

## KOTRLJAJNI LEŽAJI

### Osnovne karakteristike i podela

Ležaji su mašinski elementi čiji je zadatak da omoguće relativno kretanje obrtnih delova uz istovremeno prenošenje opterećenja između njih i obezbeđenje tačnosti njihovog položaja. Prvenstveno se koriste kod pokretnih veza sa kružnim kretanjem, kao na primer u osloncima vratila i osovina, gde omogućuju okretanje rukavca u odnosu na nepomični oslonac uz istovremeno prenošenje odgovarajućeg opterećenja. Pored toga primenjuju se i kod spojeva sa pravolinijskim i zavojnim kretanjem, kao na primer kod vođica i navojnih parova.

Kod kotrljajnih ležaja ova pokretljivost ostvaruje se na principu kotrljanja, a kod kliznih na principu klizanja.

Primena kotrljajnih ležaja je znatno veća u odnosu na primenu kliznih ležaja. To je pre svega uslovljeno visokim stepenom standardizacije i masovnom proizvodnjom u fabrikama koje su specijalizovane u toj oblasti.

Prednosti primene kotrljajnih ležaja u odnosu na klizne sastoje se u sledećem:

- ◆ Niža proizvodna cena i laka nabavka.
- ◆ Relativno jednostavno konstrukciono izvođenje uležištenja.
- ◆ Zadovoljavajuća nosivost za niže i srednje učestanosti obrtanja.
- ◆ Jednostavno podmazivanje i održavanje.
- ◆ Laka zamena, jer nema habanja rukavca pa nije potrebna njegova naknadna obrada.
- ◆ Manji gubici energije, što je naročito izraženo kod mašina koje se često zaustavljaju, jer to kod hidrodinamičkih kliznih ležaja može dovesti do pregrevanja i intenzivnog habanja (gubici energije su pri tome kod kotrljajnih ležaja za 25...50% manji nego kod kliznih).
- ◆ Kotrljajni ležaji pri pokretanju startuju sa manjim radnim zazorom odnosno imaju tačnije vođenje, što je naročito važno kod elektro i alatnih mašina.
- ◆ Ne zahtevaju posebno upuštanje do dostizanja radnog stanja, kao što je slučaj kod hidrodinamičkih kliznih ležaja.

Nedostaci primene kotrljajnih ležaja u odnosu na klizne sastoje se u sledećem:

- ◆ Viši nivo buke i vibracija.
- ◆ Veća osetljivost na udarna opterećenja (sloj ulja između dodirnih površina kliznih ležaja u izvesnoj meri amortizuje udare).
- ◆ Kod nekih konstrukcionih izvođenja lakše je ugraditi dvodelne klizne ležaje, jer su kotrljajni ležaji jednodelni pa se ugrađuju aksijalnim pomeranjem.
- ◆ Za visoke učestanosti obrtanja ne mogu da rade tako uspešno kao klizni ležaji sa tečnim trenjem, jer im se nosivost odnosno radni vek jako smanjuje.

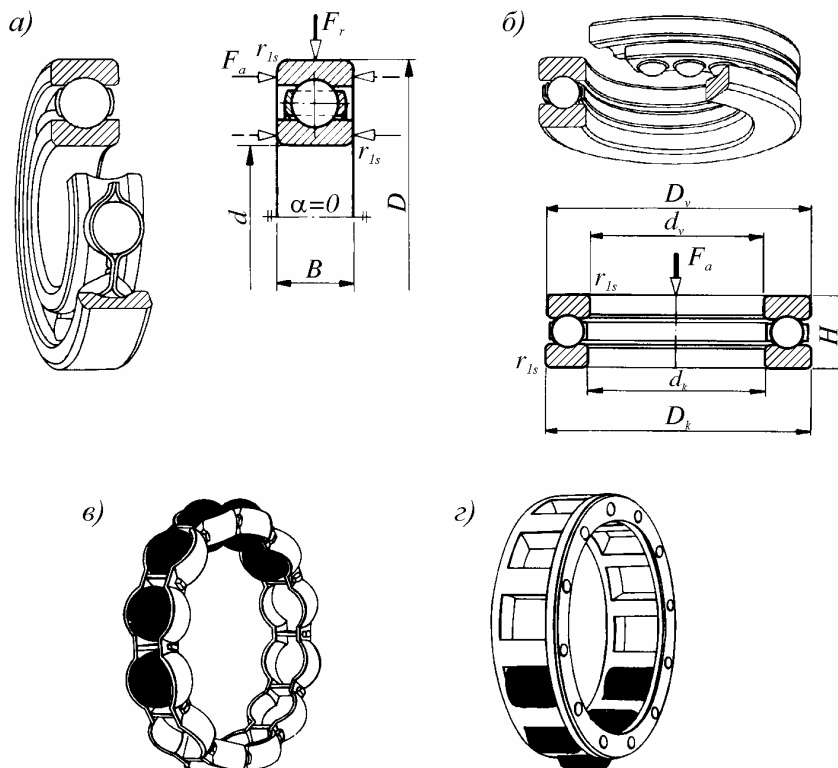
Oblici i mere kotrljajnih ležaja, tolerancije mera i oblika, materijal, kvalitet i način ugradnje i kontrole propisani su standardima. Ležaji se isporučuju sklopljeni i

spremni za ugradnju, tako da se pri konstruisanju vrši samo izbor odgovarajućeg ležaja.

Kotrljajni ležaji sastoje se iz prstenova ili kolutova koji su spojeni sa nepokretnim ili pokretnim delovima mašina, a između njih se nalaze kotrljajna tela. Na prstenu i kolutima postoje odgovarajuće staze kotrljanja po kojima se kreću kotrljajna tela. Staze su izrađene u vidu žlebova sa nešto većim radijusom krivine od radijusa krivine kotrljajnih tela, tako da je u neopterećenom stanju dodir u tački.

Ležaji sa prstenu (prstenu ležaji) prvenstveno su namenjeni za prenošenje radijalnih ili radijalno-aksijalnih sila, a ležaji sa kolutima (kolutni ležaji) za prenošenje aksijalnih sila (sl. 1.a.b).

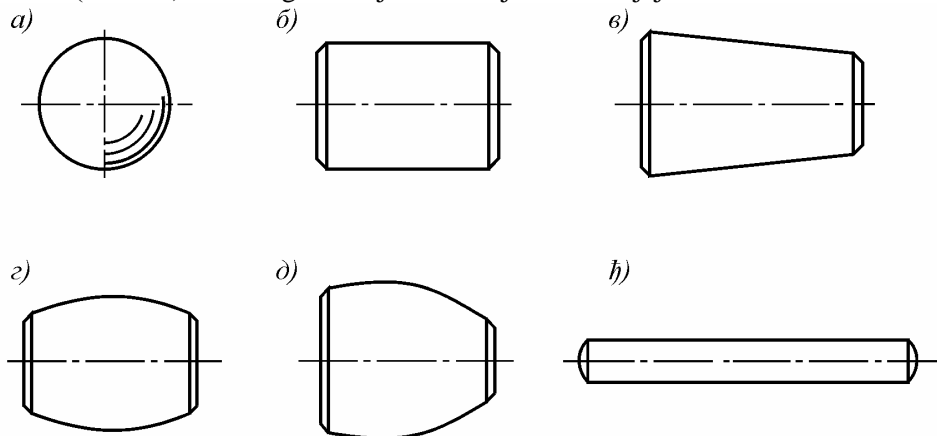
Da bi kotrljajna tela bila ravnomerno raspoređena po obimu, smeštena su u odgovarajuće kaveze (sl. 1,v,g). Kavez može biti izrađen od lima ili iz punog materijala, a najčešće se izrađuje od bronz, duraluminijuma ili plastične mase. Primenom plastične mase smanjuje se nivo buke u radu.



Sl. 1. Prstenu (a) i kolutni (b) ležaj; držači kotrljajnih tela - kavezi od lima (v) i od punog materijala (g)

Kao kotrljajna tela mogu da se primene otvrdnute, brušene i polirane kuglice ili valjčići (sl. 2). U primeni su valjčići sa cilindričnom ili konusnom izvodnicom (sl. 2,b,v). Izvodnica može biti pravolinijska ili kružnolučna. Valjčići sa kružnolučnom izvodnicom nazivaju se i bačvice sl. 2,g,d. Cilindrični valjčići kod kojih je odnos dužine i prečnika veći od dva nazivaju se iglice sl. 2,đ.

Prsteni i kolutni ležaji se površinski otvrdnjavaju i bruse, a staze kotrljajnih tela poliraju. Izrađuju se od specijalnog čelika za ležaje koji sadrži 0,9...1,1% C; 0,4...1,65% Si; 0,25...1,2% Mn. Kod posebnih zahteva mogu da se primene i legirani čelici za cementaciju, nerđajući odnosno nemagnetni čelici. Najčešće se koristi čelik Č.4134 (100Cr6). Od istog materijala izrađuju se i kotrljajna tela.



Sl. 2. Oblici kotrljajnih tela: a) kuglica; b) cilindrični valjčić sa pravolinijskom izvodnicom; v) konusni valjčić sa pravolinijskom izvodnicom; g) cilindrični valjčić sa kružnolučnom izvodnicom; d) konusni valjčić sa kružnolučnom izvodnicom; đ) iglica.

Podela kotrljajnih ležaja može da se izvrši na više različitih načina:

1. Prema pravcu delovanja sile dele se na:
  - **radijalne** (prenose silu u radijalnom pravcu);
  - **aksijalne** (prenose silu u aksijalnom pravcu);
  - **radijalno-aksijalne** (prenose silu u radijalnom i u aksijalnom pravcu).
2. Prema načinu ugradnje ležaji mogu biti - **fiksirani** tako da prenose radijalnu silu i aksijalnu silu u jednom ili oba smera i - **slobodni** tako da prenose samo radijalnu silu i dozvoljavaju aksijalno pomeranje.
3. Prema obliku kotrljajnih tela ležaji se dele na **kuglične** i **valjčane**. Valjčani zavisno od vrste kotrljajnih tela mogu biti cilindrično- valjčani, konusno-valjčani, bačvasti i igličasti.
4. Prema broju redova kotrljajnih tela ležaji mogu biti **jedvoređi** i **višeredi**.
5. Zavisno od toga da li se kod ugradnje rasklapaju ili ne ležaji mogu biti **rasklopivi** i **nerasklopivi**.
6. Prema sposobnosti prilagođavanja deformaciji vratila u osloncu ležaji se dele na **krute** (nepodesive) i **zglobne** (podesive).

## Ugradbene mere i sistem obeležavanja ležaja

S tačke gledišta ugradnje ležaja odnosno pri njihovom izboru od značaja su konturne odnosno ugradbene mere. To su pre svega nominalni prečnik otvora ležaja (provrt)  $d$ , spoljašnji prečnik  $D$  i širina  $B$  kod prstenih ležaja (sl. 1), odnosno spoljašnji prečnik koluta kućišta  $D = D_k$  i visina ležaja  $H$  kod kolutnih ležaja. Od značaja je takođe i radijus zaobljenja ivica prstena i koluta  $r$ . Sve ove mere tačno su

utvrđene i propisane internacionalnim standardima (ISO 15, DIN 616, što odgovara i SRPS M.C3.506). Prema ovim oznakama sistem obeležavanja ležaja sastoji se iz osnovne i dopunske oznake.

Osnovna oznaka sastoji se iz tri grupe brojeva ili slova, koji se odnose na tip ležaja, red mera i unutrašnji prečnik - provrt (tablica 1).

Tip ležaja označava se sa jednom ili sa dve brojne odnosno slovne oznake shodno tablici 1. Kod reda mera sistem označavanja je takav da je za jedan unutrašnji prečnik predviđen veći broj spoljašnjih prečnika i širine. Na taj način za isti prečnik rukavca vratila moguć je izbor niza ležaja istog tipa različite nosivosti. Veličine širine i spoljašnjeg prečnika čine red mera koji je označen različitim brojnim oznakama. Red širine  $R_B$  sadrži sledeće brojčane oznake 0,1,2,3,4,5, pri čemu broj nula označava najmanju, a broj 5 najveću širinu. Red spoljašnjeg prečnika  $R_D$  sadrži brojčane oznake 8,9,0,1,2,3,4 poređanih u redosledu porasta prečnika (kao što je prikazano na slici u tablici 1). Na isti način označavaju se i prečnik koluta, odnosno visina kod kolutnih ležaja. Red visine sadrži oznake 7, 9, 1 poređane u redosledu porasta visine ležaja.

Kod oznake reda mera prvi broj uvek se odnosi na širinu odnosno visinu, a drugi na spoljašnji prečnik prstena odnosno koluta. Kod nekih tipova ležaja upisuju se samo oznaka spoljašnjeg prečnika.

Poslednja dva broja u osnovnoj oznaci odnose se na unutrašnji prečnik ležaja odnosno provrt. Sistem obeležavanja je sledeći (tablica 1):

- ◆ Prečnici u intervalu  $d = 0,6 \dots 9 \text{ mm}$  navode se neposredno u nominalnim vrednostima;
- ◆ Prečnici od 10, 12, 15 i 17 mm označavaju se brojevima 00, 01, 02 i 03;

Oznaka za prečnike u intervalu  $d = 20 \dots 480 \text{ mm}$  dobija se deljenjem prečnika u mm sa brojem 5;

Za međuvrednosti  $d = 22, 28 \text{ i } 32 \text{ mm}$  kao i za  $d \geq 500 \text{ mm}$  vrednosti prečnika navode se neposredno u mm, ali se od oznake reda mera odvajaju kosom crtom.

Ovakav način označavanja ležaja ima sledeće prednosti:

- ◆ Za isti prečnik rukavca vratila  $d$  moguć je izbor većeg broja ležaja istog tipa različite nosivosti i veličine.
- ◆ Različiti tipovi ležaja istog unutrašnjeg prečnika i istog reda mera imaju iste ugradbene mere, odnosno međusobno su zamenljivi. Na taj način moguće je u isti ugradbeni prostor ugraditi ležaje različite nosivosti.

Tablica 1. Osnovna oznaka ležaja

Tip ležaja	Red mera prema ISO 15 za kotrljajne ležajeve			Unutrašnji prečnik	
	Oznaka	$d$ u mm			
0	Red spoljašnjeg prečnika 0	Red širine		/0.6	0.6
		0	1 0		
1	Red spoljašnjeg prečnika 1	Red širine		/0.8	0.8
		1	2 1 0		
		2	3 2 1 0		
2	Red spoljašnjeg prečnika 2	Red širine		.	.
		3	4 3 2 1 0		
		4	5 4 3 2 1 0		
		5	6 5 4 3 2 1 0		
3	Red spoljašnjeg prečnika 3	Red širine		.	.
		6	7 6 5 4 3 2 1 0		
		7	8 7 6 5 4 3 2 1 0		
4	Red spoljašnjeg prečnika 4	Red širine		9	9
		8	9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		9	10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
5	Red spoljašnjeg prečnika 5	Red širine		00	10
		10	11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		11	12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		12	13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
6	Red spoljašnjeg prečnika 6	Red širine		01	12
		13	14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		14	15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
7	Red spoljašnjeg prečnika 7	Red širine		02	15
		15	16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		16	17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
8	Red spoljašnjeg prečnika 8	Red širine		03	17
		17	18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		18	19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
N	Red spoljašnjeg prečnika N	Red širine		04 (x5)	20
		19	20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		20	21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NJ	Red spoljašnjeg prečnika NJ	Red širine		/22	22
		21	22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		22	23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
QJ	Red spoljašnjeg prečnika QJ	Red širine		05 (x5)	25
		23	24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		24	25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NU	Red spoljašnjeg prečnika NU	Red širine		/28	28
		25	26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		26	27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NUP	Red spoljašnjeg prečnika NUP	Red širine		06 (x5)	30
		27	28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		28	29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NA	Red spoljašnjeg prečnika NA	Red širine		/32	32
		29	30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		30	31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NU	Red spoljašnjeg prečnika NU	Red širine		07 (x5)	35
		31	32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		32	33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NUP	Red spoljašnjeg prečnika NUP	Red širine		08 (x5)	40
		33	34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		34	35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NA	Red spoljašnjeg prečnika NA	Red širine		.	.
		35	36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		36	37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NU	Red spoljašnjeg prečnika NU	Red širine		96 (x5)	480
		37	38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		38	39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NUP	Red spoljašnjeg prečnika NUP	Red širine		/500	500
		39	40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		40	41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
NA	Red spoljašnjeg prečnika NA	Red širine		.	.
		41	42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		
		42	43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0		

Tablica 2. Primeri označavanja ležaja

Лежајеви	Ознака	Значење																																																			
	<b>6 3 0 8</b>	Прстени куглични једнореди лежај са радијалним додиром - ред ширине 0 Ред спољашњег пречника 3 $8 \times 5 = 40 \text{ mm}$ - унутрашњи пречник (чита се шездесет три-нула осам)																																																			
	<b>7 2 0 6 В</b>	Прстени куглични једнореди лежај са косим додиром - ред ширине 0 Ред спољашњег пречника 2 $6 \times 5 = 30 \text{ mm}$ - унутрашњи пречник Допунска ознака																																																			
	Ознака према DIN 720 <b>3 0 3 1 5 А</b>  Ознака према ISO 355 <b>T 2 G B 075</b>	Прстен конусно ваљчани лежај Ред ширине 0 Ред спољашњег пречника 3 $15 \times 5 = 75 \text{ mm}$ - унутрашњи пречник  Прстени конусно ваљчани лежај Унутрашњи пречник у mm ( $d = 75 \text{ mm}$ )																																																			
	Ред угла додира	Однос спољашњег и унутрашњег пречника																																																			
		Однос ширине и висине																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ред</th> <th>Вредност</th> </tr> <tr> <th></th> <th>изнад до</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>резервисано</td></tr> <tr><td>2</td><td><math>10^0 \dots 13^0 52'</math></td></tr> <tr><td>3</td><td><math>13^0 52' \dots 15^0 59'</math></td></tr> <tr><td>4</td><td><math>15^0 59' \dots 18^0 55'</math></td></tr> <tr><td>5</td><td><math>18^0 55' \dots 23^0</math></td></tr> <tr><td>6</td><td><math>23^0 \dots 27^0</math></td></tr> <tr><td>7</td><td><math>27^0 \dots 30^0</math></td></tr> </tbody> </table>	Ред	Вредност		изнад до	1	резервисано	2	$10^0 \dots 13^0 52'$	3	$13^0 52' \dots 15^0 59'$	4	$15^0 59' \dots 18^0 55'$	5	$18^0 55' \dots 23^0$	6	$23^0 \dots 27^0$	7	$27^0 \dots 30^0$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ред пречника</th> <th><math>\frac{D}{d^{0.77}}</math></th> </tr> <tr> <th></th> <th>изнад до</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>резервисано</td></tr> <tr><td>B</td><td>3,40 ... 3,80</td></tr> <tr><td>C</td><td>3,80 ... 4,40</td></tr> <tr><td>D</td><td>4,40 ... 4,70</td></tr> <tr><td>E</td><td>4,70 ... 5,00</td></tr> <tr><td>F</td><td>5,00 ... 5,60</td></tr> <tr><td>G</td><td>5,60 ... 7,00</td></tr> </tbody> </table>	Ред пречника	$\frac{D}{d^{0.77}}$		изнад до	A	резервисано	B	3,40 ... 3,80	C	3,80 ... 4,40	D	4,40 ... 4,70	E	4,70 ... 5,00	F	5,00 ... 5,60	G	5,60 ... 7,00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ред ширине</th> <th><math>\frac{T}{(D-d)^{0.95}}</math></th> </tr> <tr> <th></th> <th>изнад до</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>резервисано</td></tr> <tr><td>B</td><td>0,50 ... 0,68</td></tr> <tr><td>C</td><td>0,68 ... 0,80</td></tr> <tr><td>D</td><td>0,80 ... 0,88</td></tr> <tr><td>E</td><td>0,88 ... 1,00</td></tr> </tbody> </table>	Ред ширине	$\frac{T}{(D-d)^{0.95}}$		изнад до	A	резервисано	B	0,50 ... 0,68	C	0,68 ... 0,80	D	0,80 ... 0,88	E	0,88 ... 1,00
Ред	Вредност																																																				
	изнад до																																																				
1	резервисано																																																				
2	$10^0 \dots 13^0 52'$																																																				
3	$13^0 52' \dots 15^0 59'$																																																				
4	$15^0 59' \dots 18^0 55'$																																																				
5	$18^0 55' \dots 23^0$																																																				
6	$23^0 \dots 27^0$																																																				
7	$27^0 \dots 30^0$																																																				
Ред пречника	$\frac{D}{d^{0.77}}$																																																				
	изнад до																																																				
A	резервисано																																																				
B	3,40 ... 3,80																																																				
C	3,80 ... 4,40																																																				
D	4,40 ... 4,70																																																				
E	4,70 ... 5,00																																																				
F	5,00 ... 5,60																																																				
G	5,60 ... 7,00																																																				
Ред ширине	$\frac{T}{(D-d)^{0.95}}$																																																				
	изнад до																																																				
A	резервисано																																																				
B	0,50 ... 0,68																																																				
C	0,68 ... 0,80																																																				
D	0,80 ... 0,88																																																				
E	0,88 ... 1,00																																																				

Ukoliko konstrukcija ležaja odstupa u odnosu na osnovno izvođenje, to se predviđa dopunskom oznakom. Dopunska oznaka iza osnovne obuhvata, odnosno označava:

1. Odstupanja same konstrukcije ležaja koja nisu predviđena za osnovno izvođenje i označava se sa *A*, *B*, *C*, *D* i *E*.
2. Odstupanje spoljašnjeg oblika označava se sa *J* - bez ivičnog prstena, *K* - sa konusnim otvorom, *N* - sa žlebom na spoljašnjem prstenu, *P* - sa dvodelnim spoljašnjim prstenom, itd.; *X* - odstupanje dimenzija u odnosu na osnovno izvođenje.
3. Zaptivanje, npr.: *RS* - sa jednim zaptivnim prstenom, *Z* - sa jednim sigurnosnim prstenom, *ZZ* - sa dva sigurnosna prstena, *ZNR* - sa zaštitnim prstenom, žlebom i sigurnosnim prstenom.
4. Materijal kaveza: *F* - kavez od čelika ili specijalnog čeličnog liva, *L* - od lakog metala, *M* - od mesinga, *T* - od fenol plasta, *TN* - od poliamida.
5. Konstrukciono izvođenje kaveza: *A* - vođenje u spoljašnjem prstenu, *S* - žleb za podmazivanje u vođicama, *J* - kavez od čeličnog lima, *Y* - kavez od mesinganog lima, *V* - bez kaveza.
6. Klasa tolerancije: oznaka sa *P* i klasom tolerancije (na primer *P4* - klasa tolerancije 4).
7. Zazor u ležaju: oznaka sa *C* i jedna brojna oznaka (na primer *C2* - manji od normalnog, *C4* - veći od normalnog).
8. Postojanost na povišenim temperaturama: *S* i jedna brojana oznaka na primer *S2* za radnu temperaturu do  $250^{\circ}\text{C}$ .

Dopunska oznaka izpred osnovne odnosi se na obeležavanje nekompletnih ležaja, na primer *K* - kavez sa kotrljajnim telima, *L* - slobodni prsten rasklopivog ležaja, *R* - prsten ležaja sa kotrljajnim telima.

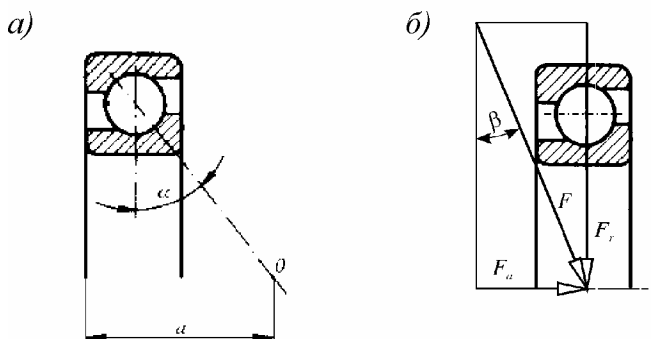
Red mera propisan je standardima ISO 15 za prstene ležajeve - tačka 4.5. (izuzev konusno valjčanih i igličastih), ISO 335 za prstene konusno valjčane, ISO 1206 (DIN 617) - za igličaste ležajeve. Sistem obeležavanja ležajeva prema ISO i DIN su uglavnom saglasni izuzimajući prsteno valjčane ležajeve gde postoji razlika - tablica 2.

## Standardni konstrukcioni oblici i karakteristike kotrljajnih ležaja

Jako veliki značaj za konstrukciono izvođenje kao i za nosivost kotrljajnih ležaja ima dodirni ugao  $\alpha$ . To je ugao između radijalnog pravca (normale na podužnu osu ležaja) i pravca koji definišu tačke dodira kotrljajnih tela odnosno kuglica sa spoljašnjim i unutrašnjim prstenom. U tom smislu moguće je sve kotrljajne ležaje podeliti na radijalne sa dodirnim uglom  $\alpha = 0^{\circ} \dots 45^{\circ}$  i aksijalne  $\alpha > 45^{\circ} \dots 90^{\circ}$ .

Ako bi se kroz sve tačke dodira kotrljajnih tela - kuglica sa spoljašnjim i unutrašnjim prstenom povukle prave, onda bi se one sekle u nekoj tački *O* na podužnoj osi ležaja. Kod ležaja sa radijalnim dodirom sve ove linije leže u ravni koja je upravna na osu ležaja, a kod ležaja sa kosim dodirom one čine konus čiji vrh leži na osi ležaja (sl. 3,a). U katalozima proizvođača položaj tačke *O* određen je

rastojanjem  $a$  između čeonice ravni spoljašnjeg prstena i vrha konusa. Kroz tačku  $O$  prolaze napadne linije svih sila koje prenose kotrljajna tela.



Sl. 3. a) Ležaj sa kosim dodirnom; b) ležaj opterećen radijalnom i aksijalnom silom

Kotrljajni ležaji prenose često i aksijalne i radijalne sile. Rezultujuća sila pri tome gradi ugao  $\beta$  sa radijalnom ravni (sl. 3,b). Veličina aksijalne sile koju može da prenese ležaj zavisi od dodirnog ugla  $\alpha$ . Sa povećavanjem ugla  $\alpha$  povećava se i aksijalna sila koju može da prenese ležaj. Međutim treba imati u vidu da kod ležaja sa kosim dodirnom pri prenosu sile sa spoljašnjeg na unutrašnji prsten postoji skretanje napadne linije sile za veličinu ugla  $\alpha$ . Usled toga i pri prenosu čisto radijalne sile u ležaju se indukuje aksijalna sila koja dodatno opterećuje ležaj. Iskorišćenje ležaja u pogledu njegove nosivosti povećava se smanjenjem razlike između uglova  $\alpha$  i  $\beta$ . Maksimalno iskorišćenje ležaja postiže se za  $\alpha = \beta$ .

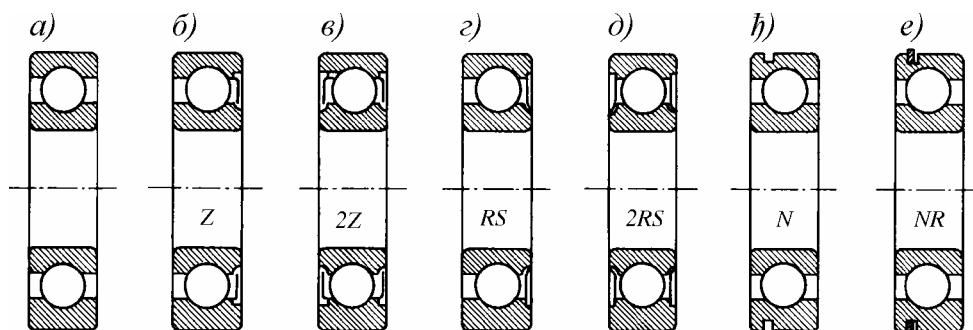
### Prsteni kuglični jednoređi ležaj sa radijalnim dodirnom (Oznaka 60, 62, 63, 64)

Na spoljašnjem i na unutrašnjem prstenu ovih ležaja nalaze se žlebovi za kretanje kotrljajnih tela. Radijusi krivine ovih žlebova su nešto veći od poluprečnika kotrljajnih tela - kuglica, tako da je u neopterećenom stanju dodir u tački.

Ovaj tip ležaja može da prenese relativno veliko radijalno i znatno aksijalno opterećenje u oba smera (sl. 4). Veličine aksijalnih sila ne bi trebale biti veće od 70% nosivosti ležaja. Zbog jednostavnog konstrukcionog oblika, smanjenog šuma i vibracija u radu i niske cene, ovi ležaji imaju jako veliku primenu.

Izrađuju se sa relativno velikim zazorom pri čemu je moguće manje ugaono prilagođavanje elastičnim deformacijama vratila ( $1/4...1/2^0$ ). Za velike ugaone brzine i za smanjeni šum i vibracije izrađuju se sa visokom tačnošću i bez zazora. Tada su međutim jako kruti i ne podnose elastične deformacije vratila.





Sl. 4. Prsteni kuglični jednoređi ležaji sa radijalnim dodirom: a) normalno izvođenje; b) sa jednim zaštitnim prstenom; v) sa dva zaštitna prstena; g) sa jednim zaptivnim prstenom; d) sa dva zaptivna prstena; đ) sa žlebom; e) sa žlebom i uskočnikom.

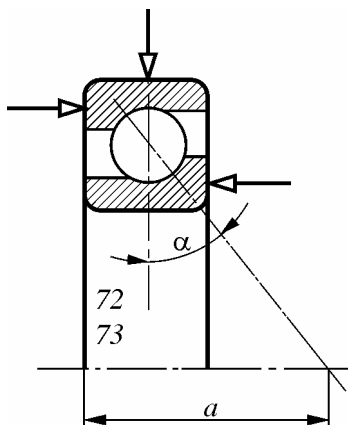
Postoje više konstrukcionih izvođenja prstenih kugličnih jednoređih ležaja sa radijalnim dodirom (sl. 4): sa jednim ili dva zaštitna čeona prstena, sa jednim ili dva zaptivna čeona prstena kao i sa žlebovima za sigurnosne prstenove za aksijalno učvršćivanje. Čeoni zaštitni prstenovi služe da zaštite ležaj od prodora stranih tela, a zaptivni za sprečavanje isticanja masti kojom se podmazuje ležaj.

Primena ovih ležaja je univerzalna - za prenosnike, kod svih vrsta mašina, u industriji motornih vozila.

#### Prsteni kuglični jednoređi ležaj sa kosim dodirom (Oznaka: 72, 73)

Žleb za kotrljajna tela na spoljašnjem i na unutrašnjem prstenu ima naslon

samo sa jedne strane, dok je druga strana izvedena ravno, tako da ovi ležaji mogu da prenesu aksijalnu silu samo u jednom smeru (sl. 5). To je rasklopivi ležaj sa kosim dodirom, gde ugao dodira iznosi kod normalnog izvođenja  $\alpha = 40^\circ$  (postoje i izvođenja ovih ležaja sa  $\alpha = 15^\circ$  i  $\alpha = 25^\circ$ , koji su takođe rasklopivi). Kod ovih ležaja može se ugraditi veći broj kotrljajnih tela tako da su veće nosivosti u odnosu na prstene kuglične jednorede ležaje sa radijalnim dodirom. Zbog kosog dodira dolazi do indukovanja dodatne aksijalne sile u ležaju, koja teži da razdvoji njegove delove u aksijalnom pravcu. Zbog toga se ovi ležaji najčešće ugrađuju u paru (kao slike u ogledalu), čime se neutrališe aksijalna komponenta, i tada mogu da



Sl. 5. Прстени киглични једнореди лежај са косим додиром

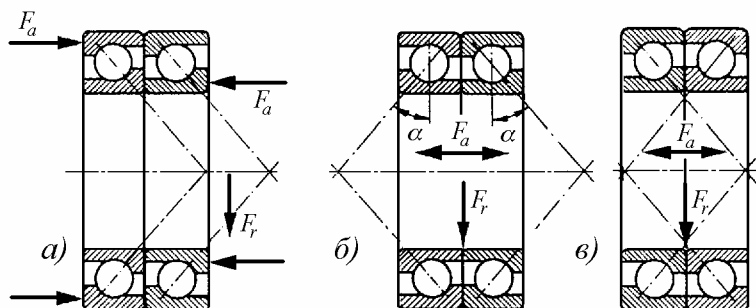
prenesu aksijalnu silu u oba smera. Kod vratila sa manjim osnim rastojanjem ugrađuje se u svakom osloncu po jedan ležaj, a kod većih osnih rastojanja mogu biti ugrađena oba ležaja u jednom osloncu.

Kod ugradnje oba ležaja u jednom osloncu moguća su tri izvođenja:

1. Ugradnja u tandemu (sl. 6,a), gde oba ležaja imaju isti položaj i mogu da prenesu veoma veliku aksijalnu silu u jednom smeru. Aksijalna sila ravnomerno se deli na oba ležaja.

2. O-ugradnja (sl. 6,b) koristi se kao aksijalno nepokretni oslonac vratila, jer može da prenese aksijalnu silu u oba smera. Ovakvo izvođenje uležištenja primenjuje se u slučaju da vratilo ima višu temperaturu od kućišta, jer pri tome ne dolazi do smanjenja radnog zazora. Ovo je jako kruto uležištenje pa se zahteva visoka saosnost spoljašnjeg i unutrašnjeg prstena ležaja.

3. X-ugradnja (sl. 6,v) koristi se takođe kod nepokretnog oslonca za prijem aksijalnih sila u oba smera. Primenjuje se u slučaju da kućište ima višu temperaturu od vratila, čime ne dolazi do smanjenja radnog zazora. U odnosu na O-ugradnju, to je manje kruto uležištenje.



Sl. 6. Načini ugradnje prstenih kugličnih jednoređih ležaja sa kosim dodirom: a) u tandemu; b) "O" - raspored; v) "X" - raspored.

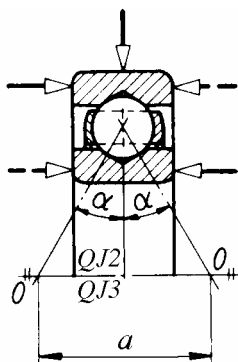
Kod tandem, X-, i O-ugradnje, dinamička nosivost para ležaja je 1,625 puta veća u odnosu na dinamičku nosivost jednog ležaja.

Uopšte se može reći da su prsteni kuglični jednoređi ležaji sa kosim dodirom namenjeni za više učestanosti obrtanja i za veće aksijalne sile. Zbog mogućnosti podešavanja zazora u toku montaže, koriste se kod vratila sa tačnim vođenjem.

### Prsteni kuglični jednoređi ležaj sa dodirom u četiri tačke (Oznaka: QJ2, QJ3)

Ovi ležaji spadaju u grupu prstenih kugličnih jednoređih ležaja sa kosim dodirom sa uglom dodira  $\alpha = 25^\circ$  (sl. 7). Žleb za kotrljajna tela na spoljašnjem i unutrašnjem prstenu sastoji se iz dva konusa sa vrhovima na sredini ležaja. Konusi su sa lučnom izvodnicom. U neopterećenom stanju dodir kotrljajnih tela i prstenova je u četiri tačke. Unutrašnji prsten se izrađuje kao jednodelni i dvodelni. Ležaji sa dvodelnim unutrašnjim prstenom spadaju u grupu rasklopivih ležaja, tako da se kod njih može ugraditi veći broj kotrljajnih tela čime se postiže i veća nosivost.

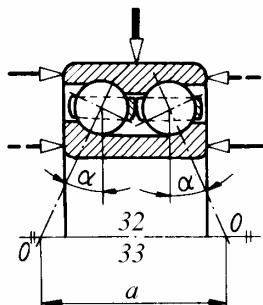
Ovi ležaji mogu da prenesu radijalna i aksijalna opterećenja u oba smera. Koriste se kod alatnih mašina kao i kod transmisije motornih vozila.



Sl. 7. Prsteni kuglični jednoređi ležaj sa dodirom u četiri tačke

### Prsteni kuglični dvoredi ležaj sa kosim dodirom (Oznaka: 32, 33)

Dvoredi kuglični ležaj sa kosim dodirom (sl. 8) odgovara paru jednoredih kugličnih ležaja sa kosim dodirom (*O*-izvođenje). Prenosi znatno radijalno opterećenje, kao i aksijalna opterećenja u oba smera.

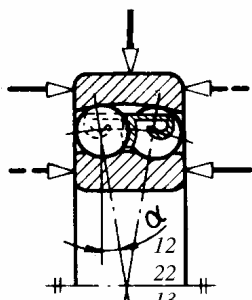


Сл. 8. Прстени куглични двореди лежај са косим

Ugao dodira iznosi  $\alpha = 25^\circ$ , odnosno  $\alpha = 35^\circ$ . Postoje i konstrukciona izvođenja sa  $\alpha = 45^\circ$ , ali je tada unutrašnji prsten izveden iz dva dela.

Primenjuje se u osloncima kraćih krutih vratila za niže učestanosti obrtanja, za prenošenje znatnih radijalnih i aksijalnih sila u oba smera (na primer kod vratila pužnih prenosnika, kao i vratila cilindričnih i konusnih zupčanika).

### Prsteni kuglični dvoredi podesivi ležaj (Oznaka: 12, 22, 13, 23)



Сл. 8. Прстени куглични двореди лежај са косим додиром

To je ležaj sa uglom dodira  $\alpha = 15^\circ$ , sa dva reda kuglica (sl. 9). Radi se sa cilindričnim i konusnim provrtom (konus 1:12). Površina kotrljanja kuglica na spoljašnjem prstenu je sfernog oblika, što omogućuje ugaono prilagođavanje deformacijama vratila i do  $4^\circ$ .

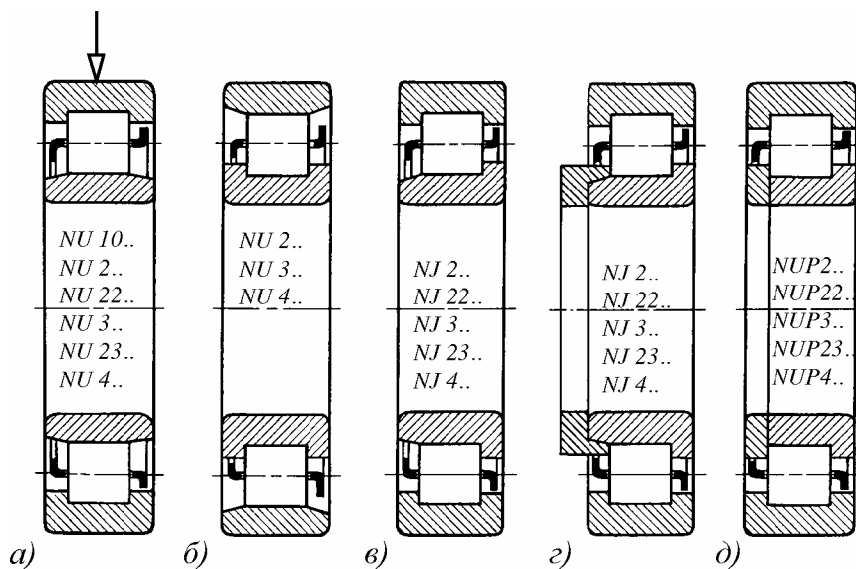
Prvenstveno je namenjen za radijalna opterećenja, ali može da prenese i umerena aksijalna opterećenja u oba smera. Namenjen je za velike učestanosti obrtanja.

Primenjuje se kod vratila većeg raspona između oslonaca, gde ne može da se postigne odgovarajuća tačnost pri montaži i gde se očekuju deformacije vratila u radu.

Ležaji sa konusnim provrtom pomoću odgovarajuće čaure mogu da se pričvrste na bilo kom mestu u aksijalnom pravcu glatkog vratila.

### Prsteni cilindrično valjčani jednoredi ležaj (Oznaka: NU, N, NJ, NUP)

Ovi ležaji namenjeni su prvenstveno za prenos radijalnih sila. Dodir između prstenova i kotrljajnih tela je linijski, što ovim ležajima omogućuje veću nosivost u odnosu na kuglične ležaje istih dimenzija sa dodirom u tački. Rasklopivi cilindrično valjčani ležaji ne prenose ili eventualno mogu da prenesu samo manju aksijalnu silu. Zbog linijskog dodira, to su kruti ležaji i zahtevaju visoku saosnost između spoljašnjeg i unutrašnjeg prstena.



Sl. 10. Prsteni cilindrično valjčani jednoređi ležaj: a) varijanta NU; b) varijanta N v) varijanta NJ g) varijanta NJ sa dodatnim ugaonim prstenom; d) varijanta NUP

Prsteni cilindrično valjčani jednoređi ležaji se izrađuju u više konstrukcionih varijanti (sl. 10): *N*- nasloni za vođenje postoje samo na unutrašnjem prstenu; *NU* nasloni za vođenje samo na spoljašnjem prstenu; *NJ*-spoljašnji prsten ima dva naslona a unutrašnji samo jedan; *NUP*-spoljašnji prsten sa dva naslona, a unutrašnji sa jednim naslonom, ali je ugrađen i dodatni prsten kao drugi naslon.

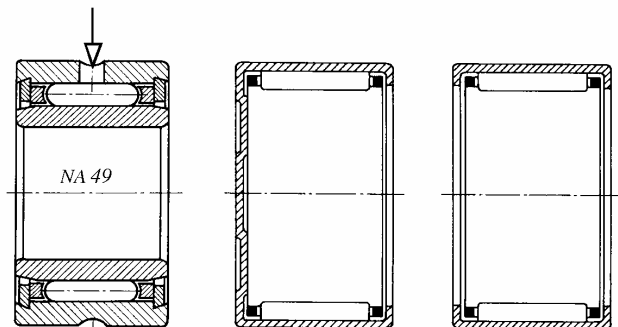
Ležaji sa oznakom *N* i *NU* ne mogu da prenesu nikakvu aksijalnu silu, ali su zato pogodni za aksijalno pokretne oslonce, jer dozvoljavaju međusobno pomeranje prstenova u aksijalnom pravcu. Varijante *NJ* i *NUP* mogu da prenesu aksijalnu silu ali samo manjeg intenziteta s obzirom na pojavu klizanja između valjčića i naslona.

Primenom dodatnog ugaonog prstena za vođenje cilindrično valjčani ležaji mogu da se primene za aksijalno učvršćivanje vratila, ali bez delovanja spoljašnjih aksijalnih sila (sl. 10,g).

Ovi ležaji dobro podnose visoke učestanosti obrtanja i velika radijalna opterećenja. Primenuju se kod prenosnika, elektromotora, kod osovina šinskih vozila, itd.

### Igličasti ležajevi (Oznaka: NA48, NA49)

Igličasti ležaji predstavljaju specijalno izvođenje cilindrično valjčanih ležaja (sl. 11) gde kotrljajna tela cilindri imaju mali prečnik u odnosu na dužinu ( $L_c \geq 2,5D_c$ ). Zbog toga se ova kotrljajna tela nazivaju iglice. Smeštene su u odgovarajući kavez, koji ih drži na odgovarajućem rastojanju i obezbeđuje im međusobni paralelni položaj. Na ovaj način obezbeđuje se kod uležištenja kompaktna konstrukcija u radijalnom pravcu.



Sl. 11. Igličasti ležaj

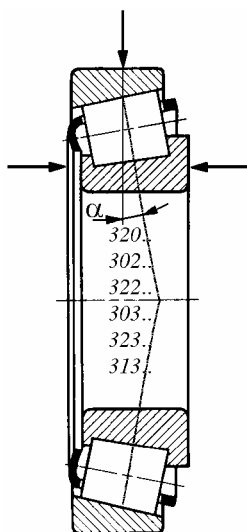
Postoje i konstrukcione varijante bez spoljašnjeg prstena, pa čak i bez oba prstena. U tom slučaju kavez sa iglicama ugrađuje se između rukavca vratila i kućišta, s tim da oslone površine moraju biti vrlo tvrde (58...65HRC), brušene i sa malim odstupanjima oblika.

Igličasti ležaji su jako kruti, zahtevaju visoku tačnost obrade površina ( $R_a \leq 0,2$ ), visoku saosnost oslonaca, i vrlo precizno vođenje vratila. Nisu pogodni za visoke učestanosti obrtanja i mogu da prenesu samo radijalna opterećenja. Pogodni su za oslonce sa oscilatornim obrtnim kretanjem, kao što su krivajni i kulisni mehanizmi.

Primenjuju se kod nižih i srednjih učestanosti obrtanja, u osloncima alatnih mašina, kod transmisije motornih vozila, kod vratila električnih uređaja, kod rukavaca elektromagnetnih i kardanovih spojnika, itd.

### Prsteni konusno valjčani ležaj (Oznaka: 302, 322, 303, 313 323)

Kao kotrljajna tela ovde se koriste delovi konusa (konusni valjčići), a površine kotrljanja spoljašnjeg i unutrašnjeg prstena su delovi konusa (sl. 12). Da bi bio ispunjen uslov čistog kotrljanja između kotrljajnih tela i prstenova, to vrhovi svih ovih konusa moraju ležati u istoj tački na podužnoj osi ležaja.



Ležaj sa uglom dodira  $\alpha = 15^\circ$  ( $30^\circ$ ) može da prenese visoka i aksijalna i radijalna opterećenja. Ležaj je tako izveden da unutrašnji prsten ima naslone za vođenje kotrljajnih tela, a spoljašnji prsten je odvojiv, tako da omogućuje laku montažu i demontažu ležaja.

Zbog skretanja napadne linije sile, u ležaju se indukuje dodatna aksijalna komponenta sile, koja teži da razdvoji prsteneve ležaja. Zbog toga se ovi ležaji po pravilu ugrađuju u paru (kao slike u ogledalu), čime se poništava samo-indukovana aksijalna sila i omogućuje prenos aksijalnog opterećenja u oba smera. Moguća je ugradnja po jednog ležaja u

Sl. 12. Prsteni konusno valjčani ležaj

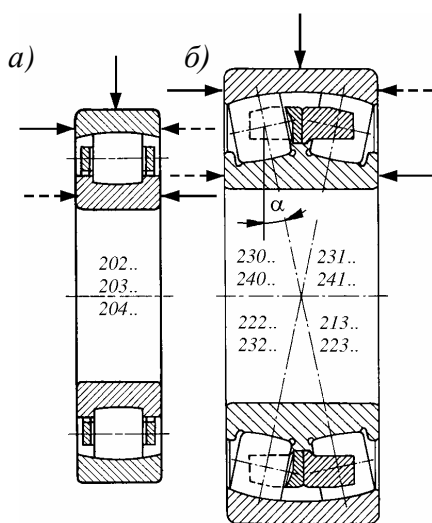
svakom osloncu vratila, ili ugradnja oba ležaja u jednom osloncu ( $X$  i  $O$  ugradnja kao i kod prstenih kugličnih jednoređih ležaja sa kosim dodirom).

Aksijalnim pomeranjem prstena podešavaju se radni zazori u toku montaže. Za ispravan rad ležaja jako veliku ulogu ima veličina radnog zazora. Postoje i konstrukciona izvođenja sa naknadnim podešavanjem radnog zazora.

Prsteni konusno valjčani ležaji su pre svega pogodni za niže učestanosti obrtanja. Spadaju u krute ležaje.

Zbog jednostavne ugradnje i niske cene ovaj tip ležaja ima jako raširenu primenu u praksi: kod transmisije motornih vozila, kod svih vrsta prenosnika snage (zupčanici sa kosim zupcima, konusni zupčanici, pužni zupčanici), kod alatnih mašina, itd.

### Prsteni bačvasti jednoređi podesivi ležaj (Oznaka: 202, 203, 204)



Sl. 13. Prsteni bačvasti jednoređi (a) i dvoređi (b) podesivi ležaj

Ovi ležaji su sa izvanrednim karakteristikama kako u pogledu nosivosti i prijema udarnih opterećenja tako i u pogledu mogućnosti prilagođavanja elastičnim deformacijama vratila i neparalnosti osa oslonih površina. To omogućuje veća dodirna površina između kotrljajnih tela i prstenova i sferni oblik površine kotrljanja na spoljašnjem prstenu (sl. 13,a). Kotrljajna tela su sa lučnom izvodnicom tako da podsećaju na bačvice po čemu su ležaji i dobili naziv. Vođenje kotrljajnih tela ostvaruje se preko žleba na unutrašnjem prstenu, dok spoljašnji prsten zbog sfernog oblika površine kotrljanja omogućuje uzajamno zakošenje prstenova, tako da se ležaj može prilagoditi nagibima vratila do

4°.

Prsteni bačvasti jednoređi podesivi ležaj namenjen je za velika radijalna opterećenja (ugao dodira  $\alpha = 0^\circ$ ), a mogu da prenesu i manja aksijalna opterećenja. Pogodni su za niže učestanosti obrtanja, nisu rasklopivi i izrađuju se sa cilindričnim i konusnim povrtom.

Primena: kod vozila, u teškoj mašingradnji, i kod vratila izložena velikim radijalnim opterećenima sa jakim udarima.

### Prsteni bačvasti dvoređi podesivi ležaj (Oznaka: 222, 213, 223)

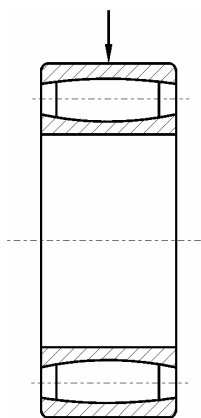
Ugradnjom dva reda kotrljajnih tela (sl. 13,b) u odnosu na prethodni tip ležaja znatno se povećava nosivost ležaja, ali i mogućnost da pored velike radijalne sile

prenosi i aksijalnu silu u oba smera (ugao dodira  $\alpha = 10^\circ$ ). Kao podesivi ležaj omogućuje nagibe vratila od  $0,5^\circ \dots 2^\circ$ . Pogodni su za udarna opterećenja i niže učestanosti obrtanja. Nisu rasklopivi. Izrađuju se sa cilindričnim i konusnim provrtom.

U pogledu specifične nosivosti i prijema udarnih opterećenja nema boljih ležaja od prstenih bačvastih dvorednih podesivih ležaja, ali su zato zbog složenog oblika kotrljajnih tela i prstenova složeniji za izradu pa su zbog toga i skuplji.

Primenjuju se u teškoj mašingradnji, kod valjaoničkih stanova, kod teških reduktora, tj. kod teško opterećenih oslonaca.

### CARB – ležaj (oznaka C22, C23, C30, C31, C32, C40, C60)



Sl. 14. CARB – ležaj

Firma SKF patentirala je 1995. godine novi tip kotrljajnog ležaja pod nazivom "CARB" (Compact Aligning Roller Bearing). To je čisto radijalni ležaj namenjen za prenošenje velikih radijalnih opterećenja. Konstrukciono je tako izveden (sl. 14) da ne može da primi aksijalna opterećenja. Osnovne njegove prednosti su međutim što može da kompenzira aksijalna pomeranja u radu i da omogući nagib vratila u osloncu. Dakle ugrađuje se kao zglobni aksijalno slobodni oslonac vratila i osovina. Ove prednosti ležaja su konstrukciono omogućene izvođenjem različitih radijusa krivina kotrljajnih staza i kotrljajnih tela.

Sferno izvedene kotrljajne staze prstenova imaju nešto veći radijus krivine u odnosu na radijus krivine bačvastih kotrljajnih tela. Naravno pri aksijalnom pomeranju prstenova jedan u odnosu na drugi menja se i zazor u ležaju. Kotrljajna tela su manjeg prečnika u odnosu na dužinu, pa se ugradnjom većeg broja kotrljajnih tela povećava i nosivost ležaja.

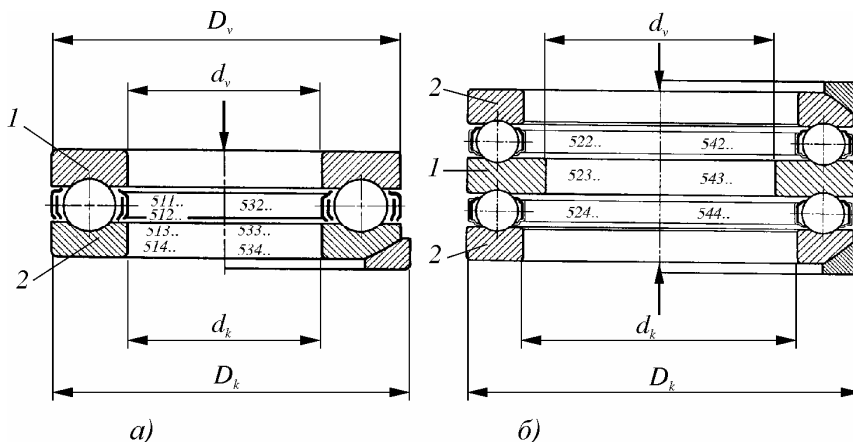
Primenjuje se za niže učestanosti obrtaja i za vrlo velika radijalna opterećenja, pre svega u teškoj mašingradnji, kod valjaoničkih stanova, industriji papira itd.

### Kolutni kuglični jednoređi i dvoređi ležaj (Oznaka: 511, 512, 513, 514, 522, 523, 524)

Kod jednoređih ležaja (oznaka 511, 512, 513, 514) kotrljajna tela - kuglice smešteni su u odgovarajuće kaveze (sl. 15,a) i kotrljaju se po žlebovima koluta vratila (1) prečnika  $D_v$  i koluta kućišta (2) prečnika  $D_k$  pri čemu je  $D_v > D_k$ . Ovi ležaji prenose čisto aksijalno opterećenje ( $\alpha = 90^\circ$ ), ali samo u jednom smeru i pogodni su za niže učestanosti obrtanja.

Kolutni kuglični dvoređi ležaji (sl. 15,b) prenose aksijalnu silu u oba smera (oznaka 522, 523, 524). Sastoje se iz dva reda kuglica, jednog koluta vratila (1) u sredini i dva spoljašnja koluta kućišta (2).

Učestanost obrtanja ovih ležaja je ograničena, jer pri većim ugaonim brzinama kod kotrljajnih tela nastaju znatne centrifugalne sile, pa dolazi do povećanog trenja i habanja ležaja.

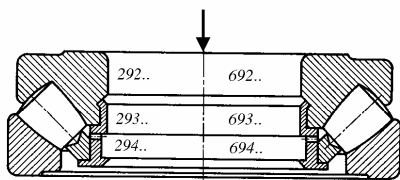


Sl. 15. Kolutni kuglični jednoredi (a) i dvoredi (b) ležaj

Pošto ovi ležaji prenose čisto aksijalno opterećenje ( $\alpha = 90^\circ$ ), to se za prenos radijalne sile u osloncu mora da ugradi i radijalni ležaj. Ovi ležaji su jako osetljivi na odstupanje paralelnosti oslonih površina, jer pri tome dolazi do velikog opterećenja pojedinih kotrljajnih tela (sl. 15 levo). Zbog toga se primenjuje i konstrukcijska varijanta sa prilagodljivim spoljašnjim prstenovima (oznaka 542, 543, 544). Spoljašnja površina ovih prstenova je sfernog oblika (sl. 15 desno) i oslanja se na odgovarajuće sferne kolutove.

Primena: kod aksijalnih oslonaca kao i za prijem velikih aksijalnih sila u osloncima vratila koje radijalni ležaji ne mogu da prenesu, kao na primer uležištenje vratila puža, vretena bušilica, kod oslonaca obrtnih kranova, kod kranskih kuka, kod obrtnih postolja itd.

### Kolutno konusno bačvasti podesivi ležaj (Oznaka: 292, 293, 294)



Sl. 16. Kolutno konusno – bačvasti podesivi ležaj

Kao kotrljajna tela kod ovih ležaja (sl. 16) koriste se konusi sa lučnom izvodnicom - konusne bačvice koje su u odnosu na osu ležaja postavljene pod odgovarajućim uglom (najčešće  $45^\circ$ ). Zbog veće dodirne površine između prstenova i kotrljajnih tela ovi ležaji imaju znatno veću specifičnu nosivost u odnosu na

kolutne kuglične ležaje. Izvedeni su tako da imaju dobro podmazivanje, što im omogućuje primenu i za visoke učestanosti obrtanja.

Površina kotrljanja na kolutu kućišta ima sferni oblik što ove ležaje čini podesivim za nagibe vratila do  $2^\circ$ . Prenos opterećenja između koluta i kotrljajnih



tela je pod  $45^\circ$  u odnosu na osu ležaja, tako da ovi ležaji pored velike aksijalne mogu da prime i ograničenu radijalnu silu ( $F_r \leq 0,55F_a$ ).

Kolutni konusno-bačvasti podesivi ležaji imaju složen oblik kotrljaj- nih tela i kolutova, što ih čini znatno skupljim u odnosu na kuglične ležaje.

Primena: kod teških vertikalnih vratila, kod kranova, kao pritisni ležaji kod brodskih elisa, lokomotiva kao i kod vratila pužnih prenosnika.

## Izbor tipa ležaja

O karakteristikama pojedinih tipova ležaja i područjima njihove primene, bilo je detaljno govora u poglavlju 4.2.3. Za tačno definisane zahteve u pogledu konstrukcionog izvođenja i radnih uslova preliminarni izbor mogućih tipova ležaja može se izvršiti i prema tablici 3.

Međutim u ovoj tablici ne stoji cena ležaja što treba u kasnijem razmatranju uzeti u obzir.

U principu se može reći, da s tačke gledišta cene, mogućnosti nabavke i jednostavnosti pri ugradnji, uvek treba ići na kuglične jednorede ležaje sa radijalnim dodirom (oznake 60, 62, 63, 64). Tek ako se pokaže da ovi ležaji ne mogu da ispune postavljene zahteve, može se ići i na druge tipove ležaja.

Tablica 3. Izbor tipa kotrljajnih ležaja

Zahtevi	Tipovi ležaja i područje primene															
	a	b	c	d	e	f	g	h	j	k	l	m	n	p		
Radijalno opterećenje	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	□	□	○	●		
Aksijalno opterećenje	●	●	●	●	○	□	●	○	●	□	●	●	●	□		
Izjednačavanje neparalelnosti osl.	○	○	□	□	●	□	□	●	●	□	□	□	●	●		
Naknadno podešav. zazora u ležaju	□	●	●	□	□	□	●	□	□	□	●	●	●	○		
Rasklopivi ležaji	□	●	●	□	□	●	●	□	□	●	●	●	●	□		
Izvođenje sa povišenom tačnošću	●	●	●	□	□	●	●	□	□	○	●	□	□	○		
Visoki brojevi obrtaja	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○		
Visoka nosivost ležaja	○	○	○	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●	●		
Nizak nivo buke	●	●	●	□	□	●	□	□	□	□	□	□	□	○		
Pričvršćivanje preko čaure-sedla	○	□	□	□	●	○	□	●	●	□	□	□	□	□		

Oznake: ● primenljiv bez ograničenja; ○ uslovno primenljiv; □ ne preporučuje se

a - prsteni kuglični jednoređi ležaj sa radijalnim dodirom  
 b - prsteni kuglični jednoređi ležaj sa kosim dodirom  
 c - prsteni kuglični jednoređi ležaj sa dodirom u četiri tačke  
 d - prsteni kuglični dvoređi ležaj sa kosim dodirom  
 e - prsteni kuglični dvoređi podesivi ležaj sa kosim dodirom  
 f - prsteni cilindrično valjčani jednoređi ležaj  
 g - prsteni konusno vanjčani ležaj  
 h - prsteni bačvasti jednoređi podesivi ležaj  
 j - prsteni bačvasti dvoređi podesivi ležaj  
 k - igličasti ležaj  
 l - kolutni kuglični jednoređi ležaj  
 m - kolutni kuglični dvoređi ležaj

## Tolerancije i naleganja kod kotrljajnih ležaja

Tolerancije i postupci kontrole kotrljajnih ležaja utvrđeni su među- narodnim ISO standardima. Unutrašnji prečnik ležaja  $d$ , spoljašnji prečnik  $D$  i širina ležaja  $B$  imaju tolerancijsko polje sa negativnim odstupanjem u odnosu na nultu liniju, što znači da njihova nazivna mera odgovara gornjoj graničnoj meri. Tolerancijsko polje unutrašnjeg prečnika ležaja - provrta nosi oznaku  $KB$ , a tolerancijsko polje spoljašnjeg prečnika oznaku  $hB$ . Ova tolerancijska polja se ne poklapaju ni sa jednim tolerancijskim poljem ISO sistema tolerancija dužinskih mera.

Kontrola mera spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika ležaja vrši se merenjem po 4 prečnika u dve radijalne ravni po širini ležaja, pri čemu se na osnovu maksimalne i minimalne izmerene vrednosti određuju srednji prečnici  $d_m = (d_{max} + d_{min})/2$ , odnosno  $D_m = (D_{max} + D_{min})/2$ . Dozvoljena odstupanja ovih mera od nazivne mere zavisno od klase tačnosti izrade data su u katalogima proizvođača ležaja. Širina ležaja takođe se kontroliše u nekoliko tačaka po obimu i mora biti u okviru dozvoljenih odstupanja.

Pored ovoga vrši se i kontrola oblika i položaja vezana pre svega za radijalno i aksijalno bacanje.

Za ugradnju kotrljajnih ležaja važnu ulogu ima učvršćivanje prstenova odnosno koluta na vratilu i kućištu. Pri tome pod opterećenjem nikako ne sme doći do njihovog radijalnog pomeranja. Najsigurnije i najjednostavnije radijalno učvršćivanje postiže se izborom odgovarajućih tolerancijskih polja rukavca vratila i otvora kućišta.

Čvrsta naleganja uz odgovarajuću tačnost pri izradi obezbeđuju povećanje krutosti tankih prstenova ležaja što pozitivno utiče na nosivost i radni vek ležaja. Sa druge strane pri tome dolazi do smanjenja radijalnog zazoru ležaja, što može kod pojedinih tipova ležaja negativno da utiče na rad u početnoj fazi. U tom smislu mogu se koristiti ležaji sa povećanim zazorom.

Na izbor naleganja pri ugradnji ležaja utiču veličina i tip ležaja, opterećenje, mogućnost aksijalnog pomeranja kod aksijalno slobodnih ležaja, a naročito relativno kretanje prstenova ležaja u odnosu na napadnu liniju delovanja opterećenja. U tom smislu u praksi mogu da se jave dva slučaja.

- **Opterećenje po celom obimu.** Prsten ležaja se relativno kreće u odnosu na napadnu liniju opterećenja. U praksi su moguća dva slučaja: prsten se okreće a položaj napadne linije opterećenja se ne menja, ili napadna linija opterećenja rotira, a prsten miruje.
- **Tačkasto opterećenje, odnosno opterećenje na delu obima.** Prsten ležaja je relativno nepokretan u odnosu na napadnu liniju delovanja opterećenja, i pri tome opterećenje deluje uvek u istoj tački prstena. U praksi su takođe moguća dva slučaja: prsten se ne okreće a ne menja se ni položaj napadne linije opterećenja, ili se i prsten i napadna linija delovanja opterećenja okreću istim brojem obrtaja i u istom smeru.

Pri ugradnji ležaja izbor naleganja između prstena i rukavca, odnosno kućišta vrši se na sledeći način.

- Kod opterećenja po obimu uzima se uvek čvrsto naleganje. Kod udarnih opterećenja sa porastom veličine ležaja uzima se i veći preklap.

- Kod tačkastog opterećenja može se uzeti labavo naleganje (a može i čvrsto ali sa manjim preklopom). Najčešće se međutim bira neizvesno naleganje sa manjim zazorom i većim preklopom.

Veličina i tip ležaja takođe utiču na izbor naleganja pri ugradnji ležaja. Veći ležaji zahtevaju i naleganja sa većim preklopom na rukavcu vratila. Valjčasti ležaji zahtevaju veće preklape u odnosu na kuglične.

## Nosivost i radni vek kotrljajnih ležaja

### Vidovi oštećenja

Dodir između kotrljajnih tela i prstena odnosno koluta u neopterećenom stanju je u tački ili liniji. Pod opterećenjem dolazi do elastičnih deformacija na mestu dodira, tako da se prenos opterećenja ostvaruje preko malih dodirnih površina. Zbog toga i pored veoma velike čvrstoće i tvrdoće materijala delova ležaja, kao i pažljive izrade, ugradnje i održavanja, posle određenog perioda vremena dolazi do zamora i oštećenja dodirnih površina. Oštećenja su rezultat lokalnog kontaktnog preopterećenja i manifestuju se najpre pojavom mikro pukotina neposredno ispod površine. Pri daljem radu mikro pukotine se šire ka površini, čime se stvaraju male rupice i jamice. Ovo oštećenje naziva se piting. Oštećenje se tokom rada brzo širi, a zatim dovodi do odvajanja većih metalnih delova, što je naročito izraženo na unutrašnjem prstenu ležaja. Oštećenja izazivaju nestabilan rad ležaja praćen udarima i povećanom bukom, što na kraju dovodi i do nasilnog loma prstena.

Zbog odstupanja oblika i dimenzija delova ležaja, pored kotrljanja u ležaju postoji i manjoj meri i klizanje. Ono ima za posledicu abrazivno habanje delova ležaja, a u kombinaciji sa pitingom dodatno oštećuje radne površine ležaja.

S obzirom da ova oštećenja u krajnjem slučaju dovode do otkaza ležaja, to se vrše ispitivanja sa ciljem da se odredi vreme rada do pojave zamora materijala. Ispitivanja se sastoje u postavljanju većeg broja istih ležaja na ispitnim stolovima, i njihovom radu pod istim uslovima vezanim za opterećenje, učestanost obrtanja i podmazivanje.

### Dinamička nosivost i radni vek ležaja

**Dinamička nosivost ležaja  $C$**  definiše se kao opterećenje konstantnog pravca i intenziteta koje ležaj može da prenese u toku  $10^6$  obrtaja, a da pri tome na najmanje 90% veće grupe istih ležaja ne dođe do nikakvih znakova oštećenja usled zamora. Prema tome verovatnoća izdržljivosti iznosi  $P_N = 0,9$  a verovatnoća razaranja  $P_R = 0,1$ . U toku eksperimentalnog određivanja dinamičke nosivosti kod prstenih ležaja unutrašnji prsten se okreće, a spoljašnji prsten miruje, dok je opterećenje čisto radijalno. Kod kolutnih ležaja opterećenje je čisto aksijalno. Po

pravilu ispitivanje traje 500 časova pri broju obrtaja  $n = 33\frac{1}{3} \text{ min}^{-1}$ . Dinamička nosivost zavisi od većeg broja faktora i eksperimentalno je utvrđuju proizvođači ležaja. Za odgovarajući tip i veličinu ležaja to je konstanta koja se može naći u katalozima proizvođača ležaja.

Prema ISO preporukama (ISO 281) **nominalni radni vek ležaja** definiše se kao brojevi obrtaja ili broj časova rada veće grupe istih ležaja pri konstantnom učestanošću obrtanja, a da pri tome ne dođe do nikakvih znakova oštećenja na najmanje 90% ležaja. (Verovatnoća izdržljivosti  $P_N = 0,9$ ; verovatnoća razaranja  $P_R = 0,1$ ).

Na osnovu izraza  $\sigma_N^m \cdot N = const$  uvodeći oznaku za dinamičku nosivost  $C$  i broj obrtaja  $N_c = 10^6$  dobija se

$$C^\alpha \cdot N_c = F^\alpha \cdot N$$

odnosno nominalni radni vek ležaja  $L$  izražen u brojevima obrtaja iznosi:

$$L = N = 10^6 \cdot \left( \frac{C}{F} \right)^\alpha \quad (1)$$

U izrazu (1) sa  $F$  je označeno opterećenje koje ležaj prenosi u radu, a eksponent  $\alpha$  iznosi  $\alpha = 3$  - za kuglične, odnosno  $\alpha = 10/3$  za valjčane ležajeve.

Radni vek ležaja najčešće se izražava u časovima rada. Ako se ležaj obrće sa  $n$  obrtaja u minuti, to je broj obrtaja u toku jednog časa  $60n$ , pa je veza između radnog veka izraženog u časovima rada  $L_h$  i radnog veka izraženog u brojevima obrtaja  $L$ :  $L_h = L/60n$ , odnosno shodno izrazu (1) nominalni radni vek ležaja izražen u časovima rada iznosi:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left( \frac{C}{F} \right)^\alpha \quad (2)$$

Nominalni radni vek ležaja je statistička veličina i u praksi se njegove vrednosti zaokružuju na sledeći način: ako je radni vek ispod 1000 časova, vrednosti se zaokružuju na celih 10; za vrednosti ispod 10000 na celih 100; vrednosti preko 10000 na celih 1000.

Za normalne radne uslove vrednosti radnog veka određene prema (2) daju zadovoljavajuće rezultate. Međutim vrlo često radni uslovi odstupaju od normalnih pa se pored nominalnog radnog veka koristi i **modificirani radni vek ležaja**. Izraz (2) važi za verovatnoću izdržljivosti ležaja  $P_N = 0,9$ , i za slučaj da se radni uslovi vezani za podmazivanje, svojstva materijala ležaja i radnu temperaturu ne razlikuju suviše od opitnih. Ukoliko to nije slučaj i ukoliko se želi proračun za drugu verovatnoću izdržljivosti, proračun se izvodi prema modificiranom radnom veku koji je jednak:

$$L_{Mh} = L_h \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot f_9 \quad (3)$$

Koeficijent  $a_1$  uzima u obzir verovatnoću izdržljivosti. Dinamičke nosivosti ležaja date u katalogima proizvođača odnose se na određene materijale od kojih je ležaj izrađen. Za druge materijale vrednosti radnog veka koriguju se faktorom  $a_2$ . Ako se uslovi podmazivanja razlikuju od opitnih, odnosno ukoliko je podmazivanje nedovoljno, ili je ulje manje viskoznosti uz mogućnost prodora nečistoće, onda se ovi uticaji uzimaju u obzir preko faktora  $a_3$ . Pri proračunu se često faktori  $a_2$  i  $a_3$  uzimaju zajedno  $a_{23} = a_2 \cdot a_3$ . Naime pogoršane uslove podmazivanja moguće je kompenzirati primenom kvalitetnijih materijala od kojih se izrađuje ležaj. Faktor  $a_{23}$

određuje se prema dijagramu, a zavisno od odnosa viskoznosti ulja  $v=v/v_l$ . Sa  $v$  je označena radna viskoznost ulja u  $mm^2/s$  na radnoj temperaturi  $\theta$ . Sa  $v_l$  označena je merodavna viskoznost ulja u  $mm^2/s$  za srednji prečnik ležaja  $d_m = (D + d)/2$ .

Normalni radni uslovi za koje važi izraz (2) podrazumevaju da radna temperatura bude ispod  $120^0$ . Ukoliko je radna temperatura viša onda se ležaj, pre završne obrade brušenjem, dodatno termički obrađuje sa ciljem da se umanjí uticaj promene dimenzija usled termičkih dilatacija. Nosivost ležaja se pak na povišenim temperaturama smanjuje što se uzima u obzir faktorom  $f_\vartheta$ .

### Ekvivalentno dinamičko opterećenje ležaja

Dinamička nosivost ležaja eksperimentalno se određuje pri čisto radijalnom opterećenju za radijalne ležaje, odnosno pri čisto aksijalnom opterećenju za aksijalne ležaje. U eksploatacionim uslovima ležaji su međutim izloženi i radijalnim i aksijalnim opterećenjima. Zbog toga se pri proračunu određuje ekvivalentno opterećenje ležaja  $F$ . To je fiktivno opterećenje, čije bi dejstvo na radni vek ležaja bilo ekvivalentno stvarnom. Pod pretpostavkom da se spoljašnje opterećenje ne menja, ekvivalentno dinamičko opterećenje  $F$  u  $kN$  (izuzimajući aksijalne podesive ležaje) određuje se prema:

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (4)$$

gde je:  $F_r$  - radijalna komponenta opterećenja ležaja u  $kN$ ;

$F_a$  - aksijalna komponenta opterećenja ležaja u  $kN$ ;

$X$  - faktor radijalnog opterećenja;

$Y$  - faktor aksijalnog opterećenja.

Vrednosti faktora  $X$  i  $Y$  zavise od tipa ležaja i od odnosa radijalne i aksijalne komponente opterećenja. Određuju se prema tablicama.

Ukoliko ležaj prenosi čisto radijalnu silu ( $F_a = 0$ ) onda je  $F = F_r$ , a ukoliko prenosi čisto aksijalnu silu ( $F_r = 0$ ) onda je  $F = F_a$ .

Kod radijalno i aksijalno opterećenih kolutnih konusno bačvastih ležaja ekvivalentno dinamičko opterećenje  $F$  u  $kN$  određuje se prema:

$$F = F_a + 1,2 \cdot F_r \quad (5)$$

pri čemu takođe mora biti ispunjen uslov  $F_r \leq 0,55 \cdot F_a$ , kao i da bude obezbeđena centričnost kolutova.

Kod prstenih jednoređih kugličnih ležaja sa kosim dodirom i prstenih konusno-valjčanih ležaja, pod dejstvom radijalne komponente  $F_r$ , zbog skretanja napadne linije sile za ugao  $\alpha$ , indukuje se u ležaju dodatna aksijalna komponenta. Ova komponenta teži da razdvoji delove ležaja. Zbog toga se ovi ležaji najčešće ugrađuju u paru sa "O" i "X" rasporedom ležaja, a indukovane aksijalne komponente uzimaju se kao dodatne spoljašnje sile u odnosu na posmatrani ležaj.

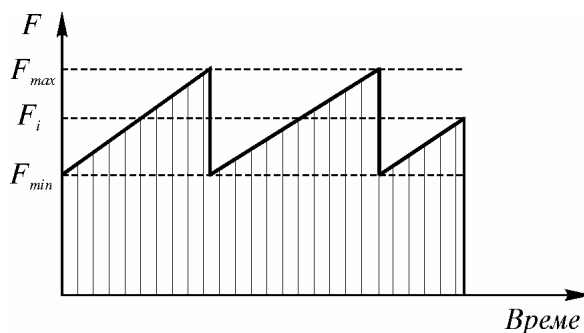
Ležaji su međutim pored radijalnih sila  $F_{rA}$  i  $F_{rB}$  vrlo često opterećeni i spoljašnjom aksijalnom silom  $F_{aS}$ . U tom slučaju neophodno je najpre utvrditi koji ležaj prima spoljašnju aksijalnu silu  $F_{aS}$ , što zavisi od rasporeda ležaja pri ugradnji ("O" ili "X" raspored) i od smera aksijalne sile. Napadne linije radijalnih sila  $F_{rA}$  i  $F_{rB}$  pomerene su u odnosu na čeonu površinu ležaja za veličinu  $\alpha$ , što treba uzeti u

obzir pri određivanju ovih sila, odnosno pri određivanju otpora oslonaca ravanskog modela grede. Faktori aksijalnog opterećenja  $Y_A$  ležaja  $A$  i  $Y_B$  ležaja  $B$  kao i veličina  $e$ , određuju se prema tablicama.

Proračun radnog veka ležaja prema ekvivalentnom dinamičkom opterećenju (izraz (4)) važi pod pretpostavkom da je radno opterećenje približno konstantno i da se u radu ne menja učestanost obrtanja ležaja. Ukoliko to nije ispunjeno, onda se proračun izvodi prema idealnom opterećenju. To je ono konstantno opterećenje pri kome bi ležaj imao isti radni vek kao pri promenljivom opterećenju.

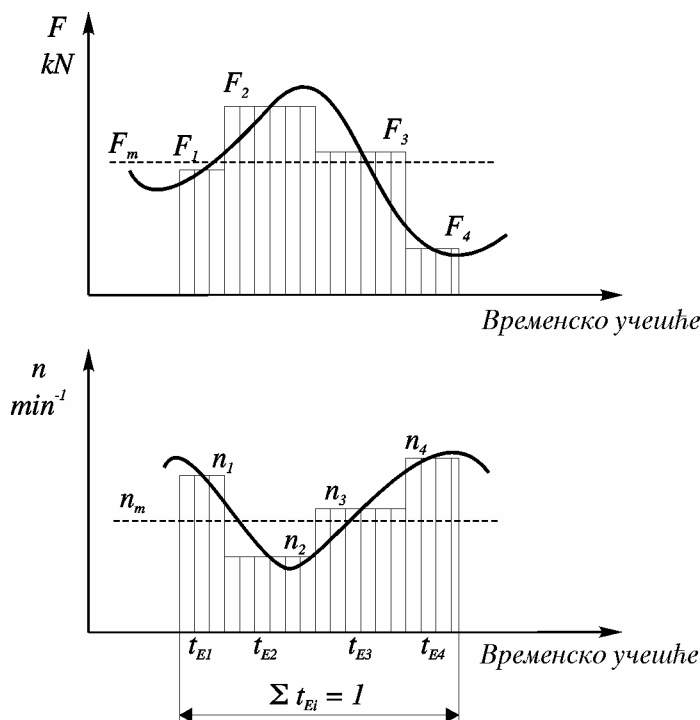
Ako se sila koju prenosi ležaj menja periodično približno linearno u granicama od  $F_{min}$  do  $F_{max}$  (sl. 17), a da pri tome učestanost obrtanja ležaja ostaje nepromenljiva (na primer kod alatnih mašina ili mašina za obradu drveta), onda idealno opterećenje može da se odredi prema:

$$F_i = \frac{F_{min} + 2 \cdot F_{max}}{3} \quad (6)$$



Sl. 17. Periodična promena sile

Kod ležaja kod kojih se u toku rada menja i opterećenje i učestanost obrtanja i pri tome promena ima stohastički karakter, ovaj proračun je komplikovaniji. Na osnovu slučajne funkcije toka promene opterećenja i brojeva obrtaja, statističkom obradom dobijaju se odgovarajuće zakonitosti toka promena opterećenja, odnosno procentualnog učešća brojeva obrtaja na odgovarajućem nivou opterećenja. Na ovaj način dobijen spektar opterećenja grafički je prikazan na sl. 18.



Sl. 18. Spektar opterećenja sa odgovarajućim učešćem brojeva obrtaja

Polazeći od hipoteze o linearnoj akumulaciji oštećenja u materijalu, idealno opterećenje ležaja  $F_i$  u  $kN$ , može se odrediti prema sledećem izrazu:

$$F_i = \sqrt[\alpha]{F_1^\alpha \cdot \frac{n_1}{n_m} \cdot t_{E1} + F_2^\alpha \cdot \frac{n_2}{n_m} \cdot t_{E2} + F_3^\alpha \cdot \frac{n_3}{n_m} \cdot t_{E3} + \dots + F_n^\alpha \cdot \frac{n_n}{n_m} \cdot t_{En}} \quad (7)$$

gde su:

$F_1, F_2, \dots, F_n$  - radijalne ili aksijalne komponente sile na odgovarajućem nivou spektra opterećenja odnosno za odgovarajući period rada u  $kN$ ;

$n_1, n_2, \dots, n_n$  - brojevi obrtaja na odgovarajućem nivou spektra opterećenja, respektivno u  $min^{-1}$ ;

$t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$  - relativno vremensko učešće opterećenja odgovarajućeg nivoa (na primer ako je vremensko učešće prvog nivoa 25% onda je  $t_{E1} = 0,25$ , odnosno  $\sum_1^n t_{Ei} = 1$ );

$\alpha$  - eksponent ( $\alpha = 3$  - za kuglične;  $\alpha = 10/3$  - za valjčane ležaje);

$n_m$  - srednja vrednost brojeva obrtaja koja se određuje prema:

$$n_m = n_1 \cdot t_{E1} + n_2 \cdot t_{E2} + n_3 \cdot t_{E3} + \dots + n_n \cdot t_{En} \quad (8)$$

Za slučaj da broj obrtaja u toku rada ostaje konstantan, a menja se samo opterećenje, onda je:

$$F_i = \sqrt[\alpha]{F_1^\alpha \cdot t_{E1} + F_2^\alpha \cdot t_{E2} + F_3^\alpha \cdot t_{E3} + \dots + F_n^\alpha \cdot t_{En}} \quad (9)$$

Ako na ležaj deluje samo čisto radijalna sila ili samo čisto aksijalna sila, onda idealno opterećenje određeno prema izrazu (7) odnosno (9), predstavlja ujedno i ekvivalentno dinamičko opterećenje, tj.  $F_i = F$ . Međutim kod ležaja koji su istovremeno izloženi i promenljivom radijalnom i promenljivom aksijalnom opterećenju, najpre se prema izrazu (7) odnosno (9) određuje posebno idealno radijalno opterećenje  $F_{ir}$  i idealno aksijalno opterećenje  $F_{ia}$ , a zatim prema izrazu (4) ekvivalentno dinamičko opterećenje.

### Izbor veličine ležaja s obzirom na dinamičku nosivost

Da bi ležaj bio potpuno definisan potrebno je znati tip ležaja, unutrašnji prečnik i veličinu ležaja. Tip ležaja usvaja se na osnovu eksploatacionih uslova vezanih za opterećenje, konstrukciono izvođenje oslonaca, krutost vratila, učestanosti obrtanja itd. Unutrašnji prečnik ležaja određen je prečnikom rukavca vratila i konstrukcionim uslovima vezanim za kompletan sklop vratila sa delovima na njemu.

Pod pretpostavkom da su tip ležaja i njegov unutrašnji prečnik poznati, izbor veličine ležaja (reda mera) vrši se prema dinamičkoj nosivosti ležaja. Shodno izrazu (2) potrebna dinamička nosivost ležaja  $C$  u  $kN$  može da se odredi prema:

$$C \geq F \cdot \alpha \sqrt{\frac{60n \cdot L_h}{10^6}} \quad (10)$$

gde je:  $L_h$  - nominalni radni vek ležaja u časovima rada;

$n$  - broj obrtaja ležaja u  $\text{min}^{-1}$ ;

$F$  - ekvivalentno dinamičko opterećenje u  $kN$  (izraz 4).

Na osnovu potrebne dinamičke nosivosti ležaja određene prema (10) iz kataloga proizvođača ležaja bira se odgovarajući ležaj.

Pri određivanju dinamičke nosivosti ležaja potrebno je poznavati nominalni radni vek ležaja, čije se vrednosti biraju na osnovu iskustva i zavise od vrste mašine, trajnosti pogona i pouzdanosti mašine.

### Statička nosivost ležaja

Za ležaje koji u toku rada miruju odnosno okreću se sa malim brojevima obrtaja ( $n < 10 \text{ min}^{-1}$ ) ili imaju oscilatorno kretanje za proračun je merodavna statička nosivost.

Dodir između delova kotrljajnih ležaja je u tački odnosno liniji, pa se plastične deformacije na mestima dodira javljaju već kod umerenih statičkih opterećenja. Sa porastom opterećenja naglo rastu i plastične deformacije. Plastične deformacije ne smeju međutim biti suviše velike, jer u tom slučaju bitno narušavaju radnu sposobnost ležaja. Kao mera ovih plastičnih deformacija uzima se odnos između statičke nosivosti ležaja  $C_0$  i statičkog opterećenja  $F_0$ , odnosno:

$$k_0 = \frac{C_0}{F_0} \quad (11)$$



Veličina  $k_0$  je mera sigurnosti protiv pojave suviše velikih plastičnih deformacija na mestima dodira kotrljajnih tela sa ostalim delovima ležaja i naziva se statička karakteristika nosivosti.

Statička nosivost ležaja  $C_0$  predstavlja opterećenje koje na najopterećenijem mestu dodira kotrljajnih tela i prstenova odnosno kolutova neće izazvati trajne plastične deformacije veće od 0,01% prečnika kotrljajnih tela. Pri tome je opterećenje kod radijalnih ležaja čisto radijalno, a kod aksijalnih ležaja čisto aksijalno. Vrednosti za statičku nosivost određuju se eksperimentalno i date su u katalozima proizvođača.

Statička karakteristika nosivosti  $k_0$  kreće se u granicama:

$k_0 = 1,5 \dots 2,5$  - kod udarnih opterećenja i visokih zahteva u pogledu tačnosti i mirnoće rada;

$k_0 = 1,0 \dots 1,5$  - kod normalnih radnih uslova i normalnih zahteva u pogledu mirnoće rada;

$k_0 = 0,7 \dots 1,0$  - ako su radni uslovi takvi da se dozvoljavaju veće plastične deformacije na mestima dodira i kod nižih zahteva u pogledu mirnoće rada.

### Ekvivalentno statičko opterećenje ležaja

Ekvivalentno statičko opterećenje ležaja  $F_0$  je ono radijalno ili aksijalno statičko opterećenje koje bi u delovima ležaja izazvalo iste trajne deformacije kao i realno opterećenje u radnim uslovima. Sa izuzetkom kolutnih konusno bačvastih podesivih ležaja, ekvivalentno statičko opterećenje ležaja  $F_0$  u  $kN$  određuje se prema:

$$F_0 = X_0 \cdot F_{r0} + Y_0 \cdot F_{a0} \quad (12)$$

gde je:  $F_{r0}$  - radijalna komponenta statičkog opterećenja ležaja u  $kN$ ;

$F_{a0}$  - aksijalna komponenta statičkog opterećenja ležaja u  $kN$ ;

$X_0$  - faktor radijalnog statičkog opterećenja;

$Y_0$  - faktor aksijalnog statičkog opterećenja.

Vrednosti faktora  $X_0$  i  $Y_0$  zavise od tipa ležaja i od odnosa radijalne i aksijalne komponente opterećenja, određuju se prema tablicama.

Ukoliko ležaj prenosi čisto radijalnu silu ( $F_{a0} = 0$ ) onda je  $F_0 = F_{r0}$ , a ukoliko prenosi čisto aksijalnu silu ( $F_{r0} = 0$ ) onda je  $F_0 = F_{a0}$ .

Kod radijalno i aksijalno opterećenih kolutnih konusno bačvastih ležaja ekvivalentno statičko opterećenje ležaja  $F_0$  u  $kN$  određuje se prema:

$$F_0 = F_{a0} + 2,7 \cdot F_{r0} \quad (13)$$

pri čemu takođe mora biti ispunjen uslov  $F_{r0} \leq 0,55 \cdot F_{a0}$ , kao i da bude obezbeđena centričnost kolutova.

### Izbor veličine ležaja s obzirom na statičku nosivost

Pod pretpostavkom da su tip i unutrašnji prečnik ležaja poznati, shodno izrazu (11) potrebna statička nosivost ležaja  $C_0$  u  $kN$  određuje se prema:

$$C_0 \geq k_0 \cdot F_0 \quad (14)$$

gde je:  $F_0$  - ekvivalentno statičko opterećenje ležaja u  $kN$  (izraz (12));

$k_0$  - statička karakteristika nosivosti ležaja.

Na osnovu statičke nosivosti ležaja određene prema (14) iz kataloga proizvođača ležaja bira se odgovarajući ležaj.

Treba napomenuti da učestanost obrtanja ležaja nije dovoljan kriterijum za izbor postupka proračuna ležaja. Za slučaj da je radni vek ležaja mali, onda proračun prema dinamičkoj nosivosti dozvoljava relativno velika radna opterećenja, koja mogu dovesti do pojave plastičnih deformacija. U tom slučaju i za brojeve obrtaja  $n > 10 \text{ min}^{-1}$  potrebna je pored dinamičke i provera statičke nosivosti ležaja.

### Granična učestanost obrtanja

Pri povećanju učestanosti obrtanja naglo se povećavaju sile trenja čime rastu gubici energije, a dolazi i do povišenja temperature ležaja. Takođe dolazi i do povećanja inercijalnih sila, koje mogu biti znatne i koje radijalno opterećuju ležaj. Posledica toga je ubrzan proces zamaranja radnih površina odnosno smanjenje dinamičke izdržljivosti radnih površina i povećanje zazora u ležaju. Konačno, povišena temperatura menja maziva svojstva sredstva za podmazivanje, što uz povećana opterećenja može dovesti do razaranja ležaja.

Zbog toga je neophodno za svaki ležaj utvrđivanje maksimalne granične učestanosti obrtanja  $n_g$  pri kojoj još ne dolazi do neželjenih napred opisanih pojava. Na osnovu eksperimentalnih i teorijskih istraživanja granična učestanost obrtanja  $n_g$  u  $\text{min}^{-1}$  određuje se prema:

$$n_g = \frac{Z_s \cdot Z_k \cdot n_0}{K_D} \quad (15)$$

gde su:  $Z_s$  - faktor koji uzima u obzir način podmazivanja i veličinu ležaja i iznosi:

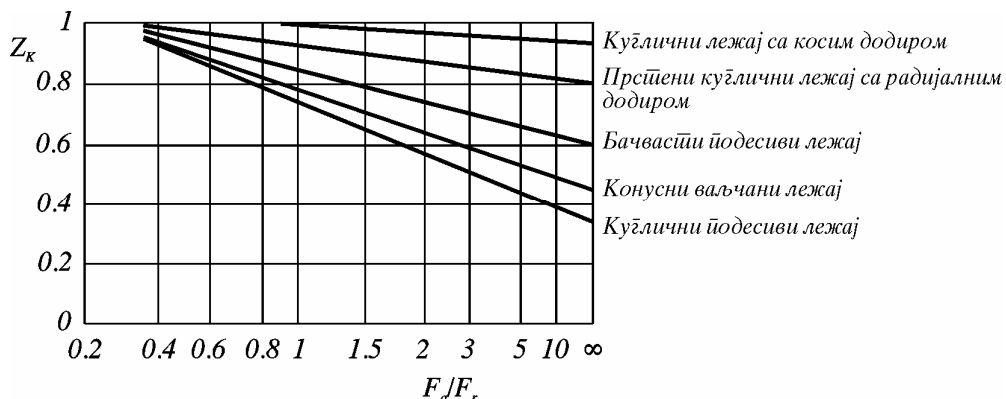
- |                          |              |                           |
|--------------------------|--------------|---------------------------|
| ▪ za podmazivanje mašču  | $Z_s = 3$    | za $D < 30 \text{ mm}$    |
|                          | $Z_s = 1$    | za $D \geq 30 \text{ mm}$ |
| ▪ za podmazivanje uljima | $Z_s = 3,75$ | za $D < 30 \text{ mm}$    |
|                          | $Z_s = 1,25$ | za $D \geq 30 \text{ mm}$ |

$Z_k$  - faktor koji uzima u obzir kombinovano radijalno-aksijalno opterećenje i koji je za čisto radijalne odnosno čisto aksijalne ležaje jednak jedinici ( $Z_k = 1$ ), a za ostale slučajeve se određuje prema dijagramu na sl. 19.

$n_0$  - nominalni granični broj obrtaja u  $\text{min}^{-1}$ ;

$K_D$  - faktor spoljašnjeg prečnika:

$$\begin{aligned} K_D = D - 10 & \quad \text{za} \quad D \geq 30 \text{ mm}; \\ K_D = D + 10 & \quad \text{za} \quad D < 30 \text{ mm}; \end{aligned}$$


 Sl. 19. Određivanje faktora  $Z_k$ 

Granična učestanost obrtanja određena prema izrazu (15) važi za normalno izvođenje kada je kod radijalnih ležaja i kod aksijalnih ležaja. Ukoliko ležaj radi sa radnim brojem obrtaja  $n > n_g$  onda se koriste ležaji sa specijalnim izvođenjem. Ako je u katalogima proizvođača data granična učestanost obrtanja za podmazivanje mašću, odnosno uljem onda se ta vrednost koriguje množenjem samo faktorom  $Z_k$ . Kod ležaja sa ugrađenim zaptivnim prstenom granična učestanost obrtanja je za oko 20% niža.

## Podmazivanje kotrljajnih ležajeva

### Uloga podmazivanja

Zadatak podmazivanja je da se smanji habanje dodirnih površina na mestu kontakta kotrljajnih tela sa ostalim delovima ležaja, odnosno da trenje i habanje bude nezatno. Pored ove primarne funkcije podmazivanje ima i ulogu zaštite radnih površina od korozije, smanjenje buke, odvođenje toplote kao i eventualna zaštita od prodora spoljašnje nečistoće.

Kako kod kliznih tako i kod kotrljajnih ležaja ovo se postiže stvaranjem uljnog filma između površina koje se međusobno relativno kreću. Kod kotrljajnih ležaja pri tome treba obezbediti dovoljnu količinu ulja na kotrljajućim dodirnim površinama. Ulje treba da razdvoji dodirne površine i onemogući neposredni kontakt metala.

Kao sredstvo za podmazivanje ležaja koriste se tehničke masti, ulja, a u specijalnim slučajevima i čvrsta maziva. Opterećenje, učestanost obrtanja i radna temperatura ležaja igraju odlučujuću ulogu pri izboru načina podmazivanja i sredstva za podmazivanje.

Pre nego što se pristupi konstrukcionom izvođenju celog uležištenja, potrebno je poznavati način podmazivanja i sredstvo koje će biti upotrebljeno za podmazivanje. Kriterijum za izbor načina i sredstva za podmazivanje je radni broj obrtaja  $n$  i srednji prečnik ležaja  $d_m = (D+d)/2$ , odnosno karakteristika brzohodosti koja je jednaka proizvodu  $(n \cdot d_m)$ , izražena u  $10^6 \text{ mm/min}$ .

### Podmazivanje mastima

Podmazivanje kotrljajnih ležaja mastima izvodi se ukoliko je karakteristika brzohodosti ( $n \cdot d_m$ )  $< 0,5 \cdot 10^6$  mm/min. Prednosti ovakvog načina podmazivanja je zaštita od prodora spoljašnje nečistoće, jednostavno konstrukciono izvođenje uležištenja, lako održavanje i lako zaptivanje.

Najpoznatije tehničke masti koje se koriste za podmazivanje kotrljajnih ležaja su silicijumove, natrijumove i litijumove. Izbor vrste masti vrši se prema radnoj temperaturi, otpornosti u odnosu na vodu i vlažnost, prema načinu zaptivanja, načinu podmazivanja kao i potrebne količine masti za podmazivanje.

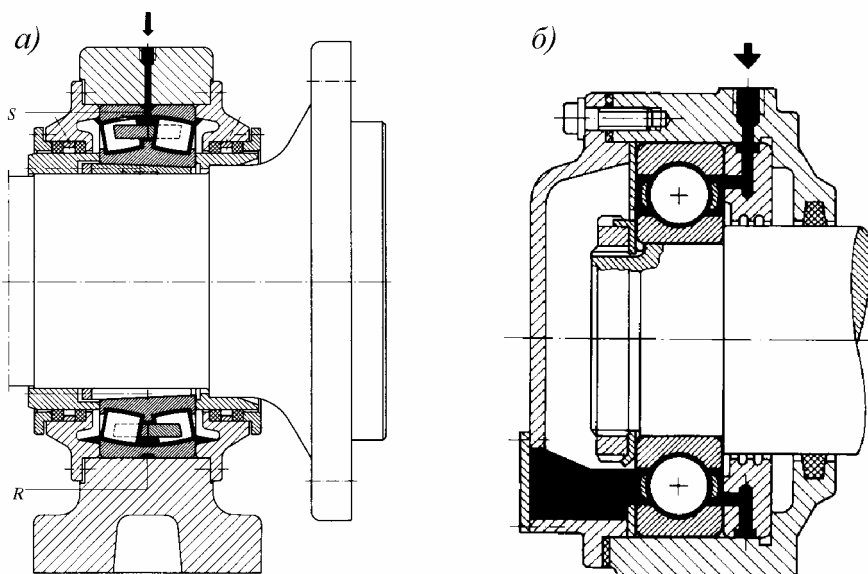
Izbor masti za podmazivanje vrši se prema učestanosti obrtanja, veličini i pravcu delovanja opterećenja na sledeći način.

- ◆ Za  $\frac{n}{n_g} \leq 1$  i  $\frac{f \cdot F}{C} \leq 0,16$  - bira se normalna tehnička mast.
- ◆ Za  $\frac{n}{n_g} = 0,3 \dots 0,5$  i  $\frac{f \cdot F}{C} \geq 0,16$  - bira se EP-mast sa dodacima za visoke pritiske (kompleksna kalcijumova mast).
- ◆ Za  $\frac{n}{n_g} > 1$  - bira se mast za brzohode ležaje (barijum kompleksna mast)

Faktor opterećenja  $f$  kreće se u granicama:  $f = 1$  - za kuglične ležaje i pretežno radijalno opterećene valjčane ležaje ( $F_a/F_r \leq 1$ );  $f = 2$  - za pretežno aksijalno opterećene valjčane ležaje ( $F_a/F_r > 1$ ).

Količina punjenja sklopa ležaja mašću određuje se prema odnosu radne  $n$  i kritične  $n_g$  učestanosti obrtanja. Opšta preporuka je da se ležaj obavezno ispuni mašću, a njegovo kućište delimično i to:

- ◆ za  $\frac{n}{n_g} < 0,2$  - 100% (potpuno punjenje);
- ◆ za  $\frac{n}{n_g} = (0,2 \dots 0,8)$  - 33% (do jedne trećine);
- ◆ za  $\frac{n}{n_g} > 0,8$  - 0% (ostavi prazno).



Sl. 20. Podmazivanje mašču preko žleba u spoljašnjem prstenu ležaja (a) i dovođenje masti bočno (b).

Ukoliko je vek trajanja odnosno period zamene masti veći od radnog veka ležaja odnosno same mašine, onda se primenjuje takozvano trajno podmazivanje. Ležaj se u toku montaže puni mašču i na odgovarajući način zaptiva i štiti od prodora nečistoće. Primer takvog podmazivanja je prsteni kuglični jednoređi ležaj sa radijalnim dodirima sa zaptivnim i zaštitnim prstenovima (sl. 4).

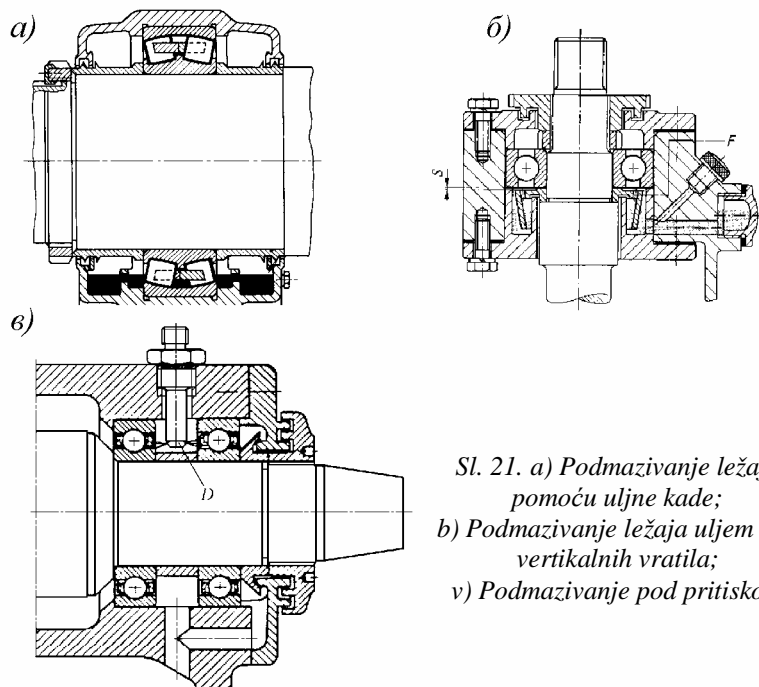
Ako je vek trajanja masti manji od radnog veka ležaja, onda je neophodna česta dopuna i zamena masti što zahteva odgovarajuće konstrukciono izvođenje uležištenja. Na sl. 20,a dat je primer dovođenja masti preko kanala na kućištu, žleba R i većeg broja otvora S na spoljašnjem prstenu ležaja. Na sl. 20,b mast se u ležaj dovodi bočno.

### Podmazivanje uljima

Podmazivanje ležaja uljima primenjuje se kod visokih i srednjih učestanosti obrtanja, za velika opterećenja, kod radnih temperatura gde ne mogu da se koriste masti ili kod zahteva za hlađenjem u toku rada.

U mnogim slučajevima izbor ulja za podmazivanje ležaja uslovljen je ostalim delovima u sklopu, jer se vrlo često pored ležaja istovremeno podmazuju i drugi delovi.

Za podmazivanje kotrljajnih ležaja mahom se primenjuju mineralna ulja. Bitna karakteristika ulja je njihova kinematička viskoznost  $\nu$  u  $mm^2/s$ .



Sl. 21. a) Podmazivanje ležaja pomoću uljne kade;  
 b) Podmazivanje ležaja uljem kod vertikalnih vratila;  
 v) Podmazivanje pod pritiskom

Dovođenje ulja u ležaje može se izvesti na razne načine, a izbor načina podmazivanja zavisi od karakteristike brzohodosti, odnosno učestanosti obrtanja ležaja.

Jedan od prostih i često korišćenih načina podmazivanja ležaja kod horizontalnih vratila je podmazivanje pomoću uljne kade (sl. 21,a). Pri- menjuje se za slučaj da je  $n \cdot d_m < 0,5 \cdot 10^6 \text{ mm/min}$  sa  $n/n_g < 0,4$ . Nivo ulja treba da je najviše do sredine najnižeg kotrljajnog tela. Ulje biva zahvaćeno kotrljaj- nim telima čime dolazi do njegovog rasprskavanja i podmazivanja celog ležaja.

Kod vertikalnih vratila međutim kotrljajna tela ne bi smela biti potopljena u ulju jer bi to dovelo do povećanih otpora kretanju. Zbog toga je nivo ulja niži, a dovođenje ulja na mesto podmazivanja može da se izvede pomoću konusne čaure (sl. 21,b). Konusna čaura okreće se zajedno sa vratilom i ulje se usled centrifugalne sile penje naviže i prolazeći kroz otvore  $F$  dolazi do kotrljajnih tela ležaja. Količina ulja koja se dovodi u ležaj zavisi od veličine zazora  $S$ .

Kod teže opterećenih ležaja razvija se znatna količina toplote koju treba odvesti. Zbog toga ulje pored podmazivanja ima i ulogu hlađenja ležaja. Podmazivanje se ostvaruje prinudnom cirkulacijom ulja, preko odgovarajućeg sistema za podmazivanje. Ovakav način podmazivanja primenjuje se za  $n \cdot d_m \leq 0,8 \cdot 10^6 \text{ mm/min}$ . Da bi bilo obezbeđeno podmazivanje pri puštanju sistema u rad, kao i za slučaj kvara pumpe za cirkulaciju ulja, najniže kotrljajno telo kod horizontalnih vratila takođe mora biti do sredine potopljeno u ulju. Ulje koje se dovodi u ležaj poželjno je filtrirati i eventualno dodatno hladiti, tako da njegova temperatura ne bude veća od  $70^\circ\text{C}$ .

Kod teških radnih uslova i jako velikih opterećenja ( $n \cdot d_m > 0,8 \cdot 10^6 \text{ mm/min}$ ) primenjuje se podmazivanje pod pritiskom. Ulje pod pritiskom se preko odgovarajućih mlaznica direktno dovodi na kotrljajna tela (sl. 21,v).

Kod brzohodih vratila sa  $n \cdot d_m > 1 \cdot 10^6 \text{ mm/min}$  primenjuje se postupak podmazivanja uljnom maglom. Pod pritiskom od  $0,5 \dots 1 \text{ bar}$  iz mlaznica struji direktno u ležaj mešavina sitnih kapljica ulja i vazduha.

### **Podmazivanje čvrstim mazivima**

Ukoliko podmazivanje mastima i uljima nije dozvoljeno ili se ne preporučuje, na primer kod ležaja koji rade na povišenim ili niskim temperaturama, u vakuumu itd., preporučuje se primena takozvanog suvog podmazivanja odnosno podmazivanja čvrstim mazivima. Najpoznatija čvrsta maziva su grafit, molibdensulfid ( $\text{MoS}_2$ ) i politetraetilen. Primenuju se kao suvo čvrsto mazivo, koje se posle razređivanja nanosi kao tanak sloj, ili se koriste kao praškasti materijali. Podmazivanje čvrstim mazivima primenjuje se samo za niže učestanosti obrtanja.

### **Zaptivanje**

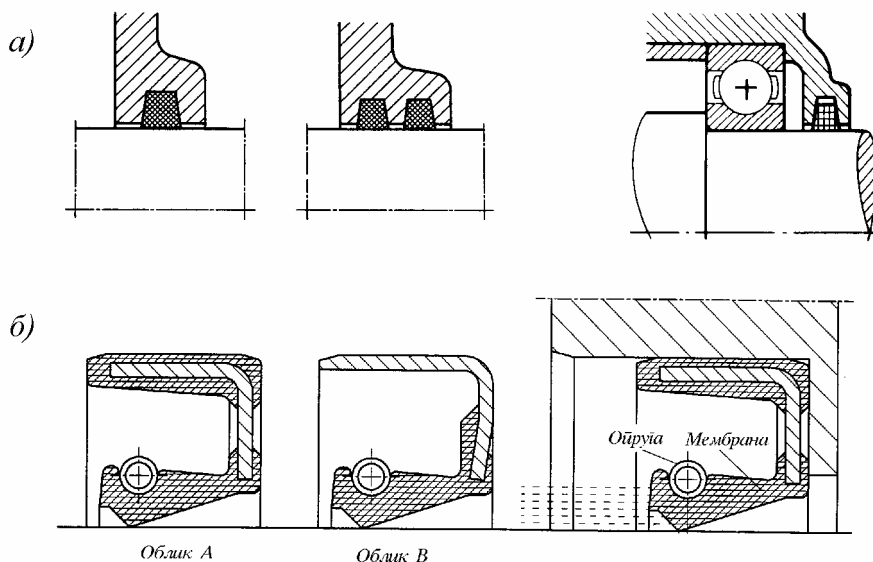
Zadatak zaptivanja je da spreči isticanje maziva iz ležaja i prodor spoljašnje nečistoće u ležaj ili u prostor gde se on nalazi. Izbor načina zaptivanja vrši se prema radnim uslovima (prisustvo nečistoće ili vlage), zahtevanom radnom veku ležaja, vrsti maziva i načinu podmazivanja i učestanosti obrtanja ležaja.

Prema načinu zaptivanja zaptivači se dele u dve osnovne grupe:

- ◆ zaptivači sa dodirnom zaptivnih površina
- ◆ zaptivači bez dodira zaptivnih površina.

### **Zaptivači sa dodirnom zaptivnih površina**

Zbog klizanja između pokretne i nepokretne zaptivne površine dolazi do zagrevanja i habanja dodirnih površina, tako da ovi zaptivači imaju ograničeni radni vek, pa se ne preporučuje njihova primena kod visokih učestanosti obrtanja. U odnosu na zaptivače bez dodira zaptivnih površina, ovi zaptivači imaju veću efikasnost zaptivanja, jer ne postoji nikakav kontakt između spoljašnje sredine i prostora koji zaptivaju. Mogu da se primene i kod podmazivanja mašću i kod podmazivanja uljem.



Sl. 22. Zaptivanje sa dodirom zaptivnih površina: a) pomoću filcanog prstena; b) pomoću manžetnog zaptivača

♦ Najjednostavniji zaptivač sa dodirom zaptivnih površina je **filcani prsten** (sl. 22,a), koji se primenjuje za srednje brzine klizanja do 4 m/s.

♦ Od zaptivača sa dodirom zaptivnih površina najčešće se koriste **manžetni zaptivači**. Mogu da se primene kako kod podmazivanja mašću, tako i kod podmazivanja uljem. Odlikuju se dobrim zaptivanjem, a imaju i zadovoljavajući radni vek.

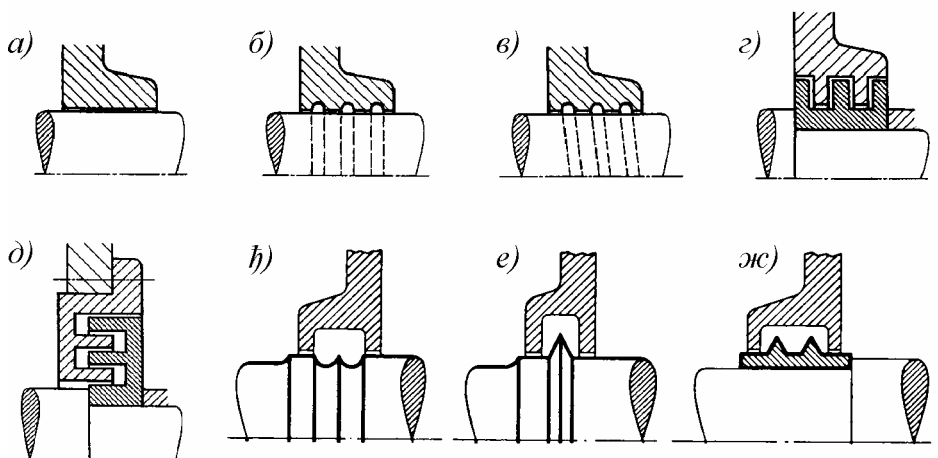
Razvijen je veći broj konstrukcionih izvođenja manžetnih zaptivača, ali su najčešće u primeni zaptivači oblika A i oblika V, koji su standardizovani prema DIN 3760 (sl. 22,b).

Manžetni zaptivači efikasno mogu da se primene za radne temperature do 150 °C i brzine klizanja do 20 m/s. Ovo je omogućeno razvojem veoma kvalitetnih materijala od kojih se izrađuju.

### Zaptivači bez dodira zaptivnih površina

Pošto ne postoji dodir pokretne i nepokretne zaptivne površine, to nema ni habanja pa ovakav način zaptivanja ima neograničeni radni vek. Ali u ovom slučaju između spoljašnje sredine i ležaja postoji zazor što umanjuje efikasnost zaptivanja. Ovakav način zaptivanja najčešće se primenjuje kod podmazivanja mašću, a ređe kod podmazivanja uljem.





Sl. 23. Zaptivanje bez dodira zaptivnih površina: a) malim zazorom; b) cilindričnim žlebovima; v) zavojnim žlebovima; g) aksijalno labirintsko zaptivanje; d) radijalno labirintsko zaptivanje; đ, e), ž) centrifugalno zaptivanje

♦ Najjednostavniji način zaptivanja bez dodira zaptivnih površina prikazan je na sl. 23,a. Širina poklopca ležaja je nešto veća, čime se povećava i dužina zazora, i u ovaj prostor stavlja se mast. Ovaj način zaptivanja primenjuje se za niže učestanosti obrtanja, gde nema zagrevanja ni mogućnosti da mast iscuri.

Radi povećanja efikasnosti zaptivanja na poklopcu odnosno kućištu izrađuju se dodatni žlebovi koji se pune mašću. Žlebovi mogu biti cilindrični (sl. 23,b) ili zavojni (sl. 23,v). Kod zaptivanja zavojnim žlebom smer zavojnice treba biti tako izabran da se pri obrtanju vratila mazivo vraća nazad u kućište. Zavojni žleb može biti izrađen i na vratilu, ali se ova varijanta ne preporučuje.

♦ Najčešće korišćeni zaptivači bez dodira zaptivnih površina su **labirintski zaptivači** (sl. 23,g,d). Zazor između pokretne i nepokretne zaptivne površine je u obliku izlomljene linije labirinta. Princip zaptivanja sastoji se u prolazu maziva naizmenično kroz manji i veći zazor, čime se smanjuje njegova kinetička energija i sprečava isticanje.

U primeni su dva tipa labirintskih zaptivača: **aksijalni** koji se primenjuje kod jednodelnih kućišta (sl. 23,g) i **radijalni** za dvodelna kućišta (sl. 23,d). Ovakav način zaptivanja koristi se kod podmazivanja mašću i efikasno štiti ležaj od prodora spoljne nečistoće. Primenuje se i u kombinaciji sa drugim tipovima zaptivača.

Pri montaži labirintski zazor pune se mašću. Efikasno zaptivanje obezbeđeno je ukoliko su delovi koji obrazuju labirint centrično postavljeni, odnosno ukoliko nema velike promene zazora u toku okretanja vratila.

♦ **Centrifugalni zaptivači** (sl. 23,đ,e,ž) takođe spadaju u zaptivače bez dodira zaptivnih površina. Primenuju se kod podmazivanja uljem ležaja visoke učestanosti obrtanja, odnosno za obimne brzine preko 7 m/s. Na samom vratilu može biti izrađen ili posebno pričvršćen greben trouglastog preseka. Kad ulje dođe do ovog grebena, usled centrifugalne sile biva odbačeno od vratila, a zatim se preko

posebnih kanala vraća u kućište. U cilju povećanja efikasnosti zaptivanja postoje i konstrukciona izvođenja sa dva grebena.

Prsteni kuglični jednoredi ležaji sa radijalnim dodirom reda mera 60, 62, 63, 64 proizvode se i u varijanti sa već ugrađenim zaštitnim i zaptivnim prstenovima (sl. 4). Ovaj način zaptivanja primenjuje se kod podmazivanja mašću ležaja koji su ugrađeni na teško pristupačnim mestima ili kada nisu posebnim kućištem zaštićeni od vlage i nečistiće.

## Ugradnja ležaja

Preduslov uspešnog funkcionisanja ležaja je njegova ispravna ugradnja u sklopu. Obzirom na funkciju ležaja neophodno je obezbediti uslove za prenošenje radijalnih i aksijalnih sila sa vratila na oslonce i obrnuto.

Za ispravno prenošenje radijalnih sila sa vratila na prstenove ležaja i sa prstenova na oslonce neophodno je radijalno učvršćivanje ležaja. To se postiže izborom odgovarajućeg naleganja između vratila i unutrašnjeg prstena i između spoljašnjeg prstena ležaja i kućišta.

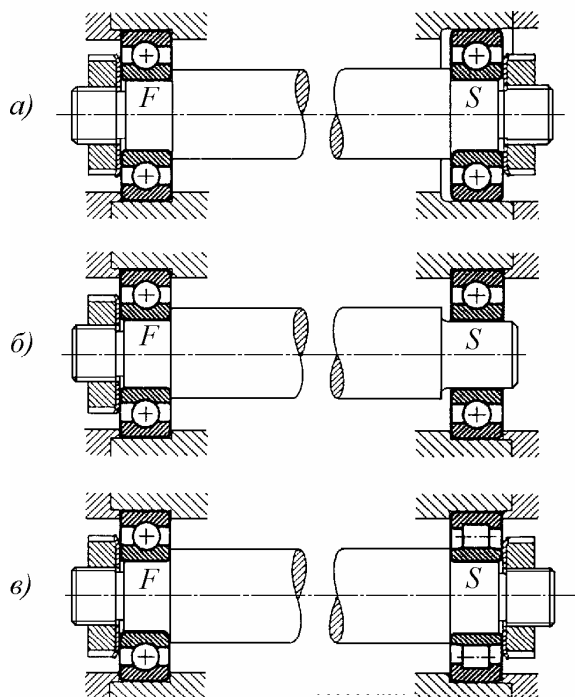
Za prenošenje aksijalnih sila neophodno je aksijalno učvršćivanje vratila u osloncima. U tom smislu moguća su tri različita konstrukciona izvođenja:

- uležištenje sa fiksiranim i aksijalno slobodnim osloncem (F-S uležištenje);
- uležištenje sa oba fiksirana oslonca (F-F uležištenje);
- uležištenje sa slobodnim osloncima (plivajuće) S-S uležištenje.

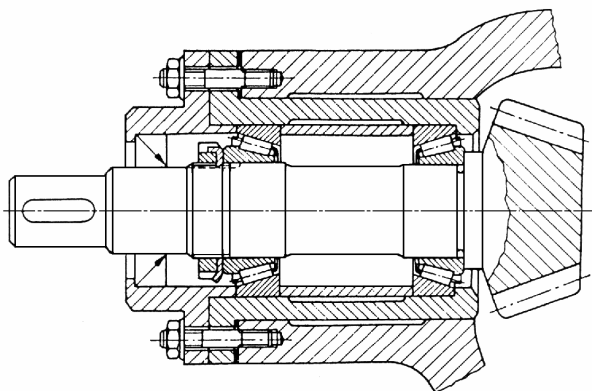
◆ **F-S uležištenje** (sl. 24) vratila sa fiksiranim (F) i slobodnim (S) osloncem najčešće se primenjuje u praksi. Ovakvo uležištenje može da primi kombinovano - radijalno aksijalno opterećenje i da obezbedi aksijalno vođenje vratila odnosno osovina. Slobodni ležaj prima samo radijalne sile i omogućuje nesmetano aksijalno pomeranje u cilju kompenzacije netačnosti pri izradi, nesmetane montaže i kompenzacije termičkih dilatacija. Fiksirani ležaj porad radijalnih prenosi i aksijalna opterećenja u oba smera. Kod vratila sa više oslonaca samo jedan oslonac je fiksiran, dok su svi ostali oslonci aksijalno slobodni.

Prednosti F-S uležištenja:

- nema aksijalnih predopterećenja ležaja;
- odstojanja između oslonaca mogu biti izrađena sa velikim tolerancijama;
- jednostavna montaža bez podešavanja aksijalnog zazora;
- dobro aksijalno vođenje.



Sl. 24. Uležištenje vratila sa fiksnim (F) i slobodnim (S) osloncem: a) aksijalno pomeranje slobodnog oslonca - između spoljašnjeg prstena ležaja i kućišta; b) aksijalno pomeranje slobodnog oslonca - na rukavcu vratila; v) aksijalno pomeranje slobodnog oslonca omogućuje prsteni cilindrično valjčani ležaj



Sl. 25. Aksijalno učvršćivanje vratila u oba oslonca

◆ **F-F uležištenje** (sl. 25) primenjuje se kod ugradnje prstenih kugličnih jednoređih ležaja sa kosim dodirima i prstenih konusno valjčanih ležaja. Ležaji se ugrađuju simetrično kao slika u ogledalu, i u toku montaže mora se strogo voditi računa o aksijalnom zazoru odnosno mogućem aksijalnom predopterećenju ležaja. Pri tome se kod "O" rasporeda unutrašnji prsten, a kod "X" rasporeda spoljašnji prsten pomeraju sve do postizanja željenog naleganja.

Kod ovakvog uležištenja jedan ležaj aksijalno učvršćuje vratilo u jednom smeru, a drugi ležaj u drugom smeru.

Prednosti F-F uležištenja:

- moguće je postići željeni aksijalni zazor ili predopterećenje;
- dobro aksijalno i radijalno vođenje vratila;
- primena za velike radijalne i aksijalne sile.

Nedostaci F-F uležištenja:

- neophodno precizno podešavanje u toku montaže;
- nemoguća primena kod većeg rastojanja između oslonaca (zbog termičkih dilatacija);
- željeni aksijalni zazor odnosno predopterećenje moguće je utvrditi tek u radu jer zavise od temperature.

♦ **S-S uležištenje** (sl. 26) naziva se i plivajuće uležištenje jer se ovde pri montaži ostavlja veliki zazor (0,5...1 mm). Primenuje se kod vratila gde nema aksijalnih sila ili pak aksijalne sile deluju samo u jednom smeru. Ovakvo uležištenje može da kompenzira velika aksijalna izduženja vratila. Kod ovakvog uležištenja najčešće se koriste prsteni cilindrično valjčani ležaji tipa W. U slučaju da se koriste prsteni kuglični jednoređi ležaji sa radijalnim dodiranjem (sl. 26) ili prsteni dvoređi kuglični podesivi ležaji, moraju kod tih ležaja ili spoljašnji ili unutrašnji prsten da budu fiksirani (odnosno aksijalno slobodni).

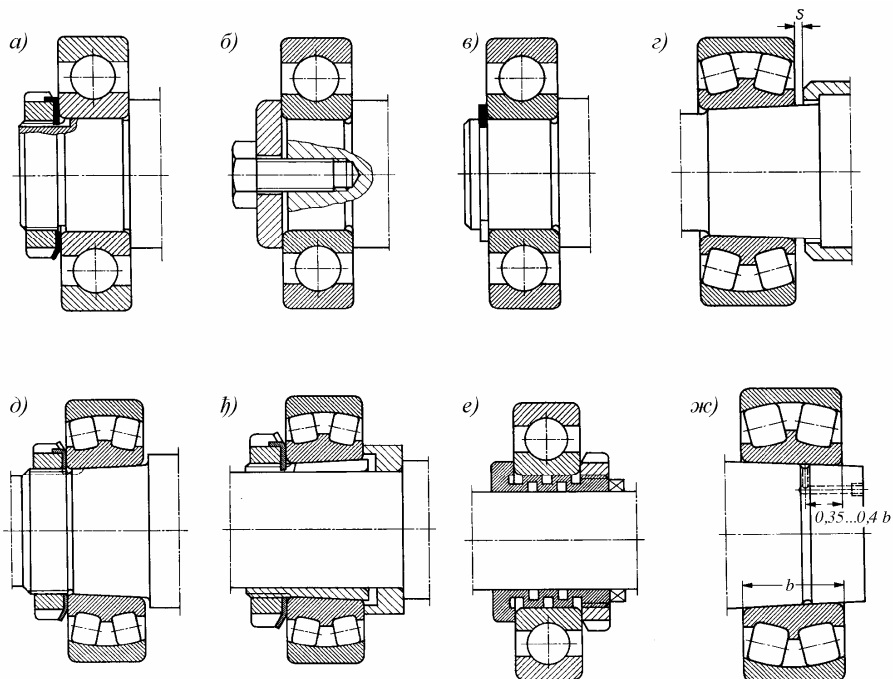
Prednost plivajućeg uležištenja je jednostavno konstrukciono izvođenje, jednostavna montaža odnosno niža cena. Nedostaci su međutim brojniji:

- aksijalne sile smeju da deluju samo u jednom smeru;
- aksijalno vođenje nije obezbeđeno;
- dinamičke aksijalne sile nisu dozvoljene jer dovode do aksijalnog oscilovanja vratila.

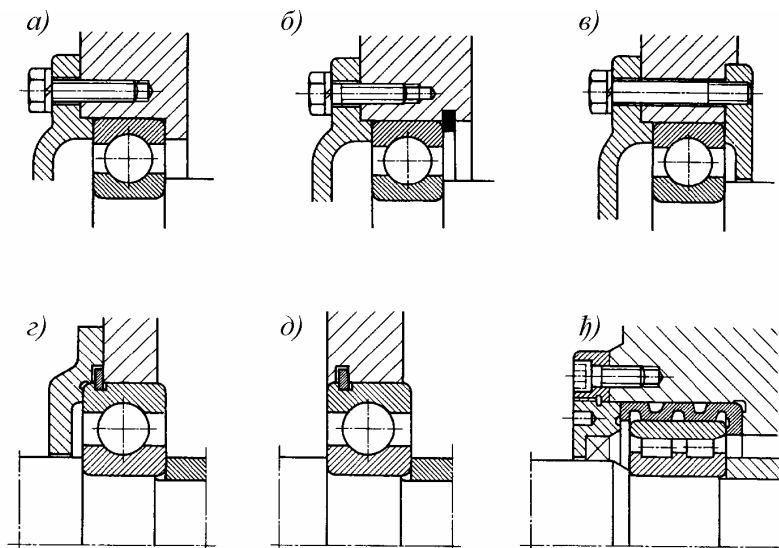
Aksijalno učvršćivanje vratila u osloncima izvodi se učvršćivanjem prstena ležaja na vratilo odnosno u kućištu. Prenosjenje aksijalnih sila sa prstena na vratilo najjednostavnije se izvodi preko naslona vratila. Mere naslona i veličine radijusa propisani su standardom ili se mogu naći u katalozima proizvođača ležaja. Konstrukciono izvođenje učvršćivanja ležaja na vratilo prikazano je na sl. 27, a u kućištu na sl. 28.

Konstrukciono izvođenje oslonaca, bilo da se radi o fiksiranom ili aksijalno slobodnom osloncu, dobija se kombinacijom napred navedenih načina pričvršćivanja spoljašnjeg i unutrašnjeg prstena ležaja. Naravno pri tome treba uzeti u obzir karakteristike tipa kotrljajnog ležaja kao i radne uslove.

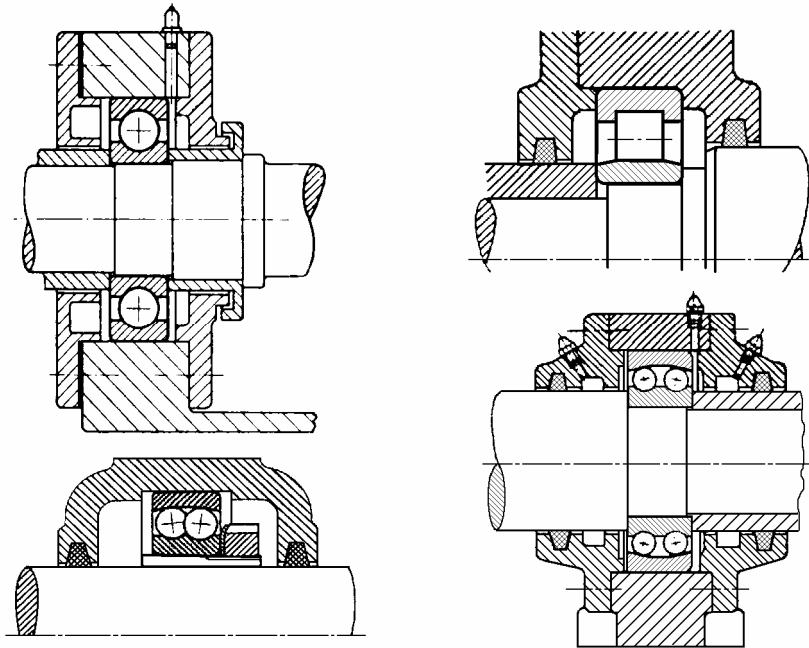
Primeri konstrukcionog izvođenja aksijalno slobodnog oslonca na sl. 29.



Sl. 27. Aksijalno učvršćivanje ležaja za vratilo: a) pomoću prstenaste navrtke sa osiguračem; b) prirubnom pločicom; v) elastičnim uskočnikom; g) konusnim steznim spojem; d) konusnim steznim spojem i prstenastom navrtkom; đ) konusnom čaurom-sedlom; e) elastičnom pritisnom čaurom; ž) presovanim spojem ostvarenim uljem pod pritiskom.



Sl. 28. Aksijalno učvršćivanje ležaja za kućište: a) pomoću naslona i poklopca; b) pomoću uskočnika i poklopca; v) pomoću dva poklopca; g) pomoću poklopca i uskočnika postavljenih sa iste strane; d) samo pomoću uskočnika kod dvodelnih kućišta; đ) pomoću elastičnih pritisnih čaura



*Sl. 29 Konstrukciona izvođenja aksijalno slobodnog oslonca: a) sa prstenim kugličnim jednoredim ležajem sa radijalnim dodirom; b) sa prstenim cilindrično valjčanim ležajem; v) sa prstenim kugličnim dvoredim podesivim ležajem na glatkom vratilu; g) sa prstenim kugličnim dvoredim podesivim ležajem na prelazu vratila.*