

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**POŠKODBE LEŽAJEV KOT POSLEDICA
NEPRAVILNEGA MAZANJA MED
OBRATOVANJEM**

Kandidat: Marko Pravdić

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić, univ. dipl. gosp. inž.

Mentor v podjetju: Dejan Kuhta, univ. dipl. ing. str.

Lektor: Tamara Filipčič, prof. slov.

Maribor, 2019

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Marko Pravdić, sem avtor diplomskega dela z naslovom Poškodbe ležajev kot posledica neustreznega mazanja med obratovanjem, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darka Friščića.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, september 2019

Podpis študenta:

ZAHVALA

V zahvali bi rad izpostavil svojo družino, partnerko Nino in prijatelje, predvsem bi se jim rad zahvalil za spodbudo k študiju. Verjamem, da realizacija tega diplomskega dela ne bi bila mogoča brez vas. Zahvaljujem se profesorjem in mentorju dr. Darku Friščiću, univ. dipl. gosp. inž. iz Akademije za vso predano znanje in podporo. Prav tako velika zahvala tudi mentorju iz podjetja Dejanu Kuhti, univ. dipl. ing. str. za vso strokovno pomoč ter vsem sodelavcem in sodelavkam iz podjetja Bell d.o.o. Zahvaljujem se tudi lektorici in prevajalcu, ki sta mi pomagala pri uradnem prevodu in lektoriranju.

POVZETEK

Ležaji in delo z njimi so nepogrešljivi del strojništva, saj so ključnega pomena za delovanje različnih vrst strojev. Ležajev je več vrst, delimo jih glede na vrsto trenja (drsni in kotalni) ter glede na smer prenašanja obremenitve (radialni, aksialni). Vsaka vrsta ležaja je namenjena določenemu namenu uporabe. Njihova glavna naloga je, da omogočajo vodenje vrtečih strojnih delov in prenašajo obremenitve. Da bi zagotovili njihovo daljšo življenjsko dobo in ohranili kvaliteto, jih je potrebno pravilno vzdrževati. Vzdrževanje obsega tudi pravilno mazanje ležajev med njihovo uporabo, da se prepreči nastanek korozije na samem materialu, služi kot tesnilo in na ležaju ustvarja film, ki omogoča stanje popolnega mazanja. Zaključno delo temelji na poudarku mazanja ležajev med uporabo, da se preprečijo njihove poškodbe in predčasna obraba, zato je vredno poudariti, da je pomembna tudi izbira in kvaliteta maziva. Mazivo je potrebno izbrati tudi glede na vrsto materiala (mast, olje, trda maziva, tesnilni obroči). Razlikujemo med različnimi mazalnimi metodami in vrstami maziva. Prav tako je zelo pomembno, kako pravilno skladiščiti mazivo ter mu s tem podaljšati življenjsko dobo. Pri samem materialu je potrebno preveriti stanje le tega: morebitne poškodbe, korozijo, vdor tujkov in »utrujenost« materiala. Prav tako so pomembne prednosti tehnike mazanja, ki jo uporabimo takrat, kadar je življenjska doba maziva krajša od življenjske dobe ležaja. Ključnega pomena za daljšo življenjsko dobo ležaja je tudi pravilno dovajanje masti v ležaj, saj se lahko le ta v prevelikih odmerkih maziv prav tako poškoduje. Vse to so elementi, ki vplivajo na obrabo ležajev med samim delovanjem ali na njihove morebitne poškodbe, ki smo jih opisali v diplomskem delu. Da omenimo samo nekatere izmed poškodb ležajev: površinsko luščenje, poškodbe zaradi vibracij, poškodbe zaradi preobremenitve ... Pomen preventivnega vzdrževanja ne služi le podaljšanju življenjske dobe ležaja, ampak tudi preprečuje prehod tokov kot izolator, izboljšuje trenje in prav tako preprečuje nastanek korozije. Pomembno se nam zdi poudariti pojem viskoznost, saj je v povezavi z mazivi in oljem zelo pomembna. Diplomsko delo temelji na praktičnem primeru, ki smo ga skozi teorijo in primeri iz prakse obrazložili ter si na podlagi le tega zamislili hipoteze. Hipoteze so bile izpostavljene in opisane v namenu in sklepu zaključnega dela.

Ključne besede: ležaji, poškodbe ležajev, viskoznost, mazanje ležajev, dovajanje, vzdrževanje.

ABSTRACT

Damages of bearings as a result of improper lubrication during operation

Bearings and bearing-related work are an indispensable part of mechanical engineering. They are crucial for the operation of different types of machines. There are several types of bearings. They are divided according to the type of friction (sliding and rolling), and the direction of load transfer (radial, axial). Each type of bearing is intended for a specific use. Their main function is enabling the guiding of rotating machine parts and carrying of loads. In order to ensure their longer rating life and maintain their quality they need proper maintenance. Maintenance also involves proper lubrication of the bearings during their use to prevent corrosion on the material itself. Lubrication serves as a seal and creates a film on the bearing to provide a state of complete lubrication. The finishing work is based on the emphasis of bearing lubrication during operation to prevent damage and premature wear, therefore it is worth emphasizing that the choice and the quality of the lubricant is also important. One should choose the lubricant according to the type of material (grease, oil, hard lubricants, sealing rings). We differentiate between different lubrication methods and types of lubricant. It is also very important to properly store the lubricant and thus extend its rating life. The condition of the material itself has to be inspected: possible damage, corrosion, foreign body invasion and material “fatigue”. The advantages of lubrication techniques used when the lubricant's rating life is shorter than the bearing life are of great importance as well. Correct delivery of the grease to the bearing is also crucial for longer rating life as it can also get damaged by overdoses of lubricants. All these elements are affecting the wear of the bearings during operation or their possible damages, which we described in this diploma paper. Let us mention just a few of the bearing damages: surface peelings, vibration damage, overload damage, etc. The importance of preventive maintenance not only extends the rating life of the bearing, but also prevents the flow of currents as an insulator, improves friction and prevents corrosion.

It is important to emphasize the concept of viscosity, as it is very important when talking about lubricants and oil. The diploma paper is based on a practical example, which we have explained through theory and practical examples. Building on that we have conceived the hypotheses. The hypotheses were outlined and described in the aim and conclusion of the final part of the diploma paper.

Key words: bearings, bearing damage, viscosity, bearing lubrication, delivery, maintenance.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	10
1.1	Opis področja in opredelitev problema.....	10
1.2	Namen, cilji in osnovne trditve.....	10
1.3	Predpostavke in omejitve.....	11
1.4	Uporabljene raziskovalne metode.....	11
2	VRSTE IN UPORABA LEŽAJEV	13
2.1	Drsni ležaji.....	14
2.2	Kotalni ležaji.....	15
2.2.1	Vrste kotalnih ležajev	16
2.2.2	Označevanje kotalnih ležajev	17
2.2.3	Montaža in demontaža ležajev	18
3	MAZANJE LEŽAJEV	20
3.1	Mazalne metode in sistemi mazanja	21
3.2	Izbira in vrste maziv	27
3.3	Skladiščenje maziv	28
4	DOVAJANJE MAZALNEGA SREDSTVA V LEŽAJ MED OBRATOVANJEM.....	30
4.1	Dovajanje masti v ležaj.....	31
4.2	Dovajanje olja v ležaj	32
5	VISKOZNOST	34
5.1	Nominalna vrednost viskoznosti.....	34
5.2	Obratovalna viskoznost.....	35
5.3	Debelina mazalnega filma.....	36
5.4	Vpliv temperature in tlaka na viskoznost	37
5.5	Aditivi	38
6	POŠKODBE LEŽAJEV IN PREVENTIVNO UGOTAVLJANJE KONDICIJE LEŽAJEV	39

6.1	Poškodbe ležajev.....	39
6.1.1	Utrujenost materiala	39
6.1.2	Prednapetje zaradi geometrijske napake	40
6.1.3	Kontaminacija ali vdor tujkov	40
6.1.4	Jedkanje ali korozija	41
6.1.5	Neustrezno mazanje.....	41
6.1.6	Poškodbe kletke.....	42
6.1.7	Poškodbe neustrezne montaže ter prednapetega teka.....	42
6.1.8	Površinsko luščenje	43
6.1.9	Poškodbe zaradi vibracij.....	43
6.1.10	Poškodbe ležajev zaradi električnega toka	44
6.1.11	Poškodbe zaradi prevelikega prednapetja, preobremenitve ter nepravilne zračnosti.....	44
6.2	Preventivno vzdrževanje	45
7	PRAKTIČNI PRIMER IZBIRE MAZIVA IN ANALIZA POŠKODBE	48
8	SKLEP	60
9	VIRI IN LITERATURA.....	62

KAZALO SLIK

Slika 1:	Ležaji glede na vrsto trenja	13
Slika 2:	Ležaji glede na smer prenašanja obremenitve.....	13
Slika 3:	Sodčkasti ležaj.....	17
Slika 5:	Osnovna oznaka kotalnih ležajev	18
Slika 5:	Mazanje ležaja.....	21
Slika 6:	Centralno mazanje.....	23
Slika 7:	PERMA PRO C MP6.....	26
Slika 8:	Shema mazalnega sistema PRO	26
Slika 9:	Izbira maziv za različne aplikacije	28
Slika 10:	Stransko mazanje ležaja	30

Slika 11: Simetrični način mazanja	31
Slika 12: Način mazanja z ene strani.....	31
Slika 13: Oljna kopel	32
Slika 14: Mazanje z mazalnim obročem	32
Slika 15: Pretok mazanja	33
Slika 16: Nominalna vrednost viskoznosti	35
Slika 17: Obratovalna viskoznost.....	36
Slika 18: Debelina mazalnega filma.....	36
Slika 19: Sprememba viskoznosti	37
Slika 20: Utrujenost materiala	39
Slika 21: Geometrijska napaka	40
Slika 22: Kontaminacija	40
Slika 23: Korozija.....	41
Slika 24: Neustrezno mazanje	42
Slika 25: Poškodbe kletke.....	42
Slika 26: Poškodba neustrezne montaže.....	43
Slika 27: Površinsko luščenje	43
Slika 28: Poškodbe zaradi vibracij	44
Slika 29: Poškodbe zaradi električnega toka	44
Slika 30: Preveliko prednapetje	45
Slika 31: Nastanek korozije.....	46
Slika 32: Naprava za merjenje stanja ležajev	46
Slika 33: Časovna tabela mazanja	47
Slika 34: Vnos podatkov	50
Slika 35: Izbira ustreznega ali predlaganega maziva.....	51
Slika 36: Čas in količina doziranja	51
Slika 37: Konstrukcijska risba ležaja	52
Slika 38: Risba ležajnega ohišja Timken.....	53
Slika 39: Pravilen položaj mazalnega nastavka.....	53
Slika 40: Mazalni nastavek.....	53
Slika 41: Lom kletke	54
Slika 42: Razrez zunanjega obroča.....	54
Slika 43: Mikro razpoke na tekalni površini	55
Slika 44: Nesimetrija valjčka.....	55

Slika 45: Madeži zaradi pregrevanja	56
Slika 46: Obraba kletke	57
Slika 47: Sledi nastanka korozije	57

KAZALO TABEL

Tabela 1: Vhodni podatki – predhodno stanje	58
Tabela 2: Rezultati – predhodno stanje	58
Tabela 3: Vhodni podatki – novo stanje	59
Tabela 4: Rezultati - novo stanje	59

1 UVOD

1.1 *Opis področja in opredelitev problema*

Ležaj obratuje v stiskalnici na valju premera 800 mm. Kljub temu, da ima ležaj 90.000 ur življenjske dobe, se je začela pojavljati šumnost ležaja. Ta problem se je začel pojavljati pri obratovanju po 18.000 urah. V začetni fazi je bilo mogoče preveriti dokumentacijo oziroma plan mazanja ležaja in kasneje tudi stanje ležaja z napravo, ki omogoča prikaz trenutnega delovanja oziroma v kakšni kondiciji je ležaj v ležajnem ohišju med obratovalnim procesom. V okolju, v katerem ležaj obratuje, je vedno prisotna vlaga, prisotne so tudi višje temperature ter nečistoče, ki lahko vplivajo na samo delovanje ležaja. Vemo tudi, da podjetja stremijo k temu, da bi povečala svoje proizvodne zmožnosti, kar pomeni dodatno obremenitev na vse strojne dele v proizvodnji. Delo v težki industriji prinaša veliko nevarnosti in odgovornosti. Pomembno je, da je za tiste, ki se dnevno srečujejo s problemi in novimi izzivi ter so povezani s proizvodnim procesom, ključnega pomena tudi izobraževanje, nadgrajevanje sistema ter delovne izkušnje. Ko smo ležaj demontirali, so bile vidne razpoke tekalne površine, ki so nastale zaradi prevelikega trenja kotalne površine, vzroki za to so pomanjkanje mazivnega sredstva v ležaju, nepravilno mazanje ter vzdrževanje samega ležaja. Ležaj med obratovanjem doseže maksimalno hitrost 235 obratov na minuto, kar pomeni, da se vrtilni razmeroma počasi, hkrati tudi nenehoma prenaša tako radialno kot aksialno obremenitev. Poškodbe ležajev, ki lahko nastanejo zaradi nepravilnega obratovanja, lahko vplivajo na podjetje iz dveh vidikov. Prvi vidik je zastoj proizvodnega procesa, kar iz ekonomskega vidika pomeni izgubo dobička podjetja, iz drugega vidika poškodovan ležaj predstavlja strošek podjetja kot zamenjava rezervnega dela, ampak se z odpravo le tega pridobi na času, ki je pomemben pri izdelavi izdelkov.

Rešitve ne vidimo le v pravilnem postopku mazanja in v izbiri ustreznega maziva, ampak tudi v sprotnem vzdrževanju in poznavanju samih ležajev ter njihovih prednostih in slabostih. To bomo tudi prikazali v diplomskem delu.

1.2 *Namen, cilji in osnovne trditve*

Namen diplomskega dela je poiskati ustrezen način mazanja in izboljšati delovanje ležaja v obratovalnem okolju, s katerim bi ležaju podaljšali življenjsko dobo ter preprečili morebitne poškodbe.

Cilji diplomskega dela so:

- dokazati, da položaj mazalnega nastavka spremeni kvaliteto mazanja,
- poiskati način, kako s preventivnimi posegi zmanjšati nevarnost poškodb ležaja,
- doseči optimalno delovanje ležaja in podaljšati življenjsko dobo ležaja.

V diplomskem delu se bomo osredotočali na naslednje trditve oziroma hipoteze, ki jih bomo tekom pisanja potrdili ali zavrnili:

- S pravilno konstrukcijo ohišja ležaja se lahko doseže daljša življenjska doba.
- S pravilnim postopkom mazanja znižujemo trenje ležaja in hkrati povečujemo življenjsko dobo.
- S pravilno izbiro maziva lahko izboljšamo delovanje ležaja.

1.3 Predpostavke in omejitve

Predpostavljamo, da za izbrano temo diplomskega dela ne bomo našli veliko ustreznega knjižnega gradiva, znanstveno raziskovalnih člankov in anket, saj menimo, da je tema v tej smeri še dokaj neraziskana. Prav tako predpostavljamo, da nas bo omejeval izpostavljeni problem, saj menimo, da je problem kompleksen in ni lahko rešljiv. Iz tega razloga predpostavljamo, da bomo uporabili več različnih metod za reševanje le tega. Da bi to čim manj vplivalo na potek pisanja diplomskega dela, smo strokovno gradivo poiskali tudi v podjetju Bell d.o.o. S pomočjo tega gradiva smo lahko analizirali in rešili problem, ki smo ga izpostavili v uvodu.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bomo uporabili metodi deskripcije in kompilacije, v katerih bomo prikazali teorijo in znane prakse iz področja vrst in uporabe ležajev, mazanja ležajev v fazi obratovanja ter metode in načine mazanja z različnimi sistemi. To pomeni, da smo opisali predmete in pojave, pomembne za naše diplomsko delo, z metodo kompilacije smo povzeli spoznanja, stališča, sklepe in rezultate. Za vse to bomo uporabili domačo in tujo znanstveno literaturo. Prav tako bo delo vsebovalo praktični del oziroma prikaz pravilne izbire mazalnega sredstva ter pravilni položaj mazalnega nastavka za mazanje. Ta del bo temeljil na opisni metodi, metodi zbiranja podatkov iz virov podjetja ter metodi izbire pravilne konstrukcije ležaja, kjer bodo podane analize, spoznanja in rešitve za obravnavani projekt. Zaradi obsežnosti in

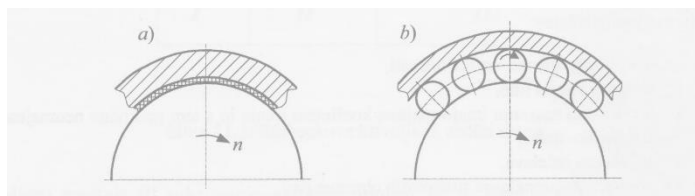
kompleksnosti problema in teme smo uporabili več raziskovalnih in statističnih metod. Skupek le teh je pomagal pri razrešitvi problema.

2 VRSTE IN UPORABA LEŽAJEV

Ležaji so elementi strojništva, ki omogočajo vrtenje in prenašajo zunanje obremenitve iz vrtečega na mirujoči del naprave ter omogočajo vodenje vrtečih delov. So odločilnega pomena za življenjsko dobo naprav in strojev, v katere so vgrajeni, ter za pravilno delovanje. Ključnega pomena je, da izberemo ustrezno vrsto ležajev, jih pravilno dimenzioniramo in upoštevamo konstrukcijske napotke za vgraditev v stroj oziroma napravo. Upoštevati moramo kriterije ter v praktičnem primeru izbrati najbolj ustrezen rešitev z vidika ekonomičnosti in funkcionalnosti (Ren & Glodež, 2011).

Poznamo več vrst ležajev, vendar je vsem skupno, da se gibljejo v središču vrtenja, kjer se okoli njih vrtijo gredi ali drugi strojni deli. Vzdrževalci zelo pogosto menjujejo ležaje, kar pomeni, da so kritični deli stroja, ki so hitro obrabljivi. Nenehno jih moramo nadzorovati, saj ob slabih obratovalnih pogojih hitro odpovedo in oddajajo ropot. Ležaje moramo dobro poznati in jih pravilno vzdrževati, saj so najpomembnejši strojni element (Grilj, 2005).

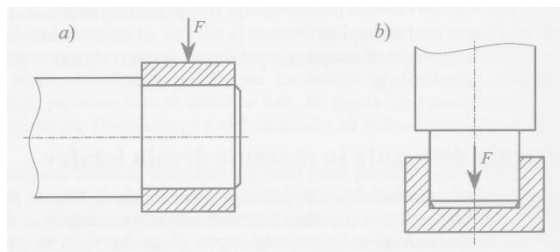
Glede na vrsto trenja jih delimo na drsne ležaje, kjer gibanje med tečajem in ležajem ustvarja drsno trenje, ter kotalne ležaje, kjer se trenje ustvarja med gibanjem dotikajočih se kotalnih teles.



Slika 1: Ležaji glede na vrsto trenja

Vir: (Ren in Glodež, 2011)

Ležaje delimo tudi glede na smer prenašanja obremenitve, in sicer na radialne ležaje, kjer obremenitev poteka pravokotno na os ležaja, ter na aksialne ležaje, kjer obremenitev deluje vzdolž določenega ležaja.



Slika 2: Ležaji glede na smer prenašanja obremenitve

Vir: (Ren in Glodež, 2011)

2.1 *Drsni ležaji*

Drsni ležaji so znani kot najstarejši ležaji, kjer gred drsi radialno ali aksialno. Najenostavnejša oblika le tega je navadna puša, ki je navadno izdelana iz brona ali drugih kovin z dobrimi drsnimi lastnostmi. Za ležajne puše se dandanes uveljavljajo sintrani materiali, ki se dobro obnesejo tudi tam, kjer se pozabi na mazanje. Gred v taki puši mora biti gladka in trda na površini (Grilj, 2005).

Le ti preko drsnega trenja prav tako omogočajo vodenje vrtečih strojnih delov med tečajem vrtečega dela in ležajno pušo. Drsne površine mažemo z oljem, zelo redko z mastjo ali trdimi mazili. Drsne ležaje delimo na radialne in aksialne glede na delovanje obremenitve. Pomembni so tudi vodilni ležaji, ki so namenjeni samo za vodenje gredi ali osi in ne prenašajo zunanjih obremenitev (Ren & Glodež, 2011).

Pri drsnih ležajih je ključnega pomena tudi trenje, ki nastane zaradi drsenja čepa po ležajni blazinici. Trenje mora biti čim manjše, saj povzroča obrabo gradiva in posledično izgubo energije. Trenje lahko zmanjšamo z gladkostjo drsečih se površin ter mazanjem tako, da pride do situacije, pri kateri se površini ne stikata neposredno, ampak je med njima sloj maziva (Janežič, 1999).

Pri poškodbi ležaja je tega potrebno tudi popraviti. Način popravila je v veliki meri odvisen od vrste poškodbe ter izrabljenosti puše. Najpogosteje se izrabita puša, ki v smeri obremenitve postane jajčasta, in tečaj gredi. V ploskvah po določenem času nastanejo zajede in kanali, ki jih moramo poravnati. Ključnega pomena je tudi mazanje drsnega ležaja, saj, če je le ta dobro namazan, v tem primeru ne predstavlja težav (Grilj, 2005).

Za kvalitetno delo moramo dobro poznati različne vrste ležajev, njihove lastnosti za pravilno izbiro ter prednosti in slabosti posameznih ležajev. Te bomo v nadaljevanju tudi navedli.

Prednosti drsnih ležajev:

- »Dovoljujejo visoke vrtilne hitrosti,
- tečejo mirno in hitro,
- pri dobrem mazanju imajo majhen koeficient trenja in s tem praktično neomejeno življenjsko dobo,
- enostavna izdelava,
- primerni za prenašanje sunkovitih obremenitev,
- niso občutljivi na prah,

- so cenejši od kotalnih ležajev,
- v radialni smeri zavzemajo malo prostora,
- lahko so izdelani v deljeni izvedbi.« (Grilj, 2005)

Slabosti drsnih ležajev:

- »Nenatančno vodenje oziroma pozicioniranje vrtečih strojnih delov,
- koeficient trenja med drsnimi površinami je odvisen od relativne hrapavosti površin,
- na kakovost ležaja odločilno vplivajo gradivo in toplotna obdelava tečajev osi ali gredi ter izvedba mazanja.« (Grilj, 2005)

Temeljna slaba lastnost drsnih ležajev je, da se za voljo trenja in ne mazanja poškodujejo počasi. Kljub boljšim lastnostim kotalnih ležajev, so drsni še vedno v uporabi tam, kjer je dovolj prostora in zahtevan natančen, miren in tih tek gredi (Grilj, 2005).

2.2 Kotalni ležaji

Ker imamo v diplomski nalogi v praktičnem primeru poudarek na kotalnih ležajih, se bomo na le te podrobno osredotočili.

Kotalni ležaji so se razvili z razvojem strojev in so v nekaterih lastnostih boljši kot drsni ležaji. Njihova naloga je, da se tečaj gredi kotali in ne drsi, kot pri predhodno omenjenih ležajih. Dandanes tovarne množično izdelujejo kotalne ležaje in cena le teh je padla. V strojogradnji je bil to velik napredek, saj si ne moremo predstavljati strojev brez kotalnih ležajev. Za vzdrževalce je predvsem pomembno, da so ležaji enostavni za menjavo, imajo daljšo življenjsko dobo, se lahko vrtijo hitreje od drsnih ter dovoljujejo preobremenitve (Grilj, 2005).

V primerjavi z drsnimi ležaji imajo kotalni ležaji prednosti in slabosti, ki jih bomo navedli v nadaljevanju.

Prednosti kotalnih ležajev:

- »Zaradi kotalnega trenja je koeficient trenja 25–50 % nižji kot pri drsnih ležajih s hidrodinamičnim mazanjem,
- zaradi manjšega trenja se ležajno mesto manj greje,
- natančno obratovanje zaradi manjše zahtevane zračnosti med kotalnimi elementi,
- enostavno vzdrževanje,
- urejena standardizacija in s tem zagotovljena enostavna izmenljivost ležajev.« (Ren & Glodež, 2011)

Slabosti kotalnih ležajev:

- »Večja občutljivost na sunkovite obremenitve,
- večji hrup,
- dopuščajo manjše vrtilne hitrosti kot drsni ležaji s hidrodinamičnem mazanjem,
- so dražji od enostavnih drsnih ležajev,
- zahtevnejša montaža in demontaža.« (Grilj, 2005)

Sestavljeni so iz dveh obročev ali iz dveh ali več kolotov kletke in kotalnih elementov. Oblikovanost kotalnih tirov mora biti takšna, da se osi vseh vrtečih delov sekajo v eni točki tako, da nastane med njimi in kotalnimi elementi čisto kotaljenje (Wedam & Adlešič, 1991).

Kot smo omenili, je kotalni ležaj sestavljen iz dveh obročev, kolotov, ki se vrtita okoli osi ležaja in okoli svoje osi. Pri tem nastane trenje, ki je pri kotalnih ležajih zelo majhno, zato je izguba energije pri zagonu majhna. Pomemben sestavni del je vodilna kletka, ki se v enaki medsebojni razdalji drži kotalnega telesa (Janežič, 1999).

Podobno kot drsni ležaji nam kotalni ležaji omogočajo vrtečo vodenje strojnega dela, ki je vgrajeno v ustrezno ohišje. Sestava ležajev zajema notranji in zunanji obroč, med katerimi se vrtijo kotalna telesa v kletki, ki je ustrezno oblikovana. Na kotalni površini se dogaja trenje, ki je posledica nastanka med kotalečimi deli. Kotalni ležaji lahko prenašajo različne obremenitve, hkrati radialno in aksialno obremenitev, samo aksialno ali samo radialno obremenitev. Na podlagi teh obremenitev ločimo radialne in aksialne ležaje (Ren & Glodež, 2011).

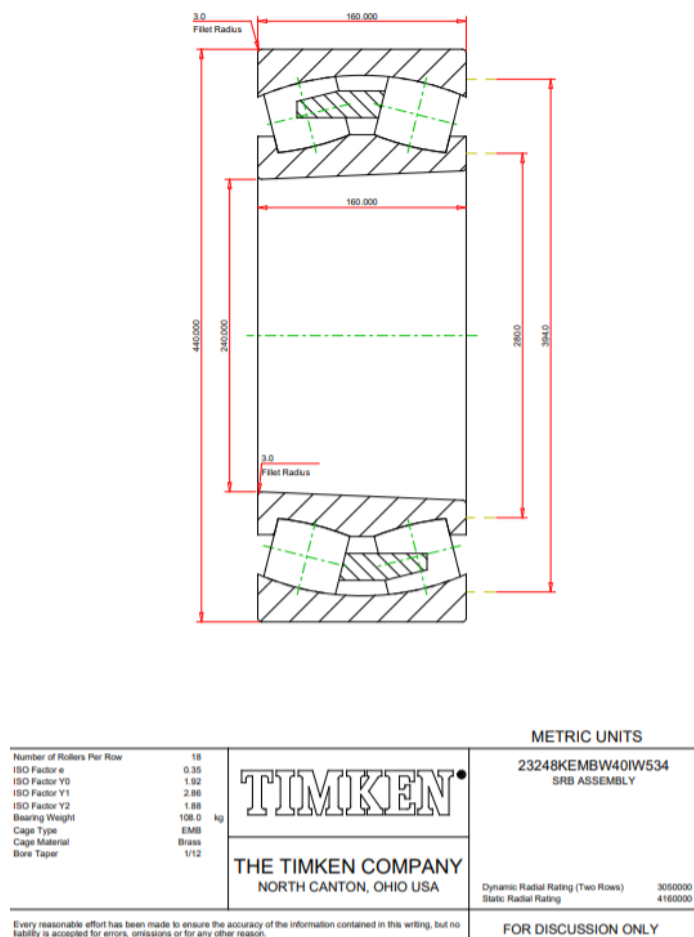
2.2.1 Vrste kotalnih ležajev

Kotalne ležaje delimo na naslednje vrste:

- radialni kotalni ležaji,
- aksialni kotalni ležaji.

Radialne kotalne ležaje med seboj razlikujemo po obliki. Kljub temu, da lahko prenašajo še dodatne obremenitve, so v prvem pomenu besede namenjeni prenašanju radialnih obremenitev. Največkrat se v praksi uporabljajo kroglični ležaji, ki imajo kotalno telo v obliki kroglice (enostavni kroglični ležaji – standardizirani po SIST ISO 15:2015, sodčkasti ležaji – standardizirani po SIST ISO 15:2015, valjčni ležaji – standardizirani po SIST ISO 15:2015 prilagodni kroglični ležaji – standardizirani po SIST ISO 15:2015, kroglični ležaji s poševnim dotikom – standardizirani po SIST ISO 15:2015, kroglični ležaji s štiritočkovnim dotikom – standardizirani po SIST ISO 15:2015). V posebnih obratovalnih pogojih se uporabljajo radialni

ležaji, ki imajo različno obliko kotalnega telesa za zagotavljanje želenih lastnosti določenega ležaja, stožčasti ležaji – standardizirani po SIST ISO 10317:2009 in iglični ležaji – standardizirani po SIST ISO 1206:2002 (Ren & Glodež, 2011).



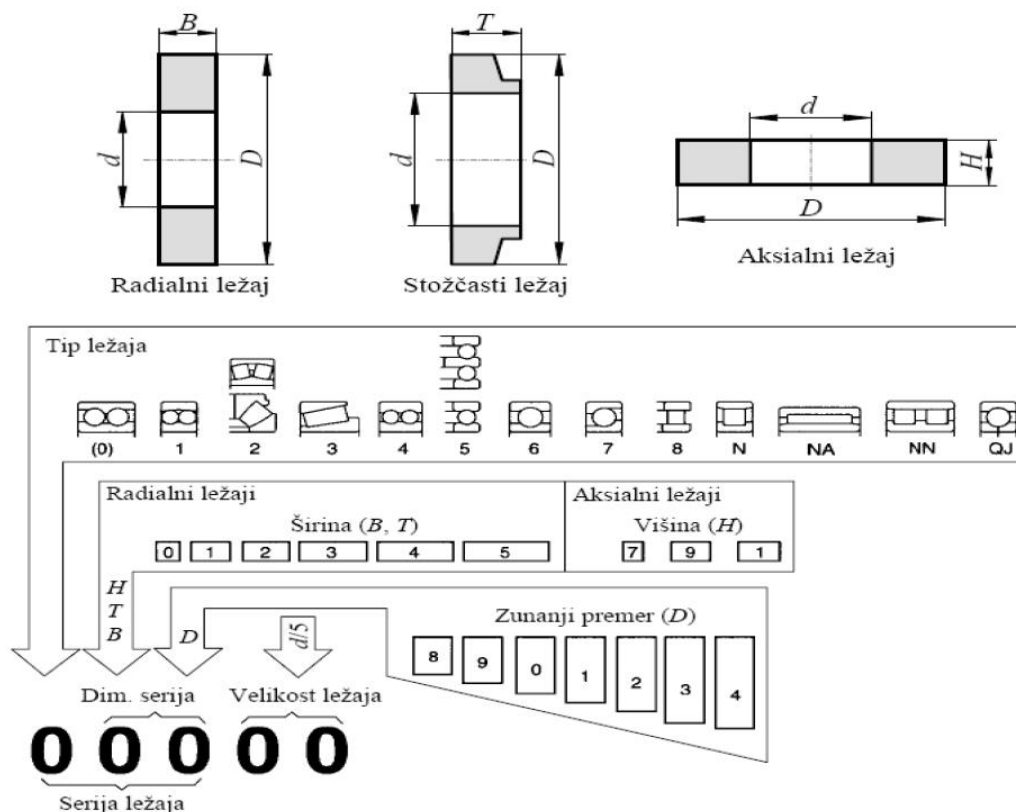
Slika 3: Sodčkasti ležaj

Vir: (<https://www.timken.com/>)

Aksialni kotalni ležaji praviloma prenašajo samo visoke obremenitve v aksialni smeri. Ločimo jih predvsem po njihovi obliki kotalnih teles. Poznamo različne izvedbe aksialnih kotalnih ležajev (aksialni kroglični ležaj – standardizirani po SIST ISO 104:2016, aksialni valjni ležaji, aksialni iglični ležaji ter aksialni sodčkasti ležaji) (Ren & Glodež, 2011).

2.2.2 Označevanje kotalnih ležajev

Kotalne ležaje označujemo po osnovni označbi SIST ISO 15:2015, ki je sestavljena iz določenih kombinacij števil in črk.



Slika 4: Osnovna oznaka kotalnih ležajev

Vir: (Ren in Glodež, 2011)

V osnovni označbi predstavljata prva številka ali črka tip ležaja, druga in tretja številka predstavljata dimenzijsko serijo, medtem ko tretja številka pomeni serijo zunanjega premera (Ren & Glodež, 2011).

2.2.3 Montaža in demontaža ležajev

Kotalnih ležajev ne popravljamo, vendar jih zamenjamo z novimi. Pri tem sta zelo pomembni montaža in demontaža ležaja.

Montaža novih ležajev se vrši na več načinov. Način, ki se najpogosteje uporablja za montažo, je udarec s kladivom po valju, ki se predhodno nastavi na ležaj. Priporočljivo je, da se ne udarja direktno po samem ležaju. Seveda si lahko pomagamo z ohlajanjem in ogrevanjem ležaja, vendar pri tem pazimo, da se pri postopku segrevanja ne prekorači temperatura $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, medtem, ko pri ohlajevalnem postopku $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Razvoj industrije nam omogoča uporabo posebnih električnih induktivnih grelcev za ležaje, s katerimi dosežemo razširitev notranjega obročja in ga tako lahko z roko montiramo na gred. Pri delu se ustrezno zaščitimo tako, da uporabljamo zaščitne rokavice (Grilj, 2005).

Izvedbe demontaže ležajev se lahko poslužujemo na več načinov. Eden izmed njih je izbira izvlačilca, pri katerem moramo biti pozorni, da se glede na maksimalno silo snemanja izbere prava velikost, saj nam le to omogoča opraviti delo enostavno in varno. V primeru, da ne izberemo pravilne velikosti, lahko ogrozimo poškodbo na izvlačilcu, kar pomeni lom roke na izvlačilcu. Navadno se uporabljajo izvlačilci s tremi rokami. Poznamo notranja in zunanja izvlačilna orodja, ki delujejo mehansko, in hidravlične snemalce, ki jih uporabljamo pri demontaži večjih ležajev in kjer je potrebna veliko večja sila za demontažo le teh (Bearing Dismounting Methods For Cylindrical And Tapered Seating, b. d.).

Ko želimo ležaje ponovno uporabiti, moramo ležaj demontirati. Če predpostavljamo, da ležajev več ne bomo uporabljali, je posebej potrebno paziti, da se pri demontaži ne poškodujeta ležajni sedež in tečaj gredi v ohišju. V primeru, da se to ne upošteva, se lahko pri montaži novega ležaja ogrozi življenjska doba ter ustrezno obratovanje ležaja, zato si pri montaži ne smemo dovoliti nepravilnosti in napak (Grilj, 2005).

3 MAZANJE LEŽAJEV

Potrebno je mazati vsak stroj, saj sta pri njegovem gibanju prisotni translacija in rotacija. V navodilih nam proizvajalec običajno navede vrsto mazivnega sredstva in mazalno mesto. Da lahko med seboj primerjamo različna maziva različnih proizvajalcev, je potrebno imeti zraven tudi primerjalno tabelo. Podatek, ki je zelo pomemben, je, kdaj je mazanje pomembno, zato moramo upoštevati predvidene določene časovne roke, ki jih proizvajalec navede. Maziva poleg zmanjševanja trenja tudi hladijo dele strojev. Mazanje je postopek, s katerim se dovaja mazalno sredstvo v gibajoče dele, s čimer preprečimo morebitne poškodbe površin, znižamo temperaturo in trenje ter s tem olajšamo tudi gibanje ležaja (Grilj, 2005).

Mazanje se uporablja za zmanjševanje trenja, ki nastaja med vrtenjem. Z njim preprečimo obrabo in nastanek korozije ter ležaj zaščitimo proti kontaminaciji. Mazalno sredstvo tvori pregrado med premikajočim se kovinskim površjem, zmanjšuje trenje in obrabo. V preteklosti so se kot primarni vir za mazanje uporabljala rastlinska olja in živalske maščobe, vendar so sčasoma z razvojem industrijske revolucije kot mazalno sredstvo začeli v 90 % uporabljati petrolej ter olje iz skrilavca. Maziva v tekočem stanju, npr. olja, se najbolj pogosto uporabljajo za boljši nadzor, gledano iz strojnega vidika, apliciramo jih tja, kjer se po navadi uporabljajo vrtljivi obroči ali verige, naprave za brizganje in črpalke. Mast kot mazivno sredstvo uporabljamo pri aplikacijah, kjer se odvija stiskanje, črpanje in pakiranje (Chastain, 2009).

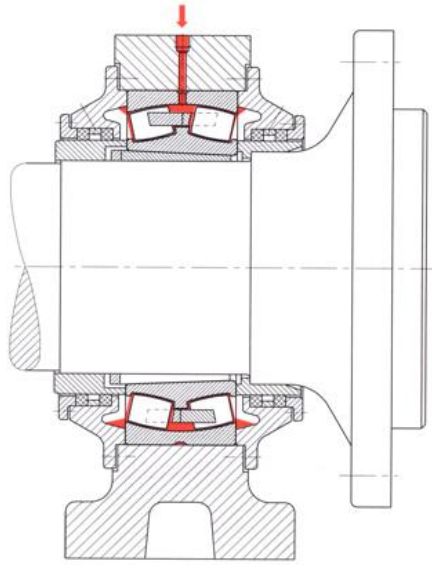
Temeljna naloga maziva je, da ustvari film, pri katerem se preprečuje stik kotalnih teles ležaja, in pri tem nosi podano obremenitev, kar pomeni stanje popolnega mazanja. Hkrati mazivo ščiti ležaj pred korozijo. V primeru zahteve mazivo služi tudi kot tesnilo in kot hladilni medij v primeru krožnega oljnega mazanja. Življenjska doba ter obraba ležaja sta odvisni predvsem od mazalnih razmer (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).

Za pravilno delujoč ležaj moramo upoštevati tudi življenjsko dobo maziva. Le ta opisuje obdobje, v katerem je ležaj v ustreznem obsegu sposoben delovati brez ponavljajočega se mazanja. Ko presežemo mejo življenjske dobe masti, je delovanje ležajev še pogojno možno, ampak kot posledica tega bo sčasoma oziroma relativno hitro prišlo do poškodbe ležaja. Faktorji, ki vplivajo na življenjsko dobo masti so naslednji:

- količina masti in način dovajanja,
- tip mazalnega sredstva (trdilci, osnovna olja, aditivi),
- proizvodni proces proizvodnje masti,
- velikost in tip ležaja,

- vibracije in vrste obremenitev,
- hitrost,
- temperatura ležaja,
- vgradni pogoji (Schaeffler Technologies, 2014).

Mazanje ali zamenjava masti se zahteva le v primeru, če je življenjska doba mazivnega sredstva krajša od nominalne življenjske dobe ležaja, ki ga mažemo.



Slika 5: Mazanje ležaja

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

3.1 Mazalne metode in sistemi mazanja

Mazalne metode

Kadar je stroj v fazi konstrukcije, moramo, kolikor hitro je mogoče, definirati ustrezno metodo mazanja ležaja. Ko se odločamo za ustrezno metodo mazanja, nam je pomembno, ali se bomo odločili mazati z mastjo, oljem ali v posebnem primeru s trdnimi mazivi.

1. metoda mazanja z mastjo:

Mazanje z mastjo se uporablja v približno 90 % pri vseh kotalnih ležajih. Prednosti, ki vključujejo mazanje z mastjo, so naslednje:

- mast omogoča funkcijo tesnjenja,
- zajema malo projektne dela,
- daljše življenjsko obratovanje brez vzdrževanja,
- primerna uporaba za višje hitrosti,

- v primeru, da odpove dovod mazalnega sredstva, obstoječe mazivo znotraj ležaja zagotavlja nemoteno delovanje, vendar v nekem časovnem intervalu,
- preprečuje trenje, ki nastaja med dvema kovinskima elementoma.

Pod normalnimi obratovalnimi pogoji in v idealnih razmerah v okolju se mazivo pogosto lahko uporablja dalj časa, tudi doživljenjsko. V primeru visokih zahtev, npr. hitrost, temperatura in obremenitve, je nujno potrebno načrtovati ponovno mazanje v primernem časovnem intervalu (Schaeffler Technologies, 2013).

2. metoda mazanja z oljem:

Mazanje z oljem se od proizvajalca maziv priporoča v primeru, če se tudi sosednje komponente v stroju mažejo (npr. zobniki) ali v primeru, če hlajenje poteka tudi z oljem. Pri velikih ležajnih obremenitvah in vrtilnih hitrostih je vedno prisoten razvoj toplote, hkrati se lahko ležaj tudi segreva od zunaj (zunANJI vplivi in komponente).

Kotalne ležaje mažemo z oljem predvsem z naslednjimi načini:

- mazanje v oljni kopeli,
- mazanje z oljno meglo,
- obtočno mazanje (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).

Mazalne metode so razdeljene na metode posamičnega načina mazanja ter centralnega načina mazanja.

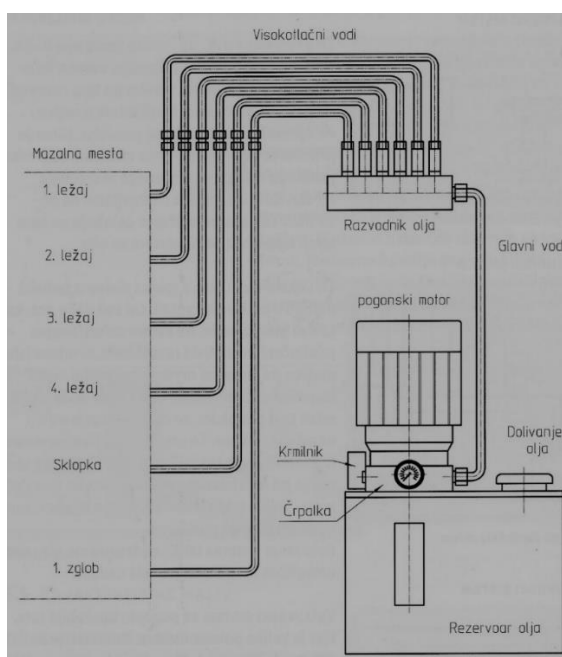
Posamičen način mazanja

Za posamičen način mazanja velja, da je najbolj enostaven in je zanj značilen vpliv človeškega faktorja. Ta način zahteva skrbne vzdrževalce, ki redno opravljajo mazanje mazalnih mest. Pri velikem številu strojev se lahko pojavi neekonomičnost in kritičnost, saj lahko odgovorni pozabijo namazati stroj, predvsem tam, kjer so mazalke težko dostopne. Slaba stran posamičnega mazanja je tudi ta, da vzdrževalec ne dobi ustreznega podatka, ki bi pokazal, da je mazivo prišlo na svoje mesto. Prav tako s tem načinom mazanja ne moremo mazati visoko hitrostnih ležajev. Kljub slabim lastnostim posamičnega mazanja, je prednost ta, da je izvedba enostavna in učinkovita, mazanje je pregledno in cenovno ugodno. Poslužujemo se ga pri enostavnih strojih, kjer so mazalna mesta drsni ali kotalni ležaji. Delovno vreteno, skozi katero mažemo ležaj, ima po navadi dve mazalki, v kateri moramo občasno s primernim orodjem dodati mast ali olje. To storimo tako, da na mazalko nastavimo ustrezen priključek in s tlačilko potisnemo mazivo na mazalno mesto tako, da vidimo, če stara mast še prileze iz reže.

Centralni način mazanja

Centralno mazanje je postopek, ki se je razvil z namenom, da se izboljša proces mazanja. Z njim se je izločil človeški faktor, ki je, kot že zgoraj omenjeno, večkratni krivec za neustrezno mazanje strojnih komponent. Začetki centralnega mazanja segajo v začetek avtomobilske industrije, saj so se tam začeli pojavljati prvi avtomatizirani procesi. Dandanes to več ni novost, saj je uporaba le tega razširjena predvsem v strojogradnji. S pomočjo centralnega dovajanja masti lahko količinsko in časovno odmerimo količino za mazalno mesto. Ker je ta mazalni sistem povezan s cevovodi in je nepropustno zaprt, se izognemo problemu onesnaževanja okolice. Zraven tega imamo kontrolirano mazanje in informacijo od sistema, da je mazalno mesto res ustrezno namazano.

Centralno mazanje je sestavljeno iz mazalnega agregata, ki je pritrjen na stroj. Iz njega so napeljane cevi na mazalna mesta preko razvodnih elementov. Centralno mazanje ima zraven mazalnega agregata tudi krmilni del, pogonski motor, cevi, razvodnike in nastavke. Naprava je nastavljena tako, da na določen čas za nekaj sekund maže določena mesta. V sistemu lahko kontroliramo mazanje zato, ker je v celoti pod tlakom in v programu lahko izberemo dolžino trajanja mazanja ter časovni interval, v katerem bomo izvajali mazanje. Paziti moramo na rezervoar, ki je po navadi iz stekla, da vidimo količino vsebine mazalnega sredstva ter ga po potrebi dotočimo. Ta način se je odrazil kot zelo dober, saj je potrebno mazivno sredstvo dodajati le enkrat na mesec (Grilj, 2005).



Slika 6: Centralno mazanje

Vir: (Grilj, 2005)

Centralni sistemi mazanja:

Ko izbiramo mazalni sistem, upoštevamo določene dejavnike:

- »Stroj, ki ga moramo mazati,
- način mazanja, ki se zahteva,
- število mazalnih mest,
- količino maziva,
- frekvenco mazanja,
- delovne pogoje.« (Grilj, 2005)

Centralni sistem lahko izberemo takrat, ko so vsi pogoji upoštevani. Pozorni moramo biti predvsem na vrsto pogona črpalke in volumen mazivnega rezervoarja. Ker se običajno delovni tlaki gibljejo okoli 200 barov, so te črpalke prilagojene tudi zelo visokim pritiskom do 600 barov. Avtonomnost je značilnost centralnega sistema, kar pomeni, da je sistem vezan preko vmesnika stroja ali preko lastnega programa.

Glede na zahteve uporabljamo več vrst sistemov:

Enolinijski sistem

Enolinijski sistem ima samo eno linijo ter en tlačni vod. Po tej liniji oziroma cevovodu v enem intervalu črpalke dovaja določeno mazivo do dozirnikov. Temu koraku sledi razbremenjevalni interval, nato se postopek v celoti ponovi. Za oskrbovanje enolinijskega sistema je dovolj en stroj. Pri tem postopku se mazivo nastavlja na dozirniku, večinoma se uporablja za olje.

Dvolinijski sistem

Kot nam že ime pove ima ta sistem dve liniji. Črpalke mazivo dovaja v prekrmilni sistem, od koder sta napeljana dva glavna voda. Na teh vodih so vzporedno priključeni dvolinijski razdelilniki, ki odmerjajo količino maziva na mazalno mesto. Dvolinijski sistem se uporablja pri oskrbi večjega števila mazalnih mest. Nizke temperature ali velike oddaljenosti sistemu ne povzročajo težav, saj ga lahko vizualno ali elektronsko nadzorujemo.

Večlinijski sistem

Ta sistem uporabljamo, kjer je poraba maziva zelo velika. Z njim lahko oskrbimo do 30 mazalnih mest, vendar na kratkih razdaljah. Mazalna mesta so direktno povezana s črpalke in sistem deluje takrat, ko se le ta vrti.

Progresivni sistem

Progresivni sistem ima velike razsežnosti, saj je sestavljen iz črpalke, varnostnega ventila, elektromotorja ter progresivnih razdelilnikov, ki vsebujejo merilne batke, s katerimi razdelijo mazivo v vsak izhod. K tem lahko na vsak izhod priključimo še dodaten razdelilnik. Za najboljšo rešitev pri mazanju je dodan še krmilnik. Pri tem sistemu ni faze razbremenjevanja, saj dovajanje maziva preko črpalke poteka neprekinjeno. Če se mazalno mesto v tem sistemu zamaši, je za progresivni razdelilnik značilno, da se ustavi.

Kombinirani sistem

Je sistem, v katerem so možne različne kombinacije ostalih omenjenih sistemov. Najbolj pogosto se uporablja kombinacija črpalke več linijskega sistema in progresivnih razvodnikov (Grilj, 2005).

Perma Tec mazalni sistemi:

Perma Tec je nemško podjetje, ki se ukvarja z razvijanjem in proizvodnjem eno ali več točkovnih mazalnih sistemov. Njihove proizvode lahko najdemo v vseh vrstah industrije po svetu.

Mazalni sistemi se po zasnovi in funkciji delijo na:

- eno točkovni sistemi (elektro kemijski pogon za mazanje z oljem in mastjo),
- eno točkovni sistemi (elektro mehanski pogon za mazanje z oljem in mastjo),
- več točkovni sistemi (elektro mehanski pogon za mazanje z mastjo ter elektro mehanski pogon za mazanje z oljem).

Masti so dan danes zaradi svojih dodatkov vedno boljše. Ker s kakovostjo naraste tudi cena, je ekonomično potrošiti toliko masti, kolikor je ležaji potrebujejo. Kadar nekontrolirano mažemo ležaje, potrošimo veliko preveč masti, in ker podjetja želijo prihraniti, uporabljajo manj kakovostna in cenejša maziva.

Mazanje je seveda priporočljivo sistematsko avtomatizirati. Zgoraj omenjeni mazalni sistemi nam delo precej olajšajo in poraba masti je občutno manjša. Na osnovi enačbe o količini mazivnega sredstva, se je razvil program PERMA SELECT (Perma-tec Gmbh & Co. KG), s katerim lahko z nekaj osnovnimi podatki hitro določimo količino masti. Poleg tega program navede oziroma priporoča tudi ustrezni mazalni sistem (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).

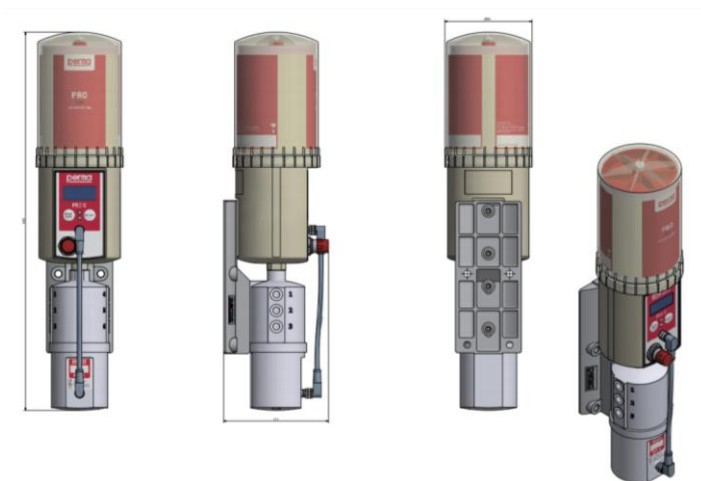
Mazalni sistem PERMA PRO C MP-6, ki ga je razvilo podjetje Perma Tec v tesnem sodelovanju s podjetjem Bosch Rexroth, je naprava, ki natančno zagotavlja mazanje do vseh 6

mazalnih mest, ki so na voljo. Poljubno se lahko nastavlja tudi količina maziva za vsak vod posebej. V primeru, da ne potrebujemo vseh vodov, je možno s programsko opremo določene vode tudi izključiti. Ko deluje stroj, deluje tudi naprava mazalnega sistema. Napajanje dobi preko vmesnika stroja (15–30 V/120 mA). Za posamezni odjem naprava ustvari maksimalno 25 barov tlaka, vgrajuje se tam, kjer so temperature od –20 do 60 °C. Naprava dozira zaporedno in posamično za vsak vod, v primeru, da se vod zamaši, nam sistem javi napako in številko zamašenega voda. V takšnem primeru odstranimo cev in vod očistimo z ročno tlačilko. Velikost kartuše lahko izbiramo med 250 ali 500 cm³. Na voljo imamo tudi druge vrste naprav, na primer baterijsko (PRO LINE MP6), ki deluje neodvisno od stroja, ter standardne ostale eno točkovne mazalne naprave (PERMA CLASSIC, PERMA FLEX, PERMA NOVA ...).



Slika 7: PERMA PRO C MP6

Vir: (<https://www.perma-tec.com/de/>)



Slika 8: Shema mazalnega sistema PRO

Vir: (<https://www.perma-tec.com/de/>)

3.2 Izbira in vrste maziv

Primarna funkcija vsakega maziva je preprečiti dotik kovine na kovino na drsni površini v primeru kotaljenja ali drsenja. Ko izbiramo ustrezno mazivno sredstvo nam morajo biti znani določeni pogoji in principi, da glede na situacijo izberemo pravilno mazivo (Chastain, 2009).

Dandanes je na voljo že ogromno vrst maziv z različnimi lastnostmi. Izmed teh moramo izbrati takšno, ki bo sposobno vzpostaviti in obdržati mazalni sloj med površinami, ki drsijo, tudi ko sta povišana pritisk in temperatura. Izbira maziva ni odvisna le od lastnosti, ki jih ima, ampak tudi od vrste stroja, okoliščin obratovanja, velikosti in gradiva ležaja, vrste trenja, obremenitve, hitrosti in temperature. S pravilnim mazanjem in nasploh s pravilno izbiro maziva povečamo življenjsko dobo strojev (Janežič, 1999).

Naslednje vrste maziv razlikujemo glede na izvor:

- Mineralna olja (največkrat se uporabljajo v tehniki kot maziva). Pridobljena so z destilacijo nafte oziroma surovega zemeljskega olja, vendar ker gre za destilate, je zraven tega nujno potrebna tudi rafinacija. Rafinati so trajnejši, hkrati tudi dražji, vendar omogočajo izjemno mazalnost v primeru, da se z rafiniranjem ne pretirava.
- Rastlinska in živalska olja (med te uvrščamo ricinovo, repično ter kostno olje). Njihova glavna lastnost je, da so izjemno mastna olja in se zaradi tega bolje mažejo od prej navedenih mineralnih olj. Rado se zgodi, da se med samo uporabo razkrojijo in zasmolijo, zato je njihova uporaba le občasna.
- Maščena ali kompaundirana olja (gre za mešanico rastlinskih, živalskih ter mineralnih olj). Mazalnost teh olj je precej dobra, vendar se postarajo veliko prej kot mineralna olja.
- Mineralna olja z dodatki – aditivi (ta olja so pokazatelji boljših lastnosti kot mineralna olja). Aditivi v teh oljih imajo nalogo, da izboljšajo mazalnost ter viskoznost, kar preprečuje korozijo, oksidacijo, rjavenje, penjenje ter detergentno učinkovitost in mazanje pri višjih tlakih.
- Sintetična olja (silikoni in podobno). Zaradi svojih edinstvenih lastnosti se vedno več pojavljajo v sodobni tehnologiji.
- Masti za kotalne ležaje in stroje (so zmesi mineralnega olja in mila, razlikujejo se po natrijevi in litijevi masti). V posebnih primerih se izdelujejo tudi masti na osnovi aluminijevega mila, prednost natrijevih masti je ta, da je narejena z emulzijo vode in tako zdrži visoke temperature (Kraut, 2017).

Glede na obratovalne razmere moramo za stroj oziroma mazalno napravo uporabiti točno določeno mast. Izberemo jo lahko po tabeli Perma Tec, Perma Tec programu ali tudi poljubno tako, da nam proizvajalec omogoča polnjenje kartuš z želenim mazivom (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).

Perma Code Description	NLGI-class	Thickener	Base oil	Operating temperature range (°C)	Viscosity at +40 °C							
Grease												
SF01 Multipurpose grease	2	Li / Ca	Mineral oil	-30 to +130	220	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
PSF721 Multipurpose blue grease	2	Li / Ca	Mineral oil	-30 to +130	220	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
PSF724 Multipurpose red grease	2	Li / Ca	Mineral oil	-30 to +130	220	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
SF02 Extreme pressure grease	2	Li + MoS ₂	Mineral oil	-30 to +120	105	-	✓	-	✓	-	-	-
SF10 Food grade grease	1	Al-Com,	PAO	-45 to +120	150	✓	✓	✓	✓	-	-	-
Oil												
S014 High temperature chain oil	Oil	-	PAO + Ester	-20 to +250	320	-	-	-	-	-	-	✓
S032 Multipurpose oil	Oil	-	Mineral oil	-5 to +100	100	-	✓	-	✓	✓	-	✓
S070 Food grade oil	Oil	-	PAO + Ester	-30 to +120	220	-	✓	-	✓	✓	-	✓

Slika 9: Izbira maziv za različne aplikacije

Vir: (<https://www.perma-tec.com/de/>)

3.3 Skladiščenje maziv

Tako kot je pomembno skladiščenje ležajev v idealnih pogojih, to enako velja za maziva. Pogoj za skladiščenje je zaprt prostor, v katerem je embalaža, ki je ustrezno prvotno zaprta. Če ti pogoji ustrezajo, za maziva velja, da se lahko skladiščijo do 3 leta, brez da bi izgubili karakteristike in zmogljivosti. Običajno so masti zmesi olja, trdilcev in aditivov, zato je takšna tekstura v meta stabilnem stanju. Med skladiščenjem se lahko zgodi, da lahko zaradi kemično-fizikalnih karakteristik in procesov spremenijo svoje lastnosti in se ne morejo več uporabljati tako kot v prvotnem stanju. V primeru, da se embalaža odpre in se skladišči dalj časa, je potrebno ob morebitni ponovni uporabi odstraniti prvi sloj maziva in preveriti, ali je mazivo, ki se nahaja pod tem slojem, še vedno primerno za nadaljnjo uporabo. V takšnem primeru se lahko obrnemo na proizvajalca maziv, ki nam s tehnično podporo zagotavlja brezhibno nadaljnjo uporabo mazivnega sredstva. Zraven tega, da mora biti mazivo shranjeno v temnem zaprtem prostoru, mora izpolnjevati tudi naslednje pogoje: prostor mora imeti najmanj 5 °C, izjemoma se lahko spusti na 2 °C, ampak samo v časovnem obdobju 12 ur, maksimalna temperatura ne

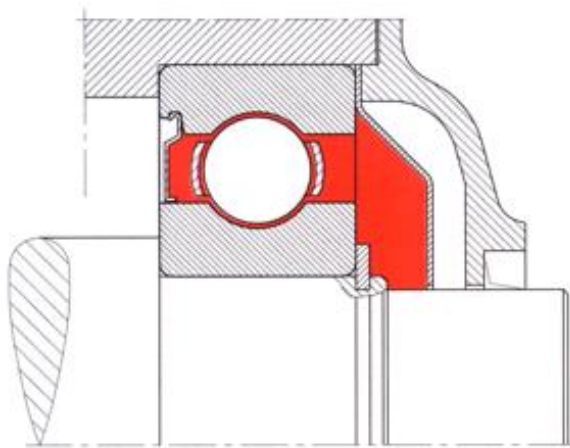
sme presegati 40 °C in relativna vlažnost v prostoru ne sme presegati 65 %, izjemoma 70 % ampak v največ 12 urah. Pomembno je tudi to, da se temperatura in vlažnost spremljata konstantno (Schaeffler Technologies, 2013).

4 DOVAJANJE MAZALNEGA SREDSTVA V LEŽAJ MED OBRATOVANJEM

Količina mazalnega sredstva, ki je zahtevana za dovajanje v kotalni ležaj, je nenavadno majhna. Zaradi obratovalne sposobnosti ležaja oziroma njegove nosilnosti to količino v praksi ocenimo kot malenkost višjo vrednost kot običajno. Vendar prevelika količina mazalnega sredstva, ki se dovaja v ležaj, ni priporočljiva, saj lahko tvegamo morebitne poškodbe ležaja. To običajno nastane zaradi tega, ker se višek masti, olja ali katerega drugega sredstva zadrži v ležaju oziroma ohišju in ne steče ven čez za to predvidena mesta. Kar sledi, je lahko oslabitev ali uničenje ležaja. Splošno gledano je ustrezna oskrba zagotovljena z naslednjimi koraki:

- izbira ustrezne količine mazalnega sredstva in načina, s katerim bomo sredstvo dovajali,
- pozorni moramo biti na življenjsko dobo mazalnega sredstva,
- dodajanje primernih aditivov ali kompletna zamenjava mazalnega sredstva,
- ciljno zasnovana pozicija ležaja,
- pravilna postavitev mazalnega nastavka,
- izbira potrebnih naprav in metod.

Zaloga mazivnega sredstva se običajno ustvarja s pravilno obliko stranskih pokrovov na ležajnem mestu. To nam da vedeti, da se mast ali olje nahajata na strani ležaja in ne neposredno v njem. Med obratovanjem nastanejo visoke temperature, pri katerih se mazivno sredstvo, v našem primeru mast, izloča v obliki olja, kar pomeni, da se ležaj maže trajno in ustrezno (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).



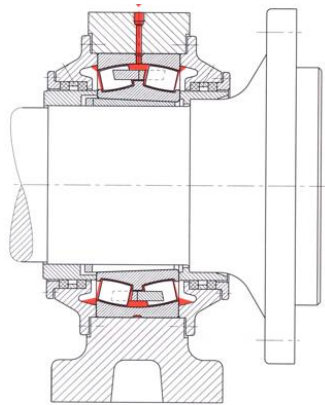
Slika 10: Stransko mazanje ležaja

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

4.1 Dovajanje masti v ležaj

Pravilno dovajanje se vrši preko mazalnega utora ter skozi odprtine za mazanje, ki so izvrtane v zunanjem obroču ležaja. Masti lahko dovajamo v ležaj na več načinov.

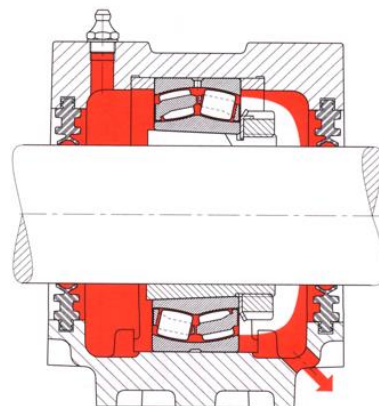
Simetrični način dovajanja zagotovi enakomerno mazanje ležajev, predvsem dvorednih. Hkrati moramo zagotoviti tudi izhodno mesto, skozi katerega se bo odvajalo odvečno mazivno sredstvo iz ležaja. V nasprotnem primeru lahko pride do že prej omenjene poškodbe ležaja (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).



Slika 11: Simetrični način mazanja

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

Za način mazanja z ene strani se največkrat uporabljajo sferični oziroma sodčkasti ležaji. Dovaja se tako, da na eni strani mast vstopa, medtem ko diagonalno na drugi strani izstopa. S tem dosežemo to, da ležaj dobi svežo mast ter se hkrati tudi čisti. Izvrtina, ki je namenjena izstopu masti, je torej diagonalno postavljena proti vstopu, s tem se doseže preprečitev kopičenja starega mazivnega sredstva v ležajnem ohišju (prav tam).

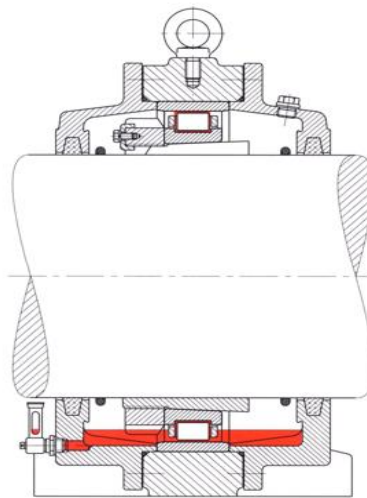


Slika 12: Način mazanja z ene strani

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

4.2 Dovajanje olja v ležaj

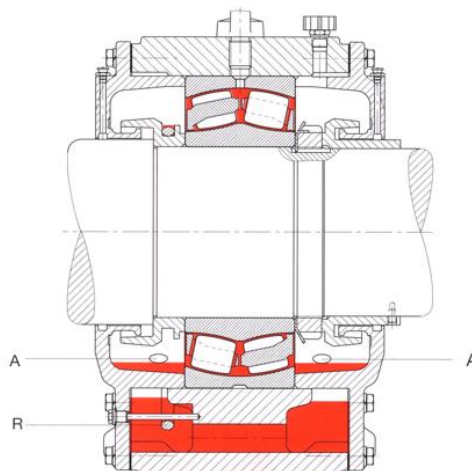
Pri mazanju z oljem večinoma uporabljamo oljne kopeli. Gre za najenostavnejšo obliko mazanja z oljem, pri katerem je ležaj delno potopljen v olju. Najbolj primerno je za ležaje, ki dosegajo majhne vrtilne hitrosti, takrat, ko je ležaj v stacionarnem oziroma mirujočem stanju, mora biti potopljen pod sredino kotalnega elementa. Če tega ne upoštevamo, običajno pride do povišane temperature in penjenja olja. Samo mazanje poteka tako, da ko se kotalni element vrti, zraven s seboj povleče olje tako, da se porazdeli po ležaju, nato steče nazaj v kopel.



Slika 13: Oljna kopel

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

Mazanje z mazalnim obročem se uporablja pri oljni kopeli in služi za doziranje mazivnega sredstva na zgornja mesta vležajanj. Poteka tako, da mazalni obroč olje zajame ter ga pri vrtenju prenaša navzgor. S tem dosežemo, da se olje porazdeli po celotni kotalni površini in po ležaju.



Slika 14: Mazanje z mazalnim obročem

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

Obtočno mazanje se največkrat uporablja pri mazanju kotalnih ležajev ter ležajev s poševnim kotom dotika, hkrati ima konično valjni ležaj tudi črpalni učinek. Uporablja se tudi pri velikih vrtilnih hitrostih in visokih temperaturah med obratovanjem. Mazanje poteka tako, da oljna črpalka dovede olje do mesta v ležaju preko sistemskih cevi, pri katerem se zraven mazanja opravi tudi funkcija hlajenja. To pomeni, da se olje pri višji temperaturi vrne nazaj v zbirno posodo, se ohladi in nato vrne nazaj v sistem preko filtra v ležaj. Okvirni volumenski pretoki olja so navedeni v spodnji tabeli (Ren & Glodež, 2011).

Zunanji premer ležaja D [mm]	30	50	100	200	500	1000
Najmanjši potreben pretok za mazanje Q_m [dm ³ /min]	0,001	0,003	0,01	0,05	0,3	0,5
Največji dovoljeni pretok za hlajenje Q_h [dm ³ /min]	0,003	0,07	0,3	1	7	12

Slika 15: Pretok mazanja

Vir: (Ren in Glodež, 2011)

Mazanje z oljno meglo uporabljamo takrat, ko se pri kotalnih ležajih vršijo visoke vrtilne hitrosti. Olje se dovaja v ležaj v obliki oljne meglice z najmanjšo količino oljnega sredstva, ki je potrebna za zagotovitev zveze ter nosilnosti mazalnega filma. S tem dosežemo tudi majhno trenje na kotalni površini ter nizko temperaturo ležaja. Dovod olja poteka preko cevovoda s pomočjo stisnjenega zraka, kjer namenska naprava v določenem časovnem intervalu vbrizga ustrezno količino olja, nato ga šoba tik pred ležajnim mestom razprši v kotalni element. Zraven tega se ležaj tudi hladi, kar je posledica zračnega toka, medtem ko nadtlak preprečuje, da bi umazanija začela vdirati v ležaj (Ren & Glodež, 2011).

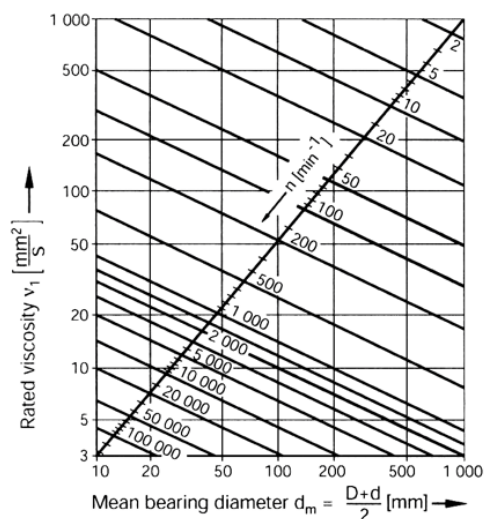
5 VISKOZNOST

Viskoznost je lastnost tekočin, pol tekočin in poltrdih snovi, ki povzročajo tekočinsko trenje. Tehnično gledano je viskoznost definirana kot razmerje med strižno napetostjo tekočega elementa ter strižno hitrostjo. Ko se temperatura dvigne, mazivna sredstva običajno postanejo tanjša ali manj viskozna. V nasprotnem primeru, ko se temperatura spusti oziroma zniža, mazivo postane debelejša ter bolj viskozna. Viskoznost ima pri mazivih zmožnost tega, da lahko ločuje premikajoče se delce na delovni temperaturi v stroju, napravi ali v ohišju. Optimalno gledano si želimo imeti mazivno sredstvo, ki je v osnovi tanjše ter dovolj viskozno, da lahko ločuje kovinske delce med obratovanjem. Ampak to za vse primere ne velja, saj bolj kot je mazivno sredstvo viskozno, več moči zahteva, da se iz masti začne izločati olje.

Če je viskoznost izjemno velika, lahko vročina, ki nastane med obratovanjem, popolnoma uniči mazivno sredstvo, kar pomeni, da stroja oziroma naprave več ne mažemo učinkovito. Torej, idealna viskoznost v mazivih je nizka, kar pomeni, da se lahko oljni film med kotalno površino in kotalnimi elementi ustvari optimalno. Nizke temperature, nizke obremenitve in velike hitrosti po navadi zahtevajo tanjšo, lažjo in nižjo viskoznost, medtem ko visoke temperature, velike obremenitve in nizke vrtilne hitrosti zahtevajo debelejši sloj mazalnega filma, težjo in večjo viskoznost mazalnega sredstva. Indeks viskoznosti je merilo vrednosti, pri katerem se viskoznost maziva spremeni glede na temperaturno spremembo. Večji kot je indeks viskoznosti, bolj se mazivo upira, da se stanjša pri dvigu temperature. Viskoznost z večjim indeksom je bolj zaželena, če delovne temperature stroja variirajo. Medtem ko na drugi strani, če je delovna temperatura stroja konstantna, indeks viskoznosti ne igra velikega faktorja pri izbiri mazivnega sredstva (Chastain, 2009).

5.1 *Nominalna vrednost viskoznosti*

V_1 je faktor nominalne vrednosti viskoznosti, kar pomeni, da je odvisna od same velikosti ležaja. Pri tem upoštevamo srednji premer d_m , ki ga dobimo iz seštevka zunanega in notranjega premera ležaja, deljeno z $\frac{1}{2}$. Hkrati moramo določiti tudi linijo vrtilne hitrosti, da dobimo rezultate v dani kinematiki. Konkretno v našem primeru, ki sledi v nadaljevanju, imamo sodčkasti ležaj zunanega premera 440 mm ter notranjega premera 240 mm. Prikazan je tudi izpis iz programa, pri katerem je mogoče videti, kako lahko tudi viskoznost vpliva na življenjsko dobo ležaja (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).



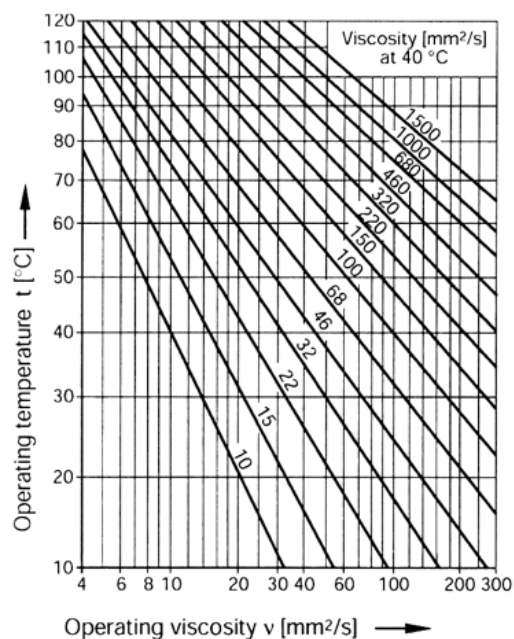
Slika 16: Nominalna vrednost viskoznosti

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

5.2 Obratovalna viskoznost

Določitev obratovalne viskoznosti poteka tako, da izberemo temperaturo obratovanja, pri kateri ima izbrano mazivno sredstvo osnovno viskoznost pri 40 °C (ISO VG razred viskoznosti) ter tako dobimo v = viskoznost pri temperaturi obratovanja. Pri tem je v tabeli faktor viskoznosti baznega ali mazalnega olja oziroma drugih maziv (masti) podan pri obratovalni temperaturi.

Izjemno pomemben je tudi količnik viskoznosti $\kappa = v/v_1$, ki je merilo za razvoj mazalnega filma med tekalnimi in stičnimi površinami. Pri tem velja, da je v = kinematska viskoznost maziva pri delovni temperaturi, v_1 = referenca viskoznosti maziva. Če je količnik viskoznosti majhen, so aditivi kot sredstvo za zgoščevanje edini, ki pripomorejo k učinkovitemu mazanju (Schaeffler Technologies, 2013).

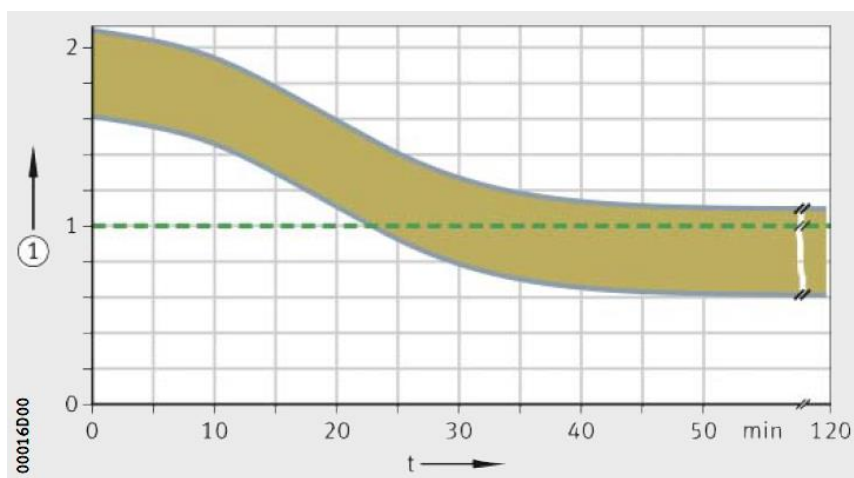


Slika 17: Obratovalna viskoznost

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

5.3 Debelina mazalnega filma

Učinek zgoščevanja masti je popolnoma jasen takrat, ko se debelina mazalnega filma izmeri med obratovanjem. Na začetku oziroma na zagonu, ko ležaj začne teči, se začne ustvarjati po tekalni površini mazalni film, kar pomeni, da mast v primerjavi z oljem daje večje kot teoretično možno bazo. Kot rezultat tega kotalni ležaji, mazani z mastjo, delujejo na daljši rok. Kakršnekoli spremembe ali zamenjave masti lahko hitro spremenijo debelino mazalnega filma. Spodaj priložena tabela prikazuje razmerje med mazalnim filmom masti ter olja.



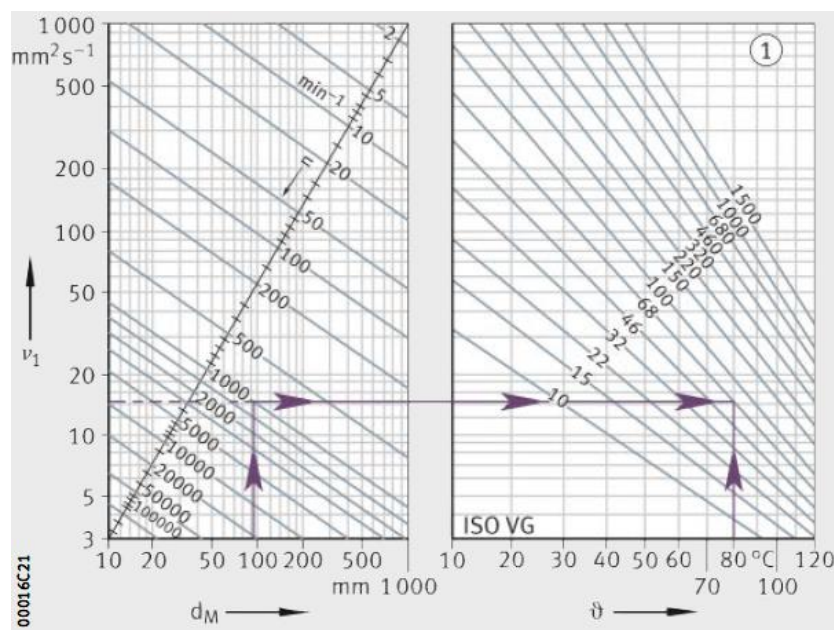
Slika 18: Debelina mazalnega filma

Vir: (Schaeffler Technologies, 2013)

Tako imenovano stradanje mazivnega sredstva se dogaja takrat, ko je dovajanje maziva pod predpisano vrednostjo. Poteka tako, da pri velikih obratovalnih frekvencah pride do dovajanja masti v ležaj, kar pomeni, da se na kotalni površini nahaja manj mazivnega sredstva. Kot rezultat tega je debelina mazalnega filma manjša od teoretične povprečne vrednosti. Ampak tudi če pride do takšne situacije, lahko zaradi tega, ker je mazalno sredstvo mast, dosežemo to, da ležaj obratuje v takšnih pogojih tudi na dolgi rok, kar seveda ni priporočljivo (Schaeffler Technologies, 2013).

5.4 Vpliv temperature in tlaka na viskoznost

Kot smo že povedali, se viskoznost spreminja glede na dvig ali padec temperatur. Zraven tega je zelo pomembna tudi že zgoraj omenjena nominalna vrednost pri normalni delovni temperaturi. V primeru, da ne poznamo obratovalne delovne temperature, se lahko zanesemo na diagram, priložen spodaj.



Slika 19: Sprememba viskoznosti

Vir: (Schaeffler Technologies, 2013)

Hkrati lahko to tudi zanemarimo, a le v primeru, če imamo dovolj izkušenj in znanja iz prakse.

Zraven temperature je pomemben tudi tlak, saj se z višanjem ali nižanjem spreminja tudi viskoznost maziva. Pod vplivom velikih obremenitev je tlak definiran kot vrednost v kotalni površini nekje približno Hz do 40.000 bara, medtem ko je v vstopni coni nekje približno 7000 bara. V primeru, da ne upoštevamo vpliva temperature in vpliva tlaka na viskoznost, jo lahko ocenimo s pomočjo enačbe v mazalni reži.

Enačba:

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha p}$$

Pri čemer je:

- η = dinamična viskoznost pod tlakom mPa · s,
- η_0 = dinamična viskoznost pri normalnem tlaku, $e = 2,7182$ (Eulerjeva številka),
- α = koeficient tlaka / viskoznosti na tekočino m²/N,
- p = tlak N/m² (Schaeffler Technologies, 2013).

5.5 Aditivi

Aditivi so snovi kemijskega izvora, ki se v majhni količini dodajo k olju, da se izboljšajo ali ohranijo njihove lastnosti. Že od nekdaj se je dodajalo žveplo kot aditiv za izboljšanje in povečanje odpornosti na različne obremenitve. Za tem so začeli dodajati tudi fosfor, ker je vseboval oksidante, in nato še svinec. V 30. letu prejšnjega stoletja so začeli uporabljati tudi sintetična sredstva za izboljšavo tečenja, kmalu zatem še detergente, katerih funkcija je bila zmanjšati onesnaževanje v okolju.

Kaj želimo povečati z aditivi?

Z njimi želimo povečati viskoznost oziroma trdnost maziv, odpornost na temperaturne šoke, stabilnost pri oksidaciji, korozijsko odpornost in hkrati zaščito, zaščito proti naravnemu staranju ter odpornost na visoke tlake.

Torej, aditivi nam pomagajo izboljšati lastnosti maziva, vendar hkrati niso sposobni pomagati, da bi preprečili hlapljivost, ki se dogaja pri mazivih, parafinsko kristalizacijo ter preprečitev dielektričnih karakteristik. Antioksidanti spadajo med najbolj znana aditivna sredstva, saj so na bazi dušika, fenola ter drugih snovi. Točne vsebovane vrednosti nam žal niso na voljo, saj so izjemno varovane skrivnosti velikih proizvajalcev naftne industrije (Grilj, 2005).

Mast kot mazivno sredstvo je sestavljena iz baznega olja, trdilca ter aditivov. Običajno masti vsebujejo okoli 50–90 % baznega olja, v kombinaciji s 3–45 % trdilca ter 2–8 % aditivov. Aditivi se dodajajo glede na zahtevnost aplikacije, v katerem bo ležaj obratoval. Za zahtevne aplikacije je vsebnost aditivov v masti približno 4 %, izbere se glede na ekstremne tlake med obratovanjem (2 %), vpliva kot sredstvo proti obrabi (1 %), proti koroziji (0,6 %), oksidaciji (0,25 %) ter kot kovinski deaktivator (0,15) (Brown, 2015).

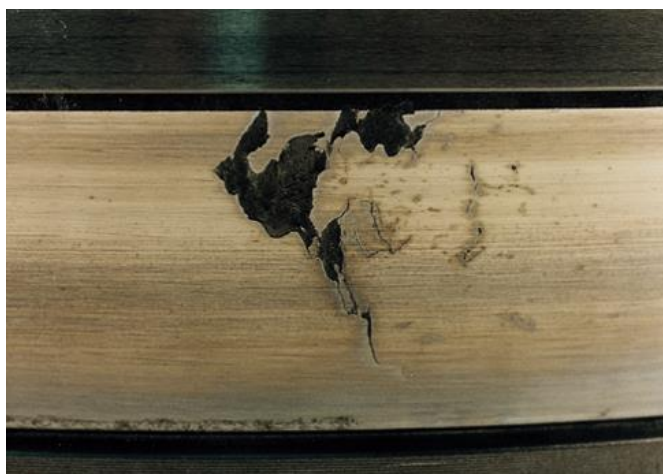
6 POŠKODBE LEŽAJEV IN PREVENTIVNO UGOTAVLJANJE KONDICIJE LEŽAJEV

6.1 Poškodbe ležajev

Pogosto se v težki industriji srečujemo s problemi, ki nastanejo zaradi poškodb ključnih delov stroja, v našem primeru ležajev. Ker so dandanes le te zelo pogoste, jih bomo podrobneje predstavili v diplomskem delu. Vzroki za nastanek poškodb so različni in v veliki meri vplivajo na življenjsko dobo ležaja. Da se izognemo morebitnim poškodbam, moramo vzroke le teh kar se da hitro ugotoviti in jih tudi odpraviti. Vzroki, zaradi katerih nastane poškodba na kotalnem elementu, so odvisni predvsem od pravilnega servisiranja, preobremenitev, neustreznega mazanja, vdora različnih tujkov ter neustrezne montaže oziroma konstrukcije ležaja itd.

6.1.1 Utrujenost materiala

Ena izmed relativno pogostih poškodb je utrujenost materiala, ki nastane zaradi razpoke na tekalni površini. Vse se začne z odkrušitvijo oksida (trdi delec) na površini, kjer se kotalijo valjčki ali kroglice ležaja. Med obratovanjem se lahko razvije večja poškodba, kar je posledica vpliva tlaka olja v točki dotika (pHz). Hkrati je tudi izjemno pomemben dejavnik ustrezna geometrija, saj lahko pri večjih obremenitvah pride do nesoosnosti.



Slika 20: Utrujenost materiala

Vir: (lasten)

6.1.2 Prednapetje zaradi geometrijske napake

Kot smo zgoraj že omenili, je geometrija konstrukcije izjemno pomemben faktor, saj se pri obratovanju pojavljajo velike napetosti na notranji površini, kar vodi do tega, da se osnovni material iztrga na tekalni površini kotalnega elementa. Vzrok za nastanek teh poškodb se nahaja v upogibu osovine, posledično zaradi velikih sil v radialni smeri ter konstrukcijske napake pri izdelovanju sedežev ležaja.



Slika 21: Geometrijska napaka

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.3 Kontaminacija ali vdor tujkov

Do kontaminacije prihaja običajno pri ležajih, ki niso tesnjeni z gumo ali zaprti s pločevino. To pomeni, da imajo tujki prosto pot do ležaja, po navadi so to abrazivni fini prahi. V nasprotnem primeru so kontaminanti lahko tudi v večji obliki, kar pomeni, da se zadrejo v kletko ležaja, ki je iz mehkejšega materiala. Kar je izjemno pomembno, je tudi to, da se morajo ležaji vzdrževati in pregledovati redno.



Slika 22: Kontaminacija

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.4 Jedkanje ali korozija

Korozija je eden izmed najbolj pogostih vzrokov za nastanek poškodbe ležajev, saj so ležaji mnogokrat izpostavljeni različnim okoljskim vplivom bodisi vlagi bodisi vodi. Poškodba nastane tako, da pri takšni izpostavljenosti, med obratovanjem ali v mirujočem stanju, sčasoma nastanejo madeži, kar pomeni skoraj zagotovo korozijo. Madeži se največkrat pojavijo v spodnjem delu med kotalno površino ter kotalnimi elementi, kjer je cona brez zračnosti. Spodaj priložena slika prikazuje nastanek madežev, kar pomeni začetek načenjanja površine, ter na drugi sliki popolnoma razjeden ležaj kot posledica dolgoročne izpostavljenosti vodi ali vlagi. Različni proizvajalci stremijo k temu, da bi izboljšali material za preprečitev nastanka korozije, ampak kot vemo, je nerjaveče jeklo neprimerno za uporabo pri večjih obremenitvah zaradi mehkosti samega materiala.



Slika 23: Korozija

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.5 Neustrezno mazanje

Kot že skozi celotno diplomsko delo navajamo, da so bistvenega pomena ustrezno mazanje, ustrežna izbira mazivnega sredstva ter seveda tudi količina, ki se dovaja v ležaj, saj je v nasprotnem primeru posledica neupoštevanja tega poškodba ležajev. Problem nastane takrat, če se v ležaj ne dovede količinsko dovolj masti ali olja ali v splošnem neustrezno mazivno sredstvo, takrat se zgodi, da se mazalni film ne uspe začeti tvoriti, kar vodi do kontakta jeklo – jeklo. To imenujemo mikro zvar. Posledica tega so dvig temperature ter termična poškodba kotalne površine in popolna blokada valjčkov. Če le ti zablokirajo, se izgubi njihov prvotni položaj ter posledično poškodujejo kleto. Spodnja slika prikazuje poškodbo pri popolni blokadi valjčkov ter prekinitvev oljnega stika.



Slika 24: Neustrezno mazanje

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.6 Poškodbe kletke

Poškodbe kletk se zgodijo zaradi že zgoraj omenjene blokade valjčkov, vendar to ni edini vzrok. Kot vemo, je človeška roka kljub avtomatizaciji še vedno prisotna skoraj povsod. Zaradi tega je eden izmed vzrokov napaka pri montaži ležajev, ki jih vršijo po navadi vzdrževalci, ali napaka pri neustreznem servisiranju. Skoraj vsi se poslužujejo montaže s kladivom, kar je neustrezno. Pri montaži oziroma demontaži lahko pride tudi padca ležaja na tla, kar pomeni skoraj zagotovo deformacijo kletke. Takšnega ležaja ne smemo oziroma ga ni priporočljivo montirati v ohišje.



Slika 25: Poškodbe kletke

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.7 Poškodbe neustrezne montaže ter prednapetega teka

Velikokrat se pri montaži uporablja prevelika sila, udarci, ki so nekontrolirani, ali sestavni deli notranjega obroča z valjčki na osovini zunanjega obroča, ki so bili že montirani v dano ohišje (to velja predvsem za konično valjčne ležaje). Skozi čas obratovanja se te poškodbe pričenjajo razvijati in sčasoma pride do poškodbe na lokalnem mestu, kar vodi v nadaljnji razvoj ter

krajšanje življenjske dobe ležaja. Prav tako zaradi upogiba osovine pride do nepravilne poti valjčkov ali kroglic, zlasti pri ležajih s prilagodljivim kotom dotika, kar je v večini primerov posledica nepravilne obdelave sedežev ležaja ter strojne izdelave.



Slika 26: Poškodba neustrezne montaže

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.8 Površinsko luščenje

Luščenje materiala je poškodba ležajev, ki se pojavlja v skoraj vseh primerih. Vzrok za to se nahaja v luščenju mikroskopskih delcev kotalne površine, ki se začne pojavljati zaradi neustrezne debeline mazalnega filma ob malih vrtljajih, visokih obremenitvah ter izjemno povišani temperaturi med obratovanjem. Mikro poškodbe spadajo med tiste, ki so prostim očem nevidne, ampak izjemno vplivajo na kakovost kotalne površine, saj se iz njih začnejo razvijati razpoke, ki postopoma začnejo načenjati tekalno površino.



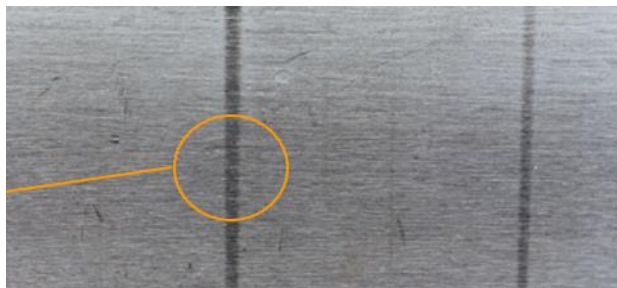
Slika 27: Površinsko luščenje

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.9 Poškodbe zaradi vibracij

Vibracije so nihanja, ki so prisotna vsepovsod v industriji. Tako tudi vibracija vpliva na delovanje ležajev ter njihovo kondicijo. Običajno se vibracije prenašajo preko stroja na ležaj,

kar pomeni, da zaradi aksialnega premikanja notranjega dela proti zunanjemu delu ležaja povzroča trenje, ki se odraža kot poškodba sunka ali udarca na ležaj.



Slika 28: Poškodbe zaradi vibracij

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.10 Poškodbe ležajev zaradi električnega toka

Poškodba, ki je posledica električnega toka, je podobna površini, ki je bila izpostavljena enosmerni napetosti oziroma elektrolizi. Ob dotiku električnega toka med mirovanjem nastanejo brazgotine, ki se kažejo kot manjša ožganina na površini. Te poškodbe imenujemo brazdanje, saj se poškodbe razvijajo v aksialni smeri.



Slika 29: Poškodbe zaradi električnega toka

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.1.11 Poškodbe zaradi prevelikega prednapetja, preobremenitve ter nepravilne zračnosti

Če se v ležaju valjčki zaklinijo v kletki, pomeni, da je poškodba nastala zaradi prevelike radialne zračnosti. Odvisna je od tega, kako pri montaži nastavljamo radialno zračnost. Če je v kotalnem elementu prevelika prednapetost, lahko pride do iztrganin, ki so globoke in hitre v kotalni površini, hkrati lahko ob preveliki obremenitvi povzroča poškodbo tudi prevelika delovna temperatura ter neustrezna debelina mazalnega oljnega filma (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).



Slika 30: Preveliko prednapetje

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

6.2 Preventivno vzdrževanje

V izogib poškodbam ležajev moramo le te pravilno vzdrževati. Pomembno je, da poznamo vse potrebne ukrepe za preprečitev nastanka morebitnih poškodb ležajev med obratovanjem.

Da ležaj zaščitimo pred škodljivimi zunanjimi vplivi in obratovanjem, proizvajalci razvijajo različne zaščite in prevleke za kovine. Pod standardne zaščite ležajev spadajo tesnila, ki preprečujejo vdor tujkov v ležaj, ter kovinska zaščita, ki ima enako funkcijo kot gumijasta tesnila, vendar ta ne omogočajo tesnjenja v primeru vdora tekočin.

Glede na to, da poznamo več vrst različnih zaščitnih prevlek, se le te največkrat uporabljajo. Uporabljamo jih v naslednjih primerih:

- proti korozijski zaščita ter preventivno preprečevanje nastanka korozije,
- za zmanjšanje obrabe, zlasti pri mešanem trenju,
- za izboljšanje trenja ter obnašanja poškodb zaradi zdrsov,
- za izolacijo preprečitve prehoda tokov.

Za najbolj učinkovito preprečevanje korozije bi izbrali premazni sistem Corrotect® A in N, s katerim lahko proizvajalec nanese zaščitni premaz na ležaje. Sama sestava premaza je zgrajena iz cinka in železa, zlitina je srebrne barve, prelivnega videza ter se nanaša z debelino med 2 μ in 5 μ . Testirani so s testom v slani vodi po DIN – u EN ISO 9227 ter tako zdržijo do 92 ur brez pojava začetne korozije.



Slika 31: Nastanek korozije

Vir: (Schaeffler Technologies, 2013)

V primeru poškodovanega ležaja, ki ga v diplomskem delu predstavljamo, bi lahko kot preventivo za preprečitev nastanka poškodbe luščenja kotalne površine uporabili tudi SPM metodo (Shock Pulse Measurement), ki jo je razvilo švedsko podjetje SPM INSTRUMENTS. Prenosni merilnik kondicije ležajev Bearing Checker je uveljavljeno orodje za enostavno ocenitev stanja namazanosti ter možnosti zaznave začetka razvoja poškodb. Naprava deluje tako, da vanjo vstavimo osnovne zahtevane podatke, kot so notranji premer ležaja ter število vrtljajev na minuto. S temi podatki si naprava izračuna maksimalno vrednost, kjer bo ležaj oddajal vibracije. Takrat je naprava pripravljena za izvajanje meritev, ki poteka tako, da se izbere točka na ohišju čim bližje coni obremenitve in ležaja. Ko začnemo z meritvijo, naprava na podlagi impulznega valovanja meri udarne impulze ležaja na 32 Hz ter nam tako poda več možnih rezultatov, kaj se z ležajem dogaja. Naprava nam poda osnovni podatek vitalnosti, kar je označeno z zeleno (v redu), z rumeno (stanje je poslabšano) ter rdečo barvo (stanje je alarmantno). Hkrati nam tudi poda rezultate od 1–6, ki se odčitajo v tabeli.



Slika 32: Naprava za merjenje stanja ležajev

Vir: (<https://www.spminstrument.com/>)

Kot navajamo skozi diplomsko nalogo, je mazanje ključnega pomena za učinkovito delovanje stroja oziroma naprave. Zato je priporočljivo, da vzdrževalci strojev beležijo svoje obhode ter preglede. Perma Tec je omogočil tako imenovani plan mazanja, ki je viden na spodnji sliki. Iz tabele je popolnoma jasno razvidno, kdaj so se določene točke mazale, kdo je sistem vzdrževal, kakšna mast se je uporabila za vzdrževanje ter lokacije točk.

Lubrication / Maintenance Plan - page 1

Print

Location	Qty.	Lubrication System	I.C. unit	Lubricant Code	Minimum number of runs	Last Exchange	Exchange dates												Remarks												
Quantity (litres) and/or other units as needed	Qty.	Unit			1	2	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
																	</														

Slika 33: Časovna tabela mazanja

Vir: (<https://www.perma-tec.com/en/>)

7 PRAKTIČNI PRIMER IZBIRE MAZIVA IN ANALIZA POŠKODBE

V našem praktičnem primeru imamo opravka s sodčkastim ležajem, zato ga bomo podrobneje obravnavali. Kot smo zgoraj omenili je standardiziran po SIST ISO 15:2015. So kotno gibljivi in posledično popolnoma neobčutljivi na kotno odstopanje gredi, podobno kot prilagodljivi kroglični ležaji. V primerjavi z njimi imajo sodčkasti ležaji veliko višjo nosilnost v aksialni in radialni smeri. Na splošno prav te ležaje uporabljamo za višje temperature in obremenitve.

Praktični primer, ki smo ga obravnavali tekom diplomskega dela, vsebuje poškodovani ležaj, ki smo ga morali popolnoma zamenjati. Pri tem smo pri demontaži poškodovanega ležaja pazili na vse morebitne nevarnosti dodatnih poškodb, ki bi se lahko zgodile na gredi. Po uspešni demontaži smo ležaj zamenjali z novim ter s pomočjo induktivne segrevalne naprave, ki nam je olajšala postopek montaže.

V našem primeru smo za mazanje uporabili večtočkovni mazalni sistem PERMA PRO C MP 6 (Perma-tec Gmbh & Co. KG). Da smo ležaju zagotovili daljšo življenjsko dobo, smo uporabili ustrezno količino maziva ter ustrezno vrsto maziva. Pomagali smo si s programom PERMA SELECT (Perma-tec Gmbh & Co. KG), s pomočjo katerega smo izbrali tudi ustrezni mazalni sistem. Ta program omogoča, da smo, kot je v priloženi sliki razvidno, izpolnili vse pogoje za pravilno mazanje. Pod te pogoje spadajo karakteristike ležaja, v našem primeru sodčkast ležaj 23248KEMBW507C08 (Timken), z dimenzijami 240 x 440 x 160 mm, ki obratuje v papirniškem stroju. V program je potrebno vstaviti tudi obratovalne pogoje, kar zajema obrate ležaja (v našem primeru se ležaj vrti s hitrostjo 235 min^{-1}), temperaturo ležaja – predpostavljamo, da se ležaj segreje do približno $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, temperaturo okolice, v kateri se dogaja proizvodni proces, približno $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, vibracije na stroju in okolici se pojavljajo občasno ter obremenitve, ki so stalne ampak ne velike. Takoj, ko izpolnimo vse zahtevane pogoje, nam program ponudi najbolj optimalno mazivo, v našem primeru mast SF03 (Perma-tec Gmbh & Co. KG). Ta mast ne vsebuje aditivov, saj ležaju prejšnje mazivo ni ustrezalo, ker je vsebovalo EP dodatke oziroma aditive, ki so povzročili, da je mast postala bolj lepljiva in je zato nepravilno stekala v ležajno ohišje.

Če si pomagamo s tabelo za izbiro maziv, je lepo razvidno, da je mast primerna in ustrezna za zahtevano aplikacijo. V naslednjem koraku sledi izbira mazalnega sistema. Izbrali smo sistem PERMA PRO C MP6 (Perma-tec Gmbh & Co. KG), ki se napaja preko vmesnika stroja, kot je

že zgoraj omenjeno, saj papirniški stroji delujejo nemoteno 24 ur na dan. Ključnega pomena je količina masti, ki se bo dovajala v ležaj.

Izračun za potrebno količino masti imamo na izbiro v programu, saj se izognemo nepotrebному računanju po enačbi:

Enačba 1:

$$m1 = D \times B \times X \text{ [g]}$$

D – zunanji premer ležaja [mm]

B – širina ležaja [mm]

X – faktor mazanja (tedensko 0,002 – mesečno 0,003 – letno 0,004) (Arhiv podjetja Bell d.o.o., 2018).

Program je izračunal, da moramo v našem primeru za mazanje uporabiti mazalno kartušo PE PRO LC v velikosti 500 cm³, ta se bo dovajala v količini 14,29 cm³ na dan v časovnem obdobju 5 tednov. Izračun, ki ga dobimo iz programa ali iz enačbe, v celoti ne velja za vretenske ležaje in ležaje, pri katerih je veliko nečistoč in vodnih vdorov, saj se ležaj z dodatnim mazanjem čisti. Prednost izbranega sistema je ta, da se z enakomernim tlakom dovajanja mazivnega sredstva ustvarja zaporni nadtlak v ohišju ležaja, kar pomeni, da ležaj avtomatsko zaščitimo pred vdorom nečistoč od zunaj.

Poznamo tudi dve enačbi, ki se uporabljata za računanje količine mazivnega sredstva za ekstremno kratke intervale ter za izračun potrebne količine maziva za ponovni zagon za aplikacije, ki so mirovale nekaj časa.

Enačba 2:

Enačba za ekstremno kratke intervale:

$$m2 = (0,5 \dots 20) \times V \text{ [kg/h]}$$

V – prostor, ki je prost znotraj ležaja

$$\approx \frac{1}{4} \times B \times (D^2 - d^2) \times 10^{-9} - G / 7800 \text{ [m}^3\text{]}$$

d – notranji premer ležaja [mm]

D – zunanji premer ležaja [mm]

B – širina ležaja [mm]

G – teža ležaja [kg]

Enačba 3:

Enačba za ponovni zagon po mirovanju:

$$M3 = D \times B \times 0,01 \text{ [g]}$$

D – zunanji premer ležaja [mm]

B – širina ležaja [mm] (prav tam)

Mazanje z mastjo smo izbrali zaradi tega, ker se uporablja pri več kot 90 % kotalnih vležanj. Prednosti, ki jih daje ta mast, so te, da povečuje tesnilni efekt, primerna je za enostavne izvedbe konstrukcij in indekse za vrtilne hitrosti $n \times d_m$ je do $1,8 \times 10^6 \text{ min}^{-1} \times \text{mm}$, pri čemer je n = vrtljaji, d_m = povprečen premer danega ležaja, ter za vzdrževanje na dolgo periodo.

perma SELECT

Options Device Lubrication System Application Info

Operating Conditions Selection of Lubricant Selection of Lubrication System

Bearings

Operating Conditions / Bearings

Bearing Type

Spherical Roller Bearing (Series 2....) Standard Figure

Bearing Dimensions

Inner Diameter d = 240 [mm]

Outer Diameter D = 440 [mm] into [mm] into [in]

Bearing Width B = 160 [mm]

Speed

n = 235 [rpm]

Bearing Temperature

t = 60 [°C] into [°C] into [°F]

Ambient Temperature

T = 30 [°C] into [°C] into [°F]

Humidity / Dust

None Low Moderate High Very High

Vibration

None Moderate High

Load

Low Moderate Heavy P/C = 0.20

Operating Conditions / Lubrication System

Available Lubrication Systems

CLASSIC FUTURA FLEX NOVA STAR VARIO PRO

Singlepoint Lubrication System

MP-2 MP-6

Lubrication Points

1 2 3 4 5 6

Maximum Back Pressure

to 4 [bar] / 58 [psi] to 5 [bar] / 72 [psi] to 6 [bar] / 87 [psi] to 25 [bar] / 362 [psi]

PLC - Connection

No Yes

Discharge Volume per Day for SF01

V = 10.34 [cm³/day]

Data Record

Open Save Filename of Data Record

Next

Slika 34: Vnos podatkov

Vir: (<https://www.perma-tec.com/de/>)

perma SELECT

Options Device Lubrication System Application Info

Operating Conditions Selection of Lubricant Selection of Lubrication System

Operating Conditions / Bearings

Bearing Type
Spherical Roller Bearing (Series 2....)

Bearing Dimensions
Chain Width
to 40 [mm] to 60 [mm] to 100 [mm]

Bearing Width B = 160 [mm]

Speed
n = 235 [rpm]

Bearing Temperature
t = 60 [°C]

Ambient Temperature
T = 30 [°C]

Humidity / Dust
None Low Moderate High Very High

Vibration
None Moderate High

Load
Low Moderate Heavy P/C = 0.20

Available Lubricants for Bearings

SF01	Multipurpose grease according to German Industry Standard DIN 51502: KP2K-30
SF02	Extreme pressure grease according to German Industry Standard DIN 51502: KPF2K-30
SF03	High temperature grease according to German Industry Standard DIN 51502: KE1T-20
SF04	High performance grease according to German Industry Standard DIN 51502: K1S-20
SF05	High temperature / extreme pressure grease according to German Industry Standard DIN 51502: KPF1S-20
SF06	Liquid grease according to German Industry Standard DIN 51502: K0G-20
SF08	High speed grease according to German Industry Standard DIN 51502: KHC2N-50
SF09	Multipurpose bio grease according to German Industry Standard DIN 51502: KPE2K-40
SF10	Food grade grease according to German Industry Standard DIN 51502: K1K-40

Note: Technical data sheets and safety data sheets for lubricants are available on our homepage www.perma-tec.com

Recommended Lubricant: SF01

Attention: Recommendations do not incorporate special bearing conditions!

Selected Lubricant: **SF03**

Reset Back Next

Slika 35: Izbira ustreznega ali predlaganega maziva

Vir: (<https://www.perma-tec.com/de/>)

perma SELECT

Options Device Lubrication System Application Info

Operating Conditions Selection of Lubricant Selection of Lubrication System

Discharge Volume per Day for SF03
V = 14.18 [cm³/day]

Available Lubrication Systems

Lubrication System 1
Product: STAR VARIO (2x) LC Unit: 2x250 [cm³]
Discharge Volume / Day: 16.67 [cm³] Discharge Period: 1 month
Selected Lubricant: SF03

Lubrication System 2
Product: PRO LC Unit: 500 [cm³]
Discharge Volume / Day: 14.29 [cm³] Discharge Period: 5 weeks
Selected Lubricant: SF03

Results

Available Lubrication Systems
CLASSIC FUTURA FLEX NOVA STAR VARIO PRO

Selected Lubrication System
Info

Display
5 weeks
Info

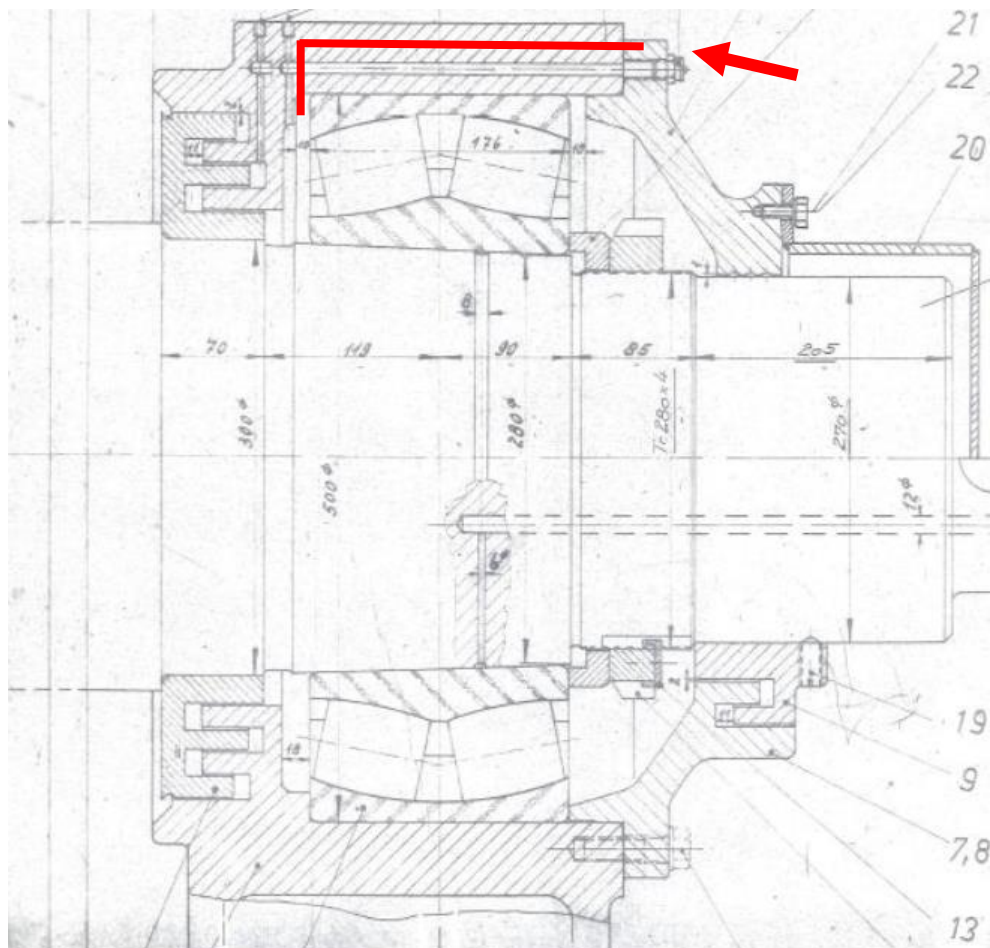
Selected Lubrication System
Product: PRO LC Unit: 500 [cm³]
Discharge Volume / Day: 14.29 [cm³] Discharge Period: 5 weeks
Selected Lubricant: SF03

Back Print

Slika 36: Čas in količina doziranja

Vir: (<https://www.perma-tec.com/de/>)

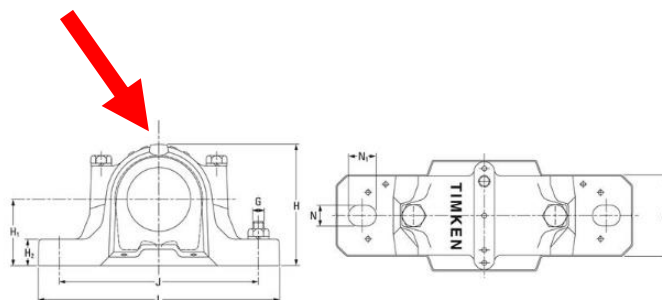
V našem praktičnem primeru imamo konstrukcijo ležaja, ki je mazan s centralnim mazalnim sistemom. Spodaj je prikazana risba vležaranja, pri katerem gre za star način mazanja iz strani.



Slika 37: Konstrukcijska risba ležaja

Vir: (Arhiv podjetja Bell d.o.o.)

Do poškodb, ki smo jih opisali v teoretičnem delu, je prišlo med drugim tudi zaradi nepravilnega mazanja med obratovanjem. Pri mazalnem nastavku, ki je bil v stari konstrukciji montiran stransko, torej horizontalno, je bila težava v tem, da se mast ni ustrezno stekala v ohišje ležaja, nato skozi labirint ter v ležaj med sodčke in kotalno površino. Ustrezen ukrep je zamenjava starega ohišja z novim, saj nova ohišja omogočajo dotok masti vertikalno, torej pod 90° kotom. To pomeni, da mast lažje steka v ohišje in se sistem lažje oskrbuje z novo mastjo. Novo ohišje od proizvajalca TIMKEN ima tudi seveda izhodni čep, pri katerem se izločajo odvečna mast ter nečistoče, ki zaidejo v ležajno ohišje. Spodaj je prikazano novo ohišje z novo točko dovajanja masti.



Slika 38: Risba ležajnega ohišja Timken

Vir: (<https://www.timken.com/>)



Slika 39: Pravilen položaj mazalnega nastavka

Vir: (<https://www.timken.com/>)



Slika 40: Mazalni nastavek

Vir: (lasten)

Če pogledamo ležaj bolj podrobno, vidimo, da bi, glede na majhno vrtilno hitrost ležaja, intenzivnost mazanja mogla biti večja. Vidni so tudi ostanki trdilca ter stare masti in pomanjkanje nove, sveže masti, kar je pokazatelj slabše nenamazanosti. Posledično se je med obratovanjem v zadnji fazi zlomila tudi kletka iz medenine. Medeninaste kletke so v primerjavi s poliamidnimi kletkami bolj odporne na vročine in večje obremenitve, ampak v našem primeru tudi ta ni zdržala vseh obremenitev. Desna slika prikazuje mesta, kjer je prišlo do loma, kar se je zgodilo še med obratovanjem.



Slika 41: Lom kletke

Vir: (lasten)

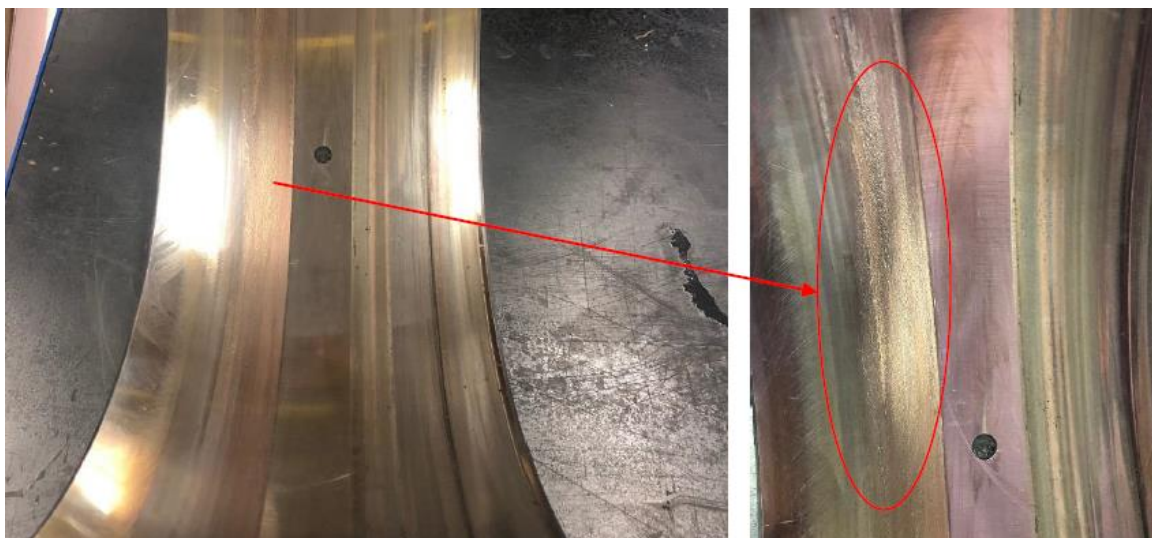
Ko smo ležaj demontirali, se je ležajni obroč razrezal in ležaj kompletno razstavil. Hkrati smo vse dele tudi očistili. Po čiščenju je bilo takoj moč opaziti neenakomerno obrabo na medeninasti kletki ležaja. Po ogledu tekalne površine je bilo takoj jasno, da so bile neenakomerno poškodovane, manjše opazke so bile tudi pri teku geometrije, lahko tudi pri zračnosti.



Slika 42: Razrez zunanjega obroča

Vir: (lasten)

Ko smo pogledali zunanji obroč ležaja, so bile vidne tudi izrazito večje poškodbe v coni obremenitve, predvsem so bile vidne na eni strani oziroma na tekalni površini enega reda valjčkov. V tej coni so bile vidne sledi luščenja trdega sloja zunanjega obroča, ki se je začela z že zgoraj omenjenimi mikro razpokami. To je bila tudi posledica nepravilnega ter neučinkovitega mazanja in izpodriva maziva zaradi večje obremenitve na ležaju.



Slika 43: Mikro razpoke na tekalni površini

Vir: (lasten)

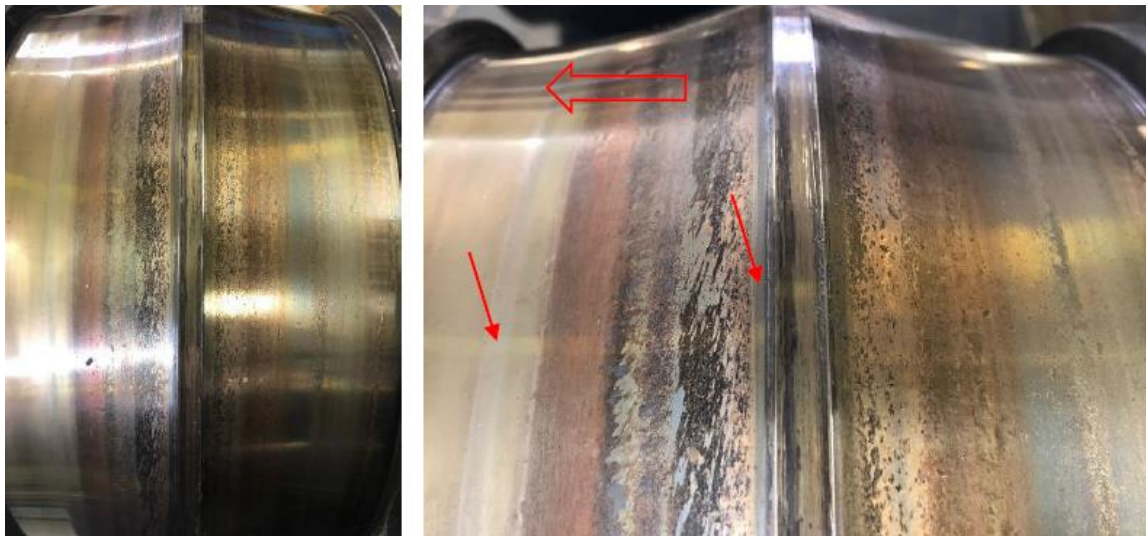
Če podrobneje pogledamo, kakšna je obraba na zunanjem ležajnem obroču ob skrajni legi, je lepo razvidno, da je na eni strani (slika levo) dokaj normalna obraba skrajno do roba tekalne površine, medtem na drugi strani vidimo, da je obraba bolj intenzivna. Razvidno je, da se je formirala stopnička nekaj milimetrov stran od roba. To nakazuje predvsem na obratovanje pri nesimetriji obeh redov valjčkov pri dvorednem sferičnem ležaju.



Slika 44: Nesimetrija valjčka

Vir: (lasten)

Po analizi zunanjega obroča je bilo potrebno še analizirati notranji obroč. Iz slike je razvidno, da je obroč po celotnem notranjem obodu enakomerno obrabljen. Vidni so tudi madeži, ki nastanejo zaradi pregrevanja. Po analizi sledi sodčkov oziroma oboda pridemo do ugotovitve, da je levi del ležaja precej bolj sproščen v prikazani smeri. Pri tem so valjčki ubirali svojo pot nekaj milimetrov od roba sredne in z nekoliko manj površinskih pritiskov, kot je vidno na drugi strani. Desni red valjčkov je torej prenašal večje obremenitve, hkrati je kot posledica termičnega raztezka poskušal v aksialni smeri obremenjevati zunanji del ležaja in se s tem poskušal izravnati v ohišju.



Slika 45: Madeži zaradi pregrevanja

Vir: (lasten)

Potrebno je bilo analizirati še medeninasto kletko, pri kateri je prišlo do loma. Vidno je bilo nesimetrično obračanje ležaja med obratovanjem, kar povzroči tudi neenakomerno obrabo kletke. Sodčki so vidno obrabili kletko, na eni strani skoraj v celoti, medtem ko na drugi strani ne vidimo izrazite poškodbe ali obrabe. Pogoji mazanja, obrabe in trenja očitno niso bili enakovredni po kompletni širini sferičnega ležaja. Na kletki so vidne tudi obrabe v aksialni smeri, kjer so valjčki obrabili mehkejši del medeninaste kletke. Skupek vseh poškodb lahko potrdi, da je, glede na različne stadije poškodb, na to vplivalo neustrezno obratovanje.



Slika 46: Obraba kletke

Vir: (lasten)

Seveda je bilo pomembno preveriti še zunanjo površino zunanjega ležajnega obroča, kjer prihaja do stika z ohišjem. Korozija povzroči povečano trenje, zaradi katerega lahko v ekstremnih situacijah pride do popolne blokade valjčkov. Ekstremni primer je zdrs zunanjega ležajnega obroča.



Slika 47: Sledi nastanka korozije

Vir: (lasten)

Da smo z zamenjavo mazivnega sredstva podaljšali ležaju življenjsko dobo, smo v program, ki ga omogoča podjetje Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, vnesli vhodne podatke o lastnostih ležaja, obratovalne pogoje, obremenitve ter katera mast je bila zamenjana in katera je nova. Ključnega pomena za zanesljive rezultate je modificirana življenjska doba, saj za razliko od nominalne življenjske dobe podaja rezultate, na katere vpliva čistost mazalnega sredstva, viskoznost ter temperatura.

IZPIS IS PROGRAMA SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH & CO. KG

Tabela 1: Vhodni podatki – predhodno stanje

iLežaj:		
Oznaka:		sodčkasti ležaj, konus 23248-K
Notranji premer ležaja:	d	240,000 mm
Zunanji premer ležaja:	D	440,000 mm
Širina ležaja:	B	160,000 mm
Osnovna dinamična obremenitev:	C	2850000 N
Osnovna statična obremenitev:	C0	4000000 N
Hitrostna omejitev - olje:	n_lim_o	1500,0 1/min
Hitrostna omejitev - mast:	n_lim_g	1130,0 1/min
Lastnosti mazivnega sredstva - PREDHODNO STANJE:		
Predlagano mazivno sredstvo:		olje/mast
Tip mazivnega sredstva:		mast
ISO VG klasifikacija:		ISO VG 220
Kontaminacija:		velika nečistoča
Obratovalni pogoji - PREDHODNO STANJE		
Hitrost:	n_i	235,00 1/min
Vrsta premikanja:		obračanje notranjega obroča
Radialne obremenitve:	Fr	195000,0 N
Aksialne obremenitve:	Fa	55000,0 N
Obratovalna temperatura:	T	60 °C

Vir: (Schaeffler Technologies)

Tabela 2: Rezultati – predhodno stanje

Modificirana življenjska doba ležaja	82.561 ur
---	------------------

Vir: (Schaeffler Technologies)

Tabela 3: Vhodni podatki – novo stanje

Ležaj:		
Oznaka:		sodčkasti ležaj, konus 23248-K
Notranji premer ležaja:	d	240,000 mm
Zunanji premer ležaja:	D	440,000 mm
Širina ležaja:	B	160,000 mm
Osnovna dinamična obremenitev:	C	2850000 N
Osnovna statična obremenitev:	C0	4000000 N
Hitrostna omejitev - olje:	n_lim_o	1500,0 1/min
Hitrostna omejitev - mast:	n_lim_g	1130,0 1/min
Lastnosti mazivnega sredstva - NOVO STANJE		
Predlagano mazivno sredstvo:		olje/mast
Tip mazivnega sredstva:		mast
ISO VG klasifikacija:		ISO VG 420
Kontaminacija:		velika nečistoča
Obratovalni pogoji - NOVO STANJE		
Hitrost:	n_i	235,00 1/min
Vrsta premikanja:		obračanje notranjega obroča
Radialne obremenitve:	Fr	195000,0 N
Aksialne obremenitve:	Fa	55000,0 N
Obratovalna temperatura:	T	60 °C

Vir: (Schaeffler Technologies)

Tabela 4: Rezultati - novo stanje

Modificirana življenjska doba ležaja	91.945 ur
---	------------------

Vir: (Schaeffler Technologies)

Komentar rezultatov:

V primeru 1 je bila izračunana modificirana življenjska doba ležaja 82.561 ur. V primeru 2 smo ustrezno zamenjali mazivno sredstvo in tako dobili 91.945 ur. To pomeni, da smo ležaju podaljšali življenjsko dobo za približno do 15 %.

8 SKLEP

V diplomskem delu smo obravnavali temo o poškodbah ležajev zaradi nepravilnega mazanja med obratovanjem. Izpostavili smo primer iz prakse – obrabo kotalnega ležaja, na podlagi katerega smo opisali in izpostavili kritične točke. Primer smo podkrepili s slikami. Vsi opisani pojmi in dejstva v diplomskem delu se navezujejo na praktičen primer ne le v diplomskem delu, ampak tudi v praksi v splošnem.

Zamislili smo si tri hipoteze:

- S pravilno konstrukcijo ohišja ležaja se lahko doseže daljša življenjska doba.
- S pravilnim postopkom mazanja znižujemo trenje ležaja in hkrati povečujemo življenjsko dobo.
- S pravilno izbiro maziva lahko izboljšamo delovanje ležaja.

Vse tri hipoteze smo na podlagi ustreznega strokovnega, internega in spletnega gradiva potrdili. Nobena hipoteza ni bila ovržena, kar smo prikazali tudi v navedbah. Prav tako smo ugotovili, da so vse tri hipoteze v medsebojni odvisnosti, kar pomeni, da so si značajno in karakterno podobne in primerno izpostavljene danemu problemu.

Kot smo že opisali, tehnike mazanja pomembno vplivajo na delovanje in podaljšujejo njihovo življenjsko dobo. Posledično se zaradi pravilne izbire maziva, ki mora biti prav skladiščeno, zmanjšuje trenje med obratovanjem. Konstrukcija ohišja ležaja vpliva na sam ležaj, oba sta odvisna eden od drugega. Tukaj je potrebna tudi pravilna izbira materiala.

Prav tako smo ugotovili, da smo s pisanjem diplomskega dela dosegli zastavljene cilje:

- Poiskali smo način, kako bi s preventivnimi posegi zmanjšali poškodbe ležajev.
- S pomočjo literature in praktičnega primera smo dokazali, da položaj mazalnega nastavka spreminja kvaliteto mazanja.
- Tudi na praktičnem primeru in s pomočjo literature smo prikazali, kdaj ležaj optimalno deluje in kdaj se znižuje njegovo trenje.

Ugotovili smo, da bi ob menjavah in mazanju ležajev morali biti še posebej pozorni na naslednje:

- Za preprečevanje sprijemanja v ohišju je vedno potrebno preveriti postavitev ohišja, prav tako pred montažo zunanjo ležajno površino namažem z montažno pasto.
- Ob montaži ustreznost kontroliramo z radialno zračnostjo, ki jo izvajamo po montaži.

- Pravilna montaža se vrši z matico, ki potisne ležaj v ohišje na konus gredi.
- Kontrolirana zračnost po montaži mora biti vsaj 0,1 mm, saj je osnovna zračnost ležaja C0.
- Zunanja ležajna površina zahteva mazanje z montažno pasto, ki preprečuje nastanek morebitne kontaktne korozije.

Ključnega pomena je tudi poudarek na preventivnem vzdrževanju v težki industriji. Kot smo v diplomskem delu omenili, lahko z rednimi servisnimi posegi in pregledi preprečimo morebiten začetek poškodb, z investicijo v podjetju lahko omogočimo vzdrževalcem z napravami, kot so Bearing Checker od proizvajalca SPM INSTRUMENTS, dosti lažje predvidevanje različnih situacij, ki lahko vplivajo na tekočo proizvodnjo in s tem nemoteno delo.

Želeli bi si, da bi naše zaključno delo pomagalo v industriji ali šolstvu v praksi ali teoriji. Prav tako smo mnenja, da na izbrano temo primanjkuje strokovnih raziskav in gradiva. Veliko že obstoječega gradiva je internega. Tudi mi smo v sodelovanju s podjetjem Bell d.o.o v diplomskem delu povzemali dejstva iz internega gradiva. Spoznali smo, da so ležaji ključnega pomena v strojništvu in da je prav tako pomembna njihova funkcija. Da bi življenjsko dobo ležajev podaljšali in tako zmanjšali stroške nabave, je potrebno ležaje redno in kvalitetno vzdrževati.

9 VIRI IN LITERATURA

Arhiv podjetja Bell d.o.o. (2018). Pridobljeno iz <https://www.bell.si/blog/category/bell-info/>

Bearing Dismounting Methods For Cylindrical And Tapered Seating. (b. d.). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja Isutami: <http://www.isutami.com/media-center/bearing-dismounting-methods-cylindrical-tapered-seating.html>

Brown, S. F. (december 2015). *Additives for lubricating grease*. Pridobljeno iz [www.stle.org: http://www.stle.org/images/pdf/STLE_ORG/BOK/OM_OA/Additives/Additives%20for%20Lubricating%20Grease_Dec15%20TLT.pdf](http://www.stle.org/images/pdf/STLE_ORG/BOK/OM_OA/Additives/Additives%20for%20Lubricating%20Grease_Dec15%20TLT.pdf)

Chastain, L. (2009). *Industrial mechanics and maintenance*. Upper Sadle River, New Jersey: Pearson/Prentice Hall, cop.

Grilj, C. (2005). *Vzdrževanje strojev in naprav: priročnik za vzdrževanje in proizvodnjo*. Slovenska Bistrica: Izza.

Janežič, I. (1999). *Strojni elementi 1*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Kraut, B. (2017). *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Buča.

Ren, Z., & Glodež, S. (2011). *Strojni elementi. Del I: univerzitetni učbenik*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.

Schaeffler Technologies. (2013). *Lubrication of Rolling Bearings*. Schaeffler Technologies AG & Co. KG.

Schaeffler Technologies. (2014). *Rolling Bearings*. Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG.

Wedam, A., & Adlešič, M. (1991). *Kako deluje?. Sodobna tehnika I*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.