `filtfilt`
 - Filtr prvního řádu, cut-off frekvence ~10x frekvence vstupu
- Derivace
 - Pomocí difference, příkaz `diff`

Identifikace simulačních modelů

- Optimalizační simplexová metoda `fminsearch`
- Na základě naměřených dat
 - Použít reálný průběh vstupu
 - Cílová funkce porovnává průběhy výstupu z experimentu a simulace

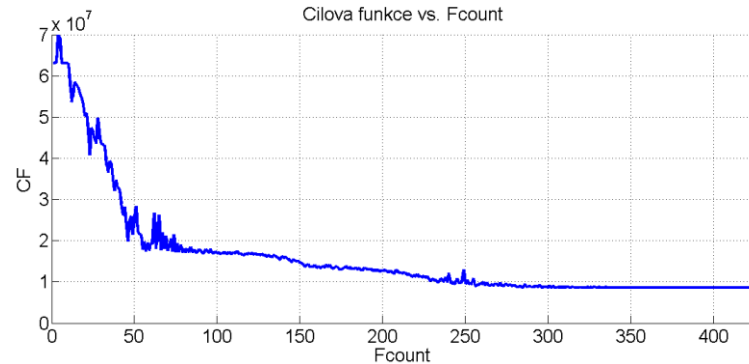
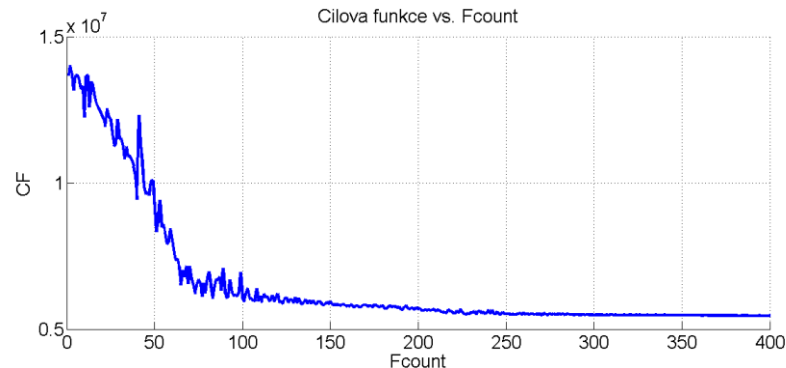
$$CF = \sum_{i=1}^N C_i * (F_{simulace,i} - F_{měření,i})^2$$

- Pro všechny frekvence

Identifikace simulačních modelů

VÝVOJ CÍLOVÉ FUNKCE

- Simulační model typ 1
- Simulační model typ 2



Zhodnocení

- KVANTITATIVNÍ - RMS

$$RMS_{error} = \frac{RMS_{Residualforce}}{RMS_{Dampforce}} * 100$$

$$RMS_{Residualforce} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (F_{simulace,i} - F_{měření,i})^2}{n}\right)}$$
$$RMS_{Dampforce} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n F_{měření,i}^2}{n}\right)}$$

- GRAFICKÉ

Grafické porovnání průběhů výstupů (tlumících sil) ze simulačních modelů a z měření

- Především grafy závislosti síly na rychlosti

Zhodnocení RMS

- Simulační model typ 1

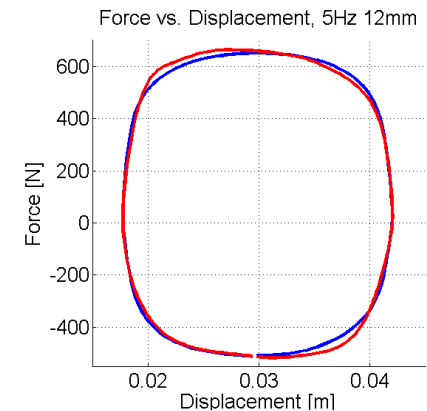
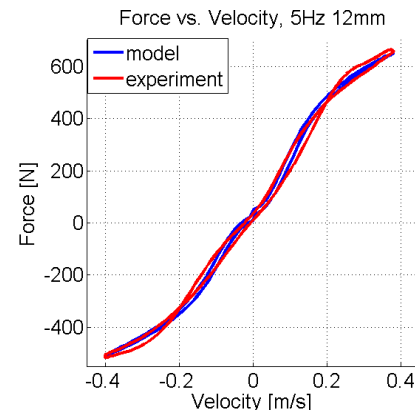
Vstup	$f = 0,5\text{Hz}$ $A = 16\text{mm}$	$f = 1\text{Hz}$ $A = 16\text{mm}$	$f = 2\text{Hz}$ $A = 16\text{mm}$	$f = 5\text{Hz}$ $A = 12\text{mm}$	$f = 8\text{Hz}$ $A = 10\text{mm}$	Spojený cyklus
Hodnota RMS_{error}	18.85 %	6.73 %	8.34 %	4.34 %	7.31 %	7.81 %

- Simulační model typ 2

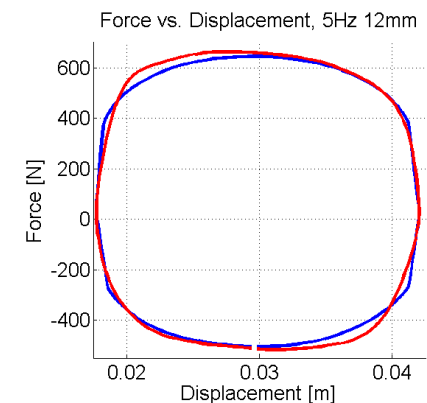
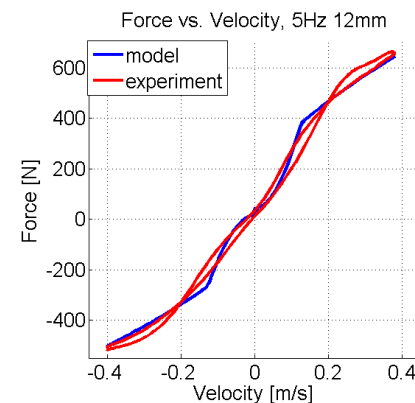
Vstup	$f = 0,5\text{Hz}$ $A = 16\text{mm}$	$f = 1\text{Hz}$ $A = 16\text{mm}$	$f = 2\text{Hz}$ $A = 16\text{mm}$	$f = 5\text{Hz}$ $A = 12\text{mm}$	$f = 8\text{Hz}$ $A = 10\text{mm}$	Spojený cyklus
Hodnota RMS_{error}	21.34 %	8.94 %	9.39 %	6.8 %	8.42 %	9.36 %

Zhodnocení grafické

- Simulační model typ 1



- Simulační model typ 2



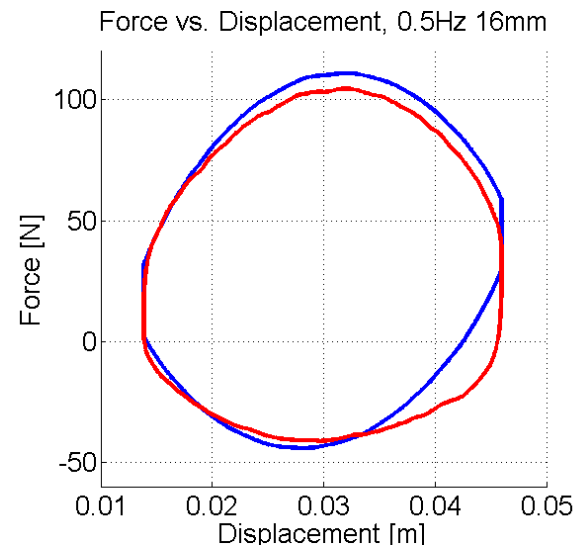
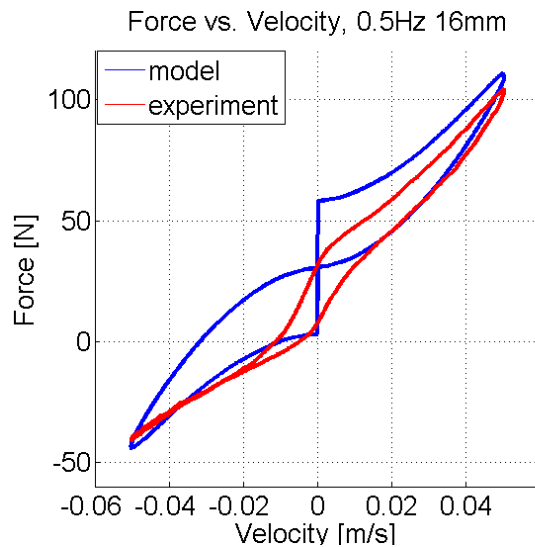
Porovnání simulačních modelů

- Oba vykazují značnou shodu s reálným zařízením
- Sim. model typ 1: blíže realitě
 - Kvantitativně o ~2%
 - Pokrytím fenoménů
- Sim. model typ 2
 - Parametry přímo popisující hydraulické prvky
- Ani jeden není schopen postihnout všechny fenomény, nepřesné okolo nulové rychlosti

Porovnání simulačních modelů

NEPOSTIHNUTÉ FENOMÉNY

1. Okolí nulové rychlosti

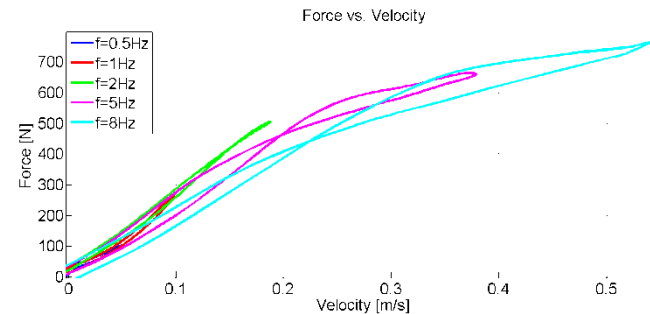


Porovnání simulačních modelů

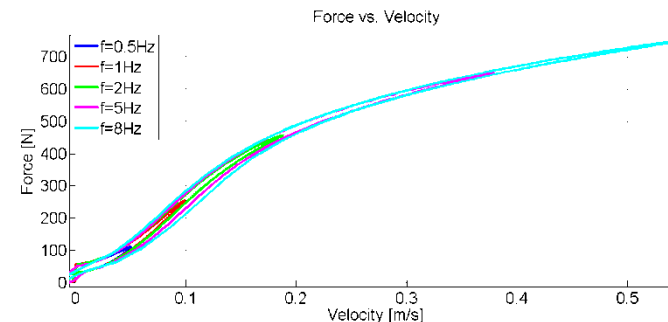
NEPOSTIHNUTÉ FENOMÉNY

2. Změkčení charakteristiky s rostoucí frekvencí

- Experiment



- Model

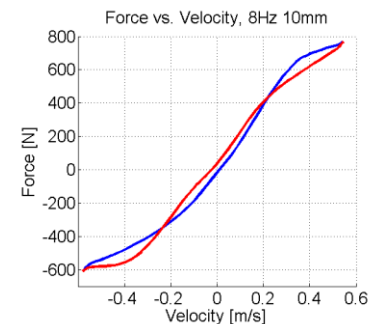
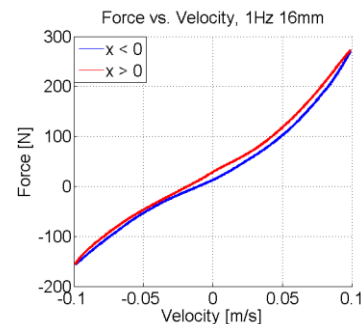


Porovnání simulačních modelů

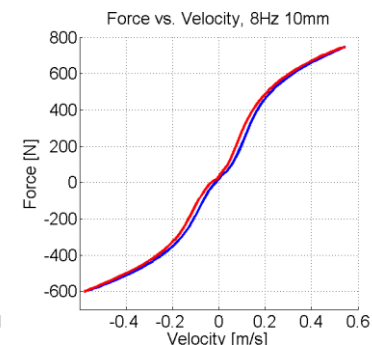
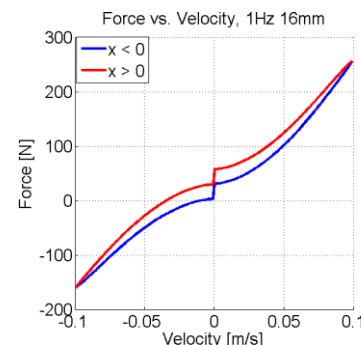
NEPOSTIHNUTÉ FENOMÉNY

3. Neočekávaný tvar hystereze pro vyšší rychlosti

- Experiment



- Model



Odkazy na literaturu

1. VOLECH, J. *Optimalizace fyzikálních simulačních modelů automobilových tlumičů. Diplomová práce. Prague: Czech Technical University, 2013, 71 s.*
2. TALBOTT, M. a STARKEY, J. *An Experimentally Validated Physical Model of a High-Performance Mono-Tube Damper. 2002. SAE Technical Paper 2002-01-3337.*

DĚKUJI ZA POZORNOST

Lukáš Houser