

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství

Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vztah mezi valivými ložisky a souvisejícími součástmi

Autor: **Jiří EŠNER**

Vedoucí práce: **Ing. Ivana MAZÍNOVÁ**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří EŠNER**
Osobní číslo: **S11B0068K**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**
Název tématu: **Vztah mezi valivými ložisky a souvisejícími součástmi**
Zadávací 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:

Zaměřte se na volbu tolerančního pole souvisejících součástí. Popište a vypracujte manuál, který povede konstruktéra ke vhodné volbě souvisejících součástí zajišťujících efektivnost a hospodárnost použitého ložiska.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše
2. Popis problematiky volby souvisejících součástí
3. Manuál volby tolerančního pole
4. Příklady z praxe, význam prevence
5. Zhodnocení práce, závěr

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

SKF CZ A.S. Příručka SKF pro údržbu ložisek.

SKF CZ A.S. Hlavní katalog ložisek SKF.


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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Julius Fiala**
SKF a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




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

V Plzni dne 22. září 2014

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

Chtěl bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Ivaně Mazínové za velice vstřícný a motivační přístup, za cenné rady a konzultace, díky kterým jsem mohl připravit odborný materiál vhodný pro další studenty konstrukce. Chtěl bych zde také poděkovat své manželce, která mi po celý čas studií poskytovala obrovskou oporu.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Ešner	Jméno Jiří		
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Konstrukce průmyslové techniky“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Mazínová	Jméno Ivana		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Vztah mezi valivými ložisky a souvisejícími součástmi			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	57	TEXTOVÁ ČÁST	57	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce je zaměřena na konstrukční navrhování valivých ložisek, z toho především na správnou volbu souvisejících dílů. Jedná se přitom o fázi při návrhu konstrukce, ve které volby konstruktéra zásadně ovlivňují výsledný chod soustrojí. Naproti tomu sám konstruktér neovlivní funkce, rozměry, geometrii, toleranci a další vlastnosti určitého typu ložiska, protože jsou již dány výrobou. Ovšem i při vhodně zvoleném typu a velikosti ložiska může konstruktér značně znehodnotit volbu ložiska často právě nevhodným návrhem souvisejících dílů. Této fázi při návrhu ložiska je tedy zapotřebí věnovat větší důraz při zaškolování začínajících konstruktérů. Cílem mé bakalářské práce je příprava podkladů sloužících jako dva studijní materiály pro tyto účely, z nichž jeden představuje manuál podporující konstruktéra při efektivní volbě souvisejících dílů a druhý pak souhrn chybných voleb uložení s popisem příčin, důsledků a návrhů správného řešení.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>valivá ložiska, uložení, související díly, konstrukce, rozměrová přesnost, geometrická tolerance, zajištění ložisek</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Ešner	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	2341R001/40 “Department of Machine Design“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Mazínová	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The relationship between rolling bearings and related components		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	57	TEXT PART	57	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The Bachelor thesis focuses on construction design of rolling bearings, and in that before all on correct selection of pertaining parts. This is the stage of construction design in which the choices the designer makes substantially affect the final operation of the machine. And yet, the designer alone cannot affect functions, dimensions, geometry, tolerance and other features of a specific type of bearing, as these are pre-set from manufacturer. However, even with properly selected type and size of bearings the designer may quite depreciate the selection of a bearing by a wrong selection of pertaining parts. Thus, great focus is needed at this stage of bearing designing when training junior designers. The aim of my Bachelor thesis is the preparation of support material that will serve as two study materials for these purposes. One of them represents a guide supporting a designer in efficient selection of pertaining parts, the other is a summary of wrong choices of placement including the description of causes and effects, and also suggestions of a correct solution.</p>
KEY WORDS	<p>rolling bearings, placement, pertaining parts, construction, dimensional accuracy, geometric tolerances, fixation of the bearings</p>

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce	10
3	Valivá ložiska	11
3.1	Přehled valivých ložisek	11
3.2	Vývoj valivých ložisek	12
3.2.1	Moderní trendy ve vývoji valivých ložisek	12
3.2.2	Nové typy ložisek adaptované podmínkám použití.....	14
3.2.3	Aplikace vývoje materiálů.....	16
3.2.4	Význam mazání valivých ložisek.....	17
3.2.5	Rozměrový plán ISO	17
4	Související díly a uložení valivých ložisek	18
4.1	Význam vhodné volby souvisejících dílů a uložení	18
4.2	Vliv konstruktéra při návrhu souvisejících dílů	18
5	Manuál pro správný návrh souvisejících dílů při volbě valivých ložisek	19
5.1	Volba typu ložiska	20
5.2	Konstrukční návrh – náčrt	21
5.3	Určení velikosti ložiska	21
5.3.1	Kontrolní výpočet trvanlivosti pro dynamické zatížení.....	22
5.3.2	Poměr životnosti k době běhu	23
5.4	Uspořádání ložisek	23
5.5	Radiální zajištění ložisek, volba uložení souvisejících dílů	25
5.5.1	Volba uložení	25
5.5.1.1	Způsob otáčení a druh zatížení	25
5.5.1.2	Velikost zatížení	26
5.5.1.3	Vliv teploty	26
5.5.1.4	Přesnost chodu	27
5.5.1.5	Uspřádání montáže a demontáže	27
5.5.2	Volba tolerance souvisejících dílů: hřídele a tělesa.....	28
5.5.3	Rozměrová a tvarová přesnost úložných ploch	34
5.5.3.1	Úložné a opěrné plochy pro válcové čepy	35
5.5.3.2	Úložné a opěrné plochy v případech kuželové díry	38
5.5.4	Drsnost úložných ploch souvisejících dílů.....	38
5.6	Axiální zajištění ložisek	39
5.6.1	Axiální zajištění ložisek s válcovou dírou	40
5.6.2	Axiální zajištění ložisek v případech kuželové díry	42
5.6.3	Připojovací rozměry souvisejících dílů.....	43
5.7	Konstrukce souvisejících dílů	44
5.8	Konstrukční návrh – výkres sestavy, výrobní výkresy	45

6	<i>Příklady chybných konstrukčních návrhů vedoucích k poškození ložisek</i>	46
6.1	<i>Opotřebení</i>	47
6.2	<i>Koroze</i>	49
6.3	<i>Prokluzování.....</i>	51
6.4	<i>Vtisky.....</i>	52
7	<i>Závěr</i>	53
	<i>Seznam použité literatury</i>	54
	<i>Seznam obrázků a tabulek</i>	55
	<i>Seznam příloh</i>	57
	<i>Použitý software</i>	57

1 Úvod

Správná volba valivého ložiska je při práci konstruktéra neoddělitelně spjata se stejně důležitou volbou souvisejících dílů ložisek. Zvolený typ a velikost valivého ložiska je tedy nutno doplnit návrhem souvisejících částí, tzn. vhodným uspořádáním, tvary a rozměry souvisejících částí, typem uložení, tolerančními třídami, geometrickými tolerancemi, odpovídajícím těsněním, typem i množstvím maziva. Až správná volba každého ovlivňujícího faktoru zaručí skutečně spolehlivé, výkonné a hospodárné uložení.

Úspěch konkrétního návrhu se odvíjí od znalostí a kvalit konstruktéra a také užití vhodných podkladů. Častým jevem provázejícím návrh ložisek bývá podcenění obsáhlých pokynů výrobců, které jsou pro správnou a moderní volbu souvisejících dílů užitečné. Bez užití pokynů výrobců, které odráží vývoj, zpravidla následuje volba osvědčeného uložení nerefluktující aktuální potřeby zvoleného ložiska. To je podpořeno dále tím, že historicky velké množství návrhů ložisek mělo podobné řešení uložení. Opakovaně se navrhovala uložení asi jen ve čtyřech tolerančních třídách. Tyto opětovné volby tolerančních tříd vycházely z dřívější omezené možnosti výroby a tedy omezené nabídky ložisek. Ovšem výrobci výrazně vylepšují vlastnosti i funkce nabízených ložisek, na což je potřeba ze strany konstruktéra reagovat. Při současném technickém vývoji v oboru ložisek, ke kterému se neoddělitelně váží rozšiřující se možnosti řešení souvisejících dílů, doporučují výrobci až dvacet tolerančních tříd. Pro využití současných technických kvalit ložisek na trhu je tedy nezbytné přizpůsobit také návrh konstruktéra, nečerpat z minulých návrhů, ale využívat aktuální nabídku. Je nutné reflektovat detailnější a členitější pokyny, především v rozměrové a tvarové přesnosti, kde se hranice výroby v posledních letech posouvají.

Nedodržování pokynů výrobce ložisek navíc přispívá nedostupnost jednoduchého, srozumitelného manuálu pro volbu uložení, zahrnujícího nejnovější možnosti řešení souvisejících dílů respektující pokrok. A právě takovýto manuál, který podpoří studenty a začínající konstruktéry při volbě valivých ložisek a souvisejících dílů, bych rád po nastudování problematiky prostřednictvím této práce předložil.

2 Cíl práce

Cílem této práce je reakce na technický vývoj valivých ložisek, poskytnutí komplexních, přitom stručných podkladů zajišťujících vstěpení odpovídajících návyků začínajícím konstruktérům a informování o širších možnostech návrhů odrážejících aktuální trendy.

Prvním nástrojem k tomuto je vytvoření krátkého přehledného pracovního manuálu podporujícího konstruktéra k efektivní volbě souvisejících dílů. Manuál je pro přehlednou a jednoznačnou aplikaci doprovázen ve všech jeho částech jedním praktickým příkladem. Může sloužit jako studijní materiál pro pedagogickou činnost a studenty technických škol. Zvolený model manuálu pomůže studentům rychleji pochopit a dodržet správný postup při konstrukčním návrhu ložisek a souvisejících dílů.

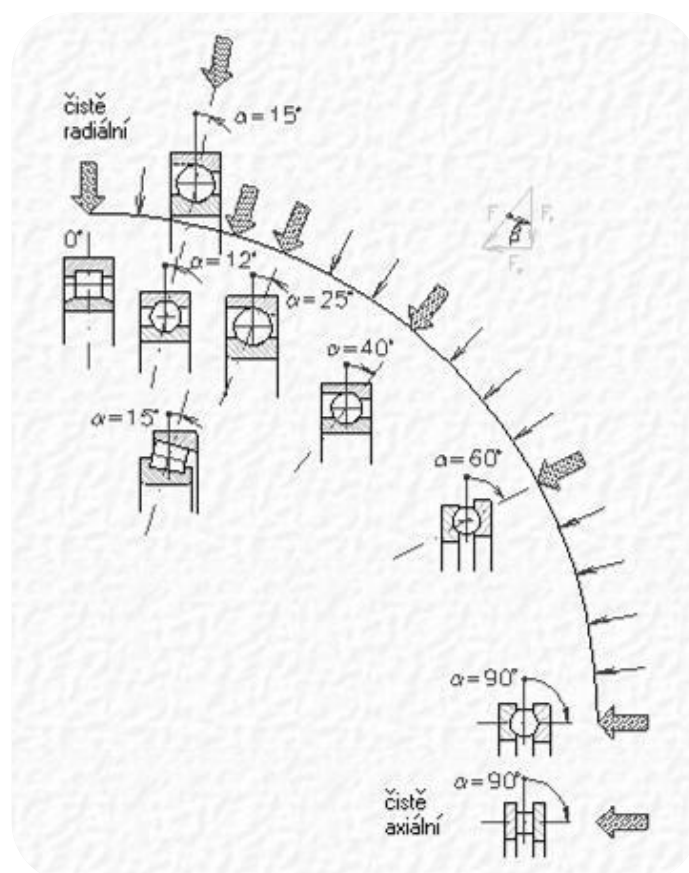
Dalším nástrojem je souhrn chybných voleb uložení s popisem příčin, důsledků a návrhy správného řešení. Z těchto reálných, dobře představitelných příkladů může začínající konstruktér čerpat poučení a znalosti pro vlastní návrhy.

3 Valivá ložiska

Uložení s valivými ložisky nalezneme až na výjimky ve všech točivých strojích. Valivé ložisko je integrovaný konstrukční prvek, který umožňuje vzájemný pohyb součástí strojů a současně přenáší působící síly. Nejběžnější sestavu tvoří dva kroužky, valivé elementy a klec. Valivé ložisko je charakteristické tím, že vzájemný rotační pohyb mezi kroužky se realizuje prostřednictvím valivých těles, které se odvalují po oběžných drahách. Současně přenáší působící síly. Valivé elementy mohou být v ložisku uspořádány v jedné anebo ve více řadách. Podle toho jsou pak ložiska jednořadá, dvouřadá atd. Někdy jsou oběžné dráhy vytvořené přímo na hřídelích a v tělesech. Takové ložisko je charakteristické klecí s jehlami. Základní funkcí klece je za provozu ložiska udržovat rovnoměrné rozdělení valivých elementů po obvodu.

3.1 Přehled valivých ložisek

Podle směru působících sil na oběžnou dráhu těles se valivá ložiska rozdělují na radiální a axiální. Kdy je ložisko radiální nebo axiální, určuje vztah mezi rovinou kolmou na osu ložiska a přímkou proloženou přes body styku valivých elementů s oběžnými drahami. Tento vztah, vyjádřen ve stupních, se nazývá úhel styku valivých těles α . Jeho velikost je 0° až 90° . Pro čistě radiální ložiska je $\alpha = 0^\circ$, pro čistě axiální je $\alpha = 90^\circ$. Ložiska s $\alpha < 45^\circ$ se řadí mezi radiální a ložiska s $\alpha \geq 45^\circ$ mezi axiální. (Obrázek 1)



Obrázek 1 Rozdělení valivých ložisek dle úhlu styku valivých těles [4]

Schopnost ložiska přenášet radiální, radiálně-axiální a jen axiální síly se mění se zmenšující se velikostí úhlu styku α . Se zvětšujícím α roste axiální zatížitelnost a klesá přípustná frekvence otáčení vlivem odstředivých sil valivých těles.

3.2 Vývoj valivých ložisek

Faktory ovlivňující vývoj dnešní doby jsou vzrůst technických parametrů strojů a zařízení, zvyšování otáček a výkonů strojů, snižování jejich hmotností, zvyšování přesnosti chodu, snižování hlučnosti, prodlužování bezúdržbového chodu, zvyšování životnosti i spolehlivosti soustrojí a mnoho dalších. Všechny tyto faktory se odrážejí ve zvyšujících se požadavcích na vlastnosti a funkce valivých ložisek, jež musí tyto podmínky zabezpečit po nasazení do provozu v průběhu určitého vyžadovaného času. Provozní podmínky bývají odlišné podle druhu strojního zařízení, přičemž důležitost podmínek, které musí ložisko v provozu splnit, je různá až protichůdná. Např. při uložení vřetena obráběcího stroje musí valivé ložisko zabezpečit tuhost uložení, což je jedna z podmínek k dosažení potřebné přesnosti chodu vřetena. Naproti tomu při uložení hřídelů v samostatných tělesech, jako jsou např. hřídele okružních pil, lodního hřídele, ventilátorů atd., kde vzniká nesouosost mezi úložnými místy v důsledku montáže, průhybu hřídele apod., je potřeba, aby bylo ložisko dostatečně poddajné a přizpůsobilo se nepřesnostem v provozu. Pro domácí spotřebiče bude důležitý požadavek na tichý chod a provoz bez údržby po celou životnost, ale např. v uložení přístrojů a mechanismů letadla je to zejména bezpečnost a spolehlivost funkce ložiska při extrémně se měnících teplotách, zrychleních atd.

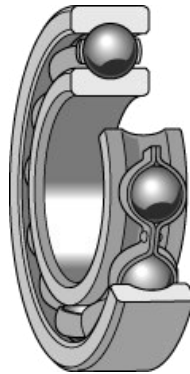
Výrobci valivých ložisek řeší tyto různorodé požadavky výrobou odpovídajících druhů, velikostí a vyhotovení. Současně probíhají intenzivní výzkumné a vývojové činnosti předních společností, které kromě základních funkcí přidávají ložiskům i další nadstavbové charakteristiky. Tím vznikají celky zjednodušující výrobu stroje, jeho montáž, provoz, údržbu apod.

Souběžně rychle narůstá množství řešení a požadavků na související díly. Úspěšný konstruktér musí pro nejefektivnější volby uložení rozšiřující se požadavky výrobců ložisek respektovat a aplikovat.

3.2.1 Moderní trendy ve vývoji valivých ložisek

Aktuální vývoj valivých ložisek je zaměřen na zdokonalení parametrů ložisek, zejména jeho životnost, únosnost, chemickou odolnost a koeficient tření. Současně je vývoj zaměřen také na využití nových materiálů při konstrukci. Společnost SKF vyvinula tzv. selfhealing bearing (samo-opravné ložisko), jehož podstata tkví v záměně jednoho konvenčního valivého elementu z oceli valivým elementem z tvrdé keramiky (bearing grade siliconitride). Životnost ložiska je přitom prodlužována stále trvajícím zahlazováním oběžné dráhy i v případě, že je tato poškozena, což zajišťuje, že poškození se nebude dále rozšiřovat. Ve srovnání s klasickými ložisky lze u konstrukce takového ložiska pozorovat až sedminásobnou únavovou životnost a trojnásobnou odolnost proti křehkému porušení, jakož i až padesátiprocentní snížení vibrací a tomu odpovídající snížení hlučnosti. Zároveň životnost tohoto ložiska není tak závislá na četnosti mazání a kvalitě maziva.

Při výrobě valivých elementů lze užívat také nekovové materiály. Společnost SKF nabízí mj. hybridní ložisko (Obrázek 2). Pro výrobu obou kroužků tohoto ložiska se používá ložisková ocel a pro valivé elementy nitrid křemíku v ložiskové kvalitě (Si_3N_4). Jejich předností jsou výborné elektroizolační vlastnosti, jakož také využití při vyšších otáčkách, to vše při zachování, či také prodloužení životnosti v porovnání s ložisky plně ocelovými. Valivé elementy mají nižší hmotnost než ty ocelové, a to zajišťuje snížené namáhání při prudkém rozbíhání a zastavování. Při vyšších otáčkách se pak tato vlastnost odrazí v nižším tření.



Obrázek 2 Hybridní jednořadé kuličkové ložisko [6]

Mezi další vyráběná ložiska patří polymerová kuličková ložiska (Obrázek 3). Tato se sestávají z polymerové klece, tělísek z nerezové oceli, polymeru, skla nebo jiných materiálů a polymerových valivých kroužků. Jejich zásadní výhodou je korozivzdornost a chemická trvanlivost. Charakteristický je nízký součinitel tření, provoz bez maziva a domazávání a velmi malá hmotnost. Mezi jejich negativa lze zmínit nízkou únosnost, jakož i pracovní otáčky.



Obrázek 3 Polymerové jednořadé kuličkové ložisko [7]

3.2.2 Nové typy ložisek adaptované podmínkám použití

Na zvyšující se nároky a rychlý vývoj ve strojírenství přirozeně reaguje vývoj výrobců strojírenských součástí a náhradních dílů, stejně tak nabídka valivých ložisek a voleb pro konstruktéra. Ta je dnes již skutečně pestrá. Pro nejefektivnější návrhy je potřeba v mnohých konstrukcích upustit od rezervované volby základního typu ložiska a zkoumat širokou nabídku výrobců. Současná nabídka umožňuje vybírat z obsáhlé kombinace požadavků na ložisko a se zvyšující se pravděpodobností tak naleznete ložisko, které vyhoví úplně všem vstupním požadavkům. Některé z mnoha takových ložisek na současném trhu, jejichž kombinace funkcí, vlastností a požadavků nebyly donedávna možné v konstrukcích využívat, jsou:

- **Ložiska INSOCOAT pro elektromotory a generátory**

„Ložiska INSOCOAT jsou navržena pro zabránění průchodu proudu ložiskem. Tato ložiska představují neobyčejně ekonomické řešení ve srovnání s jinými způsoby izolace. Provedení ložiska SKF INSOCOAT s elektroizolačními vlastnostmi umožňuje zvýšit spolehlivost a prodloužit dobu chodu stroje prakticky úplným vyloučením problému elektrické eroze.“ [9] (Obrázek 4)



Obrázek 4 Ložiska INSOCOAT [9]

- **Ložiska NoWear pro náročné provozní podmínky**

„Ložiska NoWear se vyznačují keramickým povlakem s nízkým třením a vysokou pevností a mají extrémně nízkou afinitu k přilnavosti s jinými povrchy. Povlak zabraňuje předčasným poruchám ložisek z důvodu oděru při nízkém zatížení a vysokých provozních otáčkách. Také chrání před poruchami způsobenými vibracemi a nadměrným opotřebením z důvodu nedostatečného mazání.“ [10] (Obrázek 5)



Obrázek 5 Ložisko NoWear [10]

- **Ložiska Solid Oil pro nemožnost domazávání**

„Ložiska Solid Oil jsou řešení pro použití v nepřístupných oblastech bez možností snadné montáže a demontáže, přitom požadavkem domazávání. Stejně jako pro aplikace, kde olej nelze dodávat přímo, nebo kde běžné plastické mazivo nesplňuje požadavky aplikace. Polymer zcela vyplňuje vnitřní prostor. Pomocí klece použité jako výztužný element se polymer otáčí s klecí. Při otáčení se uvolňuje olej a během provozu zajišťuje dobré mazání pro valivé elementy a oběžné dráhy. Polymer zabraňuje vniknutí nečistot, prodlužuje provozní trvanlivost, je odolný vůči řadě chemických látek a dokáže snášet velké gravitační síly.“ [11] (Obrázek 6)



Obrázek 6 Ložisko Solid Oil [11]

- **Ložiska Molded-oil pro aplikace ložiska v kontaktu s vodou (NSK)**

„Ložisko Molded-oil využívá speciální mazací technologie, při které je minerální olej pozvolna uvolňován z polyolefinové matrice. Je minimalizováno riziko úniku maziva a kontaminace finálního produktu. Běžná ložiska provozovaná v aplikacích, ve kterých přicházejí do přímého kontaktu s vodou (např. mycí procesy) dosahují provozní životnosti cca 500 hodin. Ložiska řady Molded-Oil prokázala za stejných provozních podmínek průměrnou životnost prodloužit až na 1400 hodin.“ [12] (Obrázek 7)



Obrázek 7 Ložisko Molded-oil [13]

- **Ložiska X-life pro snížení tření a teploty na styčných plochách**

„Ložiska X-life jsou válečková ložiska FAG s klecí a optimalizovanou kontaktní geometrií. Oproti ložiskům bez optimalizované kontaktní geometrie se podařilo snížit axiální třecí moment až o 50 procent. To s sebou přináší i podstatně nižší teplotu ložiska. Minimalizovaný třecí odpor ložiska při axiálním zatížení výrazně snižuje v závislosti na aplikaci spotřebu energie. V budoucnu tak bude možné zatěžovat nová ložiska s optimalizovaným přírubovým kontaktem silovým poměrem $F_a/F_r = 0,6$. Jinými slovy – přípustné axiální zatížení tak bude moci činit až 60 procent radiálního zatížení. Za běžných podmínek se také zcela předejde opotřebení a únavě na styčných plochách nákrůžků a čelních styčných plochách válečků, což prodlouží provozní životnosti ložisek.“ [12] (Obrázek 8)



Obrázek 8 Geometrie kontaktních ploch ložiska X-life [14]

3.2.3 Aplikace vývoje materiálu

Ložiskové kroužky a valivá tělesa se zpravidla vyrábějí z oceli. Nejčastěji se užívá oceli se schopností prokalitelnosti, obvykle uhlíko-chromové s obsahem uhlíku cca 1% a chromu cca 1,5%, u které lze dosáhnout optimální rovnováhy mezi výrobními a provozními náklady.

Nejčastěji se kalí na cca (58 až 65) HRC. Při tvrdosti menší než 60 HRC klesá dynamická únosnost na každý stupeň HRC o 4 až 8 %. Statická únosnost pak klesá o 6 až 9 %. Jiné oceli, ze kterých se ložiska vyrábějí, jsou nerezové ložiskové a ložiskové oceli pro vysoké teploty.

Stále častěji jsou pro výrobu valivých ložisek užívány keramické materiály. Pro ložiskové aplikace se zpravidla užívají nitridy křemíku (Si_3N_4). Tyto materiály vynikají tvrdostí, nízkou roztažností za tepla, malou hmotností a vysokým elektrickým odporem s antimagnetickými vlastnostmi.

Klece ložisek jsou lisované nebo masivní z oceli. Dále se vyrábí jako lisované nebo masivní z mosazi. Dalšími varianty jsou polyamidové klece nebo klece z fenolické pryskyřice.

3.2.4 Význam mazání valivých ložisek

„Jestliže má valivé ložisko spolehlivě pracovat, musí být správně namazáno, aby nedošlo ke styku kov na kov mezi valivými tělesy, oběžnými drahami a klecí. Mazivo rovněž chrání povrch ložiska proti opotřebení a korozi. Pro mazání valivých ložisek je určena široká nabídka plastických maziv a olejů, a to včetně tuhých maziv, např. pro extrémní teploty. Volba správného maziva závisí především na provozních podmínkách, tj. na teplotním rozsahu, rychlosti a na vlivu okolního prostředí. Ideální provozní teploty lze dosáhnout, pokud je ložisko naplněno minimálním množstvím maziva, které však ještě zajistí spolehlivou funkci. Jestliže má však mazivo plnit ještě další úkoly, jako např. zlepšit těsnicí účinek, chlazení apod., musí být použito větší množství. Mazací schopnost náplně maziva v uložení časem klesá vlivem mechanického namáhání, stárnutí a znečištění. Z toho důvodu je nutné v pravidelných intervalech doplňovat a měnit plastické mazivo resp. filtrovat a měnit olej.“ [2] (Obrázek 9)

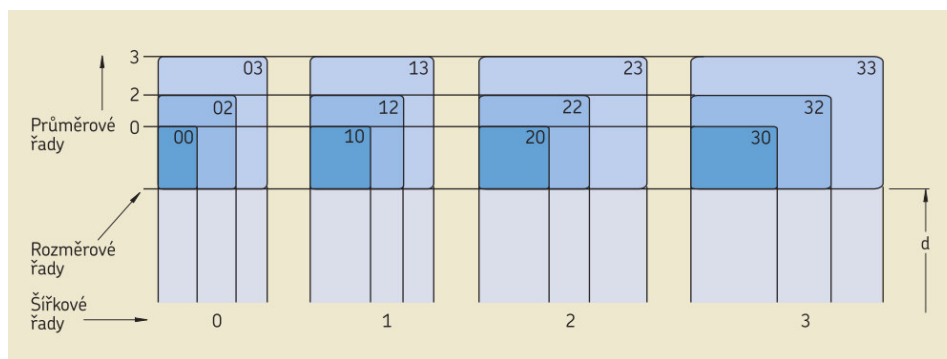


Obrázek 9 Proces mazání plastickým mazivem [8]

3.2.5 Rozměrový plán ISO

Obor ložisek ovlivnilo důležité vývojové rozhodnutí normalizovat ložiska. Před zavedením rozměrových řad ložisek velice rychle, souběžně s množstvím vznikajících projektů, narůstaly různorodé kombinace rozměrů ložisek. Tento nekoordinovaný nárůst na trhu komplikoval sériovou výrobu a komerci ložisek, ale nejvýznamněji akceschopnost servisu v průběhu životnosti stroje. Bez podrobné dokumentace ke stroji bylo velice náročné objednat správný rozměr ložiska k jeho výměně. Proto byla zavedena norma korigující rozměry valivých ložisek.

V návaznosti na normu vznikly standardy pod pojmem rozměrový plán ISO valivých ložisek metrických rozměrů (Obrázek 10). „Hlavním rozměrům radiálních ložisek jsou přiřazeny odstupňované standardizované vnější průměry pro každý průměr díry, které jsou uspořádány v průměrových řadách. V každé průměrové řadě jsou ložiska různých šířkových řad. Šířkovým řadám radiálních ložisek odpovídají výškové řady axiálních ložisek.“ [2]



Obrázek 10 Rozměrový plán ISO [2]

4 Související díly a uložení valivých ložisek

4.1 Význam vhodné volby souvisejících dílů a uložení

Správně zvolený typ a velikost samotného ložiska z hlediska provozních podmínek, tj. působení sil, frekvence otáčení, provozní teploty, zrychlení atd., bude spolehlivě pracovat pouze tehdy, když je správně zvolené jeho celé uložení.

Správné uložení vnitřního kroužku ložiska na hřídeli a vnějšího kroužku ložiska v tělese má tedy stejný význam pro spolehlivý chod a dosažení žádané trvanlivosti jako volba ložiska. Zvolené tolerance úložných ploch musí zajistit bezpečné upevnění a rovnoměrné podepření kroužků, posuvnost axiálně volného ložiska, jednoduchou montáž a demontáž, mazání a údržbu uložení.

Teoreticky je nutno oba ložiskové kroužky uložit s přesahem, neboť jen takto lze dosáhnout spolehlivého podepření po celém obvodu a radiálního upevnění proti protáčení. Pro usnadnění montáže a demontáže nerozebíratelných ložisek, zajištění statické určitosti uložení a posuvnosti volného ložiska v axiálním směru, se však volí uložení jednoho z kroužků s vůlí. Tím je možné vybrat ten kroužek, jež je bodově zatížen, protože jen při takovém zatížení nedojde k proklouzávání nebo odvalování kroužku v souvisejícím díle. Kroužek obvodově zatížený, jež se otáčí ve směru radiálního zatížení, je nutno uložit s přesahem. Tímto nedojde k nežádoucímu, kluznému pohybu mezi dvěma suchými plochami a k dřívějšímu opotřebení úložných ploch.

4.2 Vliv konstruktéra při návrhu souvisejících dílů

Z pohledu konstrukce se návrh valivých ložisek liší ve srovnání s navrhováním jiných strojních součástí, když převážná většina ložisek již byla navržena i vyrobena a jsou tedy k dispozici jako normalizované strojní součásti. Úlohou konstruktéra valivých ložisek je navrhnout právě související díly ložiska tak, aby je bylo možné uložit do daných rozměrů prostoru soustrojí a aby přenášely dané zatížení a dosahovaly žádané životnosti při konkrétních provozních podmínkách. Při konstrukci souvisejících dílů je nutno reflektovat rizika tření, tepla, faktory kinematiky ložiska, výrobní přesnosti, vliv mazání, montáže a demontáže v provozu a všechny ostatní okolnosti jakkoliv zasahující do činnosti ložiska v soustrojí. Na konci konstrukčního návrhu je výsledné řešení konstrukce daného soustrojí kompromisem všech těchto činitelů.

5 Manuál pro správný návrh souvisejících dílů při volbě valivých ložisek

Následující manuál obsahuje kompletní návod sestavený v pořadí pro správný konstrukční návrh uložení. Nabízí konstruktérovi rozšířené volby souvisejících součástí reflektující technický vývoj v oblasti ložisek. Je také zpracován v elektronické formě, a to v podobě přehledné, atraktivní, soudobé prezentace. Prezentace je pro pedagogické využití přiložena na CD a snímky této prezentace jsou vloženy na konec bakalářské práce.

Části manuálu týkající se návrhu ložisek, jejichž parametry i postupy výpočtu jsou výrobcem určeny a konstruktér je tedy nemůže ovlivnit, jsou popsány pouze v bodech. Tyto body jsou přitom seřazeny tak, aby současně s použitím katalogu výrobce ložisek zajistily správnou volbu typu a velikosti ložiska.

Části manuálu týkající se uložení a souvisejících součástí jsou popsány podrobně včetně rozšiřujících informací.

Manuál neobsahuje jen teoretický návod v bodech. Je navíc v celém svém průběhu prokládán jedním praktickým konstrukčním návrhem opěrné kladky řešeným krok po kroku. (ve formátu kurzívy s šedým podbarvením).

Zadání konstrukčního návrhu

Navrhněte kladku opěry pro požadované parametry:

Průměr kladky:		140 mm		Mazání:	tukem
Zatěžovací stavy:					
Stav	Zatížení kladky	Obvod. rychlost kladky	Otáčky kladky	Poměrná doba běhu	Celková doba běhu
	kN	m/min	1/min		hod
1	100	50	113,7	0,3	4000
2	50	100	227,5	0,5	
3	10	100	227,5	0,2	

Protože zatížení a otáčky kladky jsou zadány pro více než jeden stav, potřebujeme ještě před zahájením volby ložiska dopočítat střední hodnoty jednotlivých parametrů. Následné volby v konstrukčním návrhu budou vycházet právě z těchto středních hodnot:

Střední radiální zatížení

$$Fr_m = \sum_1^3 q_i \cdot Fr_i = 100 \cdot 0,3 + 50 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,2 = 57kN$$

Střední otáčky

$$n_m = \sum_1^3 q_i \cdot n_i = 113,7 \cdot 0,3 + 227,5 \cdot 0,5 + 227,5 \cdot 0,2 = 193,4 \text{ ot/min}$$

5.1 Volba typu ložiska

Volbu typu ložiska určuje množina jeho funkcí, vlastností a požadavky na něj, které jsou vzájemně závislé. Jsou to např. prostorové nároky, zatížení, nesouosost, rozměrová a geometrická přesnost, provozní otáčky, požadavky na tichý chod, tuhost, předpětí, vnitřní vůle, uspořádání ložisek, montáž a demontáž. Každý konkrétně zadaný návrh mění jejich výběr a priority. Z důvodů vzájemné závislosti nelze každému požadavku maximálně vyhovět a je na konstruktérovi, jak je nejhodněji vyhodnotí, zkombinuje a jak kvalitní vstup a výstup si k volbě typu ložiska zpracuje.

Pro volbu typu ložiska, po zpracování zadaných požadavků a informací, je vhodný a volně dostupný souhrn typů ložisek od výrobce SKF CZ nazvaný MATRIX. Tento souhrn obsahuje všechny základní charakteristiky a požadavky na konstrukce jednotlivých typů ložisek. Je to přehledná tabulka vedoucí konstruktéra ke správné volbě typu ložiska.

MATRIX SKF CZ je v českém jazyce dostupný na linku [16]:

http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_00_02_Volba%20typu%20loziska.pdf

Z požadavků v zadání a obecně známých informací o opěrné kladce můžeme vytěžit následující indikaci vedoucí s použitím souhrnu MATRIX k volbě typu ložiska:

<i>zatížení:</i>	<i>obvodové, čistě radiální</i>
<i>otáčky:</i>	<i>nízké</i>
<i>tichý chod:</i>	<i>nepožadován</i>
<i>tření:</i>	<i>mazání tukem → nízké</i>
<i>vyrovnání nesouososti:</i>	<i>nezbytné</i>

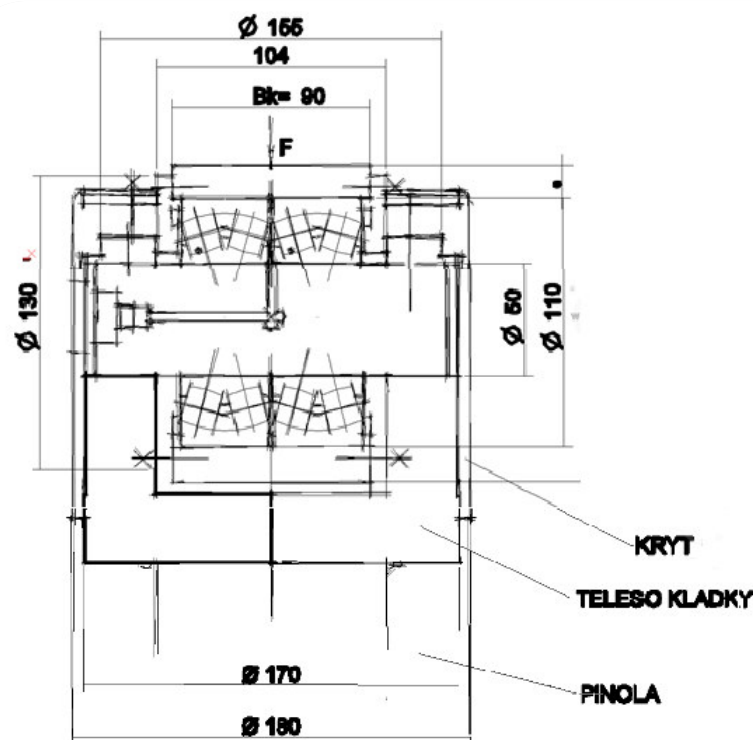
Dle souhrnu MATRIX je pro tyto požadavky nejhodnější soudečkové ložisko, a proto tento typ ložisek volíme pro použití v konstrukci opěrné kladky.

5.2 Konstrukční návrh – náčrt

Náčrt výrazně redukuje výskyt možných chyb v následujícím průběhu návrhu. V náčrtu se konstruktér nezabývá detaily nebo doplňujícími prvky, skládá jen přibližnou konstrukci ze základních konstrukčních prvků, které navrhované soustrojí potřebuje k funkčnosti.

V předchozím bodě jsme zvolili typ ložisek. Víme, že budeme mazat soustavou, známe průměr kladky. Můžeme tedy naši prvotní představu skladby konstrukce načrtnout.

Skica opěrné kladky



5.3 Určení velikosti ložiska

Je nezbytné vyhodnotit druh zatížení ložiska, který pak určí příslušný postup pro volbu velikosti ložiska:

- **dynamické zatížení ložiska** → volba velikosti ložiska pomocí rovnice trvanlivosti
- **statické zatížení ložiska** → volba velikosti ložiska podle statické únosnosti

Dle typu ložiska, přípustných středních otáček a rozměrů vybereme z katalogu výrobce konkrétní ložisko. Správnost výběru ložiska musíme ověřit kontrolním výpočtem, v případě opěrné kladky výpočtem pro dynamické zatížení.

Pro vnější průměr ložiska 110mm a referenční otáčky 4800 min^{-1} volíme z katalogu SKF CZ ložisko 22310 E.

5.3.1 Kontrolní výpočet trvanlivosti pro dynamické zatížení

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$C = 220 \text{ kN}$ Základní dynamická únosnost ... z katalogu pro ložisko 22310 E

$P = ?$ Ekvivalentní dynamické zatížení ... z katalogu pro soudečkový typ

$$a) P = Fr + y_1 \times Fa \Leftrightarrow Fa / Fr \leq e$$

$$b) P = 0,67 \times Fr + y_2 \times Fa \Leftrightarrow Fa / Fr > e$$

$e = 0,37$ Výpočtový součinitel... z katalogu pro ložisko 22310 E

$Fr_m = 57 \text{ kN}$ Radiální zatížení ... ze zadání / z výpočtu

$Fa_m = 0 \text{ kN}$ Axiální zatížení ... ze zadání / z výpočtu

$$a) Fa/Fr \leq e \Rightarrow P = Fr + y_1 \times Fa$$

$$0/57 = 0 \leq 0,37 \Rightarrow P = Fr = 57 \text{ kN}$$

$p = ?$ Exponent rovnice trvanlivosti

... pro ložiska s bodovým stykem $\rightarrow p=3$

... pro ložiska s čárovým stykem $\rightarrow p=10/3$

$$L_{10} = \left(\frac{220}{57}\right)^{10/3} = 90,2 \text{ [milióny otáček]}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_m} \times L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 193,4} \times 90,2 = 7774 \text{ [provozní hodiny]}$$

5.3.2 Poměr životnosti k době běhu

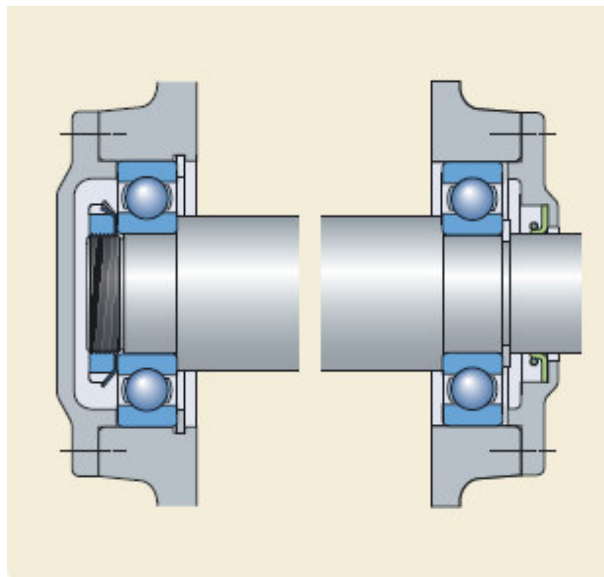
$$S_k = \frac{L_{10h}}{T_{celk}} = \frac{7774}{4000} = 1,9 \geq 1,5$$

Protože je vypočtený koeficient bezpečnosti vyšší než minimální požadovaný koeficient 1,5, je zvolené ložisko pro tento návrh vyhovující.

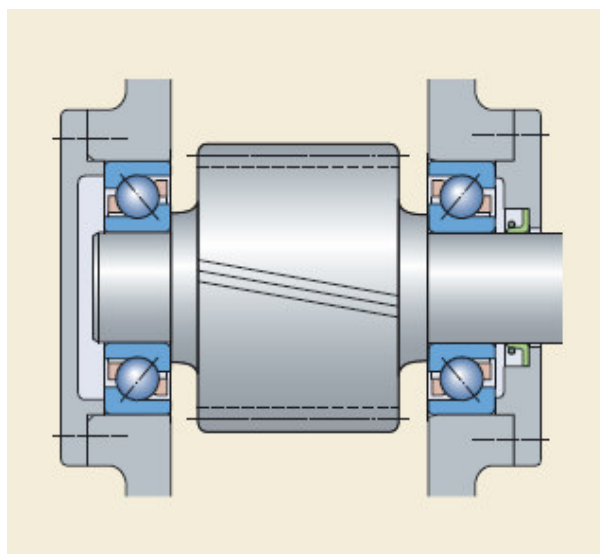
5.4 Uspořádání ložisek

Pro případy uložení rotující hřídele, kde je nutno užít alespoň dvě ložiska v určité vzdálenosti od sebe (častá varianta), může konstruktér zvolit jednu z následujících možností uspořádání:

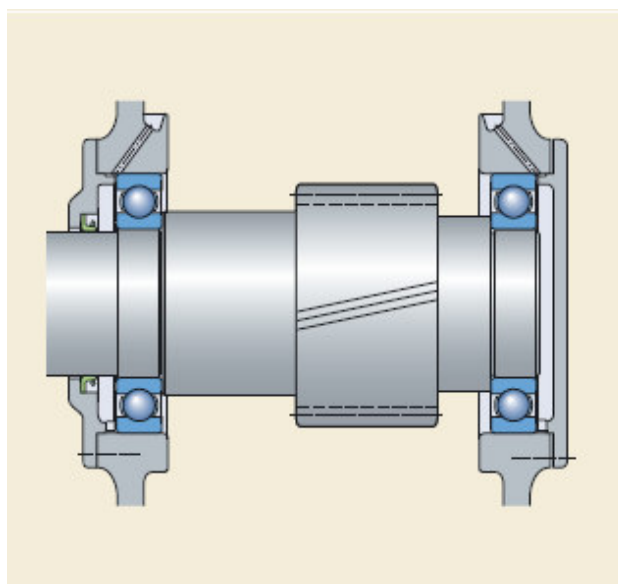
- uspořádání s axiálně vodícím ložiskem a axiálně volným ložiskem (Obrázek 11)
- souměrné uspořádání ložisek (Obrázek 12)
- „plovoucí“ uspořádání ložisek (Obrázek 13)



Obrázek 11 Příklad uspořádání s axiálně vodícím ložiskem a axiálně volným ložiskem [2]



Obrázek 12 Příklad souměrného uspořádání ložisek [2]



Obrázek 13 Příklad „plovoucího“ uspořádání ložisek [2]

Vzhledem k tomu, že opěrná kladka je požadována v malých rozměrech, použijeme méně se vyskytující variantu, a to uložení dvou ložisek přímo vedle sebe.

5.5 Radiální zajištění ložisek, volba uložení souvisejících dílů

5.5.1 Volba uložení

5.5.1.1 Způsob otáčení a druh zatížení

Provozní podmínky	Schématický obrázek	Působící zatížení	Příklad	Doporučené uložení
Rotující vnitřní kroužek Nepohyblivý vnější kroužek Konstantní směr zatížení		Obvodové zatížení vnitřního kroužku Bodové zatížení vnějšího kroužku	Hřídele poháněné řemenem	Uložení vnitřního kroužku s přesahem Volné uložení vnějšího kroužku
Nepohyblivý vnitřní kroužek Rotující vnější kroužek Konstantní směr zatížení		Bodové zatížení vnitřního kroužku Obvodové zatížení vnějšího kroužku	Válečky dopravníku Ložisková jednotka kola automobilu	Volné uložení vnitřního kroužku Uložení vnějšího kroužku s přesahem
Rotující vnitřní kroužek Nepohyblivý vnější kroužek Zatížení obíhá s vnitřním kroužkem		Bodové zatížení vnitřního kroužku Obvodové zatížení vnějšího kroužku	Vibrační zařízení Vibrační síta nebo motory	Uložení vnějšího kroužku s přesahem Volné uložení vnitřního kroužku
Nepohyblivý vnitřní kroužek Rotující vnější kroužek Zatížení obíhá s vnějším kroužkem		Obvodové zatížení vnitřního kroužku Bodové zatížení vnějšího kroužku	Kuželový drtič (Uložení kolotočů)	Uložení vnitřního kroužku s přesahem Volné uložení vnějšího kroužku

Tabulka 14 Způsob otáčení a zatížení [2]

Výrobce doporučené uložení kroužků odvodíme z provozních podmínek vnějšího a vnitřního kroužku ložiska navržené konstrukce kladky.

Pro vnitřní kroužek (nepohyblivý) je podle tabulky výše vhodné uložení s vůlí a pro vnější kroužek (rotující) uložení s přesahem.

5.5.1.2 Velikost zatížení

Pro pokračující volby v návrhu je nutno určit velikost zatížení, které lze vypočítat dle tabulky:

Běžné zatížení	$P \leq 0,05 \times C$
Normální zatížení	$0,05 \times C < P \leq 0,1 \times C$
Těžké zatížení	$0,1 \times C < P \leq 0,15 \times C$
Velmi těžké zatížení	$P > 0,15 \times C$

Velikost zatížení je nutné zohlednit pro uložení s přesahem. Vnitřní kroužek ložiska se vlivem teploty při zvyšujícím se zatížení roztahuje. Musíme tedy předcházet možnému důsledku otáčení kroužku vhodnou volbou dostatečného přesahu.

$$P = 57 \text{ kN} \quad \dots \text{ z výpočtu v bodě 3.1.}$$

$$C = 220 \text{ kN} \quad \dots \text{ z výpočtu v bodě 3.1.}$$

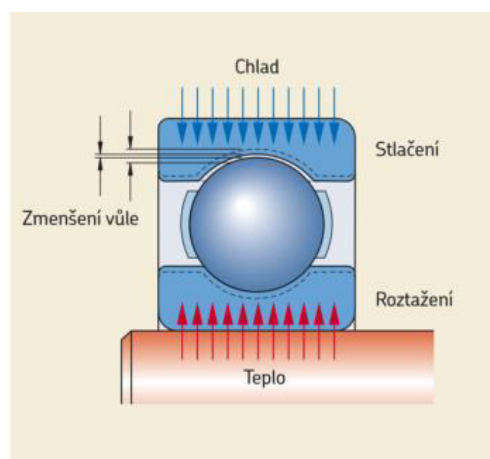
$$P > 0,15 \times C$$

$$57 > 0,15 \times 220$$

$$57 > 33 \Rightarrow \text{velmi těžké zatížení}$$

5.5.1.3 Vliv teploty

„V mnoha aplikacích má vnější kroužek ložiska za provozu nižší teplotu než vnitřní kroužek. To se může projevit zmenšením vnitřní vůle ložiska. Za provozu se kroužky ložiska obvykle zahřejí na teplotu, která je vyšší než teplota souvisejících dílů. Pevné uložení vnitřního kroužku se může uvolnit, zatímco roztažením vnějšího kroužku v tělese může dojít k omezení axiální posuvnosti. Zrychlení ložiska nebo tření u kontaktního těsnění může také vést k zvýšení teploty ložiska. Z toho důvodu je třeba věnovat pozornost teplotním rozdílům a směru přestupu tepla v uložení.“ [2] (Obrázek 15)



Obrázek 15 Vliv teploty na vůli ložiska [2]

V navržené konstrukci opěrné kladky teplota neovlivní chod. Vnitřní kroužek je už navržen s vůlí a vnější kroužek s přesahem, proto kroužky nemohou změnit během chodu typ a funkci uložení.

5.5.1.4 Přesnost chodu

Pro rotující součásti točivého stroje s požadavkem vysoké přesnosti chodu je nutno volit uložení s přesahem z důvodu omezení pružných deformací a vibrací:

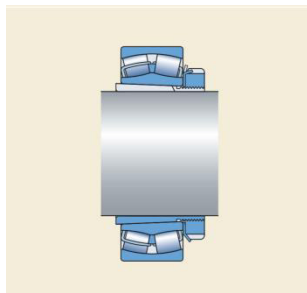
- pro hřídel stupeň přesnosti IT 5 nebo nižší (tj. přesnější výroba),
- pro těleso stupeň přesnosti IT 6 nebo nižší (tj. přesnější výroba).

Jedná se např. o obráběcí stroje, zkušební stroje.

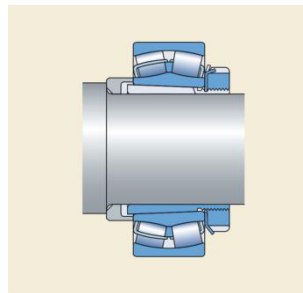
Pro konstrukci opěrné kladky není požadována vysoká přesnost chodu. Není ekonomické navrhovat přesnější výrobu, než jakou potřebujeme.

5.5.1.5 Usnadnění montáže a demontáže

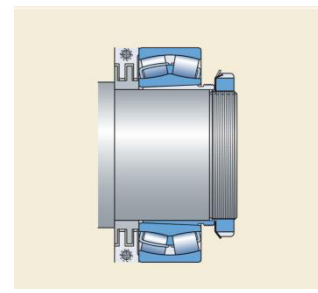
Montáž či demontáž ložisek s volným uložením je obvykle snazší než v případě ložisek uložených s přesahem. Je-li nutno respektovat provozní podmínky vyžadující uložení s přesahem společně se snadnou montáží a demontáží, je vhodné uplatnit rozebíratelná ložiska nebo ložiska s kuželovou dírou. Ložiska s kuželovou dírou lze montovat přímo na kuželový čep, na upínací či stahovací pouzdro na hřídel bez osazení, popř. s osazením. (Obrázek 16 - 18)



Obrázek 17 Hřídel bez osazení [2]



Obrázek 18 S distančním kroužkem [2]

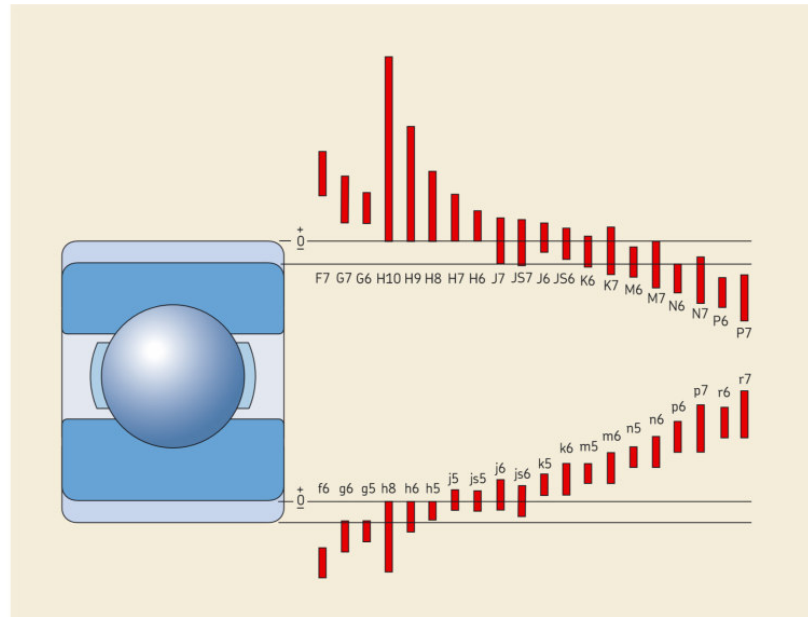


Obrázek 16 S pojistnou maticí [2]

Opěrnou kladku jsme v konstrukčním náčrtu navrhli rozebíratelnou tak, že ložiska s válcovou dírou lze vyměnit bez poškození.

5.5.2 Volba tolerance souvisejících dílů: hřídele a tělesa

„Tolerance díry a vnějšího průměru valivých ložisek jsou mezinárodně standardizovány. Pro uložení s přesahem nebo volné uložení ložisek s válcovou dírou a válcovým vnějším povrchem se volí vhodné tolerance průměru hřídele a díry tělesa podle tolerančního systému ISO. Pro uložení s valivými ložisky je vhodný pouze omezený počet tolerančních stupňů ISO. Nejpoužívanější toleranční pole vzhledem k normalizované toleranci díry ložiska a vnějšího průměru ložiska jsou uvedeny níže.“[2] (Obrázek 19)



Obrázek 19 Nejčastější toleranční pole [2]

Doporučená uložení ložisek jsou specifikována v následujících tabulkách:

- Radiální ložiska s válcovou dírou pro plné ocelové hřídele (Tabulka 20)
- Axiální ložiska pro plné ocelové hřídele (Tabulka 21)
- Radiální ložiska pro nedělená litinová a ocelová tělesa (Tabulka 22)
- Radiální ložiska – dělená či nedělená tělesa pro litinová a ocelová tělesa (Tabulka 23)
- Axiální ložiska pro litinová a ocelová tělesa (Tabulka 24)

Uložení pro plně ocelové hřídele						
Radiální ložiska s válcovou dírou						
Provozní podmínky	Příklady	Průměr hřídele, mm				Tolerance
		Kuličková ložiska ¹⁾	Válečková ložiska	Kuželíková ložiska	CARB a soudečková ložiska	
Obvodové zatížení vnitřního kroužku nebo neurčitý směr zatížení						
Malá a proměnná zatížení (P ≤ 0,05 C)	Dopravní zařízení, lehkce zatížená ložiska v převodovkách	≤ 17 (17) až 100 (100) až 140	– ≤ 25 (25) až 60 (60) až 140	– ≤ 25 (25) až 60 (60) až 140	– – –	js5 (h5) ²⁾ j6 (j5) ²⁾ k6 m6
Normální až velká zatížení (P > 0,05 C)	Všeobecné strojírenství, elektro motory, turbíny, čerpadla, větrné elektrárny ozubené převody, dřevobráběcí stroje	≤ 10 (10) až 17 (17) až 100 – (100) až 140 (140) až 200 – (200) až 500 – > 500 –	– – – ≤ 30 (30) až 50 – (50) až 65 (65) až 100 (100) až 280 – (280) až 500 > 500	– – – ≤ 40 (40) až 65 – (65) až 200 (200) až 360 – (360) až 500 > 500	– – – 25 až 40 – (40) až 60 (60) až 100 (100) až 200 – (200) až 500 > 500	js5 j5 (j5) ²⁾ k5 ³⁾ k6 m5 m6 n5 ⁴⁾ n6 ⁴⁾ p6 ⁵⁾ p7 ⁴⁾ r6 ⁴⁾ r7 ⁴⁾
Velká zatížení a rázová zatížení při náročných provozních podmínkách (P > 0,1 C)	Nápravná ložiska kolejových vozidel, trakční motory, válcovny	– – – – –	(50) až 65 (65) až 85 (85) až 140 (140) až 300 (300) až 500 > 500	– (50) až 110 (110) až 200 (200) až 500 > 500	(50) až 70 – (70) až 140 (140) až 280 (280) až 400 > 400	n5 ⁴⁾ n6 ⁴⁾ p6 ⁶⁾ r6 ⁷⁾ s6 _{min} ± IT6/2 ⁶⁾⁸⁾ s7 _{min} ± IT7/2 ⁶⁾⁸⁾
Vysoké nároky na přesný chod při malých zatíženích (P ≤ 0,05 C)	Obráběcí stroje	8 až 240 – – – –	– 25 až 40 (40) až 140 (140) až 200 (200) až 500	– 25 až 40 (40) až 140 (140) až 200 (200) až 500	– – – – –	js4 js4 (j5) ⁹⁾ k4 (k5) ⁹⁾ m5 n5
Bodové zatížení vnitřního kroužku Požadovaná snadná posuvnost vnitřního kroužku na hřídeli	Kola na pevné ose	–	–	–	–	g6 ¹⁰⁾
Není požadována snadná posuvnost vnitřního kroužku na hřídeli	Napínací kladky, lanové kladky	–	–	–	–	h6
Čistě axiální zatížení						
	Veškerá uložení	≤ 250 > 250	– –	≤ 250 > 250	≤ 250 > 250	j6 js6

1) Pokud jsou používány hřídelové tolerance uvedené v tabulce, je často nutné pro normální a velká zatížení kuličkových ložisek (P > 0,05 C) použít radiální vůle větší než normální. Provozní podmínky někdy vyžadují použít tužší uložení zamezující protažení kroužku na hřídeli. V případě, kdy je zvolena větší radiální vůle než normální, lze použít následující tolerance

- k4 pro průměr hřídele 10 až 17 mm
- k5 pro průměr hřídele (17) až 25 mm
- m5 pro průměr hřídele (25) až 140 mm
- n6 pro průměr hřídele (140) až 300 mm
- p6 pro průměr hřídele (300) až 500 mm

Pro bližší informace kontaktuje technické oddělení SKF.

2) Tolerance v závorkách se používá pro nerezová ložiska.

3) Pro nerezová ložiska s průměrem 17 až 30 mm se používá tolerance j5.

4) Může být nutná vnitřní radiální vůle větší než normální.

5) Pro ložiska s průměrem d ≤ 150 mm je doporučena radiální vůle větší než normální, pro ložiska s d > 150 mm je nutná radiální vůle větší než normální.

6) Doporučena vnitřní radiální vůle větší než normální.

7) Může být nutná vnitřní radiální vůle větší než normální, pro válečková ložiska je doporučeno použít radiální vůle větší než normální.

8) Tolerance doporučujeme konzultovat s aplikačním oddělením SKF.

9) Tolerance v závorkách platí pro kuželíková ložiska. Pro kuželíková ložiska nastavená pomocí vnitřního kroužku, na něž působí malé zatížení, je třeba použít js5 nebo js6.

10) Tolerance f6 může být zvolena pro velká ložiska, pokud má být zajištěna snadná posuvnost.

Tabulka 20 Radiální ložiska s válcovou dírou pro plně ocelové hřídele [2]

Podle Tabulky 20 výše a zjištěných zatížení v bodě 5.5.1.1. volíme výrobu hřídele kladky v průměru 50mm v toleranci h6.

Pro kontrolu správné volby si ověřujeme, že h6 je uložení s vůlí, a to je v souladu s doporučením volby tohoto uložení v bodě 5.5.1.1.

Uložení pro plně ocelové hřídele		
Axiální ložiska		
Provozní podmínky	Průměr hřídele, mm	Tolerance
Čistě axiální zatížení		
Axiální kuličková ložiska	–	h6
Axiální válečková ložiska	–	h6 (h8)
Klec s valivými tělesy axiálního válečkového ložiska	–	h8
Kombinované radiální a axiální zatížení působící na axiální soudečková ložiska		
Bodové zatížení hřídelového kroužku	≤ 250	j6
	> 250	js6
Obvodové zatížení na hřídelovém kroužku nebo neurčitý směr zatížení	≤ 200	k6
	(200) až 400	m6
	> 400	n6

Tabulka 21 Axiální ložiska pro plně ocelové hřídele [2]

Uložení pro litinová a ocelová tělesa				
Radiální ložiska – nedělená tělesa				
Provozní podmínky	Příklady	Tolerance ¹⁾	Posuvnost vnějšího kroužku	
Obvodové zatížení vnějšího kroužku				
Velká zatížení ložisek v tenkostěnných tělesech, zejména rázová zatížení ($P > 0,1 C$)	Náboje kol s ložisky s čárovým stykem, ojniční ložiska	P7	není posuvný	
Normální až velká zatížení ($P > 0,05 C$)	Náboje kol s ložisky s bodovým stykem, ojniční ložiska, pojezdová kola jeřábů	N7	není posuvný	
Malá a proměnná zatížení ($P \leq 0,05 C$)	Dopravníkové válečky, lanové kladky, napínací kladky	M7	není posuvný	
Neurčitý směr zatížení				
Velká rázová zatížení	Trakční motory	M7	není posuvný	
Normální až velká zatížení ($P > 0,05 C$), posuvnost vnějšího kroužku není nutná	Elektromotory, čerpadla, ložiska klikových hřídel	K7	zpravidla není posuvný	
Přesný nebo tichý chod²⁾				
Ložiska s bodovým stykem	Malé elektromotory	J6 ³⁾	posuvný	
Kuželíková ložiska	Je-li nastaven pomocí vnějšího kroužku	JS5	–	
	Axiálně vodící vnější kroužek	K5	–	
	Obvodové zatížení vnějšího kroužku	M5	–	

¹⁾ Pro kuličková ložiska s $D \leq 100\text{mm}$ je vhodné použít stupeň IT6, tato přesnost je doporučena i pro ložiska s tenkostěnnými kroužky (např. průměrová řada 7,8 a 9). Pro tato ložiska je také doporučená tolerance válcovitosti IT4.
²⁾ Pro přesná ložiska odpovídající přesnosti P5 nebo vyšší platí jiné doporučené hodnoty (→ katalog SKF "High-precision bearings").
³⁾ Pokud je požadována snadná posuvnost, je třeba použít H6 místo J6.

Tabulka 22 Radiální ložiska pro nedělená litinová a ocelová tělesa [2]

Podle Tabulky 22 výše a zjištěných zatížení v bodě 5.5.1.1. volíme výrobu tělesa kladky s vnitřním průměrem 110 mm v toleranci P7.

Pro kontrolu správné volby si ověřujeme, že P7 je přechodné uložení, a to je v souladu s doporučením volby tohoto uložení v bodě 5.5.1.1.

Uložení pro litinová a ocelová tělesa			
Radiální ložiska – dělená nebo nedělená tělesa			
Provozní podmínky	Příklady	Tolerance ¹⁾	Posuvnost vnějšího kroužku
Neurčitý směr zatížení			
Malá až normální zatížení ($P \leq 0,1 C$), požadovaná posuvnost vnějšího kroužku	Středně velké elektrické stroje, čerpadla, ložiska klikových hřídelí	J7	zpravidla je posuvný
Bodové zatížení vnějšího kroužku			
Libovolná velikost zatížení	Všeobecné strojírenství, železniční nápravové skříně	H7 ²⁾	posuvný
Malá až normální zatížení ($P \leq 0,1 C$) u méně náročných uložení	Všeobecné strojírenství,	H8	posuvný
Přívod tepla hřídelí	Sušicí válce, velké elektrické stroje se soudečkovými ložisky	G7 ³⁾	posuvný

¹⁾ Pro kuličková ložiska s $D \leq 100\text{mm}$ je často vhodné použít stupeň IT6. Tato přesnost je doporučena i pro ložiska s tenkostěnnými kroužky (např. průměrová řada 7,8 a 9). Pro tato ložiska je také doporučena tolerance válcovitosti IT4.
²⁾ Pro velká ložiska ($D > 250\text{ mm}$) a teplotní rozdíl mezi vnějším kroužkem a tělesem $> 10\text{ }^\circ\text{C}$, je třeba použít G7 místo H7.
³⁾ Pro velká ložiska ($D > 250\text{ mm}$) a teplotní rozdíl mezi vnějším kroužkem a tělesem $> 10\text{ }^\circ\text{C}$, je třeba použít F7 místo G7.

Tabulka 23 Radiální ložiska – dělená nebo nedělená tělesa pro litinová a ocelová tělesa [2]


Uložení pro litinová a ocelová tělesa		
Axiální ložiska		
Provozní podmínky	Tolerance	Poznámky
Čistě axiální zatížení		
Axiální kuličková ložiska	H8	Pro méně přesná uložení může mít kroužek v tělese radiální vůli až $0,001 D$
Axiální válečková ložiska	H7 (H9)	
Klec s valivými tělesy axiálního válečkového ložiska	H10	
Axiální soudečková ložiska, je-li hřídel radiálně vedená jiným ložiskem	–	Tělesový kroužek musí být uložen radiální vůlí, aby na axiální ložiska nemohlo působit žádné radiální zatížení
Kombinované radiální a axiální zatížení axiálních soudečkových ložisek		
Bodové zatížení hřídelového kroužku	H7	Viz rovněž "Konstrukce souvisejících dílů" v části "Axiální soudečková ložiska" na str. 881
Obvodové zatížení tělesového kroužku	M7	

Tabulka 24 Axiální ložiska pro litinová a ocelová tělesa [2]

Z Tabulky 25 níže zjistíme pravděpodobnou vůli hřídele kladky a vnitřního kroužku ložiska.

z bodu
5.5.2.

z bodu
5.2.

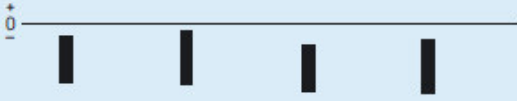


Hřídel Jmenovitý průměr d		Ložisko Tolerance průměru díry Δ_{dmp}		Úchytky průměru hřídele, výsledná uložení Tolerance																													
přes	včetně	min	max	h5 h6 h8 h9 j5																													
				Úchytky (průměr hřídele) Teoretický přesah (+)/vůle (-) Pravděpodobný přesah (+)/vůle (-)																													
mm				μm																													
1	3	-8	0	0	-4	0	-6	0	-14	0	-25	+2	-2	+8	-4	+8	-6	+8	-14	+8	-25	+10	-2	+7	-3	+6	-4	+6	-12	+5	-22	+9	-1
3	6	-8	0	0	-5	0	-8	0	-18	0	-30	+3	-2	+8	-5	+8	-8	+8	-18	+8	-30	+11	-2	+7	-4	+6	-6	+5	-15	+5	-27	+10	-1
6	10	-8	0	0	-6	0	-9	0	-22	0	-36	+4	-2	+8	-6	+8	-9	+8	-22	+8	-36	+12	-2	+6	-4	+6	-7	+5	-19	+5	-33	+10	0
10	18	-8	0	0	-8	0	-11	0	-27	0	-43	+5	-3	+8	-8	+8	-11	+8	-27	+8	-43	+13	-3	+6	-6	+6	-9	+5	-24	+5	-40	+11	-1
18	30	-10	0	0	-9	0	-13	0	-33	0	-52	+5	-4	+10	-9	+10	-13	+10	-33	+10	-52	+15	-4	+8	-7	+7	-10	+6	-29	+6	-48	+13	-2
30	50	-12	0	0	-11	0	-16	0	-39	0	-62	+6	-5	+12	-11	+12	-16	+12	-39	+12	-62	+18	-5	+9	-8	+8	-12	+7	-34	+7	-57	+15	-2
50	80	-15	0	0	-13	0	-19	0	-46	0	-74	+6	-7	+15	-13	+15	-19	+15	-46	+15	-74	+21	-7	+11	-9	+11	-15	+9	-40	+9	-68	+17	-3
80	120	-20	0	0	-15	0	-22	0	-54	0	-87	+6	-9	+20	-15	+20	-22	+20	-54	+20	-87	+26	-9	+15	-10	+14	-16	+12	-46	+12	-79	+21	-4

Tabulka 25 Úchytky průměru hřídele a výsledná uložení [2]

Z Tabulky 26 níže zjistíme pravděpodobný přesah tělesa kladky a vnějšího kroužku ložiska.

z bodu
5.5.2.



Těleso		Ložisko		Úchylky průměru díry tělesa, výsledná uložení																							
Jmenovitý průměr D		Tolerance vnějšího průměru Δ _{Dmp}		Tolerance																							
přes	včetně	max	min	N6		N7		P6		P7																	
				Úchylky (průměr díry tělesa)																							
				Teoretický přesah (+)/vůle (-)																							
				Pravděpodobný přesah (+)/vůle (-)																							
mm		μm		μm																							
6	10	0	-8	-16	-7	-19	-4	-21	-12	-24	-9	+16	-1	+19	-4	+21	+4	+24	+1	+14	+1	+16	-1	+19	+6	+21	+4
10	18	0	-8	-20	-9	-23	-5	-26	-15	-29	-11	+20	+1	+23	-3	+26	+7	+29	+3	+18	+3	+20	0	+24	+9	+26	+6
18	30	0	-9	-24	-11	-28	-7	-31	-18	-31	-14	+24	+2	+28	-2	+31	+9	+31	+5	+21	+5	+25	+1	+28	+12	+32	+8
30	50	0	-11	-28	-12	-33	-8	-37	-21	-42	-17	+28	+1	+33	-3	+37	+10	+42	+6	+25	+4	+29	+1	+34	+13	+38	+10
50	80	0	-13	-33	-14	-39	-9	-45	-26	-51	-21	+33	+1	+39	-4	+45	+13	+51	+8	+29	+5	+34	+1	+41	+17	+46	+13
80	120	0	-15	-38	-16	-45	-10	-52	-30	-59	-24	+38	+1	+45	-5	+52	+15	+59	+9	+33	+6	+40	0	+47	+20	+54	+14
120	150	0	-18	-45	-20	-52	-12	-61	-36	-68	-28	+45	+2	+52	-6	+61	+18	+68	+10	+39	+8	+45	+1	+55	+24	+61	+17

z bodu
5.2.

Tabulka 26 Úchylky průměru díry tělesa a výsledná uložení [2]

5.5.3 Rozměrová a tvarová přesnost úložných ploch

Pro využití současných technických kvalit ložisek je nezbytné navrhnout a dodržet u radiálních ložisek výrobní přesnost válcových ploch hřídelí a otvorů těles, u axiálních ložisek opěrných ploch. (Tabulka 27)

Plocha	Charakteristika	Symbol pro charakteristiku	toleranční pole	Připustné úchytky Ložiska třídy přesnosti ^[1]		
				Normální, CLN	P6	P5
Válcová plocha						
	Tolerance válcovitosti		t ₁	IT5/2	IT4/2	IT3/2
	Celkové radiální házení		t ₃	IT5/2	IT4/2	IT3/2
Rovné opěrné plochy						
	Kolmost		t ₂	IT5	IT4	IT3
	Celkové axiální házení		t ₄	IT5	IT4	IT3
Vysvětlivka						
Pro normální požadavky						
Pro zvláštní požadavky kladené na přesnost chodu či opěrnou plochu						

Tabulka 27 Tolerance tvaru a polohy dosedacích ploch na hřídeli a v tělese [2]

Hodnota geometrické tolerance se vypočítá pro konstrukční návrhy:

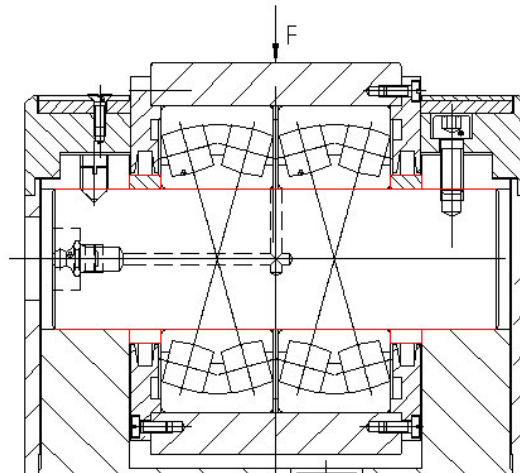
- **bez požadavku na přesnost** → z hodnoty o jeden stupeň přesnějšího tolerančního stupně pro daný rozměr
- **s požadavkem na normální přesnost** → z hodnoty o dva stupně přesnějšího tolerančního stupně pro daný rozměr
- **s požadavkem na vysokou přesnost** → z hodnoty o tři stupně přesnějšího tolerančního stupně pro daný rozměr

Hodnoty tolerančních stupňů pro daný rozměr jsou v Tabulce 31 (strana 38).

V našem návrhu opěrné kladky budeme volit válcovitost hřídele.

Dále zvolíme kolmost a válcovitost distančních kroužků, protože jejich část je zároveň opěrnou plochou ložiska, tudíž jejich geometrie bude ovlivňovat chod ložiska. Stykové plochy, na kterých budeme pro výrobu volit tolerance, jsou vyznačené červeně. (Obrázek 28)

Toleranci celkového radiálního a axiálního házení nebudeme v tomto případě volit. Tvarovou vhodnost v našem případě jednotné válcové plochy pro obě ložiska zajistí již zvolená geometrická tolerance válcovitosti.



Obrázek 28 Uložení soudečkových ložisek na hřídeli navrhované opěrné kladky

5.5.3.1 Úložné a opěrné plochy pro válcové čepy

Pro uložení kladky v soudečkových ložiskách, které jsou obvykle vyráběny s normální přesností rozměrů, se volí přípustné úchytky v tolerančním stupni IT4/2 případně IT4 pro hřídel i těleso.

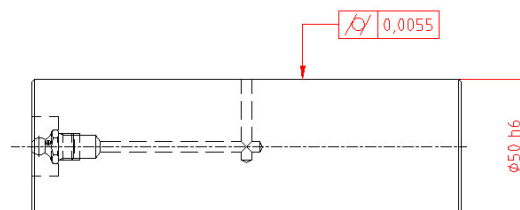
U kladek obvykle nejsou vysoké požadavky na přesnost chodu či opěrnou plochu. V takovém případě není u daného uložení přesnost důležitá, pak můžeme volit toleranční stupeň i o stupeň vyšší (v příkladu IT5/2 případně IT5).

Případné další zvětšení tolerančního stupně však může mít za následek zhoršení provozu ložiska a následně zvýšení vibrací, teploty ložiska apod. Rovněž při volbě vhodného tolerančního stupně je vhodné zvážit provozní podmínky a požadavek na ložisko. Např. při malých otáčkách nebude mít "horší" toleranční stupeň tak velký dopad na provoz ložiska jako u vyšších otáček.

Válcová plocha hřídele:

⌀ **Válcovitost 50h6 → IT5/2**

$$t_1 = \frac{IT5}{2} = \frac{11}{2} = 5,5 \mu\text{m}$$



Obrázek 29 Tolerance hřídele kladky

↗↖ **Celkové radiální házení**

→ **pro jednotnou válcovou plochu**
dáno tolerancí válcovitosti

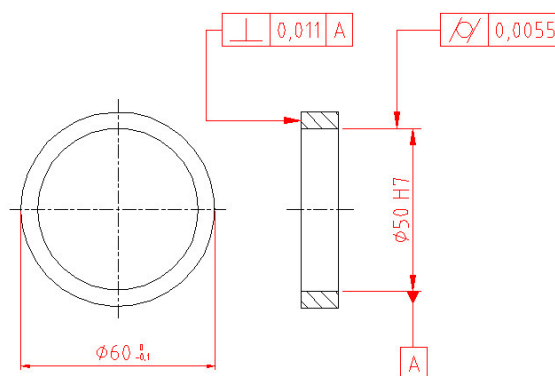
Rovné opěrné plochy distančních kroužků:

\perp **Kolmost 50H7 → IT5**

$$t_2 = IT5 = 11 \mu\text{m}$$

⌀ **Válcovitost 50H7 → IT5/2**

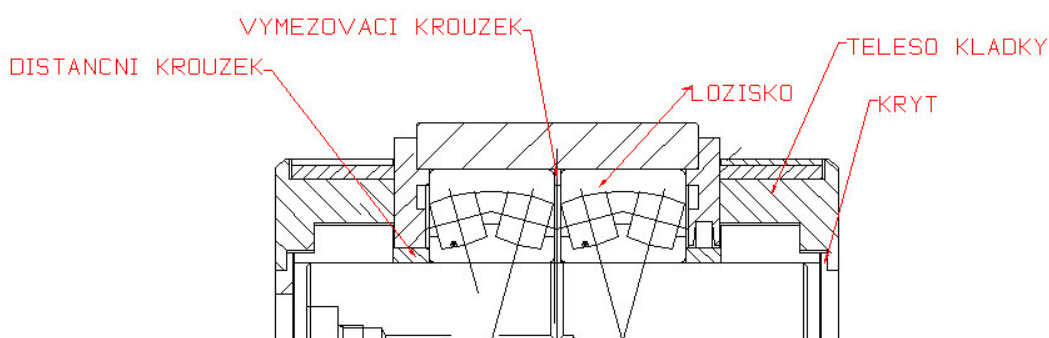
$$t_3 = \frac{IT5}{2} = \frac{11}{2} = 5,5 \mu\text{m}$$



Obrázek 30 Tolerance distančního kroužku kladky

↗↖ **Celkové axiální házení**

→ **pro jednotnou válcovou plochu**
dáno tolerancí kolmosti



Obrázek 31 Popis dílů opěrné kladky

V této fázi návrhu potřebujeme vypočítat také toleranci šířky distančního kroužku. Tu vypočítáme pomocí tolerančního řetězce. Do výpočtu zahrneme šířky a šířkové tolerance krytu kladky, tělesa kladky, ložisek a vymezovacího kroužku (Obrázek 31). Tato část v návrhu je obecná, proto není v manuálu podrobně dále popsána. Postup řešení tolerančního řetězce je popsán v řadě publikací, jeden z on-line dostupných postupů naleznete např. zde:

<http://slideplayer.cz/slide/3326921/>

Hodnoty tolerančních stupňů pro jednotlivé hodnoty průměru zjistíme z Tabulky 32:

Jmenovitý rozměr		Toleranční stupně											
přes	včetně	IT1 max	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12
mm		μm											
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	1	1,5	2,5	4	6	8	12	18	30	48	75	120
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	—	—	—	—	32	44	70	110	175	280	440	700
630	800	—	—	—	—	36	50	80	125	200	320	500	800
800	1 000	—	—	—	—	40	56	90	140	230	360	560	900
1 000	1 250	—	—	—	—	47	66	105	165	260	420	660	1050
1 250	1 600	—	—	—	—	55	78	125	195	310	500	780	1250
1 600	2 000	—	—	—	—	65	92	150	230	370	600	920	1 500
2 000	2 500	—	—	—	—	78	110	175	280	440	700	1 100	1 750

Tabulka 32 Rozměrové toleranční stupně podle ISO [2]

5.5.3.2 Úložné a opěrné plochy v případech kuželového čepu

V případech, kdy je ložisko namontováno přímo na kuželový čep, je doporučeno určit tolerance takto:

pro příklad průměru d_{js9} (Obrázek 33)

\sphericalangle tolerance sklonu

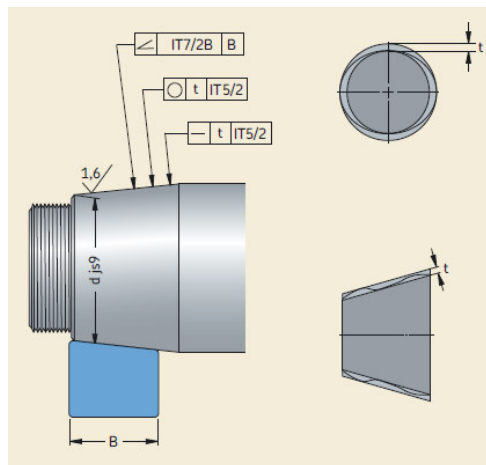
- $t_1 = \frac{IT7}{2B}$, kde B je šířka ložiska

○ tolerance kruhovitosti

a

— tolerance přímosti

- o 1 až 2 stupně lepší přesnost než předepsaná rozměrová a neměla by překročit hodnotu $IT5$



Obrázek 33 Příklad tolerance kuželového čepu [2]

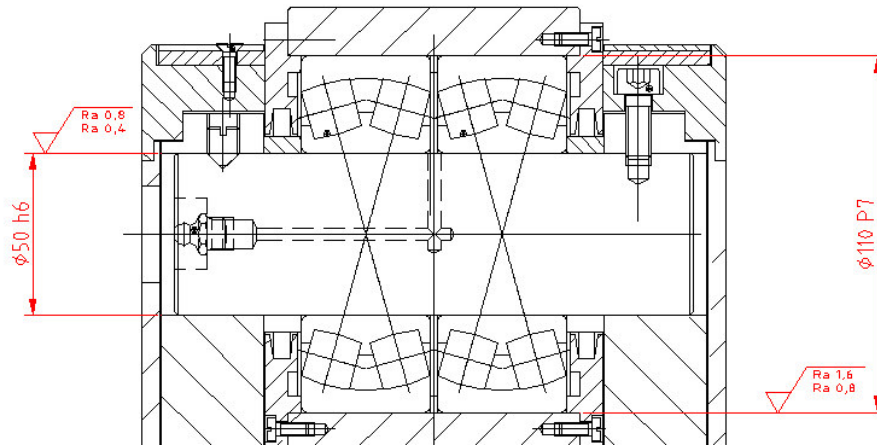
5.5.4 Drsnost úložných ploch souvisejících dílů

Je nutno podotknout, že drsnost úložných ploch souvisejících dílů tolik neovlivňuje chod ložiska jako geometrické a rozměrové tolerance řešené v předchozích bodech.

Rozměr $d (D)^{1)}$	Doporučená hodnota R_a pro broušené plochy		Tolerance průměru podle		
	přes	včetně	IT7	IT6	IT5
mm	μm				
z bodu 5.5.2.	-	80	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)
	80	500	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)
	500	1 250	3,2 (N8) ²⁾	1,6 (N7)	1,6 (N7)

Tabulka 34 Doporučené hodnoty povrchové drsnosti stykových ploch [2]

Z doporučených hodnot Tabulky 34 dle rozměrů průměrů z předchozích voleb navrhne výrobu drsnost válcové plochy hřídele Ra 0,8 a drsnost vnitřní válcové plochy tělesa Ra 1,6.



Obrázek 35 Zvolené drsnosti v návrhu opěrné kladky

5.6 Axiální zajištění ložisek

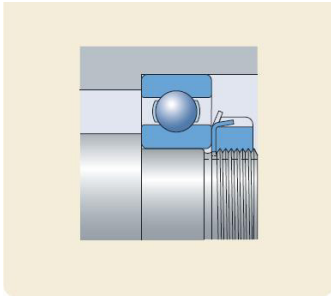
Při axiálním zajištění ložisek je nutno v případě:

- axiálně vodícího ložiska zajistit oba kroužky,
- axiálně volného nerozebíratelného ložiska zajistit jen pevně uložený kroužek – obvykle vnitřní,
- axiálně volného rozebíratelného ložiska zajistit na volné straně oba kroužky,
- souměrného uspořádání ložisek zajistit axiálně každý kroužek jen z jedné strany.

5.6.1 Axiální zajištění ložisek s válcovou dírou

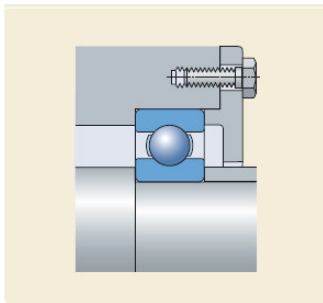
Některé varianty konstrukčního řešení:

- zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí (Obrázek 36),



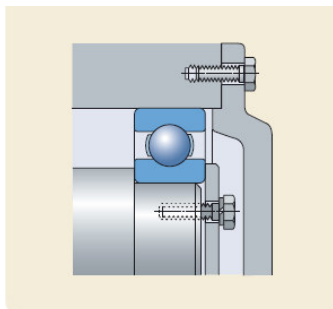
Obrázek 36 Zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí [2]

- zajištění vnějšího kroužku víkem ložiskového tělesa (Obrázek 37),



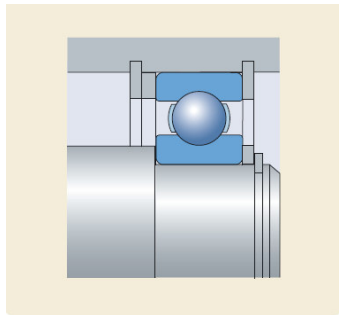
Obrázek 37 Zajištění vnějšího kroužku víkem tělesa [2]

- zajištění vnitřního kroužku koncovou deskou (Obrázek 38),



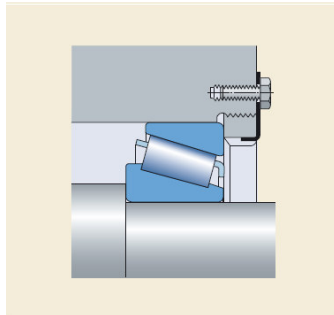
Obrázek 38 Zajištění vnitřního kroužku koncovou deskou [2]

- zajištění rozpěrným kroužkem, výhodným z důvodu úspory místa (Obrázek 39),



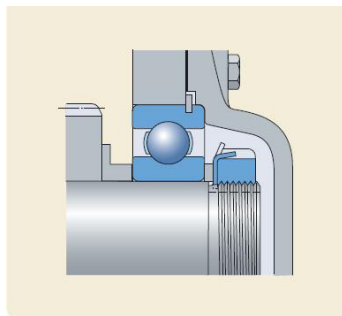
Obrázek 39 Zajištění rozpěrným kroužkem [2]

- zajištění vnějšího kroužku kroužkem se závitem (Obrázek 40),



Obrázek 40 Zajištění vnějšího kroužku kroužkem se závitem [2]

- distanční kroužek mezi ložiskový kroužek a související díl (Obrázek 41).



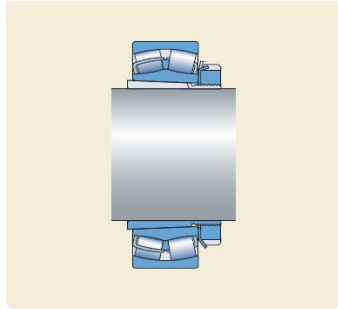
Obrázek 41 Distanční kroužek mezi ložiskový kroužek a související díl [2]

V našem případě (Obrázek 31) axiálně vodící sestavy zajistíme obě ložiska distančními kroužky podle Obrázku 41.

5.6.2 Axiální zajištění ložisek v případech kuželové díry

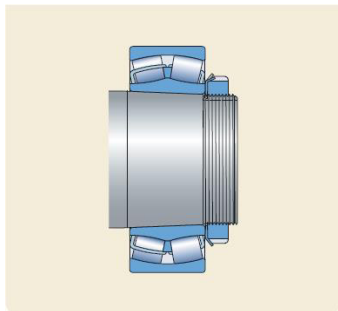
Varianty konstrukčního řešení:

- pozice upínacího pouzdra vymezena distančním kroužkem a ložiskem zajištěným koncovou maticí (Obrázek 42),



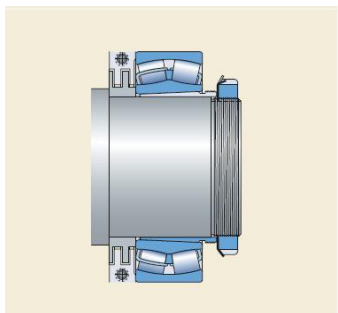
Obrázek 42 Pozice upínacího pouzdra vymezena distančním [2]

- zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí našroubovanou na hřídel (Obrázek 43),



Obrázek 43 Zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí [2]

- stahovací pouzdro, zajištěno deskou nebo maticí a vnitřní kroužek zajištěn rozpěrným kroužkem (Obrázek 44).



Obrázek 44 Stahovací pouzdro, zajištěno deskou nebo maticí [2]

5.6.3 Připojovací rozměry souvisejících dílů

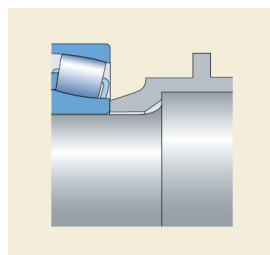
Je nutno zvolit vhodné osazení na hřídeli a v tělese pro zajištění funkčního opření ložisek. Tabulka uvádí doporučené volby zápichů. (Tabulka 45)

Rozměry zápichů		Rozměry zápichů		
r_s	Rozměr zaoblení ložiska	b_a	h_a	r_c
		mm		
1	2	0,2	1,3	
1,1	2,4	0,3	1,5	
1,5	3,2	0,4	2	
2	4	0,5	2,5	
2,1	4	0,5	2,5	
3	4,7	0,5	3	
4	5,9	0,5	4	
5	7,4	0,6	5	
6	8,6	0,6	6	
7,5	10	0,6	7	
9,5	12	0,6	9	

Tabulka 45 Rozměry zápichů [2]

V návrhu opěrné kladky nevolíme zápichy. Ložiska nejsou vkládána do jednoho tělesa. Správná poloha kroužků ložisek je zajištěna vymešovými kroužky a sešroubováním více souvisejících dílů.

V případech velmi namáhané hřídele, tzn. velkého poloměru zaoblení, je potřeba v konstrukci navrhnout rozpěrné pouzdro. Jeho úkos je nutno volit tak, aby se přechodu nedotýkalo. (Obrázek 46)



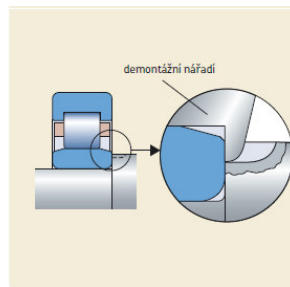
Obrázek 46 Rozpěrné pouzdro [2]

5.7 Konstrukce souvisejících dílů

Při návrhu ložisek je nutno zajistit co nejsnadnější montáž a demontáž.

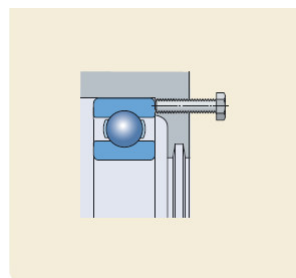
Některé varianty konstrukčního řešení:

- v osazení tělesa či hřídele je možné navrhnout drážky pro použití demontážních nástrojů (Obrázek 47),



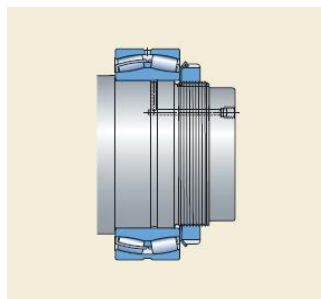
Obrázek 47 Detail drážky
v kroužku ložiska [2]

- v osazení tělesa je možné použít šrouby pro vylisování ložiska (Obrázek 48),



Obrázek 48 Šroub v tělese [2]

- při použití metody tlakového oleje (kuželový čep) je pro demontáž vhodné navrhnout přiváděcí kanálky a rozváděcí drážky (Obrázek 49).

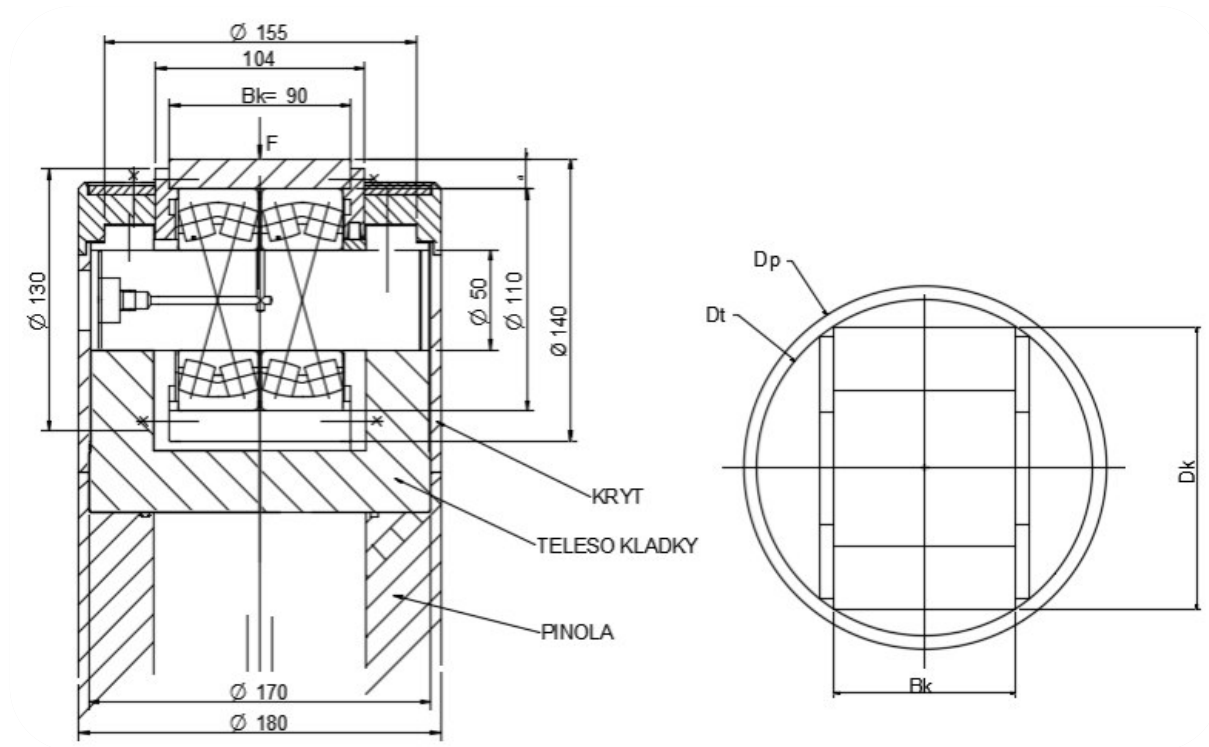


Obrázek 49 Přiváděcí kanálek [2]

Pro ložiska opěrné kladky nemusíme dále přizpůsobovat konstrukci. Snadnou montáž a demontáž nám zajistí to, že těleso není z jednoho dílu. Je sešroubováno, a tudíž je možné jej snadno montovat i demontovat bez poškození ložiska nebo souvisejících dílů.

5.8 Konstrukční návrh – výkres sestavy, výrobní výkresy

Po volbě ložisek, všech podstatných rozměrů a tvarů souvisejících dílů můžeme navrhnout funkční, smontovatelné a ekonomicky výhodně vyrobitelné uložení opěrné kladky. (Obrázek 50)



Obrázek 50 Náhled výkresu sestavení opěrné kladky

6 Příklady chybných konstrukčních návrhů vedoucích k poškození ložisek

Následující praktické příklady chybných konstrukčních návrhů vedoucích k poškození ložisek mohou sloužit jako studijní materiál. Každý názorný příklad selhání ložiska obsahuje stručný a přehledný výstup - projev → příčina → opatření, dále fotografie a podrobný popis poškození.

Tento přehled nabízí více možností užití:

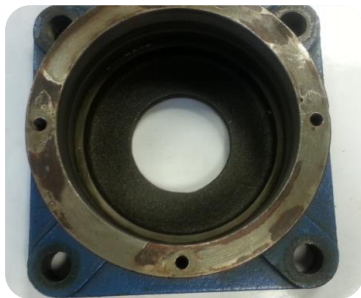
- preventivní pomůcka konstruktéra pro předcházení chybným návrhům ložisek a souvisejících dílů,
- návod při hledání nápravy po selhání ložiska → dle konkrétní příčiny lze určit projev a následné opatření.

Příklady poškození ložisek jsou pro snadnější orientaci rozděleny do typů následovně:

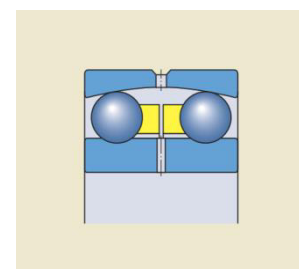
- **opotřebení**
- **koroze**
- **prokluzování**
- **vtisky**

6.1 Opotřebení

Projev	Příčina	Opatření
Vybroušená drážka v tělese, v místě oběžné dráhy valivých těles.	Zvoleno uložení s vůlí pro zatížení s působením vibrací. Vnější kroužek se pak v tělese pohybuje.	Zvolit uložení s dostatečným přesahem pro zajištění vnějšího kroužku a správného přenosu zatížení.



Rotační hřídel bubny pračky konstruktér navrhl uložit do dvouřadého kuličkového radiálního ložiska. Vnější kroužek ložiska s ohledem na bodové zatížení uložil do tělesa s vůlí v toleranci H8. Ovšem při přechodu režimu pračky z praní na ždímání se bodové zatížení změnilo na vibrační. Hřídel v tomto režimu přenášela vibrace, které v ložisku způsobily rotující nevyváhu. Setrvačné síly **volným** vnějším kroužkem házely tak, že během 3 týdnů kroužek vybrousil v tělese drážku o hloubce cca 1mm, tj. vnitřní průměr tělesa pro uložení ložiska se zvětšil cca o 2mm a **osa hřídele** bubny pračky **se znatelně vychýlila**. Na snímcích výše jsou viditelné dvě obvodové sousledné drážky vybroušené v tělese. Jde o autentický profil vnějšího kroužku dvouřadého kuličkového ložiska včetně jeho drážky pro mazání.

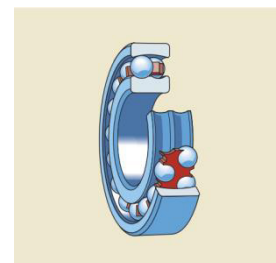


Obrázek 51 Dvouřadé kuličkové radiální ložisko [2]

Projev	Příčina	Opatření
Obroušené dělicí přepážky vodící klece. Deformované valivé elementy.	Stopa dráhy valivých elementů je přesunuta na okraj oběžné dráhy. Postupně dojde k přebroušení dělicí přepážky, zaválcování materiálu do oběžných hran, zhavarování.	Zvolit ložisko s dostatečnou axiální únosností.



Stopa dráhy valivých elementů je na okraji oběžné dráhy. Těleso ve kterém je ložisko uloženo, je rozválcováno do ostré hrany. Rozdělující přepážky klece jsou zbroušené a zdeformované jsou valivé elementy. Toto poškození způsobilo **překročení axiální únosnosti** ložiska. K nežádoucímu způsobu kontaktu mezi vodící klecí a valivými elementy dojde z důvodu axiálního přetížení. Za provozu pak elementy **obrušují** dělicí přepážky vodící klece. Obroušený materiál z klece je zaválcován do oběžných drah. V určitém čase provozování se přebrousí rozdělující přepážky a ložisko zhavaruje.



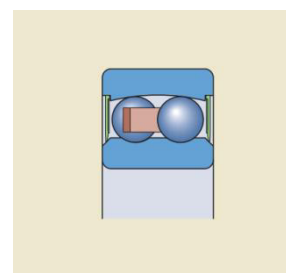
Obrázek 52 Naklápěcí
kuličkové ložisko [2]

6.2 Koroze

Projev	Příčina	Opatření
Lokální koroze na povrchu vnějšího nebo vnitřního kroužku.	Deformace stykových ploch, nevhodná elipsoidní oběžná dráha valivých tělísek.	Zpřesnit geometrické tvary hřídele nebo otvoru tělesa, tj. souvisejících dílů.



Do náboje kola automobilu navrhl konstruktér dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem společně s tělesem, ve kterém bylo ložisko uloženo s přesahem. Při provozu se zdatně zkrátila životnost ložiska. Po přezkoumání byly na povrchu objeveny rozsáhlé stykové koroze. Z důvodu **nedostatečné geometrické válcovitosti** byl vnější kroužek ložiska do tělesa nalisován tak, že dvě protilehlé stěny ložiska byly k sobě příliš přitlačeny a **deformace obvodu uložení** změnila oběžnou dráhu valivých tělísek z kruhové na elipsoidní. Důsledkem je velice zkrácená životnost ložiska nerovnoměrným opotřebením valivých tělísek a pravděpodobné poškození klece.

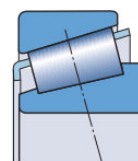


Obrázek 53 Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem [2]

Projev	Příčina	Opatření
Rozsáhlá koroze na vnitřním povrchu vnějšího kroužku.	Neúčinné nebo poškozené těsnění.	Výměna za vhodnější těsnění. Změna řešení uskládání těsnění a souvisejících dílů.



Z kola vozidla Ford Ka bylo z důvodu přílišného hluku demontováno kuželíkové ložisko. Na oběžné dráze vnějšího i vnitřního kroužku jsou **korozní vtisky**. Do míst oběžných drah ložiska **vnikla kapalina**. Znehodnotila mazivo a porušila povrch oběžných drah a valivých elementů korozí. Kapalina mohla vniknout do ložiska skrze poškozené nebo neúčinné těsnění.



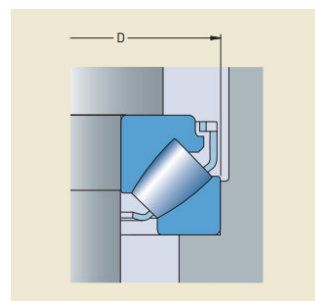
Obrázek 54 Jednořadé kuželíkové ložisko [2]

6.3 Prokluzování

Projev	Příčina	Opatření
Zbarvení valivého elementu po obvodu jedné strany.	Deformace tělesového kroužku ložiska.	Zajistit dostatečné podepření tělesového kroužku ložiska.



Konstruktor **nepodepřel v dostatečné ploše** tělesový kroužek axiálního soudečkového ložiska. Následkem došlo k pružné deformaci a propadu vnitřní kruhové části tělesového kroužku. V chodu ložiska nastal trvalý stav nerovnoměrného zatížení valivých elementů. Soudečky se na jedné své straně nedotýkaly, prokluzovaly a vůbec se netřely o kroužky, naopak na druhé straně se **odvalovaly v příliš silném sevření za velkého tření a zvýšené teploty**. Na snímcích výše lze rozpoznat dle zbarvení valivého elementu místo přehřívání a neúměrného opotřebení: modrý pruh na kraji ocelového soudečku.



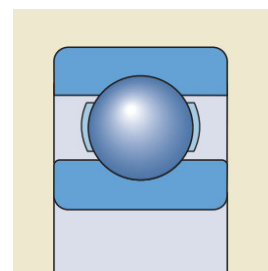
Obrázek 55 Axiální soudečkové ložisko [2]

6.4 Vtisky

Projev	Příčina	Opatření
Vtisky na oběžné dráze a odlupování. Rozsáhlá koroze na povrchu.	Nedostatečná povrchová úprava nebo nepřesnost tvaru souvisejícího dílu.	Kontrola geometrických úprav tvaru a technologických úprav povrchu (v návrhu či výrobě).



Vnější povrch vnějšího kroužku ložiska vykazuje vážnou stykovou korozi. Ta je způsobena nevyhovujícím tvarem a povrchem souvisejícího dílu. Vtisk v pokročilém stádiu odlupování poškozuje oběžnou dráhu.



Obrázek 56 Jednořadé kuličkové ložisko [2]

7 Závěr

V práci jsou popsány základní funkce, vývoj a potřeby valivých ložisek. Z narůstajících požadavků na valivá ložiska a přímého vzájemného ovlivňování se souvisejícími díly, je patrná rovnoměrná důležitost při výběru a návrhu konstrukce souvisejících dílů.

Bakalářská práce předkládá zjištění o moderních trendech a materiálech využívaných pro komponenty ložisek, jakož i hodnocení jejich vlastností. Seznámení se s nimi je nezbytným předpokladem vhodného konstrukčního řešení. Tento krátký průzkum před započítím samotného návrhu dovolí konstruktérovi vytvořit efektivní, rozvojové a zákazníkem žádané uložení. Práce dále popisuje aktuální nabídky jednotlivých ložisek konkrétních výrobců a také směr a základní tendence vývoje trhu ložisek.

V druhé části bakalářské práce je vytvořen manuál, který obsahuje kompletní návod sestavený v pořadí pro správný konstrukční návrh uložení. Nabízí konstruktérovi rozšířené volby souvisejících dílů, reflektuje technický vývoj v oblasti ložisek a podporuje konstruktéra k efektivnímu návrhu. Pro jednoznačné pochopení problematiky a snadnou aplikaci je celý návod v jednotlivých částech doprovázen jedním praktickým příkladem. Podrobnější zaměření je pak soustředěno na volbu geometrických tolerancí, kterou považují za jednu z nejkomplicovanější částí. Pro případnou možnost využití vytvořeného manuálu studenty je tento zpracován také v elektronické podobě. Tato přehledná prezentace může při aktuální neexistenci srozumitelného přehledu postupů volby uložení představovat vhodný zdroj informací vedoucí ke zlepšení a vyšší efektivitě při volbě uložení.

V poslední části bakalářské práce jsou uvedeny příklady selhání ložisek se stručným a přehledným výstupem - projev, příčina a opatření proti poškození či zhavarování ložisek. Také tato část je zpracována do elektronické prezentace. Představuje pro konstruktéra preventivní pomůcku pro předcházení chybným návrhům ložisek a souvisejících dílů, případně návod pro hledání nápravy při selhání ložiska.

Obě elektronické prezentace jsou k bakalářské práci přiloženy na datovém nosiči (CD) a volně použitelné pro pedagogické využití, aby byly přínosem pro studenty konstrukce strojů.

Seznam použité literatury

- [1] VASLKO, K. *Valivé ložiska*. Bratislava: ALFA, 1988.
- [2] SKF CZ. *Hlavní katalog ložisek SKF 6000 CS*. 2007.
- [3] ZKL GROUP. *Valivá ložiska ZKL 3/13/CZ*. Brno: IDEAL, 2013.
- [4] HOSNEDL, S. aj. *Příručka strojního inženýra* [online]. 2015 [cit. 2015-02-18] http://old-kks.zcu.cz/pro-studenty-KKS/Studijni_podklady/PRIRUCKA/CADIS2/MDOC/C/C2/C2_1/frame3.htm
- [5] KNOTEK, J. *Valivá ložiska v konstrukci čtyřdobých spalovacích motorů* [online]. 2015 [cit. 2015-02-18] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40591
- [6] SKF. *Hybridní ložiska* [online]. 2015 [cit. 2015-02-20] <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/engineered-products/hybrid-bearings/hybrid-deep-groove-ball-bearings/index.html>
- [7] SKF. *Polymerová ložiska* [online]. 2015 [cit. 2015-02-20] <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/engineered-products/polymer-ball-bearings/index.htm>
- [8] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Mazání plastickými mazivem* [online]. 2015 [cit. 2015-05-13] <http://www.mmspektrum.com/clanek/mazani-plastickym-mazivem-a-trvala-udrzitelnost.html>
- [9] SKF. *Ložiska: produkty* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/engineered-products/insocoat-bearings/index.html>
- [10] SKF. *Průmyslová řešení* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18] <http://www.skf.com/cz/industry-solutions/pulp-paper/reference-cases/skf-nowear-bearings.html>
- [11] SKF. *Průmyslová řešení* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. http://www.skf.com/cz/industry-solutions/metals/Processes/downstream/cranes/skf-solid-oil.html?WT.oss=Solid%20Oil%20&WT.z_oss_boost=0&tabname=V%C5%A1e&WT.z_oss_rank=1
- [12] TECHNIK. *Vyšší účinnost díky zvýšené výkonosti a nižšímu tření*. ISSN 1210-616X. Roč. 22, č.7, 2014.
- [13] AGGREGATES MANAGER. *Hladká přeprava kameniva* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. <http://www.aggman.com/smooth-moves/>
- [14] MOTOFOCUS. *Upínací ložiska a ložiskové jednotky* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18] <http://www.motofocus.sk/novinky/3531,upinaci-loziska-a-loziskove-jednotky-ina-jsou-nyne-dostupne-v-kvalite-x-life>

[15] FRÖHLICH, J. *Valivá ložiska*. Praha: ZVL a SNTL, 1980.

[16] Exvalos. *Volba typu ložiska* [online]. 2015 [cit. 2015-06-09]. http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_00_02_Volba%20typu%20loziska.pdf

[17] SLIDPLAYER. *Tolerance a úchytky v rozměrových obvodech* [online]. 2015 [cit. 2015-06-09]. <http://slideplayer.cz/slide/3326921/>

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 Rozdělení valivých ložisek dle úhlu styku valivých těles [4]	11
Obrázek 2 Hybridní jednořadé kuličkové ložisko [6]	13
Obrázek 3 Polymerové jednořadé kuličkové ložisko [7].....	13
Obrázek 4 Ložiska INSOCOAT [9]	14
Obrázek 5 Ložisko NoWear [10]	14
Obrázek 6 Ložisko Solid Oil [11]	15
Obrázek 7 Ložisko Molded-oil [13]	15
Obrázek 8 Geometrie kontaktních ploch ložiska X-life [14].....	16
Obrázek 9 Proces mazání plastickým mazivem [8]	17
Obrázek 10 Rozměrový plán ISO [2]	18
Obrázek 11 Příklad uspořádání s axiálně vodícím ložiskem a axiálně volným ložiskem [2] ..	23
Obrázek 12 Příklad souměrného uspořádání ložisek [2]	24
Obrázek 13 Příklad „plovoucího“ uspořádání ložisek [2]	24
Tabulka 14 Způsob otáčení a zatížení [2]	25
Obrázek 15 Vliv teploty na vůli ložiska [2].....	26
Obrázek 18 S distančním kroužkem [2]	27
Obrázek 16 S pojistnou maticí [2].....	27
Obrázek 17 Hřídel bez osazení [2]	27
Obrázek 19 Nejčastější toleranční pole [2].....	28
Tabulka 20 Radiální ložiska s válcovou dírou pro plné ocelové hřídele [2]	29
Tabulka 21 Axiální ložiska pro plné ocelové hřídele [2]	30
Tabulka 22 Radiální ložiska pro nedělená litinová a ocelová tělesa [2]	30
Tabulka 23 Radiální ložiska – dělená nebo nedělená tělesa pro litinová a ocelová tělesa [2] .	31
Tabulka 24 Axiální ložiska pro litinová a ocelová tělesa [2].....	31

Tabulka 25 Úchyly průměru hřídele a výsledná uložení [2].....	32
Tabulka 26 Úchyly průměru díry tělesa a výsledná uložení [2]	33
Tabulka 27 Tolerance tvaru a polohy dosedacích ploch na hřídeli a v tělese [2]	34
Obrázek 28 Uložení soudečkových ložisek na hřídeli navrhované opěrné kladky.....	35
Obrázek 29 Tolerance hřídele kladky.....	36
Obrázek 30 Tolerance distančního kroužku kladky	36
Obrázek 31 Popis dílů opěrné kladky.....	37
Tabulka 32 Rozměrové toleranční stupně podle ISO [2]	37
Obrázek 33 Příklad tolerance kuželového čepu [2].....	38
Tabulka 34 Doporučené hodnoty povrchové drsnosti stykových ploch [2]	38
Obrázek 35 Zvolené drsnosti v návrhu opěrné kladky	39
Obrázek 36 Zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí [2].....	40
Obrázek 37 Zajištění vnějšího kroužku víkem tělesa [2]	40
Obrázek 38 Zajištění vnitřního kroužku koncovou deskou [2].....	40
Obrázek 39 Zajištění rozpěrným kroužkem [2]	41
Obrázek 40 Zajištění vnějšího kroužku kroužkem se závitem [2]	41
Obrázek 41 Distanční kroužek mezi ložiskový kroužek a související díl [2].....	41
Obrázek 42 Pozice upínacího pouzdra vymezena distančním [2].....	42
Obrázek 43 Zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí [2].....	42
Obrázek 44 Stahovací pouzdro, zajištěno deskou nebo maticí [2]	42
Tabulka 45 Rozměry zápichů [2]	43
Obrázek 46 Rozpěrné pouzdro [2]	43
Obrázek 47 Detail drážky v kroužku ložiska [2].....	44
Obrázek 48 Šroub v tělese [2].....	44
Obrázek 49 Příváděcí kanálek [2]	44
Obrázek 50 Náhled výkresu sestavení opěrné kladky	45
Obrázek 51 Dvouřadé kuličkové radiální ložisko [2].....	47
Obrázek 52 Naklápěcí kuličkové ložisko [2]	48
Obrázek 53 Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem [2].....	49
Obrázek 54 Jednořadé kuželíkové ložisko [2]	50
Obrázek 55 Axiální soudečkové ložisko [2].....	51
Obrázek 56 Jednořadé kuličkové ložisko [2].....	52

Seznam příloh

PŘÍLOHA č. 1 MANUÁL pro volbu valivých ložisek a návrh souvisejících součástí

PŘÍLOHA č. 2 Příklady CHYBNÝCH konstrukčních návrhů vedoucích k poškození ložiska

Použitý software

Microsoft Office Word 2013

Microsoft Office Excel 2013

Microsoft Office PowerPoint 2013

Autodesk AutoCad LT 2015

BricsCAD V15

Adobe Acrobat Pro

PŘÍLOHA č. 1

MANUÁL pro volbu valivých ložisek a návrh souvisejících součástí

MANUÁL pro volbu valivých ložisek a návrh souvisejících součástí



Semestrální projekt B
KKS / SPB
Fakulta strojní

Jiří Ešner

15.6.2015

Manuál obsahuje na tomto tmavším pozadí **teoretické podklady** seskupené v pořadí pro správný konstrukční návrh uložení. Nabízí konstruktérovi rozšířené volby souvisejících součástí reflektující technický vývoj v oblasti ložisek.

*Na světlém pozadí, kurzivou, je teoretický návod doprovázen **praktickým konstrukčním návrhem** s řešením krok po kroku.*

Zadání: Navrhněte kladku opěry pro požadované parametry.

Průměr kladky:		140 mm		Mazání: tukem	
Zatěžovací stavy:					
Stav	Zatížení kladky	Obvod. rychlost kladky	Otáčky kladky	Poměrná doba běhu	Celková doba běhu
	kN	m/min	1/min		hod
1	100	50	113,7	0,3	4000
2	50	100	227,5	0,5	
3	10	100	227,5	0,2	

3	10	100	227,5	0,2	4000
---	----	-----	-------	-----	------

Matematika: Pokud v zadání zjistíme, že hodnota zatížení či jakýkoliv jiný parametr je požadován pro více než jeden stav, musíme si dopočítat střední hodnoty parametrů.

Rovnice pro výpočet střední hodnoty z parametru X

$$x_m = \sum_1^n q_i \cdot x_i$$

Střední otáčky

$$n_m = \sum_1^3 q_i \cdot n_i = 113,7 \cdot 0,3 + 227,5 \cdot 0,5 + 227,5 \cdot 0,2 = 193,4 \text{ ot/min}$$

Střední radiální zatížení

$$Fr_m = \sum_1^3 q_i \cdot Fr_i = 110 \cdot 0,3 + 50 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,2 = 57 \text{ kN}$$

1. Volba typu ložiska

Volbu určují:

- Prostorové nároky
- Zatížení - velikost, směr
- Nesouosost
- Přesnost
- Otáčky
- Požadavky na tichý chod
- Tuhost → předpětí → vnitřní vůle
- Axiální posuvnost → uspořádání ložisek
- Montáž a demontáž - ložiska s válcovou nebo s kuželovou dírou

1. Volba typu ložiska kladky

- *Zatížení:* obvodové, čistě radiální
- *Otáčky:* nízké
- *Tichý chod:* nepožadován
- *Tření:* mazání tukem → nízké
- *Vyrovnání nesouososti:* nezbytné

→ **volíme soudečková ložiska dle Matrix**

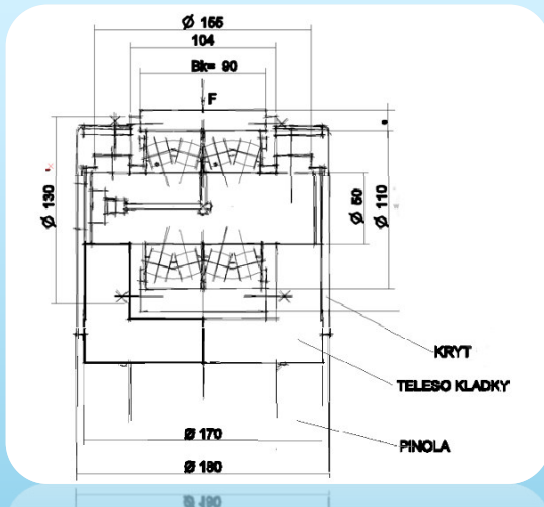
Pro výběr typu ložiska je vhodný MATRIX v katalogu SKF.

http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_00_02_Volba%20typu%20loziska.pdf

<p>Matice může poskytnout pouze výše uvedené informace, a proto v každém jednotlivém případě je nutné provést kvalifikační výběr na základě informací uvedených na předcházející stránkách vzhledem podle vzájemnosti ch velikostí, typu, lepší se vyžadují příložní ložiska.</p> <p>Použití symbolů * * - nejvyšší + + - dobré * - uspokojivé - - - špatné - - - nevhodné + - jevhodnější * - dostatečné</p>	Typy ložisek - konstrukce a charakteristika				Charakteristika Vlastnosti ložisek pro																
	Konstrukce	kuličky a válečkové drážky	válečky	válečky a kuličky	válečky a kuličky	otáčivá vnitřní část	otáčivá vnější část	kombinované otáčení	momentová zatížení	vysoce rychlosti	vysoký provozní tlak	vysoká tuhost	krátká doba	nízká teplota	vysoká teplota provozu	vysoká odolnost proti rázným zatížením	nízká odolnost	nízká tuhost	nízká rychlost	nízká teplota	
Kuličkové ložisko Kuličkové ložisko s konostřihým systémem, jednoradi párování jednoradi, drážkami se čtyřdrážkovým systémem			a			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Náklonová kuličková ložiska					+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Válečková ložiska, v kletci s plošným pažem vlnkových vln, jednoradi s plošným pažem vlnkových vln, dvouřad				a	b	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Jehlová ložiska, s osedacími kroužky jehlové, klasická/lehová pozadní kombinovaná ložiska			a			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Kuličkové ložisko, jednoradi párování, jednoradi						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Souděškové ložisko						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Toroidní ložisko CARB, s kletci s plošným pažem vlnkových vln						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Axální kuličková ložiska s kuličným tělesem						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Axální jehlová ložiska Axální válečková ložiska Axální souděškové ložisko						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

2. Konstruční návrh

2. Konstruční návrh kladky - skica



3. Určení velikosti ložiska

- Pro dynamické zatížení ložiska → 3.1. Volba velikosti ložiska pomocí rovnice trvanlivosti
- Pro statické zatížení ložiska ($n < 10 \text{ min}^{-1}$) → 3.1. Volba velikosti ložiska podle statické únosnosti

3. Určení velikosti ložiska kladky

→ **volíme ložisko 22310 E** z katalogu SKF/z typů soudečkových/
podle hlavních rozměrů, přípustných otáček a únosnosti

3.1. Kontrolní výpočet trvanlivosti pro dynamické zatížení

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

C=220 kN Základní dynamická únosnost ... z katalogu pro ložisko 22310 E
P=? Ekvivalentní dynam. zatížení ... z katalogu pro soudečkový typ

$$a) P = Fr + y_1 \cdot Fa \Leftrightarrow Fa / Fr \leq e$$

$$b) P = 0,67 \cdot Fr + y_2 \cdot Fa \Leftrightarrow Fa / Fr > e$$

e=0,37 Výpočtový součinitel ... z katalogu pro ložisko 22310 E
Fr_m = 57 kN Radiální zatížení ... ze zadání / z výpočtu
Fa_m = 0 kN Axiální zatížení ... ze zadání / z výpočtu

$$a) Fa / Fr \leq e \Rightarrow P = Fr + y_1 \cdot Fa \\ 0 / 57 = 0 \leq 0,37 \Rightarrow P = Fr = 57 \text{ kN}$$

p=? Exponent rovnice trvanlivosti ... pro ložiska s bodovým stykem → **p=3**
... pro ložiska s čárovým stykem → **p=10/3**

$$L_{10} = \left(\frac{220}{57} \right)^{10/3} = 90,2 \text{ [milióny otáček]}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_m} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 193,4} \cdot 90,2 = 7774 \text{ [provozní hodiny]}$$

3.2. Poměr životnosti k době běhu

$$S_k = \frac{L_{10h}}{T_{celk}} = \frac{7774}{4000} = 1,9 \geq 1,5 \Rightarrow \text{zvolené ložisko vyhovuje}$$

4. Uspořádání ložisek

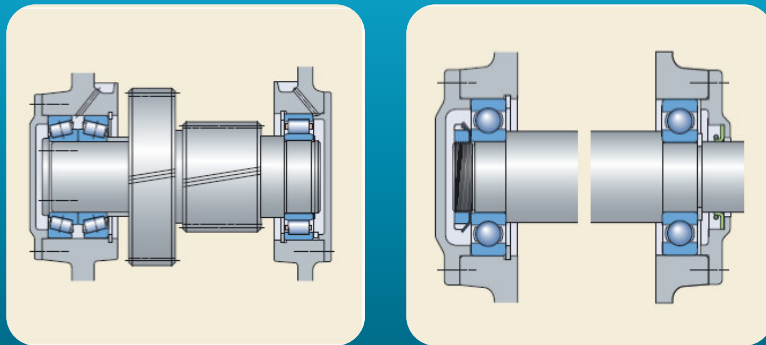
Pro případy uložení rotující hřídele, kde je nutno užít alespoň dvě ložiska v určité vzdálenosti od sebe (častá varianta), může konstruktér zvolit jednu z následujících možností uspořádání:

- uspořádání s axiálně vodícím ložiskem a axiálně volným ložiskem
- souměrné uspořádání ložisek
- „plovoucí“ uspořádání ložisek

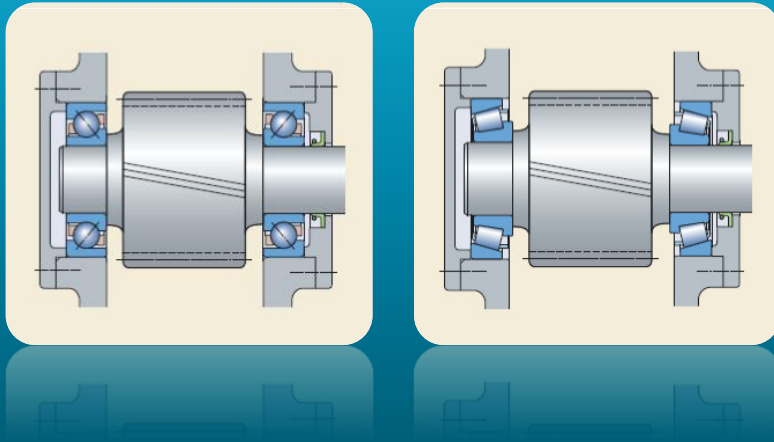
4. Uspořádání ložisek kladky

→ vzhledem k tomu, že opěrná kladka je **požadovaná v malých rozměrech**, použijeme méně se vyskytující variantu, a to **uložení dvou ložisek přímo vedle sebe**

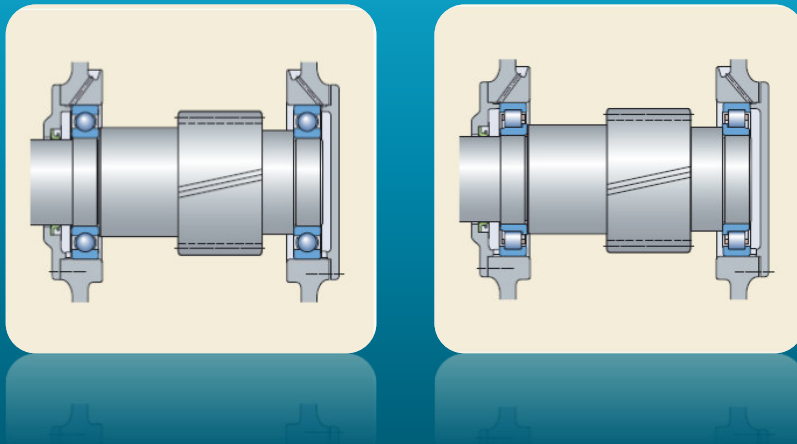
- příklad uspořádání s axiálně vodícím ložiskem a axiálně volným ložiskem



- příklad souměrného uspořádání ložisek



- příklad „plovoucího“ uspořádání ložisek



5. Radiální zajištění ložisek, volba uložení

5.1. Volba uložení

5.1.1. Způsob otáčení a druh zatížení

5.1.1.1. Způsob otáčení a druh zatížení kladky

Způsob otáčení a zatížení	Provozní podmínky	Schématický obrázek	Působící zatížení	Příklad	Doporučené uložení
Rotující vnitřní kroužek Nepohyblivý vnější kroužek Konstantní směr zatížení		Obvodové zatížení vnitřního kroužku Bodové zatížení vnějšího kroužku	Hřídele poháněné řemenem	Uložení vnitřního kroužku s přesahem Volné uložení vnějšího kroužku	
Nepohyblivý vnitřní kroužek Rotující vnější kroužek Konstantní směr zatížení		Bodové zatížení vnitřního kroužku Obvodové zatížení vnějšího kroužku	Vlážeň dopravního vozíku Obvodové zatížení vnějšího kroužku kola automobilu	Uložení vnitřního kroužku s přesahem Uložení vnějšího kroužku s přesahem	
Rotující vnitřní kroužek Nepohyblivý vnější kroužek Zatížení oběma vnitřním kroužkem		Bodové zatížení vnitřního kroužku Obvodové zatížení vnějšího kroužku	Vibrační zatížení Vnitřní šta nebo motory	Uložení vnějšího kroužku s přesahem Volné uložení vnitřního kroužku	
Nepohyblivý vnitřní kroužek Rotující vnější kroužek Zatížení oběma vnitřním kroužkem		Obvodové zatížení vnitřního kroužku Bodové zatížení vnějšího kroužku	Kružebný drtec (bluževní kotevce)	Uložení vnitřního kroužku s přesahem Volné uložení vnějšího kroužku	

Vnější kroužek:
→ obvodové zatížení
→ uložení s přesahem

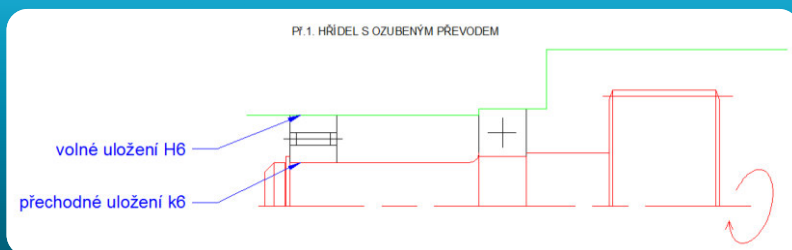
Vnitřní kroužek:
→ bodové zatížení
→ volné uložení

Konstantní směr zatížení

Způsob otáčení a druh zatížení

Způsob otáčení a zatížení	Provozní podmínky	Schématický obrázek	Působící zatížení	Příklad	Doporučené uložení
Rotující vnitřní kroužek Nepohyblivý vnější kroužek Konstantní směr zatížení		Obvodové zatížení vnitřního kroužku Bodové zatížení vnějšího kroužku	Hřídele poháněné řemenem	Uložení vnitřního kroužku s přesahem Volné uložení vnějšího kroužku	

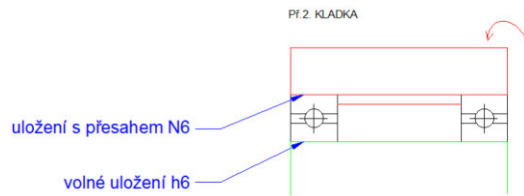
Příklad soustrojí z praxe



Způsob otáčení a druh zatížení

Provozní podmínky	Schématický obrázek	Působící zatížení	Příklad	Doporučené uložení
Nepohyblivý vnitřní kroužek		Bodové zatížení vnitřního kroužku	Válečky dopravníku	Volné uložení vnitřního kroužku
Rotující vnější kroužek		Obvodové zatížení vnějšího kroužku	Ložisková jednotka kola automobilu	Uložení vnějšího kroužku s přesahem
Konstantní směr zatížení				

Příklad soustrojí z praxe



Způsob otáčení a druh zatížení

Provozní podmínky	Schématický obrázek	Působící zatížení	Příklad	Doporučené uložení
Rotující vnitřní kroužek		Bodové zatížení vnitřního kroužku	Vibrační zařízení	Uložení vnějšího kroužku s přesahem
Nepohyblivý vnější kroužek		Obvodové zatížení vnějšího kroužku	Vibrační síta nebo motory	Volné uložení vnitřního kroužku
Zatížení obíhá s vnitřním kroužkem				

Příklad soustrojí z praxe

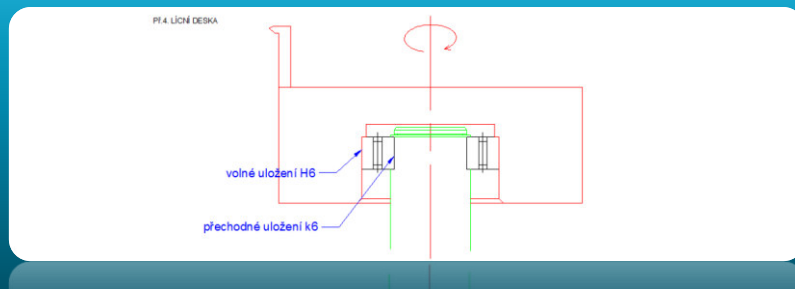


Způsob otáčení a druh zatížení

Provozní podmínky	Schématický obrázek	Působící zatížení	Příklad	Doporučené uložení
Nepohyblivý vnitřní kroužek		Obvodové zatížení vnitřního kroužku	Kuželový drtič	Uložení vnitřního kroužku s přesahem
Rotující vnější kroužek		Bodové zatížení vnějšího kroužku	(Uložení kolotočů)	Volné uložení vnějšího kroužku

Zatížení obíhá s vnějším kroužkem

Příklad soustrojí z praxe



5.1.2. Velikost zatížení

Pro uložení s přesahem je nutné zohlednit velikost zatížení. Vnitřní kroužek ložiska se vlivem teploty při zvyšujícím se zatížení roztahuje. Konstruktor tedy musí zabránit možnému důsledku otáčení kroužku vhodnou volbou dostatečného přesahu.

Určení zatížení:

- běžné zatížení $P \leq 0,05 \cdot C$
- normální zatížení $0,05 \cdot C < P \leq 0,1 \cdot C$
- těžké zatížení $0,1 \cdot C < P \leq 0,15 \cdot C$
- velmi těžké zatížení $P > 0,15 \cdot C$

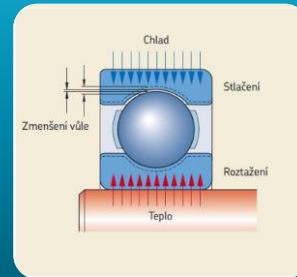
5.1.2. Velikost zatížení kladky

$P = 57 \text{ kN}$... z výpočtu v bodě 3.1.
 $C = 220 \text{ kN}$... z výpočtu v bodě 3.1.

$P > 0,15 \cdot C$
 $57 > 0,15 \cdot 220$
 $57 > 33 \rightarrow$ **velmi těžké zatížení**

5.1.3. Vliv teploty

V mnoha aplikacích má vnější kroužek ložiska za provozu nižší teplotu než vnitřní kroužek. To se může projevit zmenšením vnitřní vůle ložiska. Za provozu se kroužky ložiska obvykle zahřejí na teplotu, která je vyšší než teplota souvisejících dílů. Pevné uložení vnitřního kroužku se může uvolnit, zatímco roztažením vnějšího kroužku v tělese může dojít k omezení axiální posuvnosti. Zrychlení ložiska nebo tření u kontaktního těsnění může také vést k zvýšení teploty ložiska. Z toho důvodu je třeba věnovat pozornost teplotním rozdílům a směru přestupu tepla v uložení.



5.1.3. Vliv teploty kladky

→ v navržené konstrukci opěrné kladky **teplota neovlivní chod**.
 Vnitřní kroužek je už navržen s vůlí a vnější kroužek s přesahem,
 proto **kroužky nemohou změnit** během chodu typ a funkci uložení.

5.1.4. Přesnost chodu

Pro rotující součásti točivého stroje s požadavkem vysoké přesnosti chodu je nutno volit uložení s přesahem z důvodu omezení pružných deformací a vibrací.

- pro hřídele stupeň přesnosti IT 5 nebo nižší (tj. přesnější výroba)
- pro tělesa stupeň přesnosti IT 6 nebo nižší (tj. přesnější výroba)

Např. obráběcí stroje, zkušební stroje.

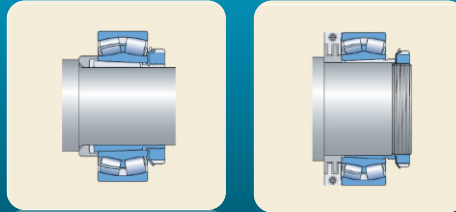


5.1.4. Přesnost chodu kladky

→ pro konstrukci opěrné kladky **není požadována vysoká přesnost chodu**.
 Není ekonomické navrhovat přesnější výrobu než potřebujeme.

5.1.5. Uspadnění montáže a demontáže

Montáž či demontáž ložisek s volným uložením je obvykle snazší než v případě ložisek uložených s přesahem. Je-li nutno respektovat provozní podmínky vyžadující uložení s přesahem společně se snadnou montáží a demontáží, je vhodné uplatnit Rozebíratelná ložiska nebo ložiska s kuželovou dírou. Ložiska s kuželovou dírou lze montovat přímo na kuželový čep, na upínací či Stahovací pouzdro na hřídel bez osazení, popř. s osazením.

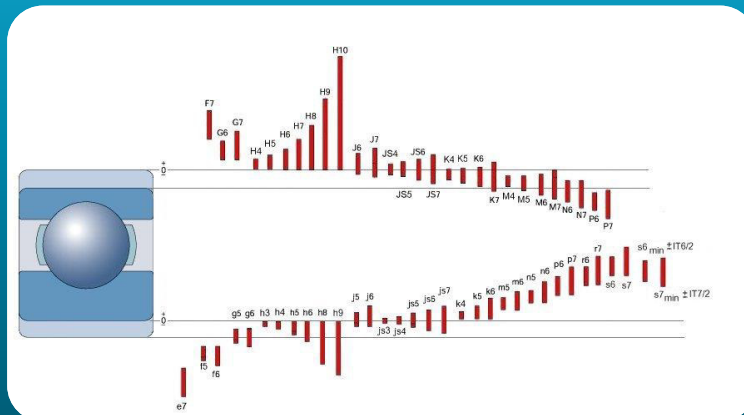


5.1.5. Uspadnění montáže a demontáže kladky

→ opěrnou kladku jsme v konstrukčním náčrtu navrhli rozebíratelnou tak, že ložiska s válcovou dírou lze vyměnit bez poškození

5.2. Volba tolerance souvisejících dílů: hřídele a tělesa

Zde jsou nejpoužívanější toleranční pole vzhledem k normalizované toleranci díry ložiska a vnějšího průměru ložiska.



Tolerance díry a vnějšího průměru valivých ložisek jsou mezinárodně standardizovány. Pro uložení s valivými ložisky je vhodný pouze omezený počet tolerančních stupňů ISO.

Doporučená uložení ložisek jsou specifikována v následujících tabulkách:

- Tabulka 2: Radiální ložiska s válcovou dírou pro plné ocelové hřídele
- Tabulka 3: Axiální ložiska pro plné ocelové hřídele
- Tabulka 4: Radiální ložiska pro nedělená litinová a ocelová tělesa
- Tabulka 5: Radiální ložiska pro dělená nebo nedělená litinová a ocelová tělesa
- Tabulka 6: Axiální ložiska pro litinová a ocelová tělesa

- Tabulka 2: Radiální ložiska s válcovou dírou

Uložení pro plné ocelové hřídele						
Radiální ložiska s válcovou dírou						
Provozní podmínky	Příklady	Průměr hřídele, mm				Tolerance
		Kuličková ložiska ¹⁾	Válečková ložiska	Kuželková ložiska	CARB a soudečková ložiska	
Obvodové zatížení vnitřního kroužku nebo neurčitý směr zatížení						
Malá a proměnná zatížení (P ≤ 0,05 C)	Dopravní zařízení,	≤ 17	–	–	–	js5 (H5) ²⁾
	lehce zatížená ložiska	(17) až 100	≤ 25	≤ 25	–	j6 (H5) ²⁾
	v převodkách	(100) až 140	(25) až 60 (60) až 140	(25) až 60 (60) až 140	–	k6 m6
Normální až velká zatížení (P > 0,05 C)	Všeobecné strojírenství, elektro motory, turbíny, čerpadla, větrné elektrárny ozubené převody, dřevobráběcí stroje	≤ 10	–	–	–	js5
		(10) až 17	–	–	–	5 (H5) ²⁾
		(17) až 100	–	–	< 25	k5 ³⁾
		–	≤ 30	≤ 40	–	k6
		(100) až 140	(30) až 50	–	25 až 40	m6
		(140) až 200	–	(40) až 65	–	m6
		–	(50) až 65	–	(40) až 60	n5 ⁴⁾
		(200) až 500	(65) až 100 (100) až 280	(65) až 200 (200) až 360	(60) až 100 (100) až 200	n6 ⁴⁾ p6 ⁵⁾
> 500	–	–	–	p7 ⁴⁾		
–	(280) až 500	(360) až 500	(200) až 500	r6 ⁴⁾		
–	> 500	> 500	> 500	r7 ⁴⁾		
–	–	> 200	> 200	> 200	s3 ⁴⁾	
–	–	(580) # 200	(360) # 200	(500) # 200	s4 ⁴⁾	
> 200	–	–	–	–	b1 ⁴⁾	
–	–	(700) # 580	(500) # 360	(700) # 500	h6 ⁴⁾	
–	(500) # 200	(820) # 700	(620) # 500	(800) # 700	h7 ⁴⁾	
–	–	(1000) # 820	(800) # 620	(1000) # 800	h8 ⁴⁾	

Velká zatížení a rázová zatížení při náročných provozních podmínkách (P > 0,1 C)	Nápravová ložiska kolejových vozidel, trakční motory, válcovny	-	(50) až 65	-	(50) až 70	n5 ⁴⁾
		-	(65) až 85	(50) až 110	-	n6 ⁴⁾
		-	(85) až 140	(110) až 200	(70) až 140	p6 ⁶⁾
		-	(140) až 300	(200) až 500	(140) až 280	r6 ⁷⁾
		-	(300) až 500	> 500	(280) až 400	s6 _{min} ± IT6/2 ⁶⁾⁸⁾ s7 _{min} ± IT7/2 ⁶⁾⁸⁾
Vysoké nároky na přesný chod při malých zatíženích (P ≤ 0,05 C)	Obráběcí stroje	8 až 240	-	-	-	j5 ⁴⁾
		-	25 až 40	25 až 40	-	js4 (f5) ⁹⁾
		-	(40) až 140	(40) až 140	-	k4 (k5) ⁹⁾
		-	(140) až 200	(140) až 200	-	m5
Bodové zatížení vnitřního kroužku						
Požadovaná snadná posuvnost vnitřního kroužku na hřídeli	Kola na pevné ose					g6 ¹⁰⁾
Není požadována snadná posuvnost vnitřního kroužku na hřídeli	Napínací kladky, lanové kladky					h6
Čistě axiální zatížení						
Veškerá uložení	≤ 250	-	≤ 250	≤ 250	j6	
	> 250	-	> 250	> 250	js6	

31) Pokud jsou používány hřídelové tolerance uvedené v tabulce, je často nutné pro normální a velká zatížení kuličkových ložisek (P > 0,05 C) použít radiální vůle větší než normální. Provozní podmínky někdy vyžadují použít tužší uložení zamezující protáčení kroužku na hřídeli. V případě, kdy je zvolena větší radiální vůle než normální, lze použít následující tolerance

- k4 pro průměr hřídele (10 až 17 mm
- k5 pro průměr hřídele (17) až 25 mm
- m5 pro průměr hřídele (25) až 140 mm
- n6 pro průměr hřídele (140) až 300 mm
- p6 pro průměr hřídele (300) až 500 mm

Pro bližší informace kontaktujte technické oddělení SKF.

2) Tolerance v závorkách se používá pro nerezová ložiska.

3) Pro nerezová ložiska s průměrem 17 až 30 mm se používá tolerance js5.

4) Může být nutná vnitřní radiální vůle větší než normální.

5) Pro ložiska s průměrem d ≤ 150 mm je doporučena radiální vůle větší než normální, pro ložiska s d > 150 mm je nutná radiální vůle větší než normální.

6) Doporučena vnitřní radiální vůle větší než normální.

7) Může být nutná vnitřní radiální vůle větší než normální, pro válečková ložiska je doporučeno použít radiální vůle větší než normální.

8) Tolerance doporučujeme konzultovat s aplikačním oddělením SKF.

9) Tolerance v závorkách platí pro kuželiková ložiska. Pro kuželiková ložiska nastavená pomocí vnitřního kroužku, na něž působí malé zatížení, je třeba použít js5 nebo js6.

10) Tolerance f6 může být zvolena pro velká ložiska, pokud má být zajištěna snadná posuvnost.

▪ Tabulka 3: Axiální ložiska a pro litinová a ocelová tělesa

Uložení pro plně ocelové hřídele

Axiální ložiska

Provozní podmínky	Průměr hřídele, mm	Tolerance
-------------------	--------------------	-----------

Čistě axiální zatížení

Axiální kuličková ložiska	-	h6
Axiální válečková ložiska	-	h6 (h8)
Klec s valivými tělesy axiálního válečkového ložiska	-	h8

Kombinované radiální a axiální zatížení působící na axiální soudečková ložiska

Bodové zatížení hřídelového kroužku	≤ 250	j6
	> 250	js6
Obvodové zatížení na hřídelovém kroužku nebo neurčitý směr zatížení	≤ 200	k6
	(200) až 400	m6
	> 400	n6

pro plně ocelové hřídele

pro plně ocelové hřídele

pro plně ocelové hřídele

pro plně ocelové hřídele

> 100

(500) ± IT0

± IT0

± IT0

± IT0

h6

h6

h6

h6

h6

▪ Tabulka 4: Radiální ložiska – nedělená tělesa

Uložení pro litinová a ocelová tělesa			
Radiální ložiska – nedělená tělesa			
Provozní podmínky	Příklady	Tolerance ¹⁾	Posuvnost vnějšího kroužku
Obvodové zatížení vnějšího kroužku			
Velká zatížení ložisek v tenkostěnných tělesech, velká rázová zatížení ($P > 0,1 C$)	Náboje kol s ložisky s čárovým stykem, ojniční ložiska	P7	není posuvný
Normální až velká zatížení ($P > 0,05 C$)	Náboje kol s ložisky s bodovým stykem, ojniční ložiska, pojezdová kola jeřábů	N7	není posuvný
Malá a proměnná zatížení ($P \leq 0,05 C$)	Dopravníkové válečky, lanové kladky, napínací kladky	M7	není posuvný
Neurčitý směr zatížení			
Velká rázová zatížení	Trakční motory	M7	není posuvný
Normální až velká zatížení ($P > 0,05 C$), posuvnost vnějšího kroužku není nutná	Elektromotory, čerpadla, ložiska klikových hřídel	K7	zpravidla není posuvný
Přesný nebo tichý chod²⁾			
Ložiska s bodovým stykem	Malé elektromotory	J6 ³⁾	posuvný
Kuzelková ložiska	Je-li nastaven pomocí vnějšího kroužku	J55	–
	Axiálně vodící vnější kroužek	K5	–
	Obvodové zatížení vnějšího kroužku	M5	–
	OPROPOHAE CTAPIOHAE AUMIŠIHO KPOIŠIEN KXIBIHO AOBICI AUMIŠIHO KPOIŠIEN	H2 K2	– –

▪ Tabulka 5: Radiální ložiska – dělená nebo nedělená tělesa

Uložení pro litinová a ocelová tělesa			
Radiální ložiska – dělená nebo nedělená tělesa			
Provozní podmínky	Příklady	Tolerance ¹⁾	Posuvnost vnějšího kroužku
Neurčitý směr zatížení			
Malá až normální zatížení ($P \leq 0,1 C$), požadovaná posuvnost vnějšího kroužku	Středně velké elektrické stroje, čerpadla, ložiska klikových hřídel	J7	zpravidla je posuvný
Bodové zatížení vnějšího kroužku			
Libovolná velikost zatížení	Všeobecné strojírenství, železniční nápravové skříně	H7 ²⁾	posuvný
Malá až normální zatížení ($P \leq 0,1 C$) u méně náročných uložení	Všeobecné strojírenství,	H8	posuvný
Přívod tepla hřídelí	Sušicí válce, velké elektrické stroje se soudečkovými ložisky	G7 ³⁾	posuvný

¹⁾ Pro kuličková ložiska s $D \leq 100\text{mm}$ je často vhodné použít stupeň IT6. Tato přesnost je doporučena i pro ložiska s tenkostěnnými kroužky (např. průměrová řada 7,8 a 9). Pro tato ložiska je také doporučena tolerance válcovitosti IT4.
²⁾ Pro velká ložiska ($D > 250\text{mm}$) a teplotní rozdíl mezi vnějším kroužkem a tělesem $> 10^\circ\text{C}$, je třeba použít G7 místo H7.
³⁾ Pro velká ložiska ($D > 250\text{mm}$) a teplotní rozdíl mezi vnějším kroužkem a tělesem $> 10^\circ\text{C}$, je třeba použít F7 místo G7.

▪ Tabulka 6: Axiální ložiska

Uložení pro litinová a ocelová tělesa		
Axiální ložiska		
Provozní podmínky	Tolerance	Poznámky
Čistě axiální zatížení		
Axiální kuličková ložiska	H8	Pro méně přesná uložení může mít kroužek v tělese radiální vůli až 0,001 D
Axiální válečková ložiska	H7 (H9)	
Klec s valivými tělesy axiálního válečkového ložiska	H10	
Axiální soudečková ložiska, je-li hřídel radiálně vedena jiným ložiskem	-	Tělesový kroužek musí být uložen radiální vůlí, aby na axiální ložiska nemohlo působit žádné radiální zatížení
Kombinované radiální a axiální zatížení axiálních soudečkových ložisek		
Bodové zatížení hřídelového kroužku	H7	Viz rovněž "Konstrukce souvisejících dílů" v části "Axiální soudečková ložiska" na str. 881
Obvodové zatížení tělesového kroužku	M7	

PRŮMYSLOVÉ STROJNÍ PRŮMYSLU KONTAKT

W1

19 840 992

5.2. Volba tolerance souvisejících dílů: hřídele a tělesa

Uložení pro plně ocelové hřídele

Radiální ložiska s vátcovou dírou

Provozní podmínky	Příklady	Průměr hřídele, mm				Tolerance
		Kuličková ložiska ¹⁾	Válečková ložiska	Kuželková ložiska	CARB a soudečková ložiska	

Obvodové zatížení vnitřního kroužku nebo neurčitý směr zatížení

Malá a proměnná zatížení (P ≤ 0,05 C)	Dopravní zařízení, lehce zatížená ložiska v převodkách	≤ 17 (17) až 100 (100) až 140	- ≤ 25 (25) až 60 (60) až 140	- ≤ 25 (25) až 60 (60) až 140	- - -	js5 (H5) ²⁾ j6 (J5) ²⁾ k6 m6
---------------------------------------	--------------------------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------------	----------------------------------------	-------------	-------------------------------------------------------------

z bodu 5.1.1.

Bodové zatížení vnitřního kroužku

Požadována snadná posuvnost vnitřního kroužku na hřídeli

Není požadována snadná posuvnost vnitřního kroužku na hřídeli

Naginací kladky, Janové Hřídky

h6

119 141098E
PRŮMYSLOVÉ STROJNÍ PRŮMYSLU KONTAKT

→ hřídel kladky Ø 50 h6
(kontrola → uložení s vůlí) ✓

Z tabulky níže zjistíme pravděpodobnou vůli hřídele kladky a vnitřního kroužku ložiska.

z bodu 5.2.

Úchylky průměru hřídele a výsledná uložení

Hřídel Jmenovitý průměr d	Ložisko Tolerance průměru díry D _{loz}	Úchylky průměru hřídele, výsledná uložení										
		Tolerance										
přes včetně	min	max	h5	h6	h8	h9	js					
			Úchylky (průměr hřídele) Teoretický přesah (+) vůle (-) Pravděpodobný přesah (+) vůle (-)									
mm	μm		μm									
1	3	-8	0	-4	0	-6	0	-14	0	-25	+2	-2
			+8	-4	+8	-6	+8	-14	+8	-25	+10	-2
			+7	-3	+6	-4	+6	-12	+5	-22	+9	-1
3	6	-8	0	-5	0	-8	0	-18	0	-30	+3	-2
			+8	-5	+8	-8	+8	-18	+8	-30	+11	-2
			+7	-4	+6	-6	+5	-15	+5	-27	+10	-1
6	10	-8	0	-6	0	-9	0	-22	0	-36	+4	-2
			+8	-6	+8	-9	+8	-22	+8	-36	+12	-2
			+6	-4	+6	-7	+5	-19	+5	-33	+10	0
10	18	-8	0	-8	0	-11	0	-27	0	-43	+5	-3
			+8	-8	+8	-11	+8	-27	+8	-43	+13	-3
			+6	-6	+6	-9	+5	-24	+5	-40	+11	-1
18	30	-10	0	-9	0	-13	0	-33	0	-52	+5	-4
			+10	-9	+10	-13	+10	-33	+10	-52	+15	-4
			+8	-7	+7	-10	+6	-29	+6	-48	+13	-2
30	50	-12	0	-11	0	-16	0	-39	0	-62	+6	-5
			+12	-11	+12	-16	+12	-39	+12	-62	+18	-5
			+9	-9	+8	-12	+7	-34	+7	-57	+15	-2
50	80	-15	0	-13	0	-19	0	-46	0	-74	+6	-7
			+15	-13	+15	-19	+15	-46	+15	-74	+20	-7
80	120	-18	0	-13	0	-18	0	-44	0	-72	+9	-1
			+18	-13	+18	-18	+18	-44	+18	-72	+23	-5

z bodu 2.

Jložení pro litinová a ocelová tělesa

Radiální ložiska – nedělená tělesa

Provozní podmínky Příkladů Tolerance¹⁾ Posuvnost vnějšího kroužku

z bodu 5.1.1.

Obvodové zatížení vnějšího kroužku

Velká zatížení ložisek v tenkostěnných tělesech, velká rázová zatížení Náboje kol s ložisky s čárovým stykem, ojniční ložiska P7 není posuvný

z bodu 5.1.2.

Normální až velká zatížení (P > 0,05 C) Náboje kol s ložisky s bodovým stykem, ojniční ložiska, pojezdová kola jeřábů N7 není posuvný

Malá a proměnná zatížení (P ≤ 0,05 C) Dopravníkové válečky, lanové kladky, napínací kladky M7 není posuvný

Neurčitý směr zatížení

Velká rázová zatížení Trakční motory M7 není posuvný

Normální až velká zatížení (P > 0,05 C), posuvnost vnějšího kroužku není nutná Elektromotory, čerpadla, ložiska klikových hřídel K7 zpravidla není posuvný

Přesný nebo tichý chod²⁾

Ložiska s bodovým stykem Malé elektromotory J6³⁾ posuvný

Kuželíkové ložiska Je-li nastaven pomocí vnějšího kroužku JS5 –

 Axiálně vodící vnější kroužek K5 –

 Obvodové zatížení vnějšího kroužku M5 –

 Obvodové zatížení vnějšího kroužku K2 –


 Křivkové ložisko → těleso kladky Ø 110 P7 K2 –

 Ložisko s bodovým stykem (kontrola → přechodné uložení) ✓ JS5 posuvný

 Přesný nebo tichý chod

Z tabulky níže zjistíme pravděpodobný přesah tělesa kladky a vnějšího kroužku ložiska.

Úchytky průměru díry tělesa a výsledná uložení



z bodu 5.2.

Těleso Jmenovitý průměr D	Ložisko Tolerance vnějšího průměru Δ _{Dep}	Úchytky průměru díry tělesa, výsledná uložení																									
		Tolerance		N6		N7		P6		P7																	
přes	včetně	max	min	Úchytky (průměr díry tělesa)																							
mm	μm			Teoretický přesah (+) / vůle (-)																							
				Pravděpodobný přesah (+) / vůle (-)																							
6	10	0	-8	-16	-7	-19	-4	-21	-12	-24	-9	+16	-1	+19	-4	+21	+4	+24	+1	+14	+1	+16	-1	+19	+6	+21	+4
10	18	0	-8	-20	-9	-23	-5	-26	-15	-29	-11	+20	+1	+23	-3	+26	+7	+29	+3	+18	+3	+20	0	+24	+9	+26	+6
18	30	0	-9	-24	-11	-28	-7	-31	-18	-35	-14	+24	+2	+28	-2	+31	+9	+35	+5	+21	+5	+25	+1	+28	+12	+32	+8
30	50	0	-11	-28	-12	-33	-8	-37	-21	-42	-17	+28	+1	+33	-3	+37	+10	+42	+6	+25	+4	+29	+1	+34	+13	+38	+10
50	80	0	-13	-33	-14	-39	-9	-45	-26	-51	-21	+33	+1	+39	-4	+45	+13	+51	+8	+29	+5	+34	+1	+41	+17	+46	+13
80	120	0	-15	-38	-16	-45	-10	-52	-30	-59	-24	+38	+1	+45	-5	+52	+15	+59	+9	+33	+6	+40	0	+47	+20	+54	+14
100	150	0	-18	-45	-20	-52	-12	-61	-36	-68	-28	+45	+1	+52	-7	+61	+20	+68	+12	+40	+9	+47	+2	+54	+24	+61	+17
120	180	0	-18	-45	-20	-52	-12	-61	-36	-68	-28	+45	+1	+52	-7	+61	+20	+68	+12	+40	+9	+47	+2	+54	+24	+61	+17
150	200	0	-18	-45	-20	-52	-12	-61	-36	-68	-28	+45	+1	+52	-7	+61	+20	+68	+12	+40	+9	+47	+2	+54	+24	+61	+17

z bodu 2.

5.3. Rozměrová a tvarová přesnost úložných ploch

Pro využití současných technických kvalit ložisek je nezbytné navrhnout a dodržet u radiálních ložisek výrobní přesnost válcových ploch hřídelí a otvorů těles, u axiálních ložisek opěrných ploch.

Správný návrh vychází z výrobcem doporučených hodnot rozměrové a tvarové přesnosti a házení.

Hodnota geometrické tolerance se vypočítá pro konstrukční návrhy:

- **bez požadavku na přesnost** → z hodnoty o 1 stupeň přesnějšího tolerančního stupně pro daný rozměr
- **s požadavkem na normální přesnost** → z hodnoty o 2 stupně přesnějšího tolerančního stupně pro daný rozměr
- **s požadavkem na vysokou přesnost** → z hodnoty o 3 stupně přesnějšího tolerančního stupně pro daný rozměr

Tolerance tvaru a polohy dovedacích ploch na hřídeli a v tělese

Plocha	Charakteristika	Symbol pro charakteristiku	Symbol pro toleranční pole	Přijímatelné úchytky	Ložiska třídy přesnosti ⁽¹⁾
				Normální, CLN	P6
					P5
Válcová plocha					
	Tolerance válcovitosti		t ₁	IT5/2	IT4/2
	Celkové radiální házení		t ₃	IT5/2	IT4/2
Rovné opěrné plochy					
	Kolmost		t ₂	IT5	IT4
	Celkové axiální házení		t ₄	IT5	IT4

Vysvětlivka

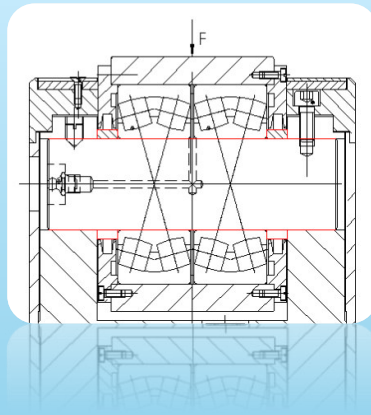
Pro normální požadavky

Pro zvláštní požadavky kladené na přesnost chodu či opěrnou plochu

1) Přijímatelné úchytky pro ložiska třídy přesnosti P6 a P5 jsou uvedeny v tabulce 1 přílohy 1.

5.3. Rozměrová a tvarová přesnost úložných ploch kladky

V našem návrhu opěrné kladky budeme volit válcovitost hřídele. Dále zvolíme kolmost a válcovitost distančních kroužků, protože jejich část je zároveň opěrnou plochou ložiska, tudíž jejich geometrie bude ovlivňovat chod ložiska. Stykové plochy, na kterých budeme pro výrobu volit tolerance, jsou vyznačené červeně.



5.3.1. Úložné a opěrné plochy pro vnitřní kroužek kladky

Pro uložení kladky v soudečkových ložiskách, které jsou obvykle vyráběny s Normální přesností rozměrů, se volí přípustné úchytky v tolerančním stupni IT4/2 případně IT4 pro hřídel i těleso.

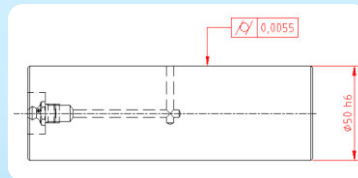
U kladek obvykle nejsou vysoké požadavky na přesnost chodu či opěrnou plochu. V takovém případě není u daného uložení přesnost důležitá, pak můžeme volit toleranční stupeň i o stupeň vyšší (v příkladu IT5/2 případně IT5).

Případně další zvětšení tolerančního stupně však může mít za následek zhoršení provozu ložiska a následně zvýšení vibrací, teploty ložiska apod. Rovněž při volbě vhodného tolerančního stupně je vhodné zvážit provozní podmínky a požadavek na ložisko. Např. při malých otáčkách nebude mít "horší" toleranční stupeň tak velký dopad na provoz ložiska jako u vyšších otáček.

Válcová plocha hřídele:

∠ Válcovitost 50h6 → IT5/2
 $t_1 = \frac{IT5}{2} = \frac{11}{2} = 5,5 \mu\text{m}$

↗ Celkové radiální házení
 → pro jednotnou válcovou plochu
 dáno tolerancí válcovitosti

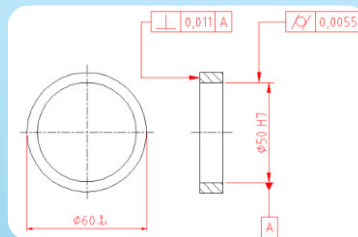


Opěrné plochy distančních kroužků:

⊥ Kolmost 50H7 → IT5
 $t_2 = IT5 = 11 \mu\text{m}$

∠ Válcovitost 50H7 → IT5
 $t_3 = \frac{IT5}{2} = \frac{11}{2} = 5,5 \mu\text{m}$

↗ Celkové axiální házení
 → pro jednotnou válcovou plochu
 dáno tolerancí kolmosti



Hodnoty tolerančních stupňů pro jednotlivé hodnoty průměru zjistíme z tabulky:

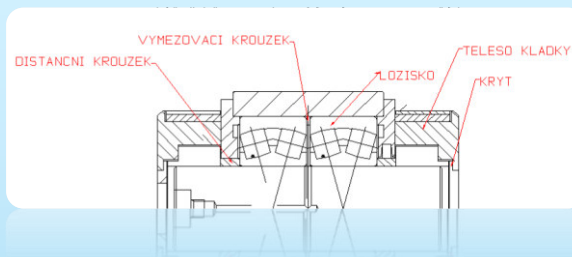
Rozměrové toleranční stupně podle ISO (délky, šířky, průměry atd.)

z bodu 5.3.1.

Jmenovitý rozměr přes včetně	Toleranční stupně												
	IT1 max	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	
mm	μm												
1	3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180
18	30	1,5	2,5	4	6	10	13	21	33	52	84	130	210
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630
500	630	-	-	-	-	32	44	70	110	175	280	440	700
630	800	-	-	-	-	36	50	80	125	200	320	500	800
800	1000	-	-	-	-	40	56	90	140	230	360	560	900
1000	1250	-	-	-	-	47	66	105	165	260	420	660	1050
1250	1600	-	-	-	-	55	78	125	195	310	500	780	1250
1600	2000	-	-	-	-	65	92	150	230	370	600	920	1500
2000	2500	-	-	-	-	78	110	175	280	440	700	1100	1750
5000	5200	-	-	-	-	18	110	112	580	440	100	1700	1120
1400	3000	-	-	-	-	42	85	120	530	310	900	850	1200

z bodu 2.

Toleranční řetězec



V této fázi návrhu potřebujeme vypočítat také toleranci šířky distančního kroužku. Tu vypočítáme pomocí tolerančního řetězce. Do výpočtu zahrneme šířky a šířkové tolerance krytu kladky, tělesa kladky, ložisek a vymešovacieho kroužku. Tato část v návrhu je obecná, proto není v manuálu podrobně dále popsána. Postup řešení tolerančního řetězce je popsán v řadě publikací, jeden z on-line dostupných postupů naleznete např. zde:

<http://slideplayer.cz/slide/3326921/>

5.3.2. Úložné a opěrné plochy kuželových čepů

V případech, kdy je ložisko namontováno přímo na kuželový čep, je doporučeno určit tolerance takto:

pro příklad průměru d_{js9}

≤ tolerance sklonu

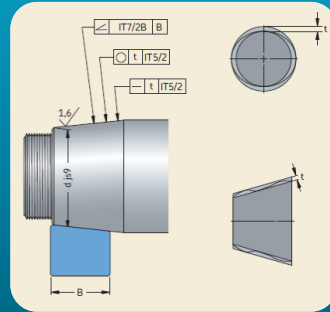
$$t_1 = \frac{IT^7}{2B}, \text{ kde } B \text{ je šířka ložiska}$$

○ tolerance kruhovitosti

a

— tolerance přímosti

- o 1 až 2 stupně IT lepší než předepsaná rozměrová a neměla by překročit hodnotu IT5.



5.4. Drsnost úložných ploch souvisejících dílů

Doporučené hodnoty povrchové drsnosti stykových ploch				
Rozměr d [D] ¹⁾	Doporučené hodnoty R_a pro broušené plochy		Tolerance průměru podle	
	přes	včetně	IT7	IT5
mm	µm			
- 80	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)	
80 500	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)	
500 1 250	3,2 (N8) ²⁾	1,6 (N7)	1,6 (N7)	

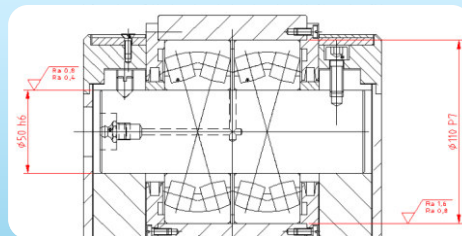
1) Pokud je průměr > 3 250 mm, je vhodné se obrátit na technicko-konzultační službu SKF.
2) Pokud se při montáži používá metoda tlakového oleje, R_a by neměla být větší než 2,5 µm.

Je nutno podotknout, že drsnost úložných ploch souvisejících dílů tolik neovlivňuje chod ložiska jako geometrické a rozměrové tolerance řešené v předchozích bodech. Doporučené hodnoty pro volbu jsou v tabulce.

5.4. Drsnost úložných ploch souvisejících dílů kladky

Doporučené hodnoty povrchové drsnosti stykových ploch				
Rozměr d [D] ¹⁾	Doporučené hodnoty R_a pro broušené plochy		Tolerance průměru podle	
	přes	včetně	IT7	IT5
mm	µm			
- 80	1,6 (N7)	0,8 (N6)	0,4 (N5)	
80 500	1,6 (N7)	1,6 (N7)	0,8 (N6)	
500 1 250	3,2 (N8) ²⁾	1,6 (N7)	1,6 (N7)	

1) Pokud je průměr > 3 250 mm, je vhodné se obrátit na technicko-konzultační službu SKF.
2) Pokud se při montáži používá metoda tlakového oleje, R_a by neměla být větší než 2,5 µm.



Z tabulky doporučených hodnot dle rozměrů průměrů z předchozích voleb navrheme výrobě drsnost válcové plochy hřídele Ra 0,8 a drsnost vnitřní válcové plochy tělesa Ra 1,6.

6. Axiální zajištění ložisek

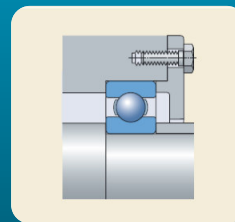
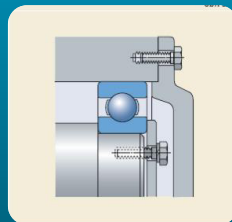
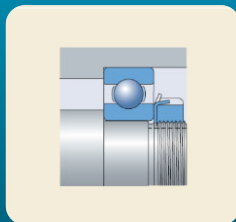
Při axiálním zajištění ložisek je nutno v případě:

- axiálně vodícího ložiska zajistit oba kroužky
- axiálně volného nerozebíratelného ložiska zajistit jen pevně uložený kroužek – obvykle vnitřní
- axiálně volného rozebíratelného ložiska zajistit na volné straně oba kroužky
- souměrného uspořádání ložisek zajistit axiálně každý kroužek jen z jedné strany

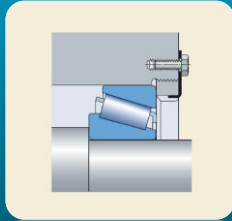
6.1. Axiální zajištění ložisek s válcovou dírou

Některé varianty konstrukčního řešení:

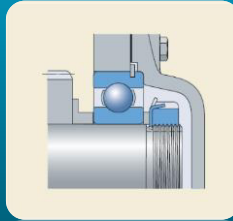
- zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí
- zajištění vnitřního kroužku koncovou deskou
- zajištění vnějšího kroužku víkem ložiskového tělesa



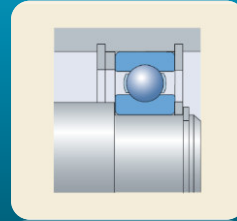
- zajištění vnějšího kroužku kroužkem se závitem



- distanční kroužek mezi ložiskový kroužek a související díl



- zajištění pojistným kroužkem, výhodným převážně z důvodu úspory místa

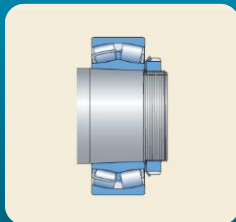


6.1. Axiální zajištění ložisek opěrné kladky

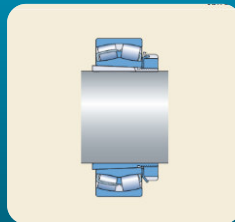
→ v našem případě **axiálně vodící sestavy** zajistíme obě ložiska distančními kroužky

6.2. Axiální zajištění ložisek s kuželovou dírou

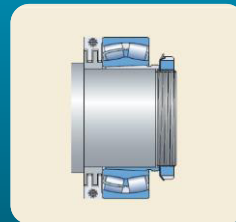
- zajištění vnitřního kroužku pojistnou KM maticí našroubovanou na hřídel



- pozice upínacího pouzdra vymezena distančním kroužkem a ložiskem zajištěným koncovou maticí

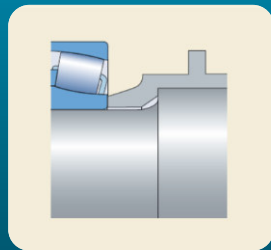


- stahovací pouzdro, zajištěno deskou nebo maticí a vnitřní kroužek zajištěn rozpěrným kroužkem



6.3. Připojovací rozměry souvisejících součástí

- Je nutno zvolit vhodné osazení na hřídeli a v tělese pro zajištění funkčního opření ložisek. Tabulka uvádí doporučené volby zápchů.
- V případech velmi namáhané hřídele, tzn. velkého poloměru zaoblení je potřeba v konstrukci navrhnout rozpěrné pouzdro. Jeho úkos volit tak, aby se přechodu nedotýkalo.



Rozměry zápchů

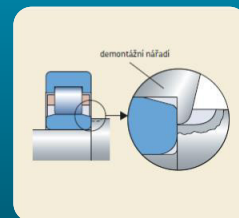
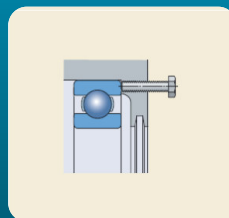
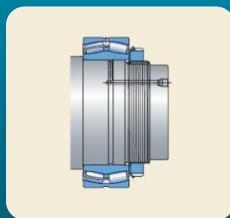
Rozměr zaoblení ložiska r_s	Rozměry zápchů		
	b_h	h_h	r_c
mm	mm		
1	2	0,2	1,3
1,1	2,4	0,3	1,5
1,5	3,2	0,4	2
2	4	0,5	2,5
2,1	4	0,5	2,5
3	4,7	0,5	3
4	5,9	0,5	4
5	7,4	0,6	5
6	8,6	0,6	6
7,5	10	0,6	7
9,5	12	0,6	9

7. Konstrukce souvisejících dílů

Při návrhu ložisek je nutno zajistit co nejsnadnější montáž a demontáž.

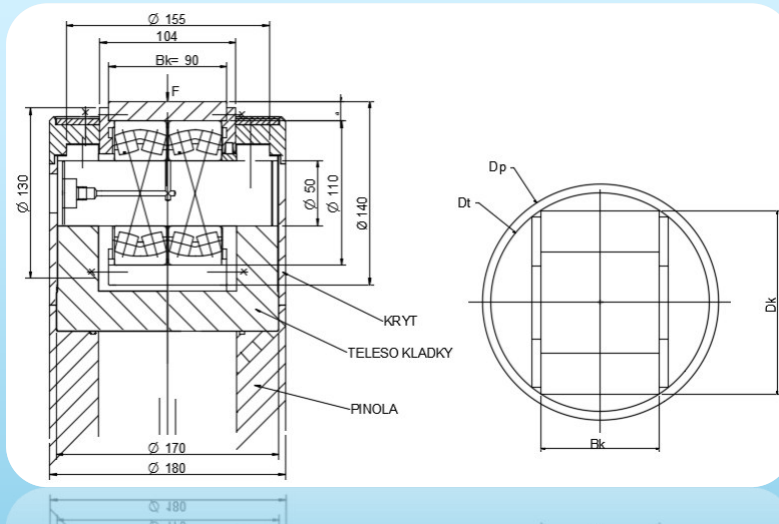
Některé varianty konstrukčního řešení:

- u tlakového oleje je pro demontáž potřeba navrhnout přiváděcí kanálky a rozváděcí drážky
- v osazení tělesa je možné použít šrouby pro vylisování ložiska
- v osazení tělesa či hřídele je možné navrhnout drážky pro použití demontážních nástrojů



8. Konstrukční návrh – výkres sestavy, výrobní výkresy

8. Konstrukční návrh kladky – výkres sestavy, výrobní výkresy



PŘÍLOHA č. 2

Příklady CHYBNÝCH konstrukčních návrhů vedoucích k poškození ložiska

Příklady CHYBNÝCH konstrukčních návrhů vedoucích k poškození ložiska



Semestrální projekt B
KKS / SPB
Fakulta strojní

Jiří Ešner

22.4.2015

Každý názorný příklad selhání ložiska obsahuje stručný a přehledný výstup – projev → příčina → opatření, dále fotografie a podrobný popis poškození.

Tento přehled nabízí více možností užití:

- preventivní pomůcka konstruktéra pro předcházení chybným návrhům ložisek a souvisejících dílů
- návod při hledání nápravy po selhání ložiska → dle konkrétní příčiny lze určit projev a následné opatření

Typy poškození jsou pro snadnější orientaci rozděleny následovně:

- I. OPOTŘEBENÍ
- II. KOROZE
- III. PROKLUZOVÁNÍ
- IV. VTISKY

I. OPOTŘEBENÍ

Projev

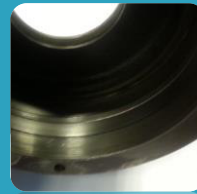
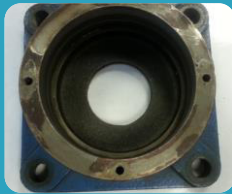
Vybroušená drážka v tělese v místě oběžné dráhy valivých těles.

Příčina

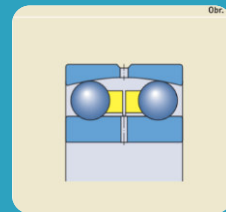
Zvoleno uložení s vůlí pro zatížení s působením vibrací. Vnější kroužek se pak v tělese pohybuje.

Opatření

Zvolit uložení s dostatečným přesahem pro zajištění vnějšího kroužku a správného přenosu zatížení.



Rotační hřídel bubny pračky konstruktér navrhl uložit do dvouřadého kuličkového radiálního ložiska. Vnější kroužek ložiska s ohledem na bodové zatížení uložil do tělesa s vůlí v toleranci H8. Ovšem při přechodu režimu pračky z praní na ždímání se bodové zatížení změnilo na vibrační. Hřídel v tomto režimu přenášela vibrace, které v ložisku způsobily rotující nevyváhu. Setrvačné síly **volným** vnějším kroužkem házely tak, že během 3 týdnů kroužek vybrousil v tělese drážku o hloubce cca 1 mm, tj. vnitřní průměr tělesa pro uložení ložiska se zvětšil cca o 2 mm a **osa hřídele** bubny pračky se **znatelně vychýlila**. Na snímcích výše jsou viditelné dvě obvodové sousledné drážky vybroušené v tělese. Jde o autentický profil vnějšího kroužku dvouřadého kuličkového ložiska včetně jeho drážky pro mazání.



I. OPOTŘEBENÍ

Projev

Obroušené dělicí přepážky vodící klece. Deformované valivé elementy.

Příčina

Stopa valivých elementů je přesunuta na okraj oběžné dráhy. Dojde k přebroušení dělicí přepážky, zaválcování materiálu do oběžných hran, zhavarování.

Opatření

Zvolit ložisko s dostatečnou axiální únosností.



Stopa dráhy valivých elementů je na okraji oběžné dráhy. Těleso ve kterém je ložisko uloženo, je rozválcováno do ostré hrany. Rozdělující přepážky klece jsou zbroušené a zdeformované jsou valivé elementy. Toto poškození způsobilo překročení axiální únosnosti ložiska. K nežádoucímu způsobu kontaktu mezi vodící klecí a valivými elementy dojde z důvodu axiálního přetížení. Za provozu pak elementy obroušují dělicí přepážky vodící klece. Obroušený materiál z klece je zaválcován do oběžných drah. V určitém čase provozování se přebrousí rozdělující přepážky a ložisko zhavaruje.



II. KOROZE

Projev

Lokální koroze na povrchu vnějšího nebo vnitřního kroužku.

Příčina

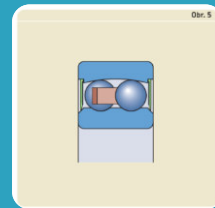
Deformace stykových ploch, nevhodná elipsoidní oběžná dráha valivých tělísek.

Opatření

Zpřesnit geometrické tvary hřídele nebo otvoru tělesa, tj. souvisejících dílů.



Do náboje kola automobilu navrhl konstruktér dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem společně s tělesem, ve kterém bylo ložisko uloženo s přesahem. Při provozu se zdatelně zkrátila životnost ložiska. Po přezkoumání byly na povrchu objeveny rozsáhlé stykové koroze. Z důvodu **nedostatečné geometrické válcovitosti** byl vnější kroužek ložiska do tělesa nalisován tak, že dvě protilehlé stěny ložiska byly k sobě příliš přitlačeny a **deformace obvodu uložení** změnila oběžnou dráhu valivých tělísek z kruhové na elipsoidní. Důsledkem je velice zkrácená životnost ložiska nerovnoměrným opotřebením valivých tělísek a pravděpodobné poškození klece.



II. KOROZE

Projev

Rozsáhlá koroze na vnitřním povrchu vnějšího kroužku.

Příčina

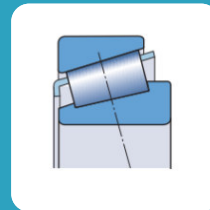
Neúčinné nebo poškozené těsnění.

Opatření

Výměna za vhodnější těsnění. Změna řešení uskládání těsnění a souvisejících dílů.



Z kola vozidla Ford Ka bylo z důvodu přílišného hluku demontováno kuželíkové ložisko. Na oběžné dráze vnějšího i vnitřního kroužku jsou **korozní vtisky**. Do míst oběžných drah ložiska **vnikla kapalina**. Znehodnotila mazivo a porušila povrch oběžných drah a valivých elementů korozí. Kapalina mohla vniknout do ložiska skrze poškozené nebo neúčinné těsnění.



III. PROKLUZOVÁNÍ

Projev

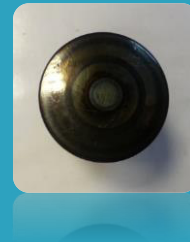
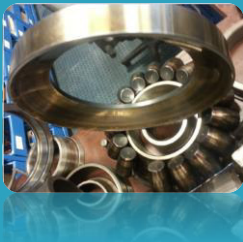
Zbarvení valivého elementu po obvodu jedné strany.

Příčina

Deformace tělesového kroužku ložiska.

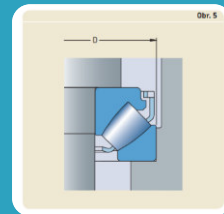
Opatření

Zajistit dostatečné podepření tělesového kroužku ložiska.



Konstruktér **nepodepřel v dostatečné ploše** tělesový kroužek axiálního soudečkového ložiska.

Následkem došlo k pružné deformaci a propadu vnitřní kruhové části tělesového kroužku. V chodu ložiska nastal trvalý stav nerovnoměrného zatížení valivých elementů. Soudečky se na jedné své straně nedotýkaly, prokluzovaly a vůbec se netřely o kroužky, naopak na druhé straně se **odvalovaly v příliš silném sevření za velkého tření a zvýšené teploty**. Na snímcích výše lze rozpoznat dle zbarvení valivého elementu místo přehřívání a neúměrného opotřebení: modrý pruh na kraji ocelového soudečku.



IV. VTISKY

Projev

Vtisky na oběžné dráze a odlupování. Rozsáhlá koroze na povrchu.

Příčina

Nedostatečná povrchová úprava nebo nepřesnost tvaru souvisejícího dílu.

Opatření

Kontrola geometrických úprav tvaru a technologických úprav povrchu (v návrhu či výrobě).



Vnější povrch vnějšího kroužku ložiska vykazuje vážnou stykovou korozi. Ta je způsobena nevyhovujícím tvarem a povrchem souvisejícího dílu. Vtisk v pokročilém stádiu odlupování Poškozuje oběžnou dráhu.

