



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

TESTOVÁNÍ MAGNETICKÉHO TĚSNĚNÍ

TESTING THE MAGNETIC SEAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DUŠAN PAVLÍČEK

ING. MICHAL KUBÍK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dušan Pavlíček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

Testování magnetického těsnění

v anglickém jazyce:

Testing the magnetic seal

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh standu pro testování magnetického těsnění s těmito parametry:

max. otáčky 6000 min^{-1} a vnitřní přetlak 2 bary. K dispozici bude předběžný návrh standu včetně výpočtu a měření těsnícího uzlu. Součástí bude zajištění výroby a následné sestavení standu, na závěr provozní test.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Koncepční řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, návrhový výkres, fotografická dokumentace, digitální data, funkční výrobek

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaku (15 - 20 stran textu bez obrázku).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E., Ch. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Překlad 7. Vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186s.

SVOBODA, P.; BRANDEJS, J.; DVOŘÁČEK, J.; PROKEŠ, F. Základy konstruování, pp.1-234, ISBN 978-80-7204-750-5, (2011), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Kubík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 5. 11. 2014



v.7. Hartl

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

v.2. Bednář

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

KLÍČOVÁ SLOVA

Magnetická kapalina, MR kapalina, ferrokapalina, magnetické těsnění.

ANOTACE

S použitím magnetických kapalin byly realizovány nové přístroje a nové technologie, které jsou v mnohém ohledu výhodnou alternativou k dosavadním, díky výjimečným vlastnostem těchto kapalin. V současné době neexistuje žádné vhodné zařízení pro testování magnetického těsnění, a proto se tato práce zabývá návrhem standu pro testování magnetického těsnění.

KEY WORDS

Magnetic fluids, MR fluids, ferrofluids, magnetic seals.

ANNOTATION

Using magnetic fluids were implemented new devices and new technologies that are convenient alternative to existing, thanks the exceptional properties of these liquids. Currently does not exist suitable device for testing magnetic seal, and therefore this thesis deals the design of the stand for testing a magnetic seal.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAVLÍČEK, D. *Testování magnetického těsnění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 54s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Kubík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně za pomoci vedoucího bakalářské práce Ing. Michala Kubíka. A zároveň prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č.121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně, dne

.....

Dušan Pavlíček

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Michalu Kubíkovi za jeho odborné vedení při tvorbě práce, za jeho cenné rady a připomínky. Také bych rád poděkoval své rodině a své přítelkyni za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

OBSAH	11
ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
1.1 Magnetické kapaliny a jejich rozdělení	15
1.1.1 Nanomagnetické kapaliny (Ferro kapaliny)	16
1.1.2 Magnetoreologické kapaliny (MR Kapaliny)	17
1.2 Využití magnetických kapalin v praxi	18
1.2.2 Technické použití MR kapalin	18
1.2.2.1 Ventilový mód (MR tlumič)	18
1.2.2.2 Smykový mód (Magnetoreologická brzda)	18
1.2.2.3 Tlakový – tahový mód	19
1.2.1 Těsnění hřídelí a ložisek pomocí ferrokapaliny	20
1.3 Testovací Standy	21
1.3.1 Stand magnetického těsnění na bázi MR kapaliny	21
1.3.2 Manipulační zařízení pro práci ve vakuu	23
1.3.3 Nejvýkonnější zařízení pro testování těsnění na světě	24
2 Analýza problému a cíl práce	25
2.1 Analýza problému	25
2.2 Cíl práce	25
3 Koncepční Řešení	26
3.1 Stand	26
3.2 Sestava odvodušnění	27
3.3 Sestava tlakování	27
3.4 Tubus	28
3.5 Nosná konstrukce	30
4 Konstrukční řešení	31
4.1 EXPERIMENTÁLNÍ STAND	31
4.2 Sestava odvodušnění	33
4.3 Sestava tlakování	34
4.4 Sestava teploměru	34
4.5 Sestava tubusu	35
4.6 Nosná konstrukce	38
4.7 Schéma zapojení měřicího řetězce	39
4.8 Postup odvodušnění	40
4.9 Měření házení hřídele v tubusu	41
4.10 Měření ztrátového momentu ložisek a hřídelového těsnění	42
4.11 Postup měření	44
5 Diskuze	46
6 Závěr	47
7 Seznam použitých zdrojů	48
8 Seznam	50
8.1 Seznam obrázků	50
8.2 Seznam tabulek	51
9 Seznam použitých zkratk a symbolů	52
9.1 Seznam použitých zkratk a symbolů	52
10 seznam příloh	53

ÚVOD

Magnetické kapaliny (bývají též označovány jako koloidní fero kapaliny, ferrofluida, nanokompozitní magnetika) byly vyvinuty v 60. letech dvacátého století v NASA pro řízení toku tekutého paliva kosmických raket v beztlakovém stavu magnetickým polem [8]. Dnes se již pro tento účel nepoužívají. Tyto kapaliny spadají do kategorie tzv. moderních materiálů, někdy označovaných jako *Smart materiály*. Jako nejlepší vlastnost těchto kapalin, je většinou označována schopnost měnit své reologické vlastnosti v závislosti na velikosti vnějšího magnetického pole. Tato změna je velice rychlá, pohybuje se v řádech do několika desítek ms. S použitím magnetických kapalin byly realizovány nové přístroje a nové technologie, které jsou v mnohém ohledu výhodnou alternativou k dosavadním, díky výjimečným vlastnostem těchto kapalin. Bohužel v současné době neexistuje žádné vhodné zařízení pro testování magnetického těsnění, a proto se tato práce zabývá návrhem standu magnetického těsnění, který vychází z předběžného návrhu Ing. Michala Kubíka.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

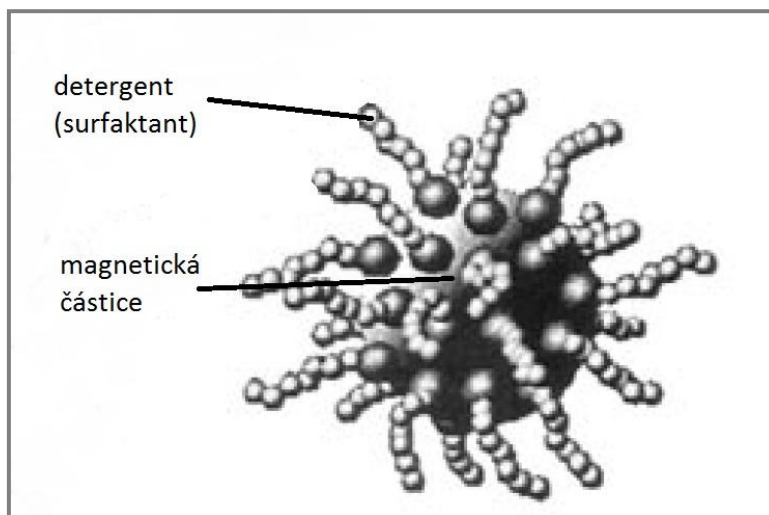
1.1 Magnetické kapaliny a jejich rozdělení

1.1

Kapaliny, u kterých se významně projevuje interakce mezi kapalinou a magnetickým polem, se nazývají magnetické kapaliny. Ty dále dělíme na ferrokapaliny a magnetoreologické kapaliny (MR kapaliny). Magnetické kapaliny jsou suspenze jemných feromagnetických částic v nosné kapalině. Tyto částice mají přibližně kulový tvar. U ferrokapalin mají průměr řádově v jednotkách až desítkách nanometrů a u MR kapalin jsou částice o průměru od desetin po desítky mikrometrů.

Magnetické částice jsou zprostředkovatelem magnetické interakce, tedy má magnetický moment, tj. představuje miniaturní permanentní magnet. Z chemického hlediska jde často o sloučeninu železa s jiným prvkem. Například u ferrokapalin oxidy železa $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ a Fe_3O_4 , u obou druhů magnetických kapalin je také využíváno práškového železa, slitin železa s kobaltem, protože mají vysokou hodnotu magnetické saturace.

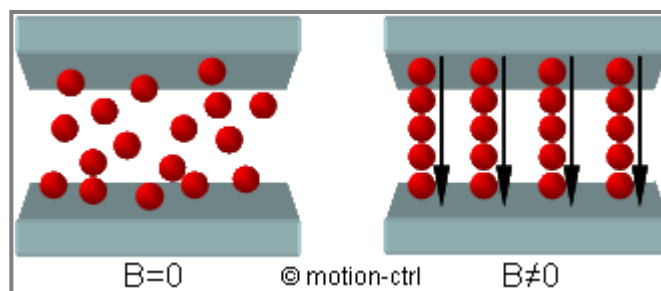
Magnetické částice jsou obaleny surfaktantem (detergentem, povrchově aktivní látka). Toho je dosaženo tím, že surfaktant se naváže jedním koncem na částici a na druhém konci má v závislosti na použité látce buď kladný, nebo záporný náboj. Částice se stejným nábojem se pak v kapalině přirozeně odpuzují a nedochází k jejich spojování do větších celků [6, 14].



Obr. 1-1 Magnetická částice s detergentem [8]

V případě ferročástic v nosné kapalině (např. vodě, minerálním nebo syntetickém oleji, glykolu aj.), pohybující se náhodným tepelným (Brownovým) pohybem. Nepůsobí-li na kapalinu magnetické pole, jsou magnetické momenty náhodně orientovány a kapalina se navenek jeví jako nemagnetická. 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.

Zvýšení viskozity a meze kluzu je závislé na velikosti intenzity magnetického pole. U MR kapalin se tento jev nazývá magnetoviskózní efekt (u ferrokapalin je pouze v malé míře), tento jev nastává velice rychle po přivedení magnetického pole a můžeme ho opakovat. Jak napovídá název, jedná se zde o změnu viskozity v závislosti na intenzitě magnetického pole. Kvůli tomu, jsou na magnetické částice z hlediska vlastností kladeny nároky na co nejvyšší hodnotu magnetizace, nízkou koercivitu a remanenci [6, 14].



Obr. 1-2 MR efekt [15]

Jako příklad magnetické kapaliny můžeme uvést směs rostlinného oleje a toneru z laserové tiskárny s přimíchaným Developerem (starterem). Obě složky se smíchají a rozmíchají v objemovém poměru toneru:oleji přibližně 5:3. Výsledkem je ferromagnetická kapalina viz obr. 1-3.



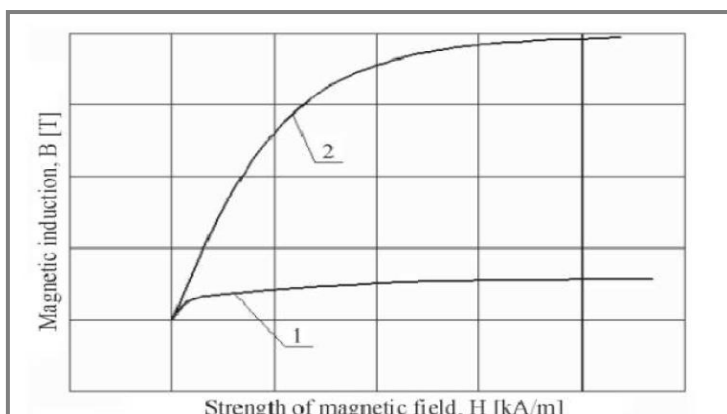
Obr. 1-3 Ferromagnetická kapalina [6]

1.1.1 Nanomagnetické kapaliny (Ferro kapaliny)

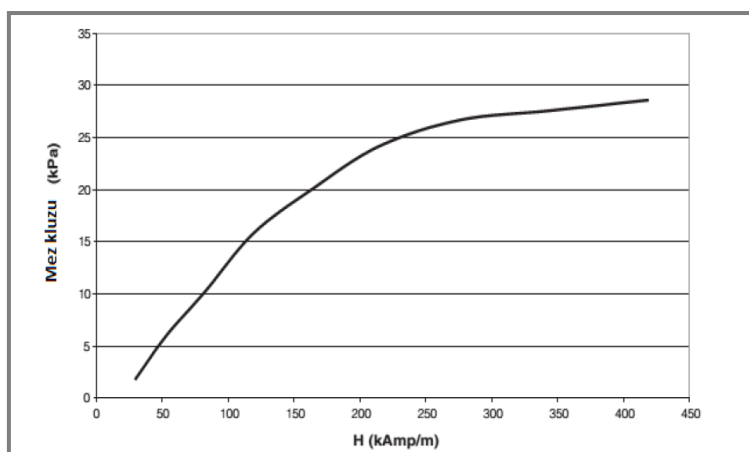
Ferokapaliny obsahují částice o velikosti v řádech nanometrů (3-15nm). Typická ferokapalina objemově obsahuje 5% pevných magnetických látek, 10% detergentu a 85% nosné kapaliny. Díky velikosti jejich magnetických částic řeší problém usazování Brownův pohyb, a proto nemají výrazný problém se sedimentací. Nižší magnetické nasycení způsobuje nižší mez toku oproti MR kapalinám [11, 6].

1.1.2 Magnetoreologické kapaliny (MR Kapaliny)

V roztoku se místo nanočástic nacházejí mikročástice. Použité mikročástice jsou na rozdíl od nanočástic multidoménové. Nanočástice, jsou pouze jednodoménové. Jestliže se mikročástice magneticky nepolarizují, nemají žádný magnetický moment. Jejich suspenze v nosné kapalině se nazývá magnetoreologická kapalina. Ta má oproti normální feroKapalině objemový obsah pevných magnetických látek až 70%. Magnetoreologické kapaliny se od feroKapalin liší hlavně tím, že po vložení do vnějšího magnetického pole se jejich viskozita extrémně zvýší, viz obr. 1-4. Ztrácí svoji tekutost a ztuhnou (mají mez kluzu viz obr. 1-5), tzn., že vykazují velký magnetoviskózní jev, toho se také v mnoha aplikacích využívá [13, 11].



Obr. 1-4 Porovnání Ferrokapalin (1) a MR kapalin (2) [14]

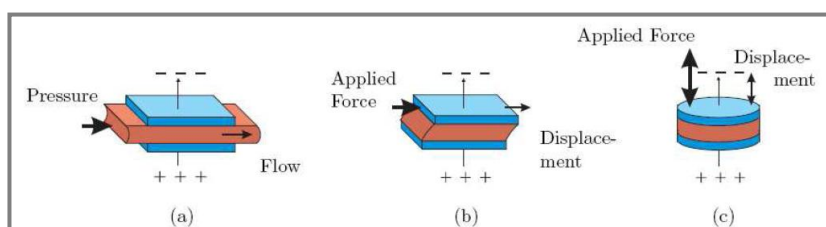


Obr. 1-5 Mez kluzu vs intenzita magnetického pole MR kapaliny [11]

1.2 Využití magnetických kapalin v praxi

1.2.2 Technické použití MR kapalin

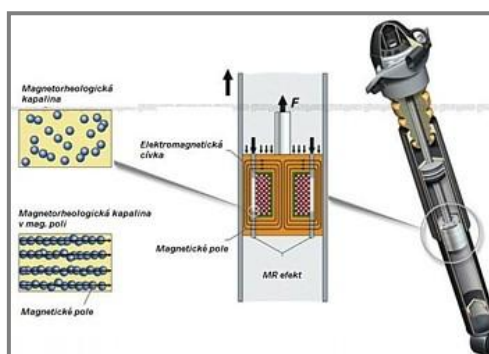
V technické praxi pracuje MR kapalina v tzv. „módech“. Je to tedy konkrétní způsob zatěžování MR kapaliny. Zatěžovací módy jsou ventilový, tahový-tlakový a smykový [14].



Obr. 1-6 Módy MR kapaliny a) ventilový, b) smykový, c) tlakový-tahový mód [14]

1.2.2.1 Ventilový mód (MR tlumič)

Magnetoreologický tlumič obsahuje tyto hlavní části: hydraulický válec, píst, budicí cívku a magnetickou kapalinu. V pístu tlumiče se nachází kanály, kde proudí magnetická kapalina. Kolem těchto kanálů je navinuta budicí cívka, která vytváří elektromagnetické pole v pístu tlumiče. Toto magnetické pole prochází těmito kanály a vlivem tohoto pole se v pístu zvyšuje viskozita magnetické kapaliny a tudíž i tlumicí síla magnetoreologického tlumiče. Odezva viskozity na změnu elektromagnetického pole se pohybuje v milisekundách. Tlumič je schopen reagovat do 20ms. Nevýhodou těchto tlumičů je jejich vysoká cena a fakt, že musí obsahovat řídicí jednotku a senzory, aby bylo možné plynule nastavit tlumicí účinek, proto se většinou používají v luxusních autech jako je například Audi TT [14, 16].

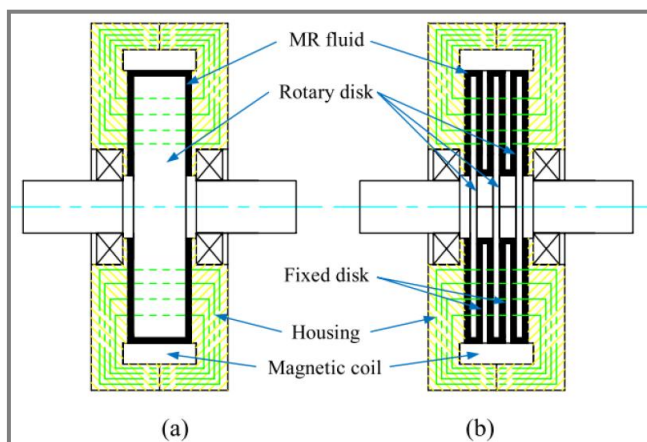


Obr. 1-7 MR tlumič [16]

1.2.2.2 Smykový mód (Magnetoreologická brzda)

Magnetoreologická brzda využívá změny viskozity v magnetické kapalině. Brzda se skládá z cívky, hřídele, rotoru, ložiska, magnetické kapaliny a statoru. Za nepřítomnosti magnetického pole se částice volně pohybují v nosné kapalině. Když na brzdu přivedeme magnetické pole, částice se začnou formovat do řetězců a viskozita prudce stoupne. Tato změna trvá jen asi 0,02 s. Magnetoreologická brzda má oproti jiným brzdicím systémům značnou spoustu výhod. Její konstrukce je velice jednoduchá a malá. Brzda

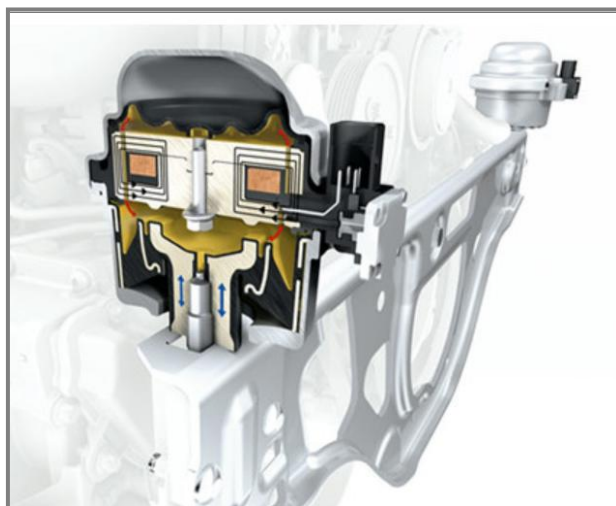
nepotřebuje žádné brzdové destičky, takže nedochází k žádnému vzájemnému dotyku a tím pádem ani k opotřebení a její ovladatelnost je jednoduchá [12].



Obr. 1-8 MR brzda a) jednolamelová b) vícelamelová [17]

1.2.2.3 Tlakový – tahový mód

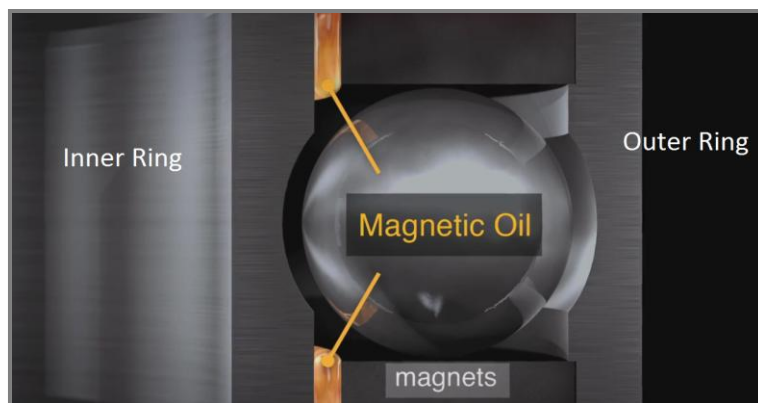
Jedna deska a kapalina jsou v klidu a druhá deska kmitá s malou amplitudou, viz obr. 1-6. Relativní posunutí je kolmé ke směru proudění. Tahově – tlakový mód je vhodnější pro řízení malých, milimetrových posuvů za působení velkých sil. Tento konkrétní mód je nejméně využíván a byl zatím nejméně prozkoumán. Využití tohoto módu nalezneme při tlumení vibrací [14, 18]. Tento způsob tlumení je použit u uložení motoru Porsche 911 GT3 viz obr. 1-9.



Obr. 1-9 Uložení motoru Porsche 911 GT3 [18]

1.2.1 Těsnění hřídelí a ložisek pomocí ferrokapaliny

Při těsnění ložisek a hřídelí se často používají ferrokapaliny. Díky jejich velikosti částic (3-15nm) je toto těsnění odolné i v těch nejobtížnějších podmínkách jako například slaná mořská voda.



Obr. 1-10 Schéma ložiska těsněného ferrokapalinou [10]

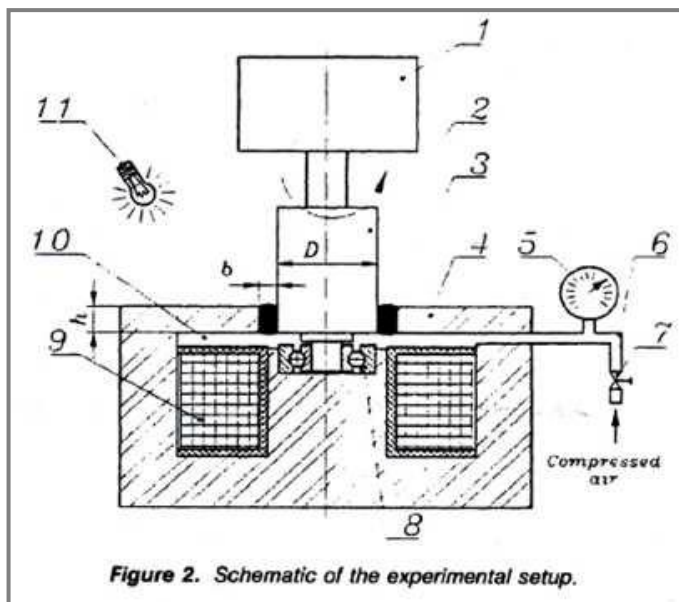
Tyto ložiska s magnetickým těsněním vyvinula firma Daiwa speciálně pro použití do svých rybářských prutů. Oproti standardním pryžovým těsněním má toto magnetické řadu výhod. Jeho hlavní výhoda je, že oproti pryžovým těsněním, pracuje magnetické těsnění téměř bez tření. Další výhodou oproti pryžovým těsněním je, že nedochází k vydírání stykových ploch těsnění, díky kterému je životnost tohoto těsnění prakticky neomezená. Značnou nevýhodou je cena a dostupnost ložisek [7, 10].

1.3 Testovací Standy

1.3

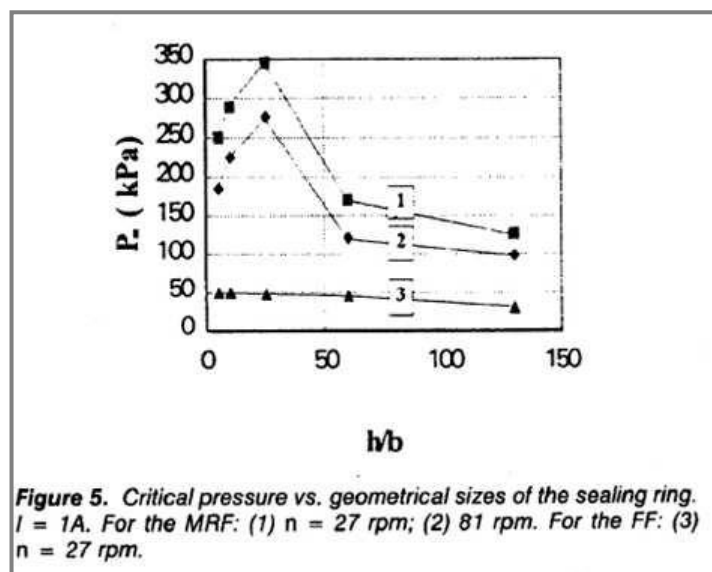
1.3.1 Stand magnetického těsnění na bázi MR kapaliny

1.3.1



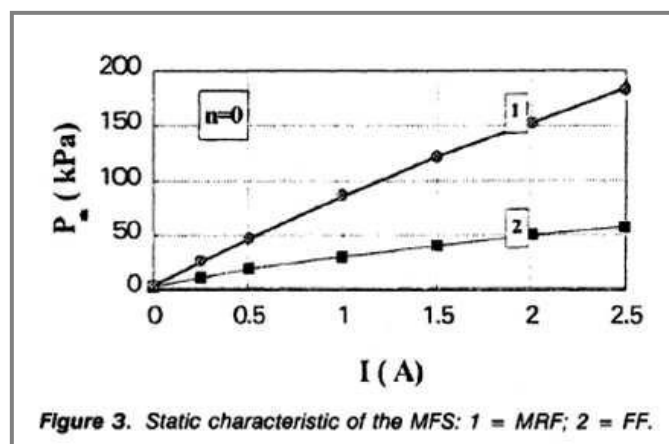
Obr. 1-11 Testovací stand [19]

Autoři Kordonski a Gorodkin [19] navrhli jednoduchý stand pro testování vlastností magnetických kapalin, znázorněn na obr. 1-11. Hřídel v tomto standu měl průměr $D = 20\text{mm}$. Pracovní prostor byl vyplněn MR kapalinou, hřídelem a pólovými nástavci. Testované parametry byly v rozsahu: $h = (1 - 10)\text{ mm}$, $b = (0,075 - 0,15)\text{ mm}$, $n = (0 - 240)\text{ 1/min}$ a $I = (0,25 - 2,5)\text{ A}$.



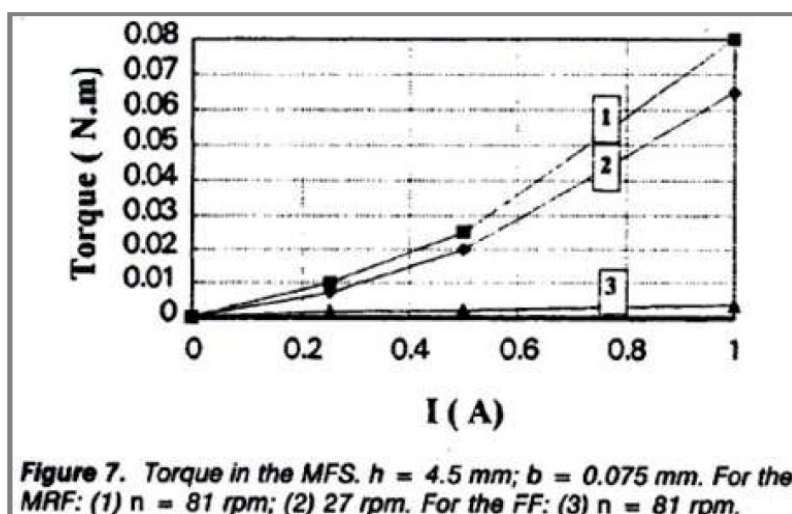
Obr. 1-12 Vliv geometrie břitu na přetlak těsnění [20]

Parametr, který ovlivňuje maximální přetlak, je poměr šířky h vůči mezeře b . Z grafu jasně vyplývá, že nejvhodnější poměr h/b je přibližně 30.



Obr. 1-13 Vliv proudu na přetlak těsnění [20]

Rozdíl mezi magnetoreologickou a ferrokapalinou v maximálním přetlaku, který zvládnou utěsnit, při nulových otáčkách hřídele je patrný z obr. 1-13. Při nulových otáčkách je vidět, že MR kapalina (1) odolává vyššímu přetlaku snadněji než ferrokapalina (2).

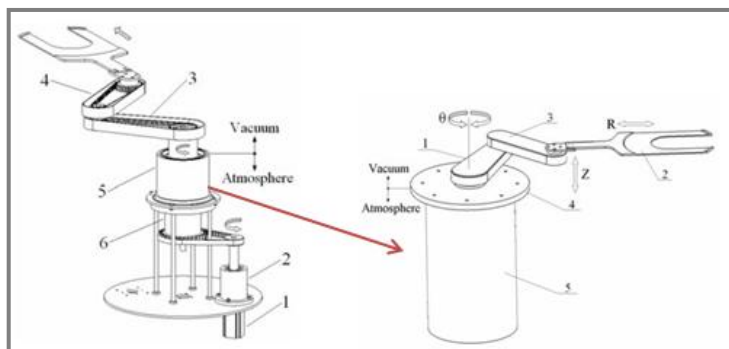


Obr. 1-14 Odebíraný krouticí moment [20]

Z obr. 1-14 je patrné, že MR kapaliny v oblasti těsnění zvyšují třecí moment se zvyšující se magnetickou indukcí. Tento nárůst je oproti ferrokapalině významný [14].

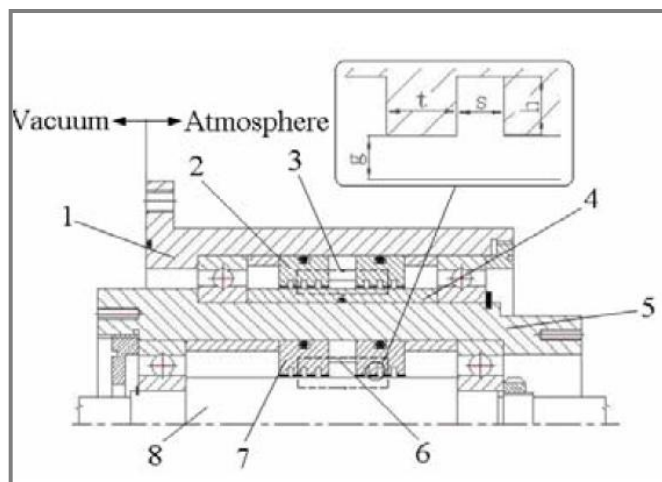
1.3.2 Manipulační zařízení pro práci ve vakuu

Gong a Dai [21] z Dalian na universitě v Číně sestrojily manipulační zařízení pro práci ve vysokém vakuu. Kde těsnění rotační části mezi atmosférou a vakuem je uskutečněno za pomoci magnetické kapaliny.



Obr. 1-15 Schéma manipulačního zařízení pro práci ve vakuu [21]

Provedení břitů včetně konstrukce a geometrie na obr. 1-15. Na obrázku jsou dva magnetické obvody (2,7) s permanentními magnety (3,6).



Obr. 1-16 Konstrukční uspořádání břitů [21]

Dále je uvedena tabulka parametrů manipulačního zařízení s maximálním přetlakem při nulových otáčkách. Maximální přetlak těsnění byl 2,6 MPa [14].

Tab. 1-1 Výsledky práce [21]

Parametry	Vnitřní hřídel	Vnější hřídel
Průměr hřídele	35 mm	80 mm
Vzduchová mezera	0,1 mm	0,1 mm
Šířka zubu	2 mm	2 mm
Vnitřní průměr magnetu	45 mm	110 mm
Vnější průměr magnetu	60 mm	120 mm
Počet břitů	8	8
Maximální přetlak	2,6 MPa	2,2 MPa

1.3.3 Nejvýkonnější zařízení pro testování těsnění na světě

„Centrum pro výzkum a vývoj společnosti Trelleborg v německém Stuttgartu disponuje speciálně zkonstruovanou zkušební stolicí, uvnitř které se nachází osmnáctitunová testovací stolice o výkonu 260 kW. Toto zařízení je vybaveno pohyblivou pístnicí a je určeno k testování těsnění. Toto zařízení dokáže simulovat různé druhy pohybů a tlaků, kterým jsou vystavena těsnění na hydraulických pístnicích použitých v těch nejnáročnějších systémech jako je přistávací vybavení letadel, zařízení tvarujících pomocí injektování nebo těžební stroje. Hlavní výhodou zkušebního zařízení je, že zvládne v laboratoři simulovat takové podmínky, které jsou velice podobné skutečným podmínkám v reálném světě. Testovací zařízení dokáže testovat těsnění o průměru 10 až 40 cm a v rámci jediného testu dokáže prověřit celé soustavy s těsněním, jelikož dokáže opakovaně vyvíjet realistický tlak mezi primárními a sekundárními těsněními. Pohybuje se rychlostí až 1 m/s, vyvíjí frekvence o intenzitě až 10 Hz a dokáže vytvářet pohyby a vyvinout tlak v přednastavených sekvencích, ať již v sinusoidách, tvarech lichoběžníku či ve zcela libovolně nastavených vzorech [5].“



Obr. 1-17 Nejvýkonnější stand pro testování těsnění na světě [5]

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2

2.1 Analýza problému

2.1

V současné době neexistuje žádné vhodné zařízení pro testování magnetického těsnění. Z tohoto důvodu bylo přikročeno ke konstrukci tohoto testovacího standu magnetického těsnění. Základní konstrukce standu vychází z předběžného návrhu Ing. Michala Kubíka.

2.2 Cíl práce

2.2

Hlavním cílem práce je konstrukční návrh standu pro testování provozních parametrů magnetického těsnění s těmito parametry:

- max. otáčky 6000 min^{-1} ,
- vnitřní přetlak 2 bary.

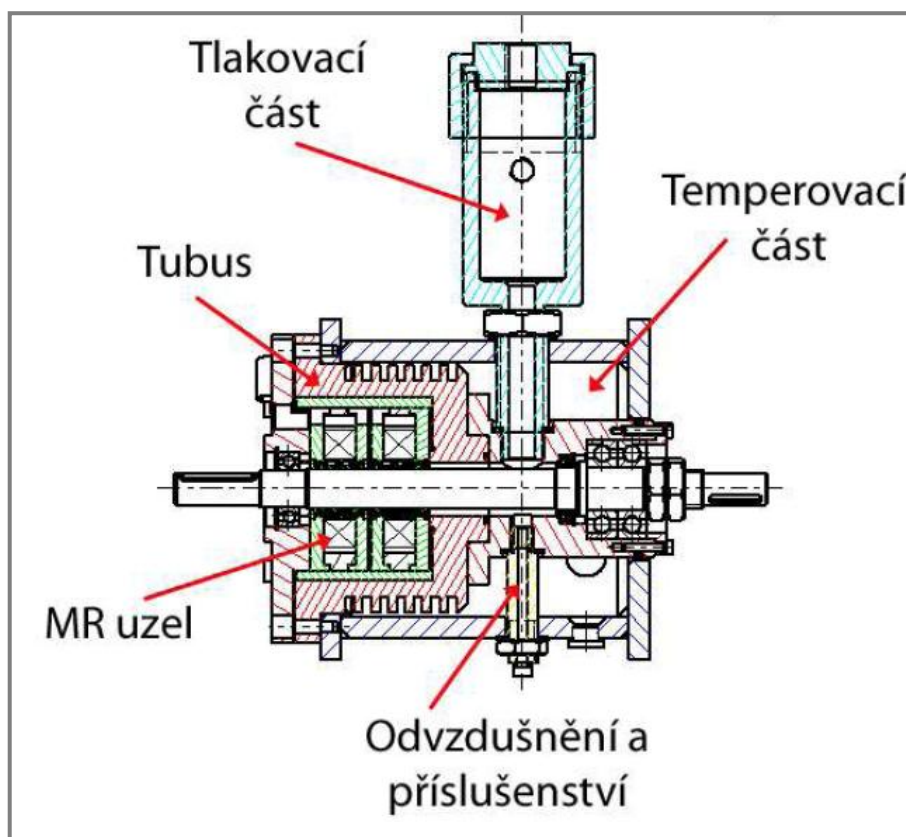
Dílčí cíle:

- revize a konstrukční úprava jednotlivých konstrukčních celků standu,
- kontrola geometrických tolerancí popřípadě úprava,
- výkresová dokumentace,
- zajištění výroby,
- montáž,
- prvotní zkoušky.

3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

3.1 Stand

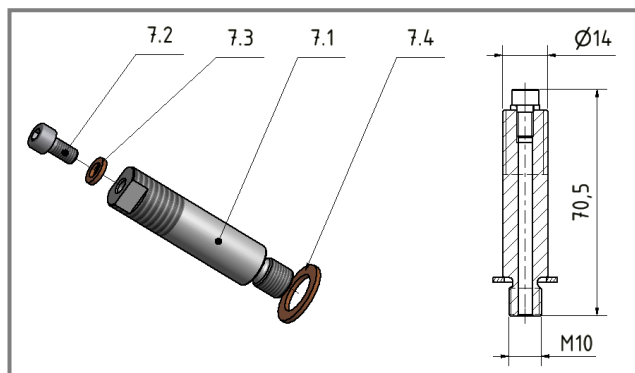
Na obr. 3-18 je zobrazen původní zadaný návrh standu pro testování magnetického těsnění. Stand byl rozdělen do 7 podsestav pro snadnější výrobu a montáž. Stand se skládal z podsestav: tlakování, teploměru, odvzdušnění, tubusu a nosné konstrukce. Pro těsnění čel dosedacích ploch ve standu bylo většinou voleno těsnění pomocí měděných podložek. Velkou nevýhodou tohoto typu těsnění je, že by bylo nutné (po demontáži tohoto typu těsnění) toto těsnění nahradit novým, a protože se předpokládá častá montáž a demontáž sestavy, není tento typ těsnění úplně vhodný [14].



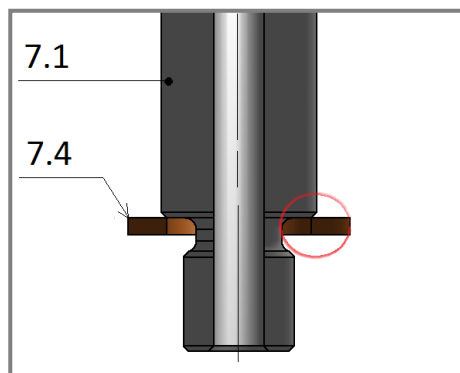
Obr. 3-18 Původní návrh standu [14]

3.2 Sestava odvzdušnění

Hydraulický obvod v testovacím standu je nutné vhodným způsobem odvzdušnit. Z tohoto důvodu byla navržena podsestava zajišťující odvzdušnění. Problém v původním návrhu by mohlo být utěsnění MR kapaliny v místě mezi podložkou 7.4 a trubicí odvzdušnění 7.1 z důvodu malé dosedací plochy na čele viz obr. 3-20.



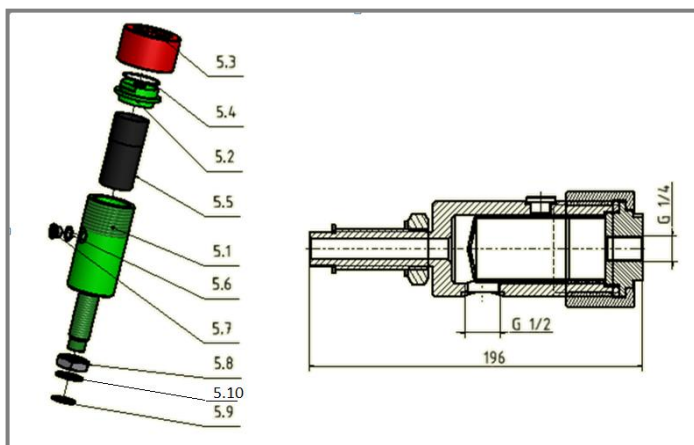
Obr. 3-19 Původní návrh sestavy odvzdušnění [14]



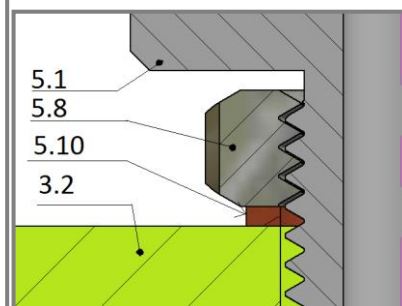
Obr. 3-20 Dosedací plocha sestavy
Odvzdušnění [14]

3.3 Sestava tlakování

Sestava tlakování je sekce konstrukce, která zajistí natlakování systému při testech těsnění. Původní návrh byl složen z nosné trubky (5.1), do které měl být vložen pryžový vak (5.5), který se používá v tlumičích motokrosových motorek. Tento vak měl být nasazen na vstupní díl (5.4) a pevně utažen upravenou trubicí se závitem



Obr. 3-21 Původní varianta tlakovací části konstrukce [14]



Obr. 3-22 Detail tlakovací části
konstrukce [14]

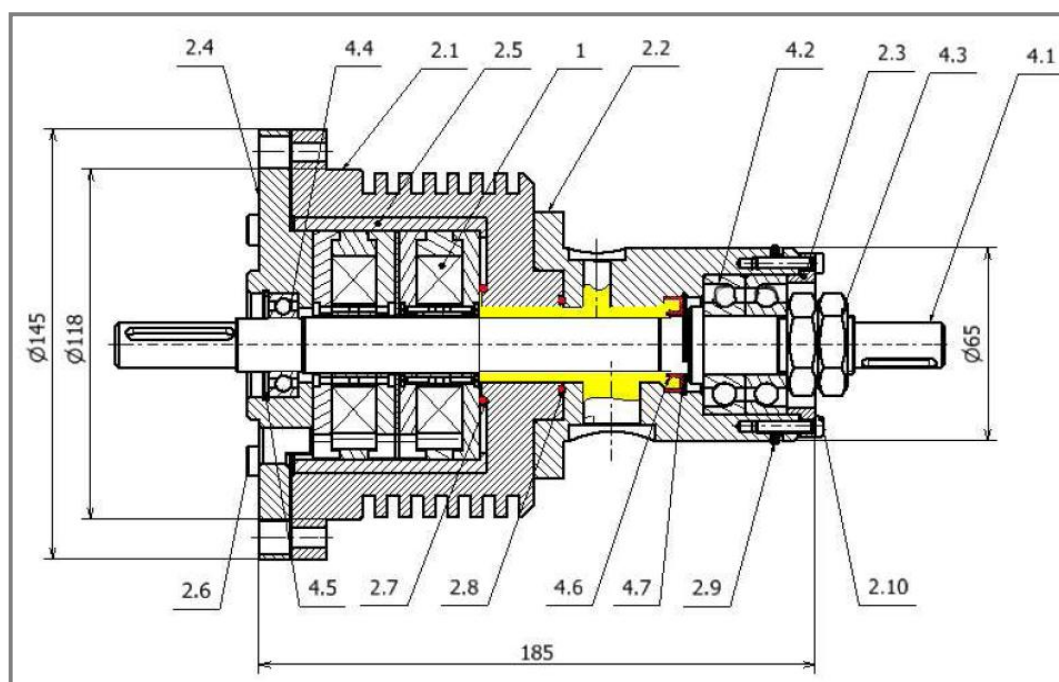
(5.3). Poté se měla našroubovat zátka (5.7). Tlakový vzduch měl být připojen k tlakovací části pomocí závitu G 1/4. Závít G 1/2 měl být připraven pro připojení senzoru tlaku.

U toho řešení není zaručené spolehlivé měření tlaku, protože by mohla nastat situace, že vak se přitiskne na čelo měřiče tlaku a bude tak ovlivňovat výsledná měření. Dále byl nalezen problém v místě závitu mezi maticí (5.8) a nosné trubky

(5.1). Temperovací kapalina by mohla prosakovat ve vůli mezi závity viz obr. 3-22, a proto by se musel těsnit i závit například teflonovou páskou [14].

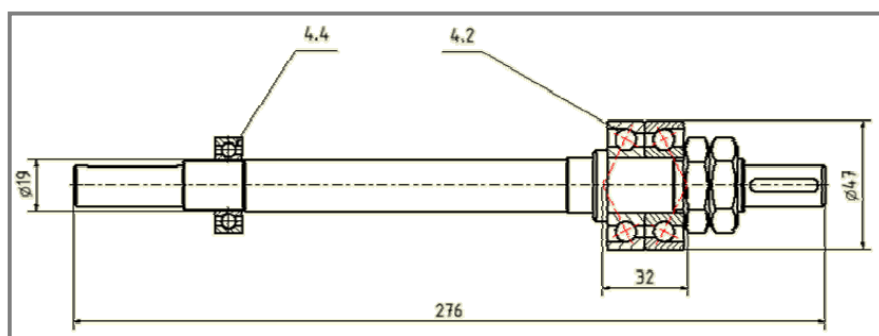
3.4 Tubus

Tubus je konstrukční skupina testovacího standu v nichž je pracovní prostor s MR kapalinou. Tento prostor je z jedné strany uzavřen magnetickým těsněním (1) a z druhé polymerním hřídelovým těsněním (4.6). V tubusu bude také docházet k tlakování celého systému. Jelikož je tubus rozdělen do dvou částí, těsní se tyto dvě části za pomoci o-kroužku (2.8). Maximální teplota magnetické kapaliny při testování se předpokládá 100°C [14].



Obr. 3-23 Původní návrh sestavy tubusu [14]

Hřídel testovacího standu (4.1) byl uložen v kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem firmy SKF 7204 BEP do O. Tento typ uložení měl ovlivnit házení hřídele a umožnit tak i testování magnetického těsnění v závislosti na velikosti vibrací. Koncepcí toho uložení viz obr. 3-24 se má minimalizovat i celková délka standu, protože ložiska měla být umístěna těsně vedle sebe a hřídel v tomto standu měla být vyrobena z oceli 11523 kvůli požadovaným magnetickým vlastnostem [14].

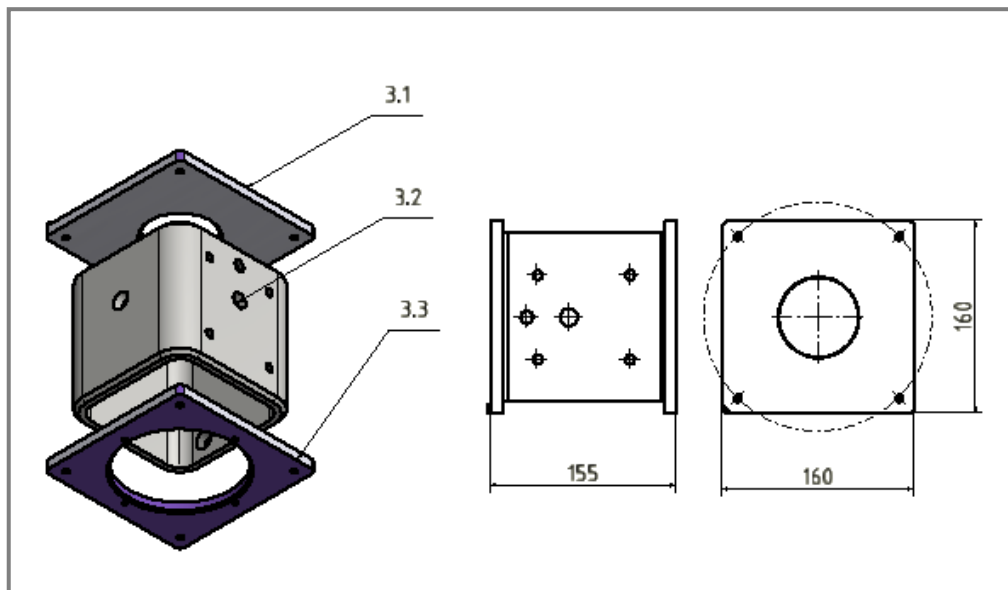


Obr. 3-24 Původní návrh hřídele testovacího standu [14]

Problém v tomto řešení by mohla být netěsnost mezi tubusy (2.2) a (2.1). Chladicí kapalina by se mohla dostat do mezery mezi tubusy a ve vůli mezi závity šroubů spojujících oba tubusy vtéci do MR uzlu, proto by musely být tyto závity zatěsněny. Další problém by mohl být v oblasti kolem o-kroužku (2.7). O-kroužek není zasazen v drážce a není podepřen v radiálním směru. To by mohl být problém při natlakování standu a hrozilo by přetržení o-kroužku a vytečení magnetické kapaliny mimo pracovní prostor. Jedna kolize by mohla nastat v oblasti o-kroužku (2.9) a díry se závitem pro šroub (2.10). Problém by mohl být, že tento šroub je umístěn nebezpečně blízko povrchu dosedací plochy o-kroužku a mohlo by dojít k deformaci nebo úplnému narušení povrchu. Nejmenší tloušťka v tomto místě je 1mm a to by mohl být problém při výrobě a vedlo by to ke zpřísnění výrobních tolerancí hlavně polohy těchto děr a závitů.

3.5 Nosná konstrukce

Nosná část konstrukce slouží k upevnění tubusu a ve vnitřní části zde bude proudit chladicí kapalina. Objem prostoru pro chladicí kapalinu je 0,9 l. Tento návrh je složen z jeklu 120 x 120 x 10 (3.2) ke kterému jsou přivařena dvě čela (3.1 a 3.3). Otvory po obvodu čela (3.1 a 3.2) byli připraveny k snadnějšímu upnutí této konstrukce k lícni desce soustruhu. K čelu (3.3) se měl pomocí šroubů montovat tubus (2.1). Kolize by mohla být právě v tomto upnutí v místě závitů pro uchycení tubusu (2.1), viz obr. 3-25. Další problém by mohl být i relativně malá délka tohoto závitu [14].



Obr. 3-25 Původní návrh nosné konstrukce [14]

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

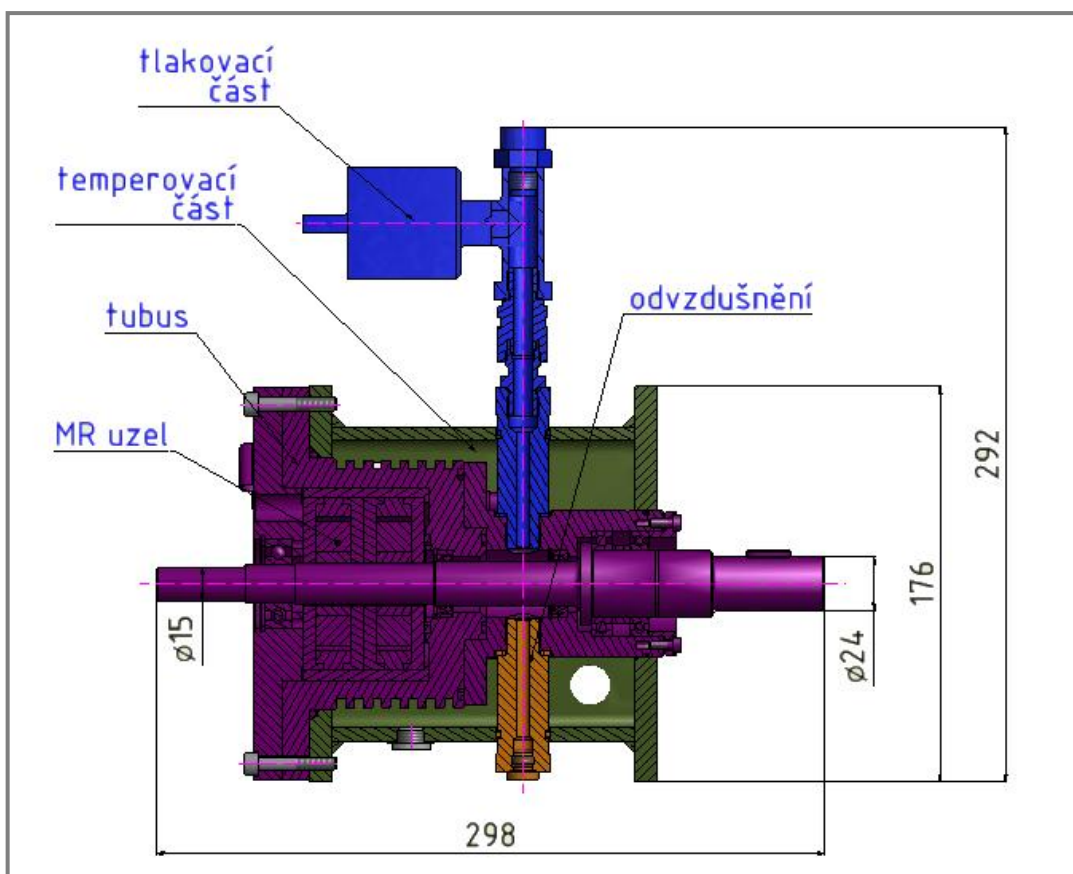
4

Stand magnetického těsnění bude sloužit pro testování vlastností magnetických kapalin. Bude se testovat vliv otáček, vibrací a maximální přetlak dokud nedojde k průrazu těsnění. Testovat se budou MR kapaliny a ferrokapaliny a poté bude následovat srovnání jejich vlastností.

4.1 Experimentální stand

4.1

Na obr. 4-26 je znázorněn řez konečného návrhu standu. Stand je rozdělen do následujících konstrukčních celků: tlakovací část, temperovací část, tubus, MR uzel, odvzdušnění a teploměr.

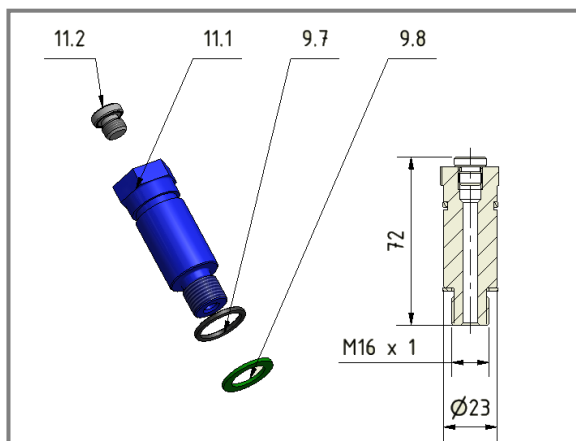


Obr. 4-26 Řez standem konečná verze



4.2 Sestava odvzdušnění

Hydraulický obvod v testovacím standu je potřeba odvzdušnit. Na obr. 4-28 je znázorněn konečný návrh odvzdušnění. Sestava byla celá přestavěna. Pro snadnější montáž se bude celá sestava montovat až po uložení tubusu do základní konstrukce a těsnění mezi sestavou odvzdušnění a základní konstrukcí se bude realizovat okroužkem (7.7) do boku základní konstrukce, těsnění mezi tubusem a Sestavou odvzdušnění bude místo měděné podložky (7.4) realizováno USIT kroužkem (7.8),



Obr. 4-28 Konečný návrh sestavy odvzdušnění

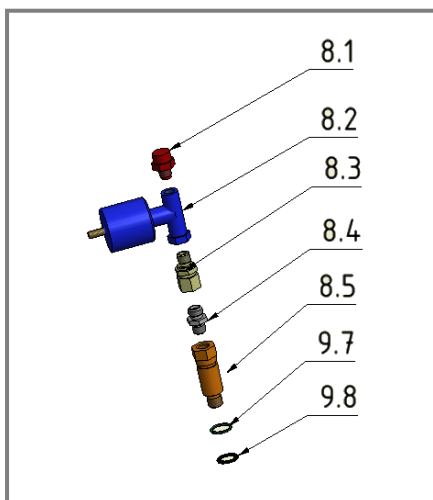


Obr. 4-29 Ukázka sestavy odvzdušnění

kteří je možno opakovaně použít. Pro snížení počtu klíčů na demontáž standu budou mít sestava odvzdušnění, sestava tlakování a sestava teploměru šestihran pro klíč velikosti 24.

4.3 Sestava tlakování

Sestava tlakování je část konstrukce, kde bude docházet k natlakování standu při testech magnetického těsnění. Je složen z trubky, dvou kusů šroubení, expanzní nádoby a měřiče tlaku P8AP/10 bar. Expanzní nádoba je s plovoucím pístem. Těsnění tlakoměru se bude provádět přes usit kroužek, protože se tlakoměr bude často demontovat pro snadnější odvzdušnění hydraulického obvodu.



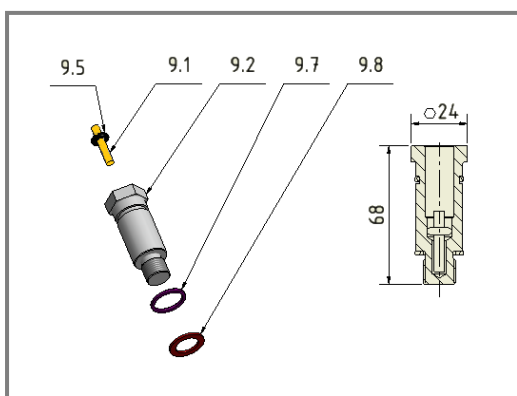
Obr. 4-30 Konečný návrh sestavy tlakování



Obr. 4-31 Ukázka sestavy šroubení

4.4 Sestava teploměru

Sestava teploměru je část příslušenství, které bude našroubované do sestavy tubusu. Jeho funkce je měření teploty uvnitř pracovního prostoru tubusu. Materiál trubky teploměru (9.2) je volen z mosazi CuZn35Pb1 kvůli jeho výborným teplovodivým vlastnostem. Pro přesnější měření bude spodní prostor mezi trubkou teploměru a teploměrem vyplněn teplovodivou pastou.



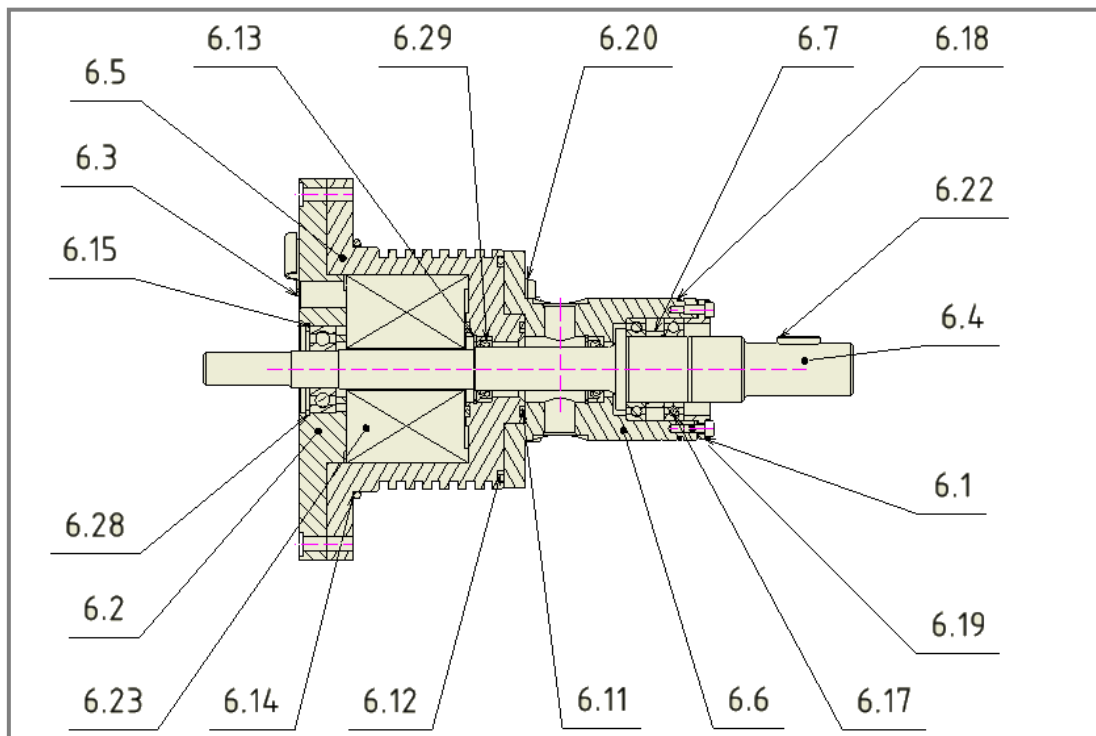
Obr. 4-32 Konečný návrh sestavy teploměru



Obr. 4-33 Zobrazení sestavy teploměru

Pro snadnější vystředění teploměru bude na teploměr nasazen o-kroužek (9.5), který bude držet teploměr v ose trubky teploměru PT 100 (9.2).

4.5 Sestava tubusu



Obr. 4-34 Konečný návrh sestavy tubusu

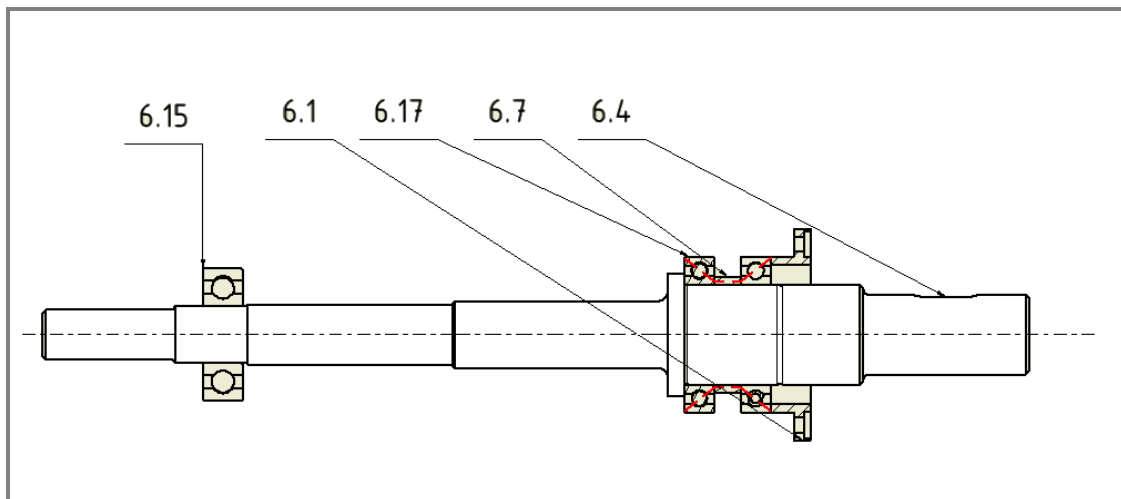
Tubus tvoří hlavní část sestavy testovacího standu. Jeho pracovní prostor bude vyplněn magnetickou kapalinou, která bude z jedné strany utěsněna hřídelovým těsněním s prachovkou a z druhé bude testované magnetické těsnění.



Obr. 4-35 Zobrazení tubusů

Pro snížení opotřebení pod hřídelovým těsněním bude prostor mezi prachovkou a těsnícím břítem vyplněn mazivem. Magnetické těsnění se bude testovat jak při konstantní mezeře mezi bříty těsnění a hřídelí tak za proměnlivé štěrby, která se

bude měnit důsledkem vibrací. Na obr. 4-34 je znázorněn konečný návrh tubusu. Hlavní tubus zůstal podle předchozího návrhu rozdělen na dvě části. Nově je zde těsnění pomocí o-kroužku na větším průměru, aby se zabránilo průniku chladicí kapaliny do MR uzlu.



Obr. 4-36 Detail uložení hřídele v tubusu

Všechny měděné podložky nahrazeny usit kroužky. Sestavy, které se budou montovat na tubus, se budou připojovat pomocí závitů M16 x 1,5. U hliníkového tubusu bylo přepracováno uložení o-kroužku mezi tubusem a MR uzlem.

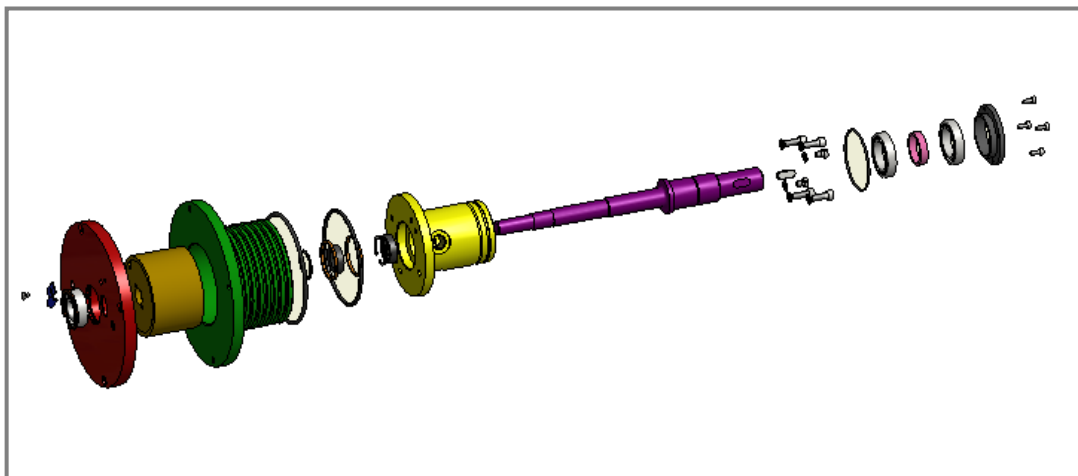


Obr. 4-37 Zobrazení uložení hřídele

Pro zjednodušení výroby bylo na přírubě zarovnáno čelo a byl zmenšen počet děr pro připojení tubusu a nosné konstrukce. Aby byl zajištěn bezpečný přívod elektrického vedení k MR uzlu a nemohlo dojít k nechtěnému povolení spony, byla tato spona opatřena zobáčkem, který zapadne do předvrtané díry v přírubě a zajistí tak přesnou polohu. U ocelového tubusu byly odstraněny díry pro demontáž ložisek, kvůli novému uložení hřídele, ale hlavně by mohli způsobit netěsnost o-kroužku mezi tubusy. Hřídel testovacího standu bude uložen v přírubě za pomoci ložiska SKF 6203-2RS a v tubusu pomocí dvou ložisek SKF 61906-2RS. Tyto dvě ložiska budou uložena s přepětím vyvolanou přírubou ložiska.

Pracovní prostor v tubusu bude těsněn z jedné strany MR uzlem a z druhé strany hřídelovým těsněním. Protože se předpokládá, že magnetické kapaliny budou silně abrazivní a mohlo by dojít k vydírání drážek na hřídeli a mazání gufera by bylo obtížné, bylo voleno hřídelové těsnění s prachovkou ČSN 02 9401.0 - GP 20 x 30 x

7. Prostor mezi břity hřídelového těsnění se vyplní mazacím tukem, který bude z jedné strany mazat břit gufera.

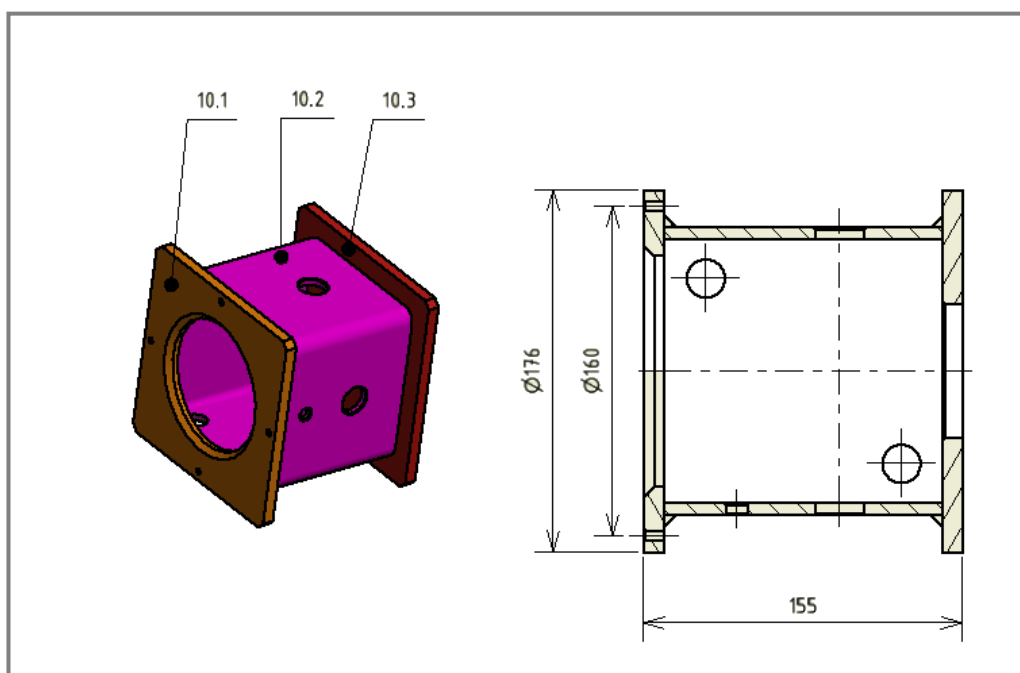


Obr. 4-38 Rozpad Tubusu

Při první konfiguraci testování magnetického těsnění se bude prvně měřit odebíraný výkon ložisek a gufer. Do hliníkového tubusu se vloží hřídelové těsnění a pracovní prostor se naplní magnetickou kapalinou. Poté se bude měřit odebíraný výkon. Pokud se bude testovat vliv vibrací, bude vhodné odstranit ložisko z příruby.

4.6 Nosná konstrukce

Tato část konstrukce slouží k upevnění tubusu a ve vnitřní části zde bude proudit chladicí kapalina. Objem prostoru pro chladicí kapalinu je 1,2 l. Tato konstrukce je složena z jeklu (10.2) ČSN EN 10219-2 - 140 x 140 x 6, k tomuto jeklu jsou přivařena dvě čela (10.1 a 10.3). Pro lepší upnutí tubusu byla tato čela zvětšena a závitky pro jeho připevnění byly vyvedeny mimo jekl. Oproti původnímu návrhu byly odstraněny díry pro upevnění standu na podložku a díry pro upevnění standu k lící desce soustruhu, která se bude při výrobě upínat za pomoci čtyř čelistové hlavy. Dále bylo odstraněno zkosení u vypouštěcího šroubu, které by bylo složité na výrobu z technologického hlediska.

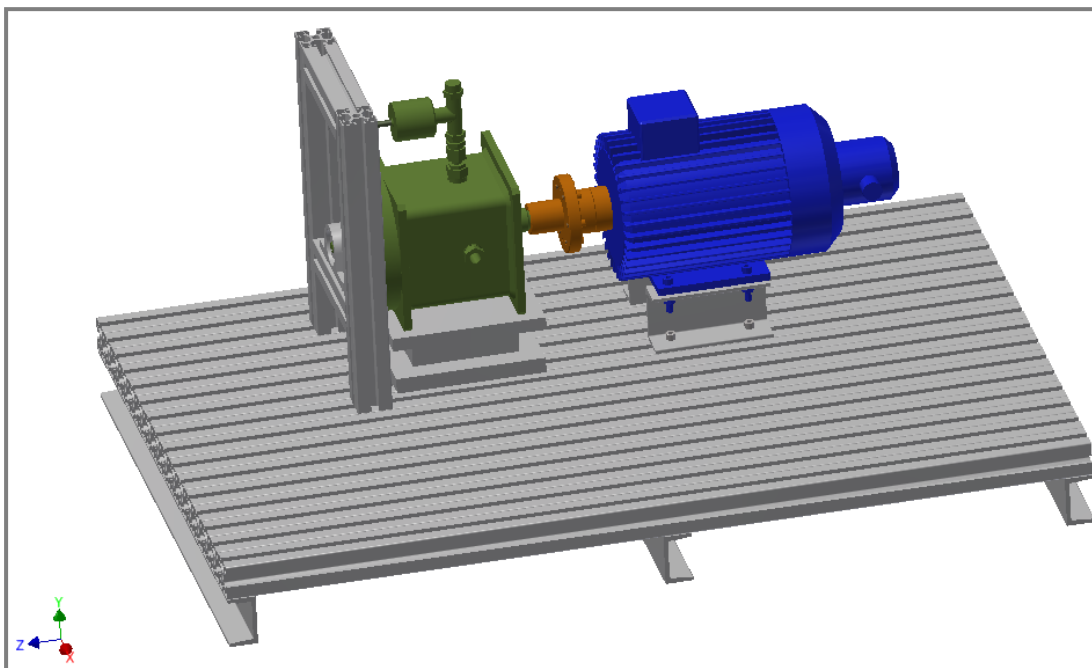


Obr. 4-39 Konečný návrh nosné konstrukce

4.7 Schéma zapojení měřicího řetězce

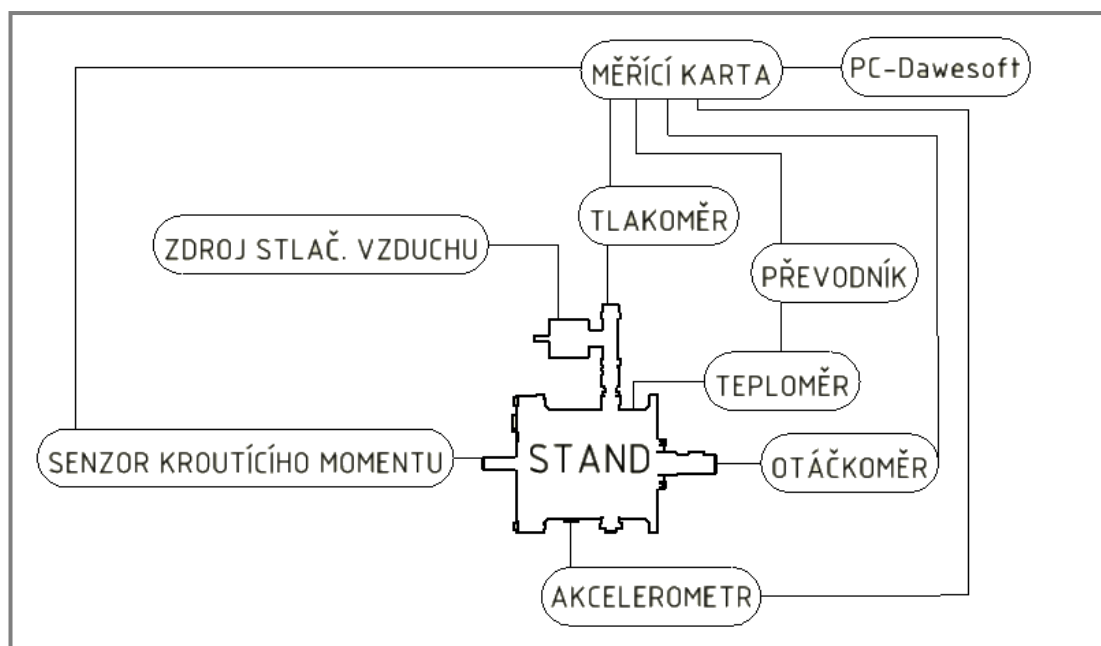
Měřicí řetězec bude složen z vyvíjeného standu (zelená barva), elektromotoru (modrá barva), spojky (oranžová barva), a upínacího zařízení (šedá barva).

Pro pohon standu byl vybrán asynchronní elektromotor značky SIEMENS o výkonu 1,5 kW. Aby bylo možné regulovat otáčky motoru, bude k motoru připojen frekvenční měnič Sinamics G110.



Obr. 4-40 Ukázka připojení standu k testovací stoličce

Připojení standu k motoru bude pomocí hřídelové spojky, náboje a svěrného pouzdra typu KLCC 24 x 34 od firmy Systém Block. K testovacímu standu bude připojena celá řada senzorů. V trubce teploměru bude snímač teploty PT 100, který bude připojen přes převodník s měřicí kartou. K expanzní nádobě bude připojen senzor tlaku P8AP/10 bar, který bude připojen opět k měřicí kartě. K standu bude dále připojen snímač otáček, akcelerometr a senzor kroutícího momentu. Všechny tyto snímače budou propojeny s měřicí kartou. Měřicí karta bude předávat data do počítače, které budou zpracovány pomocí programu Dawesoft. Schéma zapojení na obr. 4-42.



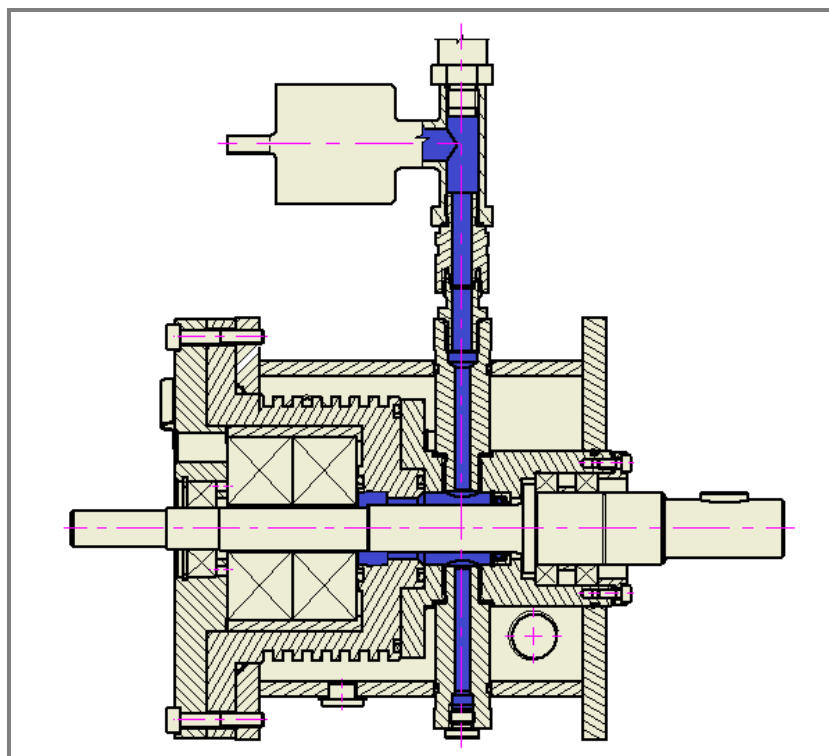
Obr. 4-41 Schéma zapojení senzorů standu

4.8 Postup odvzdušnění

Plnění magnetickou kapalinou bude prováděno střídavě přes sestavu odvzdušnění a sestavu tlakování. Poté se obvod uzavře a pomocí zátky (7.5) se obvod odvzdušní a doplní se chybějící část magnetické kapaliny. Odvzdušnění standu je důležitou součástí konstrukce, protože MR kapalina má poměrně vysokou zdánlivou viskozitu (MRF 132 0,112 Pa.s). A tedy je zde problém se zatékáním MR kapaliny.

1. Ze standu s aktivovaným MR uzlem demontujeme tlakoměr (8.1) a naplníme stand magnetickou kapalinou
2. Namontujeme zpět tlakoměr (8.1)
3. Stand otočíme vzhůru nohama a vyvodíme vibrace externím zdrojem
4. Demontujeme zátku (7.5) a doplníme chybějící část magnetické kapaliny
5. Namontujeme zátku (7.5) a otočíme stand zpět do původní pozice a opakujeme body 1-5 dokud se ze standu nedostane veškerý vzduch
6. Otočíme stand vzhůru nohama a demontujeme zátku (7.5)
7. Doplníme magnetickou kapalinu po okraj trubky odvzdušnění (11.1)
8. Namontujeme zátku (7.5)

Na obrázku 4-42 je znázorněn prostor v standu, který je vyplněn MR kapalinou.

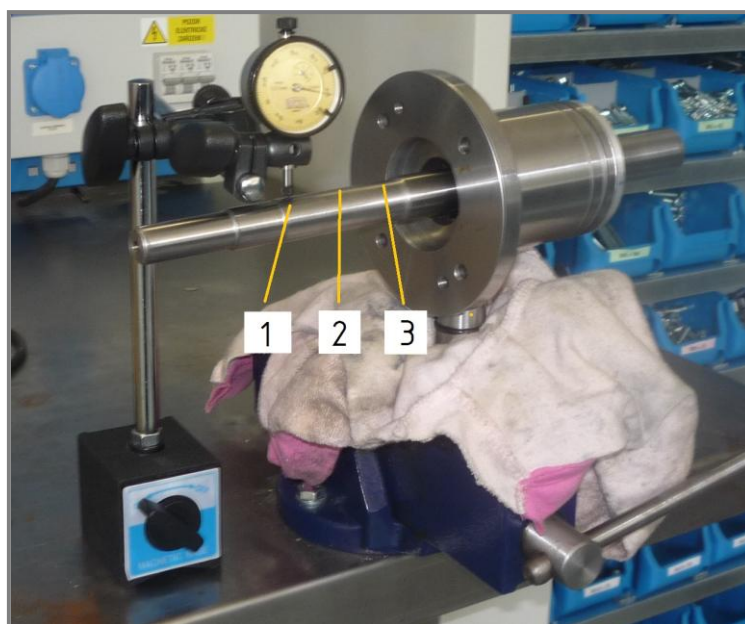


Obr. 4-43 Magnetická kapalina (modrá barva) ve standu

4.9 Měření házení hřídele v tubusu

4.9

Měření házení hřídele v tubusu se bude provádět po nalisování hřídele (6.4) s ložisky (6.17) do tubusu (6.6). Poté se bude otáčet hřídelí v ložiskách a měřit házení hřídele v místě MR uzlu pomocí úchylkoměru.



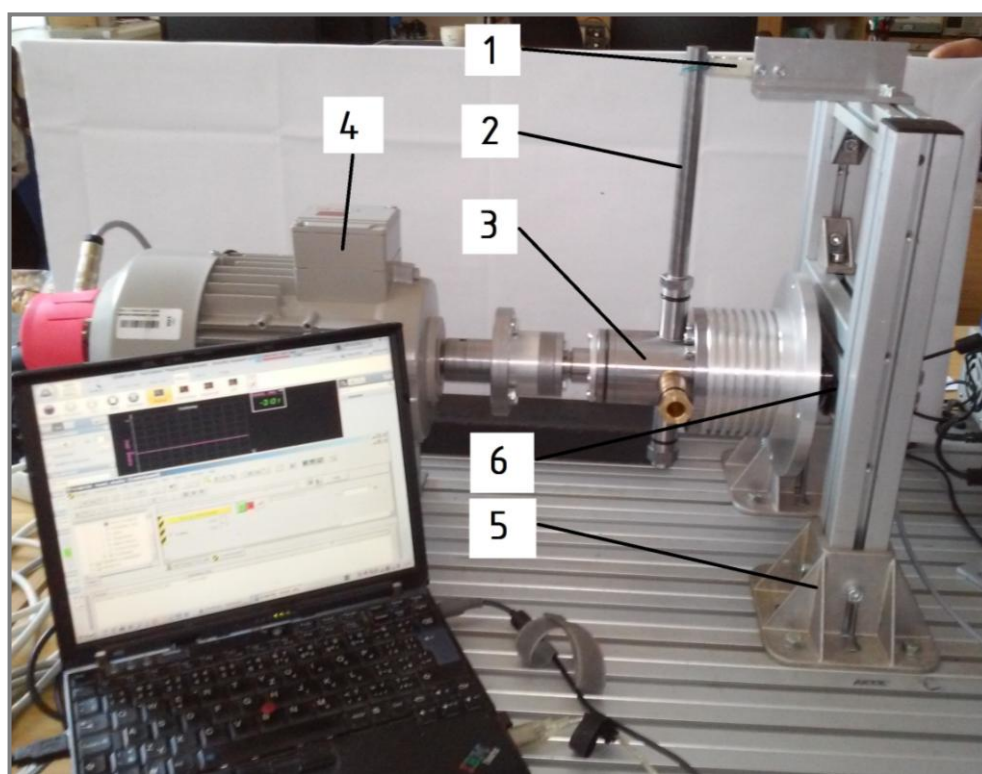
Obr. 4-44 Ukázka z měření házení hřídele

Tab. 4-2 Výsledky naměřených hodnot házení hřídele

Místo měření:	1	2	3
Naměřená hodnota [mm]:	0,16	0,11	0,06

4.10 Měření ztrátového momentu ložisek a hřídelového těsnění

Pro zobrazení přesných hodnot při měření odebíraného momentu MR uzlu je potřeba znát hodnoty ztrátového momentu od ložisek a hřídelového těsnění. Výsledky měření jsou zaneseny v tabulce 4-3. Protože průběh měření měl sinusový průběh v čase, byla z měření odečítána maximální hodnota ztrátového momentu a průměrná hodnota. Výsledky z měření tabulka 4-3.



Obr. 4-45 Ukázka z měření ztrátového momentu

Měření bylo realizováno pomocí páky (2), která byla namontována přes závit M10 x 1 do trubky odvodu (11.1) místo zátky (11.2). Páka poté působila silou na siloměr (1) typu DF 2 SR-3. K měření byl použit asynchronní motor s frekvenčním měničem (4), testovací stolice (5), ke které bylo připevněno ložisko s domečkem (6) a testovaný stand (3). Data ze siloměru byla poté posílána do programu Dawesoft, který ze zadaných parametrů (délka ramena a síla) vypočítá hodnotu ztrátového momentu.

Tab. 4-3 Naměřené hodnoty ztrátového momentu

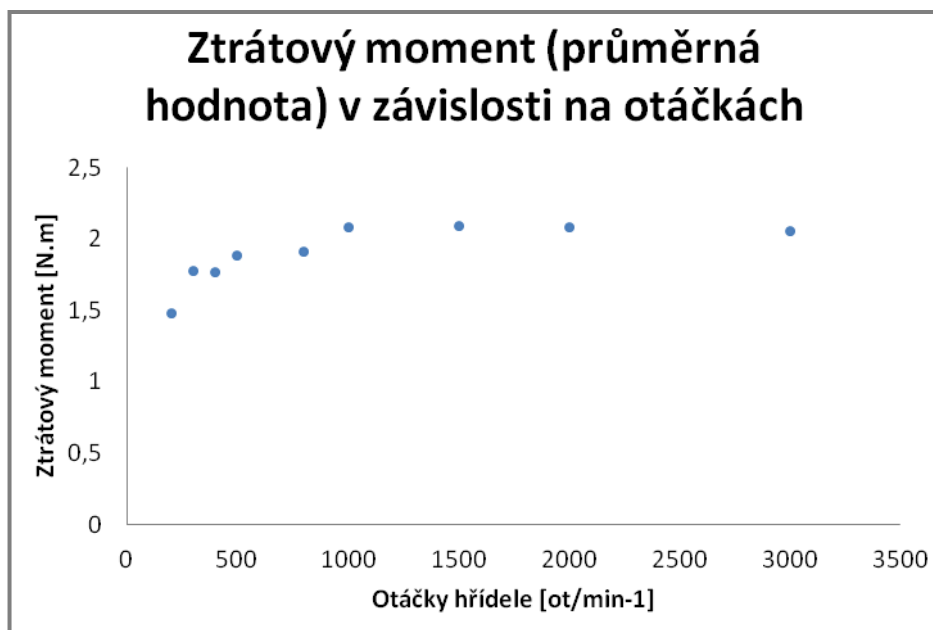
Otáčky [ot.min ⁻¹]	Ztrátový moment, maximální hodnota[N.m]	Ztrátový moment, průměrná hodnota [N.m]
200	6,18	1,48
300	5	1,78
400	4,39	1,77
500	4,23	1,88
800	3,4	1,91
1000	3,4	2,08
1500	3,2	2,09
2000	2,9	2,08
3000	2,86	2,05

Naměřené hodnoty ukazují, že maximální hodnota ztrátového momentu klesá se zvyšujícími se otáčkami hřídele.



Obr. 4-46 Závislost maxima ztrátového momentu na otáčkách

Průběh průměrné naměřené hodnoty se velmi rychle stabilizuje kolem hodnoty 2Nm. Z toho vyplývá, že se zvyšujícími se otáčkami hřídele se snižuje amplituda sinusového průběhu ztrátového momentu.

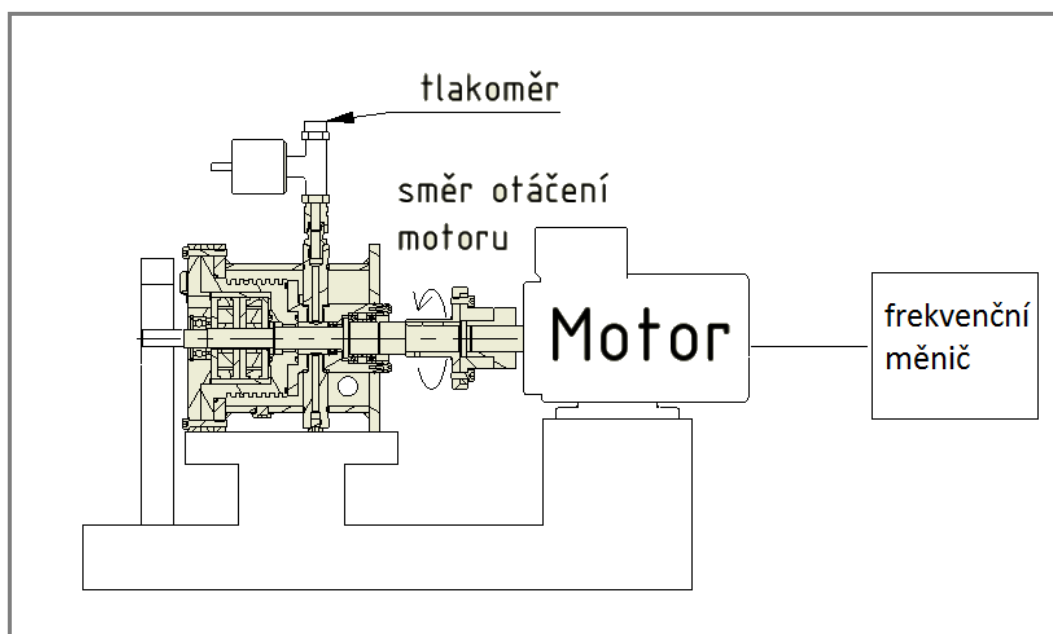


Obr. 4-47 Závislost průměrné hodnoty ztrátového momentu na otáčkách

Dá se očekávat, že při dalším zvyšování otáček hřídele by se maximální hodnota ztrátového momentu blížila průměrné hodnotě, proto výsledná hodnota ztrátového momentu by měla být kolem hodnoty 2Nm.

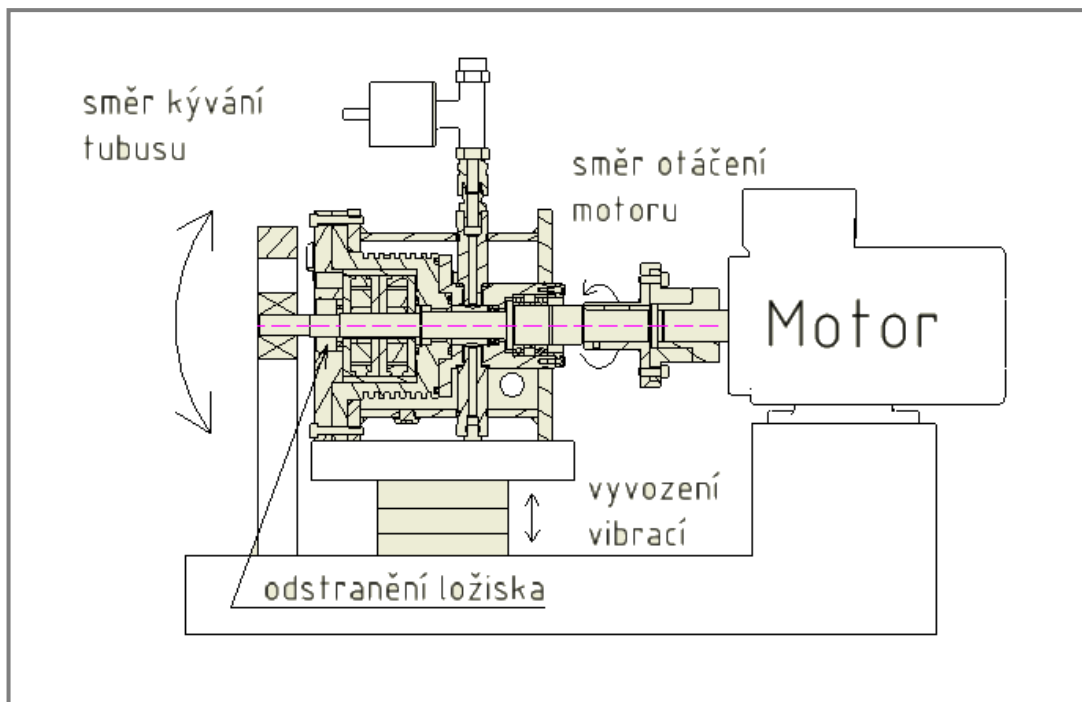
4.11 Postup měření

Měření bude probíhat tak, že se nastaví konstantní tlak a budou se zvyšovat otáčky, dokud nedojde k průsaku těsnění.



Obr. 4-48 Schéma zapojení pro testování vlivu otáček

Magnetické těsnění se bude testovat na vliv vibrací. Bude se zkoumat vliv frekvence vibrací při konstantní amplitudě na přetlak těsnění. Vibrace budou vyvozeny pomocí externího zdroje. Pro tento typ testování musí být odstraněné ložisko (6.15) z příruby, aby bylo možné vyvodit vibrace.



Obr. 4-49 Schéma zapojení pro testování vlivu vibrací

5 DISKUZE

Testovací stand, stejně jako každé jiné zařízení má své konstrukční omezení. Největší vliv má elastomerní hřídelové těsnění. Maximální tlak uvnitř standu může být až 10 bar do 500 ot/min. Maximální otáčky standu mohou být 6000 ot/min, při maximálním tlaku 0,2 bar. Maximální temperovací teplota standu může být 100 °C. Při překročení této teploty může dojít k destrukci těsnících elementů a magnetické kapaliny. Poslední omezení se týká maximálního dlouhodobého proudového zatížení cívky, které je 3,36 A.

Vzhledem k relativně vysokým hodnotám házení hřídele v tubusu v místě MR uzlu bude nejspíše nutné pro testování vlivu vibrací zvětšit vůli mezi hřídelí a břity MR uzlu. Dále bude nutné identifikovat důvod, proč tak hřídel hází. Kontrolovat se bude hlavně přesnost výroby hřídele a vliv třídy přesnosti ložisek. Bohužel na toto měření nezbyl čas, protože se podstatně prodloužila výroba dílů.

Měření ztrátového momentu mělo mít lineární průběh. Sinusový průběh je pravděpodobně způsoben nepřesností uložení hřídele v tubusu (6.6). To mělo za následek vibrace, které se přenášeli při rotaci hřídele do tubusů a následně do siloměru. Velká hodnota amplitudy při otáčkách do 500 ot.min⁻¹ značí, že ztrátový moment nabýval i záporných hodnot. To bylo způsobeno uchycením siloměru a páky ze standu pomocí gumičky. Tudíž mohla nastat situace, že se při vibracích páka odrazila od siloměru a působila na něj v opačném smyslu.

6 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce byl návrh testovacího standu pro stanovení provozních parametrů magnetického hřídelového těsnění, který navazoval na diplomovou práci Ing. Michala Kubíka. Tato práce se převážně věnovala návrhu a tvorbě výkresové dokumentace. Konstrukce byla rozdělena do 4 podsestav. Jednotlivé podsestavy byly navrhnuty s ohledem na rychlou montáž a demontáž a byl na ně použit pokud možno co nejmenší počet montážního a demontážního nářadí. Dále byl požadavek na co největší sousost dílů, které se nejsnadněji dosáhne na jedno upnutí na soustruhu nebo brusce na kulato. Na tomto standu budou probíhat testy magnetického těsnění při různých provozních podmínkách. Výsledky z těchto experimentů poskytnou údaje pro predikci chování magnetického těsnění při různých provozních stavech. Dále budou provedeny experimenty, které ukáží výhody nebo nevýhody tohoto způsobu těsnění oproti ostatním druhům těsnění.

7 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] SVOBODA, P. aj. *Základy konstruování*. Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 288 s. ISBN: 80-7204-214-9
- [3] SOBEK, E. aj. *Základy konstruování. Návod pro konstrukční cvičení*. 5. vydání, přepracované. Brno: VUTIUM, 2002. 164 s. ISBN: 80-214-2090-1
- [4] Sigma Group, a.s. - Prospekty <http://www.sigma.cz>
- [5] E-konstruktor. 2014. *Nejvýkonnější zařízení pro testování těsnění na světě* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://39913.w13.wedos.ws/novinka/nejvykonnejsi-zarizeni-pro-testovani-tesneni-na-svete>
- [6] *Magnetická kapalina* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.videacesky.cz/navody-dokumenty-pokusy/magneticka-kapalina>
- [7] *Mag Sealed Ball Bearings* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.daiwafishing.com.au/mag-sealed-ball-bearings/>
- [8] MAYER, Daniel. *Magnetické kapaliny a jejich použití* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2008_40/el030778.pdf
- [9] MAYER, Martin. *The Daiwa Affair* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=F6dcO1hek7w>
- [10] *Mag Sealed Ball Bearings* [online]. MAYER, MARTIN. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.daiwafishing.com.au/mag-sealed-ball-bearings/>
- [11] KŮREČKA, Jan. *Magnetické kapaliny používané ve fluidním inženýrství*. [online]. [cit. 2015-05-10]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 34 s. Vedoucí práce Ing. Simona Fialová, Ph.D. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85891
- [12] BEDŘICH, M. *Úprava stávající konstrukce magnetoreologické spojky*. [online]. [cit. 2015-05-10]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jakub Roupec, Ph.D. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52735

- [13] ROUPEC, J. *Mezní a degradační procesy magnetoreologických tlumičů odpružení*. [online]. [cit. 2015-05-10] Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 140 s. Vedoucí disertační práce Doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=44549
- [14] KUBIK, M. *Návrh testovacího standu pro stanovení provozních parametrů magnetického hřídelového těsnění*. [online]. [cit. 2015-05-10]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 94s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jakub Roupec Ph.D. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63785
- [15] Actuators based on Magnetorheological Fluid. [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.hs-owl.de/fb5/en/labor/rt/forschung/mrf-aktorik.html>
- [16] ROZENBERG, Jaromír. 2005. *Magnetoreologický tlumič – novinka v dopravních systémech* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.autopriemysel.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=5919&Itemid=118
- [17] NAM, Tran Hai a Kyoung Kwan AHN. *A new structure of a magnetorheological brake with the waveform boundary of a rotary disk*. Smart Materials and Structures. 2009, č. 18, s. 1-14. DOI: 10.1088/0964-1726/18/11/115029.
- [18] LORD Corporation [online]. 2013. vyd. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.lord.com/>
- [19] KORDONSKI, W. I. a S. R. GORODKIN. Magnetorheological Fluid-Based Seal. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 1996-09-01, roč. 7, č. 5, s. 569-572. ISSN 1045-389x. DOI: 10.1177/1045389X9600700518. Dostupné z: <http://jim.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1045389X9600700518>
- [20] IYENGAR, VARDARAJAN R., ALEXANDER A. ALEXANDRIDIS, SIMON C. TUNG a DAVID S. RULE. Wear Testing of Seals in Magneto-Rheological Fluids. *Tribology Transactions*. 2004, vol. 47, no. 1, pp. 23-28. ISSN 1040-2004. DOI: 10.1080/05698190490279083. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/05698190490279083>
- [21] CONG, Ming a Huili SHI. A study of magnetic fluid rotary seals for wafer handling robot. *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*. 2010, roč. 8, 1/2/3/4, s. 158-. ISSN 1740-8865. DOI: 10.1504/IJISTA.2010.030197. Dostupné z: <http://www.inderscience.com/link.php?id=30197>
- [22] ČSN ISO 214 (01 0148). Abstrakty pro publikace a dokumentaci

8 SEZNAM

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1-1 Magnetická částice s detergentem [8]	15
Obr. 1-2 MR efekt [15]	16
Obr. 1-3 Ferromagnetická kapalina [6].....	16
Obr. 1-4 Porovnání Ferrokapalin (1) a MR kapalin (2) [14]	17
Obr. 1-5 Mez kluzu vs intenzita magnetického pole MR kapaliny [11].....	17
Obr. 1-6 Módy MR kapaliny a)ventilový, b)smykový, c)tlakový-tahový mód [14].	18
Obr. 1-7 MR tlumič [16].....	18
Obr. 1-8 MR brzda a) jednodílná b) vícedílná [17].....	19
Obr. 1-9 Uložení motoru Porsche 911 GT3 [18].....	19
Obr. 1-10 Schéma ložiska těsněného ferrokapalinou [10].....	20
Obr. 1-11 Testovací stand [19]	21
Obr. 1-12 Vliv geometrie břitu na přetlak těsnění [20]	21
Obr. 1-13 Vliv proudu na přetlak těsnění [20].....	22
Obr. 1-14 Odebíraný krouticí moment [20].....	22
Obr. 1-15 Schéma manipulačního zařízení pro práci ve vakuu [21]	23
Obr. 1-16 Konstrukční uspořádání břitů [21]	23
Obr. 1-17 Nejvýkonnější stand pro testování těsnění na světě [5]	24
Obr. 3-18 Původní návrh standu [14]	26
Obr. 3-19 Původní návrh sestavy odvodu [14].....	27
Obr. 3-20 Dosedací plocha sestavy.....	27
Obr. 3-21 Původní varianta tlakovací části konstrukce [14]	27
Obr. 3-22 Detail tlakovací části	27
Obr. 3-23 Původní návrh sestavy tubusu [14]	28
Obr. 3-24 Původní návrh hřídele testovacího standu [14].....	29
Obr. 3-25 Původní návrh nosné konstrukce [14].....	30
Obr. 4-26 Řez standem konečná verze	31
Obr. 4-27 Rozdělení použitých materiálů pro stand	32
Obr. 4-28 Konečný návrh sestavy odvodu	33
Obr. 4-29 Ukázka sestavy odvodu.....	33
Obr. 4-30 Konečný návrh sestavy.....	34
Obr. 4-31 Ukázka sestavy šroubení	34
Obr. 4-32 Konečný návrh sestavy teploměru	34
Obr. 4-33 Zobrazení sestavy teploměru.....	34
Obr. 4-34 Konečný návrh sestavy tubusu	35
Obr. 4-35 Zobrazení tubusů	35
Obr. 4-36 Detail uložení hřídele v tubusu.....	36
Obr. 4-37 Zobrazení uložení hřídele.....	36
Obr. 4-38 Rozpad Tubusu.....	37
Obr. 4-39 Konečný návrh nosné konstrukce	38
Obr. 4-40 Ukázka připojení standu k testovací stoličce.....	39
Obr. 4-41 Schéma zapojení senzorů standu.....	40
Na obrázku 4-42 je znázorněn prostor v standu, který je vyplněn MR kapalinou. ...	40
Obr. 4-42 Magnetická kapalina (modrá barva) ve standu	41
Obr. 4-43 Ukázka z měření házení hřídele	41

Obr. 4-46 Ukázka z měření ztrátového momentu	42
Obr. 4-47 Závislost maxima ztrátového momentu na otáčkách	43
Obr. 4-48 Závislost průměrné hodnoty ztrátového momentu na otáčkách	44
Obr. 4-44 Schéma zapojení pro testování vlivu otáček	44
Obr. 4-45 Schéma zapojení pro testování vlivu vibrací	45

8.2 Seznam tabulek

Tab. 1-1 Výsledky práce [21]	24
Tab. 4-2 Výsledky naměřených hodnot házení hřídele	42
Tab. 4-3 Naměřené hodnoty ztrátového momentu	43

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

9.1 Seznam použitých zkratek a symbolů

<i>FF</i>		- ferrokapalina
<i>MR</i>		- magnetoreologický
<i>b</i>	[mm]	- výška těsnicí šterbiny
<i>B</i>	[T]	- magnetická indukce
<i>h</i>	[mm]	- šířka těsnicího bříty
<i>H</i>	[A/m]	- intenzita magnetického pole
<i>I</i>	[A]	- elektrický proud
<i>L</i>	[H]	- indukčnost
<i>M</i>	[A/m]	- magnetizace
<i>n</i>	[min ⁻¹]	- otáčky
<i>N</i>	[1]	- počet závitů cívky
<i>p</i>	[Pa]	- tlak, přetlak
<i>D</i>	[mm]	- průměr hřídele

10 SEZNAM PŘÍLOH**10**

Výkresová dokumentace:

STAND	N-0-A/1-2015-000
STAND	3-A/1-2015-00/00
SESTAVA TUBUSU	2-A/1-2015-10/00
SESTAVA TLAKOVÁNÍ	3-A/1-2015-20/00
NOSNÁ KONSTRUKCE	3-A/1-2015-30/00
SESTAVA ODVZDUŠNĚNÍ	4-A/1-2015-40/00
SESTAVA TEPLoměRU	4-A/1-2015-50/00
PŘÍRUBA LOŽISKA	3-A/1-2015-10/10
PŘÍRUBA	3-A/1-2015-10/20
SPONA	4-A/1-2015-10/30
HŘÍDEL	2-A/1-2015-10/40
TUBUS 1	2-A/1-2015-10/50
TUBUS 2	2-A/1-2015-10/60
VYMEZOVACÍ KROUŽEK	4-A/1-2015-10/70
TUBUS	2-A/1-2015-10/56
TRUBKA ŠROUBENÍ	3-A/1-2015-20/10
SPODNÍ PLATLE	4-A/1-2015-30/10
HORNÍ PLATLE	4-A/1-2015-30/20
TRUBKA ODVZDUŠNĚNÍ	4-A/1-2015-40/10
TRUBKA TEPLoměRU	4-A/1-2015-50/10