

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVOD ZA STROJARSTVO I BRODOGRADNJU  
*KATEDRA ZA ELEMENTE STROJEVA*

**Damir Jelaska**

**RADIJALNI KLIZNI LEŽAJ**

(Proračun)

*Split, srpanj, 2003.*

## O Z N A K E

$A_H$	- rashladna površina hladnjaka, $m^2$
$A_L$	- rashladna površina ležaja, $m^2$
$b$	- nosiva širina blazinice, $m$
$d$	- promjer ležaja (rukavca), $m$
$F$	- sila na ležaj, $N$
$f_H$	- faktor površine hladnjaka
$f_L$	- faktor površine ležaja
$h_o$	- najmanja debljina uljnog filma, $m$
$h_{kr}$	- kritična debljina uljnog filma, $m$
$k_u$	- faktor protoka maziva
$l$	- raspon između ležajeva, $m$
$n$	- brzina vrtnje rukavca, $min^{-1}$
$p_{sr}$	- srednji dodirni pritisak ležaja, $Pa$
$Q_u$	- potrebna količina ulja, $m^3/s$
$Re$	- Reynoldsov broj
$Re_{kr}$	- kritična vrijednost Reynoldsovog broja
$Rz_{1,2}$	- srednja visina neravnina površine ležaja (blazinice) i rukavca
$r$	- polumjer ležaja (rukavca), $m$
$So$	- Sommerfeldov broj
$t_o$	- temperatura okolnog zraka, $^{\circ}C$
$t_u$	- srednja temperatura ulja (ležaja), $^{\circ}C$
$t_v$	- srednja temperatura rashladne vode, $^{\circ}C$
$t_{1,2}$	- ulazni i izlazna temperatura rashladne vode, $^{\circ}C$
$v$	- obodna brzina osovine, $m/s$
$y_{max}$	- maksimalni progib osovine, $m$
$Z$	- zračnost u ležaju, $m$
$\alpha_H$	- koeficijent prijelaza topline za hladnjak, $W/(m^2K)$
$\alpha_L$	- koeficijent prijelaza topline za ležaj, $W/(m^2K)$
$\beta$	- obuhvatni kut ležaja
$\Delta r$	- radijalna zračnost, $=Z/2$ , $m$
$\delta$	- relativna debljina uljnog filma, $=h_o/\Delta r$
$\eta$	- dinamička viskoznost maziva, $Pa \cdot s$
$\mu$	- faktor trenja
$\rho$	- gustoća ulja, $kg/m^3$
$\psi$	- relativna zračnost
$\varphi$	- faktor širine ležaja
$\omega$	- kutna brzina osovine, $rad/s$
$\nu$	- kinematička viskoznost maziva, $m^2/s$

## 1. UVOD

Za radijalni klizni ležaj koji u stacionarnom pogonu preuzima radijalnu silu  $F$  pri frekvenciji vrtnje rukavca  $n$ , potrebno je dimenzionirati ležaj, odrediti ulje za podmazivanje i njegovu temperaturu u stacionarnom pogonu, te provjeriti da li je osigurano hidrodinamičko podmazivanje, odnosno da li je ostvareno tekuće trenje.

Pri tome treba imati u vidu da ovdje prikazani način proračuna vrijedi samo za ležajeve s cilindričnom blazinicom, na višepovršinske ležajeve ili na ležajeve s tzv. "limunskom" zračnošću ne može se primijeniti. Isto tako, proračun vrijedi samo za konstantnu veličinu i smjer opterećenja ležaja, konstantnu brzinu vrtnje i za laminarno strujanje u uljnom filmu.

## 2. DIMENZIONIRANJE LEŽAJA

### 2.1 Izbor ležajnog materijala

Izbor materijala ležajne blazinice od presudnog je značenja za trajnost ležaja i čitavog stroja kada se zbog nestacionarnih uvjeta pogona ili drugih razloga ne može postići hidrodinamičko podmazivanje, odnosno tekuće trenje. Tipičan primjer za to su ležajevi strojeva s motornim mehanizmom. Međutim i kod ležajeva sa stacionarnim uvjetima pogona (primjerice transmijski ležajevi, ležajevi električkih i turbo-strojeva, reduktora, valjaoničkih stanova i sl.) koje ovdje proračunavamo, dolazi do graničnog i eventualnog suhog trenja kod pokretanja i zaustavljanja stroja (osim kada posebna pumpa omogućava tzv. hidrodinamički start), pa je izbor materijala i kod njih važan.

Ovi materijali moraju imati dobra antifricijska svojstva, tj. moraju se dati urađivati (uhodavati) s materijalom rukavca, pri kratkotrajnom radu ležaja na suho ne smiju dopustiti zaribavanje, moraju se dati dobro uglačati i omogućiti dobru prionljivost ulja. Pored toga, trebaju se što jednoličnije rastezati s povećanjem temperature, ne smiju bubriti, moraju imati odgovarajuću dinamičku čvrstoću, otpornost na temperaturu, moraju dobro voditi toplinu, te se kao materijal za platiranje trebaju dati dobro vezati za podlogu. Ne postoji materijal koji udovoljava svim ovim zahtjevima, ali bijele kovine (ležajne legure na bazi kositra i olova) i različite vrste bronci su kudikamo bolji ležajni materijali od ostalih, koji se primjenjuju samo za specijalne ili podređene svrhe. Pri tome se ovi kvalitetni i skupi ležajni materijali postavljaju u ležajne blazinice u tankom sloju (bimetalne blazinice), ili se na čeličnu blazinicu nanosi osnovni sloj od bronce, debljine 0,4 do 0,6 mm, a zatim po njemu klizni sloj od bijele kovine debljine 0,015 do 0,035 mm (trimetalne blazinice). U posljednje vrijeme se sve uspješnije primjenjuju višeslojne blazinice iz plastičnih masa. Pregled ležajnih materijala dat je u tablici 1. *(Veće vrijednosti srednjeg pritiska u ležaju treba birati za obilno podmazivanje pomoću pumpe, za manje brzine vrtnje, te za povoljne pogonske uvjete.)*

**Tablica 1**

Dopušteni srednji pritisak ležajnih materijala, u MPa

Materijal	Oznaka	Primjena	$p_{dop}$
Lijeivano željezo	SL 20 SL 25	Velika opterećenja na habanje, osjetljivo na rubne pritiske	1,0...2,0
Bijela kovina	L. PbSn5 L. PbSn10	Za veća opterećenja i zahtjeve za dobra klizna svojstva	1,0...3,0
	L.PbSn6Cd L.PbSn9Cd	Za najveća opterećenja i zahtjeve za dobra klizna svojstva	1,0...6,0
	L. Sn80Pb	Za jaka udarna opterećenja, izvrsna klizna svojstva	2,5...3,0
	L. Sn80 L. Sn89	Za rad pri povišenim temperaturama i jakim udarnim opterećenjima	2,0...25
Legura cinka	Zn A1 4Cu1	Osjetljive na visoke temperature. Temperatura u radu ne smije prekoračiti 80°C	5,0...10
Olovna bronca	P. CuPb25	Mali koeficijent pri suhom trenju. Dobro vodi toplinu. Za jako opterećenje ležajeva.	7,0...30 (15 za prsten)
Kositrena bronca	P. CuSn10Pb10 P. CuSn14	Dobra mehanička i antifricijska svojstva, dobro se lijeva. Za udarno opterećenje i visoke temperature.	5...25
Sintetizirano Fe i bronca	Npr. SINT B11	Upijaju mazivo i sami podmazuju svoju kliznu površinu. Za manje brzine. Ne podnose udarna opterećenja.	10
Mekana guma	70 ShA	Za podmazivanje vodom brodskih, te osovina vodnih turbina i pumpi	0,3...2,0
Politetraflouretilen	PTFE	Za višeslojne ležajeve s međuslojem od sinterirane bronce	3,5
PTFE sa dodatkom olova		Za višeslojne ležajeve s međuslojem od sinterirane bronce	50...140
15% grafit, ostalo PTFE		Za višeslojne ležajeve s međuslojem od sinterirane bronce. Otporan na agresivne sredine. Moguć rad bez podmazivanja	10 ako se podmazuje, 1,4 ako se ne podmazuje
55% bronca 5% MoS <sub>2</sub> , ostalo PTFE			
Najlon		Za podmazivanje vodom	10, ako se podmazuje
Poliamid			

## 2.2 Srednji površinski pritisak

Središnji površinski pritisak u ležaju

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

ne smije prijeći dopuštenu vrijednost koja ovisi o materijalu ležaja, način podmazivanja i uvjetima pogona (tablica 1.). Iz tog uvjeta može se odrediti promjer ležaja  $d$ , ako nije definiran na drugi način:

$$d = \sqrt{\frac{F}{\varphi \cdot p_{dop}}}$$

Ovdje je  $\varphi$  faktor širine ležaja koji se za normalna opterećenja uzima u granicama od 0,6 do 1, a za povećanja opterećenja 0,4 do 0,6. Za ležajeve s hidrodinamičkim podmazivanjem poželjno je ograničiti dodirni pritisak na 2,5 do 4 MPa za bijelu kovinu ili na 5 do 10 MPa za kvalitetnije materijale, primjerice za broncu sparenu s cementiranim i kaljenim osovinama.

Kada se promjer ležaja zaokruži na veći standardni, ili bar na parni broj milimetara, ukupna širina ležaja (ujedno duljina blazinice) je onda

$$b = \varphi \cdot d$$

## 2.3 Zračnost u ležaju

Prethodna vrijednost relativne zračnosti u ležaju:

$$\psi = \frac{\Delta r}{r} = \frac{Z}{d}$$

**Tablica 2**

Preporučene vrijednosti relativne zračnosti  $\psi$  u promilima (‰) za metalne ležajeve

$p_{sr}$ , MPa	v, m/s		
	do 20	20 do 100	preko 100
do 2	0,3...0,6	0,6...1,2	1,2...2,0
2 do 10	0,6...1,2	1,2...2,0	2,0...3,0
preko 10	1,2...2,0	2,0...3,0	3,0...4,5

Određuje se za metalne ležajeve iz tablice 2. na osnovi srednjeg pritiska u ležaju i obodne brzine rukavca:

$$v = r \cdot \omega$$

pri čemu je kutna brzina rukavca

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

za brzinu vrtnje  $n$  zadanu u okr/min.

Za manje promjere osovine (primjerice  $d < 100$  mm), moguće je navedene vrijednosti relativne zračnosti još povećati. Ponekad se relativna zračnost računa prema iskustvenoj formuli Vogelpohla

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{v}$$

gdje se  $v$  uvrštava u m/s.

Kod transmisijskih vratila relativna zračnost je obično u granicama od 0,2 do 4,0, kod ležaja reduktora 0,5 do 1,5 a kod ležajeva elektromotora, generatora i centrifugalnih pumpi 1,0 do 1,5 promila. Ovako dobivenu relativnu zračnost treba još kontrolirati da li udovoljava uvjetima vezanim za toplinsko rastezanje materijala blazinice.

Na osnovi ovako odabrane relativne zračnosti treba odabrati dosjed blazinice i rukavca, koji će imati relativnu zračnost približno jednaku odabranoj. Pri tome se računa sa srednjom zračnošću ležaja

$$Z = \frac{Z_{\min} + Z_{\max}}{2}$$

Granična odstupanja ta neka preporučena tolerancijska polja dana su u tablici 3.

**Tablica 3** Odstupanja u  $\mu m$  za neka tolerancijska polja

Mjera	H7	d8	d9	e8	f7	g6	H8	d10	f8
>30-50	+25 0	-80 -119	-80 -142	-50 -89	-25 -50	-9 -25	+39 0	-80 -180	-25 -64
>50-80	+30 0	-100 -146	-100 -174	-60 -106	-30 -60	-10 -29	+46 0	-100 -220	-30 -76
>80-120	+35 0	-120 -174	-120 -207	-72 -126	-36 -71	-12 -34	+54 0	-120 -260	-36 -90
>120-180	+40 0	-145 -208	-145 -245	-85 -148	-43 -83	-14 -39	+63 0	-145 -305	-43 -106
>180-250	+46 0	-170 -242	-170 -285	-100 -172	-50 -96	-15 -44	+72 0	-170 -355	-50 -122

### 3. TEMPERATURA LEŽAJA I IZBOR ULJA

Temperatura ležaja za koju se smatra da je jednaka srednjoj temperaturi ulja u ležaju, u ustaljenom pogonu, kada je postignuta ravnoteža između proizvedene topline koja se predaje okolini, računa se prema

$$t_u = t_o + \frac{\mu \cdot F \cdot v}{\alpha_L \cdot A_L}.$$

Temperaturu okolnog zraka uobičajeno je računati s  $t_o = 40^\circ\text{C}$  (zatvoreni prostori strojnica sa slabom ventilacijom) za dobro provjetravane prostorije, ili za rad na otvorenome može se računati s  $t_o = 30^\circ\text{C}$ .

Koeficijent prijelaza topline s ležaja na zrak računa se prema iskustvenoj formuli

$$\alpha_L = 7 + 12\sqrt{v_z}, \quad \text{W}/(\text{m}^2\text{K}),$$

gdje je  $v_z \geq 1$  m/s – brzina strujanja zraka oko ležaja. Za nečiste površine uzima se  $\alpha_L = 20$  W/(m<sup>2</sup>K) i manje, bez obzira na strujanje zraka. Za umjereno strujanje zraka  $v_z = 1...2$  m/s. Za jako strujanje zraka  $v_z > 2$  m/s (prostorije s jakom ventilacijom). Prema navedenoj formuli, temperatura ulja za određeni ležaj u stacionarnom pogonu ovisi samo o faktoru trenja  $\mu$ . Proračun rashladne (vanjske) površine ležaja prilično je nepouzdan. Računa se pomoću izraza

$$A_L = f_L \cdot b \cdot d$$

pri čemu se faktor rashladne površine  $f_L$  uzima 20 do 25 za lagane transmisijske ležajeve, 25 do 30 za srednje transmisijske ležajeve, te 30 do 40 za teške transmisijske ležajeve. Na veličinu rashladne površine ležaja utječe i dio osovine izvan ležaja.

Budući da prema dijagramima na slikama od 1 do 4. faktor trenja ovisi samo o Sommerfeldovom broju

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

a ovaj samo o dinamičkoj viskoznosti, to je i temperatura ulja ovisna isključivo o dinamičkoj viskoznosti ulja. Ova ovisnost se računa (prema dijagramima na slikama 1-4) za desetak pretpostavljenih vrijednosti dinamičke viskoznosti (obično između 10 i 100 mPa·s), te se kao karakteristika ležaja ucrtava u  $\eta$ - $t_u$  dijagram za normna ulja (slika 5). Na presjecištu karakteristika ležaja i  $\eta$ - $t_u$  karakteristike odabranog ulja, dobije se radna točka ležaja, čije koordinate predstavljaju stvarnu temperaturu ležaja u stacionarnom pogonu i dinamičku viskoznost kod te temperature. Ulje se odabire iskustveno prema tablici 4. Pri upotrebi dijagrama treba voditi računa da je većina standardnih ležajeva izvedena s obuhvatnim kutom  $\beta = 180^\circ$  ili nešto manjim, jer na razdjelnoj ravnini imaju uzdužne kanale za raspodjelu ulja, koji prekidaju uljni film,

ili pak uopće nemaju gornji dio blazinice. Samo u iznimnim slučajevima ležaj se izvodi sa  $\beta = 360^\circ$  tj. s neprekinutom blazinicom. Ležajevi kojima je gornja blazinica izvedena s većim udubljenjem za raspodjelu ulja, odnosno ležajevi koji samo na uskim rubovima ukupne širine do  $0,3b$  dodiruju osovinu, računaju se sa  $\beta = 180^\circ$ .

Umjesto izbora konkretnog ulja, može se odrediti samo ISO-VG broj (tj. kinematička viskoznost u  $\text{mm}^2/\text{s}$  kod  $40^\circ\text{C}$ ), a izbor ulja obaviti naknadno u dogovoru sa specijalistima i korisnicima.

**Tablica 4** Izbor maziva za klizne ležajeve

Način podmazivanja	Uvjeti pogona: temperatura $t$ $^\circ\text{C}$ brzina vrtnje $\text{min}^{-1}$	Karakteristika maziva			Preporučuje se mazivo
		viskoznost kod $50^\circ\text{C}$	krutište $^\circ\text{C max}$	plamište $^\circ\text{C min}$	
1	2	3	4	5	6
<b>PODMAZIVANJE</b>					
Uljem ručno ili mazalicom	$n < 50$	91	-5	210	L 100
	$n = 50-200$	62	-5	200	L 60
	$n = 200-700$	49	-5	200	L 45
Uljem cirkulacijski ili prstenom	$t > 0^\circ\text{C}$				
	$n < 50$	91	-5	210	CP-NT
	$n = 50-200$	62	-5	200	CP-VT
	$n = 200-700$	49	-5	200	CP-T
	$n = 700-1500$	37	-5	180	CP-S
	$n = 1500-3000$	19	-5	170	CP-VL
	$n > 3000$	7,0	-7	140	CP-EE
$t < 0^\circ\text{C}$	30	-25	180	KH-S	
<b>Mašču</b>					
Mazalicama	$t < 60^\circ\text{C}$	kapljište $85^\circ\text{C}$ sapun na bazi Ca			KS-3
Tlačno	$t > 60^\circ\text{C}$	kapljište $85^\circ\text{C}$ sapuna na bazi Ca			KS-2
		kapljište $150^\circ\text{C}$ sapun na bazi CaNa			NS-4

Ukoliko je ovako dobivena temperatura ulja previsoka (za mineralno ulje ne bi smjela prelaziti  $60\dots75^\circ\text{C}$ , iznimno  $80^\circ\text{C}$ ), odabere se drugo ulje s manjom viskoznošću. Za brzohodne, manje opterećene ležajeve ISO VG broj ne bi smio biti manji od 10, za sporohodne, teško opterećene ležajeve preporučuje se ISO VG 32...320. Ako u navedenim rasponima nije moguće postići odgovarajuću temperaturu ulja, uvodi se dodatno hlađenje, koje se može ostvariti na više načina. Ovdje će se pretpostaviti cijevni hladnjak uronjen u ulje u kućištu ležaja. Za njega je poželjno da razlika temperature rashladne vode na ulazu i izlazu bude  $t_2 - t_1 = 5\dots10$  K, pa je srednja temperatura vode

$$t_v = \frac{t_1 + t_2}{2}$$



a temperatura ulja se računa prema izrazu:

$$t_u = \frac{\mu \cdot F \cdot v + A_L \cdot \alpha_L \cdot t_o + A_H \cdot \alpha_H \cdot t_v}{A_L \cdot \alpha_L + A_H \cdot \alpha_H}$$

Ovdje se rashladna površina hladnjaka  $A_H$  računa iskustveno

$$A_H = f_H \cdot b \cdot d$$

pri čemu se faktor rashladne površine hladnjaka  $f_H$  može dosta točno izračunati. Za standardne izvedbe (cijevna spirala u uljnoj kupki, dvostruke stjenke na dnu kućišta i sl.) kreće se  $f_H$  u granicama 2 do 8. Koeficijent prijelaza topline za hladnjak  $\alpha_H$  nepouzdan je podatak, jer ovisi o brzini strujanja vode u cijevima i intenzitetu miješenja ulja oko cijevi. Ako ne postoje pouzdane teorijske ili iskustvene podloge, treba računati s minimalnim vrijednostima  $\alpha_H = 75 \dots 159 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Daljnji tok proračuna isti je kao i onaj opisan za ležaj bez dodatnog hlađenja.

Potrebna količina ulja za hidrodinamičko podmazivanje je:

$$Q_u = k_u \cdot b \cdot v \cdot h_o$$

gdje je  $k_u$  faktor protoka maziva, koji se kreće u granicama  $k_u = 0,5 \dots 0,75$ .

## 4. GRANIČNI UVJETI POGONA

Pored srednjeg dodirnog pritiska u ležaju i temperature ulja, koji su već provjereni, potrebno je još provjeriti je li najmanja debljina uljnog filma osigurava hidrodinamičko podmazivanje, je li dolazi do cikličkog kovitlanja u rukavcu ležaju, te je li u uljnom filmu ostvareno laminarno strujanje ulja.

### 4.1 Provjera cikličkog kovitlanja rukavca u ležaju

Kod većih debljina uljnog filma, položaj rukavca u ležaju postaje nestabilan. Dolazi do cikličkog kovitlanja najčešće s frekvencijom od  $0,5n$ . Smatra se da do ove pojave neće doći ako je ispunjen uvjet

$$\frac{h_o}{\Delta r} < 0,3.$$

Stvarna vrijednost relativne debljine uljnog filma  $h_o / \Delta r$  dobije se iz slike 2. ili slike 1. za Sommerfeldov broj izračunat za dinamičku viskoznost ulja kod radne temperature.

Ukoliko ovaj uvjet nije ispunjen, treba ponoviti proračun s povećanim srednjim pritiskom ležaja.

## 4.2 Provjera hidrodinamičkog plivanja

Da bi se ostvarilo hidrodinamičko podmazivanje odnosno plivanje rukavca u ležaju (a time i tekuće trenje), potrebno je da najmanja debljina uljnog filma  $h_o$  bude veća od kritične debljine uljnog filma:

$$h_o > h_{kr} + (2...5) \mu\text{m}.$$

Najmanja debljina uljnog filma dobiva se iz stvarne relativne debljine uljnog filma  $\delta = h_o / \Delta r$  izračunate u točki 4.1:

$$h_o = \delta \cdot \Delta r.$$

Kritična debljina uljnog filma računa se prema

$$h_{kr} = R_{z1} + R_{z2} + \Delta h.$$

Srednje visine neravnine  $R_{z1}$  i  $R_{z2}$  ovise o primijenjenom načinu obrade, odnosno stupnja površinske hrapavosti (tablice 5. i 6.). Veličina  $\Delta h$  uzima u obzir neparalelnost osi rukavca i blazinice, progib osovine duž ležaja, te odstupanje uzdužnog presjeka rukavca i blazinice od nominalnog profila. Budući da je točno određivanje  $\Delta h$  mukotrpan posao s neizvjesnom točnošću rezultata, obično se orijentacijski uzima:

$$\Delta h = \frac{1,6 y_{\max} \cdot b}{l} + (2...3) \mu\text{m}.$$

Ako su maksimalni progib osovine između dva oslonca  $y_{\max}$  i raspon između ležajeva  $l$  nepoznati podaci, uvjet hidrodinamičkog podmazivanja se računa približno

$$h_o > (1,5...3) \cdot (R_{z1} + R_{z2})$$

Ukoliko ovaj uvjet nije ispunjen, potrebno je ponoviti proračun sa smanjenom vrijednosti srednjeg pritiska u ležaju.

**Tablica 5**

Raspon klasa hrapavosti i srednje visine neravnina za razne načine obrade površina (izvadak)

Način obrade	Klasa hrapavosti	Srednja visina neravnina $R_z$ u $\mu\text{m}$
Tokareno normalno	N7...N10	6,3...50
Tokareno fino	N4...N7	0,8...1,6
Razvrtano	N4...N6	0,8...3,2
Brušeno normalno	N6...N8	1,6...12,5
Brušeno fino	N3...N6	0,4...3,2
Polirano mehaničko	N3...N6	0,4...3,2
Poliranje elektrolitno	N1...N5	0,1...3,2
Honovanje	N1...N6	0,1...3,2
Lepovanje	N1...N5	0,1...1,6
Super finiš	N1...N3	0,1...0,4

**Tablica 6**Površinska obrada – stupanj  
površinske hrapavosti

Stupanj površinske hrapavosti	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Srednje odstupanje profila $R_z$ ( $\mu m$ )	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Srednja visina neravnina $R_z$ ( $\mu m$ )	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2
Najveća visina neravnina $R_{max}$ ( $\mu m$ )	0,16	0,32	0,63	1,25	2,5	5

Stupanj površinske hrapavosti	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Srednje odstupanje profila $R_a$ ( $\mu m$ )	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Srednja visina neravnina $R_a$ ( $\mu m$ )	6,3	12,5	25	50	100	200
Najveća visina neravnina $R_{max}$ ( $\mu m$ )	10	20	80	80	160	320

### 4.3 Provjera laminarnosti strujanja u uljnom filmu

Laminarno strujanje u uljnom filmu bit će ostvareno ako je Reynoldsov broj manji od njegove kritične vrijednosti za koju nastupa turbolentno strujanje:

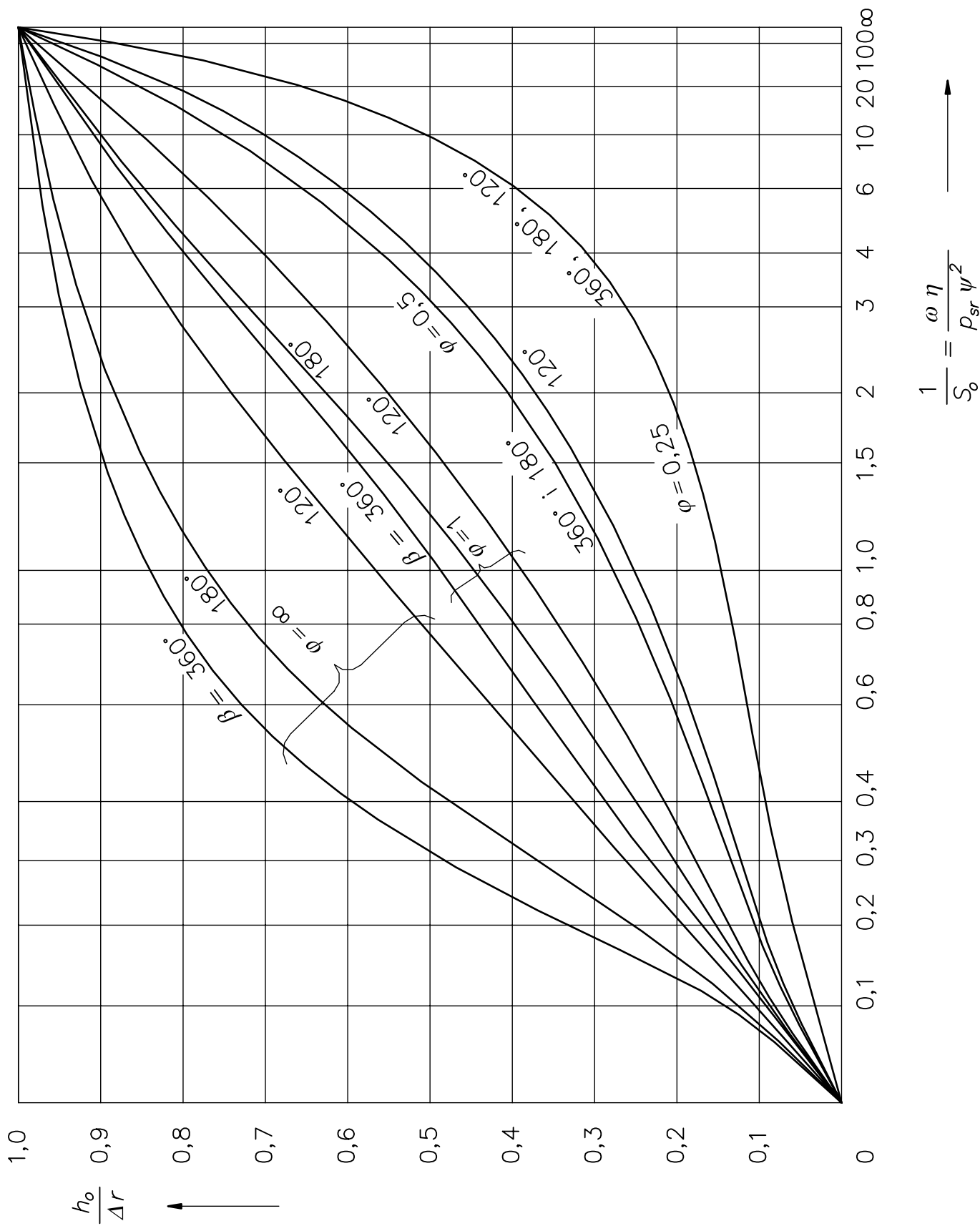
$$Re < Re_{kr}$$

Pri tome je

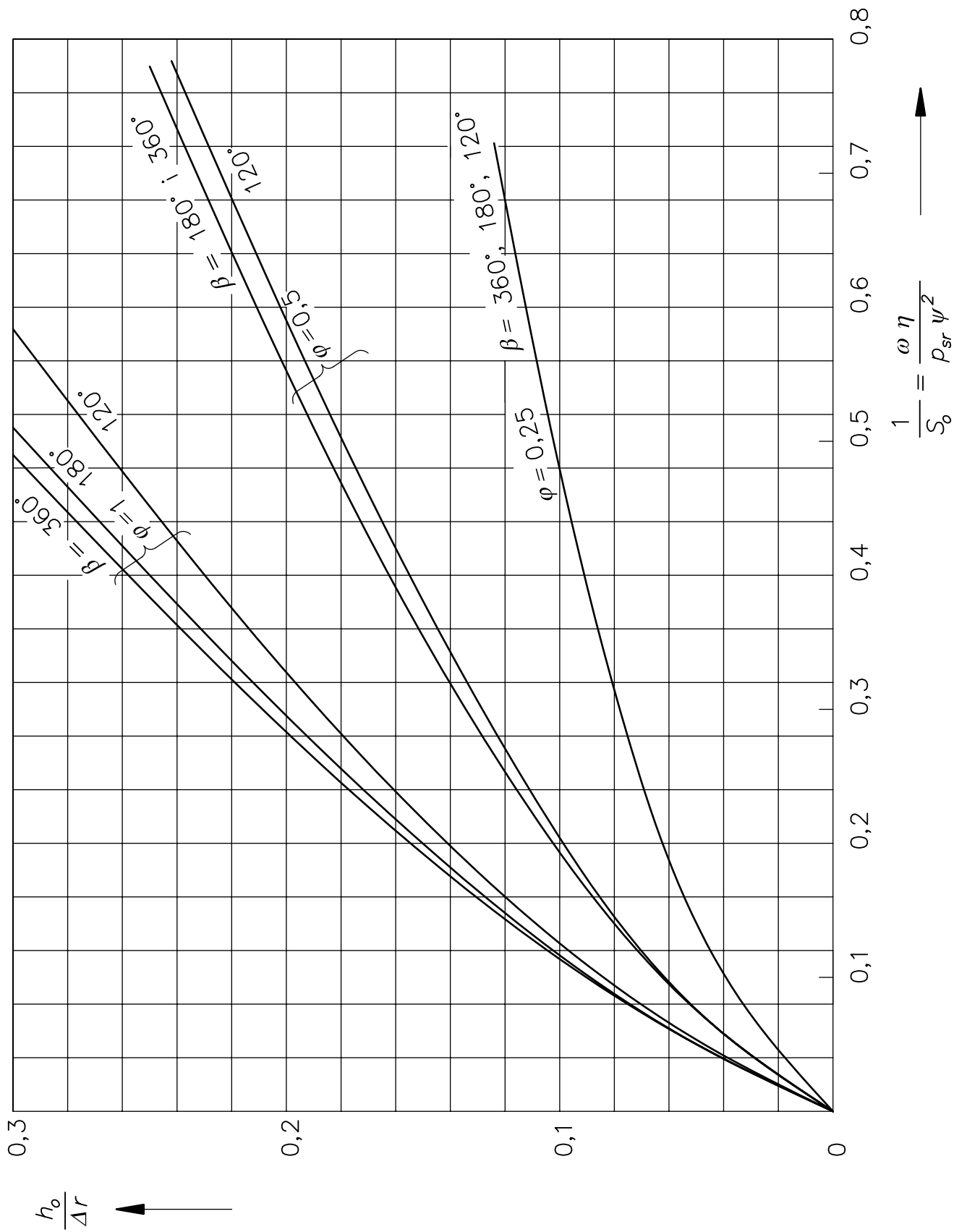
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d \cdot \psi}{2 \cdot \eta}$$

$$Re_{kr} = \frac{41,3}{\sqrt{\psi}}$$

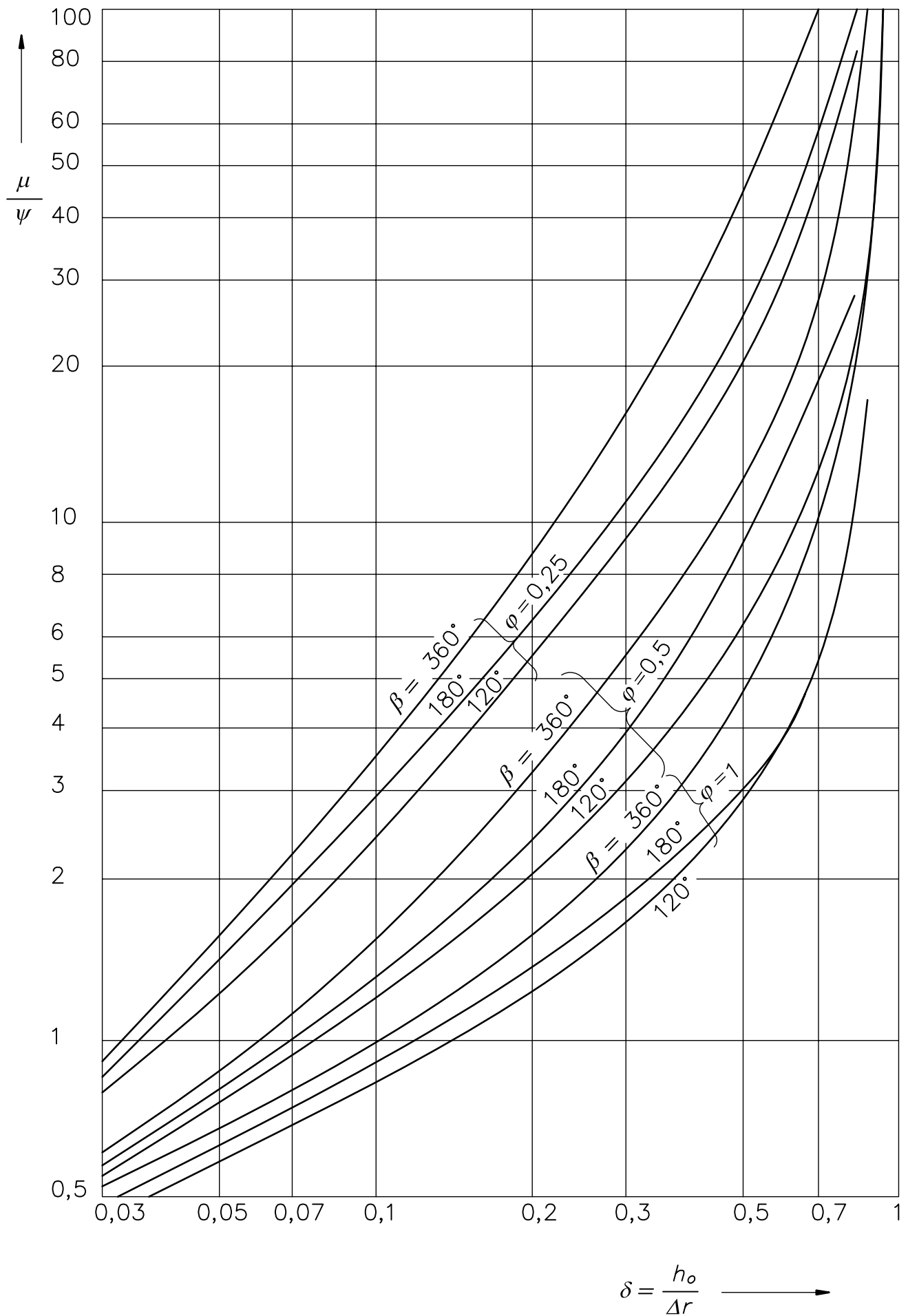
Ukoliko ovaj uvjet nije ispunjen, treba ponoviti proračun sa smanjenom vrijednošću relativne zračnosti.



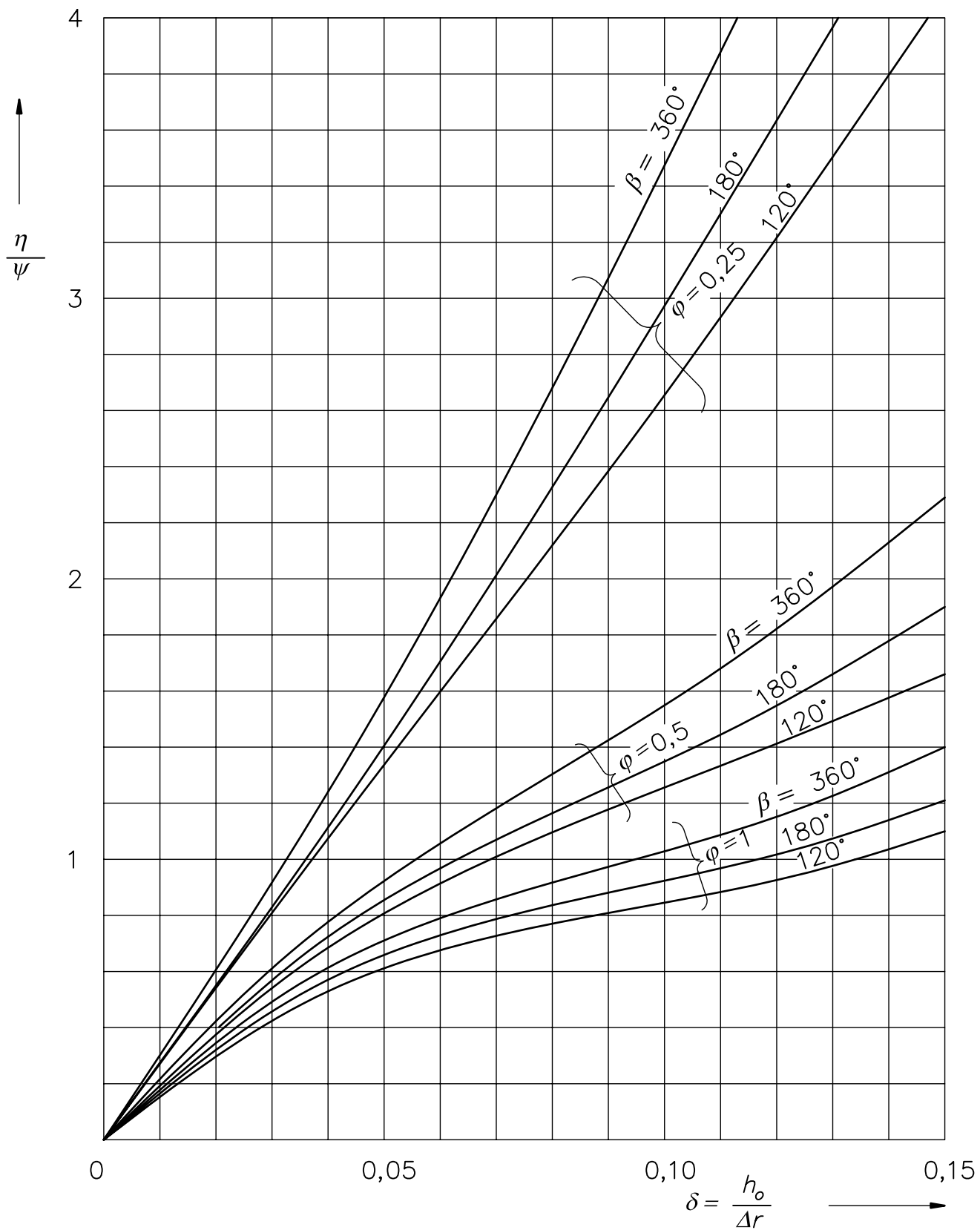
Slika 1. Sommerfeldova značajka kao funkcija relativne debljine uljnog filma  $\delta = h_0 / \Delta r$ , faktora širine ležaja  $\phi = b/d$  i obuhvatnog kuta  $\beta$



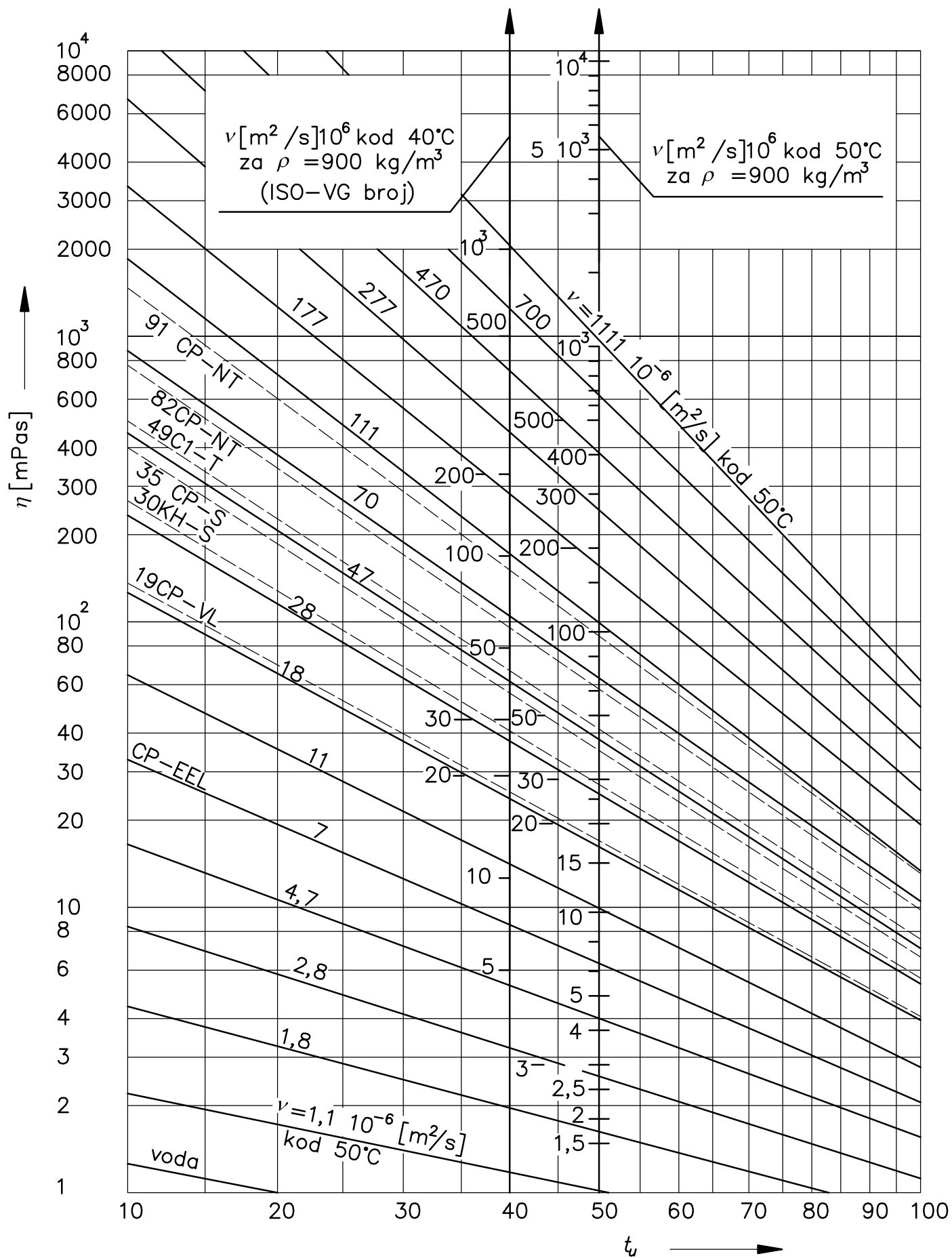
Slika 2. Sommerfeldova značajka za područje  $0 < \delta \leq 0,3$



Slika 3. Značajka trenja  $\mu/\psi$  kao funkcija relativne debljine uljnog filma  $\delta=h_0/\Delta r$ , faktora širine ležaja  $\phi$  i obuhvatnog kuta  $\beta$ .

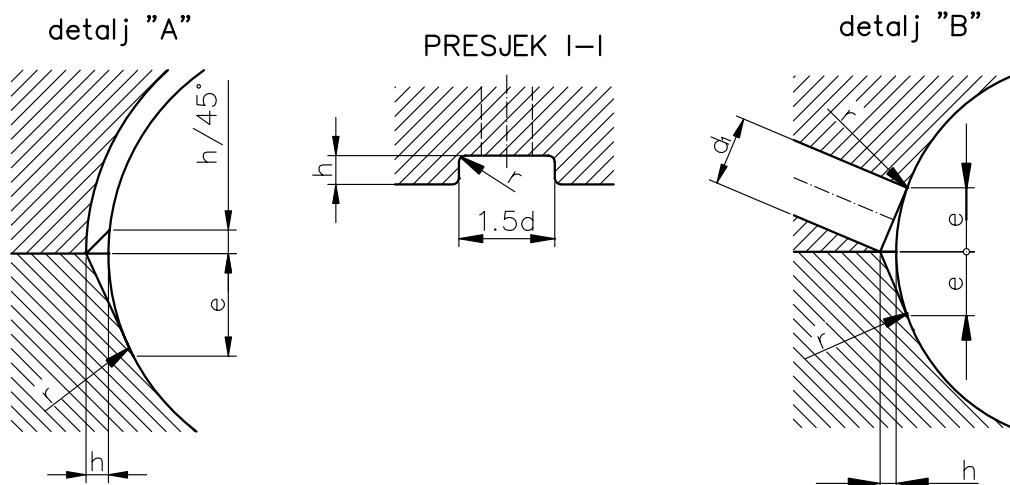
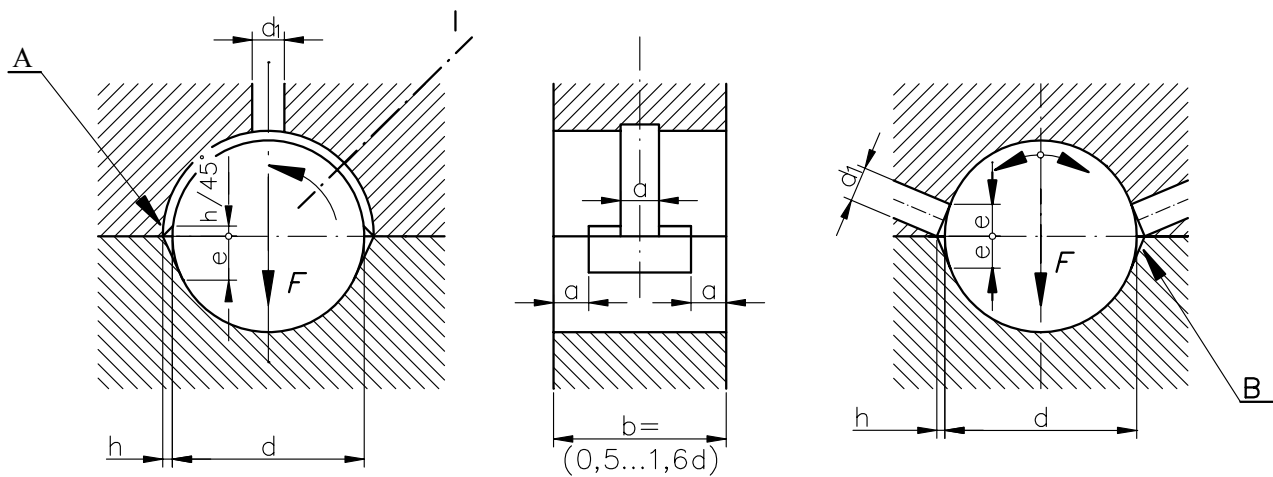


Slika 4. Značajke trenja  $\mu/\psi$  za područje  $0 < \delta \leq 0,15$



Slika 5. Ovisnost dinamičke viskoznosti o temperaturi za normna ulja

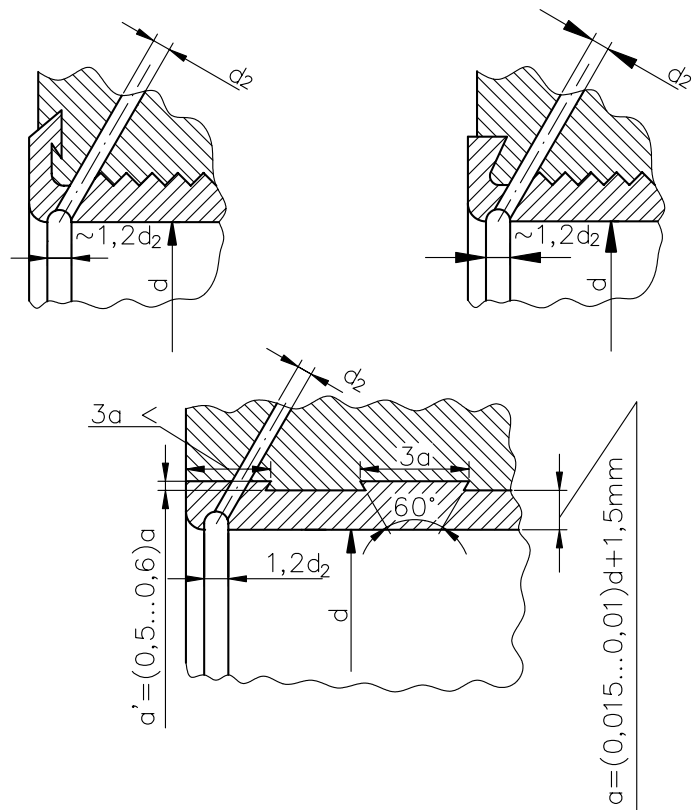




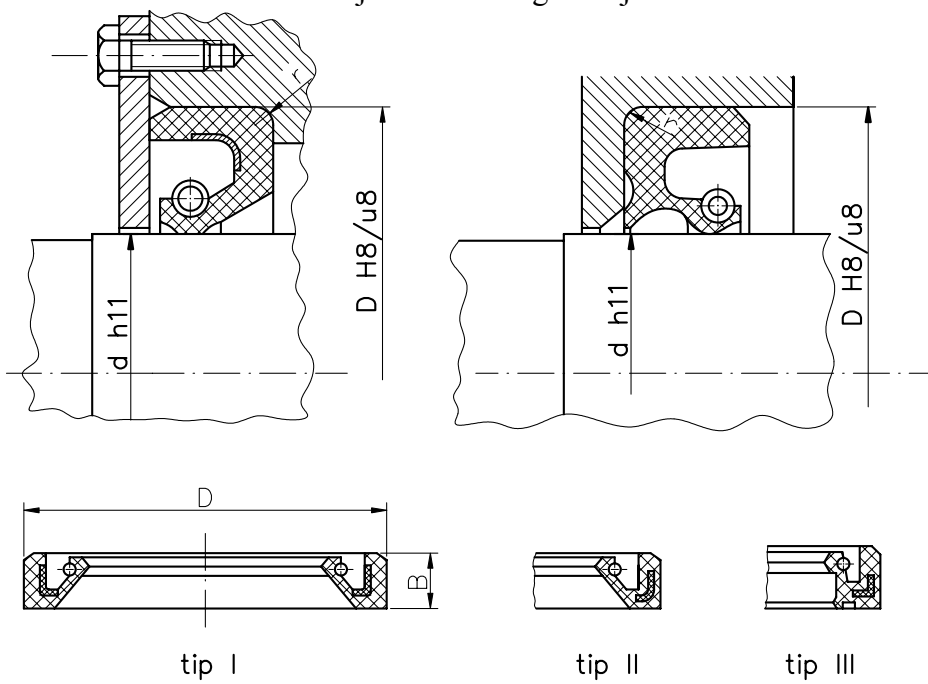
Slika 6. Oblici kanala za dovođenje i razvođenje maziva kod dijeljenih blazinica

Dimenzije kanala prikazanih na slici 6.

$d$ od - do	45-70	70-110	110-180	180-280	280-450	450-710	70-1000
$h$	1,6	2	2,5	3	3	4	5
$e$	7	8	10	15	20	25	40
$d_1$	5	6	8	10	12	16	20
$a$	6	8	10	14	16	20	25
$r_1$	8	10	13	15	15	20	25



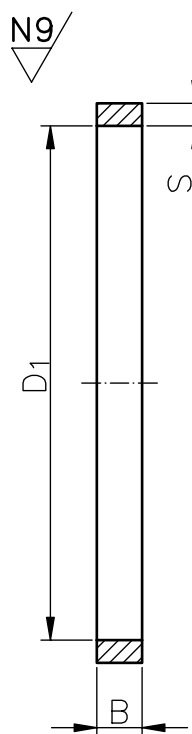
Slika 7. Dimenzije klizne obloge ležajnih blazinica



Dimenzije osovinskih brtvila

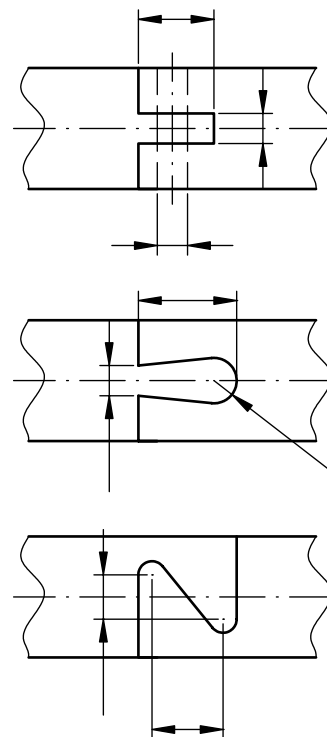
Promjer vratila $d_1$	10	11	12	13	14	15	16	32	18	19	20								
$D$	25		28			30		32	35		40								
$B$	7		7									10							
$d_1$	22	24	25	26	28	30	32	35	38	40	42	45	48	50	52	55	58	60	65
$D$	40	42	45	47	52	58	60	62	65	70	75	80	85	90					
$B$	10										12								

## Orientacijske dimenzije slobodnog prstena za podmazivanje ležaja



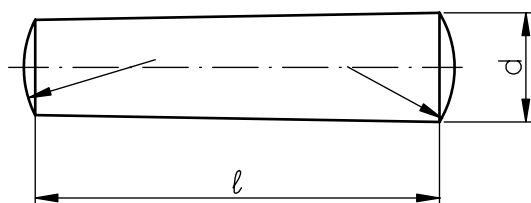
(Izvadak) mjere u mm

Promjer ležaja (rukavca) $d$	$D_1$	$B$	$s$
50	70	10	3
60	75		
70	90	12	4
80	100		
90	110		
100	130		
110	140	15	5
125	150		
	165		



Za rastavljive prstene vrijede dimenzije  $D_1$  i  $B$ , a debljinu ( $s$ ) treba odabrati prema konstrukciji razdjelnih reška.

Konični zatik (za osiguranje)



Primjer označavanja: zatik 10x40

$d$	2	2,5	3	4	5	6	8	10	
$l$	od	12	12	14	16	20	24	28	32
	do	36	40	50	60	70	100	120	140