

Ležajevi brodskih motora

Filipić, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:996360>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-14**



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

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

LEŽAJEVI BRODSKIH MOTORA
BEARINGS OF MARINE ENGINES

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Brodski strojni elementi

Mentor: Mr. Sc. Rikard Miculinić

Student: Tomislav Filiplić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112069223

Rijeka, svibanj 2021.

Student/studentica: TOMISLAV FILIPLIĆ
Studijski program: BRODOSTROJARSTVO
JMBAG: 0112069223

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
LEŽAJEVI BRODSKIH MOTORA
(naslov završnog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom
MR. SC. RIKARDA MICULINICA
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)

te komentorstvom

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke
(naziv tvrtke).

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

Suglasan/na sam s trajnom pohranom završnog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:
(zaokružiti jedan ponuđeni odgovor)

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

Student/studentica
Filipić T.
(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice
TOMISLAV FILIPLIĆ

SAŽETAK

Da bi brodski motori, kao i bilo koji drugi motor s unutarnjim izgaranjem, radio pravilno i imao dugi životni vijek, potrebni su ležajevi. Za smanjenje trenja i pravilan rad ležaja koriste se ulja i masti za podmazivanje. Ležajeve je potrebno održavati i pravovremeno mjenjati da ne bi došlo do oštećenja samog ležaja ili zaribavanja nekog drugog dijela motora što bi prouzročilo puno veći trošak.

Ležajevi se dijele na klizne i valjne. Klizni ležajevi se koriste na brodskim motorima. Dva najvažnija ležaja broskog motora su temeljni i leteći ležaj, no uz njih postoje još ležaj klipnjače i odrivni ležaj.

Za praćenje istrošenosti i temperature ležajeva koriste se dva sustava koja rade zajedno, a to su sustav na nadzor istrošenosti ležajeva i sustav za nadzor temperature ležajeva.

Ključne riječi: ležaj, blazinica, trenje, temeljni ležaj, leteći ležaj.

SUMMARY

Just like for any other internal combustion engine, for marine engine to work properly and to extent its' life span, it is importat for it to contain bearings. To secure bearings' proper operation and to reduce friction during it, oils and fats are used as a means of lubrication. Bearings need to be mainteined and replaced in a timely manner to avoid damaging of the bearing or destruction of other parts of the engine, which would cause even bigger expenses.

Bearings are divided into two groups: sliding bearings, which are used in marine engines, and roller bearings. The two main bearings of marine engines are main bearing and crankpin bearing, but in marine engines, connecting rod bearings and thrust bearings are also used

To monitor wear and temperature of bearing, two together working systems are used: bearing wear monitoring system and bearing temperature monitoring system.

Key words: bearing, bearing shell, friction, main bearing, crankpin bearing

SADRŽAJ

SAŽETAK	II
SUMMARY	II
SADRŽAJ.....	III
1. UVOD	1
2. TRENJE	2
3. MAZIVA I PODMAZIVANJE.....	3
4. MATERIJALI ZA IZRADU LEŽAJEVA	8
5. KLIZNI LEŽAJEVI	11
5.1. PODMAZIVANJE KLIZNIH LEŽAJEVA	12
5.2. KONSTRUKCIJA RADIJALNIH LEŽAJEVA	14
5.3. KONSTRUKCIJA AKSIJALNIH LEŽAJEVA	15
6. VALJNI LEŽAJEVI	16
6.1. OPTEREĆENJE I UGRADNJA VALJNIH LEŽAJEVA.....	17
6.2. NOSIVOST I VIJEK TRAJANJA	19
6.3. PODMAZIVANJE VALJNIH LEŽAJEVA.....	20
6.4. KUĆIŠTE VALJNOG LEŽAJA	23
7. OSNOVNI LEŽAJEVI BRODSKOG MOTORA	23
7.1. LEŽAJ KLIPNJAČE	26
7.2. TEMELJNI I LETEĆI LEŽAJ.....	27
7.3. UGRADNJA, ZAMJENA I DORADA TEMELJNIH LEŽAJA	29
7.4. OBRADA GORNJIH DIJELOVA BLAZINICA.....	30
7.5. CENTRIRANJE BLAZINICE	31
7.6. LETEĆI LEŽAJ	31
7.7. KOLJENASTO VRATILO I ODRIVNI LEŽAJ	32
8. NADZOR STANJA LEŽAJEVA BRODSKOG MOTORA.....	34

8.1.	SUSTAV ZA NADZOR ISTROŠENOSTI LEŽAJEVA (BWM)	34
8.2.	SUSTAV ZA NADZOR TEMPERATURE LEŽAJA (BTM).....	35
9.	ZAKLJUČAK	36
10.	POPIS LITERATURE.....	37
11.	POPIS SLIKA	37

1. UVOD

Neki dijelovi motora s unutarnjim izgaranjem se vrte, dok drugi miruju, no svi dijelovi motora moraju na neki način biti međusobno povezani. Spojevi dijelova motora koji miruju su vrlo jednostavni, dok su spojevi kod kojih dolazi do vrtnje puno složeniji, kao npr. koljenasto vratilo koje se vrti dok postolje miruje. Ovakav spoj ne može biti čvrst jer se koljenasto vratilo mora slobodno kretati. Dijelovi motora koji ostvaruju takav spoj nazivaju se ležajevima. Postoji puno vrsta ležajeva, ali oni koji su najzastupljeniji na brodu su klizni i valjni ležajevi.

Klizni ležajevi mogu biti izrađeni u jednom komadu kao tuljci ili u dva komada kako bi se mogli rastaviti. Unutarnje površine ležaja nazivaju se radnim površinama jer se u njih taje osovine. Veličina radne površine određuje se tako da tlak na jedan kvadratni centimetar bude u dopuštenim granicama, no ona naravno ovisi i o materijalu ležaja, obodnoj brzini i dr. Da bi se ležajevi što manje trošili te time imali i dulji životni vijek, u njih se umeće blazinica. Svi ležajevi broskog motora najčešće su presvučeni tankim slojem bijele kovine jer je ona mekša od materijala osovine te, umjesto trošenja ležaja, dolazi do njenog trošenja.

Što se tiče valjnih ležajeva, oni se sastoje od dva prstena između kojih se najčešće nalaze čelične kuglice. Trenje kod valjnih ležajeva je puno manje te se oni koriste gdje god je to moguće, no oni ne podnose dobro velika opterećenja i udarce.

Ležajevi su neizbježni dio svakog motora s unutarnjim izgaranjem te su se s godinama usavršavali kako je to dopuštala tehnologija materijala. Ulja za podmazivanje su kvalitetnija i čišća, a time je i podmazivanje bolje te se trenje maksimalno smanjilo.

Najznačajniji ležajevi broskog motora su temeljni ležaj, leteći ležaj i odrivni ležaj. Kod velikih broskih motora temeljni i leteći ležaji su klizni, dok kod manjih brodova koji imaju vanbrodske motore, ova dva ležaja mogu biti i valjna. Odrivni ležaj služi za preuzimanje aksijalne sile s broskog vijka na trup broda.

2. TRENJE

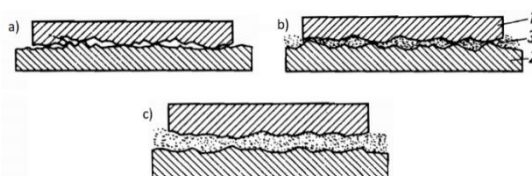
U kliznim i valjnim ležajevima, osovine i vratila imaju svoje oslonce. Kako bi se smanjili gubici zbog trenja i zagrijavanje ležajeve moramo podmazivati. Kada govorimo o trenju zapravo govorimo o otporu koji se javlja između dva tijela te se suprotstavlja međusobnom gibanju bilo kotrljanjem, valjanjem ili klizanjem. Za ležajeve najznačajnije je trenje gibanja jer je to tzv. kinetičko trenje. Uz kinetičko trenje, također, još moramo uzeti u obzir i trenje na početku gibanja kao i trenje na kraju gibanja.

Vrste trenja koje spadaju pod trenje gibanja su:

1. **Trenje kotrljanja** nastaje kada se dva tijela kotrljaju jedno po drugom. Prilikom gibanja dolazi do elastične deformacije gdje iz teoretskog točkastog ili linijskog dodira dolazi do površinskog dodira koji daje klizni udio.
2. **Trenje klizanja** nastaje kada površine prijanjanja klize jedna po drugoj.
3. **Trenje valjanja** nastaje kada se dva tijela valjaju jedna po drugom te je sudjelovanje klizanja i kotrljanja unaprijed određeno zakonima gibanja.

Još neke od poznatih vrsta trenja:

1. **Suho trenje** – nastaje kada između dodirnih površina nema sloja vlage ili oksidiranog sloja koji razdvaja dodirne površine.
2. **Tekuće trenje** – nastaje kada između površina nema dodira već on razdvaja nosivi plinoviti ili tekući međusloj. Tlak za razdvajanje dodirnih površina se može podijeliti na hidrostatički i hidrodinamički. Ako je tlak koji nastaje gibanjem tijela dostatan za održavanje uljnog klina nazivat ćemo ga hidrodinamičkim, no ako se koristi pumpa s posebnim pogonom, jer tlak koji nastaje gibanjem tijela nije dostatan za održavanje uljnog klina, nazivat će se hidrostatičkim.
3. **Mješovito trenje** – nastat će kada postoji djelomično tekuće i djelomično suho trenje. Ono nastaje prilikom pokretanja ili zaustavljanja zbog sporog gibanja ili prevelikog opterećenja te nedovoljne količine tekućine.



Slika 1 Vrste trenja; a) suho trenje; b) mješovito trenje; c) tekuće trenje

3. MAZIVA I PODMAZIVANJE

Maziva se upotrebljavaju radi lakšeg klizanja među površinama te smanjenja ili sprječavanja trošenja. Maziva moraju podmazati klizna mjesta te moraju prijanjati uz materijale. Trebaju neutralizirati hrapavost između dva materijala te moraju imati nisku unutarnju žilavost. Osim toga, trebaju ih štiti od korozije i ne smiju nagrizati materijale koje podmazuju. Također trebala bi odvoditi toplinu, prenositi pritisak, brtviti i štiti maziva mjesta od vode i nečistoća.

Za podmazivanje se koriste sljedeća maziva:

1. Tekuća maziva ili ulja - ova maziva najčešće udovoljavaju zahtjevima te se često s njima ostvaruje hidrodinamičko podmazivanje.
2. Masti za podmazivanje - su zapravo plastične tvari kojima su u sastav dodana ulja.
3. Mješavine čvrstih maziva s mastima ili uljima - koriste se kod uhadavanja u obliku tankog sloja. To su zapravo čvrsta maziva u prahu koja se kombiniraju s uljima ili mastima.
4. Kruta maziva - su krute tvari koje se nalaze u prahu ili u obliku ljesaka, dobro prijanjaju uz klizne površine i poboljšavaju klizna svojstva. Upotrebljavaju se u spoju s mastima, uljima ili umjetnim masama kao npr. grafit ili molibden disulfid.
5. Umjetne mase s kliznim sposobnostima su - poliamid, poliacetal, politetrafluoretilen i fluormetilen-propilen, a upotrebljavaju se za klizne tračnice, ležajeve te kao brtvila za vratila i zupčanike. Također, mjetne se mase mogu dodati i u krute spojeve, kako bi se poboljšala klizna svojstva.
6. Čvrsta maziva - u tankim slojevima služe kao trajno mazivo, odbacujući mogućnosti zagađivanja proizvoda koji se prerađuje.
7. Plinovi - ponekad i zrak može služiti kao mazivo ležajeva kod manjih brzohodnih strojeva.

Ležajevi su elementi koji se podmazuju uljem. Najčešće su to mineralna ulja u odnosu na sintetička ulja zbog svoje cijene. Gibanju tekućine suprotstavlja se unutarnje trenje. Što je trenje veće, veća će biti i žilavost tekućine koju nazivamo viskozitet.

Sloj tekućine koji je izložen trenju može se zamisliti kao da je sastavljen od tankih slojeva međusobno pomaknutih igračih karata. Pri njihovom uzdužnom pomicanju, između

određenih slojeva, nastaje smično naprezanje te veličina smičnog naprezanja τ ovisi o žilavosti tekućine tj. viskozitetu. Smično naprezanje će biti veće što je veći pad brzine. Dinamički viskozitet η predstavlja mjeru za viskozitet mazive tekućine koja se giba (Decker, 1975, str.190).

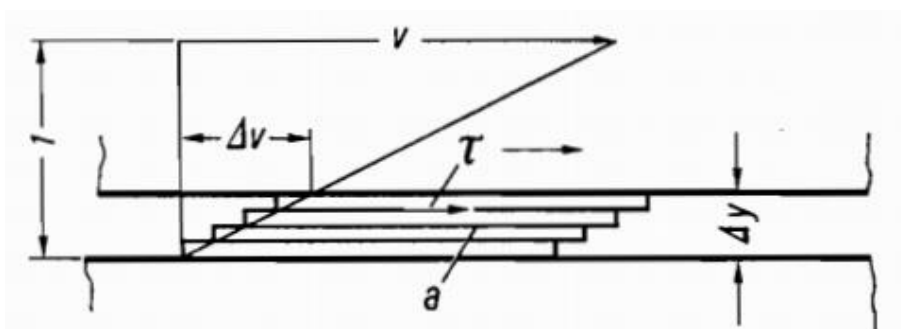
$$\eta = \frac{\tau}{\Delta v / \Delta y}$$

η – dinamički viskozitet [Pas] (Pascal-sekunda)

τ – smično naprezanje [$\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa}$]

Δv – razmaka brzina [m/s]

Δy – razmak između dviju površina [m]



Slika 2 Pomicanje slojeva tekućine kod hidrodinamičkog podmazivanja

Naprava s kojom mjerimo dinamički viskozitet naziva se viskozimetar. Postoji izvedba viskozimetra s kuglom kod kojeg se viskozitet mjeri pomoću kugle, tako da se kugla ubaci u posudu ispunjenu uljem za ispitivanje. Vrijeme za koje se kugla spusti bit će izravno proporcionalno dinamičkom viskozitetu.

Pored dinamičkog viskoziteta postoji još i kinematski viskozitet kod kojeg se podrazumijeva odnos gustoće ulje prema dinamičkom viskozitetu (Decker, 1975, str.191).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

ν – kinematski viskozitet [m^2/s]

ρ – gustoća ulja [kg/m^3]

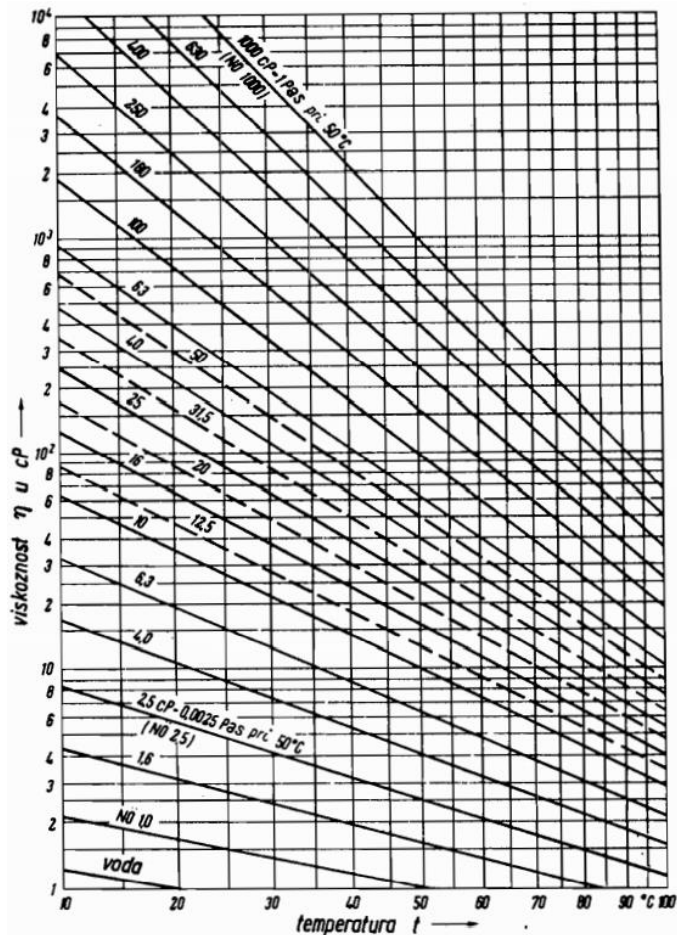
$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$

Kinematski viskozitet je bitan jer se isključivo on nalazi u podacima proizvođača ulja. Sva maziva koja se koriste u tehnici, promjenom temperature mijenjaju svoj viskozitet. Također, viskozitet se mijenja i s tlakom ulja ali je taj porast zanemariv. Ako se u nekoj knjizi nalazi oznaka $v_{50} = 63$ cSt, to će značiti da viskozitet ulja, pri temperaturi od 50°C , iznosi 63 cSt.

Kao maziva ulja za podmazivanje ležajeva u obzir dolaze sljedeća:

1. Destilati – oni se dobivaju destilacijom produkta zemnog ulja. Pogodni su za temperature do 40°C i upotrebljavaju se kod jednostavnijih prijenosnika kao što su klizni ležajevi ili zglobovi.
2. Maziva ulja A DIN 51505 – imaju dobru sposobnost prijanjanja i podmazivanja te su pogodna za konstantno podmazivanje svježim uljem kao i za protočno podmazivanje do 50°C .
3. Rafinirani su ulja čije se karakteristike poboljšavaju čišćenjem. Većinom zadovoljavaju visoke zahtjeve podmazivanja kao i postojanost mazivog sloja te postojanost prema starenju. Upotrebljavaju se i za temperature preko 50°C .
4. Legirana ulja su ona u koja se dodaju različiti aditivi kako bi se poboljšala njihova svojstva. Neki od dodataka su oni za visoki tlak pa se u ulja dodaje grafit, fosfor i drugi spojevi kako bi se ulju povećala otpornost na visoki tlak.
5. Sintetska ulja su umjetna ulja koja imaju nisku temperaturu staništa te pogodan omjer temperatura – viskozitet. Temperatura plamišta je viša nego kod mineralnih ulja kao i postojanost prema starenju, no i u njih se mogu dodavati aditivi kako bi im se poboljšala neka druga svojstva. Sintetska ulja su cijenom iznad ostalih pa se upotrebljavaju samo tamo gdje jeftinija maziva zataje. Od sintetskih ulja najširu primjenu imaju silikonska ulja jer im je mogućnost primjene od temperature -70°C do $+250^{\circ}\text{C}$, dok je viskozitet pri 50°C od 25 cSt do 350cSt.

Na slici 3 je prikazana ovisnost viskoziteta od temperaturi te je vidljivo kako viskozitet pada s porastom temperature.



Slika 3 Ovisnost viskoziteta ulja o temperaturi

Mazivim mastima nazivamo mineralna ulja koja su zgusnuta uz pomoć metalnih sapuna. Neke od mazivih masti su masti natrija, litija ili kalcija.

Mazive masti na bazi natrija koriste se za temperature upotrebe od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koriste se za klizne i valjne ležajeve, no u kontaktu s vodom se ispiru. Imaju vlaknastu strukturu i dobro podmazuju.

Mazive masti na bazi litijeva sapuna su kratkovlknaste strukture, koriste se za temperature od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, te se ne otapaju u vodi kao mazive masti na bazi natrija. U sebi sadrže primjese te su pogodne za visoke tlakove. Također mogu se kratkotrajno koristiti i za temperature do $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$.

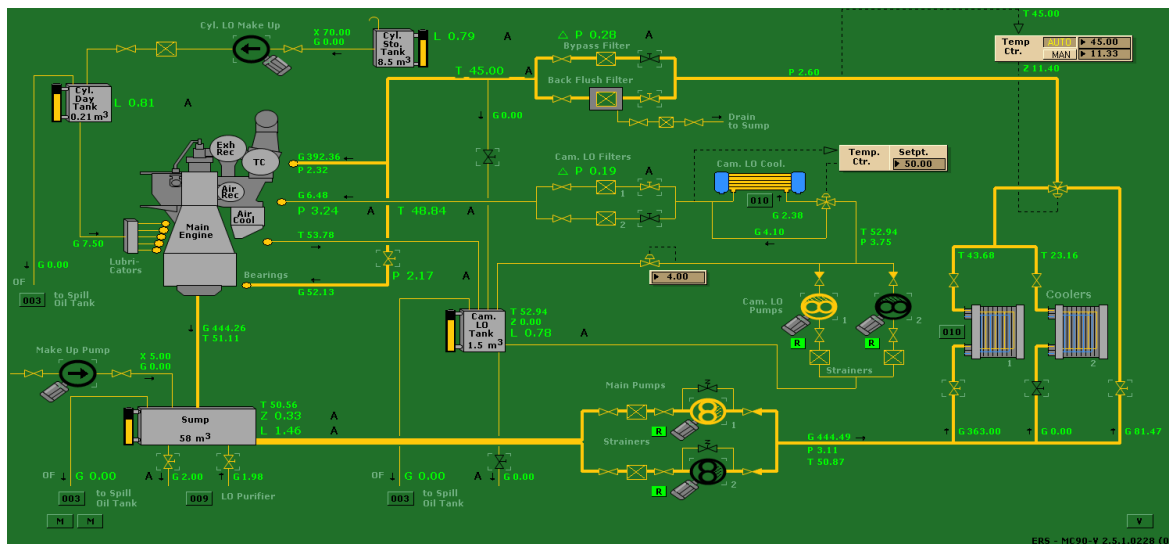
Mazive masti na bazi kalcija upotrebljavaju se za temperature od $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, a pogodne su za podmazivanje strojeva na otvorenom jer se ne otapaju u vodi. Pogodne su za

valjne ležajeve od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, ali se moraju podmazivati naknadno u kraćim vremenskim razmacima.

Još neke mazive masti koje se koriste pri podmazivanju ležajeva su masti na bazi kompleksne saponifikacije i briketne masti. Mazive masti na bazi kompleksne saponifikacije upotrebljavaju se za klizne i valjne ležajeve, imaju visoku cijenu pa se koriste samo ondje gdje jeftinije masti zataje. Sastoje se od više metalnih sapuna, koji zajedno stvaraju spojeve. Briketne masti su tvrde masti koje imaju oblik kvadrata i „ubacuju se“ u komore kliznih ležajeva. Koriste se kod sporohodnih motora s vrućim ležajnim mjestima jer im je temperatura upotrebe čak do $160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kruta maziva imaju sposobnost vlastitog podmazivanja te se koriste tamo gdje se ne može postići hidrodinamičko podmazivanje. Što bi značilo da se koriste kod nižih brzina klizanja i udarnih opterećenja. Slojevi krutog maziva ne mogu se lako istisnuti kao uljni sloj jer čvrsto prijanjaju čak i na visokim temperaturama, na kojima mogu zakazati i sintetska ulja.

Na slici 4. nalazi se sustav podmazivanja glavnog motora. Na shemi se nalaze četiri zupčaste pumpe. Dvije su za podmazivanje ležajeva i košuljica cilindra, dok su druge dvije za podmazivanje bregaste osovine. Sve pumpe se pokreću pomoću elektromotora. Ispred svake pumpe nalazi se filter koji štiti pumpu od krutih čestica. Na shemi se također nalaze i dva rashladnika ulja kroz koje prolazi ulje i hladi se. Tom regulacijom temperature, ulje upravlja troputni ventil. Ako je ulje hladnije od zadane vrijednosti, onda neće ići kroz rashladnike dok ne dođe na radnu temperaturu. Kada ulje dođe na radnu temperaturu, onda će se početi mješati s uljem koje prolazi kroz rashladnik ulja. Prije ulaza u motor, ulje prolazi kroz još jedan filter, a na shemi se nalaze dva. Jedan filter je samočistioc kroz koji u pravilu uvijek prolazi ulje, dok drugi mora postojati zbog čišćenja filtera samočistioca. Nakon što ulje prođe filter, ono ulazi u motor gdje obavlja svoju funkciju podmazivanja te odlazi u sabirni tank ili karter. Iz kartera ulje odlazi u separator ulja, gdje se iz ulja otklanjaju voda i krute nečistoće.



Slika 4 Sustav podmazivanja glavnog motora s Kongsbergovog simulatora

4. MATERIJALI ZA IZRADU LEŽAJEVA

Prilikom izrade ležajeva postoje zahtjevi kojima se treba udovoljiti, a to su sljedeći:

1. Prilagodljivost – ležajni materijal uslijed opterećenja se mora moći elastično ili čak plastično prilagođavati promjenama oblika.
2. Tlačna čvrstoća – ležajni materijal mora trajno podnositi tlačna opterećenja.
3. Mala sklonost stvaranju brazdi – ležajni materijal mora imati takvu građu da se na kliznim površinama uslijed opterećenja i deformacije ne dolazi do stvaranja brazdi, koje naknadno mogu dovesti do trošenja.
4. Sposobnost uhodavanja – ležajni materijal mora se prilagođavati geometrijskim odstupanjima uslijed opterećenja, tako da površine nalijeganja klize jedna po drugoj.
5. Otpornost trošenju – ležajni materijal mora biti otporan prema trošenju ukoliko bi tijekom rada došlo do mehaničkog odvajanja malih komadića metala.
6. Sposobnost klizanja pri nepovoljnom podmazivanju – ležajni materijal mora omogućiti klizanja ograničeno vrijeme (u ograničenom vremenskom periodu ukoliko dođe do prekida dovoda ulja za podmazivanje) kako bi se stroj mogao sigurno zaustaviti bez zaribavanja

7. Sposobnost podmazivanja mazivom – ležajni materijal mora omogućiti jednoliko podmazivanje svih površina.
8. Toplinska vodljivost – ležajni materijal mora dobro odvoditi toplinu koja nastaje trenjem.
9. Ležajni materijal mora biti kompatibilan s vratilom.

Za materijale ležajeva uglavnom se koriste metali. Bijela kovina, legure olova, kositra, antimona i bizmuta, imaju dobra svojstva uglačavanja te su prilagodljivi i otporni na trošenje. Ovi materijali pokazuju dobre sposobnosti klizanju pri slabijem podmazivanju, no tale se na 300 °C, pa se koriste samo za pogonske temperature do 110 °C.

Za visoko opterećenje te velike površinske tlakove koriste se crveni lijev, aluminijske i olovne bronce. Mogu se koristiti za veće temperature nego bijela kovina, no sposobnost klizanja pri nepovoljnom podmazivanju je lošija. Također, dobro odvede toplinu.

Sinterirane kovine koriste se kod malih ležajeva malih brzina klizanja koji mogu raditi i bez nadzora. Izrađuju se od metalnog praha koji se preša u kalupe te su mekane i prozirne. Pri malim brzinama klizanja trošenje je zanemarivo.

Kućičte ležaja najčešće je od sivog lijeva ili čelika. Vanjske površine temeljnog ležaja moraju biti točno obrađene jer se kućičte ležaja ugrađuje u blok motora. Unutrašnja obrada mora biti takva da vanjski krak blazinice liježe cijelom svojom površinom na unutrašnju površinu kućičta. U kućičtu se mora nalaziti predviđeni kanal za dovod ulja te otvori za pričvršćivanje gornjeg i donjeg dijela ležaja, kao i osiguranje blazinice protiv okretanja. Kod proizvođača brodskih motora tvrtke Suzler i Fiat vijci se ne ugrađuju kroz kućičte ležaja, već između gornjeg dijela blazinice i poprečnog nosača, koji se nalazi između stalaka. U ovom slučaju vijci su opterećeni na tlak, dok su kod drugih proizvođača brodskih motora opterećeni na vlak.

Blazinice su najčešće lijevane od čeličnog ili sivog lijeva te legura bakra. Blazinica se lijeva centrifugalnim lijevom. Unutrašnja obrada blazinica temeljnih ležajeva izvodi se revolverskim strojem kako bi se osigurala ista geometrijska os svih ležajeva. Za obloge blazinica upotrebljavaju se materijali s visokim dopuštenim specifičnim tlakom i niskih koeficijentom trenja.

Materijali blazinica trebali bi udovoljiti sljedećim zahtjevima:

- Imati što višu točku taljenja
- Imati što bolju toplinsku vodljivost
- Imati što manji koeficijent rastezanja
- Moraju biti što lakši
- Moraju biti otporni protiv izlizavanja
- U slučaju nedostatka ulja trebaju se sigurno zaustaviti

Materijal koji može udovoljiti svim ovim zahtjevima ne postoji, pa se za obloge blazinice ležaja koriste razne slitine.

Za izradu temeljnih i letećih ležaja sporohodnih dizelskih motora koristi se bijela kovina. Bijela kovina u svojoj strukturi sadrži u najvećem dijelu slitine kositra (76 – 96%), dok antimon, bakar i olovo zauzimaju manje od 10%. Bijela kovina se dobro prilagođava osloncu, te se dobro ponaša pri smanjenom podmazivanju, no osjetljiva je na udarna opterećenja.

Za brzohodne brodske motore koriste se kositrena, aluminijska, silicijeva ili olovna bronca. Može se reći da kositrena bronca ima najširu primjenu jer ima dobra mehanička svojstva i dobro se lijeva te je pogodna za visoke temperature i udarna opterećenja.

Oslonac koji radi u ležaju mora biti površinski otvrdnut (površinski zakaljen ili cementiran). Ako su ležajevi izrađeni od bijele kovine površinska tvrdoća mora iznositi približno 255 HB (Brinela), no ako su ležajevi izrađeni od tvrdih bronci onda površinska tvrdoća mora biti duplo veća.

Prilikom ugradnje ležaja od bijele kovine potrebno je izračunati zračnost ležaja po formuli (Parat, 2005, str. 57):

$$x = \frac{0,7 d}{1000}$$

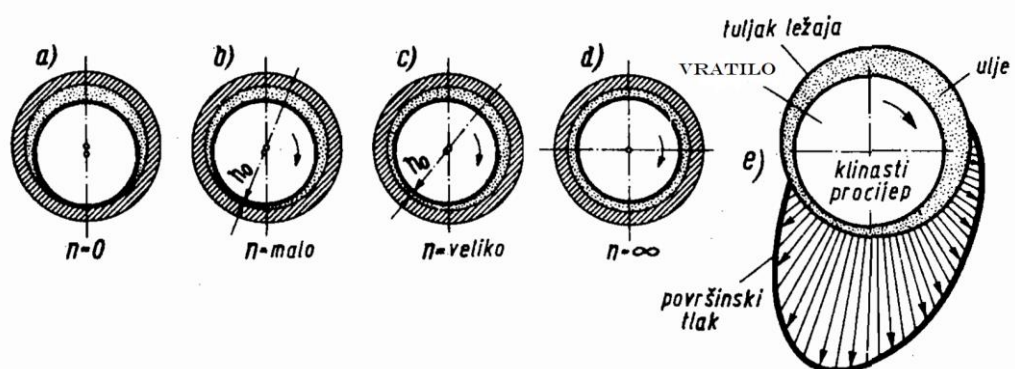
Dopušteno specifično opterećenje ležaja izrađenog od bijele kovine iznosi 11Mpa, a za tvrde slitine 68Mpa.

5. KLIZNI LEŽAJEVI

Klizni ležajevi se upotrebljavaju kao oslonci vratila i rukavaca osovina. Razlikuju se oni koji preuzimaju aksijalne ili uzdužne sile (potporni ležajevi) i oni koji preuzimaju radijalne ili poprečne sile (nosivi ležajevi). Za podmazivanje ležajeva idealno je hidrodinamičko podmazivanje uljem. Kako bi nastao uljni sloj između površina nalijeganja, brzina klizanja mora biti dovoljno velika kako bi se mogao stvoriti uljni klin.

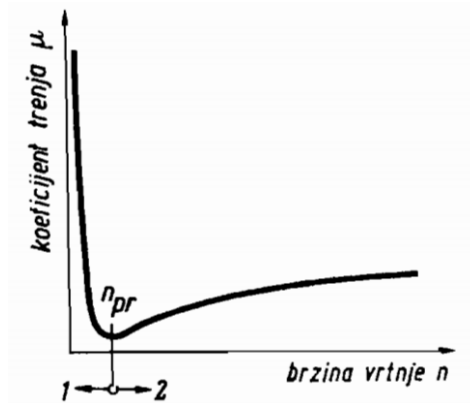
U stanju mirovanja vratilo leži ekscentrično u blazinici ležaja, stvarajući klinasti međuprostor. Taj prostor između vratila i blazinice popunjen je mazivim uljem, koje mora stalno dodirivati tijekom gibanja. Prilikom pokretanja motora (ili nekog drugog stroja) nastaje trenje koje se još naziva i mješovitim trenjem. Površina vratila nosi sa sobom ulje i tlači ga u međuprostor, zbog čega raste tlak te se vratilo pomiče u jednu stranu. Kako se povećava brzina vratila tako raste i tlak, vratilo se podiže i počinje plivati u uljnom sloju. U tom trenutku kada vratilo počne plivati, trenje iz mješovitog prelazi u tekuće. Brzina pri kojoj dolazi do promjene trenja naziva se prijelazna brzina vrtnje. Naknadnim porastom brzine dolazi do smanjenja ekscentriciteta, a ako bi imali beskonačno veliko brzinu vrtnje vratilo bi se centriralo u blazinici. Opterećenje ležaja i debljina mazivog sloja međusobno su ovisni.

Usljed prevelikog opterećenja ležaja može doći do probijanja mazivog sloja. Što je površinski tlak veći, a brzina klizanja manja to veći mora biti viskozitet ulja, dok se kod velikih brzina klizanja preporučuje ulje niskog viskoziteta.



Slika 5 Položaj rukavca kod raznih brzina vrtnje h_0 predstavlja debljinu uljnog sloja u suženom dijelu klinastog procijepa

Na slici 6. prikazana je Stribeckova krivulja koja prikazuje ovisnost koeficijenta trenja i brzine vrtnje pri hidrodinamičkom podmazivanju. Iz krivulje je vidljivo kako u području 1 vlada mješovito trenje. U Točki n_{pr} prikazana je prijelazna brzina vrtnje. U području 2 prikazano je hidrodinamičko podmazivanje u kojem je koeficijent trenja ovisan samo o viskozitetu ulja te se povećava s brzinom vrtnje.

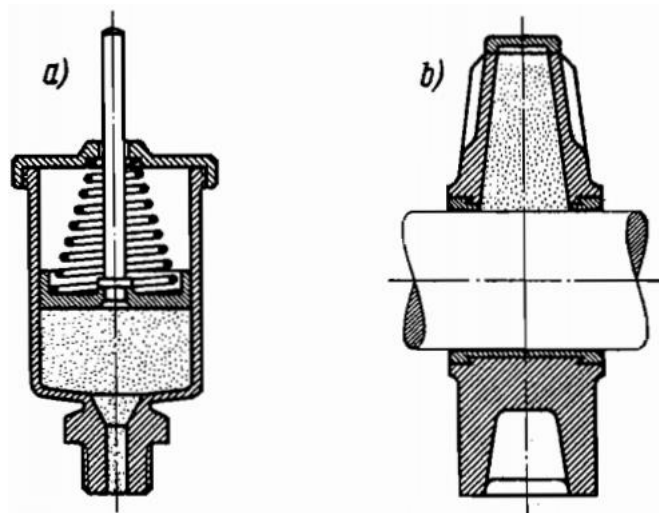


Slika 6 Stribeckova krivulja

5.1. PODMAZIVANJE KLIZNIH LEŽAJEVA

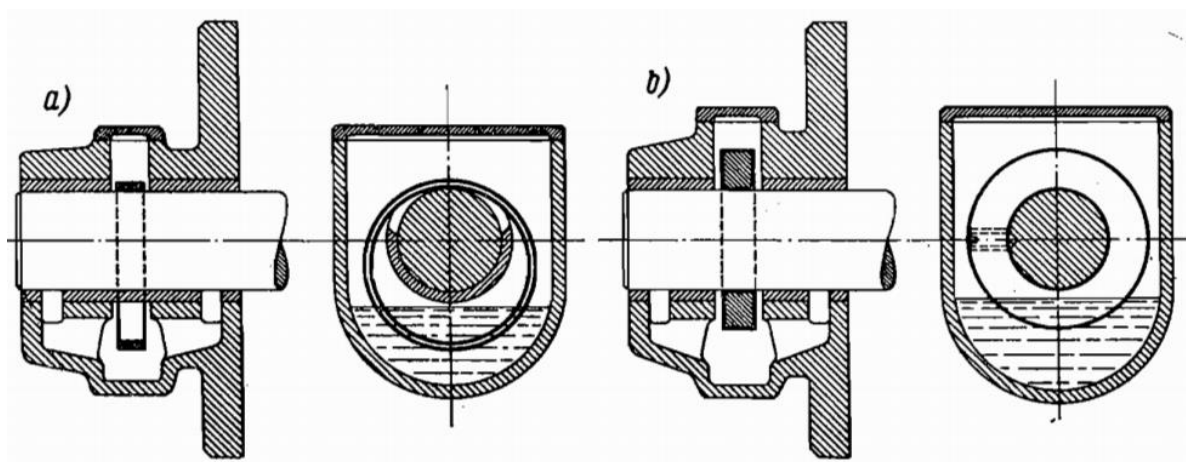
Ovisno o vrsti ležaja, ulje za podmazivanje se može dovoditi stalno ili povremeno do kliznih površina. Podmazivanje se vrši putem utora, kanala, komora i dr.

Ležajevi podmazivani mastima koriste se kod niskih opterećenja, sporohodnih motora te za prašnu okolinu te su jednostavni i jeftini. Višak masti ne kaplje s ležajnih mjesta, nego izlazi iz ležaja i štiti ga od onečišćenja. Ona se mora tlačiti do ležajnih mjesta. Ako dođe do prekomjernog zagrijavanja mast će se početi topiti i spremnik s masti će se isprazniti što može dovesti do zapaljenja ležaja.



Slika 7 Samopodmazivanje mastima; a) mazalica s oprugom; b) s komorom za mast

Ležajevi podmazivani uljem koriste se kod brzohodnih motora s velikim površinskim tlakovima i višim temperaturama. Koriste se, također, za podmazivanje zglobova manje bitnih ležajeva. Ulje se dovodi do otvora za podmazivanje putem kantice ili brizgalice za ulje. Pri podmazivanju uljem ležaj dobiva onoliko količinu ulja koja je dovoljna da ne dođe do zagrijavanja istog. Danas se koriste automatski uređaji za podmazivanje ležajeva koji dovode zadanu količinu ulja od ležaja (od 5 od 40 kapi u minuti). To je uglavnom mala pumpa s agregatom koja doprema ulje na mjesta gdje je to potrebno ovisno o veličini i brzini vrtnje ležaja (od 0,1 do 5 cm³ u minuti). Ulje nakon toga odlazi u sabirnik ulja.



Slika 8 Podmazivanje prstenom za podmazivanje; a) sa slobodnim prstenom; b) sa čvrstim prstenom

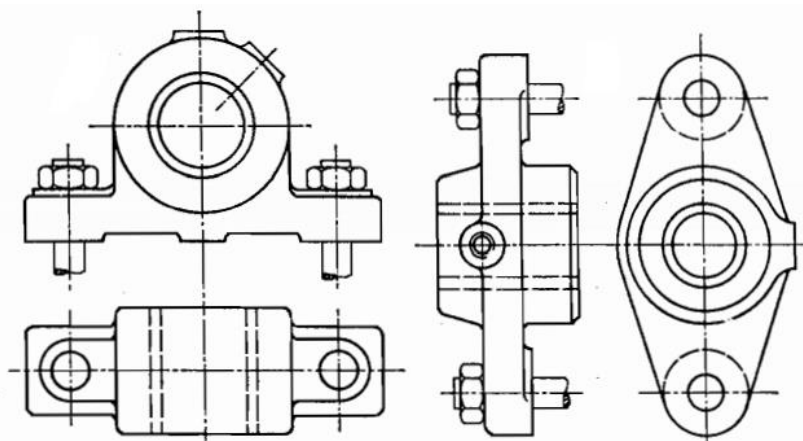
Ležajevi podmazivani uranjanjem su jednostavni, sigurni i štede ulje. Dijelovi koji se rotiraju uranjaju se u uljnu kupku te bacaju ulje po ležaju. Uranjanje je minimalno kako bi se smanjili gubici energije i zagrijavanje.

Za podmazivanje pogonsko važnih ležajeva koristi se cirkulacijsko podmazivanje koje je najsigurnije i najekonomičnije. Uljna pumpa dovodi ulje do svih mjesta gdje je to potrebno putem sistema cijevi.

Ulje koje je izvršilo svoju funkciju odlazi u sabirnik ulja gdje ponovno ide u sistem, no prije nego dođe do ležaja koji podmazuje, prolazi kroz filter koji otklanja krute nečistoće kao što su komadići metala koji mogu oštetiti pumpu nakon toga, a ako je potrebno odlazi u rashladnik ulja te ujedno i hladi ležajeve koje podmazuje.

5.2. KONSTRUKCIJA RADIJALNIH LEŽAJEVA

Radijalni ležajevi konstruirani su tako da mogu biti stojeći, prirubni, ugradni ležaji ili izravno povezani s konstrukcijom stroja. Stojeći i prirubni ležajevi u konstrukciju se ugrađuju kao posebne strojne grupe, dok se ugradni ležajevi montiraju kao posebni strojni dijelovi u konstrukciju. Ležajevi izravno povezani s konstrukcijom se lijevanjem ili kovanjem mogu spojiti s konstrukcijom.



Slika 9 Stojeći jednodjelni i prirubni ležaj

Ako se vratilo ne može uvući s čeine strane, ležajevi moraju biti u dva dijela. Oni se sastoje od tijela kao donjeg i poklopca kao gornjeg dijela te je svaka polovica opremljena polovinom blazinice. Kako bi mogli prihvatiti sile, kućište im mora biti snažno i kruto te

velike površine radi dobrog odvođenja topline. Poželjno je da su vijci s kojima se pritežu dvije polovice elastični kako ne bi došlo do savijanja poklopca ležaja.

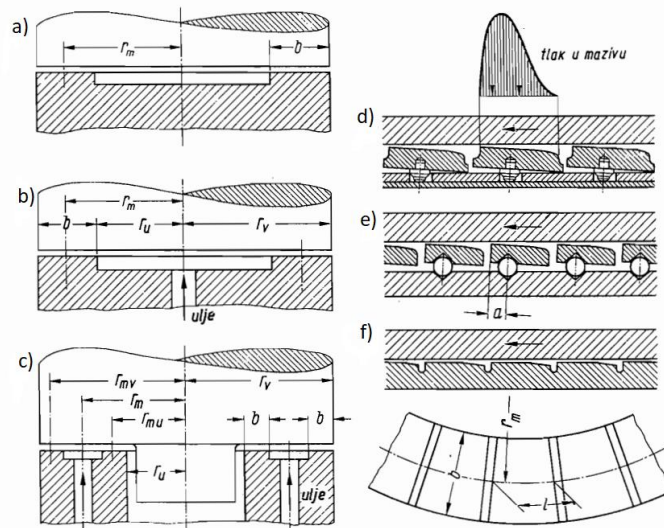
5.3. KONSTRUKCIJA AKSIJALNIH LEŽAJEVA

Jednostavni aksijalni ležajevi(10 a) sastoje se od dvaju ploča koje klize jedna po drugoj. Kod ove izvedbe nije moguće postići hidrodinamičko podmazivanje jer nema uljnog klina, pa ovaj tip ležaja radi isključivo u području mješovitog trenja. Nije ga moguće puno opteretiti te se koriste samo za određene svrhe.

Hidrostatski ležaj 10 b) i c) stalno tlači ulje među klizne površine, a nakon toga ulje izlazi van. Ovaj ležaj radi samo pri pokretanju i zaustavljanju s tekućim trenjem tako da zapravo ni ne dolazi do trošenja istoga.

Hidrodinamički ležaj 10 d) i e) ima klinaste procjepe za stvaranje hidrodinamičkog tlaka (naziva se još i segmentni uporni ležaj). Procjepi nastaju uslijed gibanja ploče po kružnim segmentima, koji se postavljaju pod određenim kutem. Klinasti procijep također je moguće dobiti iz punog prstena zakrivljenjem nepokretnih segmenata (taj ležaj bi se nazivao uporni s čvrstim segmentima i nalazi se na slici 10 f). Upotrebljava se za srednja opterećenja, no ako su segmenti izrađeni od bijele kovine može se više opteretiti. Za turbine se rade aksijalni ležajevi s nagibnim segmentima nosivosti do 50000kN te brzinom klizanja do 60 m/s. Zbog velikih brzina turbine zahtijevaju dobro hlađenje, a budući da pri malim brzinama rade s mješovitim trenjem potrebno je brzo pokretanje i zaustavljanje.

Kod svih navedenih ležajeva ulje za podmazivanje potrebno je dovoditi iznutra kako bi se eliminirala mogućnost izbacivanja ulja uslijed djelovanja centrifugalne sile.



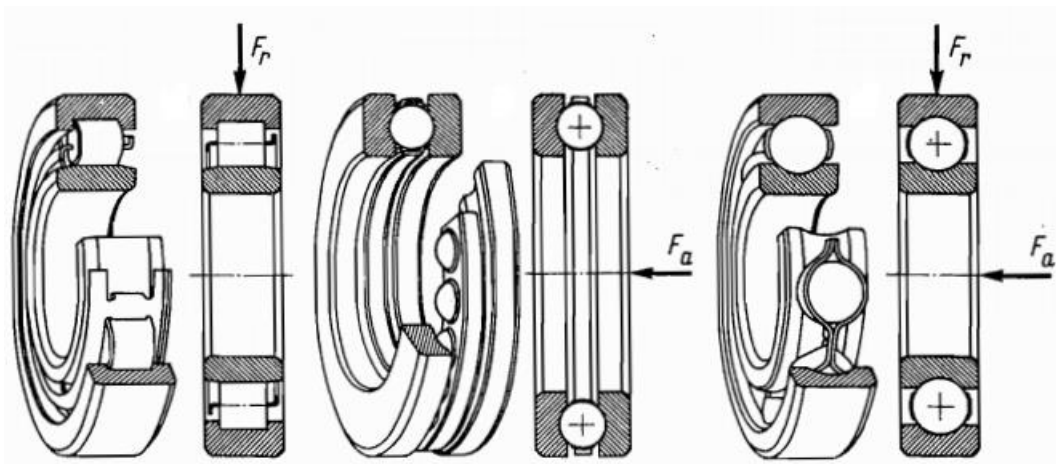
Slika 10 Princip aksijalnih ležaja; a) jednostavni prstenasti aksijalni ležaj; b),c) hidrostatski prstenasti aksijalni ležaj; d) hidrodinamički prstenasti ležaj sa segmentima nagibnim na svornjacima; e) hidrodinamički prstenasti ležaj sa segmentima nagibnim na kuglama; f) hidrodinamički prstenasti ležaj s nepokretnim segmentima

6. VALJNI LEŽAJEVI

Svi valjni ležajevi su kuglični, valjkasti ili igličasti. Između čeličnih ploča kreću se valjna tjelešca između kojih se javlja trenje kotrljanja čiji je koeficijent trenja od 25% do 50% niži u usporedbi s kliznim ležajevima. Iz toga razloga valjni ležajevi se manje zagrijevaju te rade s manjim gubicima energije. Za električne strojeve i alate je bitan točan rad a valjni ležajevi to i pružaju s obzirom na klizne. Također, rade s manjim zračnostima. Zauzimaju malo prostora, nije ih potrebno nadzirati u radu, manje se podmazuju i nije im potrebno uhodavanje u usporedbi s valjnim ležajevima.

Što se tiče nedostataka, valjni ležajevi su bučniji u radu i osjetljivi na udarna opterećenja. Uglavnom su skuplji od kliznih ležajeva i zahtijevaju preciznu izradu zbog malih tolerancija između vratila i provrta kućišta. Sastavljanje i rastavljanje valjnih ležajeva je kompleksnije nego kod kliznih.

Prema smjeru djelovanja sila razlikuju se aksijalni ležajevi, radijalni ležajevi i utorni kuglični radijalni ležajevi za preuzimanje radijalnih i aksijalnih opterećenja. Kod aksijalnih ležajeva valjčići se gibaju između dva koluta, dok kod radijalnih između prstenova.



Slika 11 Valjni ležaj zarazličite smjerove opterećenja

Valjni ležajevi sastoje se od ploča ili prstenova te valjnih tjelešaca koja mogu biti cilindričnog, stožastog, kuglastog ili bačvastog oblika, a nalaze se u kavezu. Kavez sprječava njihov međusobni dodir. Valjna tjelešca se nalaze između unutarnjeg i vanjskog prstena radijalnog ležaja unutar kojeg se kotrljaju. Valjna tjelešca i prstenovi izrađeni su od čelika legiranog kromom. Za izradu kaveza najčešće se koristi čelični lim, dok se mjed, laki metali ili umjetne mase koriste kod masivnih kaveza.

6.1. OPTEREĆENJE I UGRADNJA VALJNIH LEŽAJEVA

Prilikom učvršćivanja vratila i osovina u uzdužnom smjeru najčešće se koristi čvrsti ležaj. Nije moguće montirati dva čvrsta ležaja, jer bi se uz bokove valjnih staza valjna tjelešca previše tlačila te bi iz tog razloga moglo doći do zagrijavanja i oštećenja. Čvrsti ležaj je u mogućnosti, osim radijalnih sila, preuzeti i aksijalne sile u oba smjera, dok slobodni ležaj ima mogućnost aksijalnog pomicanja.

Kod slobodnog ležaja učvršćuje se samo jedan prsten dok kod čvrstog ležaja oba prstena (unutarnji i vanjski prsten). Iglčasti i cilindrično-valjkasti ležajevi imaju prstene koji su međusobno aksijalno pokretljivi. Dva slobodna ležaja ugrađuju se u situacijama kada je kod vratila ili osovine dopuštena mala aksijalna zračnost, koja se ograničava uz pomoć graničnika u kućištu ležaja. Aksijalnu zračnost je također moguće odstraniti uz pomoć elastičnih opruga pa se ležaj uvijek nalazi pod malim opterećenjem.

Kako bi se nosivost ležaja mogla maksimalno iskoristiti, prsteni moraju čvrsto radijalno leći na površine nalijeganja. Takvo nalijeganje omogućuje se čvrstim dosjedom koji ukružuje prstenove. Zbog montaže i demontaže nije moguć čvrsti dosjed oba prstena. Potrebno je ustanoviti kojem će se prstenu dati labaviji dosjed. Za to su mjerodavne sljedeće vrste opterećenja:

1. Obodno opterećenje: ako prsten miruje, a sila rotira (ili obrnuto)
2. Točkasto opterećenje: ako prsten i sila miruju ili ako sila sinkrono rotira s prstenom.
3. Njihajuće opterećenje: ako se prsten njiše, a sila ili prsten miruju, a njiše se sila.

Kod obodnog i njihajućeg opterećenja potreban je čvrsti dosjed jer se sila pomiče, dok kod točkastog opterećenja dosjed može biti i labaviji jer sila miruje tj. ne daje povod za pomicanjem.

Igličasti ležajevi s obzirom na valjkaste i kuglične ležajevi trebaju mali ugradbeni prostor te imaju relativno veliku opteretivost. S igličastim ležajevima uležišćuju se vratila električnih strojeva, klipnjače benzinskih motora, zupčanici u alatnim strojevima, remenice itd. Igličasti ležajevi mogu se izraditi s ili bez unutarnjeg prstena. Ako se ležaj izradi bez unutarnjeg prstena, onda iglice neposredno prolaze po vratilu, pa im je time potreban još manji prostor. I stijenka provrta kućišta može služiti kao ploha po kojoj se kotrljaju iglice pa se tada igličasti ležaj ugrađuje i bez vanjskog prstena. Zbog toga što igličasti ležajevi ne mogu preuzeti aksijalne sile, razvijene su konstrukcije s kugličnim ležajevima gdje je moguće preuzimanje aksijalne sile.

Radijalni kuglični i stožasti valjkasti ležajevi mogu se rastaviti, a vanjski i unutarnji prsten mogu se naknadno ugraditi što je korisno kod serijske montaže. Ovi ležajevi se mogu opteretiti radijalno i aksijalno.

Valjni ležajevi ugrađuju se u jednodijelna i dvodijelna kućišta kao čvrsti ili slobodni ležaji.

Aksijalni ležajevi ne omogućuju radijalno pomicanje. Jedna se ploča (prsten) centrira na rukavac dok drugi na kućište. Kuglični i igličasti aksijalni ležajevi su osjetljivi na pomak osi ležaja. Samopodesivi aksijalni ležajevi mogu primiti i veće radijalne sile.

6.2. NOSIVOST I VIJEK TRAJANJA

Valjkasti ležajevi moraju prema konstrukciji ili načinu ugradnje preuzeti aksijalne, radijalne ili obje sile istovremeno. Proračun nosivosti valjnih ležajeva standardiziran je prema DIN 622. Prema tom standardu dinamička nosivost ili vijek trajanja nekog valjnog ležaja je broj okretaja ili broj radnih sati koje ležaj mora izdržati bez znakova zamora materijala na pločama, prstenovima ili valjnim tjelešcima. Zamor materijala će početi s malim pukotinama koje kasnije prelaze u rupice. Kako bi se mogao izračunati vijek trajanja ležaja, za svaki ležaj je zadana njegova dinamička nosivost C . Dinamička nosivost predstavlja ekvivalentno opterećenje kod kojeg 90% svih ležaja daje nominalni vijek trajanja od 10^6 okretaja (Decker, 1975, str. 231).

$$L = 10^6 \cdot \left(\frac{C}{F}\right)^x \quad \text{pri } x > 1$$

Kod ležajeva s pogonskom temperaturom preko 120°C dolazi do promjene strukture te deformacije ležaja. Kako bi se to spriječilo, ležajevi koji rade na tim temperaturama podvrgavaju se postupku stabilizacije što dovodi do smanjenja dinamičke nosivosti te se u tom slučaju uvodi faktor tvrdoće f_H , pa gornja jednačba izgleda ovako (Decker, 1975, str.231):

$$L = 10^6 \left(\frac{f_H \cdot C}{F}\right)^x$$

Iz čega je:

L – nominalni vijek trajanja [okr]

f_H – faktor tvrdoće

C – dinamička nosivost normalnog ležaja [kN]

F – dinamičko ekvivalentno opterećenje [kN]

x – eksponent vijeka trajanja (iznosi 3 za kuglične ležajeve, a za ostale 10/3)

Dinamičko ekvivalentno opterećenje dobije se iz izraza (Decker, 1975, str. 232):

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Iz čega je:

F_r – radijalno opterećenje [kN]

F_a – aksijalno opterećenje [kN]

X – radijalni faktor

Y – aksijalni faktor

Igličasti i cilindrično valjkasti ležajevi mogu prihvatiti jako male aksijalne sile ili ih uopće ne mogu prihvatiti pa je $F = F_r$. Kod aksijalnih kugličnih ležajeva koji ne mogu prihvatiti radijalne sile $F = F_a$.

Statička nosivost predstavlja statičko opterećenje koje nastaje na valjnom tjelešcu koje je u dodiru s valjnom stazom te na mjestu dodira dolazi do trajne deformacije, koja ne bi smjela smanjiti funkciju ležaja. Ako se tokom statičkog opterećenja ležaj okreće malom brzinom i ako ne postoje veliki zahtjevi u mirnoći hoda, moguće je tolerirati i znatno veća plastična deformiranja. Ako je potrebna mirnoća hoda i dobre tarne karakteristike plastične deformacije moraju biti manje.

Za prosuđivanje koriste se sljedeće jednačbe (Decker, 1975. str. 237):

$$f_s = \frac{C_0}{F_0}$$

f_s – karakteristika statičkog opterećenja

C_0 – statička nosivost ležaja [kN]

F_0 – statičko ekvivalentno opterećenje ležaja [kN]

Jednačba za statičko ekvivalentno opterećenje jednaka je kao i za dinamičko samo što se kod svakog slova dodaje indeks 0. Statičko opterećenje kod igličastih, cilindrično valjkastih i kugličnih ležajeva jednako je kao i kod dinamičkog opterećenja.

6.3. PODMAZIVANJE VALJNIH LEŽAJEVA

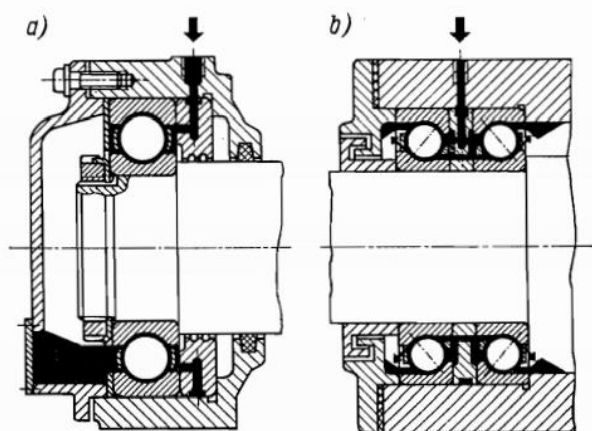
Valjni ležajevi se mogu podmazivati mašću ili uljima, no češće je podmazivanje mašću zbog jednostavnijeg brtvljenja te laganog naknadnog podmazivanja. Mast za podmazivanje može biti mekana i tvrda. Mekane masti se koriste kada trenje u ležaju mora biti jako malo, ako su potrebni mali pomaci u podešavanju ili ako pogonski stroj mora svladati trenje u ležaju. Mekane masti se koriste u uvjetima gdje stroj mora krenuti iz hladnog stanja te tamo

gdje se masti moraju tlačiti kroz duge kanale do ležaja. Što se tiče krućih masti one se koriste tamo gdje šumovi trebaju biti što manji, također koriste se na izlazima vratila da bi spriječile ulaz prašine, stranih tijela ili vode u kućište stroja. Masti koje imaju dobru prionljivost te dobro podnose visoke temperature koriste se kod ležajeva gdje mast zbog svoje težine izlazi iz ležaja kao što je slučaj kod vertikalnog vratila.

Najpoznatiji i najčešći način podmazivanja mašću je jednokratno podmazivanje što znači da se ležaj podmaže samo jednom i traje dok traje i ležaj. Za ovaj način podmazivanja koriste se valjno stabilne masti i koje su otporne na starenje. Kako pri višim temperaturama mast brže stari, poželjno je izabrati mast kod koje su radne temperature više od očekivane radne temperature na kojoj će mast raditi. Za jednokratno podmazivanje koriste se uglavnom masti na bazi litija ili neke druge specijalne maste.

Količina masti s kojom se puni ležaj ovisi o pogonskog brzini vrtnje. Kroz šupljine u ležaju stalno se dovodi mast kako bi funkcionalne površine uvijek bile adekvatno podmazane. Valjni ležajevi s obostranim brtvenim pločama napune se mašću samo 20 od 30% što je dostatno za cijeli vijek trajanja ležaja.

Na slici se nalazi primjer ležaja koji se podmaže mašću. Na slici a) pored ležaja nalazi se debela ploča s provrtima putem kojih se dovodi mast do valjnih tijela. Pri naknadnom dodavanju masti stara mast istiskuje se kroz komoru van, odakle je treba sakupiti s vremena na vrijeme. Mašću se također puni i druga komora kako bi se poboljšalo brtvljenje. Na slici b) između dva ležaja se nalazi debela ploča kroz čije se provrte oba ležaja opskrbljuju mašću. Mast se zbog djelovanja centrifugalne sile ne može nagomilati jer se odvodi van.



Slika 12 Podmazivanje mašću kod valjnih ležajeva; a) jednog kugličnog ležaja; b) dvaju kugličnih ležaja s kosim dodirrom

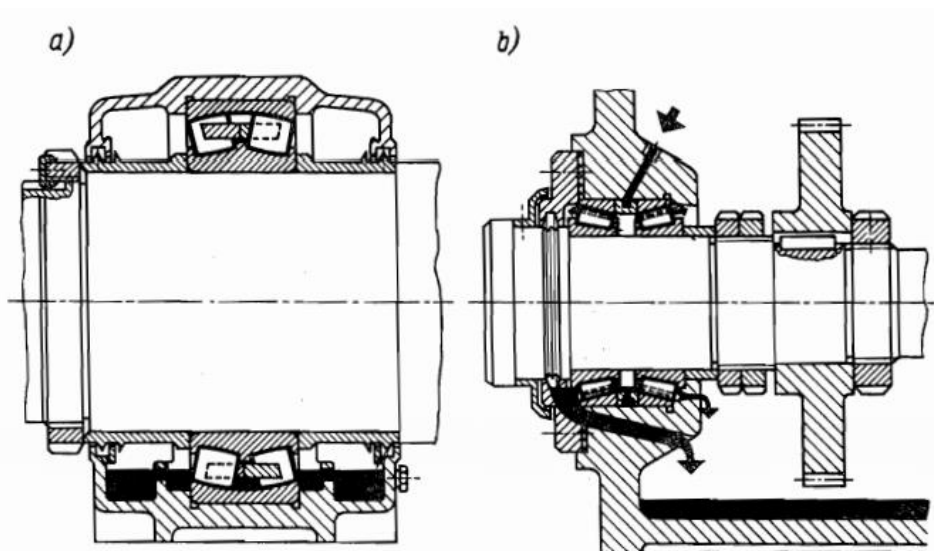
Podmazivanje uljem uglavnom zadovoljava potrebe podmazivanja valjnih ležajeva. Za pumpanje ulja koriste se pumpni agregati koji svakom ležaju, ovisno o veličini i brzini vrtnje, dobavljaju ulje kroz provrte. Količina ulja koju dobavlja je od 0,1 do 5 cm³ ulja/min.

Kod brzohodnih ležajeva koristi se podmazivanje uljnom maglom. Zrak pod tlakom dovodi se u usisnu cijev, njen je donji kraj uronjen u uljnu kupku. Zračna struja vuče za sobom kapljice ulja koje prolaze kroz cijevne vodove te dolaze do samog ležaja. Ovaj način podmazivanja ima prednost što se uz podmazivanje ovaj ležaj odmah i hladi zbog zračne struje. Zbog pretlaka, koji nastaje također se sprječava ulazak stranih tijela i prašine. Kao i kod podmazivanja s pumpnim agregatima, ulje kada obavi svoju funkciju vraća se u sabirni tank.

Sljedeća metoda podmazivanja uljem je uranjanjem. Pri svakom okretaju ležaja valjna tjelešca se umoče u ulje. Donja strana valjnih tjelešca mora biti uronjena samo do pola jer ako bi bila uronjena preko polovice došlo bi do penjanja ulja, a time i povišenja temperature, što bi rezultiralo bržem starenju ulja.

Optočno podmazivanje koristi se kada je potrebno ležaju dopremiti veliku količinu ulja. Ovaj način podmazivanja upotrebljava se kod srednjih i velikih brzina vrtnje te kada je potrebno odvoditi toplinu pri visokim okolnim temperaturama. Svaki valjni ležaj pruža određeni otpor protoku ulja pa se kroz ležaj ne može protlačiti željena količina ulja. V_{ulja} predstavlja dovoljan volumen protoka ulja za podmazivanje, dok je V_{hl} maksimalno mogući volumen ulja za hlađenje. Najjednostavniji način je onaj gdje se ulje dovodi s jedne čeonice strane ležaja preko provrta ili cijevi, a s druge čeonice strane odlazi preko kanala u sabirni tank ili čak direktno u njega. . Količina ulja se računa prema sljedećem:

D [mm]	30	50	100	200	500	1000
V_{ulja} [dm ³ /min]	0,001	0,003	0,01	0,05	0,3	0,5
V_{hl} [dm ³ /min]	0,003	0,07	0,3	1	7	12



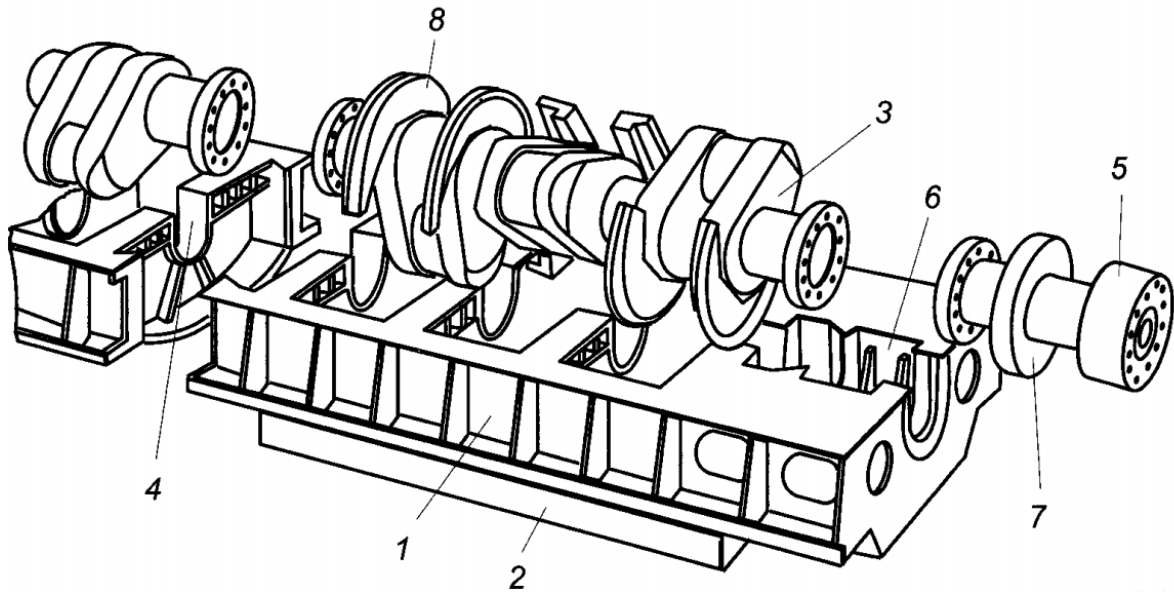
Slika 13 Podmazivanje uljem kod valjnih ležaja; a) podmazivanje uranjanjem; b) optično podmazivanje

6.4. KUĆIŠTE VALJNOG LEŽAJA

Kućište valjnog ležaja uglavnom je izvedeno kao razdvojivo ili nerazdvojivo. U njemu se nalazi voda za hlađenje ležaja. Također postoje i druge posebne izvedbe koje imaju široki raspon primjene. Kućišta su najčešće izvedena od lijevanog željeza ili čelika, zajedno s ležajem i brtvilima čine cjelinu. Kao što je već rečeno, valjkasti ležajevi su obično kuglični, igličasti ili valjkasti te nemaju vlastitu metodu brtvljenja, stoga se oni moraju brtviti pomoću kućišta. Postoje razne izvedbe brtvi ovisno o radnim uvjetima u kojima ležaj radi.

7. OSNOVNI LEŽAJEVI BRODSKOG MOTORA

Prema načinu ugradnje koljenastog vratila razlikuju se stojeći ili viseći osnovni ležajevi. Stojeći se ležajevi upotrebljavaju kad motor ima temeljnu ploču te se redovno primjenjuje kod velikih sporookretnih motora. Ti su ležajevi lijevani zajedno s temeljnom pločom ili su na temeljnu ploču zavareni. Viseći se ležajevi upotrebljavaju kod motora bez temeljne ploče, tj. za male motore lake izvedbe, koji se u slučaju kvara na osnovnim ležajevima ili koljenastim vratilima mogu cijeli podići.



Slika 14 Dio zavarene temeljne ploče s koljenastim vratilo: 1- temeljna ploča; 2- limeno uljno korito; 3- koljenasto vratilo; 4- poprečni nosač osnovnog ležaja; 5- odzivno vratilo spojeno vijcima s koljenastim vratilom; 6- odzivni ležaj na motoru; 7- odzivni prsten; 8- bregaste ploče za podizanje ispušnog ventila

Temeljni se ležaj sastoji od trupa ležaja, od uloženi blazinica ležaja (čša ležaja) i poklopca. Blazinice ležaja sastoje se od gornje i donje polovine, između kojih se nalazi ili jedan deblji uložak ili više kalibriranih tanjih uložaka. Blazinice su zajedno s ulošcima stisnute pomoću vijaka poklopca, a uzdužno pomicanje i zakretanje sprečava se zaticima, izdancima ili sličnim uređajima. Obje su polovine blazinica cilindrične. Donja se može izvaditi, a da se pri tom ne mora podići cijelo koljenasto vratilo. Blazinica se u tome slučaju vadi tako da se skine poklopac pa se u jednu, za to predviđenu rupu na vratilu namjesti zatik, izvadi iz ležišta prema gore. Prema istrošenosti blazinice određuje se popravak. Popravak se može sastojati samo od struganja ili ponovnog lijevanja bijele kovine.

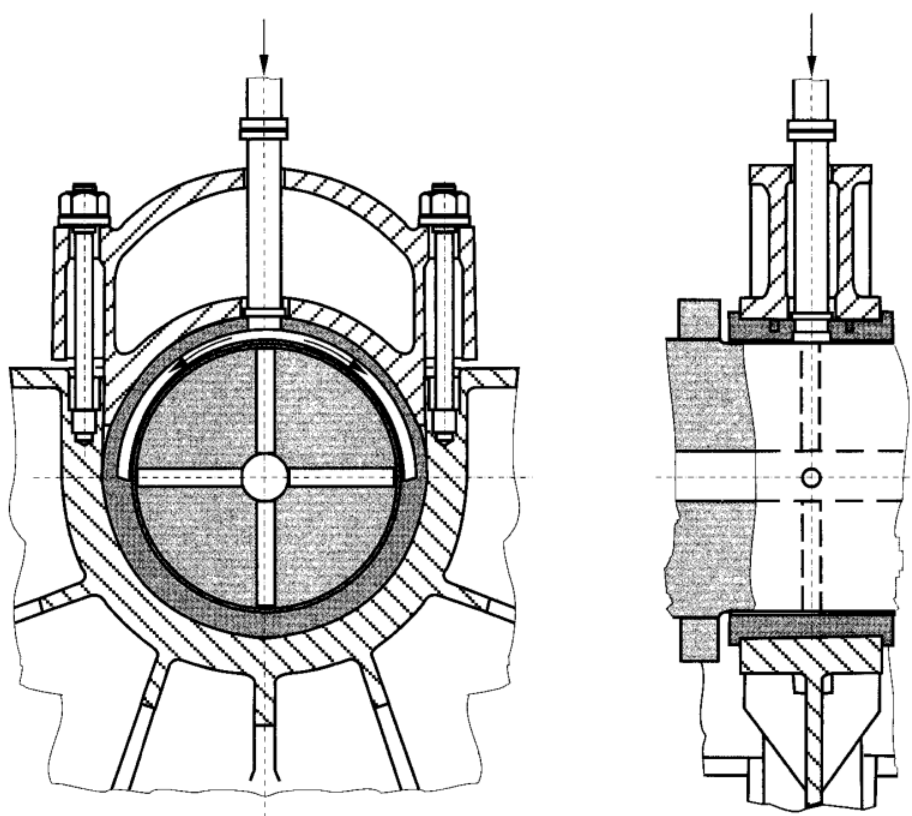
Blazinice sporookretnih motora imaju debelu stijenku (5 do 15 mm) i izrađene su od sivog lijeva, lijevanog čelika ili bronce, s lijevanim slojem bijelog metala.

Blazinice brzookretnih motora imaju tanke stijenke, iskovanе su od čelika (1,5 do 3 mm) i zalivene su olovnom bronce. Za brzokretne se motore još upotrebljavaju tzv. bimetalni ležajevi od tankog kovanog čelika (0,75 do 2 mm) zalivenog tankim slojem olovne bronce (0,5 do 0,8 mm) ili bijelog metala. Često se na olovnu bronce, radi poboljšanje rada, stavlja još tanki sloj od 0,1 mm bijelog metala ili kositra te se tako dobiju troslojni ili bimetalni ležajevi. U novije vrijeme primjenjuju se i aluminijski ležajevi.

Dopušteno specifično opterećenje ležajeva je:

- 8-12 N/mm² za bijeli metal
- Do 20 N/mm² za olovnu broncu
- 25 – 30 N/mm² za aluminijske ležajeve

Dijametralna zračnost ležaja je kod sporookretnih i srednje okretnih motora 1/1000 do 1/800 promjera osnaca, a zavisi o brzoekonomosti motora, točnosti obrade vratila, materijalu ležaja ili kvaliteti ulja za podmazivanje.



Slika 15 Osnovni ležaj motora

Podmazivanje ležaja je tlačno te ulje normalno prelazi iz osnovnog ležaja u šuplje koljenasto vratilo radi podmazivanja donjeg i gornjeg ležaja ojnice. Donji je visoko opterećeni dio ležajne blazinice bez utora za ulje. Formiranje jastuka ulja u donjoj polovini ležaja potpomaže se klinastim utorom u ravlini sastava gornje i donje polovine ležaja. Taj utor izrađen je na preko 2/3 duljine ležaja.

Osnovni ležaj motora na Slici 15 prikazuje dovod ulja u ležaj i prijelaz ulja u šuplje vratilo. Blazinice ležaja osigurane su protiv zakretanja vijcima. Radi hlađenja ležaja mora

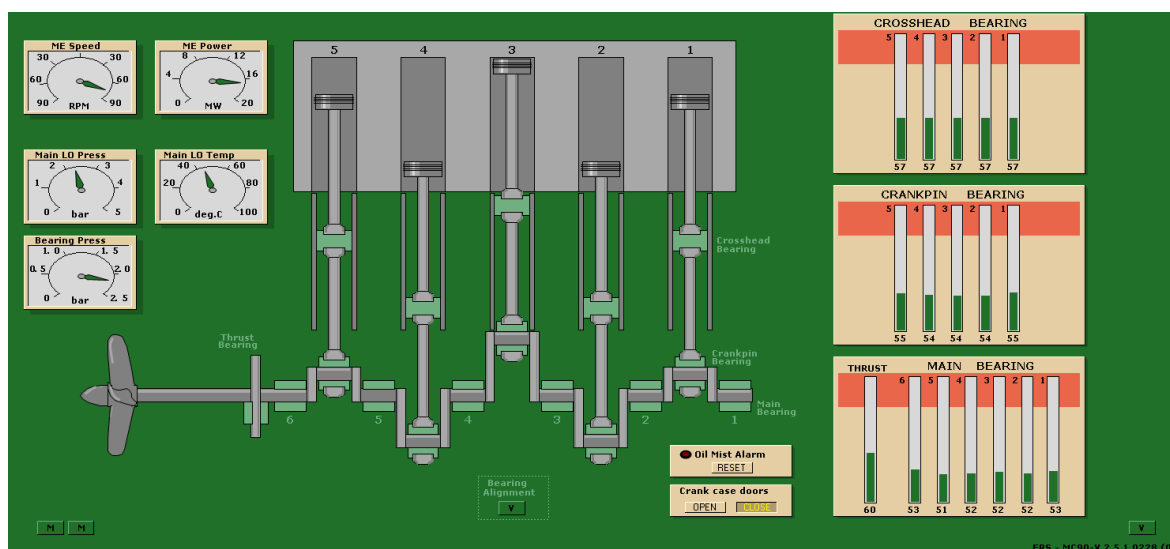
biti osiguran protok ulja, koji za velike strojeve iznosi oko 14 dm³/kWh bez hlađenja stapova, dok za brzokretne motore treba i preko 27 dm³/kWh.

Ležaj se za svakih 1000 sati pogona istroši:

- Kod sporookretnih motora od 0,01 do 0,015 mm
- Kod brzokretnih motora od 0,02 do 0,03 mm

Kod motora koji nemaju posebno ugrađen odrivni ležaj u temeljnoj ploči, mora jedan osnovni ležaj biti izveden kao odrivni ležaj, a on određuje uzdužni položaj koljenastog vratila motora.

Na slici 16. nalaze se ležajevi glavnog motora. Na ovoj shemi mogu se pratiti temperature pojedinih ležajeva glavnog motora. Prikazani su ležajevi križne glave, temeljni i leteći ležaj te odrivni ležaj. Kao što je vidljivo na shemi, temperatura odrivnog ležaja je nešto viša od temperature ostalih ležajeva glavnog motora. Također, na shemi je prikazana brzina glavnog motora, snaga u MW te tlakovi i temperature ulja.

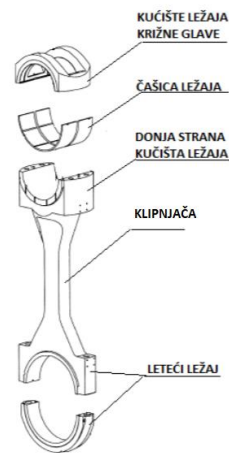


Slika 16 Ležajevi glavnog motora sa Kongsbergovog simulatora

7.1. LEŽAJ KLIPNJAČE

Klipnjača je izrađena od kovanog ili lijevanog čelika i opremljena je s poklopcem ležaja za križnu glavu i leteći ležaj. Poklopac križne glave i letećeg ležaja učvršćen je na klipnjači s usadnim vijcima i maticama koje su zategnute pomoću hidrauličke dizalice. Poklopac križne glave izrađen je u jednom komadu s kutnim izrezom za klipnjaču. Ležaj

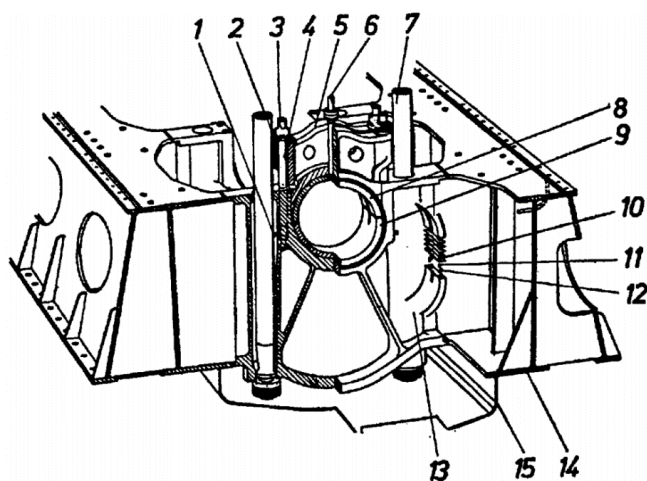
križne glave i letećeg ležaja ima blazinicu koja je obložena s bijelom kovinom. Ležajevi se podmazuju putem kanala u križnoj glavi i klipnjači.



Slika 17 Ležaj klipnjače

7.2. TEMELJNI I LETEĆI LEŽAJ

Temeljna ploča je napravljena s odzivnim ležajem na stražnjem dijelu motora. Temeljna ploča se sastoji od uzdužnih i poprečnih nosača koji su međusobno zavareni. Za ugradnju temeljne ploče u motorno sjedište korišteni su elastični vijci koji si pritegnuti hidrauličkim alatom. Temeljna ploča izrađena je bez konusa. Karter je izrađen od čelične ploče koja je zavarena na temeljnu ploču. U karteru se skuplja povratno ulje iz sustava podmazivanja i hlađenja motora. Temeljni ležaj ima blazinice obložene bijelom kovinom. Donja blazinica temeljnog ležaja može se okrenuti i izvući pomoću posebnih alata u kombinaciji s hidrauličkim alatom za podizanje radilice. Blazinice se održavaju u istom položaju uz pomoć poklopca ležaja.



Slika 18 Temeljni ležaj motora MAN; 1- provrt u donjem kućištu; 2- osigurač; 3- matica vijka temeljnog ležaja; 4- vijak; 5- gornje kućište; 6- cijev za dovod ulja; 7- kotveni vijak; 8- gornja blazinica; 9- donja blazinica; 10- podložak; 11- 12 osigurač; 13- poprečni nosač temeljne ploče; 14- temeljna ploča; 15- karter

Kod brodskih motora temeljni i leteći ležaj su najčešće klizni, no kod nekih manjih i vanbrodskih motora oni su valjne izvedbe. Temeljni ležaji se nalaze u poprečnim nosačima bloka motora.

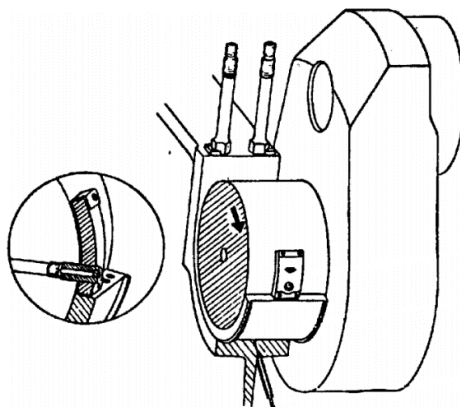
Leteći ležaji se nalaze u osloncima ručaka koljenastog vratila i povezuju stapni mehanizam i ojnice. Kako bi se izbjeglo suho trenje između dva klizna elementa, potrebno je između dodirnih površina osigurati tekuće trenje.

Kako bi se osiguralo tekuće trenje moraju postojati sljedeći uvjeti:

- Prostor između blazinice i oslonca mora biti potpuno ispunjen viskoznom uljem
- Između radnih površina mora biti stvoren uljni klin
- Brzina okretanja oslonca u odnosu na blazinicu mora biti dovoljno velika da tlak na osloncu može održati oslonac u ravnoteži

Uljni klin postiže se zračnošću između oslonca i blazinice ležaja. Kada se oslonac ne kreće, on leži na blazinici, a prostor je u obliku srpa. Razlika promjera blazinice i oslonca predstavlja zračnost ležaja. U trenutku kada se oslonac počne kretati zbog porasta tlaka ulja, podići će se i pomaknuti u stranu, a ekscentričnost iz prijašnjeg slučaja kada je oslonac mirovao će postati manja. Pri određenoj brzini, tlak ulja će biti dovoljno visok da se oslonac uzdigne. U tom trenutku će nastati hidrodinamičko plivanje, a trenje između oslonca i

Nakon strojne obrade unutrašnjih površina započinje obrađivanje vanjskih donjih površina blazinice za dobro dosjedanje u kućište temeljnog ležaja. Kućište je potrebno premazati tankim slojem montažne boje, nakon toga laganim udarcima olovnog čekića blazinica se zakrene nekoliko puta za određeni kut. Izbočenja označena bojom skidaju se uz pomoć turpije sve dok cijela površina ne dosjedne u kućište. Horizontalni pomak blazinice ne smije biti veći od 0,15 – 0,20 mm, a ukoliko se radi o otpornom ležaju onda ne smije biti veći od 0,15 mm.



Slika 21 Uređaj za demontažu donje blazinice temeljnog ležaja

7.4. OBRADA GORNJIH DIJELOVA BLAZINICA

Vanjske i unutarnje površine obrađuju se slično kao i donji dijelovi blazinice. Kada se gornji dio smjesti u svoje kućište, lisnato mjerilo debljine 0,3 mm ne smije proći između blazinice i kućišta u dubinu veću od 1 cm.

Kako bi se prilikom montaže regulirala zračnost između gornjeg i donjeg dijela blazinice postavljaju se podlošci. Zračnost se mjeri uz pomoć mekane olovne žice koja je malo većeg promjera od minimalne zračnosti. Žica se postavlja na tri mjesta preko oslonca dužine od oko 2/3 poluopsega. Nakon toga gornji ležaj se postavlja na mjesto, dok se matice pritežu do kraja. Kada se matice dotegnu potrebno ih je otpustiti da se ležaj otvori. Zračnost ležaja će odgovarati debljini olovne žice. U današnje vrijeme blazinice brodskih motora su kalibrirane pa nema dorade kada je potrebna izmjena.

7.5. CENTRIRANJE BLAZINICE

Blazinica koja je prethodno obrađena postavlja se na određena mjesta u poprečnim nosačima bloka motora. Centriranje blazinice izvodi se uz pomoć svijetla i metalnih ploča koje se postavljaju u donje kućište ležaja.

Na metalnoj ploči nalaze se provrti promjera 1-2mm. Svijetlo se postavlja iza stražnje ploče, a kada se pogleda kroz provrte mora se vidjeti svijetlo, ako se centar svih blazinica nalazi u zajedničkoj geometrijskoj osi. Pomakom pojedinih ploča blazinica se može dotjerati ukoliko se svijetlo ne vidi. Kada je blazinica centrirana, na bočnim površinama označavaju se krugovi koji predstavljaju mjeru za debljinu bijele kovine. Prilikom strojne obrade mora se pustiti odstupanje od 0,1 do 0,2 mm zbog konačnog dotjerivanja blazinice. Obrađena blazinica stavlja se u petrolej u kojem se nalazi tri do četiri sata, nakon čega se mora osušiti krpom. Nakon što se blazinica osuši, trlja se s kredom zajedno s bijelom kovinom i ako je spoj dobar na kredi se ne bi smjeli pokazati nikakvi tragovi. Ukoliko spoj nije dobar na kredi će se pokazati tamne mrlje.

Dosjedanje oslonca u ležaju izvodi se montažnom bojom. Oslonca je potrebno premazati tankim slojem boje te koljenasto vratilo okrenuti prema ležajevima. Montažna boja na bijeloj kovini će ostaviti ispupčenja koja je potrebno odstraniti uz pomoć strugača.

Konačna obrada blazinice izvodi se na suho jer bi zbog razlike debljine sloja boja obrada mogla biti netočna.

7.6. LETEĆI LEŽAJ

Leteći ležaji obrađuju se na isti način kao i temeljni. Zračnost ležaja moguće je kontrolirati uz pomoć lisnatog mjerila i šublera. Veličina oslonaca letećih i temeljnih ležaja ne bi smjela biti veća od veličina iz tablice.

Promjer oslonca [mm]	80	80-180	180-260	260-300	300-500
Leteći ležaj	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07
Temeljni ležaj	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05

Nastalu ovalnost oslonca koljenastog vratila moguće je odstraniti strojnom obradom bez demontaže vratila.

7.7. KOLJENASTO VRATILO I ODRIVNI LEŽAJ

Koljenasto vratilo (radilica) je polusastavljena, izrađena je od kovanog ili lijevanog čelika. Kod brodskih motora s 9 ili više cilindara radilica se isporučuje u dva dijela. Na krmenom dijelu radilice nalazi se otvor za odrivni ležaj i prirubnicu. Na pramčanom dijelu radilice nalazi se otvor s uređajem za prigušivanje aksijalnih vibracija. Tu se može još nalaziti i uređaj koji koristi okretaje radilice za pogonjenje nekih drugih strojeva kao što je privješena pumpa ulja za podmazivanje.

Odrivni ležaj služi za prijenos aksijalne sile s brodskog vijka na konstrukciju broda. Kako bi se aksijalna sila raspodijelila na brodsku strukturu, kućište ležaja mora biti pričvršćeno na temelj odrivnog ležaja, koji mora biti što krući. Iz indikatorskog dijagrama za porivni stroj može se dobiti aksijalna sila na odrivni ležaj prema izrazu (Ozretić, 1996, str.29):

$$\frac{P_i}{n} \cdot 1000 \cdot 60 = F_i \cdot H \qquad F_i = \frac{P_i \cdot 6000}{n \cdot H}$$

Iz čega je:

P_i – indikatorska snaga porivnog stroja [kW]

n – brzina vrtnje [okr/min]

H – uspon brodskog vijka [m]

F_i – indikatorski aksijalni poriv [N]

Iz jednadžbe je vidljivo da jedan okretaj brodskog vijka mora biti jednak jednom okretaju porivnog stroja.

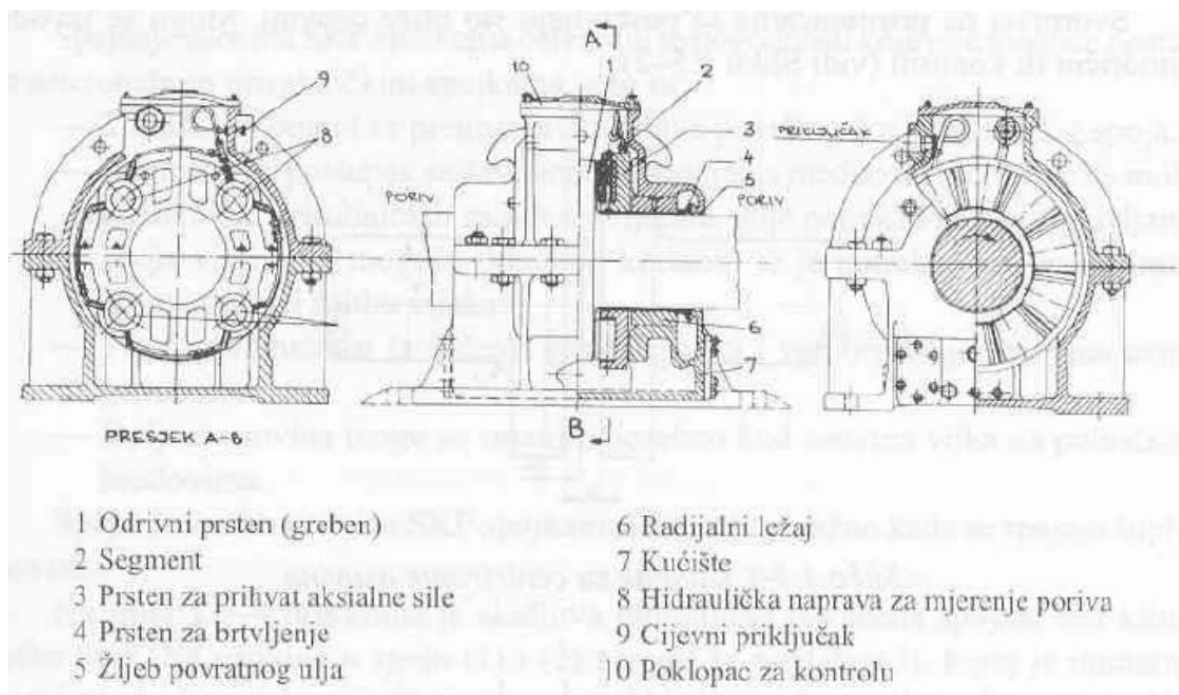
Odrivna osovina se izvodi s jednim grebenom kako bi se mogla preuzeti veća specifična opterećenja. Segmenti odrivnog ležaja su uglavnom trapeznog oblika i sastoje se od čeličnog dijela na kojem je lijevana bijela kovina. Segmenti najčešće imaju potporanj kako bi se mogli postaviti u najpovoljniji položaj radi stvaranja uljnog klina prilikom preuzimanja porivne sile.

Ležajevi koji imaju samo jedan greben mogu se koristiti za obodne brzine do 30 m/s. Segmenti odrivnog ležaja se s unutarnje strane oslanjaju na odrivni prsten, a s vanjske na kućište ležaja. Odrivni ležaj najčešće ima 6, 8 ili 12 segmenata sa svake strane prstena. Najpopularniji odrivni ležaj je Michellov ležaj (slika 22). On se podmazuje uljem pod tlakom

koje se uzima iz sustava za podmazivanje ležaja motora iz kojega kasnije odlazi u temeljnu ploču motora.

Postoje slučajevi kada se Michellov ležaj podmazuje pomoću grebena koji je tada donjim dijelom uronjen u ulje koje se prenosi na gornji dio ležaja. Tijekom rada to ulje se zagrijava te mu je potrebno odvesti toplinu. To se izvodi s cirkulacijom vode kroz posebnu komoru u kućištu.

Kako se ovi ležajevi koriste za velike obodne brzine, u utorima između segmenata i tlačnog grebana dolazi do stvaranja uljnog sloja u obliku klina. To omogućuje hidrodinamičko plivanje segmenata. Kada je površinski tlak veći od 40 bar i obodna brzina veća od 6 m/s, trenje raste iz razloga što se uljni klin slabo oblikuje, što može rezultirati oštećenjima bijele kovine. Postoje izvedbe gdje se odrivni ležaj s jednim grebenom postavlja u sklopnu konstrukciju s nosivim radijalnim ležajem, gdje su blazinice radijalnog ležaja izvedene tako da se mogu rastavljati. Kao što je već rečeno odrivni ležaj se postavlja iza porivnog stroja i iza reduktora ako je isti predviđen.



Slika 22 Michellov odrivni ležaj

8. NADZOR STANJA LEŽAJEVA BRODSKOG MOTORA

Tvrtka za proizvodnju brodskih dizelskih motora 1990. godine je odlučila da svi njeni motori moraju sadržavati uređaj pod nazivom Oil Mist Detector (OMD). Taj uređaj je priznat od strane klasifikacijskog društva kao i uređaj za mjerenje temperature ležajeva (BTM). Ova odluka je donesena kako bi se smanjila mogućnost od nastajanja eksplozije unutar kartera dvotaktnih dizelskih motora.

Kako bi se čim prije mogla uočiti neispravnost u radu motora i kako bi se spriječila oštećenja motora, na brodove se počinje ugrađivati sustav pod nazivom Bearing Wear Monitoring (BWM). On u sebi sadrži oba uređaja koja su gore navedena te se kontinuirano prati trošenje ležajeva, mehanička oštećenja radilice i ležajevi križnih glava. Tim načinom kontrole moguće je reagirati i izbjeći oštećenja nekih dijelova motora kao što su temeljni ležaj i kućište ležaja.

Ukoliko bi zakazao dovod ulja za temeljni ležaj, njegova temperatura bi porasla i u tom trenutku bi se aktivirao sustav praćenja temperature ležaja na kojem je došlo do povećanja temperature. Uz pomoć takvog načina kontrole moguće je pravovremeno reagirati i spriječiti ozbiljna oštećenja. Najgori scenarij koji se može dogoditi ako se ne reagira na vrijeme na ovakve alarme je eksplozija uljnih para unutar motora.

8.1. SUSTAV ZA NADZOR ISTROŠENOSTI LEŽAJEVA (BWM)

Sustav za nadzor istrošenosti ležajeva nadgleda sva tri glavna ležaja radilice koristeći dva senzora brzine na svakom cilindru, smještena unutar bloka motora. Senzor blizine cilja donji kraj vodilice ležaja, senzori mjere udaljenost do križne glave kada se klip nalazi u donjoj mrtvoj točki. Signal koji se izmjeri prebacuje se na računalo preko kojeg se može vidjeti udaljenost, a time i potrošenost ležaja. Sučelje na kojem se prikazuje je jednostavno i lako razumljivo.

Preciznost ovakvog tipa mjerenja vrlo je učinkovita i daje vremena za reagiranje u obliku alarma kako ne bi došlo do kontakta čelik-čelik u ležajevima. Također, prilikom upotrebe ovakvog sustava pokazalo se da je on pouzdan i jamči dugotrajnost. Od ovakvog uređaja se očekuje da pruži bolje podatke o dugotrajnom trošenju uz bolju preciznost i

pouzdanost od ručnog mjerenja vertikalnog zazora kojeg posada obavlja tijekom redovnih pregleda.

Sustav za nadzor istrošenosti ležaja koristi dvije razine alarma. Prva razina je razina velikog trošenja, a ona uključuje devijacijski alarm. Alarm za odstupanje prikazan je na alarmnoj ploči. Druga razina aktivira usporavanje motora. Ovakvi sustavi najčešće dolaze u dvije varijante, a to su: Dr. E. Horn i Kongsberg Maritime. Također, uz ovaj sustav ide još i onaj za kontrolu temperature ležajeva. Iz gore navedenih razloga smatra se da je pregled ležajeva rukavca nepotreban ukoliko se na brodu nalazi sustav za nadzor istrošenosti ležajeva (BWM).

8.2. SUSTAV ZA NADZOR TEMPERATURE LEŽAJA (BTM)

Sustav za nadzor temperature ležaja kontinuirano prati temperaturu ležaja. Neki sustavi mjere temperaturu na stražnjoj strani ležajne blazinice, dok drugi sustavi mjere temperaturu male količine ulja koja odlazi u karter poslije svakog ležaja. Ukoliko dođe do porasta temperature na blazinici ležaja, kućištu ležaja ili do porasta temperature ulja aktivira se alarm izlazne temperature.

U glavnim ležajevima temperatura blazinice ležaja, kućišta ležaja ili izlazna temperatura ulja prati se ovisno o načinu instaliranja senzora. Sustav za nadzor temperature ležaja također ima dvije razine alarma. Prva razina samo pali alarm na sučelju računala dok druga razina automatski aktivira usporavanje motora kako ne bi došlo do većih posljedica.

9. ZAKLJUČAK

Često se postavlja pitanje koji ležajevi su boji, klizni ili valjni, no obje izvedbe imaju svoje prednosti i nedostatke te će uvijek naći primjenu u tehnici. Klizni ležajevi će imati mirniji i tiši rad jer imaju veliku površinu podmazivanja koja djeluje prigušujuće na šum i vibracije. Klizni ležajevi su jednostavno rađeni pa je i njihova cijena izvedbe manja s obzirom na valjne ležajeve. Kod tekućeg trenja klizni ležajevi postižu gotovo neograničenu trajnost i mogu raditi s najvećim brzinama vrtnje.

Jedna vrsta se ipak više koristi kod motora s unutarnjim izgaranjem, a to su klizni ležajevi. Temeljni i leteći ležaj brodskog motora ima klizni ležaj koji se podmazuje uljem. Prilikom okretanja koljenastog vratila, leteći se ležaj djelomično umače u uljnu kupku u karteru.

Prilikom montaže i demontaže trebaju se pratiti upute proizvođača koje se nalaze u manualu brodskog motora. Također, temeljni i leteći ležaj motora koji se ugrađuje na brod podliježe kontroli registra. Ovoj kontroli još podliježu i odrivni ležaj kao i vijci temeljnog ležaja.

Da bi ležajevi mogli adekvatno raditi i da bi imali što veći životni vijek, potrebno ih je neprekidno kontrolirati. Kontrolira se njihova istrošenost (BWM) i kontinuirano se prati njihova temperatura (BTM). No, ako brodski motor nema uređaje koji su prethodno navedeni onda mora imati uređaj za otkrivanje i nadzor koncentracije uljnih para u prostoru koljenastog vratila.

10. POPIS LITERATURE

- Decker, K.H. 1975, *Elementi strojeva, 2. popravljeno izdanje*, Tehnička knjiga Zagreb, Zagreb.
- MAN Diesel & Turbo 2014, *MAN B&W S60MC-C8.2. IMO Tier II: Project Guide*, 0.5 ed 2450 Copenhagen SV, Danska.
- Ozretić, V. 1996, *Brodski pomoćni strojevi i uređaji*, Split Ship Management d.o.o., Split.
- Parat, Ž. 2005, *Brodski motori s unutarnjim izgaranjem*, Fakultet strojarstva i brodogranje, Zagreb.
- Pažanin, A. 1998, *Brodski motori, 6. dopunjeno i izmijenjeno izdanje*, Palga, Split.
- Schaffler Technologies 2017, *Technical principles*, MH 1 medias, Njemačka.
- Tolić, V. 1970, *Brodski motori s unutarnjim izgaranjem*, Centar za stručno obrazovanje pomoraca – Rijeka, Rijeka.
- Lenac, D. 2019, *Nastavni materijali kolegija Tehnički nadzor i klasifikacija broda*. Pomorski fakultet, Rijeka.

11. POPIS SLIKA

Slika 1 Vrste trenja	2
Slika 2 Pomicanje slojeva tekućine kod hidrodinamičkog podmazivanja	4
Slika 3 Ovisnost viskoziteta ulja o temperaturi	6
Slika 4 Sustav podmazivanja glavnog motora s Kongsbergovog simulatora.....	8
Slika 5 Položaj rukavca kod raznih brzina vrtnje	11
Slika 6 Stribeckova krivulja	12
Slika 7 Samopodmazivanje mastima.....	13
Slika 8 Podmazivanje prstenom za podmazivanje	13
Slika 9 Stojeći jednodjelni i prirubni ležaj	14
Slika 10 Princip aksijalnih ležaja.....	16
Slika 11 Valjni ležaj zarazličite smjerove opterećenja.....	17
Slika 12 Podmazivanje mašću kod valjnih ležajeva.....	21
Slika 13 Podmazivanje uljem kod valjnih ležaja.....	23

Slika 14 Dio zavarene temeljne ploče s koljenastim vratilo.....	24
Slika 15 Osnovni ležaj motora.....	25
Slika 16 Ležajevi glavnog motora sa Kongsbergovog simulatora	26
Slika 17 Ležaj klipnjače	27
Slika 18 Temeljni ležaj motora MAN	28
Slika 19 lijevo (oslonac miruje); desno (mala brzina oslonca)	29
Slika 20 lijevo (velika brzina oslonca); desno (brzina oslonca je boskonačna)	29
Slika 21 Uređaj za demontažu donje blazinice temeljnog ležaja	30
Slika 22 Michellov odrivni ležaj	33