# Ležajevi u centrifugalnim pumpama

**Anđelić, Jakov**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:968632

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**

Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**POMORSKI FAKULTET**

JAKOV ANĐELIĆ

# LEŽAJEVI U CENTRIFUGALNIM PUMPAMA

## ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**POMORSKI FAKULTET**

# LEŽAJEVI U CENTRIFUGALNIM PUMPAMA

# BEARINGS IN CENTRIFUGAL PUMPS

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Brodski strojni elementi

Mentor: mr.sc. Rikard Miculinić

Student: Jakov Anđelić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112076305

Rijeka, lipanj 2023

Student: Jakov Anđelić

Studijski program: Preddiplomski studij - Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112076305

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom:Ležajevi u centrifugalnim pumpama

Izradio samostalno pod mentorstvom mr.sc. Rikard Miculinić

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

*(potpis)*

Ime i prezime studenta

Jakov Anđelić

Student: Jakov Anđelić

Studijski program: Preddiplomski studij - Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112076305

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

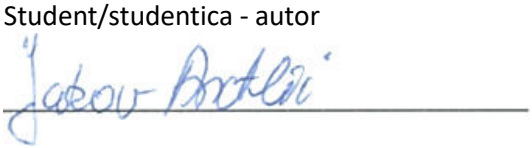
Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na http://creativecommons.org/licenses/

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:

a) rad u otvorenom pristupu
b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH
**c) pristup korisnicima matične ustanove**
d) rad nije dostupan

Student/studentica - autor



*(potpis)*

# SAŽETAK

Centrifugalne pumpe imaju ključnu ulogu u brodskim sustavima za prijenos tekućina. Kako bi se osigurao pouzdan i učinkovit rad tih pumpi, od velike je važnosti korištenje visokokvalitetnih ležajeva. Ležajevi pružaju podršku rotaciji osovina pumpi, smanjuju trenje i vibracije te produžuju radni vijek pumpi. U ovom tekstu ćemo razmotriti različite primjene ležajeva u centrifugalnim pumpama na brodovima i istaknuti važnost njihovog pravilnog odabira.

Ključne riječi: Ležajevi, centrifugalne pumpe

# SUMMARY

Centrifugal pumps play a key role in liquid marine systems for portable. In order to ensure the reliable and efficient operation of these pumps, it is very important to use high-quality bearings. Bearings support the rotation of the pump shaft, reduce friction and load, and extend the working life of the pump. In this text, we will consider the various applications of bearings in centrifugal pumps on ships and highlight the importance of their proper selection.

Keywords: Bearings, centrifugal pumps

# Table of Contents

1. UVOD....5
2. CENTRIFUGALNE PUMPE....5
2.1. Osnovni dijelovi centrifugalnih pumpi....5
2.2. Vrste centrifugalnih pumpi....6
Horizontalne centrifugalne pumpe....6
Vertikalne centrifugalne pumpe....7
Potopne centrifugalne pumpe....8
Samousisne centrifugalne pumpe....9
Višestupanjske centrifugalne pumpe....10
Uloga ležajeva u centrifugalnim pumpama....11
3. LEŽAJEVI....12
3.1. Podjela ležajeva....12
Podijela ležajeva prema smjeru opterećenja....13
Podijela prema vrsti trenja....13
3.2. Izrada ležajeva....15
3.3. Primjena ležajeva u brodskim sustavima....17
3.4. Podmazivanje....17
Podmazivanje uljima....18
Podmazivanje mazivim mastima....18
4. LEŽAJEVI U CENTRIFUGALNIM PUMPAMA....19
4.1. Klizni ležajevi....19
Prednosti kliznih ležajeva....19
Podmazivanje kliznih ležajeva i princip rada....19
4.2. Valjni ležajevi....22
Prednosti valjnih ležajeva....23
Podmazivanje valjnih ležajeva....24
Igličasti valjni ležajevi....27
Kuglični valjni ležajevi....28
5. OŠTEĆENJA LEŽAJEVA U CENTRIFUGALNIM PUMPAMA....29
5.1. Pogrešna montaža....29
5.2. Loša strojna obrada....29
6. VIJEK TRAJANJA LEŽAJEVA....30
7. ZAKLJUČAK....32
8. LITERATURA....33
9. POPIS SLIKA....34

# 1. UVOD

Centrifugalne pumpe imaju ključnu ulogu u brodskim sustavima za prijenos tekućina. Kako bi se osigurao pouzdan i učinkovit rad tih pumpi, od velike je važnosti korištenje visokokvalitetnih ležajeva. Ležajevi pružaju podršku rotaciji osovina pumpi, smanjuju trenje i vibracije te produžuju radni vijek pumpi. U ovom tekstu ćemo razmotriti različite primjene ležajeva u centrifugalnim pumpama na brodovima i istaknuti važnost njihovog pravilnog odabira.

# 2. CENTRIFUGALNE PUMPE

Centrifugalna pumpa je hidraulički stroj koji koristi rotirajući impeler za prenošenje energije tekućini i povećanje pritiska tekućine. To je najčešći tip pumpe koji se koristi u različitim industrijama i svakodnevnim primjenama, kao što su vodosnabdijevanje, kanalizacija, klimatizacija, prerada nafte, kemijska industrija i mnoge druge.

## *2.1. Osnovni dijelovi centrifugalnih pumpi*

Osnovni dijelovi centrifugalnih pumpi i njihove funkcije su sljedeće:

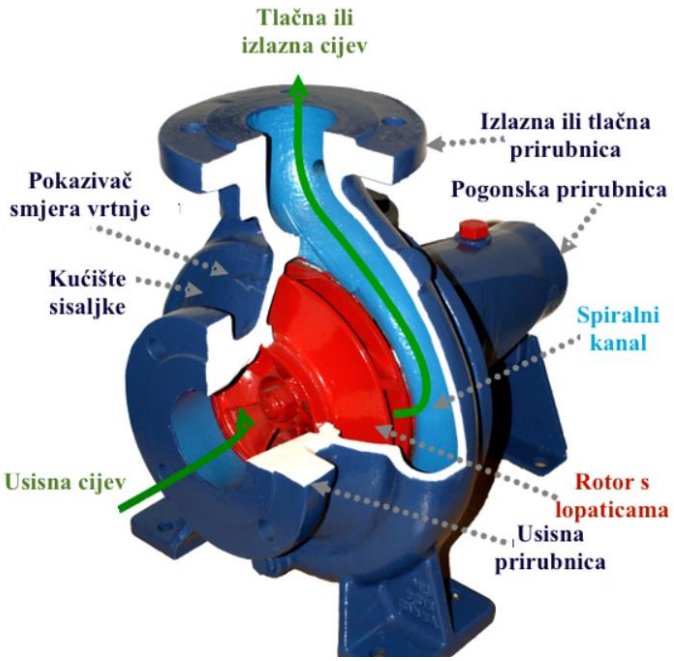
1. Impeler: Pumpa ima rotirajući dio poznat kao impeler koji se sastoji od krilaca ili lopatica postavljenih na osovini. Impeler se pokreće pomoću elektromotora, motora s unutarnjim izgaranjem ili drugog izvora energije. Rotacija impelera uzrokuje centrifugalnu silu koja djeluje na tekućinu unutar impelera. Centrifugalna sila tjera tekućinu prema vanjskom dijelu impelera, čime se povećava brzina tekućine i pritisak.

2. Usisna cijev: Pumpa ima usisnu cijev koja je spojena na izvor tekućine (npr. spremnik ili izvor vode). Kada se impeler pokrene, rotacijska sila izaziva stvaranje niskog tlaka na ulazu pumpe, čime se tekućina usisava kroz usisnu cijev prema pumpi.

3. Usisni otvor: Na ulazu u pumpu nalazi se usisni otvor koji omogućuje prolazak tekućine u unutrašnjost pumpe. Tekućina ulazi u središnji dio impelera, gdje se nalaze krilca ili lopatice.

4. Izlazna cijev: Nalazi se na izlazu pumpe, služi da prenosi tekućinu s povećanim pritiskom na odredište, kao što su cjevovodi, spremnici ili drugi sustavi.

Važno je napomenuti da centrifugalne pumpe ne mogu stvarati usisni tlak veći od atmosferskog tlaka, stoga se često koriste usisne cijevi i pumpe smještene iznad razine tekućine kako bi se olakšao proces usisavanja. Također, centrifugalne pumpe mogu biti jednostupanjske (s jednim impelerom) ili višestupanjske (s više impelera), ovisno o zahtjevima pritiska i protoka tekućine.




**Slika 1. Komponente centrifugalne pumpe**

## 2.2. *Vrste centrifugalnih pumpi*

Postoji više različitih izvedbi centrifugalnih pumpi. U nastavku će biti detaljnije prikazano nekoliko najčešće korištenih vrsta

### Horizontalne centrifugalne pumpe

Ove pumpe imaju horizontalnu osovinu i izlaznu cijev smještenu vodoravno. One su najčešći tip centrifugalnih pumpi i koriste se u širokom rasponu primjena, uključujući industriju, građevinarstvo, vodosnabdijevanje i druge sektore.

**Slika 2. Primjer horizontalne centrifugalne pumpe**

## Vertikalne centrifugalne pumpe

Kod ovih pumpi osovina je postavljena okomito, što znači da je izlazna cijev smještena okomito. Vertikalne centrifugalne pumpe često se koriste za pumpanje tekućina iz dubokih bunara, spremnika ili drugih izvora koji su smješteni ispod razine pumpe.

**Slika 3. Primjer vertikalne centrifugalne pumpe**

## Potopne centrifugalne pumpe

Ove pumpe konstruirane su da budu potopljene u tekućinu koju zatim pumpaju, odnosno prebacuju s jednog mjesta na drugo. Impeler se nalazi na dnu pumpe, a cijeli sustav je uronjen u tekućinu. Potopne centrifugalne pumpe se često koriste u industriji za pražnjenje bunara, spremnika i kanalizacije.

**Slika 4. Primjer potopne centrifugalne pumpe**

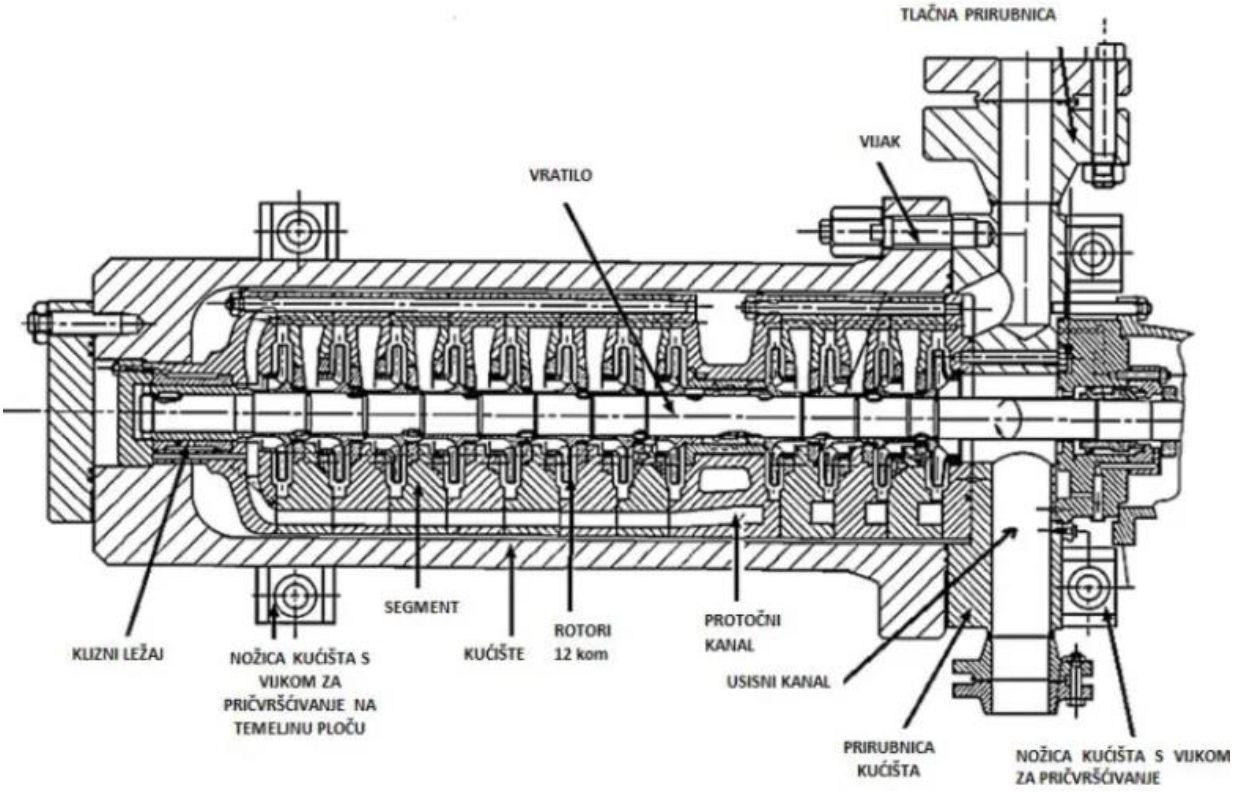
## Samousisne centrifugalne pumpe

Ove pumpe imaju sposobnost usisavanja tekućine iz izvora ispod razine pumpe, čak i ako se nalaze iznad razine tekućine. One su opremljene s posebnim mehanizmima, kao što su usisne lopatice ili ventili, koji omogućuju usisavanje tekućine čak i kada je cijev prazna.

**Slika 5. Primjer samousisne centrifugalne pumpe**

Višestupanjske centrifugalne pumpe

Ove pumpe imaju više impelera postavljenih jedan iza drugog na istoj osovini. Svaki impeler povećava pritisak tekućine prije nego što se prenese na sljedeći impeler. Višestupanjske centrifugalne pumpe su pogodne za primjene s visokim zahtjevima pritiska, kao što su vodoopskrbni sustavi, navodnjavanje ili prerada nafte.




**Slika 6. Shema višestupanjske centrifugalne pumpe**

## *2.3.* Uloga ležajeva u centrifugalnim pumpama

Uloge ležajeva u centrifugalnim pumpama su sljedeće:

1. Podrška osovine – ležajevi u centrifugalnim pumpama pružaju podršku osovini, omogućavajući joj rotiranje s minimalnim otporom. Oni se nalaze na obje strane osovine i omogućavaju joj stabilno i ravnomjerno vrtnju.

2. Smanjenje trenja – ležajevi smanjuju trenje između osovine i kućišta pumpe. Oni su podmazani i osiguravaju glatko kretanje osovine, minimizirajući gubitak energije uzrokovan trenjem.

3. Prijenos opterećenja – ležajevi u centrifugalnim pumpama prenose opterećenje s osovine na kućište pumpe. Kako se osovina vrti, ležajevi podupiru opterećenje koje se javlja zbog protoka tekućine, pritiska i drugih vanjskih čimbenika.

4. Amortizacija vibracija – ležajevi igraju važnu ulogu u amortizaciji vibracija koje se javljaju tijekom rada centrifugalne pumpe. Vibracije mogu biti uzrokovane nepravilnostima u protoku tekućine, neuravnoteženim impelerom ili drugim faktorima. Ležajevi apsorbiraju i umanjuju te vibracije, čime pridonose glatkom i stabilnom radu pumpe.

5. Povećanje radnog vijeka – kvalitetni ležajevi u centrifugalnim pumpama mogu produžiti radni vijek same pumpe. Oni smanjuju habanje i oštećenje osovine, minimizirajući trošenje dijelova i potrebu za redovitim održavanjem. Stabilan rad ležajeva pridonosi dugotrajnosti i pouzdanosti pumpe.

# 3. LEŽAJEVI

Ležajevi su strojni elementi koji služe za podršku i vođenje vratila i osovina. Njihova glavna funkcija je omogućiti okretanje, prijenos sile i momenata, dok se istovremeno suočavaju s izazovom trenja koje uzrokuje gubitak energije i povećanje temperature sustava. Stoga je važno minimizirati trenje prilikom izrade strojnih dijelova.

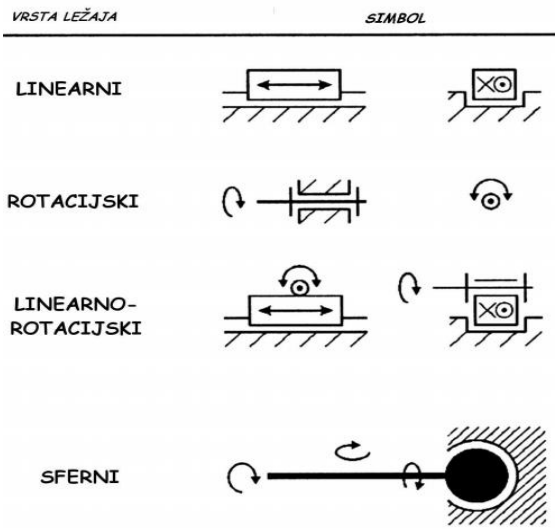
Kvalitetan i ispravan ležaj ima ključnu ulogu u cjelokupnoj funkcionalnosti i trajnosti strojeva. Prije njihove konstrukcije, odabir odgovarajuće vrste ležaja i dimenzioniranje u

skladu s pravilima i standardima je ključno. Parametri kao što su promjeri osovine, način opterećenja, brzina vrtnje, preporučeni vijek trajanja i radni uvjeti (kao što su temperatura i prašina) važni su prilikom izrade ležaja.

## *3.1. Podjela ležajeva*

Ležajevi se u praksi najčešće mogu podijeliti s obzirom na smjer opterećenja i s obzirom na vrstu trenja koje se javlja u gibanju. Također, postoji podijela s obzirom na način vođenja i ona je sljedeća:

1. linearni;
2. rotacijski;
3. linearno rotacijski;
4. sferni.



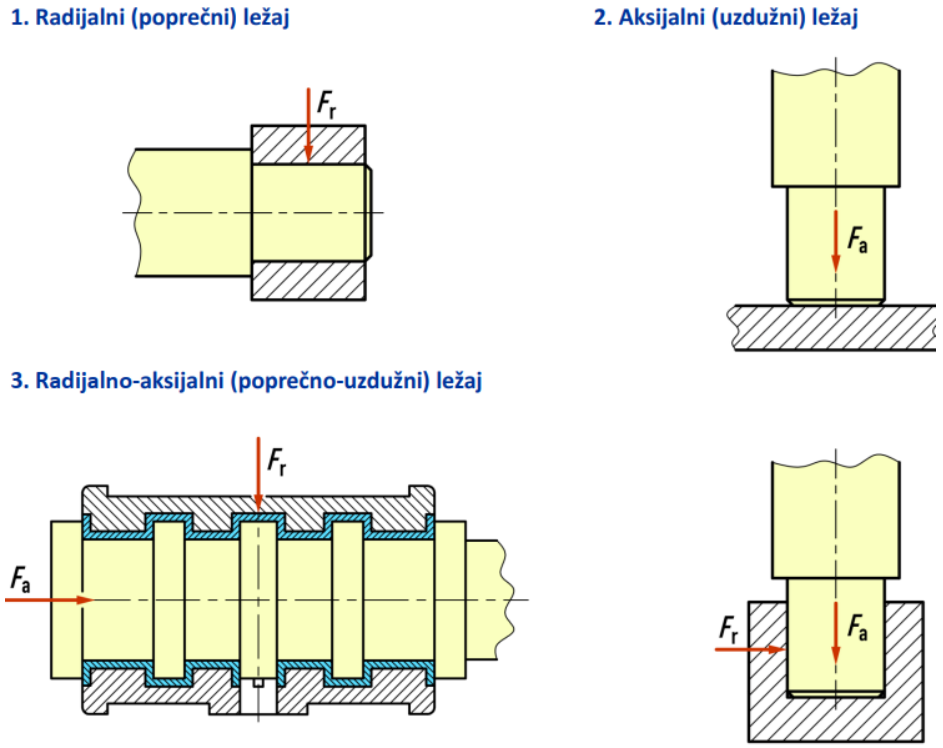

**Slika 7. Podjela ležajeva prema načinu vođenja**

### Podijela ležajeva prema smjeru opterećenja

Prema smjeru opterećenja ležajevi se dijele u tri skupine:

1. radijalni;
2. aksijalni;
3. radijalno – aksijalni.

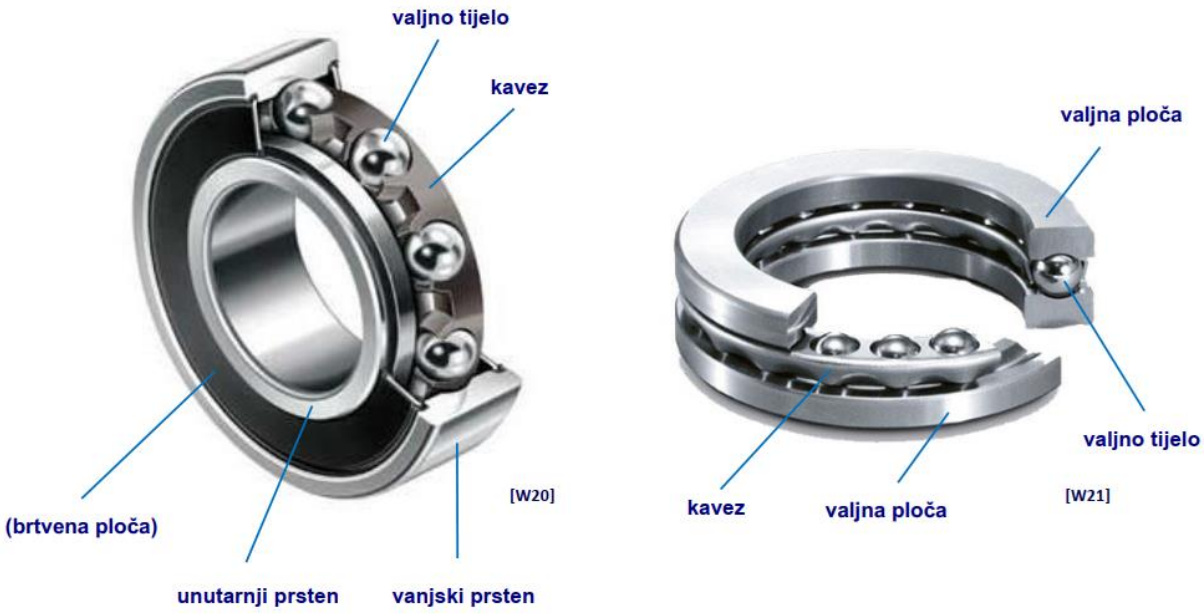
Radijalni ležajevi podnose opterećenje koje djeluje okomito na os ležaja, dok aksijalni ležajevi podnose opterećenje koje djeluje uzduž osi. Radijalno – aksijalni ležajevi podnose opterećenje koje djeluje i okomito i uzduž osi.




**Slika 8. Podjela ležajeva prema smjeru opterećenja**

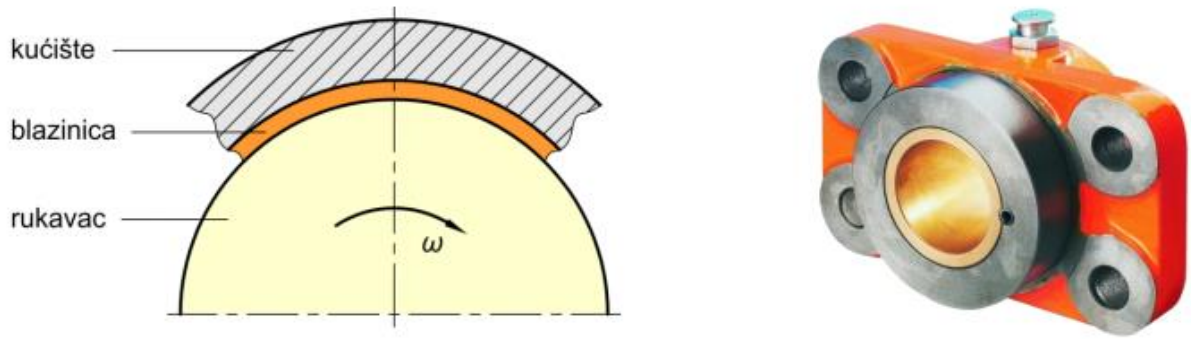
## Podijela prema vrsti trenja

Ležajevi se prema vrsti trenja dijele na valjne i klizne. Valjni ležajevi, kao što su valjkasti, bačvasti, igličasti, ili kuglični, koriste se za smanjenje trenja kotrljanja između valjnih tijela. Valjkasti ležajevi mogu biti radijalni, aksijalni i radijalno – aksijalni. Oni imaju niži koeficijent trenja u usporedbi s kliznim ležajevima, što rezultira manjim gubitkom energije i manjim zagrijavanjem. Međutim, valjni ležajevi mogu biti bučniji i osjetljiviji na udarna opterećenja te često zahtijevaju strože tolerancije pri izradi kućišta i provrta. Klizni su ježajevi s druge strane jednostavniji, jeftiniji i u pravilu imaju dulji vijek trajanja od valjnih. Klizni ležaevi mogu biti radijalni i aksijalni, s hidrostatskim ili hidrodinamičkim podmazivanjem. Osnovni nedostaci u odnosu na valjne ležajeve su puno veće trenje, veća potrošnja maziva te veći utjecaj vanjskih faktora. Na slici 9. lijevo prikazan je radijalni valjni ležaj, dok je desno na istoj slici prikazan aksijalni valjni ležaj. Oba ležaja za valjno tijelo imaju kuglice.




**Slika 9. Primjer valjnih ležajeva**

Na slici 10. prikazan je radijalni klizni ležaj s označenim glavnim dijelovima.




**Slika 10. Radijalni klizni ležaj**

## 3.2. *Izrada ležajeva*

Tokom izrade ležajeva za centrifugalne pumpe, potrebno je zadovoljiti određene uvjete i koristiti odgovarajuće materijale.

Ležajevi u centrifugalnim pumpama trebaju imati sljedeće karakteristike:

1. Prilagodljivost: Ležajevi trebaju biti fleksibilni kako bi se prilagodili neravnomjernostima i pomacima u radu, što smanjuje stres i produžuje vijek trajanja ležaja.

2. Tlačna čvrstoća: Materijal ležaja treba imati visoku tlačnu čvrstoću kako bi izdržao velike sile i opterećenja bez deformacije ili oštećenja.

3. Otpornost na trošenje: Ležajevi trebaju biti izrađeni od materijala otpornog na trošenje kako bi izdržali trenje, udarce i druge nepovoljne uvjete rada bez značajnog habanja.

4. Dobra toplinska vodljivost: Materijal izrade ležaja treba imati dobru toplinsku vodljivost kako bi učinkovito odvodio toplinu generiranu trenjem, čime se sprječava pregrijavanje ležaja i održava optimalna radna temperatura.

Prilikom odabira ležaja, bitno je uzeti u obzir specifične zahtjeve aplikacije i radne uvjete kako bi se osigurala optimalna performansa i pouzdanost ležaja.

Za ležajeve u centrifugalnim pumpama najčešće se koriste metali poput bijelih kovina, legura olova, kositra, antimona i bizmuta. Ovi su materijali popularni jer imaju dobre sposobnosti klizanja pri lošijem podmazivanju, prilagodljivi su i otporni na trošenje. Međutim, njihova temperaturna tolerancija je ograničena na oko 300 °C, pa se koriste samo u pogonskim temperaturama do 110 °C.

Za veća opterećenja i površinske tlakove koriste se crveni lijev, aluminijske i olovne bronce. Ti materijali imaju veću otpornost na visoke temperature i veće opterećenje, ali njihova sposobnost klizanja pri lošem podmazivanju je lošija.

Kućišta ležajeva najčešće su izrađena od sivog lijeva ili čelika, dok se za temeljne i leteće ležajeve u sporohodnim dizelskim motorima koristi bijela kovina. Sivi lijev se često preferira zbog svoje dobre prigušujuće sposobnosti vibracija.

Kod brzohodnih brodskih motora, najviše se koriste kositrena, aluminijska, silicijska ili olovna bronca. Kositrena bronca se široko primjenjuje zbog svojih dobrih mehaničkih svojstava, sposobnosti lijevanja i otpornosti na visoke temperature i udarne opterećenja.

Temeljni i leteći ležajevi u sporohodnim dizelskim motorima najčešće se izrađuju od bijelih kovina zbog svojih dobrih mehaničkih svojstava, sposobnosti lijevanja te otpornosti na udarna opterećenja.

Različiti materijali koriste se za različite dijelove ležaja, ovisno o specifičnim zahtjevima opterećenja i temperaturama rada. U nastavku su navedene karakteristike najčešće korištenih materijala za izradu ležajeva u centrifugalnim pumpama.

1. Bijela kovina – bijela kovina je popularan materijal za ležajeve zbog svojih dobrih sposobnosti klizanja pri lošijem podmazivanju. U kombinaciji s legurama olova, kositra, antimona i bizmuta, bijela kovina pruža visoku prilagodljivost i otpornost na trošenje. Međutim, temperatura tolerancije bijele kovine je ograničena na oko 300 °C, pa se koristi samo u pogonskim temperaturama do 110 °C, kao što je već ranije spomenuto.

2. Crveni lijev – crveni lijev se koristi za ležajeve koji su izloženi većim opterećenjima i površinskim tlakovima. Ovaj materijal ima veću otpornost na visoke temperature i može podnijeti veća opterećenja, ali njegova sposobnost klizanja pri lošem podmazivanju je lošija u usporedbi s bijelom kovinom.

3. Aluminijske i olovne bronce – aluminijske i olovne bronce također se koriste za ležajeve koji podnose veća opterećenja i temperature. Ove legure pružaju izvrsnu tlačnu čvrstoću i dobru otpornost na visoke temperature. Međutim, njihova sposobnost klizanja pri lošem podmazivanju može biti slabija.

## *3.3. Primjena ležajeva u brodskim sustavima*

Primjena ležajeva u brodskim sustavima je široka. Neka područja primjene navedena su u nastavku.

1. Brodski motori, generatori i drugi uređaji. Ležajevi u tim pumpama omogućuju glatku rotaciju osovina i učinkovito prijenos energije kako bi se održala optimalna temperatura i sprječilo pregrijavanje.

2. Sustavi za opskrbu gorivom: Ležajevi igraju važnu ulogu u centrifugalnim pumpama koje prenose gorivo s spremnika do brodskih motora. Kvalitetni ležajevi osiguravaju pouzdan rad pumpi za neprekidnu opskrbu gorivom, što je ključno za sigurno i učinkovito funkcioniranje pogonskih sustava.

3. Sustavi za opskrbu vodom: Centrifugalne pumpe s ležajevima koriste se u sustavima za opskrbu svježe vode na brodovima. Ležajevi osiguravaju stabilnost osovine pumpe, smanjuju trenje i vibracije te omogućuju kontinuiranu opskrbu svježom vodom za piće, sanitarni sustav i ostale potrebe.

4. Sustavi za otpadne vode: Ležajevi su neophodni u centrifugalnim pumpama koje prenose otpadne vode s broda u spremnike ili postrojenja za obradu otpadnih voda. Kvalitetni ležajevi osiguravaju pouzdan rad tih pumpi, smanjuju vibracije i trošenje, te osiguravaju ispravno odlaganje otpadnih voda.

5. Hidraulički sustavi: U brodskim hidrauličkim sustavima, centrifugalne pumpe s ležajevima koriste se za prijenos hidrauličke tekućine koja pokreće različite mehanizme i uređaje, kao što su otvaranje i zatvaranje vrata, dizanje tereta i upravljanje kormilom.

## *3.4. Podmazivanje*

Podmazivanje je ključno za održavanje i produženje životnog vijeka ležajeva u centrifugalnim pumpama. Postoje dva osnovna načina podmazivanja ležajeva, to su podmazivanje uljima i podmazivanje mazivim mastima. Oba načina imaju svoje prednosti i nedostatke.

### Podmazivanje uljima

Podmazivanje uljima je uobičajeni način podmazivanja kliznih ležajeva. Prednosti podmazivanja uljima uključuju:

- dobro podmazivanje pri visokim brzinama i temperaturama;

- bolje rashlađivanje ležaja jer ulje ima bolju toplinsku vodljivost;

- mogućnost filtriranja ulja kako bi se uklonile nečistoće i produžio vijek trajanja ležaja;

- veća otpornost na oksidaciju i koroziju.

Neki od nedostataka podmazivanja uljima su:

- potreba za sustavom za podmazivanje s pumpom i spremnikom za ulje:

- potreba za redovitim održavanjem i provjerom razine ulja;

- povećana osjetljivost na onečišćenje, jer ulje može privlačiti čestice prašine i druge nečistoće.

### Podmazivanje mazivim mastima

Podmazivanje mazivim mastima koristi gustu pastu ili gel koji se nanosi na klizne površine ležaja. Prednosti podmazivanja mastima uključuju:

- bolje zadržavanje maziva na kliznim površinama, posebno kod vertikalnih osovina;

- bolje brtvljenje i zaštita od prodora prljavštine i vlage;

- manje ovisnosti o sustavima za podmazivanje.

Nedostaci podmazivanja mastima uključuju:

- povećano trenje i otpor zbog viskoznosti mazive mase;

- potreba za redovitom zamjenom masti zbog trošenja i onečišćenja;

- niža toplinska vodljivost u usporedbi s uljima, što može dovesti do većeg zagrijavanja.

# 4. LEŽAJEVI U CENTRIFUGALNIM PUMPAMA

## *4.1. Klizni ležajevi*

Klizni ležajevi omogućuju vođenje pokretnih dijelova stroja, kao što su vratila i osovine, te prijenos opterećenja s rukavca na blaznicu ležaja. Klizanje se događa na površinama koje su podmazane mazivima, obično mastima ili krutim sredstvima za podmazivanje.

Klizne ležajeve možemo klasificirati prema vrsti opterećenja na aksijalne i radijalne. Postoje i ležajevi za vođenje koji se koriste samo za vođenje vratila ili osovine, bez prenošenja opterećenja.

Klizni ležajevi sastoje se od kućišta i blazinice ležaja. Kućište ležaja oblikuje ležaj, pruža mu čvrstoću i nosi blaznicu. Blaznica se sastoji od dva dijela, pri čemu se za kliznu površinu najčešće koristi bijela kovina, koja je legura kositra i bakra. Materijali za blaznicu mogu uključivati olovnu broncu, legure bakra i olova te aluminijske legure sa silicijem ili kositrom. Budući da materijali za blaznicu imaju ograničenu trajnu čvrstoću, posebno za velika opterećenja, izrađuju se blaznice s više slojeva različitih materijala.

## Prednosti kliznih ležajeva

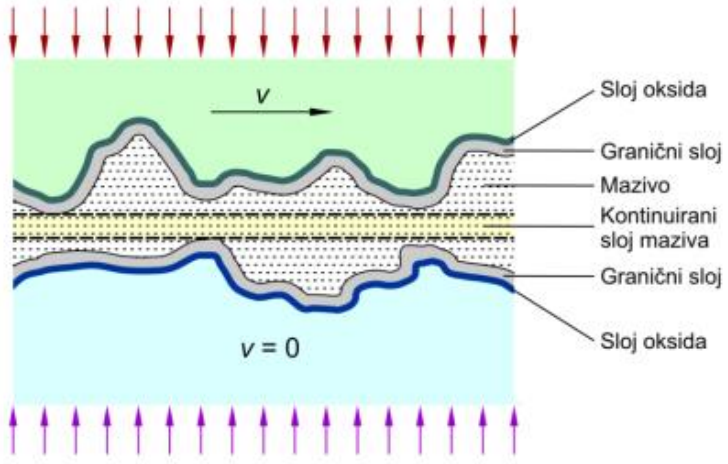
Prednosti kliznih ležajeva i razlozi zbog kojih se koriste u centrifugalnim pumpama su sljedeći:

1. Jednostavnost: Klizni ležajevi imaju jednostavnu konstrukciju i lako se održavaju. Njihova jednostavnost omogućava laku zamjenu i servisiranje ako je potrebno.

2. Visoka opteretivost: Klizni ležajevi mogu podnijeti visoka opterećenja i pružiti stabilnu podršku rotirajućim elementima. To ih čini pogodnim za primjenu u centrifugalnim pumpama koje moraju podnijeti velika opterećenja i visoke brzine.

## Podmazivanje kliznih ležajeva i princip rada

Temeljna svrha podmazivanja kliznih ležajeva je smanjenje trenja i grijanja te istovremeno smanjenje gubitaka snage, istrošenja i produljenje vijeka trajanja. Svi ovi ciljevi postižu se pravilnim podmazivanjem, pri kojem je površina kliznog rukavca i blazinice ležaja razdvojena tankim slojem ulja, odnosno uljnim filmom u kojem vlada tekuće trenje. Idealno podmazivanje rezultira minimalnim trošenjem, pa dobre ležajeve praktički možemo smatrati beskonačnog vijeka trajanja. Ovakva vrsta trenja naziva se još i tekuće trenje klizanja i prrikazano je na slici 11.

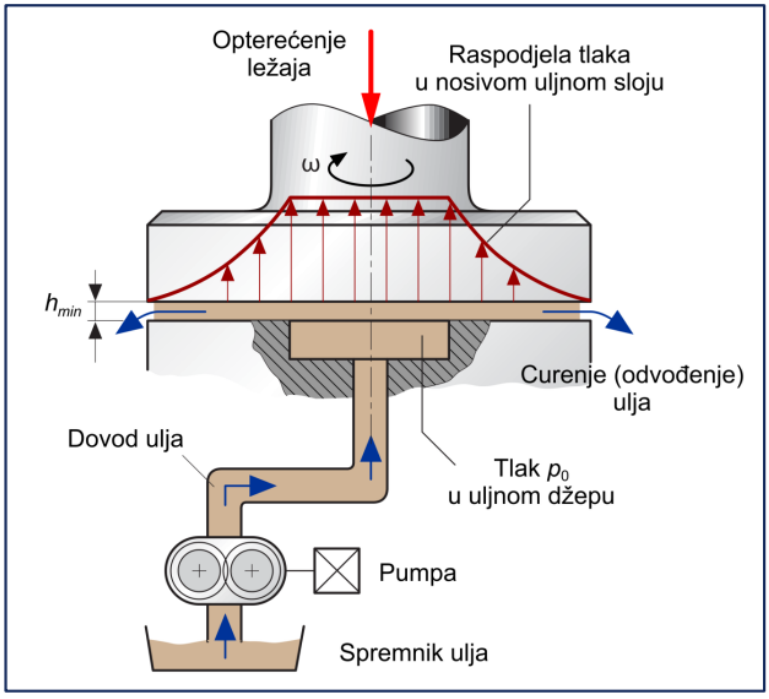



**Slika 11. Skica tekućeg trenja**

Načine podmazivanja možemo podijeliti u dvije skupine, a to su hidrostatičko i hidrodinamičko podmazivanje.

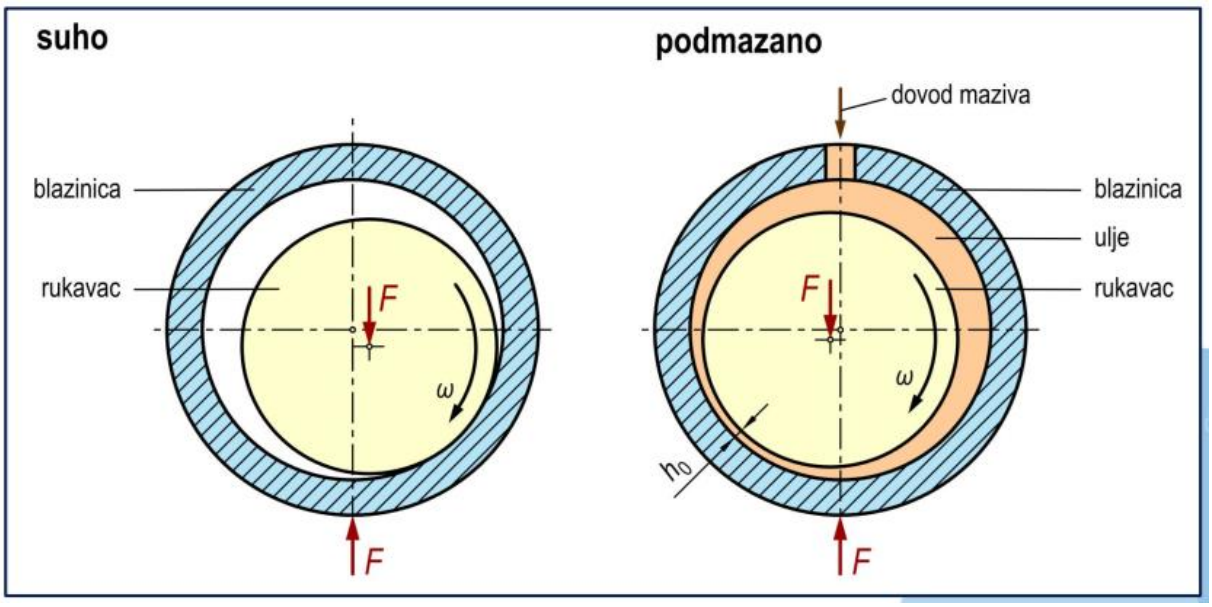
Hidrostatičko podmazivanje zahtijeva tlak ulja od otprilike 200 bara, koji se postiže pomoću uljne pumpe. Bez obzira na gibanje ili mirovanje, tlak ulja uvijek mora biti dovoljan da

osigura potrebnu količinu uljnog filma. Gubitak trenja kod ovih ležajeva manji je nego kod drugih vrsta, ali se zbog visokih troškova ugradnje pumpe za visoke tlakove rjeđe koriste. Princip hidrostatičkog podmazivanja kod aksijalnog kliznog ležaja prikazano je na slici 12.




**Slika 12. Skica hidrostatičkog podmazivanja aksijalnog kliznog ležaja**

Kod hidrodinamičkog podmazivanja, nosivi uljni film automatski se stvara između kliznih površina ako je relativna brzina klizanja dovoljno velika i ako klizne površine imaju oblik klina. Princip hidrodinamičkog podmazivanja kliznih ležajeva skiciran je na slici 13.



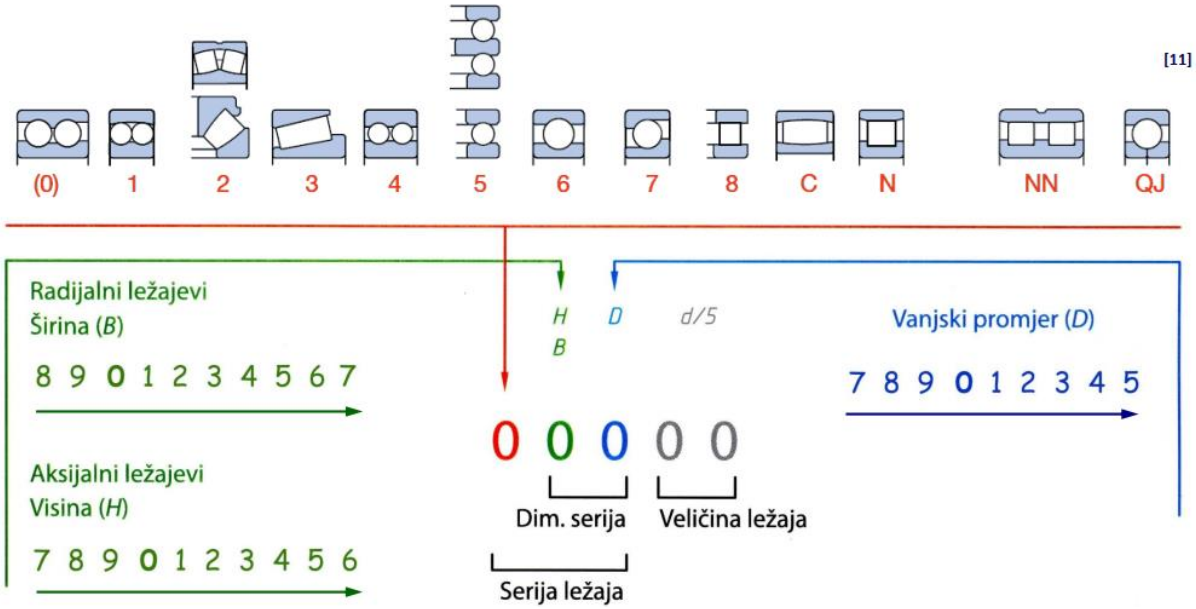

**Slika 13. Hidrodinamičko podmazivanje kliznih ležajeva**

## *4.2. Valjni ležajevi*

Poput kliznih ležajeva, valjni ležajevi omogućuju vođenje pokretnih dijelova stroja koji su postavljeni unutar odgovarajućeg kućišta. Sastoje se od vanjskog i unutarnjeg prstena (ili ploče kod aksijalnih ležajeva), između kojih se valjaju valjni elementi smješteni u oblikovanom kavezu, kako je već ranije prikazano na slici 9. Glavni oblik trenja koji prevladava između valjnih elemenata je trenje valjanja.

Valjni ležajevi mogu prenositi istovremeno radijalna i aksijalna opterećenja, odnosno samo radijalna ili samo aksijalna opterećenja.

Budući da se ponavljaju ista opterećenja na valjnim ležajevima, podijeljeni su na aksijalne i radijalne ležajeve. Valjni ležajevi imaju niži koeficijent trenja u usporedbi s kliznim ležajevima, visoku nosivost pri relativno malim dimenzijama, jednostavnije održavanje i standardizirane dimenzije, što olakšava zamjenu. Označavanje valjnih ležajeva prema normi DIN 623 prikazuje slika 14.




**Slika 14. Označavanje valjnih ležajeva prema normi DIN 623**

Prvi broj, označen crvenom bojom na slici 14 odnosi se na tip valjnog ležaja. Tipovi valjnih ležajeva su sljedeći:

(0) – dvoredni radijalni kuglični ležaj s kosim dodirom;

1 – samopodesivi radijalni kuglični ležaj;

2 – samopodesivi bačvasti ležaj;

3 – stožasti ležaj;

4 – jednostavni dvoredni radijalni kuglični ležaj;

5 – aksijalni kuglični ležaj;

6 – jednoredni aksijalni kuglični ležaj;

7 – jednoredni radijalni kuglični ležaj s kosim dodirom

8 – aksijalni valjkasti ležaj;

C – jednoredni samopodesivi radijalni bačvasti ležaj;

N – jednoredni radijalni valjkasti ležaj

NN – dvoredni ili višeredni radijalni valjkasti ležaj;

NA – igličasti ležaj (*nije prikazan na slici 14.);

QJ – radijalni kuglični ležaj s dodirom u četiri točke.

Zadnja dva broja u oznaci ležajeva označavaju unutarnji promjer ležaja podijeljen s brojem 5. Ovaj način označavanja vrijedi za ležajeve unutarnjeg promjera 10 ... 480 mm, dok specijalne vrste ležajeva imaju i posebne oznake.

Neki nedostaci valjnih ležajeva uključuju veću osjetljivost na udarna opterećenja, nisku otpornost na mehaničke vibracije, veći broj dijelova, zahtjevniju montažu i demontažu te kompleksniju izradu.

Princip rada valjnih ležajeva temelji se na valjanju valjnih elemenata između vanjskog i unutarnjeg prstena. Valjni elementi se rotiraju unutar kaveza i omogućuju prijenos opterećenja između vanjskog i unutarnjeg prstena. Trenje valjanja nastaje zbog kontakta između valjnih elemenata i kliznih površina ležaja, ali zahvaljujući podmazivanju, trenje se smanjuje na minimalnu razinu.

## Prednosti valjnih ležajeva

Glavni razlozi zbog kojeg se koriste valjni ležajevi pri izradi centrifugalnih pumpi su sljedeći:

1. Valjni ležajevi omogućuju glatko i učinkovito vođenje pokretnih dijelova stroja, pružajući visoku nosivost i smanjenje trenja. Pravilno podmazivanje je ključno za održavanje optimalnog rada valjnih ležajeva i produljenje njihovog vijeka trajanja.

2. Visoka nosivost opterećenja: Valjni ležajevi su konstruirani za podnošenje velikih opterećenja. U centrifugalnim pumpama, rotacioni elementi (impeleri) generiraju značajne centrifugalne sile koje moraju biti podržane. Valjni ležajevi omogućuju pouzdanu i sigurnu podršku u ovim uvjetima.

3. Visoka krutost: Valjni ležajevi su izrađeni od čvrstih materijala kao što su čelik ili keramika. To im daje visoku krutost, što je važno za održavanje stabilnosti i preciznosti rotacije impelera. Visoka krutost sprječava deformaciju ležaja pod opterećenjem i osigurava precizno usklađivanje s osovinom.

4. Manje trenje: Valjni ležajevi imaju manje trenje u usporedbi s drugim vrstama ležajeva, poput kliznih ležajeva. Smanjeno trenje rezultira manjim gubicima energije, što povećava učinkovitost centrifugalne pumpe. Također, manje trenje smanjuje trošenje ležajeva i produljuje njihovu životnost.

5. Rad pri visokim brzinama: Valjni ležajevi su pogodni za rad pri visokim brzinama. Oni su dizajnirani za podnošenje visokih centrifugalnih sila koje nastaju pri rotaciji impelera visokih brzina. Valjni ležajevi omogućuju siguran i pouzdan rad pumpe bez gubitka performansi.

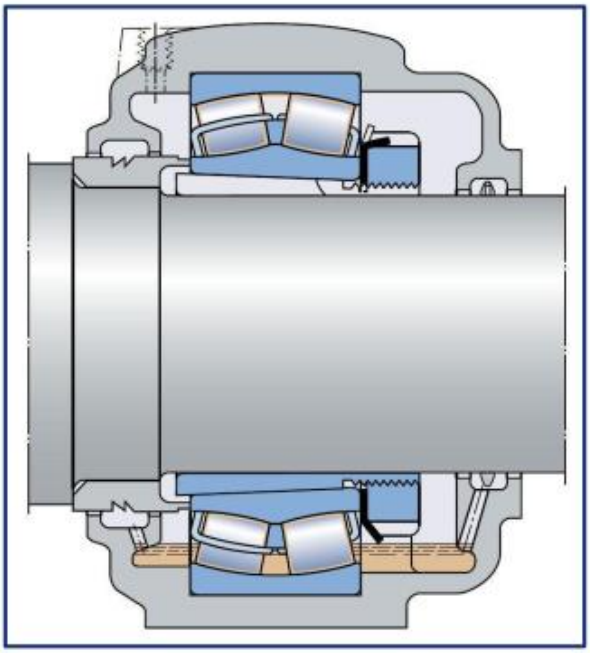
## Podmazivanje valjnih ležajeva

Podmazivanje valjnih ležajeva i princip njihovog rada su slični onima kod kliznih ležajeva. Glavna svrha podmazivanja valjnih ležajeva je smanjiti trenje i grijanje te povećati njihovu učinkovitost i trajnost.

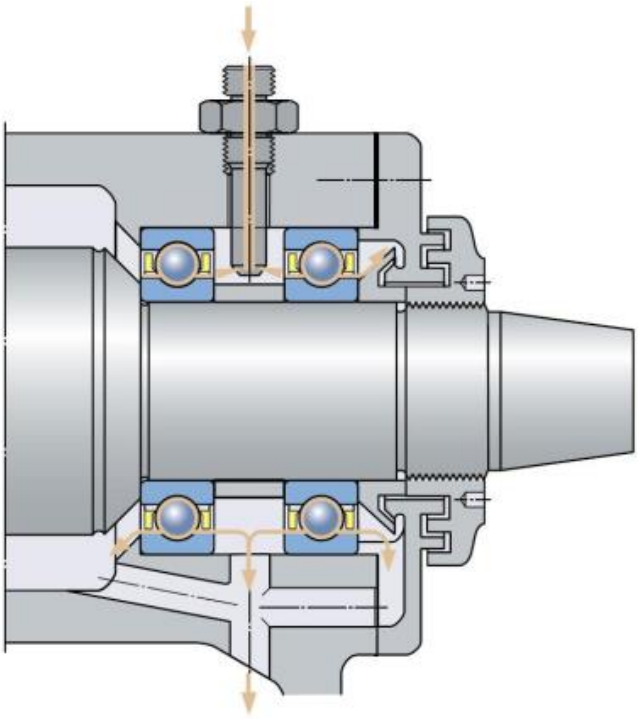
Valjni ležajevi se podmazuju kako bi se stvorio tanki sloj ulja između valjnih elemenata i kliznih površina ležaja. Ovaj sloj ulja stvara uljni film koji smanjuje trenje valjanja i omogućuje glatko rotiranje valjnih elemenata. Podmazivanje također pomaže u sprečavanju korozije i oštećenja površina ležaja. Načini podmazivanja valjnih ležajeva su sljedeći:

1. Podmazivanje uljnom maglom;
2. Podmazivanje u uljnoj kupci;
3. Cirkulacijsko podmazivanje;
4. Podmazivanje prskanjem;
5. Podmazivanje brizganjem.

Podmazivanje u uljnoj kupci prikazano je na slici 15., dok je na slici 16. prikazano podmazivanje brizganjem. Za podmazivanje brizganjem se koriste mazalice. Mazalica je prikazana na slici 17.



**Slika 15. Podmazivanje u uljnoj kupci**



**Slika 16. Podmazivanje brizganjem**

**Slika 17. Mazalica**

## Igličasti valjni ležajevi

Igličasti se ležajevi često koriste kod centrifugalnih pumpi. Oni pripadaju skupini valjnih ležajeva s cilindričnim valjcima čija je dužina znatno veća od promjera. Igličasti ležajevi su pogodni za primjenu u prostorima s ograničenim dimenzijama jer imaju malen poprečni presjek, ali visoku nosivost. Zahvaljujući blago uvučenom profilu, izbjegava se pojava rubnih naprezanja, a linija dodira između valjnih staza i igličastih valjaka mijenja se. Postoje dvije vrste igličastih ležajeva, igličasti ležajevi bez košuljice i igličasti ležajevi u košuljici.

Igličasti ležajevi u košuljici imaju duboki i tanak vanjski prsten i obično se koriste bez unutarnjeg prstena, iako se prema potrebi mogu koristiti posebno dostupni unutarnji prstenovi. Oni se često koriste u ekonomičnijim ležajnim sklopovima i kada provrt ne služi kao valjna staza za igličaste valjke i kaveze. Imaju otvorene krajeve ili jedan zatvoreni kraj radi montaže na kraju osovine.

Najčešći oblici igličastih ležajeva su oni bez košuljice i bez unutarnjeg prstena. Ovi ležajevi se obično koriste kada je moguće brusiti i kaliti osovine. Budući da nema unutarnjeg prstena, osovina može imati veću krutost i promjer. Kada usporedimo ležajeve s unutarnjim prstenom i one bez njega, ležajevi s unutarnjim prstenom koristit će se u sustavima kada nije ekonomično

ili tehnički izvedivo brusiti ili kaliti osovine. Primjer igličastog ležaja bez unutarnjeg prstena (košuljice) prikazan je na slici 18.

**Slika 18. Igličasti ležaj bez unutarnjeg prstena**

## Kuglični valjni ležajevi

Kuglični ležajevi su vrsta valjnih ležajeva koji koriste kuglice kao valjna tijela. Oni se široko koriste u raznim strojnim aplikacijama zbog svoje visoke preciznosti, malog trenja i visoke brzine. Kuglični ležajevi omogućuju rotaciju vratila ili osovine uz minimalno trenje zahvaljujući kotrljanju kuglica između unutarnjeg i vanjskog prstena. Kuglice se kreću u kanalima ili žljebovima na prstencima, smanjujući trenje i omogućujući glatko rotiranje vratila ili osovine. Također, prednost kugličnih ležajeva je i niska cijena u odnosu na ostale vrste valjnih ležajeva.

Kuglični ležajevi u centrifugalnim pumpama koriste se zbog sljedećih razloga:

1. Visoka preciznost: Kuglični ležajevi omogućuju precizno vođenje rotacije vratila, što je važno za stabilan i učinkovit rad centrifugalne pumpe.

2. Visoka brzina: Kuglični ležajevi mogu podnijeti visoke brzine vrtnje, što je često potrebno u centrifugalnim pumpama.

3. Niska potrošnja energije: Zahvaljujući niskom koeficijentu trenja, kuglični ležajevi imaju manji gubitak energije, što rezultira većom energetskom učinkovitošću pumpe.

4. Pouzdanost: Kuglični ležajevi su često pouzdani i imaju dug vijek trajanja, smanjujući potrebu za čestim održavanjem i zamjenom.

# 5. OŠTEĆENJA LEŽAJEVA U CENTRIFUGALNIM PUMPAMA

Do oštećivanja ležajeva u centrifugalnim pumpama može doći iz nekoliko razloga. Najčešći razlozi opisani su u nastavku.

## *5.1. Pogrešna montaža*

Loša ili pogrešna montaža ležajeva u centrifugalnim pumpama može rezultirati nedostatkom kanala za podmazivanje na ležaju. To znači da je ležaj krivo postavljen, što sprječava učinkovito podmazivanje ležaja. Kao posljedica toga, radilica neće biti podmazana jer ulje neće moći dosegnuti radilicu putem kanala koji se nalaze na polutkama ležaja. Umjesto toga, zamijenjene polutke ležaja mogu uzrokovati zaglavljivanje.

Kod ovakvog problema, nema načina prevencije osim pažljivog pristupa i pozornosti prilikom montaže ležaja. Važno je osigurati da ležaj bude ispravno postavljen, s kanalima za podmazivanje poravnatim na odgovarajući način. Pravilna montaža osigurat će pravilan protok podmazivača i sprječavanje problema s podmazivanjem u radilici centrifugalne pumpe.

Postoji niz uzroka koji mogu dovesti do nepodudarnosti između ležaja i kućišta u centrifugalnim pumpama, kao što su nepravilna obrada, savijena osovina, iskrivljeno kućište i slično. Ovi nedostaci mogu rezultirati lokalnim trošenjem koje će najviše utjecati na određene glavne ležajeve, dok će ostali biti manje pogođeni.

## *5.2. Loša strojna obrada*

Jedini način da se riješi ovaj problem je da svi dijelovi pumpe budu pravilno obrađeni i da se pridržavaju specifikacija proizvođača pumpe. To uključuje pravilnu obradu radilice i kućišta, kao i njihovu usklađenost s preporukama proizvođača.

Potpuni kontakt između stražnje strane ležaja i kućišta ključan je za osiguranje učinkovitog prijenosa topline i pravilno pozicioniranje ležaja. Ako prignječenje nije dovoljno, ležaj se može pomicati unutar kućišta i mogu se primijetiti sjajna područja na stražnjoj strani ležaja kao posljedica trenja s kućištem. Važno je pridržavati se dimenzija ležaja preporučenih od strane proizvođača pumpe kako bi se osigurao pravilan rad i smanjio rizik od nepoželjnog

trošenja ležaja. Pravilna obrada i montaža svih dijelova pumpe u skladu s uputama proizvođača ključni su za osiguranje dugotrajnog i pouzdanog rada ležajeva u centrifugalnim pumpama.

# 6. VIJEK TRAJANJA LEŽAJEVA

Vijek trajanja ležajeva se prema normi ISO 281:1990 definira kao broj okretaja ležaja prije prve pojave zamora materijala koji se najčešće pojavljuje na jednom od prstenova ležaja. Vijek trajanja ležajeva se najčešće izražava u radnim satima i računa se prema izrazu:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60*n}\left(\frac{C}{P}\right)^m \qquad \text{pri čemu je:}$$

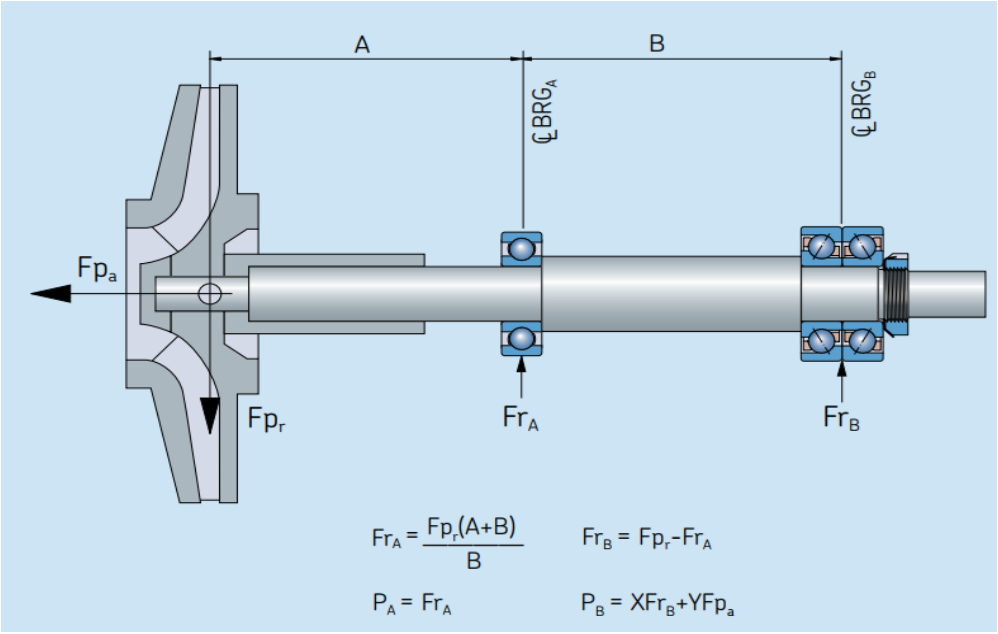
$n$ – broj okretaja;

$C$ – dinamička nosivost odabranog ležaja;

$P$ – ekvivalentno opterećenje ležaja;

$m$ – eksponent vijeka trajanja ležaja.

Ekvivalentno opterećenje ležaja određuje se drugačije za različite tipove ležajeva, ovisno o smjeru prenošenja opterećenja. Računanje ekvivalentnog opterećenja ležajeva na primjeru centrifugalne pumpe prikazan je na slici 19.




**Slika 19. Ekvivalentno opterećenje ležajeva centrifugalne pumpe**

Eksponent vijeka trajanja ležaja ovisi o vrsti ležajeva, tako primjerice za kuglične ležajeve iznosi $m = 3$, dok za valjkaste i igličaste ležajeve iznosi $m = 10/3$.

Prema preporukama proizvođača ležajeva, tvrtke *SKF* pri računanju nazivnog vijeka trajanja ležaja potrebno je uzeti u obzir i faktore poput viskoznosti i stupnja onećišćenja maziva. Tako izračunati vijek trajanja ležaja bit će za određeni postotak manji od onog koji se računa prethodnim izrazom i iznosit će:

$$L_{10m} = a_{SKF} * \frac{10^6}{60 * n} (\frac{C}{P})^m$$

pri čemu je $a_{SKF}$ strogo manji od 1.

Očekivani vijek trajanja ležajeva za različita područja primjene prikazan je u tablici na slici 20.

| Pogon | Nazivno trajanje u satima | | Pogon | Nazivno trajanje u satima | |
|---|---|---|---|---|---|
| Električni aparati za domaćinstvo | 1000 | 2000 | Ležaji brodskih vratila | 80000 | |
| Mali ventilatori | 2000 | 4000 | Za brodske prijenosnike | 20000 | 30000 |
| Mali elektromotori do 4 kW | 8000 | 10000 | Poljoprivredni strojevi | 3000 | 6000 |
| Elektromotori srednje snage | 10000 | 15000 | Mala dizala | 5000 | 10000 |
| Veliki stacionarni elektromotori | 20000 | 30000 | Univerzalni prijenosnici | 8000 | 15000 |
| Električni strojevi u opskrbnim pogonima | 50000 | i više | Prijenosnici alatnih strojeva | 20000 | |
| Mali motocikli | 600 | 1200 | Pomoćni strojevi u proizvodnji | 7500 | 15000 |
| Jači motocikli, putnički automobili | 1000 | 2000 | Mali valjački stanovi | 5000 | 6000 |
| Teški putnički automobili, laka teretna vozila | 1500 | 2500 | Veliki viševaljački stanovi | 8000 | 10000 |
| Teška teretna vozila, autobusi | 2000 | 5000 | Pila jarmača (gater) | 10000 | 15000 |
| Osovinski ležaji za | | | Oklopni uređaji u rudarstvu | 4000 | 10000 |
| transportna vozila | 5000 | | Ventilatori za rudarstvo | 40000 | 50000 |
| tramvaje | 20000 | 25000 | Bubanj za uže izvoznog stroja u rudarstvu | 40000 | 60000 |
| putničke vagone | 25000 | | Strojevi za papir | 50000 | 80000 |
| teretne vagone | 35000 | | (postrojenja za sušenje) | i više | |
| lokomotive | 20000 | 40000 | Mlinovi čekićari | 20000 | 30000 |
| Prijenosnici motornih čamaca | 3000 | 5000 | Preše za brikete | 20000 | 30000 |
| Aksijalni ležaji brodskih propelera | 15000 | 25000 | | | |

**Slika 20. Uobičajeni vijek trajanja ležaja ovisno o području primjene**

# 7. ZAKLJUČAK

Ležajevi igraju ključnu ulogu u centrifugalnim pumpama jer omogućuju okretanje strojnih dijelova uz minimalno trenje prilikom rotacije i pružaju podršku za radijalna i aksijalna opterećenja. Kako bi se osigurala pouzdanost i dugotrajnost ležaja, važno je odabrati odgovarajuće materijale koji zadovoljavaju specifične zahtjeve.

Zahtjevi za ležajeve u centrifugalnim pumpama uključuju prilagodljivost pod opterećenjem, tlačnu čvrstoću, otpornost na trošenje i dobru toplinsku vodljivost. Materijali koji se najčešće koriste za ležajeve u ovom kontekstu su metali poput bijele kovine, legura olova, kositra, antimona i bizmuta, crveni lijev, aluminijske i olovne bronce.

Bijela kovina i legure olova, kositra, antimona i bizmuta imaju dobre sposobnosti klizanja pri lošijem podmazivanju, prilagodljive su i otporne na trošenje. Crveni lijev, aluminijske i olovne bronce koriste se za veća opterećenja i površinske tlakove, ali njihova sposobnost klizanja pri lošem podmazivanju može biti lošija.

Odabir materijala za kućišta ležajeva ovisi o čvrstoći i otpornosti na opterećenja, pa se često koristi sivi lijev ili čelik. U sporohodnim dizelskim motorima, bijela kovina je često odabrani materijal za temeljne i leteće ležajeve zbog svojih mehaničkih svojstava i otpornosti na visoke temperature i udarne opterećenja. U brzohodnim brodskim motorima, kositrena bronca, aluminijska bronca, silicijska bronca ili olovna bronca su popularni materijali zbog svojih mehaničkih svojstava, sposobnosti lijevanja i otpornosti na visoke temperature i udarne opterećenja.

Odabir odgovarajućih materijala za ležajeve u centrifugalnim pumpama ključan je za osiguravanje pouzdanosti, dugotrajnosti i učinkovitosti pumpi. Pravilan odabir materijala omogućuje ležajima da podnose opterećenja, prilagođavaju se pod opterećenjem, budu otporni na trošenje i učinkovito odvode toplinu. Ovo doprinosi ukupnom performansama centrifugalnih pumpi i produžuje njihov radni vijek.

# 8. LITERATURA


1. Bearings in Centrifugal Pumps, SKF Application Handbook
2. Vučković K., Ležajevi, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2020.
3. https://strojarskaradionica.wordpress.com/2019/05/07/7-najcescih-kvarova-visestupanjske-centrifugalne-pumpe/
4. https://set-bjelovar.hr/prodajni-program/hrvatska/iglicasti-lezajevi
5. https://astra-prom.hr/proizvod/mazalica-din-71412-am-8-inox-ravna/
6. https://www.skf.com/hr
7. https://hr.pumpslurries.com/sewage-pumps/submersible-sewage-pump/sewage-treatment-centrifugal-pump.html
8. http://ba.purityfiresystem.com/pumps/high-pressure-multistage-vertical-centrifugal.html
9. http://hr.purityfiresystem.com/pumps/centrifugal-pump/standard-electric-motor-coupling-pump.html
10. https://hr.wikipedia.org/wiki/Centrifugalna_sisaljka


# 9. POPIS SLIKA


Slika 1. Komponente centrifugalne pumpe ..... 8
Slika 2. Primjer horizontalne centrifugalne pumpe ..... 8
Slika 3. Primjer vertikalne centrifugalne pumpe ..... 9
Slika 4. Primjer potopne centrifugalne pumpe ..... 10
Slika 5. Primjer samousisne centrifugalne pumpe ..... 10
Slika 6. Shema višestupanjske centrifugalne pumpe ..... 11
Slika 7. Podjela ležajeva prema načinu vođenja ..... 13
Slika 8. Podjela ležajeva prema smjeru opterećenja ..... 14
Slika 9. Primjer valjnih ležajeva ..... 15
Slika 10. Radijalni klizni ležaj ..... 15
Slika 11. Skica tekućeg trenja ..... 20
Slika 12. Skica hidrostatičkog podmazivanja aksijalnog kliznog ležaja ..... 20
Slika 13. Hidrodinamičko podmazivanje kliznih ležajeva ..... 21
Slika 14. Označavanje valjnih ležajeva prema normi DIN 623 ..... 22
Slika 15. Podmazivanje u uljnoj kupci ..... 25
Slika 16. Podmazivanje brizganjem ..... 25
Slika 17. Mazalica ..... 26
Slika 18. Igličasti ležaj bez unutarnjeg prstena ..... 27
Slika 19. Ekvivalentno opterećenje ležajeva centrifugalne pumpe ..... 29
Slika 20. Uobičajeni vijek trajanja ležaja ovisno o području primjene ..... 30