

# Vývoj magnetoreologického tlumiče odpružení pro kosmonautiku

**Michal Kubík**

**Školitel:** Doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

Státní doktorská zkouška , FSI VUT v Brně  
30. 11. 2015



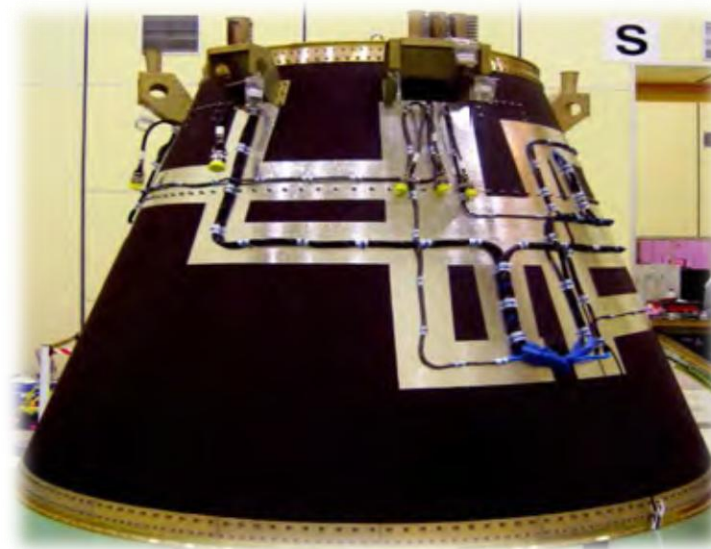
# Obsah

- Motivace
- Úvod do problematiky
- Shrnutí současného stavu poznání
- Vymezení cílů disertační práce
- Postup řešení
- Současný stav řešení disertační práce
- Závěr

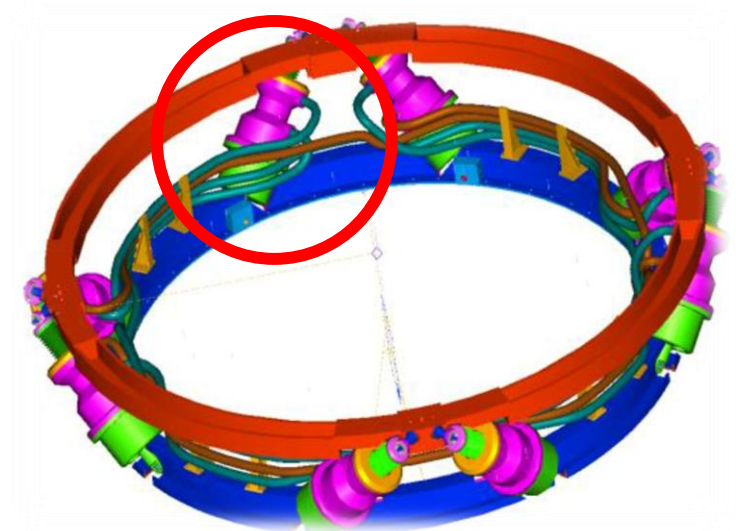


## Semi-Active Damping System – FLPP 3

**Honeywell**  
Aerospace

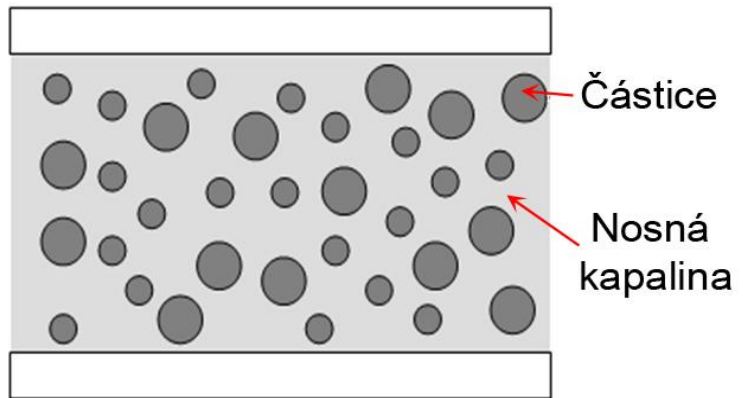


Současné řešení



Navrhované řešení

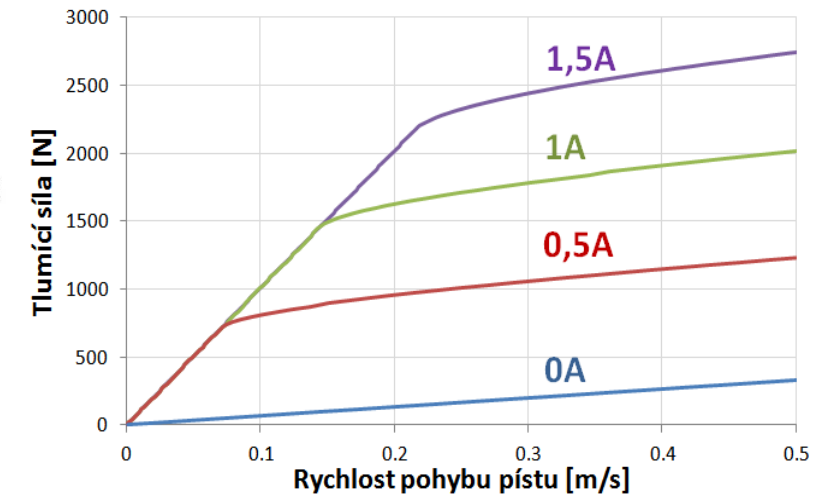
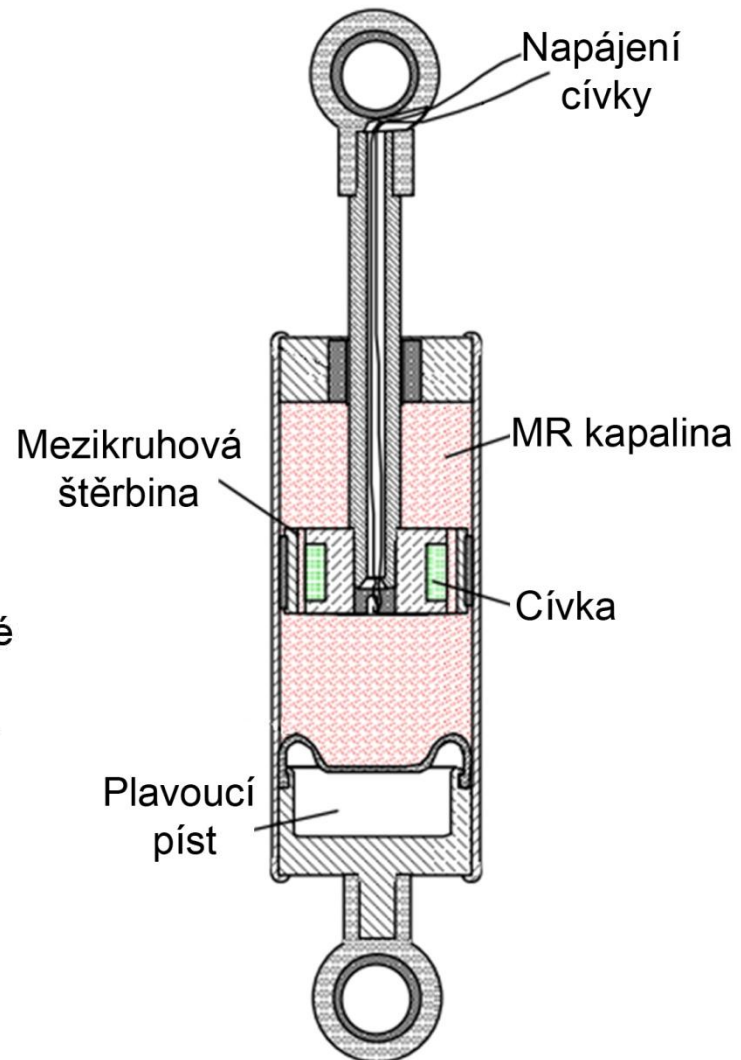
# Úvod do problematiky



a) Mimo magnetické pole



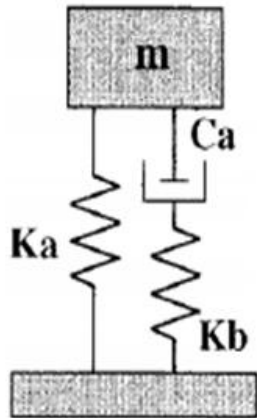
b) V magnetickém poli



# Shrnutí současného stavu poznání

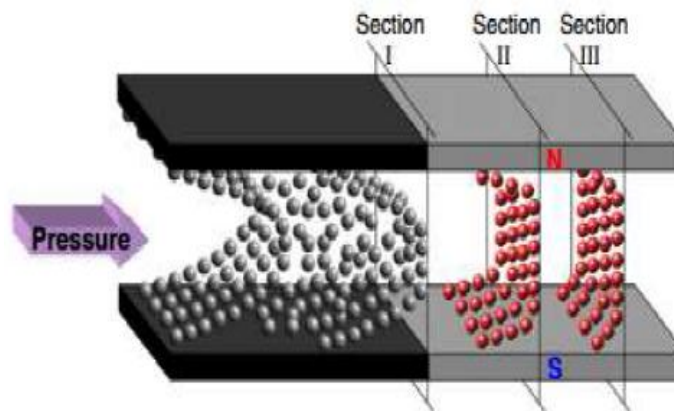
## Konstrukce odpružení v kosmickém nosiči

- Tři-parametrický systém
- Vlnovce



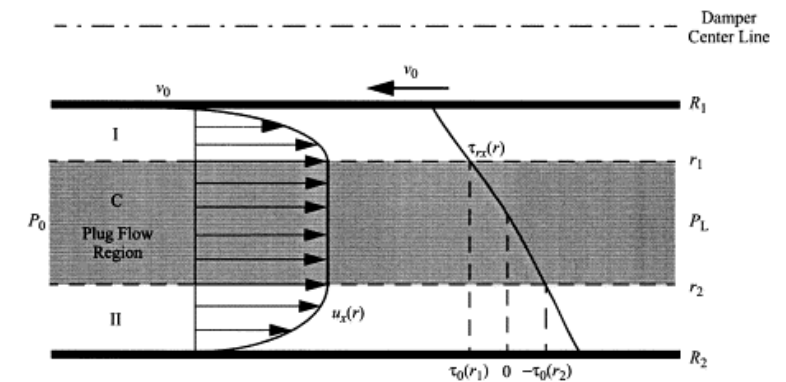
## Limity MR technologie

- Dynamický rozsah
- Fluid dwell time
- Degradace MR kapaliny
- Časová odezva



## Simulační modely

- Reologické chování
- MR kapaliny
- Hydraulický model



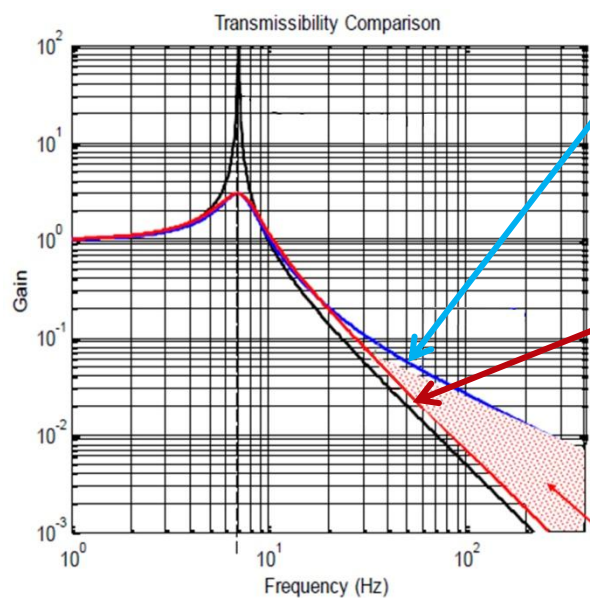
# Shrnutí současného stavu poznání

## Konstrukce odpružení užitečného nákladu v kosmickém nosiči

● Davis, D., "Advanced 1.5 Hz passive viscous isolation system"

● Coob, R.G., „Vibration isolation and suppression system for precision payloads in space“

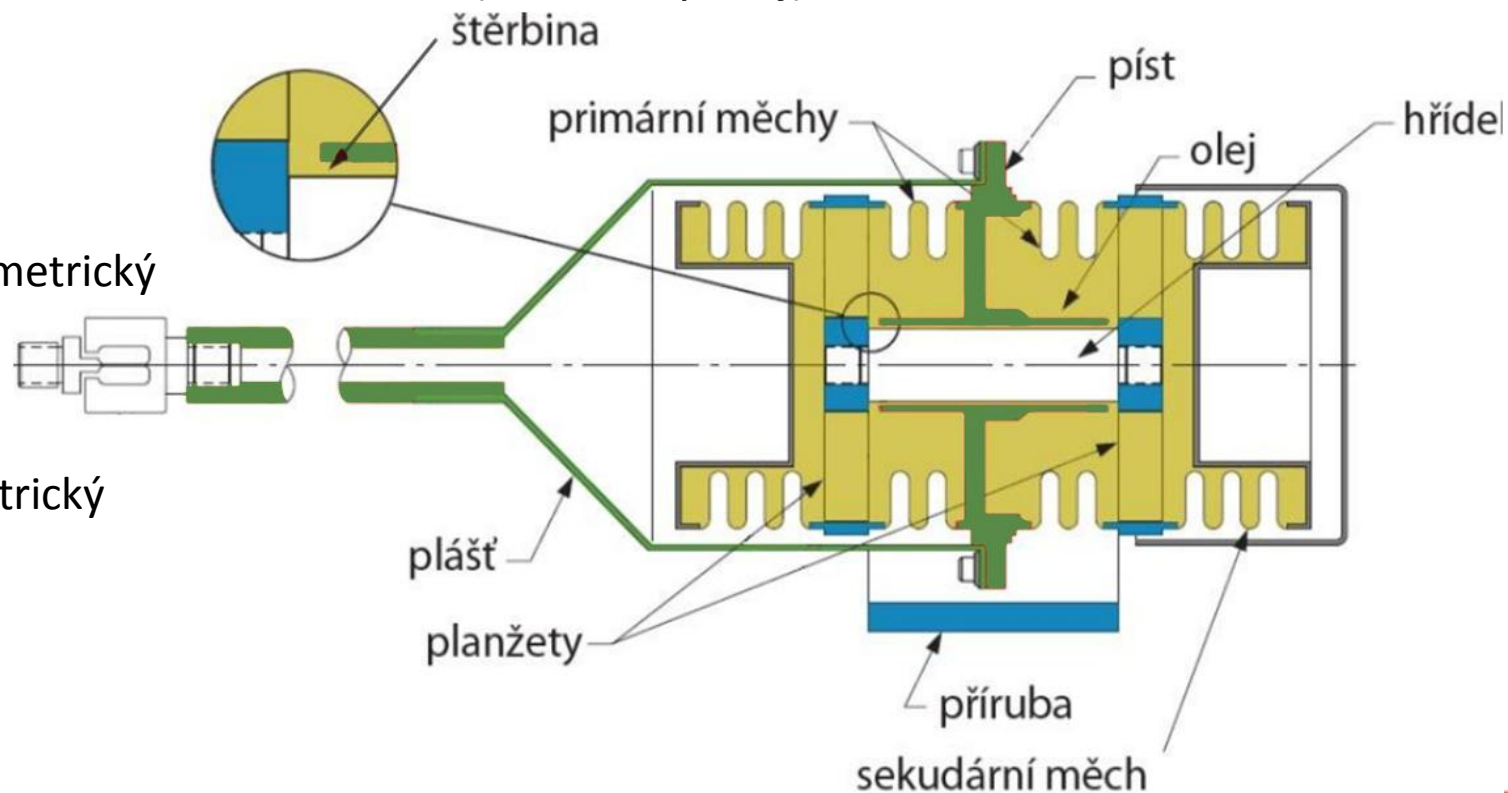
- Vývoj vzpěry pro tlumící a pružící plošinu
- Tří-parametrický systém odpružení
- Systém složený ze dvou vlnovců (axiální a objemová tuhost)
- Pasivní tlumení (silikonový olej)



Dvou-parametrický systém

Tří-parametrický systém

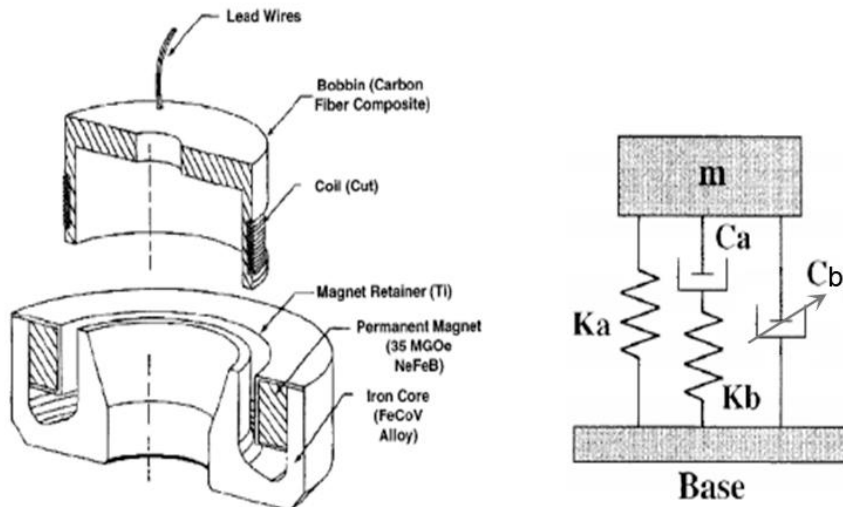
Přínos



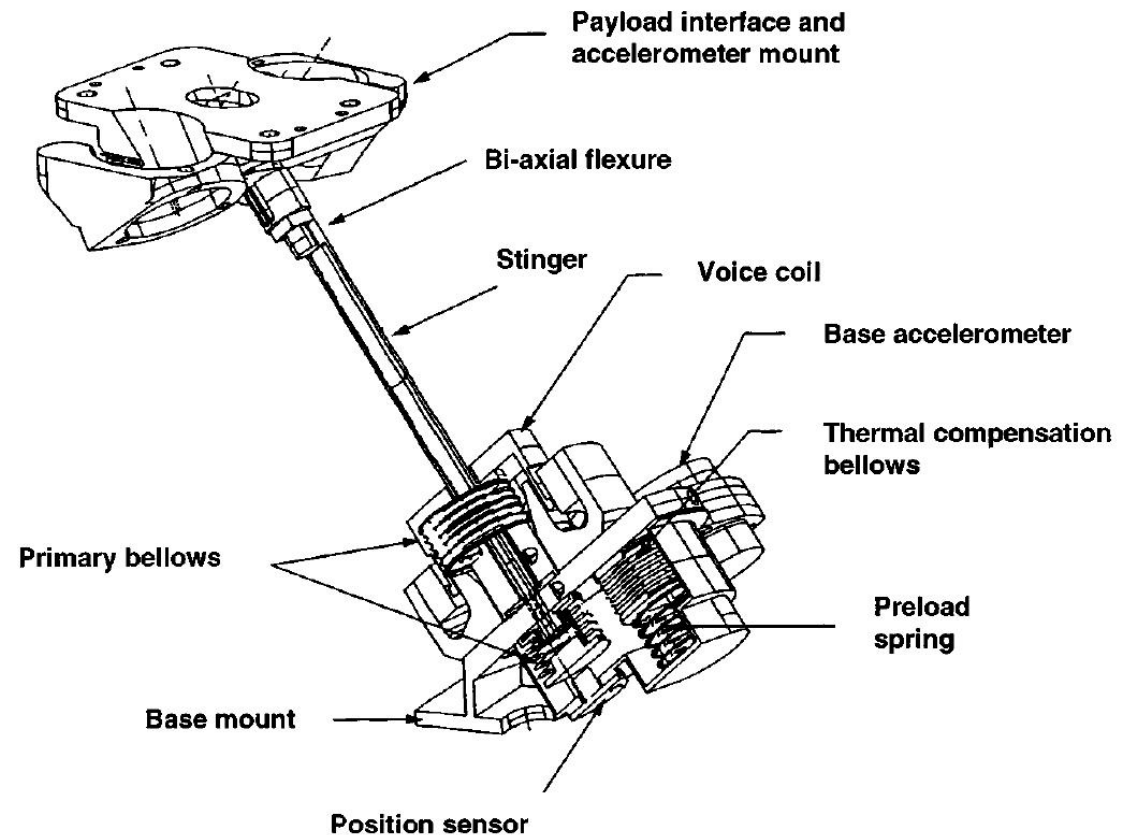
# Shrnutí současného stavu poznání

## Konstrukce odpružení užitečného nákladu v kosmickém nosiči

- Davis, D., "Advanced 1.5 Hz passive viscous isolation system"
- Coob, R.G., „Vibration isolation and suppression system for precision payloads in space“



- Konstrukce navazuje na předchozí publikaci
- Zapínání druhého tlumiče v rezonanční frekvenci



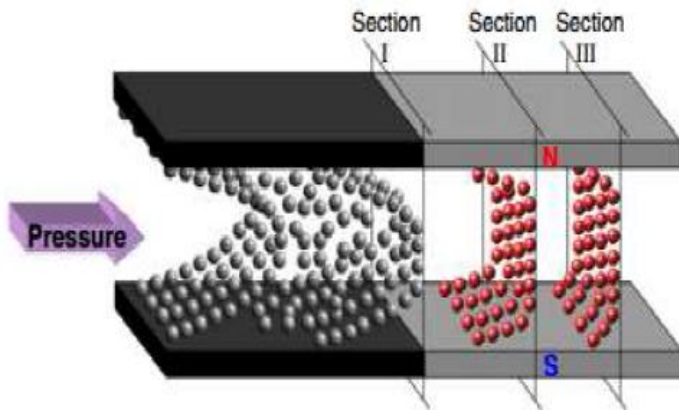
# Shrnutí současného stavu poznání

## Limity MR technologie při konstrukci MR tlumiče

### Fluid dwell time

Goncalves, F. D., „ Investigating the magnetorheological effect at high flow velocities“

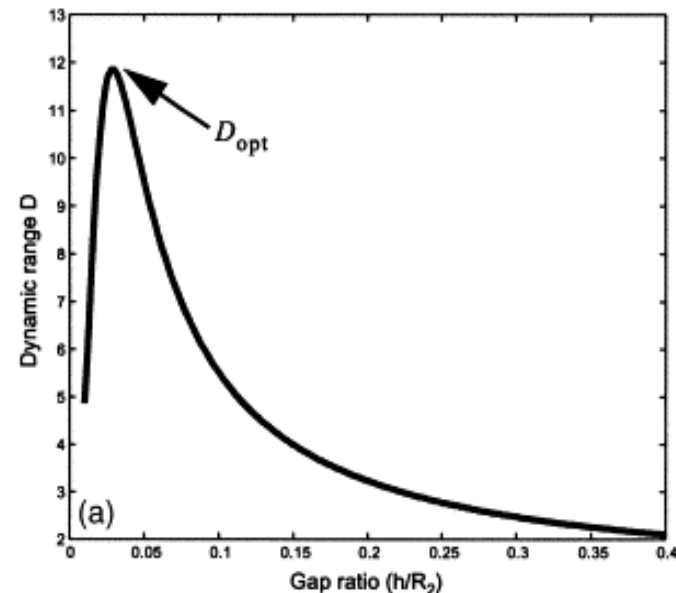
- Čas potřebný k zřetězení částic
- Od 0,45 ms po 0,6 ms



### Dynamický rozsah

Yang, G., “Large-scale MR fluid dampers: modeling and dynamic performance considerations

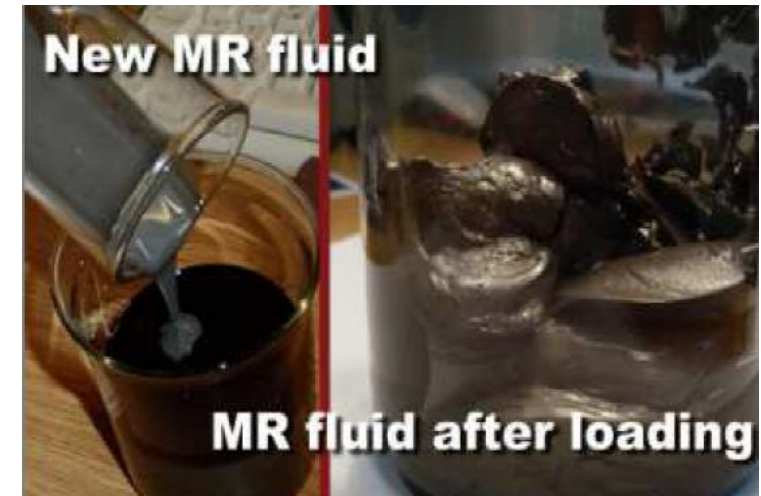
- Optimalizace dynamického rozsahu



### Degradace MR kapaliny

Roupec, J., „ Stability of magnetorheological effect during long term operation“

- Provozní houstnutí MR kapaliny
- Degradace magnetických vlastností



# Shrnutí současného stavu poznání

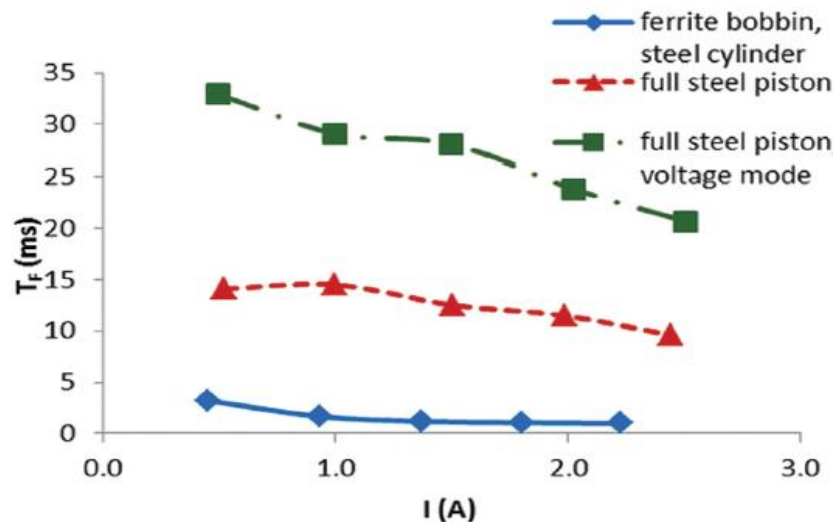
## Limity MR technologie při konstrukci MR tlumiče

### Časová odezva MR tlumiče

#### Tradiční konstrukce MR tlumiče

Grunwald, A. , „ Design of magneto-rheological(MR) valve“

- Magnetický obvod- nízkouhlíková ocel
- Časová odezva MR tlumiče okolo 30 ms



#### Snižování časové odezvy

Koo, J. H., „ A comprehensive analysis of the response time of MR dampers“  
Strecker, Z., „The design of magnetorheological damper with short time response“

- Časová odezva MR tlumiče

- Indukčnost cívky – proudový regulátor
- Vířivé proudy

Feritový magnetický obvod + proudový regulátor = Časová odezva **1,5 ms**

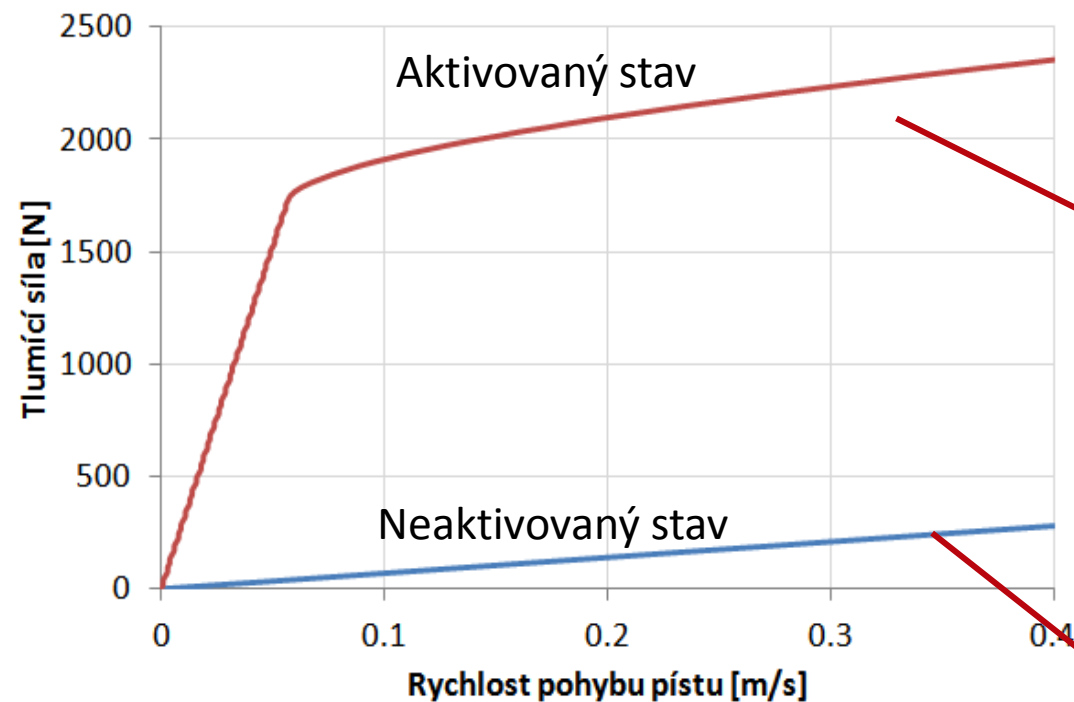


<http://www.hadex.cz/>

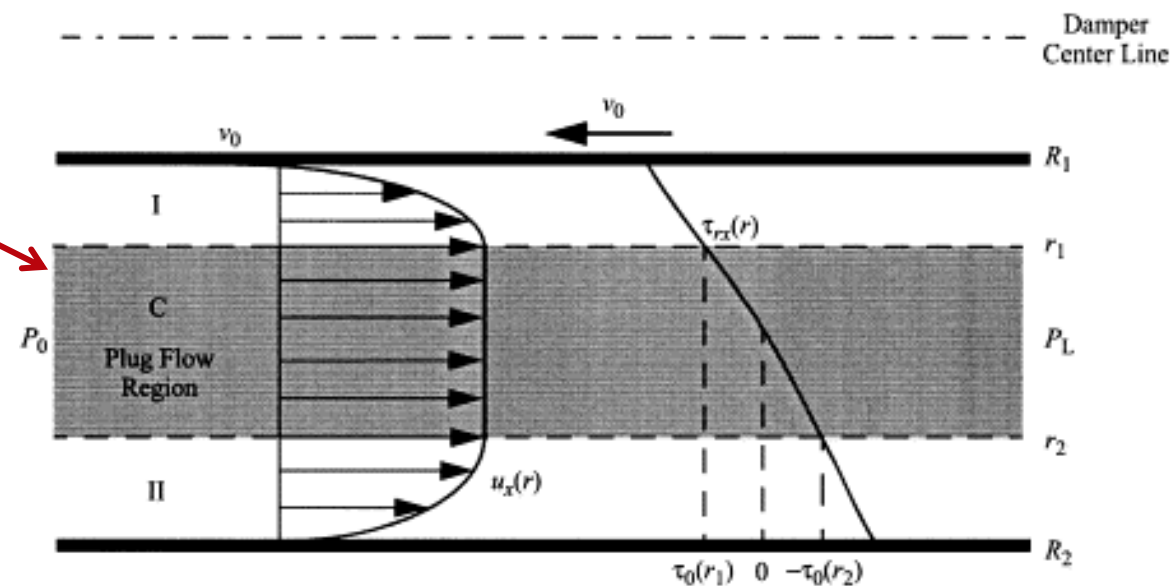
# Shrnutí současného stavu poznání

## Simulační modely

Carlson, G., "MR fluid, foam and elastomer devices"



## Bingham model



## Newton model

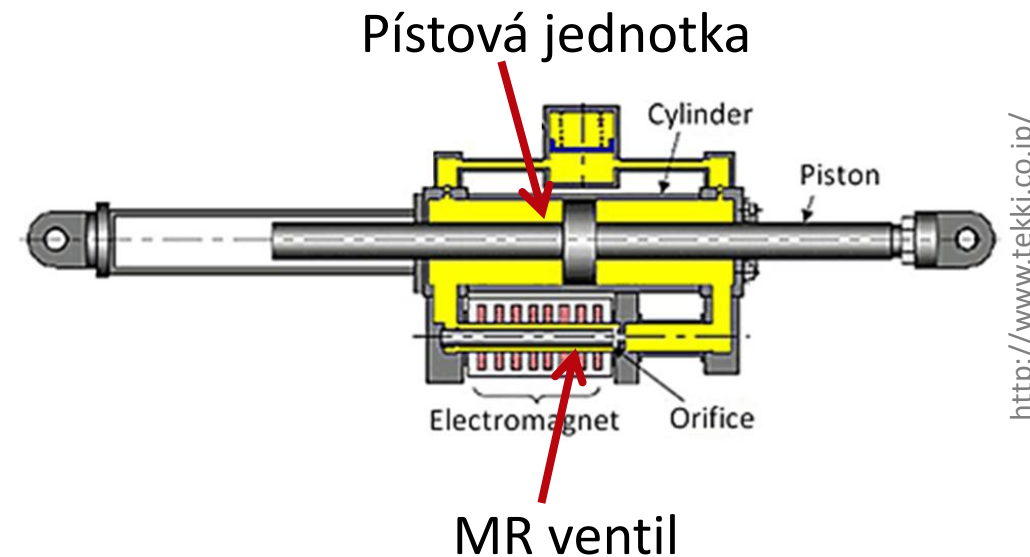
# Vymezení cílů disertační práce

## Hlavním cílem:

Konstrukce semi-aktivního magnetoreologického tlumiče s velmi malou časovou odezvou.

## Dílčí cíle:

- Konstrukční rozdělení pístové jednotky a MR ventilu
- Magnetický model MR ventilu
  - Magnetostatický
  - Transientní
- Hydraulický model MR ventilu
  - CFX model přípojných kanálů k MR ventilu
  - CFX model obtokových štěrbin
  - Analytický hydraulický model MR ventilu
- Pevnostní model MR ventilu






# Vědecká otázka

Navrhované zařízení musí být schopné semi-aktivně regulovat vibrace do 50 Hz.

## Vědecká otázka:

*Je možné zkonstruovat semi-aktivní magnetoreologický ventil s časovou odezvou menší než 1,5 ms?*

## Pracovní hypotéza:

- Komerčně dostupný MR tlumič  Časová odezva 30 ms
- MR tlumič s vhodným proudovým regulátorem  Časová odezva 15 ms
- MR tlumič s magneticky vodivým a elektrický nevodivým mag. obvodem + proudový regulátor  Časová odezva 1,5 ms

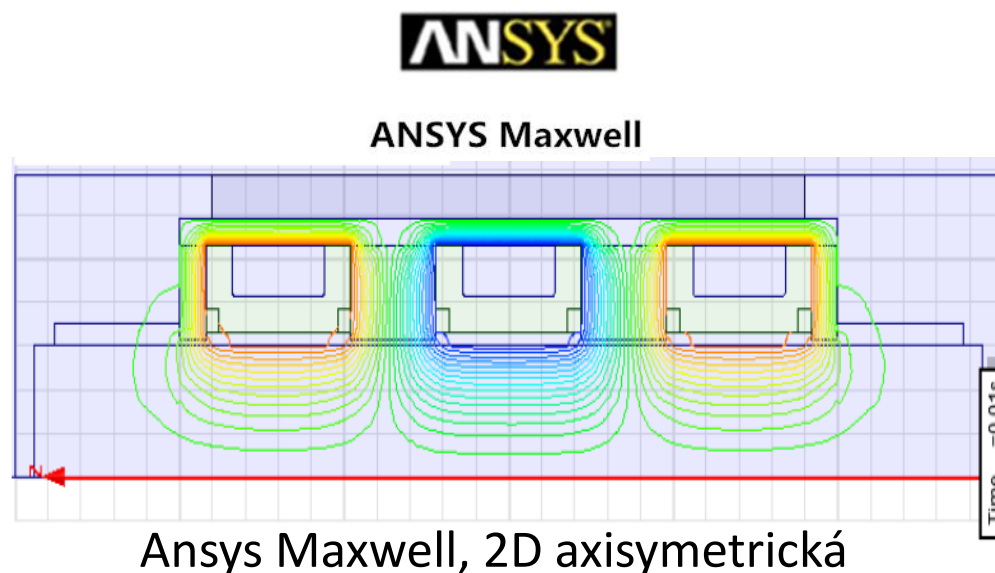
# Postup řešení

## Magnetický model

- Statická analýza
- Transientní analýza

### Vstup

- B-H křivky materiálů
- Požadována maximální magnetická indukce
- Průběh budícího proudu



### Výstup

- Parametry cívky
- Rozměry magnetického obvodu
- Materiálová skladba mag. obvodu
- Časová odezva B

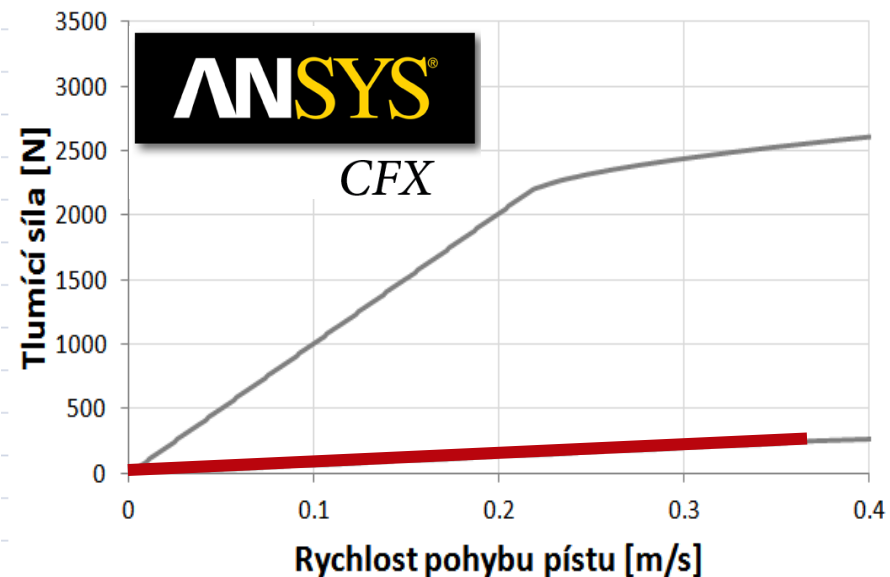
# Postup řešení

## Hydraulický model

- CFX model přípojných kanálů k MR ventilu
- CFX model obtokových štěrbin
- Analytický hydraulický model MR ventilu

### Vstup

- Toková křivka MR kapaliny v neaktivovaném stavu
- Požadovaná F-v charakteristika



### Výstup

- Rozměrový návrh přípojných kanálů (bez obtokové štěrbin)

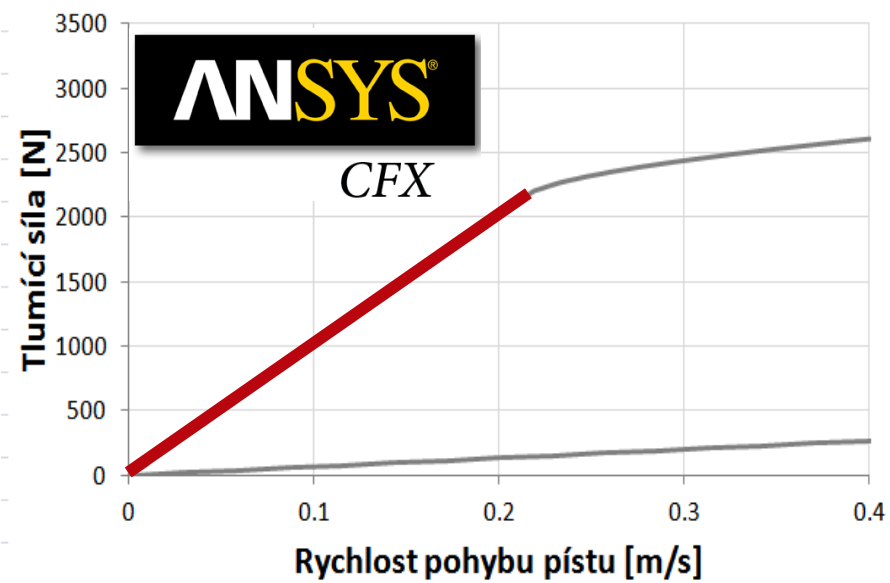
# Postup řešení

## Hydraulický model

- CFX model přípojných kanálů k MR ventilu
- CFX model obtokových štěrbin
- Analytický hydraulický model MR ventilu

### Vstup

- Toková křivka MR kapaliny v neaktivovaném stavu
- Požadovaná F-v charakteristika



### Výstup

- Geometrie obtokové štěrbin

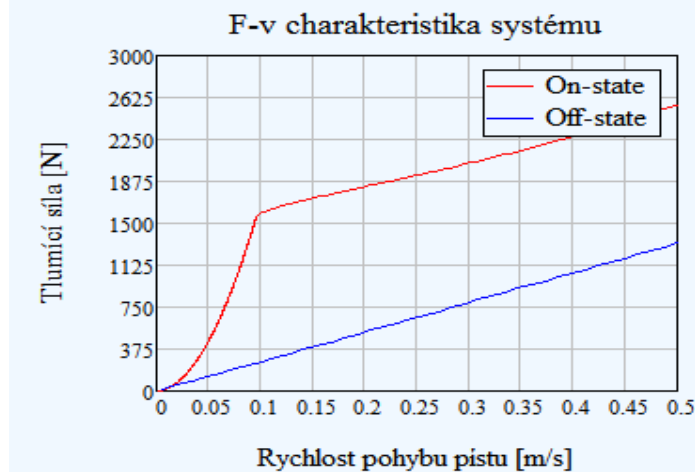
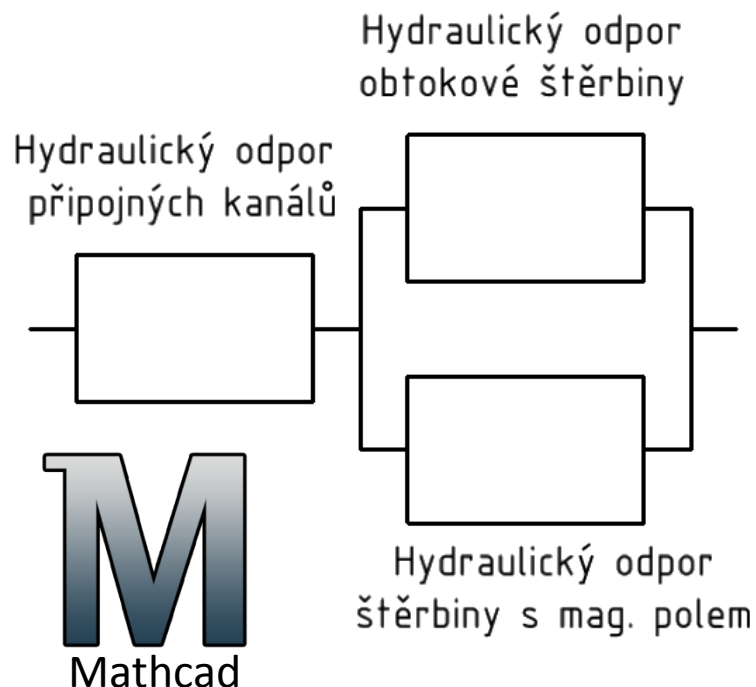
# Postup řešení

## Hydraulický model

- CFX model přípojných kanálů k MR ventilu
- CFX model obtokových štěrbin
- Analytický hydraulický model MR ventilu

### Vstup

- Data z CFX modelů
- Data z magnetického modelu
- Požadovaná max. tlumící síla (při rychlosti)
- Tokové křivky MR kapaliny při různých intenzitách magnetického pole



### Výstup

- Geometrie ventilu
- Dynamický silový rozsah
- F-v charakteristika v závislosti na elektrickém proudu

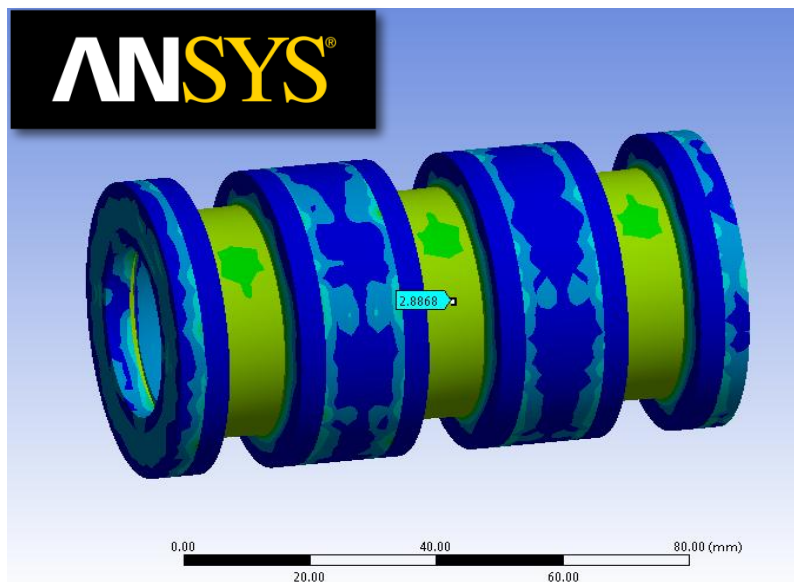
# Postup řešení

## Pevnostní model

- Návrh vhodného předepnutí systému
- Bezpečnost systému
- Odhad tuhosti systému

### Vstup

- Materiálové charakteristiky
- Síly a tlaky z proudění MR kapaliny

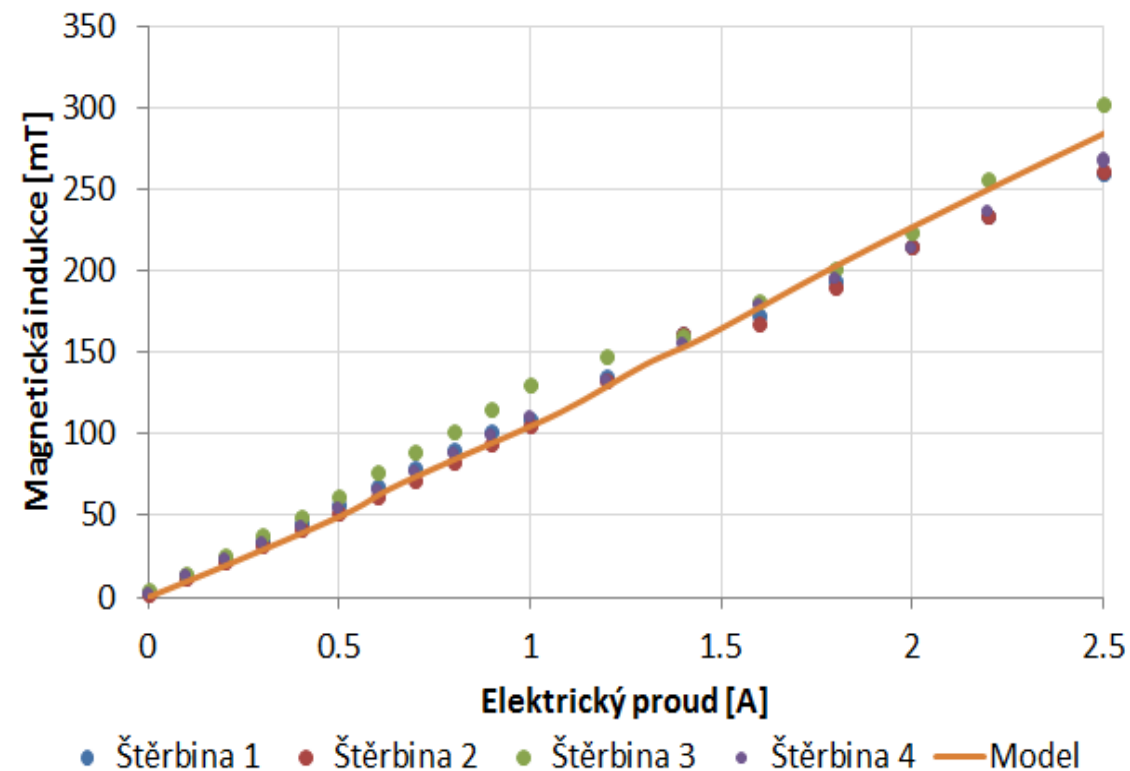
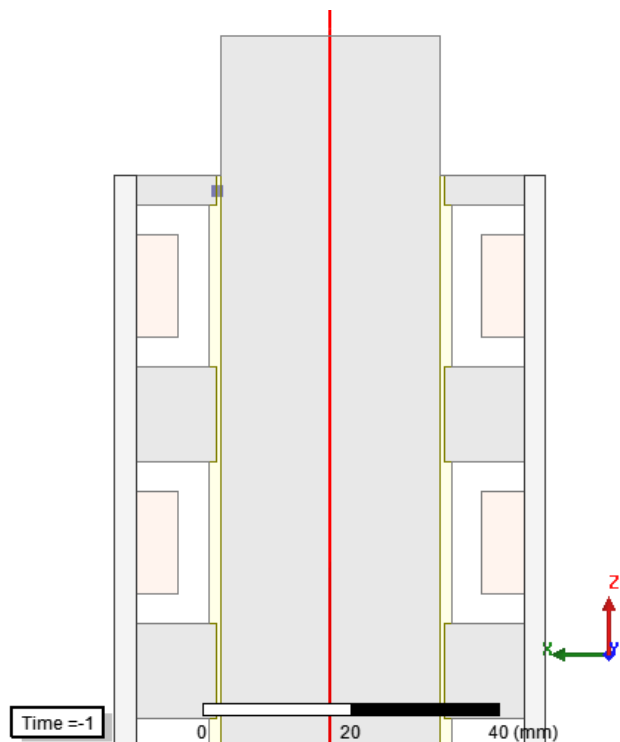
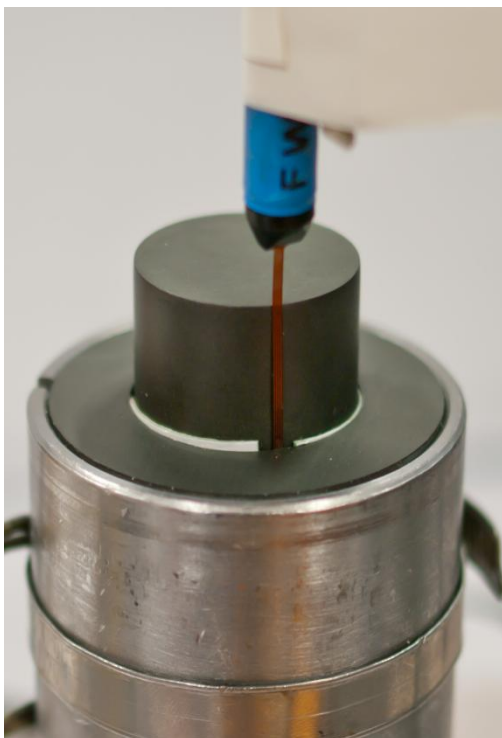


### Výstup

- Rozměry komponent
- Rozměrové tolerance dílů
- Bezpečnost systému

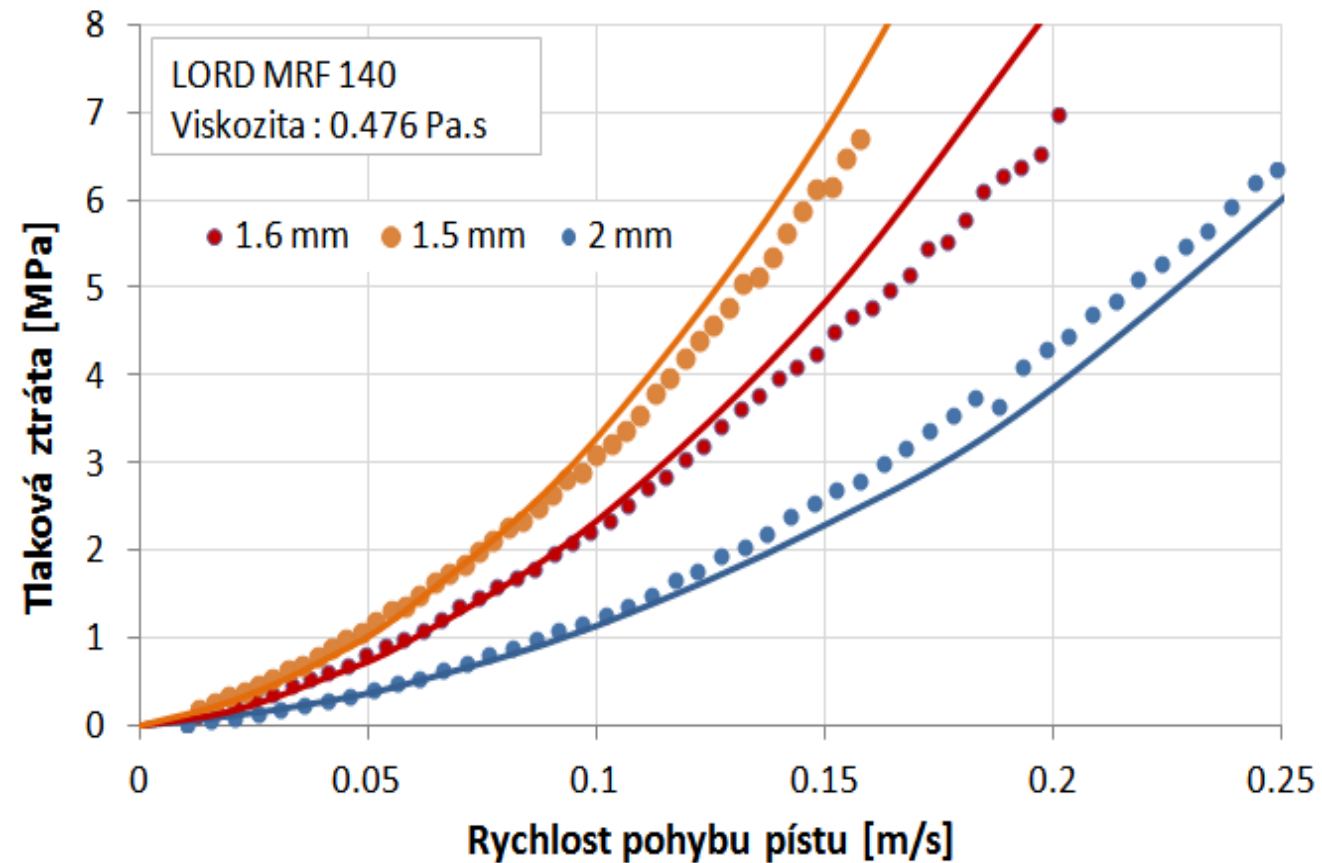
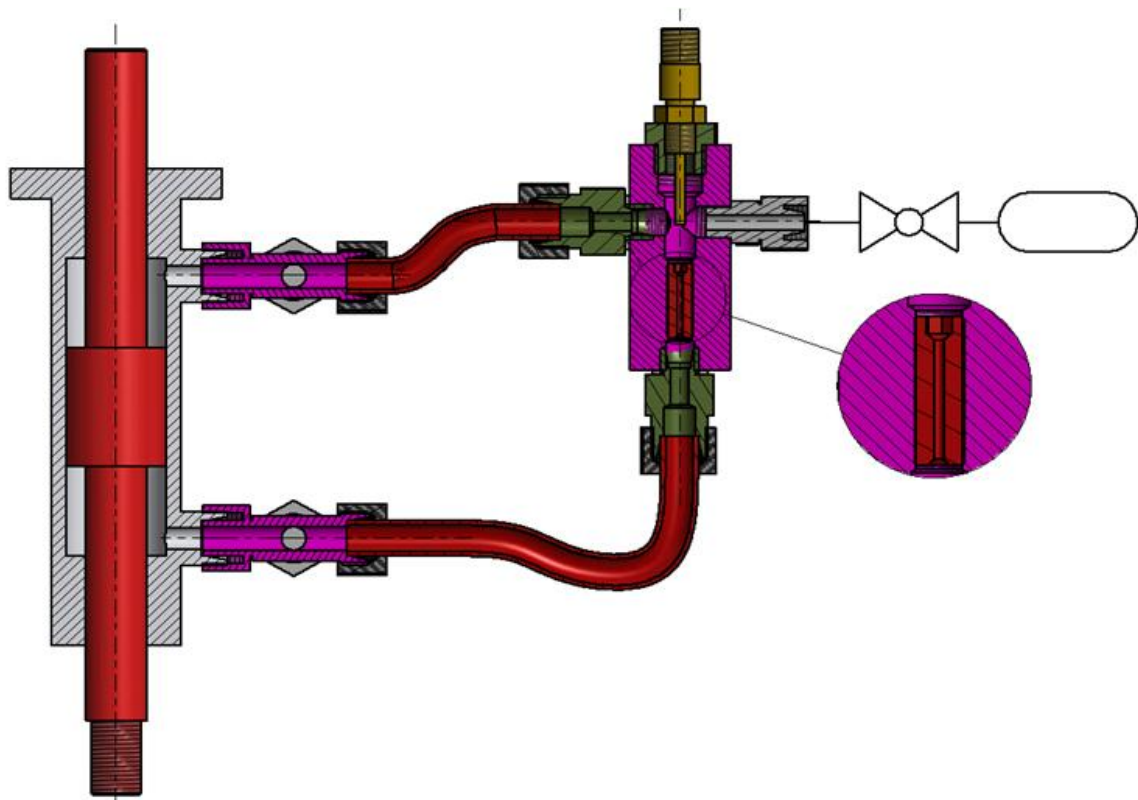
# Současný stav řešení disertační práce

## Verifikace magnetického modelu



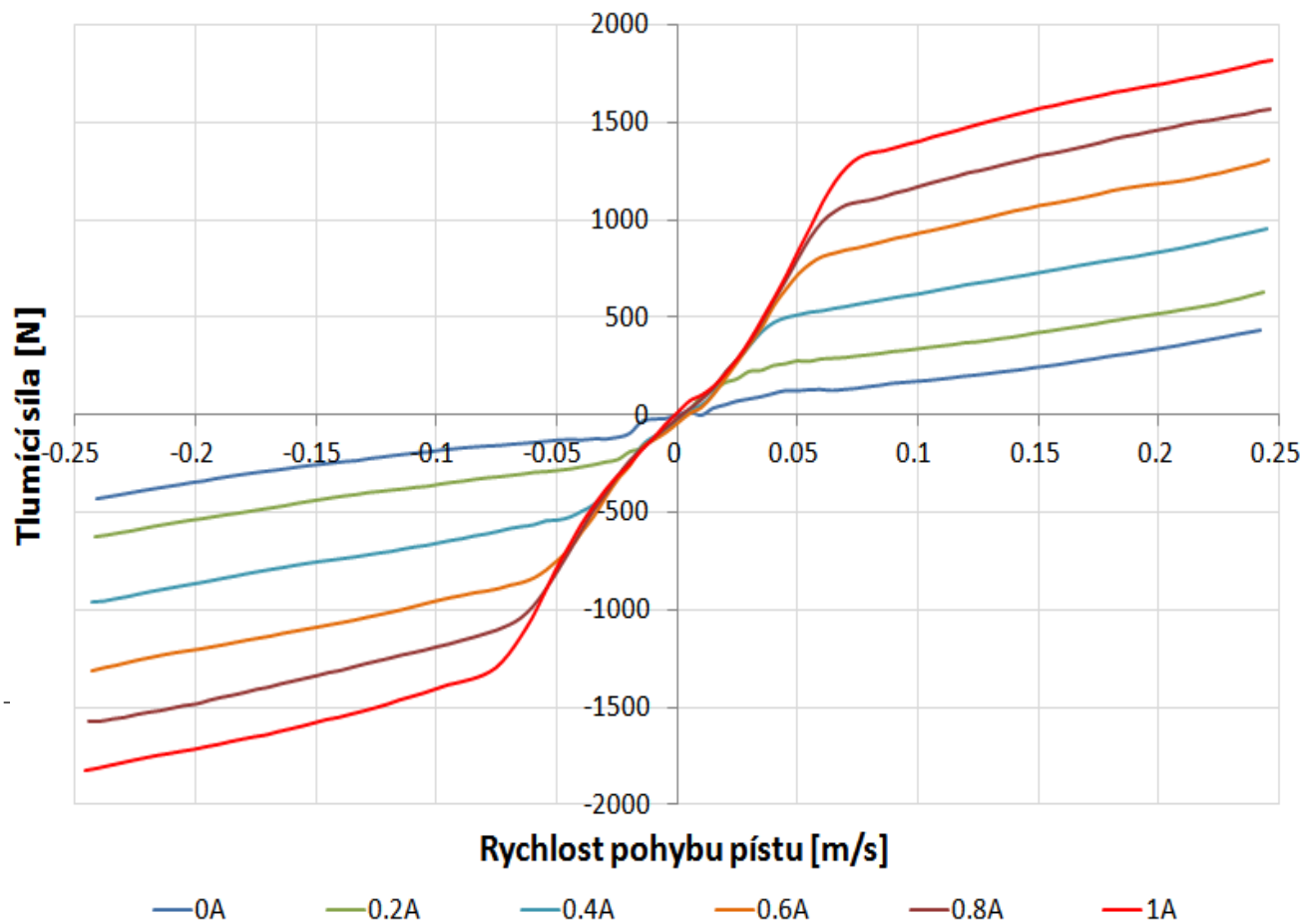
# Současný stav řešení disertační práce

## Verifikace hydraulického modelu









# Současný stav řešení disertační práce

## Funkční vzorek MR ventilu



# Současný stav řešení disertační práce

- Magnetické modely + verifikace 
- Hydraulické modely + verifikace 
- Pevnostní analýza + verifikace 
- Návrh a fyzická realizace MR ventilu 
- Experimentální stanovení F-v tlumiče 
- Experimentální stanovení časové odezvy 

# Literatura a projekty

## Článek v impaktovaném časopise:

STRECKER, Z.; MAZŮREK, I.; ROUPEC, J.; MACHÁČEK, O.; KUBÍK, M.; KLAPKA, M. Design of magnetorheological damper, with short time response. *JOURNAL OF INTELLIGENT MATERIAL SYSTEMS AND STRUCTURES*, 2015, roč. 26, č. 14, s. 1951-1958. ISSN: 1045- 389X. **IF 2,072**

## Články v konferenčních sbornících:

KUBÍK, M.; MACHÁČEK, O.; STRECKER, Z.; MAZŮREK, I. FEM model of magnetic circuit and its verification. In *Book of Proceeding of 56th International Conference of Machine Design Departments*. Nitra: Publishing Center SUA Nitra, 2015. s. 99-104. ISBN: 978-80-552-1377- 4.

KUBÍK, M.; MAZŮREK, I.; ROUPEC, J. Decreasing of sliding friction in hydraulic piston damper. In *Engineering mechanics 2015*. Prague: 2015. s. 170-171. ISBN: 978-80-86246-42- 0.

KUBÍK, M.; MAZŮREK, I. Design of semi- active magnetorheological valve. In *55th International Conference of Machine Design Department*. 2014. s. 45-50. ISBN: 978-80-01-05542- 7.

STRECKER, Z.; ROUPEC, J.; KUBÍK, M.; FRIEDEL, D. Experimental evaluation of MR damper time response on modified Groundhook algorithm efficiency. In *Engineering Mechanics 2014*. 1st. 2014. s. 600-603. ISBN: 978-80-244-4871- 1.

## Projekty:

Fond vědy – **MR technologie trendy a konstrukce**

Juniorský mezifakultní projekt - **Vývoj semi-aktivního magnetoreologického ventilu**

# Závěr

## Rok 2015

Otestování časové odezvy vyvinutého MR tlumiče

## Rok 2016

Publikace – Stanovení hydraulického odporu obtokové trysky v MR tlumiči

Publikace - Metodika návrhu semi-aktivního MR ventilu

## Rok 2017

Sepsání disertační práce



Děkuji vám za pozornost



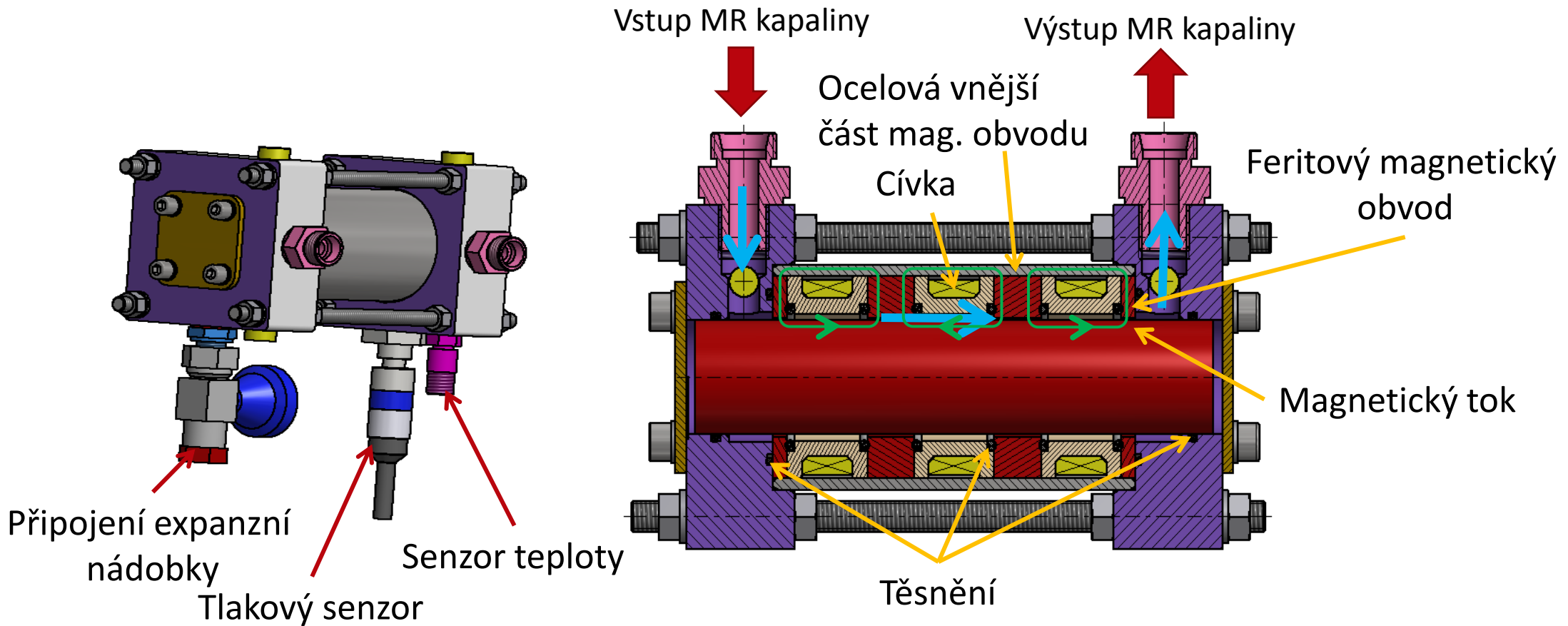
**Michal Kubík**

[y115760@stud.fme.vutbr.cz](mailto:y115760@stud.fme.vutbr.cz)

<http://uk.fme.vutbr.cz/>

# Otázky oponenta

Na str.36 je v pojednání sestava návrhu MR ventilu, který byl následně realizován. Mohl by autor konstrukční návrh ventilu podrobněji popsat?



# Otázky oponenta

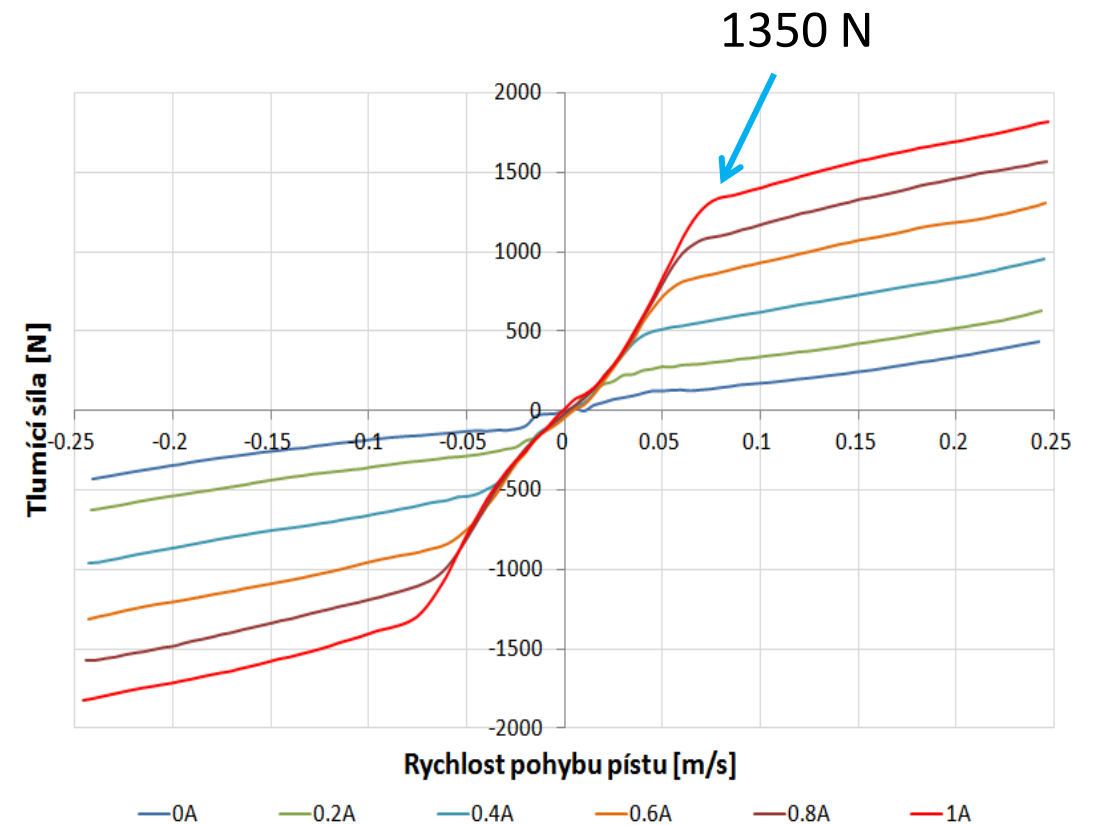
Jak byly voleny základní parametry navrženého MR ventilu? Předcházela návrhu matematická simulace jeho chování?

## Vstupní parametry:

- Z dynamického modelu pro simulátor vzpěry
- Maximální tlumící síla 1500 N při rychlosti 0,08 m/s
- Dynamický rozsah 8

## Matematické simulace:

- Magnetické modely
  - Hydraulické modely
  - Pevnostní modely
- } Geometrie MR ventilu



# Otázky oponenta

Mohl by autor objasnit, jak probíhá návrh zařízení dle „analyticko-syntetického poznávacího postupu“ citovaného na str. 34?

**Analýza** = myšlené rozložení zkoumaného předmětu na části, které jsou předmětem dalšího výzkumu.

**Syntéza** = myšlenkové sjednocení části v celek. Sledování celku.

Myšlené rozložení MR ventilu na jednotlivé konstrukční uzly → popis hydraulického či magnetického chování uzlu

Zkoumání zařízení jako celku. Magnetické či hydraulické chování MR ventilu.