

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Poruchy a diagnostika valivých ložisek

Autor: **Vojtěch Cibulka**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2012/2013**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch CIBULKA**
Osobní číslo: **S12B0200P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Poruchy a diagnostika valivých ložisek**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Proveďte analýzu současného stavu v oblasti valivých ložisek. Uveďte nové trendy a modernizaci v této oblasti. Popište montáž a demontáž valivých ložisek. Zaměřte se především na spolehlivost, diagnostiku, poruchy a jejich analýzu. Uveďte základní technické údaje.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Stanovení cílů bakalářské práce
 2. Analýza stávajícího stavu
 3. Zjištění nových možností
 4. Spolehlivost, montáž a demontáž, diagnostika ložisek
 5. Komplexní hodnocení
-


Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999

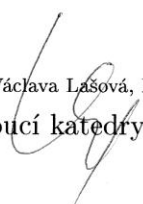
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **24. září 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSC.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 24. září 2012

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

Zde bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce panu doc. Ing. Václavu Vaňkovi, Ph.D. za trpělivost a cenné rady, díky kterým mohla tato práce vzniknout.

Dále patří dík panu Ing. Miroslavu Duníkovi za poskytnutí vzorků havarovaných ložisek a kontaktů na odborníky z praxe.

V neposlední řadě bych rád zmínil ochotu společnosti SKF a konkrétně poděkoval panu Ing. Fialovi a panu Ing. Jiřímu Šafkovi za pomoc při výpočtu životnosti daného valivého ložiska metodou dle SKF.

Také děkuji své rodině a přátelům, kteří mě při mém studiu vždy podporovali.

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tato bakalářská práce je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.3.00/35.0048 „Popularizace výzkumu a vývoje ve strojním inženýrství a jeho výsledků (POPULÁR).“

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Cibulka	Jméno Vojtěch	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Vaněk, CSc.	Jméno Václav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Poruchy a diagnostika valivých ložisek		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce se zabývá valivými ložisky obecně hned z několika pohledů jako například z hlediska volby materiálů, konstrukčního provedení apod. Hlavním tématem je diagnostika závad a to od zjištění až po opravy. Součástí práce je i výpočet spolehlivosti a životnosti ložiska. Výpočet životnosti je proveden dvěma různými způsoby na konkrétním vzorku.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Valivá ložiska, diagnostika, poruchy, spolehlivost, životnost, materiály, provedení, vývojový diagram.

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Cibulka		Name Vojtěch	
FIELD OF STUDY	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Vaněk, Ph.D.		Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Failure and diagnostics of roller bearings			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with roller bearings generally from several perspectives, for example choice of material, design etc. The main topic is a fault diagnostics from detection to repair. This thesis also includes the calculation of reliability and durability of the bearings. Lifetime calculation is carried out in two different ways on the specific sample.
KEY WORDS	Roller bearings, diagnostics, fault, reliability, durability, materials, design, flow chart.

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	10
3. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	10
3.1 Úvodní slovo	10
3.2 Konstrukce ložiska	11
3.3 Základní rozdělení valivých ložisek	12
3.4 Rozměry a požadavky na materiál	15
3.5 Kdo je v čele výrobců	15
4. ZJIŠTĚNÍ NOVÝCH MOŽNOSTÍ.....	18
4.1 Moderní materiály a konstrukce	18
4.2 Moderní zařízení pro diagnostiku a kontrolu	21
4.3 Nové možnosti oprav poruch	22
5. SPOLEHLIVOST, MONTÁŽ A DEMONTÁŽ, DIAGNOSTIKA LOŽISEK	24
5.1 Spolehlivost.....	24
5.2 Montáž a demontáž	26
5.2.1 Montáž	26
5.2.2 Demontáž	27
5.3 Diagnostika ložisek.....	28
5.3.1 Jak zjistit příčinu poruchy?	29
5.3.2 Příklady závad z praxe	31
5.3.3 Shrnutí.....	40
6. KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ.....	41
7. ZÁVĚR.....	41
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
8.1 Knižní publikace	42
8.2 Internetové zdroje	42

1. ÚVOD

Trendem moderní společnosti 21. století je neustálé zrychlování, zefektivňování a zmenšování strojů, zařízení, předmětů a výrobků vůbec. Tento trend není nic nového, pouze dnes platí víc než kdy dřív, a to díky exponenciálnímu nárůstu rychlosti modernizace. U valivých uložení rotačního typu tomu není jinak.

Lidé již od pradávna využívají výhod valení rotačních součástí. Přesněji kolem roku 1900 před n. l. se staří Egypťané snažili vyrobit první kovová kola. Dřevěná kola byla používána v dopravě mnohem dříve, a to 4000 let př. n. l. v Sumerské říši. Samozřejmě, že v uložení vznikalo velké tření a s ním přišel problém opotřebení a zahřívání. Proto se s vynálezem kola pojí i myšlenka, jak kolo rotačně uložit co nejlépe tak, aby ztráty třením byly co nejmenší. Archeologové našli právě na území starých Egypťanů první ložiska s valivými tělísky, která pravděpodobně rotovala na jakýchsi čepech.

Významnou osobností, jež se zasloužila o rozvoj ložisek, byl Leonardo da Vinci, který prováděl pokusy zkoumající třecí odpory a první druhy ložisek aplikoval ve svých vynálezech. Vývoj ložisek šel ruku v ruce s vývojem válečné techniky, kterou se da Vinci také zabýval.

Další pokrokové vědce nalezneme v 19. století. Prof. Stribeck nebo H. Hertz přispěli svými teoretickými pracemi k pokroku ve výrobě ložisek, která se koncem 19. století rozrostla a začalo se jí zabývat stále více firem. Toho času již byla hojně využívána kuličková ložiska, ale jejich vznik se datuje až ke konci 18. století, nejspíš kvůli složitější výrobě jejich přesného geometrického tvaru. Z tohoto důvodu byla mnohem dříve vyrobena a používána ložiska válečková. Do roku 1900 lidé znali jen ložiska kuličková, válečková a kuželíková.

Ložisko, jako strojní díl, má několik hlavních funkcí, kvůli kterým se tak především využívá. Kromě vzájemného rotačního uložení dvou strojních součástí mohou být na ložisko kladeny požadavky na přenos zatížení v různých směrech, podpora hřídele nebo zajištění polohy hřídele (vedení).

Čtenář se v odborném textu této bakalářské práce dozví jak základní informace o valivých ložiskách, tak i různé zajímavosti a novinky o nich. První kapitoly této práce jsou zaměřené na konstrukci, rozdělení a obecný úvod do problematiky valivého uložení. Současný stav, co se týče vývoje, používaných materiálů a zaběhnutých technologií v oblasti výroby a konstrukce ložisek je popsán v třetí kapitole bakalářské práce (dále BP). V dalších kapitolách této práce je pak obsaženo pojednání o nových moderních technologiích, možnostech a trendech v oblasti valivého uložení rotačních součástí.

V této BP je hlavní pozornost zaměřena na diagnostiku valivých ložisek, avšak součástí této problematiky je i obecný přehled o konstrukci a materiálech valivých ložisek, jak již bylo zmíněno.

Závěr BP patří rekapitulaci současných konstruktéry nepoužívanějších druhů valivých ložisek a nových trendů v tomto odvětví. Je zde také uveden přehled největších firem, které se zabývají vývojem a prodejem ložisek a které patří k největším prodejčům na trhu.



Obr. 1 - Ukázka ložisek [4]

2. STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Odborný text této bakalářské práce má za úkol podat přehled o rozdělení základních typů valivých ložisek. Čtenář bude seznámen s problematikou ložisek od absolutních základů až po moderní metody jejich konstrukce, montáže, demontáže, diagnostiky apod. Práce je zaměřena na nejpoužívanější ložiska v různých odvětvích moderního průmyslu. Za zmínění stojí přehled největších světových výrobců a distribučních firem.

Velká část BP je zaměřena především na poruchy a jejich diagnostiku. Tuto problematiku vysvětluje podkapitola 5.3 *Diagnostika ložisek*. V této podkapitole lze nalézt konkrétní případy poruch a jejich následků. Cílem je ukázat poruchy ložisek a jejich příčiny na konkrétních příkladech z praxe. Důležité je v této kapitole také stanovení provozní trvanlivosti (životnosti) ložisek, kdy bude předveden rozdíl mezi výpočtem pomocí doposud nejčastěji používaného vztahu dle ČSN ISO 281:1990 a výpočtem podle relativně nového vztahu uvedeného firmou SKF.

BP se zaměřuje na novinky, ať už v oblasti konstrukce ložisek, kdy se válečkové toroidní ložisko firmy SKF považuje za revoluční novinku posledních let, nebo na nové materiály, ze kterých jsou ložiska vyráběna.

Dalším z cílů BP je přiblížit moderní trendy v již zmíněné diagnostice ložisek pomocí termokamer, bezkontaktních teploměrů, přístrojů měřících vibrace apod. Pro montáž ložisek je v odborném textu zahrnuta novinka firmy SKF, a to opravná pouzdra SPEEDI-SLEEVE.

Montážní a demontážní přípravy a zařízení jsou dalším důležitým bodem odborného textu. Tato část zahrnuje výčet moderních pomůcek, které se při montáži i demontáži nejčastěji používají. Práce by měla podat vysvětlení pojmů spolehlivost a životnost ložisek a názorně předvést výpočty spolehlivosti i životnosti ložisek jak obecně, tak na konkrétním případě. BP by měla být pomůckou při studiu valivých ložisek a především rychlým návodem pro diagnostiku ložisek.

3. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Úvodní slovo

Tvrzení, že strojírenský průmysl by dnes bez různých druhů valivých uložení nemohl existovat, je poněkud radikální, ale přesto z velké části pravdivé. Představme si hřídel rotující vysokými otáčkami, která je uložena jinak než na valivých ložiskách. Uvažujme například ložiska kluzná. Takové konstrukční řešení by vedlo v porovnání s uložení na valivých ložiskách ke vzniku většího tření a vlivem vysokých otáček a vzniku vysokých teplot nejspíše i k zadření, nehledě na nízkou únosnost při rozběhu a doběhu v nízkých otáčkách nebo na nutnost kvalitního maziva. Samozřejmě jsou i jiné možnosti, jak hřídel rotačně uložit. Mezi alternativy patří hydrodynamická, hydrostatická, aerodynamická, aerostatická či magnetická ložiska. Tyto alternativy však nelze použít všude tam, kde s úspěchem zastávají svoji funkci ložiska valivá. Jejich funkce a údržba je v mnohých případech značně složitější a nákladnější než u ložisek valivých, o pořizovacích nákladech nemluvě. Nehledě na to, že v některých případech ani jiná než valivá ložiska vzhledem k funkci celé skupiny nebo stroje použít nelze. Někdo namítne, že valivá ložiska mají také své nevýhody. Ano, to jistě. Ale co je dokonalé? Dnes bychom se bez valivých ložisek s čárovým i bodovým stykem již neobešli. Je tady řada výhod, které valivá ložiska nabízejí, jako podstatně menší tření, přesnost uložení, možnost předepnutí, menší nároky na kvalitu maziva nebo odolnost při extrémních podmínkách, kdy provozní teploty mohou vystoupat až na vysokých 200 - 300°C. Nebo již zmíněná velká únosnost je také dalším faktorem, který je ukazatelem vývoje a modernizace ložisek. Ložiska se jako strojní komponenty časem neustále vyvíjejí. Vývoj lze demonstrovat na tom, že v roce 1900 byl klasický hřídel uložen na valivých ložiskách o zástavbových rozměrech zhruba

dvakrát větších, než je tomu dnes. Tehdy byla materiálem klasická uhlíková kalená ocel, dnes jsou i ložiska s menší únosností a pro menší zatížení vyráběna z dvakrát vakuově přetavované oceli.

Valivé uložení rotačního typu je velmi široký pojem co do množství typů a modifikací provedení. Je to problematika, kterou se technici vždy zabývali, zabývají a zabývají budou. Vždy je co zlepšovat, protože odběratel bude mít vždy stále větší nároky ať už na kvalitu, zástavbové rozměry, únosnost apod.

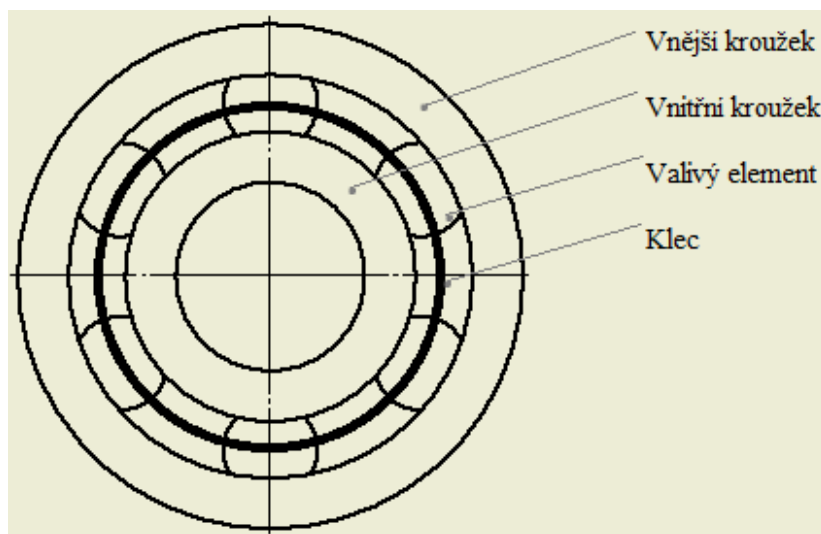
3.2 Konstrukce ložiska

Ložiska jako taková lze rozdělovat do několika skupin z mnoha různých hledisek. Například z hlediska konstrukce (druhu valivých elementů), spolehlivosti, způsobu použití apod.

Ale nejprve je velice důležité dobře chápat termín *rotační uložení* a vědět, co vlastně *ložisko* je a z čeho se skládá.

Rotační uložení → Jsou to strojní části, díky nimž lze uložit dvě součásti stroje tak, že zajišťují rotační pohyb mezi těmito součástmi a zároveň vymezují jejich vzájemnou polohu.

Valivé ložisko → Je to strojní část, která díky valivým elementům mezi vnitřním a vnějším kroužkem snižuje velikost tření při rotaci v uložení hřídele a přenáší zatížení v daném směru (dle konstrukce ložiska). [1]



Obr. 2 - Popis ložiska

Vnější kroužek

Vnější povrch vnějšího kroužku ložiska přichází do styku s uloženou součástí.

Vnitřní kroužek

Vnitřní povrch vnitřního kroužku je většinou uložený s přesahem na hřídeli. Záleží však na tom, zda rotuje hřídel nebo náboj.

Klec (nýtované, obráběné, čepové, korunkové, okénkové...)

Klec slouží k vedení valivých elementů. Vyrábí se z různého materiálu podle zatížení.

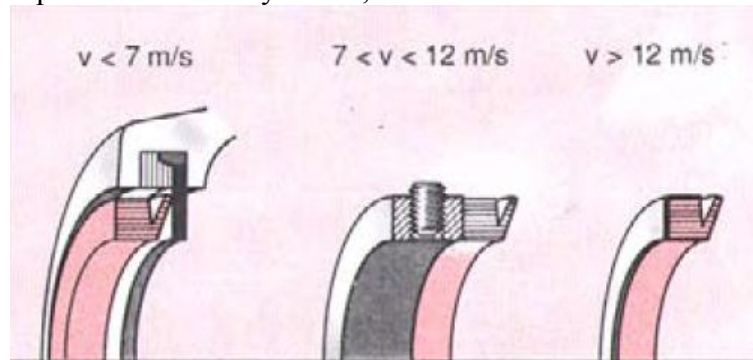
Materiálem může být: ocel (pro teploty kolem 300°C), polymery PA66, PA46, PPA, PEEK (pro teploty kolem 100 - 200°C), mosazi (pro vyšší pevnost i při velkých zatíženích a rázech a teplotách do 250°C).

Valivé elementy

Valivé elementy se pohybují v oběžných drahách vnitřního a vnějšího kroužku a jsou nejčastěji vyrobeny z kalené oceli. Přenášejí zatížení a jsou hlavní příčinou snížení tření v uložení.

Těsnění

Součástí ložiska může být i těsnění, které v ložisku zadržuje olej či plastické mazivo a brání vniku nečistot. Vyrábí se různé druhy, jako například jednobřité, dvoubřité apod. Druhy těsnění se volí také podle obvodové rychlosti, viz obr. 3.



Obr. 3 - Konstrukční provedení těsnění ložiska [5]

Ostatní

U některých ložisek je možno nalézt i další díly, jako například plechovou krytku a podobně, to ale záleží na konkrétním konstrukčním řešení.

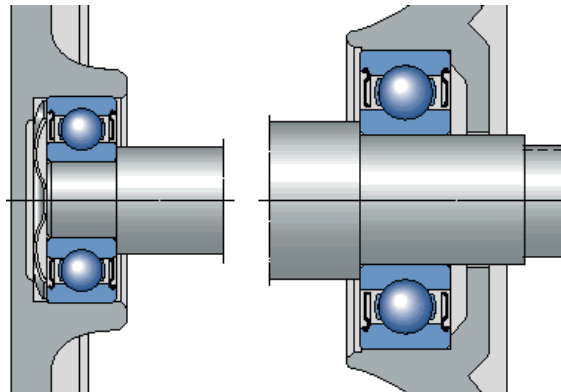
3.3 Základní rozdělení valivých ložisek

Ložiska lze dělit podle mnoha různých aspektů. Jedno z nejdůležitějších rozdělení je podle toho, zda je v místě styku valivého elementu s vnitřním i vnějším kroužkem stopa v podobě bodu nebo přímky. Taková ložiska se pak liší především únosností. Ložiska s bodovým stykem (kuličková) mají sice menší únosnost než ložiska se stykem čárovým (válečková, soudečková, kuželíková apod.), ale jejich výhodou je nízké tření, které narůstá s velikostí stykové plochy mezi valivým elementem a oběžnými drahami vnějšího a vnitřního kroužku.

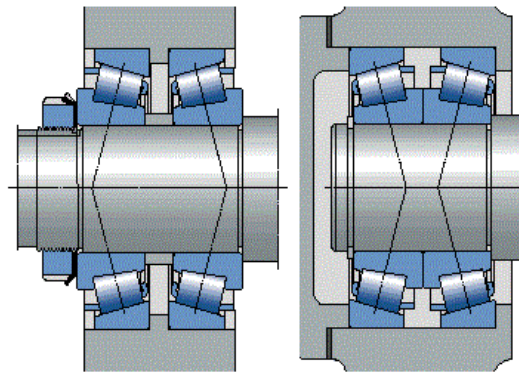
V katalogích výrobců jsou ložiska také dělena podle čárového či bodového styku, avšak v praxi se uplatňuje rozdělení podle zástavbových rozměrů, dynamické či statické únosnosti ložiska nebo podle speciální konstrukce apod. Existuje mnoho vlastností a jejich parametrů, ve kterých se ložiska liší a podle kterých je lze rozdělovat do jednotlivých skupin. Jedním z takových parametrů může být např. radiální vůle. Větší vnitřní radiální vůle se značí C3, C4, C5. Menší vůle je značena C2.

- Valivá ložiska s bodovým stykem
Do této skupiny patří pouze ložiska využívající valivých elementů v podobě kuliček. Tato ložiska mají menší únosnost než ložiska s čárovým stykem, protože tlak je rovný síle působící na plochu ($p = F/S$) a v případě, že na ložisko působí vnější zatížení, působí toto zatížení na velice malou plochu a tím vzniká velké napětí a deformace v místě styku kuličky s oběžnou dráhou kroužku ložiska. Proto se kuličková ložiska často předepínají, aby bylo toto místní napětí rovnoměrněji rozkládáno na všechna valivá tělíska uvnitř ložiska a jeho únosnost se tak zvýšila. Předpětí může být podle typu ložiska radiální nebo axiální. Např. radiální válečková ložiska mohou být předepnuta pouze radiálně a axiální kuličková nebo válečková ložiska lze předepnout pouze axiálně.

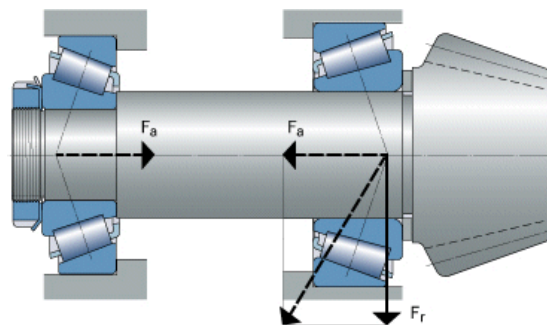
Způsob předepnutí může být různý, od použití pružiny, viz obr. 4, po kombinaci kuželíkových ložisek do tvaru „O“ nebo „X“, viz obr. 5.
Další výhody předepnutí ložiska jsou: vyšší pevnost, tišší chod, delší životnost.



Obr. 4 - Předepnutí kuličkového ložiska pružinou [5]

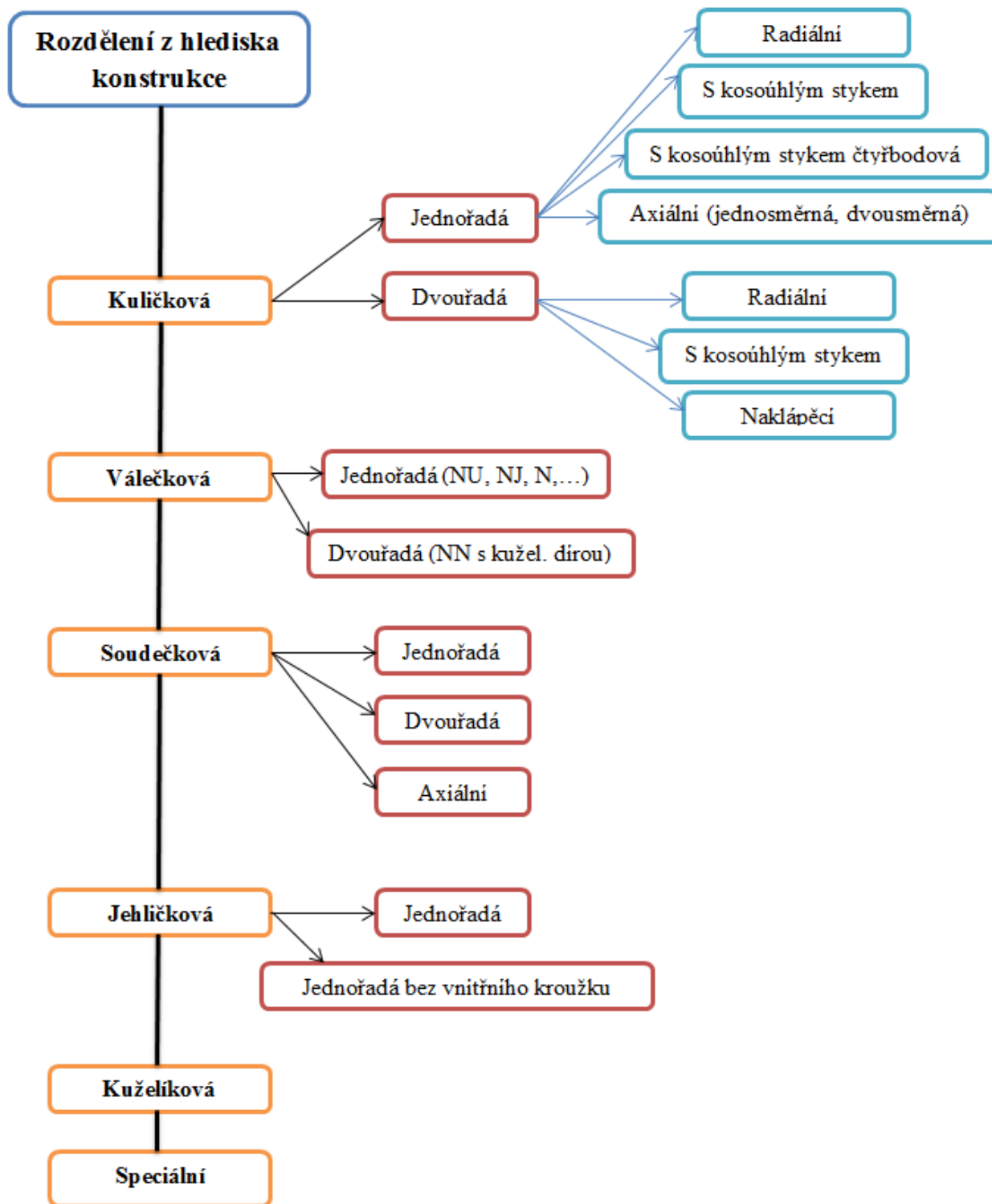


Obr. 5 - Předepnutí podle způsobu uložení kuželíkových ložisek [5]



Obr. 6 - předepnutí je dáno rozložením sil v uložení [5]

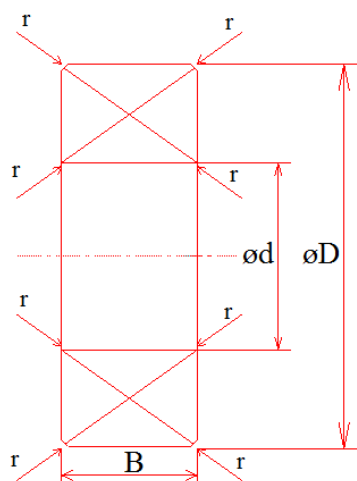
- Valivá ložiska s čárovým stykem
Čárový styk tvoří valivá tělíska, jako jsou válečky, soudečky, jehly apod. Do této skupiny spadají tedy ložiska válečková, jehlová, soudečková nebo kuličková. U těchto typů ložisek vzniká za chodu větší tření a s tím rostou i provozní teploty. Z toho vyplývá, že je potřeba tato ložiska více chladit. Tento typ ložisek byl vynalezen mnoho let před ložisky kuličkovými, a to především z důvodu snadnější výroby. Předepnutí a ukázky některých typů ložisek s čárovým stykem viz výše. [2]



Obr. 7 - Základní rozdělení ložisek

Pozn. NU - volný vnitřní kroužek, dvě příruby na vnějším kroužku
 NJ - jedna příruba na vnitřním kroužku, dvě příruby na vnějším kroužku
 N - dvě příruby na vnitřním kroužku, volný vnější kroužek [17]

3.4 Rozměry a požadavky na materiál



Pro rozměry valivých ložisek platí norma ČSN 02 4629.

r ... poloměr zaoblení

B ... šířka ložiska

ød ... vnitřní průměr

øD ... vnější průměr

Jednotlivé typy ložisek se vyrábějí v rozměrových řadách podle obou průměrů ($\varnothing d$ a $\varnothing D$) a šířky ložiska B. [1]

Obr. 8 - Základní rozměry ložiska

U všech součástí, z nichž je ložisko složeno, se klade velká pozornost na druh materiálu, ze kterého jsou jednotlivé komponenty ložiska vyrobeny. Materiál musí splňovat základní požadavky, které jsou:

- Homogenita materiálu.
- Vysoká statická pevnost.
- Tvrdost materiálu ($HRC_{\min} = 59$), kdy se jedná především o povrchovou tvrdost. Například povrch ocelových kuliček, který je zakalený a leštěný na tuto tvrdost.

Běžně se u obyčejných ložisek objevují kalené a popouštěné oceli třídy 14. O dalších materiálech a možnostech jejich využití pojednává kapitola 4.1 "Moderní materiály a konstrukce".

3.5 Kdo je v čele výrobců

Doby, kdy ČSSR vyráběla a zaplňovala vlastní i cizí trh svými výrobky, bohužel již dávno minuly. Strojírenské závody měly velké zázemí a výrobky se těšily oblibě v mnoha zemích Evropy. Dnes se export strojírenských částí neřadí mezi silné exportní položky a většinu výrobků a zařízení dovážíme ze sousedních zemí a celé EU.

Největší světoví výrobci ložisek:

SKF



Společnost SKF je bezesporu největším světovým výrobcem valivých uložení. Zkratka SKF je odvozena z názvu „Svenska Kullager Fabriken“, ve volném překladu „švédská kuličková ložiska.“ Firmu založil roku 1907 Sven Wingqists. Prvním patentem firmy byla dvouřadá naklápěcí kuličková ložiska, která měla okamžitý úspěch. Dalším milníkem byl rok 1918, kdy SKF získala patent na naklápěcí soudečková ložiska. Poslední novinkou je od roku 1995 vynález toroidního ložiska, které umožňuje axiální posun i úhlové naklonění.

Obr. 9 - Logo SKF [5]

Do roku 1910 měla společnost 325 zaměstnanců a jednu pobočku ve Velké Británii. Tomu odpovídala roční produkce 2200 ks/rok. Dnes činí počet zaměstnanců zhruba 40 000. Takové množství zaměstnanců pracuje ve stovce výrobních závodů rozmístěných ve více než 70 zemích světa. Produkce stoupla na neuvěřitelných 250000 ks/hod.

Společnost SKF je absolutní špičkou ve svém oboru s hlavním sídlem v Gothenburgu. Má vynikající výsledky díky své diagnostické a vývojářské základně, do kterých společnost investuje nemalé finanční prostředky. SKF se v současné době skládá ze 150 společností, mezi které patří i výrobce těsnění Chicago Rawhide. SKF má 20% podíl na trhu, což znamená, že výrobcem každého pátého ložiska je právě tato společnost. Odběrateli společnosti jsou například Rolls-Royce, General Electric a mnoho dalších světově známých společností. SKF dodává ložiska pro monopost Ferrari v závodech F1, kterých je zároveň sponzorem. (Ve formuli F399 bylo použito na 150 ložisek od firmy SKF.) Sponzoruje také Richard Childress Racing a Jeff Burton v NASCAR Sprint Cup Series. SKF je členem World Bearing Association (WBA).

ZKL



Obr. 10 - Logo ZKL [6]

ZKL je ryze česká akciová společnost se sídlem v Brně, která vznikla v roce 1999 spojením tří strojírenských společností a to ZKL Brno, a.s., ZKL Klášterec nad Ohří, a.s. a ZKL Hanušovice, a.s. Koncern má však více než šedesátiletou tradici. ZKL se zabývá výzkumem, vývojem, výrobou a prodejem ložisek. Výroba je zaměřena především na speciální typy ložisek v rozmezí průměrů od 400 mm do 1600 mm, a to pro železniční a automobilový průmysl.

ZKL však nevyrábí jen speciální typy. I běžná ložiska od ZKL se uplatňují v hutnictví, energetice, těžkém strojírenství i zemědělství, kde se s oblibou používají pro svoji spolehlivost. Společnost ZKL získala mnoho ocenění především za soudečková ložiska. Díky rozvoji poradenské činnosti této firmy má ZKL velký potenciál obsadit větší podíl trhu s valivými ložisky.

Kinex



Obr. 11 - Logo KINEX [7]

Kinex bearings a.s. se zabývá výrobou a vývojem ložisek pro různá odvětví průmyslu. Společnost má více než stoletou tradici a vyrábí okolo 8000 variant ložisek. Kinex dodává své výrobky do 80 zemí světa. Nejvíce se ložiska KINEX používají u automobilů, železničních strojů, letadel apod.

Timken



Obr. 12 - Logo TIMKEN [8]

Společnost TIMKEN založil Henry Timken v roce 1899 v St. Louis, Missouri. Společnost se proslavila díky kuželíkovým ložiskům, na které dostal Timken patent rok před založením společnosti. Firma se věnovala převážně ložiskům pro automobilový průmysl a také z toho důvodu se roku 1901 přestěhovala do Contonu v Ohio. Timken se po dobu své dlouhé existence potýkal s velkými problémy. Tato společnost byla pod tíhou událostí v průběhu 1. světové války nucena začít vyrábět vlastní ocel z důvodu nedostatečné kvality nakupované oceli. Z vlastní produkce oceli využili na ložiska pouze 20%, zbytek exportovali.

Dnes patří Timken k největším konkurentům SKF na trhu a získává mnohá ocenění, je členem World Bearing Association (WBA).

NSK



Obr. 13 - Logo NSK [9]

NSK je bezesporu další světově proslulá společnost vyrábějící kvalitní ložiska využívaná v mnoha odvětvích průmyslu. Byla založena roku 1916 v Japonsku. Společnost NSK přišla jako první s kuličkovými ložisky na japonský trh.

Vyrábí ložiska do převodovek, elektromotorů apod. V roce 1972 se společnost rozrostla až do Brazílie, kde postavila svoji první továrnu mimo Japonsko. V roce 1990 firma koupila značku RHP a znovu posílila svoji pozici na trhu. Stejně jako SKF a TIMKEN je členem World Bearing Association (WBA).

Rollway



Obr. 14 - Logo Rollway [10]

Rollway roller bearing company. Firma byla založena roku 1908 v Syrakusách. V roce 1909 byla jejich ložiska montována do prvních silničních vozidel. Jejich uplatnění se do roku 1947 rozšířilo i na obráběcí stroje a v roce 1963 firma vystavěla novou halu v Liverpoolu. Rollway se těší oblibě díky preciznosti a kvalitě zpracování. Podobně jako SKF si zakládá na vlastních technologiích a zkušenostech. V roce 1996 však firmu Rollway získala společnost Emerson Power Transmission, která má pod sebou dohromady 6 velkých závodů.

Korporací, holdingů a dalších společností zabývajících se výzkumem, výrobou a distribucí ložisek je mnoho. Z dalších to jsou například FBJ nebo CODEX a TWINCAM. Zde zmíněné firmy patří ke špičce v oboru. Jen málo se jich však pyšní opravdovými úspěchy co do vývoje a inovací. Vývoj a výzkum ložisek je časově i finančně nákladná, avšak velice užitečná činnost, která výše zmíněné společnosti drží na vrcholu producentů ložisek.

4. ZJIŠTĚNÍ NOVÝCH MOŽNOSTÍ

4.1 Moderní materiály a konstrukce

Již od vynálezu ložisek se konstruktéři a materiáloví inženýři snaží dosáhnout co největší únosnosti a provozní trvanlivosti při stále menších zástavbových rozměrech ložisek. U kuličkových ložisek je dnes již samozřejmostí používání vysoce legovaných ocelí pro výrobu obou kroužků ložiska. Dříve se používali, ale i dnes se používají, především prokalitelné ložiskové oceli, které jsou uhlíko-chromové s obsahem uhlíku 1% a chromu 1,5%. Patří sem například oceli 14109, 14209 apod. Tvrdost povrchu těchto ocelí se pohybuje okolo 60 HRC díky kalení na martenzitickou nebo bainitickou strukturu. Žádoucí je větší podíl bainitické struktury, což klade větší nároky na zpracování, ale zajistí lepší vlastnosti oceli. Materiál pak není tak křehký, jako když je ocel martenzitická.

Novinkou je vakuové kalení, kdy dochází k odstranění ještě většího podílu obsahu kyslíku a nekovových vměstků. Z takto upraveného materiálu jsou vyráběna například ložiska SKF s označením Explorer. Dále se používají indukčně kalené oceli, kdy bývají většinou kalené jen oběžné dráhy kroužků ložiska. Tam, kde jsou ložiska vystavena rázům a velkému zatížení, bývají k výrobě použity chromniklové a mangan-chromové legované ocele s nízkým obsahem uhlíku. Tam, kde je potřeba vysoká tvrdost a korozivzdornost ložiskových kroužků, se používají nerezové oceli s velkým podílem chromu. Například oceli X65Cr14 a X105CrMo17. Ložiska vystavená extrémním teplotám za provozu jsou často vyráběna z oceli 80MoCrV42-16. Další novinkou je zavedení kombinace materiálů, kdy valivá tělíska již nejsou z kalené ocele, ale jsou nahrazena keramickými kuličkami. Materiálem bývá nitrid křemíku. Taková ložiska pak odolávají kontaktním tlakům až 2600 MPa. Valivá ložiska z těchto materiálů lze stále více zatěžovat a jejich životnost je oproti běžným delší (vzniká menší tření mezi keramickou kuličkou a ocelovým kroužkem a menší valivý odpor). Tato ložiska se často využívají u vřeten obráběcích strojů, brusek, frézek a vysokorychlostního obrábění. Jejich výhodou spočívá i v tom, že jsou elektricky nevodivá. Keramické kuličky lze od klasických ocelových kuliček rozlišit pohledem i hmatem.

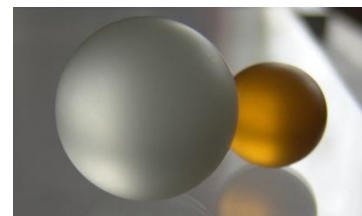
Zvláštní typy ložisek se volí podle prostředí, ve kterém se používají. Tam, kde je potřeba zvýšená chemická či teplotní odolnost ložisek, se používají plastová ložiska. Vnitřní a vnější kroužek je plastový a valivými elementy bývají buď ocelové, nebo skleněné broušené kuličky. Novým materiálem v této oblasti jsou tribopolymery, ze kterých se vyrábí vnitřní a vnější kroužky. Tribopolymery mají hned několik zásadních výhod. Prodlužují životnost ložiska, mají nižší koeficient tření a především ložiska není nutné mazat. Jejich využití je zejména v potravinářském průmyslu, ve zdravotnictví, textilním průmyslu, chemickém průmyslu a elektronickém průmyslu.



Obr. 15 - Kuličky z oceli [11]



Obr. 16 - Keramická kulička [11]



Obr. 17 - Kuličky ze skla [12]



Obr. 18 - Ložisko s kroužky z tribopolymeru [13]

Výhody ložiska z tribopolymeru

- nemazné, bezúdržbové
- nemagnetické a koroziuvzdorné
- nízká hmotnost
- tepelná odolnost do 80°C
- elektroizolační

Pro výrobu valivých ložisek se používá i dalších druhů plastů. Například základním materiálem klece valivého ložiska mohou být: PA 6.6, POM, PTFE, PI. Novinkou jsou fenolické pryskyřice vyztužené tkaninou. Nelze je však použít tam,



Obr. 19 - Klece val. ložisek [5]

kde je ložisko vystaveno vysokým provozním teplotám. PEEK vyztužený skelnými vlákny má dobrou pružnost a pevnost, a odolává působení chemických látek a dobře snáší vysoké teploty. Hlavním důvodem pro výrobu klece z těchto materiálů je snížení hmotnosti, snížení tření a dobré tlumící vlastnosti. Vedle klecí se z plastových materiálů vyrábí i uzavírací kroužky. Tyto kroužky uzavírají prostor mezi vnitřním a vnějším kroužkem ložiska a zabraňují vniku nečistot a úniku maziva. Materiálem těchto uzavíracích kroužků je často PA s přísadou MoS₂. Z plastu se dále vyrábějí také těsnění, jejichž materiálem často bývá fluorkaučuková pryž nebo polyuretan. Pro pevnější a více

namáhané klece se však stále jeví jako nejlepší kovové materiály. Klece jsou buď lisované z mosazi či oceli. Případně masivní mosazné klece jsou z kované mosazi CW612N.

Co se týče konstrukce, trendem je konstruovat a vyrábět taková ložiska, která zajišťují více funkcí najednou. Tím je myšleno zajištění pohybů v různých směrech, případně vedení elektrického proudu apod. V současnosti se vyrábí ložiska, která jsou schopna zachytit radiální i axiální zatížení současně a zároveň umožňují nebo eliminují naklápění. Samozřejmě největší pozornost je kladena na kvalitu provedení. Svůj díl na modernizaci konstrukce ložisek mají výpočetní programy. Důležitým parametrem valivých ložisek, co se konstrukce týče, je velikost kuliček, kdy s rostoucí velikostí kuliček roste rychlost a klesá valivý odpor.

Konstrukce se liší podle typu ložiska (viz 3.3 Základní rozdělení valivých ložisek). Použití daného typu ložiska záleží na druhu zatížení, počtu otáček za minutu v provozním stavu, na funkčnosti celku a dalších parametrech.



Obr. 20 - Soudečkové (toroidní) ložisko [14]

Přední výrobci ložisek mají svá vývojová centra a pracují na kontinuálním konstrukčním vylepšování svých produktů. Jedním z největších „zlepšovatelů“ je společnost SKF.

• Zdokonalení materiálu

Důraz je kladen na obsah kyslíku v oceli. Proto se moderní ložiska vyrábí z odplyněné oceli. Množství kyslíku se pak u nejnovějších ocelových materiálů pohybuje do 5 ppm, což vede k zvýšení životnosti i ve znečištěném prostředí.

• Zdokonalená úprava povrchu

Optimalizací kvality povrchu stykových ploch se zvyšuje účinek maziva, zlepšuje se odolnost proti nízkým teplotám a zvyšuje se životnost.

- *Zdokonalený logaritmický profil soudečkového ložiska*

Díky tomuto zdokonalení se dosahuje rovnoměrnějšího rozložení zatížení. Výhodou je tam, kde se vyskytují malé nesouososti.

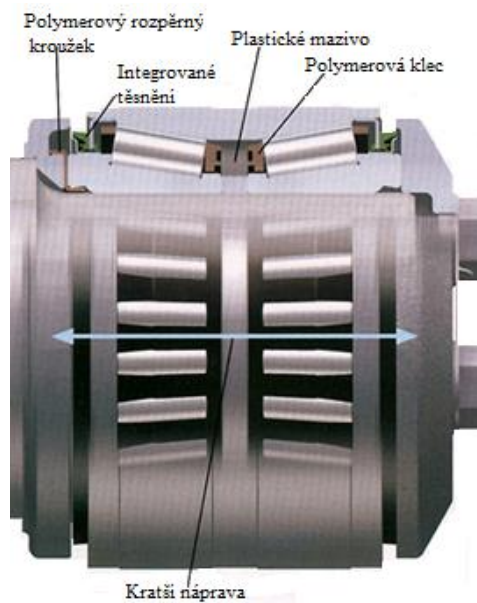
- *Optimalizace valivých elementů a přírub*

Dosahuje se tím lepšího mazání a snížení opotřebení. U soudečkových valivých elementů toroidního ložiska (viz obr. 20) unikátní geometrie válečků a přírub snižuje hranové napětí a snižuje tření. Tím dochází k menšímu zahřívání, a tedy i ke zvýšení životnosti.

- *Optimalizace klece ložiska*

Geometrie okének klece se optimalizuje pro dosažení maximálního účinku maziva. Optimalizací klece se snižuje nárůst tepla a opotřebení i při nedokonalém mazání.

Příklad moderní kuželíkové ložiskové jednotky viz obr. 21.



Obr. 21 - Kuželíková ložisková jednotka I141

Každý druh ložiska s sebou nese vlastní modernizaci a inovaci jednotlivých částí. Jak je patrné z obrázku, běžné komponenty ložiska jsou často nahrazeny novými, které zajišťují kvalitnější a dlouhodobější užívání. Rozpěrný kroužek je polymerový místo z oceli, těsnění ložiska je integrované, mazivo je plastické místo běžného mazacího tuku a klec je místo z mosazi či oceli vyrobena z polymerů.

Další speciální a moderní ložiskové jednotky a příslušenství valivých ložisek svým rozsahem přesahují rámec této publikace. Jsou to například otoče (standardní, speciální, s ozubením, bez ozubení).

Ložiska mají také mnoho příslušenství, ať už se jedná o konstrukční doplňky nebo jen externí přípravky na diagnostiku, montáž či demontáž.

Mezi hlavní příslušenství valivých ložisek patří:

- utahovací a stahovací pouzdra;
- matice a pojistné podložky;
- teplotní čidla;
- různé měřicí přístroje, viz kapitola 4.2.

4.2 Moderní zařízení pro diagnostiku a kontrolu

Podobné trendy jako v konstrukci platí i v odvětvích pro diagnostiku a kontrolu ložisek. Používají se přístroje, které usnadňují kontrolu správnosti chodu a diagnostiku vad ve smontovatelném stavu. Většina těchto přístrojů, které se často vyznačují svou jednoduchostí používání a snadným přenosem, byla představena společností SKF. Jsou to především teploměry, termokamery, detektory elektrických výbojů a přístroje pro kontrolu souososti.

Bezkontaktní teploměry



Obr. 22 -
Teploměr SKF [5]

Tyto přístroje šetří čas a jejich používání je velice jednoduché. Jsou vybaveny okamžitým odečítáním naměřených hodnot na displeji přístroje. V roce 2005 byly představeny první z těchto moderních měřidel a jejich současnými nástupci jsou TKTL 10 a TKTL 20. Jsou to přenosné odlehčené teploměry s odlehčenou konstrukcí pro bezpečné bezkontaktní měření. Druhý ze jmenovaných přístrojů je schopen i kontaktního měření. Použití spočívá v jednoduchém namíření teplotního čidla na ložisko.

Termokamery



Obr. 23 -
Termokamera [5]

Jednoduché použití díky teplotnímu čidlu, které zobrazuje měřený předmět ihned na displej přístroje. I na malou vzdálenost ukazuje velké rozsahy teplot. Moderní termokamery (viz obr. 23) od firmy SKF jsou vybaveny vysokokapacitní baterií s výdrží až 6 hodin nepřetržitého provozu. Vyhodnocování záznamu je jednoduché. Není třeba mít zvláštní znalosti z oblasti termometrie. Přístroje jsou velice citlivé a mají kvalitní rozlišení 120 x 160 pixelů. Další výhodou je opět jednoduchá manipulace a přenos na měřený předmět. Jejich nevýhodou může být vyšší pořizovací cena. U dražších přístrojů lze pořizovat jednotlivé obrazy či celé videozáznamy.

Detektory elektrických výbojů



Obr. 24 - Detektor TKED 1
[5]

Vývoj a samotný patent pro tento přístroj má na svědomí opět společnost SKF. Toto zařízení detekuje počet elektrických výbojů v ložiskách elektrických strojů. Přístroj se nazývá TKED 1. Nebezpečím u elektricky vodivých ložisek je elektrická eroze.

Přístroj pro monitorování vibrací



Obr. 25 - Přístroj CMAS
100-SL [5]

Zařízení na obr. 25 se nazývá CMAS 100-SL a patří k dalším novinkám firmy SKF. Jde o kompaktní, ergonomický a lehký přístroj. Je jednoduchým pomocníkem při kontrole ložisek, co se týče jejich vibrací a jejich správného uložení. Vyhodnocuje se frekvence vibrací. Naměřené hodnoty lze odečíst z kvalitního displeje, podobně jak je tomu u několika předchozích uvedených přístrojů. S úspěchem lze díky tomuto přístroji předejít havárii funkčního celku. Vibrace se měří co nejbližší ložisku na skříní nebo jakékoli pevné části stroje. Přístroje jsou vybaveny funkcí ukládání naměřených hodnot. Je tedy možné sledovat průběh vibrací v závislosti na čase, například v půlročním intervalu, kdy jsou vibrace ložiska měřeny každý měsíc. Hodnoty pak lze snadno přenést do PC a porovnat.

Zařízení pro kontrolu montáže ložisek



Obr. 26 - Příklad přístroje TKSA 20 [5]

Další z novinek je přístroj nazývaný TKSA 20, který slouží především pro kontrolu souososti hřídelí, na které se ložiskové jednotky montují. Zařízení má mechanické držáky a řetězy pro upevnění na hřídeli. Princip měření spočívá v laserovém paprsku dopadajícím na snímač polohy a na stupnici. Přístroj vyvinutý opět společností SKF se vyznačuje jednoduchostí používání a kvalitou zpracování. Cena za technický pokrok a úsporu času je v tomto konkrétním případě v současnosti okolo 3000 \$. V podobných cenových relacích se pohybují i ostatní přístroje.

Moderních přístrojů ulehčujících obsluhu, montáž, kontrolu a zkoumání samotného poškození stále přibývá a pravděpodobně stále přibývat bude. V čele vývoje stojí již mnohokrát zmíněná společnost SKF. Tyto přístroje a zařízení splňují normy ISO.

4.3 Nové možnosti oprav poruch

U strojů využívajících ložiskové jednotky pro přenos zatížení či přesné uložení často nastává situace, kdy je jako materiál hřídele zvolena nevyhovující ocel nebo ocel s tepelně nebo chemicko-tepelně neupraveným povrchem. V takovém případě se mnohdy stává, že těsnění vydře v hřídeli drážku a dojde tak k úniku maziva, případně ke vniku nečistot, následnému poškození těsnění a snížení účinnosti či zadření ložiska. Aby se tomuto předešlo, musí být mezi břitem těsnění a hřídelí hladký a tvrdý povrch, který nedovolí případným nečistotám zachyceným pod břitem těsnění, aby povrch hřídele poškodily. V rámci této práce je pozornost upřena na novinku, která řeší tento problém poměrně snadným způsobem. Jedná se o pouzdra SKF SPEEDI-SLEEVE.

Koncepce SKF SPEEDI-SLEEVE

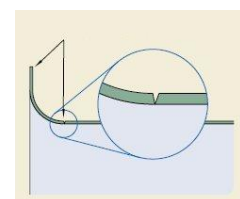
Nastane-li poškození hřídele, je ve většině případů nutné opravit povrch hřídele, protože obyčejná výměna těsnění ložiska kvůli vydrženému povrchu hřídele nestačí. Poškozenou hřídel je nutno přebrousit nebo vyměnit, což znamená ve většině případů rozsáhlou demontáž. Je-li však hřídel poškozená ve větším rozsahu, je nejprve nutné materiál přidat a pak teprve hřídel znovu obrobit. Na tento problém našli řešení v SKF. Oprava není podmíněna demontáží hřídele ani obráběcími operacemi a není potřeba ani rozměrově jiného ložiska či těsnění.



Obr. 27 - Speedi - Sleeve [5]

Charakteristika

Pouzdro je tenkostěnné, má tloušťku stěny pouhých 0,28 mm. Vyrábí se z kvalitní nerezové oceli s povrchem odolným proti opotřebení. Pouzdro je vyrobené se směrovou tolerancí $0^\circ \pm 0,05^\circ$ a kvalitou povrchu Ra 0,25 až $0,5\mu\text{m}$. Styková plocha je tak mnohdy kvalitnější, než jaká by byla na nové hřídeli. Pouzdro má přírubu, kterou lze buď ponechat či jednoduše odstranit dle uvážení. V některých případech může příruba bránit vniku maziva či zvyšovat tření. Sortiment rozměrů zahrnuje průměry hřídelí od 11,91 mm do 203,33 mm. Lze však objednat i nadstandardní velikosti.



Obr. 28 - Příruba [5]

SKF SPEEDI-SLEEVE Gold

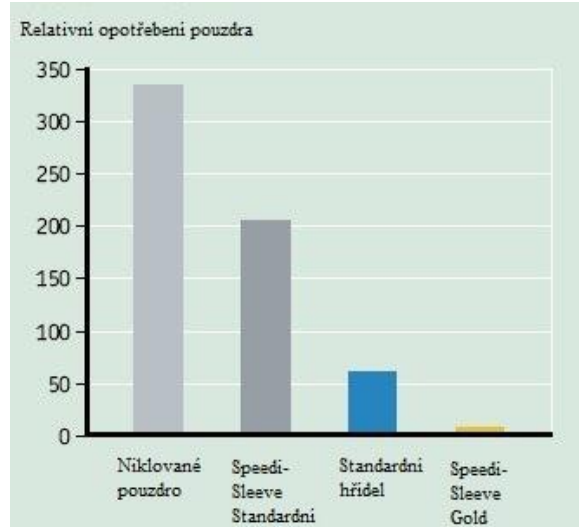
Toto pouzdro je modifikací pouzdra SKF SPEEDI-SLEEVE. Označení Gold mu dává do vínku, že vydrží i v extrémních provozních podmínkách.



Obr. 29 - SKF SPEEDI-SLEEVE Gold [5]

Jeho lesklý a zlatý vzhled mu dává pokovená vrstva na ocelovém plášti. Má ještě vyšší odolnost proti otěru než běžné pouzdro a tvrdost povrchu až 2300 HV (80 – 85 HRC). Stoprocentní vlastnosti garantuje výrobce při současném použití těsnění z fluorkaučkové pryže SKF LongLife. Při zátěžových zkouškách obstálo pouzdro Gold nejlépe (viz graf obr. 30).

Při obvodových rychlostech 8,6 m/s a teplotách 110°C vydržela těsnění plnit svoji funkci 450 hodin.



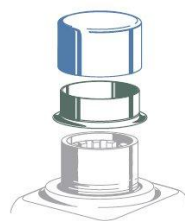
Obr. 30 - Průměrná odolnost proti opotřebení [5]

Montáž pouzdra

Celý montážní proces je jednoduchý, ale musí se pečlivě dodržet. SKF se pyšní svým smýšlením, jak složité procesy co nejlépe zjednodušit.

Montážní přístup:

- Očistit stykovou plochu pilníkem (větší otěp či rýha na povrchu může způsobit vznik podobného tvaru na povrchu pouzdra).
- Změřit průměr hřídele, kde bude umístěno pouzdro. (alespoň ve třech rovinách, má-li střední průměr rozměr v toleranci pro dané pouzdro, není třeba použít lepidla).
- Přesně vyznačit místo, kde má být pouzdro nasunuto. (jeho konec nesmí být v rovině s koncem hřídele).
- Na vnitřní stranu pouzdra lze nanést těsnící pastu. (vyplní malé rýhy).
- Na hluboké rýhy použít epoxidový tmel.
- Nikdy pouzdro při montáži NEPŘEDEHŘÍVAT!
- Při nutnosti odstranit přírubu, je nutno ji nejprve nastříhnout. (Pouzdro se nasouvá tak, že první jde strana s přírubou, viz obr. 31.)
- Nasadit montážní přípravek a poklepat na střed, dokud pouzdro není ve vyznačené poloze. (viz obr. 32)
- Pouzdro nesmí nikde přesahovat, protože ostrá hrana by mohla poškodit těsnění.
- Nastříhnutou přírubu kleštěmi odlomit opatrně, aby nedošlo k poškození povrchu.
- Zkontrolovat znovu otěpy a ostré hrany.
- Nanést mazivo a instalovat těsnění.



Obr. 31 - Nasazení [5]



Obr. 32 - Poklep [5]

5. SPOLEHLIVOST, MONTÁŽ A DEMONTÁŽ, DIAGNOSTIKA LOŽISEK

5.1 Spolehlivost

Spolehlivost je velmi rozsáhlý pojem. Co se ložisek týče, každý si představí součást, jejíž funkce bude stoprocentní po celou dobu její životnosti. Spolehlivost závisí na mnoha faktorech, které může korigovat výrobce, ale i provozovatel. Mimo vlastní konstrukci ložiska a použité materiály musí konstruktér zaměřit svoji pozornost na podmínky provozu a prostředí, ve kterém se bude ložisko používat. Extrémní teploty, prašné, chemicky či jinak znečištěné provozní prostředí může spolehlivost provozu výrazně negativně ovlivnit.

Spolehlivost lze tedy definovat jako dobu, po kterou zařízení funguje bez poruchy. Tato doba se označuje MTBF (Mean time between failures). Většinou se posuzuje aritmetický průměr času mezi poruchami. Životnost v hodinách vychází z počtu otáček ložiska (v řádech milionů) po dobu jeho funkce.

Pro určení doby, po kterou by ložisko mělo plnit svoji funkci, se počítá tzv. životnost ložiska. Lze ji počítat hned několika způsoby, které jsou uvedeny v kapitole 5.3.

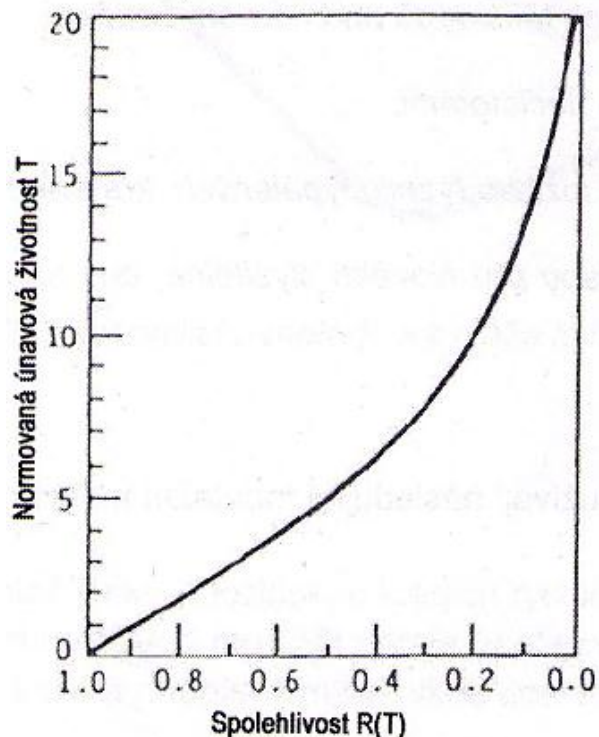
Snížení životnosti ovlivňuje především:

- špatné mazání;
- rázy při montáži a následné poškození;
- vyšší zatížení, než povolené;
- příliš velký montážní přesah;
- únava materiálu;
- neefektivní těsnění, aj.

Příčin poruch je celá řada. Jejich následkům a diagnostice je věnován text v kapitole 5.3. Spolehlivost lze vyjádřit pomocí grafu (viz obr. 33), který zobrazuje závislost spolehlivosti na únavové životnosti. Tato závislost byla získána dlouhodobým sledováním 2500 kusů valivých ložisek standardního provedení od firmy SKF. Charakteristika odpovídá Weibullovu rozdělení, které se používá pro simulování životnosti a výskytu poruch v technických systémech a procesech. Grafem tedy získáme popis pravděpodobnosti poruchy ložisek, u kterých dochází k havárii v důsledku opotřebení a únavy materiálu. Další důsledky opotřebení jsou uvedeny v kapitole 5.3.

Aby bylo možné získat závislost, kterou ukazuje graf, je nutné vyjádřit normovanou únavovou životnost ložiska a funkci spojitosti. Pro vyjádření funkce spojitosti je důležité znát distribuční funkci Weibullova rozdělení $F(t)$, která udává pravděpodobnost, že ložisko vydrží pracovat po dobu T .

[3, str. 92]



Obr. 33 - Spolehlivost valivých ložisek [3]

Funkce spolehlivosti a vlastní výpočet

$${}_s^i F(T) = 1 - \text{Exp} \left\{ - \left(\frac{{}_s^i T - T_0}{\theta} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

➡ Funkce spolehlivosti: ${}_s^i R(T) = 1 - {}_s^i F(T)$ (2)

Normovaná únavová životnost ložiska: ${}_s^i T = \frac{L_p}{{}_s^i L_{10}}$ (3)

L_p je požadovaná životnost

L_{10} je životnost ložiska při 10% pravděpodobnosti jeho havárie.

Jsou-li ložiska montována v určitém funkčním celku, je spolehlivost dána vztahem:

$$R(T)_{\text{celku}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R(T)_i) \quad (4)$$

n – počet ložisek v celku

$R(T)_i$ – spolehlivost i -tého ložiska [3, str. 93]

S některými z těchto pojmů se setkáme i v dalším textu bakalářské práce.

Výpočty spolehlivosti a životnosti ložisek jsou nezbytnou nutností při navrhování jakéhokoli strojního zařízení v různých odvětvích průmyslů a technických oborech. Mnohdy jsou to právě ložiska, která udávají životnost celé konstrukční skupiny.



Obr. 34 - ilustrační obr. [15]

5.2 Montáž a demontáž

5.2.1 Montáž

Správná montáž ložiska je zásadní pro jeho bezchybné fungování a dodržení výrobcem předepsané trvanlivosti. Zásad správné montáže je mnoho a mnoho výrobců a distributorů ložisek poskytuje odborné expertízy pro provedení správné montáže.

Pro správnou montáž se používají tři nejčastější metody:

- *Mechanická*

Pro menší ložiska. Jako montážních přípravků se využívá buď kladiva, nebo lehkých lisů. Údery kladiva nikdy nesmí dopadat přímo na ložisko, proto se ložiska montují naklepáváním přes montážní pouzdra. Pro mechanickou montáž jsou vyráběna i kladiva s různým tvarem hlavy, jejíž materiál je většinou tvrzená pryž.

- *Hydraulická*

Pro středně velká ložiska. Většinou při montáži na kuželový čep. Při této metodě se využívá vysokého tlaku oleje až 50 MPa a vysoké viskozity až 300 mm²/s při 20°C. Olej oddělí stykové plochy a výrazně tak sníží tření.

- *Ohřevová*

Pro ložiska velkých rozměrů. Používá se tam, kde nelze lisovat ložiska za studena, protože montážní síla by stoupala k příliš vysokým hodnotám. Pro montáž většinou stačí nahřátí ložiska o 80 – 90°C oproti teplotě hřídele, kterého se dosáhne v olejové lázni buď indukčně nebo v ohřevové peci.

Obecné zásady správné montáže:

- Provedení technické analýzy pro zajištění požadavků správné montáže.
- Vhodné montážní přípravky a prostředky.
- Zajištění čistého prostředí při montáži. I malé nečistoty mohou způsobit vznik velkých problémů!
- Zakonzervované ložisko z výroby nechat uložené v ochranném obalu až do doby, kdy přijde na řadu jeho samotná montáž. Lze tím předejít jeho znečištění. Konzervační přípravky na novém ložisku se ve většině případů neodstraňují.
- Kontrola rozměrů a montážních přesahů.
- Kontrola a seřízení namontovaného ložiska a zvážení vhodnosti maziva.

Postup montáže

Dodržením správného postupu montáže lze předejít až 16% možných poruch. Rozměrově menší ložiska se montují za studena. Větší ložiska se montují za tepla při teplotách kolem 100°C. Montážní síla se vyvolává poklepem kladiva či pomocí montážního lisu. Síla nesmí být nikdy přenášena přes valivá tělesa!

Detailní a úplný popis montáže ložisek toho kterého typu je dokument, jehož obsah přesahuje rozsah tohoto odborného textu. Pro konkrétní případy montáže lze do podrobností rozepsaný návod nalézt na stránkách www.skf.com/mount. Často bývají postupy montáže popsány v příručce daného výrobce dodávané s ložiskem. Pro správný chod ložiska je důležité dodržovat návody, obecné zásady a doporučení pro správnou montáž ložisek.

Montážní přípravky a prostředky

Používají se různé druhy přípravků, jako jsou například různá pouzdra, ohřivače či lisy apod. Následující text je opět zaměřen na montážní nářadí firmy SKF, která nabízí mnoho typů montážního nářadí jako např.:

- Montážní narážecí pouzdra



Obr. 35 -
Montážní klíč
[16]

Jedná se o sadu pouzder (viz obr. 35), díky které je montáž jednodušší a rychlejší. Tyto sady většinou nejsou jednoúčelové, to znamená, že s nimi lze navíc také montovat těsnící kroužky, případně i řemenice atd.

- Montážní klíče



Obr. 36 -
Montážní klíč

Jsou to klíče vyrobené nejčastěji z tvárné litiny s kuličkovým grafitem, které slouží k montáži valivých ložisek větších rozměrů a především tam, kde je použita kuželová dosedací plocha nebo upínací pouzdro.

- Spárové měrky – slouží ke kontrole radiální vůle.
- Tvarové ustavovací podložky – používají se tam, kde je potřeba přesného dotažení (například u převodovek, elektromotorů apod.).

5.2.2 Demontáž

Pro demontáž platí podobná pravidla jako pro montáž, avšak demontovat ložisko je široký pojem. Záleží na stavu, v jakém se ložisko nachází při demontáži, a na druhu nebo velikosti ložiska. V dílenských prostorách při nedostatečném vybavení se mnohdy přistupuje k necitlivým metodám demontáže. Tím je myšleno rozřezání kroužků ložiska. Vnitřní kroužek, který je na hřídeli nasazen s přesahem se vlivem pnutí roztrhne při zásahu řezného nástroje. Následky tohoto způsobu demontáže lze pozorovat na obrázku 37.



Obr. 37 - Rozřeznutý kroužek

Jak již bylo zmíněno, existuje více demontážních postupů. Často se používají demontážní přípravky vyrobené firmou SKF. Těmito přípravky se rozumí především stahovány. Ty mohou být mechanické (většinou čelist'ové) nebo hydraulické.

Stahovány tedy slouží ke snadnému, bezpečnému a rychlému odstranění ložiska z hřídele. Různé typy stahováků jsou ukázány na následujících obrázcích.



Obr. 38 - Standartní čelist'ový stahovák [16]



Obr. 39 - Hydraulické stahovány [16]

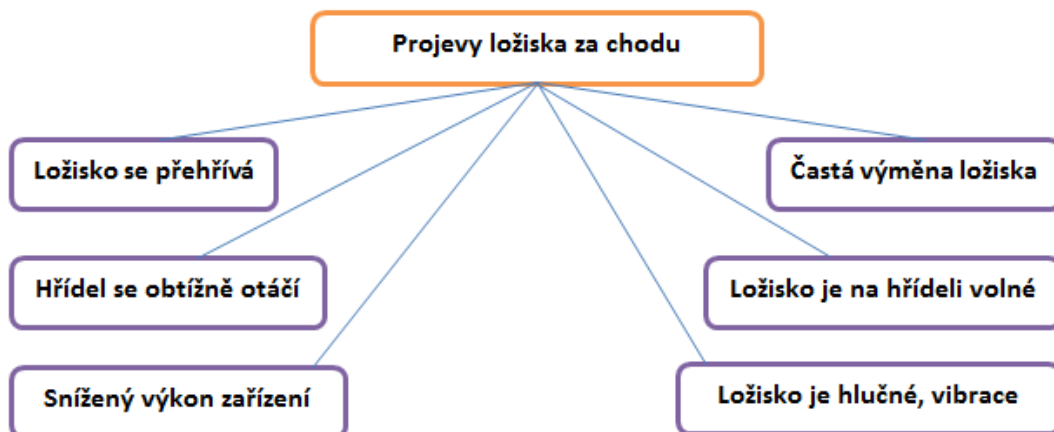


Obr. 40 - Velké stahovány se zadním uchycením [16]

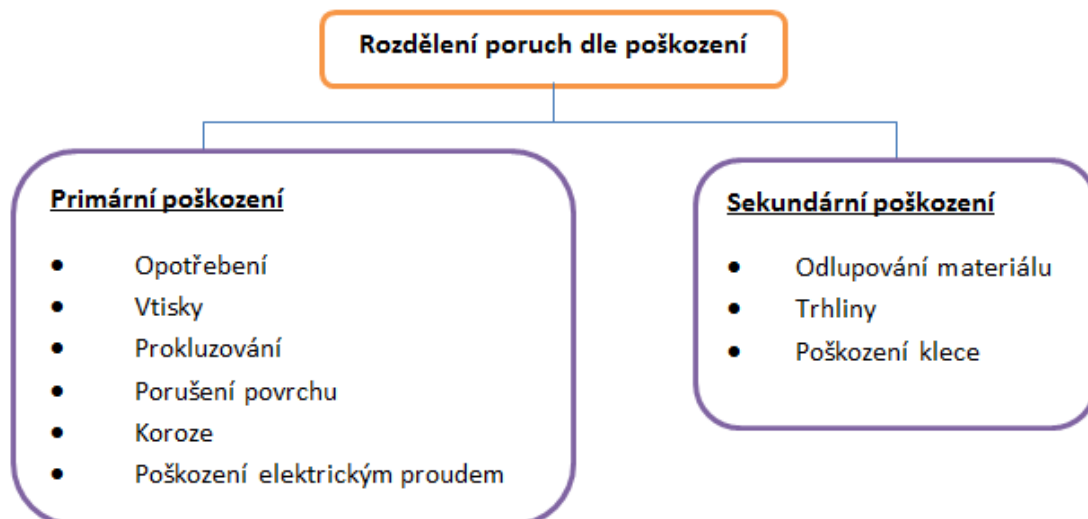
5.3 Diagnostika ložisek

Diagnostika poruch ložisek je důležitým procesem, kterým lze zamezit poškození funkčního celku. Příčin poškození je mnoho. Mezi nejčastější závady ložisek patří vtisky, pitting (vznik malých trhlinek vlivem únavy materiálu), koroze, poškození elektrickým proudem atd. Těmto příčinám poškozených a havarovaných ložisek je věnován následující text. Součástí textu je fotodokumentace a popis několika ukázek havarovaných ložisek. Přehled typických příčin chybných provozních stavů a způsoby jejich praktických řešení je k dispozici v příloze bakalářské práce.

Výrobci ložisek se v průběhu let stále více zabývají podrobnou analýzou havarovaných ložisek. Je to důležitý ukazatel pro budoucí funkčnost celku. Poruchy ložisek lze klasifikovat z hlediska poškození nebo z hlediska projevu ložiska za chodu, např. hlukem či vibracemi. Často se využívá analýzy oběžných drah (stopy chodu), kterou lze určit, v jakých podmínkách ložisko pracovalo a zda nebylo vystavené příliš velkému zatížení. Pozornost se upírá hlavně na vzhled a umístění stopy chodu. Na následujících stránkách je uvedeno několik příkladů havarovaných ložisek z praxe. U vzorku číslo 8 je názorně předveden rozdíl mezi výpočtem základní provozní trvanlivosti ložisek L_{10h} počítané podle ISO 281:1990 a výpočtem provozní trvanlivosti podle ISO 281:1990/Amd 2:2000, který byl zaveden společností SKF pro lepší a přesnější výpočet trvanlivosti valivých ložisek. Tento výpočet je přesnější díky součinitelům, které zahrnují veškeré negativní aspekty, které na ložisko v průběhu jeho životnosti působí. Tento vzorek byl zvolen záměrně kvůli viditelnému poškození a konstrukčnímu provedení.



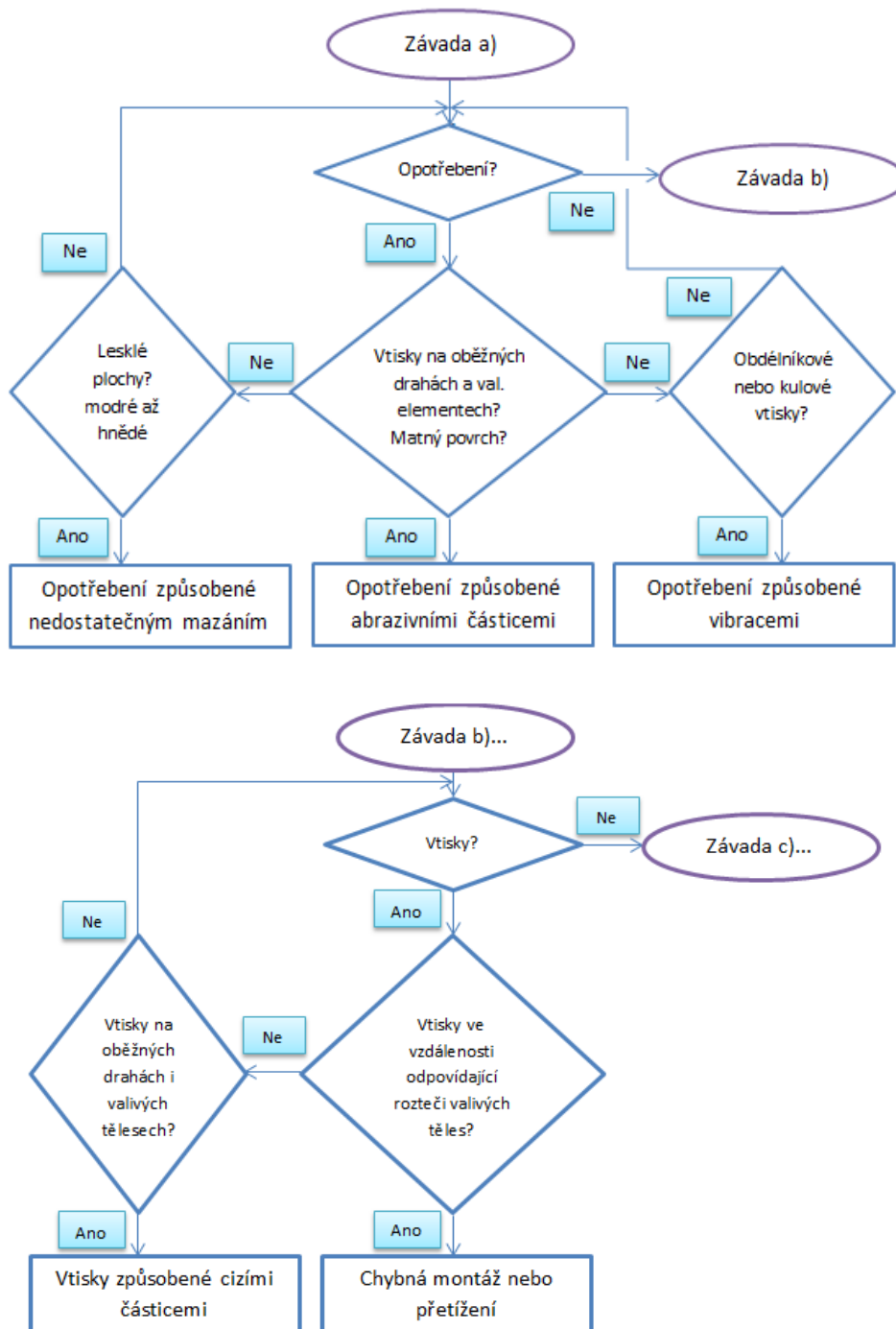
Obr. 41 - Projevy ložiska

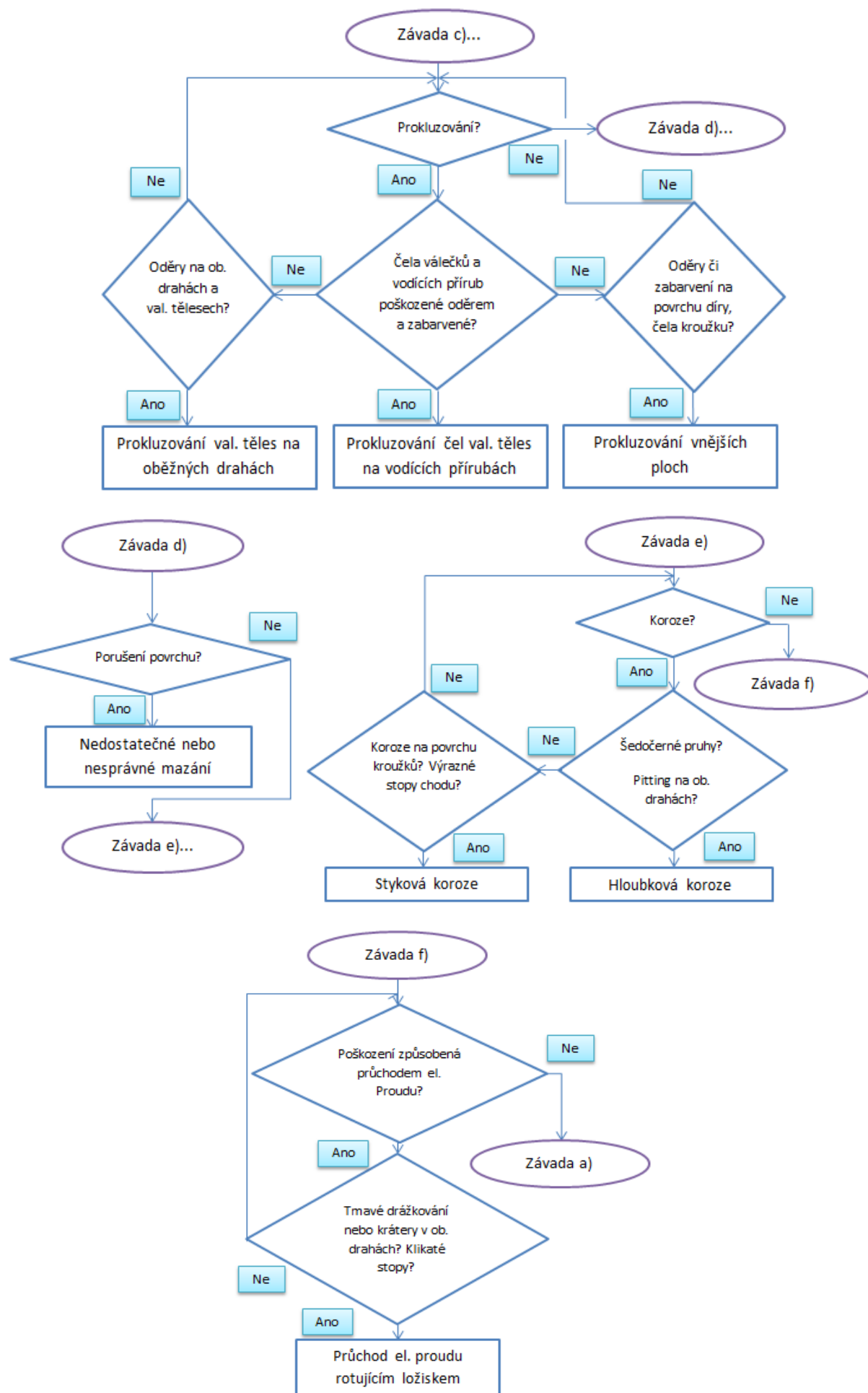


Obr. 42 - Rozdělení poruch

- Závady jako vibrace, hluk a podobně lze pozorovat ve smontovaném stavu a za chodu. Jsou to většinou poruchy, které lze odstranit a jejich příčiny jsou právě primární a sekundární poškození. V závažnějších případech je nutné znovu obrobit hřídel či díru v tělese. Ve větším množství se však jedná o opravy menšího rozsahu.
- Primární a sekundární poškození ložiska lze posuzovat mikroskopem, hmatem nebo porovnáváním s jinými vzorky v demontovaném a rozebraném stavu. Tyto vady se zkoumají především proto, aby jim bylo možné předejít a nově namontované ložisko tak plnilo svoji funkci po celou dobu jeho předpokládané životnosti.

5.3.1 Jak zjistit příčinu poruchy?





5.3.2 Příklady závad z praxe

Vyválcování oběžné dráhy **6210-2Z/C3 – elektromotor**



Obr. 43 - Vzorek č. 1

Jeden okraj oběžné dráhy vnitřního kroužku ložiska je vyválcovaný do ostré hrany. Plechová krytka ložiska je vypouklá. Poškození ložiska bylo způsobeno překročením jeho axiální únosnosti. Přetížení ložiska v axiálním směru mělo za následek nárůst teploty a obroušení vodící klece s následným zadřením ložiska.

Výpočet životnosti (počet otáček):

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad [\text{mil. ot.}] \quad (6)$$

$$L_{10m} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10} \quad [\text{mil. ot.}] \quad (7)$$

Rozdíl ve výpočtu provozní trvanlivosti je dán vzorcem, kdy první vzorec je klasický dobře známý vzorec pro výpočet životnosti ložiska. Druhý vzorec je pro ložiska výrobce SKF. Podle tohoto vzorce je výpočet pracnější, avšak mnohem přesnější a ve většině případů vychází provozní trvanlivost o miliony otáček vyšší. Porovnání těchto dvou způsobů výpočtu životnosti a bližší popis je detailně zpracován u vzorku č. 8. U ostatních vzorků výpočty provozní trvanlivosti (z důvodu rozsáhlosti a nedostatku vstupních parametrů pro výpočet) neuvádím.

Vyválcování oběžné dráhy **2210 E-2RS1KTN9 – čerpadlo**



Obr. 44 – Vzorek č. 2

Na oběžné dráze vnějšího kroužku ložiska jsou dva druhy poškození: Výrazné stopy chodu po celém obvodu oběžné dráhy. Jedná se o poškození způsobené vymezením radiální vůle. To znamená, že ložisko bylo zničeno v důsledku příliš velkého nasunutí vnitřního kroužku na kužel. Na vnitřní kroužek tedy působil příliš velký tlak, který vyvolal předpětí i mezi oběžnými drahami a valivými elementy. Druhý typ poškození, viz níže.

Odlupování materiálu **2210 E-2RS1KTN9 – čerpadlo**



Obr. 45 - Vzorek č. 2

Vtisky v rozteči valivých elementů a masivní odlupování materiálu z jedné oběžné dráhy. Jde o poškození způsobené nesprávnou montáží. Montážní síla byla vedena přes valivé elementy, na kterých je rovněž pokročilé stádium odlupování. Za provozu došlo na poškozených místech vlivem přetížení k odlupování materiálu. Odlupování materiálu je nejčastější porucha, která se časem objeví u každého ložiska.

Převálcované korozní vtisky

BTIB 329013 A/Q – zadní kolo osobního automobilu Ford Ka



Obr. 46 - Vzorek č. 3

Na oběžné dráze obou ložisek jsou převálcované korozní vtisky. Do pracovního prostoru ložiska se dostala kapalina, která znehodnotila mazivo a narušila povrch oběžných drah a valivých elementů korozi. Kapalina se do ložisek dostala přes poškozené nebo nesprávně nasazené těsnění.

Na obrázku „Vzorek č. 3, detail poruchy“ je detail oběžné dráhy vnějšího kroužku ložiska, na kterém je znát pokročilé stádium koroze.

Tento problém často vzniká právě u osobních automobilů, kdy si jejich majitelé rádi čistí spodky svých vozidel sami tlakovou vodou. Je to levný a jednoduchý způsob jak zbavit svůj vůz nečistot, avšak málo uživatelů ví, že tlak proudící kapaliny ve vysokotlakém čističi dosahuje běžně 120 bar (12MPa). Takový tlak nemůže těsnění ložiska vydržet, pokud se k němu tlak kapaliny dostane. Výsledkem jsou pak často korozní vtisky a následné vibrace a hlučnost ložiska. Majitelé vozidla pak nezbyde než zaplatit nákladnou opravu.



Obr. 47 - Vzorek č. 3 - Detail

Rýhy na oběžných drahách **213 EKTN9 – čerpadlo**



Obr. 48 - Vzorek č. 4



Obr. 49 - Vzorek č. 4 - Detail

Po celém obvodu oběžných drah vnějšího kroužku jsou výrazné stopy chodu při vnějším okraji oběžných drah. Jedná se o poškození způsobené vymezením radiální vůle v ložisku, které bylo nasunuto s přílišným předepnutím na kuželový čep. Mezi valivými elementy a oběžnými drahami nebyl dostatečný olejový film. Následkem toho vznikly rýhy na oběžných drahách, čímž se zkrátila životnost ložiska. Zabránit problému by bylo možné buď použitím kvalitnějšího maziva, které by snížilo tření mezi valivými tělisky a kroužky ložiska, nebo menším radiálním zatížením.

U čerpadel je tato závada vcelku častá. Záleží na samotné konstrukci čerpadla. Například velké radiální přetížení mohou způsobovat odstředivé síly působící na lopatky čerpadla. Důležité je také dbát zásad správné montáže.

Kombinace rozválcování oběžných drah a odlupování materiálu **Neznámá aplikace**



Obr. 50 - Vzorek č. 5

U poškozeného vnitřního a vnějšího kroužku jsou rozválcované okraje oběžných drah s pokročilým stádiem odlupování materiálu z povrchu oběžných drah kroužků ložiska. Uprostřed valivých elementů je široká a hluboká rýha. Tato rýha vznikla nejspíše vlivem rozpadu klece a jejího zadírání a zaválcování. Poškození ložiska bylo způsobeno zřejmě mnohanásobným překročením jeho axiální únosnosti.

Obroušené dělicí přepážky vodící klece a deformace valivých tělísek 7216 BECBM – rozmítací pila



Obr. 51 - Vzorek č. 6



Obr. 52 - Vzorek č. 6 - Detail a)

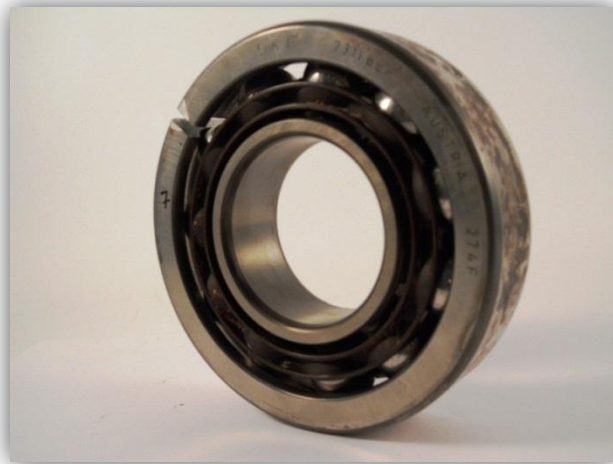


Obr. 53 - Vzorek č. 6 - Detail b)

Při okraji oběžné dráhy, který je rozválcován do ostré hrany, je viditelná stopa chodu. Dělicí přepážky vodící klece jsou obroušené a valivé elementy jsou značně deformované. Viz. obr. „Vzorek č. 6, detail a).“ Z těchto poruch lze vyvodit, že se jedná o poškození způsobené překročením axiální únosnosti ložisek. Přetížením ložiska dojde ke kontaktu mezi valivými elementy a vodící klecí. Za provozu tak dochází k obroušení dělicích přepážek vodící klece.

Obroušený materiál z klece je zaválcován do oběžných drah. Po určité době provozu dojde k přebroušení dělicích přepážek vodící klece a havárii ložiska. Hluboká rýha patrná na obrázku vedoucí šikmo na vodící dráhu vnitřního kroužku byla způsobena při demontáži. Je to řez, kdy se vlivem předpětí v uložení kroužek po takovém zásahu roztrhne. Viz. obr. „Vzorek č. 6, detail b).“ Je to velice nešetrná metoda demontáže. K tomuto postupu demontáže se přistupuje až v krajní mezi a pouze tehdy, pokud má dojít k úplné likvidaci ložiska, případně celého celku, protože rozbrušovací kotoučem mohou být poškozeny i některé další funkční části nebo povrchy celku. V případech správné demontáže je nutné dodržet základní postup demontáže a použití správných demontážních přípravků, případně se držet pokynů výrobce ložiska. Viz kapitola 5.2 *Montáž a demontáž.*

Styková koroze s následným odlupováním materiálu **7311 BEP – neznámá aplikace**



Obr. 54 - Vzorek č. 7

Na vnějším povrchu vnějšího kroužku je značná styková koroze způsobená nesprávným tvarem a povrchem souvisejícího dílu. Viz „Obr. 54 - Vzorek č. 7.“ Na oběžné dráze je vtisk s pokročilým stádiem odlupování. Poškození bylo způsobeno následkem nesprávné montáže ložiska.

Styková koroze s následným odlupováním materiálu **6314/C3 – elektromotor**



Obr. 55 - Vzorek č. 8



Obr. 56 - Vzorek č. 8 - detail

Korozní vtisky v rozteči valivých elementů s pokročilým stádiem odlupování materiálu na oběžné dráze vnitřního kroužku ukazují na poškození způsobené průnikem kapaliny do stojícího ložiska. Zároveň je patrná stopa chodu při okraji oběžné dráhy, což ukazuje na axiální přetížení ložiska. Koroze je patrná z obr. „Vzorek č. 8, detail.“ Ložisko má být opatřeno těsněními typu RSL. Označení C3 znamená, že ložisko má větší radiální vůli než normální. Konstrukteři ani výpočtáři ložisek nepočítají nikdy s tím, že by se do ložiska mohla dostat voda. To je předpoklad, který ložisko splňuje v případech, kdy není vystaveno přetížení nebo jiným nežádoucím vlivům chemikálií či vysokým teplotám.


Výpočet životnosti (počet otáček):

Na následujících stránkách je dopodrobna rozebrán výpočet provozní trvanlivosti ložiska, kterým je vzorek č. 8. Ložisko, jak je patrné z obrázků 55 a 56, nedosáhlo hranice své životnosti. Tato skutečnost však v tomto případě není důležitá. Cílem výpočtů je ukázat rozdíl mezi hodnotami dosaženými podle 2 různých metod výpočtu.

1) Odhad vstupních hodnot a popis hodnot získaných na základě znalosti typu ložiska

- Typ ložiska 6314-2RSL/C3 - ložisko s těsněním s nízkým třením
- Pro výpočet trvanlivosti v hodinách byly zvoleny otáčky $n = 2000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$
- Další empiricky doplněnou hodnotou je provozní teplota $T = 80 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- Únavové zatížení je pro daný typ ložiska $P_u = 2750 \text{ [N]}$
- Uvažované radiální zatížení $F_r = 12000 \text{ N}$ a axiální zatížení $F_a = 100 \text{ [N]}$
- Dynamická únosnost ložiska $C = 111\,000 \text{ [N]}$
- Radiální dynamické ekvivalentní zatížení:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (8)$$

$e < F_a / F_r$  hodnoty X a Y z tabulek jsou: $X = 0,56$ a $Y = 2,3$
(e je mezní hodnota vztahu F_a / F_r , která určuje hodnotu koeficientu X a Y)
 $P = 6950 \text{ [N]}$

2) Výpočet životnosti klasickým vzorcem

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{111000}{6950}\right)^3 = 4070 \text{ [miliónů otáček]} \quad (9)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 33900 \text{ [h]} \quad (10)$$

Výsledky výpočtu se častěji uvádějí v hodinách. Hodnota tak udává počet provozních hodin, po které by mělo být ložisko schopné bezchybně fungovat. Důležitým údajem je však hodnota životnosti vypočtená v miliónech otáček, kterou je zároveň nutné znát pro výpočet trvanlivosti podle SKF.

3) Výpočet podle vztahu vyvinutým společností SKF

Pro výpočet podle vztahu dle SKF $L_{10mh} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10h}$ je nutné určit koeficienty a_{SKF} a a_1 . Součinitel a_{SKF} je přímo závislý na mezním únavovém zatížení P_u (toto zatížení je definované pro každé ložisko v katalogu), na viskózním poměru χ a součiniteli znečištění maziva η_c (viz obr. 50).

- Zvolení hodnoty součinitele znečištění maziva η_c

Znečištění lze určit s ohledem na typ ložiska 6314-2RSL/C3. Z toho vyplývá, že dané ložisko spadá do kategorie znečištění "NORMÁLNÍ". Z tabulky (viz obr. 57) lze tedy odečíst již konkrétní hodnotu η_c .

 $\eta_c = 0,5$.

Tento koeficient znečištění zahrnuje pouze znečištění pevnými částicemi. Avšak jak je patrné z obr. 54 až 56, jedním z poškození vedoucích k havárii byl průnik vody do ložiska. Teorie provozních trvanlivostí ložisek s tímto druhem znečištění nepočítá, protože se uvažuje nutnost zamezení vniku vody do ložiska. Voda znehodnocuje mazivo a vytváří na oceli korozní film. Většinou je voda častou příčinou poruch u osobních automobilů vlivem nesprávného čištění spodku vozidla tlakovou vodou, viz vzorek 3.

Za zmínku stojí možnost poškození v případě rozběhu ložiska na vysoké otáčky bez zatížení. Valivé elementy se pak neodvalují, ale šoupají se po oběžných drahách a způsobují vydření oběžných drah.

Provozní podmínky	Součinitel η_c ¹⁾ pro ložiska o průměru $d_m < 100$ mm $d_m \geq 100$ mm	
	Velmi čisté Částice velikosti odpovídající tloušťce mazivového filmu Laboratorní podmínky	1
Čisté Ólej filtrovaný velmi jemným filtrem Podmínky typické pro ložiska utěsněná a namazaná na celou dobu trvanlivosti	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Normální Ólej filtrovaný jemným filtrem Podmínky typické pro ložiska zakrytá a namazaná na celou dobu trvanlivosti	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Mírně znečištěné Mírně znečištěné mazivo	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Typické znečištění Podmínky typické pro ložiska bez integrovaných těsnění, hrubé filtrování, částice oděru a částice pronikající z okolí	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Velmi znečištěné Prostředí, v němž pracuje ložisko, je velmi znečištěné a uložení je nevhodně utěsněné	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Extrémně znečištěné V extrémně znečištěných podmínkách mohou hodnoty η_c ležet mimo uvedené rozsahy, což se projeví výraznějším zkrácením trvanlivosti, než které odpovídá výsledku zjištěnému ze vztahu pro L_{Tm}	0	0

¹⁾ Rozsah η_c platí pouze pro typické pevné částice nečistot. Škodlivé účinky vody a jiných kapalin, které ovlivňují negativně trvanlivost ložisek, nejsou zahrnuty. Při velmi vysokém znečištění ($\eta_c = 0$) je havárie způsobena opotřebením, a skutečná trvanlivost ložiska může být kratší než výpočtová trvanlivost.

Obr. 57 - Tabulka pro určení znečištění maziva [5]

- Stanovení viskózního poměru χ

Viskózní poměr je poměr skutečné viskozity plastického maziva v a viskozity plastického maziva v_1 , která ještě zajišťuje správné mazání, kdy obě hodnoty jsou stanoveny pro mazivo zahřáté na provozní teplotu. Hodnoty viskozity v a v_1 je možné určit z grafů v hlavním katalogu SKF na straně 60 a 61. Provozní teplotu je potřeba určit měřením za provozu nebo díky zkušenostem z praxe. V konkrétním případě bylo ložisko použito v elektromotoru. Předpokládaná provozní teplota je tedy zhruba 80°C. Hodnoty viskozity je nutné určovat pro plastické mazivo použité v ložisku. Vzhledem k tomu, že se jedná o ložisko 6314-2RSL/C3 (utěsněné ložisko s mazivem na celou dobu své životnosti), tak toto ložisko je naplněno z výroby plastickým mazivem MT33, jehož parametry lze nalézt v tabulce, viz obr. 58. Z toho vyplývá, že viskozita v při provozní teplotě 80°C je $v = 17$ [mm²/s] a $v_1 = 8,02$ [mm²/s]. Hodnoty viskozity v a v_1 lze získat i jednodušším způsobem, a to díky programu s názvem "Viskozita", který je možné najít v interaktivním katalogu společnosti SKF v sekci "Výpočty".

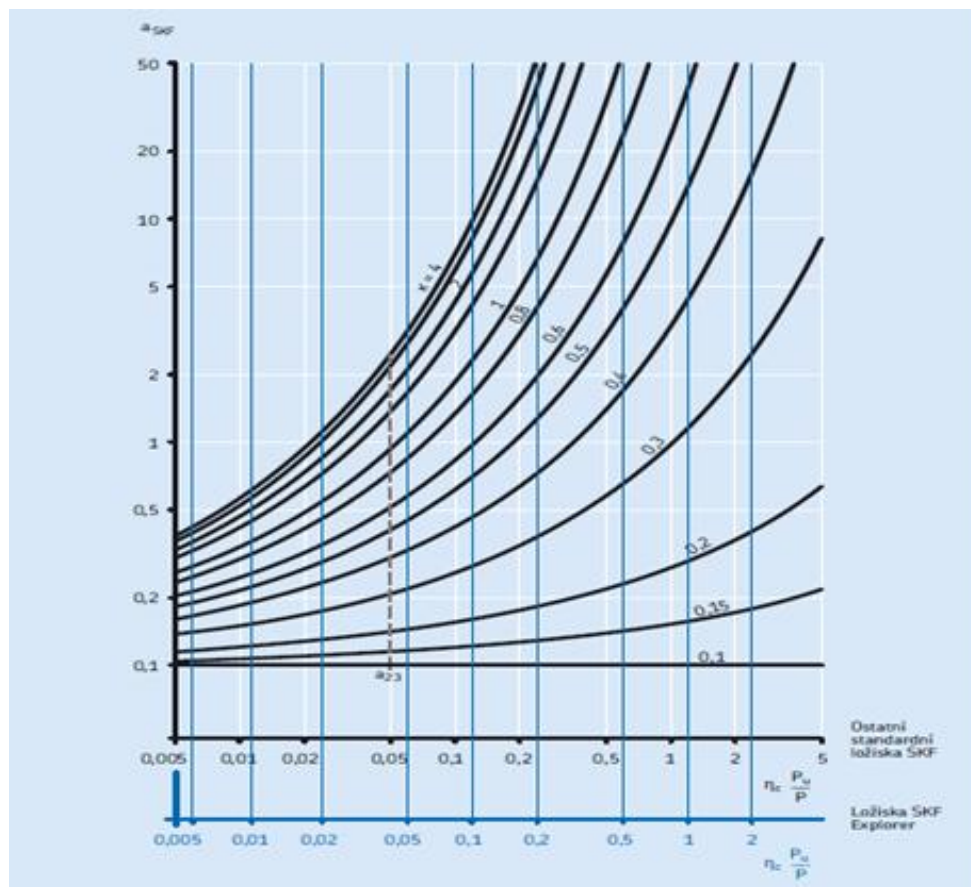
➔ $\chi = v / v_1 = 2,12$

Technická specifikace SKF standardních a speciálních plastických maziv pro kuličková ložiska s těsněním								
Technická specifikace	LHT23	LT10	MT47	MT33	GJN	GXN	GWB	LT20
Zahušřovadlo	Lithné mýdlo	Lithné mýdlo	Lithné mýdlo	Lithné mýdlo	Polymočovinové mýdlo	Polymočovinové mýdlo	Polymočovinové mýdlo	Lithné mýdlo
Typ základní olejové složky	Esterový olej	Diesterový olej	Minerální olej	Minerální olej	Minerální olej	Minerální olej	Esterový olej	Diesterový olej
Třída konzistence NLGI	2	2	2	3	2	2	2-3	2
Teplotní rozsah, °C ¹⁾	-50 až +140	-50 až +90	-30 až +110	-30 až +120	-30 až +150	-40 až +150	-40 až +160	-55 až +110
Viskozita základní olejové složky, mm ² /s	při 40 °C	26	70	98	115	96	70	15
	při 100 °C	5,1	3,3	7,3	9,4	12,2	10,5	3,7

Obr. 58 - Tabulka viskozit pro různé druhy maziva [5]

- Odečtení hodnoty koeficientu a_{SKF}

Koeficient lze odečíst z následujícího grafu, viz obr. 59. Vzhledem k tomu, že ložisko 6314-2RSL/C3 je vyráběno v kategorii Explorer, je nutné dát pozor, aby byly hodnoty odečítány z modré horizontální stupnice. Podle vzorce $\eta_c \cdot P_u / P$ je vypočtena hodnota 0,2, od které je vedena kolmice na modrou horizontální osu, kde protne exponenciálu o hodnotě $\chi \sim 2$, tam se na svislé ose odečte hodnota součinitele a_{SKF} .



Obr. 59 - Určení součinitele a_{skf} z grafu podle η_c [5]

➔ $a_{SKF} \sim 25$

Určení součinitele a_1 se provádí podle tabulky, viz obr. 60.

Součinitel $a_1 = 1$, protože výpočet se provádí pro 10% pravděpodobnost havárie ložiska.

Hodnoty součinitele spolehlivosti a_1			
Spolehlivost %	Pravděpodobnost havárie n %	Trvanlivost podle SKF L_{nm}	Součinitel a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21

Obr. 60 - Určení koeficientu a_1 [5]

Potom lze vypočítat L_{10m} a L_{10mh} :

$$L_{10m} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10} = 1 \cdot 25 \cdot 4070 = 101750 \text{ [milionů otáček]} \quad (11)$$

$$L_{10mh} = L_{10m} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 847917 \text{ [h]} \quad (12)$$

Další a o něco přesnější možností, jak tento koeficient určit, je použit program s názvem "Trvanlivost ložiska", který je uveden v interaktivním katalogu SKF v sekci "Výpočty". Na obr. 61 lze vidět část protokolu o výpočtech trvanlivosti daného ložiska, získaných právě programem "Výpočty".

Trvanlivost ložiska

Byla přijata veškerá opatření pro zajištění správnosti tohoto výpočtu, avšak nepřebíráme odpovědnost za jakékoli ztráty nebo škody, ať už přímé, nepřímé nebo následné, které by vznikly z důvodu použití tohoto výpočtu.

Viz část "Trvanlivost podle SKF"

	Ložisko	6314-2RS1
Zvolit η_c	d [mm]	70
0.5	D [mm]	150
	C [kN]	111
	P_u [kN]	2.75
	P [kN]	6.95
	n [min ⁻¹]	2000
	v [mm ² /s]	17
	L_{10}	4070
	L_{10h}	33900
κ	2.12	
v_1	8.02	
a_{SKF}	25.8	
	L_{10m}	105100
	L_{10mh}	875900

Starší způsob s a_{23} pro porovnání

a_{23}	1.64	L_{10a}	6690	L_{10ah}	55800
----------	------	-----------	------	------------	-------

U ložisek mazaných plastickým mazivem laskavě zkontrolujte životnost plastického maziva. Viz část "Mazání plastickým mazivem"

Pro výpočet dvou ložisek na hřídeli, viz program "SKF Bearing Select"

Pro výpočet součinitele znečištění η_r , viz program "SKF Bearing Select"

Obr. 61 - Protokol výpočtu trvanlivosti ložisek firmy SKF [5]

Oběma metodami výpočtu životnosti ložiska bylo zjištěno, že relativně novou metodou podle SKF, která odpovídá mezinárodnímu standardu ISO 281;1990/Amd 2;2000, lze určit, že pro ložisko typu 6314-2RSL/C3 lze uvažovat až 25 krát delší životnost, než jakou by konstruktér přepočítával výpočtem dle původního vzorce pro L_{10} . Tento nový způsob výpočtu provozní trvanlivosti ložisek byl navržen panem Palmgrenem (publikováno v roce 1924 - Palmgren, A.: Die Lebensdauer von Kugellagern).

Kombinace rozválcování oběžných drah a deformace valivých tělísek **ZKL 2317 – kondenzátní čerpadlo**



Obr. 62 - Vzorek č. 9



Obr. 63 - Vzorek č. 9 - Detail

Vnitřní okraj první oběžné dráhy a vnější okraj druhé oběžné dráhy vnitřního kroužku je vyválcovaný. Valivé elementy mají oválný tvar, z čehož je patrna vysoká úroveň plastického přetvoření valivých elementů. Z jedné boční strany vnějšího kroužku je vytrhaný materiál. Viz obr. 63 „Vzorek č. 9, detail.“ Do oběžných drah je zaválcovaný materiál z vodící klece ložiska. Stopa chodu včetně poškozených kroužků ložiska a valivých elementů ukazuje na axiální přetížení ložiska.

5.3.3 Shrnutí

Diagnostika valivých ložisek je komplikovaný proces. Správná diagnostika poruch a jejich příčin je z velké části závislá na praktických zkušenostech. Součástí této práce proto je i přehled typických příčin chybných provozních stavů a způsoby jejich praktických řešení, viz příloha.

6. KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ

V této BP byla zpracována problematika valivého uložení rotačního typu. V práci je kladen především důraz, mimo úvodního seznámení se s valivými ložisky, na nejmodernější trendy v oblasti rotačního uložení. Od základů konstrukce a hlavních rozměrů je uváděno i přehledné základní rozdělení valivých ložisek. V úvodu práce byl přehled největších světových společností a korporací, které se svojí dlouhodobou tradicí zasloužily o další vývoj a inovace v oblasti valivých ložisek. Mezi největší a nejrozsáhlejší společnosti byli zařazeni výrobci jako například SKF (se svojí produkcí desítek až stovek tisíc kusů ložisek za hodinu jsou skutečně špičkou v oboru), ZKL, Kinex, Timken, Rollway, Twincam a další. V další části odborného textu bakalářské práce je uvedena řada informací o používání konvenčních i nekonvenčních materiálů v oblasti výroby valivých ložisek. V této části bylo zmíněno i několik zajímavostí, ke kterým patří například tribopolymery. O moderních konstrukčních úpravách pro lepší chod a životnost ložiska se čtenář dočetl v navazujícím textu též kapitoly *4.1 Moderní materiály a konstrukce*. Velkou novinkou, která zaujala svoji pozici v oblasti oprav vydřených hřídelů, jsou zmíněná opravná pouzdra SPEEDI –SLEEVE vyvinutá opět společností SKF. Aby bylo možné hřídel opravit, je nutné ložisko demontovat a po opravě znovu nasadit. Této problematice se věnuje kapitola *5.2 Montáž a demontáž ložisek*. Spotřebitel však požaduje ložisko maximálně spolehlivé. Spolehlivosti je věnována kapitola *5.1*. Pro zjišťování poruch valivých ložisek jsou neustále vyvíjeny a vylepšovány moderní přístroje, jako například přístroje na měření vibrací, elektrických výbojů, termokamery apod. Tyto přístroje jsou základem pro diagnostiku ložisek a jsou dobrou pomůckou pro předcházení nečekané havárie funkčního celku. Z toho důvodu také výpočtáři velkých firem udávají životnost ložiska v provozu buď v počtu otáček, které ložisko vydrží, nebo v počtu provozních hodin. Z toho vyplývá, že dalším a v této bakalářské práci nejdůležitějším poznatkem je detailně rozepsaný výpočet provozní trvanlivosti. Tato problematika je sice zpracována firmou SKF, avšak v této práci je vlastní výpočet krok po kroku popsán. Součástí páté kapitoly je několik nafocených a popsáných poruch konkrétních ložisek fungujících v různých aplikacích. Porovnávání vypočtených hodnot bylo provedeno u vzorku č. 8 z důvodu jednoduchosti konstrukce a označení ložiska Explorer (z vakuově kalené oceli). Výsledkem provozní trvanlivosti daného ložiska podle klasického vzorce byly hodnoty $L_{10} = 4070$ [milionů otáček] a $L_{10h} = 33900$ [provozních hodin]. Výsledky provozní trvanlivosti podle vzorce SKF byly $L_{10m} = 105100$ [milionů otáček] a $L_{10mh} = 875900$ [provozních hodin]. Srovnáním výsledků dospějeme k závěru, že výpočtem provozní trvanlivosti podle vzorce od firmy SKF může konstruktér počítat až s 25 krát vyšší životností konkrétního ložiska typu 6314-2RSL/C3 za stanovených podmínek. Součástí bakalářské práce je také několik vývojových diagramů sestavených tak, aby podle nich mohl i laik správně diagnostikovat poškození valivého ložiska.

7. ZÁVĚR

Bakalářská práce je sestavena jako odborný text, který uvádí čtenáře do problematiky valivých ložisek. Základem je diagnostika valivých ložisek, které se věnuje kapitola číslo 5, ve které jsou uvedeny i jednotlivé příklady havarovaných ložisek. Tuto kapitolu je možné použít i jako samostatný učební text s ukázkami poruch ložisek z praxe. Problematika valivého uložení rotačního typu je rozsáhlým tématem a nelze jej dostatečně popsat a vysvětlit v rozsahu této práce.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

8.1 Knižní publikace

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999
- [2] FÖHLICH, J.: *Technika uložení s valivými ložisky*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980
- [3] VANĚK, V., DUNÍK, M., KUDA, M., REIF, Z.: *Základy konstruování*. ZČU v Plzni, Vydavatelství, 2010



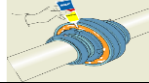

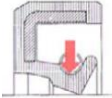
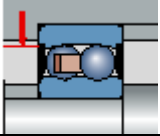
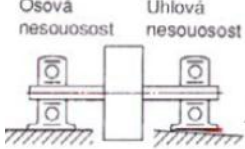
8.2 Internetové zdroje

- [4] PHOENIX: Fotogalerie [online]. [Cit. 23. 1. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.phoenix-oleje.cz/data/web/header/header-00.png>
- [5] SKF: Katalog [online]. [Cit. 2. 4. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.vsm.skf.com/cs-CZ/OnlineCatalogue.aspx>
- [6] DIY Trade: ZKL bearings [online]. [Cit. 17. 10. 2012]. Dostupné z WWW:
http://www.diytrade.com/china/pd/7624593/ZKL_bearings.html
- [7] SZÖLLÖSY, J. Logo Kinex: Železářství [online]. [Cit. 17. 6. 2012]. Dostupné z WWW:
<http://www.zelezarstvivotkov.cz/nabidka.php>
- [8] CHAMPION: TIMKEN [online]. [Cit. 23. 3. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.championscrew.com/timken.htm>
- [9] NSK: NSK Europe [online]. [Cit. 23. 3. 2013]. Dostupné z WWW:
http://nskeurope.com/cps/rde/xchg/eu_en/hs.xsl/index.html
- [10] ROLLWAY: Rollway-bearing [online]. [Cit. 23. 3. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.rollway-bearing.net/index.php?P=his&LNG=DE&ANZ=bloc>
- [11] LOID: Kuličky keramické [online]. [Cit. 3. 4. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.loid.cz/?clanek=35>
- [12] GLASS SPHERE: Glass sphere s.r.o. [online]. [Cit. 3. 4. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.glass-sphere.com/eshop/sklenene-kulicky-a-duhove-koule-presne-kulate-brousene-kulicky.html>
- [13] IGUS: Igus plastics for longer life [online]. [Cit. 12. 2. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.igus.com/wpck/default.aspx?Pagenam=ballbearing&C=US&L=en>
- [14] ARKOV: Ložiska CARB [online]. [Cit. 12. 2. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.loziska-arkov.cz/loziska-carb>
- [15] MM SPECTRUM: Průmyslové spektrum [online]. [Cit. 7. 4. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nejmodernejsi-loziska-v-prevodovkach-pro-vetrne-turbiny.html>
- [16] EXVALOS: Náradí [online]. [Cit. 9. 4. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.exvalos.cz/naradi-skf>
- [17] LOŽISKA PRAHA: Sortiment [online]. [Cit. 19. 4. 2013]. Dostupné z WWW:
<http://www.loziskapraha.cz>

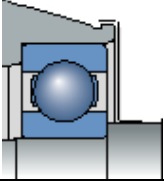

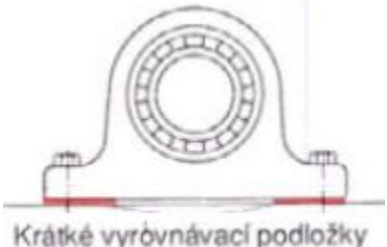

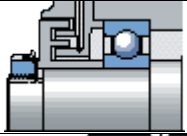
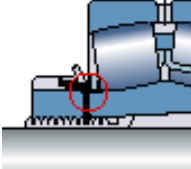
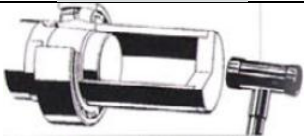
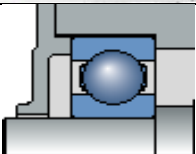
PŘÍLOHA

Přehled typických příčin chybných provozních stavů a způsoby jejich praktických řešení



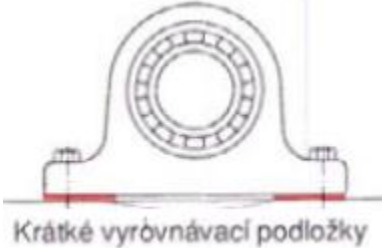
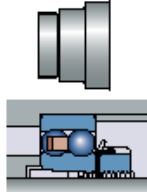
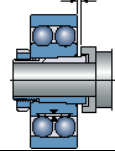
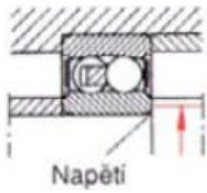
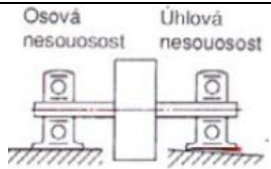
Tabulka č. 1: Ložisko se přehřívá

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Nevhodně zvolené plastické mazivo nebo olej.	Konzultovat druh zvoleného maziva s výrobcem. Při přechodu na jiné mazivo kontrolovat mísitelnost.	
Nízká hladina maziva, špatné těsnění.	Hladina maziva musí dosahovat těsně pod střed nejnižšího valivého elementu.	
Nedostatečné množství plastického maziva.	Naplnit těleso z 1/3 až 1/2 plastickým mazivem.	
V ložisku je příliš maziva nebo je vysoká hladina oleje, což způsobuje nadměrné namáhání maziva, vysoké teploty nebo jeho únik.	Odebrat mazivo, aby jeho objem nepřesáhl 1/2 objemu tělesa nebo upustit olej tak, aby jeho hladina byla pod středem nejnižšího valivého elementu.	 Vysoká hladina Úhik oleje
Narušená geometrie tělesa, těleso je zdeformované, díra tělesa je malá, opěrná plocha je nerovná.	Zkontrolujte díru tělesa, odstranit nečistoty, otřepy, případně díru přesoustružit, dodržet geometrické tolerance. Těleso musí být podepřeno vyrovnávacími podložkami po celé ploše.	 Krátké vyrovnávací podložky
Třecí těsnění (gufero) je suché nebo pružina těsnění působí příliš velkým tlakem.	Vyměnit těsnění za takové, jehož pružina zajistí správný přítlak a těsnění namazat.	
Těsnění ložiska se dotýká osazení hřídele.	Přesoustružit osazení. Průměr osazení musí odpovídat doporučením výrobce.	
Nesprávné osové nebo úhlové vyrovnání dvou či více spojených hřídelů, uložených na dvou a více ložiskách.	Vyrovnat souosost vyrovnávacími podložkami pod těleso. Zajistit podložení po celé ploše.	 Osová nesouosost Úhlová nesouosost


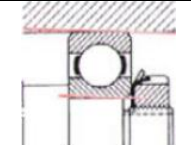
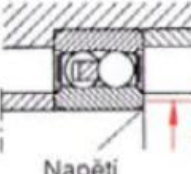
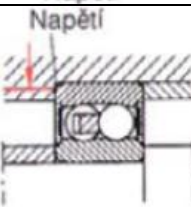

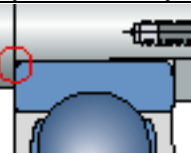
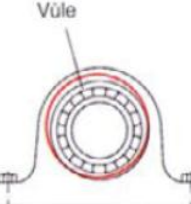

Tabulka č. 2: Ložisko je hlučné

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Nečistoty, karbon, písek či jiné částice nečistot se dostaly do ložiskového tělesa.	Vyčistit ložiskové těleso. Vyměnit opotřebované těsnění nebo zvolit jinou konstrukci těsnění, aby byla zajištěna těsnost a čistota ložiska.	
Nedostatečná vnitřní vůle v ložisku v závislosti na provozních podmínkách, kdy je teplo z vnějšího zdroje přiváděno hřídelí. Dochází k nadměrnému roztažení vnitřního kroužku.	Zkontrolovat vůle v ložisku. Musí odpovídat konstrukčním požadavkům dle technické dokumentace. Pokud ano, je třeba zvolit ložisko s větší radiální vůlí, tzn. C3 namísto normální nebo C4 namísto C3. Pokud ne, objednat ložisko dle specifikace.	
Narušená geometrie tělesa, těleso je zdeformované, díra tělesa je malá, opěrná plocha je nerovná.	Zkontrolovat díru tělesa, odstranit nečistoty, otřepy, případně díru přesoustružit, dodržet geometrické tolerance. Zkontrolovat vyrovnávací podložky. Těleso musí být podepřeno vyrovnávacími podložkami po celé ploše.	
Různé nečistoty, které nebyly odstraněny před montáží, jedná se například o otřepy, třísky, prach apod.	Vyčistit ložiskové těleso a naplnit jej novým plastickým mazivem či olejem. Mazivo z 1/2 objemu tělesa, hladina oleje ke středu nejniž položeného valivého tělíska.	
Rotující části jako těsnění či odstříkovací kroužky se dotýkají částí nerotujících.	Zkontrolovat provozní vůle rotujících částí. Opravit nerovnosti či nesouosost.	
Pojistná podložka, resp. její jazýček se dotýká ložiska.	Demontovat pojistnou podložku. Vyměnit pojistnou podložku, případně jen opravit narovnaním jazýčku podložky.	
Nesprávná montáž ložiska. Údery kladiva na ložisko.	Pozor! Kladivem se nesmí udeřit do žádné části ložiska. Následuje výměna ložiska a použití montážního pouzdra.	
“Vytlučení” díry v tělese, které je vyrobeno z příliš měkkého materiálu.	Díru převrtat a zalisovat ocelové pouzdro. Pouzdro pak obrobit na požadovaný rozměr.	


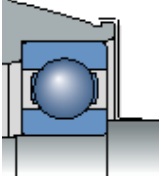
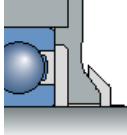
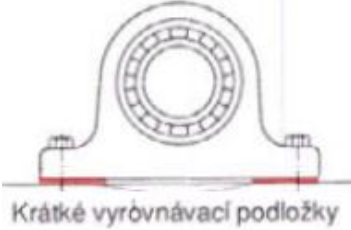

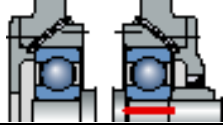
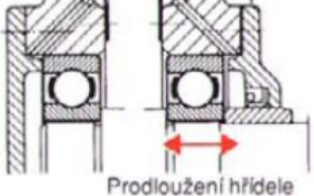
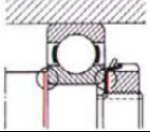
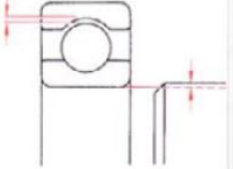
Tabulka č. 3: Častá výměna ložiska

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Nízká hladina oleje či malé množství maziva. Mazivo uniká okolo těsnění.	Výměna těsnění. Hladina maziva musí dosahovat těsně pod střed nejnižšího valivého elementu. Naplnit těleso z 1/3 až 1/2 plastickým mazivem.	
Nedostatečná vnitřní vůle v ložisku v závislosti na provozních podmínkách, kdy je teplo z vnějšího zdroje přiváděno hřídelí. Dochází k nadměrnému roztažení vnitřního kroužku.	Zkontrolovat vůle v ložisku. Musí odpovídat konstrukčním požadavkům dle technické dokumentace. Pokud ano, je třeba zvolit ložisko s větší radiální vůlí. Pokud ne, objednat ložisko dle specifikace.	
Narušená geometrie tělesa, těleso je zdeformované, díra tělesa je malá, opěrná plocha je nerovná.	Zkontrolovat díru tělesa, odstranit nečistoty, otřepy, případně díru přesoustružit, dodržet geometrické tolerance. Zkontrolovat vyrovnávací podložky. Těleso musí být podepřeno vyrovnávacími podložkami po celé ploše.	
Upínací pouzdro není dostatečně sevřeno. Příliš malý průměr hřídele.	Opravit čep nanesením materiálu a přebroušením tak, aby rozměr odpovídal předepsanému uložení. Utáhnout matici pouzdra až pouzdro sevře čep.	
Příliš utažená matice upínacího pouzdra.	Povolit matici a znovu utáhnout tak, aby pouzdro bylo pevně sevřené na hřídeli. Ložisko se musí však stále volně otáčet.	
Nesprávné rozměry osazení, které vyvolávají průhyb hřídele.	Dle konstrukce uložení může být potřeba použít opěrný kroužek, jinak přesoustružit přechod mezi úložnou plochou na hřídeli a čelní plochou osazení. Zkontrolovat připojovací rozměry dle výrobce.	
Nesprávné osové nebo úhlové vyrovnání dvou či více spojených hřídelů, uložených na dvou a více ložiskách.	Vyrovnat souosost vyrovnávacími podložkami pod těleso. Zajistit podložení po celé ploše.	

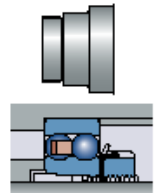
Tabulka č. 4: Vibrace

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Na valivém tělese se vytvořila ploška v důsledku rychlých rozběhů.	Výměna ložiska. U starého zkontrolovat tělíska. Pokud na některém bude patrná ploška, pak je třeba zkontrolovat i minimální požadované zatížení působící na ložisko.	
Nerovnoměrné rozložení zatížení ložiska způsobené nesprávným geometrickým tvarem čepu nebo díry tělesa.	Přesoustružit díru, čep nebo obě části. Dle konstrukčního uspořádání může být potřeba vyměnit celou komponentu.	
Nesprávné rozměry osazení, které vyvolávají průhyb hřídele.	Dle konstrukce uložení může být potřeba použít opěrný kroužek. Jinak přesoustružit přechod mezi úložnou plochou na hřídeli a čelní plochou osazení.	
Deformace vnějšího kroužku způsobená nedostatečným opřením v tělese.	Přesoustružit přechod osazení, tím se dosáhne požadovaného opření. Zkontrolovat připojovací rozměry. Musí odpovídat doporučením výrobce.	
Deformace hřídele a vnitřního kroužku.	Přesoustružit přechod osazení, tím se dosáhne požadovaného opření. Kontrolovat rozměry podle doporučení výrobce.	
Deformace tělesa a vnějšího kroužku.	Přesoustružit přechod osazení, tím se dosáhne požadovaného opření. Kontrolovat rozměry podle doporučení výrobce.	
Zatížení od nevyvážku. Příliš velká díra ložiskového tělesa.	Je potřeba vyvážit stroj. Velkou díru v tělese lze vyřešit buď výměnou tělesa, nebo nanesením materiálu a obrobením na správný rozměr.	
Vibrace při chodu stroje naprázdno.	Zkontrolovat oběžné dráhy ložiska na vtisky odpovídající rozteči valivých tělísek. Případná výměna válečkových ložisek za ložiska kuličková, která lépe odolávají vibracím.	

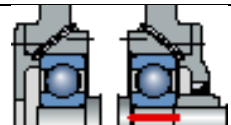
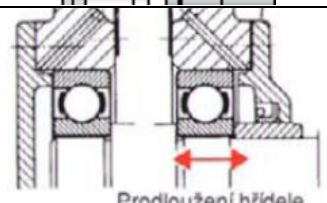
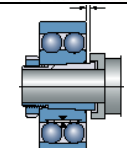
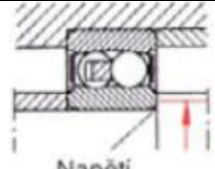
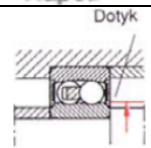
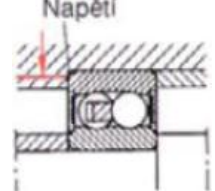
Tabulka č. 5: Snížený výkon zařízení

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Nedostatečná vnitřní vůle v ložisku v závislosti na provozních podmínkách, kdy je teplo z vnějšího zdroje přiváděno hřídelí. Dochází k nadměrnému roztažení vnitřního kroužku.	Zkontrolovat vůle v ložisku. Musí odpovídat konstrukčním požadavkům dle technické dokumentace. Pokud ano, je třeba zvolit ložisko s větší radiální vůlí. Pokud ne, objednat ložisko dle specifikace.	
Nečistoty, karbon, písek či jiné částice nečistot, které se dostaly do ložiskového tělesa.	Vyčistit ložisko. Vyměnit opotřebované těsnění nebo zvolit jinou konstrukci těsnění, aby byla zajištěna těsnost a čistota ložiska.	
Voda nebo agresivní chemikálie jako kyseliny či laky se dostaly do ložiskového tělesa.	Ložisko vyčistit, případně vyměnit. Namontovat ochranný kryt, případně odstříkovací kroužek.	
Narušená geometrie tělesa, těleso je zdeformované, díra tělesa je malá, opěrná plocha je nerovná.	Zkontrolovat díru tělesa, odstranit nečistoty, otřepy, případně přesoustružit, dodržet geometrické tolerance. Zkontrolovat vyrovnávací podložky. Těleso podepřeno podložkami po celé ploše.	
Různé nečistoty, které nebyly odstraněny před montáží. Jedná se např. o otřepy, třísky, prach apod.	Vyčistit ložiskové těleso a naplnit jej novým plastickým mazivem či olejem.	
Souměrné uspořádání.	Uvolnění předpětí ložiska vložení vyrovnávací podložky mezi ložiskové těleso a přírubu víka.	
Dvě axiálně vodící ložiska na jednom hřídeli. Nadměrné prodlužování hřídele.	Uvolnit víko a použít vyrovnávacích podložek pro nastavení vůle Pro menší axiální pohyb hřídele axiálně předepnout vnější kroužek pomocí pružiny.	
Osazení na hřídeli, na tělese nebo čelo koncové matice nesvírají s osou hřídele pravý úhel.	Přesoustružit jednotlivé součásti tak, aby byla dodržena geometrická tolerance kolmosti.	
Zmenšená ložisková vůle v důsledku příliš velkého průměru hřídele, který roztáhne vnitřní kroužek ložiska.	Pokud je to možné, pak přebrousit hřídel na správný průměr. Pokud to možné není, použít ložisko s větší ložiskovou vůlí.	

Tabulka č. 6: Ložisko je na hřídeli volné

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Upínací pouzdro není dostatečně sevřeno. Příliš malý průměr hřídele.	Opravit čep nanesením materiálu a přebroušením tak, aby rozměr odpovídal předepsanému uložení. Utáhnout matici pouzdra, až pouzdro sevře čep.	

Tabulka č. 7: Hřídel se obtížně otáčí

<i>Příčina poruchy</i>	<i>Praktické řešení</i>	
Souměrné uspořádání	Uvolnění předpětí ložiska vložením vyrovnávací podložky mezi ložiskové těleso a přírubu víka.	
Dvě axiálně vodící ložiska na jednom hřídeli. Nadměrné prodlužování hřídele.	Uvolnit víko a použít vyrovnávacích podložek pro nastavení vůle. Pro menší axiální pohyb hřídele axiálně předepnout vnější kroužek pomocí pružiny.	
Příliš utažená maticve upínacího pouzdra.	Povolit matici a znovu utáhnout tak, aby pouzdro bylo pevně sevřené na hřídeli. Ložisko se musí však stále volně otáčet.	
Nesprávné rozměry osazení, které vyvolávají průhyb hřídele.	Dle konstrukce uložení může být potřeba použít opěrný kroužek. Jinak přesoustružit přechod mezi úložnou plochou na hřídeli a čelní plochou osazení.	
Těsnění ložiska se dotýká osazení hřídele.	Zamezit tomuto dotyku. Přesoustružit osazení hřídele. Zkontrolovat rozměry osazení podle výrobce.	
Deformace vnějšího kroužku způsobená nedostatečným opřením v tělese.	Přesoustružit přechod osazení, tím se dosáhne požadovaného opření. Zkontrolovat připojovací rozměry. Musí odpovídat doporučením výrobce.	

Veškeré obrázky použité v příloze: zdroj [5], viz 8.2 Internetové zdroje