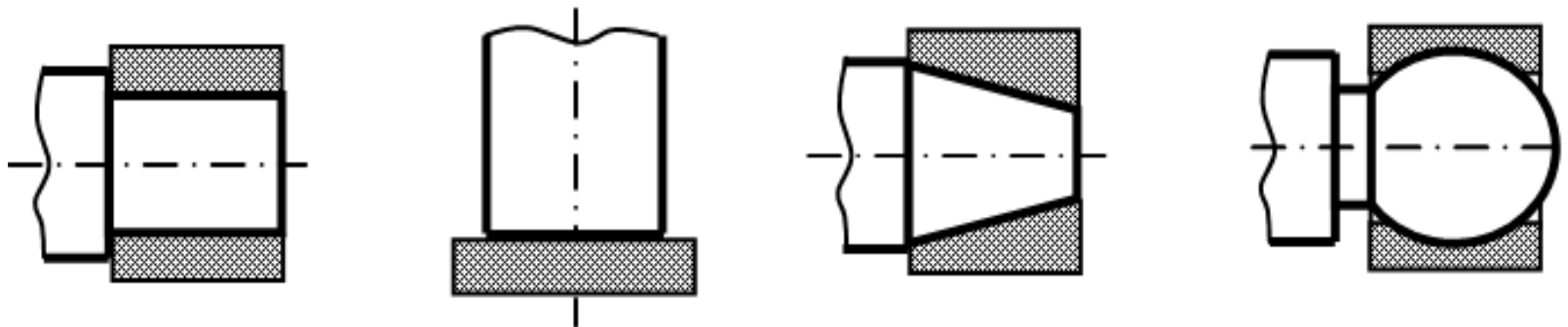


# Клизни лежајеви



- Клизни лежајеви, као и котрљајни, служе као ослонци за прихватање вратила и обртних осовина.
- Код клизних лежаја, ослони део вратила се назива **рукавац**.
- Облик радне површине клизног лежаја (рукавца) може бити: цилиндричан, раван, конусан и лоптаст.

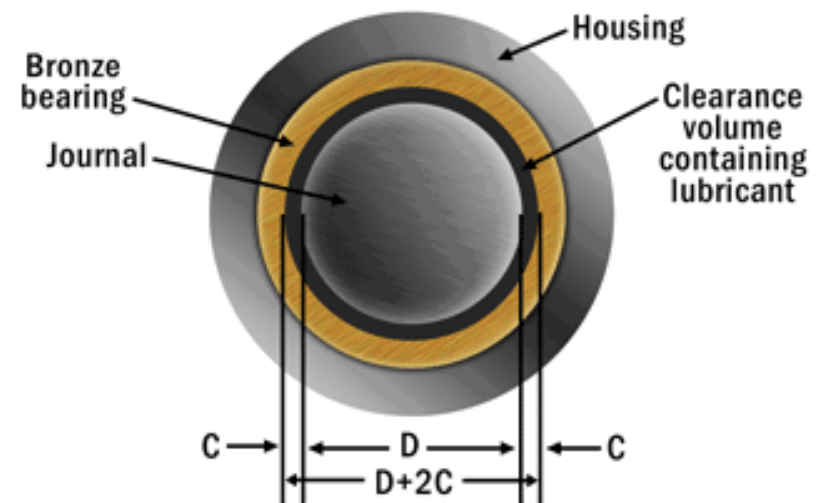
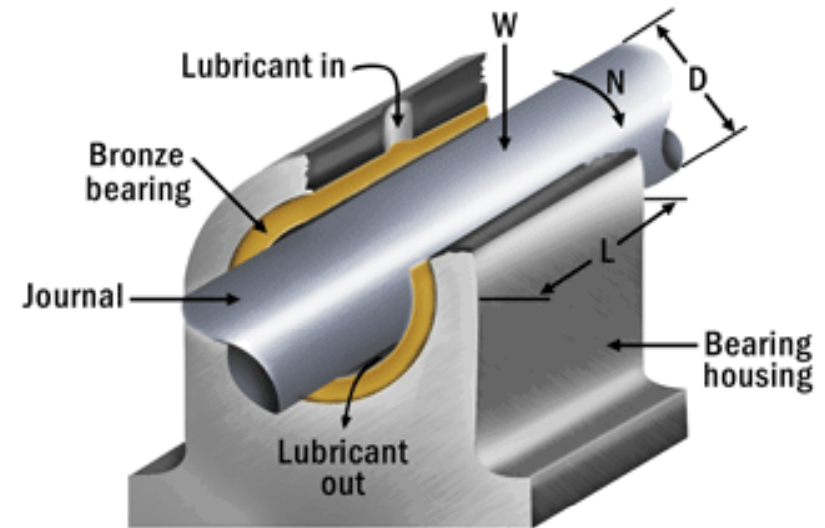


■ У зависности од облика рукавца зависи и намена лежаја, тако да се он може користити за прихватање радијалних, аксијалних, радијално аксијалних, односно, аксијално радијалних сила.



■ Најчешћи облик уградње радијалног клизног лежаја приказан је на слици.

■ Основни елементи таквог лежаја су **кућиште** и **постељица** са танким слојем антифрикционог материјала на клизним површинама.



■ Најчешћи облик уградње радијалног клизног лежаја приказан је на слици.

■ Основни елементи таквог лежаја су **кућиште** и **постељица** са танким слојем антифрикционог материјала на клизним површинама.



Област примене клизних лежаја је у савременом машинству знатно сужена због велике распрострањености котрљајних лежаја, међутим, тиме њихов значај није умањен. Њихова примена је још увек веома широка и у низу конструкција они су практично незаменљиви. На пример, као:

- раздвојиви лежаји, код коленастих вратила, због могућности монтаже;
- лежаји који раде са великим брзинама ( $v > 30 \text{ m/s}$ ). У таквим радним условима трајност котрљајних лежаја је јако смањена (вибрације, шум, велике инерцијалне силе котрљајних тела);

- лежаји прецизних машина, од којих се захтева посебно тачан правац вратила и могућност регулације зазора;
- лежаји који раде у посебним условима (води, агресивној средини и сл.) у којима котрљајни лежаји нису применљиви услед корозије;
- лежаји веома спорих механизма и сл.



У зависности од начина подмазивања разликују се лежајеви са:

■ **хидростатичким подмазивањем** (код којих се уље у лежај доводи под притиском, чиме се ствара танак уљни филм између додирних површина и спречава њихов директан контакт) и

■ **хидродинамичким подмазивањем** (код којих се, услед велике брзине обртања рукавца, мазиво доводи између додирних површина и тиме спречава њихов директан контакт). Услед сложености система за стварање високог притиска хидростатичко подмазивање лежајева се данас веома ретко користи.



## Врсте мазива

- За подмазивање лежајева користе се различите врсте мазива. Најчешће се користи **уље**, јер је оно погодно за скоро све бројеве обртаја, за широк опсег радних температура и за релативно велика оптерећења.
- **Масти** се користе релативно мало и то код спороходних вратила. Њихова основна предност је што се дуже задржавају у лежају и што спречавају продор нечистоћа у лежај.

## Врсте мазива

- У изузетним случајевима, за подмазивање се може користити и **вода** (код лежајева од дрвета, гуме и пластичних материјала). Основна предност воде је могућност бољег одвођења топлоте и тиме бољег хлађења лежаја.
- За подмазивање лежаја могу се користити и **чврста мазива**, код лежајева који раде на високим температурама са малим бројем обртања вратила. Као мазиво најчешће се користи графит и молибденсулфит.



## Врсте мазива

- Као мазиво може се користити и **ваздух**, код брзоходних и малооптерећених лежајева.
- Наравно, неки лежајеви могу да раде и **без подмазивања**. То су лежајеви који су израђени од антифрикционих материјала (различите пластичне масе и сл.).



## Врсте мазива

- Избор врсте мазива врши се на основу обимне брзине рукавца, према табели.

Табела 5.25: Препоруке за избор врсте мазива код клизних лежаја

Обимна брзина рукавца $v$ , m/s	Врста мазива
до 0,7	Чврсто мазиво (графит или молибденсулфид)
0,4 - 2,0	Маст или молибденсулфид
0,5 - 10	Моторно или машинско уље
10 - 30	Турбинско уље
преко 30	Специјално уље, вода или ваздух

## Начини подмазивања лежаја

- За подмазивање лежајева користе се **појединачни** (тзв. индивидуални) и **централни** системи подмазивања.
- Код мање одговорних система обично се користи појединачни, а код одговорних и сложених система се, по правилу, користи централни систем подмазивања.
- Код централних система се на једном месту врши хлађење и пречишћавање мазива, које се специјалном уљном пумпом допрема до лежајева, а затим, посебним системом цеви, прикупља и враћа у резервоар. Код појединачних система се код сваког лежаја посебно обезбеђује подмазивање.

## Услови рада и видови разарања клизних лежаја

- Обртању рукавца у лежају супроставља се сила трења. Од површине трења топлота се одводи кроз кућиште лежаја и вратило, а један део се одводи мазивом.
- Након извесног времена, код сваког лежаја се успоставља радни режим који се огледа у **тоplotној равнотежи**, тј. када је настала топлота једнака одатој.

## Услови рада и видови разарања клизних лежаја

- При томе се устаљује одређена температура. Та температура не сме да пређе **прописану вредност**, која је дозвољена за дотични материјал лежаја и врсту мазива.
- Са порастом температуре опада вискозност мазива, чиме **расте вероватноћа почетка хабања**, што узрокује **пропадање постелице**. Према томе загревање лежаја је један од основних узрока његовог пропадања.

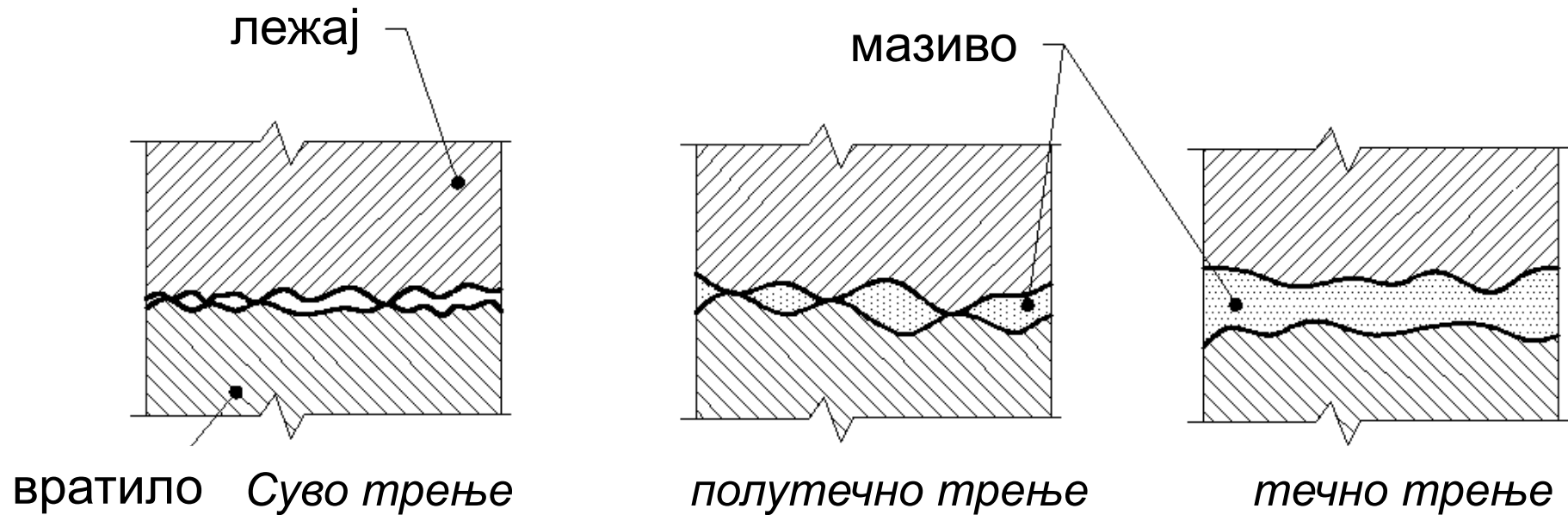
## Услови рада и видови разарања клизних лежаја

- Рад лежаја се одвија уз хабање постелејце и рукавца што нарушава правилан рад лежаја. Кад хабање пређе одређену границу мора се извршити **замена лежаја**.
- При дејству променљивог оптерећења (на пример код клипних машина) површина постелејце се оштећује и услед **замора**.



## Трење и подмазивање клизних лежаја

■ Неоспорно је да од интензитета трења зависи интензитет хабања и загревања лежаја, као и његов степен искоришћења. У циљу смањења трења клизни лежаји се подмазују. У зависности од режима рада у њему може бити полутечно или течно трење.



## Трење и подмазивање клизних лежаја

- При течном трењу, радне површине вратила и постељице раздвојене су таким слојем мазива, тзв. уљним филмом ( $h$ ) који је већи од суме висина неравнина, тј. храпавости површина

$$h > R_{z1} + R_{z2}$$

- При таквим радним условима мазиво прихвата спољашње оптерећење и спречава непосредни контакт радних површина, тј. њихово хабање.



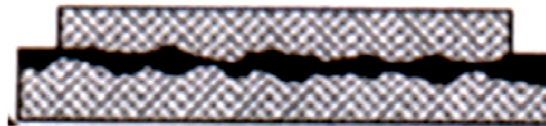
## Трење и подмазивање клизних лежаја

- Отпор кретању, у том случају, представља само унутрашње трење мазива.
- Вредност коефицијента течног трења креће се у границама од 0,002 до 0,005 што може бити мање и од коефицијента трења котрљања.



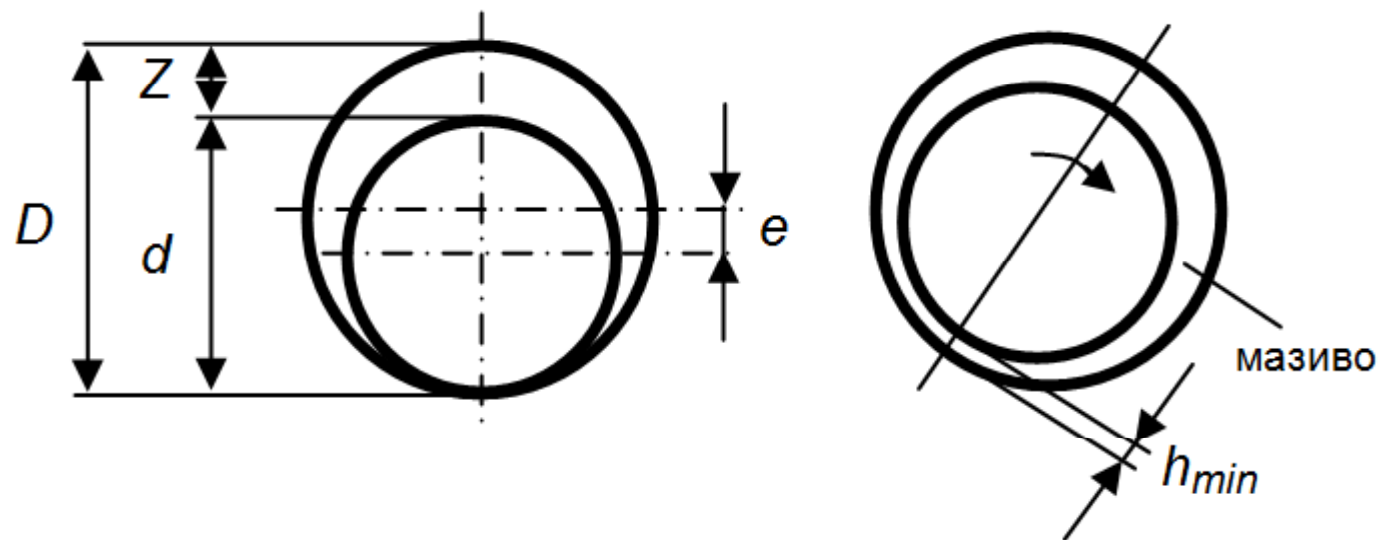
## Трење и подмазивање клизних лежаја

■ **Код полутечног трења** није задовољен претходни услов, тј. у лежају се истовремено одвија течно и гранично трење. Граничним трењем се назива оно трење при којем су додирне површине прекривене веома танким слојем мазива, које се формира захваљујући молекуларним силама између мазива и додирних површина.



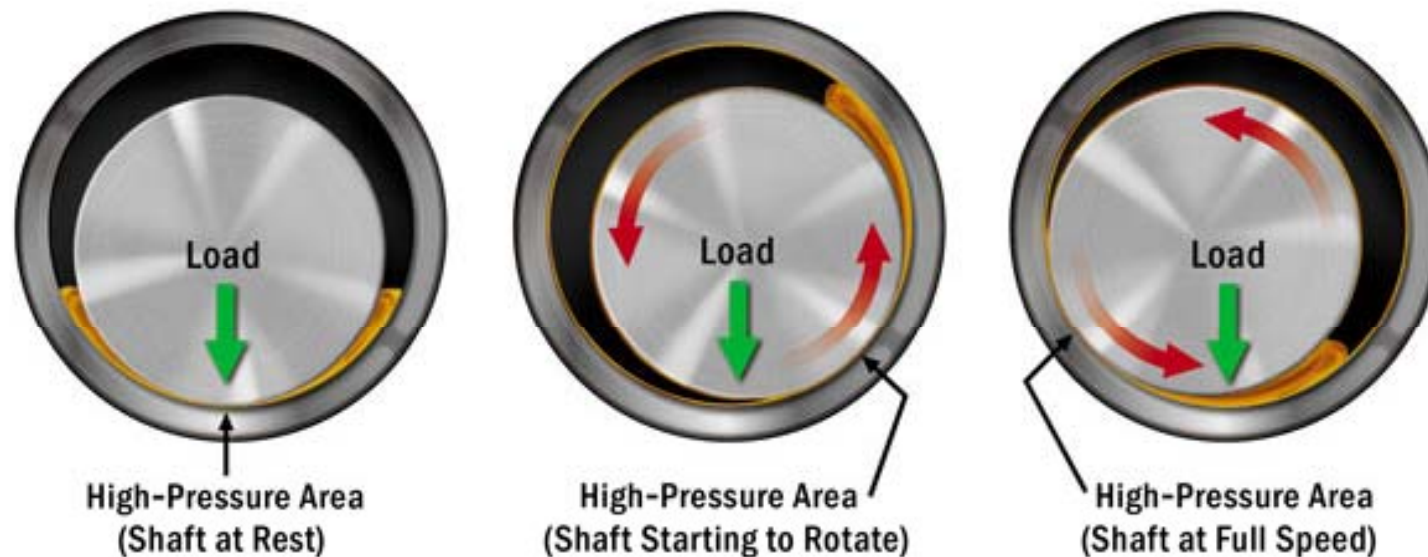
## Трење и подмазивање клизних лежаја

- Ако се рукавац вратила окреће релативно споро у односу на постељицу, онда се одвија **полутечно трење**, а ако та брзина порасте, рукавац се издиже и између додирних површина се ствара уљни филм.



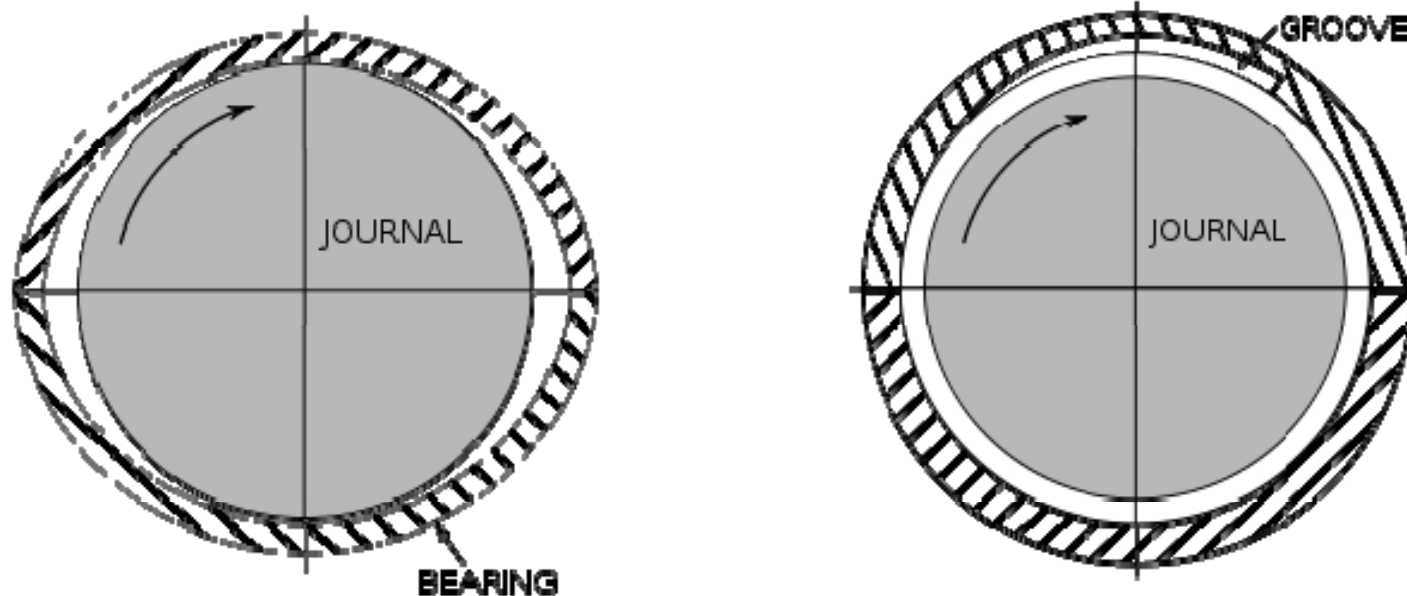
## Трење и подмазивање клизних лежаја

- Ако се рукавац вратила окреће релативно споро у односу на постељицу, онда се одвија **полутечно трење**, а ако та брзина порасте, рукавац се издиже и између додирних површина се ствара уљни филм.



## Трење и подмазивање клизних лежаја

- Ако се рукавац вратила окреће релативно споро у односу на постељицу, онда се одвија **полутечно трење**, а ако та брзина порасте, рукавац се издиже и између додирних површина се ствара уљни филм.



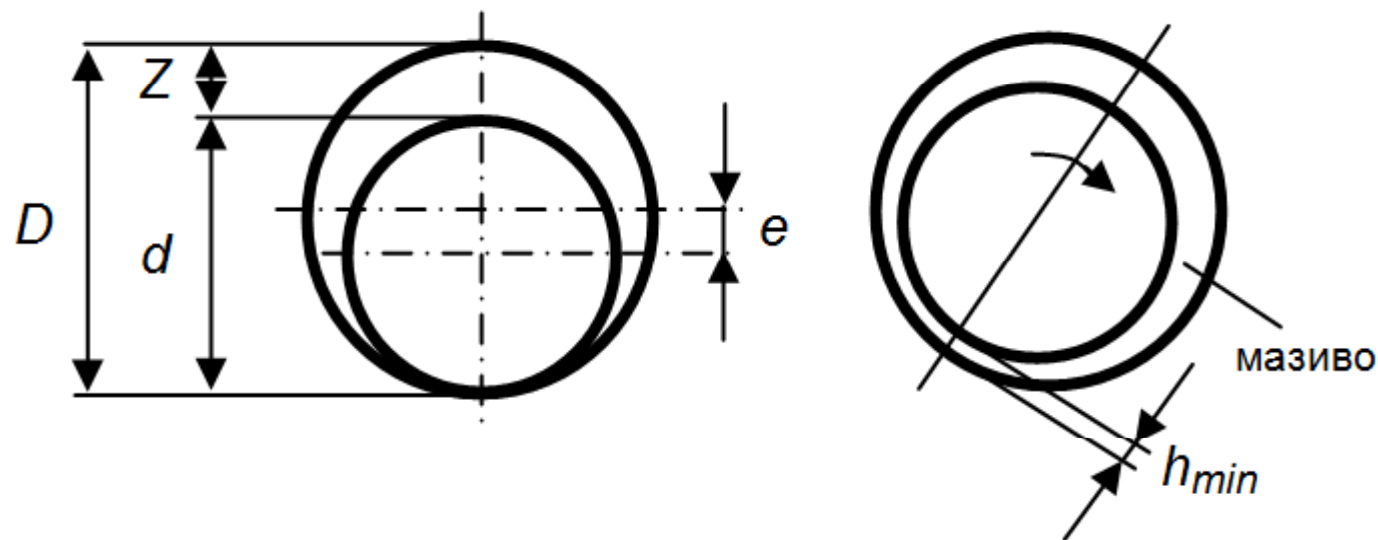
## Трење и подмазивање клизних лежаја

- Дебљина уљног филма између додирних површина је

$$h = 0,5z - e$$

$z$  - зазор у лежају а

$e$  - ексцентрицитет који се јавља у лежају





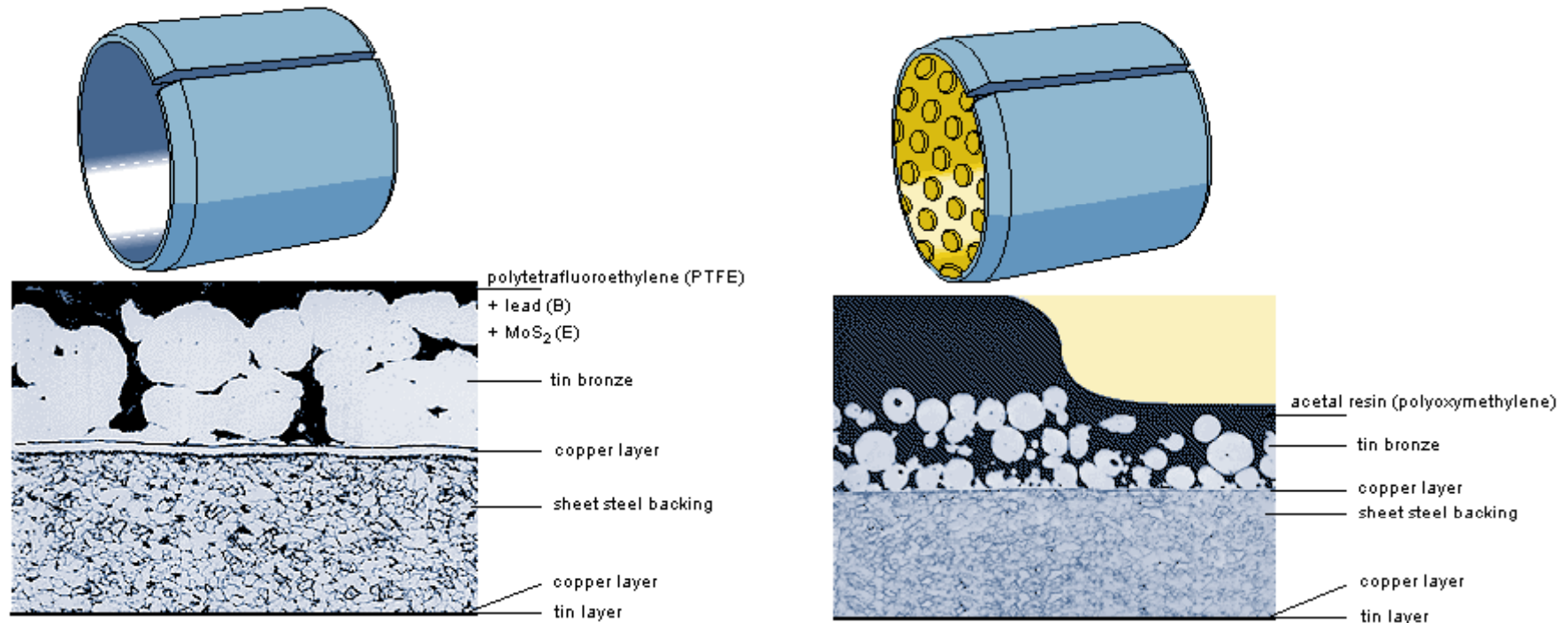
## Материјали за израду клизних лежаја

За израду клизних лежајева користе се материјали који имају:

- велику отпорност на хабање,
- мали коефицијент трења,
- велику отпорност на корозију,
- високу чврстоћу и издржљивост,
- добру топлотну проводљивост,
- релативно мали коефицијент линеарног ширења,
- велику отпорност на заривавање, итд.

## Материјали за израду клизних лежаја

■ За израду **рукаваца** обично се користе челици који се кале, брусе и полирају, док се за израду **постељица** обично користе калајне бронзе и разне легуре обојених метала, ређе сиви лив и, данас, све чешће разне пластичне масе.



## Прорачун клизних лежаја

При прорачуну клизних лежаја треба разликовати:

- прорачун лежаја за случај полутечног трења и
- прорачун клизног лежаја за случај течног трења.

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму полутечног трења

- У лежајеве са полутечним трењем спадају лежаји великих спороходних механизма, лежаји машина се великим бројем укључивања (полазака), лежаји са лошим подмазивањем и сл.

Прорачунавају се:

- на притисак

$$p = \frac{F}{d l} \leq p_{doz}$$

- на производ притиска и обимне брзине

$$p v \leq (p v)_{doz}$$

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму полутечног трења

$F$  - радијално оптерећење лежаја,

$d$  - пречник рукавца лежаја,

$l$  - дужина рукавца

$p_{doz}$  - дозвољени притисак (табела),

$(pv)_{doz}$  - дозвољени производ притиска и брзине (табела)

Ознака материјала		Тврд. HB	Карактеристичне области примене	Допуштене вредности				
				$p_{doz}$ N/mm <sup>2</sup>	$v$ m/s	$(pv)_{doz}$ N/mm <sup>2</sup> m/s	$t$ °C	$\Psi$ 10 <sup>3</sup>
Сиви лив	EN-GJL-250	200	Ручне дизалице, млинови, дробилице, зглобне везе, вођице.	0,2	3,5	0,7	300	2-3
	Антифрик. лег. са Cr и Cu	180 260		0,5 12,5	5 1	2,5 12,5		
Калајна бронза	P.CuSn20	185	Вентилатори, електрични генератори, електромотори, центрифугалне пумпе и компресори, ваљаоничке и ковачке машине, манипулатори, тешке алатне машине, лизалице	15	10	15	250	1,5-4
	P.CuSn14	100						
	C.CuSn12	100						
	P.CuSn12 P.CuSn10 CuSn6	85 65 50-80						
Sn-Pb бронза	P.CuSn10Pb5	80	8	3	10	250	0.5-1.5	
	P.CuSn10Pb10	70						
	P.CuSn7Pb15	65						
	P.CuSn5Pb22	50						
	P.CuSn107n4	80						

## **Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења**

- У лежајеве који раде у режиму течног трења спадају сви лежајеви брзоходних механизма, који раде без или са веома малим бројем прекида и лежајеви са добрим подмазивањем.

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

■ Прорачун клизних лежајева може се обавити на више начина све у зависности од тога шта је дато и шта је потребно израчунати.

Код клизних лежајева се одређују:

- димензије лежаја,
- толеранције лежаја и
- ВИСКОЗНОСТ мазива.

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја

- При прорачуну лежаја обично је познат пречник вратила, на основу којег се одређује пречник рукавца лежаја, умањивањем пречника вратила за пар милиметара (5, 10 или чак 20 mm).
- Ширина лежаја се одређује на основу дозвољеног притиска у лежају

$$p = \frac{F_r}{A} = \frac{F_r}{d b} = \frac{F_r}{\varphi d^2} \leq p_{doz}$$



**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

$F_r$  - радијална сила у лежају,

$d$  - пречник лежаја,

$b$  - ширина лежаја,

$\varphi = b / d$  - однос ширине и пречника лежаја и

$p_{doz}$  - дозвољени притисак у лежају, који се одређује из  
табеле

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

- Уколико, при прорачуну, није познат пречник вратила, или ако се он посебно не узимати у обзир, онда се усваја однос ширине и пречника рукавца ( $\varphi = b / d$ ) и на основу њега се одређује пречник рукавца и, после тога, његова ширина.
- **Однос ширине и пречника ( $\varphi$ )** се креће у границама од 0,2 до 1 евентуално 1,5 с тим што се код брзоходних и мање оптерећених лежајева усваја од 0,5 до 1 док се код лежајева са оптималном носивошћу усваја 0,3 до 0,7.

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

- На основу ове једначине одређује се пречник рукавца

$$d \geq \sqrt{\frac{F_r}{\varphi p_{doz}}}$$

и његова вредност се усклађује са стандардним вредностима.

На основу усвојене вредности  $\varphi = b / d$  израчунава се ширина лежаја и његова вредност се усклађује са стандардним вредностима.

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

- Затим се израчунава стварни притисак у лежају

$$p = \frac{F_r}{A} = \frac{F_r}{d b}$$

$F_r$  - радијална сила у лежају,  
 $d$  - усвојени пречник лежаја и  
 $b$  - усвојена ширина лежаја

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја

- Зазор у лежају се може израчунати посредством релативног зазора у лежају чија се вредност може израчунати по обрасцу

$$\psi = \frac{Z}{d} = (0,0007 \dots 0,0009) \sqrt[4]{v}$$

при чему се мање вредности усвајају за  $\varphi < 0,8$ ; мекше материјале постељице и мање притиске  $p \approx 2 \text{ N/mm}^2$ , а веће вредности за  $\varphi > 0,8$ ; тврђе материјале постељице и веће притиске  $p \approx 10 \text{ N/mm}^2$ .

$v$  - обимна брзина,  $v = r \omega$ ,

$r$  - полупречник рукавца  $r = d / 2$ , а  $\omega$  - угаона брзина  $\omega = \pi n / 30$

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

- Средњи зазор у лежају се затим рачуна по обрасцу

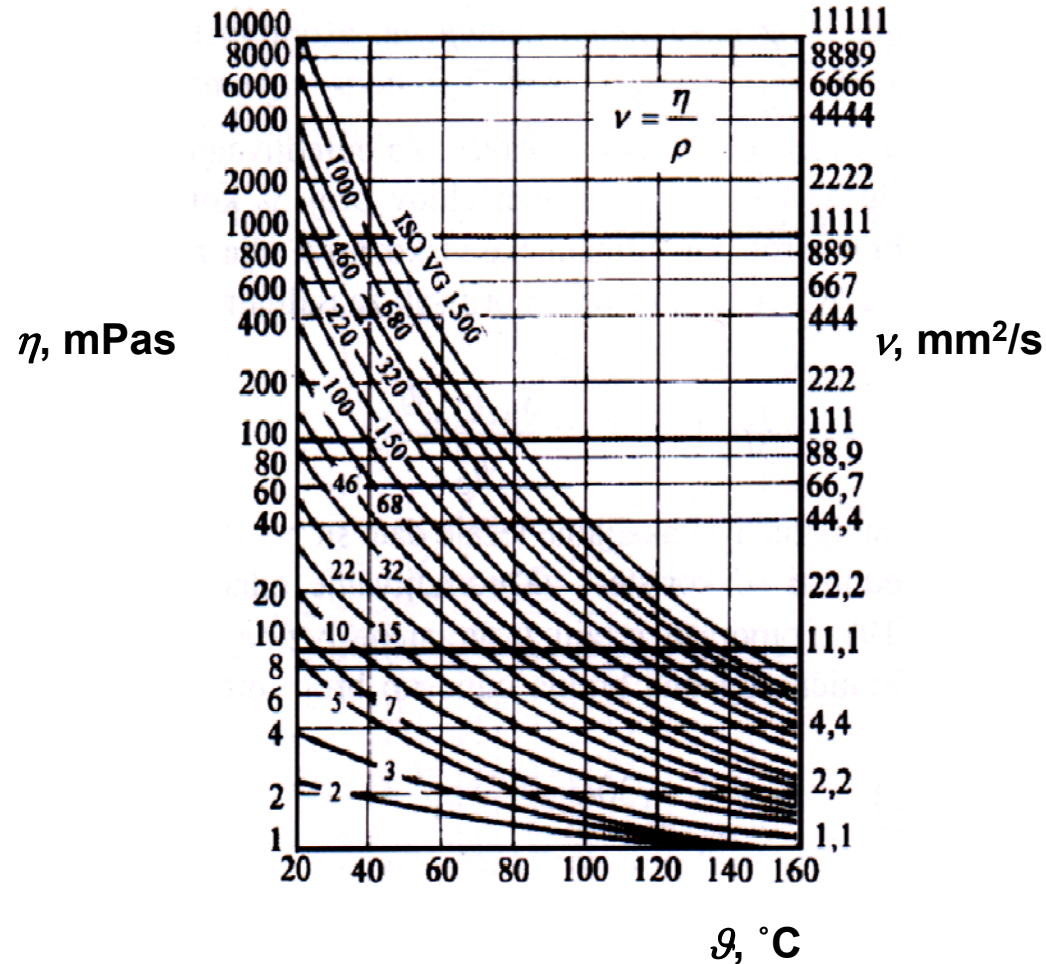
$$Z = \psi d$$

на основу којег се, затим, одређују толеранције рукавца и постелице.

- Зазор се настоји обезбедити са једним од следећих налегања  $H7 / a8$ ;  $H7 / b8$ ;  $H7 / c8$ ;  $H7 / d8$ ;  $H7 / e8$ ;  $H6 / f6$ ;  $H7 / f7$ ;  $H5 / g4$ ;  $H5 / g6$ , итд.

- Након тога се, на основу усвојеног мазива и процењене радне температуре, одређује динамичка вискозност мазива на радној температури, на основу дијаграма

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја**



## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја

- После тога се израчунава вредност Сомерфелдовог броја

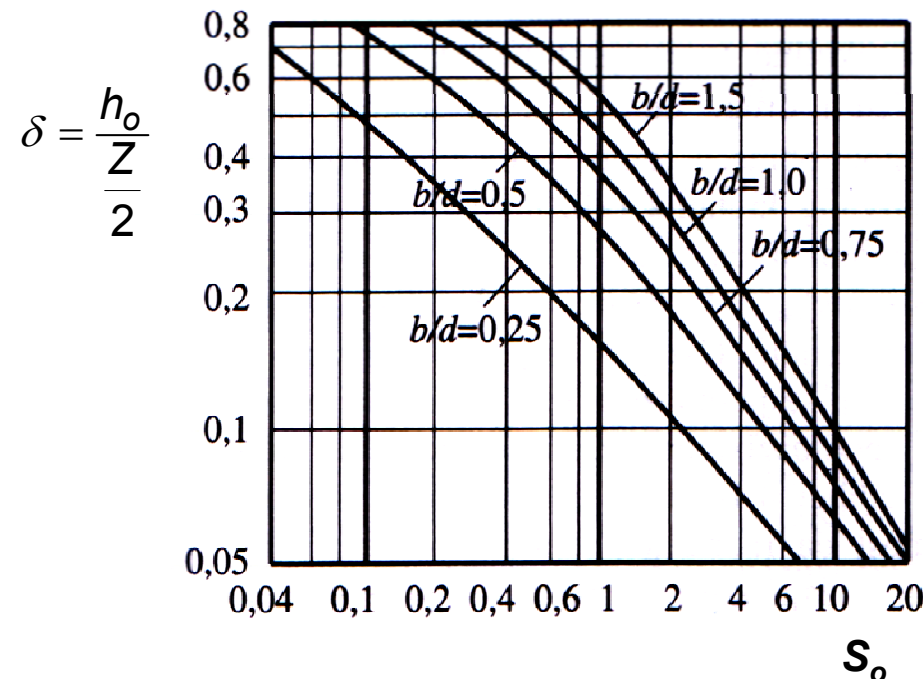
$$S_o = \frac{p \psi^2}{\eta \omega}$$

- Проверава да ли је усклађена са препорученим вредностима, које се крећу у границама  $S_o \leq 1$  за брзоходе и лако оптерећене лежајеве,  $S_o \leq (1 - 3)$  за средњеоптерећене клизне лежајеве и  $S_o > 3$  за тешко оптерећене клизне лежајеве. На основу тако добијене вредности Сомерфелдовог броја, процењује се да ли лежај спада у предвиђену групу лежајева или је потребно извршити промену вредности средњег зазора, односно, налегање.



**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

- Затим се на основу дијаграма, одређује релативна дебљина уљног филма  $\delta$ .



## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја

- На основу тако одређене релативне дебљине уљног филма израчунава се релативна ексцентричност

$$\varepsilon = \frac{e}{Z} = 1 - \delta$$

- А на основу ње минимална дебљина уљног филма

$$h_o = \frac{D\psi}{2} (1 - \varepsilon) \geq h_{o \min}$$

$h_{o \min}$  - минимална дебљина уљног филма, чија вредност се одређује на основу података датих у табели у зависности од пречника рукавца и брзине клизања  $v$ , при чему је

$$v = d\pi n / 60$$

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја**

**Табела 5.27: Минимална дебљина уљног филма  $h_{\text{omin}}$  у  $\mu\text{m}$**

$d, \text{ mm}$	Брзина клизања $v$ у $\text{m/s}$				
	$< 1$	1 - 3	3 - 10	10 – 30	$> 30$
24 – 63	3	4	5	7	10
63 – 160	4	5	7	9	12
160 – 400	6	7	9	11	14
400 – 1000	8	9	11	13	16
1000 - 2500	10	12	14	16	18

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун радијалних лежаја

- Врши се провера, да ли лежај ради у условима течног трења. Обично се израчунава гранична угаона брзина, тј. потребно је да је испуњен услов

$$\omega > \omega_{gr} = \frac{p\psi}{\eta S_o}$$

односно

$$n > n_{gr} = \frac{30 \omega_{gr}}{\pi}$$

- У противном, лежај ради у условима полутечног трења, па да би се то избегло, потребно је или смањити притисак у лежају (повећати ширину лежаја) и/или променити врсту мазива.

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун радијалних клизних лежајева**

- Услед трења у клизним лежајевима долази до губитака енергије што доводи до загревања лежајева.
- Уколико се настала топлота може предати околни, без прекомерног загревања лежаја, при чему се под прекомерним загревањем подразумева загревање изнад 70 до 100 °С није потребно вршити додатно хлађење лежаја, обично, хлађењем уља.

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун радијалних клизних лежајева**

- Губици у лежају се рачунају по обрасцу

$$P_G = \mu F v$$

$$\mu = \frac{3\psi}{S_o} \quad \text{за } S_o < 1 \quad \text{односно} \quad \mu = \frac{3\psi}{\sqrt{S_o}} \quad \text{за } S_o > 1$$

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун радијалних клизних лежајева**

- На основу обрасца за топлотни флуks који се може одвести са лежаја

$$Q_o = \alpha A \Delta \vartheta$$

одређује се температура лежаја

$$\vartheta_L = \frac{Q_o}{\alpha A} + \vartheta_o = \frac{P_G}{\alpha A} + \vartheta_o$$

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун радијалних клизних лежајева**

- Уколико долази до прегревања лежаја потребно је извршити додатно хлађење лежаја ( $Q_M$ ) посредством уља за подмазивање, како би се обезбедило одвођење свих топлотних губитака у лежају

$$P_G = Q_o + Q_M = \alpha A (\vartheta_L - \vartheta_o) + \rho c q (\vartheta_i - \vartheta_u)$$



## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун аксијалних лежаја

- При прорачуну аксијалних лежајева полази се од **прорачуна притиска у лежају**

$$p = \frac{F_a}{A_L} \leq p_{doz}$$

$F_a$  - аксијална сила у лежају,

$A_L$  - ослона површина аксијалног лежаја

За прстенасте лежајеви

$$A_L = \frac{(d_s^2 - d_u^2) \pi}{4}$$

За сегментне лежајеви

$$A_L = z b l$$

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун аксијалних лежаја

- Уместо Сомерфелдовог броја користи се бездимензиона карактеристика носивости

$$S_{oa} = \frac{\rho h_o^2}{\eta v b}$$

$\rho$  - стварни притисак у лежају,

$h_o$  - дебљина уљног филма, чија се вредност одређује из табеле,

$\eta$  - динамичка вискозност мазива, одређује се на основу дијаграма,

$v$  - брзина клизања,

$b$  - ширина сегмента лежаја

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму  
течног трења - Прорачун аксијалних лежаја**

- На основу бездимензионе карактеристике носивости се обично одређује потребна вискозност мазива на радној температури

$$\eta = \frac{p h_o^2}{S_{oa} v b}$$

- На основу овога се, из дијаграма, на основу процењене радне температуре **одређује потребна кинематска ВИСКОЗНОСТ** на нормалној температури.

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Прорачун аксијалних лежаја

- За проверу да ли лежај ради у условима течног трења прорачунава се гранични број обртаја, при чему треба да је испуњен услов

$$n > n_{gr} = \left( \frac{h_{gr}}{h_o} \right)^2 n$$

минимални број обртаја треба да је

$$n > n_{min} = \left( \frac{h_{olim}}{h_o} \right)^2 n$$

$h_{gr}$  - гранична дебљина уљног филма, на прелазу из мешовитог у течно трење

$h_{olim}$  - минимална дозвољена дебљина уљног филма за рад у условима течног трења

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун аксијалних клизних лежајева

■ Услед трења у клизним лежајевима и овде долази до губитака енергије што доводи до загревања лежајева. Уколико се настала топлота може предати околина, без прекомерног загревања лежаја, при чему се под прекомерним загревањем подразумева загревање изнад 70 до 100 °С није потребно вршити додатно хлађење лежаја, обично, хлађењем уља.

■ Губици у лежају се рачунају по обрасцу

$$P_G = \mu F v$$

$\mu$  - коефицијент трења у лежају

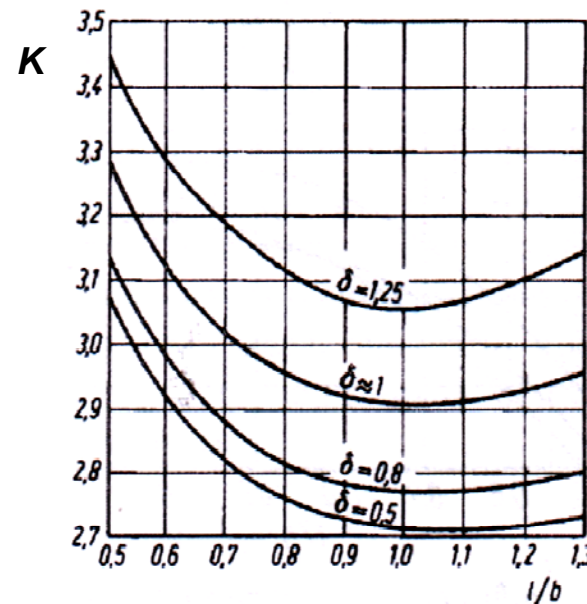
$$\mu = \frac{K h_o}{b \sqrt{S_{oa}}}$$

**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун аксијалних клизних лежајева**

$K$  - фактор трења

$F_r$  - сила у лежају

$v$  - брзина клизања



**Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун аксијалних клизних лежајева**

- На основу обрасца за топлотни флуks који се може одвести са лежаја

$$Q_o = \alpha A \Delta \vartheta$$

- Одређује се температура лежаја

$$\vartheta_L = \frac{Q_o}{\alpha A} + \vartheta_o = \frac{P_G}{\alpha A} + \vartheta_o$$

## Прорачун клизних лежаја који раде у режиму течног трења - Топлотни прорачун аксијалних клизних лежајева

- Уколико долази до прегревања лежаја потребно је извршити додатно хлађење лежаја посредством уља за подмазивање, како би се обезбедило одвођење свих топлотних губитака у лежају

$$P_G = Q_o + Q_M = \alpha A (\vartheta_L - \vartheta_o) + \rho c q (\vartheta_i - \vartheta_u)$$

- тако да се проток уља у лежају рачуна по обрасцу

$$q = \frac{P_G - \alpha A (\vartheta_L - \vartheta_o)}{2 \rho c (\vartheta_i - \vartheta_L)}$$

Систем за подмазивање треба да обезбеди ову вредност протока.



# Питања ...

