Analiza trošenja kotrljajućih ležaja trakastog transportera za sjeme suncokreta u pogonu za prešenje Tvornice ulja Čepin

Đurkić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:960090

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonio Đurkić, apsolvent

Diplomski studij Mehanizacija

ANALIZA TROŠENJA KOTRLJAJUĆIH LEŽAJA TRAKASTOG TRANSPORTERA ZA SJEME SUNCOKRETA U POGONU ZA PREŠANJE TVORNICE ULJA ČEPIN

Diplomski rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonio Đurkić, apsolvent

Diplomski studij Mehanizacija

ANALIZA TROŠENJA KOTRLJAJUĆIH LEŽAJA TRAKASTOG TRANSPORTERA ZA SJEME SUNCOKRETA U POGONU ZA PREŠANJE TVORNICE ULJA ČEPIN

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. doc.dr.sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član

Osijek, 2018.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. PREGLED LITERATURE 2
2.1. Povijest istraživanja trenja i trošenja 2
2.2. Procesi trošenja 3
2.2.1. Abrazija 4
2.2.2. Adhezija 6
2.2.3. Umor površine 7
2.2.4. Tribokorozija 8
2.2.5. Erozija 9
2.2.6. Korozija 10
2.2.7. Kavitacija 10
2.3. Kotrljajući ležaji 10
2.3.1. Trajnost kotrljajućih ležaja 14
2.3.2. Oblici trošenja kotrljajućih ležaja 16
2.3.3. Monitoring kotrljajućih ležaja 20
3. MATERIJAL I METODE 22
3.1. Tvornica ulja Čepin 22
3.2. Trakasti transporter 23
3.3. Y-ležaji 25
3.3.1. Podmazivanje Y-ležaja 27
3.3.2. Montiranje Y-ležaja 28
3.4. Metoda analize Y-ležaja na trakastom transporteru 28
4. REZULTATI 29
4.1. Abrazijsko trošenje ležaja trakastog transportera 31
4.2. Zamorno trošenje („pitting“) ležaja trakastog transportera 32
4.3. Korozijsko trošenje ležaja trakastog transportera 33
5. RASPRAVA 34
5.1. Abrazijsko trošenje ležaja trakastog transportera 34
5.2. Zamorno trošenje ležaja trakastog transportera 34
5.3. Korozijsko trošenje ležaja trakastog transportera 35
6. ZAKLJUČAK 37

7. POPIS LITERATURE 38
8. SAŽETAK 40
9. SUMMARY 41
10. POPIS SLIKA 42
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA
BASIC DOCUMENTATION CARD

1. UVOD

Kotrljajući ležaji važan su segment područja elemenata strojeva za prijenos gibanja. U tehničkim sustavima koji imaju rotirajuće dijelove predstavljaju mjesta koja su izložena najvećem radnom opterećenju.

Kontrola ležaja treba biti dio kontinuiranog postupka održavanja tehničkih sustava. I uz primjenu više kontrolnih postupaka, može se dogoditi da kvar ležaja, koji nije uočen na vrijeme, dovede do vrlo ozbiljnih posljedica. Pažljiva kontrola i efikasni postupci održavanja najbolji su način da se uštedi vrijeme, poveća točnost i izbjegnu pogreške. Procjena stanja ležaja ranije se provodila na temelju čula – gledanjem, dodirivanjem i slušanjem. Razvojem tehnike, navedeno se koristi sve rjeđe, a prednost dobivaju elektronski uređaji za praćenje stanja ležaja, poput analizatora udarnih impulsa i sl., budući da se posljedice nestabilnog rada očituju u obliku prekomjernog povećanje vibracija, buke i udara.

Kod kotrljajućih ležaja javljaju se dva osnovna tribološka procesa – trenje i trošenje. Posljedica trošenja je oštećenje ležaja koje može uzrokovati velike zastoje u proizvodnji, što izaziva milijunske gubitke, kako zbog stajanja tako zbog oštećenja skupe opreme. Takvi zastoji, uslijed gubitka radne sposobnosti ležaja, mogu višestruko nadmašiti cijenu samih ležaja, budući da se prilikom oštećenja ležaja lančano mogu oštetiti i drugi dijelovi sustava – motori, kućišta, itd. Smanjenje oštećenja ležaja postiže se pravilnom montažom, pravilnim održavanjem i primjenom odgovarajućih maziva za podmazivanje ležaja (Drčec, 2010.).

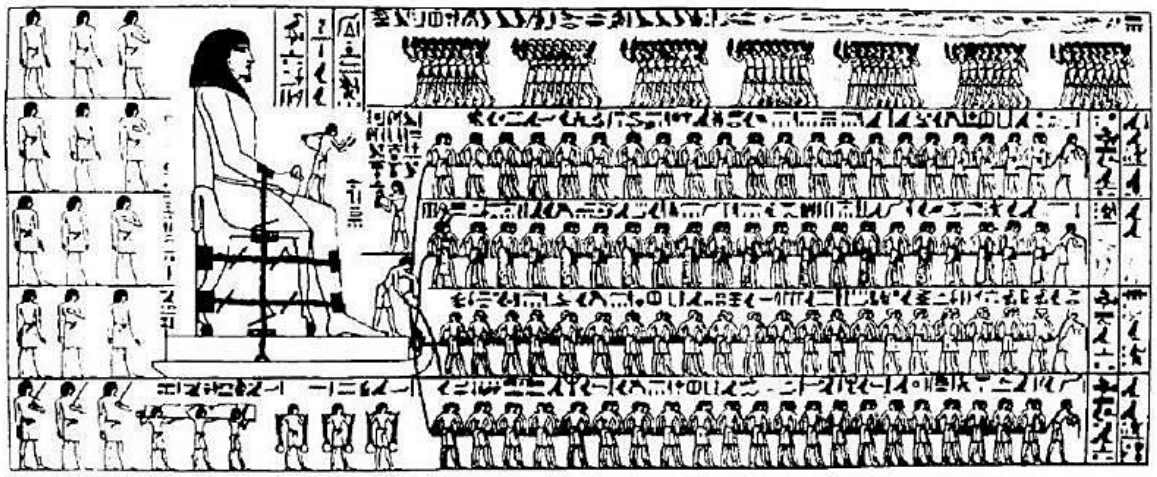
U proizvodnji ulja iz različitih sjemena uljarica postoje specifični uvjeti trošenja, koji su definirani prisutnošću velikih količina prašine, ljuski sjemena i radnih opterećenja strojeva. Marušić (2007.) navodi da ljuska suncokreta u strukturi svoje građe sadrži čestice $SiO_2 \times nH_2O$, abraziv tvrdoće približno 6 po Mohsu. To je vrlo visoka tvrdoća s obzirom da čelik i željezo imaju tvrdoću približno 4 po Mohsu. Zbog toga abrazijsko trošenje različitih dijelova strojeva i opreme u pogonima za proizvodnju ulja vjerojatno uzrokuju i ljuske suncokreta.

Cilj istraživanja je analizirati mehanizme, oblike i uzroke trošenja kotrljajućih ležaja trakastog transportera za transport sjemena suncokreta u pogonu za prešanje tvornice ulja. Istraživanje će obuhvatiti prikupljanje literaturnih podataka o trošenju kotrljajućih ležaja i mehanizama trošenja koji isto uzrokuju. Na primjeru odabranog tipa kotrljajućih ležaja trakastog transportera za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje sjemena Tvornice ulja Čepin analizirat će se oblici i uzroci trošenja ležaja u eksploataciji. U okviru provedene analize opisat će se i mjere ispravnog održavanja u svrhu smanjenja trošenja ležaja.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Povijest istraživanja trenja i trošenja

Problemima trenja i trošenja materijala bavi se znanstveno-stručna disciplina koja se naziva tribologija. Izraz tribologija temelji se na grčkoj riječi *τριβοσ* (tribos) za trenje, trljanje i sl. Iako sam pojam nije utemeljen sve do 1964. godine, postoje slike triboloških djelovanja od davnina kao što je drevni Egipat, kada su rani tribolozi koristili ulje kako bi pomogli olakšati klizanje velikih skulptura, kao što se vidi na slici 1.



Slika 1. Tribologija u drevnom Egiptu (Izvor: http://www.tribonet.org/tribology-history/)

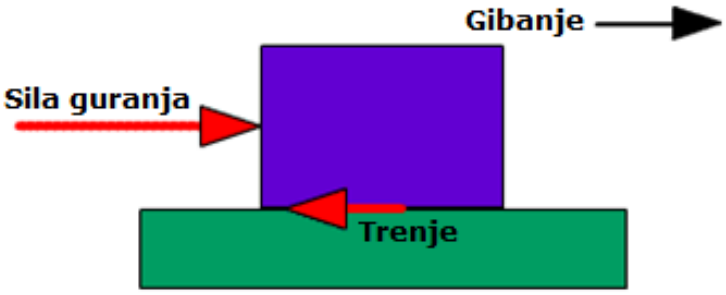
Općenito, tribologija uključuje tri ključne teme: trenje, trošenje i podmazivanje. Trenje je otpornost na relativno kretanje, a trošenje je gubitak materijala zbog tog kretanja, a podmazivanje je upotreba tekućine kako bi se smanjila trenja i trošenje. Polje je nužno interdisciplinarno i koristi vještine iz strojarstva, znanosti o materijalima i inženjeringu, kemije i kemijskog inženjerstva, te još mnogo toga. Tribologija je i tehnološki relevantna i znanstveno-fascinantna, te je svakako zanimljivo biti tribolog (http://faculty2.ucmerced.edu/amartini/tribology.shtml).

Leonardo Da Vinci bio je jedan od prvih znanstvenika koji su sustavno proučavali trenje. Njegov rad na trenju nastao je u studijama o rotacijskoj otpornosti osovina i mehanici vijčanih navoja, a usredotočio se na sve vrste trenja i objasnio razliku između trenja klizanja i kotrljanja. Francuski fizičar Guillaume Amontons 1699. godine ponovno je otkrio pravila trenja nakon što je proučavao suha klizanja između dvije ravne površine. Pretpostavio je tri zakona koji su primjenjivi samo na suho trenje:

1. Sila trenja izravno je proporcionalna primijenjenom opterećenju.

2. Sila trenja ne ovisi o vidnom području dodira.
3. Kinetičko trenje neovisno je o brzini klizanja.

Slika 2. prikazuje shemu navedenih Amontons-ovih zakona.



Slika 2. Amontons-ovi zakoni (Izvor: http://www.tribonet.org/tribology-history/)

Charles-Augustin Coulomb (1736.-1806.) predložio je da je otpor trenja kotača koji se kotrljaju ili cilindra proporcionalan opterećenju P i obrnuto proporcionalan radijusu kotača. Coulombov opis trenja kotrljanja u cijelosti je zanemario materijalnu usklađenost.

Prvi pouzdani test trenja izveo je Charles Hatchett, koristeći jednostavan uređaj kako bi izračunao trošenje na zlatnim novčićima (Wisniak, 2015.).

Prema Ivušiću (1998.), revolucija tribologije nastaje nakon 1966. godine i Jost-ova izvještaja, u kome se govori da smanjenje troškova nastalih uslijed trenja i trošenja u Velikoj Britaniji može iznositi i do 515 milijuna funti, što je tada iznosilo oko 1% britanskog bruto nacionalnog proizvoda. Nakon ove prekretnice krenulo je osnivanje triboloških centara, potaknuta je mreža obrazovanja triboloških znanstvenika, te je potaknuta izdavačka djelatnost sa velikim brojem stručnih časopisa.

2.2. Procesi trošenja

Procesi trošenja odvijaju se u okviru sustava koji se nazivaju tribosustavi, a to su svi oni kod kojih postoji relativno gibanje između pojedinih dijelova. Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim tijelom, fluidom ili česticama. Postoje različiti oblici trošenja, kao posljedica raznovrsnosti uvjeta kontakata (stanje površine, način i brzina relativnog gibanja, temperatura, itd.), tako da otpornost trošenju ne predstavlja jedinstveno svojstvo već naziv za skupinu svojstava (Ivušić, 1998.).

Njemački standard DIN 50320 (1979.), koji definira temeljne pojmove u području trošenja i sustavnu analizu procesa trošenja, te klasificira slučajeve trošenja, utvrdio je četiri osnovna mehanizma trošenja. To su:

1. abrazija
2. adhezija
3. umor površine
4. tribokorozija

Osim procesa trošenja koji nastaju kao posljedica osnovnih mehanizama trošenja, postoje i srodni oblici trošenja materijala:

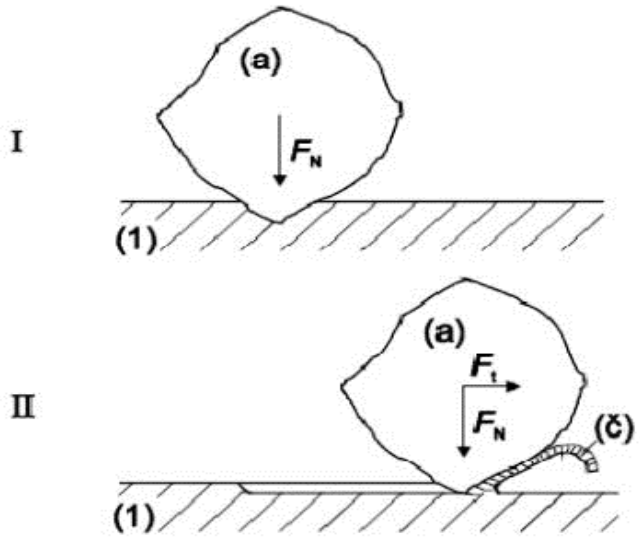
- erozija
- korozija
- kavitacija

2.2.1. Abrazija

Abrazija je trošenje istiskivanjem materijala, uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama. Može se opisati kao mikrorezanje abrazivom nedefinirane geometrije oštrice (najčešće u realnim uvjetima), sa dvije faze jediničnog događaja, prikazane slikom 3.:

I. proces nastajanja pukotine prodiranjem abrazijske čestice (a) u površinu materijala (1) pod utjecajem normalne komponente opterećenja F_N

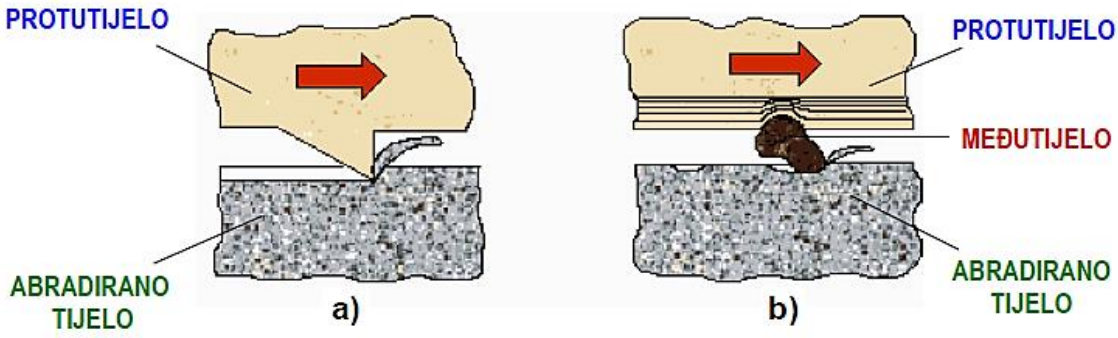
II. proces napredovanja pukotine istiskivanjem materijala u obliku čestice trošenja (č) pod utjecajem tangencijalne komponente opterećenja F_t



Slika 3. Jedinični događaj abrazije (Izvor: Ivušić, 1998.)

Ovisno o strukturi tribosustava u kome zbiva abrazija, mogu se pojaviti dva oblika abrazije, prikazana slikom 4.:

a) abrazija u dodiru dva tijela – tribosustav se sastoji od dva funkcionalna dijela (abrazivno tijelo i protutijelo),
b) abrazija u dodiru tri tijela – tribosustav se sastoji od dva funkcionalna dijela (abrazivno tijelo i protutijelo) te međutijela (čestica) koja se gibaju slobodno između funkcionalnih dijelova i djeluju abrazijski.



Slika 4. Abrazija u dodiru dva (a) i tri (b) tijela (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

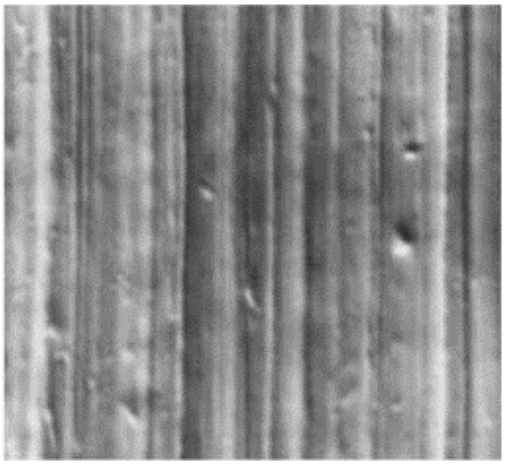
Abrazija u dodiru tri tijela javlja se kod uređaja koji su tijekom eksploatacije izloženi prisustvu stranih abrazijskih sredstava (prljavština, prašina i sl.), uslijed čega se može dogoditi da se takve čestice zaglave između površina u trenju.

Osnovna razlika između ove dvije vrste abrazijskog trošenja je u tome što abrazija između dva tijela nastaje isključivo zbog tvrdih izbočina na površinama u dodiru, dok se kod abrazije između tri tijela radi o dvije površine između kojih se tvrde abrazivne čestice slobodno kreću i uzrokuju oštećenja.

Najvažnije mjere za smanjenje abrazijskog trošenja su:

1. izbor materijala otpornih na abrazijsko trošenje,
2. kvalitetna obrada površinskih slojeva,
3. razdvajanje površina slojem fluida (maziva).

Tragovi abrazijskog trošenja su različite pruge, brazde i ogrebotine, kao što je prikazano su na slici 5.



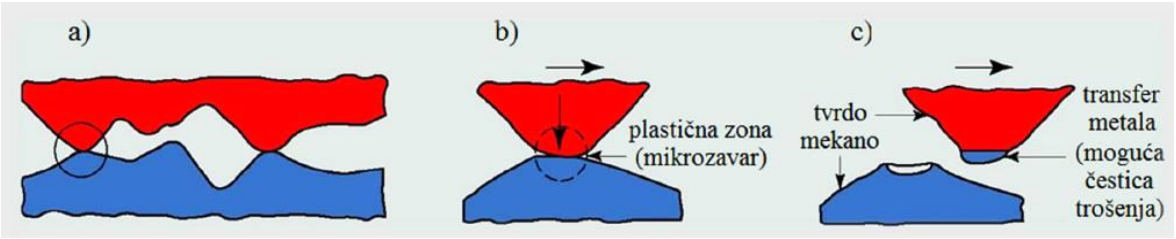
Slika 5. Tragovi abrazijskog trošenja (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

2.2.2. Adhezija

Adheziju karakterizira prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, a zbog procesa zavarivanja krutih faza.

Jedinični događaj adhezije može se opisati u tri faze, prikazano na slici 6.:

a) Nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina.
b) Plastično deformiranje adhezijskog spoja i mikrozavarivanje izbočina.
c) Otkidanje čestica. Čestica trošenja ostaje spontano „nalijepljena“ na jednom članu kliznog para. Oblik čestica trošenja ovisi o uvjetima, a uglavnom je listićast.

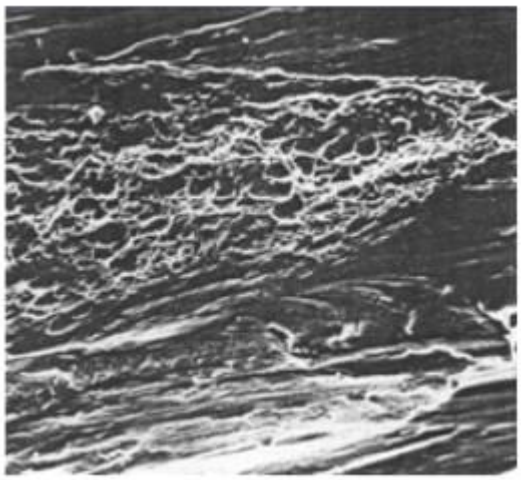


Slika 6. Jedinični događaj adhezije (Izvor: Filetin, 2010.)

Najvažnije mjere za smanjenje abrazijskog trošenja su:

1. Izbjegavanje istovrsnog materijala za dijelove u dodiru.
2. Izbor materijala otpornih na adhezijsko trošenje.
3. Podmazivanje površina u dodiru.

Na površinama u dodiru ostaju tragovi trošenja u obliku zaglađenih dijelova površine, nalijepljenih čestica, oljuštenih listića i mjesta s istrgnutim djelićima materijala koji su bili mikrozavareni. Na slici 7. prikazani su tragovi adhezijskog trošenja.

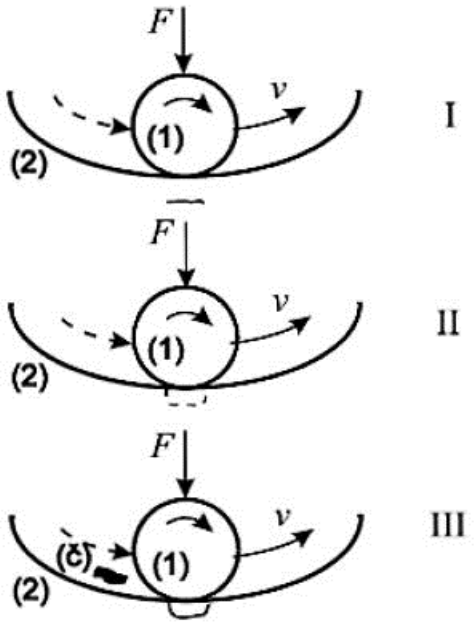


Slika 7. Tragovi adhezijskog trošenja (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

2.2.3. Umor površine

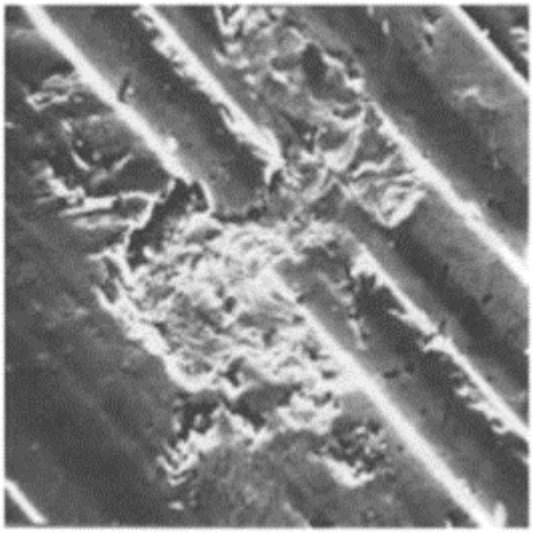
Umor površine je odvajanje čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprezanja. Jedinični događaj umora površine odvija se u tri faze, prikazano na slici 8.:

1. Faza I – Stvaranje mikropukotine
2. Faza II – Napredovanje mikropukotine
3. Faza III – Ispadanje čestice trošenja



Slika 8. Jedinični događaj umora površine (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

Kao posljedica trošenja uslijed umora na površini nastaju sitne rupice i nabori, prikazano na slici 9..



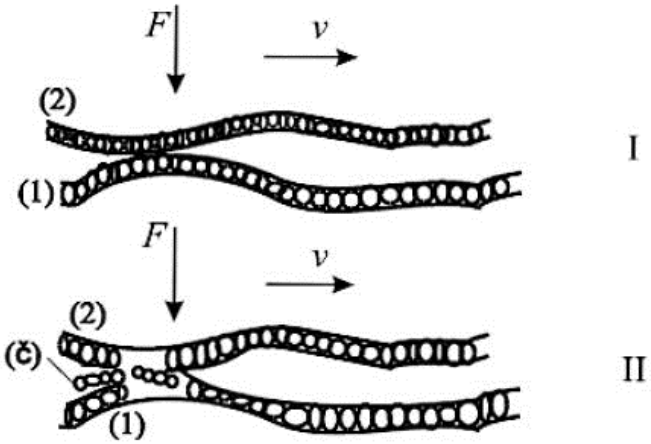
Slika 9. Tragovi trošenja uslijed umora površine (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

2.2.4. Tribokorozija

Tribokorozija ili tribokemijsko trošenje je mehanizam trošenja pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcije materijala s okolinom.

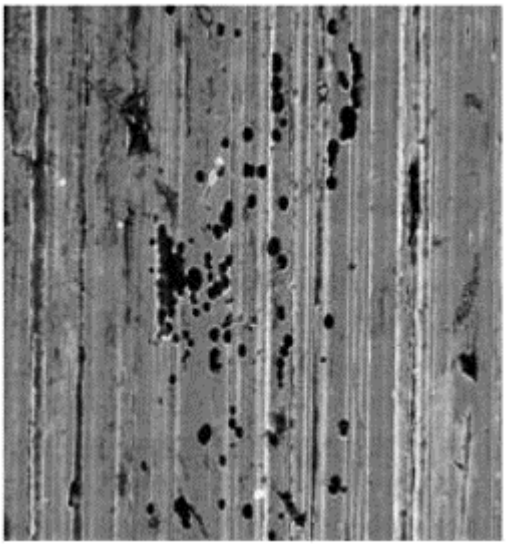
Jedinični događaj tribokorozije prikazan je u dvije faze, na slici 10.:

1. Faza I – stvaranje (ili obnavljanje) sloja produkta korozije
2. Faza II – mjestimično razaranje sloja produkata korozije



Slika 10. Jedinični događaj tribokorozije (Izvor: Grilec i sur., 2017.)

Posljedice tribokorozije vide se u obliku hrapave površine s mjestimično degradiranim mjestima u obliku mrlja i plitkih jamica odnesenog materijala, prikazano na slici 11..



Slika 11. Tragovi trošenja uslijed tribokorozije (Izvor: Žnidarec, 2009.)

2.2.5. Erozija

Erozija je vrsta trošenja koja nastaje uslijed djelovanja djelića fluida (sa ili bez krutih čestica nošenih fluidom) koji velikim brzinama udaraju o površinu tijela, prikazano na slici 12..



Slika 12. Erozijsko trošenje (Izvor: Žnidarec, 2009.)

Jačina erozije najvećim dijelom ovisi o brzini i kutu udara čestica, te njihovoj tvrdoći.
Neki od načini smanjenja erozijskog trošenja su:

- Eliminacija krutih čestica iz fluida,
- Promjena kuta udara fluida o površinu,
- Smanjenje relativne brzine fluida,
- Izbor pogodnog materijala,
- Dodatne izmjene površine materijala u cilju poboljšanja njegovih karakteristika.

Erozija zapravo spada u područje abrazivnog trošenja.

2.2.6. Korozija

Korozija je proces nenamjernog razaranja konstrukcijskih materijala, uzrokovan fizikalnim, kemijskim i biološkim agensima.

Budući da je područje korozije vrlo široko i raznovrsno, postoji više različitih podjela korozije:

- Prema mehanizmu djelovanja – kemijska i elektrokemijska korozija;
- Prema izgledu korozijskog napada – jednolika (opća) korozija i lokalizirana korozija (pjegasta, jamasta, točkasta ili jamičasta („pitting“), interkristalna, transkristalna i dr.)
- Prema korozijskim sredinama – atmosferska korozija, korozija u tlu, korozija u elektrolitima i neelektrolitima;
- Posebni oblici korozije – kontaktna korozija, korozija zbog lutajućih struja, korozija u procijepu, korozija uz naprezanje, korozijsko raspucavanje uz naprezanje, korozijski zamor, erozijska korozija, biokorozija i dr.

Sama korozija je elektrolitički proces koji uključuje izmjenu elektrona i iona. Može sepojaviti između različitih metala ili između različitih dijelova istog metala ili slitine, gdje postojirazlika elektrokemijskog potencijala. Razlika nastaje i zbog prisustva oksida, različitih nečistoća, faza slitine (Drčec, 2010.).

2.2.7. Kavitacija

Kavitacija uključuje oštećenje površine materijala, uronjenog u tekućinu, zbog udara mjehurića isparene tekućine u površinu. Kavitacijsko trošenje je ustvari podvrsta tribokorozijskog trošenja. Javlja se kada se tlak u tekućini snizi na vrijednost tlaka isparavanja te dolazi dopojave mjehurića pare. Oni bivaju nošeni u područje višeg tlaka gdje implodiraju (vraćaju se u kapljevitu fazu). Ako se implozija mjehurića pare događa u blizini čvrste stijenke, dolazi do njenog oštećenja. Sama pojava popraćena je vibracijama i bukom (Žnidarec, 2010.).

2.3. Kotrljajući ležaji

Ležaji su elementi strojeva namijenjeni vođenju i nošenju osovina i vratila u kućištima. Jedan je dio ležaja učvršćen na osovini ili vratilu, s kojima zajedno rotira, bez uzajamnog

gibanja. Drugi je dio ležaja učvršćen u kućištu s kojim zajedno miruje. Tijekom pogona osovine ili vratila ova se dva dijela ležaja uzajamno gibaju.

Prema vrsti trenja ležaji se dijele na:

- klizne ležaje, koji djeluju na principu trenja klizanja
- kotrljajuće ležaje, koji djeluju na principu trenja kotrljanja

Klizni ležaj omogućuje vođenje pokretnih strojnih dijelova (osovine, vratila) i prijenos opterećenja s rukavca osovine ili vratila na blazinicu ležaja. Klizne površine podmazane su uljem debljine 2 – 50 μm, a rjeđe mašću ili krutim sredstvima za podmazivanje. Prema djelovanju opterećenja razlikuju se radijalni i aksijalni klizni ležaji. Postoje još i klizni ležaji za vođenje koji služe samo za vođenje osovine ili vratila, a ne prenose nikakva vanjska opterećenja. Na slici 13. prikazan je klizni ležaj.



Slika 13. Klizni ležaj (Izvor: http://www.hr.chinabearingsuppliers.com/spherical-plain-bearings/ball-joint-bearing.html)

Kotrljajući ležaji patentirani su 1794. godine u Engleskoj, a prvi put primijenjeni 1852. godine na pedalama za bicikl. Kod njih se između dijelova u relativnom gibanju (unutrašnjeg i vanjskog prstena) nalaze kotrljajuća tijela. Danas su zastupljenost i učestalost primjene kotrljajućih ležaja u rotacijskoj opremi (strojnoj i električnoj) vrlo raširene, više od bilo kojeg drugog kliznog ležaja. U praksi to znači da se klizni ležaji primjenjuju jedino kod pojedinih kapitalnih („velikih") jedinica kao što su to kompresori, plinske turbine, elektromotori i generatori vrlo velikih snaga, dok se u ostalim slučajevima primjenjuju kotrljajući ležaji. Kotrljajući ležaji mogu istovremeno prenositi radijalno i aksijalno opterećenje, samo radijalno ili samo aksijalno opterećenje.

Obzirom na opterećenje koje prevladava razlikuju se radijalni i aksijalni valjni ležaji (Križan i Zelenika, 2011.).

Najzastupljeniji kotrljajući ležaji u proizvodnji strojeva su radijalni ležajevi, koji su prvenstveno namijenjeni prenošenju radijalnih opterećenja, iako neke izvedbe omogućavaju i prijenos aksijalnih opterećenja. Međusobno se razlikuju prije svega prema obliku kotrljajućih tijela. Kotrljajuća tijela su jednostavnih geometrijskih oblika (kugla, valjak, krnji stožac, itd.), vođena u kavezu koji spriječava njihov međusoban dodir, a istodobno su jednakomjerno raspoređena po obodu ležaja.

Od kotrljajućih ležaja u tehničkoj praksi se najviše i najčešće primjenjuju kotrljajući kuglični ležajevi u kojima su kotrljajuća tijela kuglice.

U ovisnosti o projektiranoj nosivosti ležaja (opterećenju koje mora prihvatiti tijekom eksploatacije), biraju se ležaji s kuglicama manjih ili većih dimenzija, poslaganih u jedan ili dva reda (jednoredni ili dvoredni kuglični ležaj). U pravilu, veće kuglice i dvoredni ležaji nose veća opterećenja. No, ovisno o konstrukciji stroja, ciljana nosivost može se postići kombinacijom veličine i broja redi kuglica – povećanje nosivosti može se ostvariti većim kuglicama u jednom redu (veći promjer i manja širina ležaja) ili manjim kuglicama u dva reda (manji promjer i veća širina ležaja). Dakle, ključnu ulogu u izboru ležaja ima konstrukcija stroja u koji je ležaj ugrađen (Drčec, 2010.).

Prednosti kotrljajućih ležaja u odnosu na klizne ležaje:

- manji otpor trenja,
- kratko vrijeme uhodavanja,
- konstantan otpor trenja tijekom normalnog rada,
- mala potrošnja maziva,
- jednostavnije održavanje,
- visoka normiranost – proizvodnja u velikim serijama, te stoga niža cijena koštanja.

Nedostaci kotrljajućih ležaja u odnosu na klizne ležaje:

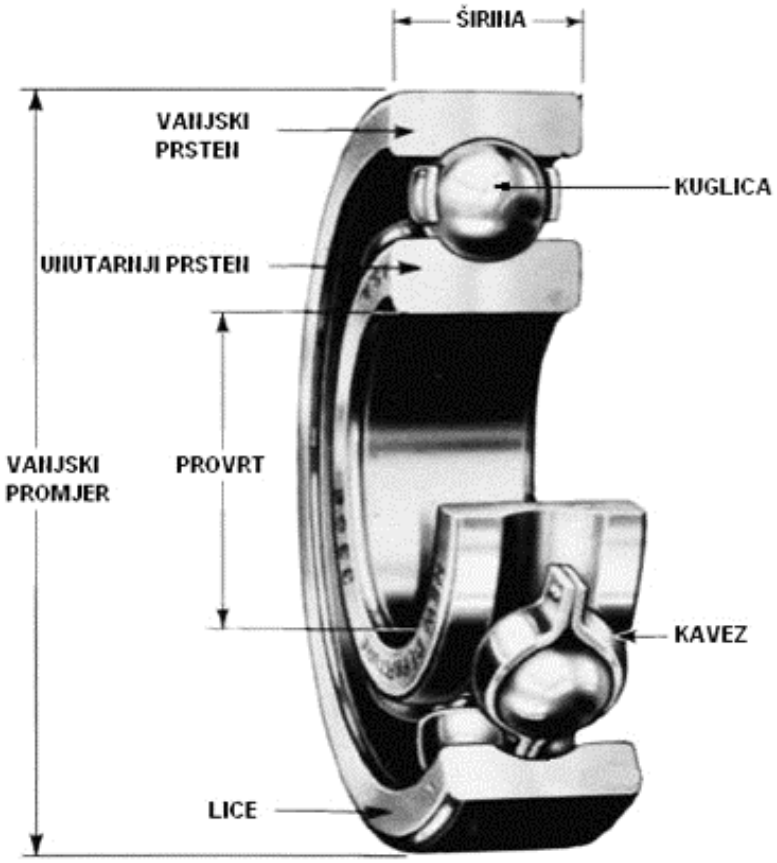
- veća osjetljivost na udarna opterećenja,
- ograničena brzina vrtnje,
- veća osjetljivost na nečistoće,
- povećana bučnost pri većim brzinama,
- smanjivanje trajnosti povećanjem brzine vrtnje, itd.

Na slici 14. je prikazana podjela kotrljajućih ležaja.



Slika 14. Podjela kotrljajućih ležaja (Izvor: http://pkl.hr/skf-lezajevi)

Na slici 15. prikazan je presjek kotrljajućeg ležaja s njegovim sastavnim dijelovima.



Slika 15. Dijelovi kotrljajućeg ležaja (Izvor: Kolumbić i Dunđer, 2011.)

2.3.1. Trajnost kotrljajućih ležaja

Ispravan rad ležaja je često od presudnog značenja za ispravan rad i vijek trajanja strojeva i naprava u koje su ugrađeni. Zbog toga je vrlo važno odabrati najprikladniju vrstu, odabrane ležajeve pravilno proračunati, te uzeti u obzir upute za njihovu ugradnju u konstrukcijski sklop stroja ili naprave. Pri tome se moraju uzimati u obzir brojni čimbenici, kao što su promjer osovine ili vratila, način opterećenja, brzina vrtnje, zahtijevani životni vijek, uvjeti rada (temperatura, prašnjava okolina) itd.

Trajnost kotrljajućih ležaja definira se u milijunima (10^6) okretaja ili češće u satima, kao vrijeme koje ležaj provede u radu do prve pojave zamora materijala i oštećenja ležaja. Nominalna trajnost za skupinu ležaja je ona trajnost u satima koju dostigne 90% kontroliranih ležaja prije pojave prvih znakova zamora materijala valjnih elemenata i staza. Trajnost ležaja proračunava se na temelju dinamičke nosivosti određenog tipa ležaja (prema podacima iz kataloga proizvođača ležaja), ekvivalentnog opterećenja ležaja (obuhvaća i radijalnu i aksijanu komponentu opterećenja), brzine vrtnje vratila na kome je ležaj postavljen, te pogonska temperatura na kojoj ležaj fukcionira. Pri proračunu trajnosti

kotrljajućih ležajeva treba uzeti u obzir da se stvarna trajnost i maksimalni (granični) broj okretaja mogu značajno razlikovati od proračunate trajnosti ležaja. To, prije svega, ovisi o kvaliteti izvedene konstrukcije određenog stroja, izrade i montaže stroja, te o uvjetima eksploatacije i održavanja stroja.

Dotrajavanjem kotrljajućih ležaja gubi se njihova funkcionalnost, prestaje njihov mirni i stabilni rad, te se pojavljuju određeni znakovi poremećaja u radnom procesu sustava za prijenos gibanja.

Uzroci dotrajavanja kotrljajućih ležaja su:

- montaža tehničkog sistema,
- podmazivanje,
- montaža ležaja,
- oštećenja ležaja.

Uzroci dotrajavanja ležaja su u svim segmentima eksploatacije određenog tehničkog sustava, u čijem sastavu se nalaze kotrljajući ležaji, i to od konstrukcije i montaže, preko funkcije održavanja, pa do trenutka dotrajavanja (Jelaska, 2011.).

Rumbak (2009.) je prezentirao podatke tvrtke „FAG“, koja je provela istraživanje oštećenja i kvarova njihovih kotrljajućih ležaja, primjenjenih u strojogradnji. Oštećenja i kvarovi svrstani su u više kategorija, no uglavnom se odnose na uvjete eksploatacije.

Prema navedenim podacima, uzroci oštećenja kotrljajućih ležaja su slijedeći:

- nedostatno podmazivanje – 43%,
- nepravilna ugradnja – 29%,
- nedostatno brtvljenje – 18%,
- površinski zamor – 8%,
- višestruki uzroci – 2%.

Prema istim podacima, uzroci kvarova ležaja su slijedeći:

- prekomjerno podmazivanje – 20%,
- staro mazivo – 20%,
- kontaminacija krutim česticama – 20%,
- nedostatno podmazivanje – 15%,
- neprikladan izbor ležaja – 10%,
- nepravilna ugradnja – 5%,
- kontaminacija tekućinom – 5%,
- greške u materijalu i kvarovi nastali u proizvodnji – <1%.

Prema višegodišnjim istraživanjima o produženju životnog vijeka ležaja, švedske firme „SKF“ utvrđeno je da samo 25% trajnosti ležaja ovisi o njegovoj kvaliteti. Ostali parametri eksploatacije ležaja, kao što su montaža, podmazivanje, redovito i pravilno održavanje, u stvari imaju najveći utjecajna rad ležaja. Uzroci oštećenja kugličnih ležaja, koji se pritom pojavljuju, su slijedeći:

- Nepravilna ugradnja uzrokuje oko 16% prijevremenih otkaza ležaja – nastaje primjenom grube sile ili neodgovarajućeg alata prilikom ugradnje. Svako postrojenje traži specifičnu mehaničku, hidrauličku i toplinsku potporu za pravilnu montažu i demontažu ležajeva;
- Nepravilno podmazivanje uzrokuje oko 36% prijevremenih otkaza ležaja – nastaje uslijed pogrešnog odabira sredstva za podmazivanje ili njegove pogrešne primjene;
- Kontaminacija (zagađenje) uzrokuje oko 14 % prijevremenih otkaza ležaja – nastaje uslijed nezaštićenosti ležaja i maziva (uglavnom masti) od zagađivača;
- Zamor materijala uzrokuje oko 34 % prijevremenih otkaza ležaja – nastaje uslijed preopterećenja stroja, nepravilnog ili nedovoljnog održavanja, te se izravno odražava na trajnost ležaja.

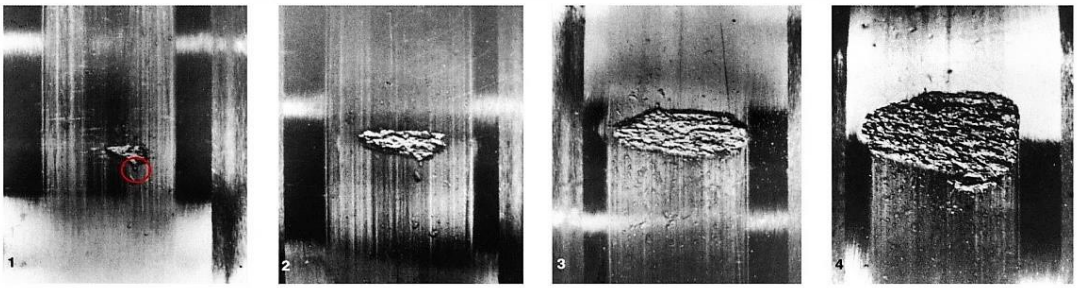
2.3.2. Oblici trošenja kotrljajućih ležaja

ISO Standard je razvio metodologiju klasificiranja trošenja kotrljajućih ležaja. Klasificiranjem se utvrđuju mehanizmi koji uzrokuju definirane osnovne oblike trošenja, kao i posljedice djelovanja navedenih mehanizama. ISO 15243-2004E definira šest osnovnih oblika trošenja, u okviru kojih je 14 tipova trošenja, prikazanih shemom na slici 16.



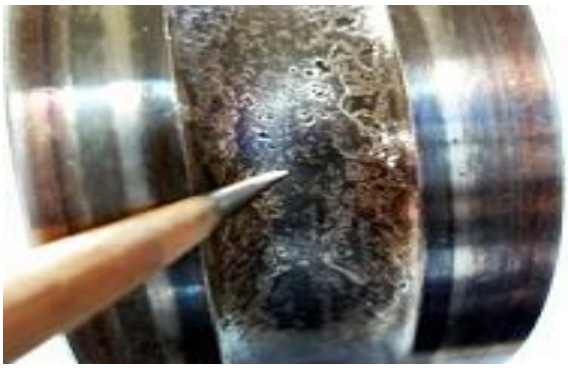
Slika 16. Podjela oblika trošenja kotrljajućih ležaja prema ISO 15243-2004E (Izvor: https://www.sis.se/api/document/preview/906198/)

- Zamor definira promjene u materijalu dijelova ležaja, uzrokovane učestalim ponavljajućim opterećenjem u dodiru kotrljajućih elemenata s kotrljajućim stazama unutrašnjih i vanjskih prstenova ležaja. Potpovršinski zamor izražen je kao mikropukotine na određenoj dubini, a površinski inicirani zamor uzrokuje otkidanje listića materijala s kotrljajuće površine i širenje u dubinu materijala. Slika 17. prikazuje primjer zamora kotrljajućeg ležaja.



Slika 17. Primjer zamora kotrljajućeg ležaja (Izvor: http://evolution.skf.com/us/the-progression-of-surface-rolling-contact-fatigue-damage-of-rolling-bearings/)

- Trošenje je progresivno odnošenje materijala s kontaktnih kotrljajućih površina tijekom rada ležaja. Abrazijsko trošenje uobičajeno se povezuje s neodgovarajućim podmazivanjem ili povećanom kontaminacijom (onečišćenjem) stranim česticama iz okoliša, što uzrokuje grebanje površine. Adhezijsko trošenje povezano je s nedostatkom maziva, što uzrokuje prijenos materijala s jedne kontaktne površine na drugu. Slika 18. prikazuje primjer trošenja kotrljajućeg ležaja.



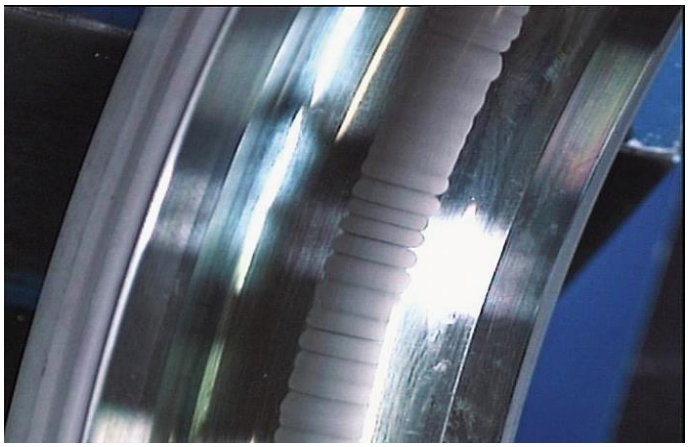
Slika 18. Primjer trošenja kotrljajućeg ležaja (Izvor: http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30009A/Bearings/Bearings.html)

- Korozija ležaja obuhvaća više tipova korozijskog trošenja kotrljajućih ležaja: vlažna korozija uzrokuje korozijske pukotine zbog oksidacije površina ležaja; „fretting“ korozija (tip tarne korozije) uzrokuje nagrizanje površine kao posljedice oksidacije i trošenja površina ležaja pod oscilirajućim mikrogibanjima (vibracijama); „lažno“ nalijeganje (drugi tip tarne korozije) uzrokuje plitke depresije (ulegnuća) kao posljedice mikrogibanja površine pod cikličkim vibracijama. Slika 19. prikazuje primjer korozije kotrljajućeg ležaja.



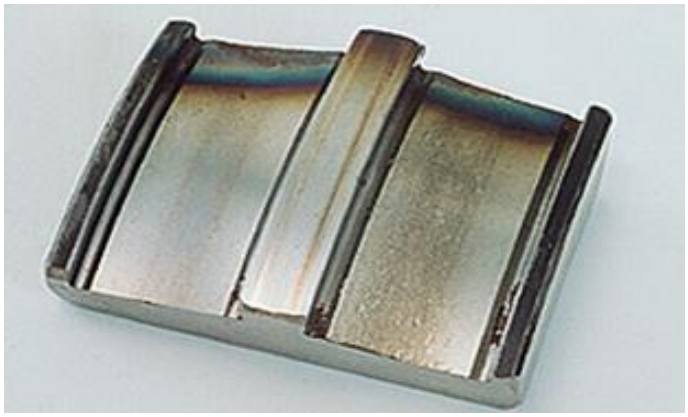
Slika 19. Primjer korozije kotrljajućeg ležaja (Izvor: https://www.ntnglobal.com/en/products/care/damage/rust.html)

- Električna erozija nastaje pri prolasku električne struje koja odnosi materijal kontaktnih površina ležaja. Naponsko preopterećenje uzrokuje električne pukotine („electrical pitting“) kao posljedicu iskrenja i lokalnog zagrijavanja na mjestu električnog kontakta. Kratkotrajni proboj struje na ležaju uzrokuje plitke kratere ili električno žljebljenje površine ležaja. Slika 20. prikazuje primjer električne erozije kotrljajućeg ležaja.



Slika 20. Primjer električne erozije kotrljajućeg ležaja
(Izvor: https://www.pumpsandsystems.com/topics/bearings/how-prevent-electrical-erosion-bearings)

- Plastična deformacija nastaje u uvjetima jačeg porasta razvlačenja materijala ležaja. Preopterećenje (ili stvarno nalijeganje) uzrokuje plitka ulegnuća u kotrljajućim stazama ležaja. Prodiranje stranih čestica uzrokuje trošenje kada se čestice kotrljaju u ležaju. Prodiranje zbog rukovanja nastaje kada površine ležaja bivaju nareckane ili izdubljene tvrdim, oštrim objektima (alatima) prilikom montaže ili održavanja ležaja. Slika 21. prikazuje primjer plastične deformacije kotrljajućeg ležaja.



Slika 21. Primjer plastične deformacije kotrljajućeg ležaja
(Izvor: https://www.ntnglobal.com/en/products/care/damage/pressure.html)

- Pukotine (naprsnuća) nastaju kada je naprezanje u ležaju veće od vlačne čvrstoće materijala ležaja, uslijed čega dolazi do kompletnog odvajanja manjih ili većih dijelova ležaja. Prisilne (izazvane) pukotine nastaju kada koncentracija naprezanja nadmaši vlačnu čvrstoću materijala ležaja. Zamorne pukotine uzokuje učestalo povećanje dinamičkih naprezanja iznad razine dinamičke izdržljivosti materijala ležaja. Toplinske pukotine pojavljuju se u uvjetima visokog tarnog zagrijavanja ležaja. Slika 22. prikazuje primjer pukotine kotrljajućeg ležaja.



Slika 22. Primjer pukotine kotrljajućeg ležaja
(Izvor: https://www.ntnglobal.com/en/products/care/damage/breaking.html)

2.3.3. Monitoring kotrljajućih ležaja

Kotrljajući ležaji, čak i uz pravilno podmazivanje i održavanje, imaju ograničenu trajnost jer tijekom eksploatacije nastaju oštećenja dijelova ležaja. Pri oštećenju ležaja javljaju se šumovi i vibracije, koje se mogu izmjeriti, te na određeni način izračunati i usporediti sa preporukama proizvođača stroja i ležaja. U slučaju da su se vibracije toliko povećale, da su postale veće od dozvoljenih, znači da je nastalo trajno oštećenje ležaja i da ga treba zamjeniti novim.

Danas su u primjeni sljedeće metode ispitivanja stanja kotrljajućih ležaja u pogonu:

- Mjerenje temperature ležaja,
- Mjerenje vibracije ležaja,
- Preslušavanje šuma ležaja u audio području,
- Preslušavanje šuma ležaja u ultrazvučnom području,
- Specijalne metode procjene stanja ležaja.

Kod neispravnog ležaja je, zbog povećanog trenja, povećana i temperatura ležaja, a time i njegovog kućišta. Temperatura se mjeri različitim kontaktnim, prikazano na slici 23. ili beskontaktnim termometrima ili, najjednostavnije, dodirom ruke. Povećana temperatura, bez

promjene radnih uvjeta, siguran je znak trajnog oštećenja ležaja. Ležaji opće namjene su predviđeni za rad u temperaturnom opsegu od -20 ºC do 110 ºC. Temperatura ležaja do oko 60 °C smatra se prihvatljivom za većinu primjena.



Slika 23. Mjerenje temperature ležaja pomoću kontaktnog termometra (Izvor: http://www.skf.com/my/products/condition-monitoring/basic-condition-monitoring-products/thermometers/general-purpose-thermometer/index.html)

Uvećane vibracije na kućištu ležaja mogu biti uzrokovane defektom ležaja. Istovremeno vibracije koje dolaze iz drugih izvora mogu oštetiti ležaj. U tom smislu potrebno je mjeriti intenzitet vibracija na kućištu ležaja u cilju provjere da li su iste u zadanim granicama. Osim toga treba pratiti trend promjene vibracija i ako se uoče značajne promjene na trendu potrebno je ustanoviti uzrok. Pomoću vibrometra se vrši mjerenje vibracija, prikazano na slici 24. Vibrometar se prisloni na kućište ležaja i sačeka da se mjerenje stabilizira nakon čega se izvrši očitanje. Još bolje je ako se vibrosenzor pomoću stalnog magneta učvrsti na kućište ležaja. Mjerenje treba obaviti pod normalnim radnim uvjetima tj. kada se ležaj zagrije na radnu temperaturu i kada radi pod nominalnim brojem obrtaja. Ako je moguće vibracije treba mjeriti u horizontalnom smjeru. (Mujić, 2015.)

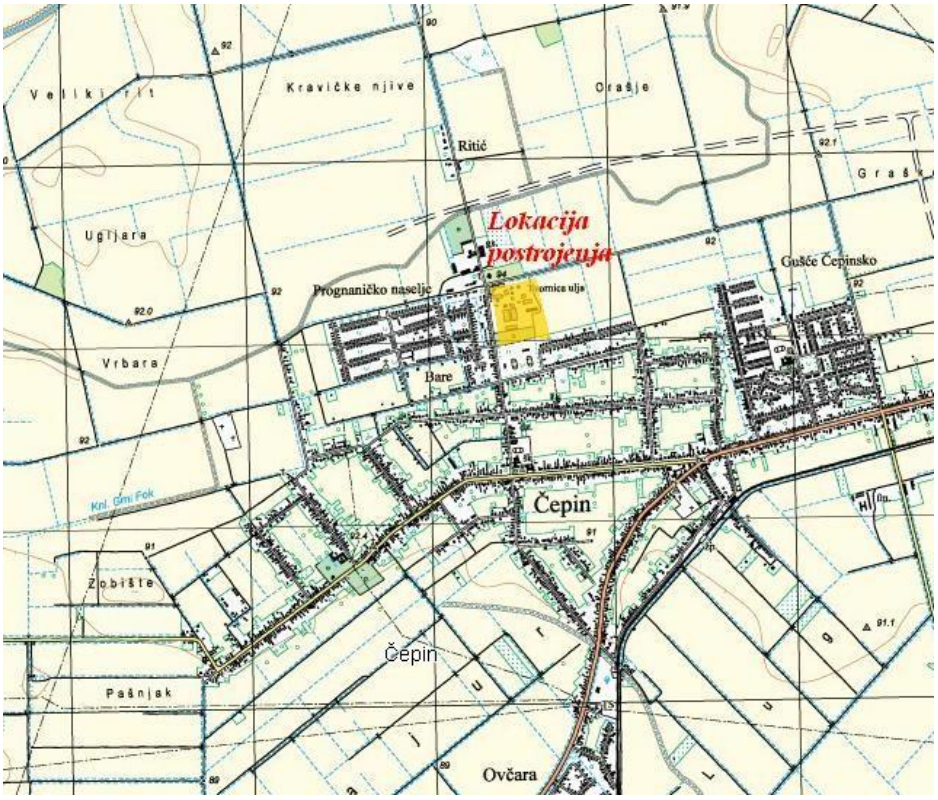


Slika 24. Mjerenje vibracija pomoću vibrometra
(Izvor: http://vibrocenter.com/vibrovision_e.htm)

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Tvornica ulja Čepin

Tvornica ulja Čepin se nalazi u Osječko-baranjskoj županiji, na području općine Čepin, površine 105,69 km². Lokacija postrojenja se nalazi južno od državne ceste D7, u sjeverozapadnom dijelu naselja Čepin unutar građevinskog područja, prikazano na slici 25. Do lokacije se dolazi ulicom Grada Vukovara. Postrojenje se nalazi na katastarskim česticama 110/1 i 110/2 katastarske općine Čepin.



Slika 25. Lokacija postrojenja (Izvor: http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web/)

Tvornica ulja Čepin je postrojenje za obradu i preradu namijenjeno za proizvodnju hrane iz sirovina biljnog podrijetla. Njezina osnovna djelatnost je proizvodnja sirovih i rafiniranih ulja koja se dobivaju preradom suncokreta i uljane repice. Kapacitet proizvodnje gotovih proizvoda je preko 300 tona na dan.

Prerada suncokreta u tvornici ulja Čepin čini 80 % prerade uljarica, ostalih 20 % prerade čini prerada repice koja je ista kao i za suncokret izuzimajući postupak ljuštenja. Dok soja nije rađena zadnjih 10 godina, iako tehnologija to dozvoljava bez ekstrakcije opisanom tehnologijom prešanja.

Tehnološki proces prerade i proizvodnje biljnih ulja uključuje:

1. Čišćenje uljarica,
2. Ljuštenje suncokreta,
3. Prešanje suncokreta,
4. Hlađenje i usitnjavanje pogače,
5. Dekantiranje sirovog ulja suncokreta,
6. Deguminacija sirovog ulja suncokreta,
7. Punjenje ulja.

Objekti i procesi vezani za proces proizvodnje hrane iz sirovina biljnog podrijetla su:

- Laboratorij,
- Obrada otpadnih voda,
- Kotlovnica,
- Rashladni sustav.

3.2. Trakasti transporter

Trakasti transporter, koji je predmet istraživanja, proizvod je njemačke firme PETKUS, tipa RB 500. Transporter se nalazi u pogonu za prešanje sjemena, koje se transportira iz procesa sušenja na daljnju obradu u tvornici ulja. Slika 26. prikazuje navedeni transporter.
Širina trake transportera je 500 mm, a brzina kretanja 1,5 m/s. Kapacitet transportera je oko 80 m^3/h (http://www.petkus.com/products/-/info/conveying/belt-conveyor/belt-conveyor).



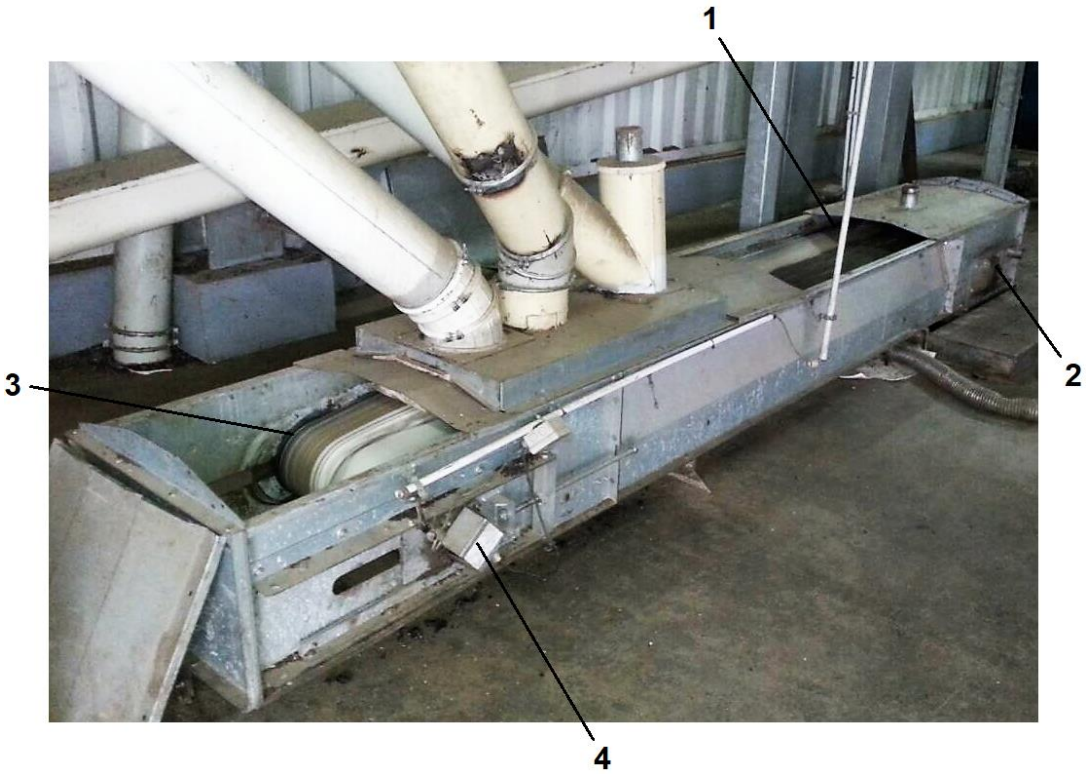
Slika 26. Trakasti transporter u Tvornici ulja Čepin (Fotografija: Đurkić, 2018.)

Traka za transport kreće se na valjcima. Traku pokreće pogonski bubanj (valjak) pomoću pogonskog elektromotora snage 4 kW, prikazanog na slici 27., a naponski ili zatezni bubanj se nalazi na suprotnoj strani transportera.



Slika 27. Pogonski motor na trakastom transporteru (Fotografija: Đurkić, 2018.)

Na svakom bubnju transportera nalaze se po dva ležaja, čije pozicije su označene na slici 28.



Slika 28. Pozicije ležaja na trakastom transporteru (Fotografija: Đurkić, 2018.)

3.3. Y-ležaji

Ležaji koji se nalaze na transporterima za rasute materijale (sjemena) u Tvornici ulja Čepin su Y-ležaji, koji spadaju u kategoriju kotrljajućih ležaja.

Y-ležaji nose teška jednosmjerna aksijalna opterećenja, kruti su i neosjetljivi na udarna opterećenja. Na slici 29. prikazan je Y-ležaj.

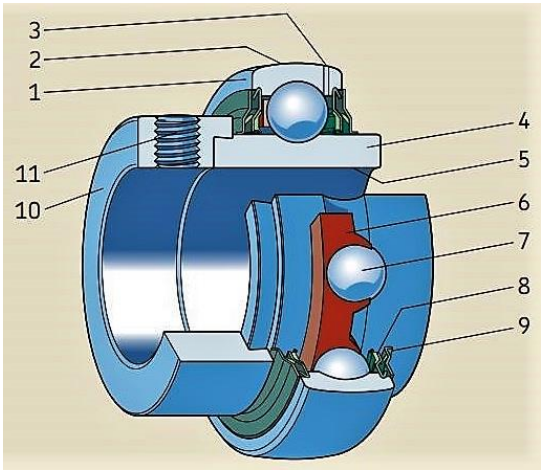


Slika 29. Y-ležaj

(Izvor: https://www.trgo-agencija.hr/lezaj-yar-209-skf-uc-209-45x85x49-2.html)

Dijelovi Y-ležaja, prikazani na slici 30, su:

1. Vanjski prsten
2. Sferična vanjska površina
3. Otvor za podmazivanje
4. Unutarnji prsten
5. Provrt
6. Kavez
7. Kuglica
8. Brtva
9. Bacač (flinger)
10. Ekscentrični locking collar
11. Vijak

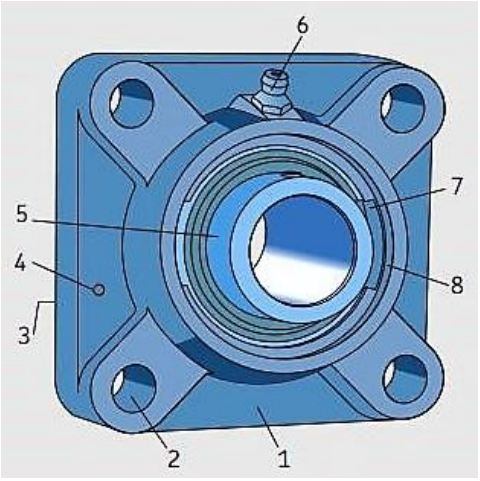


Slika 30. Dijelovi Y-ležaja

(Izvor: http://www.pkl.hr/download/lezajevi/13728%20EN%20Y-bearing%20and%20Y-b%20units_tcm_12-129182.pdf)

Dijelovi jedinice u kojoj je ugrađen Y-ležaj, prikazani na slici 31., su:

1. Kvadratno kućište od sivog lijeva
2. Otvor za vijke za pričvršćivanje kučišta
3. Stražnja strana kućišta
4. Otvor za klin
5. Y-ležaj
6. Podešavanje maziva
7. Otvor za punjenje
8. Udubljenje za poklopac



Slika 31. Jedinica Y-ležaja

(Izvor: http://www.pkl.hr/download/lezajevi/13728%20EN%20Y-bearing%20and%20Y-b%20units_tcm_12-129182.pdf)

Poklopac jedinice Y-ležaja, koji služi za bolju zaštitu od prašine i različitih čestica, prikazan je na slici 32.



Slika 32. Poklopac za jedinicu Y-ležaja
(Izvor: http://www.pkl.hr/download/lezajevi/13728%20EN%20Y-bearing%20and%20Y-b%20units_tcm_12-129182.pdf)

3.3.1. Podmazivanje Y-ležaja

Standardni Y-ležaji i Y-kućišta pune se visokokvalitetnim dugotrajnim mazivima na osnovi mineralnog ulja s litij-kalcijevim zgušnjivačem. Ovo mazivo ima konzistenciju 2 na NLGI skali, te je izrazito otporno na vodu i osigurava dug životni vijek čak i pod teškim teretima. Ponovno podmazivanje omogućit će ležaju maksimalni vijek trajanja u slučajevima gdje su ležaj i kućište:

- izloženi visokoj vlažnosti i zagađenju,
- pod velikim opterećenjem,
- na temperaturama preko 55 °C i moraju raditi velikim brzinama,

Ponovno podmazivanje nije potrebno ako:

- opterećenje i brzine su umjere,
- ne dolazi do vibracija,
- radne temperature su između 40 °C i 55 °C.

Kod ponovnog podmazivanja mazivo treba polako i pažljivo dozirati u ležaj dok je u radu.

3.3.2. Montiranje Y-ležaja

Postupak montiranja Y-ležaja obavlja se redoslijedom radnji:

1. Trebaju se montirati svi dijelovi koji su na osovini između dviju Y-ležaj jedinica,
2. Jedinicu Y-ležaja treba staviti na osovinu,
3. Učvrstiti jedinicu Y-ležaja na stijenku stroja,
4. Postaviti i drugu jedinicu Y-ležaja na suprotni kraj osovine prateći korake 2. i 3.,
5. Poravnati osovinu u rasporedu ležaja aksijalno i ako je moguće okrenuti nekoliko puta,
6. Zategnuti vijke na unutarnjem prstenu na obje jedinice, kao što je prikazano na slici 33.,
7. Ako je moguće staviti i poklopac na odgovarajuće mjesto.



Slika 33. Zatezanje vijka na unutarnjem prstenu Y-ležaja
(Izvor: http://www.pkl.hr/download/lezajevi/13728%20EN%20Y-bearing%20and%20Y-b%20units_tcm_12-129182.pdf)

3.4. Metoda analize Y-ležaja na trakastom transporteru

Istraživanje će se provesti kao studij slučaja trošenja, odnosno kao analiza konkretnog slučaja trošenja u okviru definiranog tribosustava, što se često primjenjuje u sustavnim analizama triboloških problema (Ivušić, 1998.).

Na demontiranim istrošenim ležajima trakastog transportera PETKUS RB 500 analizirat će se posljedice trošenja, što će obuhvatiti vizualni pregled tragova pojavnih oblika trošenja te utvrđivanje mehanizama i procesa koji su ih uzrokovali. U okviru provedene analize također će se naznačiti i mjere ispravnog održavanja, čijom provedbom se može značajno smanjiti trošenje ležaja tijekom eksploatacije.

4. REZULTATI

Trakasti transporter PETKUS RB 500 za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje Tvornice ulja Čepin radi u vrlo teškim uvjetima, koji su opterećeni onečišćenjem velikom količinom prašine (slika 34.), biljnih ostataka (ljuski) suncokreta (slika 35.) i visokih opterećenja zbog brzine vrtnje i količina transportirane mase tijekom eksploatacije.



Slika 34. Jedinica Y-ležaja trakastog transportera u radu (Fotografija: Đurkić, 2018.)



Slika 35. Trakasti transporter s rasutim sjemenom suncokreta (Fotografija: Đurkić, 2018.)

Ležaji koji se koriste na trakastom transporteru PETKUS RB 500 su kotrljajući Y-ležaji YAR 209 SKF (UC 209). Slika 36. prikazuje demontiranu jedinicu s ležajima, a slika 37. ležaj koji je očišćen od nečistoća i pripremljen za vizualnu analizu oštećenja uslijed trošenja.



Slika 36. Demontirana jedinica s Y-ležajima (Fotografija: Đurkić, 2018.)



Slika 37. Očišćeni Y-ležaj trakastog transportera (Fotografija: Đurkić, 2018.)

Vizualnom analizom najizraženijih tragova korištenja demontiranih ležaja, utvrđeno je da su najčešće zastupljeni i najutjecajniji sljedeći oblici trošenja:

- abrazijsko trošenje,
- zamorno trošenje („pitting“),
- tribokorozijsko trošenje (tarna korozija).

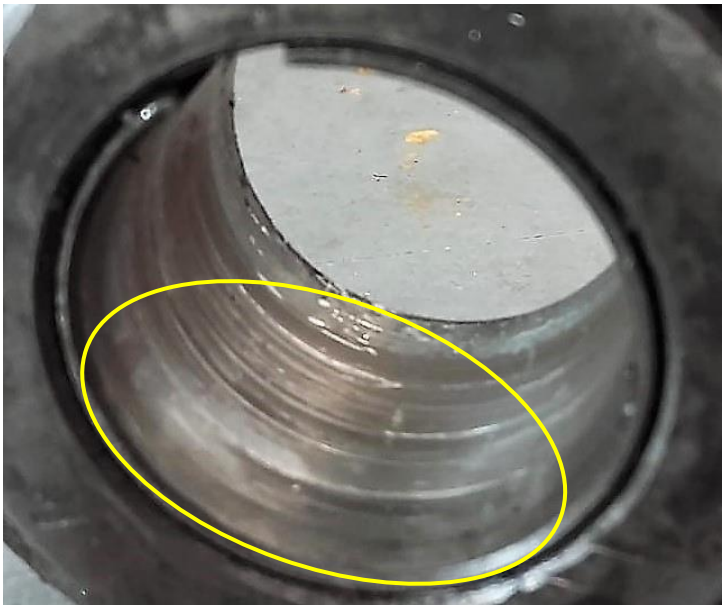
Također, osim najutjecajnijih oblika trošenja vidljivi su i utjecaji ostalih trošenja.

4.1. Abrazijsko trošenje ležaja trakastog transportera

Abrazijsko trošenje utvrđeno je na vanjskim i unutarnjim prestenovima ležaja, a očituje se brojnim ogrebotinama, prugama i brazdama, kao što se vidi na slikama 38. i 39.



Slika 38. Abrazijsko trošenje vanjskog prstena ležaja (Fotografija: Đurkić, 2018.)



Slika 39. Abrazijsko trošenje unutarnjeg prstena ležaja (Fotografija: Đurkić, 2018.)

4.2. Zamorno trošenje („pitting“) ležaja trakastog transportera

Zamorno trošenje također je utvrđeno na vanjskim i unutarnjim prestenovima ležaja, a očituje se brojnim pukotinama točkastog oblika, kao što se vidi na slikama 40. i 41.



Slika 40. Zamorno trošenje vanjskog prstena ležaja (Fotografija: Đurkić, 2018.)



Slika 41. Zamorno trošenje unutarnjeg prstena ležaja (Fotografija: Đurkić, 2018.)

4.3. Korozijsko trošenje ležaja trakastog transportera

Korozijsko trošenje utvrđeno je i na vanjskim i na unutarnjim prestenovima ležaja, a očituje se mjestimično degradiranim mjestima u obliku mrlja i plitkih jamica odnesenog materijala, kao što se vidi na slikama 42. i 43.



Slika 42. Korozijsko trošenje vanjskog prstena ležaja (Fotografija: Đurkić, 2018.)



Slika 43. Korozijsko trošenje unutarnjeg prstena ležaja (Fotografija: Đurkić, 2018.)

5. RASPRAVA

5.1. Abrazijsko trošenje ležaja trakastog transportera

Abrazijsko trošenje ležaja trakastog transportera uzrokovale su čestice materijala iz okoliša, koje na različite načine ulaze u prostor između kotrljajućih elemenata i djeluju kao abrazijski čimbenik na klizno-kotrljajuće plohe dijelova ležaja. Oštećeni ležaji uzrokuju neravnomjeran rad, vibracije, buku, itd.

Mogući uzroci abrazijskog trošenja ležaja su:

- ulazak različitih tvrdih (mineralnih) čestica,
- ulazak čestica sjemenki suncokreta,
- napredovanje trošenja iz atmosferske korozije,
- napredovanje iz električne korozije,
- loše i/ili neodgovarajuće podmazivanje,
- proklizavanje zbog nepravilnog pomicanja kotrljajućih elemenata.

Mjere ispravnog održavanja ležaja, koje mogu značajno produljiti njihovu trajnost, su:

- poboljšanje brtvljenja,
- redovito čišćenje kućišta,
- temeljito pročičćavanje ulja za podmazivanje,
- redovita provjera količine i stanja maziva,
- provjera metode podmazivanja,
- spriječavanje neusklađenosti dijelova transportera u kojima su montirani ležaji.

5.2. Zamorno trošenje ležaja trakastog transportera

Tijekom rada trakastog transportera dijelovi ležaja izloženi su jakom zamaranju cijelog sustava zbog konstantnih promjena opterećenja uslijed promjena u količinama transportirane mase sjemena i radnog ritma stroja. Odnošenje materijala kod zamornog trošenja događa se kada se sitni dijelovi ležajnog materijala odvajaju od glatke površine prstena ili kotrljajućih elemenata. Tako se stvaraju pukotine koje daljnjim širenjem uzrokuju odvajanje dijelova površine, te površine postaju grube i hrapave. Kod upotrebe takvih ležaja smanjena je točnost okretanja, pojavljuju se vibracije, te su narušeni ergonomski uvjeti za rad čovjeka u procesu održavanja.

Mogući uzroci zamornog trošenja ležaja su :

- preopterećenost ležaja,
- loša montaža ležaja,
- ulazak stranih tijela unutar ležaja,
- prodiranje vode u ležaj,
- loše podmazivanje ili neodgovarajuće mazivo,
- neodgovarajući razmak ležaja,
- nedovoljna preciznost osovine ili kućišta, neujednačenost u krutosti kućišta, veliko savijanje osovine i sl.
- napredovanje iz korozije, lošeg nalijeganja površina, itd.

Mjere ispravnog održavanja:

- ponovna provjera ispravnosti montaže ležaja,
- provjera stanja opterećenosti ležaja,
- poboljšanje načina montaže ležaja,
- poboljšanje brtvljenja,
- sprječavanje korozije tijekom neaktivnosti ležaja,
- primjena maziva odgovarajuće kvalitete,
- poboljšanje metode podmazivanja,
- provjera preciznosti osovine i kućišta,
- provjera unutarnje zračnosti ležaja.

5.3. Korozijsko trošenje ležaja trakastog transportera

Korozijsko trošenje nastaje pri međusobnom klizanju dviju površina u korozivnom okolišu, pri čemu se trošenju pridodaje i kemijska degradacija svojstava materijala. Posljedice takve korozije vide se kao tragovi trošenja abrazijom, s mjestimično degradiranim mjestima u obliku oksidnih mrlja (hrđa) i plitkih jamica odnesenog materijala.

Kod ležaja trakastog transportera dominanta je korozija uz pojavu oksida (hrđe) metala u kontaktu s kisikom u zraku i vlagom, koja se, pomiješana s prljavštinom i prašinom iz radnog okoliša, pretvara u slabu kiselinu. Posljedice toga su tragovi na površini prstenova, kotrljajućih elemenata, kao i na cijeloj površini ležaja. Intenzitet trošenja ovisi o kvaliteti konstrukcijskog rješenja, fizikalno-kemijskih svojstava materijala od kojeg je izrađen ležaj, kvaliteti montaže, uvjetima rada, kvaliteti maziva, itd.

Mogući uzroci korozijskog trošenja ležaja su:

- ulazak korozivnog plina ili vode u područje ležaja,
- nepravilno podmazivanje ležaja,
- stvaranje kapljica vode u području ležaja uslijed kondenzacije vlage,
- visoka temperatura i visoka vlaga tijekom neaktivnosti ležaja,
- loše preventivno postupanje protiv korozije tijekom transporta ležaja,
- nepravilni uvjeti u radnom prostoru transportera,
- nepravilno rukovanje transporterom.

Mjere ispravnog održavanja:

- poboljšanje brtvljenja ležaja,
- primjena pravilne metode podmazivanja,
- pravilno postupanje protiv korozije tijekom neaktivnosti ležaja,
- poboljšanje uvjeta u radnom prostoru transportera,
- poboljšanje rukovanja transporterom.

Primjenom odgovarajućih mjera ispravnog održavanja ležaja može se značajno smanjiti njihovo trošenje, produljiti njihov vijek trajanja i pravilnost funkcioniranja.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je analizirati mehanizme,oblike i uzroke trošenja kotrljajućih ležaja trakastog transportera za transport sjemena suncokreta u pogonu za prešanje u tvornici ulja. Istraživanje je obuhvatilo prikupljanje literaturnih podataka o trošenju kotrljajućih ležaja i mehanizama trošenja koji isto uzrokuju. Na primjeru trakastog transportera za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje sjemena, koje se transportira iz procesa sušenja na daljnju obradu u tvornici ulja, analizirani su oblici i uzroci trošenja u eksploataciji. U okviru provedene analize opisane su i mjere ispravnog održavanja u svrhu smanjenja trošenja ležaja. Provedenom analizom utvrđeno je više oblika trošenja kotrljajućih ležaja koji se nalaze na trakastom transporteru za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje sjemena suncokreta u Tvornici ulja Čepin. Treba napomenuti da se različiti oblici trošenja međusobno miješaju, ali u svakom trošenju može se raspoznati najdominantniji oblik, koji je i uzrok najštetnijim posljedicama trošenja kotrljajućeg ležaja.

Ustanovljeno je da se kod kotrljajućih ležaja na trakastom transporteru najčešće pojavljuju abrazijsko trošenje, zamorno trošenje („pitting“) te tribokorozijsko trošenje. Svaki oblik trošenja je pojedinačno analiziran i prikazan odgovarajućim primjerima, te su opisane mjere ispravnog održavanja u svrhu smanjena trošenja ležaja.

Čak i najmanji tragovi uzrokovani trenjem i trošenjem mogu imati utjecaj na funkcioniranje ležaja i nakon dulje uporabe i na kvar ležaja. Na temelju istraživanja zaključeno je prema svim mjerama ispravnog održavanja ležaja, da je najvažnije pravilno održavanje ležaja, naročito podmazivanje na pravilan način, odgovarajućim mazivima u točno određeno vrijeme sa prikladnim količinama, niti nedostatno, niti prekomjerno.

7. POPIS LITERATURE

1. Drčec, Z. (2010.): Trošenje kotrljajućih ležaja poljoprivrednih strojeva, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku
2. Filetin, T. (2010.): Izbor materijala u uvjetima trošenja, dostupno na: https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1333523730-0-im5_trosenje12.pdf (25.07.2018.)
3. Grilec, K.; Jakovljević, S.; Marić, G. (2017.): Tribologija u strojarstvu. Udžbenik, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.
4. Ivušić, V. (1998.): Tribologija. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb
5. Jelaska, D. (2011.): Elementi strojeva. Udžbenik, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split
6. Kolumbić, Z.; Dunđer, M; (2011.): Strojarski elementi II. Udžbenik, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet, Odsjek za politehniku. https://www.ffri.hr/~mdundjer/# (25.07.2018.)
7. Križan, B; Zelenika S. (2011.): Konstrukcijski elementi I, Tehnički fakultet Rijeka
8. Marušić, V. (2007.): Konstrukcija dijelova pužnih presa kao mogući razlog triboloških gubitaka u uljari. 10th International Confererence on Tribology, Kragujevac, Srbija.
9. Mujić, A. (2015.): Ispitivanje kotrljajućih ležaja. Seminarski rad, Metalurški fakultet, Zenica. http://www.am.unze.ba/ip/seminarski2015/MujicAdis.docx (27.07.2018.)
10. Rumbak, S. (2009.): Istraživanje učinaka oštećenja kotrljajnog ležaja u eksplozivnoj atmosferi. Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
11. Wisniak, J. (2015.): Charles Hatchett: The discoverer of niobium. Educación Química 26, 346-355. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X1500 0555 (29.07.2018.)
12. Žnidarec, T. (2009.): Utjecaj mikrostrukture na tribomehanička svojstva čelika. Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb. http://repozitorij.fsb.hr/797/1/12_11_2009_Diplomski_rad_ZNIDAREC.pdf (27.07.2018.)
13. http://evolution.skf.com/us/the-progression-of-surface-rolling-contact-fatigue-damage-of-rolling-bearings/ (31.07.2018.)
14. http://faculty2.ucmerced.edu/ amartini/tribology.shtml (29.07.2018.)
15. http://pkl.hr/skf-lezajevi (27.07.2018.)
16. http://preglednik.arkod.hr/ARKOD-Web (12.07.2018.)
17. http://vibrocenter.com/vibrovision_e.htm (7.08.2018.)

18. http://www.hr.chinabearingsuppliers.com/spherical-plain-bearings/ball-joint-bearing.html (17.08.2018.)
19. http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30009A/Bearings/Bearings.html (2.08.2018.)
20. http://www.petkus.com/products/-/info/conveying/belt-conveyor/belt-conveyor (7.08.2018.)
21. http://www.pkl.hr/download/lezajevi/13728%20EN%20Y-bearing%20and%20Y-b%20units_tcm_12-129182.pdf (9.08.2018.)
22. http://www.skf.com/my/products/condition-monitoring/basic-condition-monitoring-products/thermometers/general-purpose-thermometer/index.html (7.08.2018.)
23. http://www.skf.com/portal/skf_ba/home/services?contentId=260149&lang=bs (7.08.2018.)
24. https://infostore.saiglobal.com/en-gb/Standards/DIN-50320-E-1979-413015_SAIG_DIN _DIN_934819/ (17.08.2018.)
25. https://www.ntnglobal.com/en/products/care/damage/pressure.html (15.08.2018.)
26. https://www.ntnglobal.com/en/products/care/damage/rust.html (15.08.2018.)
27. https://www.pumpsandsystems.com/topics/bearings/how-prevent-electrical-erosion-bearings (17.08.2018.)
28. https://www.sis.se/api/document/preview/906198/ (19.08.2018.)
29. https://www.trgo-agencija.hr/lezaj-yar-209-skf-uc-209-45x85x49-2.html (7.08.2018.)

8. SAŽETAK

Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim tijelom, fluidom ili česticama. Kotrljajući ležaji važan su segment područja elemenata strojeva za prijenos gibanja. U tehničkim sustavima koji imaju rotirajuće dijelove predstavljaju mjesta koja su izložena najvećem radnom opterećenju. Istraživanje je izvršeno na kotrljajućim ležajima na trakastom transporteru za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje Tvornice ulja Čepin. Provedenom analizom utvrđeno je da se kod kotrljajućih ležaja na trakastom transporteru najčešće pojavljuju zamorno trošenje, abrazijsko trošenje, te korozivno trošenje. Različiti oblici trošenja međusobno se miješaju, ali u svakom trošenju može se raspoznati najdominantniji oblik, koji je i uzrok najštetnijim posljedicama trošenja kotrljajućeg ležaja. Na temelju istraživanja zaključeno je prema svim mjerama ispravnog održavanja ležaja, da je najvažnije pravilno održavanje ležaja, naročito podmazivanje na pravilan način, odgovarajućim mazivima u točno određeno vrijeme sa prikladnim količinama, niti nedostatno, niti prekomjerno.

Ključne riječi: trošenje, kotrljajući ležaj, trakasti transporter, podmazivanje

9. SUMMARY

Wearing is the gradual loss of material from the surface of the solid because of a dynamic contactwith the other body, fluid or particles. Rolling bearings are an important part of the area of the motion transmission machine components. In technical systems that have rotating parts represent places that are exposed to the highest workload. The research was carried out on rolling bearings on a beltconveyor for sunflower seed at pressing facility in oil factory Čepin. The analysis carried out showed that in the case of rolling bearings on the belt conveyor most commonly appear to be fatigue wear, abrasive wear and corrosive wear. Different forms of wear are mutually intermingled, but in each wear, the most dominant form can be found, which is also the cause of the worst consequences of the rolling bearing wear. Based on the research it is concluded that the most important is the proper maintenance of the bearings, in particular lubrication in proper manner, with suitable lubricants at the specified time, with appropriate amounts, is neither insufficient nor excessive.

Key words: wear, rolling bearing, belt conveyor, lubrication

10. POPIS SLIKA

Slika 1. Tribologija u drevnom Egiptu (str. 2)
Slika 2. Amontons-ovi zakoni (str. 3)
Slika 3. Jedinični događaj abrazije (str. 4)
Slika 4. Abrazija u dodiru dva (a) i tri (b) tijela (str. 5)
Slika 5. Tragovi abrazijskog trošenja (str. 6)
Slika 6. Jedinični događaj adhezije (str. 6)
Slika 7. Tragovi adhezijskog trošenja (str. 7)
Slika 8. Jedinični događaj umora površine (str. 7)
Slika 9. Tragovi trošenja uslijed umora površine (str. 8)
Slika 10. Jedinični događaj tribokorozije (str. 8)
Slika 11. Tragovi trošenja uslijed tribokorozije (str. 9)
Slika 12. Erozijsko trošenje (str. 9)
Slika 13. Klizni ležaj (str. 11)
Slika 14. Podjela kotrljajućih ležaja (str. 13)
Slika 15. Dijelovi kotrljajućeg ležaja (str. 14)
Slika 16. Podjela oblika trošenja kotrljajućih ležaja prema ISO 15243-2004E (str. 17)
Slika 17. Primjer zamora kotrljajućeg ležaja (str. 17)
Slika 18. Primjer trošenja kotrljajućeg ležaja (str. 18)
Slika 19. Primjer korozije kotrljajućeg ležaja (str. 18)
Slika 20. Primjer električne erozije kotrljajućeg ležaja (str. 19)
Slika 21. Primjer plastične deformacije kotrljajućeg ležaja (str. 19)
Slika 22: Primjer pukotine kotrljajućeg ležaja (str. 20)
Slika 23. Mjerenje temperature ležaja pomoću kontaktnog termometra (str. 21)
Slika 24. Mjerenje vibracija pomoću vibrometra (str. 21)
Slika 25. Lokacija postrojenja (str. 22)
Slika 26. Trakasti transporter u Tvornici ulja Čepin (str. 23)
Slika 27. Pogonski motor na trakastom transporteru (str. 24)
Slika 28. Pozicije ležaja na trakastom transporteru (str. 24)
Slika 29. Y-ležaj (str. 25)
Slika 30: Dijelovi Y- ležaja (str. 26)
Slika 31. Jedinica Y-ležaja (str. 26)
Slika 32. Poklopac za jedinicu Y-ležaja (str. 27)

Slika 33. Zatezanje vijka na unutarnjem prstenu Y-ležaja (str. 28)
Slika 34. Jedinica Y-ležaja trakastog transportera u radu (str. 29)
Slika 35. Trakasti transporter s rasutim sjemenom suncokreta (str. 29)
Slika 36. Demontirana jedinica s Y-ležajima (str. 30)
Slika 37. Oštećeni Y-ležaj trakastog transportera (str. 30)
Slika 38. Abrazijsko trošenje vanjskog prstena Y-ležaja (str. 31)
Slika 39. Abrazijsko trošenje unutarnjeg prstena Y-ležaja (str. 31)
Slika 40. Zamorno trošenje vanjskog prstena Y-ležaja (str. 32)
Slika 41. Zamorno trošenje unutarnjeg prstena Y-ležaja (str. 32)
Slika 42. Korozijsko trošenje vanjskog prstena Y-ležaja (str. 33)
Slika 43. Korozijsko trošenje unutarnjeg prstena Y-ležaja (str. 33)

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Diplomski rad**
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij, Mehanizacija

Analiza trošenja kotrljajućih ležaja trakastog transportera za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje Tvornice ulja Čepin

Antonio Đurkić

Sažetak:
Trošenje je postupni gubitak materijala s površine krutog tijela uslijed dinamičkog dodira s drugim tijelom, fluidom ili česticama. Kotrljajući ležaji važan su segment područja elemenata strojeva za prijenos gibanja. U tehničkim sustavima koji imaju rotirajuće dijelove predstavljaju mjesta koja su izložena najvećem radnom opterećenju. Istraživanje je izvršeno na kotrljajućim ležajima na trakastom transporteru za sjeme suncokreta u pogonu za prešanje Tvornice ulja Čepin. Provedenom analizom utvrđeno je da se kod kotrljajućih ležaja na trakastom transporteru najčešće pojavljuju zamorno trošenje, abrazijsko trošenje, te korozivno trošenje. Različiti oblici trošenja međusobno se miješaju, ali u svakom trošenju može se raspoznati najdominantniji oblik, koji je i uzrok najštetnijim posljedicama trošenja kotrljajućeg ležaja. Na temelju istraživanja zaključeno je prema svim mjerama ispravnog održavanja ležaja, da je najvažnije pravilno održavanje ležaja, naročito podmazivanje na pravilan način, odgovarajućim mazivima u točno određeno vrijeme sa prikladnim količinama, niti nedostatno, niti prekomjerno.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Mentor: prof. dr. sc. Goran Heffer

Broj stranica: 45
Broj slika: 43
Broj tablica: -
Broj literaturnih navoda: 29
Broj priloga: -
Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: trošenje, kotrljajući ležaj, trakasti transporter, podmazivanje

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. doc.dr.sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek **Graduate thesis**
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
University Graduate Studies, Mechanization

Wear analysis of roller bearings of belt conveyer for sunflower seed at pressing facility of Tvornica ulja Čepin

Antonio Đurkić

Abstract:
Wearing is the gradual loss of material from the surface of the solid because of a dynamic contactwith the other body, fluid or particles. Rolling bearings are an important part of the area of the motion transmission machine components. In technical systems that have rotating parts represent places that are exposed to the highest workload. The research was carried out on rolling bearings on a beltconveyor for sunflower seed at pressing facility in oil factory Čepin. The analysis carried out showed that in the case of rolling bearings on the belt conveyor most commonly appear to be fatigue wear, abrasive wear and corrosive wear. Different forms of wear are mutually intermingled, but in each wear, the most dominant form can be found, which is also the cause of the worst consequences of the rolling bearing wear. Based on the research it is concluded that the most important is the proper maintenance of the bearings, in particular lubrication in proper manner, with suitable lubricants at the specified time, with appropriate amounts, is neither insufficient nor excessive.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Mentor: prof. dr. sc. Goran Heffer

Number of pages: 45
Number of figures: 43
Number of tables: -
Number of references: 29
Number of appendices: -
Original in: Croatian

Key words: wear, rolling bearing, belt conveyor, lubrication

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. doc.dr.sc. Ivan Plaščak, president
2. prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.