



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# **MAGNETICKÉ KAPALINY POUŽÍVANÉ VE FLUIDNÍM INŽENÝRSTVÍ**

MAGNETIC FLUIDS USED IN THE FLUIDS ENGINEERING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN KŮREČKA**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. SIMONA FIALOVÁ, PH.D.**

BRNO 2014



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jan Kůrečka 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:

### **Magnetické kapaliny používané ve fluidním inženýrství**

v anglickém jazyce:

### **Magnetic fluids used in the fluids engineering**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Literární rešerše dostupných magnetických kapalin používaných v technice s ohledem na jejich fyzikální vlastnosti a jejich použití např. v ložiscích a možnosti řízení.

Cíle bakalářské práce:

Roztřídění dostupných informací o fyzikálních vlastnostech magnetických kapalin, zejména jejich možnosti použití v ložiscích, možnosti řízení eventuálně mazání ložisek.

Seznam odborné literatury:  
internet, zahraniční prameny

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Simona Fialová, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 27.11.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Magnetické kapaliny jsou unikátní kombinací kapalin a magnetických materiálů a jsou dnes používány v mnoha různých aplikacích. Tato práce popisuje vlastnosti magnetoreologických (MR) kapalin a ferrokapalin, jejich rozdíly a možnosti praktických aplikací. Dále se práce věnuje příkladům praktických aplikací. Jsou uvedeny příklady dnes vyráběných magnetických kapalin a porovnání vybraných parametrů.

## **ABSTRACT**

Magnetic fluids are unique combination of fluids and magnetic materials and they are today used in many different applications. This thesis describes the characteristics of magnetorheological (MR) fluids and ferrofluids, their differences and possibilities of practical uses. Examples of current magnetic fluids are given and comparison of their selected properties.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Magnetické kapaliny, MR kapaliny, ferrokapaliny, ferrokapalinové ucpávky, tlumiče

## **KEYWORDS**

Magnetic fluids, MR fluids, ferrofluids, ferrofluid seals, dampers

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KŮREČKA, Jan. *Magnetické kapaliny používané ve fluidním inženýrství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 34 s. Vedoucí práce Ing. Simona Fialová, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Magnetické kapaliny používané ve fluidním inženýrství vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28. května 2014

.....  
Jan Kůrečka

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Simoně Fialové Ph.D. za ochotu a cenné připomínky při vedení této bakalářské práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>CHARAKTERISTIKA MAGNETICKÝCH KAPALIN .....</b>	<b>10</b>
2.1	MAGNETOREOLOGICKÝ EFEKT .....	10
2.2	SLOŽENÍ MAGNETICKÝCH KAPALIN .....	11
2.2.1	<i>Magnetické částice</i> .....	11
2.2.2	<i>Nosná kapalina</i> .....	11
2.2.3	<i>Surfaktant</i> .....	12
2.3	MAGNETOREOLOGICKÉ KAPALINY .....	12
2.4	FERROKAPALINY .....	13
<b>3</b>	<b>VLASTNOSTI MAGNETICKÝCH KAPALIN.....</b>	<b>15</b>
3.1	ZATĚŽOVACÍ MÓDY MAGNETICKÝCH KAPALIN.....	15
3.1.1	<i>Ventilový mód</i> .....	15
3.1.2	<i>Smykový mód</i> .....	15
3.1.3	<i>Tlakový mód</i> .....	16
3.2	MAGNETICKÉ VLASTNOSTI .....	16
3.3	VISKOZITA.....	18
3.4	STABILITA A REDISPERZIBILITA .....	19
<b>4</b>	<b>PŘÍKLADY POUŽITÍ MAGNETICKÝCH KAPALIN .....</b>	<b>19</b>
4.1	TLUMIČE.....	19
4.2	LOŽISKA.....	19
4.3	BRZDY .....	20
4.4	MAGNETICKÉ UCPÁVKY .....	20
4.5	VYUŽITÍ V REPRODUKTORECH.....	21
4.6	KROKOVÉ MOTORY .....	22
4.7	OBRÁBĚNÍ.....	22
<b>5</b>	<b>SROVNÁNÍ MAGNETICKÝCH KAPALIN .....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>POROVNÁNÍ VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ.....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>32</b>
<b>PŘÍLOHA 1</b>	<b>SLOVNÍČEK POJMŮ .....</b>	<b>33</b>



# 1 ÚVOD

Magnetické kapaliny spadají do kategorie moderních materiálů, někdy označovaných jako *Smart materiály*, které se vyznačují jedinečnými vlastnostmi a z nich plynoucími možnostmi použití.

Jedinečný atribut těchto kapalin je možnost měnit fyzikální vlastnosti působením vnějšího magnetického pole. Této změny je dosaženo magnetoreologickým jevem, vlivem magnetického pole na magnetickou kapalinu se uspořádají póly částic ve směru magnetických siločar tohoto pole a tím se změní hydromechanické vlastnosti této kapaliny.

Magnetické kapaliny se skládají z magnetických částic rozptýlených v nosné kapalině, případně ještě mohou být obsaženy další látky zajišťující stabilitu magnetické kapaliny, nejvýznamnější z nich jsou surfaktanty. Ty mají za úkol zabránit magnetickým částicím v shlukování a sedimentaci.

Magnetické kapaliny se dělí na Magnetoreologické kapaliny (MR kapaliny) a ferrokapaliny, tyto se mezi sebou liší především velikostí částic. MR kapalin jde o oblast mikrometrů a částice ferrokapaliny jsou v řádu nanometrů. Rozdíl velikostí hraje klíčovou roli v jejich odlišném magnetickém chování.

## 2 CHARAKTERISTIKA MAGNETICKÝCH KAPALIN

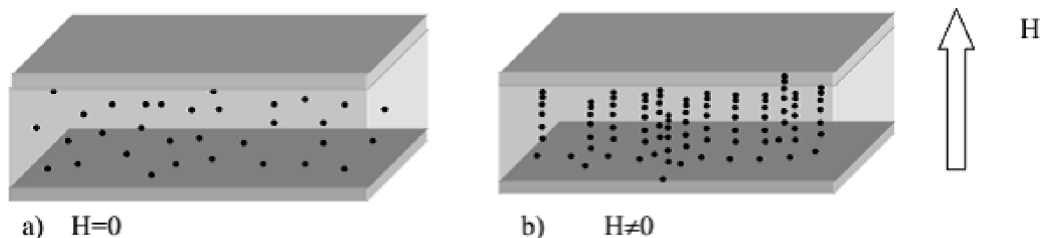
Jako magnetické kapaliny jsou označovány ferrokapaliny a magnetoreologické kapaliny (MR kapaliny), které mohou vlivem vnějšího magnetického pole měnit své vlastnosti, jako jsou viskozita a mez kluzu. Rozdíl mezi nimi je ve velikosti částic rozptýlených v nosné kapalině, které jsou zodpovědné za magnetické chování. Z toho vyplývají i rozdílné možnosti použití. Změny vlastností působením vnějšího magnetického pole je možno docílit permanentními magnety i pomocí elektromagnetů, tato změna se nazývá magnetoreologickým efektem.

Pro efektivní využití ferrokapalin a MR kapalin je třeba, aby tento efekt byl vratný a po odstranění vnějšího magnetického pole došlo ke změně vlastností kapaliny do původního stavu. Díky tomu bude změna vlastností při použití stejného magnetického pole při stejných podmínkách pokaždé stejná. Aby to bylo možné, jsou kladeny na částice obstarávající magnetickou interakci nároky jako nízká koercivita a remanence.

Podobným materiálem jako ferrokapaliny a MR kapaliny jsou elektroteologické kapaliny (ER kapaliny). Zde je docílen podobný efekt jako u magnetických kapalin aplikací elektrického pole na kapalinu, která od sebe izoluje částice, ty se působením elektrického pole polarizují a vytvářejí řetězovitou strukturu podobně jako MR kapaliny [1]. Těmito kapalinami se tato práce nezabývá.

### 2.1 Magnetoreologický efekt

Vlivem magnetického pole se částice v kapalině začnou formovat do řetězovitých útvarů připomínající magnetické siločáry. To má za následek zvýšení viskozity a pro MR kapaliny vytvoření meze kluzu, pod kterou se kapalina chová podobně jako pevná látka.



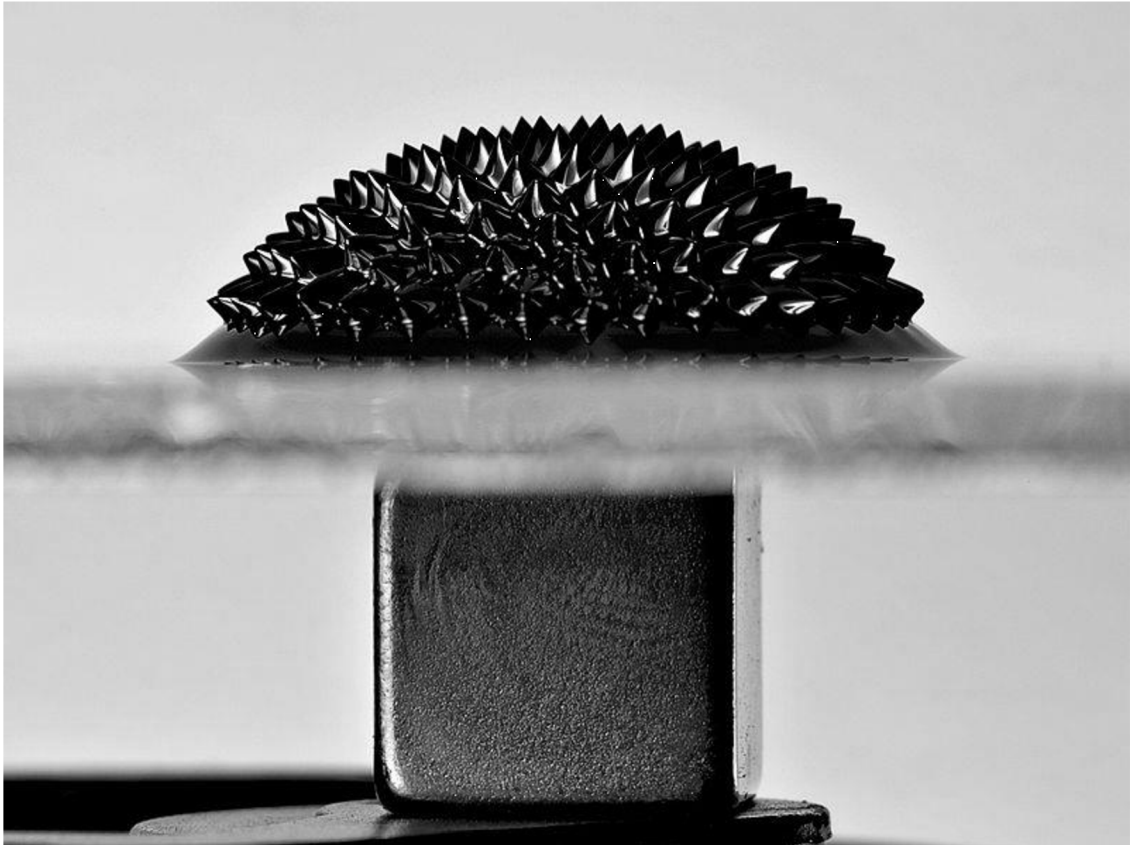
Obr. 1 Zformování částic ve směru magnetického pole [1]

Změny viskozity a hodnoty meze kluzu jsou závislé na intenzitě magnetického pole, s jeho vyšší intenzitou se zvyšují hodnoty těchto vlastností.

Tento jev lze nazvat také magnetoviskózním efektem. Jak název napovídá, jde o změnu viskozity vlivem magnetického pole. Toto označení se používá u ferrokapalin, protože se u nich v aktivovaném stavu mění viskozita [25].

Při působení vnějšího magnetického pole hovoříme o magnetické kapalině v aktivovaném stavu, bez vlivu magnetismu je kapalina ve stavu neaktivovaném.

Tento jev lze také efektně demonstrovat na volné hladině magnetické kapaliny. Bez vlivu magnetického pole je hladina vodorovná, ale pomocí dostatečně silného magnetického pole, například přiblížením pólu permanentního magnetu, dojde k vytvoření jehlicovitých útvarů ve směru siločar (obr. 2). Tvar a velikost těchto jehlic je výsledkem působení magnetické síly na částice v kapalině, gravitace a povrchového napětí na rozhraní kapaliny a okolního prostředí.



*Obr. 2 Vliv magnetického pole na volnou hladinu magnetické kapaliny [15]*

Podobná demonstrace vlivu magnetického pole je odklonění proudu magnetické kapaliny, například při toku shora dolů pomocí magnetu [10].

## **2.2 Složení magnetických kapalin**

Magnetické kapaliny se skládají ze tří základních složek: [1][2]

### **2.2.1 Magnetické částice**

Magnetické částice jsou zprostředkovatelem magnetické interakce, jejich velikost se u ferrokapalin pohybuje v jednotkách až desítkách nanometrů, u MR kapalin jsou částice od desetin po desítky mikrometrů. Z chemického hlediska jde často o sloučeninu železa s jiným prvkem. Například u ferrokapalin oxidy železa  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , u obou druhů magnetických kapalin je také využíváno práškového železa, slitin železa s kobaltem, protože mají vysokou hodnotu magnetické saturace [1].

Na magnetické částice jsou z hlediska vlastností kladeny nároky na co nejvyšší hodnotu magnetizace, nízkou koercivitu a magnetickou měkkost.

### **2.2.2 Nosná kapalina**

Nosná kapalina, někdy označována jako základová kapalina apod. je médium, ve kterém jsou částice rozptýleny. Tuto funkci vykonávají různé silikonové, syntetické, polosyntetické a minerální oleje, voda a jiné látky. Pro speciální případy, jako například seismický tlumič, může

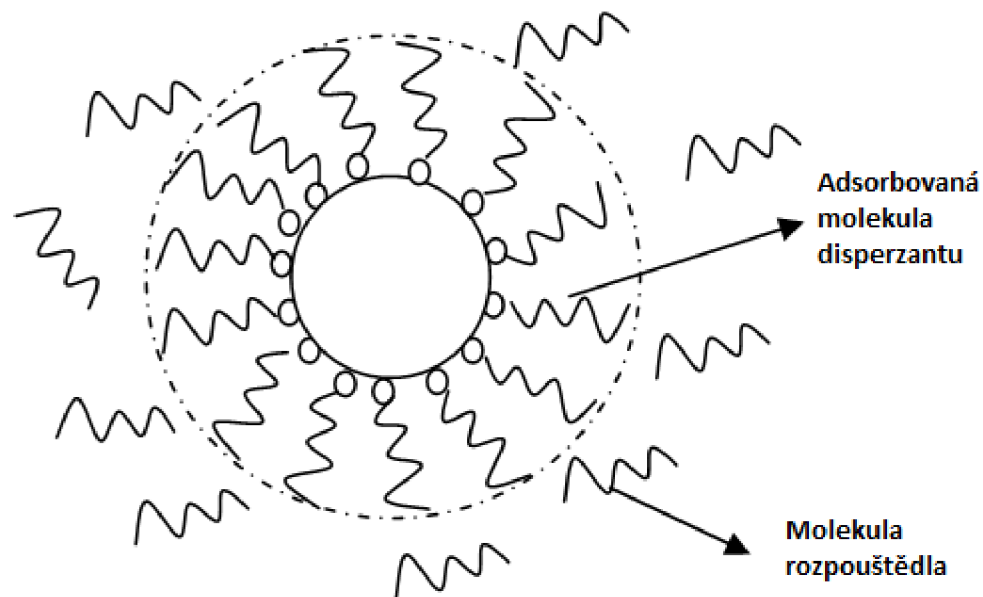
být vhodné médium gel s vysokou viskozitou, aby bylo potlačeno usazování částic vlivem gravitace.

Nosná kapalina se významně podílí na výsledných vlastnostech magnetické kapaliny a to jak v aktivovaném tak i neaktivovaném stavu. Určuje viskozitu magnetické kapaliny v neaktivovaném stavu, významně se podílí na výsledné hustotě a v neposlední řadě volba nosné kapaliny ovlivňuje také rozsah pracovních teplot [1].

### 2.2.3 Surfaktant

Surfaktant (povrchově aktivní látka, tenzid) působí proti aglomeraci a usazování částic. Toho je dosaženo tím, že surfaktant se naváže jedním koncem na částici a na druhém konci má v závislosti na použité látce buď kladný, nebo záporný náboj. Částice se stejným nábojem se pak v kapalině přirozeně odpuzují a nedochází k jejich spojování do větších celků. Látka je na povrchu částic a zabraňuje shlukování částic, což by mělo za následek snížení až úplné potlačení magnetoreologického jevu. Protože surfaktant způsobuje vzájemné odpuzování jednotlivých částic, má vliv i na hodnotu magnetické saturace kapaliny. Často je využívána například kyselina olejová [1],[4].

Mimo tyto tři složky mohou být využity další aditiva, například pro změnu pH nosné kapaliny nebo antioxidační činidlo, pro zvýšení odolnosti a životnosti částic [1].



Obr 3. Magnetická částice se surfaktantem na povrchu [1]

## 2.3 Magnetoreologické kapaliny

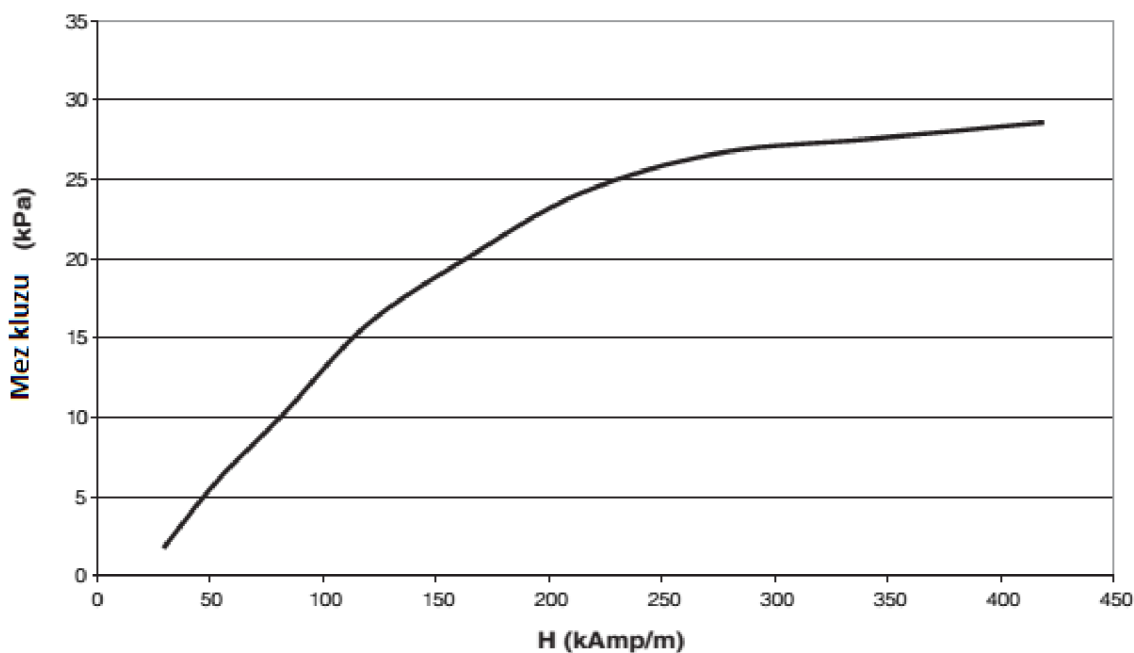
Magnetoreologické kapaliny (MR kapaliny) jsou suspenzí multidoménových a magneticky měkkých částic o velikosti několika mikrometrů v nosné kapalině. Rozměr částic má vliv na hodnotu magnetické saturace, větší částice mají tuto hodnotu vyšší, ale zároveň

se zvětšováním částic zvětšuje problém s jejich usazováním. Určitým řešením je použít různé velké částice. Tím lze také dosáhnout využití maximálního možného objemového poměru částic v kapalině, aniž by došlo k přílišnému zvýšení viskozity magnetoreologické kapaliny v neaktivním stavu. Částice jsou ferromagnetika nebo ferrimagnetika [1].

V neaktivovaném stavu vykazují MR kapaliny vykazují z hlediska reologie podobné chování a podobné hodnoty dynamické viskozity jako nátěrové hmoty. Aplikací vnějšího magnetického pole se viskozita během několika milisekund zvyšuje až  $10^5$ – $10^6$  krát. Pokud je magnetické pole odstraněno, vrací se viskozita kapaliny na původní hodnotu před aktivací [1].

Ve srovnání s ferrokapalinami se při zformování částic vlivem magnetického pole začne kapalina chovat jako pevná látka. Budeme-li poté na kapalinu působit smykovým napětím, bude kapalina až do určité hodnoty tohoto napětí odolávat pohybu a po dosažení tohoto napětí se začne znovu chovat jako kapalina a bude proudit. Hodnotu tohoto napětí označujeme jako *mez kluzu* (mez tekutosti) a je závislá na parametrech magnetického pole (viz obr. 4) [1].

#### Mez kluzu vs. intenzita magnetického pole



Obr. 4 Závislost meze kluzu MR kapaliny na intenzitě magnetického pole [12]

Výsledné atributy MR kapaliny ovlivňují vlastnosti magneticky aktivní fáze (magnetické fáze), nosné kapaliny a případných aditiv. Pro částice to jsou: velikost částic, tvar částic, hustota, distribuce (ve smyslu rozdělení) velikostí částic, magnetická saturace a koercivita [1].

## 2.4 Ferrokapaliny

Ferrokapaliny jsou koloidní suspenze částic o rozměrech několika nanometrů. Díky jejich velikosti má významný vliv na problém usazování částic Brownův pohyb. Přídavné látky se využívá pro zajištění chemickou stability a proti vzájemnému shlukování částic.

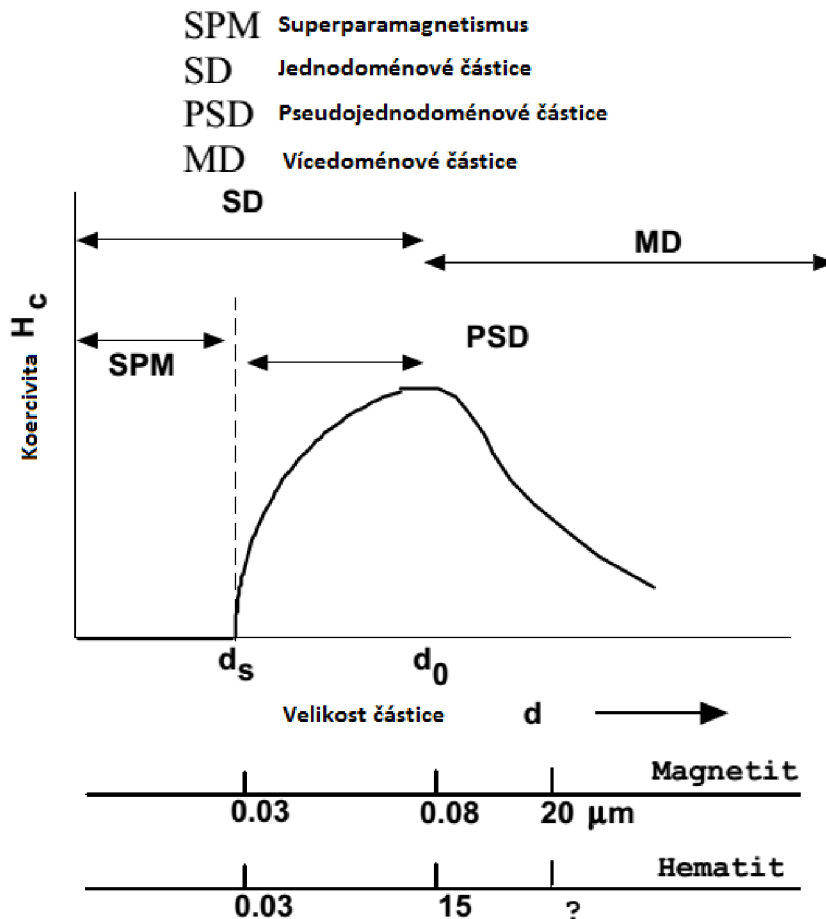
Ferrokapaliny se od MR kapalin liší tím, že mají nulovou mez kluzu a magnetické pole mění viskozitu kapaliny [1].

Odlišné chování ferrokapalin je způsobeno jejich rozdílným magnetismem. Magnetické částice těchto kapalin jsou superparamagnetické a jednodoménové. Tyto vlastnosti mají společný důvod a tím je malá velikost daných částic. Magnetismus se při zmenšování rapidně změní, dochází k jevům spojeným s konečným rozměrem částic a povrchovými jevy (při velikostech v řádu nm se zvyšuje poměr částic na povrchu vzhledem k celému objemu). Pro různé materiály existuje různá velikost částice  $D_{krit}$ , pod kterou mají částice jednodoménový charakter (Viz Tabulka 1) [11].

Fe	Ni	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	γFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
15 nm	55 nm	128 nm	166 nm

Tabulka 1 Přibližná hodnota  $D_{krit}$  pro částice sférického tvaru [11]

Jednodoménovost a superparamagnetismus jsou pro využití v magnetické kapalině výhodnými atributy. U jednodoménové částice mají všechny atomy částice uspořádaný magnetický moment v jednom směru a kooperují mezi sebou. Navenek se to projevuje ohromným magnetickým momentem částice.



Obr 5. Znárodnění závislosti magnetických vlastností na velikosti částice [26]

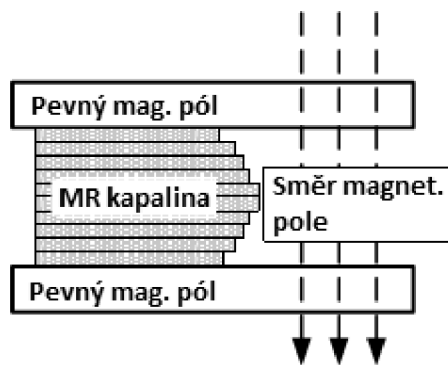
### 3 VLASTNOSTI MAGNETICKÝCH KAPALIN

#### 3.1 Zatěžovací módy magnetických kapalin

Pro popis z hlediska hydromechaniky se používají zatěžovací módy. Na základě proudění magnetické kapaliny lze od sebe rozlišit tři základní módy. Pomocí nich nebo jejich kombinacemi lze popsat zatěžování kapaliny v praxi. Například magnetoreologický tlumič může být zkonstruován, aby pracoval jako kombinace ventilového a smykového módu. [3]

##### 3.1.1 Ventilový mód

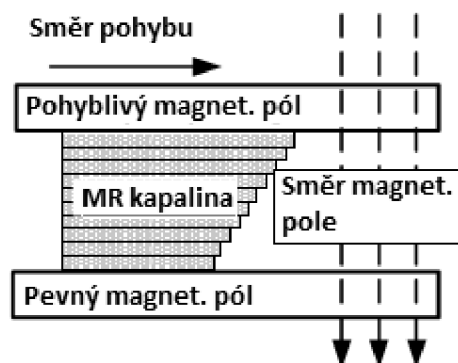
Při ventilovém módu je kapalina v prostoru mezi pevnými póly a například rozdílem tlaků mezi jednotlivými konci je vytvořen pohyb kapaliny ve směru od jednoho k druhému ve směru naznačeném v obr. 6. Póly jsou kolmo orientovány vůči směru magnetického pole, aplikací magnetického pole se kapalina koncentruje v místě působení tohoto pole a zvýšením viskozity se zpomalí rychlost jejího proudění. V tomto módu pracuje například ferrokapaliny ve ventilu, nebo v těsnění [3].



Obr. 6 Ventilový mód MR kapaliny [3]

##### 3.1.2 Smykový mód

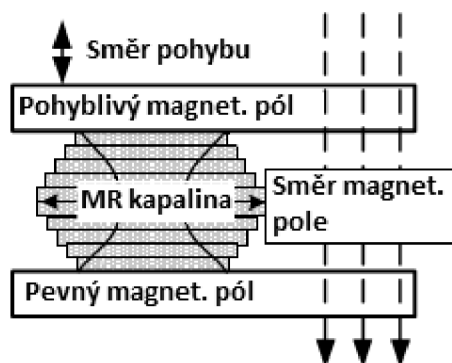
Ve smykovém módu se jeden pól pohybuje rovnoběžně vůči druhému. Magnetická kapalina v neaktivovaném stavu se mezi nimi pohybuje ve směru uvedeném na obr. 7. Při působení magnetického pole se zvyšuje viskozita kapaliny, a tedy se zvyšuje odpor proti pohybu pólu. Tento mód je využíván například pro brzdy a spojky, u kterých tak nedochází k tření a opotřebení [3].



Obr. 7 Smykový mód MR kapaliny [3]

### 3.1.3 Tlakový mód

Jinak také tahový mód. Popisuje situaci kdy jeden magnetický mód je pevný a druhý magnetický pól se pohybuje směrem kolmo k němu či od něj. Takovýmto způsobem je zatěžována kapalina například v tlumiči vibrací [3].



Obr. 8 Tlakový mód MR kapaliny [3]

## 3.2 Magnetické vlastnosti

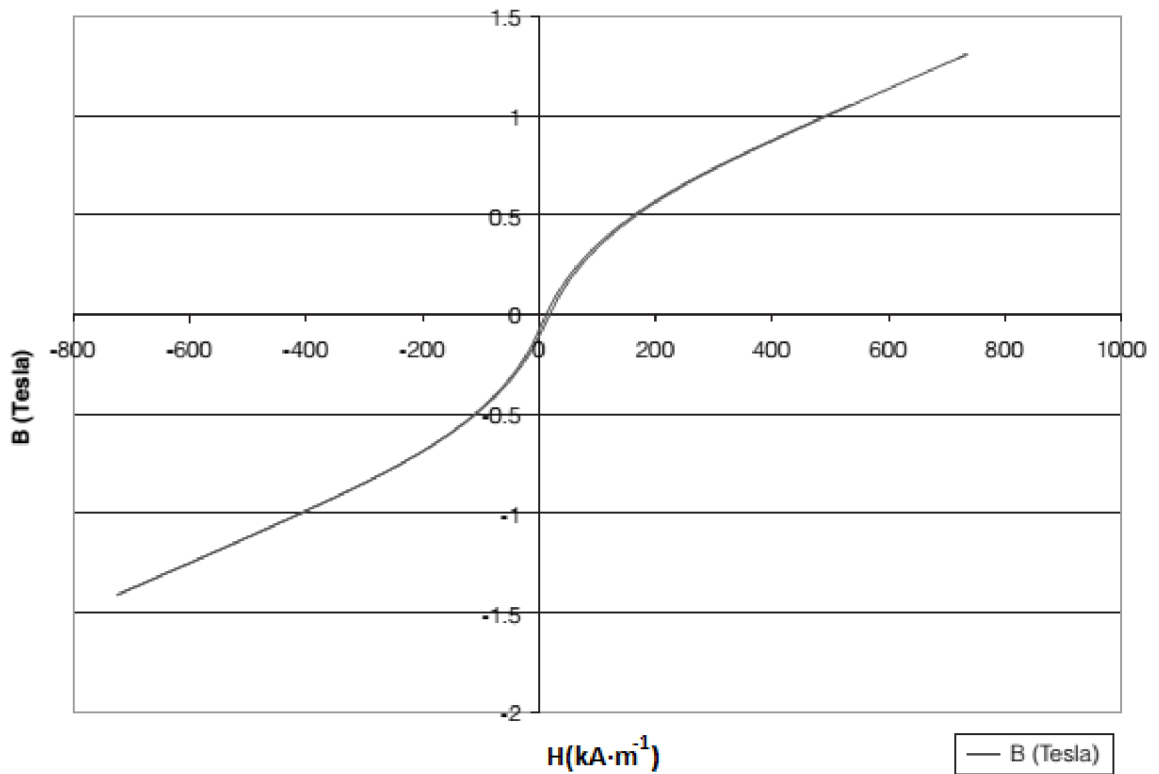
Magnetické vlastnosti jsou určeny především typem magnetických částic a jejich koncentrací, rozměry, tvarem a distribucí velikostí částic v rámci kapaliny.

Zásadním parametrem pro použití magnetické kapaliny je nízká hodnota magnetické remanence a vysoká hodnota magnetické saturace. Nízká hodnota magnetické remanence je důležitá pro reverzibilitu magnetizace, aby viskozita kapaliny po odstranění magnetického pole klesla na úroveň v počátečním stavu. Kapalina tak může při každém použití stejně silného magnetického pole působit stejným výsledným chováním. Magnetoreologické kapaliny si na rozdíl od ferrokapalin zachovávají určitou hodnotu magnetické remanence.

Hodnota magnetické saturace je důležitá z hlediska velikosti magnetoreologického efektu, s vyšší hodnotou magnetické saturace lze docílit větších změn na viskozitě kapaliny. Magnetoreologické kapaliny dosahují vyšších hodnot saturace než ferrokapaliny. Hodnotu magnetické saturace kapaliny je možné ovlivnit změnou poměru magnetických částic v kapalině, větší podíl magnetických částic v kapalině se projeví vyšší magnetickou saturací [4],[11]. Na Obr. 9 je hysterezní křivka MR kapaliny MRF-122EG od společnosti LORD, tato kapalina je určena pro obecné použití v zařízeních s kontrolovanou disipací energie, jako jsou například tlumiče a brzdy [12].

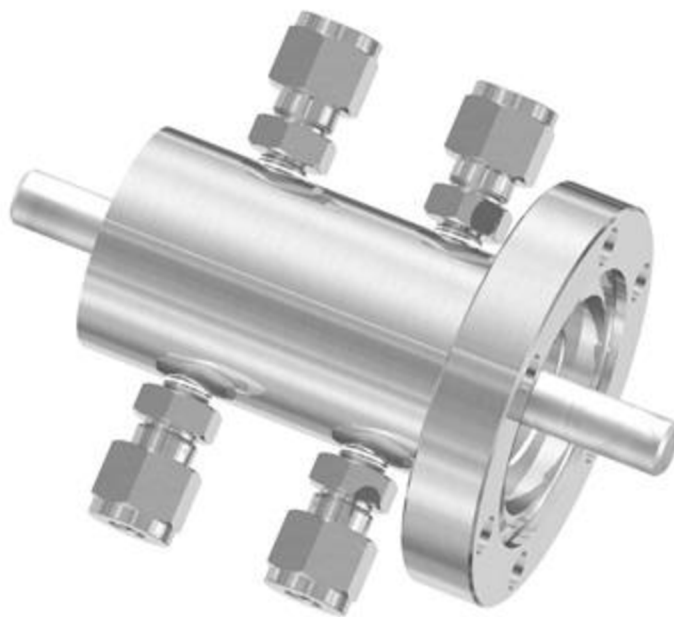


## Typické magnetické vlastnosti



Obr. 9 Hysterezní křivka MR kapaliny [12]

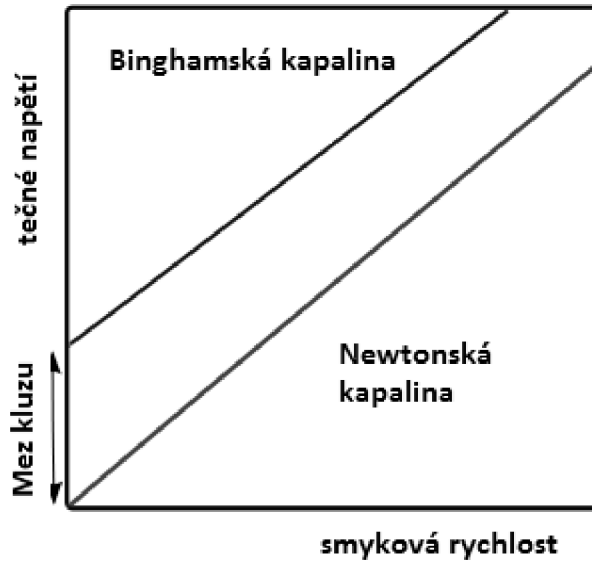
Magnetické kapaliny mají omezené možnosti operačních teplot. Způsobeno je to nejen vlastnostmi nosné kapaliny, ale i Curieovou teplotou, nad kterou ztrácejí látky schopnost magnetizace. Řešením je chlazení magnetické kapaliny, obvykle se chladí součást, v rámci které je magnetická kapalina instalována.



Obr. 10 Prvek pro přenos síly s ferrokapalinovým těsněním a vstupy/ výstupy pro chlazení [23]

### 3.3 Viskozita

Viskozita v neaktivované kapalině je závislá na nosné kapalině a její viskozitě. Význam pro použití je následující: při nízké hodnotě v neaktivovaném stavu neklade kapalina velký odpor proti pohybu a po aplikaci magnetického pole se tento odpor zvyšuje. Často jde o nosnou kapalinu s parametry newtonské kapaliny. V aktivovaném stavu jde o reologický model kapaliny Binghamský [1].



Obr. 11 Srovnání Binghamské a Newtonské kapaliny

Rovnice popisující reologické chování kapaliny [5]:

$$\tau = \tau_0(B) + \eta \cdot \gamma'$$

kde:

- $\tau$  - smykové napětí
- $B$  - magnetická indukce
- $\tau_0$  - mez kluzu (mez tekutosti)
- $\eta$  - dynamická viskozita
- $\gamma'$  - rychlost toku

Pro vyjádření velikosti změny viskozity v aktivovaném a neaktivovaném stavu lze využít poměr [25]:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta_0}$$

kde:

- $\Delta\eta$  - rozdíl viskozity v aktivovaném a neaktivovaném stavu
- $\eta_0$  - viskozita v neaktivovaném stavu

Tento vztah je zajímavý pro použití magnetických kapalin v praxi, protože je žádoucí, aby tento poměr byl, co nejvyšší.

### 3.4 Stabilita a redispersibilita

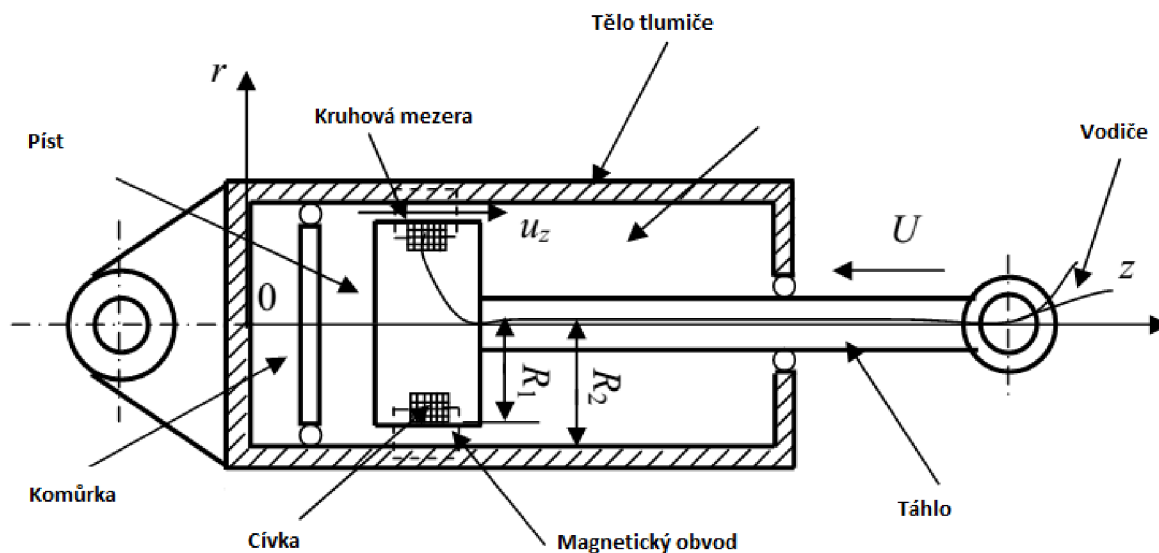
Sedimentace a odstředění magnetických částic jsou zásadní problémy z hlediska využití magnetických kapalin, protože negativně působí na schopnost magnetické interakce kapaliny. Stabilita kapalin je ovlivněna velikostí částic, viskozitou nosné kapaliny, rozdílem hustot pevných částic a kapaliny, interakcemi magnetických částic [1].

## 4 PŘÍKLADY POUŽITÍ MAGNETICKÝCH KAPALIN

### 4.1 Tlumiče

Magnetoreologické kapaliny se úspěšně používají pro tlumení a jejich možnost toto tlumení kontrolovat. Na obrázku 12 je schéma tlumiče kmitů s MR kapalinou. Tlumič je vyplněn MR kapalinou a pokud neprochází cívkou proud, chová se jako standardní tlumič. Když je v mezeře mezi stěnou válce tlumiče a pístem magnetické pole, je tok kapaliny v tomto místě omezen a mění se charakteristika tlumiče. Tímto způsobem je možné regulovat tlumicí schopnosti tlumiče a prakticky okamžitě reagovat na aktuální potřeby tlumení [8].

Takto pracující tlumiče se dostaly do řady aut pod obchodním názvem MagneRide, například Audi TT, Audi R8, Acura ZDX, Ferrari 599 a další. Společnost LORD dodává tuto technologii americké armádě pro tzv. HMMWV (Vysoce mobilní víceúčelové kolové vozidlo) [20],[21],[22].



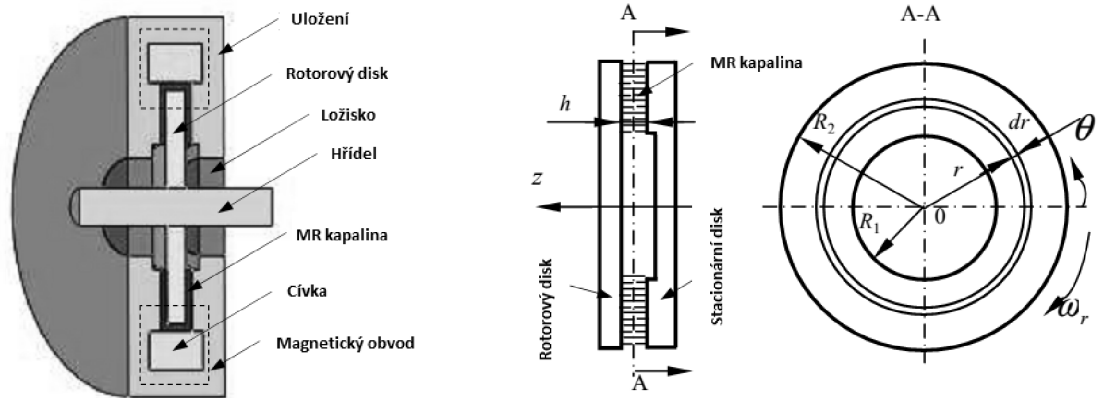
Obr. 12 Schématický náčrt magnetoreologického tlumiče [8]

### 4.2 Ložiska

MR kapaliny i ferokapaliny lze využít v hydrodynamických ložiscích. Použití magnetických kapalin poskytuje ložisku vyšší kapacitu a zároveň tlumí vibrace. Další přednosti jsou snížení výtoku kapaliny z ložiska a skutečnost, že ložisko zároveň funguje jako těsnění. [9].

### 4.3 Brzdy

Principem funkce brzdy s magnetoreologickou kapalinou je disk na hřídeli přenášející moment, který je obklopen MR kapalinou. Ta v neaktivovaném stavu klade poměrně nízký odpor otáčejícímu se disku. V aktivovaném stavu se tento odpor zvyšuje v závislosti na velikosti magnetického pole vyvolaného proudem protékajícím cívkami, které jsou umístěny ve vhodné pozici okolo disku. [7].



Obr. 13 Brzda s magnetoreologickou kapalinou [7]

### 4.4 Magnetické ucpávky

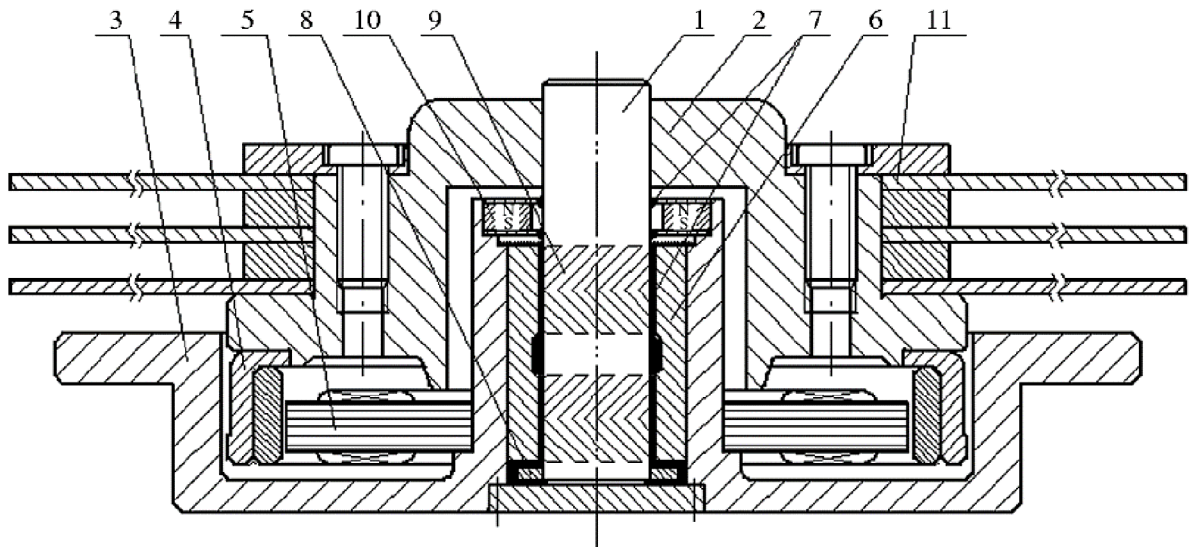
Těsnění pomocí magnetických kapalin poskytuje významné výhody proti těsnění pomocí pevných materiálů. Ve srovnání s klasickým těsněním například pomocí pryžových částí na hřídeli nedochází u těsnění pomocí magnetických kapalin k žádnému tření mezi pevnými částmi, a tedy nevznikají žádné částice uvolněné z těsnění. Magnetické ucpávky je možné používat pro dynamické aplikace, kdy se utěšňuje například otáčející hřídel, nebo pro statické aplikace. Při statické aplikaci se utěšňují vzájemně nepohyblivé části či prostory.

Pro tuto aplikaci lze použít ferrokapaliny i MR kapaliny, magnetoreologické kapaliny umožňují utěsnit vyšší tlakový rozdíl, protože velikost jejich magnetické saturace je vyšší. Nevýhodou ovšem je, že spolu s tím se více mění i jejich reologické vlastnosti a tak klade MR kapalina vyšší odpor proti pohybu. Také je u MR kapaliny náchylnost ke gravitační sedimentaci pokud je delší dobu ponechána v klidu [5].

Ucpávky jsou obvykle schopné utěsnit rozdíl tlaků 20-30 kPa. Pro dosažení vyššího rozdílu lze použít několik ucpávek za sebou [5],[6]. Tímto způsobem lze například utěsnit hřídel přenášející výkon od motoru do vakuového prostředí nebo do prostředí s jinou specifickou atmosférou, potřebnou například pro určitý chemický proces. Takové provedení těsnění je užitečné z více důvodů, v oblasti motoru je vzduch, který chladí jeho součásti, nečistoty vznikající v oblasti motoru se nedostanou za hřídel a naopak se částice z místa do kterého je přenášena síla nedostanou do oblasti motoru. Mimo to ucpávka izoluje obě části před elektrostatickým nábojem.

Rozdíl tlaků, který je schopná ucpávka utěsnit, závisí na velikosti mezery, kterou magnetická kapalina vyplňuje. Čím je mezera menší, tím vyšší je možná tlaková diference. Z opačného hlediska ale mezera nemůže být příliš malá, například, aby nedocházelo k tření mezi magnetickým pólem a hřídelí. Mezera se pohybuje obvykle v desetinách milimetru [6].

Jednou z aplikací je přenos síly do vakuového prostředí například při výrobě waferů monokrystalu křemíku pro polovodičový průmysl. Podobně se ucpávky s ferrokapalinou používají pro těsnění vnitřního prostoru magnetického disku (obr. 13).



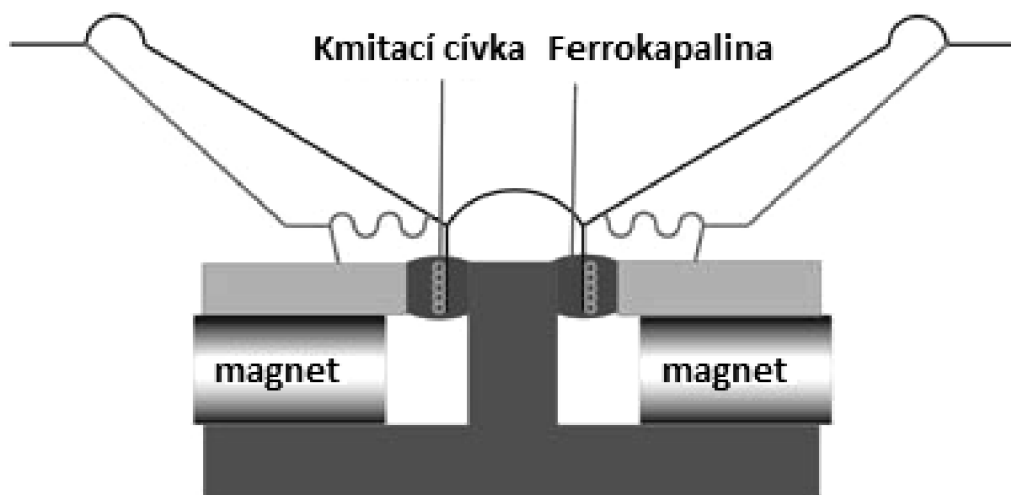
1 - hřídel, 2 - náboj, 3 - stator, 4 - rotor, 5 - jádro statoru, 6 - pouzdro kluzného ložiska, 7 - magnetická kapalina, 8 - přítlačná deska, 9 - drážka, 10 - ucpávka s magnetickou kapalinou, 11 - magnetický disk

*Obr. 14 Magnetický disk s těsněním pomocí magnetické kapaliny [16]*

Další oblastí uplatnění ucpávek je těsnění hřídele přenášející moment na lodní šroub. Tento způsob provedení brání v úniku oleje z lodi a naopak proniknutí (mořské) vody do lodních prostor [6].

## 4.5 Využití v reproduktorech

Další oblast pro aplikace ferrokapalin jsou reproduktory. Použitím permanentních magnetů a aplikací ferrokapaliny do oblasti cívky, lze tlumit vibrace a zároveň odvádět vznikající teplo. Pomocí tohoto lze dosáhnout vyšších výkonů a zároveň méně rušivých zvuků vznikajících nechtěnými vibracemi [17].



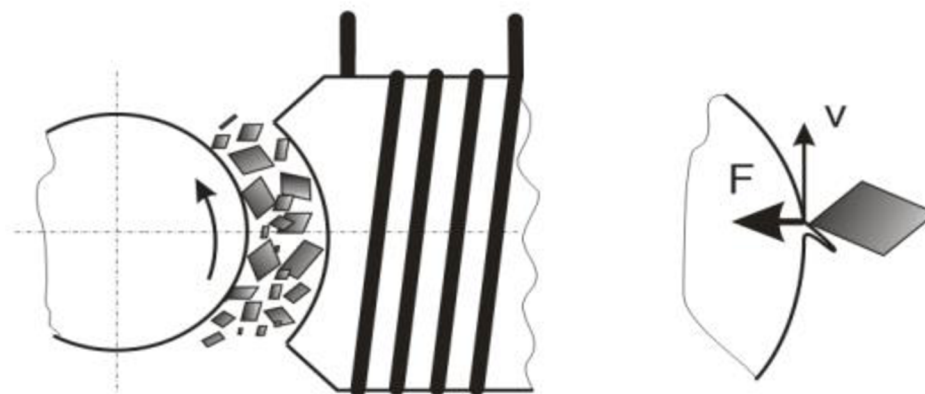
Obr. 15 Reproduktor využívající ferrokapalinu [17]

## 4.6 Krokové motory

Použitím v krokových motorech lze snížit vibrace a čas potřebný k ustálení pohybu [11].

## 4.7 Obrábění

Magneto-abrazivní obrábění využívá magnetoreologické kapaliny k obrábění. Pohybem magnetického pole nebo obrobku dochází k tření částic o obráběný materiál. Ve srovnání s jinými aplikacemi je zde opačný problém a to, aby částice způsobovali co největší abrazi (obrušování) materiálu. Proto jsou používány větší částice o vysoké tvrdosti, vhodné jsou kompozitní částice složené z menších magnetických částic a větších z abrazivního materiálu. Tento abrazivní materiál může být například oxid hlinitý  $Al_2O_3$ , karbidy wolframu, titanu a chromu. Tento způsob obrábění je vhodný na dokončovací práce. Příklad může být dokončování ložiskových kuliček nebo stykových ploch převodových kol. [27]



Obr. 16 Schéma principu obrábění.

## 5 SROVNÁNÍ MAGNETICKÝCH KAPALIN

### MR-Fluid Basonetic® 2040

MR kapalina je suspenzí prášku karbonylu železa. Magnetoreologická kapalina pro použití v tlumičích. Ventilový zatěžovací mód je určený způsob využití dle výrobce [14].

Hustota (t=20 °C)	2,47 g·cm <sup>-3</sup>
Teplota vzplanutí	160°C
Sedimentační stabilita po 28 dnech při 25°C (% supernatantu)	1.1
Redisperzibilita po 28 dnech při 25°C (mJ)	0.53 (výborná)
Magnetická saturace M <sub>s</sub> (kAm <sup>-1</sup> )	420
Magnetická remanence M <sub>r</sub> (kAm <sup>-1</sup> )	1.7
Relativní permeabilita μ <sub>r</sub>	3.98
Mez kluzu při B = 0.7 T, skluzové rychlosti 100 s <sup>-1</sup> a teplotě T = 40 °C	50 ± 4 kPa
Mez kluzu při B = 0.7 T, skluzové rychlosti 100 s <sup>-1</sup> a teplotě T = 40 °C (kPa) [Mosaz]	20 ± 2 kPa
Mez kluzu při B = 0.7 T, skluzové rychlosti 100 s <sup>-1</sup> a teplotě T = 40 °C [Ocel]	38 ± 2 kPa

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny Basonetic® 2040*

### MR-Fluid Basonetic® 5030

MR kapalina je suspenzí prášku karbonylu železa. Pro použití v zařízeních určených k přenos momentu. Výrobce doporučuje pro použití ve smykovém zatěžovacím módu [13].

Hustota (t=20 °C)	4,12 g·cm <sup>-3</sup>
Teplota vzplanutí	143,5 °C
Sedimentační stabilita po 28 dnech při 25°C (% supernatantu)	19,2
Redisperzibilita po 28 dnech při 25°C (mJ)	2,1 (výborná)
Magnetická saturace (kAm <sup>-1</sup> )	760
Magnetická remanence M <sub>r</sub> (kAm <sup>-1</sup> )	12,5
Relativní permeabilita μ <sub>r</sub>	8,0
Mez kluzu při B = 0.7 T, skluzové rychlosti 100 s <sup>-1</sup> a teplotě T = 40 °C	41 ± 3 kPa

Mez kluzu při B = 0.7 T, skluzové rychlosti 100 s <sup>-1</sup> a teplotě T = 40 °C (kPa) [Mosaz]	70 ± 5 kPa
Mez kluzu při B = 0.7 T, skluzové rychlosti 100 s <sup>-1</sup> a teplotě T = 40 °C [Ocel]	49 ± 5 kPa

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny Basonetic® 5030*

#### MRF-122EG Magneto-Rheological Fluid

Tato a dvě následující MR kapaliny s uhlovodíkovým základem, jsou dle výrobce určeny k aplikacím vyznačující se disipací energie, tj. tlumiče vibrací, tlumiče a brzdy. Zatěžovací módy pro tyto kapaliny jsou ventilový a smykový mod. Použití je možné v otevřené i uzavřené soustavě. Dle výrobce jsou tyto magnetoreologické kapaliny kompatibilní s nitrilovou pryží, fluoroelastomery, neoprenem, železem, nerezovou ocelí, hliníkem a polyuretanem. Méně kompatibilní jsou se silikonem a špatná je kompatibilita s butylem, etylenpropylenovou pryží a přírodní gumou. [12]

Viskozita	0,061 ± 0,07 Pa·s
Hustota	2,28 g·cm <sup>-3</sup>
Poměr váhy pevných částic	72 %
Bod vzplanutí	>150 °C
Rozmezí operačních teplot	-40 až 130 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny MRF-122EG [12]*

#### MRF-132DG Magneto-Rheological Fluid

Viskozita	0,092 ± 0,02 Pa·s
Hustota	2,95 – 3,15 g·cm <sup>-3</sup>
Poměr váhy pevných částic	80,98 %
Bod vzplanutí	>150 °C
Rozmezí operačních teplot	-40 až 130 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny MRF-132DG [12]*

#### MRF-140CG Magneto-Rheological Fluid

Viskozita	0,280 ± 0,07 Pa·s
Hustota	3,54 – 3,74 g·cm <sup>-3</sup>
Poměr váhy pevných částic	85,44 %
Bod vzplanutí	>150 °C
Rozmezí operačních teplot	-40 až 130 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny MRF-140CG [12]*

FLS 040.600



Magnetoreologická kapalina určená pro použití v brzdách, tlumičích, spojovací aplikace, nosná kapalina je na bázi silikonu [18].

Viskozita	Až 10 Pa·s
Magnetická saturace	600 - 700 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-100 °C
Rozmezí operačních teplot	-50 – 150 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLS 040.600 [18]*

#### FLW 001.300

Magnetoreologická kapalina určená k magneto-abrazivnímu obrábění, nosná kapalina je voda [18].

Viskozita	Až 10 Pa·s
Magnetická saturace	300 - 600 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	150 °C
Bod tuhnutí	0 °C
Rozmezí operačních teplot	do 100 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLS 001.300 [18]*

#### FLU 040.040

Ferrokapalina určená pro výzkumné, demonstrační, výukové a umělecké použití. Nosná kapalina je na bázi silikonu [18].

Viskozita	0.2 – 0.8 Pa·s
Magnetická saturace	20 - 60 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	150 °C
Rozmezí operačních teplot	-90 – 90 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLU 040.040 [18]*

#### FLS 300.020

Nosná kapalina je na bázi silikonu, určena je pro magnetické ucpávky na hřídele, kde jedna část je ve vysokém vakuu (10<sup>-1</sup> – 10<sup>-5</sup> Pa). Příklad využití ferrokapaliny může být těsnění v rámci zařízení na vakuové nanášení povrchu plazmou, zařízení k tavení kovu pro výrobu velmi čistých prášků, při produkci polovodičových krystalů nebo při získávání vzácných zemin [18].

Viskozita	0.5 – 0.8 Pa·s
Magnetická saturace	20 - 60 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C

Bod tuhnutí	-90 °C
Rozmezí operačních teplot	-50 – 90 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLS 300.020 [18]*

#### FLS 040.040

Nosnou kapalinou je silikon. Tuto ferrokapalinu používá firma FerroLabs v magnetických ucpávkách, které nabízí pro použití v bioreaktorech či fermentorech. Uvádí se i aplikace v CD/DVD, kde funguje jako tlumič vibrační čtecího zařízení [18],[19].

Viskozita	0.3 – 0.8 Pa·s
Magnetická saturace	40 - 50 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-100 °C
Rozmezí operačních teplot	-70 - 150 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLS 040.040 [18]*

#### FLF 750.030

Nosnou kapalinou je perflourpolyether (PFPE), použití ferrokapaliny je zamýšleno pro ucpávky pro korozivní kapaliny a plyny například v chemických reaktorech nebo zařízeních pro úpravu ropy [18].

Viskozita	Až 15 Pa·s
Magnetická saturace	30 - 40 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-35 °C
Rozmezí operačních teplot	-30 - 130 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLF 750.030 [18]*

#### FLS 450.040

Ferrokapalina má základ na bázi silikonu, určena je pro vysoké vakuum pro statické aplikace. Uvedeno je použití pro zařízení ke sváření velkých konstrukcí elektronovým paprskem s lokálním vakuem pomocí ferrokapalinového těsnění [18].

Magnetická saturace	20 – 50 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-35 °C
Rozmezí operačních teplot	-30 - 130 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLS 450.040 [18]*

#### FLS 250.020

Ferrokapalina má základ na bázi silikonu, určena je pro prachotěsné a plynotěsné aplikace pro přesné zařízení a výrobu nástrojů [18].

Viskozita	Až 1 Pa·s
Magnetická saturace	20 - 30 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-90 °C
Rozmezí operačních teplot	-60 - 100 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLS 250.020 [18]*

#### FLW 001.040

Nosná kapalina je voda, ferrokapalina je určena pro biotechnologické a lékařské použití.[18].

Viskozita	Až 0.02 Pa·s
Magnetická saturace	5 - 30 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	100 °C
Bod tuhnutí	0 °C
Rozmezí operačních teplot	do 100 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLW 001.040 [18]*

#### FLC 002.050

Nosnou kapalinou je kerosin. Zamýšlená oblast použití jsou senzory, velmi přesné ferrokapalinové senzory pro měření změny úhlu, zrychlení a malých změn tlaku pro automatizační a měřicí systémy [18].

Viskozita	0.002 - 0.02 Pa·s
Magnetická saturace	30 - 70 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	150 °C
Bod tuhnutí	-60 °C
Rozmezí operačních teplot	-50 - 50 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLC 002.050 [18]*

#### FLC 020.040

Ferrokapalina se syntetickým olejem jako nosnou kapalinou je určena pro tlumení v čtecích zařízeních pro optická média [18].

Viskozita	0.1 – 0.25 Pa·s
Magnetická saturace	40 - 60 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-55 °C
Rozmezí operačních teplot	-30 - 130 °C

*Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLC 020.040 [18]*

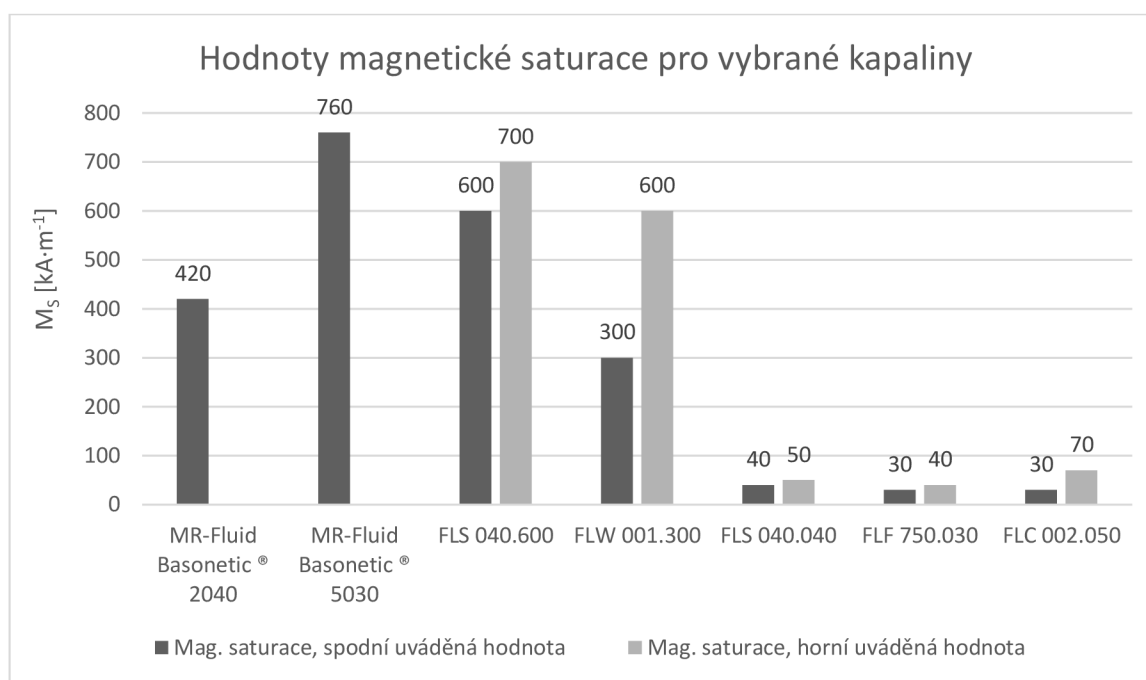
## FLC 050.025

Základovou kapalinou této ferrokapaliny je syntetický olej, určena je pro těsnící a mazací účely v ložiscích. Pro použití v náročných operačních podmínkách, vlhkost, výpary, široký rozsah teplot. [18].

Viskozita	Až 0.3 Pa·s
Magnetická saturace	25 - 50 kA·m <sup>-1</sup>
Kritická teplota	200 °C
Bod tuhnutí	-60 °C
Rozmezí operačních teplot	-50 - 150 °C

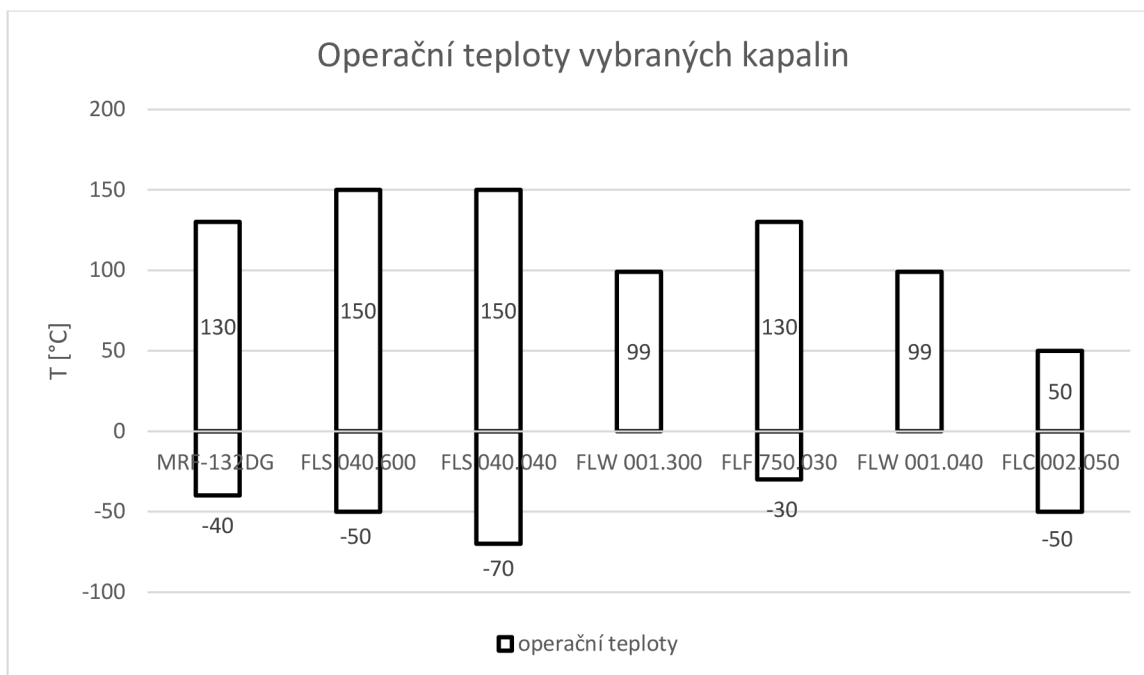
Tabulka Vlastnosti MR kapaliny FLC 050.025 [18]

## 6 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ



Graf 1 Porovnání hodnot magnetické saturace

V grafu 1 jsou zobrazeny hodnoty magnetické saturace uvedené výrobcem pro vybrané magnetoreologické kapaliny a ferrokapaliny. Na první pohled je zřejmé, že první čtyři (MR-Fluid Basonetic 2040, MR-Fluid Basonetic 5030, FLS 040.600 a FLW 001.300) jsou magnetoreologické kapaliny, protože hodnoty jsou několikrát vyšší než pro zbylé ferrokapaliny.



Graf 2 Porovnání hodnot operačních teplot

Srovnání teplot, pro které jsou magnetické kapaliny určeny, ukazuje závislost na typu nosné kapaliny. MR kapalina FLW 001.300 a ferrokapaliny 001.040 mají stejná omezení a velikost částic nemá na tuto charakteristiku vliv. FLC 002.500 s kerosinovou nosnou kapalinou má výrazně nižší horní hranici teplot, což má zřejmě souvislost s poměrně nízkou teplotou vzplanutí kerosinu. FLF 750.030, jehož základem je polymer perfluorpolyeter používaný jako mazivo [24], se příliš neliší od dalších magnetických kapalin o olejovém základu.

## 7 ZÁVĚR

V práci jsou shrnuty základní poznatky o magnetických kapalinách, rozdílech v rozměrech magnetických částic a především v magnetismu obou typů kapalin. Jsou zmíněny aplikace magnetických kapalin pro tlumení, které jsou používány v současných automobilech. Dále jsou ferrokapaliny používány při těsnění, kde poskytují unikátní řešení ve srovnání s konvenčními guferami a podobnými součástmi. Existuje spousta dalších způsobů využití, v lékařství mohou být prostředkem pro dopravu léků v těle nebo jako kontrastní látka, lze je uplatnit jako klíčovou součást adaptivních zrcadel.

Na závěr jsou zmíněny příklady kapalin na trhu a provedeno jejich srovnání na základě dostupných parametrů. Z tohoto srovnání vyplývá, že magnetické kapaliny mají rozsah vlastností, které lze do určité míry volit volbou nosné kapaliny či poměry částic.

Omezením pro ještě širší praktické využití magnetických kapalin je dnes jejich relativně vysoká cena, kterou nelze vždy opodstatnit přínosem z výhod při jejich aplikaci.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GENC, S., DERIN, B., Field Responsive Fluids - a Review, *Key Engineering Materials* Vol. 521 (2012) pp 87-99. Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/KEM.521.87>
- [2] VÉKAS, L., Ferrofluids and Magnetorheological Fluids, *Advances in Science and Technology*, Volume 54, 2008 pp. 127-136. Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/AST.54.127>
- [3] XIONG C., ZHENG J., FANG L. Q., Chun Ting Ma, Magnetorheological Fluid and Design of Magnetorheological Devices, *Advanced Materials Research* Vols. 328-330 (2011) pp 1381-1385. Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/AMR.328-330.1381>
- [4] VÉKAS L., MARINICA O., BICA D., MAGNETIC NANOFUIDS STABILIZED WITH VARIOUS CHAIN LENGTH SURFACTANTS, *Romanian Reports in Physics*, Vol. 58, No. 3, P. 257–267, 2006 [cit. 2014-04-20] Dostupné z WWW: [www.rrp.infim.ro/2006\\_58\\_3/art02Vekas.pdf](http://www.rrp.infim.ro/2006_58_3/art02Vekas.pdf)
- [5] POTO CZNY M., ZACHARA B., Influence of magnetorheological fluid volume onto obtained critical pressures on rotary shaft seals, *Key Engineering Materials* Vol. 490 (2012) pp 119-127, [Cit. 2013-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/KEM.490.119>
- [6] EN-XIA Y., CHUAN-BOO Y., YAN D., Design and experimental research on ester ferrofluid seal for stern, *Key Engineering Materials* Vols. 419-420 (2010) pp 209-212, [Cit. 2014-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/KEM.419-420.209>
- [7] WANG P., HANG J., WEI S., Analysis of Torque in Magnetorheological Rotary Brake, *Advanced Materials Research* Vols. 239-242 (2011) pp 2297-2301, [Cit. 2014-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/AMR.239-242.2297>
- [8] HUANG J., HE J., LU G., Analysis and Design of Magnetorheological Damper, *Advanced Materials Research* Vols. 148-149 (2011) pp 882-8861, [Cit. 2014-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/AMR.148-149.882>
- [9] SALWIŃSKI J., HORAK W., Measurement of normal force in magnetorheological and ferrofluid, *Key Engineering Materials* Vol. 490 (2012) pp 25-32, [Cit. 2014-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/KEM.490.25>
- [10] BUSKE N., SONNTAG H., FERROFLUIDS - PREPARATION, PROPERTIES, APPLICATION, *Materials Science Forum* Vols. 25-26 (1988) pp 111-124, [cit. 2013-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.scientific.net/MSF.25-26.11>
- [11] LU H. A., SALABAS E. L., SCHÜTH F., Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection, Functionalization, and Application, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2007, 46, 1222 – 1244, [cit. 2014-05-10] Dostupné z WWW: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/cqi/2011/infosuplementaria/practicas/practica3/4 - Magnetic nanoparticles synthesis, protection, functionalization, and application.pdf>
- [12] LORD Corporation - Magneto-Rheological product MRF-122EG, Magneto-Rheological Fluid [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: [http://www.lord.com/products-and-solutions/magneto-rheological-\(mr\)/mr-products.xml](http://www.lord.com/products-and-solutions/magneto-rheological-(mr)/mr-products.xml)
- [13] MR-Fluid Basonetic 5030 – BASF - Monomers [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:

- [http://www.monomers.basf.com/cm/internet/en/content/Microsite/Basonetic/Product\\_and\\_Technology/Basonetic\\_5030](http://www.monomers.basf.com/cm/internet/en/content/Microsite/Basonetic/Product_and_Technology/Basonetic_5030)
- [14] MR-Fluid Basonetic 2040 – BASF - Monomers [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:[http://www.monomers.basf.com/cm/internet/en/content/Microsite/Basonetic/Product\\_and\\_Technology/Basonetic\\_2040](http://www.monomers.basf.com/cm/internet/en/content/Microsite/Basonetic/Product_and_Technology/Basonetic_2040)
- [15] Ferrofluid on a reflective glass plate under the influence of a strong magnetic field. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ferrofluid\\_Magnet\\_under\\_glass\\_edit.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ferrofluid_Magnet_under_glass_edit.jpg)
- [16] Sliding bearings lubricated with magnetic fluids [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:[http://www.emeraldinsight.com/content\\_images/fig/0180590601017.png](http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/0180590601017.png)
- [17] Audio Ferrofluids Ferrotec [online] [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:<http://ferrofluid.ferrotec.com/products/ferrofluid/audio>
- [18] Products / Ferrolabs Inc.[cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:<http://www.ferrolabs.com/en/products/>
- [19] FerroTec GmbH – Ferrofluid [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: <http://www.ferrotec-europe.de/en/htmls/fluid.opu.php>
- [20] Audi R8 Features Delphi's Revolutionary MagneRide Semi-Active Suspension [online] [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:[http://delphi.com/news/pressReleases/pressReleases\\_2006/pr\\_2006\\_11\\_30\\_001/](http://delphi.com/news/pressReleases/pressReleases_2006/pr_2006_11_30_001/)
- [21] LORD Magneto-Rheological (MR) Automotive Suspensions [online] [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: [http://www.lord.com/products-and-solutions/magneto-rheological-\(mr\)/automotive-suspensions.xml](http://www.lord.com/products-and-solutions/magneto-rheological-(mr)/automotive-suspensions.xml)
- [22] LORD Corporation Awarded Contract with US Engine Production, Inc. for Supply of Adaptive MR Suspension Systems [online] [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:<http://www.lord.com/news-center/news-stories/lord-corporation-awarded-contract-with-us-engine-production-inc-for-supply-of-adaptive-mr-suspension-systems.xml>
- [23] Ferrotec Ferrofluidic® Seals - Feedthrough Model: SS-375-SLCBW Part Number: 103912 [online] [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW:[https://seals.ferrotec.com/index.php?id=feedthrough\\_detail&vfp\\_id=40](https://seals.ferrotec.com/index.php?id=feedthrough_detail&vfp_id=40)
- [24] Apiezon | Apiezon PFPE 501 perfluoropolyether structure and properties [online] [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: <http://www.apiezon.com/products/vacuum-grease-pfpe/what-is-pfpe>
- [25] VÉKÁS L., BICE D., MARINICA O., MAGNETIC NANOFUIDS STABILIZED WITH VARIOUS CHAIN LENGTH SURFACTANTS, Romanian Reports in Physics, Vol. 58, No. 3, P. 257–267, 2006
- [26] MOSKOWITZ B. M., Hitchhiker's Guide to Magnetism, [cit. 2014-05-07]. Dostupné z WWW: [http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m\\_index.html](http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m_index.html)

## 9 SEZNAM PŘÍLOH

číslo přílohy

název přílohy

**Příloha 1**

**Slovníček pojmů**



## PŘÍLOHA 1

## SLOVNÍČEK POJMŮ

### *Brownův pohyb*

Náhodný pohyb částic rozptýlených v kapalině (plynu).

### *Dielektrikum*

Látka schopná polarizace – vytvoření elektrických dipólů v elektrickém poli.

### *Disperzant*

Látka přidaná do suspenze zlepšující rozptýlení částic a zabraňující jejich agregaci.

### *Ferrimagnetika*

Materiály schopné spontánní magnetizace, ve kterých se některé částice negativně podílejí na magnetizaci.

### *Ferromagnetika*

Materiály, schopné spontánní magnetizace – vykazovat magnetický moment bez vnějšího magnetického pole. Všechny jeho částice se pozitivně podílejí na magnetizaci.

### *Hysterezní křivka*

Viz obr. 8, grafické znázornění průběhu magnetizace.

### *Koloidní suspenze*

Suspenze částic o velikostech zhruba 1 – 1000 nm.

### *Magnetická koercivita*

Velikost opačně orientovaného magnetického pole potřebného k odstranění remanence v materiálu.

### *Magnetická remanence (remanentní magnetizace)*

Zbytková magnetizace v materiálu po odstranění vnějšího magnetického pole.

### *Magnetická saturace*

Nejvyšší dosažitelná hodnota magnetizace pro daný materiál, zvýšení intenzity magnetického pole nevyvolá další růst hodnoty magnetizace.

### *Magnetizace*

### *Minerální oleje*

Látka získávaná z ropy, někdy nazývána taky ropný olej.

### *Redisperzibilita*

Schopnost suspenze znovu rozptýlit částice v celém svém objemu.

### *Reologie*

Vědní obor zkoumající deformační vlastnosti látek, pro kapaliny například závislost tečného napětí na smykové rychlosti.

### *Tenzid*

Povrchově aktivní látka, která snižuje povrchovou nebo mezifázovou energii. Příklad: mýdlo snižující povrchové napětí mezi vodou a nečistotami.

### *Silikonové oleje*

Nehořlavé mazivo složené z siloxanů (řetězce atomů křemíku a kyslíku).

### *Supernatant*

Čirá kapalina, která plave nad roztokem, případně nad sedimentem.

### *Surfaktant*

viz Tenzid

### *Suspenze*

Heterogenní směs složená z kapaliny a v ní rozptýlených částic pevné látky.

### *Syntetické a polosyntetické oleje*

Uhlovodíkové mazivo vyrobené syntézou (slučováním) z jiných látek než ropy. Polosyntetické oleje jsou směsí syntetického (do 30 %) a minerálního oleje.

### *Viskozita*

Vlastnost kapaliny vyjadřující odpor kapaliny proti pohybu.

### *Wafer*

Disk z polovodičového materiálu, polotovar pro výrobu mikročipů.