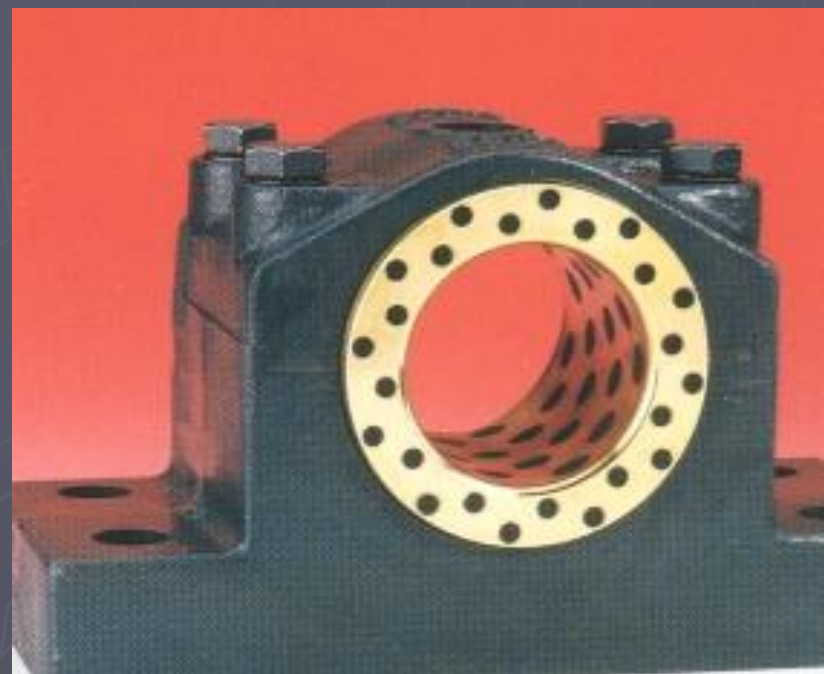
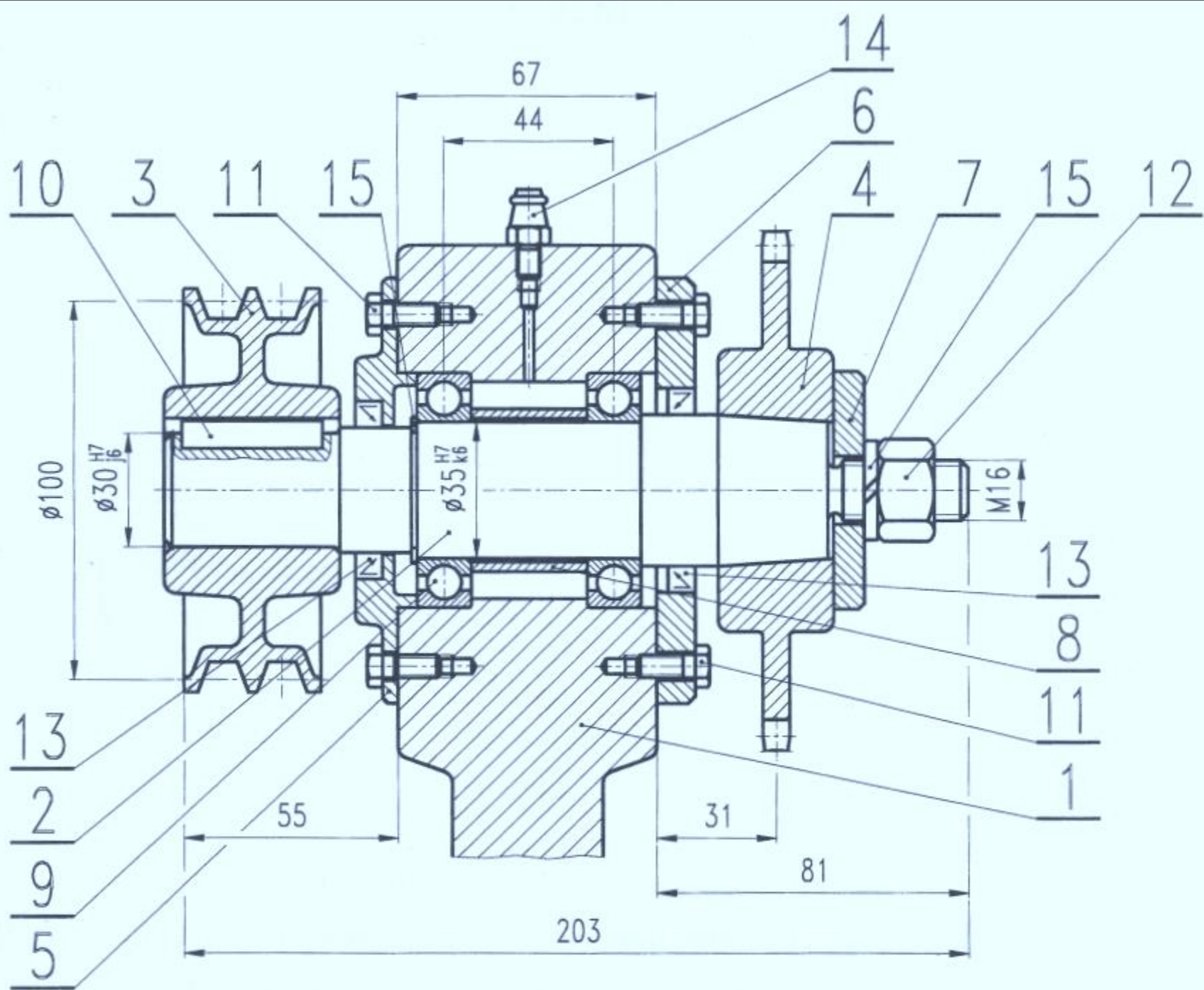
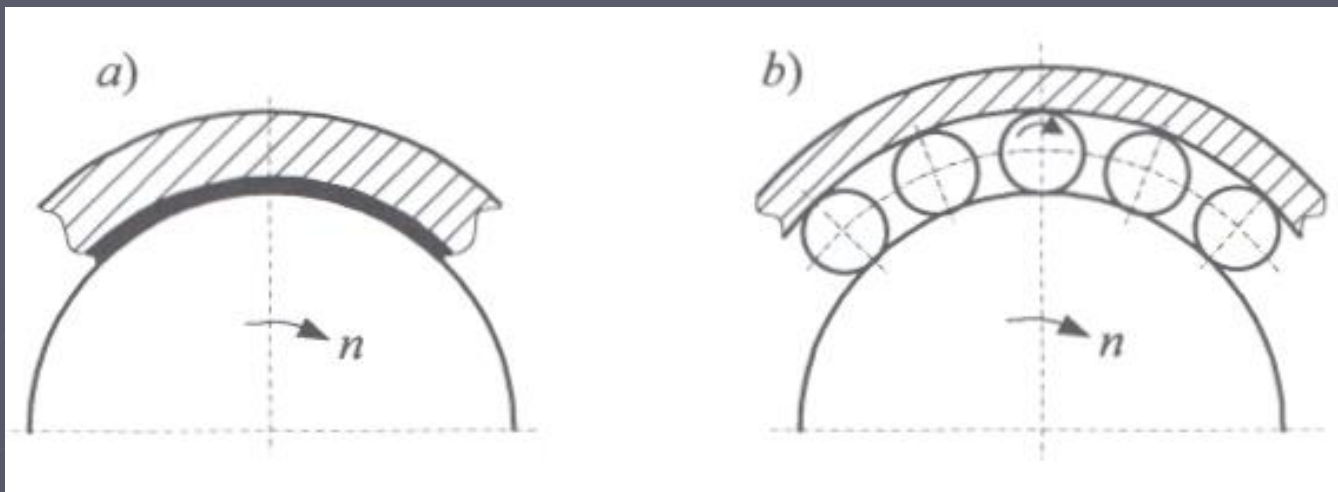


Ležaji

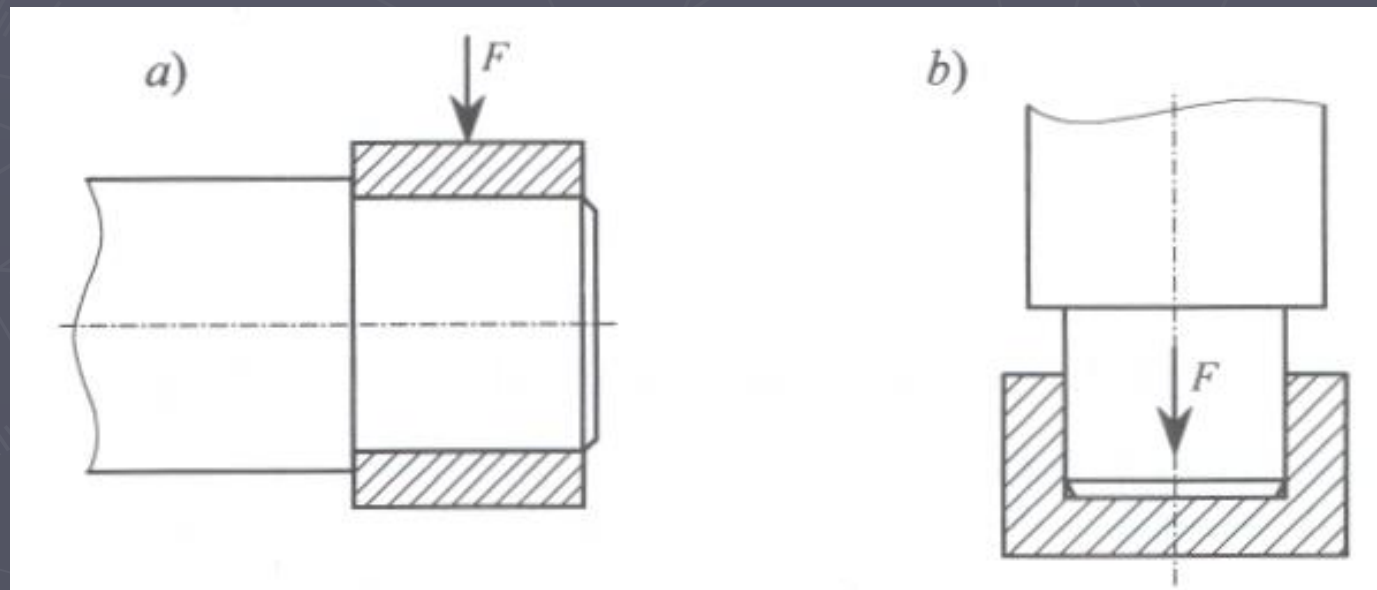




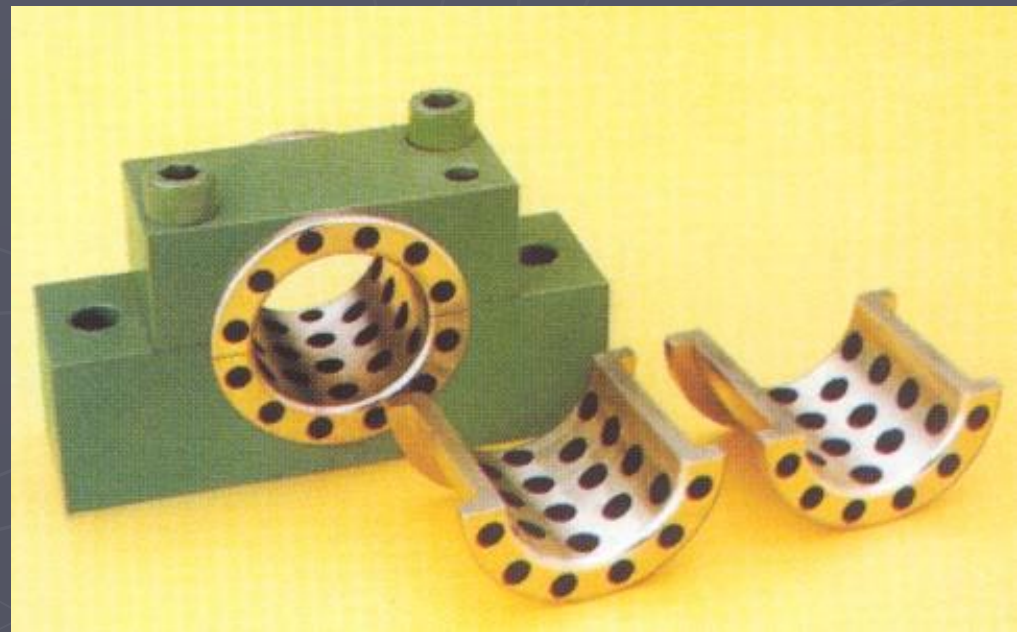
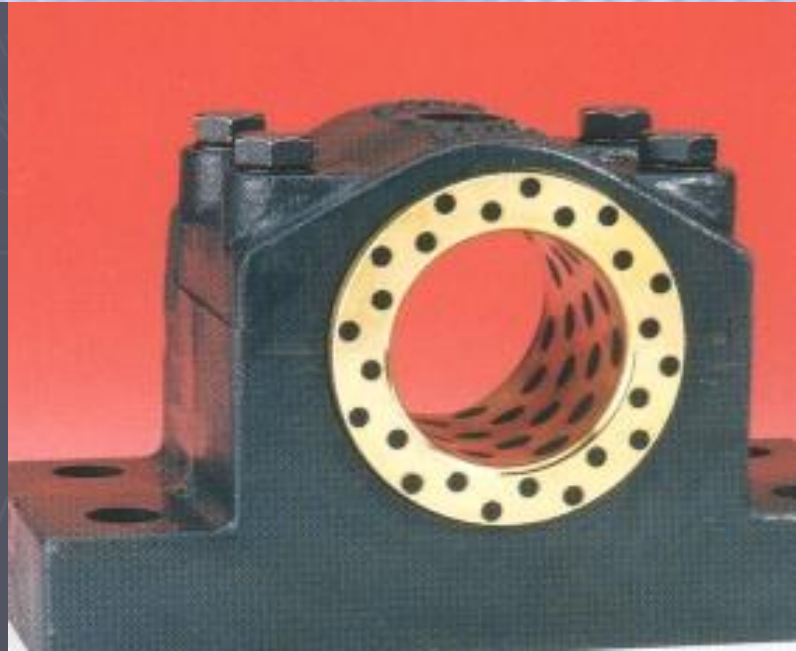
Drсно in kotalno trenje v ležajih



Radialni in aksialni ležaji



1. Drsni ležaji

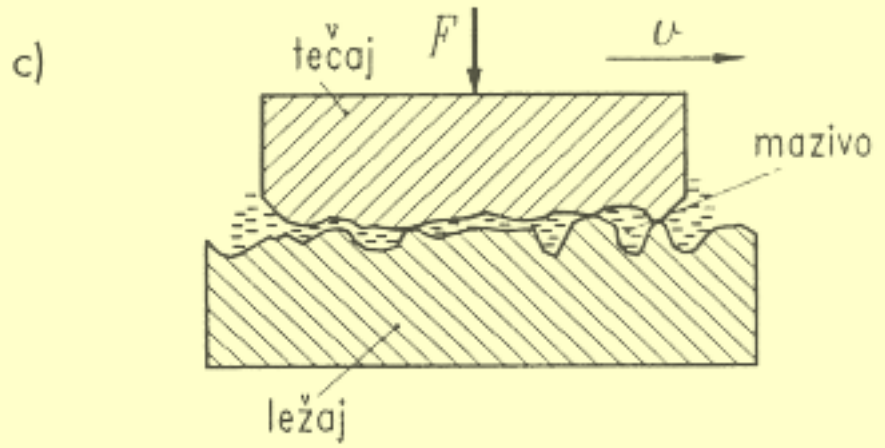
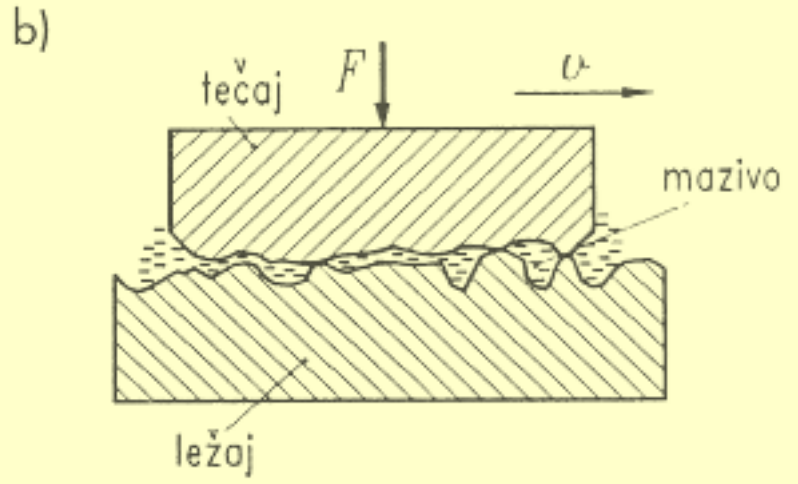
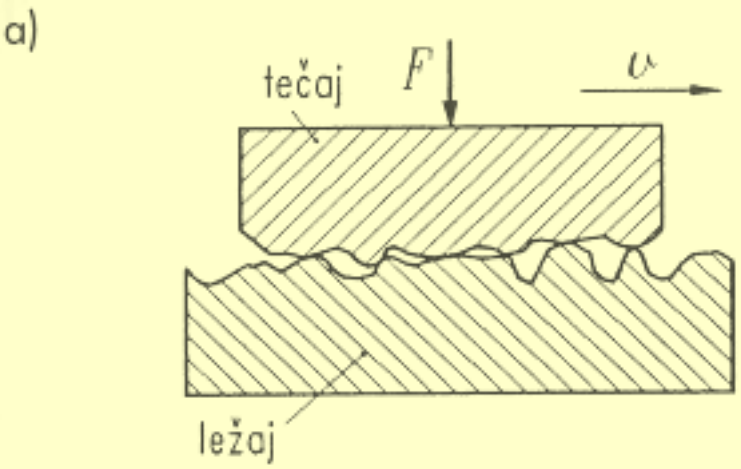


Prednosti drsnih ležajev:

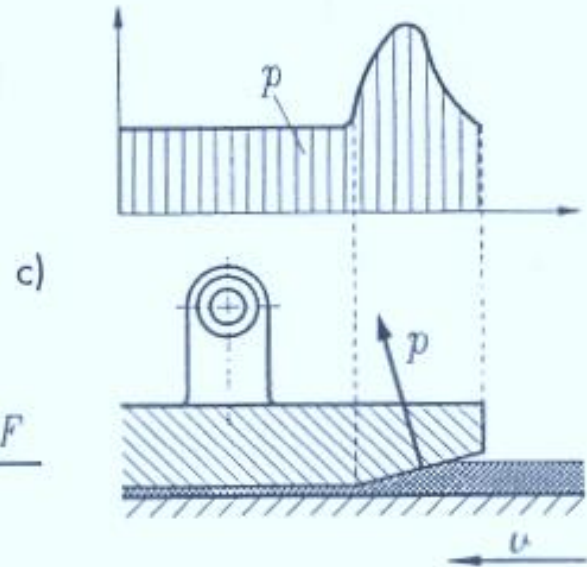
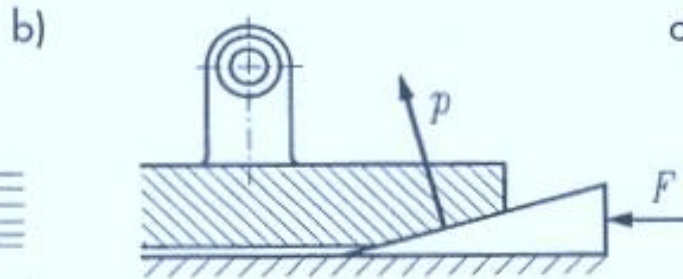
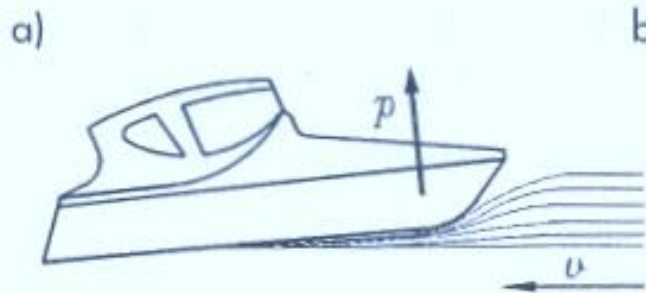
- dovoljujejo visoke vrtilne hitrosti,
- tečejo mirno in tiho,
- pri dobrem mazanju imajo majhen koeficient trenja in s tem praktično neomejeno življenjsko dobo,
- enostavna izdelava,
- primerni za prenašanje sunkovitih obremenitev,
- niso občutljivi na prah,
- so cenejši od kotalnih ležajev,
- v radialni smeri zavzemajo malo prostora,
- lahko so izdelani v deljeni izvedbi.

Slabosti drsnih ležajev:

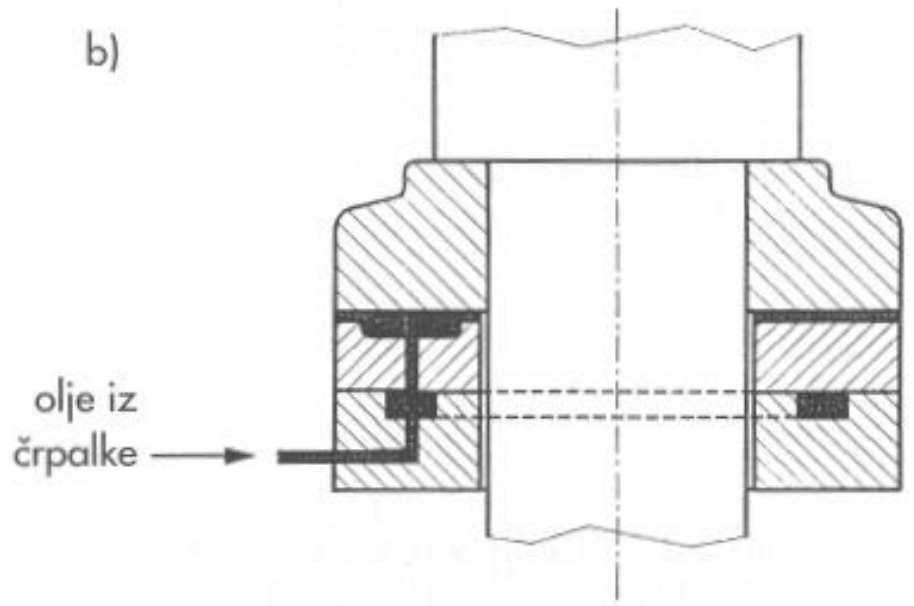
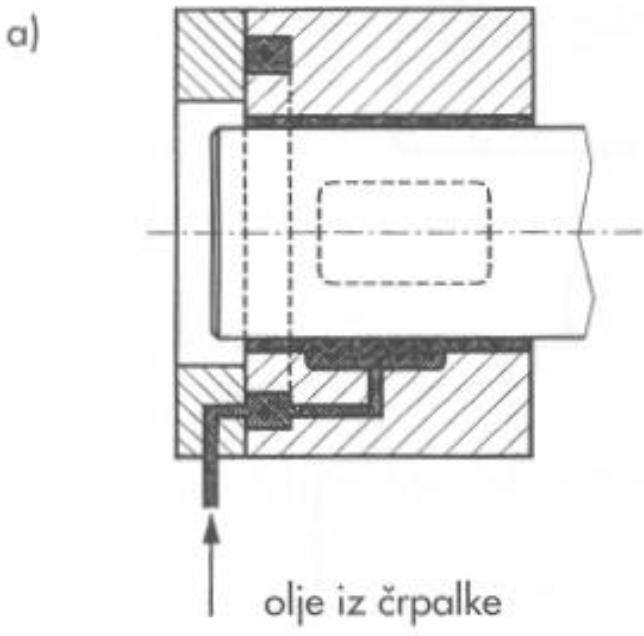
- nenatančno vodenje oziroma pozicioniranje vrtečih strojnih delov,
- koeficient trenja med drsnimi površinami je odvisen od relativne hitrosti površin,
- na kakovost ležaja odločilno vplivajo gradivo in toplotna obdelava tečajev osi ali gredi ter izvedba mazanja.



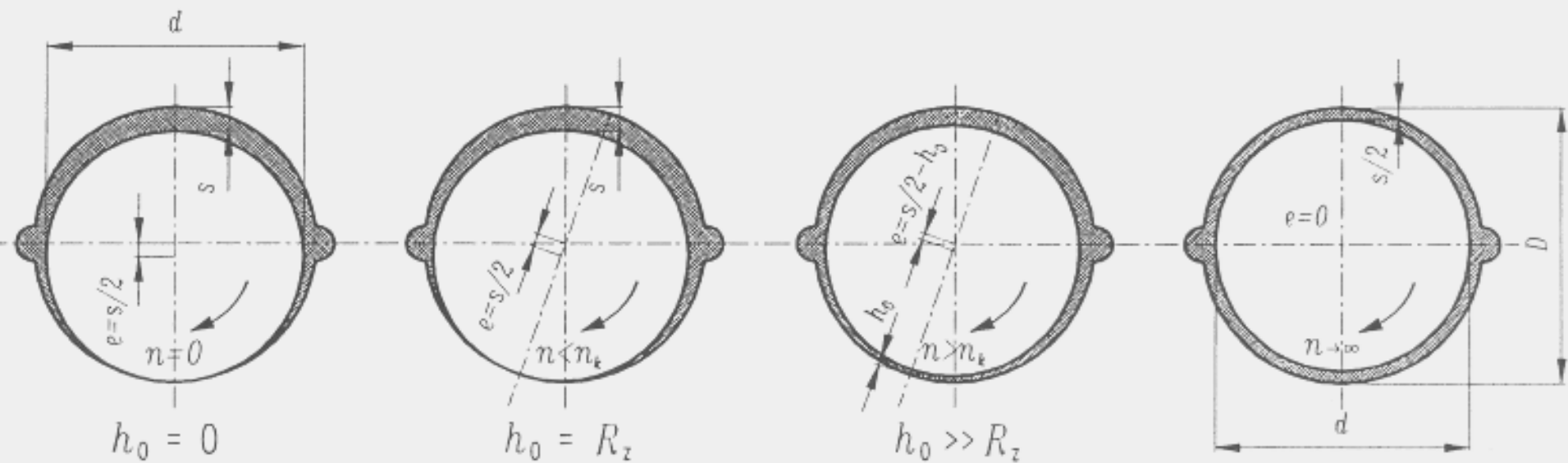
Trenje v drsnih ležajih



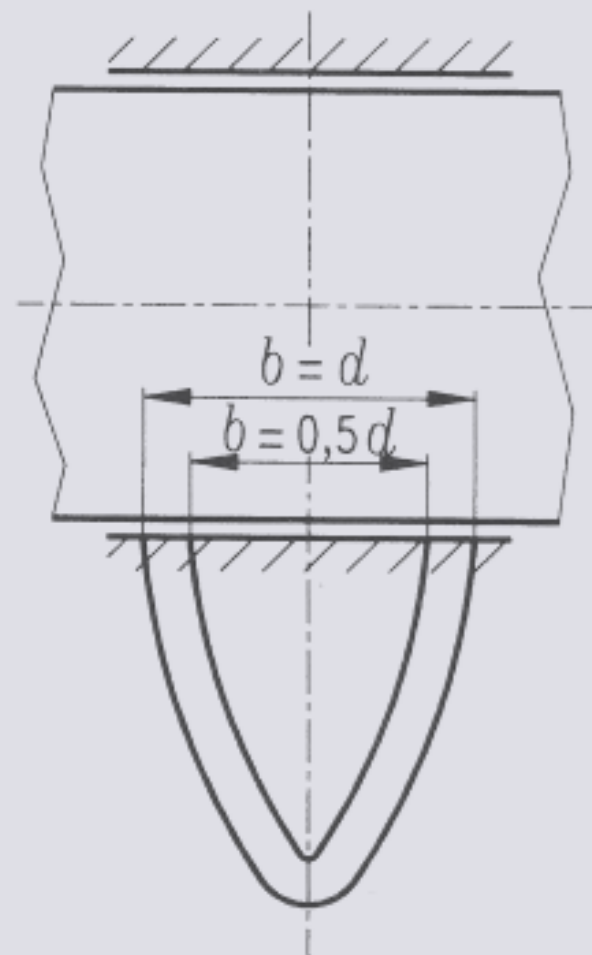
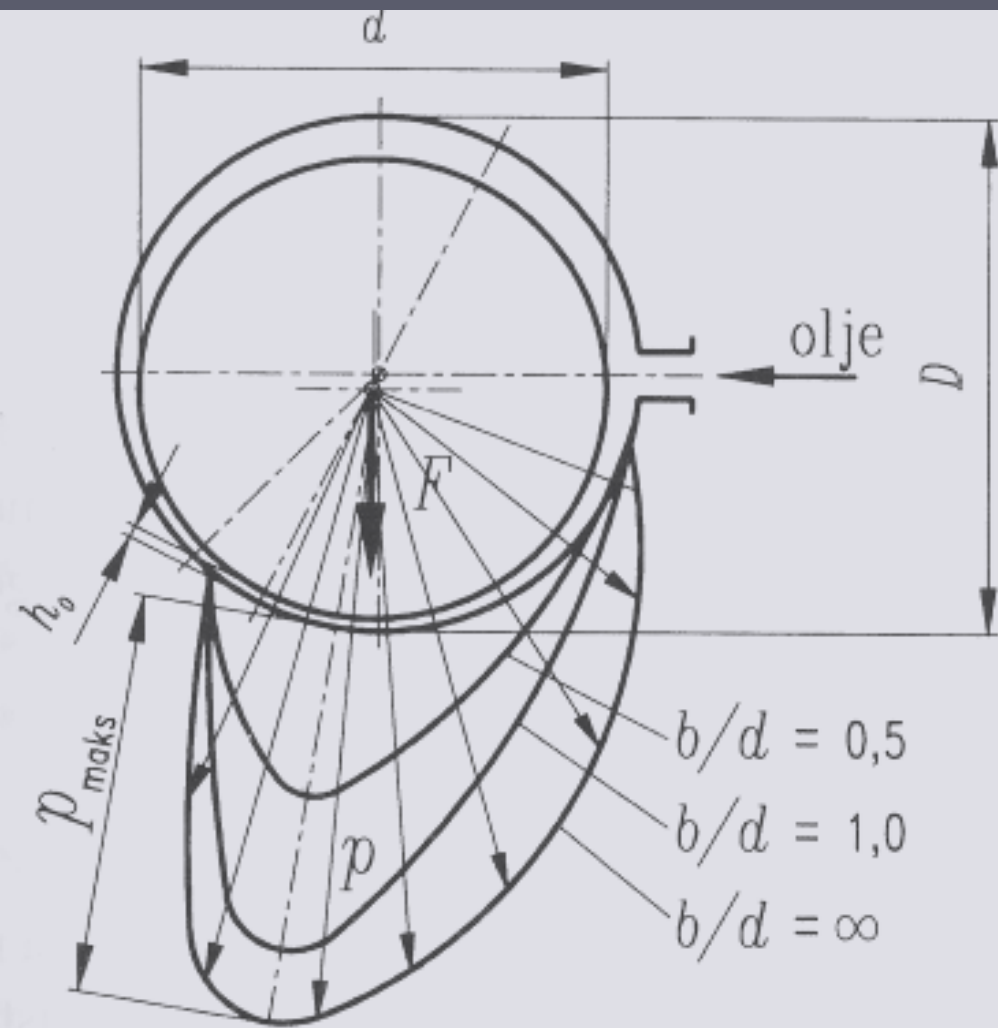
Pojav in učinek hidro dinamičnega mazanja v drsnih ležajih



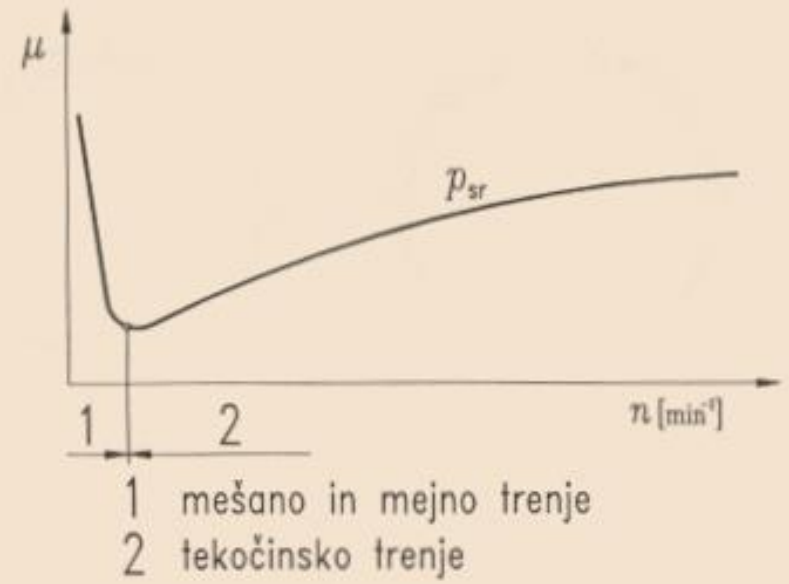
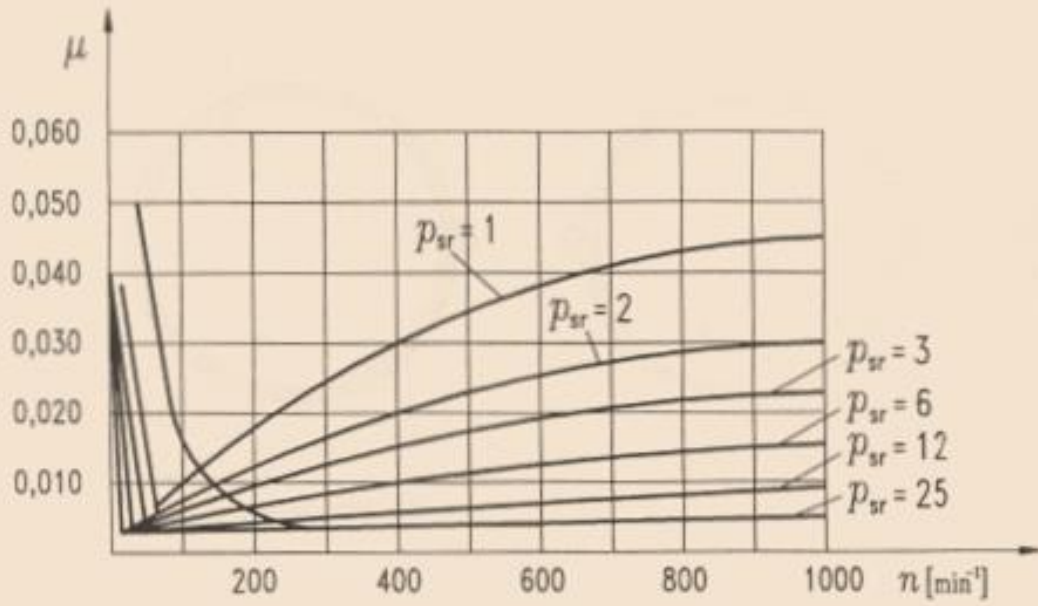
Hidrostatsični radialni in aksialni drsni ležaj



Lega tečaja in ležajne puše pri radialnem drsnem ležaju in pojav tekočinskega trenja



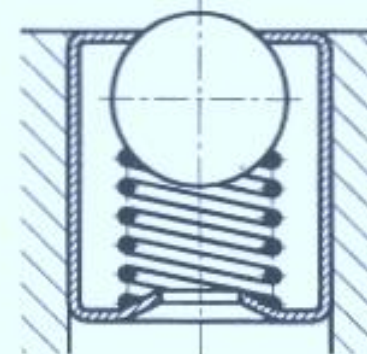
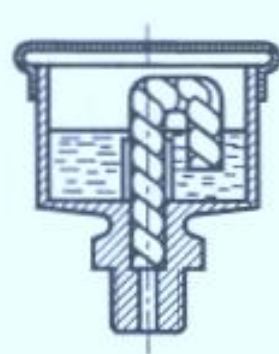
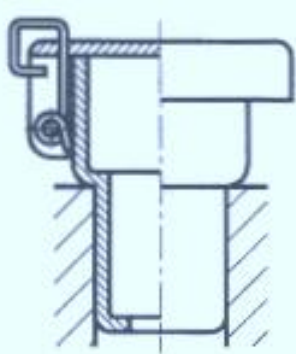
Porazdelitev tlaka v mazivu p pri radialnem drsnem ležaju po obodu in širini ležaja



Torni količnik v odvisnosti od vrtilne frekvence n in tlaka

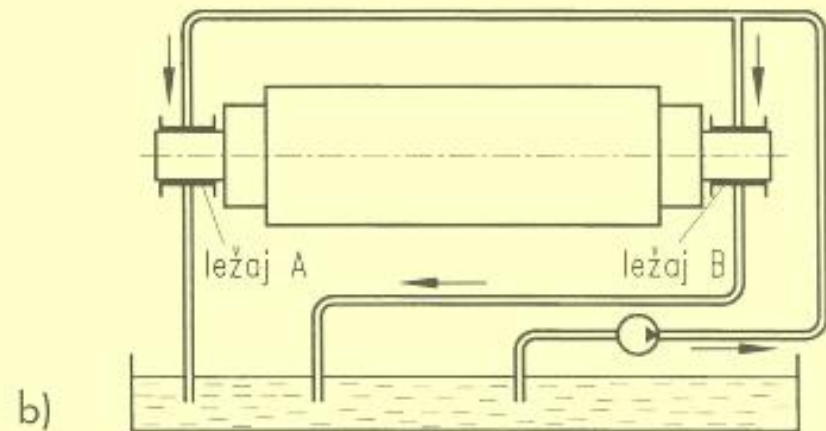
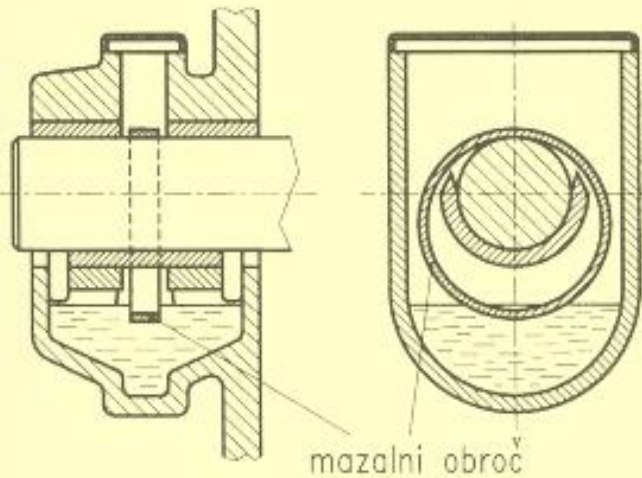
$$\mu = c_1 \sqrt{\frac{\eta \cdot \omega}{p_{sr}}}$$

- c_1 konstanta,
- η [Pas] dinamična viskoznost maziva,
- ω [s⁻¹] kotna hitrost,
- p_{sr} [MPa] srednji tlak v mazivu.



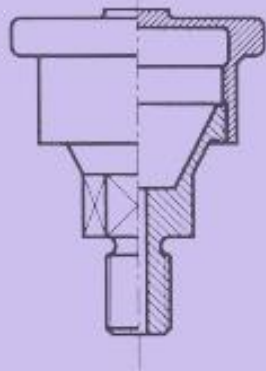
Mazalke za ročno mazanje z oljem

a) mazalka s pokrovom in vzmetjo, b) mazalka s stenjem, c) mazalka s kroglico in vzmetjo, d) mazalka z iglo

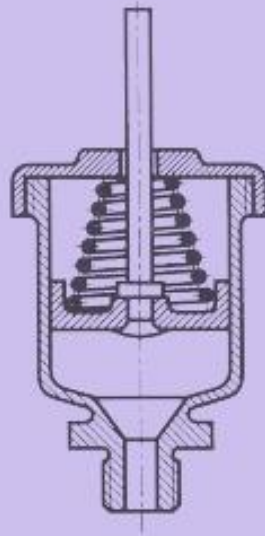


Potapljalno in obtočno mazanje drsnih ležajev

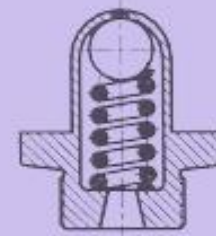
a) potapljalno mazanje z mazalnim obročem, b) obtočno (tlačno) mazanje



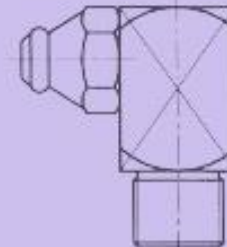
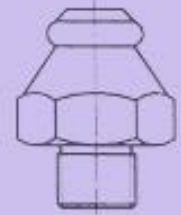
a)



b)

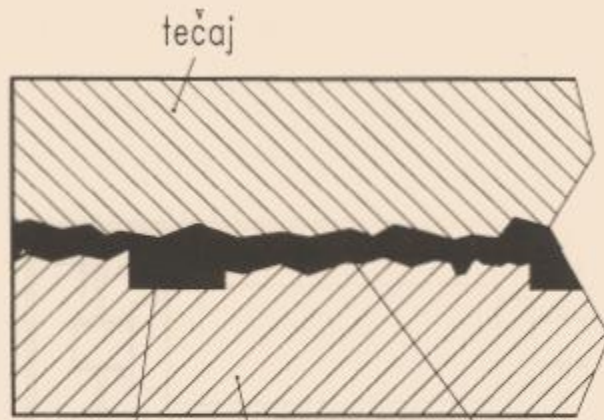


c)



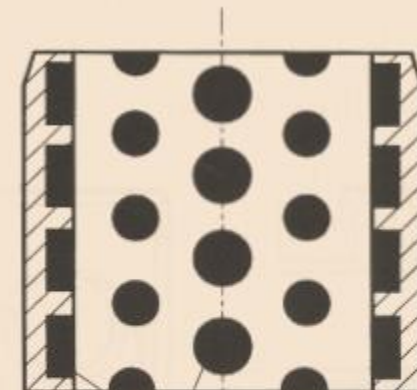
Mazalke za mazanje z mastjo

a) navojna (Staufferjeva), b) vzmetna mazalka, c) visokotlačne mazalke



tečaj
mazalni ležajna
utor puša na drsni površini
porazdeljeno mazivo

a)



vtisnjeno mazivo

b)

Mazanje drsnih ležajev s trdnimi mazivi

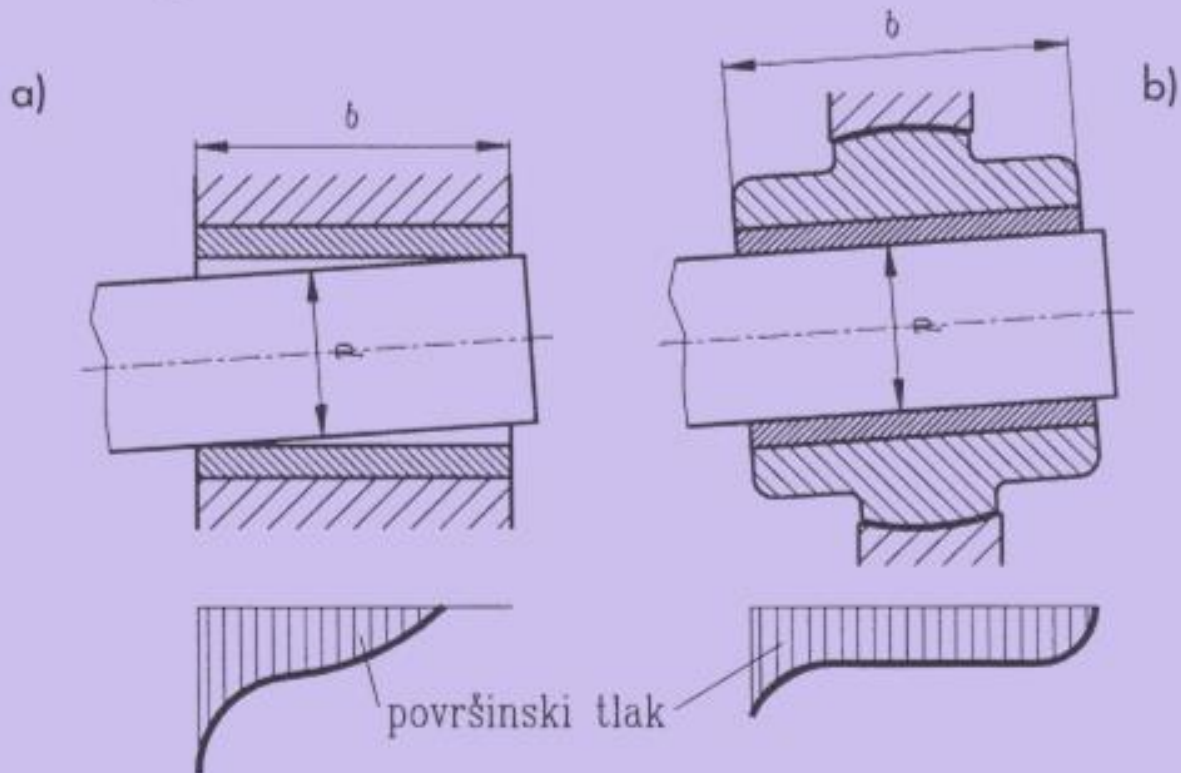
a) princip mazanja drsnih površin, b) ležajna puša z vtisnjnim mazivom

Mehanske lastnosti ležajnih gradiv

Gradivo in oznaka po SIST ali JUS		Lastnosti, namen in uporaba	Trdota HB	Modul elastičnosti $E \cdot 10^5$ [MPa]	p_{maks} [MPa]
Siva litina	EN-JL1010	Odporna je proti obrabi. Uporabna je za majhne obremenitve in hitrosti. Je zelo občutljiva za robne tlake.	115	1,00	5
	EN-JL1020		150		
	EN-JL1030		190		
	EN-JL1040		210		
	EN-JL1050		230		
	EN-JL1060		255		
Kositrovi bronji za litje	P. Cu Sn 14	So trdi in žilavi ter imajo ugoden torni količnik. Odporni so proti morski vodi in koroziji.	80	1,15	60
	P. Cu Sn 12		90		40
	N. Cu Sn 12		100		80
	P. Cu Sn 10		70		40
	C. Cu Sn 10		95		80
Rdeče litine za litje	P. Cu Sn 10 Zn 2	So trde in imajo ugoden torni količnik. Odporne so proti obrabi in morski vodi ter koroziji.	75	0,85	80
	C. Cu Sn 10 Zn 2		85		
	N. Cu Sn 10 Zn 2		80		
	C. Cu Sn 7 Pb 6 Zn 4		-		
	P. Cu Sn 7 Pb 6 Zn 4		60		
Svinčev bron za litje P. Cu Pb 25		Uporaben je predvsem za ležaje motorjev z notranjim zgorevanjem.	50	1,00	100
Svinčevi-kositrovi bronji za litje	P. Cu Pb 9 Sn 5	So zelo žilavi in imajo ugoden torni količnik. Zelo odporni so proti obrabi in koroziji, dobro prenašajo robne tlake.	-	1,00	85
	C. Cu Pb 9 Sn 5		-		
	P. Cu Pb 10 Sn 10		65		
	C. Cu Pb 10 Sn 10		70		
	N. Cu Pb 10 Sn 10		70		
	P. Cu Pb 15 Sn 8		60		
	C. Cu Pb 15 Sn 8		65		
	P. Cu Pb 20 Sn 5		50		
Al-broni za litje	P. Cu Al 9	Zaradi odpornosti proti koroziji so uporabni v prehrabeni industriji in ladjedelstvu. So zelo trdni in trdi.	80	1,00	250
	P. Cu Al 10 Fe 3		115		
	P. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5		140		
	C. Cu Al 10 Fe 5 Ni 5		160		
Silicijev bron za gnetenje Cu Si 3 Mn 1		Ima enake lastnosti kot kositrovi bronji.	80	1,00	70
Bele kovine	L. Sn 89	Imajo zelo ugoden torni količnik. Uporabne so za velike in sunkovite obremenitve.	24 do 12	0,31 do 0,63	30
	L. Sn 80		27 do 10		
	L. Sn 80 Pb		27 do 10		
	L. Pb Sn 9 Cd		28 do 15		
	L. Pb Sn 6 Cd		26 do 15		
	L. Pb Sn 10		23 do 9		
	L. Pb Sn 5		22 do 6		

Gradivo in oznaka po SIST ali JUS	Lastnosti, namen in uporaba	Trdota HB	Modul elastičnosti $E \cdot 10^5$ [MPa]	ρ_{maks} [MPa]
aluminijeve zlitine za gnetenje	Imajo dobre mehanske lastnosti, niso občutljive za udarce, dobro prenašajo pomanjkljivo mazanje in se malo obrabljajo.	60	0,70	40
Al Si 10 Mg		do		
Al Si 5 Mg		180		
cinkove zlitine	So občutljive za povišanje temperature, uporabne so le za ležaje rudniških vozil in ventilatorjev.	80 do 130	0,11 do 0,52	3,5
umetne mase	Imajo ugoden torni količnik, so odporne proti obrabi, ležaje lahko mažemo z vodo, občutljive so za povišanje temperature.	-	-	0,30 do 1,00
sintrane kovine	Ne prenašajo velikih hitrosti in dobro mažejo. Uporabne so za ležaje, ki so težko dostopni. Lahko obratujejo brez mazanja.	20 do 60	-	2
kadmijeve zlitine	So občutljive za korozijo in kemijske vplive. Dobro prenašajo pomanjkljivo mazanje in so uporabne za zelo majhne obremenitve.	30	0,65	4,5
grafit in oglje	Ležaji niso občutljivi za pomanjkljivo mazanje in so odporni proti kemijskim vplivom. Največkrat so uporabljeni pri ventilatorjih in puhalih.	5 do 25	0,07 do 0,18	0,2

$$\varphi = \frac{b}{d} \cong 0,4 \text{ do } 1$$



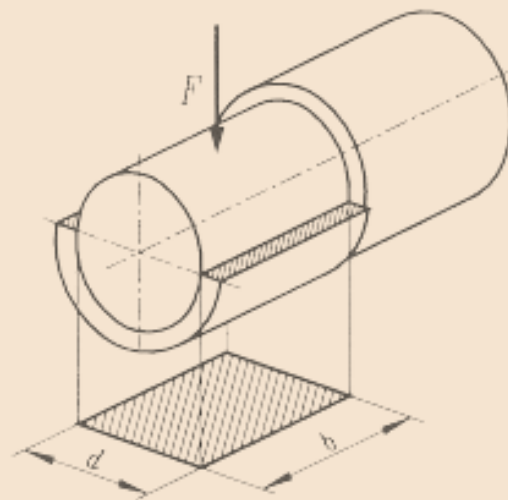
Nagib tečaja v ležaju in porazdelitev površinskega tlaka v odvisnosti od načina vgradnje ležaja

a) togo vgrajen ležaj, b) premično vgrajen ležaj s krogelno podlago

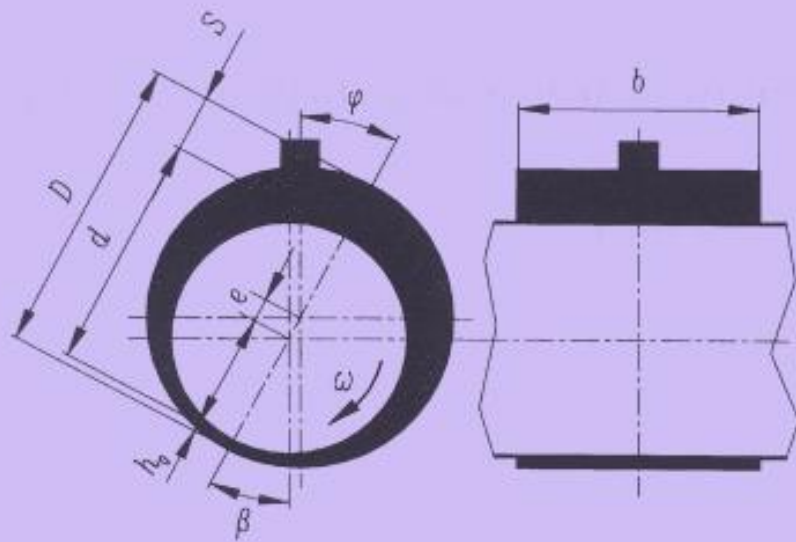
$$p_{sr} = \frac{F}{d \cdot b} \leq p_{dop}$$

F [N] obremenitev ležaja,
 d [mm] premer tečaja,

b [mm] širina ležajne puše,
 p_{dop} [MPa] dopustni površinski tlak (TAB 103, TAB 104
in TAB 108).



Površina naleganja v ležaju



Zračnost, ekscentričnost in debelina oljnega filma

$$S = D - d,$$

$$\psi = \frac{S}{d} = \frac{D - d}{d}$$

$$e = \frac{S}{2} - h_0 = \frac{D - d}{2} - h_0,$$

$$\varepsilon = \frac{2e}{S} = \frac{2e}{D - d}.$$

$$\psi = 8 \cdot 10^{-4} \sqrt[4]{u}$$

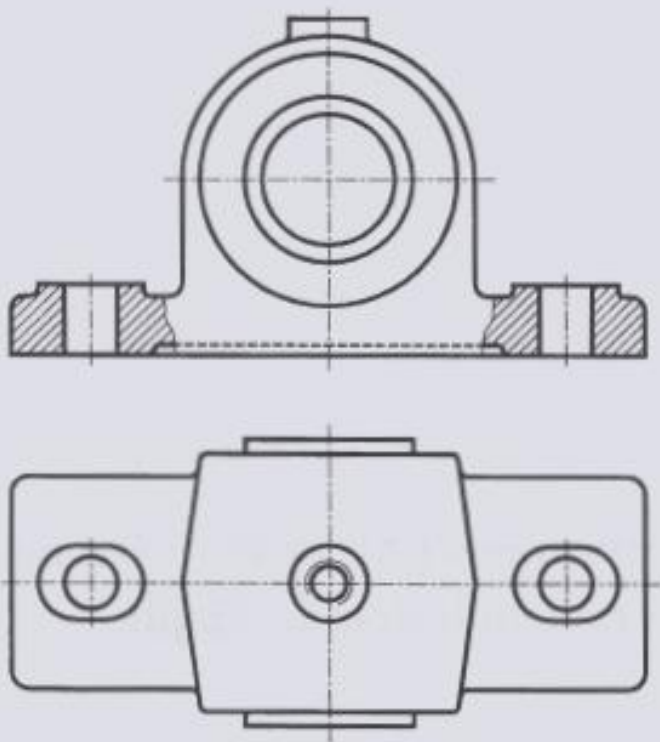
$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 10^3}$$

Somerfeldovo število:

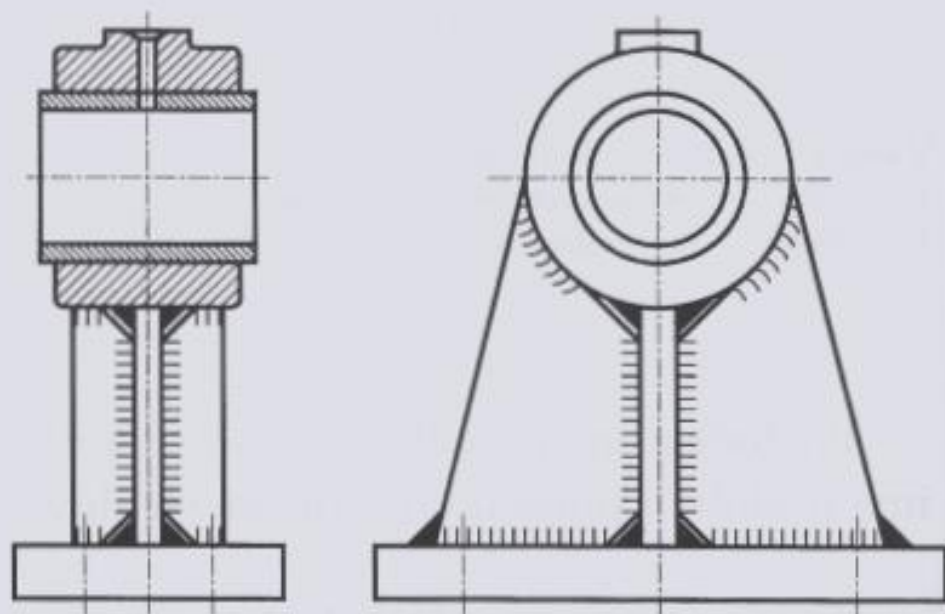
$$S_o = \frac{p_{sr} \cdot \psi^2}{2 \cdot \omega}$$

u	[m/s]	drsna hitrost,
d	[mm]	premer tečaja,
n	[min ⁻¹]	vrtlina frekvenca tečaja.

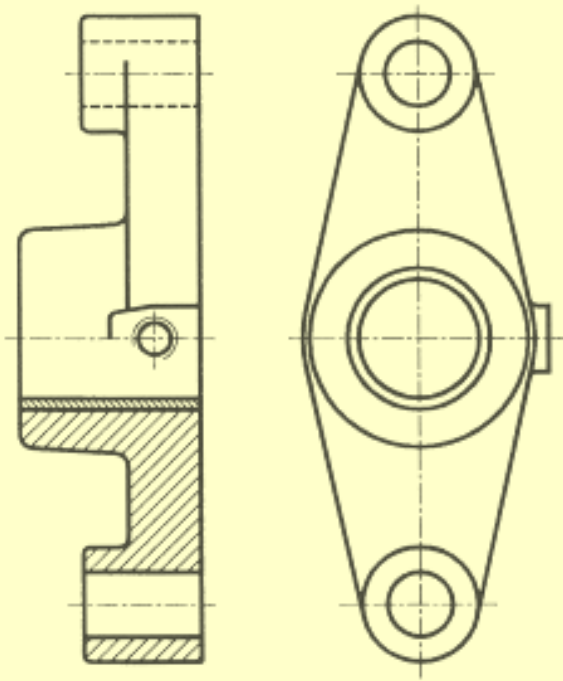
$\varepsilon = 0,50$ do $0,70$	za zelo obremenjene ležaje,
$\varepsilon = 0,70$ do $0,95$	za normalno obremenjene ležaje.



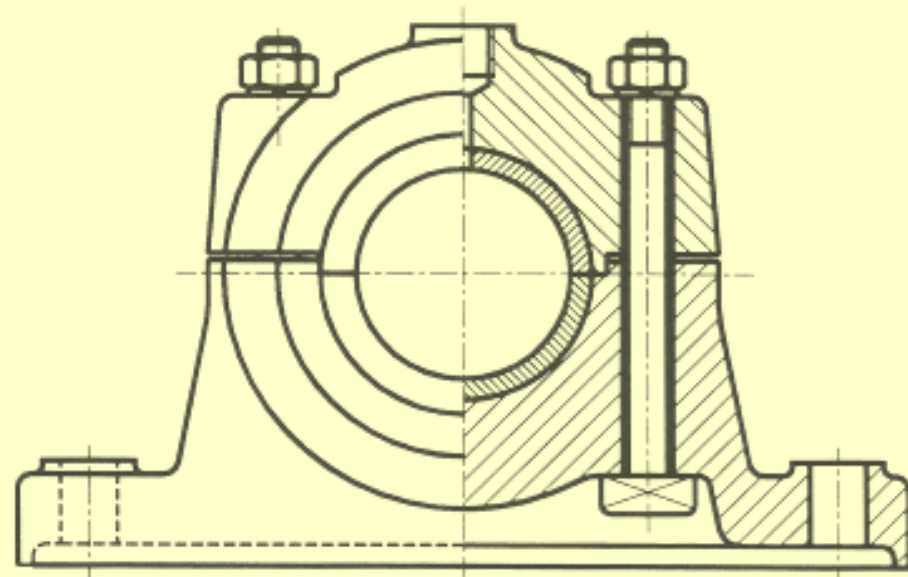
Stoječi drsni ležaj lite izvedbe



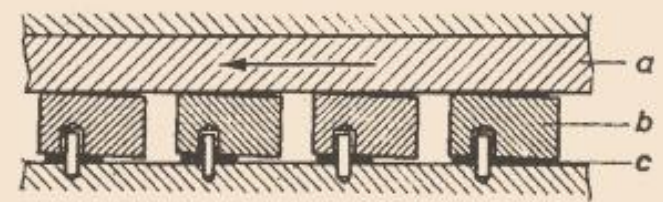
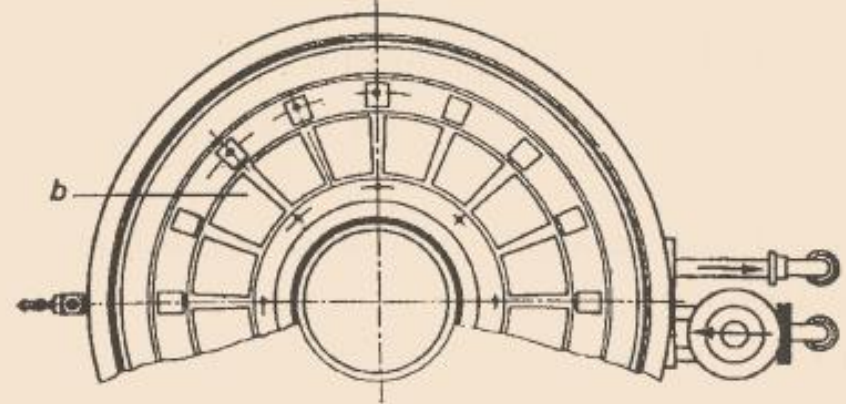
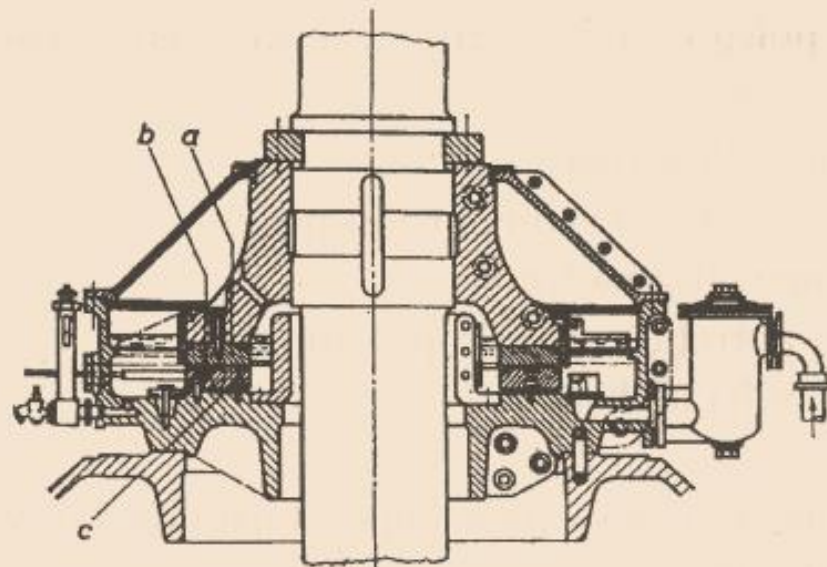
Stoječi drsni ležaj varjene izvedbe



Prirobnični drsni ležaj



Dvodelni drsni ležaj



Segmentni aksialni drsni ležaj

1. primer

Radialni drsni ležaj je izveden z ležajno pušo iz kositrovega brona C. CuSn10. Ležaj je vgrajen v ohišje obdelovalnega stroja in je ročno mazan z mastjo. Tečaj se vrti z vrtilno frekvenco $n = 300 \text{ min}^{-1}$ in je obremenjen z radialno silo $F = 1500 \text{ N}$. Premer tečaja $d = 60 \text{ mm}$. Določi širino ležaja, kontroliraj srednji površinski tlak v ležaju, izračunaj potrebno zračnost v ležaju in izberi ujem med tečajem in ležajem.

1 Izbira širine ležaja

V TAB 104 je za ležaje obdelovalnih strojev priporočena karakteristika ležaja:

$$\varphi = \frac{b}{d} = 1,2 \text{ do } 2$$

Širina ležaja tako znaša:

$$b = \varphi \cdot d = (1,2 \text{ do } 2) \cdot d = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ mm}$$

2 Kontrola srednjega površinskega tlaka v ležaju

Srednji površinski tlak v ležaju kontroliram z enačbo

$$p_{\text{sr}} = \frac{F}{d \cdot b} = \frac{1500}{60 \cdot 90} \approx 0,28 \text{ MPa}$$

$$p_{\text{dop}} = 0,6 \text{ MPa}$$

(TAB 104, za bron in ročno mazanje z mastjo)

Ker je izračunani srednji površinski tlak v ležaju manjši od dopustnega, so mere ležaja izbrane pravilno.

Tabela 104: Dopustni površinski tlaki p_{dop} in največje dovoljene hitrosti v_{maks} za drsne ležaje (po Niemannu)

Uporaba ležajev	Največje vrednosti		Gradivo ležaja in tečaja	<i>b/d</i>
	p_{maks} [MPa]	v_{maks} [m/s]		
za transmisije	0,2	3,5	siva litina/jeklo	1 do 2
	0,8	1,5	siva litina/jeklo	
	0,5	6	bela kovina/jeklo	
	1,5	2	bela kovina/jeklo	
trajni pogon	0,6	0,5	umetna smola/E295	
	2	0,15	umetna smola/E295	
Pogon s prekinitvami	0,6	1	umetna smola/E295	
	4	1,15	umetna smola/E295	
za dvigala in žerjave, dvigalke z zobato let- vijo, kolesa, vrvenice in vrvne bobne	40		bron/E360	0,8 do 1,8
	15		liti bron/E360	
	6		EN-JL1030/E295	
	12		rdeča litina/E295	
	$(p \cdot v) = 1$		umetna smola/E295	
	$(p \cdot v) = 2,5$		umetna smola/E295	
za obdelovalne stroje	2 do 5		bela kovina, rdeča litina, broni, siva liti- na/jeklo	1,2 do 2

Uporaba ležajev	Največje vrednosti		Gradivo ležaja in tečaja	b/d
	p_{maks} [MPa]	v_{maks} [m/s]		
Za mline in drobilce. Za trajni pogon veljajo podane vrednosti, za pogon s prekinitvami pa je velikost p_{maks} do 2,5 krat večja.	0,8	1,0	siva litina/jeklo	1,2 do 2
	0,8	3,0	bela kovina/jeklo	1,2 do 2
	1,0	2,0	bela kovina/jeklo	1,2 do 2
	1,5	10	bela kovina/jeklo	1,2 do 2
	8,0	1,0	Pb-bron/jeklo	1,2 do 2
	2,0	1,0	umetne mase/jeklo	1,2 do 2
Za ekscentrske preše	100	-	Pb-bron/jeklo	1,2 do 2
Za elektromotrije in vodne stroje				
$n < 1500$, čas vtek. < 8 min	1,2	10	bela kovina/E335	0,8 do 1,5
$n < 1500$, čas vtek. > 8 min	0,7	10	bela kovina/E335	0,8 do 1,5
$n > 1500$, čas vtek. < 8 min	0,5	14	bela kovina/E335	0,8 do 1,5
$n > 1500$, čas vtek. > 8 min	-	-	bela kovina/E335	0,8 do 1,5
Za turbinske stroje				
Michellov ležaj	3,0	60	bela kovina, umetne mase/jeklo	-
parne turbine	0,8	60	bela kovina/jeklo	0,8 do 1,25
	1,5	60	Pb-bron/jeklo	0,8 do 1,25
drugi turbinski stroji	1,5	-	Pb-bron/jeklo	1,5 do 2,0
Za parne batne stroje, batne kompresorje in črpalke				
križna glava in batni sornik	12	-	bela kovina, Pb-bron/kaljeno jeklo	-
ležaji ojníc in ročíc	9,0	2,5	bela kovina, Pb-bron/kaljeno jeklo	1,0
glavni ležaji	3,5	3,5	bela kovina, Pb-bron/kaljeno jeklo	1,4
Za ležaje ojníc in motornih gredi				
glavni ležaji motorne gredi	7,5	2,5	bela kovina, Pb-bron/kaljeno jeklo	0,85
	4,5	3,5	bela kovina, Pb-bron/kaljeno jeklo	1,0

zunANJI ležaji (vztrajnik)	2,5	3,0	bela kovina/jeklo	-
ležaji gredi razvodnika	1,5	-	bela kovina/jeklo	1,0
vodila križne glave	0,4	-	bela kovina/jeklo	-
	0,3	-	siva litina/jeklo	-
Za avtomobilske in letalske motorje				
počasne pogonske gredi in ojnice	12	-	bela kovina/jeklo	0,5 do 0,6
počasne motorne gredi	8,0	-	Pb-bron/jeklo	0,5 do 0,6
za hitre gredi pri avtomobilskih motorjih jemljemo $1,7 p_{maks}$, pri letalski motorjih pa $2,3 p_{maks}$	-	-	Pb-bron/kaljeno jeklo	-
	-	-	Pb-bron/kaljeno jeklo	-
Za drsne ležaje z zračnim mazanjem	0,07	350	broni/jeklo	1,4

Dopustni površinski tlak p_{dop} [MPa]

Gradivo ležajne puše	Enostavni drsni ležaji z mešanim trenjem		Drsni ležaji s hidrodinamičnim mazanjem
	Ročno mazanje z oljem ali mastjo	Mazanje z oljno kapalko	
siva litina	0,4	0,8	-
broni	0,6	1,2	7
aluminijeve zlitine	0,3	0,4	7
svinčeve zlitine	0,1	0,3	5
kositrove zlitine	0,1	0,3	5
sintrane kovine	1,0	1,8	-

3 Izračun potrebne zračnosti v ležaju

Relativno zračnost v ležaju določim s TAB 108, TAB 109 in TAB 110.

TAB 108: $\psi = 1,0 \text{ do } 1,7 \cdot 10^{-3}$

TAB 109: $\psi = 1,0 \text{ do } 2,0 \cdot 10^{-3}$

TAB 110: $\psi = 1,5 \cdot 10^{-3}$

Drsno hitrost v ležaju izračunam z enačbo

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot 60 \cdot 300}{60 \cdot 10^3} \approx 0,95 \text{ m/s}$$

S pomočjo TAB 105 ugotovim, da je v obravnavanem ležaju nizek tlak in srednja hitrost.

4 Izbira ujema med tečajem in ležajem

Iz TAB 110 lahko izberem priporočeni ujem za obravnavani ležaj $\phi 60 \frac{H7}{e8}$.

Tabela 105: Izbira maziv za drsne ležaje

Obratovalne razmere drsnega ležaja	Lastnosti maziva
visoke temperature v ležaju	visoko plamenišče in viskoznost
nizke temperature v ležaju	nizko strdišče in majhna viskoznost
velika obremenitev	visoka mazalnost in velika viskoznost
velike drsne hitrosti	majhna viskoznost
spremenljiva temperatura	mazivo z viskoznostjo, ki se s temperaturo malo spreminja
onesnažena okolica	uporabimo mast, ker prepreči vdor praha v ležaj

Opomba: V praksi se pogosto navajajo nedoločene vrednosti parametrov, npr.: velike ali majhne hitrosti, visoke ali nizke temperature. Te nedoločene vrednosti se lahko definirajo s približnimi številčnimi vrednostmi, kot so:

nizek tlak do 0,5 MPa,	majhna hitrost do 0,5 m/s,	nizka temperatura pod + 10 °C,
srednji tlak od 0,5 do 5 MPa,	srednja hitrost od 0,5 do 5 m/s,	srednja temperatura od 10 do 80 °C,
visok tlak nad 5 MPa;	velika hitrost nad 5 m/s;	visoka temperatura od 80 do 150 °C,
		zelo visoka temperatura nad 150 °C.

Tabela 107: Ležajne masti vrste K¹⁾ za drsne ležaje po DIN 51 825, označevanje po NLGI (National Lubricating Grease Institute)

NLGI gradacije DIN 51 818	Dodatna črkovna oznaka DIN 51 502	Uporabne za temperature [°C]	Občutljivost na vodo DIN 51 807 ²⁾	
za srednje vrtilne frekvence 0, dru- gače druga številka penetracijske skupine 1 2 3 (mehke masti)	B	-20 do + 50	0 ali 1	2) 0 ne reagira 1 majna 2 srednja 3 velika
	E	-20 do + 80	0 ali 1	
	F		2 ali 3	
	G	-20 do + 100	0 ali 1	
	H		2 ali 3	
	K	-20 do + 120	0 ali 1	
	M		2 ali 3	
	N	-20 do + 140		

Opomba: ¹⁾ S širšim temperaturnim območjem uporabnosti (masti z aditivi in trdne masti):

KTA -30 do + 120 °C,

KTB -40 do + 120 °C oz. boljše mazalne lastnosti pri večjih obremenitvah,

KTC -50 do + 120 °C (-20 do + 140 °C).

Tabela 108: Orientacijske vrednosti srednjega dopustnega tlaka $p_{\text{sr dop}}$ in relativne zračnosti ψ za nekatera gradiva drsnih ležajev

Ležajno gradivo	v_{maks} [m/s]	p_{maks} [MPa]	$\psi \cdot 10^{-3}$
siva litina	3,0	do 3	-
kositrov bron	4,5	6	1 do 1,7
rdeča litina	6,0	do 9	1 do 1,7
svinčev bron	10	35	2 do 3
aluminijev bron	8,0	20	2 do 4
bela kovina	10	0,5 do 15	1 do 1,5
aluminijeve zlitine	5,0	do 3	-
cinkove zlitine	6,0	do 8	1 do 1,5
umetne mase	6,0	0,5 do 12	4 do 5
sintrana ležajna gradiva	5,0	10	≥ 2

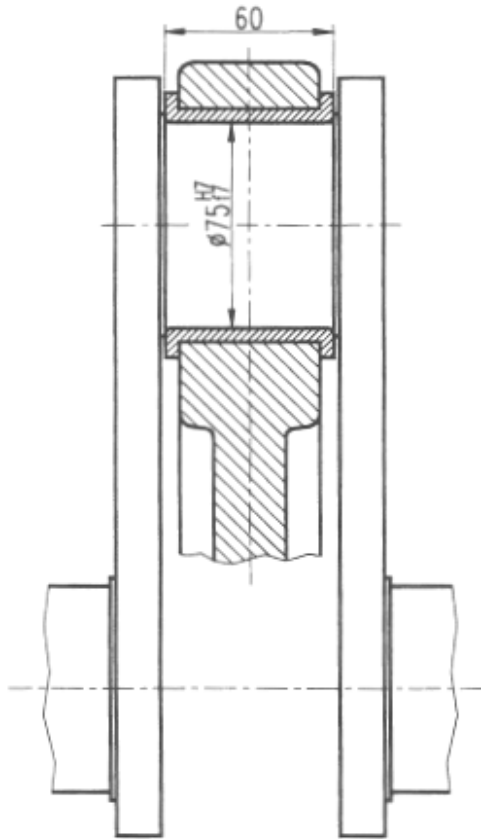
Tabela 109: Relativna zračnost drsnega ležaja ψ v odvisnosti od hitrosti v in srednjega površinskega tlaka p_{sr}

Obratovalni pogoji	$\psi \cdot 10^{-3}$
velike hitrosti in majhni tlaki	2 do 3
velike hitrosti in veliki tlaki	1,5 do 2,5
srednje hitrosti in srednji tlaki	1 do 2
majhne hitrosti in majhni tlaki	0,7 do 1,2
majhne hitrosti in veliki tlaki	0,3 do 0,6

Tabela 110: Relativna zračnost drsnega ležaja ψ pri različnih premerih tečaja d in različnih ujemih

Premer tečaja d [mm]	Ujem ležaj / tečaj in relativni ohlap $\psi \cdot 10^{-3}$						
	H7/g6	H7/f7	H7/e8	H7/d8	H7/c8	H7/b8	H7/a9
nad 30 do 50	0,74	1,25	2,05	2,80	3,95	5,17	8,97
nad 50 do 80	0,53	0,92	1,50	2,12	2,82	3,59	6,20
nad 80 do 120	0,41	0,71	1,16	1,65	2,20	2,75	4,56
nad 120 do 180	0,31	0,55	0,91	1,31	1,78	2,24	3,94
nad 180 do 250	0,24	0,45	0,74	1,06	1,48	2,04	2,82
obratovalni pogoji	majhne hitrosti		normalni ležaji			velike hitrosti	

2. primer



Drсни ležaj motorne gredi je obremenjen s silo $F = 20 \text{ kN}$ in obratuje z vrtilno frekvenco $n = 280 \text{ min}^{-1}$. Ležajna puša je izdelana iz bele kovine L. PbSn10. Tečaj motorne gredi in ležaj imata ujem $\phi 75_{\frac{H7}{f7}}$. Izberi mazivo, če je ležaj mazan z oljem in je dovoljena temperatura v mazivu $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

1 Izbira maziva

Ležajno olje izberem glede na kinematično viskoznost, ki jo izračunam z enačbo

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{0,0183 \cdot 10^6}{900} \approx 20,3 \text{ mm}^2/\text{s}$$

$$S_o = \frac{p_{sr} \cdot \psi^2}{2 \cdot \omega}$$

$$\eta = \frac{p_{sr} \cdot \psi^2}{S_o \cdot \omega} = \frac{4,45 \cdot 0,92^2}{7,1 \cdot 29} \approx 0,0183 \text{ Pas}$$

$$p_{sr} = \frac{F}{d \cdot b} = \frac{20000}{75 \cdot 60} \approx 4,45 \text{ MPa}$$

$$\psi = 0,92 \cdot 10^{-3} \quad (\text{TAB 110, za } d = 75 \text{ mm in ujem } \phi 75_{\text{H7}}^{\text{H7}})$$

$$\varepsilon = \frac{2e}{D - d} = \frac{2 \cdot 0,063}{75,030 - 74,894} \approx 0,9$$

$$e = \frac{D - d}{2} - h_0 = \frac{75,030 - 74,894}{2} - 0,005 = 0,063 \text{ mm}$$

$$h_0 = h_{0\text{mej}} = 0,005 \text{ mm} \quad (\text{TAB 111, za } d = 63 \text{ do } 160 \text{ mm in } u = \text{nad } 1 \text{ do } 3 \text{ m/s})$$

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot 75 \cdot 280}{60 \cdot 10^3} \approx 1,1 \text{ m/s}$$

$$D_{\text{maks}} = d + A_o = 75 + 0,030 = 75,030 \text{ mm}$$

$$A_o = +0,030 \text{ mm}$$

3. primer

Drsni ležaj ima pušo izdelano iz redeče litine z oznako C.CuSn7Pb6Zn4. Ležaj je obremenjen z radialno silo $F = 2800$ N, ima premer $d = 40$ mm in širino $b = 25$ mm. Kontroliraj temperaturo olja, če je temperatura okolice 22 °C (295 K), dovoljena temperatura v mazivu 50 °C, tečaj pa se vrti z vrtilno frekvenco $n = 780$ min⁻¹. Sommerfeldovo število $S_0 = 0,85$.

Porast temperature v ležajnem mazivu izračunam z enačbo

$$\Delta T = \frac{F \cdot \mu \cdot v}{\alpha \cdot A_K} = \frac{2800 \cdot 2,93 \cdot 10^{-3} \cdot 1,63}{20 \cdot 0,054} \approx 13 \text{ K}$$

Torni količnik tekočinskega trenja izračunam z enačbo

$$\mu = \frac{3\psi}{\sqrt{S_0}} = \frac{3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{0,85}} \approx 2,93 \cdot 10^{-3}$$

Relativno zračnost v ležaju določim z enačbo

$$\psi = 8 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[4]{u} = 8 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[4]{1,63} \approx 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$u = v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot 40 \cdot 780}{60 \cdot 10^3} \approx 1,63 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 20 \text{ W/Km}^2$$

Hladilno površino ležajnega ohišja izračunam z enačbo

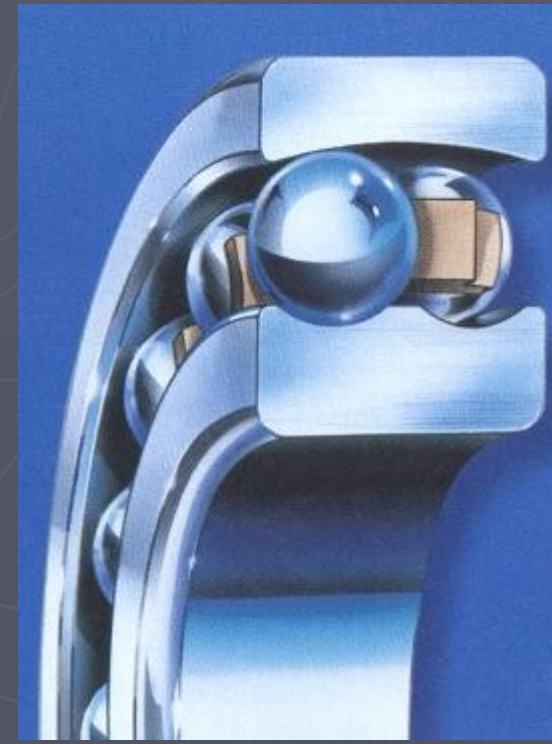
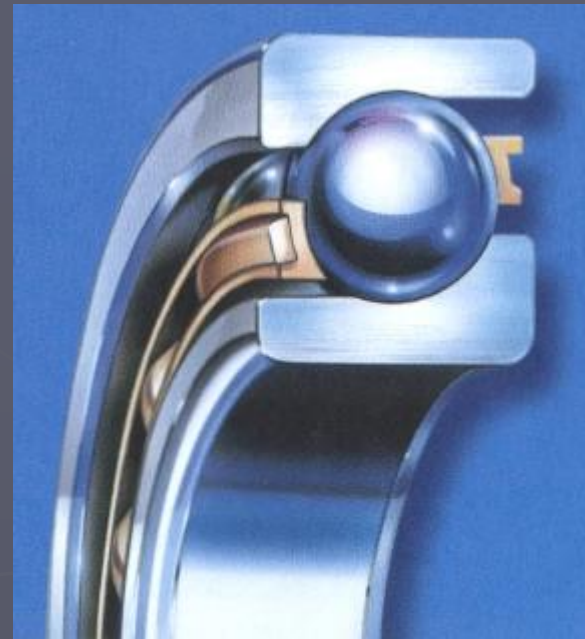
$$A_K = (25 \text{ do } 35) \cdot d \cdot b + 15 d^2 = (30 \cdot 40 \cdot 25 + 15 \cdot 40^2) \cdot 10^{-6} \approx 0,054 \text{ m}^2$$

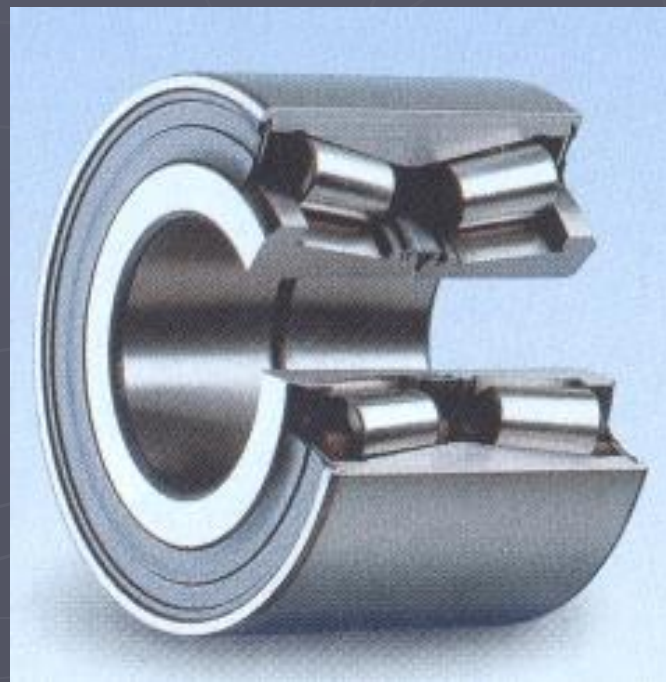
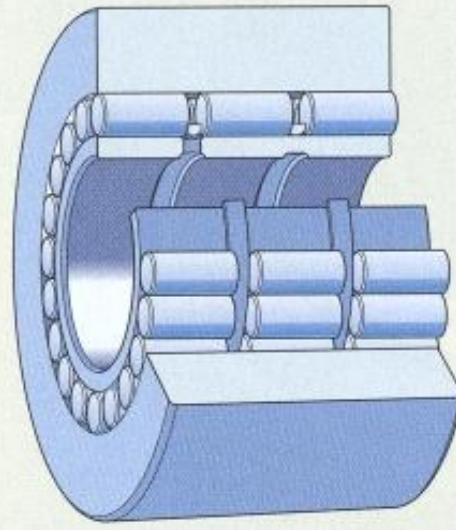
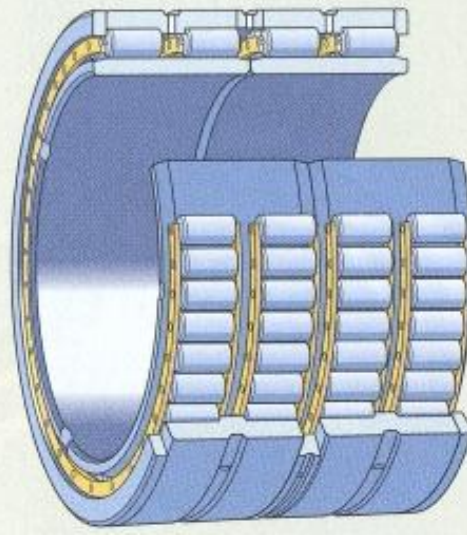
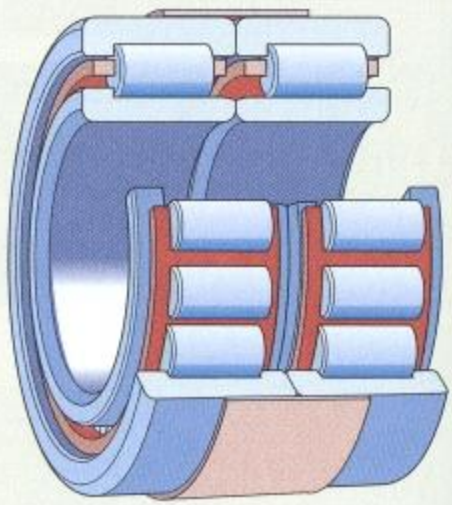
Temperaturo v ležajnem mazivu izračunam z enačbo

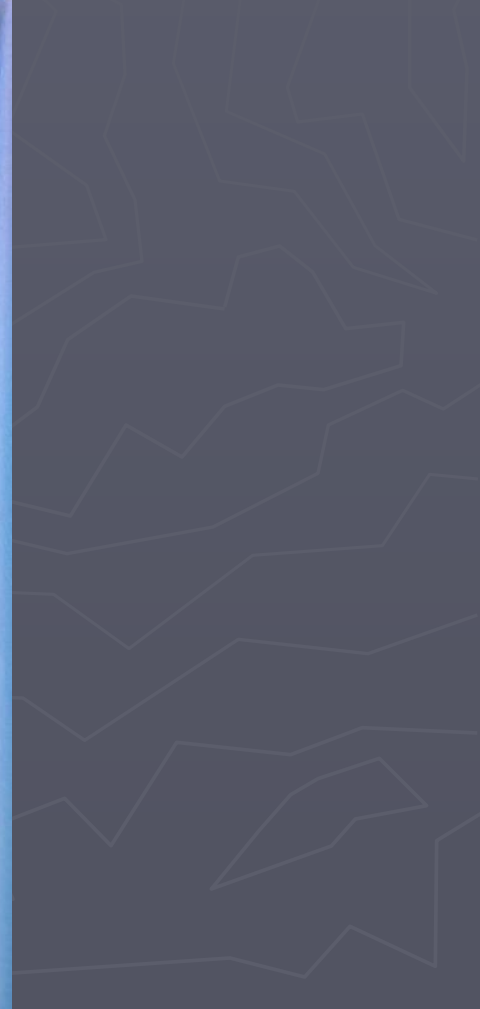
$$T = T_0 + \Delta T = 295 + 13 = 308 \text{ K} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ker je izračunana temperatura v ležajnem mazivu nižja od dovoljene, je ležaj pravilno oblikovan.

2. Kotalni ležaji







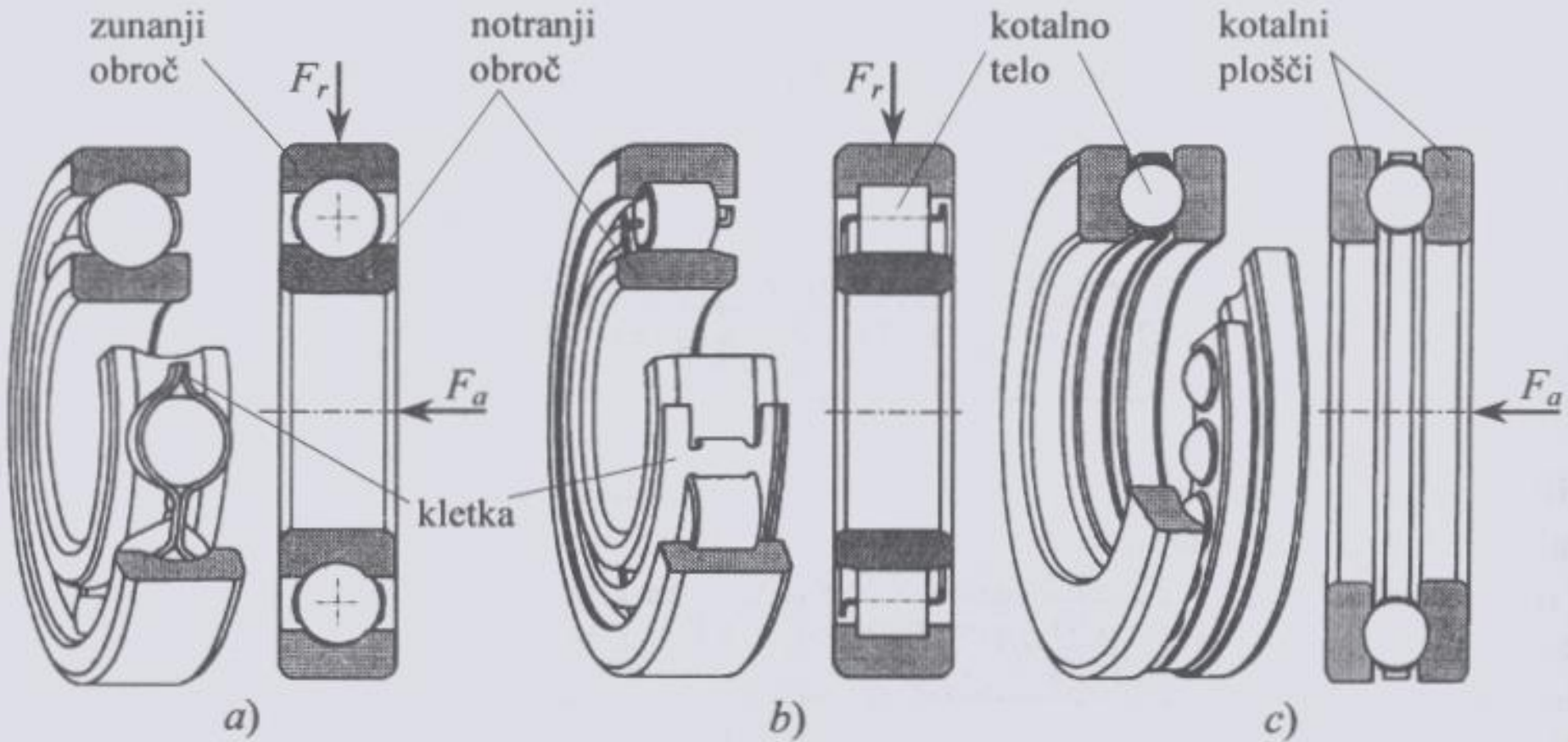


Prednosti:

- zaradi kotalnega trenja je koeficient trenja 25 do 50% nižji kot pri drsnih ležajih s hidrodinamičnim mazanjem,
- zaradi manjšega trenja se ležajno mesto manj greje,
- natančno obratovanje zaradi manjše zahtevane zračnosti med kotalnimi elementi,
- enostavno vzdrževanje,
- urejena standardizacija in s tem zagotovljena enostavna izmenljivost ležajev.

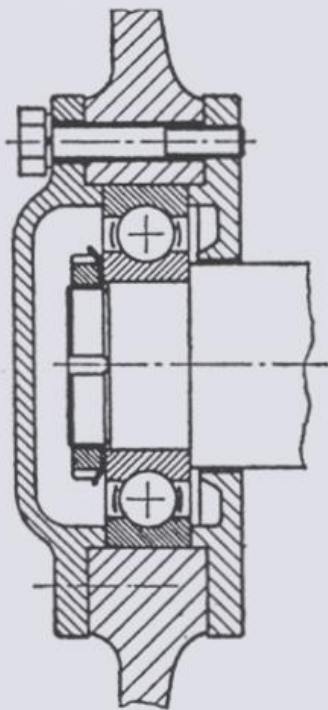
Slabosti:

- večja občutljivost na sunkovite obremenitve,
- večji hrup,
- dopuščajo manjše vrtilne hitrosti kot drsni ležaji s hidrodinamičnim mazanjem,
- so dražji od enostavnih drsnih ležajev,
- zahtevnejša montaža in demontaža.

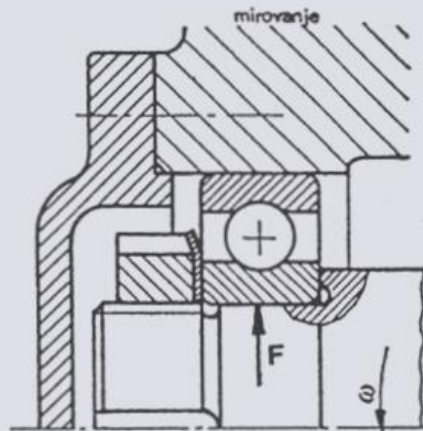


Osnovni elementi kotalnih ležajev

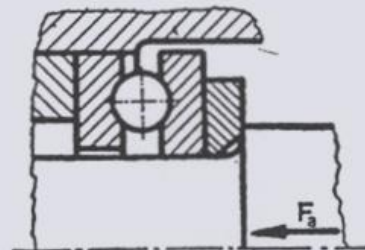
a) radialni kroglični ležaj b) radialni valjčni ležaj c) aksialni kroglični ležaj



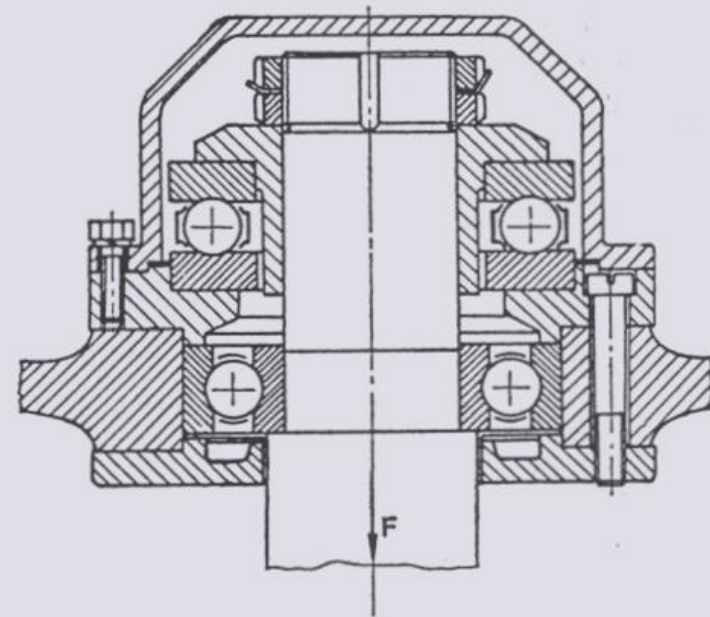
Vpeti ležaj



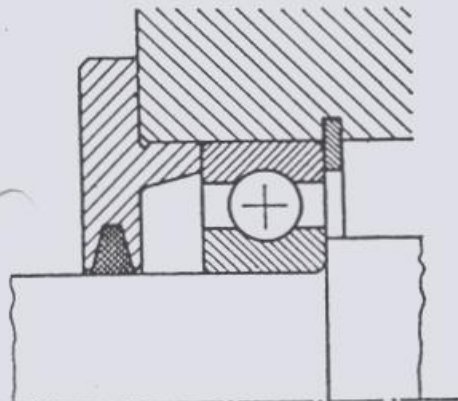
Prosti ležaj



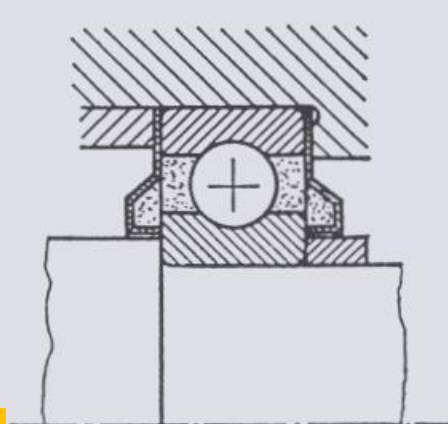
Pritrditev enosmernega aksialnega ležaja



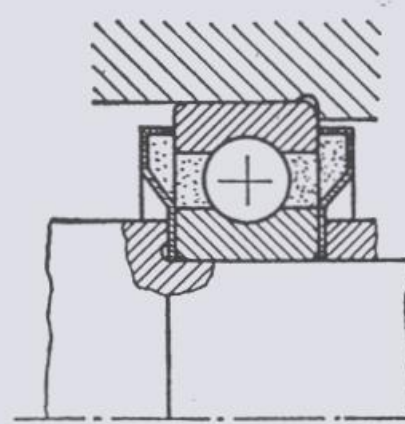
Vgradnja enosmernega aksialnega krogličnega ležaja



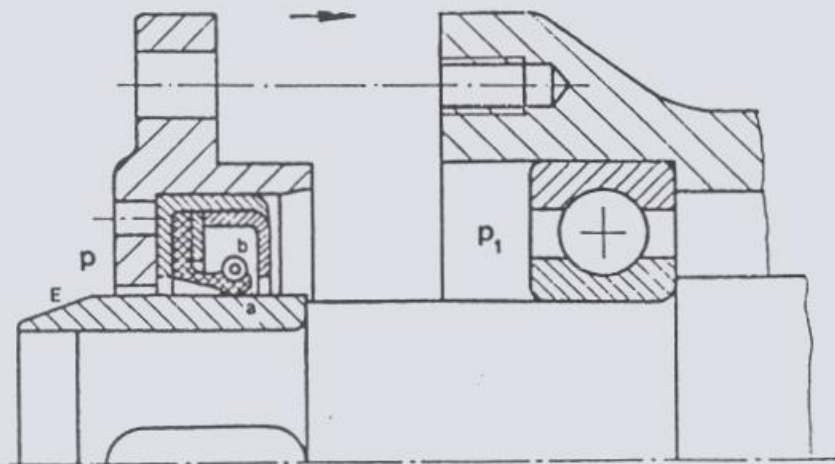
Tesnjenje ležaja z neposrednim dotikom



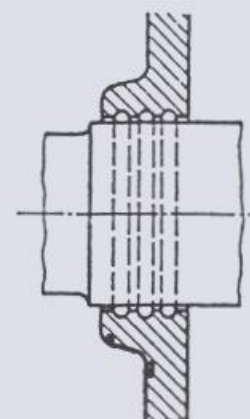
Tesnjenje ležajev s pločevinastimi obroči



Tesnjenje z režo



Vgradnja radialne gredne tesnilke ($p < p_1$)



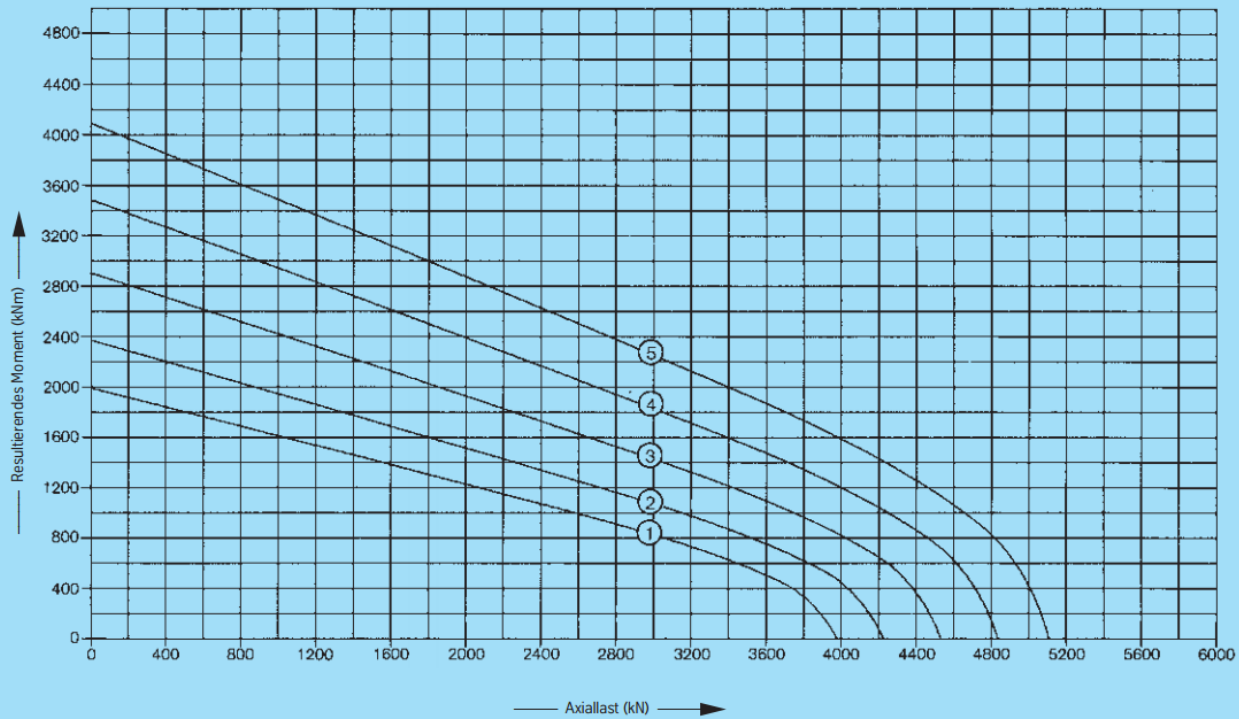
Labirintno tesnjenje

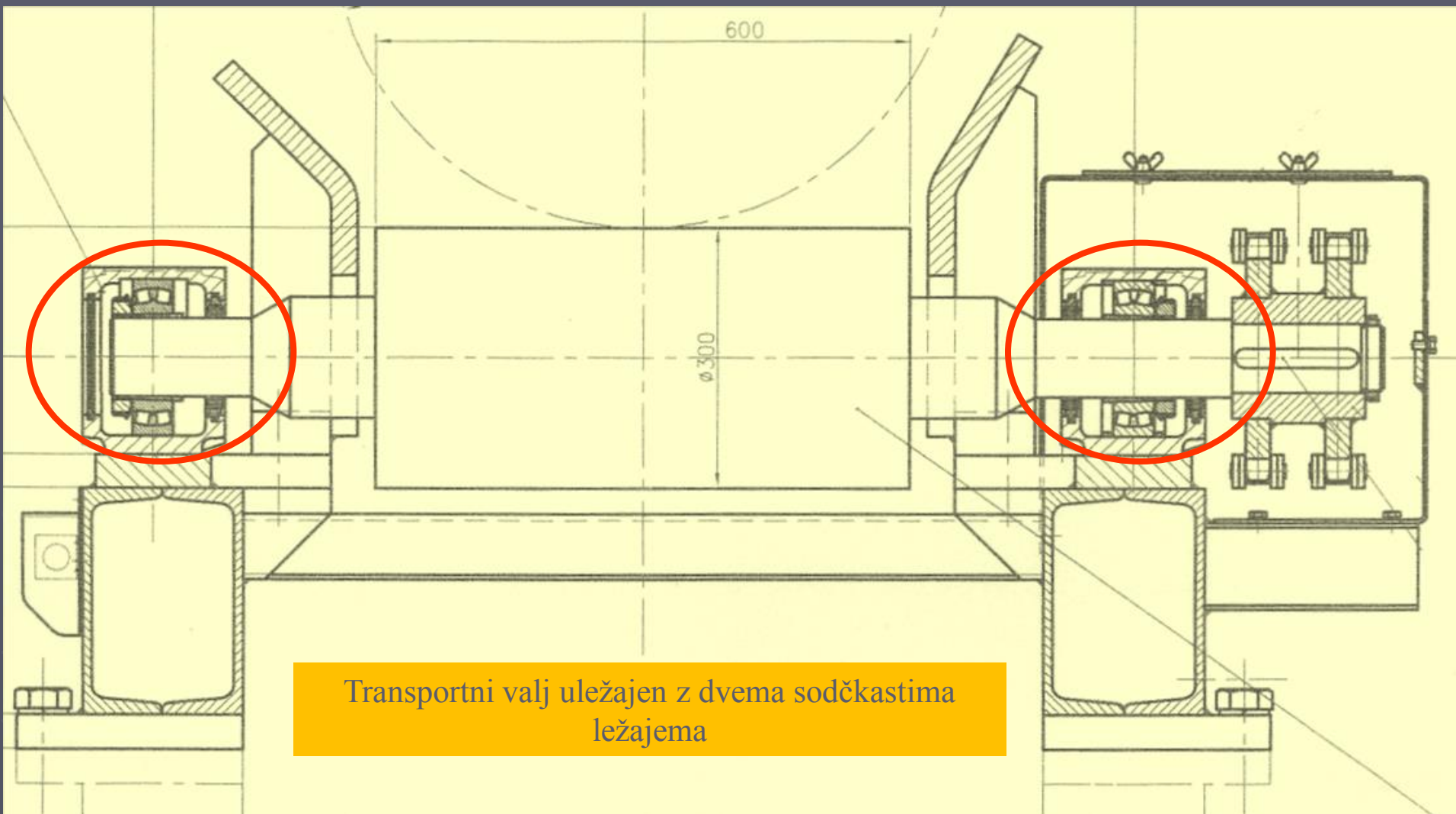
Aksialni ležaji velikih dimenzij



Gebrauchsdauerkurven · 30 000 Umdrehungen

Zeichnungslage = Einbaulage

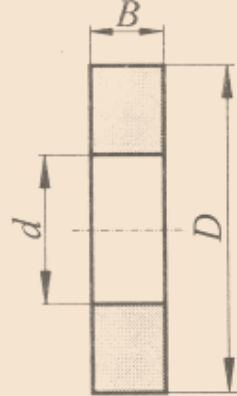




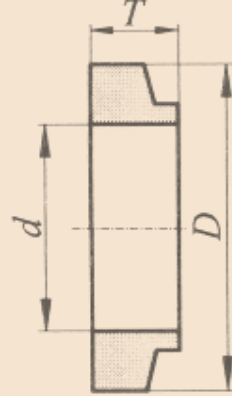
Priporočljive tolerance za vgradnjo radialnih kotalnih ležajev na gred in v ležajno ohišje

Obremenitev	Primer uporabe	Premer gredi (mm)		Toleranca za luknjo v ohišju			
		Vrsta ležaja		gred			
		kroglični ležaji	valjčni ležaji		zunanji obroč je pre-makljiv	ni pre-makljiv	
Vrtenje notranjega obroča	majhna ($F \leq 0,07$ C)	≤ 100	≤ 40	j 6			
		100 ... 200	40 ... 100	k 6	H 7		
		> 200	> 100	m 6	H 8		
	srednja ($F = (0,07 \dots 0,15)$ C)	splošna strojgradnja elektromotorji, zobniška gonila, težke črpalke, turbine, obdelovalni stroji, lesno obdelovalni stroji	≤ 17		j 5		
			17 ... 100	≤ 40	k 5, k 6		
			100 ... 140	$> 40 \dots 100$	m 5, m 6	H 7	M 6
			$> 140 \dots 200$	$> 100 \dots 140$	m 6	H 8	N 6
				200	p 6, r 6, r 7		
	velika in sunkovita ($F > 0,15$ C)	lokomotive, težka tirnična vozila		≤ 140	n 6		
				140 ... 200	p 6	J 7	M 6
			> 160	r 6, r 7		N 6	
Vrtenje zunanjega obroča	majhna	vrvenice			K 7, M 7		
	srednja	kolesa cestnih vozil, kolesa žerjavov, velike vrvenice		vse oblike in velikosti	(notranji obroč je pre-makljiv) N 7		
	velika in sunkovita	težka tekalna kolesa			g 6, h 7 P 7		

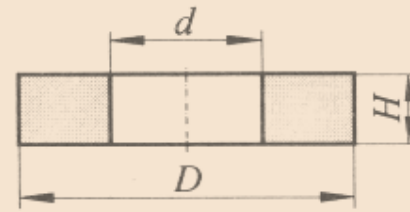
Obremenitev	Primer uporabe	Vrsta ležaja in premer gredi	Toleranca za gred luknjo v ohišju	
Čista aksialna		radialni in aksialni ležaji, vsi premeri	j 6	E 8
Vrtenje ležajne plošče, ki je pritrjena na gredi	uležajenje polža ladijske gredi	vsi premeri	j 6	K 7, M 7
Mirovanje ležajne plošče, ki je pritrjena na gredi		≤ 200	k 6	J 7
		> 200	m 6	



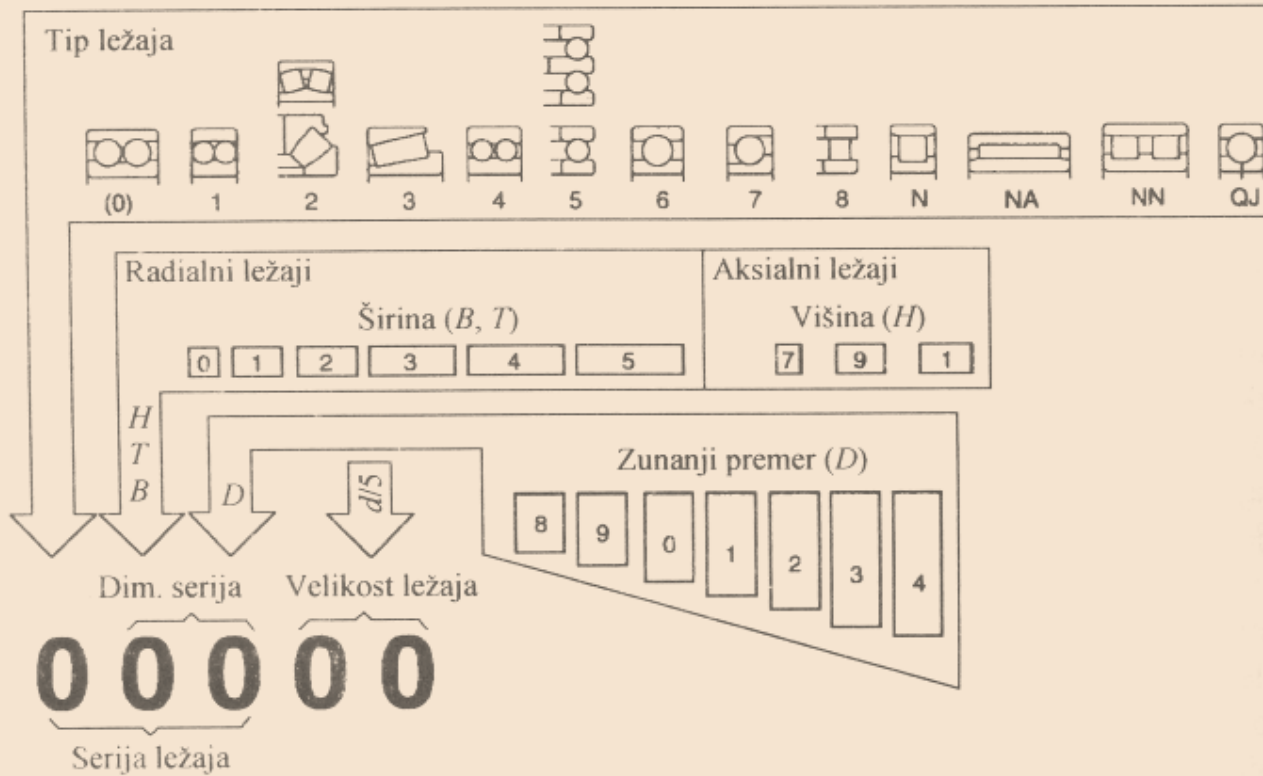
Radialni ležaj



Stožčasti ležaj



Aksialni ležaj



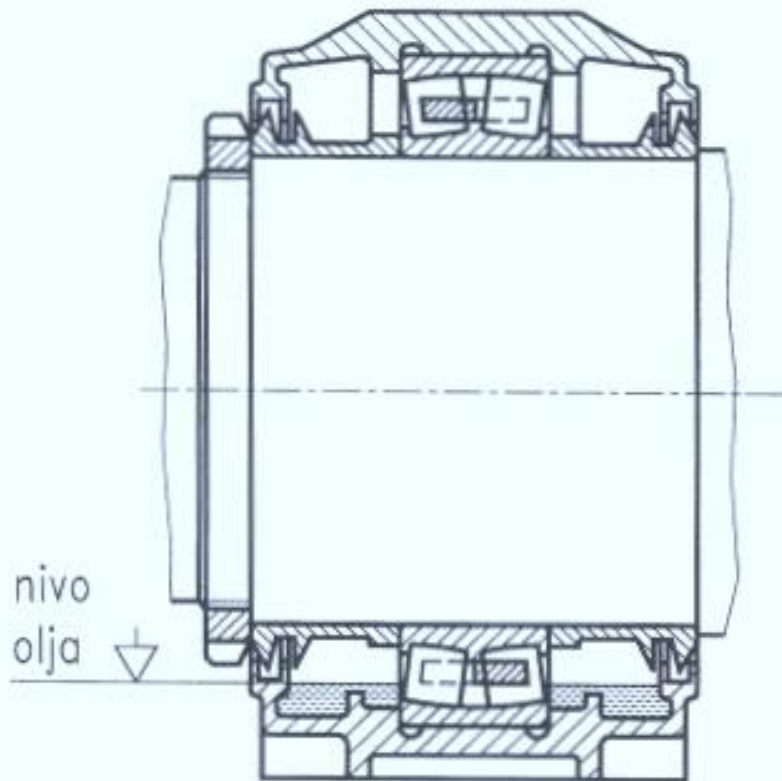
Osnovna oznaka kotalnih ležajev po DIN 623

0	dvoredni kroglični ležaji s poševnim dotikom
1	prilagodljivi kroglični ležaji
2	radialni in aksialni sodčkasti ležaji
3	stožčasti ležaji
4	enostavni dvoredni kroglični ležaji
5	aksialni kroglični ležaji
6	enostavni enoredni kroglični ležaji
7	enoredni kroglični ležaji s poševnim dotikom
8	aksialni valjčni ležaji
N	enoredni valjčni ležaji (glede na izvedbo lahko tudi NJ, NU, NUP itd)
NA	iglični ležaji
NN	dvo- ali večredni valjčni ležaji
QJ	kroglični ležaji s štiritočkovnim dotikom

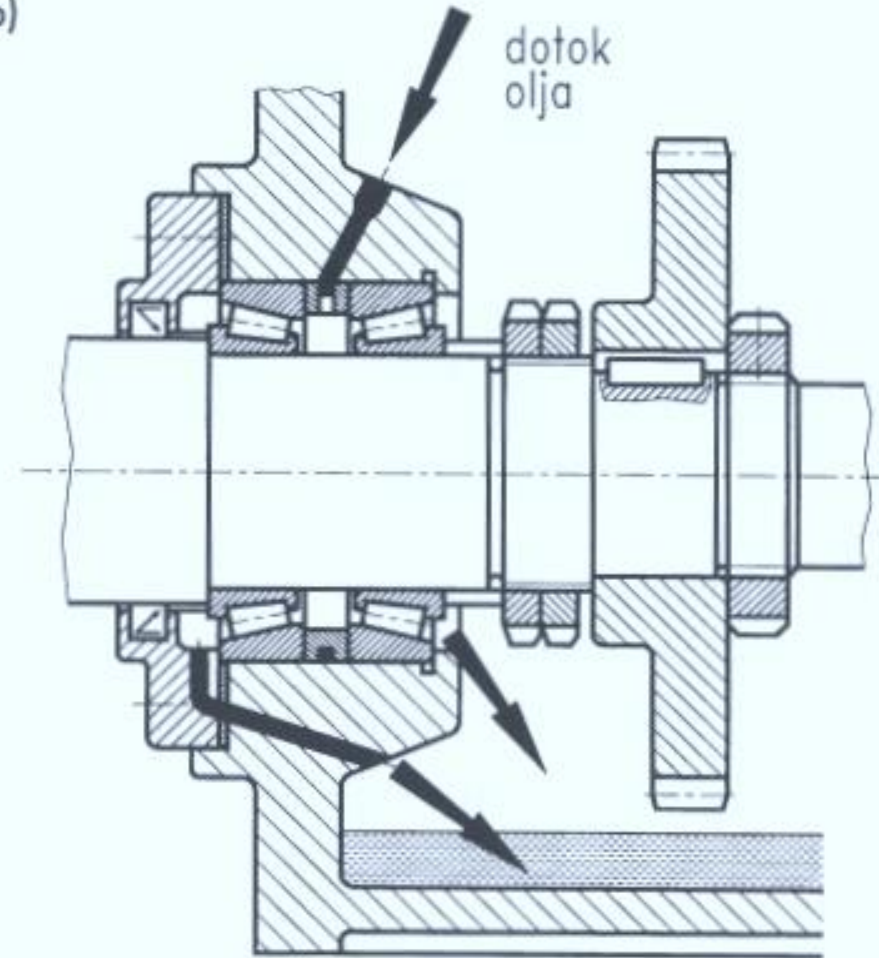
Primeri oznak

6011	enostavni enoredni kroglični ležaj dimenzijske serije 10 in s premerom luknje 55 mm
4307	enostavni dvoredni kroglični ležaj dimenzijske serije 30 in s premerom luknje 35 mm
1302	prilagodljivi kroglični ležaj dimenzijske serije 03 in s premerom luknje 15 mm
N216	enoredni valjčni ležaj dimenzijske serije 02 in s premerom luknje 80 mm
32940	stožčasti ležaj dimenzijske serije 29 in s premerom luknje 200 mm
22315	prilagodljivi kroglični ležaj dimenzijske serije 23 in s premerom luknje 75 mm
51200	aksialni kroglični ležaj dimenzijske serije 12 in s premerom luknje 10 mm
81103	aksialni valjčni ležaj dimenzijske serije 11 in s premerom luknje 17 mm

a)

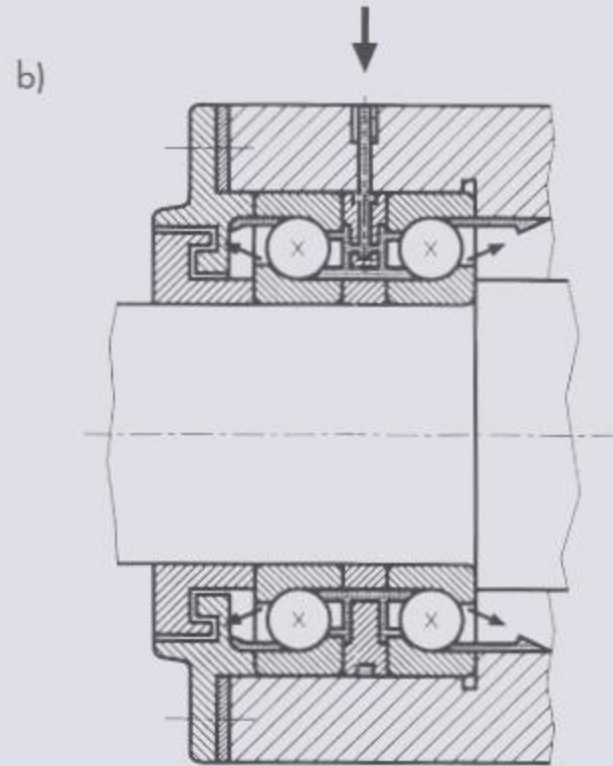
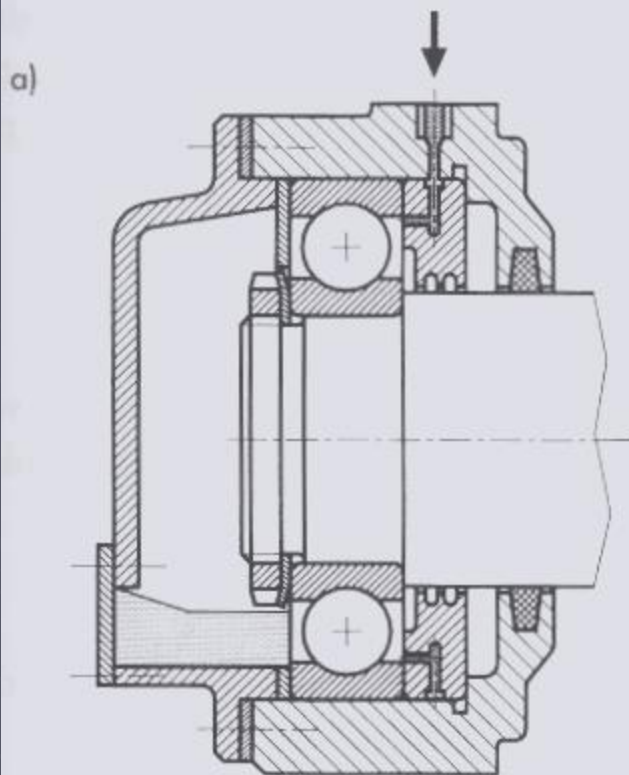


b)



Mazanje kotalnih ležajev z oljem

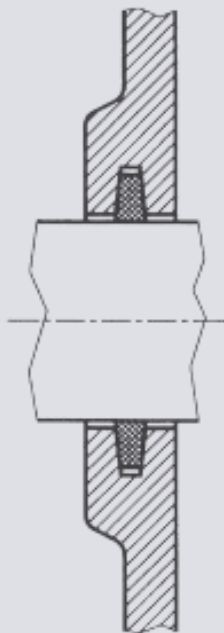
a) mazanje v oljni kopeli, b) obtočno mazanje



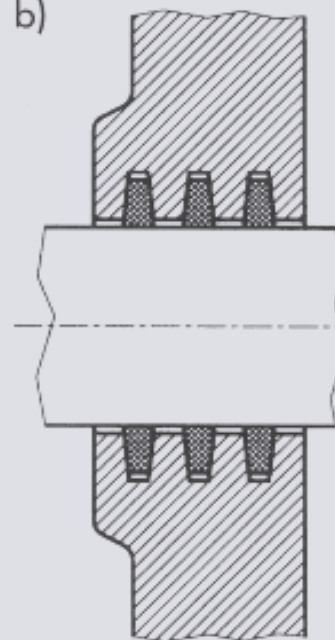
Mazanje kotalnih ležajev z mastjo

- a) mazanje enostavnega enorednega krogličnega ležaja,
- b) mazanje dveh krogličnih ležajev s poševnim dotikom

a)

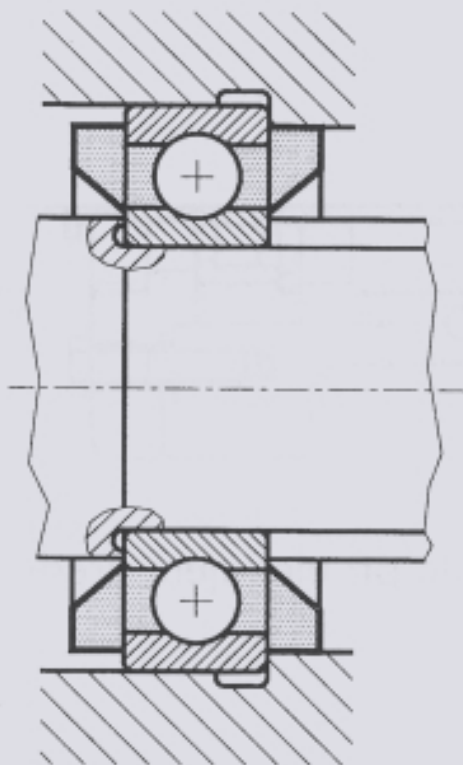


b)

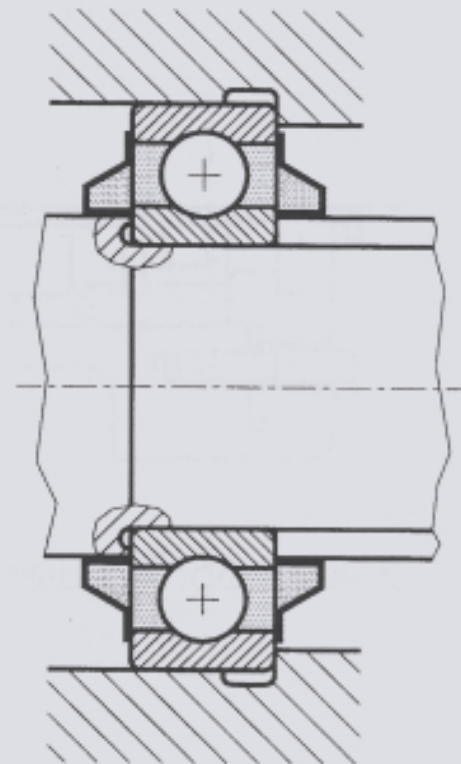


Tesnjenje s klobučevinastim tesnilom
a) z enim, b) s tremi obroči

a)

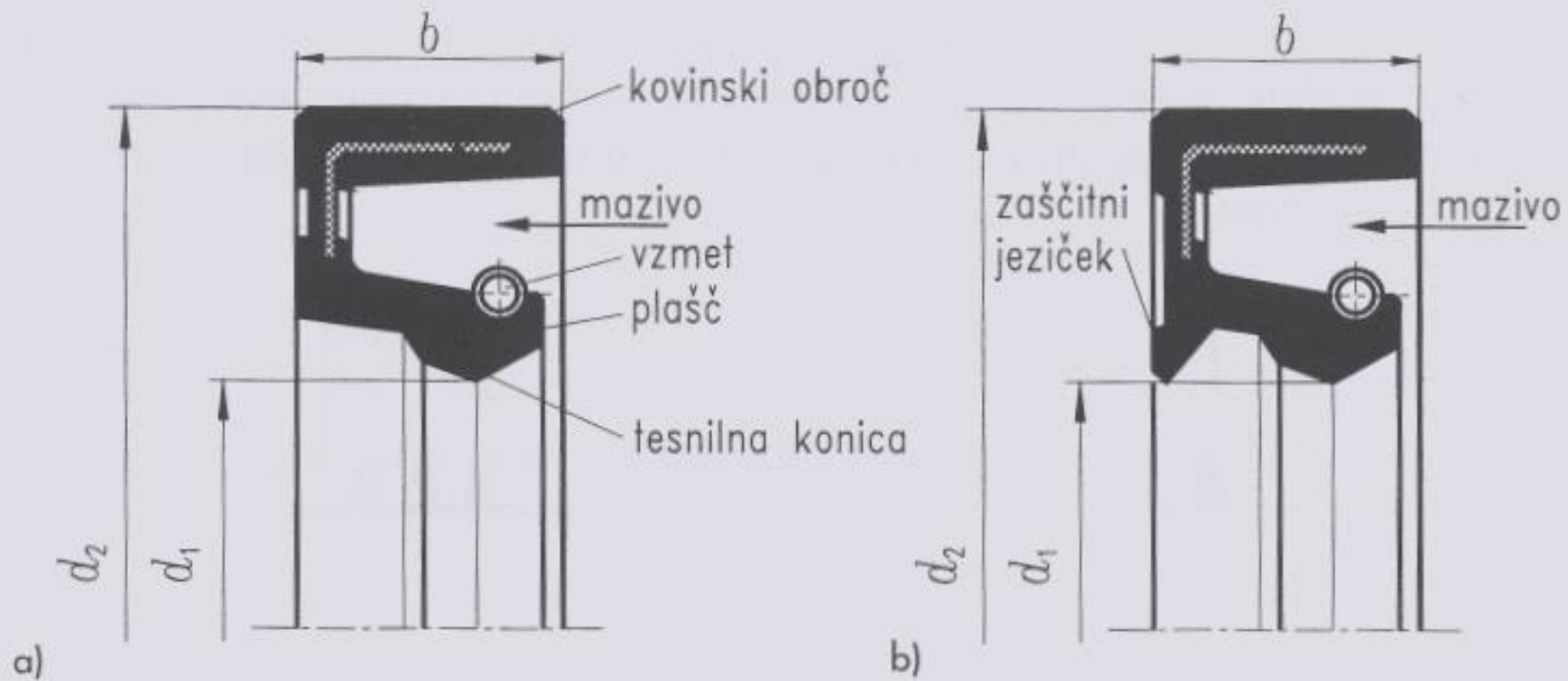
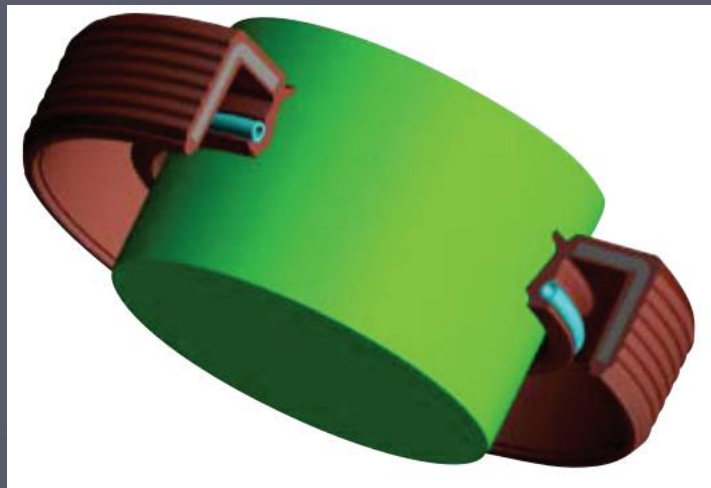


b)



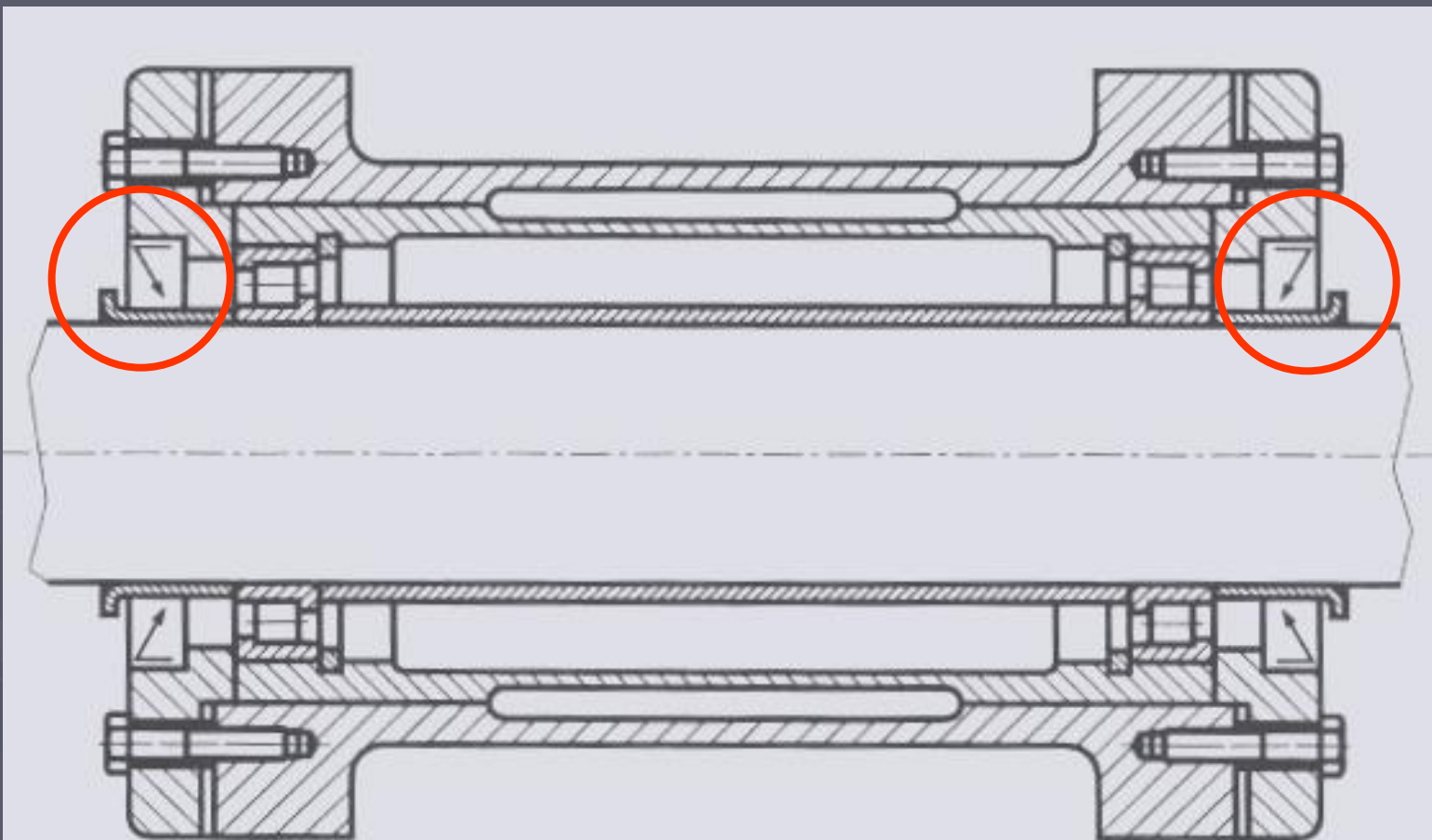
Tesnjenje s pločevinastimi tesnilnimi obroči

a) tesnjenje zunanjega obroča, b) tesnjenje notranjega obroča

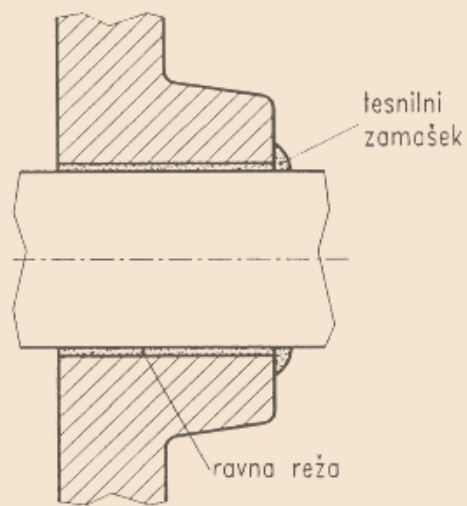


Radialno gredno tesnilo po DIN 3760

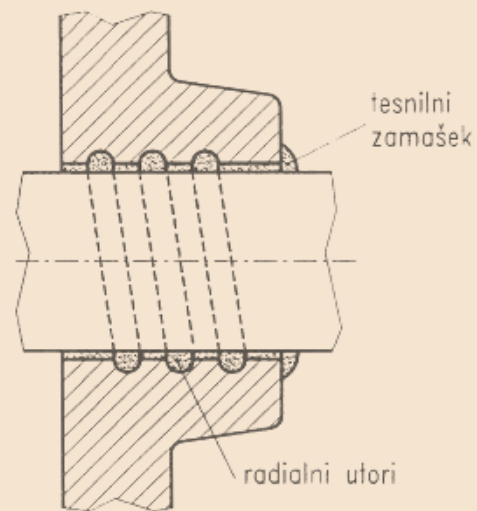
a) izvedba A brez zaščitnega jezička, b) izvedba AS z zaščitnim jezičkom



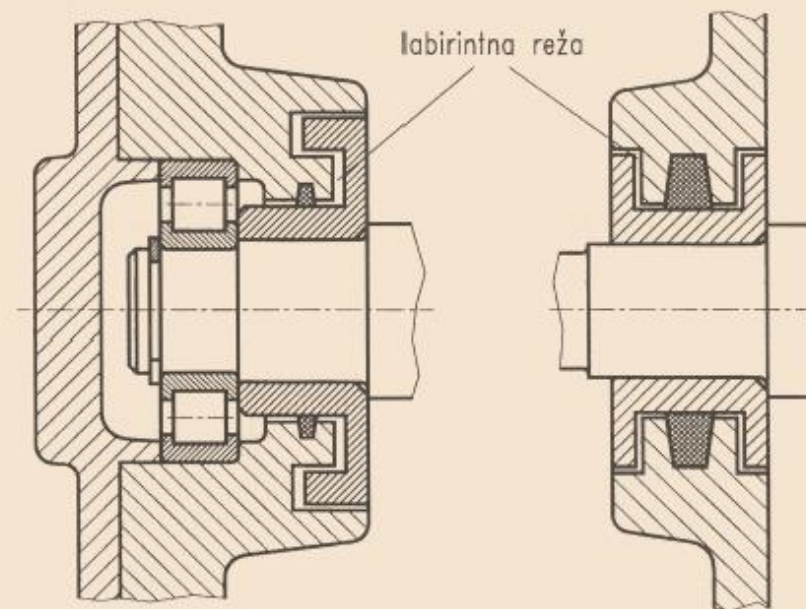
Vgrajena radialna gredna tesnila pri uležajeni gredi



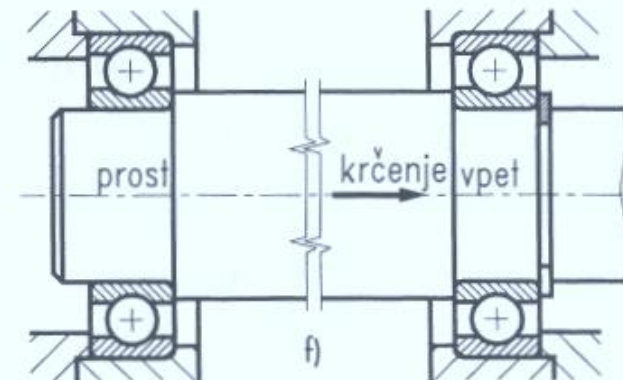
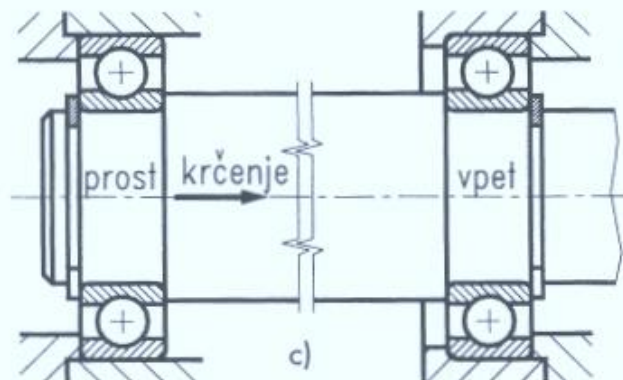
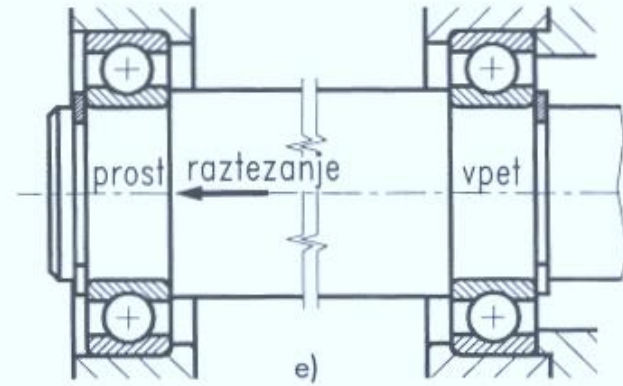
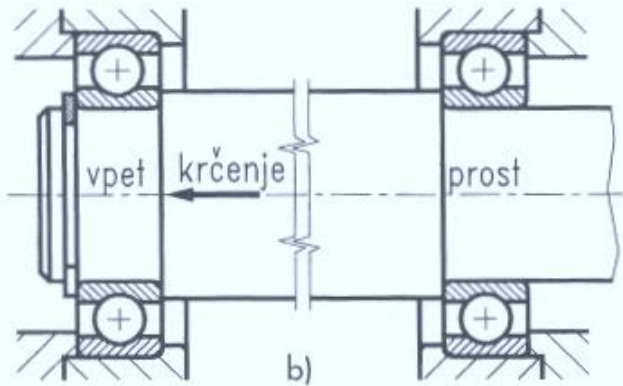
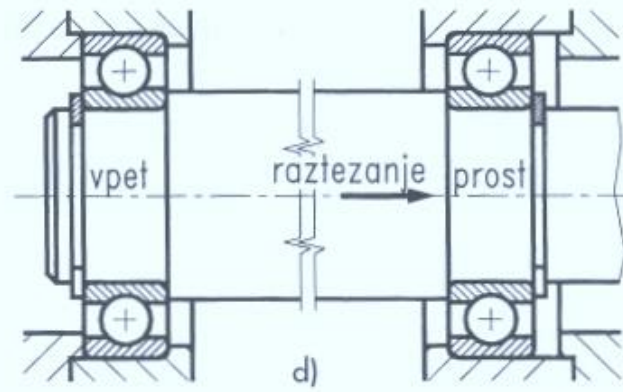
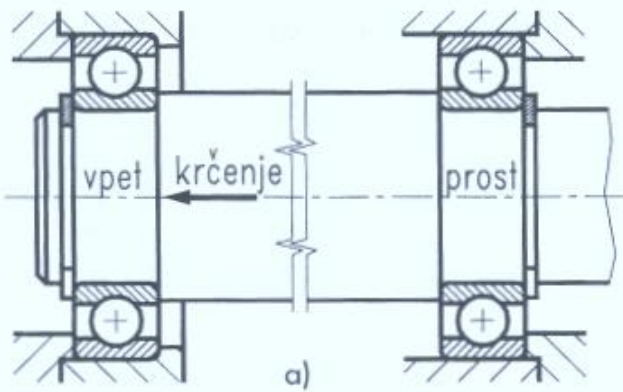
Tesnjenje z ravno režo



Tesnjenje z ravno režo in radialnimi utori



Labirintno tesnjenje



Primeri pravilne vgradnje kotalnih ležajev (en ležaj je vpet, drugi je prost)

Preračun kotalnih ležajev

Dinamična nosilnost ležaja C je tista največja dovoljena obremenitev ležaja, kateri ustreza življenjska doba 10^6 vrtljajev ali tista največja obremenitev, pri kateri se na gradivu ležajnih obročev in kotalnih elementov ne pokažejo znaki utrujenosti, ko je ležaj obratoval 500 ur z vrtilno frekvenco $33,33 \text{ min}^{-1}$.

Statična nosilnost ležaja C_0 je tista dopustna obremenitev ležaja, ki povzroči skupno plastično deformacijo 10^{-3} premera kotalnega elementa.

1) Dinamična nosilnost kotalnih ležajev

$$C = P \cdot \frac{f_L}{f_n \cdot f_\vartheta}$$

C	[N]	dinamična nosilnost ležaja,
P	[N]	dinamična ekvivalentna obremenitev ležaja,
f_L		koeficient življenjske dobe ležaja
f_n		koeficient vrtilne frekvence tečaja
f_ϑ		temperaturni koeficient ležaja

Velikost koeficienta življenjske dobe f_L za kroglične ležaje

L_h [h]	f_L	L_h [h]	f_L	L_h [h]	f_L	L_h [h]	f_L	L_h [h]	f_L
100	0,585	420	0,944	1700	1,50	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4,00
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1,00	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	240	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,80	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2,00	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,30	4400	2,06	18000	3,30	70000	5,19
320	0,8,62	1200	1,34	4600	2,10	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

Velikost koeficienta vrtilne frekvence f_n za kroglične ležaje

n [min^{-1}]	f_n	n [min^{-1}]	f_n	n [min^{-1}]	f_n	n [min^{-1}]	f_n	n [min^{-1}]	f_n
10	1,49	44	0,912	200	0,550	850	0,340	3800	0,206
11	1,45	46	0,898	220	0,533	900	0,333	4000	0,203
12	1,41	48	0,886	240	0,518	950	0,327	4200	0,199
13	1,37	50	0,874	260	0,504	1000	0,322	4400	0,196
14	1,34	55	0,846	280	0,492	1100	0,312	4600	0,194
15	1,30	60	0,822	300	0,481	1200	0,303	4800	0,191
16	1,28	65	0,800	320	0,471	1300	0,295	5000	0,188
17	1,25	70	0,781	340	0,461	1400	0,288	5500	0,182
18	1,23	75	0,776	360	0,452	1500	0,281	6000	0,177
19	1,21	80	0,747	380	0,444	1600	0,275	6500	0,172
20	1,19	85	0,732	400	0,437	1700	0,270	7000	0,168
22	1,15	90	0,718	420	0,430	1800	0,265	7500	0,164
24	1,12	95	0,705	440	0,423	1900	0,260	8000	0,161
26	1,09	100	0,693	460	0,417	2000	0,255	8500	0,158
28	1,06	110	0,672	480	0,411	2200	0,247	9000	0,155
30	1,04	120	0,652	500	0,405	2400	0,240	9500	0,152
32	1,01	130	0,635	550	0,393	2600	0,234	10000	0,149
34	0,993	140	0,620	600	0,382	2800	0,228	11000	0,145
36	0,975	150	0,606	650	0,372	3000	0,223	12000	0,141
38	0,957	160	0,593	700	0,362	3200	0,218	13000	0,137
40	0,941	170	0,581	750	0,354	3400	0,214	14000	0,134
42	0,926	180	0,570	800	0,347	3600	0,210	15000	0,131

Velikost temperaturnega koeficienta f_g

Temperatura ležaja ϑ [$^{\circ}\text{C}$]	≤ 150	200	250	300
Temperaturni koeficient f_g	1,00	0,90	0,75	0,60

$$P = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

V		koeficient načina obremenitve ležaja,
X		dinamični radialni koeficient
F_r	[N]	radialna obremenitev ležaja,
Y		dinamični aksialni koeficient
F_a	[N]	aksialna obremenitev ležaja.

$V = 1,$ če se vrti notranji obroč,
 $V = 1,2 (1,3),$ če se vrti zunanji obroč.

Velikost koeficientov X in Y za radialno – aksialne ležaje

Vrsta ležaja		e	V		$\frac{F_a}{V \cdot F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{V \cdot F_r} > e$	
	$\frac{F_a}{C_0}$		miruje obroč		X	Y	X	Y
			zunanji	notranji				
	0,025	0,22	1	1,2	1	0	0,56	2,0
60	0,04	0,24						1,8
62	0,07	0,27						1,6
63	0,13	0,31						1,4
64	0,25	0,37						1,2
	0,50	0,44						1,0
72 in 73		1,14	1	1,2	1	0	0,35	0,57
3200 do 3210		0,80	1	1,2	1	0,87	0,63	1,24
3211 do 3222		0,95				0,66	0,60	1,07
3302 do 3322		0,95				0,66	0,60	1,07
1200 do 1203		0,31	1	1	1	1,8	0,65	2,8
1204 in 1205		0,27				2,3		3,6
1206 in 1207		0,23				2,7		4,2
1208 in 1209		0,21				2,9		4,5
1210 do 1212		0,19				3,4		5,2
1213 do 1222		0,17				3,6		5,6
2200 do 2204		0,50				1,3		2,0
2205 do 2207		0,37				1,7		2,6
2208 in 2209		0,31				2,0		3,1
2210 do 2213		0,28				2,3		3,5
2214 do 2220		0,26				2,4		3,8
1300 do 1303		0,34				1,8		2,8
1303 in 1305		0,29				2,2		3,4
1306 do 1309		0,25				2,5		3,9
1310 do 1320		0,26				2,8		4,3
2302 do 2304		0,52				1,2		1,9
2305 do 2310		0,43	1,5	2,3				
2311 do 2320		0,39	1,6	2,5				
202 in 203		–	1	1	1	9,5	1	9,5
22205 do 22207		0,32	1	1,2	1	2,1	0,67	3,1
22208 in 22209		0,27				2,5		3,7
22210 do 22220		0,23				2,9		4,4
22222 do 22244		0,26				2,6		3,9
22248 do 22264		0,28				2,4		3,6
22308 do 22310		0,37				1,8		2,7
22311 do 22315		0,35				1,9		2,9
22316 do 22340		0,34				2,0		3,0
22344 do 22356		0,35	1,9	2,9				

Vrsta ležaja		e	V		$\frac{F_a}{V \cdot F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{V \cdot F_r} > e$	
	$\frac{F_a}{C_0}$		miruje obroč		X	Y	X	Y
			zunanji	notranji				
30203 in 30204	0,34	1	1,2	1	0	0,4	1,75	
30205 do 30208	0,37						1,60	
30209 do 30222	0,41						1,45	
30224 do 30230	0,44						1,35	
32206 do 32208	0,37						1,60	
32209 do 32222	0,41						1,45	
nad 32224	0,44						1,35	
30302 in 30303	0,28						2,10	
30304 do 30307	0,31						1,95	
30308 do 30324	0,34						1,75	
32303	0,28						2,10	
32304 do 32307	0,31						1,95	
32308 do 32324	0,34						1,75	

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}}$$

L_h [h]

p eksponent, odvisen od oblike kotalnih elementov.

$p = 3,0$

$p = 10/3$

življenjska doba ležaja,

za kroglične ležaje,

za valjčne, iglične,

stožčaste in sodčkaste ležaje.

Koeficient vrtilne frekvence tečaja f_n lahko izračunamo z enačbo:

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33,33}{n}}$$

$$L = L_0 \left(\frac{f_{\vartheta} \cdot C}{P} \right)^x$$

L	[število vrtljajev]	življenjska doba ležaja,
L_0	[število vrtljajev]	osnovna življenjska doba ležaja; $L_0 = 10^6$ vrtljajev,
C	[N]	dinamična nosilnost ležaja,
P	[N]	dinamična ekvivalentna obremenitev ležaja
f_{ϑ}		temperaturni koeficient ležaja (TAB 123),
x		eksponent.

$$x = 3$$

za kroglične ležaje,

$$x = 10/3$$

za valjčne, iglične, stožčaste in sodčkaste ležaje.

$$L_h = \frac{L}{60n}$$

L_h [h]

L [število vrtljajev]

n [min^{-1}]

življenjska doba ležaja v obratovalnih urah,

življenjska doba ležaja,

vrtlilna frekvenca tečaja.

2) Statična nosilnost kotalnih ležajev

$$C_0 = f_s \cdot P_0$$

C_0	[N]	statična nosilnost ležaja,
f_s		karakteristika statične obremenitve,
P_0	[N]	statična ekvivalentna obremenitev ležaja.

Karakteristika statične obremenitve f_s je običajno v mejah od 1,2 do 2,5. Pri tem velja:

$f_s = 0,8$ do $1,2$	za normalne zahteve po mirnosti obratovanja,
$f_s = 0,5$ do $0,8$	za nezahtevne pogone.

Pri kotalnih ležajih, ki so obremenjeni z radialno in aksialno obremenitvijo, izračunamo statično ekvivalentno obremenitev ležaja z enačbo:

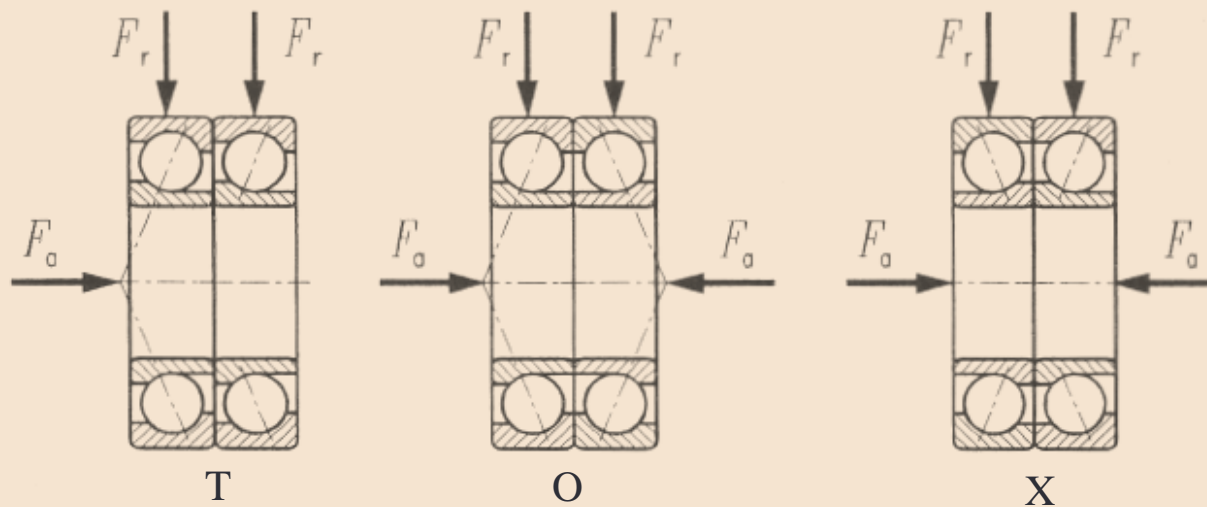
$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a.$$

P_0 [N]	statična ekvivalentna obremenitev ležaja
X_0	statični radialni koeficient
F_r [N]	radialna obremenitev ležaja
Y_0	statični aksialni koeficient
F_a [N]	aksialna obremenitev

Velikost statičnih koeficientov X_0 in Y_0 za radialne kroglične ležaje in radialne kroglične ležaje s poševnim dotikom

Vrsta ležaja		Enoredni ležaji		Dvoredni ležaji	
		X_0	Y_0	X_0	Y_0
Enostavni radialni kroglični ležaji		0,6	0,5	0,6	0,5
radialni kroglični ležaji s poševnim dotikom ¹⁾	posamezni ležaj ali T-razporeditev v nizu	0,5	0,26	1	0,63
	O- ali X-razporeditev v nizu	1	0,52		

¹⁾ Razporeditev radialnih krogličnih ležajev s poševnim dotikom v nizu prikazujejo spodnje slike.



4. primer

Enostavni kroglični ležaj po SIST ISO 15 (DIN 625) premera $d = 40$ mm je obremenjen z radialno silo $F_r = 1200$ N. Izberi vrsto ležaja, kontroliraj njegovo življenjsko dobo in vrtilno frekvenco, če ležaj obratuje z vrtilno frekvenco $n = 1440 \text{ min}^{-1}$ pri temperaturi nižji od 100 °C. Življenjska doba stroja, v katerega je ležaj vgrajen, naj bo najmanj 18000 ur.

Rešitev

1 Izbira ležaja

Ležaj izberem glede na njegovo dinamično nosilnost.

$$C = P \cdot \frac{f_L}{f_n \cdot f_g} = 1200 \cdot \frac{3,30}{0,2852 \cdot 1} \approx 13885 \text{ N}$$

Ker je ležaj obremenjen samo z radialno obremenitvijo, izračunam dinamično ekvivalentno obremenitev ležaja

$$P = F_r = 1200 \text{ N}$$

$$f_L = 3,30$$

$$f_n = 0,2852$$

$$f_g = 1$$

Glede na izračunano dinamično nosilnost izberem iz SP 659 ležaj z oznako **6008**, ki ima naslednje podatke: $d = 40$ mm, $D = 68$ mm, $b = 15$ mm, $C = 16800$ N.

2 Kontrola življenjske dobe izbranega ležaja

Dejansko življenjsko dobo ležaja

$$L = L_0 \cdot \left(\frac{f_g \cdot C}{P} \right)^x = 10^6 \left(\frac{1 \cdot 16800}{1200} \right)^3 = 2744 \cdot 10^6$$

$L_0 = 10^6$ vrtljajev

$x = 3$

Življenjsko dobo ležaja v obratovalnih urah

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot n} = \frac{2744 \cdot 10^6}{60 \cdot 1440} \approx 31759 \text{ ur}$$

Ker je dejanska življenjska doba ležaja večja od zahtevane, izbrani ležaj ustreza.

5. primer

Vmesna gred zobniškega gonila je uležajena s krogličnima ležajema s poševnim dotikom po SIST ISO 15 (DIN 628). Premer tečajev $d = 30$ mm, gred se vrti z vrtilno frekvenco $n = 600$ min^{-1} . Na vsak ležaj deluje radialna sila $F_r = 1000$ N in aksialna sila $F_a = 2000$ N. Ležaja sta na gred pritrjena s tesnim ujemom, tako da se skupaj z gredjo vrtita notranja obroča ležajev. Izberi ležaja, kontroliraj njuno življenjsko dobo in vrtilno frekvenco, če je zahtevana življenjska doba $L_h = 20000$ ur. Ležaja obratujeta pri temperaturi 45 $^{\circ}\text{C}$.

Rešitev

1 Izbira ležaja

Ležaj izberem glede na njegovo dinamično nosilnost.

$$C = P \cdot \frac{f_L}{f_n \cdot f_g} = 1490 \cdot \frac{3,42}{0,382 \cdot 1} \approx 13340 \text{ N}$$

Orientacijsko izberem iz SP 661 ležaj z oznako 7206 in ga kontroliram.

Ker je ležaj obremenjen z radialno in aksialno obremenitvijo, izračunam ekvivalentno obremenitev ležaja

$$P = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 0,35 \cdot 1000 + 0,57 \cdot 2000 = 1490 \text{ N}$$

$$V = 1$$

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{2000}{1 \cdot 1000} = 2 > e \quad \Rightarrow \quad X = 0,35, Y = 0,57 \quad (\text{TAB 124})$$

$$e = 1,14$$

$$f_L = 3,42$$

$$f_n = 0,382$$

$$f_g = 1$$

Ker je izračunana potrebna dinamična nosilnost ležaja manjša od tiste, ki jo ležaj ima, predpostavljani ležaj z oznako **7206** ustreza. Izbrani ležaj ima naslednje podatke: $d = 30$ mm, $D = 62$ mm, $b = 16$ mm, $C = 23800$ N.

2 Kontrola življenjske dobe izbranega ležaja

Dejansko življenjsko dobo ležaja izračunam z enačbo

$$L = L_0 \cdot \left(\frac{f_g \cdot C}{P} \right)^x = 10^6 \left(\frac{1 \cdot 23800}{1490} \right)^3 \approx 4075 \cdot 10^6$$

$L_0 = 10^6$ vrtljajev (osnovna življenjska doba
 $x = 3$)

Življenjsko dobo ležaja v obratovalnih urah izračunam z enačbo

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot n} = \frac{4075 \cdot 10^6}{60 \cdot 600} \approx 113194 \text{ ur}$$

Ker je dejanska življenjska doba ležaja večja od zahtevane, izbrani ležaj ustreza.

6. primer

Enoredni valjčni ležaj po SIST ISO 15 (DIN 5412) s premerom $d = 50$ mm se vrti z vrtilno frekvenco $n = 930 \text{ min}^{-1}$ in prenaša radialno silo $F_r = 9300$ N pri temperaturi $\vartheta = 175$ °C. Izberi ustrezeni valjčni ležaj, če je zahtevana življenjska doba $L_h = 25000$ ur.

Rešitev

izračunam dinamično nosilnost ležaja:

$$C_{\min} = \frac{P}{f_{\vartheta}} \cdot \sqrt[x]{\frac{L_h \cdot n \cdot 60}{L_0}} = \frac{9300}{0,95} \cdot \sqrt[10]{\frac{25000 \cdot 930 \cdot 60}{10^6}} \approx 85927 \text{ N}$$

Ker je ležaj obremenjen samo z radialno obremenitvijo, izračunam dinamično ekvivalentno obremenitev ležaja

$$P = F_r = 9300 \text{ N}$$

$$f_{\vartheta} = 0,95$$

$$L_0 = 10^6 \text{ vrtljajev}$$

$$x = 10/3$$

IZ SP 664 izberem enoredni valjčni ležaj z oznako **NU310**, ki ima naslednje podatke: $d = 50$ mm, $D = 110$ mm, $b = 27$ mm, $C = 110000$ N.

7. primer

Vrtljivi steber žerjava je uležajen z enorednim aksialnim krogličnim ležajem po SIST ISO 104 (DIN 711), ki prenaša največjo statično obremenitev $F_a = 450000$ N. Ležaj se vrti z vrtilno frekvenco $n = 7 \text{ min}^{-1}$. Izberi ustrezeni ležaj, če je premer tečaja $d = 90$ mm.

Rešitev

Ker se ležaj vrti z vrtilno frekvenco $n < 10 \text{ min}^{-1}$, ga izbiram glede na njegovo statično nosilnost. Izračunam jo z enačbo 2.43:

$$C_0 = f_s \cdot P_0 = 0,9 \cdot 450000 = 405000 \text{ mm}$$

$$f_s = 0,8 \text{ do } 1,2$$

Ker je ležaj obremenjen samo z aksialno obremenitvijo, izračunam statično ekvivalentno obremenitev ležaja z enačbo

$$P_0 = F_a = 450000 \text{ N}$$

Iz SP 673 izberem enoredni aksialni kroglični ležaj z oznako **51318**, ki ima naslednje podatke: $d = 90$ mm, $D = 155$ mm, $b = 50$ mm, $C_0 = 500000$ N.