

Vývoj magnetoreologického tlumiče odpružení pro kosmonautiku

Michal Kubík

Školitel: Doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

VUT v Brně

Seminar 2015, FSI VUT 18 listopadu 2015, Brno,
Česká Republika

Obsah

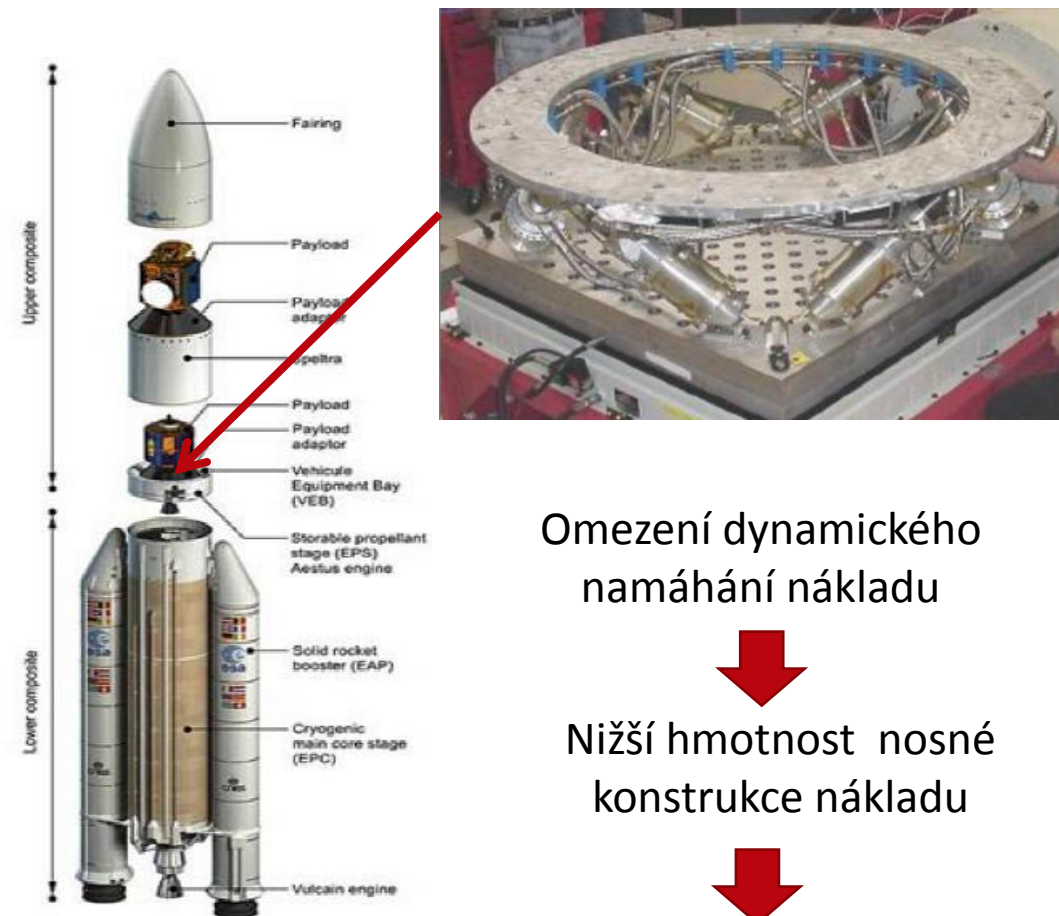
- Úvod
- Přehled současného stavu poznání
- Cíl práce
- Vědecká otázka a pracovní hypotéza
- Aktuální stav řešení dizertační práce
- Závěr



Úvod

- Systémy odpružení
 - Osobní automobily, výškové budovy, protetika či kosmické nosiče
- **Pasivní** systémy odpružení
 - Bez možnosti řízení
 - Vyroce spolehlivé
 - Nezávislé na dodávce energie
- **Aktivní** systémy odpružení
 - Vysoké nároky na energii a množství senzorů
 - Možná destabilizace systému (řízení)
 - Nastavení libovolné polohy
- **Semi-aktivní** systémy odpružení
 - Pouze disipace energie ze systému, řízení
 - Malé nároky na energii
 - Spolehlivost

Seminar 2015



Kosmický nosič

<http://www.cityoflondon.gov.uk/>

Omezení dynamického
namáhání nákladu



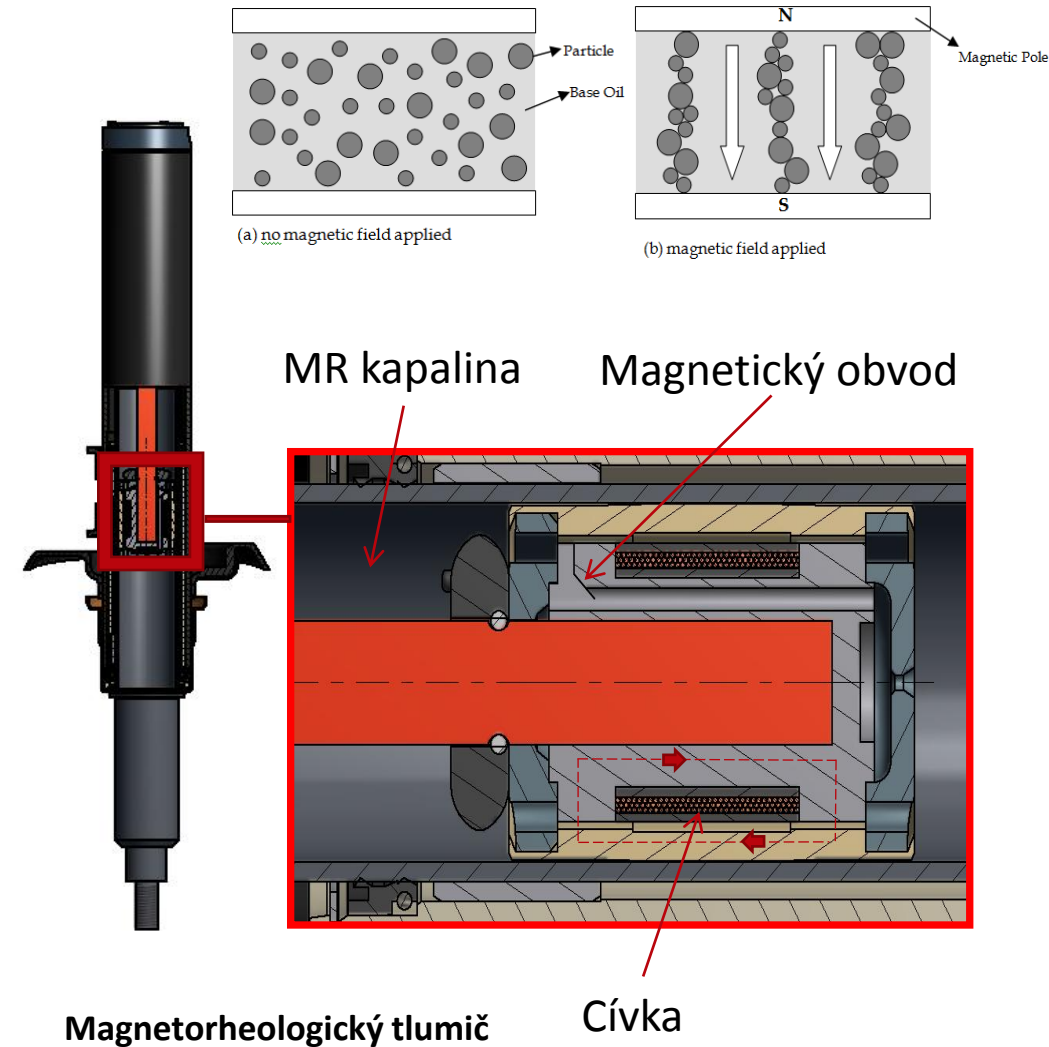
Nižší hmotnost nosné
konstrukce nákladu



Značná úspora nákladů

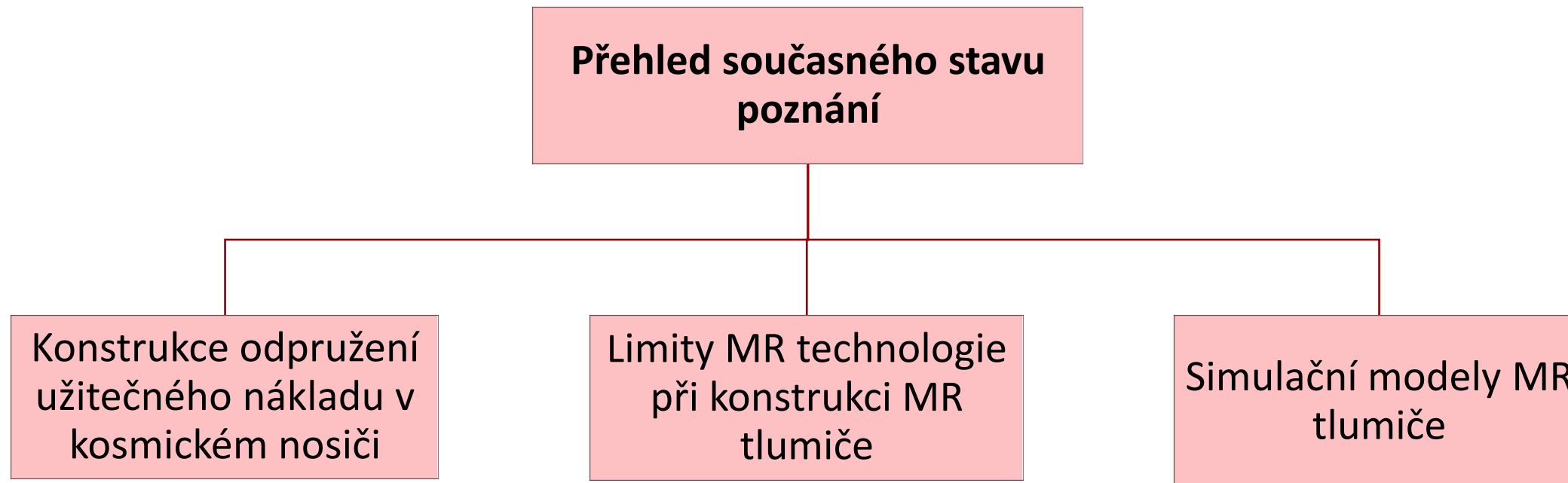
Úvod

- Magnetoreologický(MR) tlumič
 - Fail-safe
 - Jednoduchá konstrukce (spolehlivost)
 - Malé energetické nároky
- Pomocí magnetického pole ➔ změna zdánlivé viskozity



<http://www.autocarpro.in/>

Přehled současného stavu poznání

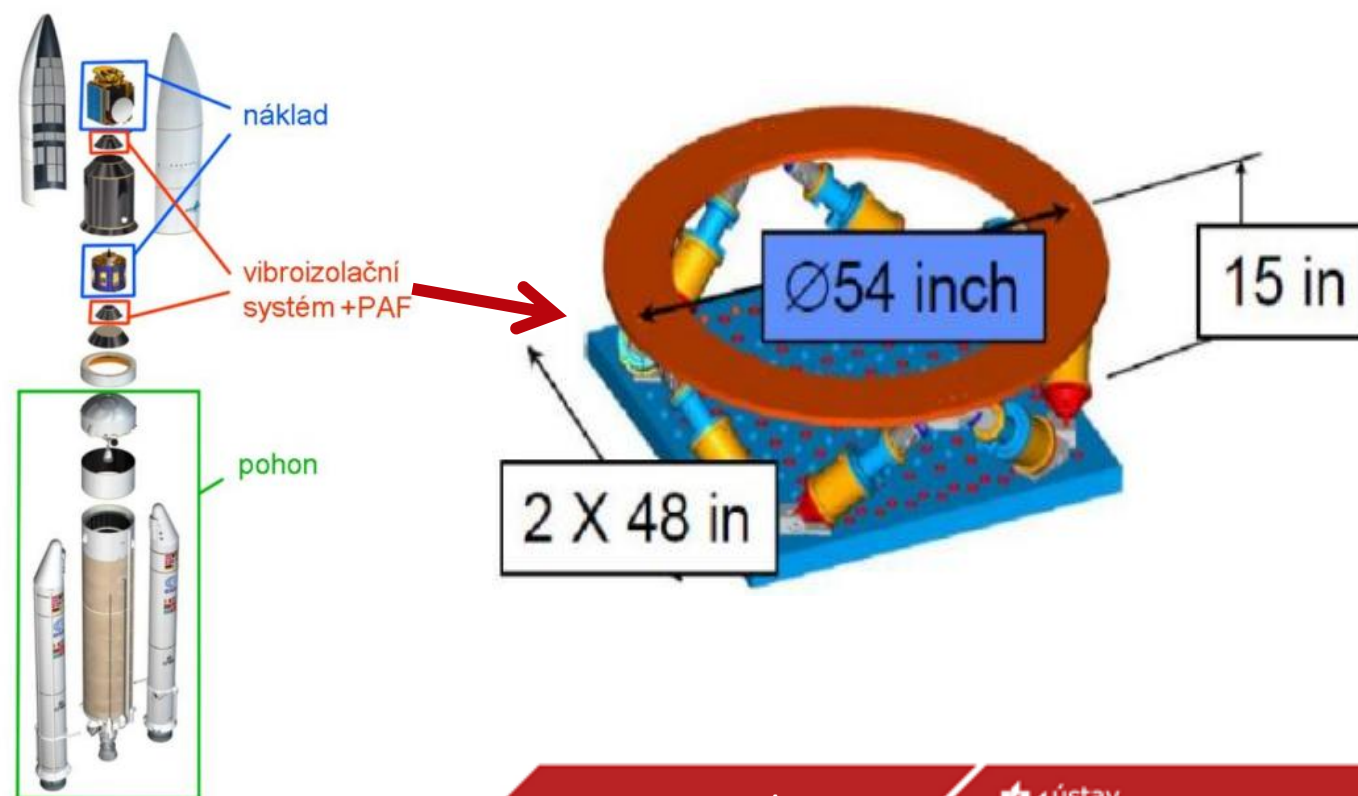


Přehled současného stavu poznání

Konstrukce odpružení užitečného nákladu v kosmickém nosiči

- Cunningham, 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 jednotku (plošinu)
- Systém složený ze dvou vlnovců (axiální a radiální tuhost)
- Tři-parametrický systém odpružení
- Pasivní tlumení (silikonový olej)



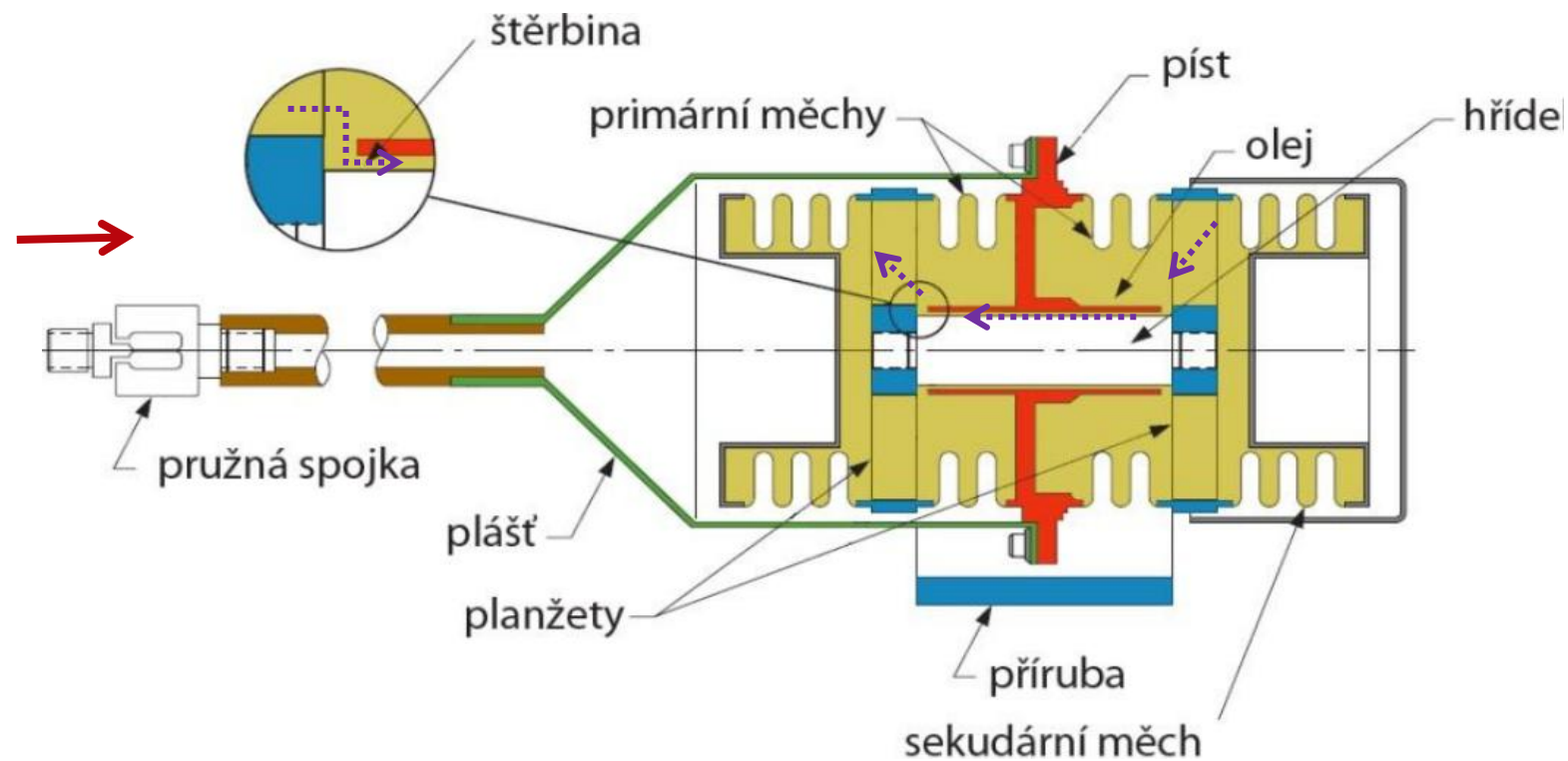
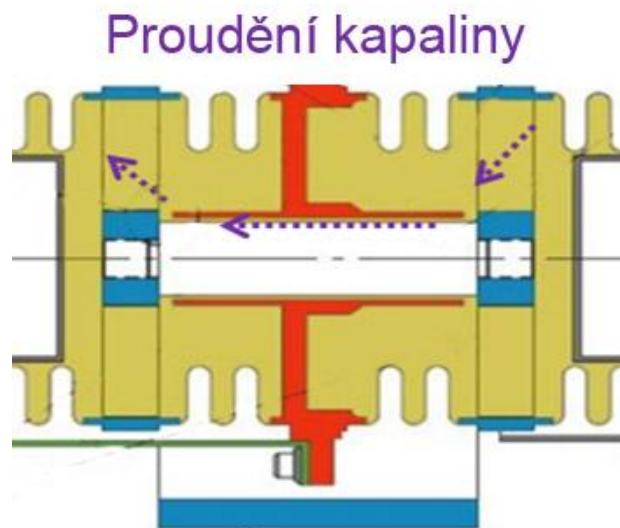
Přehled současného stavu poznání

Konstrukce odpružení užitečného nákladu v kosmickém nosiči

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

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

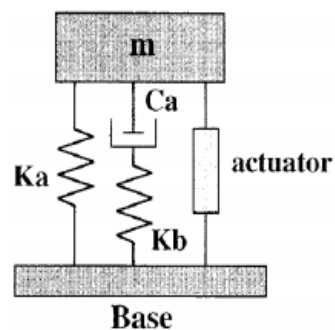
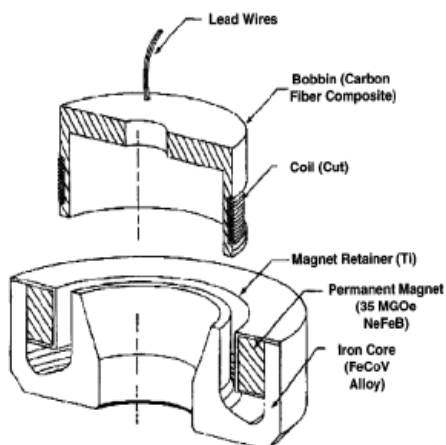
- Vývoj vzpěry pro tlumící a pružící jednotku (plošinu)
- Systém složený ze dvou vlnovců (axiální a radiální tuhost)
- Tři-parametrický systém odpružení
- Pasivní tlumení (silikonový olej)



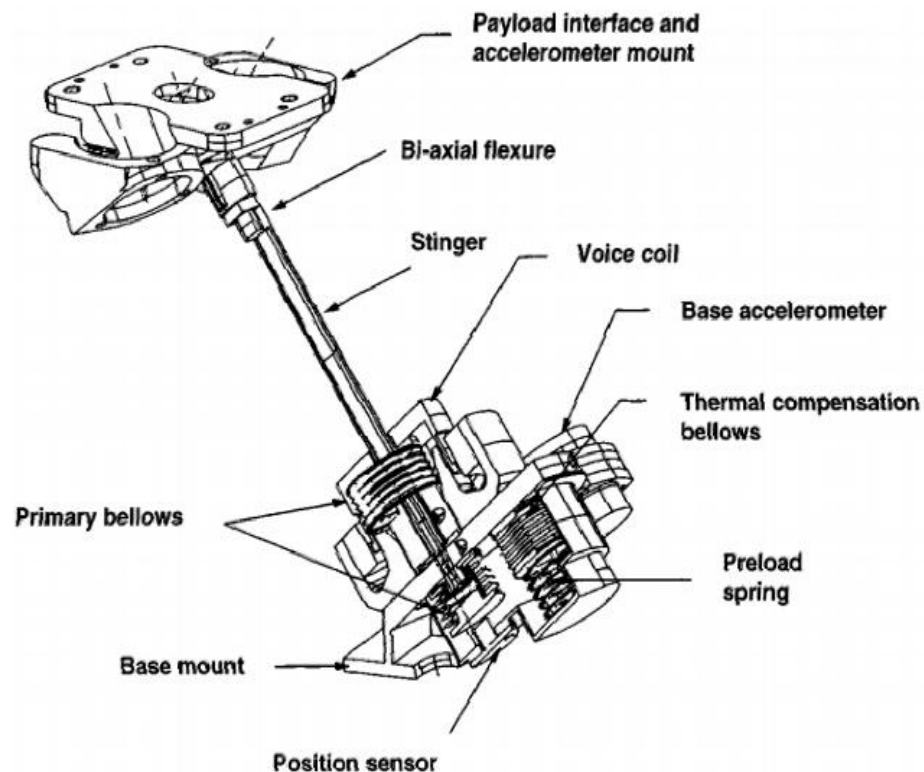
Přehled současného stavu poznání

Konstrukce odpružení užitečného nákladu v kosmickém nosiči

- Cunningham, 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 článek
- Adaptivní systém, cívkový aktuátor



Přehled současného stavu poznání

Limity MR technologie při konstrukci MR tlumiče

- Carlson, J. D., “MR fluid, foam and elastomer device”
- Jolly, M. R., „ Properties and applications of commercial magnetorheological fluids“
- Goncalves, F. D., „ Investigating the magnetorheological effect at high flow velocities“
- Roupec, J., „ Stability of magnetorheological effect during long term operation“
- Strecker, Z.,“The design of magnetorheological damper with short time response“
- Koo, J. H., „ A comprehensive analysis of the response time of MR dampers“

-Minimální objem kapaliny

$$V \geq \kappa \left(\frac{\eta_p}{\tau_{v(\text{field})}^2} \right) \left(\frac{F_{\text{on}}}{F_{\text{off}}} \right) F_{\text{on}} \cdot S$$

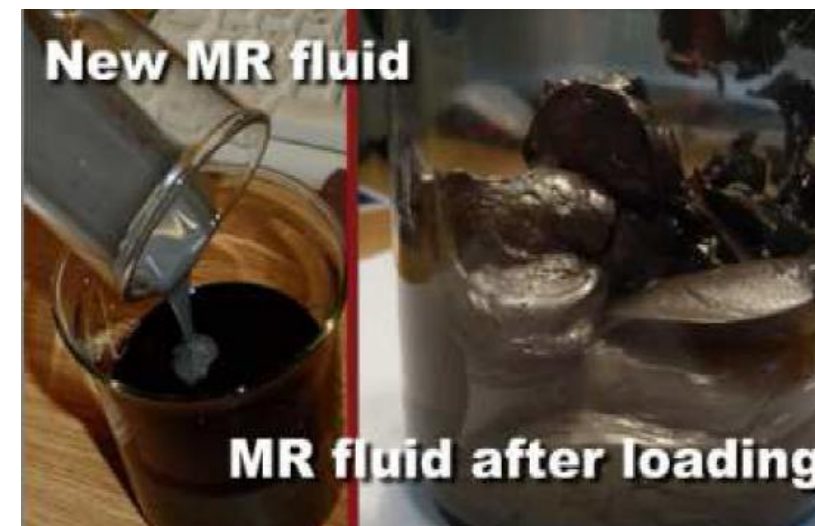
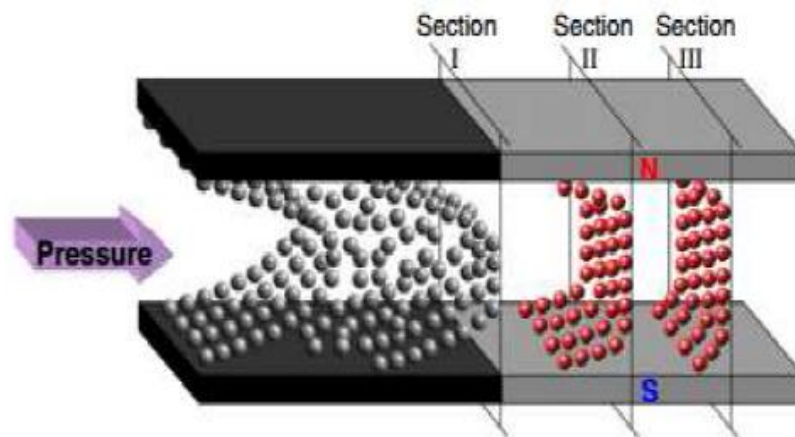
- Rozšiřuje poznatky o minimálním objemu kapaliny (ventilový mód)
- Abrazivní chování MR kapaliny
- Diskutují vhodný materiál těsnění
- Sedimentace

Přehled současného stavu poznání

Limity MR technologie při konstrukci MR tlumiče

- Carlson, J. D., “MR fluid, foam and elastomer device”
- Jolly, M. R., „ Properties and applications of commercial magnetorheological fluids“
- Goncalves, F. D., „ Investigating the magnetorheological effect at high flow velocities“
- Roupec, J., „ Stability of magnetorheological effect during long term operation“
- Strecker, Z., “The design of magnetorheological damper with short time response“
- Koo, J. H., „ A comprehensive analysis of the response time of MR dampers“

- Fluid dwell time = jak dlouho částice stráví v magnetickém poli
- Od 0,45 ms po 0,6 ms
- Provozní houstnutí MR kapaliny
- Degradace magnetických vlastností



Přehled současného stavu poznání

Limity MR technologie při konstrukci MR tlumiče

- Carlson, J. D., "MR fluid, foam and elastomer device"
- Jolly, M. R., „ Properties and applications of commercial magnetorheological fluids“
- Goncalves, F. D., „ Investigating the magnetorheological effect at high flow velocities“
- Roupec, J., „ Stability of magnetorheological effect during long term operation“
- Strecker, Z., "The design of magnetorheological damper with short time response"
- Koo, J. H., „ A comprehensive analysis of the response time of MR dampers“

- Vlivy, které zásadně ovlivňují časovou odezvu MR tlumiče
 - Indukčnost cívky - proudový regulátor
 - Vířivé proudy – materiál elektricky nevodivý a magneticky vodivý



Feritové materiály = časová odezva 1,5 ms

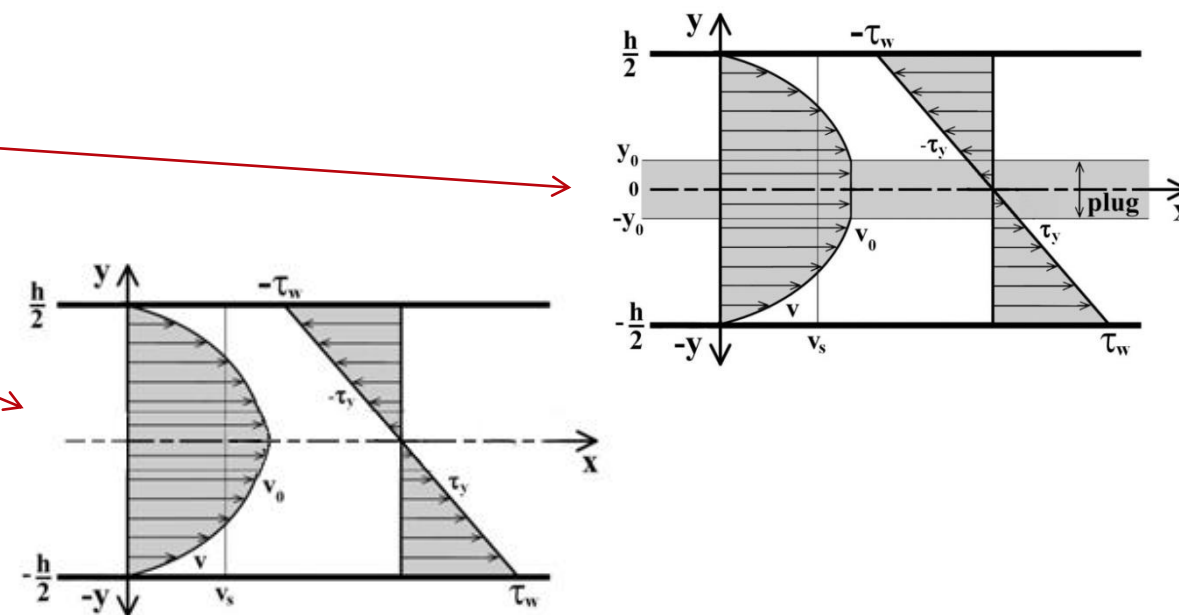
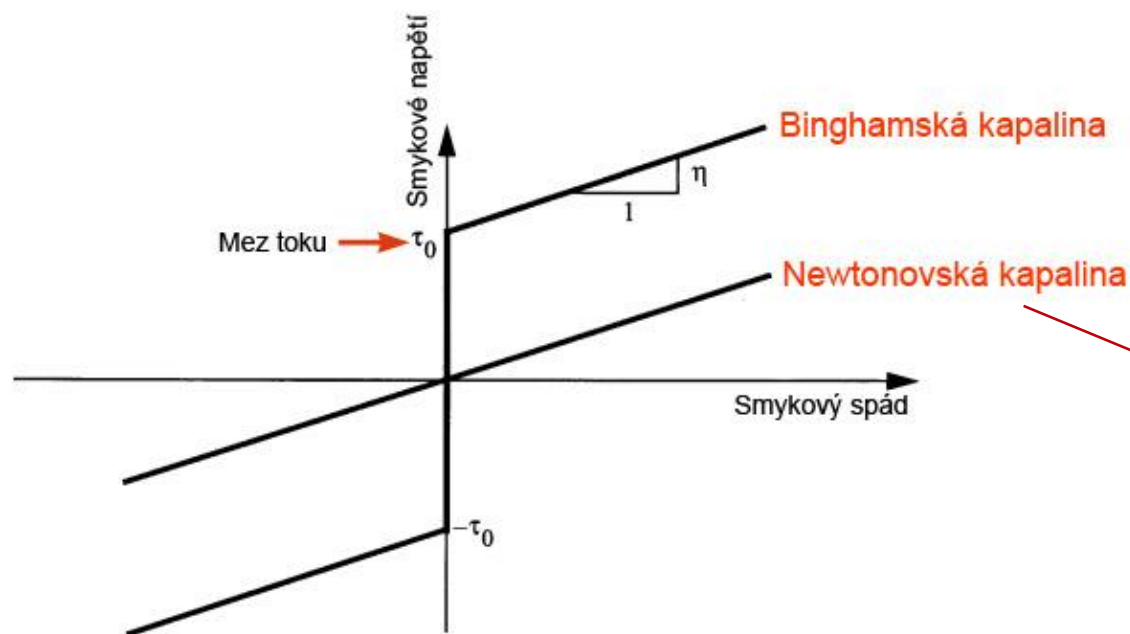


Přehled současného stavu poznání

Simulační modely MR tlumiče

- Yang, G., "Large-scale MR fluid dampers: modeling and dynamic performance considerations"
- Yoo, J. H., „Design of a High-efficiency Magnetorheological Valve “

- MR kapalina v magnetickém poli ➡ Bingham model
- Mimo magnetické pole ➡ Newton model
- Neexistuje vhodný hydraulický model MR tlumiče
- Limitujícím parametrem z magnetického hlediska ➡ průměr jádra
- Čím vyšší relativní permeabilita tím menší rozměry ventilu



Přehled současného stavu poznání

Konstrukce odpružení užitečného nákladu		Limity MR technologie při konstrukci MR tlumiče		Simulační modely MR tlumiče	
Těsnění bez průsaků (vlnovce)	●	Provozní teplota MR kapaliny	●	Hydraulický odpor magnetické štěrbin	✘
Poddajnost systému (tuhost)	●	Minimální objem MR kapaliny v aktivní oblasti	●	Hydraulický odpor viskózní štěrbin	✘
		Teplotní závislost viskozity MR kapaliny	✘	Velikost magnetické štěrbin	●
		Těsnění pístnice	● / ✘	B-H křivky dostupných materiálů	● / ✘
		Dwell time	●		
		Provozní houstnutí	●		
		Časová odezva MR tlumiče	●		

Upřesnění cílů a názvu dizertační práce

Pro kosmické nosiče → rychlý semi-aktivně řízený MR tlumič

Tradiční metodika návrhu adaptivního MR tlumiče → **selhává** pro rychlý semi-aktivně řízený MR tlumič

- Významnou roli hraje **poddajnost** tlumícího systému
- Magnetický obvod z **feritových** materiálů (křehké, nízká pevnost, nízké nasycení magnetickým polem)

Neexistuje vhodná metodika návrhu rychlého semi-aktivního MR ventilu

Nový název dizertační práce:

Metodika návrhu rychlého semi-aktivního magnetoreologického ventilu

Cíle dizertační práce

Hlavním cílem:

Vývoj metodiky návrhu rychlého semiaktivního magnetoreologického ventilu. Strategie metodiky se zaměřuje na minimalizaci časové odezvy celého tlumícího systému.

Dílčí cíle:

- Stanovení limitujících parametrů MR technologie
- Doplnění metodiky o reologické vlastnosti komerčně dostupných MR kapalin
- Sestavení univerzálních simulačních modelů
- Návrh a realizace experimentálního zařízení
- Experimenty s cílem verifikovat simulační modely
- Ověření efektivnosti MR tlumiče

Vědecká otázka a pracovní hypotéza

Vědecká otázka:

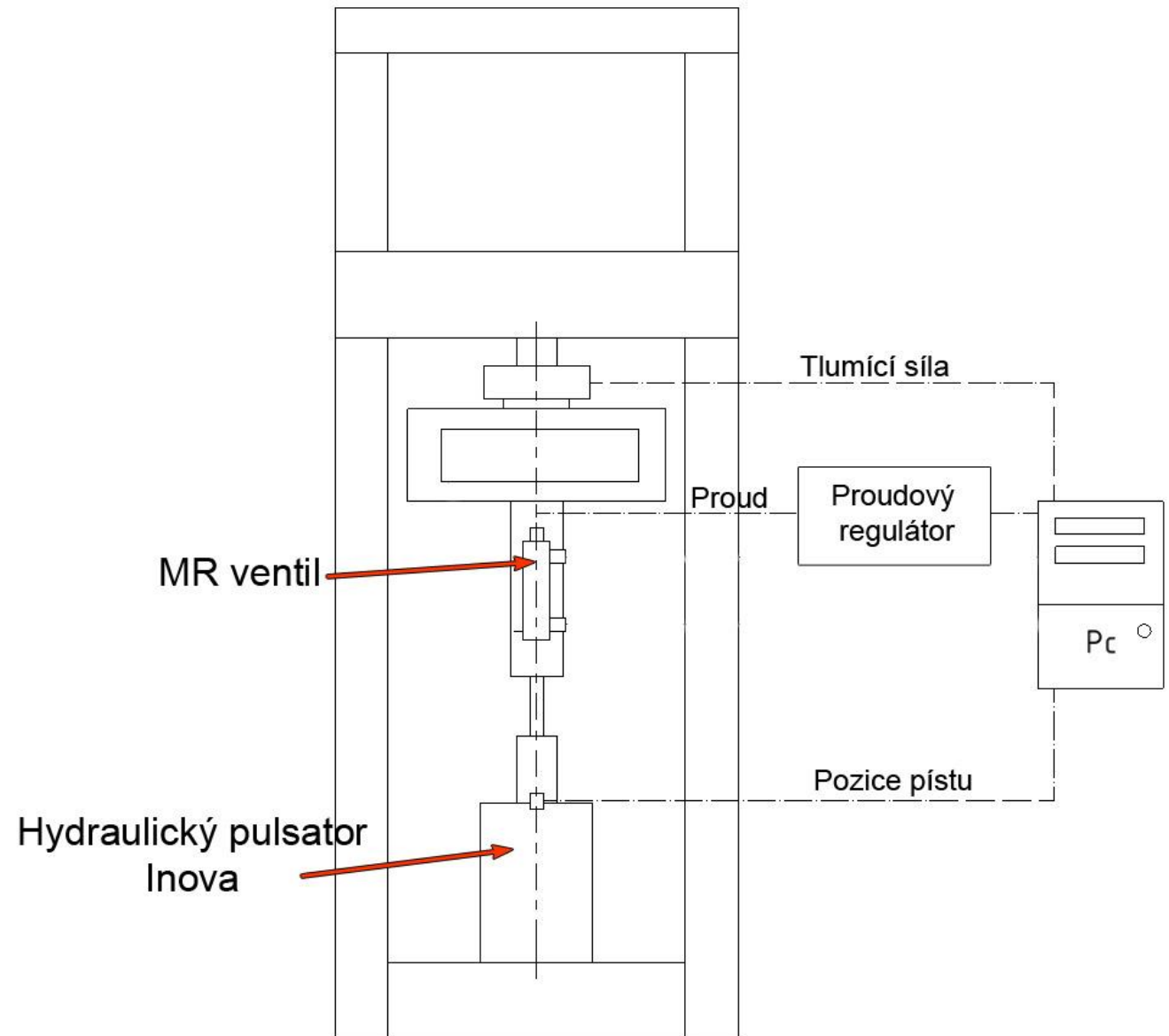
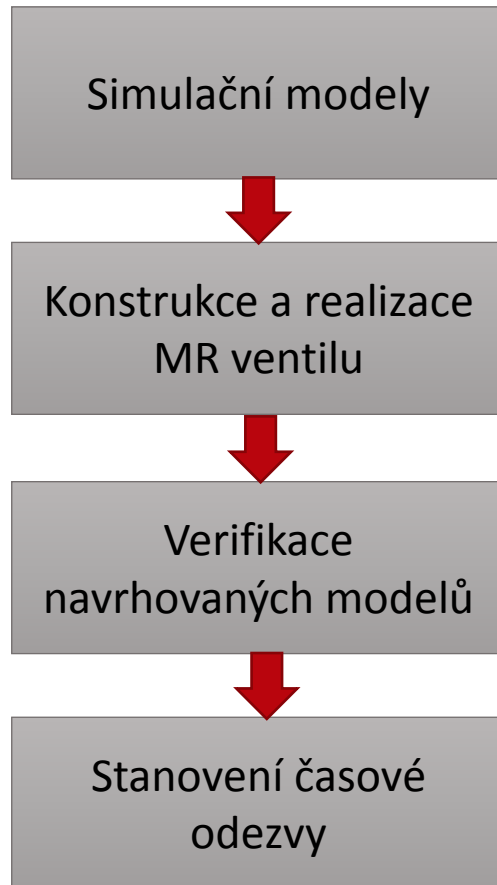
Je možné zkonstruovat semi-aktivní magnetoreologický tlumič, který by výrazně snížil přenos vibrací v exponovaném frekvenčním pásmu do 50 Hz?

Pracovní hypotéza:

Maximální frekvence vibrací 50 Hz → řídicí frekvence 10x větší jak max. frekvence (500 Hz) → časová odezva 2 ms

Feritový magnetický obvod + vhodný proudový regulátor → 1,5 ms

Návrh způsobu řešení



Současný stav řešení dizertační práce

● Dílčí cíle:

- ✓ ✗ Doplnění metodiky o reologické vlastnosti komerčně dostupných MR kapalin
- ✓ Sestavení univerzálních simulačních modelů
- ✓ Návrh a realizace experimentálního zařízení
- ✓ Experimenty s cílem verifikovat simulační modely
- ✓ ✗ Ověření efektivity MR tlumiče

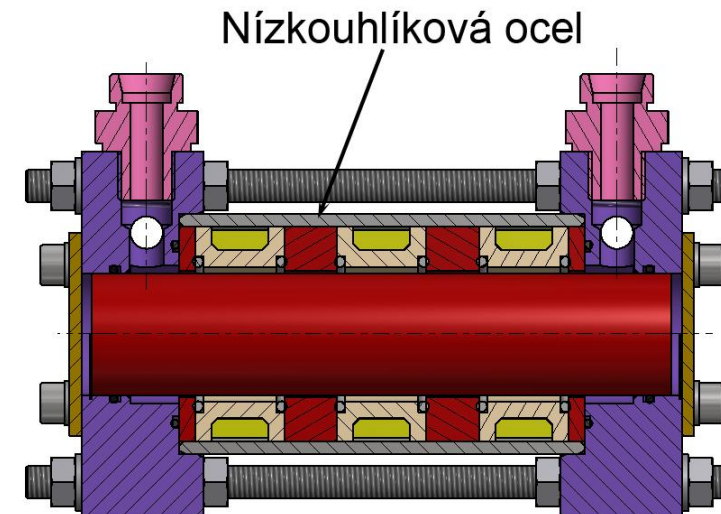
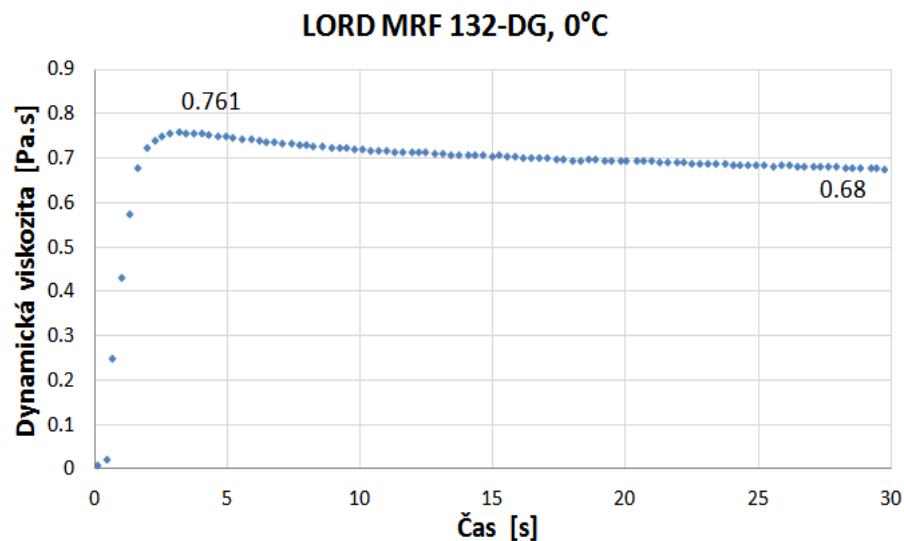


Naměřená časová odezva okolo **4 ms** (rychlost nad 60 mm/s)



Současný stav řešení dizertační práce

- Pokles viskozity MR kapaliny v čase při nízkých teplotách (5°C a níže)
 - Pokles viskozity zřejmě způsoben ohřevem MR kapaliny na povrchu rotoru
 - Změna metodiky testování
- Časová odezva větší než předpokládaná
 - Vnější trubka vyrobena z oceli – zjištění vlivu na časovou odezvu
 - Zvýšení tuhosti MR ventilu
 - Ověření, že je nutné pro efektivní regulaci 10x větší řídicí frekvence



Publikace 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: 978-80-214-4871- 1.

Projekty:

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

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

Závěr

- Z poznatků z přehledu současného stavu poznání ➔ úprava názvu a cílů dizertační práce

Metodika návrhu rychlého semi-aktivního magnetoreologického ventilu

- Současný stav řešení:
 - Sestaveny simulační modely a experimentálně ověřeny
 - Navrhnutá konstrukce MR ventilu a fyzicky realizována
 - Naměřená časová odezva
- Je třeba se zaměřit na:
 - Úpravu metodiky testování reologických vlastností MR kapalin
 - Snížení časové odezvy navrhnutého MR ventilu



Děkuji vám za pozornost

Michal Kubík

y115760@stud.fme.vutbr.cz

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