

Katedra za mašine alatke, tehnološke procese,  
fleksibilne tehnološke sisteme i procese projektovanja  
**Laboratorija za mašine alatke, fleksibilne tehnološke  
sisteme i automatizaciju postupaka projektovanja**  
Novi Sad, oktobar 2021.

# PROJEKTOVANJE MAŠINA ALATKI III - DEO

*dr Aleksandar Živković, vanr. profesor*

Studijski program: Proizvodno mašinstvo

Studijska grupa: ***Računarom podržane tehnologije***

**Autorizovani materijal za predavanja – Zabranjeno je štampanje i umnožavanje**

Naziv predmeta:

**PROJEKTOVANJE MAŠINA ALATKI  
(ZA OBRADU REZANJEM)**

Semestar: VIII

Fond časova: 3+3

Izvođači nastave:

Predavanja: dr Aleksandar ŽIVKOVIĆ, vanr. profesor

Vežbe: dr Cvijetin MLAĐENOVIĆ, asistent

# PMA- KORIŠĆENA LITERATURA

---

## KORIŠĆENA LITERATURA:

1. Altintas, Y. , i dr.: Machine tool feed drives, CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol. 60, No. 1 (2011) pp. 779–796
2. Borojev, Lj., Zeljković, M.: Projektovanje mašina alatki, Sveska: Prenosna struktura mašina alatki – MEHANIČKI PRENOSNICI, Fakultet tehničkih nauka, autorski reprint, Novi Sad, 2002.
3. Čiča, Đ.: Mašine alatke, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2016.
4. Gatalo, R., Borojev, Lj., Zeljković, M.: Proračun glavnih karakteristika mašina alatki za obradu rezanjem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1992. god.
5. Graham T., S.: Machine Tool Metrology - An Industrial Handbook, Springer, 2016
6. Josh, P., H.:Machine tools Handbook-Deign and operation, McGraw-Hill Publishing Company, 2007.
7. Joshi, S. N. : Mechatronics and Manufacturing Automation, Department of Mechanical Engineering Indian Institute of Technology Guwahati
8. Kalajdžić, M.: Tehnologija mašinogradnje, Mašinski fakultet, Beograd, 2004, ISBN 86-7083-487-1
9. Koenigsberger, F.: Design Principles Of Metal-Cutting Machine Tools, Pergamon Press, 1964
10. Sobolewski, Z., J.: Investigation of ball screws for feed drive, Journal of machine engineering, Vol 13, No. 4, 2013, pp 86-95
11. Stanković, P.: Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina, Građevinska knjiga, Beograd, 1967
12. Stanković, P.: Mašinska obrada – Obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1967.
13. Yoshimi I.: Modular Design for machine tools, McGraw-Hill Publishing Company, 2008

# PMA- KORIŠĆENA LITERATURA

---

## KORIŠĆENA LITERATURA:

14. Sredanović, B., Globočki, L, G.: Podloge za vežbe iz obradnih sistema za obradu rezanjem, Radna verzija skripte za vežbe, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2014.
15. Youssef, H.,A., El-Hofy, H.: Machine technology-Machine tools and operation, CRC Press Taylor & Francis Group, 2008
16. Verl , A., Frey, S., Heinze T. : Double nut ball screw with improved operating characteristics, CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol. 63, No. 1 (2014) pp. 361–364
17. Zeljković, M, Tabaković, S.: Proizvodno mašinstvo početkom XXI veka, 42. Jupiter konferencija, Mašinski fakultet, Beograd, 2020
18. Zeljković, M.: Projektovanje mašina alatki, autorizovana prezentacija predavanja, Fakultet tehničkih nauka, 2010 – 2020.
19. Zeljković, M.: Sistem za automatizovano projektovanje i predikciju ponašanja sklopa glavnog vretena mašina alatki, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.
20. Živković, A.: Računarska i eksperimentalna analiza ponašanja kugličnih ležaja za specijalne namene, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2013.

**FTN - DPM - LAMA**

Studijski program: Proizvodno mašinstvo

Studijska grupa: ***Računarom podržane tehnologije***

Novi Sad, oktobar 2021.

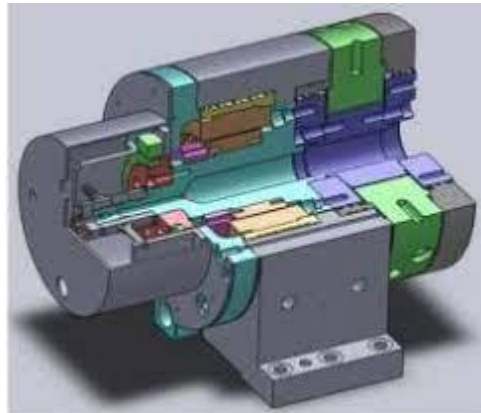
Predmet: **Projektovanje mašina alatki**

## **6.0 SKLOP GLAVNOG VRETENA**

## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno

- ❑ Pred konstrukciju mašina alatki postavljaju se specifični zahtevi koji se mogu rezimirati u dva osnovna načela:
  - statička i dinamička krutost mašine i njenih elemenata,
  - trajnost i istrošenost kroz pojavu i problem trenja i habanja.
- ❑ Glavna vretena mašina alatki sa stanovišta konstrukcije predstavljaju sklopove kojima se dovodi kretanje i obrtni moment na radni predmet ili alat radi ostvarivanja procesa obrade i direktno utiču na tačnost mašine.
- ❑ Sklop glavnog vretena čini skup elemenata koji obezbeđuju tačno definisani položaj vretena u odnosu na ostale podsisteme mašine alatke (vreteno, uležištenje, kućište sistem za stezanje i otpuštanje alata, itd..)

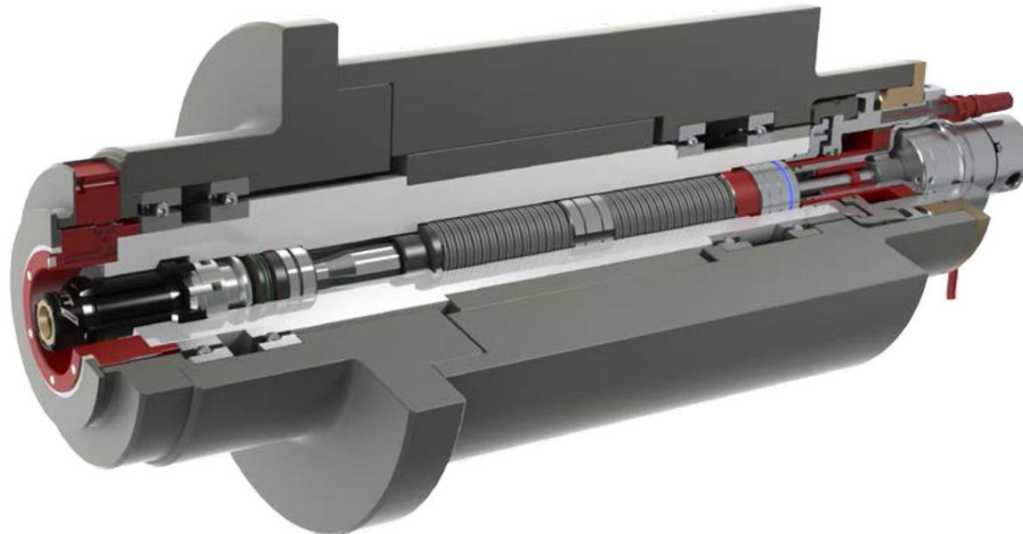


## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno

Kako bi se obezbedile odgovarajuće karakteristike mašine alatke tokom eksploatacije, sklop glavnog vretena treba da zadovolji sledeće zahteve:

- ✓ tačnost,
- ✓ statička krutost,
- ✓ dinamička stabilnost,
- ✓ minimalni porast temperature i minimalne toplotne deformacije,
- ✓ dug vek eksploatacije.



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno - Tačnost

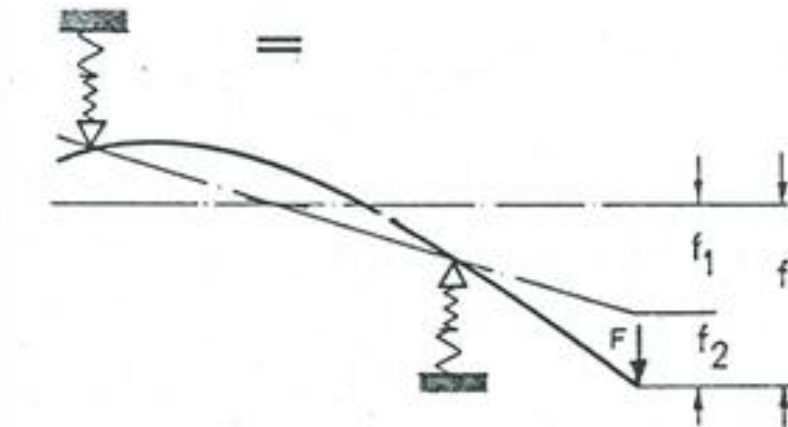
- ❑ **Tačnost** sklopa glavnog vretena je definisana radijalnim i aksijalnim bacanjem vrha vretena.
- ❑ Radijalno bacanje glavnog vretena izaziva greške u vidu odstupanja od dozvoljene hrapavosti obrađene površine, dok aksijalno bacanje glavnog vretena izaziva greške povezanje sa odstupanjem od cilindričnosti.
- ❑ Kod univerzalnih mašina alatki ova vrednost je definisana standardima za pojedine vrste mašina.
- ❑ Kod specijalnih mašina zavisi od zahtevane tačnosti obradka i iznosi maksimalno 1/3 dozvoljene greške obrade.
- ❑ Ako su glavna vretena tačno izrađena i centrirana, radijalno i aksijalno bacanje vrha glavnog vretena zavisi isključivo od tolerancija ležaja.
- ❑ Radijalno bacanje zavisi od grešaka ekscentričnosti između spoljašnjeg i unutrašnjeg prstena ležaja, odstupanja od hrapavosti staza kotrljanja i odstupanja od stvarnog prečnika kotrljajnih elemenata.



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Statička krutost

- ❑ **Statička krutost** u radijalnom i aksijalnom pravcu je određena elastičnom deformacijom vrha vretena pod dejstvom statičkog opterećenja.
- ❑ Veličina statičke krutosti zavisi od popustljivosti vretena i uležištenja, pri čemu ove vrednosti nisu standardizovane.
- ❑ Preporučene vrednosti su zasnovane na dva kriterijuma i to zahtevanoj tačnosti i normalnog rada ležaja.
- ❑ Usled sila koje deluju na glavno vreteno i zbog njegove elastičnosti javlja se izvesno pomeranje vrha vretena ( $f$ ).
- ❑ Pomeranjem vrha glavnog vretena nastaje i ugib njegove ose, a time i narušavanja odnosa između alata i obratka.

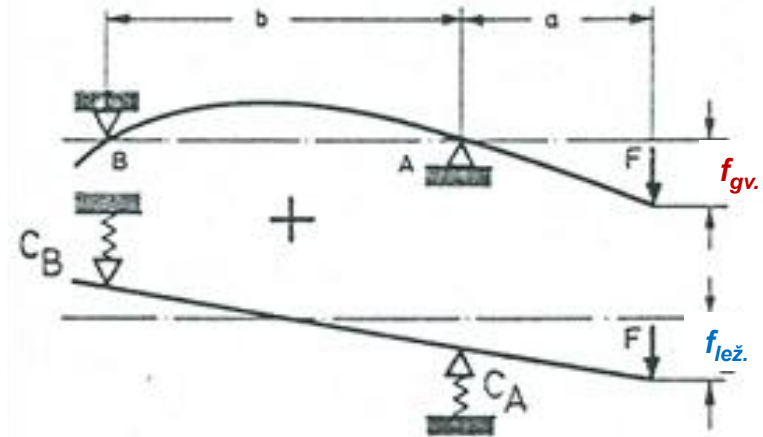


## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Statička krutost

- ❑ Ugib vrha vretena zavisi od krutosti sklopa glavnog vretena  $C = F/f$  [ $N/\mu m$ ]
- ❑ Krutost sklopa glavnog vretena zavisi:

- ✓ krutosti vretena
- ✓ tačnosti uležištenja,
- ✓ krutosti kućišta (nosača ležaja),
- ✓ krutosti ležaja,
- ✓ zazora između rukavca i otvora ležaja,
- ✓ zazora između ležaja i kućišta



Ukupan ugib  $f$  nastaje kao zbir ugiba glavnog vretena i uležištenja  $f = f_{gv} + f_{lež.}$

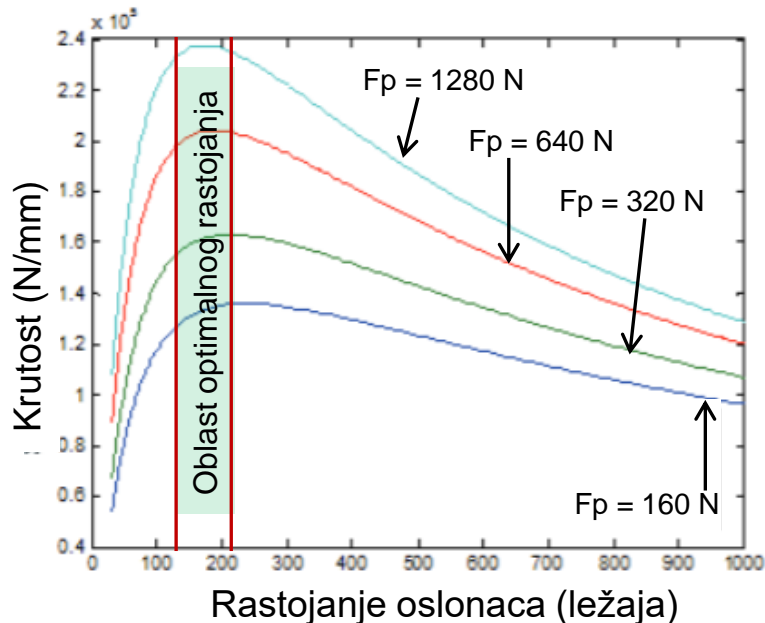
- ❑ U ukupnom ugibu (deformaciji) sklopa glavnog vretena, vreteno učestvuje sa 50%-70%, dok ostatak otpada na uležištenje, s tim da je tendencij porasta učešća uležištenja kod savremenih mašina alatki.
- ❑ Koje od deformacija će preovladati zavisi od dimenzija i oblika vretena, kao i od krutosti ležaja.

## 6.0 Sklop glavnog vretena

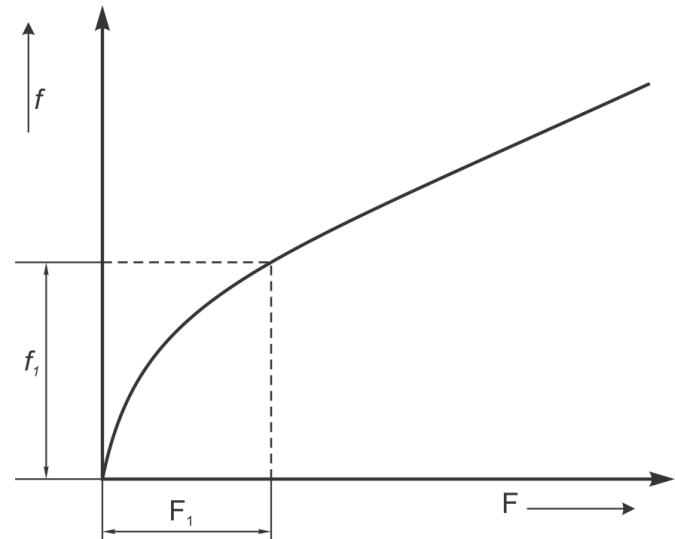
### Glavno vreteno – Statička krutost

- ❑ Kod idealno krutih ležaja zavisnost između ugiba i opterećenja podloeže Hukovom zakonu (linearna zavisnost).
- ❑ U stvarnosti veličina ukupnog ugiba nije proporcionalna sili.
- ❑ Nagli porast ugiba u početnoj fazi opterećenja je rezultat nejednake raspodele opterećenja po elementima uležištenja.

*Da bi se izbegla oblast naglog porasta ugiba pri manjim opterećenjima (do  $F_1$ ) preporučuje se prednaprezanje ( $F_p$ ) pri montaži do sile opterećenja  $F_1$ .*



Promena krutosti u zavisnosti od raspona



Zavisnost ugiba od opterećenja kod sklopa glavnog vretena

## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Statička krutost

Krutost sklopa glavnog vretena zavisi i od položaja ležaja, odnosno rastojanja između ležaja i udaljenosti napadne tačke opterećenja od prednjeg ležaja.

Veličina ugiba glavnog vretena i ležaja zavise i od rastojanja oslonaca **b** i prepusta **a** na kome deluje sila.

Ugib glavnog vretena je:

$$f_{gv} = \frac{F \cdot b \cdot a^2}{3 \cdot I_{gv} \cdot E} \left( 1 + \frac{a}{b} \right)$$

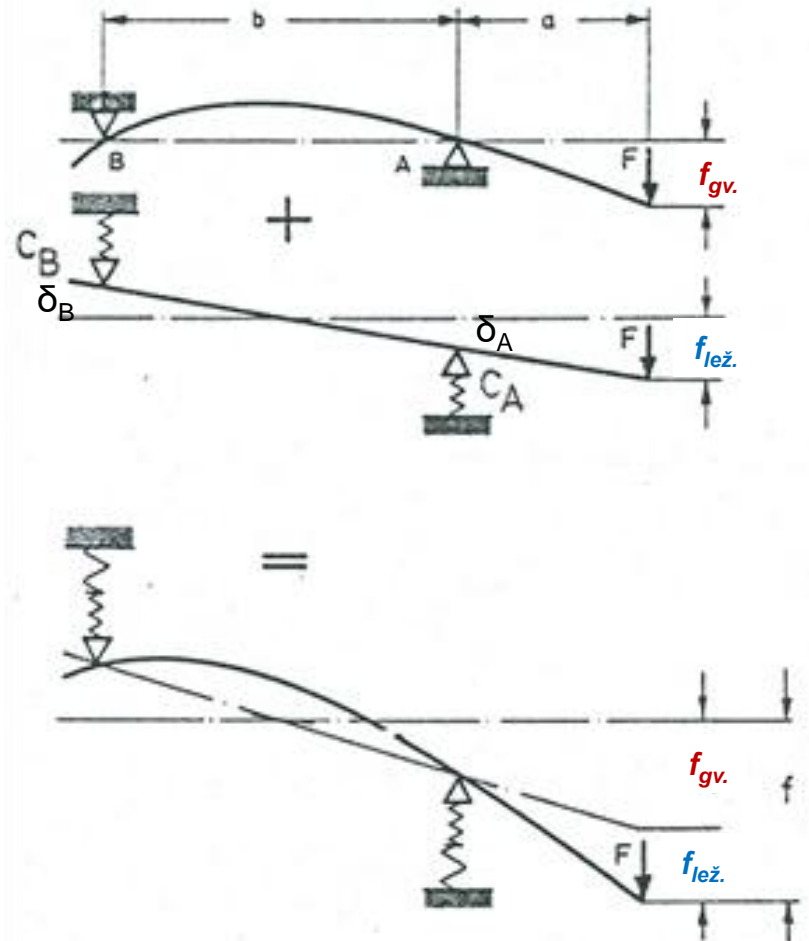
Ugib uležištenja je:

$$f_{lež.} = \frac{F}{b^2} \left( \frac{(a+b)^2}{C_A} + \frac{a^2}{C_B} \right)$$

Ukupan ugib  $f = f_{gv} + f_{lež.}$

Ukupna krutost, odnosno popustljivost sklopa glavnog vretena je:

$$C = \frac{F}{f} = \frac{F}{f_{gv} + f_{lež.}} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_{gv}} + \frac{1}{C_{lež.}}$$



## 6.0 Sklop glavnog vretena

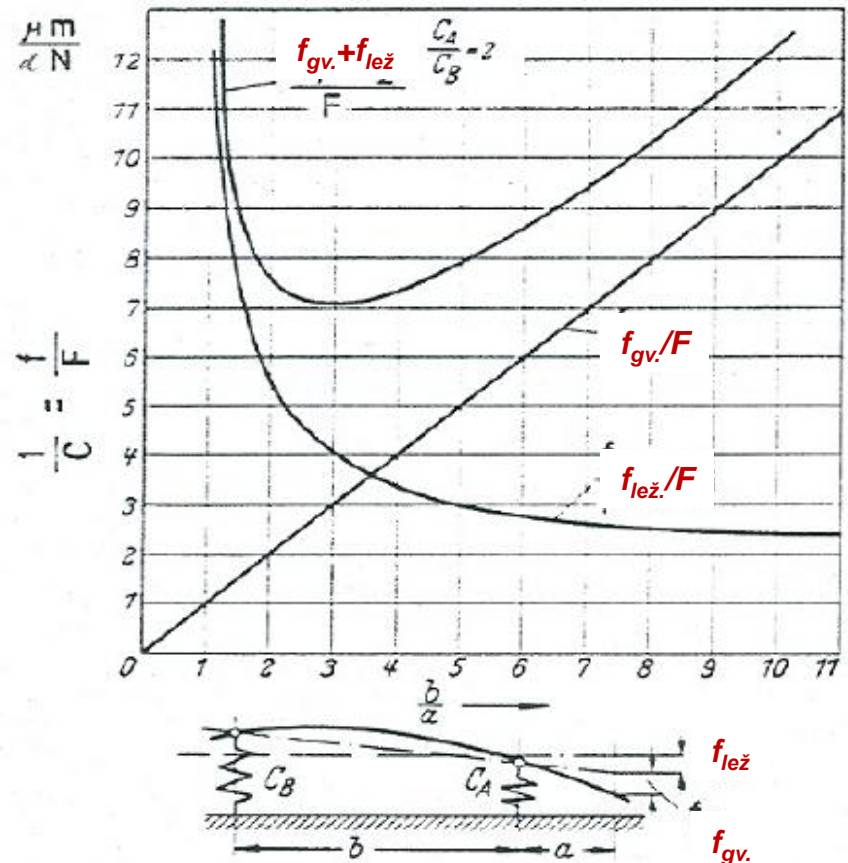
### Glavno vreteno – Statička krutost

- ❑ Optimalna vrednost odnosa "b/a", (k - faktora raspona ležaja) iznosi 3, jer je pri toj vrednosti pomeranje vrha vretena minimalno, a krutost maksimalna.
- ❑ Uopšteno se može uzeti da odnos "b/a" treba da se kreće u granicama 3-5, pri odnosu krutosti ležišta  $C_A/C_B = 2$ .

*Kada je zupčanik između oslonaca krutost sklopa glavnog vretena ne bi trebala da bude manja od **245 do 260 N/μm**, odnosno raspon bi trebalo da je:*

$$b \leq \frac{D_{sr}^{4/3}}{i^{1/3}}$$

$D_{sr}$  – srednji prečnik vretena na mestu uležištenja;  
 $i=0,05$  za mašine normalne tačnosti  
 $i=0,1$  za precizne mašine alatke



### Glavno vreteno – Dinamička stabilnost

- ❑ **Dinamička stabilnost** je definisana veličinom amplitude vibracija vrha vretena i vrednošću sopstvenih frekvencija, glavnim oblicima oscilovanja i veličinom prigušenja.
- ❑ Vibracije negativno utiču na tačnost i hrapavost obrađene površine, postojanost alata i proizvodnost mašine, habanje alata, habanje elemenata mašine kao i na vek mašine alatke.
- ❑ Sve veće brzine, kao i sve veći zahtevi u pogledu završne obrade zahtevaju da mašine alatke imaju visoku dinamičku krutost posebno.
- ❑ Parametri koji utiču na dinamičko ponašanje su: masa, statička krutost, prigušenje i sopstvena frekvencija.
- ❑ Preporučuje se da prva sopstvena frekvencija sklopa glavnog vretena ne bude manja od 500-600 [Hz].

## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Porast temperature

- ❑ **Porast temperature i toplotne deformacije** glavnog vretena utiču na tačnost obrade i radnu sposobnost ležaja.
- ❑ Ležaji glavnih vretena predstavljaju značajne izvore toplote, te je dozvoljeni porast temperature ležaja sklopa glavnog vretena uslovljen tačnošću mašine.

Klasa tačnosti mašine	normalna N(K1)	povišena P (K2)	visoka V(K3)	posebno visoka A(K4)	posebno tačna S(K5)
Dozv. temp. spoljnog prstena ležišta [C°]	70	50-55	40-45	35-40	28-30

### Glavno vreteno – Vek

- Dužina veka eksploatacije** uglavnom zavisi od veka ležaja, što je u mnogome zavisno od efikasnosti sistema podmazivanja, kvaliteta zaptivanja, broja obrtaja, veličine prednaprežanja ležaja i slično.
- Prečnik rukavca glavnog vretena se određuje na osnovu krutosti tako da vek eksploatacije ležaja bude od 12.000 do 20.000 časova.



### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena

- ❑ Konstrukcija sklopa glavnog vretena u prvom redu zavisi od:
  - ✓ vrste mašine alatke,
  - ✓ glavnih geometrijskih karakteristika i dimenzija mašine alatke,
  - ✓ klase tačnosti mašine.
  
- ❑ Geometrijski oblik glavnog vretena je definisan:
  - ✓ vrstom pogonskog elementa,
  - ✓ oblikom vrha (glave) vretena i potrebnom konfiguracijom unutrašnje površine vretena,
  - ✓ tipom i vrstom uležištenja,
  - ✓ načinom podmazivanja i zaptivanja.

## 6.0 Sklop glavnog vretena

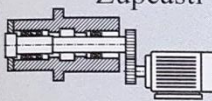
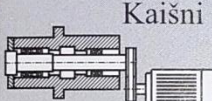
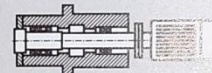

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

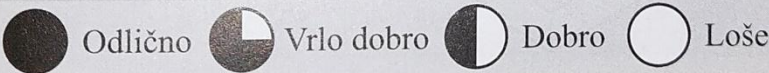
**Tip prenosnog elementa** (za prenos obrtnog momenta na glavno vreteno) u prvom redu zavisi od:

- broja obrtaja,
- veličine opterećenja i
- opšte konfiguracije sklopa glavnog vretena

Prema vrsti pogonskog elementa sklop glavnog vretena se izvodi sa dva tipa koncepcionog rešenja:

- indirektni pogonski sistem i
- direktni pogonski sistem

	Pogonski sistem	Moment	Broj obrtaja	Tačnost	Održavanje	Cijena	Dinamička krutost	Buka	Toplotno ponašanje
Indirektni	Zupčasti 	●	○	◐	◐	◐	◐	○	◐
	Kaišni 	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Direktni	Sa spojnicom 	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
	Motorvreteno 	◐	●	●	◐	◐	◐	●	◐



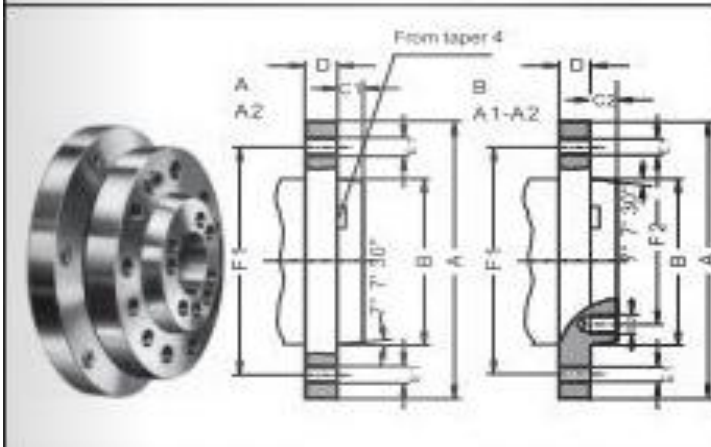
### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena

- ❑ Prečnik vrha vretena je određen izabranim tipom kao jedinim standardnim elementom pri projektovanju sklopa glavnog vretena.
- ❑ Krutost vrha vretena raste povećanjem prečnika kao najuticajnijeg parametra na krutost vrha vretena
- ❑ Uobičajeno se prečnik vrha vretena uzima za 20 % veći od prečnika vretena u prednjem ležištu.
- ❑ Povećanje prečnika vretena, a time i prečnika vrha, je ograničeno, posebno kod visokobrzinskih vretena, željenim brojem obrtaja, odnosno gubicima usled trenja i zagrevanjem sklopa glavnog vretena.

## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

- ❑ **Oblik vrha glavnog vretena** treba da obezbedi precizno i pouzdano stezanje obradka ili alata.
- ❑ **Konstruktivni oblik vrha vretena** definisan je vrstom i namenom mašine, a oblik i dimenzije vrha vretena su definisane standardima.
- ❑ **Konfiguracija unutrašnje površine** zavisi od toga da li se i kakav uređaj za automatsko stezanje alata ili obradka koristi.
- ❑ Kod strugova postoji zahtev za otvorom u glavnom vretenu pa se uglavnom radi o šupljim glavnim vretenima.

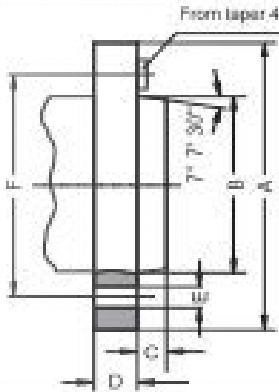
DIN 55026 Tip A, Tip B – ISO 702/1 Tip A2 Tip A1-A2	Vel. vrha vretena	A	B max	C1	C2	D	E1	F1	E2	F2
	3	92	53.983	11	-	16	3xM10	70.6	-	-
	4	108	63.521	11	-	20	11xM10	82.6	-	-
	5	133	82.573	13	14.298	22	11xM10	104.8	8xM10	61.9
	6	165	106.385	14	15.875	25	11xM12	133.4	8xM12	82.6
	8	210	139.731	16	17.462	28	11xM16	171.4	8xM16	111.1
	11	280	196.983	18	19.05	36	11xM20 (11xM18)	235	8xM20 (8xM18)	165.1
	15	380	285.791	19	20.638	42	12xM24 (12xM22)	330.2	11xM24 (11xM22)	247.6
	20	520	412.795	21	22.225	48	12xM24	463.6	11xM24	368.3
	28	725	584.248	24	25.400	56	12xM30	647.6	11xM30	530.2

Vrh vretena za strugove

# 6.0 Sklop glavnog vretena

## Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

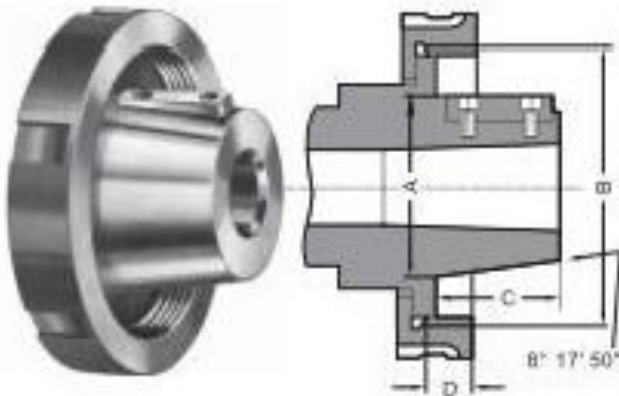
DIN 55027 ISO 702/III



Vel. vrha vretena	A	B max	C	D	E	F
3	102	63.983	11	18	3x21	75
4	112	63.521	11	20	3x21	85
5	135	82.673	13	22	4x21	104.8
6	170	106.385	14	25	4x23	133.4
8	220	139.731	16	28	4x29	171.4
11	290	196.883	18	35	6x36	235
15	400	285.791	19	42	6x43	330.2
20	540	412.795	21	48	6x43	463.8

Tip L

Dugački konus



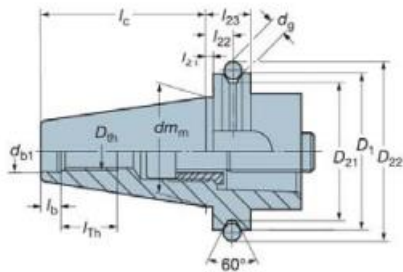
Vel. vrha vretena	A+0.051	B	C	D	Driving key
L00	69.850	3 3/4-6 UNS	50.800	14.288	9.525x38.1
L0	82.550	4 1/2-6 UNS	60.325	15.875	9.525x44.45
L1	104.775	6-6 UNS	73.025	19.050	15.875x60.32
L2	133.350	7 3/4-6 UNS	85.725	25.400	19.05x73.02
L3	165.100	10 3/8-4 UNS	94.425	28.575	25.4x82.55

Vrh vretena za strugove

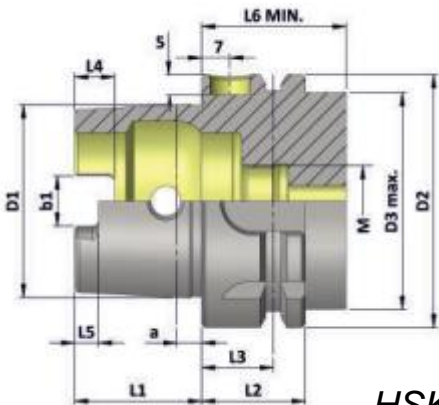
## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

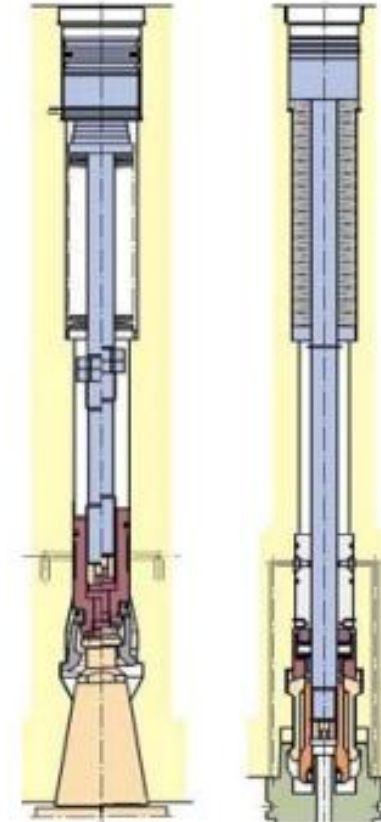
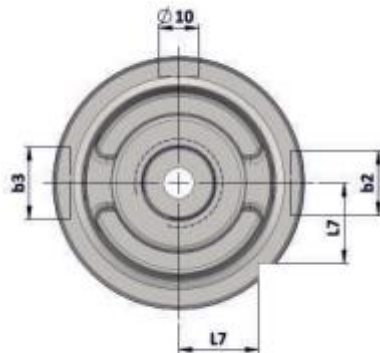
- ❑ Kod glodalica (obradnih centara) držač alata se izvodi sa konusom čiji je ugao nagiba znatno veći od ugla trenja (ISO prihvat) ili sa cilindričnim prihvatom (HSK prihvat).
- ❑ Kod glodanja aksijalna sila može imati i smer koji teži da izvuče držač alata to je kod istih predviđen prostor za smeštaj sistema za stezanje i opuštanje alata.



Morze konus (ISO prihvat)



HSK prihvat

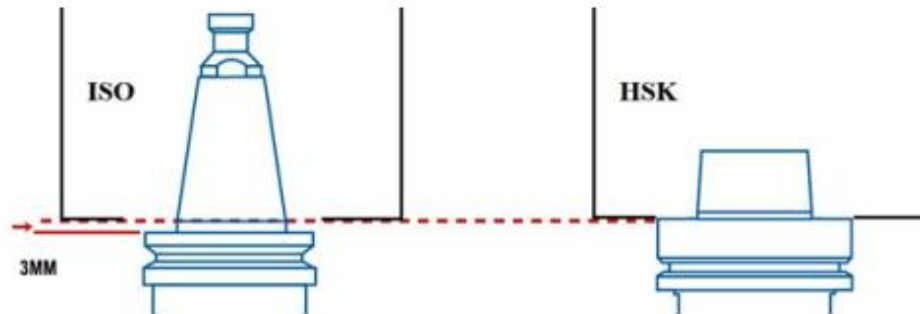


Principi stezanja držača alata



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena



Tip prihvata	Osobine	$n_{max}$ [o/min]
ISO (Morze)	Prihvat konusom 7:24 (Tapered Shank)	$n \leq 10000$
HSK	Cilindrični prihvat (Hollow Shank Taper)	$n > 10000$

Tip	Oznaka veličine	Primjena
ISO	30	Veoma male mašine
	40	Obradni centri srednje veličine
	50	Veliki obradni centri
HSK	24	Mikromašine
	30	Obradni centri za mikroobradu
	38	Mali visokobrzinski obradni centri
	48	Visokobrzinski obradni centri srednje veličine
	60	Veliki visokobrzinski obradni centri

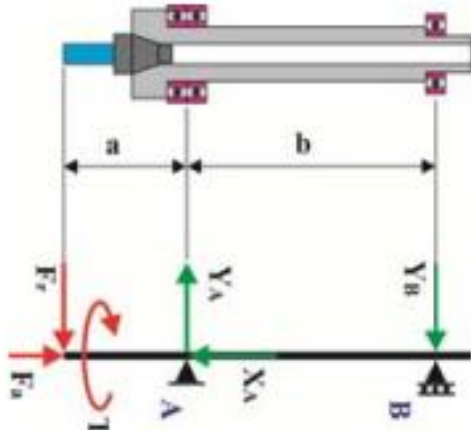
## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

#### □ Dimenzionisanje glavnog vretena

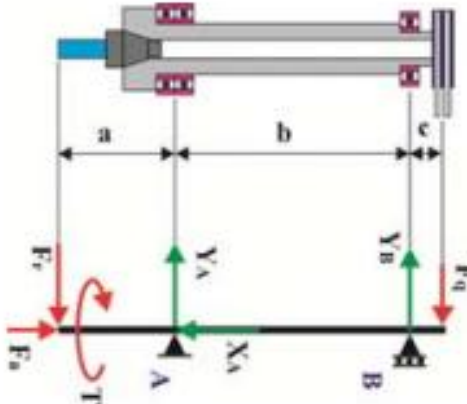
- ✓ Konstrukcija glavnog vretena se razmatra za različite izvedbe sklopa glavnog vretena:

Direktan pogon



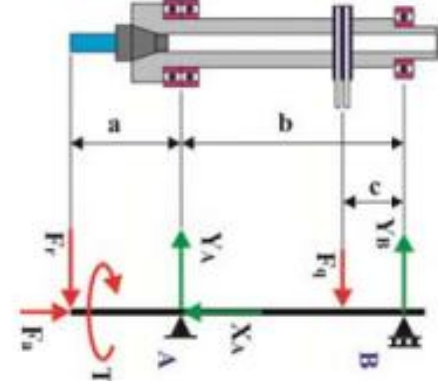
$$y_{gv} = \frac{F_r \cdot a^3}{3 \cdot I_x \cdot E} + \frac{F_r \cdot b \cdot a^2}{3 \cdot I_x \cdot E} \quad \text{Direktan pogon}$$

Pogon preko remenice na kraju vretena



$$y_{gv} = \frac{F_r \cdot a^3}{3 \cdot I_x \cdot E} + \frac{F_r \cdot b \cdot a^2}{3 \cdot I_x \cdot E} + \frac{F_q \cdot c \cdot b \cdot a}{6 \cdot I_x \cdot E} \quad \text{Pogon preko remenice na kraju vretena}$$

Pogon preko zupčanika/remenice na između oslonaca



$$y_{gv} = \frac{F_r \cdot a^3}{3 \cdot I_x \cdot E} + \frac{F_r \cdot b \cdot a^2}{3 \cdot I_x \cdot E} - \frac{F_q \cdot b^2 \cdot a}{6 \cdot I_x \cdot E} \cdot \left( \frac{b-c}{b} \right) \cdot \frac{c}{b} \cdot \left( 1 + \frac{c}{b} \right) \quad \text{Pogon preko zupčanika/remenice na između oslonaca}$$



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

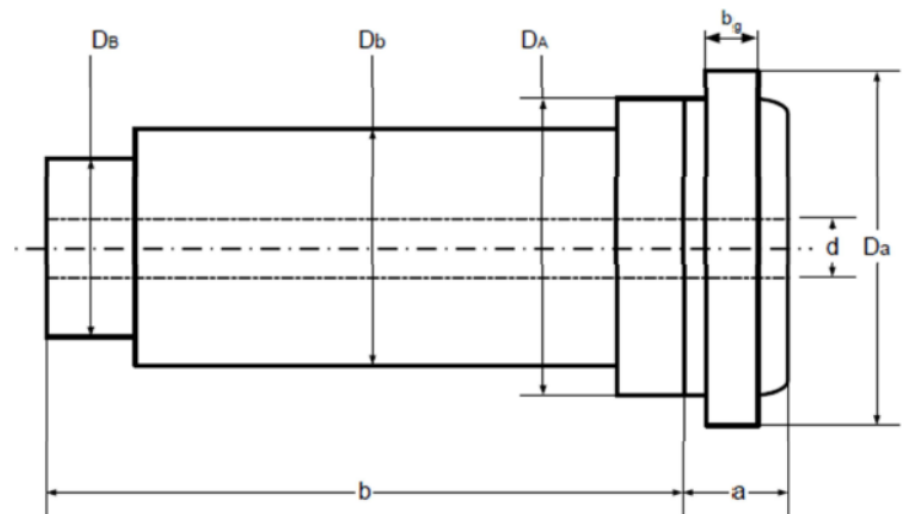
#### ❑ Dimenzionisanje glavnog vretena

✓ Prečnik prednjeg ležaja  $D_A$  zavisi od snage izabranog elektromotora

Tip	Prečnik vretena na prednjem ležaju $D_A$ za snage mašine (kW)				
	1.5 - 3.5	3.5 - 7.5	7.5 - 14.5	14.5 - 22	22 - 30
Strugovi	60 - 90	70 - 125	95 - 165	130 - 220	200 - 240
Glodalice	50 - 90	60 - 110	80 - 130	100 - 250	220 - 250
Brusilice	40 - 60	50 - 80	70 - 95	85 - 105	100 - 110

✓ Prečnik srednjeg dela glavnog vretena:  $D_b = 0.9 \cdot D_A$  [mm]

✓ Prečnik vretena na zadnjem osloncu:  $D_B = 0.9 \cdot D_b$  [mm]



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Glavno vreteno – Definisiranje glavnog vretena

#### ❑ Dimenzionisanje glavnog vretena

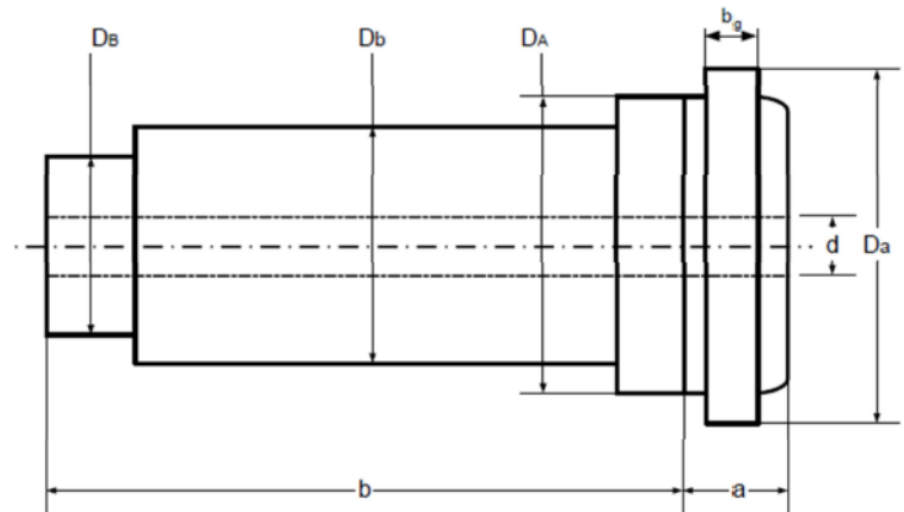
- ✓ Koeficijenti raspona u pogledu glavnih veličina glavnog vretena formiraju se na osnovu :

$$a = K_a \cdot D_A, \quad b = K_b \cdot a$$

Tip	Preciznost obrade ili krutost vratila	Koeficijent prepusta kod prednjeg ležaja $K_a$	Koeficijent međurastojanja između ležajeva $K_b$
I	Visoka	0.60 - 1.50	3.70 - 1.25
II	Srednja	1.25 - 2.50	1.50 - 0.70
III	Niska	2.50 - 5.00	0.70 - 0.30

- ✓ Prečnik vrha glavnog vretena :

$$D_a \approx K_a \cdot D_A$$



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Uležištenje glavnog vretena

- ❑ Glavno vreteno je element koji direktno utiče na tačnost mašine, a opterećeno je relativno velikim opterećenjima to se uležištenju glavnog vretena mora pokloniti posebna pažnja.
- ❑ Izbor uležištenja zavisi od položaja glavnog vretena (horizontalni, vertikalni) zbog različitog rasporeda i pravca dejstva sila rezanja.
- ❑ Pri izboru tipa ležaja polazi se od tipa i vrste mašine alatke, eksploatacionih uslova (brzine, broja obrtaja, dozvoljene temperature), krutosti, itd.
- ❑ Izbor ležaja je određen zahtevima koji se pred njega postavljaju, odnosno prioriteto tih zahteva.
- ❑ Prvo je neophodno rešiti principijelno pitanje da li će ležaji biti opterećeni velikim silama ili će raditi sa velikim brzinama.
- ❑ Za uležištenje glavnog vretena primenjuje se:
  - ✓ kotrljajni i
  - ✓ klizni (hidrodinamička i hidrostatička) ležaji.
- ❑ Ležaji glavnih vretena se obično tako ugrađuju da je moguće regulisati zazor, jer je u protivnom neophodna visoka tačnost izrade.

## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Uležištenje glavnog vretena

- Za uležištenje glavnih vretena koriste se ležaji koji rade na različitim principima, sa odgovarajućim oblastima primene (uz delimično preklapanje) svakog od njih.

Karakteristike□	Tipovi ležišta□				
	Kotrljajna□	Hidro- dinamička□	Hidrostatička□	Aerostati- čka□	Magnetna□
Velika brzohodnost□	● <sup>1)□</sup>	●□	●□	●□	●□
Vek□	●□	●□	● <sup>2)□</sup>	● <sup>2)□</sup>	● <sup>2)□</sup>
Viskoka tačnost□	●□	●□	●□	●□	●□
Veliko prigušenje□	○□	●□	●□	●□	●□
Velika krutost□	●□	●□	●□	●□	●□
Jednostavno podmazivanje□	● <sup>3)□</sup>	●□	○□	●□	○ <sup>4)□</sup>
Malo trenje□	●□	○□	○□	●□	●□
Niska cena□	● <sup>3)□</sup>	●□	●□	●□	○□

*Napomena:* ● - vrlo dobro, ● - dobro, ● - srednje, ○ - nepovoljno ¶

1) → zavisno od sistema podmazivanja i tipa ležišta ¶

2) → postojanost neograničena u normalnoj eksploataciji ¶

3) → srednje pri podmazivanju uljem ¶

4) → velike teškoće pri podešavanju veličine sile magnetna □

### Uležištenje glavnog vretena

- ❑ U 95 [%] konstrukcija uležištenja glavnih vretena mašina alatki koriste se kotrljajni ležaji;
- ❑ Grubo posmatrano način uležištenja glavnih vretena sa kotrljajnim ležajima može se podeliti na tri konstrukcione grupe, koje karakteriše određena oblast primene:
  - ✓ konično-valjčasti ležaji: male brzine rezanja,
  - ✓ jednoredi i dvoredni cilindrično valjčasti ležaji: srednje brzine,
  - ✓ jednoredi kuglični ležaji sa kosim dodirom: velike brzine rezanja.
- ❑ U poređenju sa kliznim, kotrljajni ležaji (posebno kuglični sa kosim dodirom) imaju prednosti u vidu:
  - ✓ nižeg koeficijenta trenja,
  - ✓ većoj nosivosti,
  - ✓ nižoj ceni izrdade,
  - ✓ jednostavnog odražavanja
  - ✓ visokog stepena standardizacije.

### Uležištenje glavnog vretena

- ❑ Razvoj velikog broja proračunskih modela, uslovio je i postojanje različitih parametara za vrednovanje ležaja. Ovi parametri se mogu svrstati u tri osnovne grupe:
  - a) **konstrukcioni**; konstrukcija ležaja, geometrija delova, svojstva materijala, ugao kontakta, krutost, prednaprezanje) baziraju na obezbeđenju normalnog rada ležaja u toku eksploatacije, pa zato ograničavaju vrednosti elastičnih deformacija prstenova;
  - b) **tehnoški**, (greške geometrije izrade i greške montaže) određuju kvalitet ležaja propisan tolerancijama mera, sa stanovišta statičkog i dinamičkog ponašanja ležaja
  - c) **eksploatacioni** propisuju uslove rada ležaja kao što su: spoljašnje opterećenje, granični broj obrtaja, temperature elemenata ležaja, uslovi podmazivanja i dr.

### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

☐ Kotrljajne ležaje je moguće podeliti prema:

A) Mogućnosti prenošenja opterećenja

- ✓ radijalni ležaji (prenose sile u radijalnom pravcu)
- ✓ aksijalni ležaji (prenose sile u aksijalanom pravcu)
- ✓ radijalno-aksijalni (prenose sile u oba pravca)

B) Obliku kotrljajnih tela:

- ✓ kuglični (radijalni, aksijalni, sa kosim dodirom)
- ✓ cilindrično – valjkasti,
- ✓ konusno valjkasti,
- ✓ buričasti,
- ✓ igličasti

C) Prema broju redova kotrljajnih tela:

- ✓ jednoredna,
- ✓ dvoreda

### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

- Precizni kuglični ležaji se isporučuju u više klasa tačnosti. Svi ležaji koja se koriste za uležištenje glavnih vretena su povećane tačnosti (P5, P4, SP, UP)
- Preciznost, odnosno tačnost ležaja je definisana na osnovu maksimalnog dozvoljenog bacanja glavnog vretena mašina alatki.
- Proizvođači kotrljajnih ležaja koriste nekoliko različitih klasa tačnosti radi klasifikacije specijalnih kugličnih ležaja, ali se svi oni mogu svrstati u tri grupe:

Klasa tačnosti	Maksimalno bacanje [ $\mu\text{m}$ ]
Visoko-precizni kotrljajni ležaji	2,0
Specijalni-precizni kotrljajni ležaji	1,0
Ultraprecizni kotrljajni ležaji	0,5

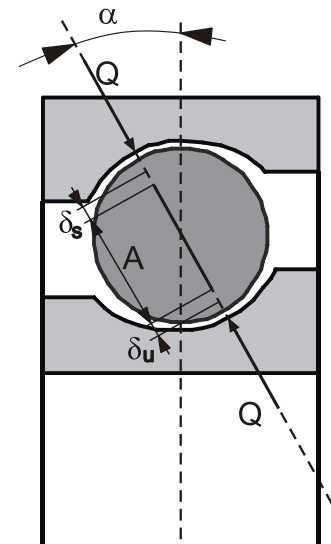
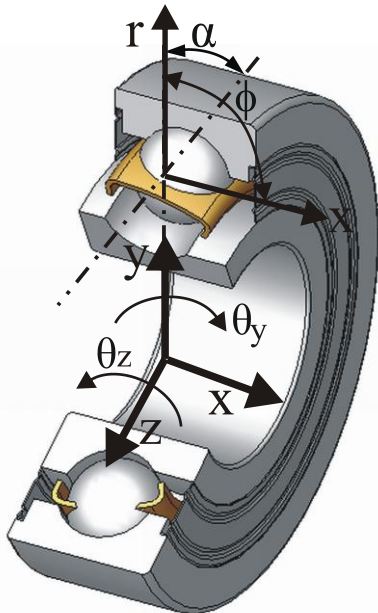
- Za određivanje radne tačnosti, pri izboru ležaja potrebno je razlikovati bacanje na unutrašnjem i spoljašnjem prstenu, koja obično nisu i ne moraju da budu jednaka.
- Tolerancije mera spoljašnjeg, unutrašnjeg prstena kao i širina ležaja, su kod preciznih (specijalnih) kotrljajnih ležaja značajno manje nego kod običnih kotrljajnih ležaja.



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### **Kuglični ležaji sa kosim dodirom**

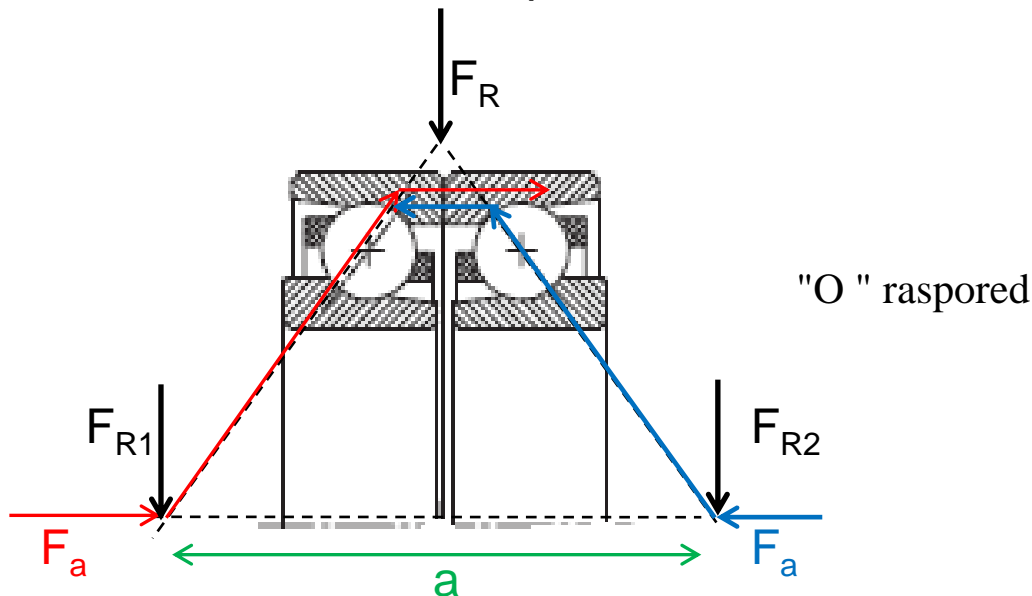
- Kod kugličnih ležaja sa kosim dodirom opterećenje deluje na dodirne površine između kuglica i putanja kotrljanja pod nekim uglom u odnosu na osu ležaja, pa mogu da prihvate kombinovano opterećenje (radijalno i aksijalno).
- Aksijalna opterećenja mogu delovati samo u jednom smeru.
- Ugao kontakta kod ovih ležaja se kreće od 15 do 40 [°], (**15 °, 25°**, 35 °, 40 °) dok optimalni uslovi kotrljanja nastaju pri odnosu sila  $F_a/F_r \geq 1$ .



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

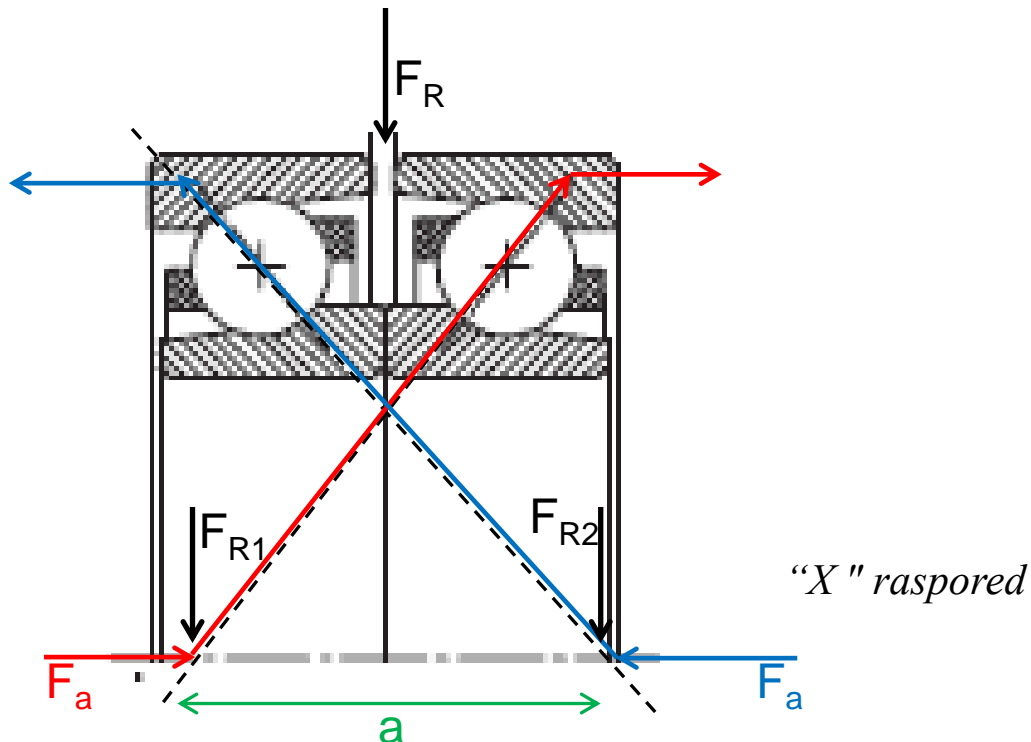
- Pri ugradnji ležaja u „0” rasporedu aksijalno opterećenje deluje tako da se njihovi pravci razilaze u odnosu na osu ležaja.
- Primaju aksijalna opterećenja u oba smera. Ugradnjom ležaja u „0” rasporedu dobija se relativno kruto uležištenje koje može podneti i izvesne momente zakretanja.
- Rastojanje između efektivnog centra opterećenja ( $a$ ) je veliko pa su pogodni ukoliko su vretena opterećena i momentom.



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

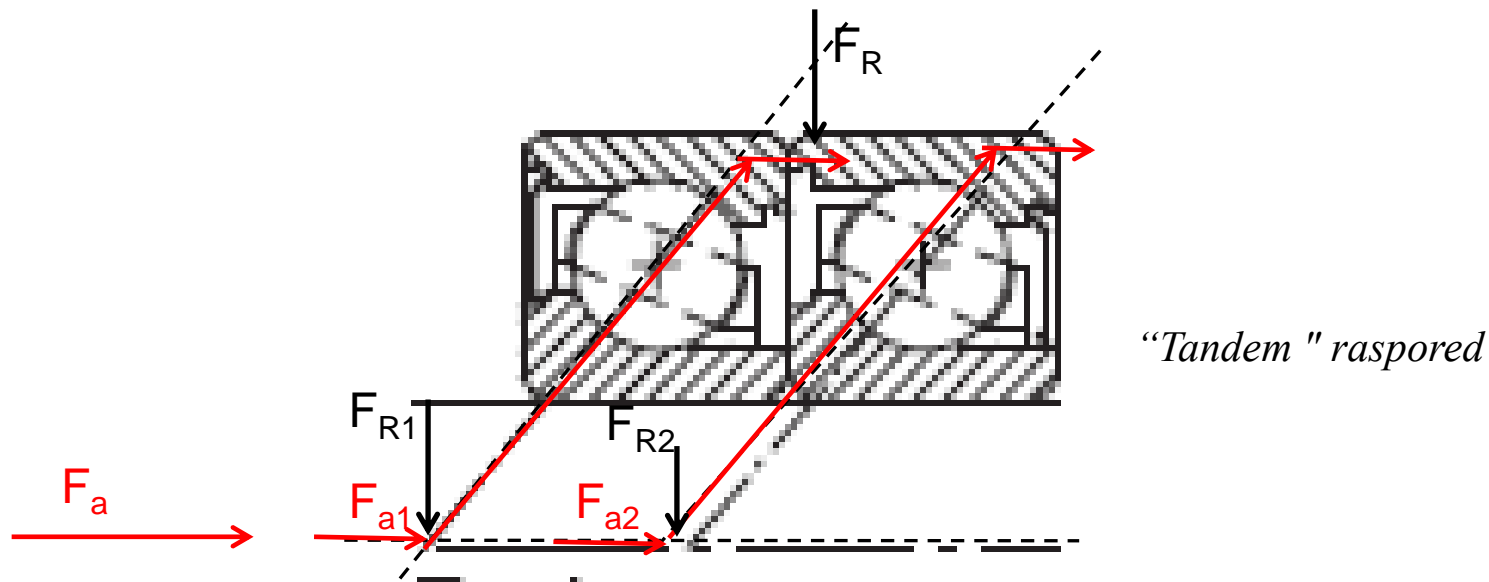
- Kada su ležaji ugrađeni u „X” rasporedu aksijalno opterećenje deluje tako da se njihovi pravci približavaju jedan prema drugom u odnosu na osu ležaja. Primaju aksijalna opterećenja u oba smera.
- Ovaj način ugradnje ne daje tako kruto uležištenje kao kada se ležaji ugrađuju u „0” rasporedu, a takođe dozvoljavaju manje momente zakretanja usled manje rastojanja između efektivnog centra opterećenja ( $a$ ).



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

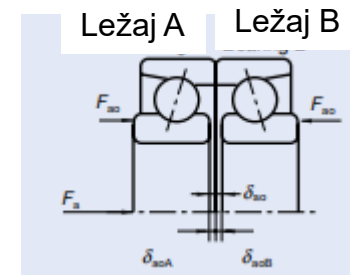
- Kada su ležaji ugrađeni u „**TANDEM**” rasporedu, opterećenje deluje paralelno. Aksijalna opterećenja su ravnomerno raspoređena u oba ležaja.
- Ovaj način ugradnje omogućava prijem aksijalnog opterećenja samo u jednom smeru, tako da se mora ugraditi treći ležaj koji prima aksijalno opterećenje u suprotnom smeru.



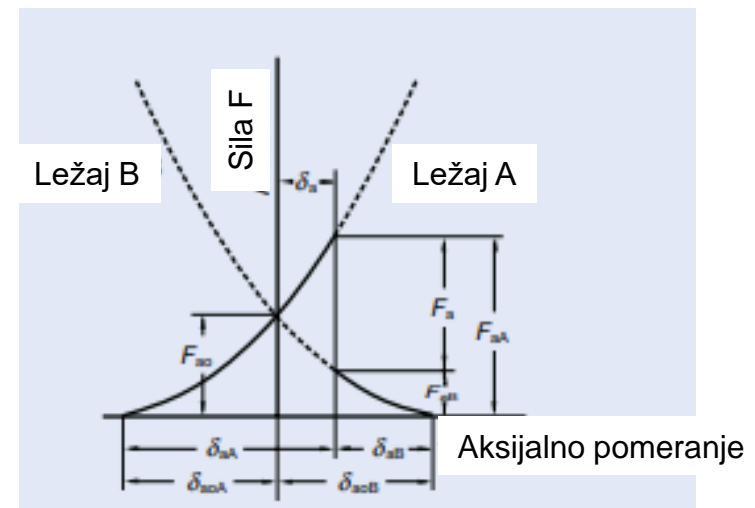
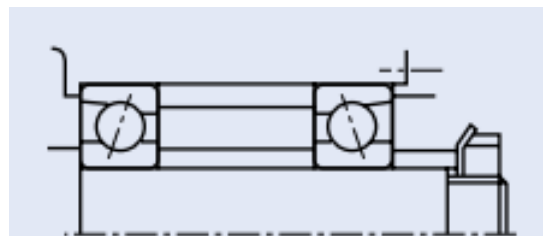
### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### **Kuglični ležaji sa kosim dodirom**

- Osnovni zahtev koji treba da zadovolje ovi ležaji je krutost. Krutost ležaja zavisi od prednaprezanja, prečnika provrta, prečnika kuglica i broja kuglica, pri čemu je krutost više zavisna od broja kuglica nego od prečnika kuglica.
- Prema veličini prednaprezanja ležaja isti se proizvode sa malim, srednjim i velikim prednaprezanjem.
- Prednaprezanje može biti **kruto ili elastično**.
- Kruto prednaprezanje se ostvaruje aksijalnim fiksiranjem unutrašnjeg i/ili spoljašnjeg prstena navrtkom



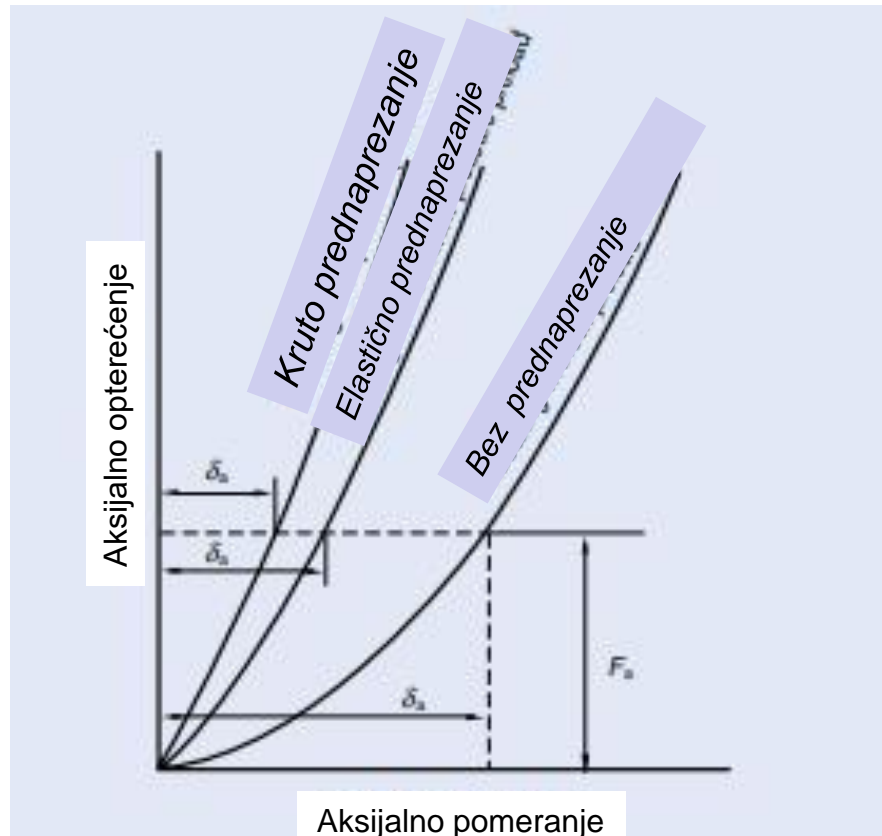
*Kruto prednaprezanje*



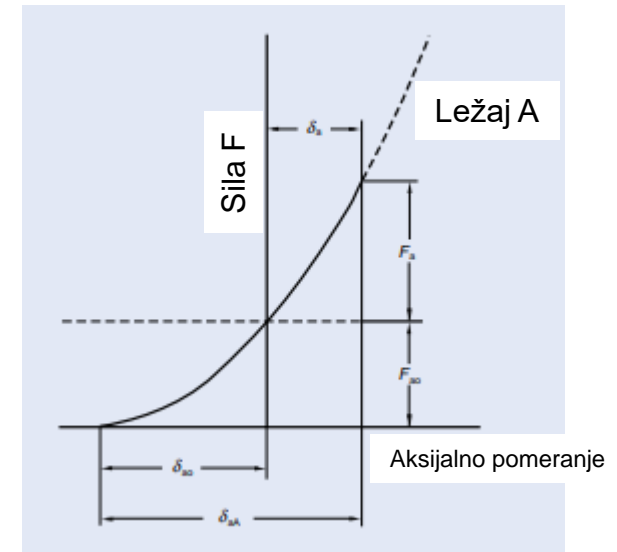
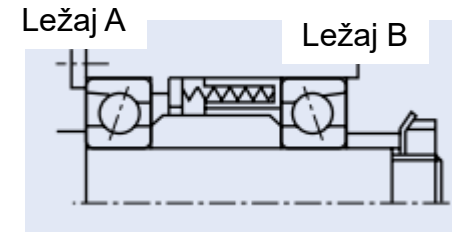
## Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

- **Elastično prednaprezanje** je konstantno i ostvaruje se oprugama ili hidrauličnim cilindrima.



Poređenje krutosti i prednaprezanja

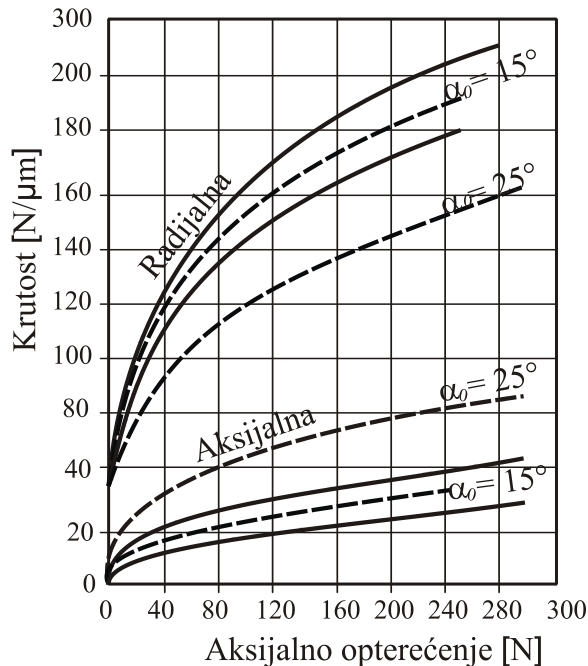


Elastično prednaprezanje

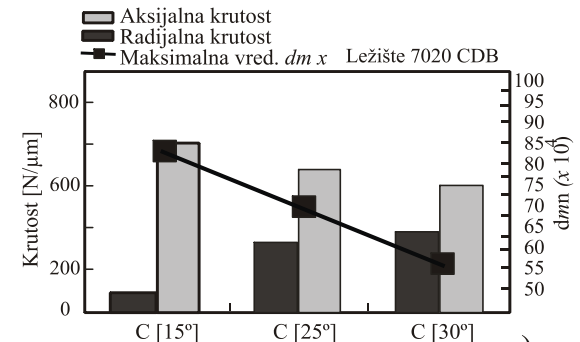
## Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

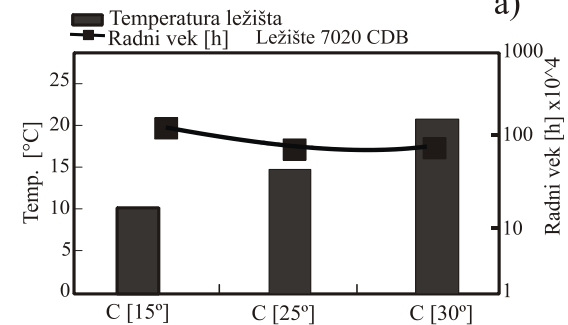
- Aksijalna krutost sklopa glavnog vretena određena je, skoro u potpunosti, vrednošću aksijalne krutosti uležištenja.
- Kod kugličnih ležišta sa kosim dodirom ova krutost zavisi od **ugla kontakta** i porastom istog **radijalna krutost opada** dok **aksijalna krutost raste** što ima za posledicu istovremeno i smanjenje dozvoljenog graničnog broja obrtaja i veka ležišta pri približno istom porastu temperature.



Zavisnost aksijalne i radijalne krutosti od ugla kontakta i opterećenja



a)



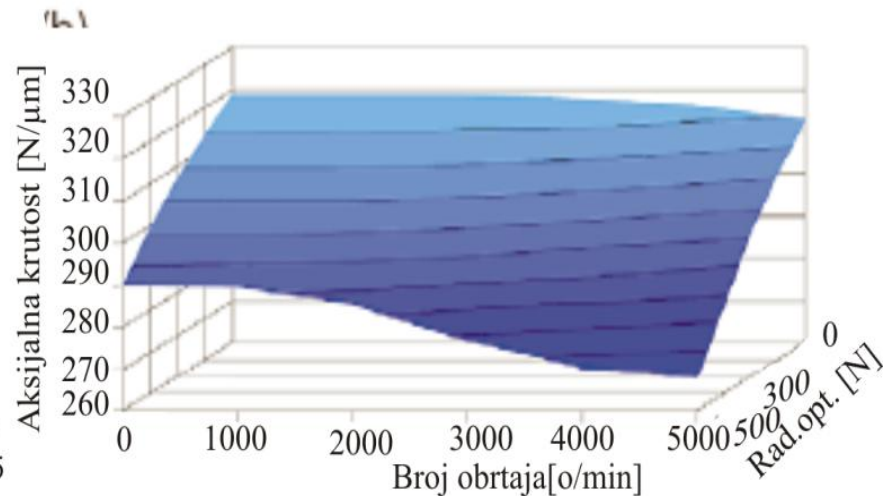
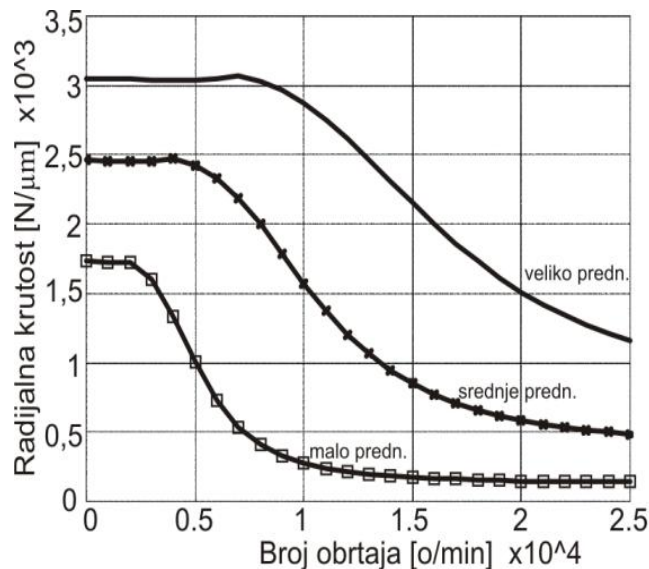
b)

Zavisnost: a) aksijalne i radijalne krutosti i graničnog broja obrtaja; b) temperature i veka ležaja od ugla kontakta

### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

- Veličina radijalne i aksijalne krutosti, između ostalog, zavisi i od broja obrtaja i opterećenja.
- Pri većim brojevima obrtaja pod istim opterećenjem radijalna i aksijalna krutost se smanjuju.



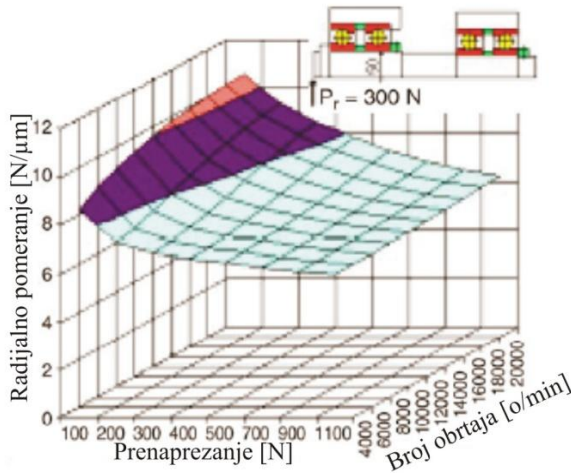
*Promena radijalne i aksijalne krutosti kugličnog ležaja sa kosim dodirom u zavisnosti od broja obrtaja i prednaprezanja*



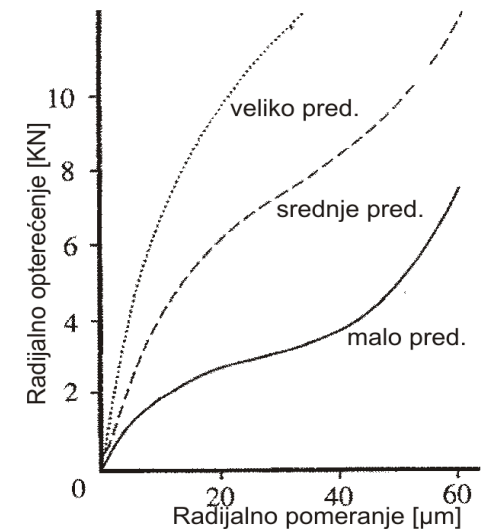
## Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

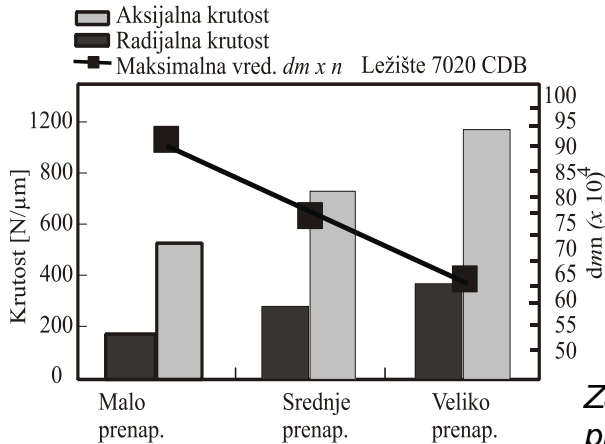
- Zahtev za povećanjem krutosti ležaja, povećanjem preklopa i prednaprezanja je povezan sa povećanjem radijalnih pomeranja u ležaju i porastom temperature,.



Zavisnost radijalnog pomeranja od prednaprezanja i broja obrtaja

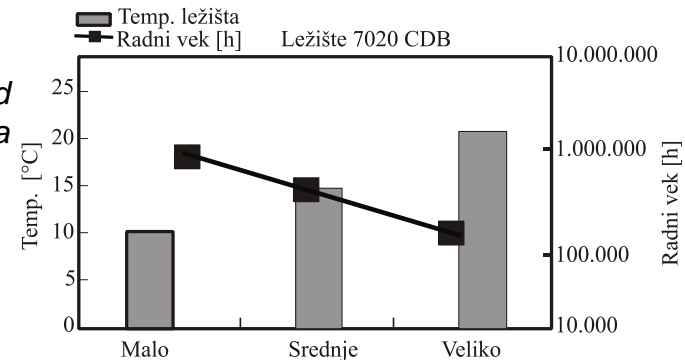


Zavisnost radijalnog pomeranja od radijalnog opterećenja



Zavisnost krutosti od prednaprezanja

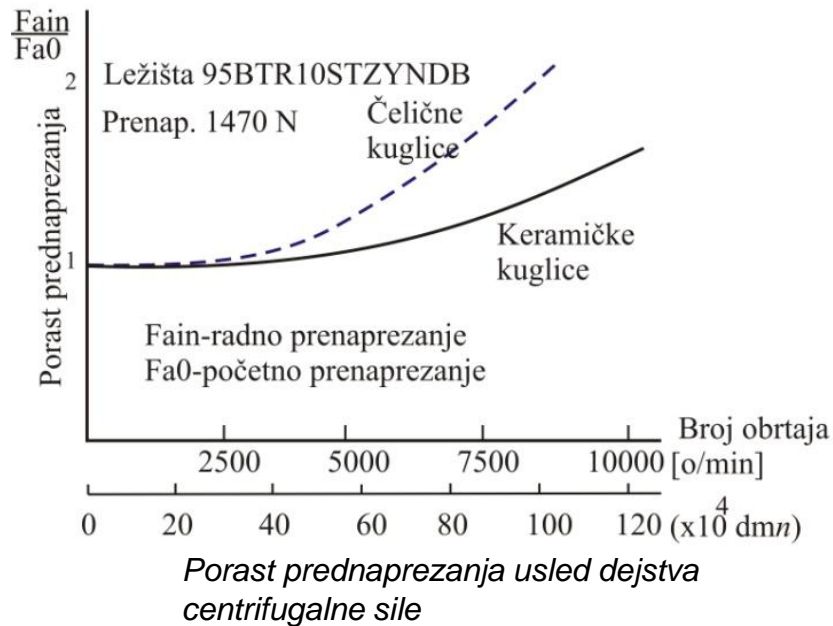
Zavisnost temperature od prednaprezanja



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

- Dalji zahtevi za porastom brzohodnosti ležaja usloveli su razvoj istih sa keramičkim kuglicama. Za izradu kuglica najčešće se koristi silicijum-nitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).
- Keramičke kuglice u odnosu na čelične imaju:
  - 1) 40 [%] manju masu što utiče na smanjenje centrifugalne sile kojom kotrljano telo deluje na spoljašnji prsten usled čega se povećava vek ležaja.

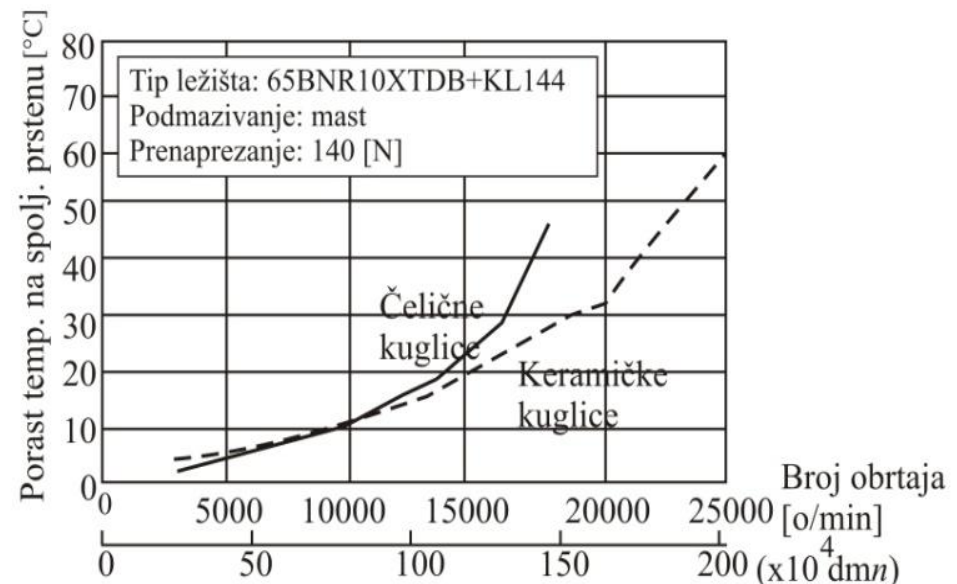


## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

- 2) 29 % manje temperaturno širenje, što dovodi do manjih toplotnih deformacija ležaja, manji porast temperature na spoljašnjem prstenu pri većem broju obrtaja, manjeg prednaprezanja i manja količine razvijene toplote.
- 3) manje trenje koje izaziva manju količinu razvijene toplote, nižu radnu temperatura ležaja, što je veoma značajno kod povećanja broja obrtaja čime se obezbeđuje jedan od glavnih zahteva vretena visokih performansi;

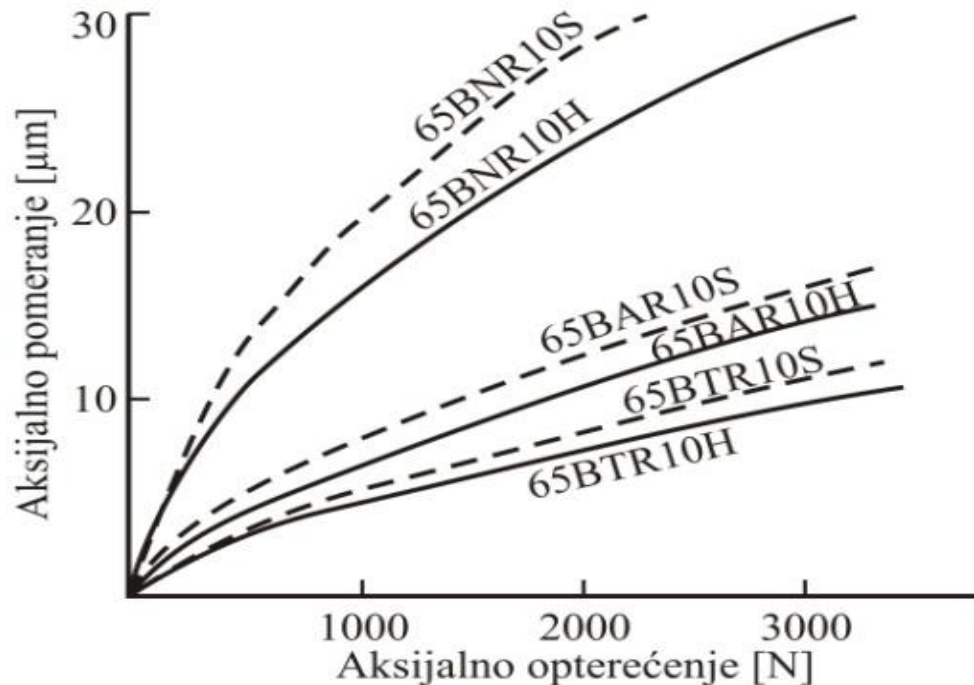


*Porast temperature na spoljašnjem prstenu  
zavisnosti od broja obrtaja*

### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

4) 50 % veći modul elastičnosti što će usloviti manje deformacije ležaja.

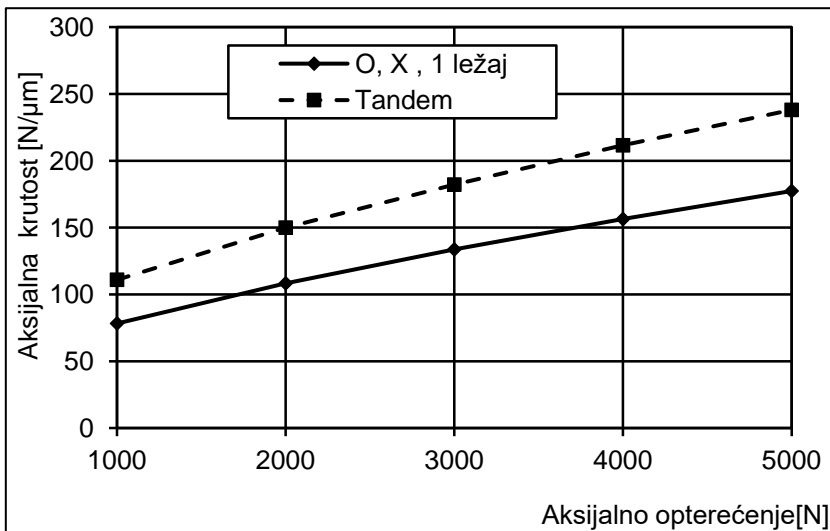


*Aksijalno pomeranje spoljašnjeg prstena hibridnih  
i konvencionalnih ležaja u zavisnosti od aksijalnog opterećenja*

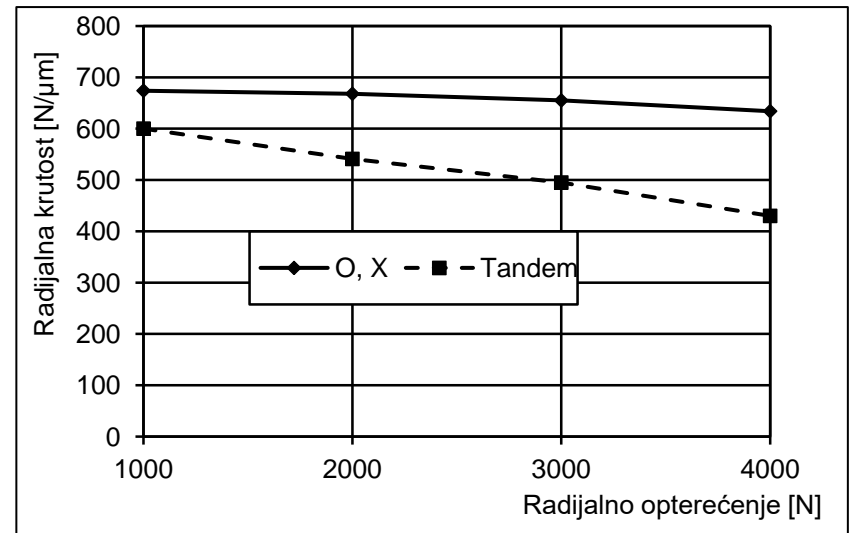
## Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

- Način uležištenja je takođe povezan sa krutošću i prednaprežanjem ležaja. Ova dva parametra direktno utiču na ponašanje ležaja.
- Aksijalna krutost kod "Tandem" rasporeda ležaja, je veća za oko 1.5 puta od iste krutosti za "O" i "X" raspored ležaja pri delovanju čistog aksijalnog opterećenja.
- Radijalna krutost kod "Tandem" raspored ležaja, je manja od 1.10 do 1.5 puta od iste krutosti za "O" i "X" raspored ležaja pri delovanju čistog radijalnog opterećenja



Zavisnost aksijalne krutost od aksijalnog opterećenja



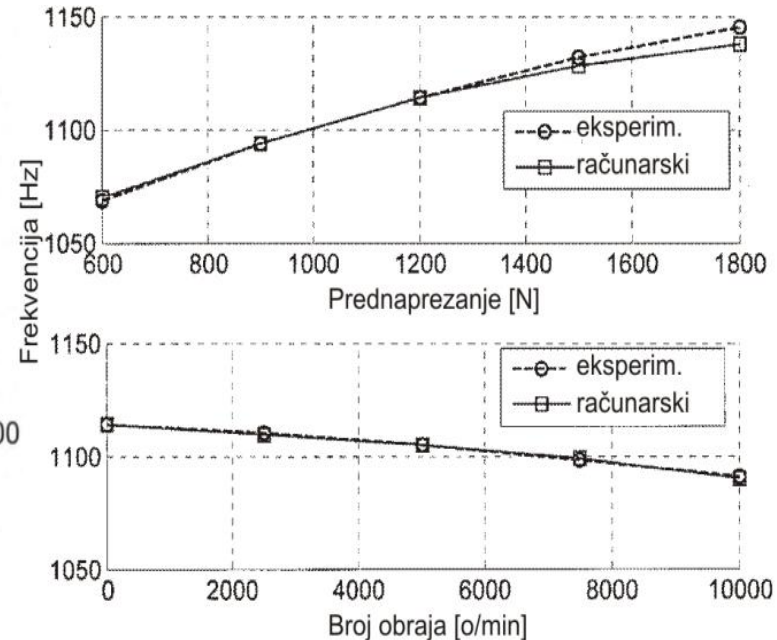
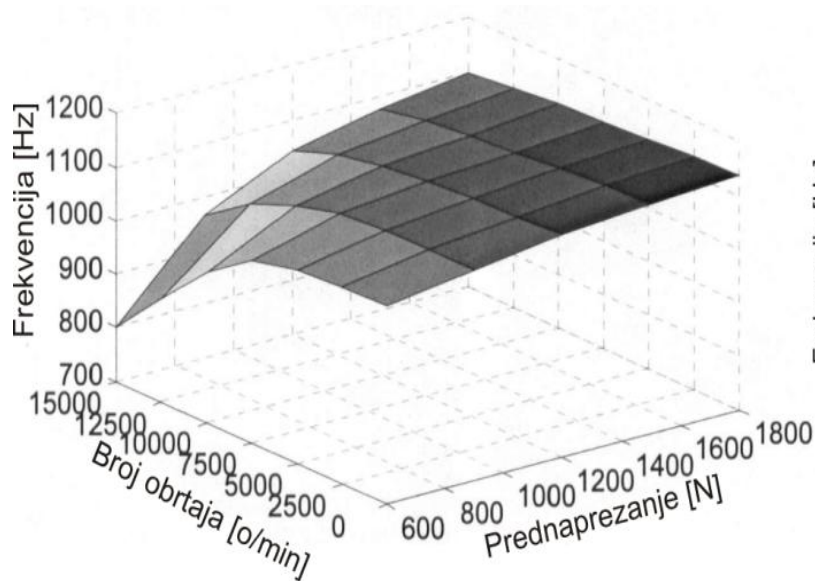
Zavisnost radijalne krutost od radijalnog opterećenja

## 6.0 Sklop glavnog vretena

### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Kuglični ležaji sa kosim dodirom*

Slično krutosti ležaja, sopstvena frekvencija se povećava sa povećanjem prednaprezanja, ali opada sa povećanjem broja obrtaja. Uticaj broja obrtaja je više kritičan na manjim vrednostima prednaprezanja.



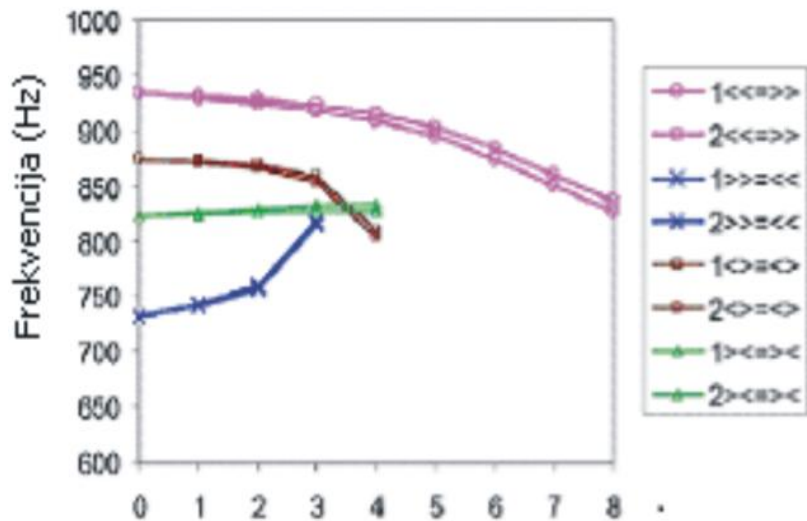
*Uticaj prednaprezanja i brzine na drugu sopstvenu frekvenciju*

## 6.0 Sklop glavnog vretena

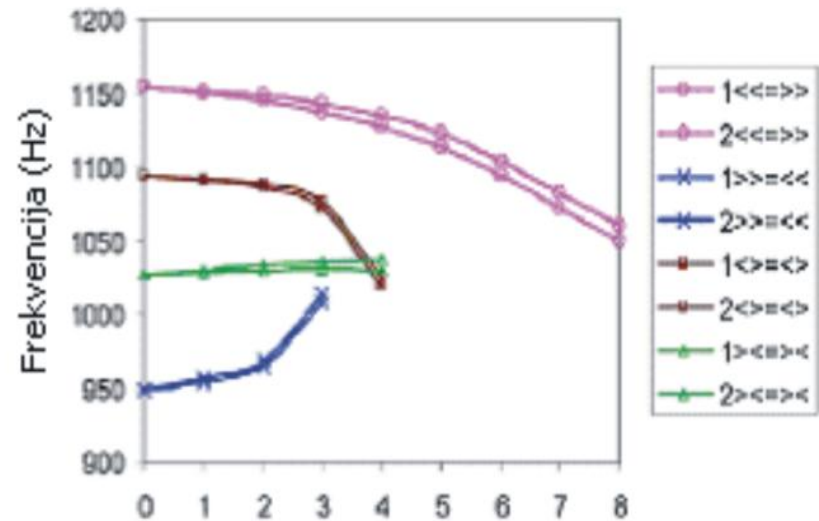
### Uležištenje glavnog vretena - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

- Veličina sopstvene frekvencije takođe zavisi od načine ugradnje kugličnih ležaja sa kosim dodirom.
- Za "X" raspored ležaja vrednosti sopstvenih frekvencija rastu pri povećanju broja obrtaja, dok kod "O" rasporeda ležaja sa istim prednaprežanjem vrednost sopstvene frekvencije opada sa porastom broja obrtaja .



Broj obrtaja



Broj obrtaja

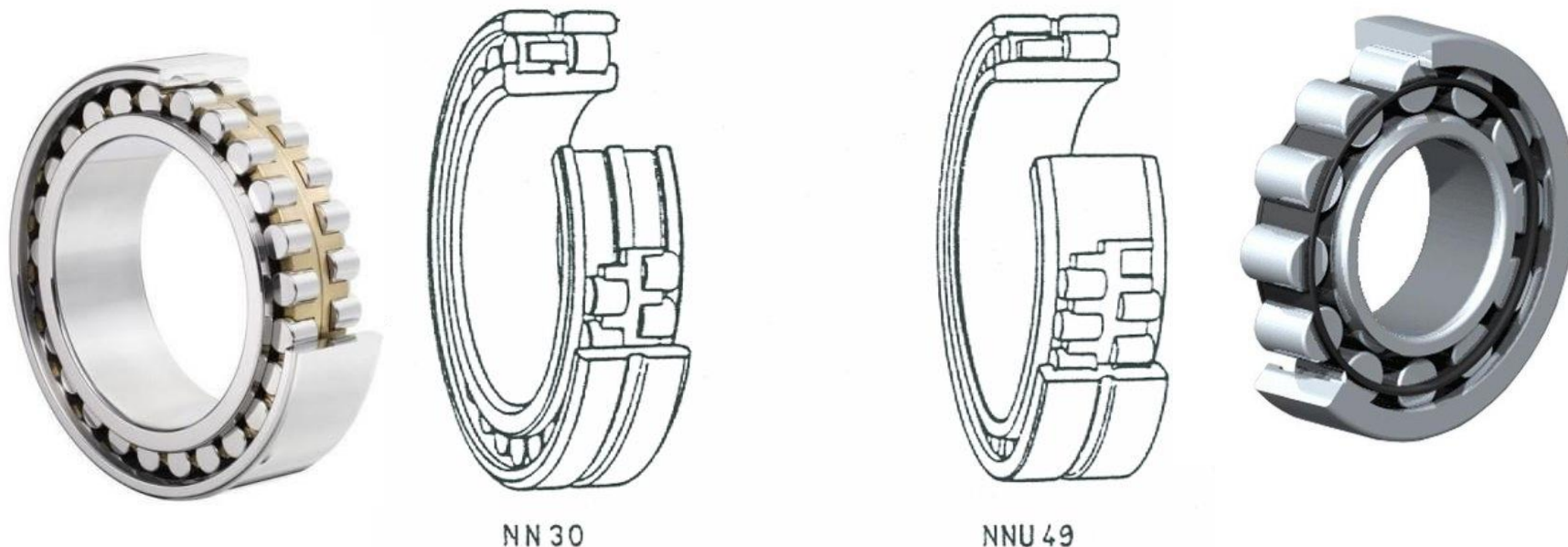
*Promene vrednosti prve i druge sopstvene frekvencije oscilovanja glavnog vretena za različite načine uležištenja sa promenom broja obrtaja*



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Cilindrično-valjčasti ležaji*

- Cilindrično-valjčasti ležaji za glavna vretena su sa malim poprečnim presekom, velikom moći nošenja i malom elastičnošću (velikom krutošću).
- Njihovom primenom se dobijaju kruta uležištenja koja mogu podneti velika radijalna opterećenja.
- Kod ležaja tipa **NNU** spoljni prsten ima dva naslona i valjčići su vođeni između naslona, a unutrašnji prsten je bez naslona, dok je kod ležaja tipa **NN** unutrašnji prsten sa dva naslona, a spoljni prsten je bez naslona.

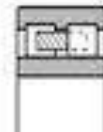




### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Cilindrično- valjčasti ležaji*

- Prsten sa naslonom i sklopom valjčića sa kavezom, u kome su valjčići naizmenično postavljeni, što obezbeđuje visoku moć nošenja i krutost, je jedna celina koja se može odvojiti od drugog prstena.
- Ova osobina, tj. da su prsteni odvojivi, olakšava montažu i demontažu, naročito kada je potrebno, zbog uslova opterećenja, oba prstena ležaja da se ugrade sa naleganjem sa preklopom.



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Cilindrično- valjčasti ležaji*

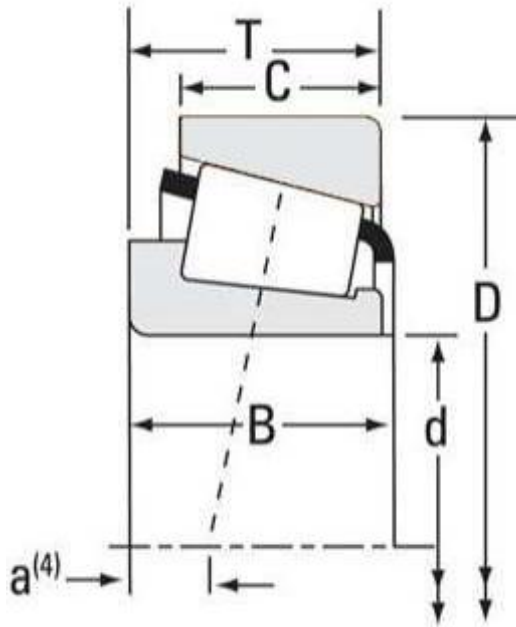
- U cilju postizanja zadovoljavajuće tačnosti i krutosti sklopa glavnog vretena ležaji moraju biti radijalno prednapregnuti posle montaže.
- Vrednost prednaprezanja zavisi od brzine, opterećenja, podmazivanja i zahtevane krutosti.
- Maksimalno prednaprezanje kod ležaja sa relativno malim brzinama obrtanja glavnog vretena i iznosi **10 – 40 [μm]** u zavisnosti od veličine ležaja.



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### *Konično - valjčasti ležaji*

- Kod konično-valjčastih ležaja rezultatno opterećenje deluje na dodirne površine između putanja kotrljanja i konusnih valjčića pod uglom u odnosu na osu ležaja.
- Mogu da prenose kombinovano opterećenje mnogo veće od jednoredih prstenih kugličnih ležaja sa kosim dodirom.



### Uležištenje glavnog vretena - **Kotrljajni ležaji**

#### **Konično - valjčasti ležaji**

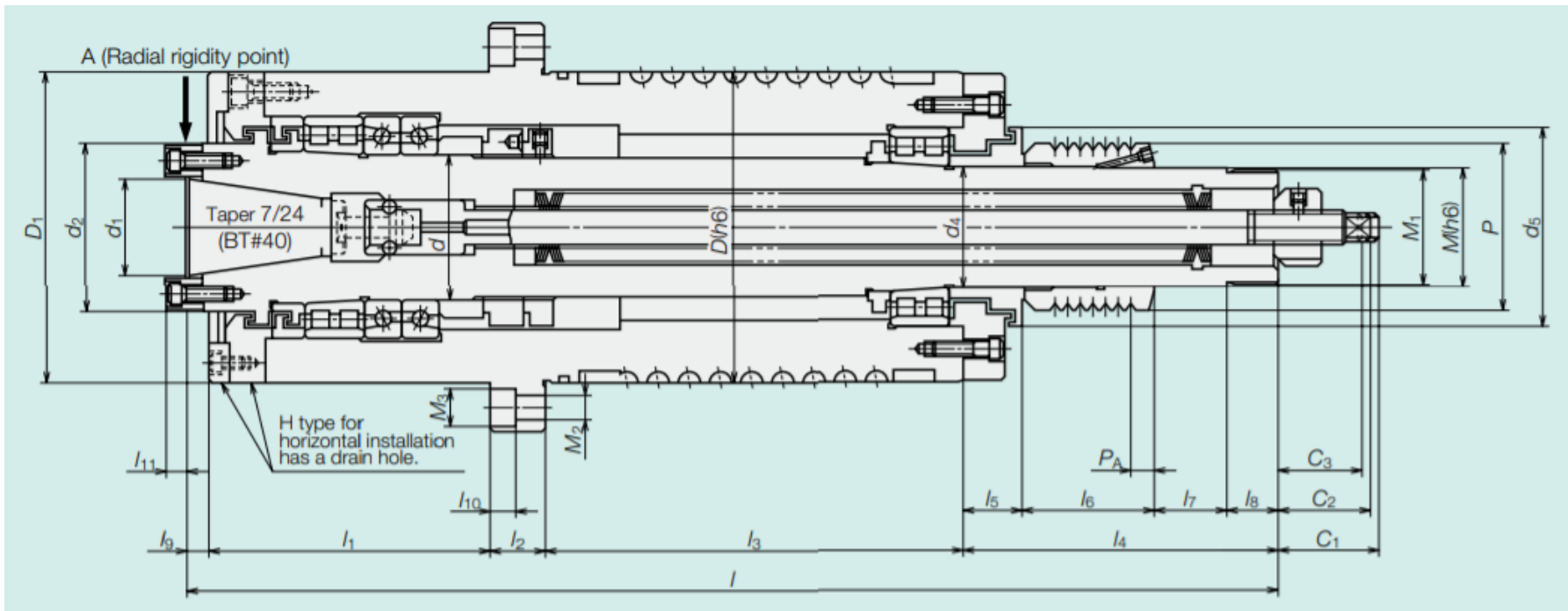
- Ležaji su rastavljivi, tj. spoljni prsten i unutrašnji prsten sa sklopom valjčića i kavezom se mogu odvojeno ugraditi, što je prednost sa stanovišta montaže. Kod glavnih vretena mašina alatki se **koriste ležaji serije 320 X**.
- Rade se sa mnogo valjčića relativno velikog prečnika, što obezbeđuje veliku krutost i veliku moć nošenja.
- Veličina prednaprezanja kod ovih ležaja se kreće u granicama **5 - 20 [μm]**, zavisno od veličine ležaja.



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### KONSTRUKCIJONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

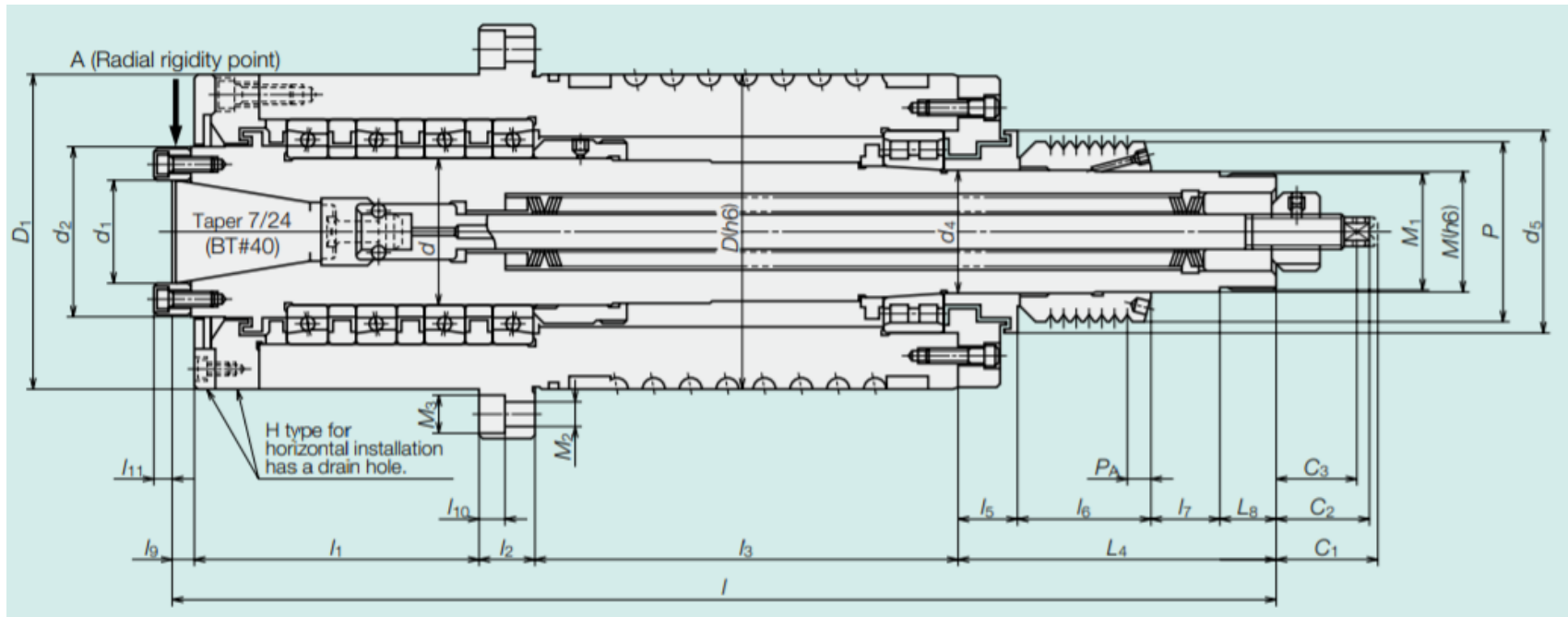
- ✓ Primena: Obradni centri
- ✓  $n = 4000 - 8000$  [o/min];  $P = 5,5 - 11$  [kW];
- ✓ Aksijalna krutost:  $275 - 520$  N/ $\mu\text{m}$
- ✓ Radijalna krutost:  $245 - 500$  N/ $\mu\text{m}$
- ✓ Prednji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj i kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;
- ✓ Zadnji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj;



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### KONSTRUKCIONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

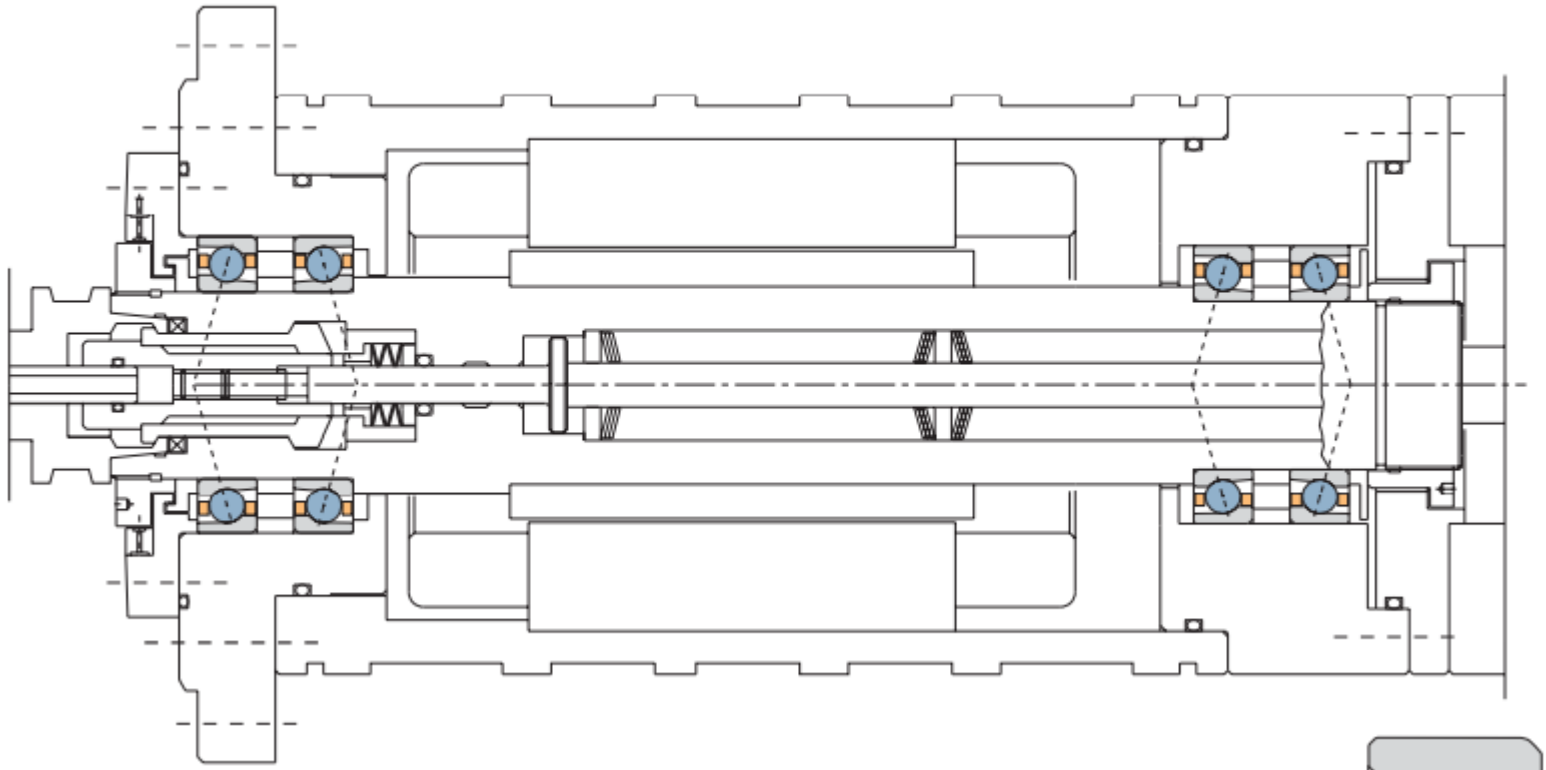
- ✓ Primena: Obradni centri
- ✓  $n = 10000 - 12000$  [o/min];  $P = 3,7 - 5,5$  [kW ];
- ✓ Aksijalna krutost:  $128 - 167$  N/ $\mu\text{m}$
- ✓ Radijalna krutost:  $98 - 137$  N/ $\mu\text{m}$
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u Tandem-O rasporedu;
- ✓ Zadnji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj ;



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### KONSTRUKCIJONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

- ✓ Primena: Visokobrzinski obradni centri
- ✓  $n = 20000 - 30000$  [o/min];  $P = 3,7 - 5,5$  [kW];
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;
- ✓ Zadnji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;

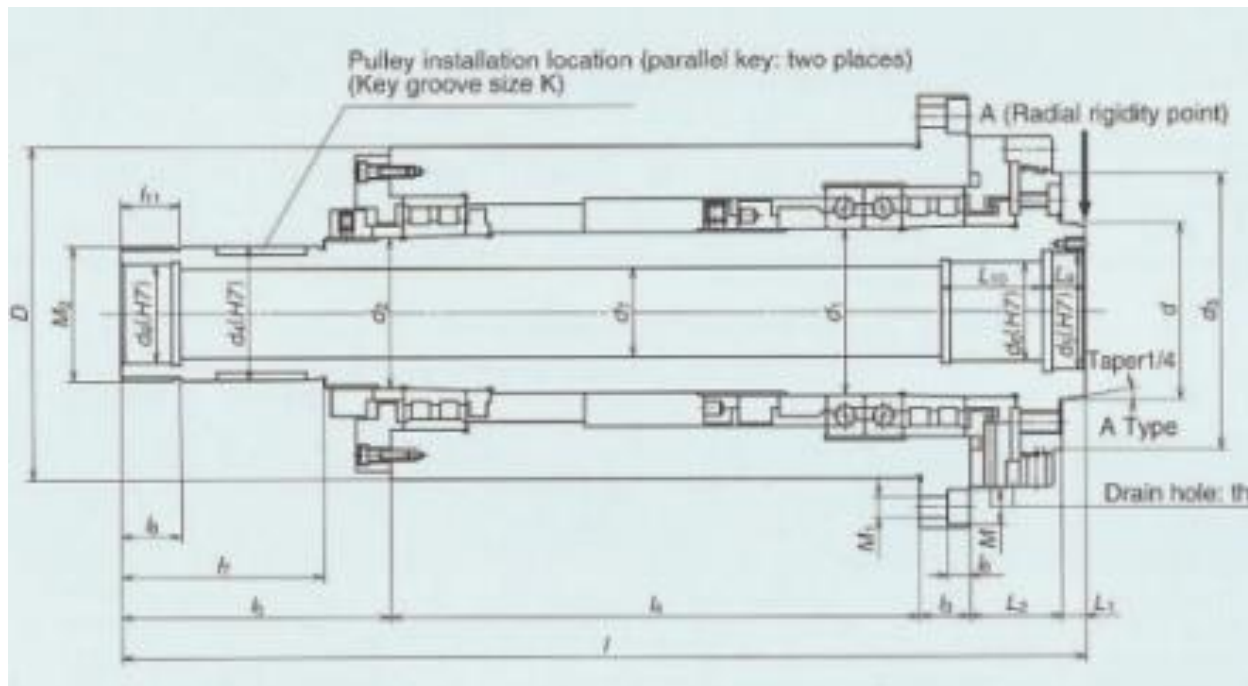




## 6.0 Sklop glavnog vretena

### KONSTRUKCIJONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

- ✓ Primena: NC strug
- ✓  $n = 4000 - 5000$  [o/min];
- ✓ Aksijalna krutost:  $34 - 46$  N/ $\mu$ m
- ✓ Radijalna krutost:  $34 - 45$  N/ $\mu$ m
- ✓ Prednji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj i kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;
- ✓ Zadnji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj ;

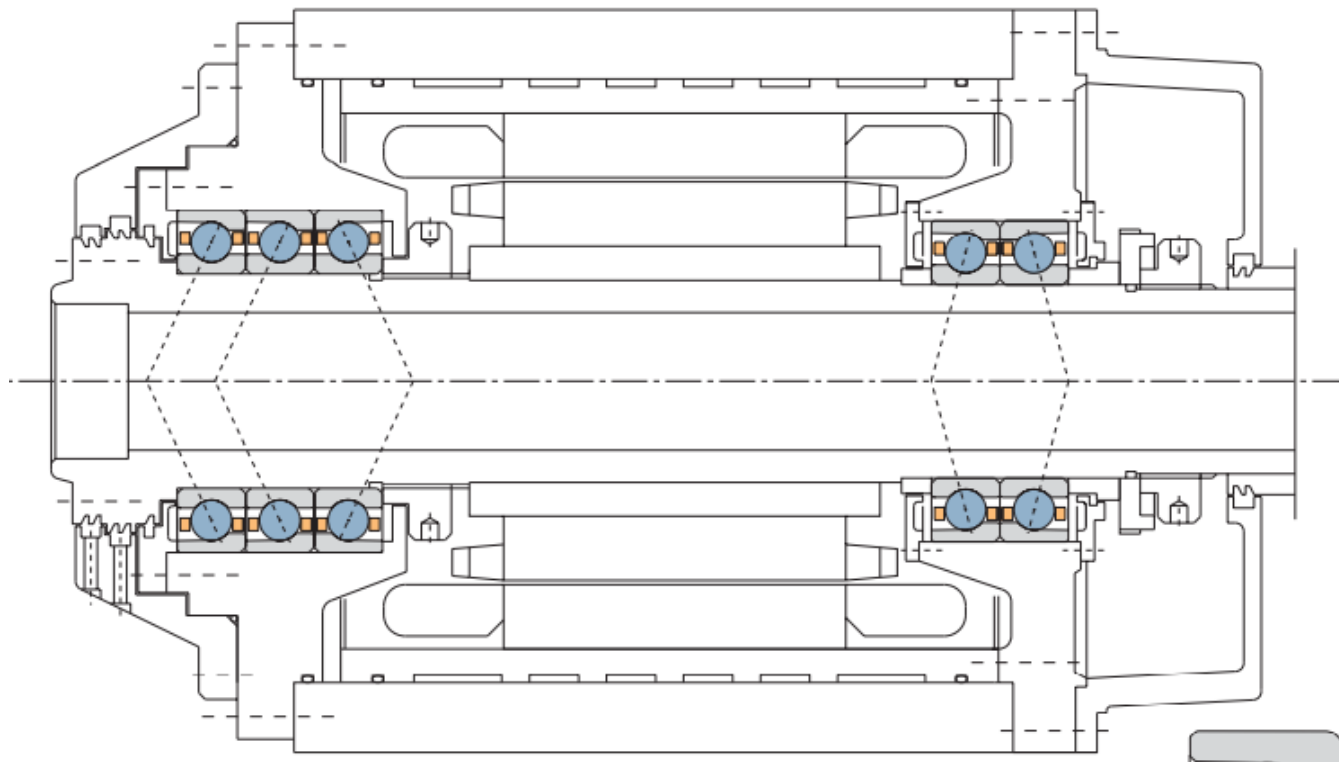




## 6.0 Sklop glavnog vretena

### KONSTRUKCIJONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

- ✓ Primena: NC strug
- ✓  $n = 10000 - 12000$ [o/min];
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u Tandem - O rasporedu (3 ležaja);
- ✓ Zadnji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;



## 6.0 Sklop glavnog vretena

### KONSTRUKCIJONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

- ✓ Primena: Brusilice
- ✓  $n = 40000 - 80000$  [o/min];
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u Tandem - O rasporedu (4 ležaja);
- ✓ Zadnji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;

