

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Srovnání užitečných vlastností kompozicových ložisek s výstelkou na bázi  
Sn, Pb a Cu a PTFE

Autor: **Nikola HOLUB**

Vedoucí práce: **Ing. Lukáš SKOPEČEK**

Akademický rok 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Nikola HOLUB**  
Osobní číslo: **S09B0289P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Název tématu: **Srovnání užitečných vlastností kompozicových ložisek s výstelkou na bázi Sn,Pb a Cu a PTFE**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod a analýza současného stavu řešené problematiky, cíle BP, teoretické poznatky o problematice BP.
2. Rozbor a zhodnocení současného stavu řešené problematiky, návrhy řešení
3. Variantní návrhy řešení problematiky BP a jejich zhodnocení, výběr nejvhodnější varianty
4. Technicko-ekonomické zhodnocení varianty řešení
5. Závěr, celkové zhodnocení výsledků BP

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

**VINŠ, J. Kluzná ložiska. 1.vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965**

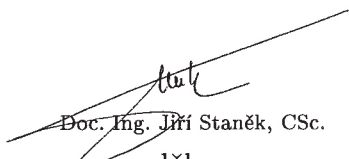
**STROJÍRENSTVÍ. Materiály kluzných ložisek [online]**

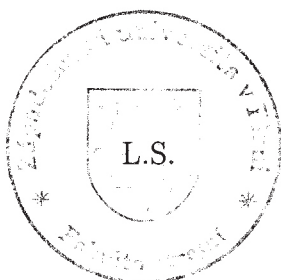
**MM PRUMYSLOVÉ SPEKTRUM. Moderní kluzná ložiska [online]**


**CZERMIN, CH. Neue Werk- und Schmierstoffkonzepte für Radialgleitlager - experimentelle Ermittlung des Potentials und der Anwendungsgrenzen. Inst. für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau, 2000**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Skopeček**  
Katedra technologie obrábění  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Dolejš**  
GTW BEARINGS s.r.o.  
Ostatní konzultanti: **Ing. Jan Bozděch**  
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **29. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Ing. Jan Řehoř, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. prosince 2011

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Skopečkovi, konzultantovi Ing. Janu Bozděchovi a konzultantovi z firmy *GTW BEARINGS s.r.o.* Ing. Janu Dolejšovi za cenné rady a připomínky.

Děkuji také svým rodičům za plnou podporu při studiu.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Holub	<b>Jméno</b> Nikola	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Skopeček	<b>Jméno</b> Lukáš	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Srovnání užitných vlastností kompozicových ložisek s výstelkou na bázi Sn, Pb a Cu a PTFE		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	56	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	45	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	11
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce se zabývá srovnáním užitných vlastností kompozicových kluzných ložisek s výstelkou na bázi různých prvků (Sn, Pb a PTFE a Cu). V práci je kladen důraz hlavně na vlastnosti teflonové výstelky, která není v praxi moc rozšířena. Je provedeno i vzájemné srovnání výstelek dle provozních vlastností a technicko-ekonomické zhodnocení.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	kluzné ložisko, výstelka, PTFE, cín, měď, obrábění, tření

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Holub	<b>Name</b> Nikola	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 „Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Skopeczek	<b>Name</b> Lukas	
<b>INSTITUTION</b>	ZCU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITTLE OF THE WORK</b>	Comparison of utility characteristics of composite bearings with Sn,Pb and Cu and PTFE lining		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	56	<b>TEXT PART</b>	45	<b>GRAPHICAL PART</b>	11
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Bachelor thesis deals with the comparison of utility characteristics of composite sliding bearings with padding which is based on different element (Sn, Pb and PTFE and Cu). The thesis puts a particular accent on the character of the teflon layer which is not very commonly used in practice. A comparison based on the service properties of different layers is provided along with a technological and economical evaluation.
<b>KEY WORDS</b>	sliding bearing, lining, PTFE, tin, copper, cutting, friction

## Obsah

1	Úvod.....	9
1.1	Představení společnosti.....	10
1.2	Proč kluzné ložisko?.....	11
2	Výchozí stav řešené problematiky .....	12
2.1	Kompozicová výstelka na bázi Sn, Pb.....	12
2.1.1	Metody přichycení výstelky .....	12
2.1.2	Mazání a tření kompozicových ložisek .....	13
2.1.3	Provozní a užitné vlastnosti.....	15
2.1.4	Metody obrábění, metrologie a defektoskopie .....	16
2.1.5	Použití.....	18
3	Kluzná ložiska s výstelkou na bázi PTFE .....	19
3.1	Čistý teflon .....	20
3.1.1	Fyzikální vlastnosti .....	20
3.1.2	Teplotní stabilita.....	20
3.1.3	Vznětlivost .....	20
3.2	Teflonová ložisková technologie.....	20
3.3	Mazání a tření kluzných ložisek s výstelkou na bázi PTFE .....	22
3.4	Provozní a užitné vlastnosti .....	23
3.4.1	Životnost.....	24
3.4.2	Únosnost a teplota .....	25
3.4.3	Vliv přísad na míru opotřebení materiálu .....	26
3.6	Defektoskopie .....	28
3.7	Obrobitelnost teflonu .....	28
3.8	Speciální použití PTFE ložisek.....	30
4	Kluzná ložiska s výstelkou na bázi slitin mědi .....	31
4.1	Měď obecně.....	31
4.2	Slitiny mědi.....	31
4.2.1	Mosaz .....	31
4.2.2	Bronz .....	31
4.3	Metody přichycení výstelky .....	32
4.4	Provozní vlastnosti kluzných ložisek s výstelkou na bázi slitin mědi.....	32



4.5	Použití měděných ložisek .....	33
5	Výsledné porovnání vlastností ložiskových prvků.....	34
5.1	Porovnání dle konkrétních aplikací .....	34
5.1.1	Multikriteriální hodnocení.....	35
5.2	Shrnutí výsledků .....	38
6	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	39
6.1	Důvody vysoké ceny PTFE segmentů.....	39
6.2	Úspora ve velikosti převodové skříně .....	40
6.3	Hodnocení.....	41
7	Závěr.....	42
8	Seznam použitých zdrojů informací.....	44
9	Seznam příloh.....	46

## Seznam zkratek a symbolů

ČSN	Česká státní norma
DIN	Deutsches Institut für Normung
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem)
PTFE	Polytetrafluorethylen (teflon)
Al	Aluminium (hliník)
As	Arsenium (arsen)
Cd	Cadmium (kadmium)
Cu	Cuprum (měď)
Fe	Ferrum (železo)
Mn	Manganum (mangan)
Ni	Niccolum (nikl)
Pb	Plumbum (olovo)
Sb	Stibium (antimon)
Si	Silicium (křemík)
Sn	Stannum (cín)
Zn	Zincum (zinek)

## Seznam použitých veličin

[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota
[m/s]	Kluzná rychlost
[m <sup>2</sup> ]	Obsah
[°C]	Teplota
[MPa]	Tlak

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá srovnáním vlastností kluzných ložisek s výstelkami na bázi cínu, olova a mědi a teflonu (PTFE). Zadavatelem práce je firma *GTW BEARINGS s.r.o.*, která se zaměřuje na zakázkovou výrobu kluzných ložisek s výstelkami na bázi cínu a olova.

Již zmíněná kompozice na bázi cínu či olova není jediná, která se v současné době u kluzných ložisek používá. Stále častěji se mluví o tom, že by mohlo být výhodné, použít v určitých provozních podmínkách kluznou vrstvu na bázi teflonu (PTFE), případně jiných slitin prvků, které vykazují rozdílné funkční vlastnosti, například mědi. Vyrábí se mnoho různých konstrukcí a typů kluzných uložení, ať už se jedná o jednoduché ložiskové pánve nebo o složitější ložiska s radiálními nebo axiálními naklápěcími segmenty. Pro správný návrh materiálu kluzného ložiska je třeba vzít v úvahu kromě provozních podmínek ložiska i stavy, jako jsou například doba rozběhu a doba doběhu, kdy ložiska pracují při nižších rychlostech. Někdy bývají tyto stavy označovány jako nouzové. V těchto stavech je ložisko náchylné k zadírání, znečišťování maziva nečistotami apod.

Dále je důležité si uvědomit, že použití hlavně teflonové výstelky u kluzných ložisek není zatím u nás moc rozšířené a stále se uskutečňují nové testy a objevují další poznatky, které posouvají tento typ ložisek o třídu výš v použitelnosti a kvalitě. Za účelem získání informací, které se týkají výroby a použití teflonových ložisek, byla kontaktována anglická firma *Michell Bearings Limited*, sídlící v *Newcastlu*, kde se právě touto problematikou zabývají.

Práce se dělí do několika základních bodů, v kterých jsou nejprve dané typy výstelek popsány a uvedeny jejich výhody a nevýhody. Dále následuje srovnání jednotlivých typů výstelek dle provozních vlastností a také doporučení pro jakou aplikaci se hodí právě ten či onen typ výstelky. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

Tato bakalářská práce poskytuje jakýsi ucelený dokument, který by měl nabídnout jasně a přehledně základní vlastnosti zadaných výstelkových prvků, posoudit vhodnost jejich použití v různých provozních podmínkách a zařízeních.

## 1.1 Představení společnosti

- vypracováno s použitím [4]

Společnost *GTW BEARINGS s.r.o.* se specializuje na výrobu kluzných kompozicových ložisek a sídlí ve vlastním objektu v Příšově u Plzně. Byla založena v roce 1996 a v současné době zaměstnává přibližně 120 pracovníků. Díky zkušenému personálu a modernímu strojnímu vybavení (45 strojů a zařízení) v pěti výrobních halách zajišťuje komplexní služby



Obr. 1.1: *GTW BEARINGS s.r.o.* - pohled na hlavní budovu [4]

v oblasti výroby a oprav kluzných kompozicových ložisek a jejich příslušenství. Vylévání a renovace kompozicových dílů je prováděna ve vlastní vylévací odstředivém nebo statickým litím či pomocí speciální metody navařováním. Jako ložiskové kovy jsou používány cínové a olověné kompozice, přičemž kvalita přilnutí a plochy výstelky jsou důsledně kontrolovány dle norem ČSN a ISO.

Prováděna je rovněž specializovaná výroba katalogových ložisek dle norem DIN ISO pro ložiskové domečky s patkovým nebo přírubovým uchycením. Produkty společnosti *GTW BEARINGS s.r.o.* (ložiska, axiální a radiální segmenty a další díly) jsou používány v plynových a parních turbínách, elektromotorech a generátorech, zařízeních cementáren, převodovkách, čerpadlech a vodních turbínách, lisech a bucharech, zařízeních drtíren, velkých naftových a plynových motorech, třtinových mlýnech atd.

Firma *GTW BEARINGS s.r.o.* je zároveň významným zaměstnavatelem v regionu. Díky svým vysoce kvalitním produktům se řadí ke klíčovým dodavatelům nejvýznamnějších energetických firem v České republice i zahraničí. Společnost *GTW BEARINGS s.r.o.* je certifikována dle EN ISO 9001:2009

## 1.2 Proč kluzné ložisko?

- vypracováno s použitím [9]

Kluzná ložiska jsou dnes používána v mnoha aplikacích, kde se dříve používala výhradně ložiska valivá. Toto nahrazení tradičních valivých ložisek moderními kluznými ložisky může přinést uživateli jak technologické, tak i konkurenční výhody. Díky větší kontaktní ploše mohou kluzná ložiska snášet větší zatížení, jsou méně citlivá na nepřesnosti a lépe odolávají rázům. Jejich malé rozměry, jednoduchost a menší nároky na prostor vedou k výrazným úsporám hmotnosti zařízení.

Valivá ložiska pracují hůře v některých situacích, jako například při kývavém pohybu, kde oscilační pohyby vyvolávají nadměrnou koncentraci napětí. To často vede k únavě a selhání ložisek, jakož i k opotřebení těsnění. Oproti tomu kluzná ložiska rozkládají cyklické napětí na větší plochu, čímž redukuje kontaktní napětí. Kromě toho kluzná ložiska nemají vnitřní rotující elementy a jejich kluzné vrstvy absorbují vibrace, což má za následek hladší a tišší chod.

V některých aplikacích může použití kluzných ložisek vést k podstatným celkovým úsporám v důsledku volnějších tolerancí hřídelí, nižších nároků na kvalitu povrchu, menší velikosti tělesa a jednoduchého způsobu montáže. Mnoho konstruktérů nahrazuje valivá ložiska kluznými právě pro tyto výhody.



Obr. 1.2: Pohled na kluznou vrstvu segmentu [4]



Obr. 1.3: Segmenty kluzného ložiska [4]

## 2 Výchozí stav řešené problematiky

- vypracováno s použitím [4]

V této kapitole jsou shrnuty a uvedeny základní teoretické poznatky o cínové a olovené kompozici, kterou aplikuje firma *GTW BEARINGS s.r.o.* při výrobě kluzných ložisek.

### 2.1 Kompozicová výstelka na bázi Sn, Pb

Tyto kompozicové materiály můžeme rozdělit na cínové a olovené slitiny. Vyznačují se především dobrými nouzovými vlastnostmi a odolností proti zadírání. Cínové kompozice jsou korozi-vzdorné, na rozdíl od olovených kompozic, kde je nutno přidávat do olejů navíc antikorozi- aditiva. Tento typ kompozice se vyznačuje nízkou únavovou pevností a malou tepelnou odolností.

Společnost *GTW BEARINGS s.r.o.* používá pro styčné plochy kluzných ložisek kvalitní slitinu cínu i olova. Složení tří hlavních kompozic je uvedeno v následující tabulce:

Název kompozice	Prvek								
	Sn[%]	Sb[%]	Cu[%]	Cd[%]	As[%]	Ni[%]	Pb[%]	Fe[%]	ostatní
<b>V 738 Technik (Tegostar)</b>	80-81	11-13	5-6	1-1,4	0,3-0,7	0,2-0,5	<0,06	-----	-----
<b>GTW V 90</b>	87-89	7-8	3-4	0,6-1	<0,1	0,1-0,3	<0,06	<0,01	-----
<b>GTW V6</b>	5-7	13-16	1-1,4	0,8-1,2	0,3-0,7	0,2-0,8	75-78	-----	-----

Tab. 2.1: Složení cínové a olovené kompozice [4]

#### 2.1.1 Metody přichycení výstelky

Ještě před tím, než proběhne samotný proces vylévání ložiska, je důležité zajistit, aby ocelový segment, na který se kompozice vylévá, byl kompletně zbaven vodíku. Ten je nežádoucí z důvodu zvyšování pravděpodobnosti výskytu jevů, které jsou označovány jako tzv. *vodíková křehkost*, příp. *vodíková koroze*. V případě, že by došlo k nekvalitnímu odstranění tohoto prvku, tak vodík během určitého času prostoupí ocelí a doputuje až na rozhraní oceli a kompozice, kde bude mít tendenci odtrhávat kompozici od oceli a vytvářet zde malé boule, které způsobí postupné přidření ložiska a pokud se stroj včas nevypne, může dojít i k havárii.

Cínovými a olovenými kompozicemi se většinou vylévají ložiska a ložiskové pánve dvěma metodami. První je tzv. *metoda statického lití*. Jedná se o vylévání kompozice na základní materiál (ocelové těleso) staticky. Při této metodě vylévání je velmi důležité

odstranit přebytečné vzduchové bubliny z roztavené kompozice, protože přítomnost těchto bublin vede ke vzniku pórů a následně k nekvalitnímu spojení kompozice a ocelového tělesa. Z tohoto důvodu je ve firmě *GTW BEARINGS s.r.o.* používáno tzv. vibrátorů. Tato zařízení produkují vibrace, které zabraňují krystalizaci horní vrstvy kompozice a zároveň zajišťují odchod nežádoucího vzduchu z kompozice a tím je předcházeno vzniku staženin a porezitě. Druhá metoda, označována jako *odstředivé lití*, spočívá ve vylévání základního materiálu kompozicí ve speciálním stroji- v tzv. odstředivce. Zde dochází díky odstředivé síle k výrazně lepšímu spojení roztavené kompozice a základního materiálu. Vedle těchto dvou základních metod lze kompozicové materiály také navařovat na základní materiál speciální technologií.



Obr. 2.1: Stroj na odstředivé lití [4]



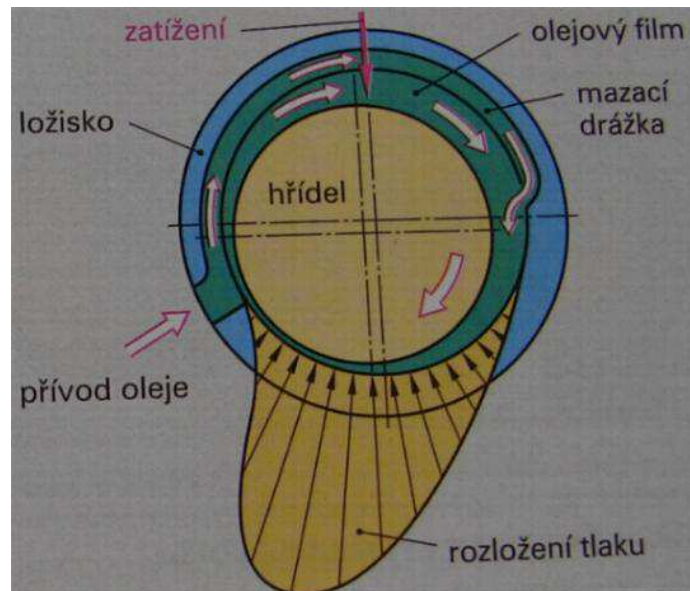
Obr. 2.2: Metoda statického lití [8]

### 2.1.2 Mazání a tření kompozicových ložisek

Mazání snižuje tření mezi hřídelí a ložiskem, odvádí vznikající nežádoucí teplo a tím zamezuje zadření ložiska a jeho nadměrnému zahřívání.

Kompozicová ložiska fungují převážně na principu hydrodynamického mazání, to znamená, že ložisko a rotující hřídel jsou od sebe odděleny nosným olejovým filmem. Tento film se vytváří v důsledku rotace zatíženého hřídelového čepu. Nejprve dochází k tzv. *polosuchému tření*, kdy hřídel a pánev ložiska nejsou ještě zcela odděleny. Zvyšuje-li se počet otáček, vytváří se pod čepem klín maziva, který hřídel nadzvedává. Tento typ tření se nazývá *kapalinové tření*, kdy hřídel již plave ve filmu maziva. Zatížený rotující hřídelový čep se ustaví v poloze, ve které jsou zatěžující a tlaková síla v rovnováze. Velikost tření závisí na mnoha faktorech, zejména na vůli v ložisku, zatížení ložiska, tlaku v ložisku a obvodové rychlosti. Důležité je zmínit, že hodnota statického koeficientu tření se u kompozicových kluzných ložisek s výstelkou na bázi cínu pohybuje mezi hodnotami 0,2-0,3, což není nijak

velká hodnota, ale ve srovnání s níže popisovaným teflonem je podstatně vyšší. V radiálních ložiscích s kruhovým otvorem se tvoří zužující se mezera, potřebná pro tvorbu hydrodynamického tlaku na základě rozdílu průměru mezi hřídelí a ložiskovou pánví. Tlak se začíná vytvářet tím, že se mazivo stlačí v důsledku rotující hřídele do zužující se mezery. Princip hydrodynamického mazání je zobrazen na obrázku číslo 2.3.

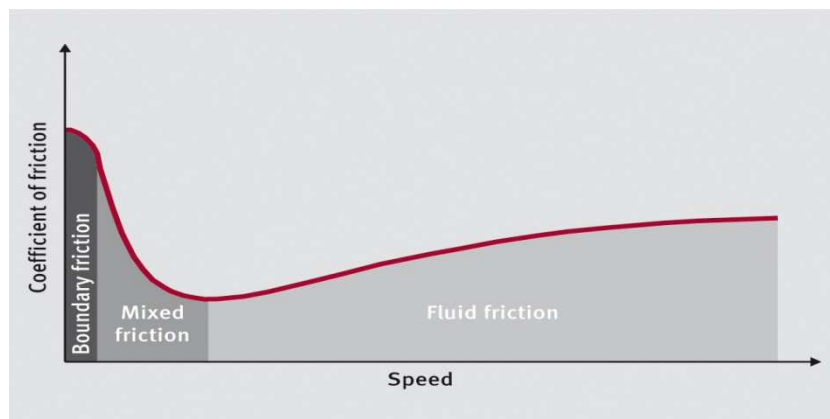


Obr. 2.3: Schéma hydrodynamického mazání [12]

Během provozu dochází u tohoto typu ložisek postupně ke třem fázím tření:

- najetí
- provoz
- dojetí

Průběh součinitele tření v závislosti na frekvenci otáček při konstantní provozní viskozitě popisuje *Stribeckova křivka*:



Obr. 2.4: Stribeckova křivka [13]



První fáze tření neboli najetí, je oblast od stavu klidu až po dosažení provozního počtu otáček. Přitom zde probíhají různé stavy tření. Nejdříve se musí překonat tření pevných částic (metalický kontakt mezi hřídelí a ložiskovou pánví). Se zvyšujícím se počtem otáček klesá součinitel tření a dosahuje při určitém počtu otáček minimum otěru. Následně dochází k mírnému stoupání křivky. Při tomto počtu otáček se ložisko stále provozuje v oblasti smíšeného otěru, to znamená, že převládá zároveň tření pevných částic a kapalinové tření. Tuto oblast je tudíž obtížné početně podchytit.

Při doběhu stroje dochází u ložiska k opačnému procesu než u tzv. najetí. A navíc se proces doběhu uskutečňuje na rozdíl od rozběhu při provozní teplotě (při nižší viskozitě mazacího média). Doběh stroje trvá delší dobu, až několik hodin, pokud nejsou instalovány brzdy. Důležité je, aby minimální počet otáček nebyl pro doběhnutí a provoz po delší dobu překročen, což by mohlo vést k většímu opotřebení, v horším případě až ke zničení ložiska.

S mazáním a třením kluzného ložiska souvisí také pojem tzv. *hydrostatické nadzvednutí*. Toto nadzvednutí se doporučuje používat u zařízení, které se často najíždějí při vysoké zátěži, nebo mají velmi dlouhé doby doběhu (sací dmýchadla, turbosoustrojí). Tím se v těchto provozních stavech zamezí opotřebení ložiska a kluzné vrstvy.

U kluzných ložisek se vyskytuje uspořádání v podstatě z jedné nebo více olejových kapes s mazivem, zabudovaných do kluzných ploch radiálních nebo axiálních ložisek, vysokotlakého čerpadla případně zpětného ventilu. Tlakové olejové čerpadlo se po dosažení provozního počtu otáček většinou odstaví, a pokud je potřeba znovu se zapíná až po doběhnutí ložiska.

### **2.1.3 Provozní a užité vlastnosti**

Podstatným bodem při výběru správného ložiskového kovu je maximální přípustná teplota. Například výše uvedená slitina *GTW V90* má spodní bod měknutí (bod solidu) rovnou 233°C. Nesmí se tedy překročit tzv. mezní teplota, která je v tomto případě kolem 150°C. Při překročení této mezní hodnoty dochází již i při nepatrné zátěži ložiska k plastické deformaci kovu a tím i ke zničení kluzné plochy ložiska. Spodní teplotní hranice ložiskové slitiny činí přibližně -50°C. Při nižších teplotách se materiál stává křehkým a nepoužitelným. Hrozí zde nebezpečí vylamování (drobení) ložiskového kovu.

Při provozu ložisek s výstelkou na bázi cínu či olova jsou vyzdvihovány tyto vlastnosti:

### Životnost

Životnost kluzného ložiska se uvádí jako neomezená, pokud jsou dodrženy všechny pokyny pro správný provoz a údržbu. Nejdůležitější je však pravidelná výměna oleje, což je hlavní a nejvíce namáhaný díl kluzného uložení.

### Únosnost

Radiální kluzná ložiska potřebují v axiálním směru sice více prostoru pro vestavbu než valivá ložiska, ale mohou být následně velmi zatěžována a to bez ohledu na životnost. Velikost maximálního dovoleného zatížení se uvádí kolem hodnot 2-2,5 MPa, výjimečně až 3 MPa. Velké stroje jako například vertikální hydrogenerátory a cementové mlýny se z důvodu vysoké zátěže vybavují jen kluznými ložisky.

### Rozpoznání poškození

Že je s ložiskem něco v nepořádku, lze ve většině případů rozpoznat pomalým vzestupem teplot. Tento faktor postačuje k tomu, aby se předešlo škodám, případně zhavarování soustrojí.

### Maximální kluzná rychlost

Při zachování všech předepsaných pravidel není kluzná rychlost nijak shora omezována. V praxi se u tohoto typu ložisek kluzná rychlost kolem hodnoty 125 m/s považuje téměř za normální.

## **2.1.4 Metody obrábění, metrologie a defektoskopie**

- vypracováno s použitím [4], [15]

Kromě klasického frézování a soustružení polotovarů je pro výrobu radiálních kluzných ploch ložiska výhodné broušení na kulato na přesných bruskách. Zejména na kluzných plochách se musí dát pozor, aby při obrábění nevznikaly žádné šroubovité rýhy. Proto je nutné provést zkoušku zarovnění (zakulacení) pomocí vlasového pravítka, vlasového úhelníku, číselníkového úchylkoměru nebo měřicího přístroje, případně jiného vhodného etalonového prostředku.



Obr. 2.5: Broušení kluzného segmentu [4]

Defektoskopické zkoušky slouží ke zjišťování defektů v materiálech a výrobcích, resp. k předpovídání možnosti vzniku materiálových poruch při provozu. Tyto zkoušky jsou zařazeny jak v průběhu výroby, tak také u hotových výrobků. Ve firmě zadavatele probíhá kontrola pomocí ultrazvukové a kapilární zkoušky.

#### Zkouška ultrazvukem

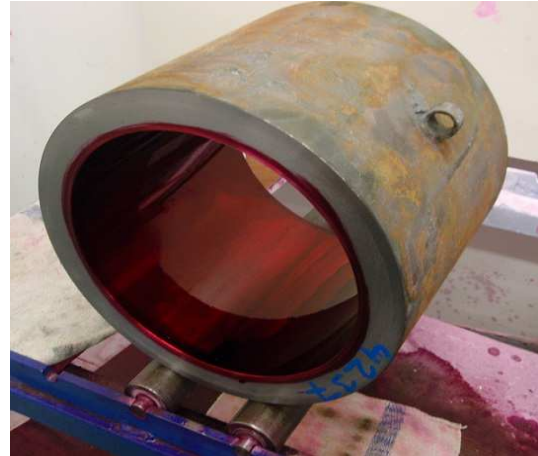
Tento typ zkoušek funguje na principu odrazu ultrazvuku na rozhraní dvou prostředí, které existuje například v místě pórů, trhlin, dutin apod. Odrazová metoda využívá odražené části ultrazvukového vlnění. Ultrazvuk vysílaný vysílací sondou se šíří materiálem a při nárazu na překážku se odrazí a odražená složka je přijata zpět vysílací sondou. V případě, že v materiálu není žádná vada, odrazí se paprsek ultrazvuku až od protilehlé stěny. Vzhledem k tomu, že rychlost ultrazvuku je konstantní, je možné celý záznam převést na obrazovku a poté čas potřebný k průchodu od vstupu až do výstupu reprezentuje tloušťku materiálu.

#### Kapilární zkouška

Kapilární zkouška se používá k prokázání jemných povrchových vad. Podstata zkoušky spočívá ve využití kapilárních (vzlínacích) sil, které umožňují vniknutí vhodných indikačních kapalin do jemných povrchových trhlin a poté jejich vzlínání na povrch. Při zkoušce se postupuje tak, že se povrch zkoušeného předmětu navlhčí indikační kapalinou (obr. 2.7) a po otření povrchu a nanesení vhodné detekční látky na povrch nastává vzlínání indikační kapaliny ze štěrbin a trhlin na povrch materiálu a změnou barvy detekční látky se výrazně indikuje povrchová vada.



Obr. 2.6: Zkouška ultrazvukem [4]



Obr. 2.7: Naindikované ložisko při kapilární zkoušce [4]

### 2.1.5 Použití

Radiální kluzná ložiska s cínovou a olověnou kompozicí se používají v řadě strojů, jako například v motorech, generátorech, parních turbínách, expanzních turbínách, kompresorech, vysokorychlostních pumpách, převodovkách, turbokompresorech, rychloběžných převodovkách, lodních motorech, vertikálních mlýnech a pro uložení vřeten obráběcích strojů. Pro správné navržení kluzného ložiska je zapotřebí vzít v úvahu druh stroje, pro který je ložisko určeno, měrné zatížení, obvodovou rychlost hřídele, tuhost, útlum, vstupní tlak a teplotu oleje, provozní teplotu ložiska, viskozitu oleje a vhodnou geometrii, tzn. vnitřní profil ložiska. Jedině při respektování všech vyjmenovaných vlastností bude kluzné ložisko schopno sloužit a fungovat v provozu co nejdéle.



Obr. 2.8: Segmenty kluzného ložiska s cínovou výstelkou v planetové převodovce, hydrodynamicky mazané [2]

### 3 Kluzná ložiska s výstelkou na bázi PTFE

- vypracováno s použitím [8], [10], [14]

Tento typ kluzných ložisek nachází od svého vzniku stále větší uplatnění v širokém spektru strojírenských výrobků. Od klasických kluzných ložisek s výstelkou na bázi cínu nebo olova nabízí velmi nízký koeficient třetí, až třikrát větší maximální hodnotu dovoleného zatížení a vyšší odolnost proti otěru. Prvním průkopníkem teflonové technologie byla přibližně před 50 lety americká firma *GGB*.

V České Republice se výrobou tohoto typu kluzných ložisek nezabývá žádná firma, proto byla kontaktována anglická společnost *Michell Bearings Ltd.*, sídlící v Newcastlu, která se zabývá výrobou teflonových kluzných ložisek od roku 1996 let a s kterou byla daná problematika konzultována. Tato společnost byla založena v roce 1920 a v současné době zaměstnává přibližně 200 pracovníků na výrobních prostorech o rozloze 20 000m<sup>2</sup>. Níže uvedené informace jsou tedy přímo převzaty z jejich výrobní praxe.

Obecně lze říci, že problematika teflonových kluzných ložisek je velice obsáhlá a stále ještě nejsou objeveny všechny funkční a provozní vlastnosti, v kterých může ložisko s teflonovou výstelkou bez problému fungovat. Zjišťování nových vlastností je tedy stále předmětem vývoje a experimentů. Záleží také na konzervativnosti investorů a konstruktérů, zda se rozhodnou jít do rizika a aplikovat inovace na trhu. Dalším důležitým faktorem je cena, o které je psáno v kapitole číslo 6.



Obr. 3.1: Pohled na výrobní halu firmy *Michell Bearings Ltd.* [8]

### 3.1 Čistý teflon

Teflon - znám také pod svým obchodním označením jako polytetrafluorethylen (PTFE), je velmi významným plastem ze široké skupiny fluorových polymerů. PTFE je krystalický polymer bílé barvy, vyznačuje se vysokou molekulovou hmotností a obsahuje pouze atomy uhlíku a fluoru s vysokou pevností vazby, což určuje jeho charakteristické vlastnosti, mezi které patří vynikající chemická odolnost, odolnost proti působení extrémních teplot (-260°C až 250°C), velmi dobré kluzné vlastnosti a těsnící účinky. Používá se ve většině průmyslových odvětví, kde jsou kladeny vyšší požadavky na vlastnosti použitého materiálu.

#### 3.1.1 Fyzikální vlastnosti

Ve srovnání s jinými plasty dosahuje teflon dobré pevnosti za vyšších teplot a dostatečné pružnosti při velmi nízkých teplotách. Při tlakovém zatížení se nedrtí, ale má sklon k tečení, přičemž stupeň deformace při daném napětí je časově závislý. Proto nemá pro trvalé zatížení napětí převyšovat 10 % ze zjištěné pevnosti při dané teplotě. Pevnost v tahu je 28-32 MPa. Hustota se pohybuje kolem hodnot  $2,15 \div 2,25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Statický součinitel tření PTFE na oceli je v rozmezí 0,05 až 0,11.

#### 3.1.2 Teplotní stabilita

PTFE je stabilní již ve výše uvedených teplotách, přičemž je nutno respektovat změny jeho vlastností v závislosti na teplotě. Při 327°C nastává *měknutí* a přechod z krystalického do amorfního stavu, za současné objemové změny. Teplota kolem 345°C indikuje *tání* teflonu. Při 400°C dochází již k rozkladu a vzniká řada štěpných produktů, z nichž většina je toxická. Trvale namáháno může být PTFE do teplot 260°C. Mrazuvzdornost je další kladná vlastnost, která zajistí ohebnost teflonových fólií i při -15°C.

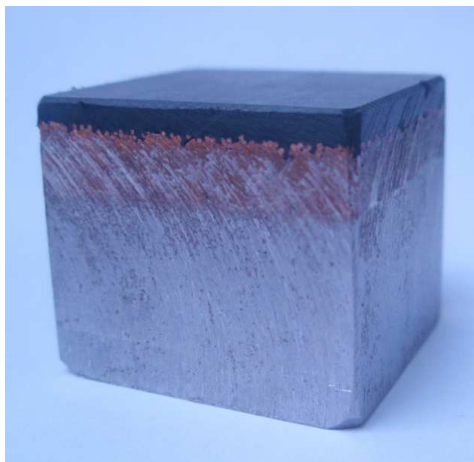
#### 3.1.3 Vznětlivost

Tento polymer patří mezi nejméně hořlavé plasty. Při zahřívání na vzduchu bez plamene nezačne hořet do teploty 575°C. Pokud je použito přímého plamene, vznítí se v důsledku plynných rozkladných produktů a po odstranění plamene se hoření zastaví.

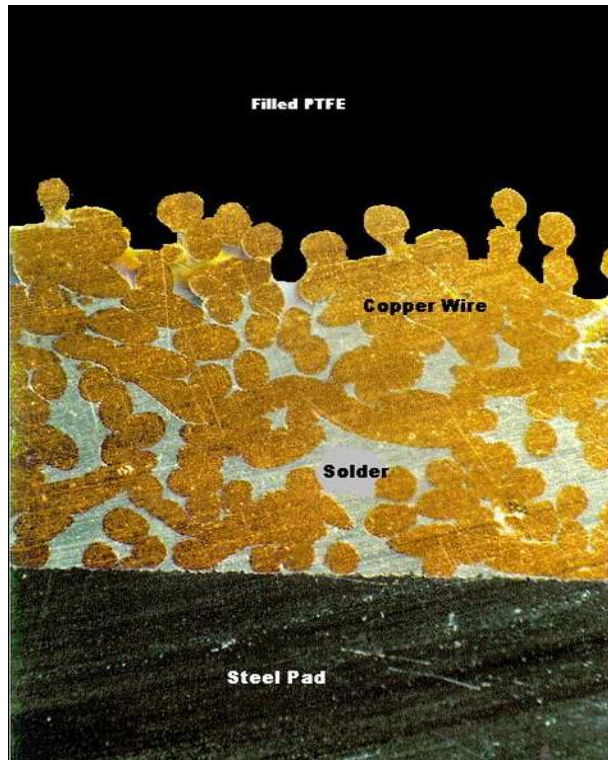
### 3.2 Teflonová ložisková technologie

Na rozdíl od kompozicových kluzných ložisek s výstelkou na bázi cínu či olova se u tohoto typu ložisek nedají použít klasické metody přichycení výstelky na ocelové těleso, jako například metoda odstředivého lití. Je to způsobeno tím, že chemická inertnost teflonu představuje obtíž při lepení materiálu na ocelové těleso. Jeho velký koeficient roztažnosti

způsobuje, že pouhé nalepení PTFE na ocel nevytváří dostatečně silnou vazbu, která by vydržela teplotní růst při provozním zatížení. Pro zajištění kvalitního a spolehlivého spojení je teflon slepen za působení tepla a tlaku s malými pletenými „oky“ z měděného drátu. Měď s teflonem je následně připájena k ocelovému podkladu za vzniku pevné metalurgické vazby. Celý tento proces je důsledně elektronicky kontrolován, aby každý vyrobený segment splňoval předem dané požadavky a nebyla tak ohrožena výstupní kvalita výrobku. Řez teflonovou výstelkou je zobrazen na obr. 3.3.



Obr. 3.2: Pohled na skutečný vzorek teflonového kluzného segmentu [8]

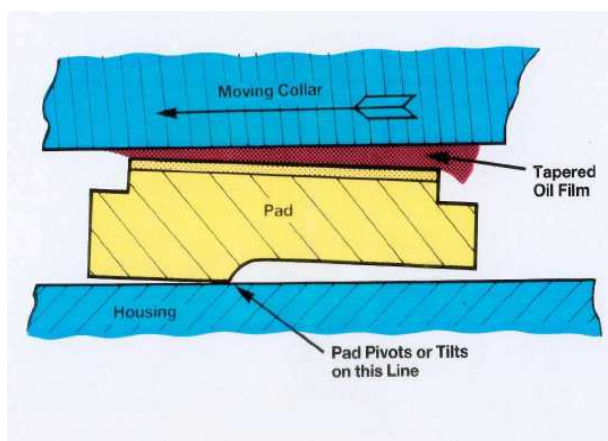


Obr. 3.3: Řez teflonovou výstelkou [8]

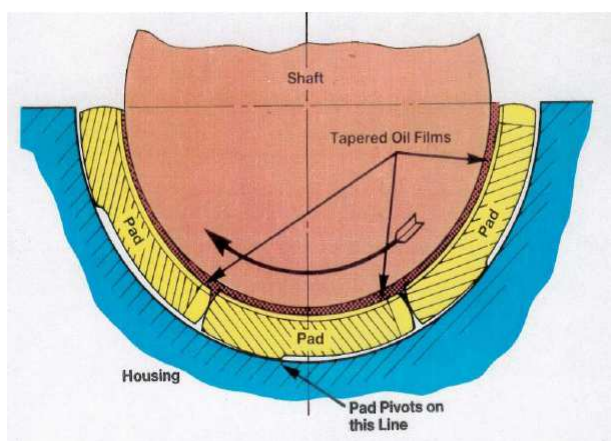
Tento postup výroby je ovšem velmi individuální a vždy záleží na dané firmě, která teflonová ložiska vyrábí, jaké praktikuje postupy a zkušenosti při výrobě. Nemalou roli hraje také zákazník, který svou poptávkou ovlivňuje výsledné parametry kluzného ložiska.

### 3.3 Mazání a tření kluzných ložisek s výstelkou na bázi PTFE

Na rozdíl od kompozitových kluzných ložisek, kde bez kvalitního oleje a mazacího procesu se jen těžko obejdeme, zde jsou nároky na mazání velmi malé, dá se říct, až žádné. Je to způsobeno velmi nízkým koeficientem tření, který se u teflonu pohybuje kolem hodnoty 0,06. Tento fakt s sebou přináší výhodu v podobě možnosti odstranění vysokotlakého vstřikování oleje, který se u kompozitových kluzných ložisek s výstelkou na bázi cínu a olova používá hlavně u rozběhu při vysokém zatížení nebo tam, kde je naopak velmi dlouhá doba doběhu ložiska. Při použití ložisek s výstelkou na bázi PTFE můžeme s výhodou využít vlastnosti, že koeficient tření se snižuje se zvyšujícím tlakem na jednotlivé segmenty ložiska (graf 3.1), což s sebou přináší nesporné výhody, například při vysoko zátěžovém rozběhu. Nízké třecí vlastnosti teflonu navíc umožňují provoz do velmi nízkých kluzných rychlostí, aniž by došlo k poškození kluzné vrstvy ložiska. Obecně se doporučuje, aby tento typ ložisek byl v provozu s malou tloušťkou olejového filmu, což nám umožní zatížit kluzný segment vyšším měrným zatížením a vyšší kluznou rychlostí. Samozřejmě je možné použít tento typ ložisek i bez hydrodynamického mazání, docházelo by zde poté k tzv. *suchému tření* a razantně by se nám snížila maximální dovolená kluzná rychlost, při které by mohlo být ložisko v chodu.

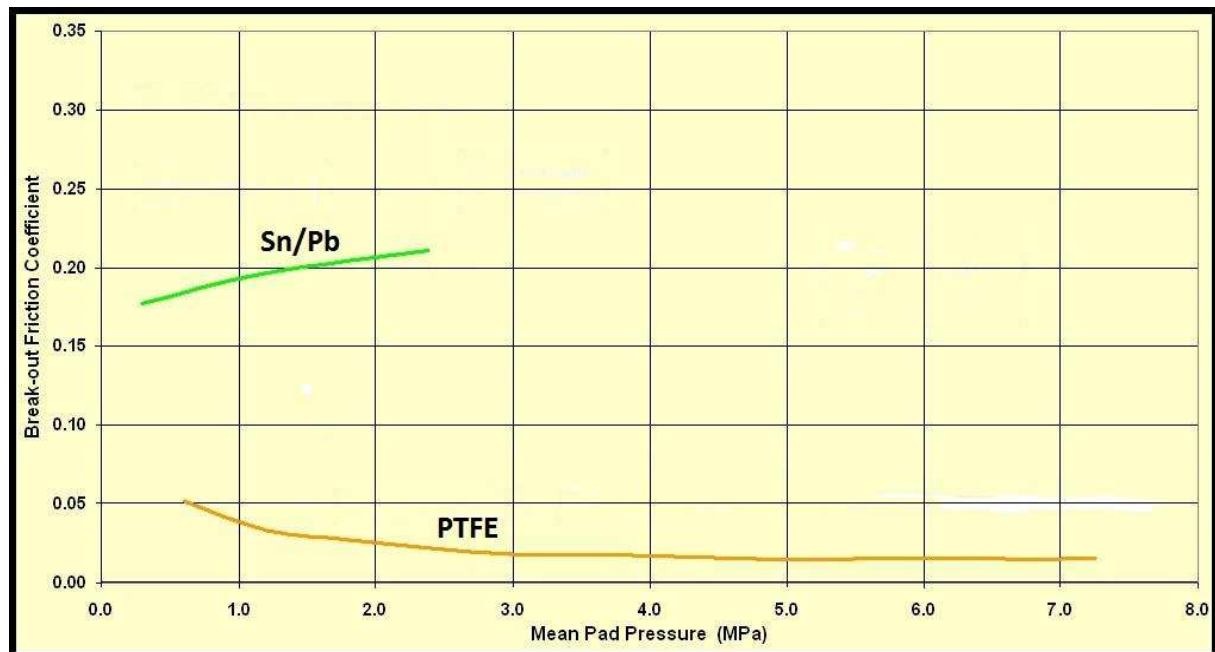


Obr. 3.4: Příklad hydrodynamického mazání axiálního teflonového kluzného segmentu [8]



Obr. 3.5: Příklad hydrodynamického mazání radiálního teflonového kluzného segmentu [8]

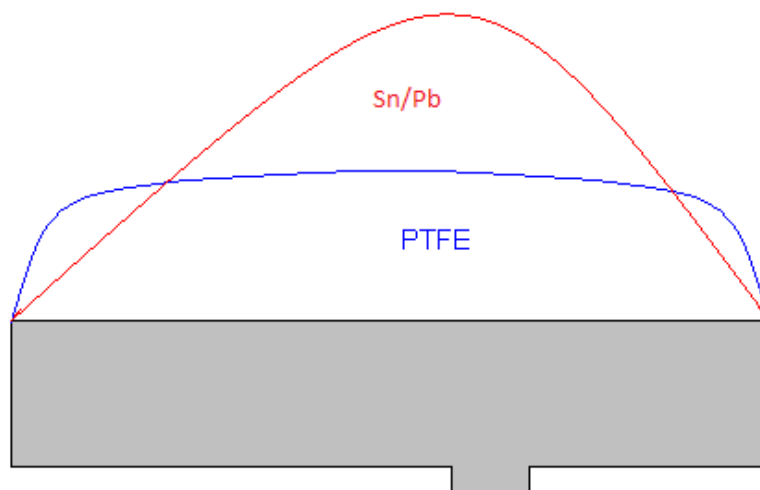




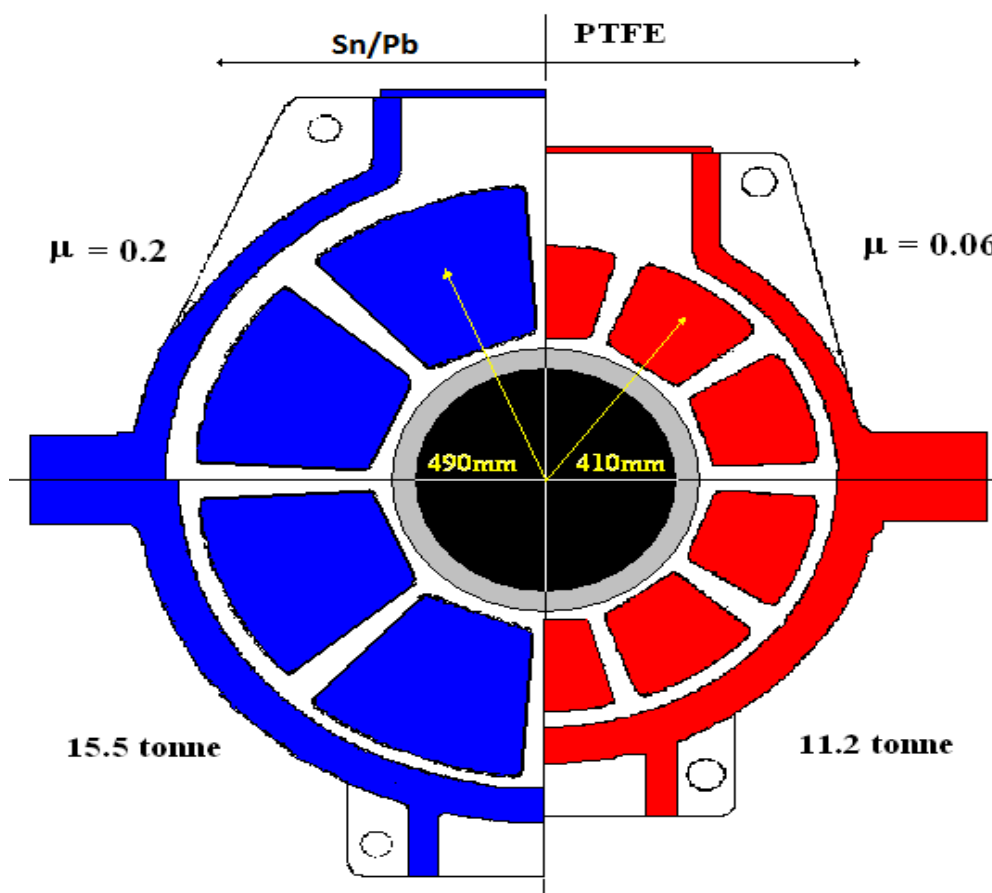
Graf 3.1: Se stoupajícím měrným zatížením, klesá u teflonu koeficient tření [8]

### 3.4 Provozní a užité vlastnosti

Teplo vzniká vlivem tření v olejovém filmu na povrchu segmentu a právě díky nízké tepelné vodivosti teflonu je zde nižší rozdíl teplot mezi horní a spodní stranou ocelového podkladu segmentu, než při použití cínové výstelky, u které je tepelná vodivost podstatně vyšší. To má za následek menší „prohnutí“ segmentu z důvodu rozdílné teplotní dilatace obou povrchů. V praxi to vypadá přibližně jako na obr. 3.6, kdy u teflonu je pozorováno rovnoměrné rozložení po ploše segmentu, naopak u cínové a olovené kompozice není toto rozložení zcela tak souvislé. Z toho plyne skutečnost, že u PTFE výstelky je zatížení rozkládáno rovnoměrně, naopak u cínové kompozice je každá část segmentu namáhána jinou silou. Tento fakt může vést k celkovému snížení rozměrů a hmotnosti teflonového ložiska až o 20%, avšak stále při stejné hodnotě měrného zatížení, které jsou schopny přenést ložiska s cínovou výstelkou o vyšších rozměrech. Čím menší je ložiskový pracující povrch, tím se výrazně snižují ztráty vznikající smykem oleje. Celková úspora se pohybuje kolem 20-30% při srovnání s ložisky s výstelkou na bázi cínu, případně olova, pracujících ve stejných podmínkách. Vzájemné srovnání rozměrů, hmotností a koeficientů tření při stejné hodnotě měrného zatížení ilustruje obrázek číslo 3.7.



Obr. 3.6: Přizpůsobení povrchu PTFE v porovnání s klasickou cínovou kompozicí [8]

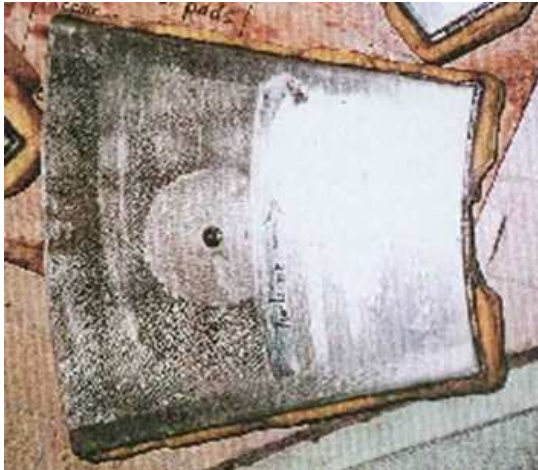


Obr. 3.7: Porovnání rozměrů, hmotností a koeficientů tření u teflonové a cínové výstelky [8]

### 3.4.1 Životnost

PTFE je schopen plastické deformace na lokální úrovni a během toho ještě zachovává celkový profil kluzné vrstvy pro udržení hydrodynamického filmu. Má také vysoký modul pružnosti, což mu umožňuje větší tolerance k přetížení, přechodným efektům a vychýlení než

kluzná ložiska s výstelkou na bázi cínu, případně olova. Životnost tohoto typu ložisek je tedy hodně vysoká, při dodržení kluzné rychlosti a velikosti zatížení až teoreticky neomezená. Anglická firma Michell Bearings Ltd. úspěšně dodává teflonová kluzná ložiska tam, kde již klasická ložiska s cínovou výstelkou vykazují jistý stupeň opotřebení. Na následujících obrázcích lze vidět ložisko s kluznou vrstvou na bázi cínu, u něhož došlo již k značnému opotřebení samotné kluzné vrstvy. Bylo nahrazeno ložiskem s teflonovou výstelkou, na kterém ani po 1500 hodinách v plném provozu nebyly vidět žádné známky opotřebení.



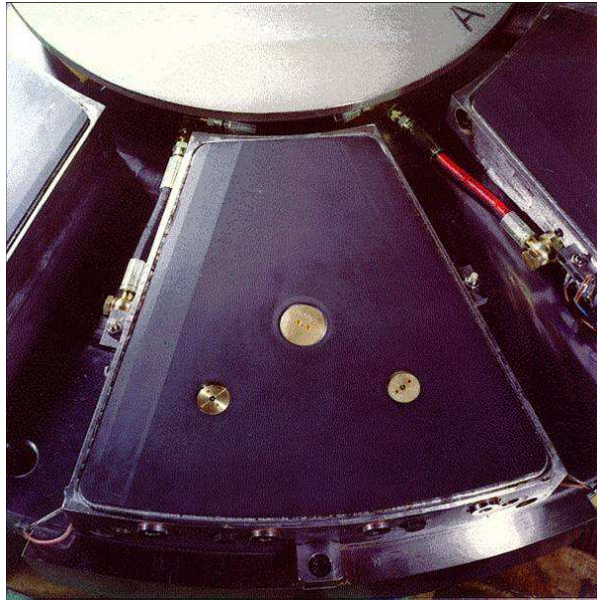
Obr. 3.8: Opatřovaná kluzná vrstva na bázi cínu [8] Obr. 3.9: PTFE segment po 1500 hodinách provozu ve stejném stroji [8]

### 3.4.2 Únosnost a teplota

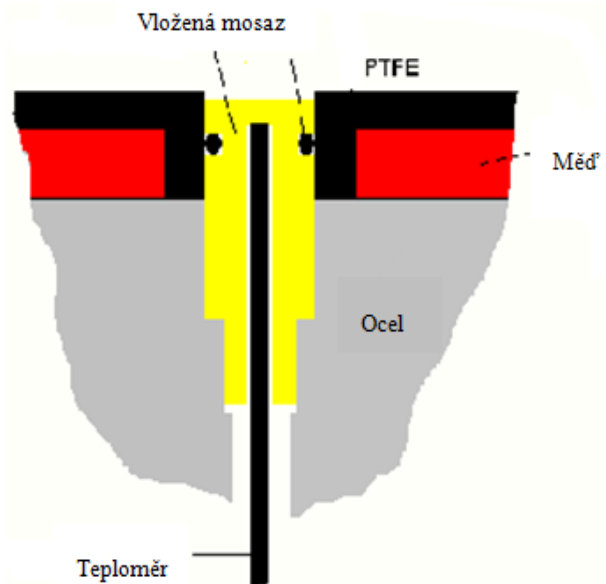
Při nižších kluzných rychlostech a zároveň nízkých teplotách olejového filmu je možno zatížit tento typ ložisek až hodnotou pohybující se kolem 8 MPa (v závislosti na rozměrech ložiska), což je pro porovnání až třikrát více než bylo možno u kluzných ložisek s cínovou kompozicí. Naopak vysoké kluzné rychlosti v kombinaci s velkou hodnotou zatížení nejsou již pro teflon příliš žádoucí, z důvodu možného výskytu jevu označovaný jako *tečení materiálu*. Abychom se vyhnuli vzniku tečení, je důležité kontrolovat na povrchu ložiska teplotu. Právě teplota reflektuje provozní stav ložiska v reálném čase a její náhlé zvýšení bez zjevné příčiny signalizuje, že je něco v nepořádku - zatížení, nesouosost, problém s chlazením, s oběhem oleje atd. Firma Michell Bearings Ltd. instaluje do svých PTFE kluzných ložisek speciální teplotní čidla, která jsou obvykle umístěna v zadní části segmentu. Vzhledem k tomu, že je teflon tepelný izolant, může docházet ke zkreslování naměřených provozních teplot. Z toho důvodu je snímající čidlo přikryto mosaznou destičkou. Měřená teplota tedy prostupuje skrz PTFE a měděnou vrstvu a umožňuje nám získat relativně přesné

hodnoty o stavu teploty olejového filmu. Tento způsob měření teploty nemá žádný negativní vliv na funkci ložiska.

Čistý teflon je velmi dobrý elektrický izolant. V praxi to znamená kompletní elektrickou izolaci celého ložiska a hřídele a zároveň eliminaci rizika přenosu elektrických erozí z rotující hřídele.



Obr. 3.10: Axiální PTFE segment s instalovaným teplotním čidlem [8]

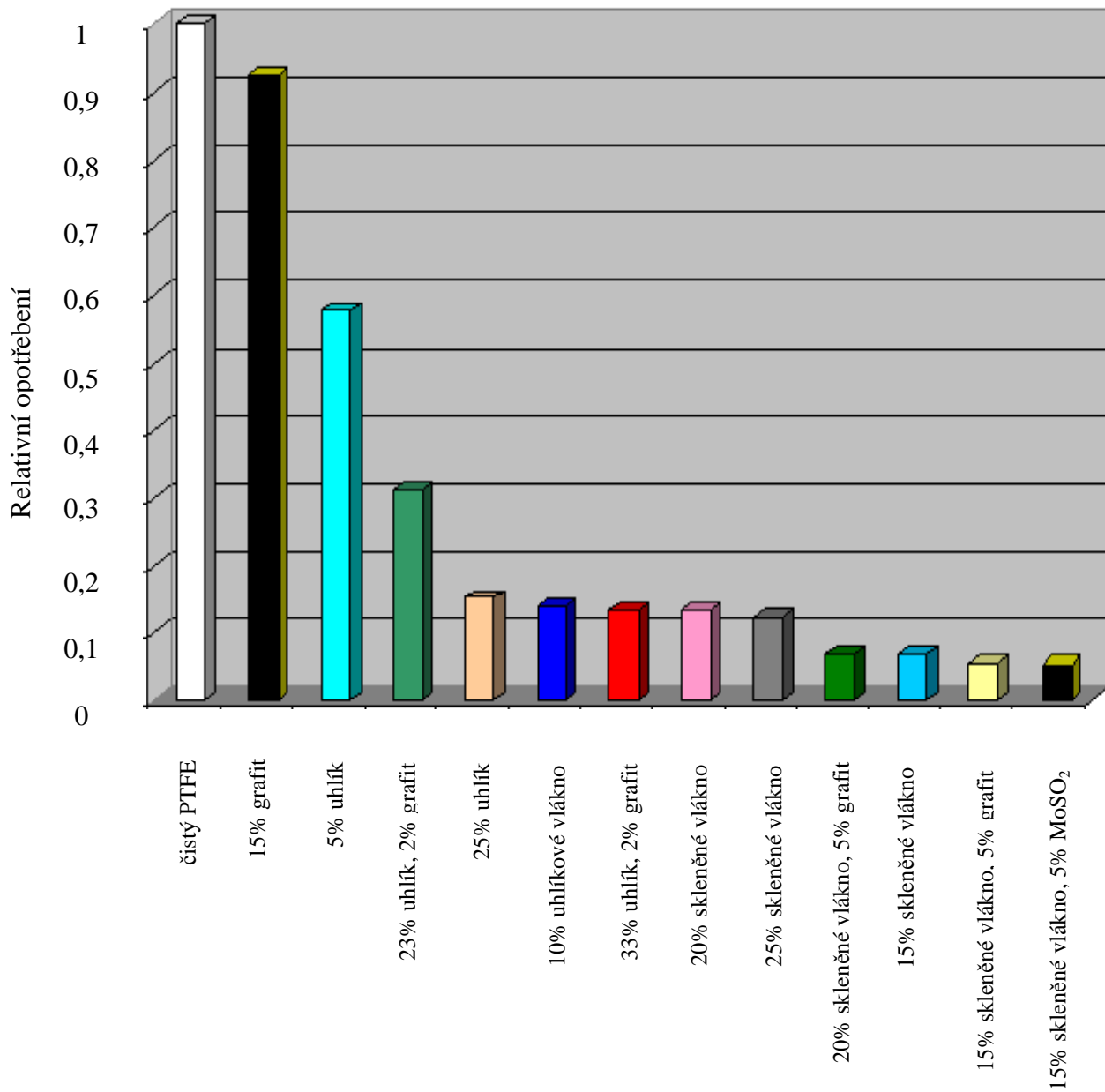


Obr. 3.11: Schéma uložení teploměru [8]

### 3.4.3 Vliv přísad na míru opotřebení materiálu

Hmota, která se nanáší na povrch ocelového segmentu jako kluzná vrstva, většinou není pouze chemicky čistý teflon. Přidáním určitého množství uhlíku, grafitu nebo skleněných vláken, lze dosáhnout ve srovnání s čistým PTFE až několikrát menší míru opotřebení kluzné vrstvy. Na následujícím grafu jsou zobrazeny hodnoty relativního opotřebení, při přidání již zmiňovaných příměsí. Tento graf vznikl postupným testováním nových přísad a materiálů ve firmě Michell Bearings Ltd. Je na místě připomenout, že teflon vykazuje rozdílné provozní vlastnosti v závislosti na druhu a množství obsažených příměsí a dál tedy záleží na výrobcí a zákazníkovi, jaké složení je nejvhodnější pro výrobu daného typu ložiska. Najde-li naopak výrobce odvahu vyzkoušet při výrobě jiný poměr příměsí, než který běžně vyrábí, může objevit nové a pro ložiska ještě výhodnější vlastnosti.

I firma Michell Bearings Ltd. začínala výrobu svých ložisek pouze s čistým teflonem. Postupem času ale začala zkoušet nové možnosti a v současné době používá jak čistý teflon (pro aplikace, kde se s výhodou využívá, že čistý teflon je elektrický izolant), tak i plnění teflonu uhlíkem a grafitem (pro aplikace s vyšší kluznou rychlostí a měrným zatížením).



Graf 3.2: Vliv příměsí na relativní opotřebení kluzné vrstvy [8]

### 3.6 Defektoskopie

- vypracováno s použitím [8]

Kvalita přilnutí teflonu, který je spájen s měděnými dráty a následně přilepen k ocelovému podkladu, musí být ještě předtím, než přijde ložisko do provozu, důsledně zkontrolována defektoskopickou zkouškou. I zde se s výhodou využívá ultrazvuku. Nejedná se již ovšem o odrazovou metodu, jako tomu bylo u cínové a olovené výstelky. Při odrazové metodě by v tomto případě vznikl problém s nárazem signálu na měděné dráty, které se nachází pod teflonovou vrstvou a následným odrazem signálu do jiného směru, než je očekáváno. Z toho důvodu zde kontrola spočívá v použití dvou speciálních sond, kdy je každá přiložena na opačnou stranu kontrolovaného segmentu a měří se celková kvalita a intenzita prošlého ultrazvukového signálu skrz segment. Je-li prošlý signál příliš slabý, v horším případě žádný, je to vždy pro znamení, že se jedná o zmetek a je třeba ho opravit.

### 3.7 Obrobitelnost teflonu

- vypracováno s použitím [1]

Polotovary technických plastů lze obrábět na běžných kovoobráběcích a dřevoobráběcích strojích. Teflon a termoplasty obecně se vyznačují špatnou tepelnou vodivostí a relativně nízkým bodem tání. Z toho důvodu je nutno zajistit, aby při samotném procesu obrábění vznikalo co nejméně tepla a současně aby ho co nejméně přecházelo na plastový obrobek. Zabrání se tak deformacím, změnám barvy, natavení povrchu a vzniku napětí v obrobku. Je důležité mít na paměti, že minimální teplota, při které se doporučuje teflon obrábět je 23°C. Při 20°C teflon dosahuje svého inverzního bodu struktury a dochází ke změnám rozměrů.

Při obrábění teflonu je nutno dodržovat následující doporučení:

- vysoká posuvová rychlost
- nástroje musí být udržovány neustále hladké a bez porušení
- co nejplynulejší odvod třísky
- při vzniku nadměrného tepla (vrtání) je vhodné použít chladící médium
- dotyk řezného nástroje a obráběného materiálu pouze řeznou plochou

Síla nutná pro obrábění technických plastů je nižší, než síla nutná pro obrábění kovů a navíc příliš vysoké upínací síly vedou k pružné deformaci obrobku, což má negativní vliv na

přesnost obrábění. Proto je nutno snížit upínací tlaky a při obrábění např. tenkostěnných pouzder je nezbytné obrobek podpírat.

Řezné nástroje jsou zpravidla vyrobeny z rychlořezné oceli. Při obrábění větší výrobní dávky, která obsahuje více plastových polotovarů nebo jsou-li plasty vyztuženy skleněnými vlákny, je vhodné volit karbidové, keramické nebo diamantové řezné nástroje.

Při obrábění PTFE není obecně potřeba používat chladicí médium, avšak chlazením povrchu obrobku je získávána lepší kvalita povrchu a snižují se velikosti tolerancí. Pro chlazení obrobku jsou vhodné běžné chladicí emulze. Na rozdíl od obrábění kovových součástí, u plastů musíme pracovat s výrazně vyššími tolerancemi. Je to způsobeno deformacemi od vnitřního pnutí během obrábění, vyšším koeficientem teplotní roztažnosti a bobtnáním vlivem absorpce vlhkosti. K odstranění vnitřního pnutí, což se požaduje hlavně u polotovarů ve tvaru tyče s větším průměrem, je nutno provést tepelné zpracování, které může být zařazeno po předběžném obrobení a před konečným obrobením součásti. Dle empirického pravidla pro soustružené součásti se přijímá tolerance 0,1-0,2 % jmenovitého rozměru.

Odstraňování dlouhých třísek je další důležitá činnost, díky které dochází k zabránění zamotání třísky do upínací hlavy, nástroje, případně obrobku. Jak již bylo zmíněno, obrobky z polymerů mají tendenci přijímat vlhkost z okolního prostředí, bobtnat a měnit tak svoje rozměry, čemuž se dá částečně předejít správným ošetřením a skladováním součásti. Je zde i varianta využít speciálních plastových sáčků s pohlcovači vlhkosti, v kterých lze obrobek skladovat.



*Obr. 3.12: Obrábění čistého teflonu[3]*

### 3.8 Speciální použití PTFE ložisek

-vypracováno s použitím [8]

Tento typ ložisek se svými vynikajícími kluznými vlastnostmi nachází uplatnění hlavně v aplikacích, kde je potřeba přenést velké zatížení při nižší kluzné rychlosti. Tento předpoklad splňují převážně různé „hydro“ aplikace, tedy všechny součásti, které jsou přímo spojeny s výrobou vodní energie. Společnost Michell Bearings Ltd. vyváží svoje výrobky do několika zemí napříč čtyřmi kontinenty. V tabulce č. 3.1 lze vidět výběr z dodaných zakázek. Za povšimnutí stojí hodnoty kluzných rychlostí a měrného zatížení, které nám dávají dobrou představu o tom, při jakých parametrech tyto ložiska v praxi fungují. Z tabulky je zřejmé, že kluzná rychlost a hodnota měrného zatížení se pohybují v širokém rozmezí, dle přání zákazníka a aplikace, v které bude ložisko používáno. Společnost Michell Bearings Ltd. testovala svá kluzná ložiska při maximální kluzné rychlosti 85m/s a stále zde nedocházelo k poškození teflonové výstelky. V budoucnu se tedy s tímto typem ložisek musí počítat.

Stát	Typ zařízení	Počet segmentů [ks]	Měrné zatížení [MPa]	Kluzná rychlost [m/s]
<b>Japonsko</b>	1x10,8 MW vodní elektrárna	8	5,1	24,9
<b>Nový Zéland</b>	1x22,5 MW vodní elektrárna	16	2,26	11,8
<b>Anglie</b>	1x90 MW čerpací stanice	12	2,8	29
<b>Čína</b>	4x125 MW vodní elektrárna	18	4,13	11,61
<b>Rakousko</b>	papírový průmysl	8	6,3	46,7
<b>Řecko</b>	3x128 MW čerpací stanice	12	3,14	24,2
<b>Kanada</b>	1x45 MW vodní elektrárna	18	3,01	15,6

Tab. 3.1: Výběr ze zakázek firmy Michell Bearings Limited [8]



## 4 Kluzná ložiska s výstelkou na bázi slitin mědi

-vypracováno s použitím [7], [16]

Tento typ výstelky se svými vlastnostmi i chováním pohybuje mezi teflonovými a cínovými ložisky. Ať už se týká velikosti dovolené kluzné rychlosti, maximální hodnoty zatížení, rozpětí dovolených teplot použitelnosti nebo koeficientu tření. Základní charakteristika a vlastnosti jsou uvedeny níže.

### 4.1 Měď obecně

Měď spolu se železem a hliníkem patří mezi nejdůležitější technické kovy. Vyznačuje se velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí, výbornými kluznými vlastnostmi, dobře se mechanicky zpracovává a je odolná proti atmosférické korozi. Při působení atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého se měď pokrývá tenkou vrstvičkou zásaditého uhličitánu měďnatého- dochází k tzv. *pasivaci*, která chrání povrch vůči další korozi a negativním vlivům.

### 4.2 Slitiny mědi

Čistá měď nemá pro výrobu kluzných ložisek moc velký význam, proto je vhodné zde uvést hlavní slitiny, s kterými se při řešení zadané problematiky setkáme pravděpodobněji.

#### 4.2.1 Mosaz

Tímto názvem je označována slitina mědi a zinku, který je zastoupen přibližně 30 procenty. Je to měkký kov se zlatavou barvou s poměrně nízkou chemickou odolností vůči kyselinám. Není vhodná pro použití ve vyšších teplotách. Náhrada cínových bronzů.

*Složení výstelky: 68% Cu, 31% Zn, 1% Si*

#### 4.2.2 Bronz

Bronz je slitina mědi a cínu. Patří mezi nejznámější a nejvýznamnější slitinu mědi. Cín má v této slitině kladný vliv na tvrdost, přičemž zůstává zachována relativně snadná opracovatelnost a vysoká odolnost proti korozi. V závislosti na tom, který prvek je ještě ve slitině obsažen, mohou být slitiny dále rozdělovány do skupin:

#### Cínové bronz

Obsahují nejvýše 20% cínu, přičemž součet cínu a mědi by měl činit nejméně 98%. S rostoucím obsahem cínu, dochází ke změnám barvy bronzů - do 5% - červené, 5-10% -

zlaté, do 30% - bílé. Největší pevnosti je dosaženo při obsahu cínu kolem 15%. Jsou vhodné spíše pro malé kluzné rychlosti (kolem 5m/s) a velké dynamické namáhání.

*Složení výstelky: 88% Cu, 10% Sn, 2% Zn*

#### Hliníkové bronzy

Hliník je zde obsažen kolem 7% a má za následek zvýšení pevnosti a tvrdosti. Tento druh slitin je opět charakterizován odolností vůči korozi a kyselinám.

*Složení výstelky: 88% Cu, 3% Mn, 9% Al*

### **4.3 Metody přichycení výstelky**

U kluzných ložisek s výstelkou na bázi slitin mědi probíhá proces přichycení výstelky stejným způsobem jako u výstelky na bázi cínu či olova. Uplatňují se zde tedy také dvě již jmenované metody: statického lití a odstředivého lití.

### **4.4 Provozní vlastnosti kluzných ložisek s výstelkou na bázi slitin mědi**

-vypracováno s použitím [17]

Je známo, že teplo v ložisku vzniká převážně třením, může být ale přivedeno též přes hřídel nebo zářením pouzdrem ložiska. V každém případě musí být zaručeno, že teplota ložiska nepřekročí přípustné hodnoty. Za hlavní výhodu kluzných ložisek s výstelkou na bázi slitin mědi bývá označována skutečnost, že měď disponuje velmi dobrou tepelnou vodivostí. Znamená to, že teplo je odváděno z povrchu segmentu mnohem rychleji, než u klasické cínové kompozice. Dosahuje se tak snížení teploty povrchu výstelky o 10-20°C.



*Obr. 4.1: Kluzné segmenty s měděnou výstelkou [19]*

Měď se používá také jako materiál na výrobu podkladu kluzného segmentu (místo klasické oceli, která hůř vede teplo). Využíváno je toho například u některých rychloběžných aplikací, pro rychlejší odvod tepla do olejové lázně. Tyto segmenty však vycházejí mnohem draž, díky ceně materiálu a užšímu sortimentu polotovaru, než u oceli.



Obr. 4.2: Podkladový segment z měděné slitiny [19]

Koeficient tření se pohybuje kolem hodnoty 0,15 (cínová kompozice 0,3), což zaručuje dobré kluzné vlastnosti, při velkém rozpětí teplot, v kterých může tento typ kluzného ložiska pracovat-  $-20^{\circ}\text{C} \div 250^{\circ}\text{C}$ . Tato výstelka je odolná proti opotřebení a zadírání. U cínových bronzů jsou doporučovány nižší kluzné rychlosti (do 10 m/s). Dovolená hodnota měrného zatížení, v závislosti na velikosti segmentu se uvádí kolem 5MPa, což je opět někde mezi teflonem (8MPa) a cínem (2,5MPa).

#### 4.5 Použití měděných ložisek

Oblast použití je velmi podobná, jako cínového typu výstelky. Z důvodu již uvedených vlastností nalézá tento typ ložisek hlavní uplatnění v ojnicích, čerpadlech, spalovacích motorech, obráběcích strojích, pouzdrech a pánvích pístových strojů a podobných aplikacích, kdy je potřeba rychle odvádět vznikající teplo.

## 5 Výsledné porovnání vlastností ložiskových prvků

V předchozích kapitolách byly shrnuty hlavní teoretické poznatky o jednotlivých druzích kluzných výstelek. Přičemž pro samotný návrh a vývoj kluzných ložisek jsou nejdůležitější kritéria: kluzná rychlost, měrné zatížení a teplota, v které dokáže ložisko pracovat bez rizika porušení kluzné vrstvy. Tyto vlastnosti pro jednotlivé typy výstelek jsou zobrazeny v následující tabulce. Teflon je zde rozdělen do dvou řádků, a to pro případ při běhu ložiska na sucho a naopak při aplikování hydrodynamického principu mazání.

Výstelka	Vlastnost				
	Koeficient tření	Maximální kluzná rychlost [m/s]	Přípustná teplota [°C]	Dovolené měrné zatížení [MPa]	Potřeba mazání
<b>Sn/Pb</b>	0,3	„ až neomezená“	-50÷150	3	hydrodynamická
<b>PTFE</b>	0,06	2	-10÷150	1	žádná
<b>PTFE</b>	0,06	50	-10÷150	8	hydrodynamická
<b>Cu</b>	0,15	10	-20÷250	5	hydrodynamická

Tab. 5.1: Vybrané vlastnosti kluzných výstelek na bázi rozdílných prvků

### 5.1 Porovnání dle konkrétních aplikací

Aby bylo výsledné porovnání více přehledné a vypovídající, bude na následujících stránkách posouzena vhodnost použití jednotlivých výstelek při aplikaci v konkrétních zařízeních, kde je v praxi běžně užíváno kluzných ložisek. Byla vybrána tyto zařízení: *reduktor k vertikálnímu mlýnu, rychloběžná převodovka, turbina, vertikální vodní elektrárna a generátor.*

Při srovnání budeme pracovat s následujícími kritérii (vlivy):

Únosnost - maximální hodnota měrného zatížení, které je schopno ložisko přenést

Kluzná rychlost - maximální kluzná rychlost, při které je schopno ložisko pracovat

Úspory v nákladech na zařízení při použití únosnějších ložisek - rozumí se tím úspory na velikosti převodové skříně, rotační hřídele a podobně (dále označováno jen jako úspory).

Odvod tepla - vyjadřuje důležitost odvodu tepla z povrchu ložiska do olejové lázně

Výpadek oleje - vyjadřuje schopnost ložiska s danou výstelkou být v provozu při náhlém výpadku oleje

Po konzultaci s odborníkem z praxe, byly výše uvedeným kritériím přiřazeny váhy dle tabulky č. 5.2. Kde číslo 5 reprezentuje největší důležitost pro danou aplikaci a naopak číslo 1 nejmenší.

Vliv/Aplikace	Vertikální mlýn	Rychloběžná převodovka	Turbina	Vodní elektrárna	Generátor
Únosnost	4	2	2	5	5
Kluzná rychlost	1	5	5	3	2
Úspory	5	1	3	4	1
Odvod tepla	2	4	4	2	4
Výpadek oleje	3	3	1	1	3

Tab. 5.2: Rozdělené váhy hodnotících kritérií pro konkrétní aplikace

### 5.1.1 Multikriteriální hodnocení

- vypracováno s použitím [5]

Princip tohoto hodnocení spočívá v určení nejvhodnější varianty, pro předem známé hodnotící kritéria a jejich váhy. Pracuje se zde s bodovou stupnicí, kterou je hodnocena každá výstelka z pohledu jednotlivých kritérií. Pro dané kritérium se každému typu výstelky přiřadí hodnota od 10 do 100 bodů. Tyto body se poté vynásobí váhou kritéria. Výsledná hodnota užitenosti je dána součtem bodového hodnocení vynásobené váhou každého kritéria. Z důvodu lepší přehlednosti je uváděna hodnota tzv. *relativní užitenosti*. Tedy užitenost vydělená hodnotou ideální varianty, jenž má maximální hodnotu. Pro získání procentuálního vyjádření relativní užitenosti je třeba ještě toto číslo vynásobit 100. Multikriteriální hodnocení pro pět již výše uvedených aplikací, je provedeno v následujících pěti tabulkách.

### Rychloběžná převodovka

Kritéria	Váha	Sn		Pb		Cu		PTFE	
		prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Únosnost	2	35	70	30	60	60	120	100	200
Kluzná rychlost	5	100	500	100	500	8	40	40	200
Úspory	1	35	35	30	30	60	60	100	100
Ovlivnění teploty	4	70	280	70	280	100	400	40	160
Výpadek oleje	3	40	120	40	120	50	150	100	300
Celkem: max = 20 x 100 = 2000		1005		990		770		960	
Relativní užítost variant		<b>50,25%</b>		49,5 %		38,5 %		48 %	

Tab. 5.3: Multikriteriální hodnocení výsterek pro aplikaci rychloběžné převodovky

### Vertikální vodní elektrárna

Kritéria	Váha	Sn		Pb		Cu		PTFE	
		prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Únosnost	5	35	175	30	150	60	300	100	500
Kluzná rychlost	3	100	300	100	300	8	24	40	120
Úspory	4	35	140	30	120	60	240	100	400
Ovlivnění teploty	2	70	140	70	140	100	200	40	80
Výpadek oleje	1	40	40	40	40	50	50	100	100
Celkem: max = 20 x 100 = 2000		795		750		814		1200	
Relativní užítost variant		39,75%		37,5 %		40,7 %		<b>60 %</b>	

Tab. 5.4: Multikriteriální hodnocení výsterek pro aplikaci vodní elektrárny

### Reduktor k vertikálnímu mlýnu

Kritéria	Váha	Sn		Pb		Cu		PTFE	
		prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Únosnost	4	35	140	30	120	60	240	100	400
Kluzná rychlost	1	100	100	100	100	8	8	40	40
Úspory	5	35	175	30	150	60	300	100	500
Ovlivnění teploty	2	70	140	70	140	100	200	40	80
Výpadek oleje	3	40	120	40	120	50	150	100	300
Celkem: max = 20 x 100 = 2000		675		630		898		1320	
Relativní užítost variant		33,75%		31,5 %		44,9 %		<b>66 %</b>	

Tab. 5.5: Multikriteriální hodnocení výstelek pro aplikaci vertikálního mlýnu

### Turbina

Kritéria	Váha	Sn		Pb		Cu		PTFE	
		prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Únosnost	2	35	70	30	60	60	120	100	200
Kluzná rychlost	5	100	500	100	500	8	40	40	200
Úspory	3	35	105	30	90	60	180	100	300
Ovlivnění teploty	4	70	280	70	280	100	400	40	160
Výpadek oleje	1	40	40	40	40	50	50	100	100
Celkem: max = 20 x 100 = 2000		995		970		790		960	
Relativní užítost variant		<b>49,75%</b>		48,5 %		39,5 %		48 %	

Tab. 5.6: Multikriteriální hodnocení výstelek pro aplikaci turbíny

## Generátor

Kritéria	Váha	Sn		Pb		Cu		PTFE	
		prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Únosnost	5	35	175	30	150	60	300	100	500
Kluzná rychlost	2	100	200	100	200	8	16	40	80
Úspory	1	35	35	30	30	60	60	100	100
Ovlivnění teploty	4	70	280	70	280	100	400	40	160
Výpadek oleje	3	40	120	40	120	50	150	100	300
Celkem: max = 20 x 100 = 2000		810		780		926		1140	
Relativní užítlost variant		40,5%		39 %		46,3 %		<b>57 %</b>	

Tab. 5.7: Multikriteriální hodnocení výsterek pro aplikaci generátoru

## 5.2 Shrnutí výsledků

Z výše uvedených pěti srovnávacích tabulek je patrné, že ložiska s výstelkou na bázi cínu jsou vhodná pro rychloběžné převodovky, do kterých se i běžně v praxi tento typ ložisek dodává. Naopak ložiska s kluznou vrstvou na bázi teflonu mají svoje využití v aplikaci generátoru, vodní elektrárny a podle očekávání i u vertikálních mlýnů. Právě do mlýnů dodává firma zadavatele *GTW BEARINGS s.r.o.* svoje kluzná ložiska s cínovou výstelkou. Srovnání ukázalo, že v tomto případě stojí za to uvažovat o zavedení výroby teflonových ložisek, právě ve spojení s touto aplikací. Hlavní důvody k tomuto kroku jsou možnost velkého zatížení teflonových kluzných ložisek (8MPa) a finanční úspora na velikosti zařízení. Firma zadavatele je si tohoto faktu vědoma a v současné době již ve firmě probíhá testování jiných druhů plastů, od kterých se očekávají podobné vlastnosti jako u teflonu.



## 6 Technicko-ekonomické zhodnocení

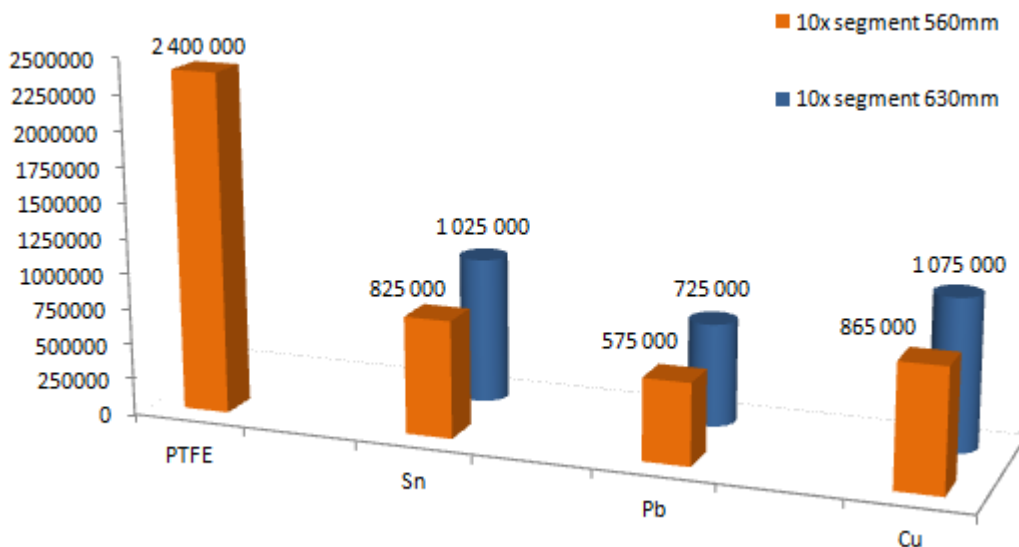
-vypracováno s použitím [2], [4], [8]

Při ekonomickém hodnocení bylo vycházeno z prodejní ceny deseti kusů axiálních PTFE segmentů, které vyráběla firma Michell Bearings Ltd. pro aplikaci vodní turbíny. Rozměry každého segmentu byly 560mm x 420 (výška x šířka na středním rádiu). Celková cena se pohybovala kolem 80 000 liber. Tato cena je přibližně 3 krát vyšší, než u ceny deseti cínových segmentů o stejných rozměrech, kterou dodala firma *GTW BEARINGS s.r.o.* Důvody, proč je výrobní cena teflonových segmentů tak vysoká, jsou uvedeny níže. Cena kluzných ložisek s výstelkou na bázi slitin mědi je - dá se říci - srovnatelná s ložisky s cínovou kompozicí. Naopak jako nejméně nákladná výstelka se jeví použití olověné kompozice. Ceny všech segmentů zmiňovaných prvků jsou patrné z grafu číslo 6.1. Oranžová barva reprezentuje výrobní ceny deseti kusů segmentů o výšce 560mm, tmavě modrá barva poté stejné množství segmentů, ale o výšce 630mm.

Zde je velmi důležité si uvědomit výhodu PTFE kluzných ložisek, o které bylo psáno v kapitole číslo 3. Jedná se o to, že teflon se lépe přizpůsobuje ocelové ploše segmentu, čímž vzniká jednotný tlak po celém povrchu ložiska, což nám umožňuje snížit hmotnost a rozměry teflonového ložiska až o 20%, se zachováním stejné hodnoty zatížení. Právě z toho důvodu je objektivnější srovnávat cenu PTFE segmentů o výšce 560mm s segmenty ostatních ložiskových prvků o výšce 630mm (tmavě modrá barva). Uvedené ceny segmentů cínu, olova a mědi o výšce 560mm jsou tedy v grafu pouze pro informaci.

### 6.1 Důvody vysoké ceny PTFE segmentů

Důležitým faktorem, při stanovování ceny jednotlivých segmentů, je poměr automatizované činnosti a ručních operací. Dále hraje vliv velikost a počet segmentů, které jsou vyráběny, místo, kde je výroba uskutečňována, fixní náklady výrobce apod. Obecně platí, že u menších PTFE segmentů (výška kolem 100mm) je cena ve srovnání s cínovými segmenty přibližně 1,5 krát větší, naopak bude-li docházet ke zvětšování rozměrů teflonového segmentu (námí srovnávaná výška 560mm), bude již rozdíl cen přibližně 2-3 krát vyšší. Nesmí být zapomenuto také na to, že se jedná o vývoj a výrobu velmi specializovaného výrobku s vysokou režií, hlavně díky vývoji nových technologií. S tím jsou spojeny neustále nové pokusy, zkoušení a objevování nových vlastností materiálů.



Graf 6.1: Srovnání cen deseti kusů segmentů o velikostech 560mm a 630mm v korunách

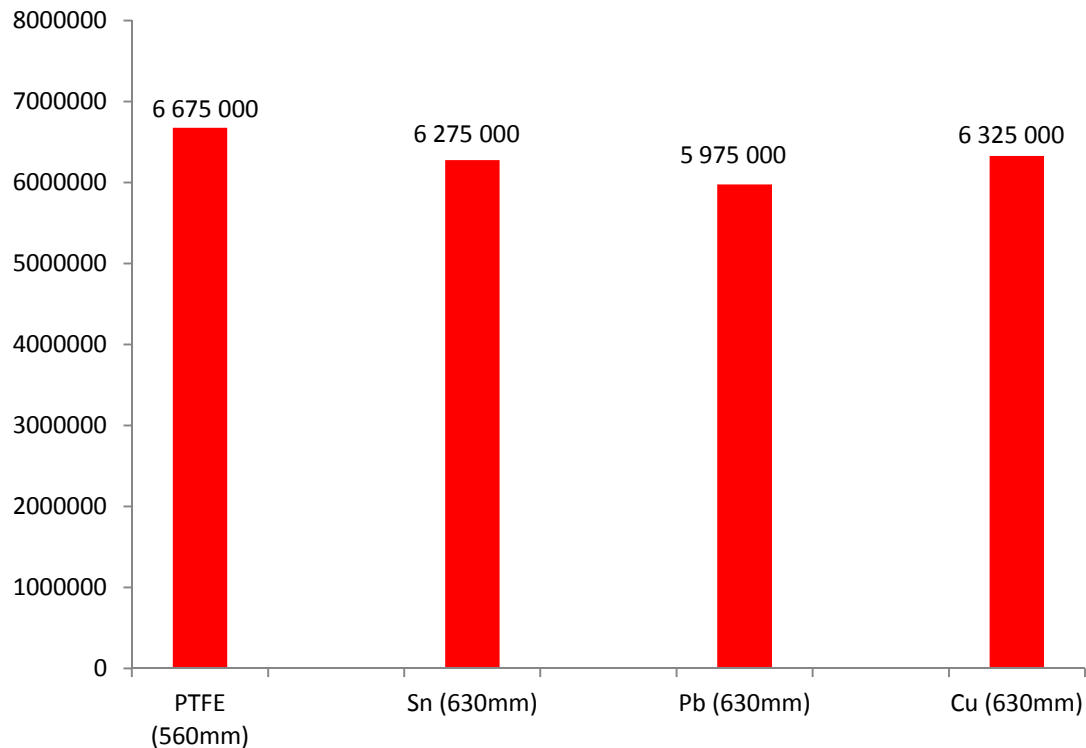
1£ = 30Kč, 1€ = 25 Kč [4], [8]

## 6.2 Úspora ve velikosti převodové skříně

Aby bylo srovnání všech typů kluzných výsterek ještě objektivnější a více vypovídající, bylo provedeno srovnání konečných cen a to i se započtením ceny převodové skříně o odpovídajících rozměrech, která by byla potřeba pro uložení kluzných segmentů daných rozměrů. Dojde tedy ještě ke snížení rozdílu ceny mezi segmenty teflonovými a cínovými segmenty a to právě z toho důvodu, že teflonová ložiska mají menší rozměry a tedy i výsledná zkonstruovaná převodová skříň bude menší a levnější.

Je důležité podotknout, že tato úspora na velikosti zkonstruované převodové skříně může být využita pouze tehdy, je-li limitujícím prvkem pro velikost převodovky pouze měrný tlak na kluznou plochu, nikoliv například silové poměry v ozubení, pevnost hřídele apod.

Jako podkladový materiál byl použit katalog firmy FLENDER, z kterého plyne, že hmotnost převodové skříně při použití segmentů o výšce 560mm činí 57 tun. U segmentů o výšce 630mm je celková hmotnost o 13 tun vyšší, tedy 70. Tyto hmotnosti byly přepočítány na koruny. Srovnání je patrné z grafu číslo 6.2.



Graf 6.2: Cenové srovnání v korunách 10ks segmentů se zahrnutou cenou převodové skříně [2], [4], [8]

### 6.3 Hodnocení

Nyní je vhodné si povšimnout, jak se z původního trojnásobku ceny PTFE segmentů oproti cínovým segmentům, rázem stala relativně nízká rozdílová položka. Rozdíl cen činí nyní 400 tisíc korun. U olova a mědi je to podobné. Finančně výhodné se tedy stále jeví zůstat u výroby a praktikování osvědčených postupů, tedy aplikování cínové a olovené kompozice. Nicméně stojí minimálně za zvážení, zda se nevyplatí díky výhodným vlastnostem teflonových kluzných segmentů uvažovat o výrobě tohoto typu ložisek v budoucnosti.

## 7 Závěr

Náplní této bakalářské práce bylo srovnání užitečných vlastností kompozicových ložisek s výstelkou na bázi Sn, Pb a Cu a PTFE. Práce byla realizována ve spolupráci s firmou *GTW BEARINGS s.r.o.*, která se zabývá výrobou kompozicovým kluzných ložisek s kluznou vrstvou na bázi cínu a olova.

Za účelem shromáždění informací ohledně kluzných ložisek s výstelkou na bázi PTFE, která se v České republice nevyrábějí, bylo kontaktováno několik firem. Nejvíce informací bylo získáno ze společnosti *Michell Bearings Ltd.*, jež sídlí v Newcastlu a zabývá se právě výrobou ložisek s teflonovou výstelkou. Zástupce této firmy se mnou po celou dobu psaní práce komunikoval a sděloval mi velmi cenné informace a připomínky. Díky této spolupráci mohla vzniknout představa o tom, jaké parametry a vlastnosti tyto ložiska nabízejí v praxi.

První část práce je zaměřena teoreticky. Je zde uvedeno několik informací o zadavateli práce, zpracovány teoretické rešerše všech zkoumaných ložiskových prvků.

Druhá část práce se zabývá srovnáním výstelek pro vybrané aplikace. Byla posouzena vhodnost použití jednotlivých výstelek pro tyto zařízení: reduktor k vertikálnímu mlýnu, rychloběžná převodovka, turbína, vertikální vodní elektrárna, generátor. Multikriteriální hodnocení nám dává jasnou představu o tom, jaký typ výstelky pro danou aplikaci v praxi zvolit. V aplikaci vertikálních mlýnů byl zjištěn velký potenciál kluzných ložisek s výstelkou na bázi PTFE a to hlavně díky vysoké únosnosti ložisek a možnosti vyrobit menší převodovou skříň. Společnost *GTW BEARINGS s.r.o.* na základě zjištěných výsledků již v současné době testuje jiné druhy plastů, od kterých se očekávají podobné vlastnosti jako u teflonu.

Jestliže by firma zadavatele měla zájem začít vyrábět kluzná ložiska s výstelkou na bázi teflonu, znamenalo by to pro ni dovybavit svoje výrobní prostory o pájecí zařízení, které je nezbytné pro nanesení výstelky na ocelový podklad a také o nové sondy, s kterými by probíhaly defektoskopické zkoušky. Další úskalí by vzniklo při volbě množství a typu přísad do čistého teflonu, s nimiž by kluzná vrstva vykazovala optimální kluzné vlastnosti. S tím souvisí i rozsáhlé testování, optimalizování a postupné přibližování se ideálnímu ložisku.

Na závěr práce bylo provedeno technicko - ekonomické zhodnocení, kde došlo k porovnání pořizovací ceny 10 kusů axiálních segmentů pro jednotlivé typy výstelek. Pro lepší přehlednost byla zahrnuta do srovnání i cena převodové skříňe. Nejdražší vychází stále teflonové segmenty, kde rozdíl mezi segmenty s cínovou kompozicí činí 400 tisíc korun.

Nicméně díky výše popsaným výhodným vlastnostem teflonu se určitě vyplatí uvažovat o výrobě sice dražších, ale v praxi lépe uplatnitelných ložisek.

Srovnání užitných vlastností kompozicových ložisek s danými výstelkami splnilo požadavky zadavatele. Firma *GTW BEARINGS s.r.o.* získala velmi cenné informace o výstelkách, jejichž výrobou se v současné době nezabývá, ale v budoucnu uvažuje o rozšíření výroby.

## 8 Seznam použitých zdrojů informací

- [1] EPP Plasty. Návod na obrábění polotovarů technických plastů.  
*<http://www.eppplasty.cz/obrabeni.htm>*
- [2] FLENDER. Obrázek z prospektu firmy, firemní katalog s. 8, s. 11  
*<http://industria.siemens.com.mx/Flender/Docs/Aplicaciones%20Industriales/Molinos.pdf>*
- [3] FLUOROCARBON COMPANY Ltd. Obrázek z webových stránek firmy  
*[http://www.fluorocarbon.co.uk/products\\_machined\\_cnc\\_turning\\_ptfe\\_.html](http://www.fluorocarbon.co.uk/products_machined_cnc_turning_ptfe_.html)*
- [4] GTW BEARINGS s.r.o. Podklady firmy
- [5] KLEINOVÁ, J. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. Plzeň: ZČU, 2005
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra - pedagogické nakladatelství, 2008
- [7] MĚĎ  
*[cs.wikipedia.org/wiki/Měď](http://cs.wikipedia.org/wiki/Měď)*
- [8] Michell Bearings Ltd. Podklady firmy
- [9] MM PRUMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Moderní kluzná ložiska*. 2009.  
*<http://www.mmspektrum.com/clanek/kluzna-nebo-valiva-loziska.html>*
- [10] MM PRUMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Kluzná ložiska z bezolovnatých materiálů*. 2003.  
*<http://www.mmspektrum.com/clanek/kluzna-loziska-z-bezolovnatych-materialu.html>*
- [11] NĚMEJC, J., STANĚK, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: ZČU, 2005
- [12] Ostravajih. *Ložiska*. 2009  
*<http://www.ostravajih.cz/modules/news/article.php?storyid=27>*
- [13] SCHAEFFLER. Technická knihovna.  
*[http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/products/technicalbasics/calculation\\_1/00017B7F.jpg](http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/products/technicalbasics/calculation_1/00017B7F.jpg)*
- [14] SITTECH CZ. PTFE - technické informace.  
*[http://www.sittech.cz/ptfe/teflon\\_informace.htm](http://www.sittech.cz/ptfe/teflon_informace.htm)*

- [15] SKÁLOVA, J., KOVAŘÍK, R., BENEDIKT, V. *Základní zkoušky kovových materiálů*. Plzeň: ZČU, 2005, s. 133, 145-148, 157
- [16] SKRBEK, B. *Materiály pro konstrukční aplikace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, s. 91
- [17] STROJÍRENSTVÍ PRO STŘEDNÍ ŠKOLY  
<http://strojirenstvi-ucivo.blogspot.com/2011/04/23315-materialy-kluznych-lozisek.html>
- [18] VINŠ, J. *Kluzná ložiska*. Praha, 1971
- [19] WAUKESHA BEARINGS. Obrázky z prospektu firmy s. 6  
<http://www.waukbearing.com/Files/KnowledgeBase/ItemDownload/en/1-tprinfo.pdf>

# **PŘÍLOHY K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI**

Srovnání užitných vlastností kompozicových ložisek s výstelkou na bázi  
Sn, Pb a Cu a PTFE

## Obsah:

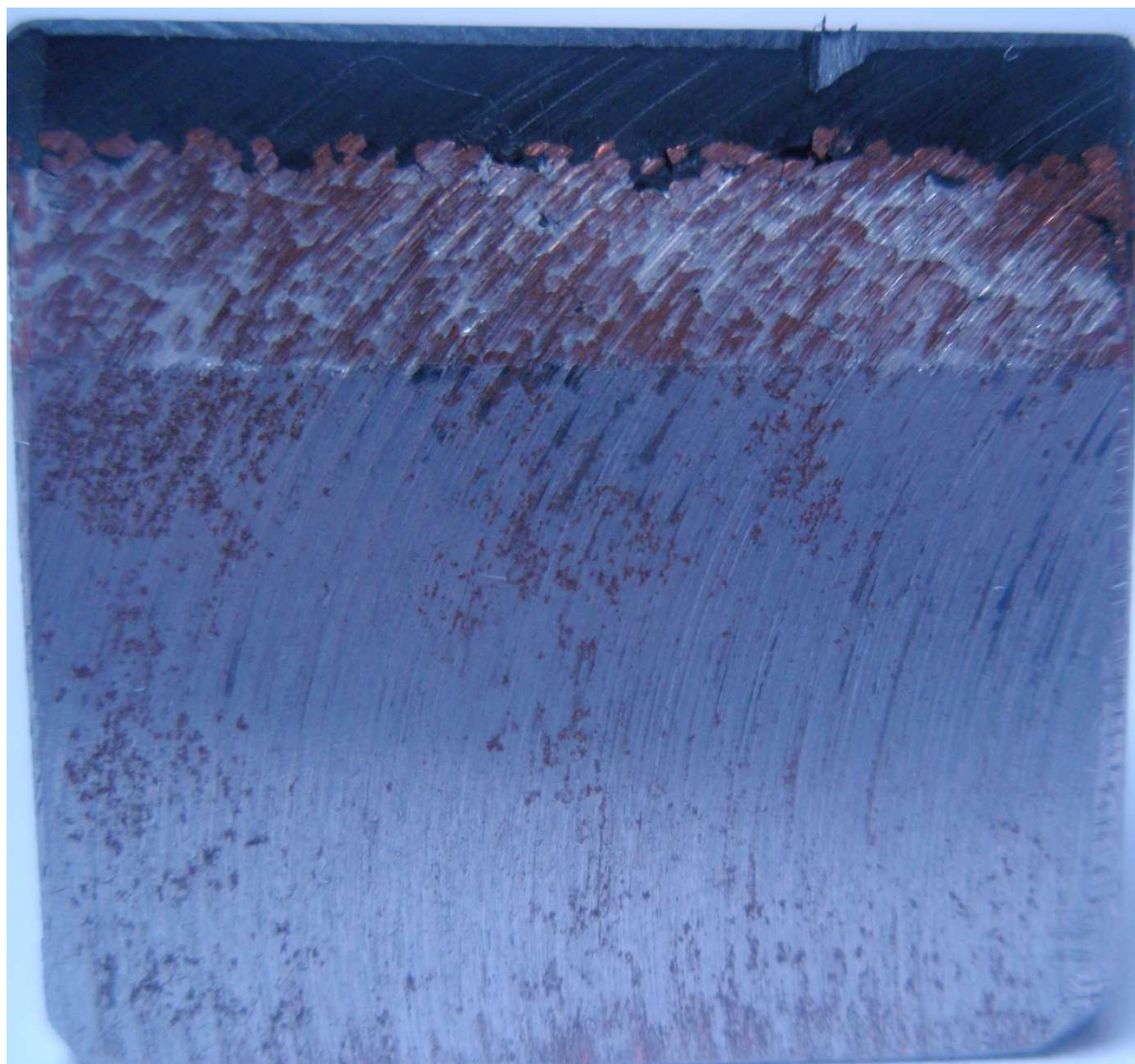
Detailní foto teflonové kluzné vrstvy..... II až III

Informační prospekt firmy *GTW BEARINGS s.r.o.*..... IV až XI



## **PŘÍLOHA č. 1**

**Detailní foto teflonové kluzné vrstvy**



## **PŘÍLOHA č. 2**

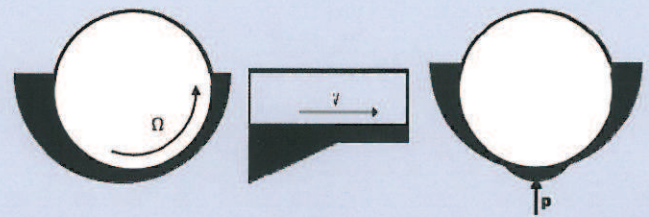
**Informační prospekt firmy *GTW BEARINGS s.r.o.***

## HISTORY

- › 1996 Foundation of GTW at Příšov, Pilsen-North Region, Czech Republic
- › 1998 Building of the first production hall
- › 2003 Building of the second production hall
- › 2006 Certification according to EN ISO 9001:2000
- › 2007 Building of the administration building
- › 2010 Recertification according to EN ISO 9001:2008
- › 2010 Building of the third production hall
- › 2011 Annual turnover of 10 million EUR
- › 2012 Number of employees: 130
- › 2012 Certification according to EN ISO 14001

## TECHNICAL SPECIFICATION

- › **Hydrodynamic Bearings**
  - Fixed Profile Journal Bearings, Tilting Pad Journal Bearings
  - Thrust Bearings, Tilting Pad Thrust Bearings
  - Optional with hydrostatic support



## PRODUCTS: COMPONENTS

- › **Fixed Profile Journal Bearings**
  - Shaft diameter up to 1600 mm
  - With or without hydrostatic



- Various types of profiles
- Various types of white metal



- › **Tilting Pad Journal Bearings**
  - Shaft diameter up to 500 mm

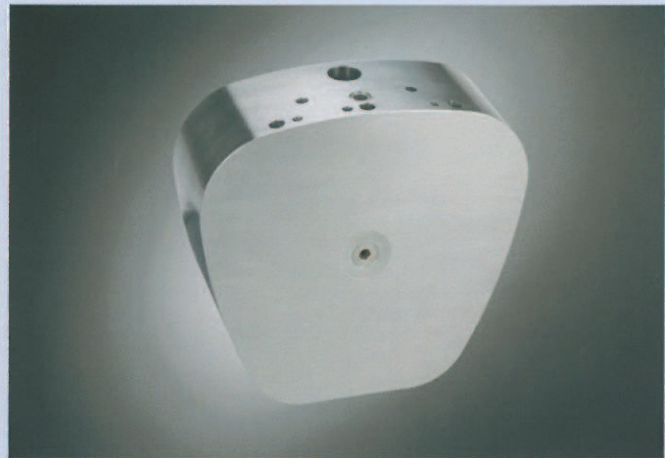


- Variable range of properties
- Stable properties of bearing run



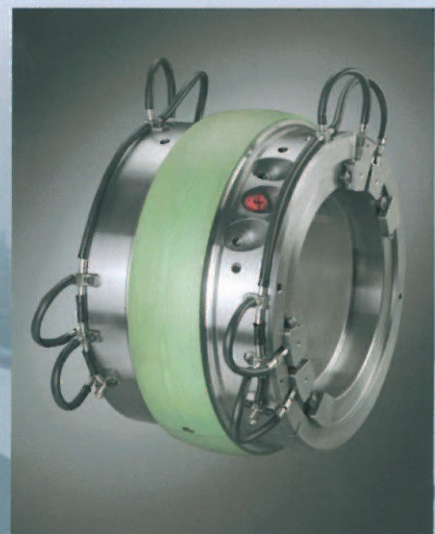
## PRODUCTS: COMPONENTS

### Tilting Pad Thrust Bearings



- › More kinds of technical solutions are used to transfer axial loads.
- › Tilting Pad Thrust Bearings are designed to transfer large axial loads with the following advantages:
  - each pad on bearings is free to tilt
  - reduced power loss
  - suitable for rotation in either direction
  - available in all sizes
  - pads can be supported on a bearing or on a bearing ring
  - pads are made from steel with white metal lining

### Electrically Insulated Bearings



These bearings meet a requirement for electrically insulated outer diameter. For insulation, GTW uses only materials with very good mechanical properties.

## Tilting Pad Journal Bearings

### Advantages of Tilting Pad Radial Bearings:

- maximum possible stability of rotating parts
- low sensitivity to load direction
- oil flow can be minimised - it reduces losses caused by friction
- standard components can be used
- spare parts for these bearings are the pads

### Advantages of GTW Tilting Pad Radial Bearings:

- optimised lubrication of bearings enables minimum power loss and temperature
- simple design
- universal design enables the combination of axial/radial loads
- provision of static and dynamic performance data as standard

### General Information:

GTW Tilting Pad Radial Bearings are designed for transfer of radial loads with optimal dynamic features and minimum power loss.

### They are available in these ranges:

RKS4 series – these are 4 pad bearings

RKS5 Series – these are 5 pad bearings

RKS4 and RKS5 series have the same outside dimensions and they are proposed on the identical systems. GTW Tilting Pad Radial Bearings are designed for shaft sizes up to 500 mm.

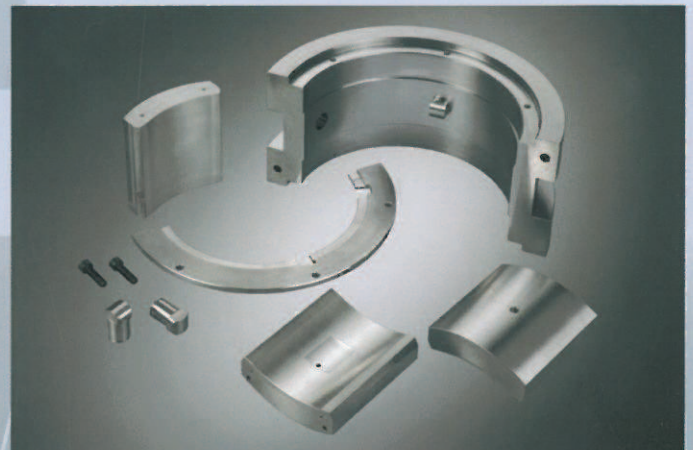
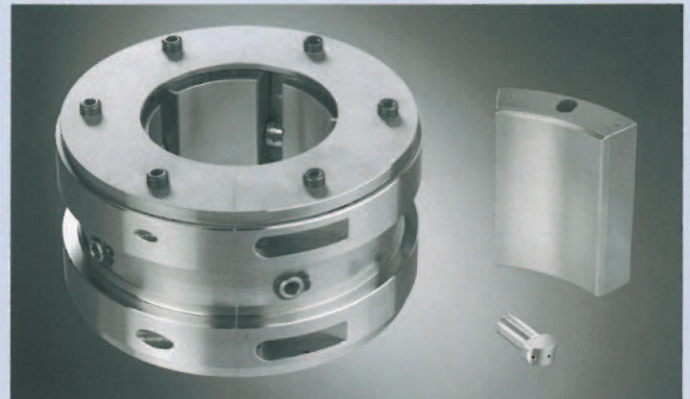
Movement of radial pads is limited by nozzles. Standard pads are supported centrally, enabling both directions of shaft rotation. It is standard that bearing housings are manufactured as to be suitable for disassembly.

### Material:

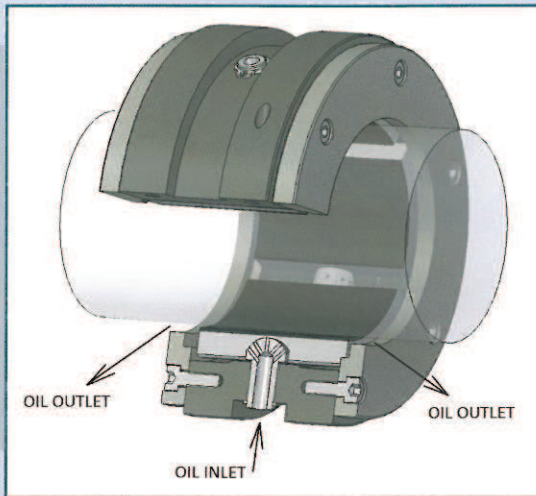
The standard pads are manufactured from steel lined with tin based white metal. The housings and end flange covers are manufactured from steel.

### Preload:

Preload describes relationship between the pad diameter, shaft diameter and bearing diameter. Standard pads are supplied with positive preload value ratio in the range of 0,3 – 0,55. GTW bearings have a positive preload, that means the pad radius is larger than bearing radius.



## Tilting Pad Journal Bearings



### RKS Bearings System:

The Standard GTW Tilting Pad Radial Bearings – Direct Lubrication design:

- oil flow controlled by nozzles between each pad
- oil outlet – from each end of bearing

### Load Capacity:

The load capacity of Tilting Pad Radial Bearings depends on different factors such as direction of load in reference to the pad position, shaft speed, inlet oil temperature, oil viscosity etc. There are two possibilities of direction of load in reference to the pad position - load on pad and load between pads.

### Bearing Calculations:

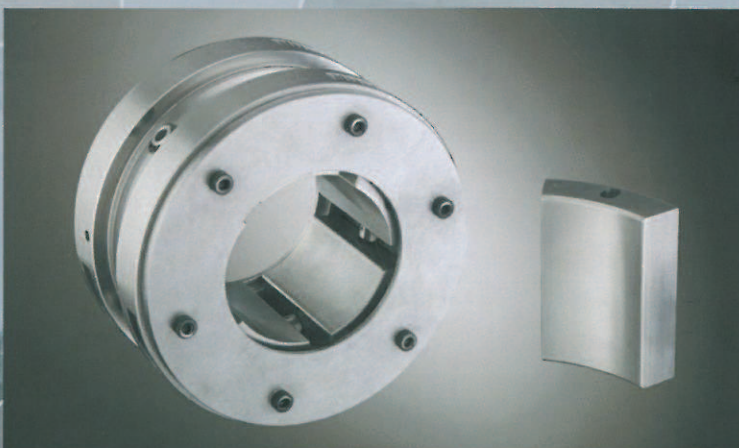
For selection of bearing size it is necessary to make bearing calculation using special software. GTW provides white metal bearing calculation services for standard customers. GTW calculation software provides relevant parameters such as required oil quantity, power loss, admissible load, stiffness and damping coefficient, maximum bearing temperature etc.

### Temperature Sensors:

Temperature sensors are used for measuring of bearing temperature. All GTW Tilting Pad Journal Bearings can be supplied with temperature sensors guarantees permanent monitoring of bearing temperatures.

### Hydrostatic Jacking:

GTW can also supply bearings with hydrostatic jacking, especially for applications with high load during start-up.



## GTW Thrust Pads

### › Sets of Thrust Pads type WK



Main application for the WK thrust bearings is in vertical roller mills drives, where high static and dynamic loads have to be absorbed.

The support of the axial tilting pads on a spherical surface guarantees an all-round tilting movement and therefore perfect hydrodynamic function of the bearing.

The axial tilting pads are made of steel lined with white metal. The spherical pressure plates are made of highly tempered steel.

The axial tilting pads can be provided with temperature sensor holes and pockets for hydrodynamic jacking upon request.

### › Thrust pads type WA, WD



Bearings with WA and WD thrust pads are used to absorb axial forces e.g. in Gearboxes, Generators and Pumps.

WA thrust pads are circular and they have an attached spherical surface on the back enabling an all-round tilting movement.

WD thrust pads are sliding components with the disk spring support.

WA thrust pads are used in place of WD pads in case of strong shock loading.

Due to their concentric structure and the central supports, WA thrust pads are independent of the direction of rotation.



## PRODUCTS: BEARING SYSTEMS

### › Pedestal Bearings

- Shaft diameter 80 – 900 mm



### › Side Flange Bearings and Centre Flange Bearings

- Shaft diameter 80 – 355 mm



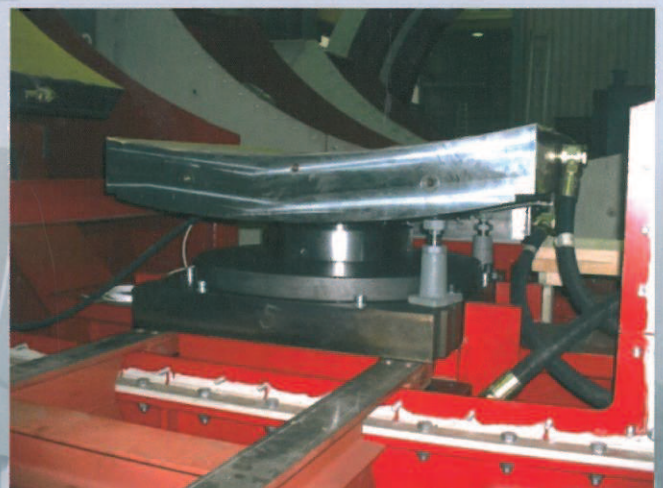
### › Vertical Bearings

- Shaft diameter 80 – 710 mm
- Optional with integrated oil pump



### › Sliding Part of the Mill, Pad Bearings for Mills

- Shaft diameter up to 7000 mm

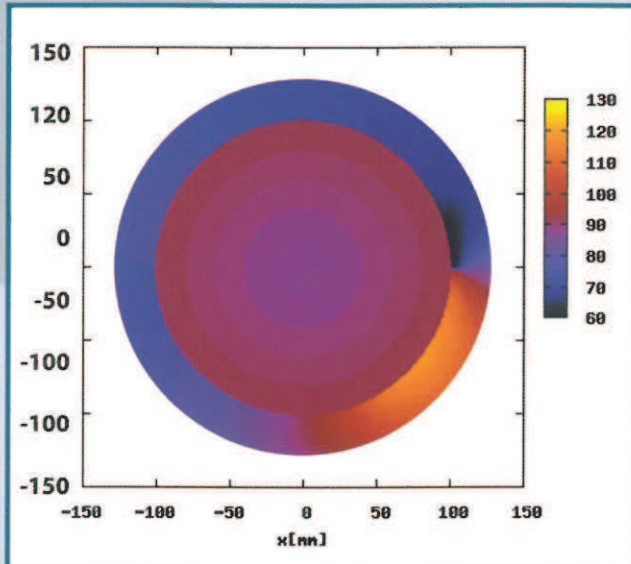


## BEARING TECHNOLOGIES

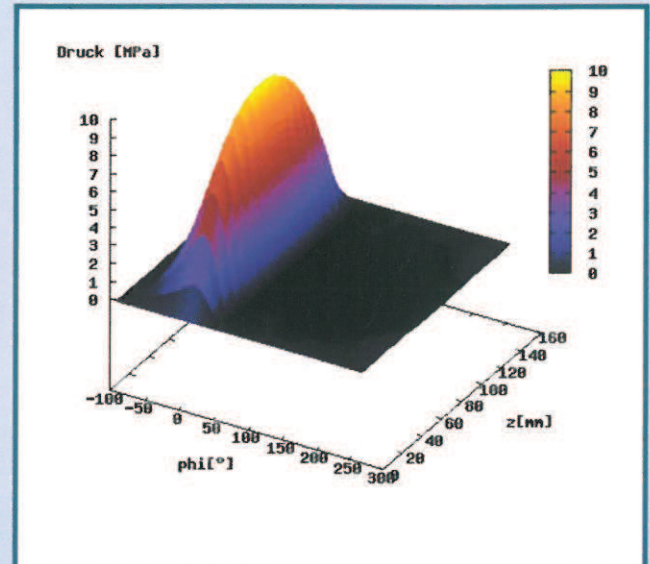
### › Bearing Application Innovations

- Bearings with reduced losses

### › Bearings Calculations with Special Software



- Vertical bearings with integrated oil pump



## SERVICES

### › Bearings Damage Statistics and Analysis

- Comparison with internal database

### › Repairs of Damaged Bearings

- Optional solution according to our bearings design

