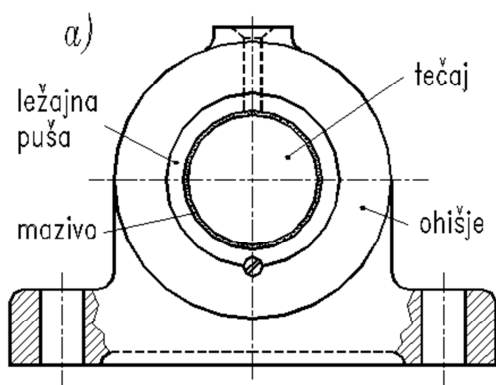


3.4 LEŽAJI

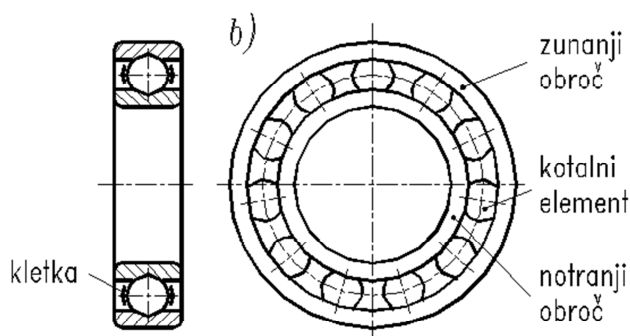
LASTNOSTI IN RAZDELITEV LEŽAJEV

- Ležaji so podpore tečajev gredi, osi in sornikov ter omogočajo vrtenje ali pregibanje.
- V največ primerih se vrtijo vležajeni deli (gredi) in le redko elementi z ležaji, tečaji pa mirujejo.
- Ležaji prenašajo zunanje obremenitve z vrtečih se delov na mirujoče in obratno.

Ležaje delimo po vrsti trenja:



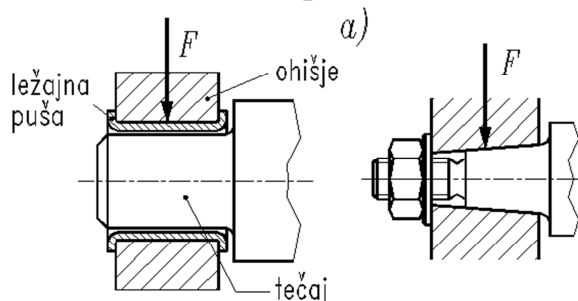
a) drsni ležaj,



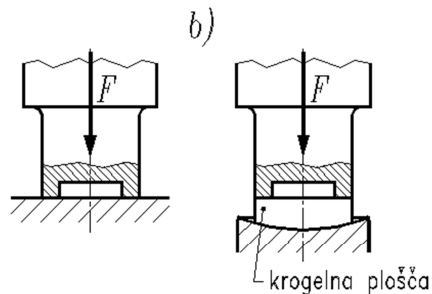
b) kotalni ležaj

• **Ležaje delimo po smeri prenašanja obremenitve:**

- radialni (prečni) ležaji, pri katerih deluje obremenitev pravokotno na geometrijsko os gredi in ležajev,
- aksialni (vzdolžni) ležaji, pri katerih deluje obremenitev v osi ležajev,
- kombinirani, pri katerih delujeta na ležaj prečna in vzdolžna obremenitev (poševna obremenitev).



a) radialni (prečni),



b) aksialni (vzdolžni) ležaji

- Pravilna izbira ležajev je pogosto odločilna za pravilno delovanje in zagotovitev predvidene življenjske dobe stroja ali naprave, v katero so vgrajeni.

- Za pravilno izbiro ležaja je predvsem pomembno poznati pogoje, v katerih bo ležaj obratoval (čas trajnega obratovanja, temperatura, način obremenitve, vrtilna frekvenca itd.) in lastnosti ležaja. Te pa so pri drsnih in kotalnih ležajih različne.

3.4.1 Drsní ležaji

Prednosti drsnih ležajev

- lahko so deljeni v prečni smeri in zato lahko imajo manjše zunanje premere.
- Njihova izdelava je enostavna in jih lahko izdelamo v vsaki malo boljše opremljeni delavnici.
- Pri popolnem mazanju imajo majhen torni količnik in dolgo življenjsko dobo. Tečejo mirno in tiho ter niso občutljivi za udarce in prah.
- Primerni so za ekstremno velike vrtilne frekvence.

Pomanjkljivosti drsnih ležajev

- Torni količnik je odvisen od relativne hitrosti drsečih površin in dvojenja materialov tečaja in ležaja.
- Poraba maziva je velika.
- Zahtevajo skrbno vzdrževanje.
- V vzdolžni smeri zavzemajo veliko prostora.
- Izdelava je draga in potrebno je utekanje novih ležajev.

Kotalni ležaji

Prednosti kotalnih ležajev

- Imajo enostavnejše in manj zahtevno vzdrževanje.
- Torni količnik ni odvisen niti od materiala tečaja niti od hitrosti.
- So standardizirani, zato jih ne izdelujemo sami, ampak jih kupujemo.
- Njihova cena je v primerjavi z drsnimi ležaji nizka, ker se izdelujejo masovno na visoko produktivnih strojih.
- V vzdolžni smeri zavzamejo malo prostora, zato jih lahko vgradimo v tanjše stene in pokrove.
- Utekanje novih ležajev ni potrebno.

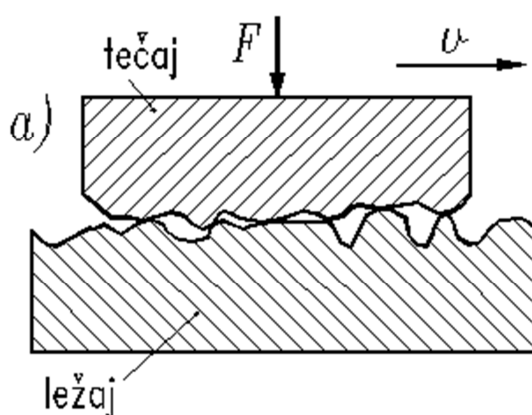
Pomanjkljivosti kotalnih ležajev

- Občutljivi so za udarce in prah.
- Zato zahtevajo skrbno in kakovostno tesnjenje.
- Življenjska doba in velikost vrtilne frekvence sta omejeni.
- Niso deljivi (v večini primerov) in so vedno nekoliko hrupni.

DRSNI LEŽAJI

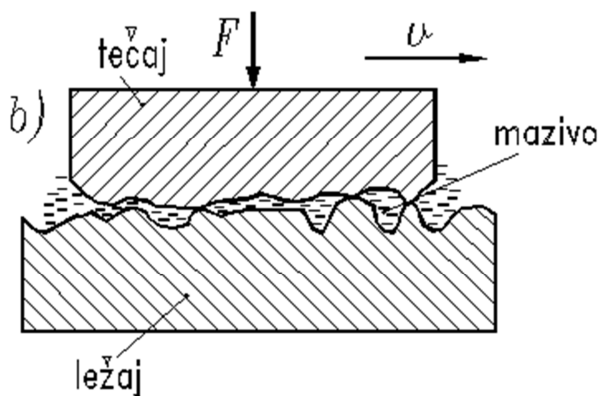
Trenje v drsnih ležajih

- *Trenje je odpor, ki se pojavlja na dotikalnih površinah dveh teles in preprečuje drsenje enega po drugem.*
- Če sta površini suhi, se pojavlja suho trenje, če sta površini mazani, pa trenje, ki je lahko mejno, mešano ali tekočinsko trenje
- **Suho trenje** se pojavi, če tečaj drsi neposredno po ležajni puši brez prisotnosti maziva. ($\mu = 0,3$). Takšnega trenja ne smemo dopuščati trajno, ker se ležaj zaradi velikega tlaka in temperature pokvari (zariba).

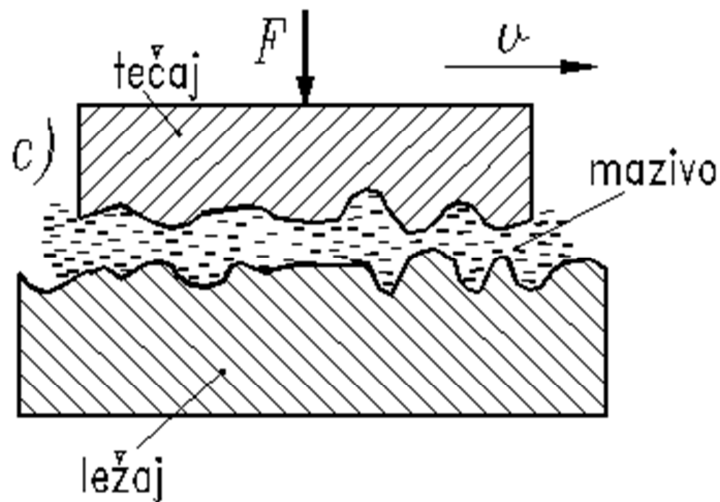


Mejno trenje - tečaj ne drsi neposredno po ležajni blazinici. Površini tečaja in ležajne blazinice sta dovolj gladki, hitrost pa je premajhna, da bi zaradi hidrostaticnega ali hidrodinamičnega tlaka nastopilo tekočinsko trenje. ($\mu = 0,1$ do $0,3$).

Mešano trenje nastopi pri mazanih dotikalnih površinah tečaja in ležajne puše ob zagonu. Površini se med seboj gladita, in ko sta dovolj zglajeni, ležaj steče (lahko ga polno obremenimo). ($\mu = 0,05$ do $0,1$)

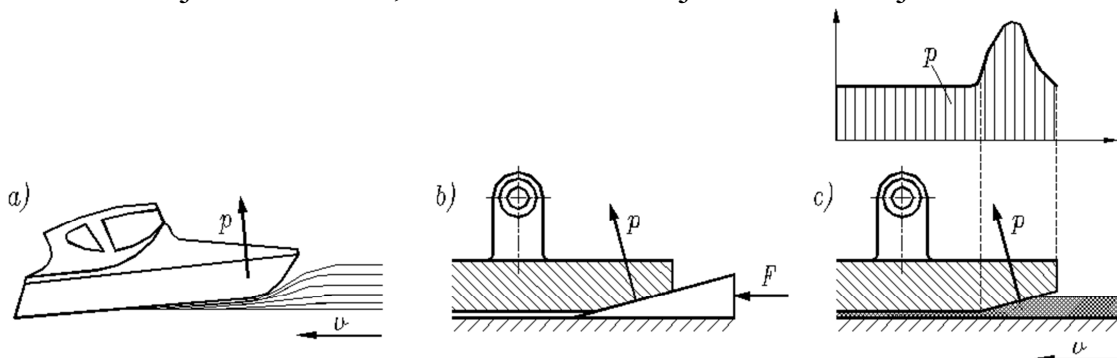


Tekočinsko trenje nastane v drsnem ležaju, ko je hidrostatični ali hidrodinamični tlak v ležaju tako velik, da loči tečaj od ležaja. Tako tečaj v ležaju zaplava. To je idealno trenje, ki ga lahko dosežemo v drsnem ležaju. ($\mu = 0,01$ do $0,005$). V resnici tekočinskega trenja v celoti nikoli ne dosežemo, ampak se mu želimo čim bolj približati.



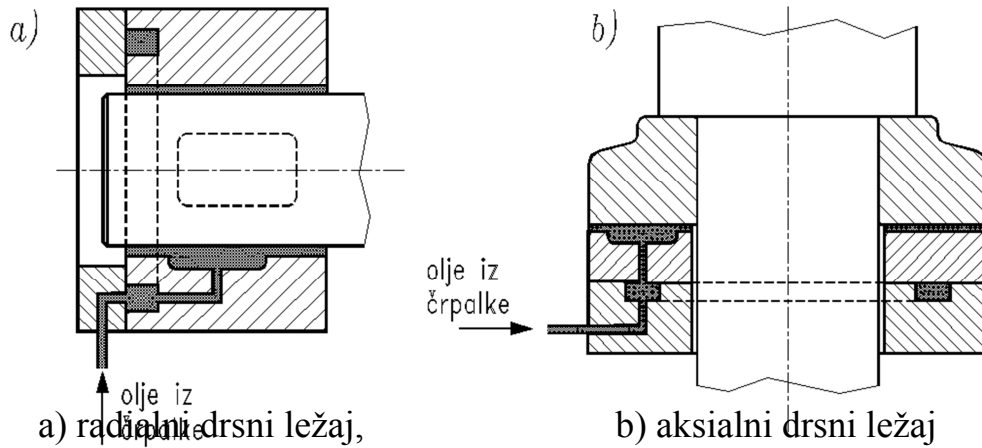
Tekočinsko trenje v drsnih ležajih

- Nastopi, če so izpolnjeni naslednji pogoji:
 - vmesni prostor med tečajem in ležajno pušo mora biti klinaste oblike,
 - vmesni prostor mora biti popolnoma zapolnjen z mazivom,
 - hitrost mora biti dovolj velika.
- Tekočinsko trenje dosežemo:
 - s hidrodinamičnim mazanjem - tlak v mazivu, ki drži ravnotežje zunanji obremenitvi, dosežemo z dovolj veliko hitrostjo.

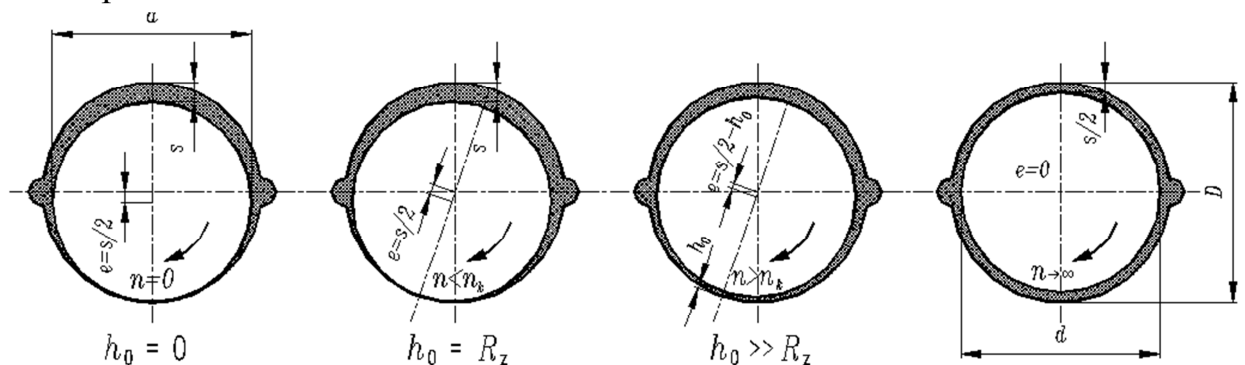


Ležaj s hidrodinamičnim mazanjem imenujemo hidrodinamični drsni ležaj.

- Hidrostaticno mazanje – dosežemo ga s hidrostaticnim tlakom, ki ga ustvarimo tako, da s črpalko (tlačilko) dovajamo mazivo v vmesni prostor med tečaj in ležajno pušo ali ležajno blazinico. V mirovanju pa hidrostaticni tlak drži ravnovesje zunanji obremenitvi.



- Pri radialnih drsnih ležajih dosežemo tekočinsko trenje z:
 - klinasto obliko vmesnega prostora med tečajem in ležajem (ohlapni ujem),
 - popolno zapolnitvijo prostora z mazivom,
 - dovolj veliko hitrostjo – vrtilno frekvenco,
- Z naraščanjem vrtilne frekvence n se večja debelina oljnega filma h_o , središče tečaja se približuje središču puše. Pri $n \Rightarrow \infty$, obe središči sovpadeta.



- Tlak v ležaju po obodu narašča, tako da je njegova rezultanta v ravnovesju z zunanjo obremenitvijo F . Velikost največjega tlaka p_{maks} je odvisna od širine ležaja, kar vpliva tudi na nosilnost ležaja. Potek tlaka po obodu in širini ležaja je parabolichen, na koncih pa pade na vrednost $p = 0$

Mazanje drsnih ležajev

- Z mazanjem zmanjšamo trenje in odvedemo toploto iz ležaja, s tem zmanjšamo obrabo in podaljšamo življenjsko dobo ležaja.
- Za mazanje drsnih ležajev uporabljamo tekoča, gosta in trdna maziva.

Maziva za drsne ležaje

- Za pravilno izbiro maziva so odločilne njegove kemične in fizikalne lastnosti.
- **Kemične lastnosti maziv** so: nevtralizacijsko število, katransko število, vsebina pepela, vsebina vode, emulzijska trdnost, odpornost proti staranju itd.
- **Fizikalne lastnosti maziv** so: gostota, viskoznost, plamenišče, kapljišče, strdišče in penetracija.
- **Gostota**
 - je pri 15 °C skoraj pri vseh oljih manjša od 1000 kg/m³.
 - Kakovostna stabilna olja s parafinsko osnovo imajo gostoto okrog 870 kg/m³, naftna imajo nekaj večjo, olja z asfaltno osnovo pa se večjo.
 - Sintetična olja iz premogovega katrana dosegajo gostoto 1100 do 1200 kg/m³.
 - V splošnem sta gostota in viskoznost toliko manjši, kolikor več vodika vsebujejo ogljikovodiki, ki sestavljajo olje.
- **Viskoznost**
 - pove, kolikšen je odpor proti pretakanju zaradi notranjega trenja v tekočini.
 - Je najpomembnejši podatek pri izbiri olja za določen ležaj.
 - Razlikujemo **dinamično viskoznost η** in **kinematično viskoznost ν** .

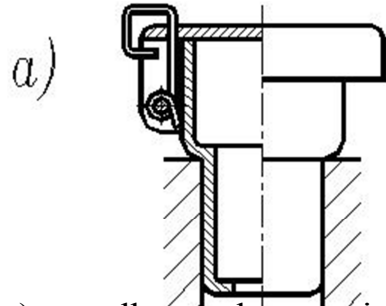
Načini mazanja drsnih ležajev

- Način mazanja drsnih ležajev je odvisen od:
 - vrste stroja ali naprave,
 - hitrosti,
 - temperature,
 - obremenitve,
 - vrste maziva,
 - velikosti in oblike ležaja.
- Razlikujemo **občasno** in **stalno mazanje** drsnih površin z oljem ali mastjo.
- Občasno mazanje je primerno le za ležaje, ki ne obratujejo trajno. Izvedeno je z mazalkami, katerih oblika je odvisna od maziva. Stalno ali neprekinjeno mazanje pa je primerno za vse ležaje, ki obratujejo trajno. Izvedeno je z mazalkami ali mazalnim sistemom.

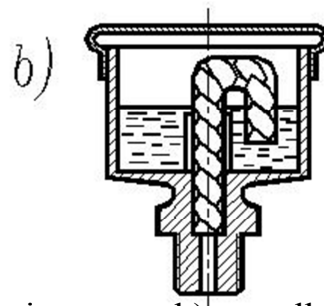
Mazanja drsnih ležajev z oljem

Ročno mazanje

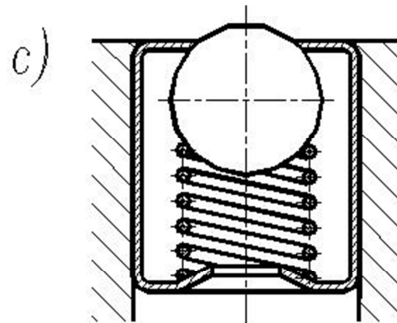
- Dovoljeno je le za ležaje podrejenega namena.
- Z mazalkami za ročno mazanje lahko mažemo občasno ali stalno.



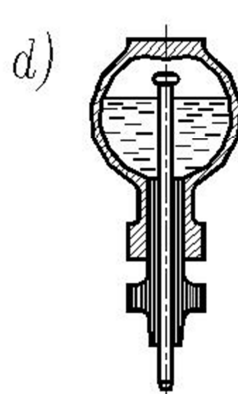
a) mazalka s pokrovom in vzmetjo,



b) mazalka s stenjem,



c) mazalka s kroglico in vzmetjo,



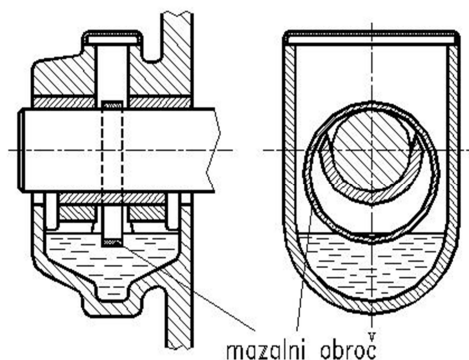
d) mazalka z iglo

- **Potapljalno mazanje drsnih ležajev**

-

- Izvedeno je z mazalnim obročem, ki se prosto vrti na tečaju.
- Ta način mazanja je zelo enostaven in zato zelo razširjen.

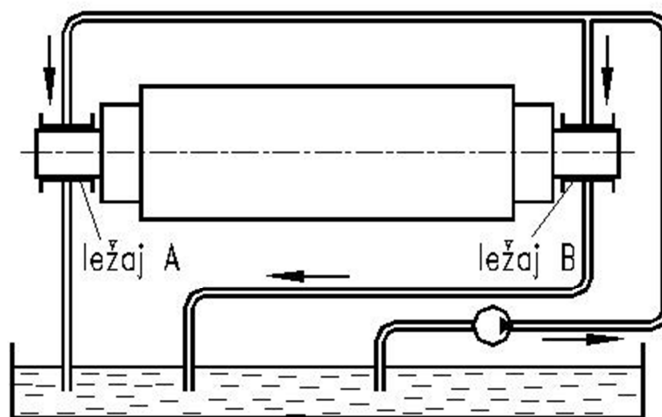
Uporablja se za mazanje drsnih ležajev, pri katerih je vrtilna frekvenca v mejah $80 < n < 3000 \text{ min}^{-1}$.



- **Obtočno mazanje drsnih ležajev**

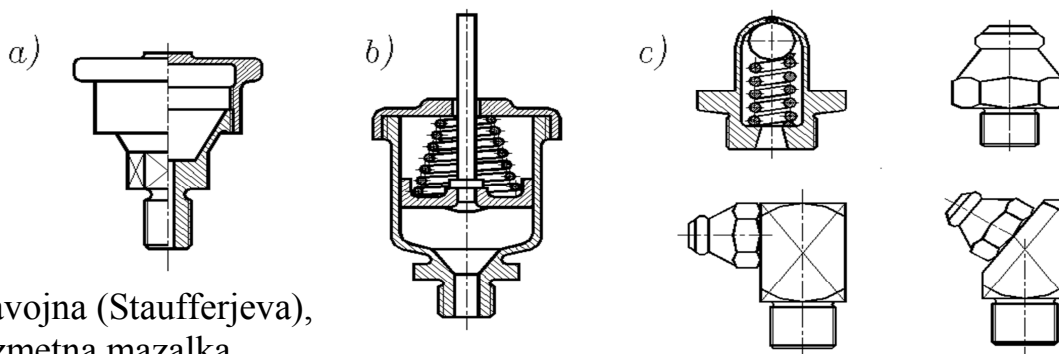
- Uporablja se pri uležajenjih zahtevnejših pogonov.

- Olje, ki ga po cevovodih poganja črpalka, stalno kroži med ležaji in rezervoarjem, zato takšno mazanje imenujemo tudi cirkulacijsko ali tlačno mazanje.
- Tlak olja v cevovodih je od 0,05 do 0,5 MPa (0,5 do 5 bar). V posebnih primerih pa je v povratni cevovod vgrajen se hladilnik za olje.



Mazanje drsnih ležajev z mastjo

- Z mastmi mažemo le malo obremenjene drsne ležaje in ležaje, ki obratujejo v prašnatih prostorih.
- Takšno mazanje je enostavno in poceni. Del masti se nabere na zunanjih čelnih površinah ležaja in ustvari tesnilni obroč, ki varuje ležaj pred vstopom prašnih delcev:
- Poraba masti je majhna, saj ležaj mažemo samo tedaj, ko obratuje.
- Ker pri mazanju z mastmi ne moremo niti v najugodnejšem primeru doseči tekočinskega trenja, je tak način mazanja uporaben le za počasne ležaje z drsno hitrostjo, manjšo od 2 m/s.



- a) navojna (Stauferjeva),
 b) vzmetna mazalka,
 c) visokotlačne mazalke.

Mazanje drsnih ležajev s trdnimi mazivi

- Ta način mazanja uporabljamo le pri drsnih ležajih, ki obratujejo z nizkimi hitrostmi in v katerih so visoki površinski tlaki. Pri takšnih

pogojih bi bilo mazanje z oljem ali mastjo zaradi visokih tlakov in temperatur neuspešno.

- Mazalno sredstvo je največkrat svinec, grafit, MoS_2 , ali WS_2 .

Gradiva za drsne ležaje

- Drsni ležaji so v izjemnih primerih izdelani iz enega kosa (iz istega materiala). V večini primerov so sestavljeni iz ohišja in ležajne puše ali ležajne blazinice.
- Gradivo, iz katerega se izdelujejo ležajne puše ali ležajne blazinice, mora ustrezati naslednjim zahtevam:
 - zaradi zunanjih obremenitev se mora elastično in tudi plastično deformirati (*prilagodljivost*),
 - trajno mora prenašati tlačne obremenitve (*tlačna trdnost*),
 - biti mora združljivo z materialom tečaja (*kompatibilnost*),
 - pri visokih temperaturah se ne sme zvariti z materialom tečaja (*odpornost proti zaribanju*),
 - imeti mora takšno strukturo, da se na dotikalni površini pod obremenitvijo in ob deformacijah ne delajo brazde (*majhno nagnjenje k ustvarjanju brazd*),
 - pod vplivom obremenitve in deformacij se mora s tečajem gladiti (*sposobnost utekanja*),
 - odporno mora biti proti spremembam drsne površine, če bi zaradi mehanskih vzrokov prišlo do trganja majhnih delčkov iz površine (*odpornost proti obrabi*),
 - omogočati mora zanesljivo obratovanje tudi pri pomanjkljivem mazanju (*ugoden torni količnik*),
 - zagotoviti mora dobro odvajanje toplote iz ležaja (*toplotna prevodnost*).
- **Gradiva, ki jih uporabljamo za drsne ležaje:**

Siva litina

- Primerna je le za malo obremenjene ležaje in majhne hitrosti.

Broni

- So skupno ime za skupino bakrovih zlitin, v katerih ni cinka ali pa je ta stranski element.

Kositrova brona za litje P Cu Sn 14 in P Cu Sn 20.

- So zelo razširjeni materiali za ležajne puše, ker imajo ugodne trdnostne lastnosti in majhen torni količnik. Če morajo biti tudi odporni proti koroziji, uporabljamo zlitino z oznako **Cu Sn9**.

Svinčev bron P Cu Pb 25

- Je cenejši od kositrovega bronu.
- Lahko prenaša večje obremenitve in je bolj odporen proti obrabi.

Kositrovo-svinčeva bron P. Cu Sn 10 Pb 5 in P Cu Sn 7 Pb 15

- Združujeta dobre lastnosti kositrovih in svinčevih bronov:

Rdeča litina ali strojni bron

- P. Cu Sn10 Zn 2, C. Cu Sn 7 Pb 6 Zn 4 in P Cu Sn 7 Pb 6 Zn 4
- ima večjo trdnost in boljšo livnost kot kositrov bron,

Aluminijev bron - Cu Al 5, Cu Al 9 Fe 4 in Cu Al 9 Mn 2

- Nadomešča dragi svinčev bron.

Silicijev bron

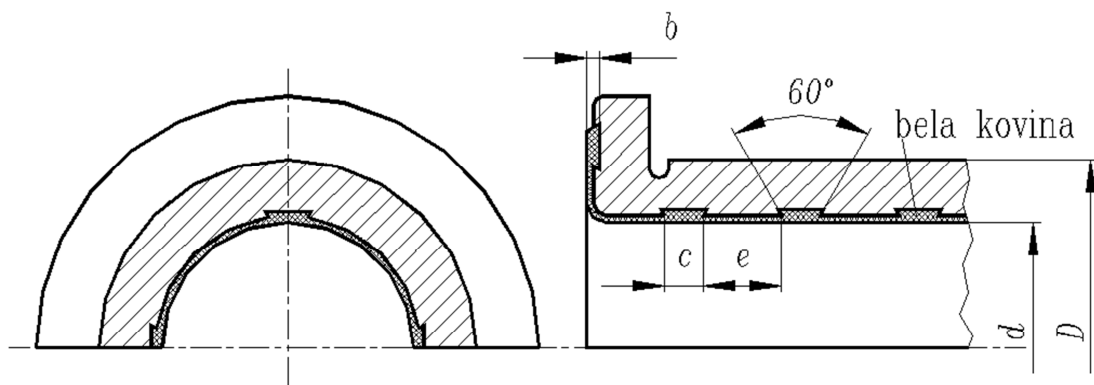
- Cu Si 3 in Cu Si 3 Mn 1
- Imata enake mehanske in tehnološke lastnosti kot kositrovi bron.
- Zaradi veliko nižje cene jih uspešno zamenjujeta.

Medi

- So bakrove zlitine, v katerih je najpomembnejši element cink.
- Puše drsnih ležajev so le redko izdelane iz medi, ker cink trga tečaj.

Bela kovina

- Je kositrova zlitina, ki se zaradi odličnih drsnih lastnosti imenuje tudi ležajna kovina.
- Običajne debeline nalitega sloja (ležajne blazinice) iz bele kovine so od 0,5 do 6 mm.
- Da zagotovimo trdno povezavo nalitega sloja in osnovne jeklene puše, mora biti površina puše oblikovana z utori v obliki lastovičjega repa.



Aluminijeve zlitine

- Uporabljamo jih v primerih, ko so tudi ohišja iz lahkih kovin.
- Zaradi dobre toplotne prevodnosti aluminija se iz takih ležajev dobro odvaja toplota.

Cinkove zlitine

- Vsebujejo običajno več kot 50 % Zn, drugi legirni elementi pa so: Al, Cu, Mn, Pb in Sn.
- Te ležajne zlitine se dobro prilagajajo obratovalnim razmeram in imajo ugodne drsne lastnosti tudi v območju mešanega trenja (pri zagonu).

Kadmijeve zlitine

- so zlitine kadmija z bakrom, nikljem, srebrom in njihovimi spojinami.
- Primerne so za malo obremenjene ležajne blazinice.

Sintrane kovine

- Sestavljene so iz prahu, to je drobnih zrnč čistih kovin, zlitin, nekovin in spojin.
- Sintrane ležajne puše zaradi poroznosti vpijejo veliko maziva, ki kasneje pri obremenitvi ležajne puse prihaja na površino.

Umetne mase

- Imajo zelo ugodne drsne lastnosti, majhno težo in so zelo odporne proti kemičnim vplivom.
- Njihova slaba stran je velika toplotna razteznost in lezenje.
- Za drsne lezaje lahko uporabljamo termo- in duroplaste.

Drsni ležaj iz slojnih stiskancev (tekstolita)

- Takšni ležaji imajo ugoden torni količnik, majhno težo in so zelo odporni proti obrabi.

Drsni ležaji iz poliamida (najlon)

- imajo veliko trdnost, ugodne drsne lastnosti, dobro dušijo udarce in nihanja in so odporni proti obrabi.
- Njihova slaba stran je velika higroskopičnost (vpijajo vodo).
- Debelina najlonske blazinice je ponavadi 0,1 do 0,5 mm.

Drsni ležaji iz poliuretanov (vulkolan)

- Po lastnostih so podobni poliamidnim, so pa manj občutljivi za vlago.

Drsni ležaji s teflonsko prevleko

- Imajo samomazalne sposobnosti. Prevleka je namreč impregnirana s sestavinami, ki mažejo.

- Še posebej so tovrstni ležaji primerni za stroje in naprave, ki obratujejo pod vodo.

Drsni ležaji iz **fuoriranih ogljikovodikov** (posebne vrste voskov)

- So zelo odporni proti kislinam in lugom.
- Primerni so za obratovalne temperature od -270 do + 260 C.
- Njihova slaba stran je leženje pod obremenitvijo in nekaj slabša odpornost proti obrabi.

- **Mehka guma**

- Je primerna za izdelavo ležajnih puš za drsne ležaje.
- Uporablja se predvsem za ležaje, ki obratujejo pod vodo.

Les

- Se kot ležajno gradivo uporablja le izjemoma.
- Lesene drsne ležaje najdemo v ladjedelništvu, pri tekstilnih strojih in pri črpalkah, zaradi odpornosti lesa proti morski vodi.

Steklo in keramika

- sta le izjemoma uporabni kot ležajni gradivi.
- Steklene in keramične ležaje srečamo le v finomehaniki (urarska industrija), v kemični industriji in v elektrotehniki.

Grafit in oglje

- sta kot ležajni gradivi primerna le za visoke temperature do 350 °C, ko ležajev ni mogoče mazati z oljem ali zaradi kemičnih vplivov.

Preračun drsnih ležajev

Preračun radialnih drsnih ležajev

- Prvi del preračuna, ki je lahko hidrostaticen (za majhne obodne hitrosti) ali hidrodinamičen (za velike obodne hitrosti in tekočinsko trenje), določa:

1. **Izbira ležajnega gradiva**

2. **Velikost ležaja**

- Določena je s premerom tečaja d , premerom ležajne puše ali ležajne blazinice D in širino ležaja b .
- Obe meri sta v določenem razmerju, ki ga imenujemo **konstruktivna karakteristika ležaja φ**

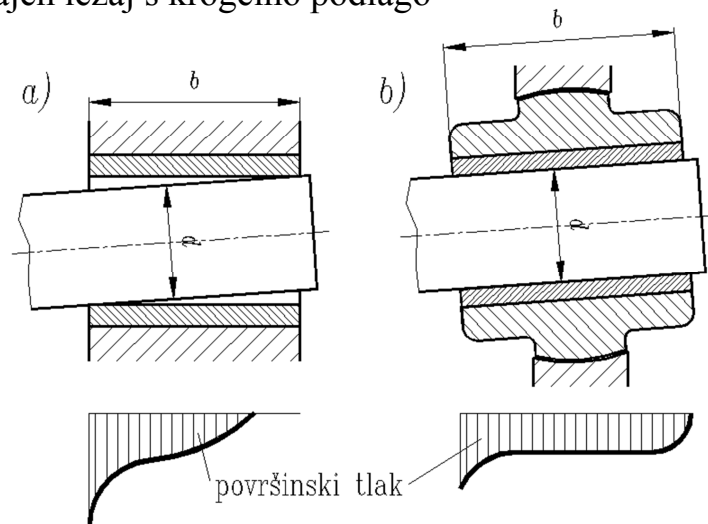
$$\varphi = \frac{b}{d} \geq 0,4 \text{ do } 1$$

V praksi dajemo prednost ožjim ležajem, ker je pri njih manjša razlika med teoretično in dejansko dolžino naleganja tečaja na ležajno pušo, ki nastane zaradi upogiba osi oz. gredi. Temu se lahko izognemo, če ležaje vgradimo pomično.

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

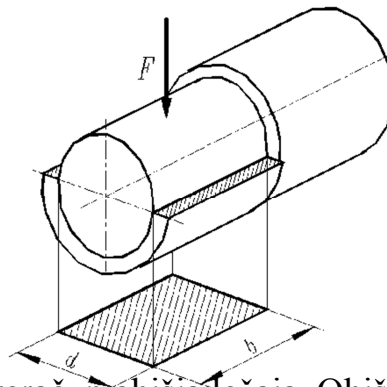


3. Srednji površinski tlak v ležaju

- Pri hidrostaticnih ležajih je to tlak med tečajem in ležajno pušo,
- Pri hidrodinamičnih ležajih je to srednji tlak olja.

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

p_{dop} [Mpa] -dopustni površinski tlak (TAB 103, TAB 104 in TAB 108).



Trdnostni preračun radialnih drsnih ležajev

- Ta del preračuna drsnih ležajev zajema preračun ohišja ležaja. Ohišje je lahko eno- ali dvodelno. Poleg ohišja je treba kontrolirati tudi vijake, ki spajajo podstavek in pokrov dvodelnega ležaja, in vijake, s katerimi je ležajno ohišje pritrjeno na podlago.
- kontrola natezne napetosti vijakov, ki vežejo podstavek in pokrov ležaja:

$$\sigma = \frac{F}{n \cdot A_1} \leq \sigma_{dop}$$

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{p0,2}}{\nu}$$

- Kontrola vijakov, s katerimi je ohišje pritrjeno na podlago:

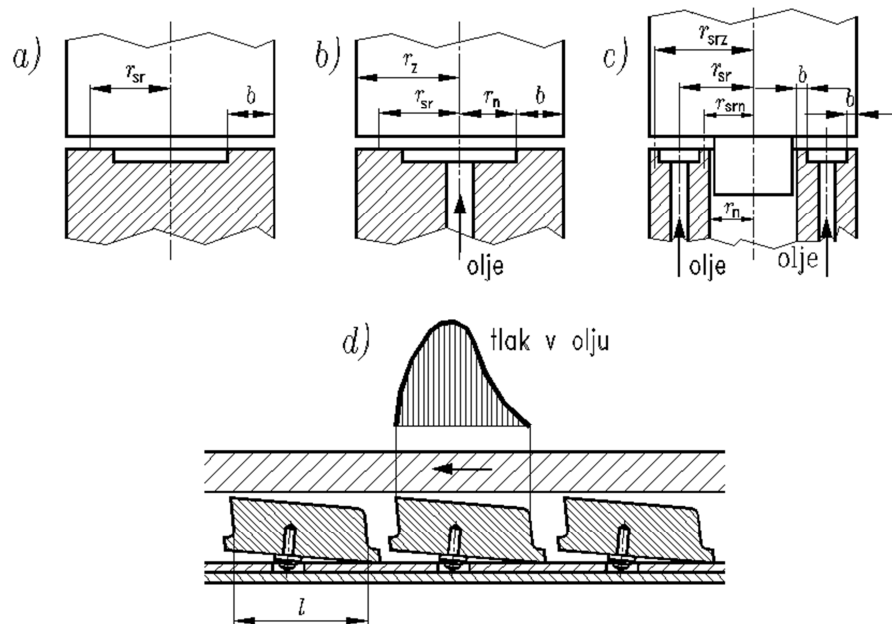
$$\sigma = \frac{1,25 F}{n \cdot A} \leq \sigma_{dop}$$

Preračun aksialnih drsnih ležajev

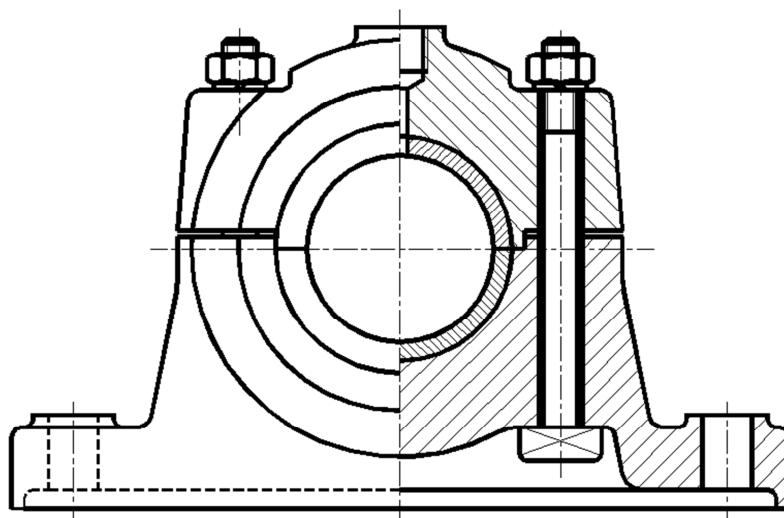
- Tudi pri preračunu aksialnih drsnih ležajev ločimo preračun nosilnosti ležaja in preračun ohišja.

Kontrola **srednjega površinskega tlaka** :

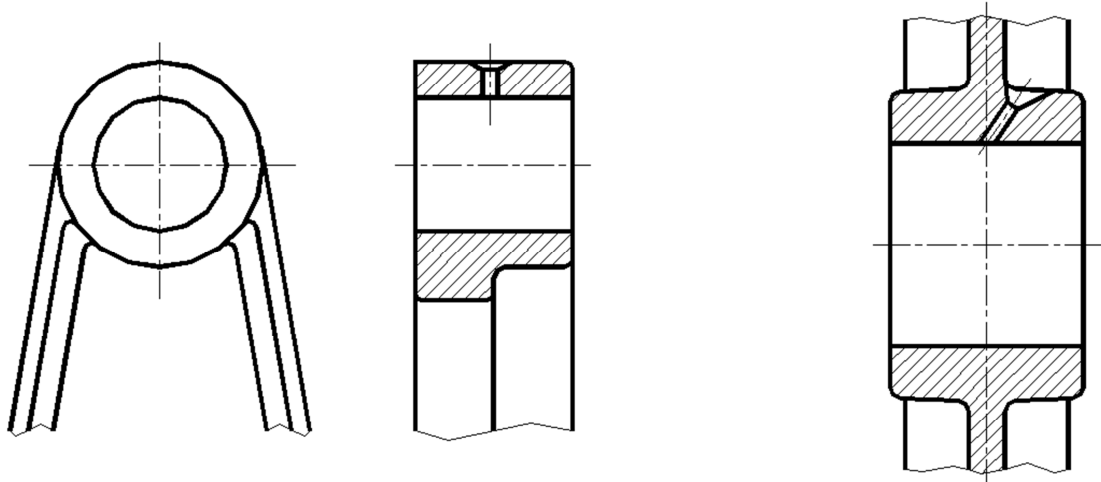
$$p_{sr} = \frac{F}{A} \leq p_{dop}$$



Dvodelni radialni drsni ležaj je zelo primeren za vmesne ležaje, ker je njegova montaža enostavna. V praksi je ta ležaj največkrat uporabljen.

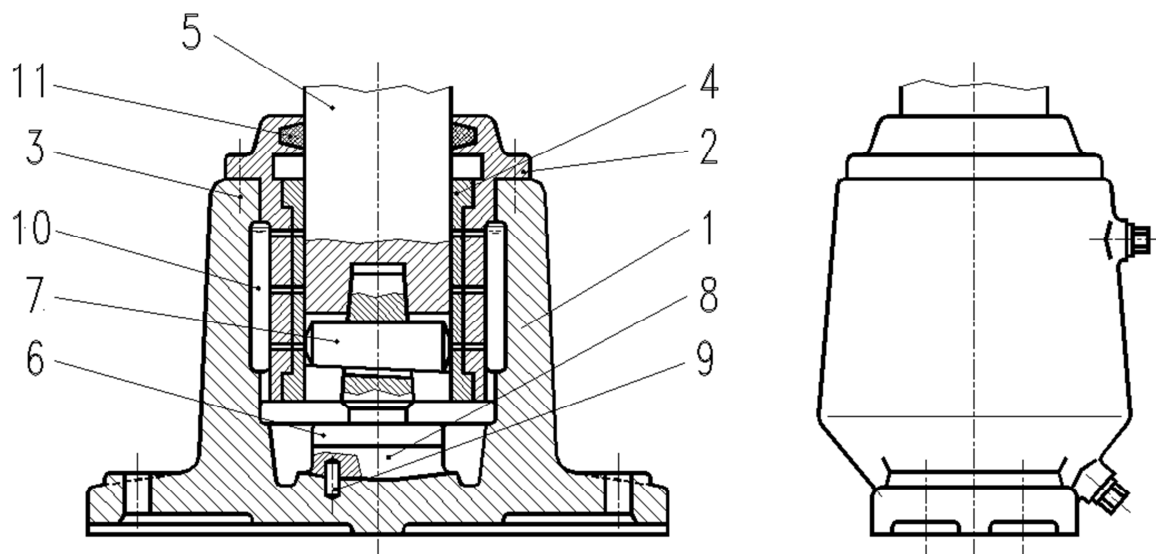


4. **Vgrajeni drsni ležaj** je sestavni del nekega strojnega dela (ročice, jermenice, škripca itd.). V ta strojni del le na določenem kraju vgradimo ležajno pušo in izdelamo dovod maziva.

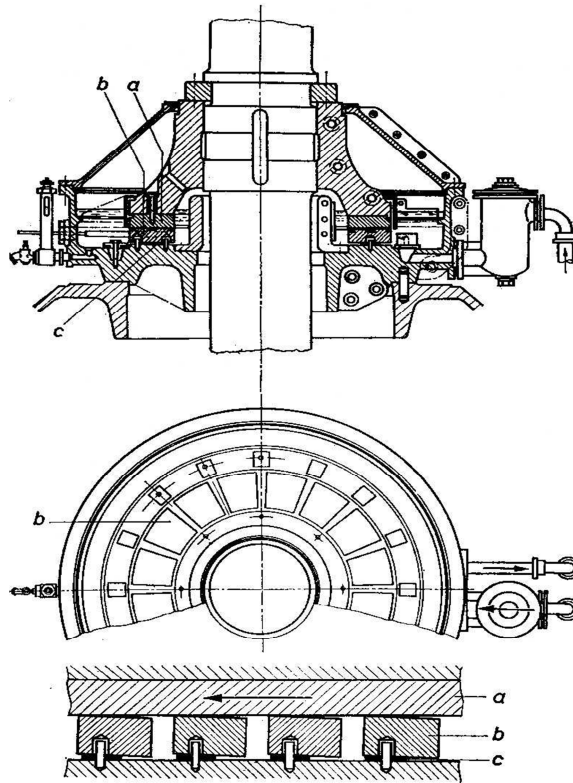


Oblikovanje aksialnih drsnih ležajev

Obročni ali oporni drsni ležaj je najenostavnejša in najcenejša izvedba aksialnega drsnega ležaja. Uporabljamo ga za počasne drsne ležaje pri gradbenih, poljedelskih in obdelovalnih strojih, pri gradnji žerjavov, itd.



2. **Segmentni aksialni drsni ležaj** je primeren za velike aksialne obremenitve tudi pri majhnih vrtilnih frekvencah tečaja. Ležaj imenujemo *michellov ležaj*.



3.4.2 Kotalni ležaji

Značilnosti kotalnih ležajev

- so sestavljeni strojni elementi za prenos vrtilnega gibanja,
- uporabljajo se v vseh vejah industrije,
- večina kotalnih ležajev je sestavljenih iz notranjega obroča, zunanjega obroča, kotalnih elementov, kletke,
- med gibanjem nastopa kotalno trenje.

Prednosti kotalnih ležajev pred drsnimi:

- imajo boljši izkoristek,
- imajo širšo možnost mazanja,
- so preprosti za vzdrževanje,
- trenje ni odvisno od hitrosti,
- so standardizirani, zato so zamenljivi in poceni,
- material tečaja ne vpliva na trenje,
- v vzdolžni smeri zavzamejo malo prostora,
- novih ležajev ni potrebno utekavati.
- v praksi se uporablja več kot 95 % kotalnih ležajev, drsne ležaje se uporablja le izjemoma.

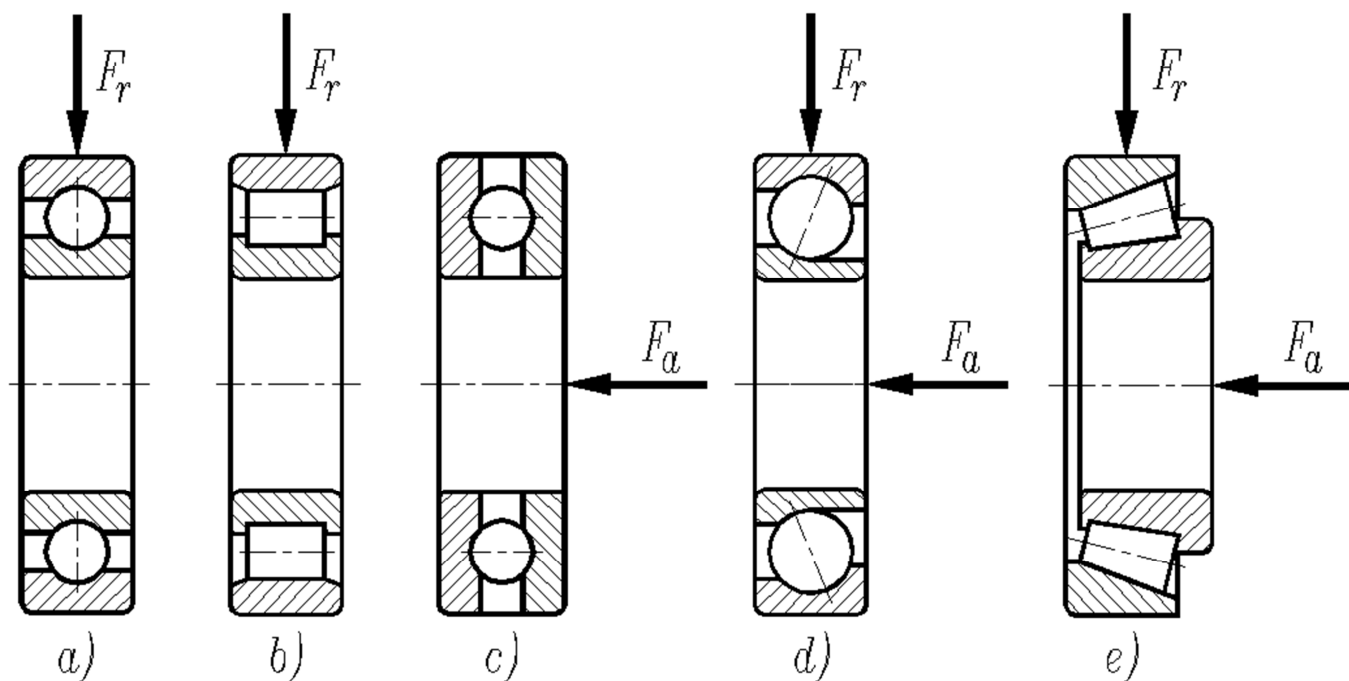
Pomanjkljivosti kotalnih ležajev:

- opletanje in tresenje pri velikih vrtilnih frekvencah,
- hrupno delovanje,
- zahtevnejša in težja montaža zaradi nedeljivosti ležaja,
- občutljivi so za sunkovito obratovanje in udarce,
- občutljivi so za prah in umazanijo,
- v prečni smeri potrebujejo več prostora kot drsni.

Vrste in uporaba kotalnih ležajev

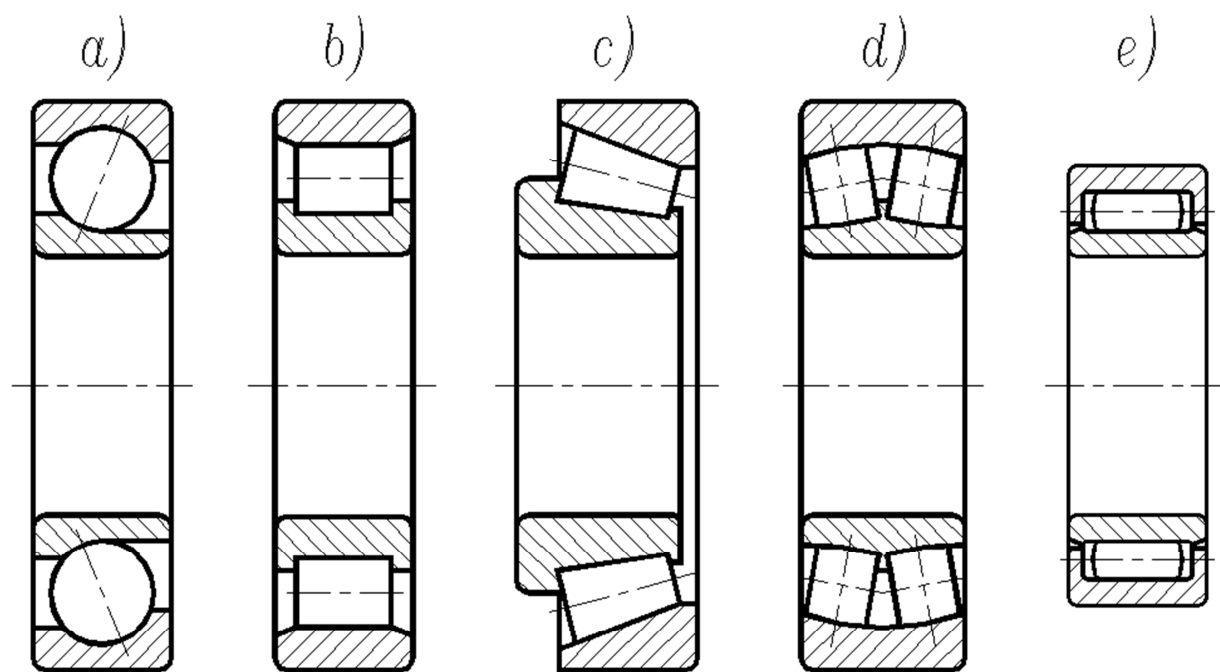
Po smeri, v kateri deluje obremenitev, delimo kotalne ležaje:

- radialne,
- aksialne,
- kombinirane ali radialnoaksialne kotalne ležaje.



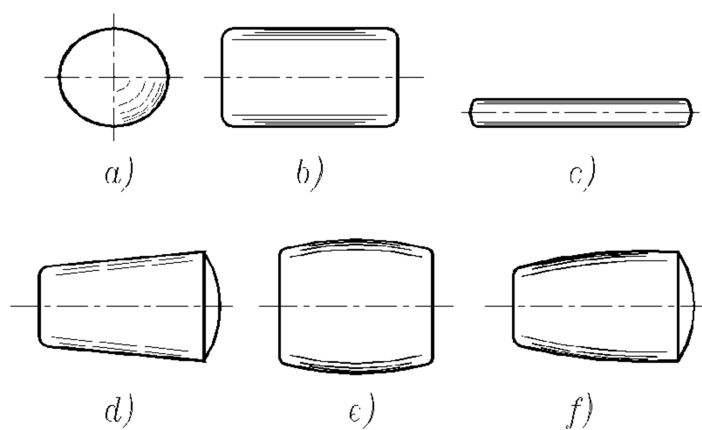
a) radialni kroglični ležaj, b) radialni valjni ležaj, c) aksialni kroglični ležaj,
d) radialnoaksialni kroglični ležaj, e) radialnoaksialni stožčasti ležaj.

Po obliki kotalnih elementov:

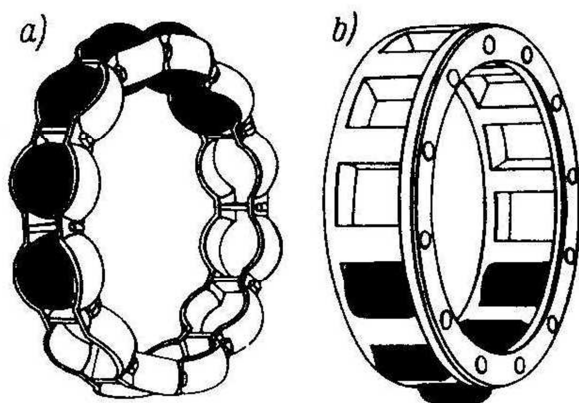


a) kroglični, b) valjni, c) stožčasti, d) sodčkasti, e) iglični ležaj

a) kroglica, b) valjček,
c) iglica, d) stožec, e,f) sodček



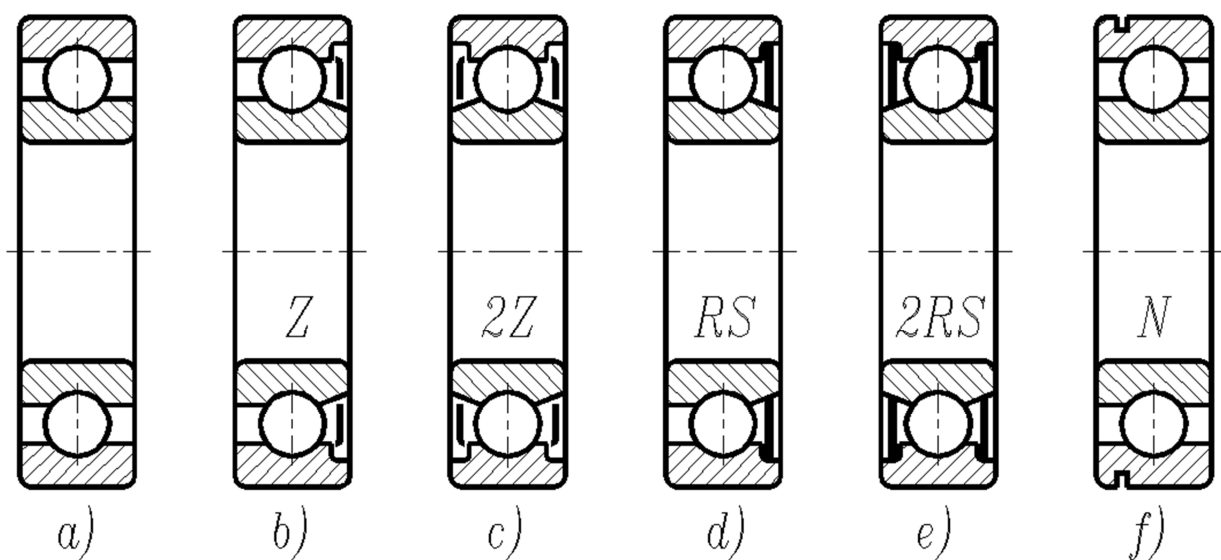
- Oblika kletke je odvisna od oblike kotalnih elementov.
- Izdelava in material kletk je lahko različen.



- a) kovičena pločevinasta kletka krogličnega ležaja,
 b) kovičena pločevinasta kletka valjčnega ležaja,

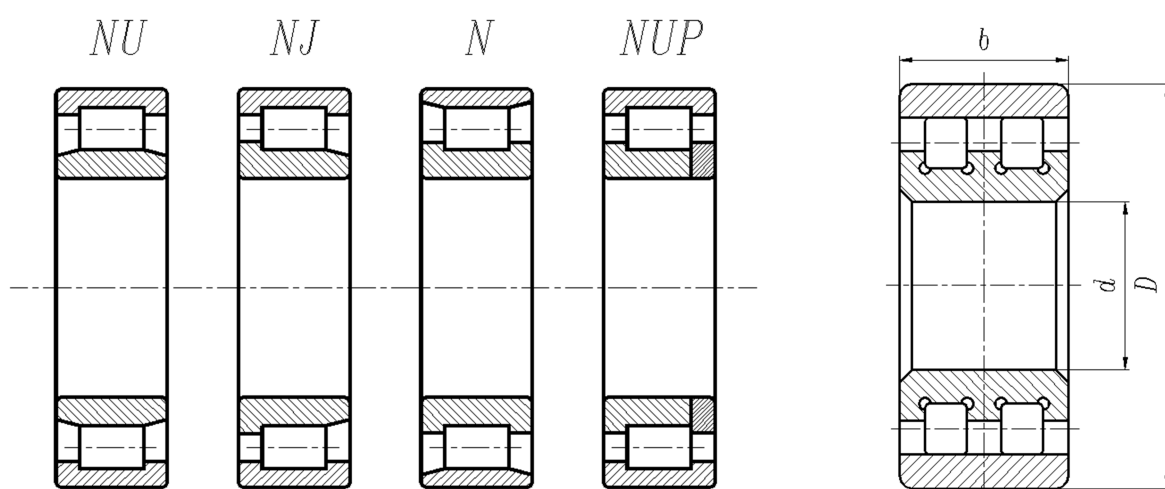
Radialni kotalni ležaji

- Najenostavnejši in najcenejši so **enoredni kroglični ležaji**, ki jih uporabljamo najpogosteje,
- Njihove oblike, mere, označevanje in posebnosti predpisuje standard SIST ISO 13 (DIN 625).
- Njihove oznake so: **60**, 61, 62, **63**, 64 in **160**.
- Zahtevajo zelo natančno montažo.

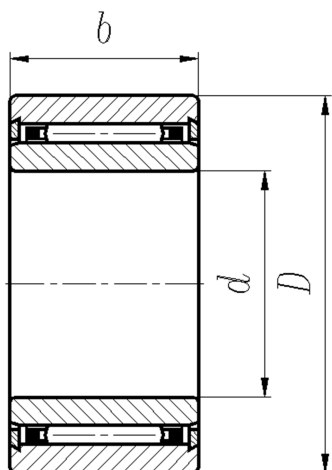


a) ležaj normalne izvedbe, b) enostransko zaprt ležaj, c) obojestransko zaprt ležaj, d) enostransko tesnjen ležaj, e) obojestransko tesnjen ležaj, f) ležaj z utorom za vskočnik.

- Za večje radialne obremenitve uporabljamo **enoredne valjčne ležaje**.
- Tudi ti zahtevajo natančno vgradnjo.
- Uporabljajo se za večje vrtilne frekvence.
- Oblike, mere, označevanje in posebnosti predpisuje standard SIST ISO 15 (DIN 5412).
- Označujejo se z: N, NU, NJ, NUP, NU + HJ in NJ + HJ.

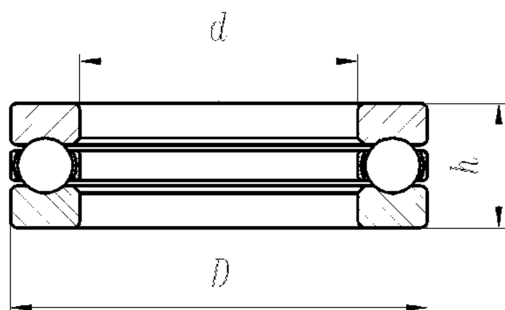


- Iglični ležaji se uporabljajo za velike in sunkovite radialne obremenitve.
- Njihova uporabnost se še poveča, če imamo za vgradnjo ležaja v prečni smeri malo prostora.
- Veliko jih uporabljajo pri obdelovalnih strojih, motorjih z notranjim zgorevanjem, vozilih itd.
- Izvedeni so z notranjim in zunanjim obročem, brez obročev ali je samo kletka z iglicami.
- Obliko, nosilnost, mere in označevanje določa standard SIST ISO 1206 (DIN 6173).
- Njihove oznake so: DNKI, NA 48, NA 49, NA 69, NAF, NAX, K, NAB, DHK, DBK, NAST itd.

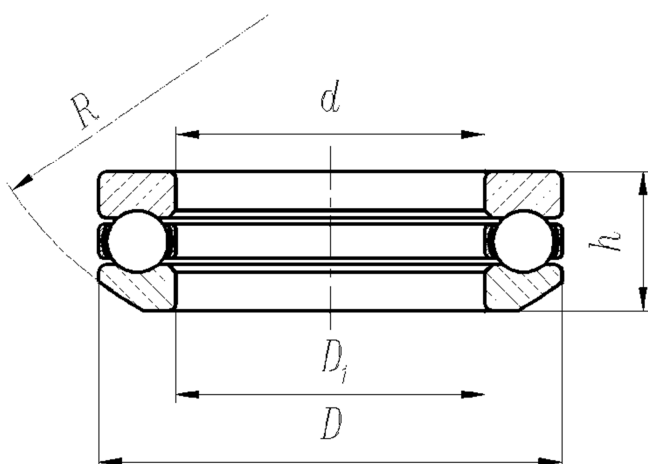


Aksialni kotalni ležaji

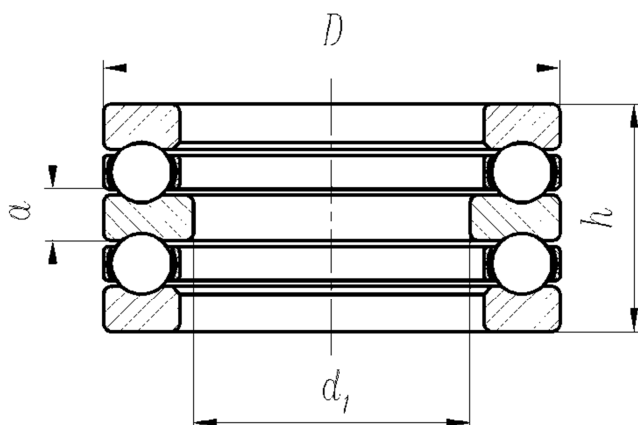
- Najenostavnejši in najcenejši je enoredni aksialni kroglični ležaj.
- Primeren je samo za manjše enosmerne obremenitve in manjše vrtilne frekvence.
- Njegovo obliko, mere, nosilnost, označevanje in posebnosti določa standard SIST ISO 104 (DIN 711).
- Oznake teh ležajev so: 511, 512, 513 in 514.



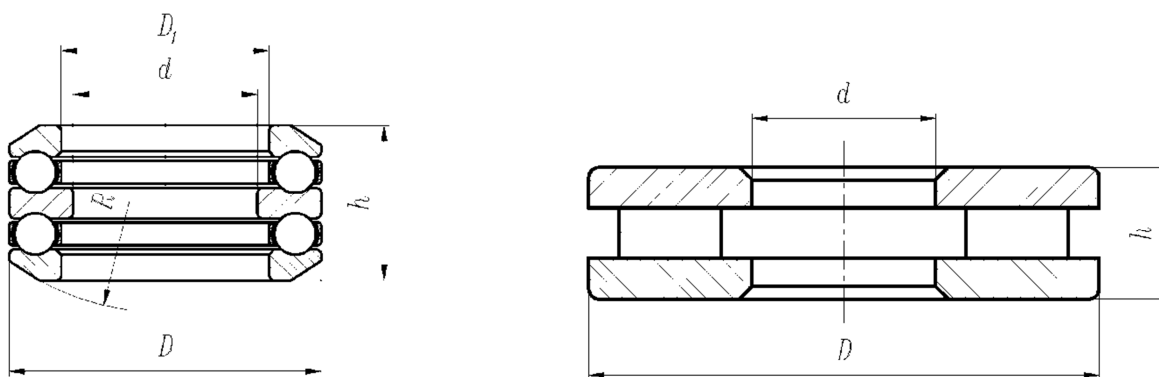
- Enosmerni enoredni kroglični ležaj s kroglastim obročem se boljše prilagodi podlagi.
- Njegova geometrijska os je vedno navpična.
- Če se tečaj postavi nekoliko poševno (bremenski kavelj), se zavrti spodnji kroglasti obroč proti podlagi in postavi os vležajenja v navpično lego.
- Obliko, mere, nosilnost, označevanje in posebnosti teh ležajev določa standard SIST ISO 104 (DIN 711). Oznake ležajev so: 532, 533 in 534.



- Dvostranski dvoredni aksialni kroglični ležaj omogoča prenašanje obremenitve v obeh smereh.
- Primeren je za večje in velike aksialne obremenitve pri majhnih vrtilnih frekvencah.
- Določa jih standard SIST ISO 104 (DIN 715).
- Oznake ležajev so: 522, 523 in 524.



- Dvostranski dvoredni aksialni kroglični ležaj s kroglastim obročem je primeren za prestopanje večjih aksialnih obremenitev z obeh strani in izravnavo lege tečaja proti podpori .
- Oznake ležajev so: 542, 543 in 544.



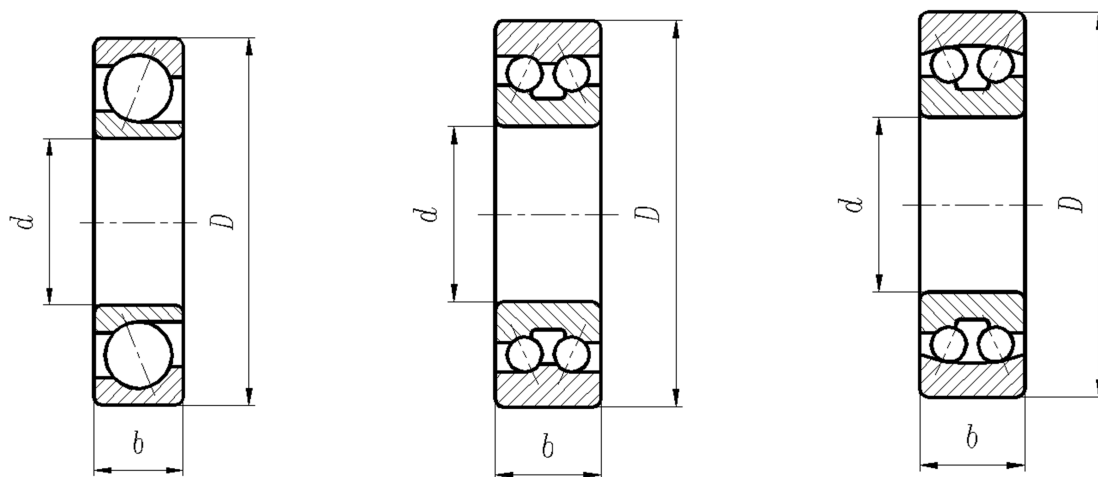
- Za največje aksialne obremenitve so primerni aksialni valjni ležaji.
- Oznake teh ležajev so: 811 in 812.

Ležaji s poševnim dotikom

- Hkrati lahko prenašajo radialne in aksialne obremenitve.
- Če prevladuje prečna (radialna) obremenitev, jih imenujemo *radialno-aksialni ležaji*, v nasprotnem primeru pa *aksialno-radialni ležaji*.
- Ta skupina ležajev se v praksi veliko uporablja.

Enoredni kroglični ležaji s poševnim dotikom

- So najenostavnejši ležaji te vrste
- Imajo en ali dva naslona na obročih in dopuščajo poleg radialne še manjše aksialne obremenitve.
- Dovoljujejo tudi manjše vzdolžne pomike, ki omogočajo njihovo natančno vgraditev zaradi toplotnih raztezanj in krčenj.
- Primerni so za velike vrtilne frekvence.
- Določata jih standarda SIST ISO 15 in SIST ISO 382 (DIN 615 in DIN 628).
- Oznake ležajev so: **72, 73, 173, QJ 2 in QJ 3**.



Dvoredni kroglični ležaji s poševnim dotikom

- Prenasajo večje radialne in aksialne obremenitve.
- Ker enakovredno prenašajo obremenitve v obeh smereh, jih uporabljamo, če se menja smer vrtenja tečaja (spremeni se smer delovanja aksialne sile).
- Določeni so s standardoma SIST ISO 15 in SIST ISO 582.
- Oznake ležajev so: **32** in **33**.

Prilagodljivi kroglični ležaji

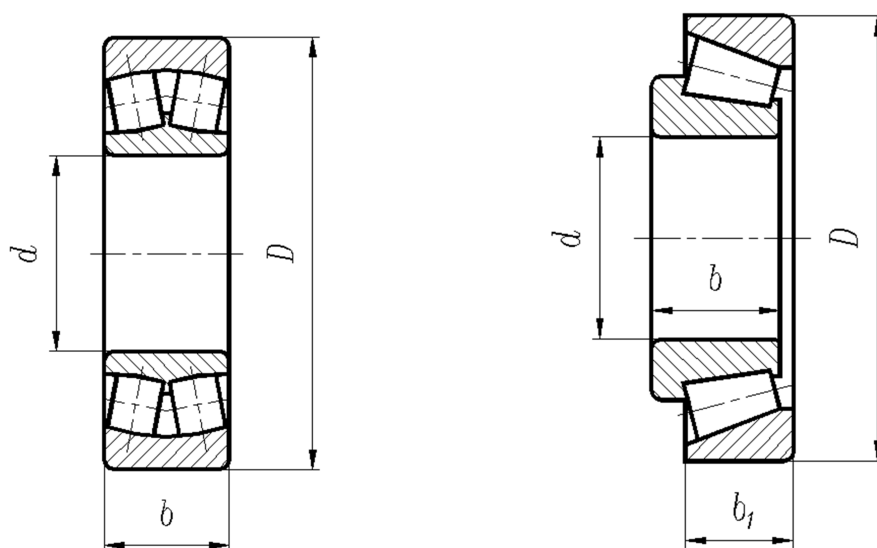
- Omogočajo precejšnje nenatančnosti pri vgradnji in odstopanja od predpisane lege tečaja proti podlagi.
- Uporabljajo jih pri gradnji vozil, transportnih naprav in obdelovalnih strojev
- Določene so s standardom SIST ISO 15 (DIN 630).
- Oznake ležajev so: **12, 13, 22, 23, 112, 113, 115** in **116**.

Prilagodljivi eno- in dvoredni sodčkasti ležaji

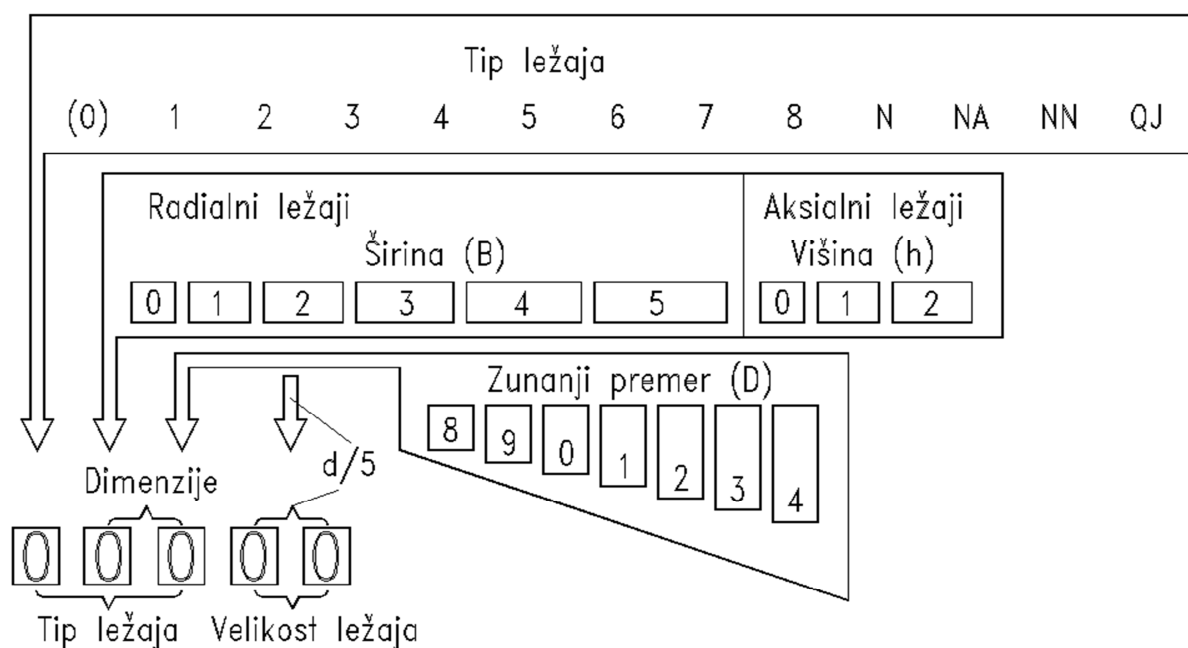
- Uporabljajo se za enake namene kot kroglični, le da sprejmejo večje obremenitve.
- Vgrajujejo jih v obdelovalne stroje, vozila, transportne naprave itd.
- Določa jih standard DIN 635-1-2.
- Oznake ležajev so: **202, 203, 204, 213, 222, 223, 230, 231, 232, 239, 240** in **241**.

Stožčasti ležaji

- Uporabljamo jih v primerih, ko je treba izmenično prenašati aksialne in istočasno tudi radialne obremenitve.
- Vgrajujejo jih v obdelovalne stroje, v avtomobile in druga vozila (kolesni ležaji), v transportne naprave, gradbene in kmetijske stroje itd.
- Za njihovo vgradnjo velja pravilo, da jih moramo vgrajevati *vedno v parih*, in to blizu skupaj.
- Določa jih standard SIST ISO 355 (DIN 720).
- Oznake ležajev so: **302, 303, 313, 320, 322, 323, 329, 330, 331 in 332.**



Označevanje kotalnih ležajev DIN (623)



- **Tip ležaja**

- 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 (lahko tudi NJ, NU, NUP itd.),
- NA iglični ležaji,
- NN dvo- ali večredni valjčni ležaji,
- QJ kroglični ležaji s štiritočkovnim dotikom.

Primer oznak ležajev:

- 6011 enostavni enoredni kroglični ležaj s premerom izvrtine 55 mm,
- 4307 enostavni dvoredni kroglični ležaj s premerom izvrtine 35 mm,
- 1302 prilagodljivi kroglični ležaj s premerom izvrtine 15 mm,
- N216 enoredni valjčni ležaj s premerom izvrtine 80 mm,
- 32940 stožčasti ležaj s premerom izvrtine 200 mm,
- 22315 prilagodljivi kroglični ležaj s premerom izvrtine 75 mm,
- 51200 aksialni kroglični ležaj s premerom izvrtine 10 mm,
- 81103 aksialni valjčni ležaj s premerom izvrtine 17 mm.

Dopolnilna oznaka

- V njej navajajo odstopanja ležaja od standardnih izvedb glede na konstrukcijsko izvedbo notranjega in zunanjega obroča, tesnjenje, izvedbo kletke, tolerančno stopnjo, zračnost ležaja itd.
- Dopolnilna oznaka se zapise pred osnovno oznako ali za njo.

Mazanje kotalnih ležajev

- Osnovni namen mazanja kotalnih ležajev je:
 - Zmanjšanje trenja med obročema in kotalnimi elementi
 - Zaščita delovnih površin pred korozijo,
 - Odvajanje toplote, ki je nastala zaradi trenja,
 - Tesnjenje in zaščita proti nečistočam,
 - Zmanjševanje hrupa pri delovanju ležaja.
- Maziva za kotalne ležaje:
 - tekoča maziva (olja),
 - gosta maziva (masti),
 - trdna maziva.

Mazanje z oljem

- Uporabljamo pri kotalnih ležajih, ki obratujejo z visokim vrtilnimi hitrostmi in pri visokih obratovalnih temperaturah.
- Pogosto so kotalni ležaji mazani z istim oljem kot drugi strojni elementi v sestavu (zobniki, drsni ležaji itd).

Mazanje z mastjo

- Mazanje kotalnih ležajev z mastjo se uporablja pri normalnih vrtilnih frekvencah in normalnih temperaturah.
- V primerjavi z oljem ima mazanje z mastjo nekatere prednosti,
 - preprosta in cenena izvedba,
 - boljše adhezijske lastnosti maziva
 - boljša zaščita pred vlago in nečistočami iz okolice.
 - enostavnejše tesnjenje in dodajanje masti,
 - manjša nevarnost, da bi ležaj obratoval brez maziva.
- Za mazanje so največkrat uporabljene natrijeva, litijeva, kalijeva ali barijeva mast.
- Potrebna količina dovedene masti v ležaj je v splošnem odvisna od dejanske in mejne (kritične) vrtilne frekvence ležaja (n in n_k).
- Pri majhnih vrtilnih frekvencah za ležaj ni škodljivo tudi, če je količina masti prevelika.
- Pri obojestransko tesnjenih ležajih napolnimo z mastjo le 20 do 30% prostornine ležaja. Ta količina pa največkrat zadošča za celotno življenjsko dobo ležaja.

Preračun kotalnih ležajev

Nosilnost in življenjska doba ležaja

- Velikost kotalnega ležaja določimo glede na vrsto ležaja in njegovo nosilnost, zunanje obremenitve, zahtevano življenjsko dobo, vrtilno frekvenco in zanesljivost delovanja.
- Merili nosilne sposobnosti ležaja, ki jo uporabimo pri dimenzioniranju ležajev, sta **dinamična** (C) in **statična** (C_0) **nosilnost ležaja**. (katalogi proizvajalcev ležajev -FAG, SKF itd.).
- **Dinamična nosilnost ležaja** je tista največja dovoljena obremenitev ležaja, kateri ustreza življenjska doba 106 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^{-4} premera kotalnega elementa.
- **Dinamično nosilnost kotalnega ležaja** C [N]:

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

P [N] dinamična ekvivalentna obremenitev ležaja,
 f_L koeficient življenjske dobe ležaja (TAB 119, 121),
 f_n koeficient vrtilne frekvence tečaja (TAB 120, 122),
 f_θ temperaturni koeficient ležaja (TAB 123).

- Izračun dinamične ekvivalentne obremenitve ležaja pri kotalnih ležajih, ki so obremenjeni z radialno in aksialno obremenitvijo:

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

V	koeficient načina obremenitve ležaja,
X	dinamični radialni koeficient (TAB 124),
Fr [N]	radialna obremenitev ležaja,
Y	dinamični aksialni koeficient (TAB 124),
Fr [N]	aksialna obremenitev ležaja,

- Koeficient načina obremenitve V upošteva, kateri od obročev se vrti:
 - $V = 1$, če se vrti notranji obroč,
 - $V = 1,2(1.3)$, če se vrti zunanji obroč.
- Koeficienta X in Y sta podana v tabelah v odvisnosti od vrste ležaja, premera izvrtine in razmerja $Fa/(V \cdot Fr) < \text{ali} > e$, kjer je e karakteristično število, določeno za vsak ležaj in podano v TAB 124.
- Izračun koeficienta življenjske dobe:

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

- L_h [h] - življenjska doba ležaja,
 p - eksponent, odvisen od oblike kotalnih elementov.
 $p = 3,0$ - za kroglične ležaje,
 $p = 10/3$ - za valjčne, iglične, stožčaste in sodčkaste ležaje.

- Za lažje in hitrejše računanje pa lahko koeficient f_L izberemo iz TAB 119 in 121 v odvisnosti od življenjske dobe ležaja L_h .
- Izračun koeficienta vrtilne frekvence tečaja:

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

n - vrtilna frekvenca tečaja v min^{-1}

- Za lažje in hitrejše računanje lahko koeficient f_n izberemo iz TAB 120 in 122 v odvisnosti od vrtilne frekvence tečaja n .
- Temperaturni koeficient ležaja f_θ je za obratovalne temperature do 373 K (100 °C) enak 1, za višje temperature pa je podan v TAB 123.

- Statična nosilnost kotalnega ležaja C_0 :

$$C_0 = f_s \cdot P_0$$

- Karakteristika statične obremenitve f_s je običajno v mejah od 1,2 do 2,5.
 - $f = 0,8$ do $1,2$ za normalne zahteve po mirnosti obratovanja,
 - $f = 0,5$ do $0,8$ za nezahtevne pogone.
- Izračun statične ekvivalentne obremenitve ležaja pri kotalnih ležajih, ki so obremenjeni z radialno in aksialno obremenitvijo:

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

X_0 statični radialni koeficient (TAB 125),
 F_r [N] radialna obremenitev ležaja,
 Y_0 statični aksialni koeficient (TAB 125),
 F_a [N] aksialna obremenitev ležaja.

- Izračun življenjske dobe kotalnih ležajev [število vrtljajev]:

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

L_0 [število vrtljajev] - osnovna življenjska doba ležaja; $L_0 = 10^6$ vrtljajev,
 x - eksponent.

$x = 3$ za kroglične ležaje

$x = 10/3$ za valjčne, iglične, stožčaste in sodčkaste ležaje.

- Izračun življenjske dobe kotalnega ležaja v obratovalnih urah:

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

Kontrola kritične vrtilne frekvence ležaja

- Dopustna ali največja dovoljena vrtilna frekvenca je za vsak kotalni ležaj odvisna od vrste in velikosti ležaja, obremenitve, načina mazanja in vgradnje ležaja.
- Orientacijske vrednosti so zbrane v katalogih proizvajalcev ležajev ter veljajo za dobro mazanje in brezhibno vgraditev ležaja.
- Izračun dopustne vrtilne frekvence:

$$n_k \approx \frac{3A}{D + 30} \cdot k$$

za premere $D < 30 \text{ mm}$

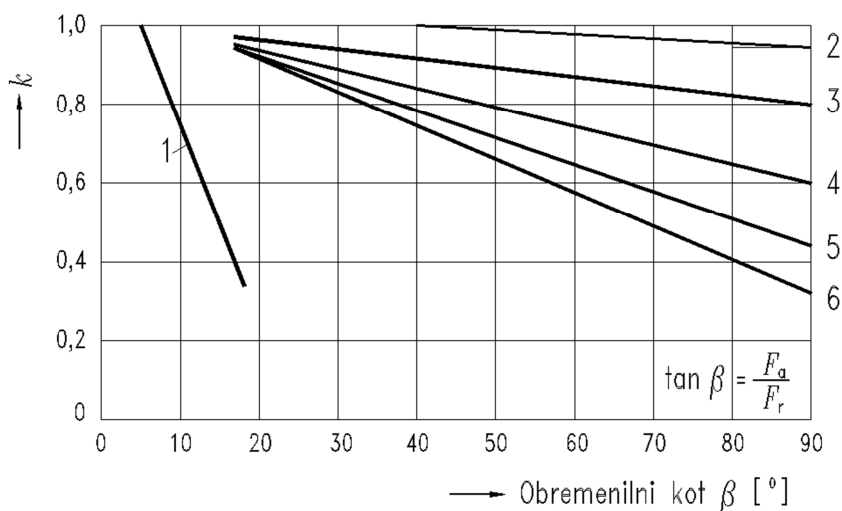
$$n_k \approx \frac{A}{D - 10} \cdot k$$

za premere $D \geq 30 \text{ mm}$

A [min⁻¹] konstanta vrtilne frekvence (TAB 127),

D [mm] zunanji premer ležaja,

k korekturni koeficient, ki upošteva kombinirano obremenitev ležaja.



- 1 - valjni ležaji
- 2 - kroglični ležaji s poševnim dotikom
- 3 - enostavni kroglični ležaji
- 4 - prilagodni valjni ležaji
- 5 - stožčasti ležaji
- 6 - prilagodni kroglični ležaji