



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KLUZNÁ LOŽISKA V KONSTRUKCI ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

APPLICATION OF PLAIN BEARINGS FOR FOUR-STROKE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MATEJ ŠEDO

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LUBOMÍR DRÁPAL

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Matej Šedo

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kluzná ložiska v konstrukci čtyřdobých spalovacích motorů

v anglickém jazyce:

Application of plain bearings for four-stroke internal combustion engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor uplatnění a stavby kluzných ložisek v konstrukci čtyřdobých spalovacích motorů v historickém přehledu se zaměřením na současnou situaci.

Cíle bakalářské práce:

Popište princip kluzných ložisek, a jejich charakteristické vlastnosti. V historickém přehledu zmapujte vývoj jejich stavby, materiálů a nasazení v konstrukci čtyřdobých spalovacích motorů. Uveďte především nejnovější trendy a dále nastiňte blízkou budoucnost v této oblasti.



Seznam odborné literatury:


- [1] STACHOWIAK, G. W., BATCHELOR, A. W. Engineering Tribology. 3rd edition. Burlington (Massachusetts): Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 978-0-7506-7836-4.
- [2] RAUSCHER, J., Spalovací motory, Studijní opory VUT v Brně, 2005.
- [3] Kolektiv VÚNM a ČKD. Naftové motory čtyřdobé, 1díl. SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, Druhé vydání, Praha, 1962. L123-B3-IV-41/2490
- [4] KOŠŤÁL, J., SUK, B. Pístové spalovací motory. Nakladatelství Československé akademie věd, První vydání, Praha, 1963.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

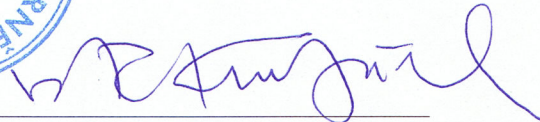
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 13.11.2012





prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



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



ABSTRAKT

Predmetom tejto bakalárskej práce sú klzné ložiská a hlavne ich použitie a uplatnenie v konštrukciách štvordobých spaľovacích motorov. Práca je rozdelená na dve hlavné časti. Prvá časť poskytuje základný popis klzných ložísk, ich rozdelenie a vývoj. Ďalej pojednáva o ich materiáloch a teórii hydrodynamického mazania. V druhej časti je spracovaná koncepcia klzných ložísk v spaľovacích motoroch a ich zaťaženie, spojené s výberom správneho materiálu. Popisuje tiež jednotlivé ložiskové uzly a spôsob rozvodu maziva. Ide o uloženie kľukového a vačkového hriadeľa, piestneho čapu, ojnice a ďalšie miesta použitia klzných ložísk v motore.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Klzné ložisko, spaľovací motor, trenie, štvordobý motor

ABSTRACT

Subject of this thesis are plain bearings and especially their application for four-stroke internal combustion engines. Thesis is divided into two main parts. The first part provides a basic description of plain bearings, their distribution and evolution. It also discusses their materials and the theory of hydrodynamic lubrication. The second part covers concept of sliding bearings in internal combustion engines and their load associated with the election of right material. It also includes description of particular application of plain bearings and the method of oil distribution. It handles the mounting of crankshaft and camshaft, piston pin, connecting rod and other places where sleeve bearings are use.

KEYWORDS

Plain bearing, internal combustion engine, friction, four-stroke engine



BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ŠEDO, M. *Kluzná ložiska v konstrukci čtyřdobých spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 44 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Drápal.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Lubomíra Drápala a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dne 23. května 2013

.....

Matej Šedo



POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať pánovi Ing. Lubomírovi Drápalovi, za ochotu, cenné rady a odborné vedenie pri vypracovávaní tejto práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať ľuďom, ktorí mi boli pri tvorbe ochotný pomôcť a svojej rodine a kamarátom za podporu.



OBSAH

Úvod	9
1 Klzné ložiská	10
1.1 Porovnanie valivých a klzných ložísk	11
1.2 Základná konštrukcia	11
1.3 Rozdelenie klzných ložísk	12
1.4 Historický vývoj klzných ložísk	12
1.5 Materiály klzných ložísk	14
1.5.1 Kompozície	14
1.5.2 Bronzy	15
1.5.3 Iné ložiskové kovy	16
1.5.4 Nekovové ložiskové materiály	16
1.6 Moderné trendy vo vývoji a produkcii klzných ložísk	17
1.7 Mazanie klzných ložísk	18
1.7.1 Teória hydrodynamického mazania	19
1.8 Návrh a parametre klzných ložísk	21
1.8.1 Stribeckova krivka a súčiniteľ trenia	22
1.8.2 Výpočtové parametre	23
2 Klzné ložiská v spaľovacích motoroch	25
2.1 Základná koncepcia klzných ložísk spaľovacieho motoru	26
2.2 Použitie klzných ložísk v spaľovacích motoroch	27
2.2.1 Hlavné ložiská kľukového hriadeľa	27
2.2.2 Ojničné ložiská	29
2.2.3 Ložiská vačkového hriadeľa	30
2.2.4 Ložiská piestneho čapu	31
2.2.5 Ďalšie použitie klzných ložísk	32
2.3 Zaťaženie ložísk a voľba materiálu	32
2.3.1 Konkrétne aplikácie materiálov	33
2.4 Mazanie motorových ložísk	38
Záver	40
Zoznam použitých skratiek a symbolov	44



ÚVOD

Ľudstvo sa už od nepamäti snažilo uľahčovať si prácu pomocou znižovania trecích síl. Výsledkom tejto snahy bol vznik ložísk, súčastí na znižovanie hodnoty trecích odporov. Ložiská sú dôležitou súčasťou v podstate všetkých strojov a strojných zariadení. Aj keď si to možno neuvedomujeme, stretávame sa s nimi v každodennom živote a nachádzajú uplatnenie v mnohých veciach ktoré nás obklopujú. Výnimkou nie je ani ich použitie v spaľovacích motoroch, kde sa klzné ložiská objavili už v počiatkoch ich vývoja. S pomerne rýchlym vývojom štvordobých spaľovacích motorov, ide ruka v ruke aj vývoj nových ložiskových materiálov a konštrukcií. Hlavne v dnešnej dobe, kedy sú zavádzané stále prísnejšie ekologické normy a kladený veľký dôraz na úsporu paliva, je dôležité znižovať straty vzniknuté trením v motore na minimum. Práve preto pútajú motorové ložiská veľkú pozornosť a ich vývoj neustále napreduje.

Dnešným najčastejším predstaviteľom klzných ložísk v motore sú hydrodynamické radiálne ložiská. Pochopenie podstaty hydrodynamického mazania prinieslo zmeny v konštrukcií ložiskových uzlov a pomohlo výrazne znížiť hodnoty trecích strát motorov. Prispela tiež k predĺženiu životnosti v dôsledku menšieho opotrebenia ložiskových uzlov. Vyžaduje však zvýšené nároky na prívod maziva a jeho kvalitu. Nároky kladené na klzné ložiská sa s trendom rastu výkonu a klesania spotreby neustále zvyšujú. Je preto potrebné vždy voliť vhodné ložisko podľa konkrétnej aplikácie a ich funkciu v spaľovacích motoroch rozhodne nepodceňovať.

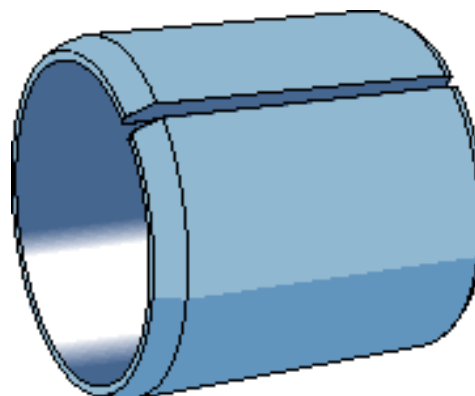


1 KLZNÉ LOŽISKÁ

Ložisko je strojná súčasť slúžiaca na zníženie trenia pri vzájomnom pohybe strojných dielov. Prenáša zaťaženie do rámu stroja, pri súčasnom zachovaní lineárneho alebo rotačného pohybu. Ložiská môžeme podľa rôznych kritérií rozdeliť na mnoho kategórii. Základné delenie je podľa spôsobu trenia, ktoré v ložisku nastáva. Môže byť valivé, šmykové alebo kvapalinové. Na tomto základe sa ložiská rozdeľujú na valivé (Obr. 1) alebo klzné (Obr. 2).



Obr. 1 Valivé ložisko [8]



Obr. 2 Klzné ložisko [9]

Valivé ložisko prenáša zaťaženie pomocou valivých telies, ktoré sa odvalujú takmer bez sklzu. Kontaktná plocha medzi pevnou a rotujúcou časťou je pomerne malá. U klzného ložiska dochádza medzi trecími povrchmi k čistému sklzu a k treniu dochádza na veľkej ploche. Valivé trenie je oproti šmykovému výrazne menšie. Aj keď pri rozbehu je trenie valivého ložiska dvakrát väčšie ako za chodu, je v porovnaní s rozbehovým trením klzného ložiska veľmi malé. Na zníženie trenia, opotrebenia a zahrievania sa u oboch typov ložísk využíva mazivo. Úlohou maziva je oddeliť trecie povrchy mazacím filmom.

Klzné ložiská tvoria asi tretinu svetovej výroby ložísk, avšak v mnohých aplikáciách sú nenahraditeľné. Ich princíp spočíva v prenose zaťaženia hriadeľa do ostatných častí stroja za pomoci šmykového prípadne kvapalinového trenia.



1.1 POROVNANIE VALIVÝCH A KLZNÝCH LOŽÍSK

Obidva typy majú veľmi širokú škálu využitia a svoje výhody a nevýhody.

Valivé ložiská

- + nízke straty trením
- + schopnosť prenosu zaťaženia v ľubovoľnom smere
- + možnosť plného zaťaženia v pokoji aj pri rozbehu
- + malá osová dĺžka
- + nízka spotreba maziva
- + ľahká montáž a údržba

- vyššia obstarávacia cena
- väčšia presnosť pri výrobe
- väčšie rozmery v radiálnom smere
- horšie zvládanie vysokých rýchlostí a nárastu zotrvačných síl

Klzné ložiská

- + menšie vnútorné priemery
- + menšia hmotnosť
- + schopnosť preniesť rázové zaťaženia a väčšie pretáženia
- + nižšie nároky na presnosť pri výrobe
- + nižšia cena
- + možnosť vymedziť vôľu

- väčšia spotreba maziva
- zvýšené trenie pri rozbehu a dobehu
- rýchle poškodenie pri poklese hrúbky mazacieho filmu

1.2 ZÁKLADNÁ KONŠTRUKCIA

Základnou časťou klzného ložiska je ložiskové puzdro a panva, alebo segmenty. Puzdro je funkčná časť klzného ložiska, väčšinou tvaru dutého valca. Vyrábajú sa celé z ložiskového kovu ako valcové a prírubové, alebo spekané zo spekaných kovov, tiež ako valcové a prírubové, prípadne guľové. Ďalšou možnosťou je, že oporná časť je vyrobená z ocele, a na nej je metalurgicky nanosená vrstva ložiskového kovu tzv. výstelka, hrubá niekoľko desiatín mm. Existujú sa aj puzdrá z plastov a ďalších nekovových materiálov. Panva má tvar dutého valca rozdeleného rovinou prechádzajúcou jeho osou na dve polovice. Robia sa bimetalové, hrubostenné (liatinové) a tenkostenné oceľové panvy, vyliate alebo naspekané ložiskovým kovom. Puzdrá, panvy alebo segmenty sa vkladajú do ložiskových telies zo sivej liatiny alebo ocele na odliatky. Telesá môžu byť aj zvarané z oceľových dielov. [5]



1.3 ROZDELENIE KLZNÝCH LOŽÍSK

Podľa režimu mazania na:

- Ložiská s medzným mazaním
- Ložiská s kvapalinovým mazaním:
 - hydrostatické
 - aerostatické (tlakové mazacie pole tvorí externe dodávaný stlačený vzduch)
 - hydrodynamické
 - aerodynamické (tlakové mazacie pole vzniká relatívnym pohybom povrchov)

Podľa spôsobu zaťaženia:

- axiálne
- radiálne

[10]

1.4 HISTORICKÝ VÝVOJ KLZNÝCH LOŽÍSK

Mnohí považujú ložiská za pomerne moderný prvok v konštrukcii strojných zariadení, ale nie je tomu úplne tak. Prvé dôkazy o použití klzných ložísk siahajú až do Mezopotámie okolo roku 2400 pred našim letopočtom (p.n.l.). Išlo o použitie opracovaných kamenných dielov, ktoré slúžili ako dverné ložiská. Neskôr vo Fenícii okolo roku 1500 p.n.l., boli použité klzné ložiská z guajakového dreva pri stavbe lodí. [10]



Obr. 3 Kamenné dverné ložisko [10]

Klzné ložiská sa potom po storočia vyvíjali empirickými metódami, bez poznania podstaty fyzikálnych javov ktoré pri vzájomnom pohybe súčastí nastávajú. Boli vyrábané hlavne z kameňa alebo dreva a využívané napríklad pre hriadele vodných mlynov (Obr. 4 a 5). Prvé ložiská sa používali úplne bez maziva, prípadne na mazanie slúžila voda.



Obr. 4 Drevené ložisko vodného mlynu [11]



Obr. 5 Kamenné ložisko vodného mlynu [12]

Priemyselná revolúcia a s ňou spojený rýchly vývoj rotačných súčastí a strojov od roku 1880, viedol k výraznému zvyšovaniu nárokov na ložiská. Museli znášať väčšie obvodové rýchlosti a zaťaženia, pri čo najmenšej strate výkonu. Pokroky v konštrukcii a mazaní ložísk boli však stále založené hlavne na pracovných skúsenostiach, a len veľmi zriedkavo doplnené o testy na skúšobných zariadeniach. [13]

Až na konci 19. storočia začali byť v klzných ložiskách požívané poznatky z hydrodynamiky a to umožnilo začať riešiť klzné ložiská analyticky. Inžinier Beauchamp Tower spozoroval, že olej v radiálnom ložisku pod záťažou, začne presakovať dierou určenou na dopĺňanie oleja. Tento jav bol však nežiaduci, a tak zatesnil dieru korkom a neskôr tvrdou drevenou zátkou. Zátku však bola vždy vytlačená z otvoru, z čoho Tower usúdil, že v oleji vzniká za prevádzky tlak, spôsobený dovtedy neznámym mechanizmom. Zmeraním tlaku došiel k záveru, že dochádza k vzniku hydraulikkej sily, ktorá dokáže oddeliť trecie povrchy vrstvou oleja. V tom istom čase pracoval Osborne Reynolds na hydrodynamickej teórii mazania. Dáta z Towerovho experimentu poslúžili k potvrdeniu jeho teórie. Reynolds v roku 1886 ako prvý analyticky dokázal a zdôvodnil, že viskózna kvapalina dokáže fyzicky oddeliť klzné plochy, pomocou hydraulického tlaku. Michell a Kingsbury aplikovali túto teóriu začiatkom 20. storočia na radiálne klzné ložiská. [1]

Pochopenie podstaty hydrodynamickeho mazania pomohlo konštruktérom na lepšie prispôsobenie ložísk, a tak isto aj pri voľbe prírodných a odpadových drážok pre mazivo. Teória bola ďalej zdokonaľovaná a okolo roku 1950 už poskytovala výsledky v rozumnej zhode so skutočnými prevádzkovými charakteristikami radiálnych ložísk.

Ďalším dlho známym problémom konštruktérov boli vibrácie strojov, ktoré ložiská značne ovplyvňovali. Základy dynamického výpočtu radiálnych ložísk položil v roku 1964 J. W. Lund, zavedením koeficientov tuhosti a útlmu používaných dodnes. V oblasti tepelného zaťaženia ložísk došlo k náhrade prvotného izotermického riešenia prietoku maziva ložiskovou medzerou termohydrodynamickým, s uvažovaním zmeny viskozity maziva v ložiskovej medzere, na základe jeho teploty. U dynamicky zaťažených ložísk piestových strojov, sa tiež začali uvažovať zmeny geometrie ložiskovej medzery, vyvolané deformáciou ojníc a ložiskových telies. V 60. až 80. rokoch 20. storočia nastal veľký vývoj klzných ložísk mazaných plynom a o niečo neskôr aj magnetických ložísk.

V súčasnosti je snaha používať a vyvíjať ložiská mazané priamo procesným médiom, kvôli zjednodušeniu konštrukcie a zmenšeniu rozmerov strojov. [13]



1.5 MATERIÁLY KLZNÝCH LOŽÍSK

Na materiál klzných ložísk je kladených veľa rôznych, často aj protichodných požiadaviek. Medzi jeho základné vlastnosti patrí:

- odolnosť voči pretvoreniu
- nízka rozťažnosť
- nízky pokles tvrdosti s teplotou
- dobrá tepelná vodivosť
- odolnosť proti zadieraniu
- schopnosť pojať tvrdé častice
- schopnosť udržať vrstvu oleja na povrchu
- prispôsobivosť geometrie klzného povrchu
- zaťažiteľnosť
- vysoká únavová pevnosť
- nízke hodnoty súčiniteľa trenia
- dobrá príľnavosť k základnému materiálu
- odolnosť voči korózii
- odolnosť proti oteru
- odolnosť voči kavitáciám

K základným materiálom pre výrobu klzných ložísk patria kompozície, bronzy a zliatiny hliníku. Používajú sa aj nekovové materiály, ako napríklad polyamid, teflón a vrstvený textil.

1.5.1 KOMPOZÍCIE

Pre klzné ložiská sa používajú cínové a olovené kompozície. Patria k najstaršej skupine ložiskových kovov a aj pri zlom mazaní si zachovávajú veľmi dobré klzné vlastnosti. Pri porušení mazacej vrstvy dochádza v dôsledku zvýšenej teploty k roztaveniu kryštálov kompozície. Roztavené kryštály sa však nenavaria na čap v ložisku, ale rozotru sa po okolitej ploche, čím zabránia poškodeniu čapu. Sú schopné veľmi dobre pojať tvrdé častice, ale ich tepelná vodivosť je nízka.



Obr. 6 Kompozitné ložiská [14]



- **Cínové kompozície** veľmi dobre znášajú rázové zaťaženie. Prítomnosť cínu zlepšuje klzné vlastnosti a prispieva aj k vyššej tvrdosti a húževnatosti kovu. Tak isto zvyšuje tvrdosť nanesej vrstvy. So stúpajúcou teplotou však tvrdosť pri väčšom obsahu cínu, klesá omnoho rýchlejšie ako u olovených kompozícií. Tvrdosť klznej vrstvy je možné zlepšiť väčším obsahom medi a antimónu, avšak na úkor zvýšenej lámavosti výstelky.
- **Olovené kompozície** majú nižšiu tvrdosť. Uplatňujú sa pri výrobe menej namáhaných ložísk, ako náhrada za cínové. Pri väčšom obsahu olova dochádza k poklesu bodu tavenia a zhoršeniu klzných vlastností. V súčasnosti už existujú veľmi spoľahlivé a plne vyhovujúce kompozície úplne bez, alebo len s malým obsahom cínu.

[3]

1.5.2 BRONZY

Bronzy majú výbornú tepelnú vodivosť a vysokú tvrdosť. Tvrdosť spôsobuje, že vrstva nie je schopná pohltiť pevné telieska, ktoré vniknú do ložiska, a preto je väčšinou nutné používať kalené, prípadne cementované čapy. Klzný povrch býva hladko obrobený.

- **Cínové bronzы** sú najstarším druhom. Obsah cínu sa pohybuje do 20%. Vyznačujú sa vysokou pevnosťou a tvrdosťou, avšak nemajú dobré klzné vlastnosti. Pokiaľ nie sú dostatočne mazané, dôjde pomerne ľahko k ich zadretiu. Znášajú vysoké prevádzkové teploty s malým poklesom tvrdosti, avšak ich tepelná rozťažnosť je pomerne veľká.
- **Červené kovy** sú viaczložkové bronzы s obsahom zinku a nižším obsahom cínu. Majú veľmi dobré klzné vlastnosti, ale dokážu zniesť len malé zaťaženia.
- **Hliníkové bronzы** majú veľkú únosnosť a tvrdosť len mierne klesajúcu s teplotou. Dokážu dobre odolávať korózií, vďaka ochranej vrstve z oxidov. Obsah hliníka je do 10% a ďalšie prímеси tvorí najčastejšie mangán, nikel a železo.
- **Olovené bronzы** majú veľmi dobré klzné vlastnosti a značnú únosnosť. Tvoria hlavnú skupinu ložiskových kovov u rýchlobežných motorov. Dokážu znášať veľké okrajové namáhanie a vyznačujú sa vysokou odolnosťou voči korózii. Kvôli nízkym mechanickým vlastnostiam sa najčastejšie používajú len ako výstelky, kde so zmenšovaním hrúbky vrstvy podstatne rastie ich životnosť a únosnosť. Znášajú aj rázové zaťaženie a majú malý pokles tvrdosti s rastúcou teplotou. Používajú sa s rôznymi prísadami ako je cín, ktorý zvyšuje pevnosť a tvrdosť, alebo nikel či mangán. Vysoká tvrdosť spôsobuje potrebu používať kalené alebo cementované čapy v dôsledku nízkej pohltivosti vrstvy.

[3]



Obr. 7 Bronzové puzdrá [15]



1.5.3 INÉ LOŽISKOVÉ KOVY

K ďalším používaním ložiskovým kovom patrí šedá ložisková liatina a hliník. Uplatnenie majú tiež materiály na báze zinku alebo kadmia, avšak len pri potrebe niektorých špeciálnych vlastností.

- **Šedá ložisková liatina** je grafitická liatina. Jej štruktúra je čisto perlitická. Medzi jej vlastnosti patrí dobrá únosnosť aj pri pomerne veľkých tlakoch, avšak nedokáže zvládnuť veľké klzné rýchlosti. Ložiská vyžadujú kvapalinové trenie a hladký chod. Pri pretrhnutí mazacieho filmu dochádza veľmi rýchlo k zadretiu. Liatinové puzdrá mávajú väčšiu hrúbku a vyžadujú kalené či cementované čapy. Veľkou nevýhodou je zlá tepelná vodivosť.
- **Hliník** disponuje veľmi dobrými klznými vlastnosťami. Vyrábajú sa z neho liate alebo tvárnené puzdrá. Z plátov sa robia ložiskové panvy. Medzi jeho vlastnosti patrí veľká únosnosťou a dobrá tepelná vodivosť. Nevýhodou je tvrdý povrch a s tým súvisiaca zlá pohltivosť cudzích telies. Vyžaduje preto kalený čap a veľmi malú drsnosť povrchu panvy aj čapu, kvôli životnosti ložiska

[3]

1.5.4 NEKOVOVÉ LOŽISKOVÉ MATERIÁLY

Výhody u nekovových ložiskových materiálov, predovšetkým plastov, sú ich elektroizolačné vlastnosti a odolnosť voči korózií. Niektoré plasty nevyžadujú mazanie a dokážu znášať pomerne vysoké teploty. Jeden z najpoužívanejších plastov je polytetrafluoretylén, označovaný ako teflón. V poslednej dobe sa ako materiál pre ložiská veľmi rozvíjajú termoplasty. Medzi najpoužívanejšie patria napríklad polyfenylénsulfid (PPS), či polyamid (PA). Taktiež sa používajú materiály ako guma, textilné vlákna, sklenené vlákna, atď. Tieto materiály nachádzajú využitie pre nemazané ložiská, malé zaťaženia a malé klzné rýchlosti.

[16]



Obr. 8 Polyamidové ložisko [15]



Obr. 9 Ložisko z vinutých vlákien [15]



1.6 MODERNÉ TRENDY VO VÝVOJI A PRODUKCIÍ KLZNÝCH LOŽÍSK

V dnešnej dobe sa produkuje množstvo rôznych konštrukcií, v ktorých majú okrem jednoduchých ložiskových puzdier alebo paniev, využitie aj mnohé špeciálne typy klzných ložísk. Na vlastnosti klzných ložísk sú kladené stále väčšie požiadavky a vďaka mnohým moderným materiálom a technológiám nachádzajú uplatnenie stále v nových aplikáciách, často aj ako náhrady za valivé ložiská.

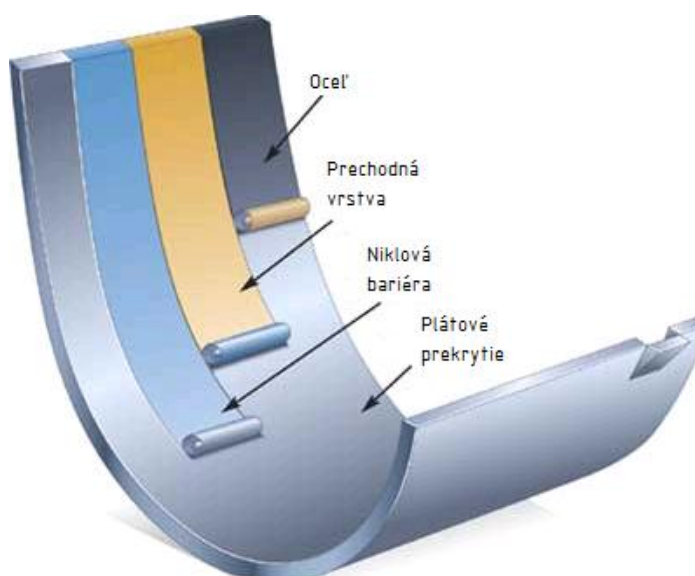
Hlavný vývoj momentálne prebieha v oblasti viacvrstvových a samomazaných ložísk. Viacvrstvové materiály sú väčšinou tvorené oceľovým puzdrom (pásom) s nanosenou vrstvou pórovitého materiálu. Tá je spojená s klzným materiálom, často tvoreným zmesou teflónu, bronzu, grafitu, medi, olova a iných materiálov. Takýto materiál ľahko znáša vysoké aj nízke teploty ($-200 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$), má výborné klzné vlastnosti a je odolný voči opotrebeniu.

Samomazané ložiská začali už pred viac ako 50. rokmi využitím teflónu. Ten má veľmi dobré klzné vlastnosti, ale zle odvádza teplo. S vývinom nového materiálu, ktorý kombinuje vlastnosti teflónu s pevným kovovým nosičom, sa umožnilo použitie samomazaných ložísk aj pre vysoké záťaž. Ich výhodou je, že v konštrukciách a strojoch sa môže upustiť od mazačích systémov. Používa sa bronzový alebo oceľový nosič a klznú plochu tvorí vrstva teflónu.

Pomerne novým typom sú aj ložiská z bronzovej zliatiny, ktoré obsahujú grafitové zrná. Tie umožňujú prevádzku ložísk bez potreby mazania. Ich využitie je napríklad vo vodných turbínach, pretože sú schopné znášať vysoké tlaky a rýchlosti, aj v znečistenej vode. Špeciálnu časť tvoria ložiská, ktoré majú v bronzovom puzdre vytvorené kapsy, vyplnené prírodným grafitom.

Vývoj klzných ložísk väčšinou neprináša revolučné zmeny, skôr ide o vylepšovanie vlastností pre konkrétne aplikácie. Patrí sem napríklad nový materiál pre ložiská lyžiarskych vlekov, ktorý je určený pre prevádzku v nízkych teplotách. Progresívnym výrobkom je tiež metaloplastová fólia, čo je vlastne hliníková tkanina zapracovaná do teflónového filmu s obsahom sklenených vlákien. Jej využitie je napríklad v závesoch dverí osobných automobilov.

[17]



Obr. 10 Viacvrstvové ložisko [18]



1.7 MAZANIE KLZNÝCH LOŽÍSK

Použitie maziva pri prevádzke klzných ložísk slúži na zníženie súčiniteľa trenia medzi trecími povrchmi. Napomáha tiež chladeniu povrchov a chráni ich pred opotrebením.

Režimy mazania:

- hydrodynamické
- hydrostatické
- elastohydrodynamické
- medzné
- tuhými mazivami

Hydrodynamické mazanie vyžaduje nepretržitú dodávku maziva, ktoré však nemusí byť pod tlakom. Medzi povrchmi je pomerne hrubá vrstva maziva, ktorá zabraňuje ich vzájomnému styku. Základom je vytvorenie tlaku v mazive, pomocou relatívneho pohybu trecích povrchov, ktorý ho vŕahuje do klinovej medzery. Vzniknutý tlak vo vrstve umožňuje ložisku prenášať zaťaženie. Teória hydrodynamického mazania je bližšie popísaná v ďalšej kapitole.

Hydrostatické mazanie spočíva vo vytvorení mazacieho filmu medzi trecími povrchmi mazivom, privádzaným pod dostatočne vysokým tlakom. Z toho vyplýva, že na rozdiel od hydrodynamického mazania, nie je nutný relatívny pohyb trecích povrchov. Nachádza využitie u ložísk s malými, prípadne nulovými rýchlosťami a v aplikáciách s potrebou čo najnižšieho súčiniteľa trenia. Nevýhodou je potreba externého mechanizmu na dodávanie a tlakovanie maziva.

Elastohydrodynamické mazanie je režim, ku ktorému dochádza napríklad u spoluzaberajúcich kolies alebo valivých ložísk. Vzájomným odvalom trecích povrchov dochádza medzi nimi ku vŕahovaniu maziva. Ide o kombináciu Hertzovej teórie kontaktu elastických telies, s teóriou hydrodynamického mazania. Patrí medzi kvapalinové mazania.

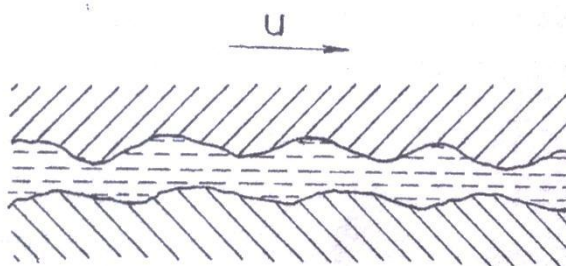
Medzné mazanie nastáva pri pretrhnutí mazacieho filmu, kedy sú povrchové nerovnosti oddelené len hrúbkou niekoľkých molekúl maziva. Môže ho spôsobiť zvýšenie zaťaženia, pokles viskozity, alebo zníženie rýchlosti trecích povrchov. Pokiaľ nastane tento režim, viskozita už nehrá hlavnú úlohu, ale záleží na chemických vlastnostiach materiálov a maziva. Medznému mazaniu predchádza tzv. **zmiešané mazanie**, ktoré vlastnosťami leží medzi hydrodynamickým a medzným mazaním.

Mazanie tuhými mazivami ako grafit alebo disulfid molybdeničitý, sa používa pri ložiskách pracujúcich za extrémnych teplôt. Patria sem aj tzv. samomazané ložiská, v oblasti ktorých stále prebieha výskum a hľadajú sa kompozitné materiály, s nízkymi hodnotami súčiniteľa trenia a opotrebenia.

[6]

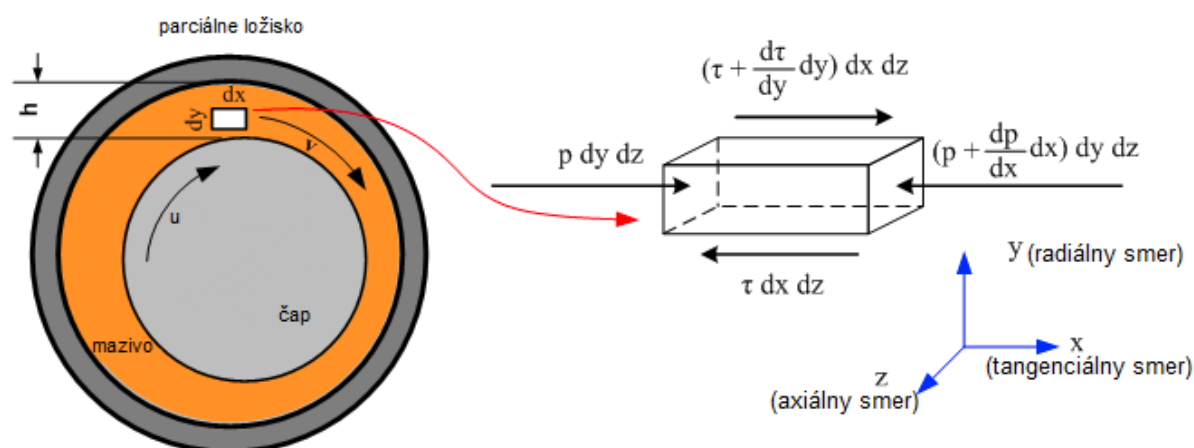
1.7.1 TEÓRIA HYDRODYNAMICKÉHO MAZANIA

Pri hydrodynamickom mazaní nastáva medzi povrchmi kvapalinové trenie. Dochádza k oddeleniu trecích povrchov súvislou vrstvou maziva, ktorej hrúbka je dostatočne veľká na oddelenie povrchových nerovností. Trecí odpor je nízky, pretože je tvorený len vnútorným trením molekúl v tekutine. Pri teoretickej úvahe môžeme dokonca tvrdiť, že nedochádza k žiadnemu opotrebeniu klzných plôch. Základnými vlastnosťami je viskozita maziva, ktorá rozhoduje o prúde v mazacej vrstve, a absorpcia. Tá je zodpovedná za príľnutie tenkej vrstvy maziva na klzných povrchoch, medzi ktorými prúdi samotná mazacia vrstva. Vzniku hydrodynamického mazania napomáha vhodná rýchlosť trecích povrchov, ich geometrický tvar a správna viskozita maziva. [7]



Obr. 11 Kvapalinové trenie [7]

Základy dnešnej teórie hydrodynamického mazania položil Osborne Reynolds, za pomoci údajov získaných experimentom Beuchampa Towera, popísaného v skoršej kapitole (historický vývoj). Reynoldsova rovnica popisuje rozdelenie tlaku v klinovej medzere medzi trecími povrchmi. Ide o diferenciálnu rovnicu, ktorá dodnes budí záujem mnohých vedcov a tvorí základ problematiky mazania. [6]



Obr. 12 Sily pôsobiace na elementárny objem maziva v klinovej medzere [19]

Na obr. 12 je otáčajúci sa čap v parciálnom klznom ložisku, ktoré je nehybné. Trecie povrchy sú oddelené vrstvou maziva o premennej hrúbke h a obvodová rýchlosť čapu u , je konštantná.



Vyberme z maziva elementárny objem v podobe hranolu o rozmeroch dx , dy , dz . Ako vidieť na obr. 12, na jeho zvislé steny pôsobia normálové sily zapríčinené tlakom maziva a na vodorovné pôsobia tangenciálne trecie sily, spôsobené viskozitou maziva. Silovú rovnováhu v ose x môžeme popísať rovnicou:

$$\sum F_x = p dydz - \left(p + \frac{dp}{dx} dx \right) dydz - \tau dx dz + \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial y} dy \right) dx dz = 0 \quad (1)$$

kde τ je šmykové napätie v tekutine a p je hodnota pôsobiaceho tlaku olejovej vrstvy.

Dosadíme Newtonov vzťah pre šmykové napätie v kvapaline:

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial y} = \eta \frac{u}{h} \quad (2)$$

kde η je konštanta úmernosti, alebo tiež dynamická viskozita a derivácia $\partial v / \partial y$ predstavuje gradient rýchlosti, alebo tiež šmykový spád.

Po úpravách dostaneme vzťah pre rýchlosť maziva v priereze klinovej medzery vo vzdialenosti y :

$$v = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (y^2 - hy) + \frac{u}{h} y \quad (3)$$

Použitím vzťahu (3) a následnou integráciou, dostaneme vzťah pre objemový prietok maziva klinovou medzerou:

$$Q = \int_0^h v dy = \frac{uh}{2} - \frac{h^3}{12\eta} \frac{dp}{dx} \quad (4)$$

Mazivo považujeme za nestlačiteľné, takže objemový prietok maziva je vo všetkých miestach klinovej medzery rovnaký:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dx} \left(\frac{h^3}{\eta} \frac{dp}{dx} \right) = 6u \frac{dh}{dx} \quad (5)$$

Rovnica (5) je klasická jednorozmerná Reynoldsova rovnica zanedbávajúca boční výtok maziva. V prípade, že je boční výtok braný do úvahy, má rovnica tvar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6u \frac{\partial h}{\partial x} \quad (6)$$

[6]



Vo väčšine inžinierskych aplikáciách, je riadiaci proces hydrodynamického mazania príliš komplikovaný na to, aby bol jednoducho popísaný presnou matematickou rovnicou. Vyskytuje sa tu mnoho vzájomne sa ovplyvňujúcich faktorov a premenných, čo robí popis veľmi náročným, ak nie nemožným. Bolo preto zavedených niekoľko zjednodušujúcich predpokladov, nutných pre odvodenie Reynoldsovej rovnice.

- Objemové sily sa zanedbávajú – na kvapalinu nepôsobia žiadne vonkajšie silové polia
- Tlak je v celom filme rovnaký – pretože hrúbka hydrodynamického filmu sa pohybuje v rozmedzí niekoľkých mikrometrov
- Nedochoádza k sklzu v medznej oblasti – rýchlosť priľahlej olejovej vrstvy, je rovnaká ako rýchlosť medznej vrstvy
- Mazivo je považované za Newtonovskú kvapalinu – platia isté výnimky, hlavne pri polymérnych olejoch
- Prúdenie je laminárne – výnimkou sú veľké ložiská, napríklad pri turbínach
- Zotrvačnosť kvapaliny je zanedbávaná – platí pre malé rýchlosti alebo vysoké zaťaženia
- Hustota kvapaliny sa nemení – platné hlavne pre kvapaliny s nízkou tepelnou rozťažnosťou, avšak neplatí pre plyny
- Vo vytvorenej mazacej vrstve je viskozita rovnaká – hrubý a neplatný predpoklad, avšak potrebný na zjednodušenie výpočtov

[1]

1.8 NÁVRH A PARAMETRE KLZNÝCH LOŽÍSK

Správanie klzných ložísk mazaných hydrodynamicky, ovplyvňujú rôzne veličiny. Z pohľadu konštruktéra je možné tieto veličiny rozdeliť na závislé (výstupné) a nezávislé (vstupné). Vstupné veličiny obvykle volí sám konštruktér, prípadne sú zadané podľa konkrétnej aplikácie.

Nezávislé:

- Dynamická viskozita – druh maziva väčšinou volí konštruktér prípadne je dopredu dané
- Merné zaťaženie ložiska
- Frekvencia otáčania vnútorného čapu – obvykle býva daná vzhľadom na použitie ložiska v stroji
- Rozmery ložiska – spravidla volené konštruktérom s prihliadnutím na rozmery stroja a množstvo voľného priestoru na uloženie

Závislé:

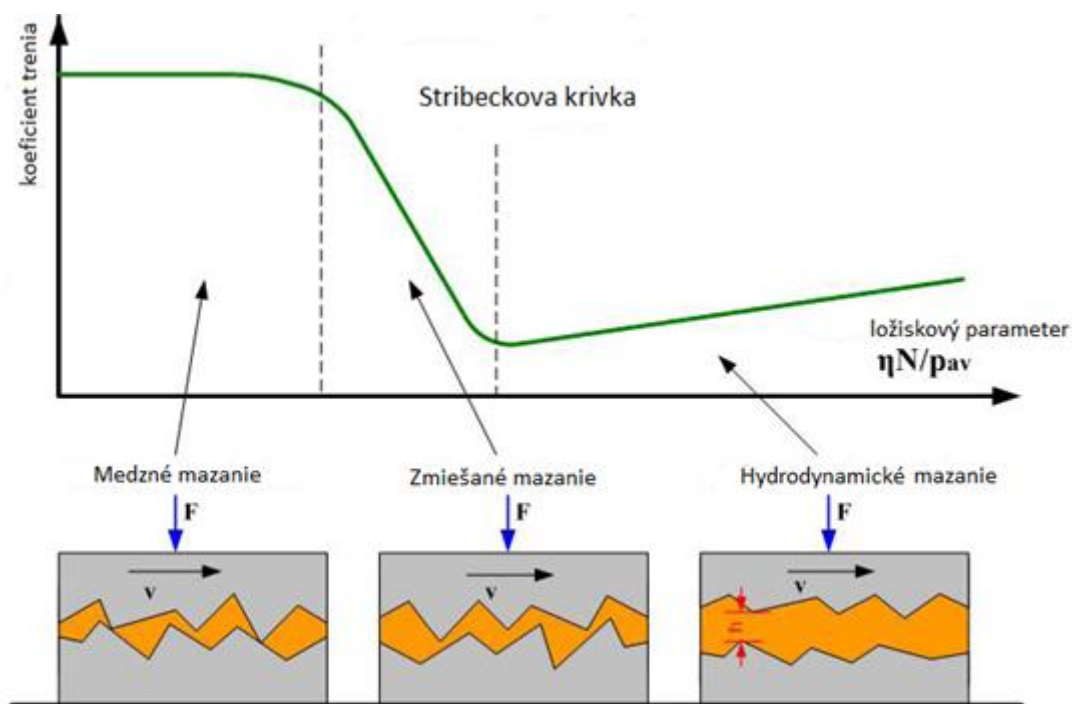
- Súčiniteľ trenia
- Oteplenie maziva
- Objemový prietok maziva
- Minimálna hrúbka mazacieho filmu

[6]

Výstupné veličiny slúžia ako ukazovatele správnej funkcie klzného ložiska. Úlohou konštruktéra je na základe použitého materiálu, maziva a parametrov danej aplikácie, stanoviť intervaly závislých veličín a pomocou nich prispôsobiť veličiny nezávislé. [6]

1.8.1 STRIBECKOVA KRIVKA A SÚČINITEĽ TREANIA

Zmena veľkosti súčiniteľa trenia medzi klznými plochami hydrodynamicky mazaného klzného ložiska, sa mení charakteristickým spôsobom, v závislosti na parametroch maziva a prevádzkových podmienkach. Túto závislosť vyjadruje tzv. obecná Stribeckova krivka.



Obr. 13 Režimy mazania a obecná Stribeckova krivka [20]

Veličiny na ktorých súčiniteľ závisí, sú zhrnuté do ložiskového parametru. Vystupujú v ňom veličiny, η – dynamická viskozita maziva, ω – uhlová rýchlosť otáčania čapu a p_{av} – merné zaťaženie klznej plochy.

Najväčší koeficient trenia je pri pokoji. Zo zvyšujúcimi sa otáčkami klesá, v dôsledku zväčšujúcej sa vrstvy maziva a lepšieho rozloženia tlaku po obode čapu. Minimum krivky tvorí hranicu medzi zmiešaným a hydrodynamickým mazaním. Teoreticky ide o stav, kedy sú trecie povrchy oddelené medznou vrstvou vytvorenou na každom povrchu a pohyb prebieha na ich rozhraní. Súčiniteľ trenia ďalej mierne rastie so zvyšujúcou sa rýchlosťou, v dôsledku nárastu otáčok a zväčšujúcej sa hrúbky maziva. [7]



1.8.2 VÝPOČTOVÉ PARAMETRE

Viskozita maziva má pri návrhu ložiska zásadnú rolu a treba počítať s tým, že jej hodnota sa počas prevádzky ložiska mení. Mazivo sa pri väčšine aplikácií volí na základe jeho viskozity pri požadovanej teplote, pretože je na nej extrémne závislá. Stúpaním teploty rapídne klesá jej hodnota. V niektorých prípadoch môže nastať pokles viskozity až o 80%, pri oteplení len o 25°C. [1]

Keďže pri výpočtoch bol zavedený predpoklad, že viskozita maziva je v celom objeme konštantná, je treba voliť mazivo tak, aby spĺňalo požiadavky aj pri zmene jeho teploty. Preto sa viskozita prepočítava pomocou priemernej teploty maziva, kde je započítaný čiastočný odvod tepla bočným výtokom a nárast teploty pri výstupe z klinovej medzery oproti vstupnej hodnote. [6]

Viskozita ďalej závisí aj na tlaku v mazive. Fenomén rastu viskozity s tlakom, môže pri vysokých tlakoch spôsobiť, že mazivo sa správa skôr ako tuhá látka a nie ako tekutina. Existuje mnoho rôznych formulácií závislosti viskozity na tlaku a väčšinou sa vyjadruje pomocou tzv. tlakovo-viskózných koeficientov. Viskozita taktiež závisí aj na znečistení maziva, dobe jeho používania a rýchlostnom gradiente.

Únosnosť ložiska sa získa pomocou integrácie rozloženia tlaku, v mazacej medzere nad ložiskovou plochou. Pri premenlivom zaťažení, dochádza k prispôbeniu geometrie mazacieho filmu, aby udržal rovnováhu medzi zaťažením a tlakovým poľom. Je tiež nutné stanoviť minimálnu hrúbku mazacieho filmu a prípustné zaťaženie pri rozbehu. Hodnota únosnosti sa vyjadruje pomocou Sommerfeldového čísla a je bližšie popísaná v neskoršej kapitole, pre konkrétne aplikácie ložiskových uzlov spaľovacích motorov.

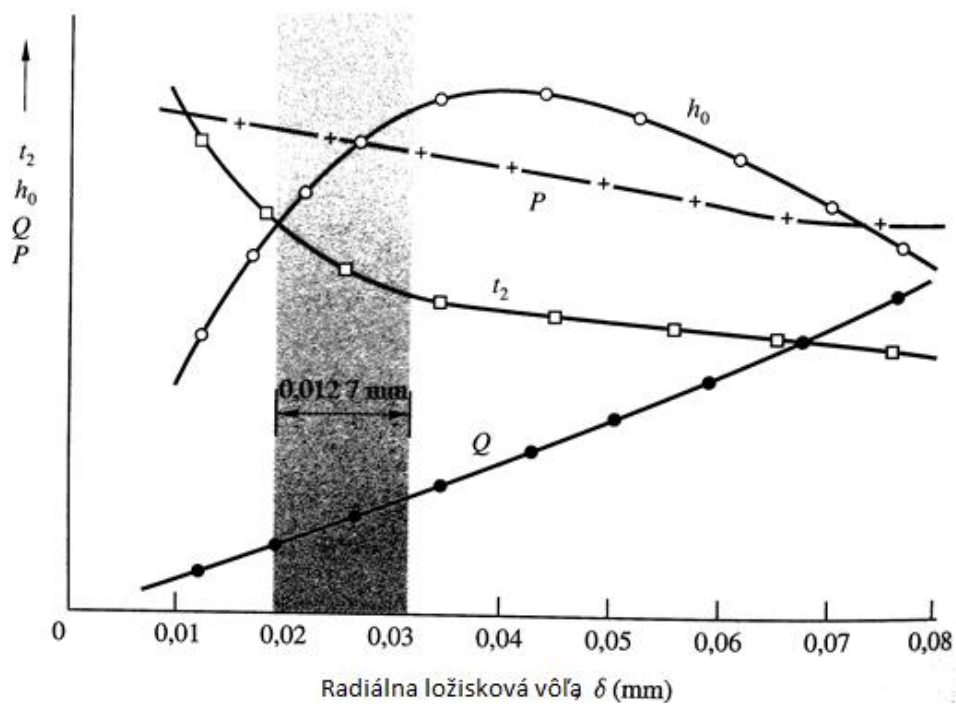
Trečia sila za prevádzky sa určuje s predpokladom, že prebieha kvapalinové trenie a odpor je spôsobený len šmykovým napätím v kvapaline. Získa sa jeho integráciou cez celú nosnú plochu ložiska. Výsledkom je celková trečia sila, pôsobiaca v hydrodynamickom filme. Reakčná sila z tlakového poľa pôsobí v normálovom smere na daný povrch, zatiaľ čo zaťaženie pôsobí vertikálne. Z toho sa dá usúdiť, že trečia sila pôsobiaca na vrchnú polovicu klzného povrchu je menšia, ako sila pôsobiaca na plochu spodnú.

Objemový prietok maziva sa určí pomocou množstva maziva, ktoré je do ložiska dodávané, a ktoré sa stráca z dôvodu bočného výtoku. Ide o veľmi dôležitú veličinu ovplyvňujúcu správnu funkciu ložiska. Do ložiska musí prúdiť dostatočné množstvo maziva na udržanie hrúbky mazacieho filmu a zabránenie zadretiu ložiska.

[1]



Radiálna vôľa zabezpečuje správnu hrúbku mazacieho filmu a dostatočný prietok maziva. Mení sa v závislosti na výrobných rozmeroch a ich toleranciách, ale aj s časom v dôsledku postupného opotrebovania ložiska. Pokiaľ je vôľa veľmi malá, je aj vrstva mazacieho filmu tenká a výstupná teplota maziva vysoká. Vysoké teploty a úzka vrstva mazacieho filmu môžu viesť k poškodeniu ložiska. Naopak pokiaľ je jej hodnota príliš veľká, dochádza k poklesu minimálnej hrúbky mazacieho filmu a zvýšeniu hlučnosti. Pre uloženia s malou hodnotou vôle sa používa usporiadanie H8/f7 a pre väčšie vôle H9/d9. [6]

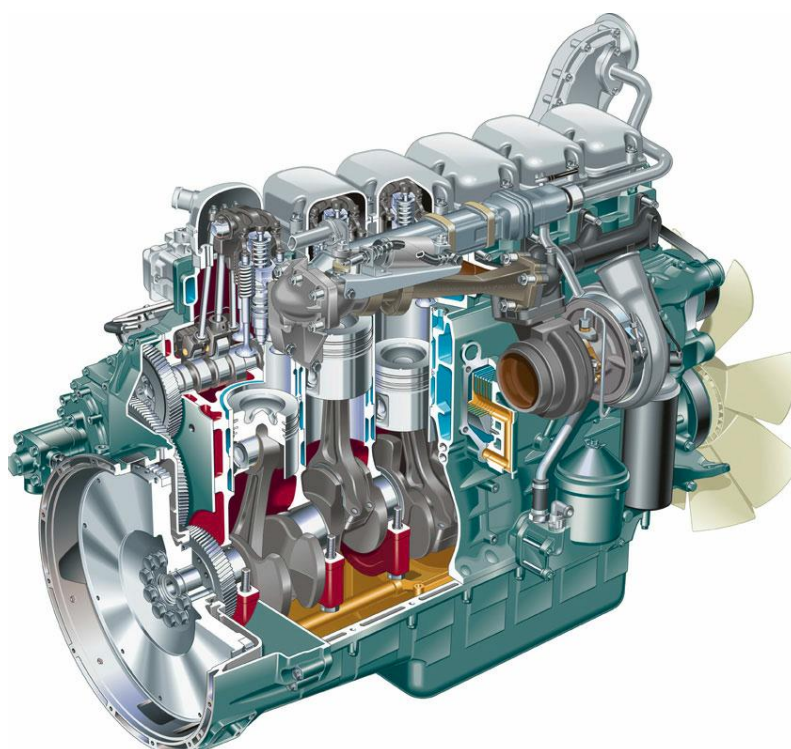


Obr. 14 Vplyv radiálnej vôle na parametre mazania (t_2 – výstupná teplota maziva; h_0 – minimálna hrúbka mazacieho filmu; Q – objemový prietok; P – tlak) [6]



2 KLZNÉ LOŽISKÁ V SPALOVACÍCH MOTOROCH

Klzné ložiská sú veľmi dôležitým dielom v spaľovacích motoroch, a preto je ich vývoj úzko spätý s vývojom samotných motorov. Veľmi často sú rozhodujúcim elementom pri otázke spoľahlivosti a životnosti motorov v prevádzke. Neustále rastúce požiadavky na vysoký výkon a nízku spotrebu vyžadujú od ložiskových uzlov najmä vysokú zaťažiteľnosť pri čo najmenších trecích stratách. Tak isto je snaha o ich kompaktnosť a minimálnu náročnosť na údržbu. Ich životnosť najviac ovplyvňuje druh zaťaženia, voľba materiálu a ložisková vôľa. Taktiež vyžadujú vhodný mazací systém a mazivo požadovanej kvality a čistoty.



Obr. 15 Piestový štvordobý spaľovací motor [2]

V dnešnej dobe sú väčšinou ložiská vyrábané v špecializovaných závodoch, s vysokou presnosťou. Ložiskové uzly tvoria hlavne samostatné celky, ľahko zmontovateľné a vymeniteľné. Do motorov sú potom montované bez ďalších úprav. Práve preto sú kladené veľké nároky na výrobnú presnosť a znalosť postupu ich montáže a údržby. V motoroch sú aplikované na uloženie hlavných a najviac namáhaných dielov. Z tohto dôvodu je každá ich porucha náročná nielen z ekonomického hľadiska, ale aj z dôvodu možnosti poškodenia iných dielov a ťažkej havárie motoru. [7]



2.1 ZÁKLADNÁ KONCEPCIA KLZNÝCH LOŽÍSK SPALOVACIEHO MOTORU

Klzné ložiská patria u spaľovacích motorov k prevládajúcemu spôsobu uloženia. Najčastejším typom sú oceľové panvy vyliate výstelkou z ložiskového kovu. Snahou v dnešnej dobe, je voliť hrúbku steny paniev aj s výstelkou čo najmenšiu, nielen kvôli väčšej únosnosti tenkej vrstvy, ale aj z dôvodu šetrenia ložiskových kovov. Na ich konečnú úpravu je vhodné použiť jemné sústruženie, lapovanie prípadne honovanie. Hrany a vybraná v klznej ploche bývajú zaoblené, čo predchádza vylamovaniu ložiskového kovu. [3]

Koncepcia ložísk a ložiskových uzlov sa stále vyvíja. Ide hlavne o vývoj nových ložiskových materiálov a snahu s ich pomocou vytvárať skladané konštrukcie vrstiev materiálov, s požadovanými vlastnosťami, do celku s optimálnou charakteristikou.

Na začiatku sa používali len **jednovrstvové ložiská**, kde sa odlieval ložiskový kov priamo do ložiskového telesa, väčšinou z ocele alebo liatiny, a s ním ďalej opracoval na požadovaný rozmer. Ich výroba spotrebovávala veľké množstvo ložiskového kovu. Výhodou je možnosť ručného zalícovania klznej plochy, možnosť ľahkej opravy poškodených miest vo výstelke a tiež veľká rezerva v hrúbke vrstvy pre prijímanie cudzích častíc. Z dôvodu veľkej hrúbky neumožňujú veľkú dynamickú zaťažiteľnosť ložiskových uzlov. Táto koncepcia je v dnešnej dobe používaná už len veľmi zriedkavo, hlavne u veľkých pomalobežných motorov a je na trvalom ústupe. Puzdrá sa vyrábajú z olovených, hliníkových alebo cínových bronzov.

Ďalším druhom sú **dvojrvtvové ložiská**, u ktorých sa ložiskový kov vylieva do hrubostenných paniev, alebo puzdier, ktoré tvoria nosný podklad. Nedochoádza k veľkej spotrebe ložiskového kovu, ktorým je väčšinou hliník s prídavkom cínu a medi. Zníženie hrúbky ložiskového kovu umožňuje výrazne zvýšiť zaťažiteľnosť ložiska. Dvojrvtvové ložiská sa dnes bežne používajú u veľkých naftových motorov, a sú vyrábané ako samostatné celky. Tie sa vkladajú do pripravených ložiskových telies a zaisťujú proti pohybu.

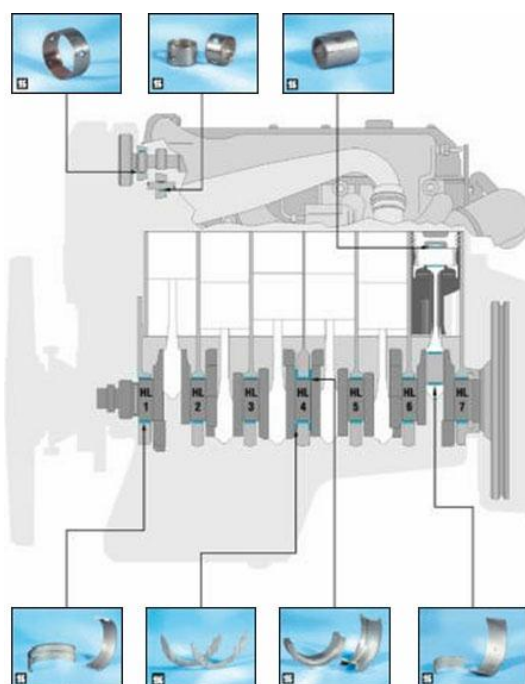
Pre klzné uloženie výkonných spaľovacích motorov, bolo treba opäť zmenšiť hrúbku ložiskového kovu a oceľového podkladu ložiska. Súčasne sa začali používať tvrdšie ložiskové kovy, s väčšou únosnosťou. Snaha udržať vyhovujúce klzné a núdzové vlastnosti povrchu ložiska, viedla k vzniku **trojvrstvových tenkostenných ložísk**. K zmenšeným hrúbkam vrstvy ložiskového kovu a oceľového podkladu, bola pridaná tretia zábehová a funkčná vrstva, nanášaná galvanicky. Obvykle ide o olovené zliatiny s cínom (PbSn). Vrstva je veľmi tenká a schopná znášať vysoké zaťaženie. Nevýhodou je, pokiaľ je vrstva nanosená na základnú výstelku oloveného bronzu, pretože účinkom prevádzkovej teploty a tlaku, dochádza k difundácii cínu do bronzu. To môže spôsobiť odlupovanie funkčnej vrstvy ložiska. Taktiež dochádza k ochudobňovaniu vrstvy o cín znižuje sa jej odolnosť voči korózií. Medzi tieto vrstvy sa vkladá antidifúzna bariéra, obvykle vrstva Ni, zabraňujúca difundácii cínu. Okrem toho je na strany tenkostennej ložiskovej panvy nanosená tenká vrstva čistého cínu, z dôvodu ochrany oceľového podkladu pred koróziou a zlepšenia funkcie klznej plochy. [7]

Moderné ložiská využívajú hlavne kompozitné materiály a konštrukcie, pri ktorých sa dosiahnu potrebné vlastnosti s malou spotrebou materiálu. Vyžadujú dobré zachádzanie pri doprave aj skladovaní a nemôžu byť dodatočne upravované či opracované. V prípade poruchy sa ložiská neopravujú a je nutná ich výmena za nové. Príchod viacvrstvových a tenkostenných ložísk umožnili zvýšenie únosnosti ložiskových uzlov spaľovacích motorov oproti ich prvotným hodnotám až trojnásobne a znížil ich náročnosť na potrebný montážny priestor. [21]



2.2 POUŽITIE KLZNÝCH LOŽÍSK V SPALOVACÍCH MOTOROCH

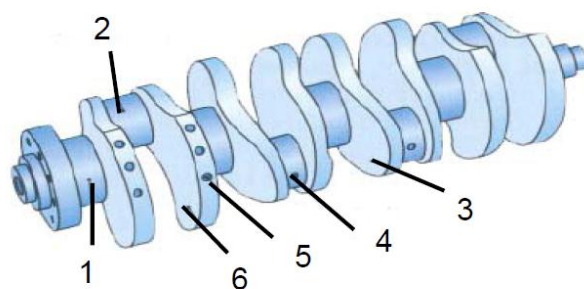
Ich aplikácia spočíva najmä v uložení hlavných pohyblivých častí spaľovacích motorov, ako je kľukový a vačkový hriadeľ. Používajú sa tiež ako ojničné ložiská a ložiská pre uloženie piestneho čapu. Tvoria väčšinu hlavných ložiskových uzlov a nájdeme ich aj v ďalších častiach motora. Ide napríklad o uloženie vahadiel, kolies náhonu ventilového rozvodu, prípadne turbodúchadiel. [2]



Obr. 16 Klzné ložiská v motore [2]

2.2.1 HLAVNÉ LOŽISKÁ KĽUKOVÉHO HRIADEĽA

Klzné ložiská kľukového hriadeľa spaľovacích motorov, sú typickým predstaviteľom dynamicky zaťažených hydrodynamických klzných ložísk. Ich úlohou je prenos zaťaženia hriadeľa, do pevne upevneného motorového bloku. Musia znášať rázové zaťaženie, závislé na pracovnom behu motora a z toho vyplývajúceho uhlu natočenia hriadeľa [7]



- 1- hlavný čap
- 2- ojničný čap
- 3- rameno
- 4- olejový otvor
- 5- vyvažovacie otvory
- 6- protizávažie

Obr. 17 Kľukový hriadeľ [22]



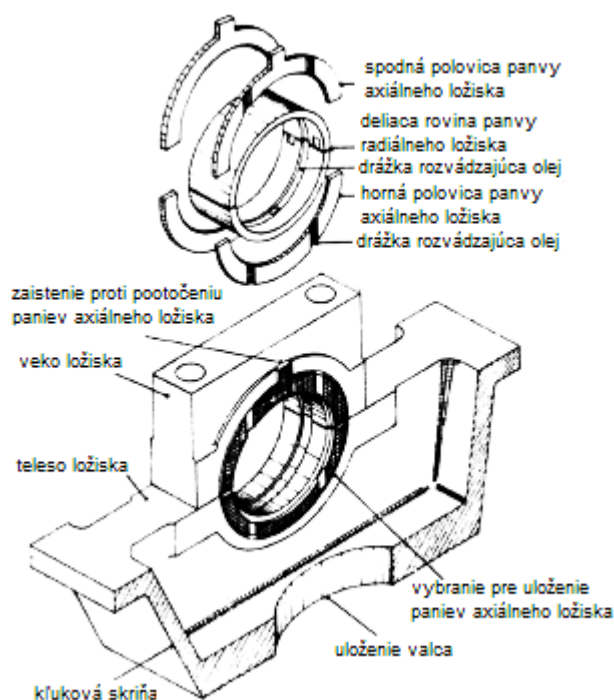
Uzly hlavného ložiska sú uložené v kľukovej skrini motoru. Ide o dvojdielne celky so snímateľným vekom. To je prichytené skrutkami na predpísaný moment a jeho hodnota je pre správnu funkciu ložisk veľmi dôležitá. Presné lícovanie veka na mieste sa zaisťuje rôznymi vodiacimi kolíkmi. V niektorých prípadoch sa uloženie vytvára vývrutom v kľukovej skrini. Jednotlivé vývrty hlavných ložisk sa vykonávajú naraz a na oddelenie veka po vývrte sa používa riadený lom. Ten zaisťuje presné lícovanie. Je však nutné jednotlivé polohy viečok označiť, aby nedošlo k ich prehodeniu a takto vytvorené veká nie sú zameniteľné. [2]



Obr. 18 Ložiskové uzly kľukového hriadeľa [23]

Pripravené plochy sa opracovávajú pri stiahnutom stave ložiskového telesa a je kladený veľký dôraz na kvalitu opracovaného povrchu. Geometrická presnosť je požadovaná v rovnakej triede, ako u vonkajších plôch ložisk. Silová väzba vyvinutá dotiahnutým hlavných skrutiek veka, sa často poisťuje bočnými skrutkovými spojmi. U malých a stredných motorov je kľukový hriadeľ v podstate zavesený v ložiskových uzloch, a preto bývajú tieto dimenzované na väčšie prípustné zaťaženia. [7]

Hlavný prenos síl v čapoch uloženia kľukového hriadeľa, zabezpečujú radiálne klzné ložiská. Najčastejším predstaviteľom sú ploché ložiskové panvy, ktoré v páre vytvárajú jednotlivé ložiskové uzly. Šírka paniev býva pri väčšine motorov rovnaká, avšak u dlhých 6 či 8 valcových motoroch, je stredné ložisko širšie, z dôvodu väčšieho zaťaženia. Širšie ložisko sa používa aj pri zotrvačníku najmä u vznetrových motorov. Axiálne sily pôsobiace na kľuku, vznikajúce pri prevádzke a hlavne pri vypnutí spojky, sú zachytávané axiálnym ložiskom. To býva tvorené axiálnymi podložkami, prípadne sa používa tzv. prírubové ložisko, ktoré je schopné zachytiť zaťaženie v radiálnom aj axiálnom smere. Podložky bývajú umiestnené po stranách radiálneho ložiska. Vznetrové motory ich majú najčastejšie umiestnené pri širšom ložisku zotrvačníka. Zážihové motory a radové motory s väčším počtom valcov, majú axiálne ložiská umiestnené pri prednom konci kľukového hriadeľa, z dôvodu obmedzenia vplyvu teplotnej dilatácie. Môžu však byť umiestnené aj pri strednom ložisku, čím dôjde k rozdeleniu tepelnej deformácie hriadeľa. [2]



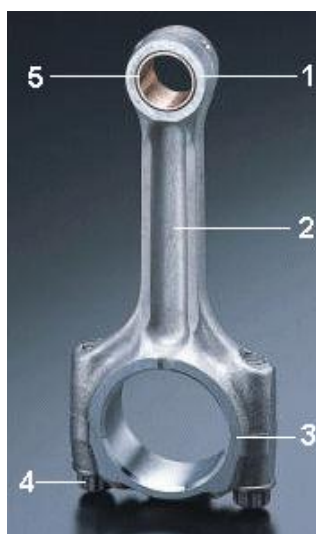
Obr. 19 Radiálne a axiálne ložisko kľukového hriadeľa [2]

Poloha oceľových paniev v ložisku sa zaisťuje prelisovanými jazýčkami, ktoré zapadajú do vybrání vo veku a telese ložiska. Pri kontakte čapu s ložiskovou panvou, nesmie dôjsť k ich pootočeniu. Táto hrozba nastáva najmä pri štartovaní a dobehu motora, kedy nie je dodávané dostatočné množstvo maziva. Zabezpečujú sa vysokým merným tlakom, ktorého je dosiahnuté uložením panvy vo vývrte s presahom. Vysoký merný tlak zabezpečuje aj dobrý prestup tepla panvou do ložiskovej skrine. Presnejšie a tuhšie uloženie kľukového hriadeľa na hlavných čapoch, sa dosahuje montážou s výberom dvoch, alebo troch hrúbok oceľových paniev. Počet a ich rozloženie vyplýva z konštrukcie hriadeľa. Počet hlavných ložísk závisí hlavne na množstve a usporiadaní valcov. Pri bežných radových motoroch so štyrmi valcami, je hriadeľ najčastejšie uložený v piatich ložiskových uzloch. Pre zníženie ich zaťaženia od odstredivých síl sa na hriadeľ pridáva protizávažie. Širšie ložiská používajú na rozvádžanie oleja drážku po obvodu panvy. Hlavne u vznetrových motorov je spodná polovica hlavného ložiska v dôsledku vysokých spaľovacích tlakov viac zaťažená, a preto sa u nej drážka neodporúča. [2]

U hlavných paniev sa spravidla pre vonkajší priemer volí uloženie H/k alebo H/j. Ložisková vôľa sa stanoví výpočtom, a jej hodnota býva 0,001 až 0,0015 priemeru čapu. [3]

2.2.2 OJNIČNÉ LOŽISKÁ

Ojničné ložiská slúžia na klzné spojenie a uloženie ojnic motora na ojničných čapoch. Zabezpečujú prenos lineárneho pohybu piestov, na rotačný pohyb kľukového hriadeľa. Na ojničné puzdrá sú požiadavky na extrémne malú hrúbku panvy, maximálnu zaťažiteľnosť a nízku zadieravosť.



Obr. 20 Ojnica (1 – oko piestneho čapu; 2 – driek; 3 – hlava; 4 – ojničné skrutky; 5 – bronzové puzdro) [2]

Hlavným problémom pre dosiahnutie dostatočnej tuhosti ložiskového uzlu ojničných ložísk, je nedostatok priestoru pre dimenzovanie kľukovej hlavy. Z dôvodu jednoduchšej demontáže ojnice, bývajú u malých a stredných motorov ložiská delené šikmo k ose drieku ojnice. Spôsobuje to však zhoršenie funkčných podmienok ložiska. Ďalší spôsob delenia je kolmo k tejto ose. Pri ojničných kľukových hlavách je treba počítať vždy s ich elastickou deformáciou účinkom spalín a zotrvačných síl. Táto deformácia dokáže ovplyvniť ložiskovú vôľu o 20 až 40%. Pôsobenie tejto deformácie je však veľmi krátke, a preto nie je jej problémom vytlačanie mazacieho filmu, ale vznik vibračného poškodenia. To vedie k zhoršeniu prestupu tepla a môže byť zdrojom únavových trhlin. Pre demontáž piestovej skupiny, je vhodné, ak kľuková hlava tvorí samostatný montážny celok, spájaný skrutkovým spojom. V tomto prípade sa ložiskový uzol pri demontáži nemusí rozoberať. [7]

U ojničných ložísk sa používajú najčastejšie delené panvy, prichytené k telesu ojnice. Ich zaistenie proti pootočeniu sa väčšinou zabezpečuje uložením s presahom.

2.2.3 LOŽISKÁ VAČKOVÉHO HRIADEĽA

Ložiská vačkového hriadeľa slúžia na jeho uloženie v bloku motora a prenos jeho zaťaženia. Zaisťujú rotačný pohyb, ktorý vyvoláva spojenie s kľukovým hriadeľom. Vačkový hriadeľ sa používa na ovládanie ventilových rozvodov. Konceptia jeho ložiskových uzlov sa v podstate nelíši od ložísk, používaných pri uložení hriadeľa kľukového. Opäť sa jedná o uloženie vo vývrtoch, na ktoré zvrchu dosadajú viečka. Prichytenie sa vykonáva tiež pomocou skrutiek. Používajú sa delené ložiskové panvy, alebo celé puzdrá.

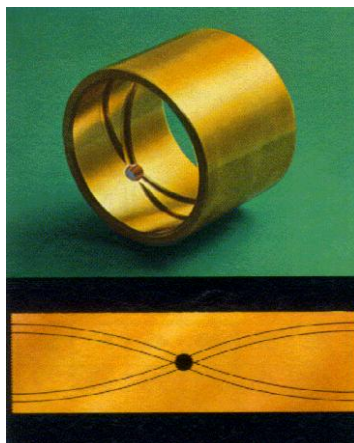


Obr. 21 Uloženie vačkového hriadeľa v bloku motora [24]

2.2.4 LOŽISKÁ PIESTNEHO ČAPU

Tieto ložiská zabezpečujú relatívny pohyb piestu vzhľadom ku ojnici. Sú umiestnené na menšom konci ojnice a musia znášať cyklické zaťaženie piestu, tlačeneho striedavým tlakom spalín.

Ložiskový uzol klzného uloženia piestneho čapu v oku ojnice je v kľukovom ústrojenstve najjednoduchší. Na jeho uloženia sa používajú monometalické, prípadne bimetalické hrubostenné puzdrá. Väčšia hrúbka zabraňuje prelomeniu puzdra pri pôsobení veľkého merného tlaku v okamžiku zapálenia zmesi vo valci motora, do obvodovej drážky v oku ojnice. Taktiež umožňuje vytváranie mazacích ciest. [7]



Obr. 22 Valcové puzdro používané u bežných motorov [2]

V mnohých prípadoch je piestny čap uložený priamo v náliatku piestu, bez ložiskových puzdier. Pri použití puzdra, je toto zalisované do oka ojnice a jeho tvar musí odpovedať tvaru oka. Najčastejším materiálom je olovnatý bronz a pri väčších motoroch aj v spojení s ocelovým puzdrom. Bronzové puzdrá sa zaistujú proti pootočeniu a vystružujú na požadovaný rozmer. V prípade tenkých ocelových puzdier, je zaistenie proti pootočeniu dosiahnuté uložením s presahom a puzdrá sa ďalej neobrábajú. [2]



2.2.5 ĎALŠIE POUŽITIE KLZNÝCH LOŽÍSK

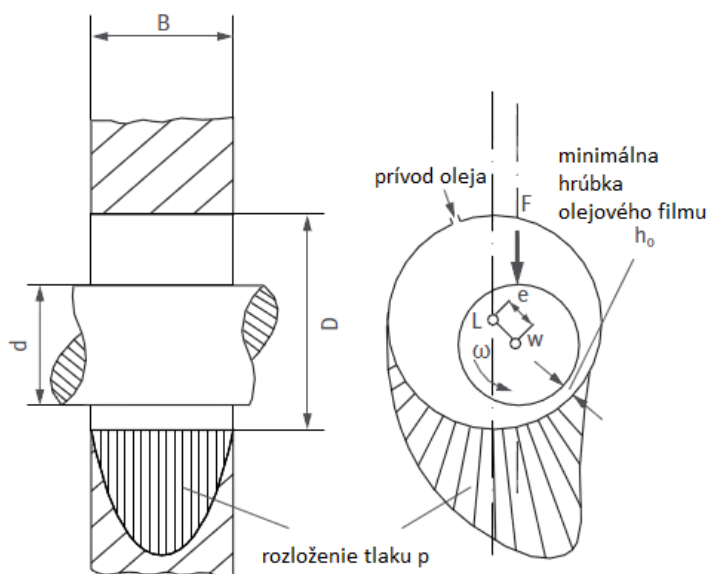
Ložiskové uzly tvorené klznými ložiskami nachádzajú využitie aj tam kde sa pred tým používali výhradne ložiská valivé. Môžeme ich nájsť v uložení vahadiel, kde sa až na pár výnimiek používajú tenkostenné oceľové puzdrá. Polotovary sú strihané z vrstveného pásu ocele, ktorý je už dopredu vybavený potrebnými otvormi a olejovými drážkami. Následne je odstrihnutá časť zrolovaná do tvaru puzdra. [21]

Z dôvodu vysokých rýchlostí hriadeľa turbíny, pri moderných turbodúchadlách, vychádza použitie klzných ložísk v ich konštrukcii ako vhodné riešenie. Ložiskový uzol je riešený mosadznými plávajúcimi puzdrami, otáčajúcimi sa asi polovičnou hodnotou otáčok hriadeľa. Sú umiestnené medzi rotujúcim hriadeľom a pevným ložiskovým telesom. Nedochádza teda ani pri vysokých rýchlostiach k žiadnemu kovovému kontaktu. Používa sa však aj usporiadanie s rotujúcim hriadeľom, uloženým v nepohyblivom ložiskovom puzdre. Na zachytenie axiálnej sily je v telese umiestnené axiálne ložisko. V benzínových motoroch býva z dôvodu vyšších teplôt spalín ako u dieselových, použité chladenie uzlu vodou. [25]

2.3 ZAŤAŽENIE LOŽÍSK A VOLBA MATERIÁLU

Klzná ložiská používané v spaľovacích motoroch spolu s ďalšími vplyvmi (druh oleja, rýchlosť otáčania, hodnota zaťaženia, atď.), sú zodpovedné za vytvorenie olejového filmu s dostatočnou záťažovou kapacitou, ktorá zabezpečí odolnosť voči opotrebeniu a správnu funkciu systému hydrodynamického mazania. Tlak vytvorený za prevádzky v oleji, musí byť dostatočný, aby znesol zaťaženie hriadeľa bez priameho kontaktu klzných povrchov.

Voľba správneho materiálu klzných ložísk je vždy určitým kompromisom. Je snaha vhodne využiť fyzikálno - chemické vlastnosti materiálov a ich najlepšiu kombináciu. V spaľovacích motoroch sa výhradne uplatňujú klzná ložiská z kovových materiálov, najmä na báze medi, cínu, olova a hliníku. Vlastnosti jednotlivých materiálov sú uvedené v skoršej kapitole. [7]



Obr. 23 Rozloženie tlaku v radiálnom klznom ložisku [26]



Prípustné zaťaženie, ktoré je schopné ložisko uniesť, sa získa pomocou integrácie tlaku po obvode ložiska. Sily pôsobiace v hydrodynamickom mazacom filme sa rozkladajú na dve zložky. Prvá pôsobí pozdĺž línie hriadeľa a puzdier. Druhá zložka má smer normály k stredovej línii. Celková únosnosť ložiska je potom spočítaná vektorovým súčinom týchto dvoch zložiek a vyjadruje ju tzv. Sommerfeldové číslo. Jeho vyjadrenie je možné aj pomocou geometrických a prevádzkových parametrov ložiska, čo umožňuje jednoduchý výpočet pre rôzne druhy ložísk. Toto číslo je bezrozmerné a ide o podstatný parameter vyjadrujúci charakteristiku záťaže ložiska, na základe jeho hlavných parametrov.

$$S_o = \left(\frac{r}{\delta}\right)^2 \frac{\eta n}{p_m} \quad (7)$$

kde: r je polomer čapu; δ je radiálna ložisková vôľa; η je dynamická viskozita maziva; n sú otáčky čapu; p_m je merné zaťaženie ložiska. [1]

Okrem týchto parametrov a vlastností hydrodynamického mazania, je treba pre klzné ložiská používané v spaľovacích motoroch započítať aj zmenu veľkosti zaťaženia s časom. Zahŕňa to riziko priameho kontaktu medzi hriadeľom a ložiskom, a tým zvýšené trenie spôsobujúce opotrebenie a vyššiu tepelnú záťaž. Najrizikovejším z tohto hľadiska je štart a dobeh motoru, kedy v dôsledku nedostatku maziva ľahko dochádza ku priamemu sklzu kovových povrchov. Avšak aj pri kvapalinovom trení dochádza k produkcii tepla a preto je nutné pri výpočte hydrodynamického klzného ložiska brať do úvahy súhrn všetkých druhov zaťaženia, prevládajúcich v uložení hriadeľa za prevádzky. Ide o pomerne zložitý komplex síl a pohybov, kde do výpočtu treba zahrnúť aj deformáciu hriadeľa za pohybu či znečistenie maziva.

Na základe prevádzkového zaťaženia je nutné pre ložisko zvoliť vhodný ložiskový materiál, ktorý zaistí požadovanú životnosť a spoľahlivosť. Hlavnou jeho vlastnosťou by mala byť odolnosť voči únave od cyklického zaťaženia. Následne sa zo zostávajúcich ložiskových materiálov vyberie ten, ktorý odpovedá ďalším požiadavkám pre konkrétnu aplikáciu. Napríklad v prípade veľkých zaťažení a nízkych klzných rýchlostí, použijeme materiál s vysokou únavovou pevnosťou a zároveň dobrou odolnosťou voči zadieraniu. V iných ložiskových uzloch (napr. kľukový hriadeľ), sa k únavovej pevnosti požaduje hlavne dobrá pohltivosť povrchu a jeho prispôbivosť.

[26]

2.3.1 KONKRÉTNE APLIKÁCIE MATERIÁLOV

Pre rôzne typy motorov je nutné vyrábať aj ložiská s rôznym materiálovým zložením. Uloženie jednotlivých vrstiev a ich celkový počet závisí od prevádzkových vlastností motorov, pre ktoré sú určené.

Príkladom klzného ložiska pre hlavné a ojnicné ložiská spaľovacích motorov určených pre extrémne vysoké zaťaženia, môže byť produkt firmy Kolbenschmidt Automotive z materiálu KS X20T. Vyniká hlavne výbornou zaťažiteľnosťou, dobrými núdzovými vlastnosťami a vysokou odolnosťou proti opotrebeniu. Nachádza uplatnenie pri moderných dieselových motoroch pracujúcich pod vysokou záťažou.



Ložisková panva je v tomto prípade tvorená štyrmi vrstvami. Základom je oceľový chrbát, na ktorom je nanosená mosadzná vrstva. Medzi ňou a vrchnou vrstvou leží niklová antidifúzna bariéra. Povrchovú klznú vrstvu tvorí zmes hliníku cínu a medi.

Percentuálne rozloženie použitých prvkov:

Vrchná vrstva:

- 23 – 27% Sn
- 2 - 3% medi Cu;
- zvyšok Al

Mosadzná vrstva:

- 1,7 - 2,3% Al, Ni, Mn;
- 0,7 - 2,3% Fe;
- 18 - 22% Zn;
- 0,5% iné prvky;
- zvyšok Cu

[27]



Obr. 24 Rozloženie a hrúbka vrstiev materiálu KS X20T [27]

Ďalším produktom uvedenej firmy je trojvrstvé ložisko z hliníkového kompozitu KS R30. Základná vrstva je opäť tvorená oceľovým chrbtom s veľmi tenkou prechodovou vrstvou z čistého hliníku. Vrchnú vrstvu tvorí zmes hliníku cínu a medi, AISN15Cu2. Tento typ materiálu je určený prevažne pre výrobu ojnicných ložísk v stredne a viac zaťažených motoroch.

Percentuálne rozloženie použitých prvkov vrchnej vrstvy:

- 14 – 18 % Sn
- 1,7 – 2,3 % Cu
- max. 0,7 % Si, Fe, Mn
- max. 0,2 % Ti
- max. 0,1 % Ni
- max. 0,5 iné prvky
- zvyšok Al

[28]



Obr. 25 Rozloženie a hrúbka vrstiev materiálu KS R30 [28]

Posledným príkladom je dvojvrstvové ložiskové puzdro z materiálu KS S800. Kombinuje oceľový základ s bronzovou klznou vrstvou s obsahom cínu a bizmutu. Materiál ma dobrú odolnosť voči korózií a pre jeho vyššiu zaťažiteľnosť je používaný aj v spaľovacích motoroch.

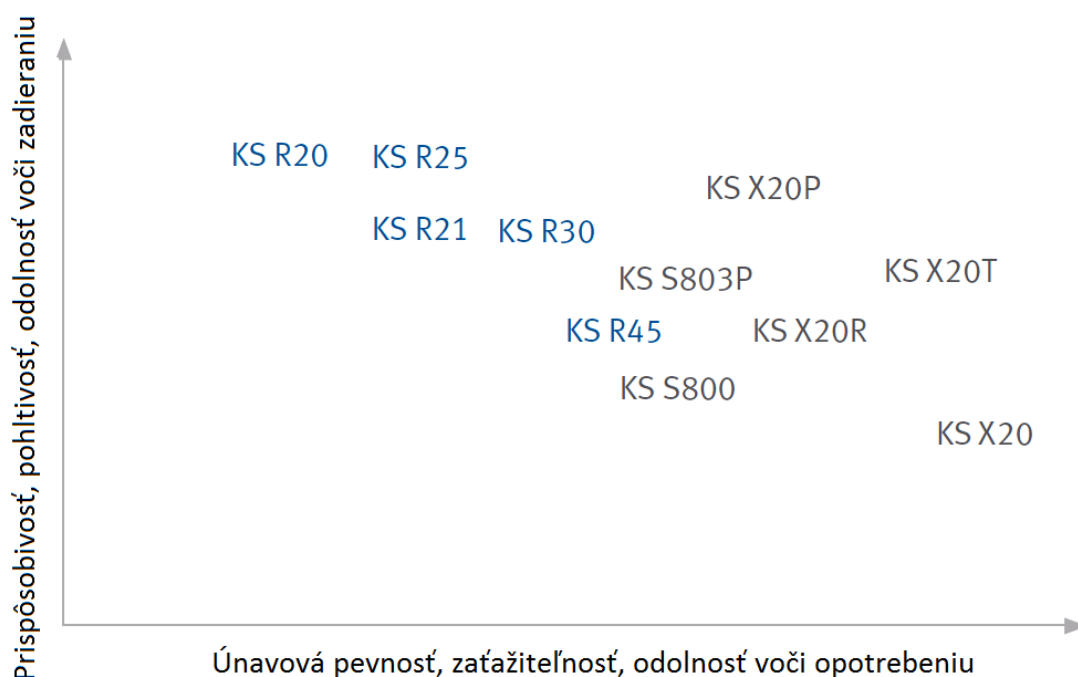
Percentuálne zloženie bronzovej vrstvy:

- 9 – 11 % Sn
- 6 – 9 % Bi
- 2,5 – 3,5 % Zn
- max. 0,7 % Fe
- max. 0,5 % Sb, Ni, iné prvky
- zvyšok Cu

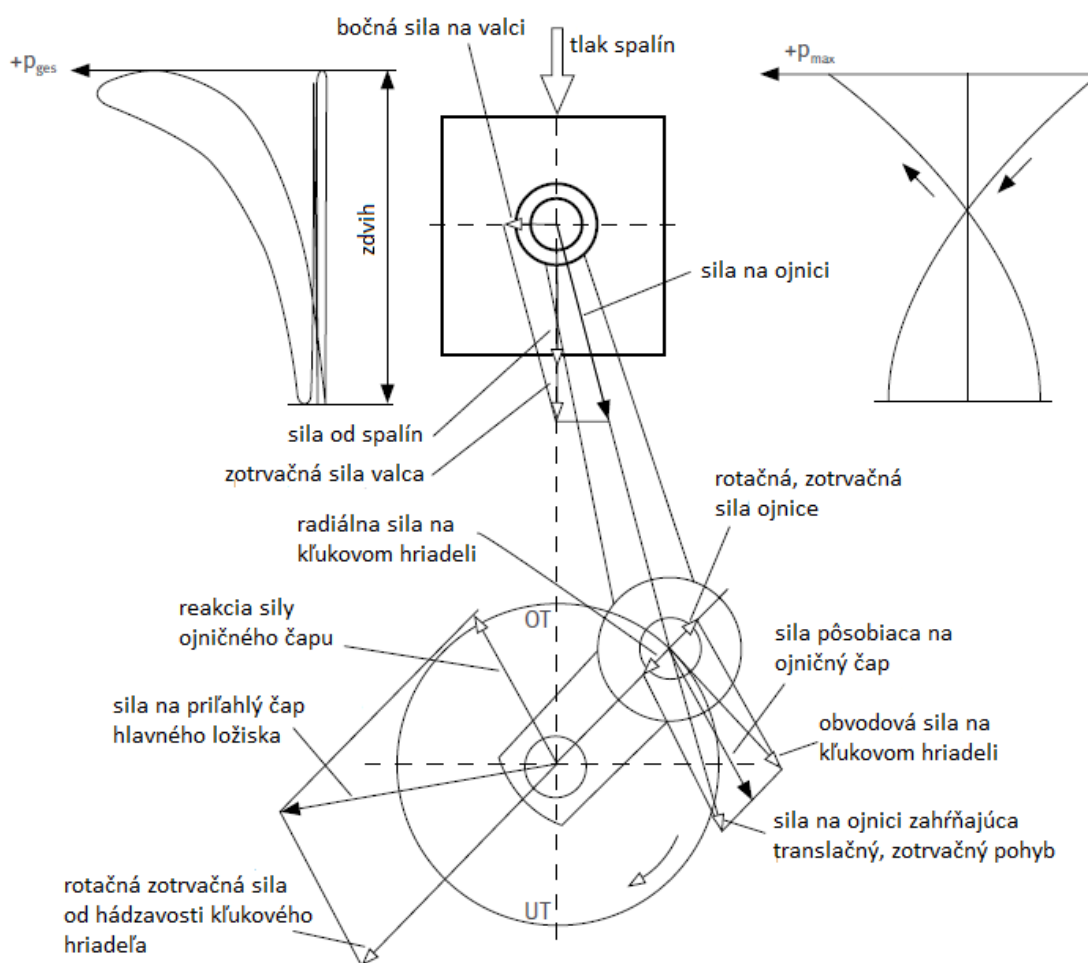
[29]



Obr. 26 Rozloženie a hrúbka vrstiev materiálu KS S800 [29]



Obr. 27 Vlastnosti materiálov pre ložiská spalovacích motorov firmy ® KSPG AG [26]



Obr. 28 Rozloženie sil ojničných a hlavných ložísk kľukového hriadeľa [26]



Tab. 1 Prevádzkové podmienky a rozmerové parametre [26]

Ložiskový uzol	Pohyb	Typ zaťaženia	V [m/s]	P _{max} [MPa]	Ψ [%]	B/D
Ložisko piestneho čapu	Náklon	Pulzujúce, od tlaku valca	2-3	70-160	0,8	< 1
Ojničné ložisko	Nepravidelná rotácia	Pulzujúce, od tlaku valca a rotácie	10-20	50-130	0,5	0,25-0,4
Ložisko kľukového hriadeľa	Rotácia	Pulzujúce, od príľahlej ojnice	12-25	40-90	0,8	-
Axiálne ložisko	Kĺzanie	Vodiace, väzbové a rázové	15-24	< 2 dlhodobé < 5 krátkodobé < 12 rázové	-	0,5-0,8
Ložisko vahadla ventilu	Náklon	Rázové	-	50-70	0,7	-
Ložisko vačkového hriadeľa	Rotácia	Pulzujúce	-	20-50	-	0,3-0,4

Tab. 2 Materiálové kritéria [26]

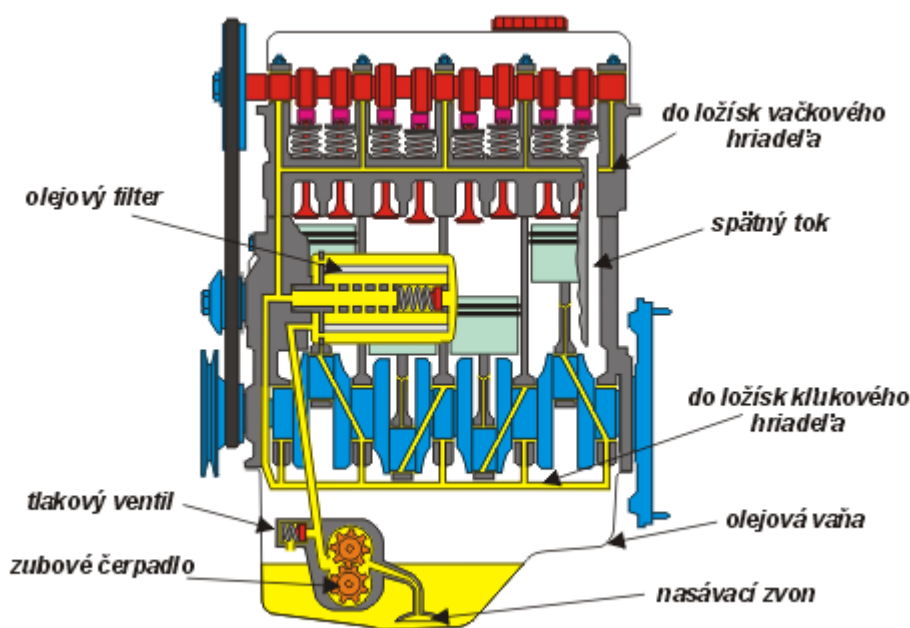
Kritérium	Ložiská kľukového hriadeľa	Ojničné ložiská	Ložiská piestneho čapu
Únavová pevnosť	Stredná	Vysoká	Veľmi vysoká
Odolnosť proti opotrebeniu	Vysoká	Vysoká	Stredná
Odolnosť voči kavitáciám	Vysoká	Veľmi vysoká	Veľmi vysoká
Odolnosť voči oteru	Stredná	Vysoká	Veľmi vysoká
Odolnosť voči zadieraniu	Vysoká	Vysoká	Veľmi vysoká
Schopnosť pohltiť pevné častice	Veľmi vysoká	Veľmi vysoká	Stredná
Prispôsobivosť	Veľmi vysoká	Vysoká	Stredná
Odolnosť voči koróziám	Vysoká	Vysoká	Veľmi vysoká



2.4 MAZANIE MOTOROVÝCH LOŽÍSK

Prívod maziva do kontaktu klzných ložísk je zabezpečovaný tlakovým cirkulačným mazaním. Mazanie motoru zohráva kľúčovú rolu v jeho životnosti. Nie len, že zabráňuje zadretiu motora, ale pomáha aj jeho chladeniu. Proces mazania začína v olejovej vani, odkiaľ je cez sitko nasávaný pomocou olejového čerpadla. Olej ďalej prechádza skrz olejový filter, ktorý slúži na zachytávanie nečistôt, ktoré by mohli spôsobiť abrazívne opotrebenie klzných ložísk. Následne dochádza k jeho distribúcii ku jednotlivým komponentom, z ktorých gravitáciou steká opäť dole do olejovej vane a cyklus sa opakuje.

Mazivo tvoriace vrstvu oleja oddeľujúcu klzné povrchy, napomáha aj tlmiť vibrácie hriadeľa, spôsobené nerovnomerným zaťažením a udržuje tichý a hladký chod motora. Jeho neustála cirkulácia zabezpečuje odvod tepla z namáhaných miest do zásobníku maziva (olejovej vane), kde dochádza k jeho chladeniu vzduchom prúdiacim okolo. Všeobecne sa na jeho cirkuláciu používa zubové čerpadlo, ktoré ho tlačí pod tlakom 2,5 – 5 atmosfér, na všetky potrebné miesta. Olejové potrubie musí byť vhodne prispôbené a prívod oleja k samotným častiam je cez vŕtané otvory. [4]



Obr. 29 Mazacia sústava štvorvalcového piestového spaľovacieho motoru [30]

Skutočné klzné ložiská používané v spaľovacích motoroch nemajú nekonečnú dĺžku a dochádza u nich k tzv. bočnému výtoku maziva. Hodnota bočného výtoku ovplyvňuje požadovaný výkon olejového čerpadla. Pre pohon olejového čerpadla dochádza logicky ku strate výkonu a z tohto dôvodu je snaha znižovať energetickú náročnosť čerpadla na minimum. K tomu napomáhajú rôzne tesniace krúžky a upchávky, ktoré znižujú hodnotu bočného výtoku ložísk. Krúžky odstrekujú olej z ich ostria pôsobením odstredivej sily a zabráňujú jeho úniku po hriadeli. Upchávky bývajú labyrintového typu s väčším počtom drážok, oddelených úzkymi štrbinami.



Ku hlavným ložiskám kľukového hriadeľa a ojničným ložiskám, býva mazivo dopravované najčastejšie otvormi v samotnom hriadeľi. Prívod by mal byť do miest panvy s najnižším tlakom a jeho rozvod po ploche zabezpečujú mazacie drážky.

U ložísk piestnych čapov sa mazanie vykonáva privádzaním maziva pod tlakom z ojničného ložiska cez ojnicu, alebo obstrekom. Obstrek oleja je z piestovej skupiny, privádzaný do ložiska otvorom v hlavovej časti ojničného oka. Vedenie oleja samotnou ojnicou je zabezpečené vývrtom v jej drieku, prípadne pri väčších motoroch je mazivo vedené trubičkou prinitovanou na ojnici. Zásobovanie puzdra olejom je však pomerne nedokonalé a vplyvom zotrvačných síl môže dochádzať k jeho prerušovaniu. [7]

Puzdrá piestneho čapu majú aj iné riešenie rozvádzacích drážok, pretože v tomto prípade ide o kývavý pohyb a vrstva oleja slúži hlavne na tlmenie nárazov. Drážky sa robia rovnobežné s osou ložiska vo väčšom počte. Väčší počet slúži na zaručenie, že olej je privádzaný do všetkých miest ložiska a vyplňa celú tlakovú plochu čapu. [3]

Veľkú úlohu hrá aj správny druh použitého maziva a jeho kvalita a čistota. Množstvo oleja v motore treba pravidelne kontrolovať, pretože aj malý nedostatok dokáže spôsobiť vážne poškodenie motoru. Podľa druhu maziva je nutná jeho výmena v pravidelných intervaloch ktoré udáva výrobca. S výmenou olejovej náplne by mala byť spojená aj výmena olejového filtra, z dôvodu udržania správnej čistoty maziva. Tak isto treba prihliadnuť na spôsob používania motoru, kde časté štarty a dobehy motoru znižujú kvalitu maziva výraznejšie ako jeho dlhodobý chod.



ZÁVER

Úlohou tejto práce bol popis klzných ložísk a ich aplikácia v štvordobých spaľovacích motoroch. V jednotlivých kapitolách rozoberá základnú definíciu klzných ložísk a ich konštrukčné prevedenie. Ďalej pojednáva o ich vývoji a používaných materiáloch, v spojení s nahliadnutím do moderných trendov. Časť práce je venovaná hydrodynamickému mazaniu klzných ložísk a jeho teórii, spojenej s výpočtami základných prevádzkových a návrhových parametrov ložísk.

Práca celkovo poskytuje súhrn informácií, potrebných k pochopeniu princípu a funkcie klzných ložísk a prehľad ich aplikácie v spaľovacích motoroch. Popisuje ložiskové uzly, v ktorých sú uložené hlavné časti motorov, ako kľukový a vačkový hriadeľ, ojnica a piestny čap. Uzly sú porovnané z hľadiska druhu ich zaťaženia a vhodných materiálových vlastností aplikovaných ložísk. Záverečná kapitola je venovaná mazaciemu systému v spaľovacích motoroch a zabezpečeniu správneho mazacieho režimu klzných ložísk.

Klzné ložiská tvoria bežnú a neoddeliteľnú súčasť štvordobých spaľovacích motorov a začínajú nachádzať uplatnenie aj v uloženiach, kde boli používané výhradne valivé ložiská. Majú perspektívu v uložení a konštrukcii aj ďalších motorových prvkov, ako sú napríklad hriadele turbodúchadiel. Z hľadiska budúcnosti ide hlavne o dlhoročnú snahu znižovať ich trecie odpory a zvyšovať únosnosti používaním nových, progresívnych ložiskových materiálov. Taktiež aj znižovanie ich náročnosti na mazací systém, je v dnešnej dobe často riešenou otázkou. Vývoj klzných ložísk je veľmi úzko spätý s vývojom samotných motorov a to im dáva veľmi dobrý predpoklad k nárastu ich využiteľnosti v motorových konštrukciách.



POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] STACHOWIAK, G. W., BATCHELOR, A. W. *Engineering Tribology*. 3rd edition. Burlington (Massachusetts): Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 978-0-7506-7836-4.
- [2] RAUSCHER, J. *Spalovací motor: studijní opory*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005.
- [3] Kolektiv VÚNM a ČKD. *Naftové motory čtyřdobé I. díl*. Druhé vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. L123-B3-IV-41/2490
- [4] KOŠTÁL, J., SUK, B. *Pístové spalovací motory*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1963.
- [5] KRÍŽ, R., AUDYOVÁ, J., MARTINISKO, C., WEIGNER, K. *Části strojov I: pre 2. ročník SPŠ strojných*. Bratislava: Alfa-press, 1995. ISBN 88-88811-03-1
- [6] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch., BUDYNAS, R. G. *Konstruování strojních součástí*. Překlad sedmého vydání. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978 -80-214-2629-0
- [7] MATĚJOVSKÝ, V., NOVÁK, K., NĚMEC, K. J. *Spalovací motory III*. Praha: ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01116-X
- [8] SKF GROUP. SKF Products: Bearing types. *skf.com* [online]. © 2013 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/bearing-types/index.html>
- [9] SKF GROUP. SKF Products: Plain bearings. *skf.com* [online] © 2013 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/spherical-plain-bearings-bushings-rod-ends/composite-dry-sliding-bearings-fw-bushings/general/index.html>
- [10] HARTL, M. *Konstruování strojů – strojní součásti*. Kluzná ložiska. Brno VUT FSI, aula Q. 27.11.2012
- [11] KLASTER LIPTOV. Typy na výlet. *visit-tatry.com* [online]. © 2011 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://www.visit-tatry.com/sk/dtb/sk/co-vidiet-a-zazit/tipy-na-vylety/trasa-c-10-tajomstvo-mlynov>
- [12] ANGLESEY MÔN INFORMATION WEBSITE. City Dulas Watermill. *Anglesey.info* [online]. ©2004-2013 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: <http://www.anglesey.info/city-dulas-water-mill.htm>
- [13] TECHLAB. *Techlab s.r.o: Kluzná ložiska a uložení rotoru* [online]. Praha, Aktualizace 3.1.2013 [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: <http://www.techlab.cz/>



- [14] SKF. *Composite plain bearings*. [online]. Göteborg: SKF, October 2012 [cit. 2013-02-07]. PUB BU/P2 11004 EN. Dostupné z: http://www.skf.com/binary/12-107917/SKF%20composite%20plain%20bearings%20-%2011004%20EN_tcm_12-107917.pdf?WT.oss=composite%20bearings&WT.z_oss_boost=0&WT.z_oss_ref=Products&tabname=Products&WT.z_oss_rank=1
- [15] SKF. *Kluzná pouzdra*. [online]. Göteborg: SKF, 2000 [cit. 2013-02-07]. 4741 CZ. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/262138.pdf>
- [16] NOVOTNÝ, J. Materiály, použití a návrh kluzných ložisek. *Tribotechnika* [online]. 1/2008 [cit. 2013-02-05]. ISSN 1338-0524. Dostupné z: http://www.tribotechnika.sk/1-2008/klzne_loziska_tribotechnika.html
- [17] MOTAL, R. Moderní kluzná ložiska. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, Vyd. 11, s. 20 [cit. 2013-02-15]. ISSN1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-kluzna-loziska.html>
- [18] SCOTT, R. Journal bearings and their lubrication. *Machinery lubrication* [online]. 2005, Vol. 7 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.machinerylubrication.com/Read/779/journal-bearing-lubrication>
- [19] KOPELIOVICH, D. Hydrodynamic lubrication theory. In: *Substech* [online]. Last modified 01.06.2012 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hydrodynamic_lubrication_theory
- [20] KING ENGINE BEARINGS. Engine bearings and how they work. [online]. New Jersey: King engine bearings, 2010 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: http://www.kingbearings.com/files/Engine_Bearings_and_How_They_Work.pdf
- [21] KSPG AUTOMOTIVE GROUP. Products: Engine bearings. *ms-motor-service.com* [online]. © 2013 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://www.ms-motor-service.com/content2.asp?area=hauptmenue&site=produkte&cls=02&changelang=&pocat=3&pID=51&upID=0>
- [22] BERNÁT, R. *Opravy klukového mechanismu* [online]. SPU Nitra, Technická fakulta. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: http://www.tf.uniag.sk/e_sources/katspol/OSS/Klukovy_mechanizmus.pdf
- [23] HUNEYCUTT, J. Proper crank installation – The foundation. *Circle track* [online]. Issue November 2007 [cit. 2013-03-25]. ISSN 1052-9624. Dostupné z: http://www.circletrack.com/techarticles/general/ctrp_0711_crank_installation/photo_01.html
- [24] BOUMA, J. The cam variator. In: *home.hccnet.nl* [online]. 2006-04-11 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://home.hccnet.nl/jaap.bouma/PhaseVariator.htm>
- [25] BORGWARNER TURBO SYSTEMS. Design & function: Bearing systém. *turbodriven.com* [online]. © 2002 – 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.turbodriven.com/en/turbofacts/designBearingSystem.aspx>



- [26] KS GLEITLAGER GMBH. *Plain bearings in combustion engines: Bases-design, dimensioning, selection of materials*. Germany: Kolbenschmidt pierburg group, 2012
- [27] KS GLEITLAGER. *KS X20T* [online]. St. Leon-Rot: KS Gleitlager GmbH, 2010 [cit. 2013-05-20]. G-X20T. Dostupné z: http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/KS_Gleitlager/Metallische_Gleitlager/g_x20t_e.pdf
- [28] KS GLEITLAGER. *KS R30* [online]. St. Leon-Rot: KS Gleitlager GmbH, 2010 [cit. 2013-05-20]. G-R30. Dostupné z: http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/KS_Gleitlager/Metallische_Gleitlager/g_r30_e.pdf
- [29] KS GLEITLAGER. *KS S800 – KS S803* [online]. St. Leon-Rot: KS Gleitlager GmbH, 2010 [cit. 2013-05-20]. G-S800 – S803. Dostupné z: http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/KS_Gleitlager/Metallische_Gleitlager/g_s800_803_e.pdf
- [30] Mataj, I. Mazacia sústava. In: *aaautoskola* [online]. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.aaautoskola.sk/html/a1005.php>

**ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV**

B	[mm]	šírka ložiska
D	[mm]	vnútorný priemer ložiska
F_x	[N]	osa v smere x
h	[mm]	hrúbka mazacej vrstvy
h_0	[mm]	minimálna hrúbka mazacej vrstvy
n, N	[s ⁻¹]	otáčky čapu
p, p_{av} , p_m	[Pa]	tlak v olejovej vrstve, merné zaťaženie
Q	[m ³ s]	objemový prietok
r	[mm]	polomer čapu
So	[-]	Sommerfeldovo číslo
t_2	[°C]	teplota maziva na výstupe z klinovej medzery
u, ω	[s ⁻¹]	uhlová rýchlosť otáčania čapu
v	[ms ⁻¹]	rýchlosť pohybu maziva
V	[ms ⁻¹]	klzná rýchlosť
δ	[mm]	radiálna ložisková vôľa
η	[Pas]	dynamická viskozita
τ	[Pa]	šmykové napätie
Ψ	[-]	minimálna relatívna vôľa ložiska