

# Kvarovi valjnih ležajeva

---

**Prizmić Sirola, Giuseppe**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:692134>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-11**



**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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**GIUSEPPE PRIZMIĆ SIROLA**

**KVAROVI VALJNIH LEŽAJEVA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**KVAROVI VALJNIH LEŽAJEVA  
FAILURES OF ROLLER BEARINGS**

**ZAVRŠNI RAD  
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Brodski strojni elementi

Mentor: mr. sc. Rikard Miculinić

Student: Giuseppe Prizmić Sirola

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112079947

Rijeka, lipanj 2024.

Student/studentica: Giuseppe Prizmić Sirola

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG:0112079947

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom "Kvarovi valjnih ležajeva"

izradio samostalno pod mentorstvom mr.sc. Rikarda Miculinića

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



Ime i prezime studenta:

Giuseppe Prizmić Sirola

Student/studentica: Giuseppe Prizmić Sirola

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG:0112079947

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 kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor



Giuseppe Prizmić Sirola

## SAŽETAK

Valjni ležajevi koriste se za smanjenje trenja između pokretnih dijelova u strojevima. Omogućuju glatku rotaciju i linearno kretanje korištenjem kotrljajućih elemenata, kao što su kuglice ili valjci za odvajanje i podupiranje pokretnih dijelova. Pokretni dijelovi pomažu smanjiti trenje i trošenje, a povećavaju učinkovitost i produljuju životni vijek strojeva.

Proučavanje kvarova valjnih ležajeva bitno je s razloga pouzdanosti i raspoloživosti strojnih sustava. Sve greške na ležajevima mogu dovesti do smanjene učinkovitosti, povećanog trošenja i mogućih kvarova sustava.

**Ključne riječi:** Valjni ležajevi, kvarovi ležajeva, aktuator , pregled i održavanje ležajeva.

## SUMMARY

Roller bearings are used to reduce friction between moving parts in machines. They enable smooth rotation and linear movement by using rolling elements, such as balls or rollers to separate and support moving parts. Moving parts help reduce friction and wear, increase efficiency and extend the life of machines.

The study of rolling bearing failures is important for reasons of reliability and availability of machine systems. All bearing faults can lead to reduced efficiency, increased wear and possible system failures.

**Key words:** Roller bearings, bearing failures, inspection and maintenance of bearings.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OPĆENITO O KVAROVIMA LEŽAJA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. VRSTE KVAROVA VALJNIH LEŽAJEVA</b> .....	<b>4</b>
3.1. KVAROVI LEŽAJA NASTALI PRIJE RADA .....	5
3.1.1. <i>Neppravilno prijanjanje kućišta i osovine</i> .....	5
3.1.2. <i>Oštećenja i kvarovi zbog neispravih sjedišta osovine i kućišta</i> .....	6
3.1.3. <i>Statička neusklađenost</i> .....	7
3.1.4. <i>Pogrešna montaža</i> .....	8
3.1.5. <i>Prolaz prekomjerne struje kroz ležaj</i> .....	9
3.1.6. <i>Oštećenja pri transportu i skladištenju</i> .....	9
3.2. KVAROVI VALJNIH LEŽAJA NASTALI PRI RADU .....	10
3.2.1. <i>Zamor materijala</i> .....	10
3.2.2. <i>Neučinkovito podmazivanje</i> .....	11
3.2.3. <i>Neučinkovito brtvljenje</i> .....	13
3.2.4. <i>Vibracije</i> .....	14
3.2.5. <i>Radna neusklađenost</i> .....	15
3.2.6. <i>Prolaz električne struje kroz ležaj</i> .....	15
3.2.7. <i>Razmazivanje/mrljanje</i> .....	16
3.2.8. <i>Kavitacija</i> .....	17
3.2.9. <i>Korozija</i> .....	17
<b>4. PREGLED I ODRŽAVANJE VALJNIH LEŽAJEVA</b> .....	<b>18</b>
4.1. PRAĆENJE BUKE .....	18
4.2. PRAĆENJE TEMPERATURE .....	19
4.3. PRAĆENJE I KONTROLA PODMAZIVANJA.....	20
4.4. NADZOR I KONTROLA VIBRACIJA ZA VALJNE LEŽAJEVE .....	21
4.5. FREKVENCIJSKA ANALIZA KVARA LEŽAJA .....	22
4.6. PREGLED STROJA TIJEKOM GAŠENJA (KADA STROJ NE RADI).....	23
4.7. PROVJERA BRTVE .....	25
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>26</b>
<b>6. LITERATURA</b> .....	<b>27</b>

## **1. UVOD**

Valjni ležajevi koriste se za smanjenje trenja između pokretnih dijelova u strojevima. Omogućuju glatku rotaciju i linearno kretanje korištenjem kotrljajućih elemenata, kao što su kuglice ili valjci za odvajanje i podupiranje pokretnih dijelova. Pokretni dijelovi pomažu smanjiti trenje i trošenje, a povećavaju učinkovitost i produljuju životni vijek strojeva.

Proučavanje kvarova valjnih ležajeva bitno je u raznim industrijama, uključujući proizvodnju, automobilsku industriju i zrakoplovstvo. S obzirom da izravno utječu na učinkovitost i sigurnost strojeva, ispitivanjem uzroka kvarova valjnih ležajeva, inženjeri mogu implementirati strategije preventivnog održavanja i poboljšanja dizajna kako bi smanjili pojavu grešaka. Bitno je razmotriti različite vrste grešaka koje se mogu pojaviti u ležajevima i kako one mogu utjecati na performanse i pouzdanost strojeva u kojima se koriste. Ležajevi su ključne komponente u mnogim mehaničkim sustavima. Odgovorni su za smanjenje trenja između pokretnih dijelova i nosivih opterećenja. Sve greške na ležajevima mogu dovesti do smanjene učinkovitosti, povećanog trošenja i mogućih kvarova sustava.



## 2. OPĆENITO O KVAROVIMA LEŽAJA

Od ukupnog broja ležajeva većina njih oko 90% traje dulje od opreme na koju su ugrađeni. Određeni broj ležajeva 9,5% mijenja se prije kvara iz sigurnosnih razloga dok se njih 0.5% mijenja zbog oštećenja ili neispravnosti.

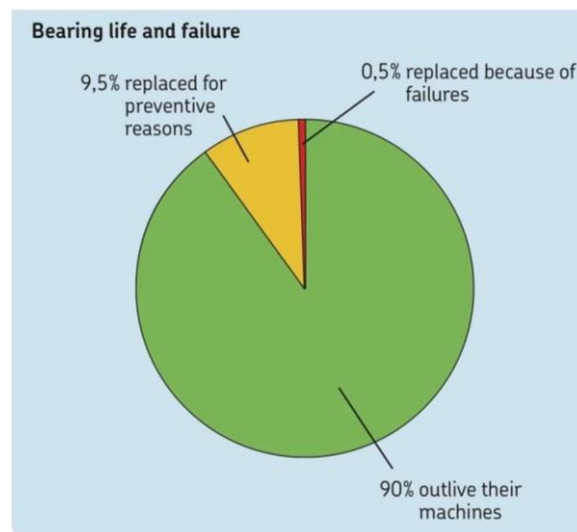
Razlozi oštećenja ležajeva mogu biti razni:

- istrošenost odnosno zamor materijala
- neučinkovitost brtve
- neadekvatno podmazivanje
- veće opterećenje od očekivanog
- neadekvatna prijanjanja
- nepravilna instalacija

Svaki od ovih razloga uzrokuje može izazvati oštećenje ležaja, te ostavlja specifičan potpis (trag) kojeg nazivamo uzorak. Taj uzorak kasnije nam služi da po njemu odredimo uzrok oštećenja, te na temelju toga poduzmemo aktivnosti, kako bi se u budućnosti spriječilo ponovno pojavljivanje problema.

Općenito govoreći o ležajevima [lit. 1] koji otkazuju postoje više razloga zbog kojih se to događa

- 1/3 otkazuje zbog zamora
- 1/3 se kvvari zbog problema s podmazivanjem
- 1/6 se kvvari zbog kontaminacije
- 1/6 se kvvari zbog nepravilnog rukovanja ili montaže



Dijagram 1. Životni vijek ležaja [1]

Primjerice u industriji celuloze i papira glavni uzrok kvara su onečišćenje i neadekvatno podmazivanje. Svaki ležaj ima svoj prosječni životni vijek koji ovisi o raznim čimbenicima kao što su :

- kvaliteta ležaja: oni koji su napravljeni od najboljih materijala i proizvedeni po najvišim standardima kvalitete traju duže.

- pravilno skladištenje: treba izbjegavati gomilanje zaliha i koristiti se pristupom „prvi ušao prvi izašao“, što je osobito važno za ležajeve koji sadrže brtve i podmazivani su mašću koja ima određeni vijek trajanja. Treba znati da su današnji ležajevi napravljeni po modernijim tehnologijama i imaju duži vijek od onih koji su napravljeni prije 10 ili 15 godina.

- montaža ležajeva: ležajevi će ispravno funkcionirati samo ako su pravilno montirani jer svako nepravilno montiranje može oštetiti ležaj i uzrokovati preuranjeni kvar.

- podmazivanje: različiti radni uvjeti zahtijevaju različita maziva i intervale ponovnog podmazivanja. Osim odabira odgovarajuće vrste maziva treba znati nanijeti i pravu količinu maziva u pravo vrijeme.

- brtvljenje. Svrha brtvljenja je zadržati mazivo i onečišćenje izvan ležaja, jer u slučaju ako se brtvljenje ne obavi može doći do preuranjenog kvara.

Ležajevi koji ne rade ispravno obično pokazuju određene znakove, a najbolji način za prepoznavanje tih znakova je uspostavljanje programa praćenja stanja u cijelom pogonu. U nekim slučajevima neki znakovi mogu biti rezultati sekundarnog oštećenja i time nas obmanuti od pravog razloga, stoga se učinkovito otklanjanje problema s ležajem svodi na analiziranje znakova prema onima koji su prvi put uočeni u primjeni.

Uobičajeni simptomi problema s ležajevima su:

- prekomjerna toplina
- prekomjerna razina buke
- prekomjerna razina vibracija
- prekomjerno kretanje osovine
- preveliki moment trenja za okretanje osovine.[1]

### 3. VRSTE KVAROVA VALJNIH LEŽAJEVA

Zbog sve veće pažnje koja se pridaje sprječavanju ponavljanja oštećenja i kvarova na ležaju, Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) razvila je metodologiju za klasifikaciju oštećenja i kvarova na ležaju. Ova norma se sastoji od šest glavnih skupina načina kvarova i šesnaest podskupina, a sve se odnose na trajnu štetu nastalu nakon proizvodnje. Norma se temelji na značajkama koje su vidljive na kotrljajućim elementima, stazama i drugim funkcionalnim površinama. Također identificira mehanizme uključene za svaku vrstu kvara.

ISO classification of bearing damage and failure modes	
Main group	Subgroup
<b>Fatigue</b>	Subsurface initiated fatigue Surface initiated fatigue
<b>Wear</b>	Abrasive wear Adhesive wear
<b>Corrosion</b>	Moisture corrosion Frictional corrosion Fretting corrosion False brinelling
<b>Electrical erosion</b>	Excessive voltage Current leakage
<b>Plastic deformation</b>	Overload Indentation from debris Indentation from handling
<b>Fracture and cracking</b>	Forced fracture Fatigue fracture Thermal cracking

Tablica 1. Podjela kvarova prema ISO klasifikaciji [1]

Većina oštećenja ležajeva može se klasificirati u dvije kategorije oštećenja: prije rada i za vrijeme rada. Oštećenje prije rada događa se prije ili tijekom ugradnje ležaja, dok se oštećenje tijekom rada događa dok je sami ležaj u radu.

Uzroci oštećenja prije rada:

- pogrešna pristajanja osovine i kućišta
- neispravna sjedišta ležaja na vratilima i u kućištima
- statičko odstupanje

- pogrešna praksa montaže
- prolaz električne struje kroz ležaj (previsoki napon)
- transport, rukovanje i skladištenje

Uzroci oštećenja tijekom rada :

- zamor materijala
- neučinkovito podmazivanje
- neučinkovito brtvljenje
- vibracije (lažno brušenje)
- radna neusklađenost
- prolaz električne struje kroz ležaj (curenje struje).

### **3.1. KVAROVI LEŽAJA NASTALI PRIJE RADA**

#### **3.1.1. Nepravilno prijanjanje kućišta i osovine**

Posljedice nepravilnog prijanjanja vratila ili kućišta su prekomjerni zazor i preveliko preopterećenje. Oni mogu rezultirati sljedećim stanjima:

- smanjeno opterećenje nosivosti
- inducirana opterećenja
- puzanje prstena(prsten se okreće u svom sjedištu)
- napuknuti prsteni
- korozija od strujanja i prevelike radne temperature.

Kod ležaja u pokretu potrebno je zadržati uravnoteženo prijanjanje. Stupanj smetnji ovisi o veličini i vrsti ležaja i opterećenja. Što je opterećenje veće prijanjanje mora biti čvršće. Ako je prsten ležaja nepomičan, a opterećenje konstantno, prijanjanje mora biti labavo. Kada prsten ležaja ima rotirajuću zonu opterećenja pri vrlo malim brzinama, primjenjujemo lakši ili labav dosjed. Nepravilno prijanjanje osovine ili kućišta omogućuju unutaranjem ili vanjskom prstenu da se okreću u svom sjedištu, što nazivamo prstenasto puzanje. Relativno kretanje stvara trenje i može uzrokovati istrošenost. Oštećenje može utjecati i na bočne strane prstenova, a ne samo na površinu sjedišta. Najčešće je to trošenje abrazivno. Zbog prelabavih spojeva pojavljuje se razlika u brzini kontaktnih površina. Te brzinske razlike stvaraju toplinu, koja je u nekim slučajevima toliko intenzivna da se prenosi s prstena ležaja

na njegove klizne površine i obrnuto. Toplina može uzrokovati toplinske pukotine u materijalu što dovodi do pucanja prstena. Interferentno prianjanje između osovine i unutarnjeg prstena izazvat će naprezanje u prstenu. Ako su naprezanja prevelika ona mogu premašiti čvrstoću prstena i uzrokovati njegov lom. Ukoliko je prianjanje prečvrsto ili ako je vanjski prsten prenategnuto, prsten se neće pomaknuti. Zbog toga nastaju velika aksijalna opterećenja u sustavu ležaja.

To dovodi do sljedećih stanja: preuranjeni zamor materijala, prekomjerno trošenje i neadekvatno podmazivanje. Rezultat toga je smanjeni vijek trajanja ležaja.

Primjerice u prednjem kotaču automobila, smjer opterećenja je konstantan, što znači da površina ceste uvijek djeluje silom usmjerenom prema gore. Stoga rotirajući vanjski prsten ima pomak u glavčini kotača, dok nepomični unutarnji prsten ima labavo nalijeganje na osovinu. Ležajevi u konvencionalnom elektromotoru imaju nepomične vanjske prstenove u odnosu na opterećenje i imaju labavo kućište, ali se unutarnji prstenovi okreću u odnosu na smjer dominantnog opterećenja. Postoje neki slučajevi u kojima je potrebno ugraditi unutarnji i vanjski prsten ležaja s interferentnim nasjedanjem. To je slučaj, s cilindričnim valjnim i toroidalnim valjnim ležajevima, koji mogu prilagoditi aksijalno širenje osovine unutar ležaja, a ne kroz klizanje jednog od prstenova ležaja na njegovom sjedištu.

### **3.1.2. Oštećenja i kvarovi zbog neispravnih sjedišta osovine i kućišta**

Postoje čimbenici koji mogu negativno utjecati na komponente koje su proizvedene po najzahtjevnijim specifikacijama. Kućišta i sjedišta osovine mogu biti deformirana, zašiljena ili toplinski iskrivljena. Istu deformaciju može proizvesti sjedište ležaja u kućištu koje je ispravno proizvedeno, ali se izobličilo prilikom nepravilnog pričvršćivanja. Abrazijska korozija se pojavljuje kada je spoj labav i postoji relativno pomicanje između osovine i prstena ležaja. Relativno pomicanje nastaje zbog deformiranih oblika i savijanja osovine, progibom. Ono uzrokuje odvajanje malih čestica materijala od sjedišta kućišta ili površine osovine, koje brzo oksidiraju kada su izložene zraku. Tarna korozija se na površini vanjskog prstena ili u provrtu unutar prstena pojavljuje u obliku hrđe. Zbog toga prstenovi ležaja neće biti ravnomjerno naslonjeni, što dovodi do nepravilne raspodjele opterećenja u ležaju. Ona je česta gdje su radni uvjeti pod velikim opterećenjima, što uzrokuje deformaciju sjedišta. S vremenom će neispravan kontakt rezultirati korozijom. Sjedišta ležaja koja su konveksna, konkavna ili sužena uzrokuju loš kontakt prstena ležaja po svojoj širini. Stoga se prsten savija pod opterećenjem i duž staze se pojavljuju lomovi.

### 3.1.3. Statička neusklađenost

Statička neusklađenost je čisti znak preranog lomljenja i pregrijavanja. Prisutna je kod sljedećih uvjeta:

- unutarjni prsten je nalijegao na rame osovine koja nije u skladu sa sjedištem.
- vanjski prsten je postavljen na rub kućišta koji nije u skladu sa provrtom kućišta.
- dva provrta kućišta nisu međusobno koncentrična
- prsten ležaja je nepravilno postavljen na njegovo rame i ostavljen nagnut na svom sjedištu.
- vanjski prsten ležaja koji je izvan svoje ravnoteže nagnut je na svojem sjedištu.

Samoporavnajući ležajevi nisu u mogućnosti ispraviti sve greške koje nastaju zbog neusklađenosti. Primjer toga je, kada rotirajući unutarjni prsten samoporavnavajućeg ležaja nije u skladu sa sjedištem osovine, te će se on ljuljati uslijed okretanja. Uzroci toga su problemi sa preranim trošenjem materijala i problemi sa podmazivanjem. Valjni ležajevi mogu funkcionirati bez induciranja momenata savijanja, tamo gdje dva kućišta koja podupiru isto vratilo nemaju zajedničku središnju liniju. Momenti savijanja često rezultiraju deformacijama vratila i neusklađenosti. Cilindrični i konusni valjni ležajevi mogu podnijeti vrlo mala odstupanja. Neusklađenosti ovih ležajeva obično uzrokuje rubno opterećenje, što može rezultirati preranim zamorom materijala.

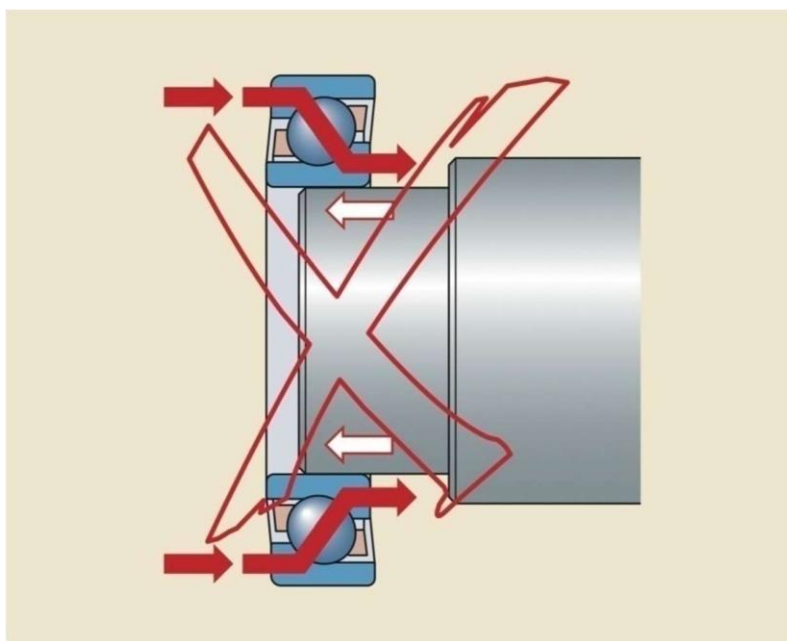


Slika 1. Oštećenje valjnog ležaja [1]

Na slici je prikazan konusni valjni ležaj koji je montiran u neusklađenom kućištu. Sila je prenošena samo preko malog dijela površine na rubu. Zamor materijala i prerano pucanje ispod površine rezultat su vrlo visokog naprežanja na tom području.

### 3.1.4. Pogrešna montaža

Izvedba montaže je jako bitna jer ukoliko se ona ne izvede pravilno može doći do oštećenja i preranog zamora materijala, a time i do samog kvara. Glavni uzrok kvarova pri ranom zamoru je oštećenje od udaraca prilikom montaže ili skladištenja. Tada dolazi do deformacija materijala zbog jačine udarca koji je veći od njegove čvrstoće. Oštećenje se javlja na mjestu deformacije i na kraju rezultira preranim kvarom ležaja.



Slika 2. Pogrešna montaža (preopterećenje) [1]

Sila montaže je primijenjena na pogrešan prsten, te je prošla kroz valjna tijela, što se također može dogoditi ako je ležaj izložen nenormalnom opterećenju dok ne radi.

S obzirom da je udarno opterećenje aksijalno, u prstenima se mogu naći udubljenja koja su aksijalno pomaknuta od središta. Razmak između udubljenja jednak je razmaku kotrljajućih tijela.

Drugi uzrok ranog kvara uslijed zamora je prisutnost onečišćenja koji se nalaze u ležaju ili kućištu. Onečišćenja mogu biti unesena tijekom montaže ili mogu biti rezultat procesa proizvodnje kućišta. Ukoliko se strugotina nađe između vanjskog promjera ležaja i provrta kućišta, to može također uzrokovati prerani kvar ležaja. Cilindrični valjni ležajevi mogu se lako oštetiti tijekom sastavljanja. Na primjer, kod ležaja dizajna NU naker je unutarnji prsten postavljen na osovinu, a vanjski prsten sa sklopkom kaveza i valjka u

kućištu. Ukoliko se dogodi da je osovine nakošena tijekom sastavljanja i nije zakrenuta, valjci mogu izgubiti klizni kanal unutarnjeg prstena čime nastaju poprečne pruge.

### **3.1.5. Prolaz prekomjerne struje kroz ležaj**

Električna struja, pod određenim uvjetima, može proći kroz ležaj tražeći masu. Na primjer, kod popravka osovine, ukoliko je uzemljenje opreme za zavarivanje neispravno može doći do prekomjernog naponskog potencijala. Oštećenje se može dogoditi prilikom mirovanja, ali se najčešće događa tijekom rada.

### **3.1.6. Oštećenja pri transportu i skladištenju**

Najčešća oštećenja koja nastaju pri transportu su: oštećenja zbog udarnog opterećenja ili oštećenja uslijed vibracija. Oštećenja su rezultat udarca, koji se može dogoditi uslijed nepravilnog rukovanja ležajem ili udarnih opterećenja. Ovisno o oštećenju, povećati će se razina buke i vibracija, a smanjiti vijek trajanja ležaja. Kako bi smo prepoznali oštećenja, prvo moramo provjeriti da li razmak između oštećenih područja odgovara razmaku između kotrljajućih elemenata. Budući da je riječ o udarcima, oštećenja će biti vidljiva pod povećalom.[1]



## 3.2. KVAROVI VALJNIH LEŽAJA NASTALI PRI RADU

### 3.2.1. Zamor materijala

Tijekom rada, opterećenje se prenosi s jednog prstena na drugi kroz valjna tijela. Svaki put kada valjno tijelo dođe u zonu opterećenja, opterećenje koje se prenosi u kontaktnom području ide od nule do maksimuma i natrag do nule. To dovodi do nakupljanja zaostalih naprezanja u materijalu. Ta će naprezanja, ovisno o temperaturi, opterećenju i broju ciklusa naprezanja, dovesti to strukturalnih promjena u materijalu i rezultirati stvaranjem pukotina ispod površine. Pukotine će se dalje proširiti na površinu i tada će doći do pucanja. Ležaj je oštećen čim dođe do prvog pucanja, i kao takav isto može nastaviti raditi. Pukotina će se postupno povećavati u veličini i broju i uzrokovati veću količinu buke i vibracija. Zbog toga stroj treba zaustaviti prije nego li izazove veća oštećenja i ležaj otkáže. Da bi se izbjegao preuranjeni zamor materijala pod površinom, moraju postojati tri glavna uvjeta:

- čisti čelik ležaja (ležaj najbolje kvalitete)
- dobri uvjeti podmazivanja (bez onečišćenja)
- dobra raspodjela opterećenja preko valjnih elementa i duž kontaktne crte valjnih tijela.



Slika 3. Pukotina u ležaju zbog zamora materijala [1]

### **3.2.2. Neučinkovito podmazivanje**

Ispravno podmazivanje ležaja jedna je od glavnih stavki prema kojoj određujemo životni vijek ležaja. Ispravno odabrano sredstvo za podmazivanje u točno određenoj količini mora dospjeti do ležaja u pravo vrijeme. Za pouzdan rad svi ležajevi zahtijevaju odgovarajuće podmazivanje. Sredstvo za podmazivanje odvaja valjne elemente, u kotrljajućem i kliznom području kontakta. Ukoliko se elementi ne podmažu, tada dolazi do kontakta metal o metal između valjnih elemenata i staza za klizanje i drugih dodirnih površina, te tako uzrokuju oštećenje tih površina. Izrazom „kvar maziva“ smatramo kako u ležaju nije bilo ulja ili masti za podmazivanje. Različita svojstva maziva kao što su: nedovoljna ili prekomjerna viskoznost, neodgovarajuća količina maziva, prekomjerno podmazivanje, onečišćeno ili pogrešno odabrano mazivo, česti su uzroci oštećenja. Stoga su temeljito ispitivanje svojstva i količine maziva, te uvjeti rada ključni za svaku analizu oštećenja podmazivanjem. Ako je podmazivanje neučinkovito, može doći do oštećenja u obliku zamora površine. Ovim oštećenjem može brzo doći do kvarova koje je često teško razlikovati od kvarova zbog zamora materijala ili pucanja, i tako uništiti tragove neučinkovitog podmazivanja. Međutim, ako se otkrije dovoljno rano bit će vidljivi pokazatelji koji određuju pravi uzrok štete.



Stage 1: Fine roughening or waviness develops on the surface.



Stage 2: Surface distress and small cracks develop. Then microspalling occurs.



Stage 3: The debris is over-rolled; real surface spalling develops.



Stage 4: If run too long, the whole raceway is spalled; initial damage can no longer be observed.

Slika 4. Faze oštećenja ležaja zbog nepravilnog podmazivanja [1]

### 3.2.3. Neučinkovito brtvljenje

Izuzetno je važno zaštititi ležajeve integralnim brtvama , štitovima ili vanjskim brtvama. Ukoliko onečišćenja uđu u šupljinu ležaja, životni vijek ležaja će se smanjiti. U jako onečišćenim uvjetima preporučljivo je koristiti oba rješenja za brtvljenje. U slučaju da čvrsti onečišćivači uđu u ležaj, mazivo može izgubiti svoju učinkovitost i može doći do ubrzanog trošenja.



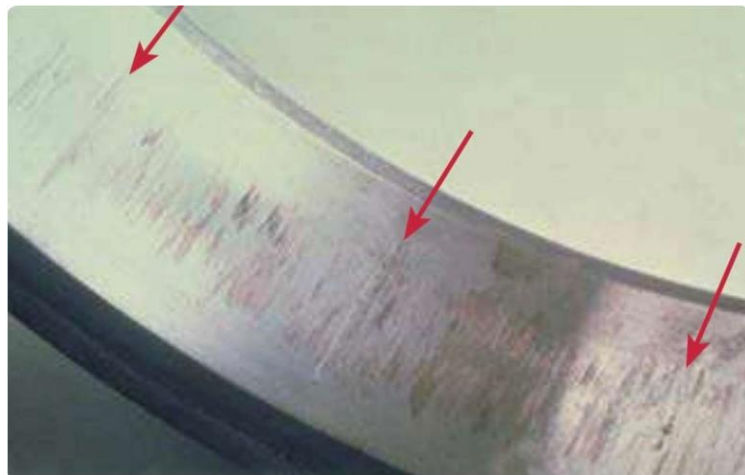
Slika 5. Istrošeni valjni ležaj(abrazija) [1]

Unutarnji prsten velikog sferičnog valjnog ležaja u primjeni s rotacijom vanjskog prstena. Trošenje je jako uznapredovalo i počelo je pucanje. Svaki kanal ima dvije zone trošenja. U jednoj zoni došlo je do istrošenja. Tada je zbog puzanja unutarnjeg prstena počelo trošenje u drugoj zoni

Korozija je također jedan od problema koji se javlja kao rezultat neučinkovitog brtvljenja, uglavnom u mirovanju. Koroziju uzrokuju: voda, kiselina i razna sredstva za čišćenje koja uništavaju maziva i njihovu sposobnost da zaštite čelične površine od oksidacije i tada u fazi mirovanja može doći do hrđe. S vremenom će vlaga stvoriti kiselinu u mazivu i urezati površinu.

### 3.2.4. Vibracije

Oštećenja od vibracija mogu prouzročiti obližnji strojevi koji rade, ovisno o blizini jedinice koja miruje. Ovisno o intenzitetu i učestalosti vibracija, stanju maziva i opterećenju, dolazi do kombinacije trošenja i korozije koje stvaraju plitke udubine u kanalu. Ta udubljenja su često bezbojna ili sjajna. Kod valjnih ležajeva se pojavljuju u obliku linija. Trajanje i jačina vibracija, te unutarnji zazor ležaja mogu utjecati na štetu. Valjni ležajevi su puno osjetljiviji na ovu vrstu oštećenja od kugličnih ležajeva.



Slika 6. Oštećenje ležaja zbog vibracija [1]

Vibracija u vanjskom prstenu cilindričnog valjkastog ležaja. Ležaj se nalazi na elektromotoru pomoćnog dijela opreme. Pri svakom zastoju dolazilo je do oštećenja zbog vibracija. Uočavamo nekoliko skupova „žljebova“ na razmaku valjka. Tri strelice pokazuju najveću štetu na razmaku valjka tijekom duljeg mirovanja.

### 3.2.5. Radna neusklađenost

Neusklađenosti su uzrokovane velikim opterećenjem ili naglim promjenama opterećenja tijekom rada (neuravnoteženo opterećenje). Kod radne neusklađenosti zone opterećenja nisu paralelne sa žljebovima staze. Rezultati su inducirana aksijalna opterećenja koja dovode do loma uslijed zamora materijala.



Slika 7. Oštećenje vanjskog prstena ležaja [1]

Vanjski prsten cilindričnog valjnog ležaja. Na slici vidimo da je prirubnica vanjskog prstena skoro potpuno odlomljena zbog aksijalnog opterećenja, koje je posljedica zamora materijala.

### 3.2.6. Prolaz električne struje kroz ležaj

Do oštećenja od struje može doći zbog previsokog napona, ali i ako je intezitet struje relativno nizak. Uzroci koji dovode do toga mogu biti razni kao što su: asimetrija toka, pretvarači frekvencije, dizajn motora, nesimetrični kablovi, uzemljenje i pogonski strojevi.

Opseg oštećenja ovisi o brojnim čimbenicima: vrsti ležaja, jačini struje (amperi), trajanju, opterećenju ležaja, zazoru ležaja, brzini i mazivu. Tijekom određenog vremena žljebovi će se razviti iz kratera paralelno s osi kotrljanja. To mogu biti velike dubine zbog kojih ležaj može otkazati zbog zamora materijala. Osim uzorka žljebova na prstenovima i valjcima ležaja postoje još dva znaka koja ukazuju na oštećenje od zalutale električne struje: tamno siva mutna diskoloracija kotrljajućih elemenata i zona opterećenja. Mast na ili u blizini šipki kaveza biti će crna(karbonizirana). Mogu nastati i trenutna oštećenja zbog

pražnjenja statičkog elektriciteta. Lutajuće struje prolaze kroz osovinu i ležaj do mase. Kada struja premosti film maziva između kotrljajućih dijelova i staza, dolazi do mikroskopskog luka.

### 3.2.7. Razmazivanje/mrljanje

Drugi oblik oštećenja površine zovemo razmazivanje. Do razmazivanja može doći u jednom od bilo kojih sljedećih uvjeta: relativno velike brzine, nedovoljno opterećenje, pretvrdo mazivo, preveliki razmak ili nedovoljno maziva u zoni opterećenja. Do klizanja dolazi kada su kotrljajuća tijela izložena velikim ubrzanjima pri ponovnom ulasku u zonu opterećenja. Pri kontaktu tih površina stvara se toplina koja uzrokuje topljenje površine mjesta kontakata metala. [1]



Slika 8. Mrljanje na potisnoj strani valjnog ležaja (adhezija) [1]



### 3.2.8. Kavitacija

Kavitacija je općenito uzrokovana lokalnim padom tlaka ulja ispod tlaka isparavanja, što dovodi do stvaranja uljnih mjehurića. Ti mjehurići kolabiraju kada dođu u područje višeg tlaka pokrećući val udaraca. Kavitaciju najčešće potiče nizak tlak ulja, visoke temperature ulja, zbog vibracija i prisutnosti tvari koje imaju nisku temperaturu vrenja u ulju.[2]

### 3.2.9. Korozija

Koroziju može izazvati loše ulje koje oštećuje površinu ležaja. Ovaj učinak je posljedica razrjeđivanja olova u leguri određenim spojevima nastalim razgradnjom ulja. Ostali uzroci korozije još mogu biti: kiseline u ulju, previsoka radna temperatura, pretjerano propuhivanje, kontaminacija ulja rashladnim sredstvom, korištenje goriva sa visokim sadržajem sumpora i prekomjerni interval izmjene ulja. Površina ležaja zahvaćena korozijom izgleda potamnijelo, spužvasto i nagriženo kemijskim djelovanjem. Preporuča se da se uvijek koristi ulje koje navodi proizvođač u uputstvima i redovito vrše izmjene ulja.[2]



Slika 9. Korozija na ležaju uzrokovana vodom u mazivu [1]



## 4. PREGLED I ODRŽAVANJE VALJNIH LEŽAJEVA

Ležajevi su jedna od najvažnijih komponenti u svakom stroju s rotirajućim dijelovima, stoga ih treba pažljivo nadzirati. Ako u ranoj fazi uočimo oštećenje na ležajevima možemo ih zamijeniti novima, te tako izbjeći skupe zastoje stroja. Važni parametri za mjerenje stanja stroja uključuju: buku, temperaturu i vibracije. Istrošeni ležajevi obično pokazuju znakove oštećenja. U slučajevima kada rad ne nadziru napredni sustavi to činimo pažljivim gledanjem ili slušanjem strojeva. Prednost korištenja objektivnih tehnologija, kao što je analiza vibracija je u tome što se greške otkrivaju u ranoj fazi prije nego što šteta postane veća.

### 4.1. PRAĆENJE BUKE

Najčešći način za prepoznavanje nepravilnosti rada ležaja je slušanjem. Ispravan rad ležaja je tihi. Svako škripanje i drugi nepravilni zvukovi pokazatelj su da nešto nije u redu. Instrumenti kao što su ultrazvučne sonde, izoliraju ultrazvučne kratkovalne komponente u zraku od pozadinske buke strojeva i precizno određuju izvor. Jedan od strojeva koji služi za prepoznavanje neispravnih dijelova stroja ili oštećenih ležaja je elektronički stetoskop koji otkriva, prati i dijagnosticira izvor svih vrsta buke strojeva.



Slika 10. Uređaj za mjerenje buke [1]

## 4.2. PRAĆENJE TEMPERATURE

Radna temperatura mora se pratiti na svim položajima ležaja. Povećanje temperature često je pokazatelj neizbježnog oštećenja ležaja, ukoliko nije došlo do promjene radnih uvjeta. Za mjerenje temperature koriste se kontaktni i beskontaktni termometri. Beskontaktni termometri koriste se u teško pristupačnim uvjetima. Postoje i termalne kamere koje uz pomoć infracrvenih zraka i bez prekida proizvodnje otkrivaju problematična područja koja su nevidljiva ljudskom oku.



Slika 11. Termometar [1]

### 4.3. PRAĆENJE I KONTROLA PODMAZIVANJA

Ležajevi mogu postići maksimalnu razinu učinkovitosti samo uz odgovarajuće uvjete podmazivanja, stoga ih treba pažljivo pratiti. Stanje samog maziva se također treba povremeno podvrgnut kontroli. Najbolji način za kontrolu je uzeti nekoliko uzoraka iz različitih područja i dati ih na analizu.

Općenito, analiza maziva se provodi iz dva primarna razloga: da se procijeni stanje maziva i da se procijeni stanje stroja. Praćenje stanja ulja omogućuje produljenje intervala između izmjena ulja, s kasnijom uštedom u potrošnji ulja i smanjenim zastojem strojeva. Smjernice prema kojima vršimo kontrolu ulja su:

1. Provjeriti područja oko ležajeva zbog curenja maziva.
2. Pregledati sva propuštanja maziva.

Propuštanja obično proizlaze iz istrošenih brtvi, nedostataka brtvi, oštećenih površina brtvi, tekućine kao što je voda u masti i labavih čepova. Također mogu biti rezultat loših veza između dijelova koji se spajaju, kao što su kućište i poklopac, ili od slobodnog ulja koje oslobađa mast koja se razgradila miješanjem. Treba napomenuti da su gumene brtve dizajnirane da dopuste curenje male količine maziva za podmazivanje.

3. Držati zaštitne prstenove i brtve napunjene mašću za maksimalnu zaštitu.
4. Provjeriti rade li automatski sustavi za podmazivanje ispravno i osiguravaju li odgovarajuću količinu maziva u ležajevima.
5. Provjeriti razinu maziva u spremnicima i po potrebi dopuniti.
6. Ponovno podmazati ležajeve mašću, gdje i kada je primjenjivo.

#### 4.4. NADZOR I KONTROLA VIBRACIJA ZA VALJNE LEŽAJEVE

Potreba za nadzorom vibracija proizlazi iz tri temeljne činjenice:

1. Prva je da svi strojevi vibriraju
2. Druga činjenica je pojava mehaničkog problema koja je obično popraćena povećanjem razina vibracija.
3. Treća činjenica je da se kvar može odrediti iz karakteristika vibracija.

Svaki mehanički problem proizvodi jedinstvenu frekvenciju vibracija. Stoga ovu učestalost treba analizirati kako bi se lakše identificirao glavni uzrok. Za mjerenje frekvencija vibracija, pretvornik (piezoelektrični senzor) je postavljen na stroj.

Postoje tri glavna raspona frekvencija koje mogu biti generirani različitim kvarovima na stroju:

- raspon niske frekvencije, 0 do 2 kHz
- raspon visoke frekvencije, 2 do 50 kHz
- raspon vrlo visoke frekvencije, > 50 kHz

Visoke i vrlo visoke frekvencije uključuju one koje nastaju oštećenjima (defektima) valjnih ležajeva. Stoga, mjerenjem amplitude u smislu ubrzanja, moguće je dobiti vrlo ranu indikaciju razvoja problema s ležajem.

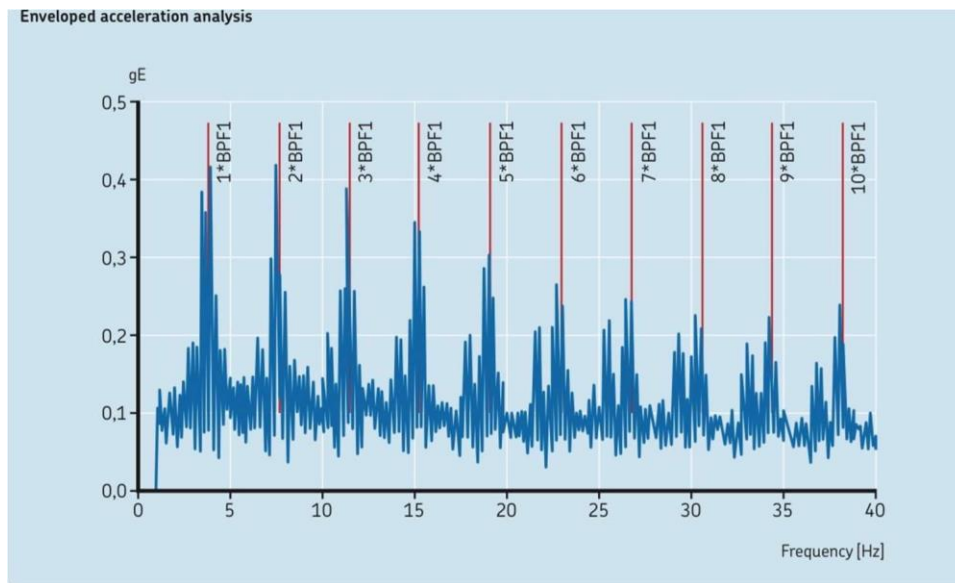
Mjerenja vibracija trebaju se provesti u tri različita smjera na svakom položaju ležaja na stroju .

Horizontalna mjerenja obično pokazuju više vibracija nego vertikalna mjerenja jer je stroj obično fleksibilniji u horizontalnoj ravnini. Neravnoteža, na primjer, proizvodi radijalnu vibraciju koja je dijelom okomita, a dijelom vodoravna. Prekomjerne vodoravne vibracije često su dobar pokazatelj neuravnoteženosti. Aksijalna mjerenja obično pokazuju male vibracije, ali ako su prisutne, često ukazuju na neusklađenost ili savijenu osovinu. Najbolje vrijeme za mjerenje vibracija je kada stroj radi pod normalnim uvjetima, to jest kada su ležajevi dosegli svoju normalnu radnu temperaturu i brzina stroja je unutar specifikacije. Za strojeve s promjenjivom brzinom, mjerenja se uvijek trebaju provoditi u istoj točki procesnog ciklusa.

#### 4.5. FREKVENCIJSKA ANALIZA KVARA LEŽAJA

Svaki ležaj generira signal niske frekvencije. Frekvencija signala ovisi o broju i veličini kotrljajućih elemenata, kontaktnom kutu ležaja i promjeru koraka kotrljajućeg elementa. Svaki put kada se defekt ležaja prekorači, generira se visokofrekventni signal koji uzrokuje vrhunac amplituda signala.

Za praćenje stanja ležaja koristi se tehnika koja izolira visokofrekventni signal koji generira kvar od drugih prirodnih rotacijskih ili strukturnih frekvencija u stroju (dijagram 2).



Dijagram 2. [1]

Svaka komponenta ležaja ima jedinstvenu učestalost kvarova, što omogućava specijalistu da točno odredi oštećenje. Na dijagramu (2) prikazane su sljedeće frekvencije kvara:

- BPFO, frekvencija prolaza kuglice/valjka vanjskog prstena [Hz]
- BPFI, frekvencija prolaza kuglice/valjka unutarnjeg prstena [Hz]
- BSF, frekvencija vrtnje kugle/valjka [Hz]
- FTF, kavezna frekvencija (osnovna frekvencija niza) [Hz]

#### 4.6. PREGLED STROJA TIJEKOM GAŠENJA (KADA STROJ NE RADI)

Kada stroj ne radi, prilika je za procjenu stanja ležajeva, brtvila, kućišta, površina brtve i maziva. Opći pregled često se može obaviti uklanjanjem poklopca kućišta. Za detaljniju provjeru prvo je potrebno očistiti ležajeve. Ako se čini da je ležaj oštećen, potrebno ga je demontirati i temeljito pregledati. Poravnanje vratila i remena, kao i temeljit pregled temelja i vanjskog dijela stroja također se mogu obaviti tijekom gašenja stroja. Bilo koje stanje, bilo da nedostaje podloška ili temelj koji se pogoršava, može negativno utjecati na rad stroja. Što se prije identificira bilo koji problem, to se prije može započeti s korektivnim djelovanjem.

Ležajevi nisu uvijek lako dostupni. Međutim, kada su ležajevi djelomično izloženi, mogu se izvršiti vizualne provjere. Najpraktičnije vrijeme za pregled ležajeva je tijekom rutinskog održavanja. U slučajevima kada je pristup ležajevima za pregled težak ili dugotrajan, endoskop može biti vrijedan alat. Endoskop ima cijev za umetanje malog promjera, LCD zaslon i funkciju snimanja slike.



Slika 12. Endoskop [1]

Primjer pripreme za vizualni pregled valjnog ležaja:

1. Očistiti vanjsku površinu stroja kako bi se spriječio ulazak prašine i prljavštine u sklop ležaja tijekom pregleda.
2. Ukloniti poklopac kućišta ili, u slučaju podijeljenog kućišta, poklopac kućišta, kako bi se otkrio ležaj.
3. Ukloniti malo maziva iz baze kućišta, za analizu maziva. Za otvorene ležajeve podmazane mazivom, uzima se nekoliko uzoraka maziva iz različitih područja za analizu maziva. Vizualno se provjerava stanje maziva. Često se nečistoće mogu otkriti jednostavnim trljanjem maziva između palca i kažiprsta. Druga metoda koristi tanki sloj maziva na listu papira i pregled pod svjetlom.
4. Izložene vanjske površine ležaja čiste se krpom koja ne ostavlja dlačice.

Opis zadanog pregleda (preuzeto iz literature [1]):

1. Pregledajte izložene vanjske površine ležaja radi korozije. Ako je korozija prisutna, nije jaka, upotrijebite fini vlažni i suhi brusni papir da je uklonite.
2. Provjerite ima li na prstenovima ležaja pukotina.
3. Za zabrtvljene ležajeve provjerite jesu li brtve istrošene.
4. Okrećite vratilo vrlo polako i osjetite ima li neravnomjernog otpora u ležaju. Neoštećeni ležaj se okreće glatko. Ako je potreban detaljniji pregled otvorenih ležajeva podmazanih mašću nastavljamo dalje sa pregledom.
5. Uklonite svu mast s baze kućišta.
6. Uklonite što više masti s ležaja pomoću nemetalnog strugala .
7. Očistite ležaj otapalom na bazi nafte prskanjem otapala u ležaj. Vrlo polako okrećite osovinu dok je čistite i nastavite prskati sve dok otapalo ne prestane sakupljati prljavštinu i masnoću. Velike ležajeve koji sadrže naslage loše oksidiranog maziva, očistite jakim alkalnom otopinom koja sadrži do 10% kaustične sode i 1% sredstva za vlaženje.
8. Osušite ležaj krpom koja ne ostavlja vlakna ili ga očistite bez vlage komprimiranim zrakom.
9. Upotrijebite endoskop kako biste pregledali kanale ležaja, kavez i kotrljajuće elemente da bi vidjeli ima li pukotina, tragova ogrebotina, pruga, promjene boje i zrcalnih područja. Gdje je primjenjivo, izmjerite radijalni unutarnji zazor ležaja (kako biste utvrdili je li došlo do trošenja) i potvrdite da je unutar specifikacije.

10. Ako je stanje ležaja zadovoljavajuće, odmah nanosite odgovarajuću mast na ležaj i zatvorite kućište. Ako je oštećenje ležaja vidljivo, demontirajte ležaj i zaštitite ga od korozije.

#### **4.7. PROVJERA BRTVE**

Da bi bila učinkovita, rub brtve mora ići po glatkoj površini. Ako je površina istrošena ili oštećena, rub brtve neće ispravno funkcionirati. Ovo je osobito važno kod postavljanja nove brtve. Ako se nova brtva postavi preko istrošene ili oštećene prednje strane, ona ili neće brtviti ili će prerano otkazati. Stoga se prednja površina brtve mora popraviti prije ugradnje novih brtvi. Prilikom pregledavanja prednje površine brtve, također se provjerava postoji li korozija. Ako je korozija vidljiva, ali nije jaka, upotrebljava se fini mokri i suhi brusni papir za njezino uklanjanje.[1]



## 5. ZAKLJUČAK

Valjni ležajevi su ključne komponente u mehaničkim strojevima koje omogućuju smanjenje trenja i podržavaju rotaciju dijelova. Najčešći uzroci kvarova ležaja uključuju ne odgovarajuće podmazivanje, kontaminaciju, preopterećenje, nepravilnu montažu i zamor materijala. S pravilnim odabirom ležaja sprječavamo neugodnosti koje mogu proizaći zbog nepravilnog izbora i time produljujemo životni vijek ležaja i stroja u koji je ležaj ugrađen. Valjni ležajevi prikladniji su za strojeve koji rade pod većim opterećenjem.

Posljedice kvara na ležajevima mogu varirati od manjih neznatnijih oštećenja sve do onih većih koji mogu uzrokovati nepopravljivu štetu na strojevima. Zbog toga je važno znati pravovremeno prepoznati znakove upozorenja na kvar ležaja i detektirati problem kako bi mogli zakazati popravke prije nego šta dođe do kvara. To su najčešće vibracije, povišena buka, povišena radna temperatura...

Pravilna preventiva, kao što je: redovito održavanje, pravilno podmazivanje i korištenje odgovarajućih ležaja za specifične primjene, mogu značajno smanjiti rizik od kvarova. Također, korištenje naprednih tehnika nadzora i dijagnostike, kao što su vibraciona analiza i termografija, omogućava rano otkrivanje potencijalnih problema i time produžava životni vijek ležaja.

Korištenjem svih ovih prethodno navedenih preporuka u svakodnevnoj praksi može značajno smanjiti zastoje, troškove održavanja i poboljšati ukupnu efikasnost i produktivnost strojeva.

## **6. LITERATURA**

[1] SKF-Bearing maintenance handbook , p 218-323

[2] MIBA bearing group, p 18-22

[3] Elementi strojeva, Karl-Heinz Decker ISBN 953-212-290-7

[4] ODRŽAVANJA KOTRLJAJNIH LEŽAJEVA; Aleksandar Ašonja, Danilo Mikić ;  
IMK-14 OKTOBAR A.D. Kruševac (Pregledni rad)

## **POPIS SLIKA**

Slika 1: Oštećenje valjnog ležaja[1] .....	7
Slika 2: Pogrešna montaža[1] .....	8
Slika 3: Pukotina u ležaju zbog zamora materijala[1] .....	10
Slika 4: Faze oštećenja ležaja zbog nepravilnog podmazivanja[1] .....	12
Slika 5: Istrošeni valjni ležaj(abrazija)[1] .....	13
Slika 6: Oštećenja ležaja zbog vibracija[1] .....	14
Slika 7: Oštećenje vanjskog prstena ležaja[1] .....	15
Slika 8: Mrljanje na potisnoj strani valjnog ležaja(adhezija)[1].....	16
Slika 9: Korozija na ležaju uzrokovana vodom u mazivu[1] .....	17
Slika 10: Uređaj za mjerenje buke[1].....	18
Slika 11: Termometar[1] .....	19
Slika 12: Endoskop[1].....	23

Slike su preuzete iz literature navedene pod brojem 1 „SKF bearing maintance handbook“

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1: Podjela kvarova prema ISO klasifikaciji[1].....	4
--	---

Tablice su preuzete iz literature navedene pod brojem 1 „SKF bearing maintance handbook“

## **POPIS DIJAGRAMA**

Dijagram 1: Životni vijek ležaja[1].....	2
Dijagram 2: Dijagram[1] .....	22

Dijagrami su preuzeti iz literature navedene pod brojem 1 „SKF bearing maintance handbook“