

**FTN - DPM**

Katedra za mašine alatke, tehnološke procese,  
FTS i procese projektovanja

**Laboratorija za mašine alatke, FTS i APP**

**Master strukovne studije**

Novi Sad, februar 2022.

# **PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA**

**Studijski program:**

**PROIZVODNO MAŠINSTVO**

Naziv predmeta:

# PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

Semestar: II

Fond časova: 2+3

Status predmeta: Obavezni

Izvođači nastave:

Predavanja: dr Aleksandar **ŽIVKOVIĆ**, vanredni profesor

Vežbe: dr Cvijetin **MLAĐENOVIĆ**, asistent

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

# PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA - Uvod u predmet

---

## **SADRŽAJ PREDAVANJA – Globalni**

**0.0 UVOD U PREDMET:** cilj i program predmeta, literatura, obaveze studenata

**1.0 UVOD – OSNOVNI POJMOVI**

**2.0 TENDENCIJE RAZVOJA I PODELA MAŠINA ALATKI**

**3.0 SISTEMI I PROCESI U PROIZVODNOM MAŠINSTVU**

**4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI**

    4.1 Geometrijske karakteristike

    4.2 Tehnološke karakteristike

    4.3 Eksplotacione karakteristike

**5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI**

**6.0 PROJEKTOVANJE (DEFINISANJE) GLAVNIH  
KARAKTERISTIKA MAŠINA ALATKI**

## SADRŽAJ PREDAVANJA – Globalni

**7.0 PROJEKTOVANJE PRENOSNE STRUKTURE ZA  
GLAVNO KRETANJE**

**8.0 PROJEKTOVANJE PRENOSNE STRUKTURE ZA  
POMOĆNO KRETANJE**

**9.0 NOSEĆA STRUKTURA MAŠINA ALATKI**

**10.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI**

# PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA - Uvod u predmet

---

## PROVERA ZNANJA I OCENJIVANJE

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Redovno prisustvo predavanjima                   | 5 poena  |
| 2. Redovno prisustvo vežbama                        | 5 poena  |
| 3. Urađene i prihvaćene lab. vežbe( <b>4 L.V.</b> ) | 20 poena |
| 4. Grafički rad                                     | 20 poena |
- 

**Predispitne obaveze** **50 poena**

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 5. Pismeni ispit | 20 poena        |
| 6. Usmeni ispit  | <b>30 poena</b> |
- 

Ukupno: max. 100 poena

# **PROJEKTOVNE I EKSPLOATACIJE OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA - Uvod u predmet**

---

## **KORIŠĆENA LITERATURA:**

1. Borojev, Lj+, Zeljković, M.: Glavne karakteristike i kinematska struktura obradnih i tehnoloških sistema, autorizovani rukopis predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, školska 2016/2017. god.
2. Čića, Đ.: Mašine alatke, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2016.
3. Graham T., S.: Machine Tool Metrology - An Industrial Handbook, Springer, 2016
4. Großmann, K.: Thermo-energetic Design of Machine Tools - Lecture Notes in Production Engineering, Springer, 2015
5. Josh, P., H.:Machine tools Handbook-Deign and operation, McGraw-Hill Publishing Company, 2007.
6. Juneja, B.L.; Seth, Nitin and Sekhon, G.S. : Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, NEW AGE INTERNATIONAL, 2017
7. Kalajdžić, M.: Tehnologija mašinogradnje, Mašinski fakultet, Beograd, 2004, ISBN 86-7083-487-1
8. Koenigsberger, F.: Design Principles Of Metal-Cutting Machine Tools, Pergamon Press, 1964
9. Sredanović, B., Globočki, L, G.: Podloge za vežbe iz obradnih sistema za obradu rezanjem, Radna verzija skripte za vežbe, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2014.
10. Stanković, P.: Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina, Građevinska knjiga, Beograd, 1967
11. Stanković, P.: Mašinska obrada – Obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1967.
12. Yoshimi I.: Modular Design for machine tools, McGraw-Hill Publishing Company, 2008

# **PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA - Uvod u predmet**

---

## **KORIŠĆENA LITERATURA:**

13. Youssef, H.,A., El-Hofy, H.: Machine technology-Machine tools and operation, CRC Press Taylor & Francis Group, 2008
14. 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
15. Zeljković, M, Tabaković, S.: Proizvodno mašinstvo početkom XXI veka, 42. Jupiter konferencija, Mašinski fakultet, Beograd, 2020
16. Zeljković, M., Živković, A., Tabaković, S., Mlađenović, C., Knežev, M.: Kinematska struktura i glavne karakteristike mašina alatki, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2021. (u štampi).
17. Zeljković, M.: Obradni i tehnološki sistemi, autorizovana prezentacija predavanja Fakultet tehničkih nauka, 2012 – 2020.
18. Zeljković, M.: Projektovanje mašina alatki, autorizovana prezentacija predavanja, Fakultet tehničkih nauka, 2011 – 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**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **1.0 UVOD - OSNOVNI POJMOVI**

# **1.0 UVOD – OSNOVNI POJMOVI**

---

**1.1 Tehnologija kao naučna disciplina**

**1.2 Položaj tehnologije obrade rezanjem  
u savremenoj proizvodnji**

**1.3 Značaj industrije mašina alatki**

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

**Tehnologija** se definiše kao primenjena, naučno-tehnička disciplina koja proučava međusobni odnos sredstava i metoda proizvodnje u svim sferama ljudske delatnosti saglasno zakonima prirodnih nauka i ekonomске celishodnosti.

Tehnologije, se mogu podeliti na:

- **materijalne** i
- nematerijalne

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

**Materijalne tehnologije** su:

- bazne (hemijska) i
- ***mehaničke.***

**Nematerijalne tehnologije** obuhvataju

- transformaciju ili preradu **energije i informacija,**
- transport, organizaciju i logistiku transporta
- čuvanje i ispitivanje materijala i proizvoda.

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

**Bazne tehnologije** obuhvataju:

- dobijanje materijala od prirodnih sirovina
- procese promena strukture materijala

**Mehaničke tehnologije** obuhvataju:

- tehnologiju livenja i sinterovanja,
- **tehnologiju mašinske obrade rezanjem (skidanjem strugotine),**
- tehnologiju mašinske obrade plastičnim deformisanjem sa i bez odvajanja,
- tehnologiju obrade nekonvencionalnim postupcima,
- tehnologiju spajanja, tehnologiju montaže i tehnologiju zaštite površina.

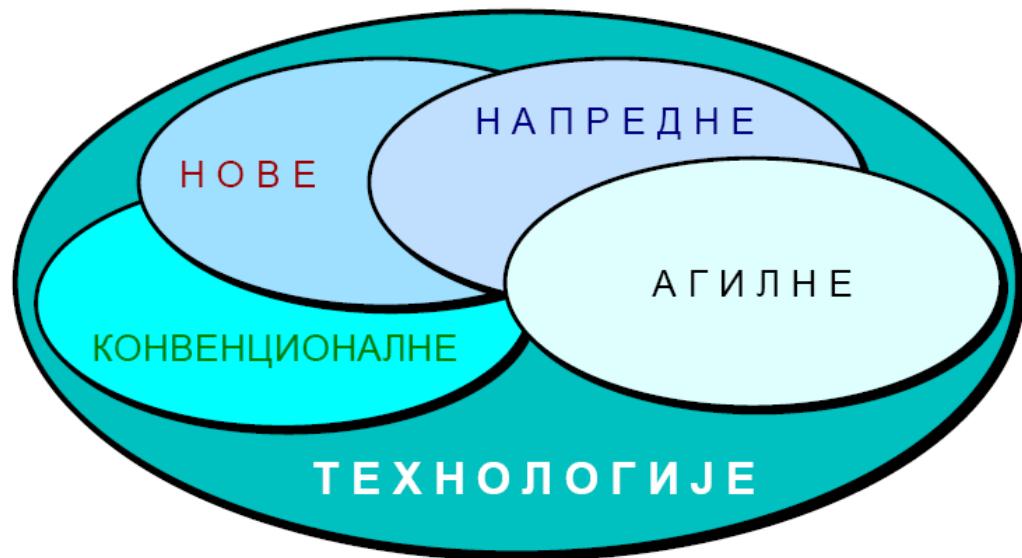
# Tehnologija kao naučna disciplina

---

**Mehaničke tehnologije, tehnologije mašinogradnje ili proizvodne tehnologije**

**Proizvodne tehnologije** predstavljaju nauku i industrijsku praksu u postupku dobijanja gotovih proizvoda prvenstveno delova i mašina. Mogu biti:

- **konvencionalne**
- nove
- **napredne (visoke)**
- agilne.



*Razvoj tehnologija*

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

*Definicija pojmlja:*

**Konvencionalne tehnologije:** Tehnologije koje se realizuju u okviru obradnih i tehnoloških sistema sa ručnim upravljanjem, u okviru automatskih sistema sa krutim nosiocima upravljačkih informacija, agregatnih sistema (sistema na osnovnom nivou automatizacije), i sl.

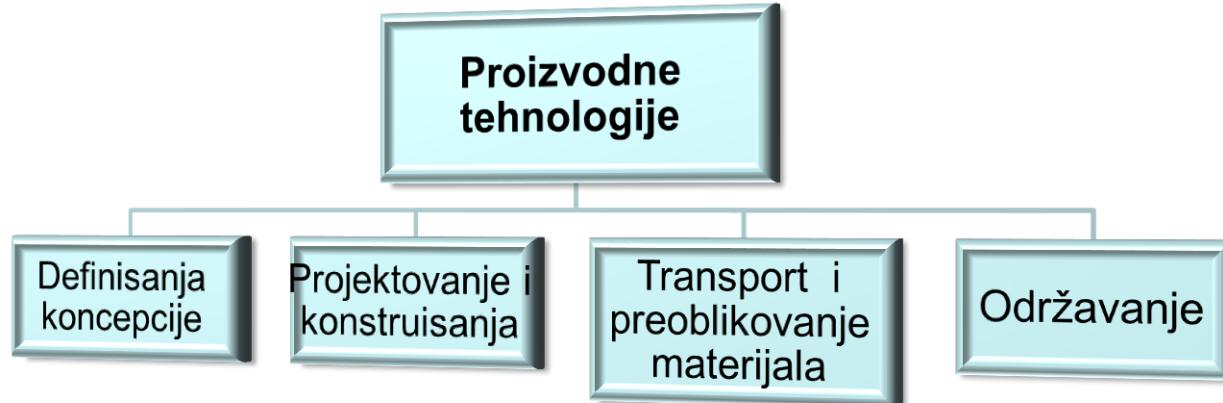
**Nove tehnologije:** Svaka osvojena tehnologija koja doprinosi razvoju proizvoda, pogona, fabrike, industrijskog kompleksa i ukoliko je ekonomski celishodna.

**Napredne (visoke) tehnologije:** Podrazumevaju visok nivo hardvera i softvera, i odnosi se na tehnologije u okviru KNU, DNU, FTS, ITS, nanotehnologije i sl.

**Agilne ili tehnologije brzog dejstva:** Posebne proizvodne tehnologije koje se odnose na brzu izradu prototipa i brzu izradu alata.

# Tehnologija kao naučna disciplina

---



**Proizvodne tehnologije** sadrže sve aktivnosti od definisanja **koncepcije** proizvoda, projektovanja i konstruisanja, pa sve do aktivnosti koje se odnose na transport i preoblikovanje materijala u procesu proizvodnje, kao i **održavanje opreme za proizvodnju**.

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

Proizvodne tehnologije se realizuju kroz određene faze proizvodnog procesa.

Realizaciju faza proizvodnog procesa obezbeđuje **tehnički sektor preduzeća.**

Faze realizacije proizvodnih tehnologija:

- A.** Izrada konstrukcione dokumentacije za proizvod;
- B.** Priprema proizvodnje;
- C.** Proizvodni proces (proces proizvodnje);

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

## A. Izrada dokumentacije:

- projektovanje proizvoda  
(definisanje glavnih karakteristika u dovoljnoj meri da se posle može pristupiti konstruisanju sklopova i delova);
  
- konstruisanje  
(neposredna izrada dokumentacije za proizvodnju svih delova (osim gotovih delova - robe) potrebnih za izradu proizvoda;

# Tehnologija kao naučna disciplina

---

## B. Priprema proizvodnje (u širem smislu obuhvata)

- proveru konstrukcije proizvoda kroz izradu i ispitivanje prototipa;
- izradu tehnološke (proizvodne) dokumentacije za proizvodnju,
- izrada alata i pribora;
- proveru tehnološke dokumentacije za proizvodnju, alata i pribora kroz izradu nulte serije;

## C. Proizvodni proces (*proces proizvodnje*)

Proizvodni proces se realizuje na **sredstvima rada**, tj. mašinama alatkama koje omogućuju, zajedno sa ostalim elemenata obradnog sistema:

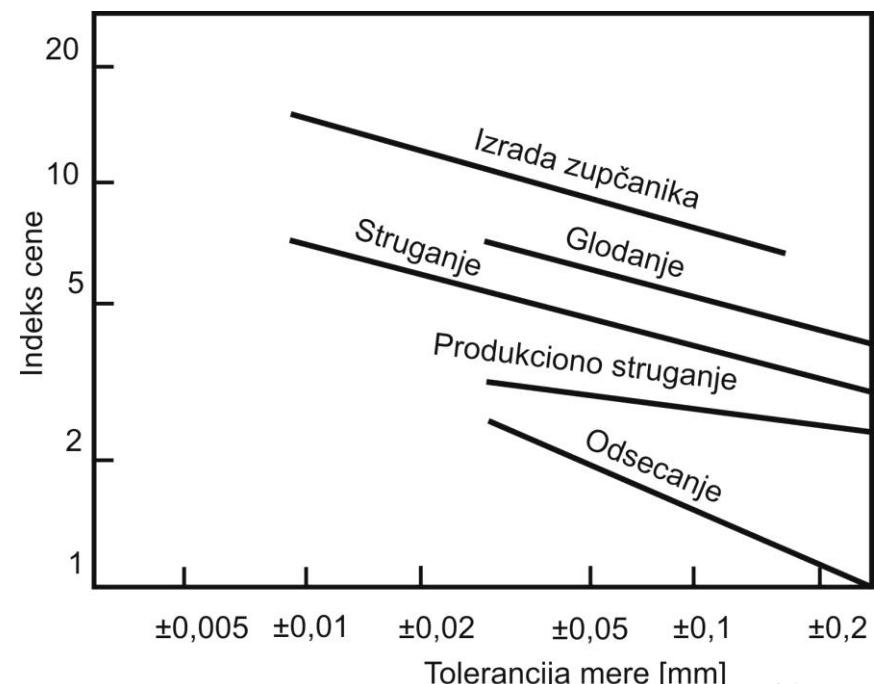
- Izradu poluproizvoda (pripremaka);
- Obradu pripremaka i dobijanje gotovih delova (izradaka);
- Montažu (sklapanje izradaka u podsklopove i sklopove);
- Završnu kontrolu (regulisanje, kontrola i ispitivanje proizvoda);
- Površinsku zaštitu;
- Pakovanje gotovih proizvoda (saglasno uslovima za uskladištenje, transportovanje i sl.);

# Tehnologija kao naučna disciplina

**Proizvodnim tehnologijama** je obuhvaćena proizvodnja pojedinačnih delova – ***diskretna*** (komada) ***proizvodnja*** i ***kontinualna proizvodnja.***

Poseban značaj u projektovanju proizvoda i projektovanju tehnoloških procesa izrade ima:

- **odnos zahtevane tačnosti,**
- **tehnološke cene i**
- **metoda obrade.**



Tehnologija obrade rezanjem zauzima **veoma značajno** mesto u okviru proizvodnih tehnologija.

- u svetskoj proizvodnji i potrošnji mašina alatki više od **70%** su maštine alatke za obradu rezanjem.
- u Saveznoj Republici Nemačkoj, proizvodnja mašina alatki čine oko 7,44[%] ukupnog obima proizvodnje industrije prerade metala, a 6,96[%] zaposlenih radi u ovoj industriji.
- troškovi mašinske obrade rezanjem u SAD, iznosili su približno 15 [%] vrednosti svih proizvoda koje je proizvela industrija prerade metala u ovoj zemlji.

**Očigledan je značaj, za ekonomsko blagostanje nacije, kontinualno istraživanju i razvoju nove i sve produktivnije tehnologije obrade.**

## Položaj tehnologije obrade rezanjem u savremenoj proizvodnji

---

Posmatrano po metodama obrade rezanjem, odnosno učešću pojedinih vrsta mašina alatki u svetskoj proizvodnji,

- **30 %** - mašine za obradu struganjem;
- **30 %** - za obradu glodanjem i bušenjem (obradni centri);
- **više od 10%** su mašine za obradu brušenjem.

Krajem dvadesetog veka numerički upravljane mašine alatke su činile oko 50 [%] ukupne svetske proizvodnje mašina alatki po vrednosti, a u industriji prerade metala Evrope 38[%] mašina je povezano u fleksibilne tehnološke sisteme.

- **Tačnost obrade** je jedan od najvažnijih izlaznih parametara svake obrade.
- Pri projektovanju proizvoda definiše se minimalna tačnost koja će zadovoljiti funkciju dela.
- Posmatrano tokom vremena minimalna tačnost se povećava, tj. smanjuju se tolerancije izrade, a savremeni obradni sistemi omogućuju realizaciju ove tačnosti na ekonomičan način.

Za povećanje tačnosti izrade delova postoje dva razloga:

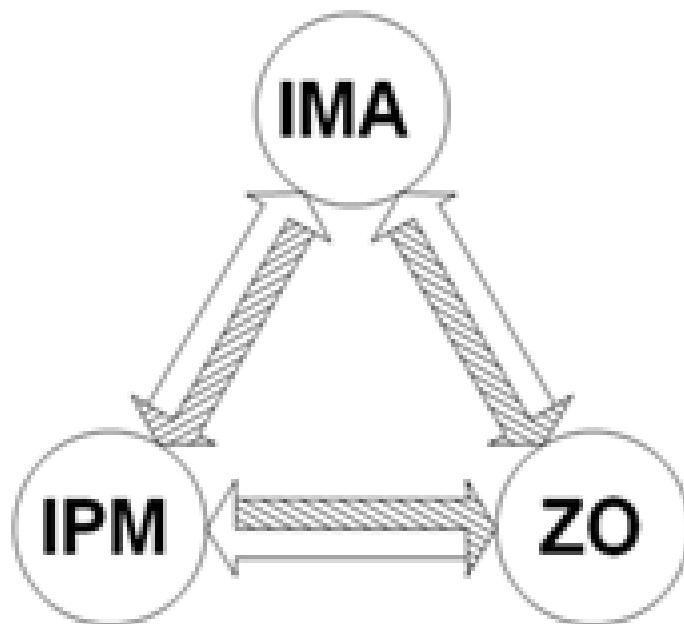
- veća tačnost izrade stvara preduslove za pouzdaniji rad i duži vek eksploatacije svakog dela i proizvoda;
- veća tačnost izrade obezbeđuje bolju zamenljivost delova pri održavanju proizvoda.

# Značaj mašina alatki

---

Uticaj industrije mašina alatki na industriju prerade metala je dvojak.

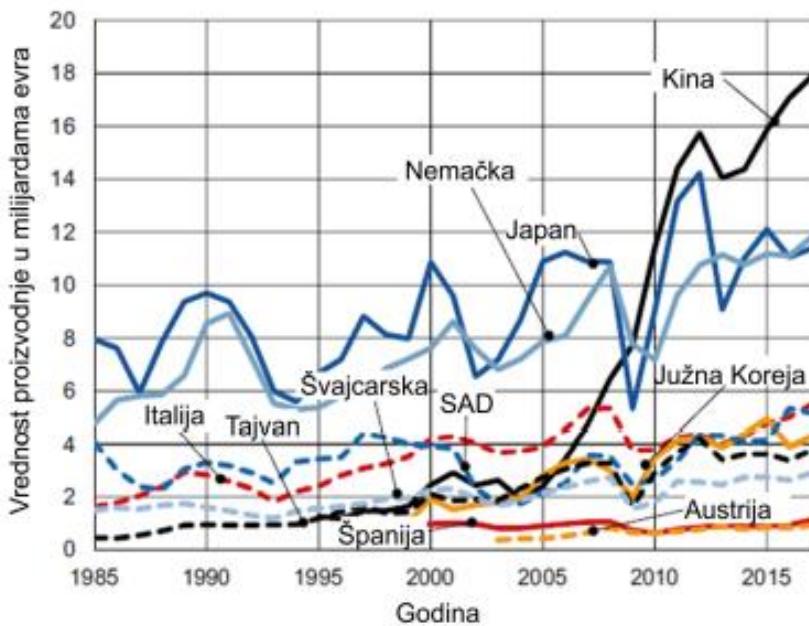
- **Primarni uticaj:** Industrija mašina alatki pripada industriji prerade metala.
- **Sekundarni uticaj:** Industrija mašina alatki proizvodi sredstva rada industrije prerade metala.



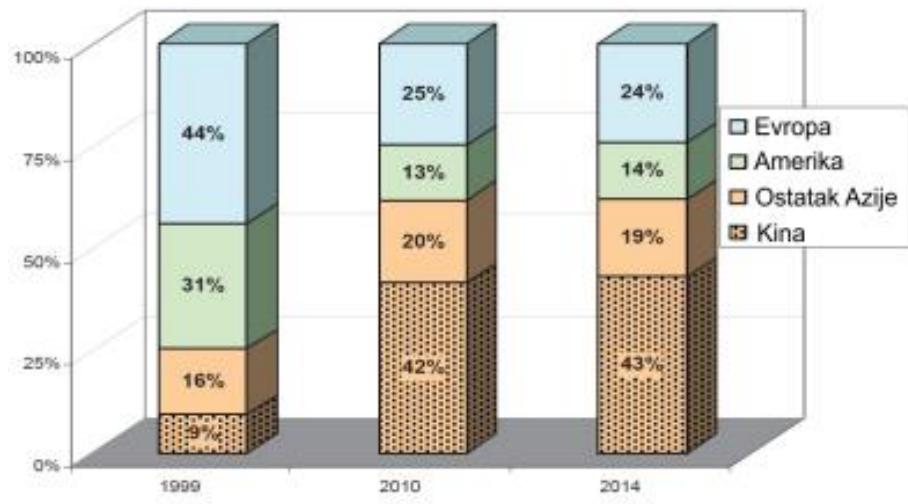
*Međusobni uticaj industrije prerade metala,  
industrije mašina alatki i tržišta*

# Značaj mašina alatki

- U zemljama članicama Evropske asocijacije proizvodnja mašina alatki je rasla od 1980. godine tokom 20 godina sa prosečnom stopom rasta između 2% - 4%.
- Prema podacima iz 2018. godine asocijacija CECIMO je imala promet od 27,5 milijardi evra, što je za 9% više u odnosu na 2017.
- Ovo obezbeđuje tržišni udeo od 35% u svetskoj proizvodnji mašina alatki.



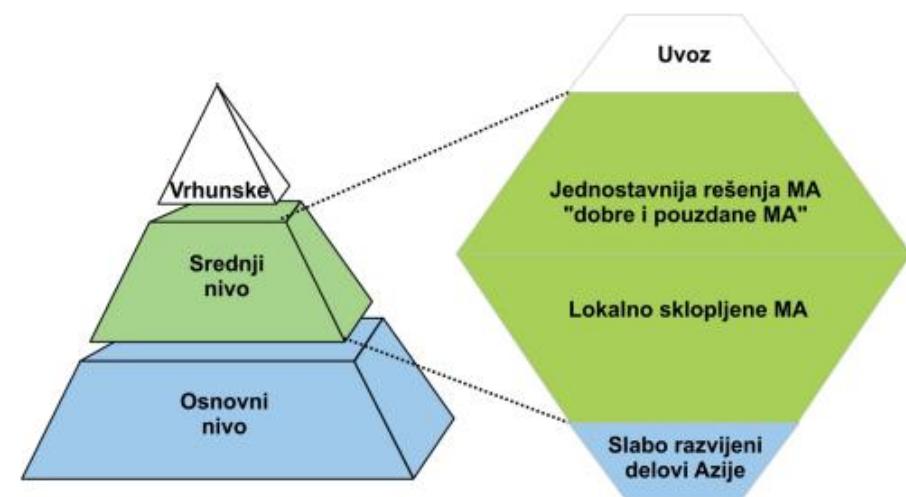
Proizvodnja mašina alatki deset vodećih zemalja proizvođača tokom vremena.



Geografska struktura potrošnje mašina alatki

# Značaj mašina alatki

- Trenutno rastuća količina mašina alatki je u srednjem nivou - asortiman koji počinje jednostavnim CNC mašinama alatkama i završava se vrhunskim proizvodima.
- Evropski proizvođači su fokusirani na vrhunske, prilagođene mašine sa relativno dugim ciklusom proizvodnje, za razliku od standardnih mašina sa kratkim rokovima isporuke.



Detaljnija piramida tržišta mašina alatki

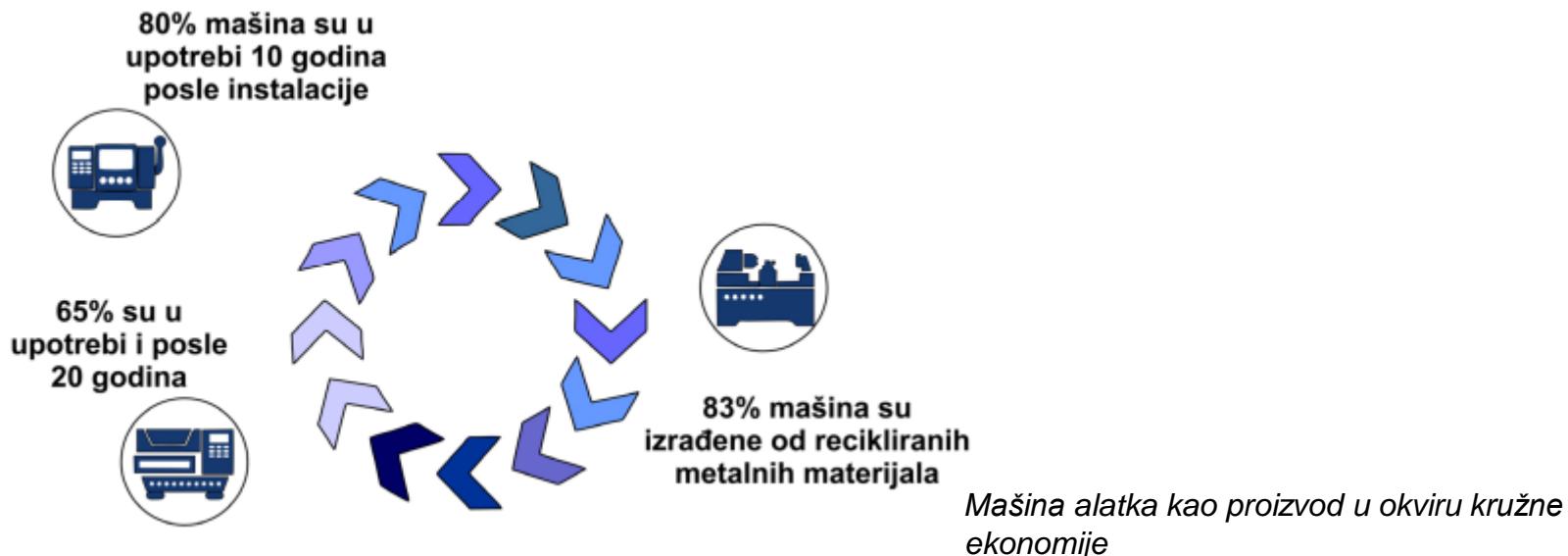
# Značaj mašina alatki

---

- Jedna od glavnih karakteristika proizvodnje mašina alatki je njena heterogenost u pogledu veličine preduzeća, kao i tipa proizvoda.
- Mašine alatke za obradu metala po tipu su veoma raznolike, u zavisnosti od tehnologije koja se koristi.
- Potrošnja energije tokom faze eksploatacije ima najznačajniji uticaj na životnu sredinu tokom životnog ciklusa mašina alatki.
- Proizvođači mašina alatki mogu uticati na energetsku efikasnost mašina u fazi projektovanja, ali ponašanje korisnika igra glavnu ulogu u stvarnoj potrošnji energije.
- U tom pogledu, mnogi proizvođači mašina alatki daju preporuke svojim korisnicima koje se odnose na postupke povezane sa energetskom efikasnošću (npr. pravilno održavanje i izbegavanje preopterećenja), ili pružaju specifičnu obuku kako bi se osigurale optimalne performanse.

# Značaj mašina alatki

- Pri proizvodnji mašina alatki se koriste materijali koji se mogu reciklirati. Iako su mašine alatke vrlo raznolike, generalno, oko 83% maštine je napravljeno od metalnih materijala.
- Kružna ekonomija prevazilazi reciklažu materijala; važan element je dug životni vek, ponovna upotreba i prerada proizvoda, s ciljem da se što duže zadrži u ekonomiji.
- Maštine alatke su proizvodi koji imaju dug vek. Mnoge maštine su u eksploataciji više od 20 godina, a zatim se u potpunosti mogu obnoviti.
- Maštine alatke već zadovoljavaju neke ključne principe kružne ekonomije.



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

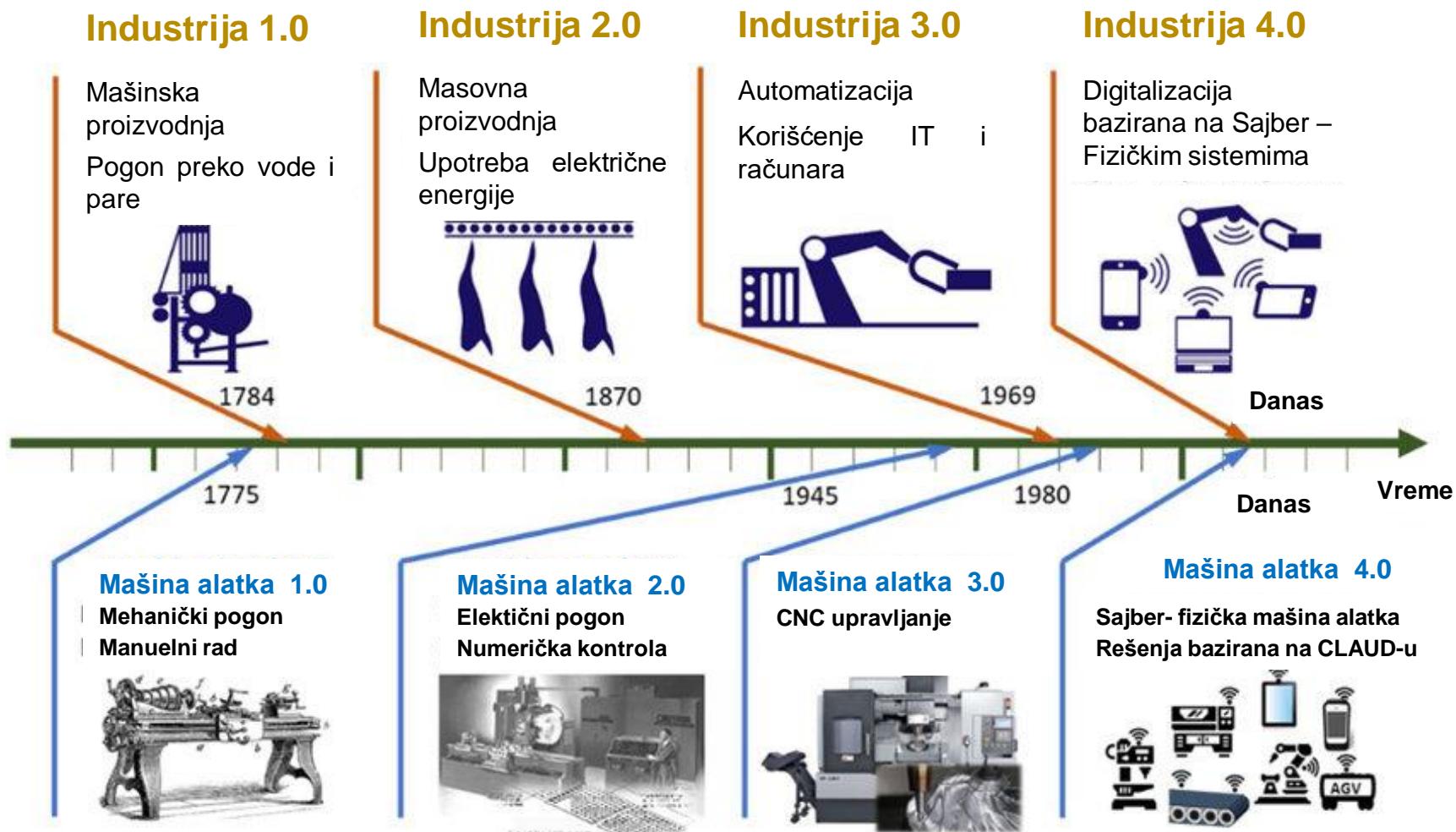
OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **2.0 TENDENCIJE RAZVOJA I PODELA MAŠINA ALATKI**

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

Od mašine alatke 1.0 do mašine alatke 4.0



# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## OPŠTI ZAHTEVI OD MAŠINA ALATKI

Tokom procesa evolucije od M.A. 1.0 do M.A.3.0 uvek su postojala tri osnovna zahteva koja svaka mašina alatka treba da ispuni, a to su:

- **TAČNOST,**
- **PROIZVODNOST**
- **EKONOMIČNOST.**

Navedena tri zahteva mogu se iskazati u sledećem smislu:

*"Mašina alatka treba da zadovolji zahtev TAČNOSTI (što je uslovljeno tehnoškom namenom same mašine) i da određene radne operacije u okviru namene obavlja u što kraćem roku (PRODUKTIVNO) i uz najnižu cenu (EKONOMIČNO)"*

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## OPŠTI ZAHTEVI OD MAŠINA ALATKI

### 1. TENDENCIJA PORASTA BRZINE REZANJA ( $v$ ) i PRESEKA STRUGOTINE (A).

$$v \uparrow \text{ i } A = f_1(a, s) \uparrow$$

### 2. TENDENCIJA PORASTA UGRAĐENE POGONSKE SNAGE (P)

Ova tendencija proizilazi iz povećanih preseka strugotine i brzine rezanja. To se može predstaviti na sledeći način:

- **sila rezanja**  $F_1 = f_2(A) \uparrow$ ,
- **snaga P**  $P = f_3(F_1, v) \uparrow$ .

Usko u vezi sa prethodnim je i tendencija povećanja OBRTNOG MOMENTA (M)

$$M = f_4(F, D) \uparrow$$

### 3. TENDENCIJA POVEĆANJA PROIZVODNOSTI (Q)

Ova tendencija je rezultat povećanja brzine rezanja, preseka strugotine i ugrađene pogonske snage

$$Q = f_5(v, A) \uparrow$$

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

Mašine alatke ([uglavnom su to mašine sa NU](#)) koje zadovoljavaju kriterijume sadašnjeg tržišta treba da poseduju sledeće karakteristike:

- da ostvaruju visoku tačnost i visok kvalitet obrađenih površina,
- da obezbeđuju najnovije tehnologije obrade i visoke brzine rezanja,
- da poseduju visok stepen automatizacije obrade i posluživanja,
- da predstavljaju višenamenske (fleksibilne) sisteme, što im omogućava brzo prilagođavanje novim proizvodnim programima,
- da su izuzetno kratki rokovi formiranja ponuda i isporuke mašina alatki
- konkurentne cene proizvodnje i prodaje.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

Istraživanja vezana za usavršavanje mašina alatki realizovana u poslednjih pola veka su rezultovala značajnim promenama u ovoj oblasti i to:

- Usavršavanje koncepcionih rešenja mašina alatki;
- Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki;
- Razvoj komponenata i materijala;
- Usavršavanje koncepcije upravljačkih sistema.

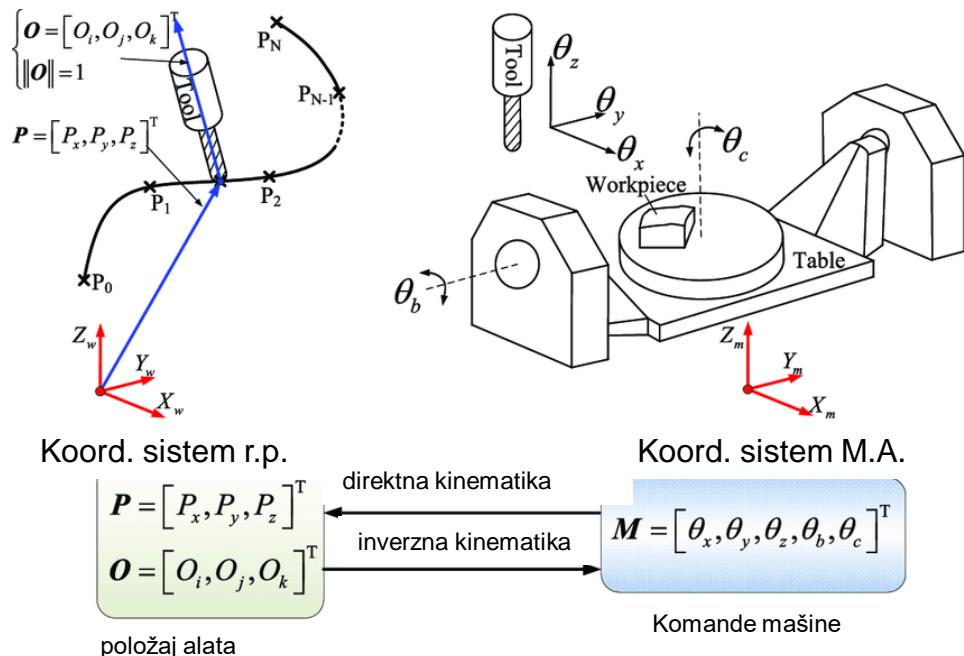
Polazeći od klasičnog koncepta mašina alatki koji je dominirao duže od polovine dvadesetog veka, razvojem mašina alatki sa numeričkim upravljanjem povećana je složenost mašina posebno sa stanovišta broja numerički upravljenih osa.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

Kao rezultat težnje da se ispune zahtevi tržišta nastao je *inverzni koncept* definisanja mehaničke strukture mašina alatki.

- Zasniva se prvenstveno na geometrijskim karakteristikama obradaka, kao i zahvatima obrade neophodnim za njegovu izradu.
- Pomeranja u pravcu pojedinih osa upravljanja ostvaruju se od strane obradka, a alati su postavljeni bočno u odnosu na obradak.



# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

Poznato je više koncepcija projektovanja mašina alatki među kojima su:

- Modularna koncepcija projektovanja i gradnje;
- Koncepcija gradnje mašina alatki na rekonfigurabilnim principima;
- Razvoj i gradnja energetski efikasnih mašina alatki;

*Modularna gradnja mašina alatki* je u primeni kod većine proizvođača mašina alatki već duži vremenski period, a njeni osnovni ciljevi su:

- ✓ Ubrzanje procesa projektovanja i gradnje mašina alatki prema zahtevima kupca;
- ✓ Povećanje stepena sigurnosti razvijenog rešenja;
- ✓ Smanjenje broja grešaka i iteracija u procesu projektovanja;
- ✓ Povećanje kvaliteta i konkurentnosti proizvoda.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

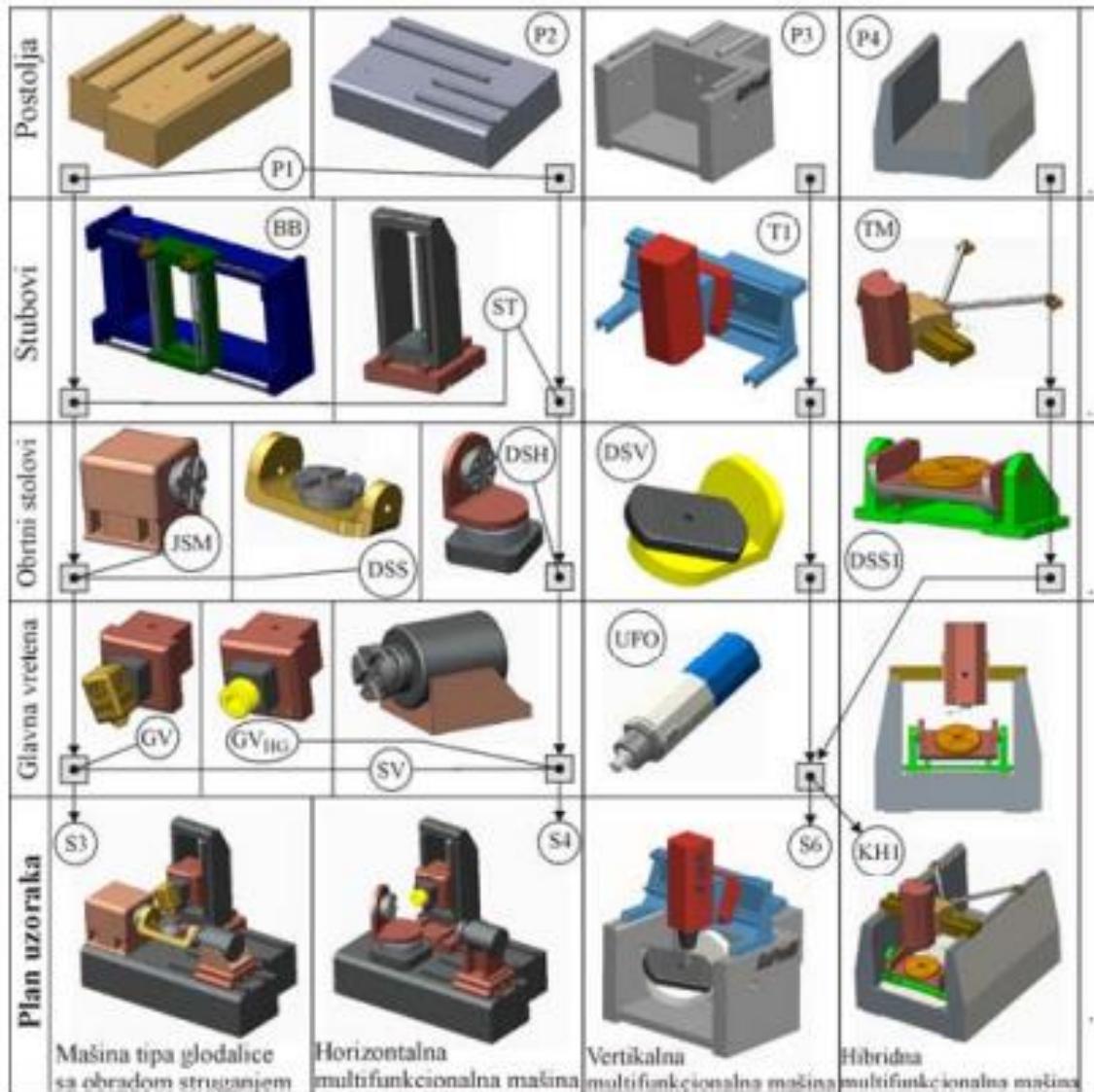
---

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

- U savremenim uslovima proizvodnje, od mašina alatki se zahteva visoka proizvodnost uz značajan stepen fleksibilnosti.
- Jedan od odgovora na ovakve zahteve je nastala koncepcija gradnje bazirana na modularnoj mehaničkoj strukturi uz primenu upravljačkih sistema otvorene arhitekture.
- Kombinacija ovih podsistema mašina alatki predstavlja osnovu tzv. *rekonfigurabilne koncepcije gradnje mašina alatki*.
- Ovako koncipirani sistemi imaju mogućnost prilagođavanja konfiguraciji izradka uz zadovoljenje željene proizvodnosti.
- Pored toga jednu od najvažnijih performansi ovakvih sistema predstavlja pogodnost za rekonfiguraciju kod korisnika mašina alatki, čime se posle određenog perioda eksploatacije, uz korekcije na upravljačkom sistemu, dobija praktično nova mašina alatka.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki



P: postolja (P1 do P4); BB: postolje „Box in Box”, ST: stub; T1: traverza; TM: tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom; JSM: jednostruki obrtni sto multifunktionalne; DSS: dupli sto horizontalne koncepcije 1; DSH: dupli sto horizontalne koncepcije 2; DSV: dupli sto vertikalne koncepcije 2; DSS1: dupli sto vertikalne koncepcije 1; GV glodačko vreteno; GVHG: glavno vreteno horizontalne; SV: strugarsko vreteno; UFO: brzohodno glavno vreteno.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

- Razvoj mikroelektronike, biomedicine, vojne i svemirske industrije su inicirali istraživanja vezana za obradu radnih predmeta malih dimenzija sa zahtevima za visokim kvalitetom obrađenih površina.
- Problematika projektovanja i izrade mašina alatki za ultrapreciznu i mikro obradu u poslednje dve decenije je usmerena na usavršavanja vezana za :
  - Termičku stabilnost mašina alatki i usavršavanje sistema za hlađenje elemenata mašina alatki i alata u procesu obrade;
  - Usavršavanja uležištenja i sistema za vođenje pre svega aerostatičkih i hidrostatičkih uležištenja i vođica u cilju eliminisanja turbulentnog strujanja fluida
  - Usavršavanja pogona pomoćnog kretanja koji omogućuju mikropomeraje;
  - Usavršavanje mernih sistema u vidu odgovarajućih davača sa visokom rezolucijom signala koji omogućavaju merenje mikro pomeraja elemenata maštine.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

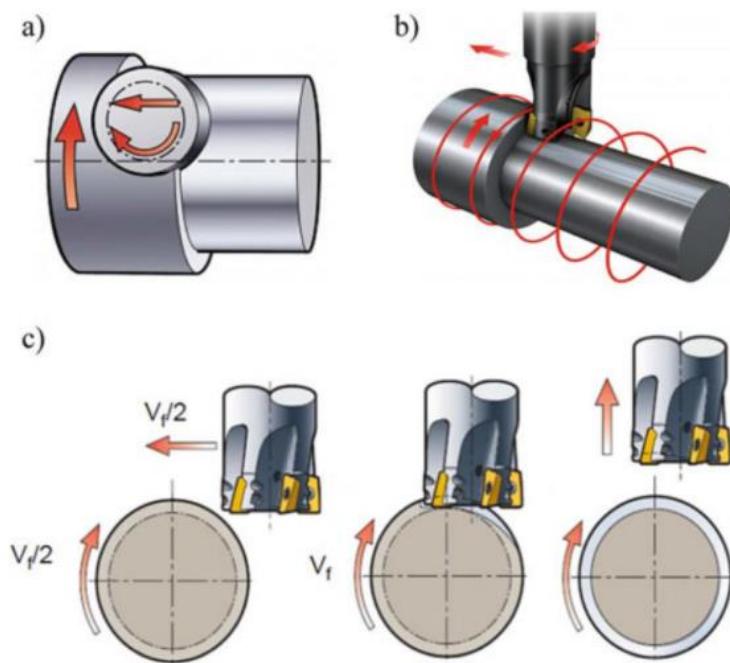
- U cilju realizacije hibridnih procesa obrade razvijene su odgovarajuće mašine alatke. Hibridna mašina alatka se može definisati kao: „mašina alatka koja ima integrisane različite procese obrade unutar jedne proizvodne platforme“
- Prema uslovima rada, hibridne mašine alatke se mogu klasifikovati u tri kategorije:
  - Sekvencijalne hibridne mašine alatke (*Sequential hybrid machine tools*)
  - Podpomognute hibridne mašine alatke (*Assisted hybrid machine tools*)
  - Kombinovane hibridne mašine alatke (*Combined hybrid machine tools* )

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

- Sekvencijalne hibridne mašine alatke (*Sequential hybrid machine tools*)

Sekvencijalne mašine alatke integrišu sastavne delove procesa na jednoj platformi npr. obradni sentar za struganje-gladanje koji je sposoban za izvođenje operacija struganja i glodanja pri jednom stezanju obradka, odnosno da izvede dva ili više procesa rezanja sa različitom kinematikom kretanja.

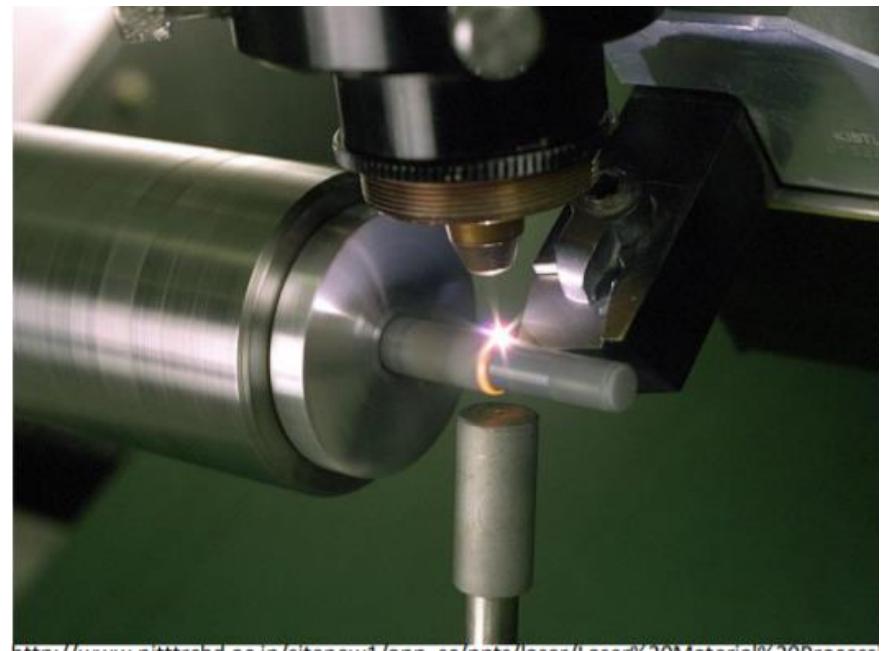


# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

- Podpomognute hibridne mašine alatke (*Assisted hybrid machine tools*)
- Opšte posmatrano podpomognute hibridne mašine alatke su snadbevene dodatnom opremom npr. sa laserom ili ultrazvučnim vibro generatorom ili dodatnim medijumom, koji potpomažu pri različitim procesima obrade.
- Neki od najpoznatijih obrade su: ultarzvučno (vibraciono) rezanje, laserom podpomognuto, obrada podpomognuta medijumom (npr. *kriogenim gasom*)

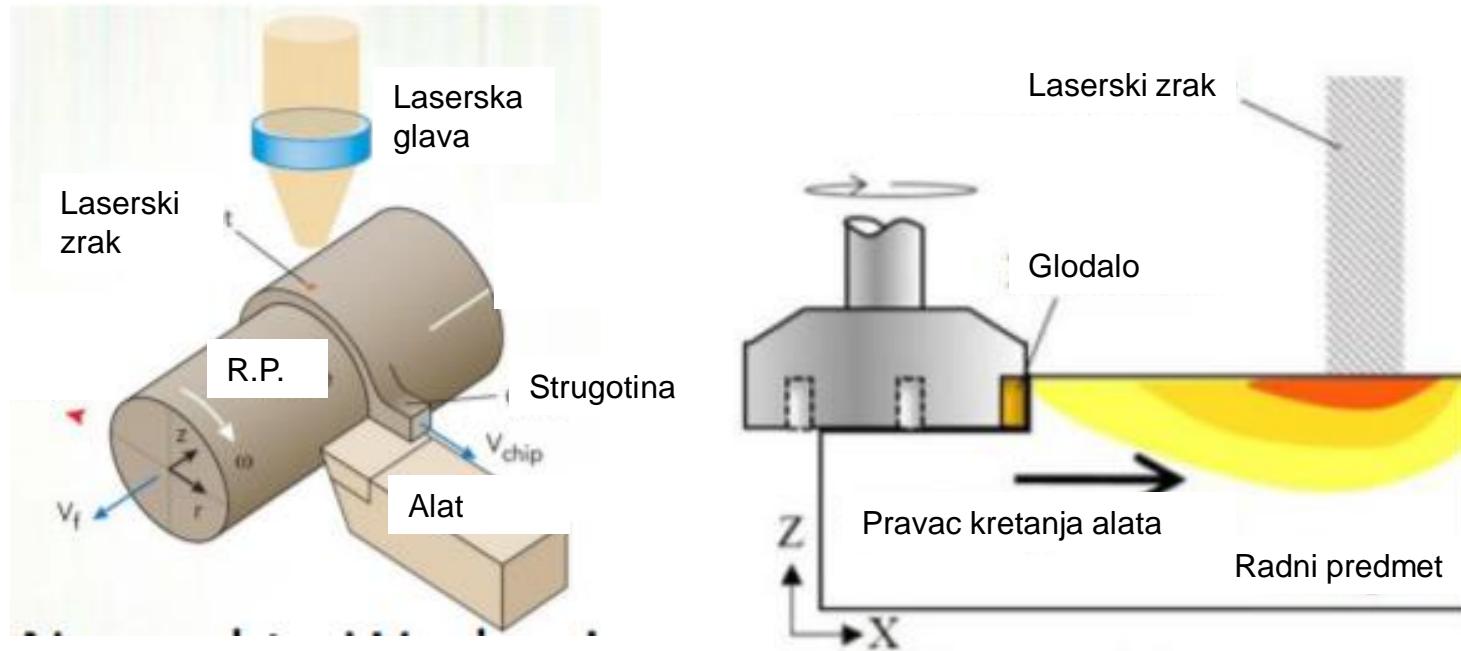


## 2. TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

Laserom podpomognute obrade (LAM – Laser Assisted Machining)

Kod laserom podpomognute obrade (*LAM -Laser Assisted Machining*) laserski snop induktivno zagreva obradak, što za posledicu ima lokalno omekšavanje materijala, omogućavajući tako da bude obrađen alatima koji imaju definisanu rezni ivicu.

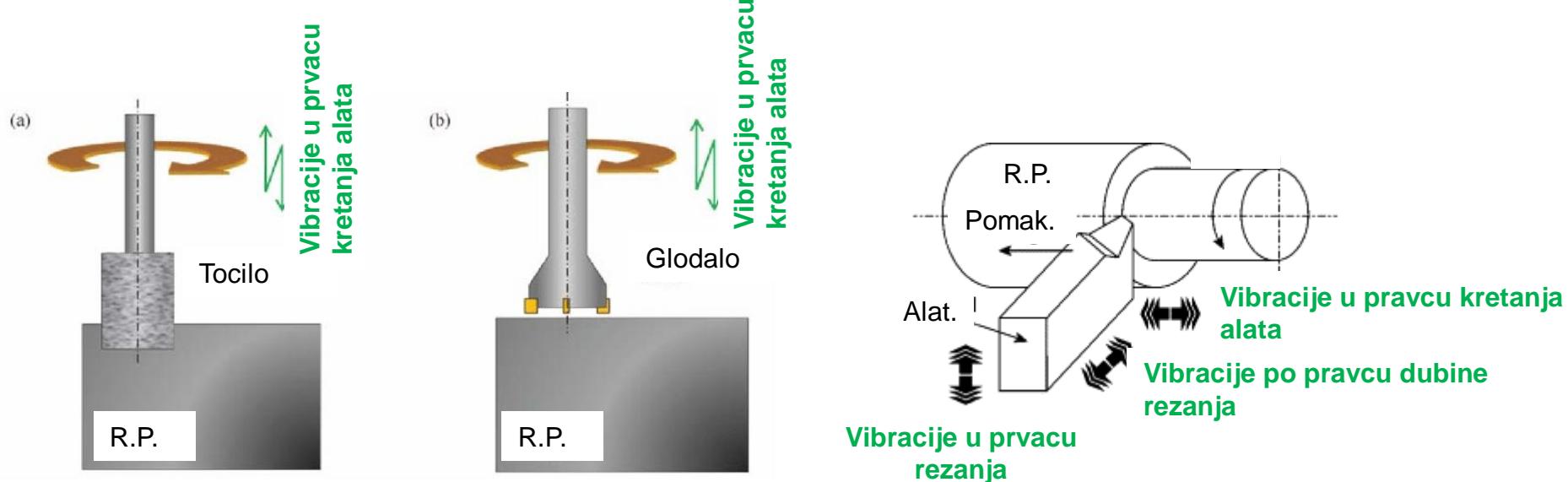


# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki

Ultrazvukom (vibracijama) podpomognuta obrada rezanjem - (*Ultrasonic Vibration-Assisted Machining*)

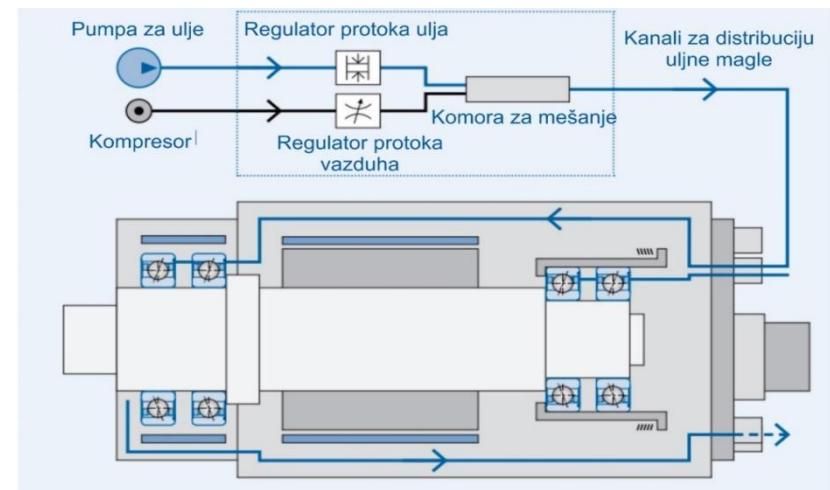
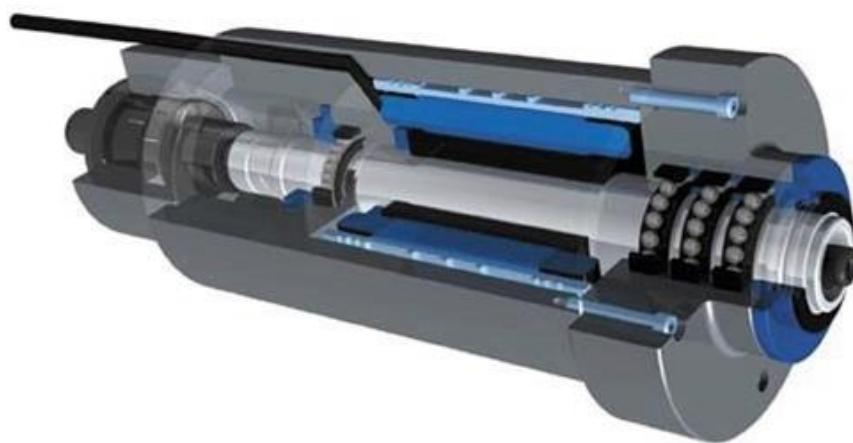
Vibracija se kao sekundarni proces koristi kod postupaka obrade rezanjem kako bi se poboljšalo odvajanje materijala. Ostvaruje se pomoću piezoelektričnih elemenata integrisanih u glavno vreteno, držač alata ili u pribor za stezanje obratka. Amplitude vibracije se kreću od 1 do 200  $\mu\text{m}$ , a frekvencije od 0,1 kHz do 80 kHz.



# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Razvoj komponenata i materijala

- Jedan od osnovnih pravaca modernizacije mašina alatki predstavlja tendencija ka povećanju produktivnosti što je u direktnoj spazi sa povećanjem brzine rezanja.
- U novije vreme su u značajnoj meri zastupljeni savremeni materijali kao što su aluminijum, titanijum, magnezijum i sl. koji podrazumevaju obradu brzinama koje dostižu i 10000 m/min
- Usavršavanje pogona glavnog kretanja kao jedne od vitalnih komponenata mašina alatki – razvoj i usavršavanje **motor-vretena**.



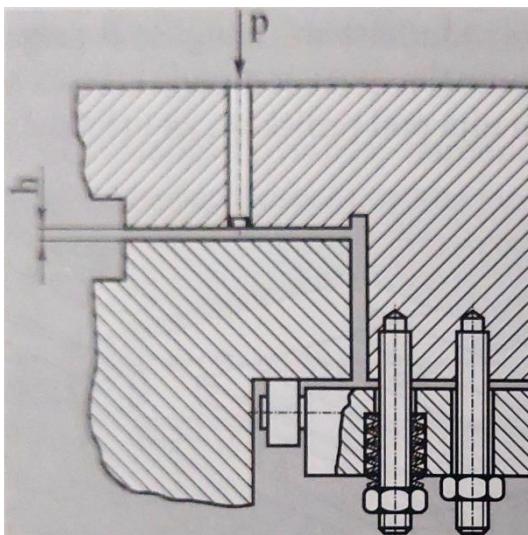
Motor-vreteno

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

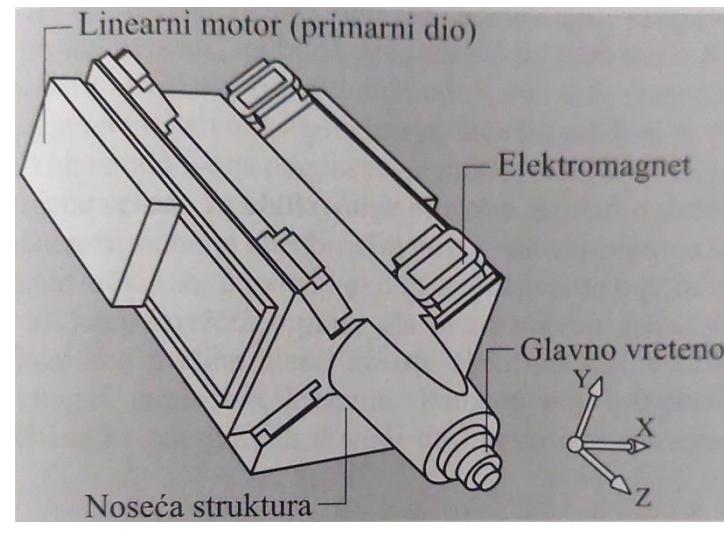
## Razvoj komponenata i materijala

Usavršavanje postojećih komponenata se svodi na razvoj savremenijih tipova motora i uležištenja, razvoj informacionih tehnologija kao i usavršavanjem novih tipova materijala koji se koriste u tehnici.

Duži niz godina izvode se istraživanja sa ciljem razvoja beskontaktnih metoda vođenja elemenata među kojima su najznačajniju primenu našli **magnetno i aerostatičko vođenje i uležištenje**.



Princip aerostatičke vođice

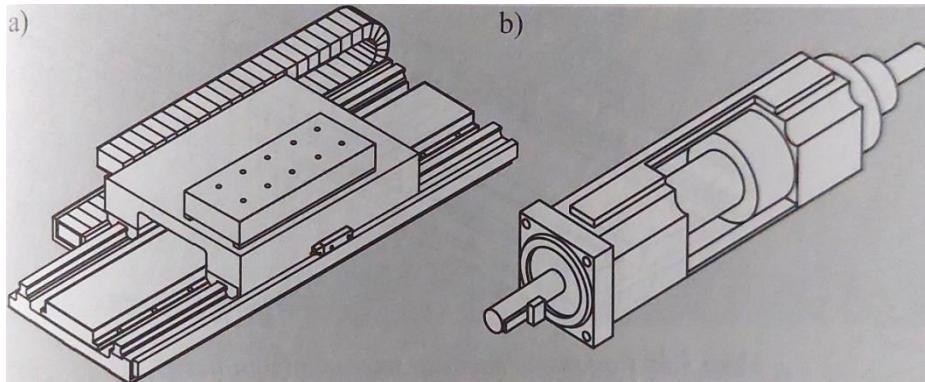


Magnetna vođica

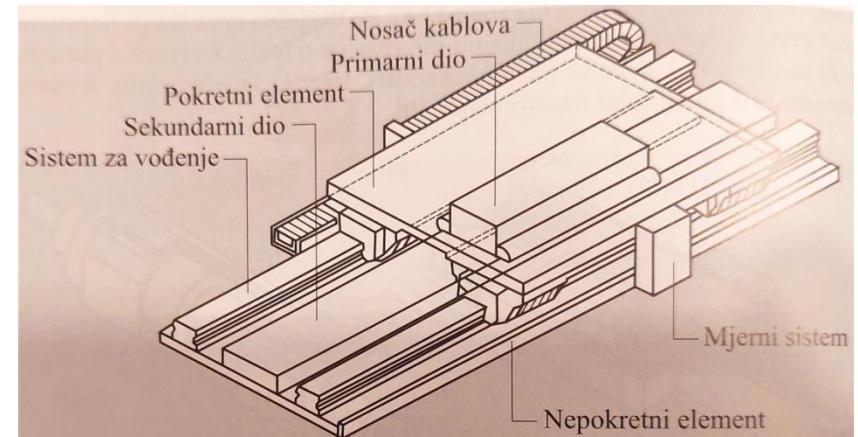
# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Razvoj komponenata i materijala

- Poslednjih godina se kao jedna od najznačajnijih promena u razvoju komponenata mašina alatki navodi primena **linearnih motora** kao pogona pomoćnog kretanja.
- Razvoj lineranih motora je zasnovan na izmenama geometrijske strukture rotacionih motora.
- Ovi motori omogućuju direktno pretvaranje elekt. energije u zahtevanu aksijalnu silu za odgovarajuće pravolinijsko kretanje.



*Konstrukcioni oblik linearnih motora  
a) pločasti; b) rotacioni*



# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## Razvoj komponenata i *materijala*

- Da bi budući proizvodi mogli da budu stavljeni u upotrebu, od materijala se zahtevaju posebne osobine u pogledu mase i čvrstoće.
- Novostvoreni čelični i liveni materijali kao npr. legiranje na bazi nikla ili mikrolegirano liveno gvožđe sa lamelastim grafitom (GJL) imaju odgovarajuće karakteristike u vezi otpornosti na koroziju ili veliku otpornost na istezanje.
- Mnoge savremene konstrukcije nosećih struktura mašina alatki zahtevaju materijale sa kombinacijom mehaničko-fizičkih svojstava koje ne poseduju materijali poput sivog liva i čelika.
- Kompozitnim materijalima dobijenim spajanjem dva ili više materijala različitih svojstava, dobija se materijal sa poboljšanim mehaničko fizičkim osobinama. Poboljšana svojstva kompozita otvaraju nove mogućnosti njihove široke primene.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

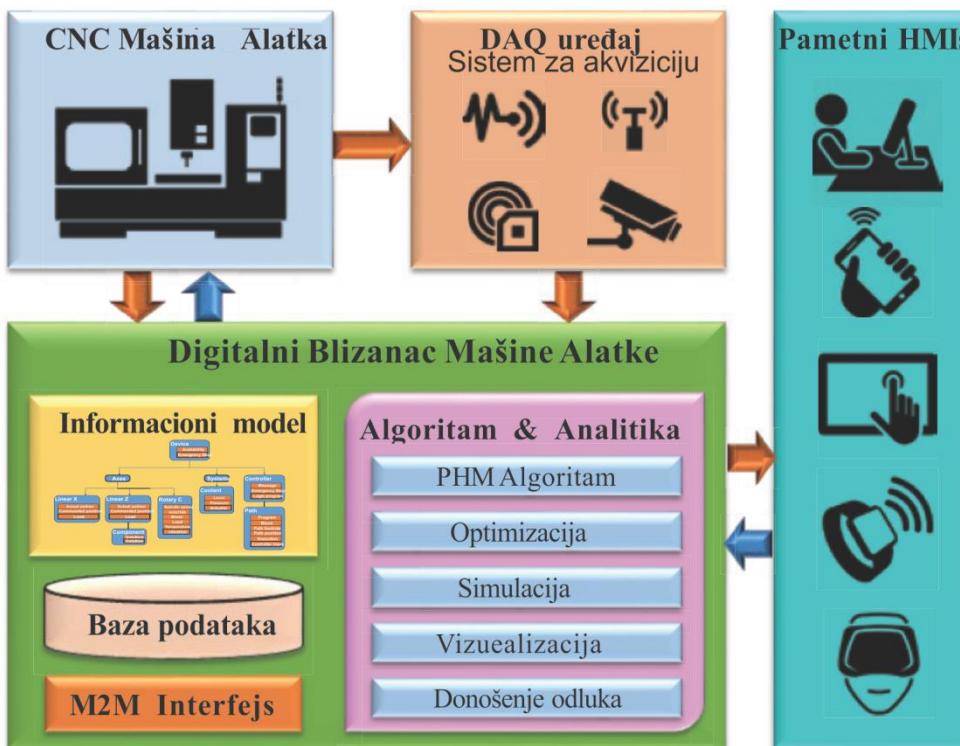
## Razvoj upravljačkih jedinica

- Razvoj mašina alatki je značajno uslovjen i razvojem upravljačkih sistema.
- Kontinuirano praćenje stanja mašina alatki u eksploataciji podrazumeva praćenje stanja njihovih vitalnih komponenata.
- Poslednjih godina CNC upravljački sistemi su značajno napredovali, zahvaljujući razvoju mikroprocesora, savremenim informaciono-komunikacionim tehnologijama, sofisticiranim programskim rešenjima, računarskim mrežama i savremenim protokolima komunikacije.
- U cilju povećanja tačnosti i efikasnosti mašina alatki u savremene CNC upravljačke jedinice integriran je čitav niz novih tehnologija: *nano interpolacija, aktivna kontrola vibracija, nadzor glavnog vretena, kompenzaciju toplotnih dilatacija, inteligentnu podršku održavanju itd.*

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

## Sajber – Fizička Mašina Alatka (Cyber-Physical Machine Tools -CPMT) – Mašina alatka 4.0

- Mašina alatka 4.0 (CPMT) predstavlja integraciju maštine alatke, procesa obrade, proračuna, mreže, gde je ugrađeno proračnusko praćenje i kontrola procesa obrade sa povratnom spregom u kojima procesi obrade mogu uticati na proračunske veličine i obrnuto.



CPMT se sastoji od četiri glavne komponente:

- CNC Maštine Alatke
- Sistema za akviziciju
- Digitalnog Blizanca
- Pametnog interfejsa “Čovek – Mašina”

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

## Sajber – Fizička Mašina Alatka (Cyber-Physical Machine Tools -CPMT) – Mašina alatka 4.0

- CNC mašina alatka se odnosi na fizičku mašinu alatku uključujući sve komponente i podsisteme, kao i proces obrade.
- Uređaj za akviziciju podataka uključuje različite tipove senzora (npr. dinamometre, akcelerometre, senzore temperature, kamere, RFID tagove, čitače, uređaje za obradu signala i dr.). Uređaj za akviziciju je odgovoran za prikupljanje podataka u realnom vremenu sa kritičnih komponeneti i procesa obrade.
- Digitalni Blizanac M.A. je digitalni model fizičke maštine alatke sa ugrađenim mogućnostima proračuna. Funkcioniše kao mozak maštine alatke, u potpunosti koristi podatke prikupljene u realnom vremenu iz fizičkog sveta. Sastoji se od: informacionog modela, Baze podataka, Inteligentnog algoritma i Interfejsa "mašina-mašina" (M2M)
- Pametni interfejs (Čovek- Mašina) omogućava intuitivno komuniciranje sa sistemom i donošenje efikasnih odluka.

# TEDENCIJE RAZVOJA MAŠINA ALATKI

---

Sajber – Fizička Mašina Alatka (Cyber-Physical Machine Tools -CPMT) – Mašina alatka 4.0

- Glavne funkcije kod ovih mašina su:
- 1) poboljšanje kvaliteta - cilj je poboljšati površinsku obradu tačnost i kvalitet.;
- 2) optimizacija parametara procesa - optimizacija parametara procesa uključuje adaptivno upravljanje i prilagođavanje parametara obrade;
- 3) obezbeđenje ispravnog stanja mašine - Potrebno je da postoji uverenje da je oprema u ispravnom stanju i pouzdana.;
- 4) upravljanje proizvodnjom - glavni cilj upravljanja proizvodnjom je da optimizira proces obrade i obezbedi mala potrošnja vremena i resursa za celokupni proizvodni proces. .

# Podela mašina alatki

- Maštine alatke se razlikuju po nameni, obliku, strukturi, konstrukciji, dimenzijama i eksplotacionim karakteristikama

## Podela mašina alatki (DIN 69651)

Metodi (vrsti) obrade

Vrsti kinematičke (obliku glavnog kretanja)

Načinu prenosa opterećenja

Tipu upravljačkog sistema

Stepenu automatizacije

Geometriji obrađenih površina DIN 69651

Obliku noseće strukture

Poziciji glavnih osa

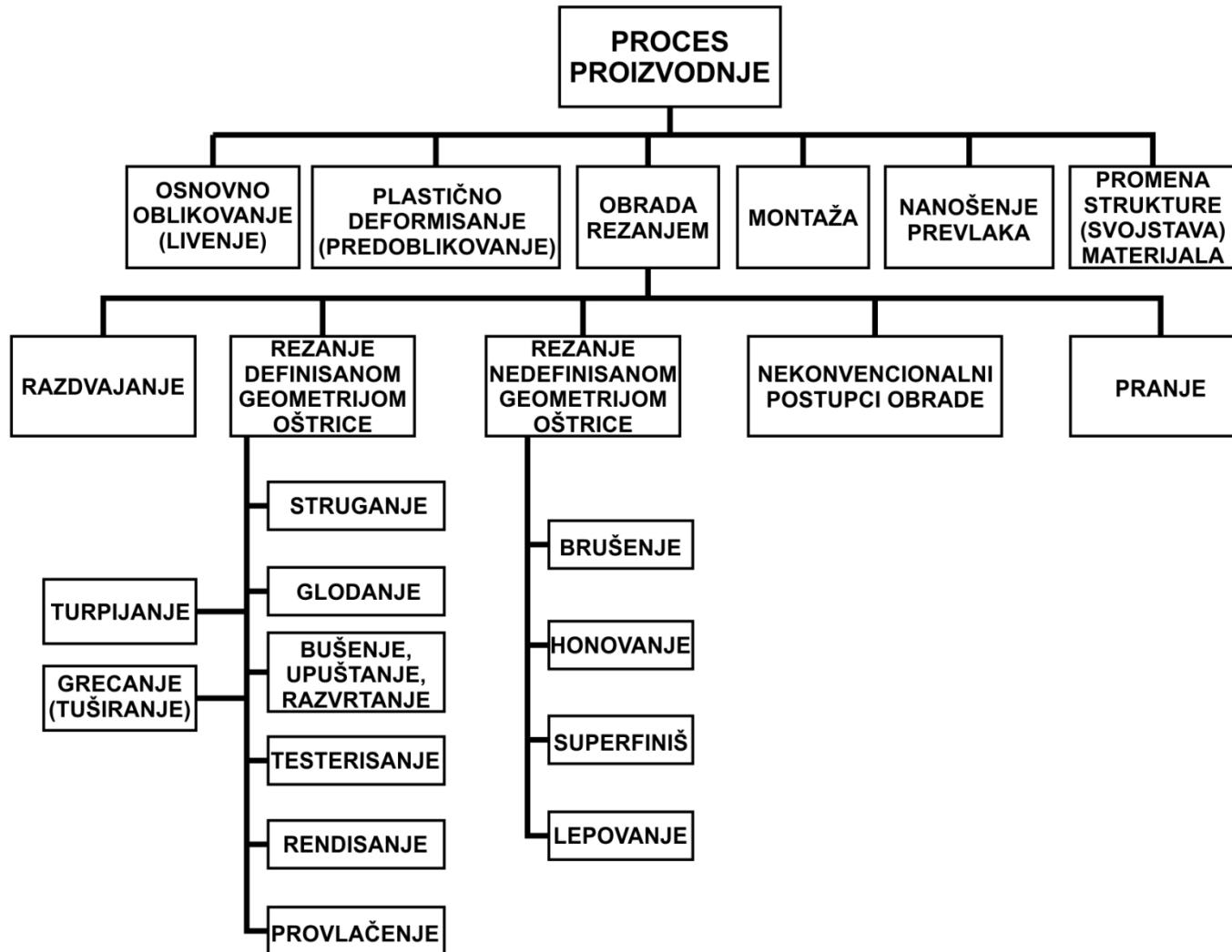
Broj proizvodnih kedinica

Nivo flaksibilnosti

- Najčešće se klasifikacija mašina alatki vrši prema metodi (vrsti) obrade i stepenu automatizacije

# 1.1 Podela mašina alatki

## Metodi (vrsti) obrade (Podela prema DIN 8580)



## Mašine alatke za obradu rezanjem sa alatima definisane geometrije

### Strugovi:

univerzalni  
produkcioni  
za poprečnu obradu  
za leđno struganje  
višesečni  
revolver  
automatski  
vertikalni

### Glodalice:

horizontalne,  
vertikalne,  
univerzalne,  
portalne,  
za izradu ozubljenja

### Bušilice:

stone,  
stubne,  
radijalne,  
koordinatne,  
redne,  
viševrtene  
sa višev. glavom

### Testere:

okvirne,  
kružne,  
testere.

### Rendisaljke:

kratkohodne,  
dugohodne,  
dubilice

### Provlakačice:

za unutrašnje provlač.  
za spoljašnje provlač.  
horizontalne,  
vertikalne

## Mašine alatke za obradu rezanjem sa alatima bez definisane geometrije

### Brusilice:

za okruglo brušenje

bez šiljaka

za ravno brušenje

specijalne

### Mašine za lepovanje:

opšte namene,

specijalne namene.

### Mašine za honovanje:

jednovretene,

viševretene.

### Mašine za poliranje

### Mašine za superfiniš

## Podela mašina alatki

---

U zavisnosti od osnovni principa skidanja materijala i oblikovanja gotovih delova, mašine alatke se mogu podeliti na:

- mašine alatke za obradu rezanjem,
- mašine alatke za obradu plastičnim deformisanjem,
- mašine alatke za nekonvencionalne metode obrade,
- mašine alatke za posebne (specijalne) metode obrade.

## Podela mašina alatki

---

- Pojedinačne mašine za obradu rezanjem su namenjene za realizaciju određenog metoda obrede.
- Kada je mašina namenjena za realizaciju samo jedne metode obrade, ona se naziva po toj metodi obrade, *npr. strug, za realizaciju metoda obrade struganjem.*
- Ako se na mašini mogu realizovati i druge metode obrade, ista se identifikuju po nazivu metoda za koji je primarno namenjena. *Na primer, na glodalici se obično može vršiti i obrada bušenjem.*
- Na jednoj mašini se može izvršavati i više metoda obrade, pa se izraz "obrada" može postaviti ispred imena i grupe metoda kao atribut, *npr. mašina za obradu rotacionih delova, za obradu prizmatičnih delova, za obradu delove od lima.*

## Podela mašina alatki

---

- Mašine za obradu tačno definisanih površina (mašine za specijalne namene) su pogodne samo za poseban zadatak obrade i nemaju univerzalnu primenu.
- Nazvane su po radnom predmetu koji će se izrađivati i применjenom metodu obrade, *npr. glodalica za izradu zupčanika ili brusilica za brušenje zupčnika.*
- Sistemizacija prema dizajnu mašine alatke se često vrši na osnovu njihovog konstrukcijskog oblika: *konzolna glodalica, portalna glodalica, strug sa više vretena, strug sa kosim postoljem; bušilica sa dva stuba, itd.*

## **Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)**

### **Oblik glavnog kretanja (vrtsa kinematike)**

➤ **Mašine sa glavnim obrtnim kretanjem**

(neprekidno kretanje; strugovi, bušilice glodalice, ...)

➤ **Mašine sa glavnim pravolinijskim kretanje**

(prekidno kretanje – radni i povratni hod; rendisaljke, provlakačice, testere, ...)

## Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)

### **Geometrija obrađenih površina - Makrogeometrija obrađene površine**

- **Mašine alatke za rotacione (cilindrične) i radijalne profilne površine**  
(strugovi, bušilice, brusilice za okruglo brušenje, ...)
- **Mašine alatke za ravne i uzdužne profilne površine**  
(rendisaljke, glodalice, provlakačice, brusilice za ravno brušenje, ..)

### Mikrogeometrija obrađene površine

- Mašine alatke za “produktivnu” obradu (mašine normalne tačnost obrade)
- Mašine alatke za finu i visokopreciznu obradu

# Podela mašina alatki

## Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)

### Tip (sistem) upravljanja

- Mašine alatke sa ručnim upravljanjem
    - ❖ Mašine alatke sa upravljanjem graničnicima
    - ❖ Mašine alatke sa mehaničkim upravljanjem bregastim pločama
    - ❖ Mašine alatke sa upravljanjem kopiranjem
    - ❖ Mašine alatke sa upravljanjem po principu aktivnog merenja
  - Mašine alatke sa numeričkim upravljanjem → **Srednji nivo automatizacije**
  - Mašine alatke sa kompjuterskim numeričkim upravljanjem
  - Mašine alatke sa adaptivnim upravljanjem
- 
- Osnovni nivo automatizacije
- Gornji nivo automatizacije

## **Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)**

### **Stepen (nivo) automatizacije**

- Neautomatizovane mašine alatke
- Automatizovane mašine alatke na osnovnom nivou automatizacije
- Automatizovane mašine alatke na srednjem nivou automatizacije
- Automatizovane mašine alatke na gornjem nivou automatizacije

# 1.1 Podela mašina alatki

## Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)

### Stepen (nivo) automatizacije

- više istih i/ili različitih modula i/ili ćelija povezanih u funkcionalnu celinu
- transportno-skladišni sistem
- više mašina alatki povezanih u funkcionalnu celinu
- transportno sistem
- merno-kontrolni sistem
- magacin radnih predmeta
- automatska promena radnih predmeta
- praćenje habanja i loma alata
- praćenje i dijagnostika otkaza
- magacin alata
- automatska promena alata
- programsko upravljanje kretanjima i funkcijama kojima se definiše obradni proces

• pogonski sistema za glavno  
i pomoćno kretanje

Konvencionalna mašina alatka

Br. mašina alatki

Jedna

CNC M.A.

Obradni centar

Fleksibilni tehnološki modul

FLEKSIBILNA TEHNOLOŠKA ĆELIJA

FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEM

Više

## Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)

### **Masa mašine (veličina prenošenja opterećenja)**

povezana je sa **dimenzijama obradka**, dimenzijom radnog prostora

- Lake (do 1 tone)
- Srednje teške (1-10 tona)
- Teške (više od 10 tona; 10-30t, 30-100t; > 100t)

**Najviši su zastupljeniji srednje teški delovi** (izradci), pa su i **lake i srednje teške mašine alatke** najzastupljenije po broju u proizvodnji i eksploraciji

# Podela mašina alatki

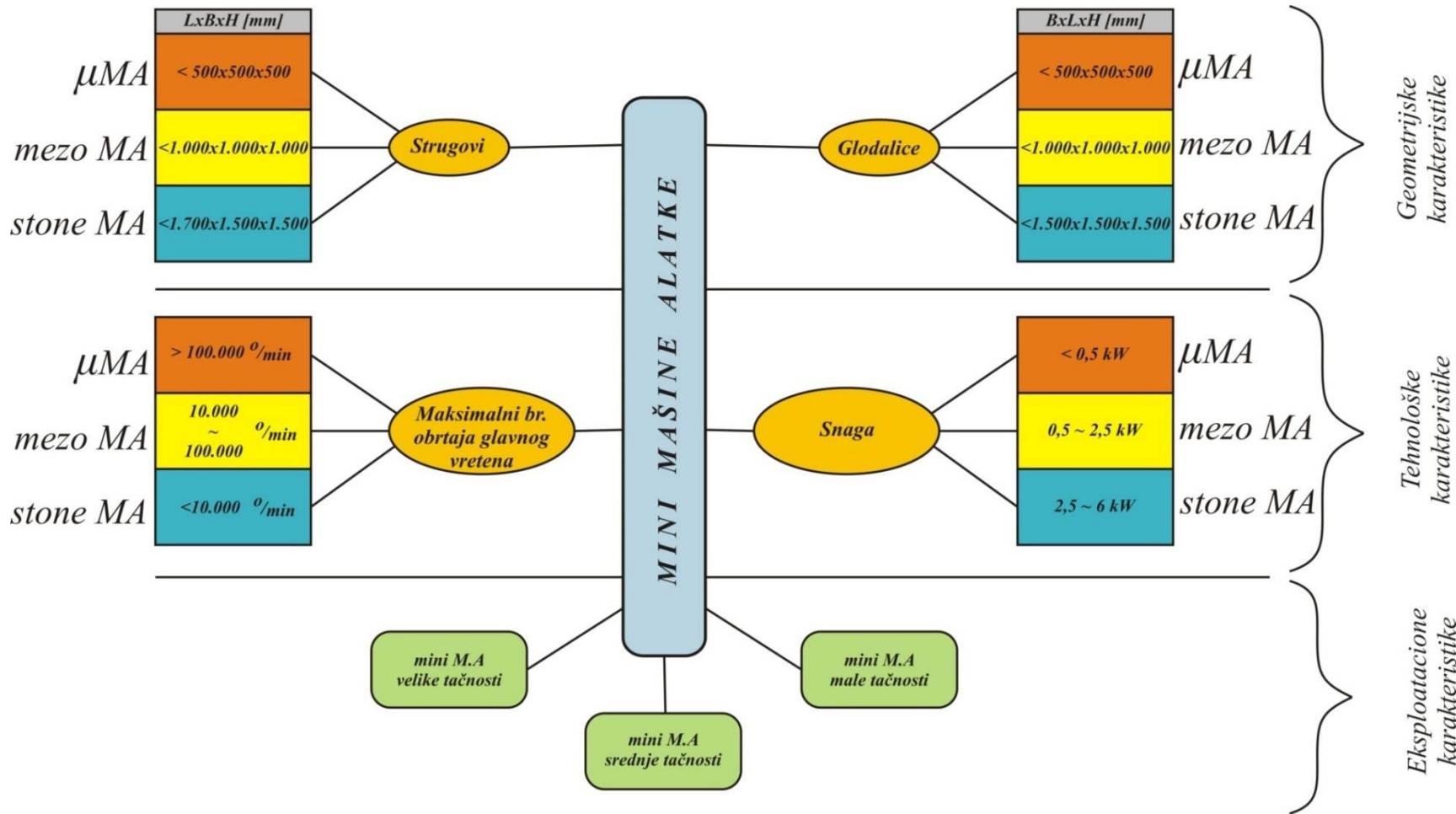
---

## Mašine za obradu rezanjem - (skidanjem strugotine)

- Zahtevi savremenog tržišta za komponentama i uređajima redukovane veličine postali su bitan faktor u procesima projektovanja i proizvodnje savremenih proizvoda.
- Ova pojava, nazvana minijaturizacija, prvenstveno se pojavila u proizvodnji računara i telekomunikacionih uređaja, i proširila se na skoro sve industrijske sektore
- Tehnologije koje ovo omogućavaju nazvane su mikro/mezo/mini tehnologije i omogućavaju izradu komponenti i sklopova malih i vrlo malih dimenzija.
- Minijaturizacija je osnova za proizvodnju sledeće generacije proizvoda koji će imati široku primenu. Delovi koji se izrađuju ovim tehnologijama, nazvani minijaturni delovi, imaju najveće dimenzije od  $10[\mu\text{m}]$  do  $100[\text{mm}]$ .
- Detaljnija podela ovog dimenzionog opsega nije precizirana, ali se smatra da je granica između mikro i mezo delova na oko  $500[\mu\text{m}]$ , a između mezo i mini na oko  $10[\text{mm}]$ .

# Podela mašina alatki

Klasifikacija mini-mašina alatki na osnovu glavnih karakteristika



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **3.0 SISTEMI I PROCESI U PROIZVODNOM MAŠINSTVU**

## **3.0 SISTEMI I PROCESI U PROIZVODNOM MAŠINSTVU**

---

- Definisanje osnovnih pojmova
- Obradni sistemi
- Modeli drugih sistema
- Obradni procesi

# Definisanje osnovnih pojmoveva

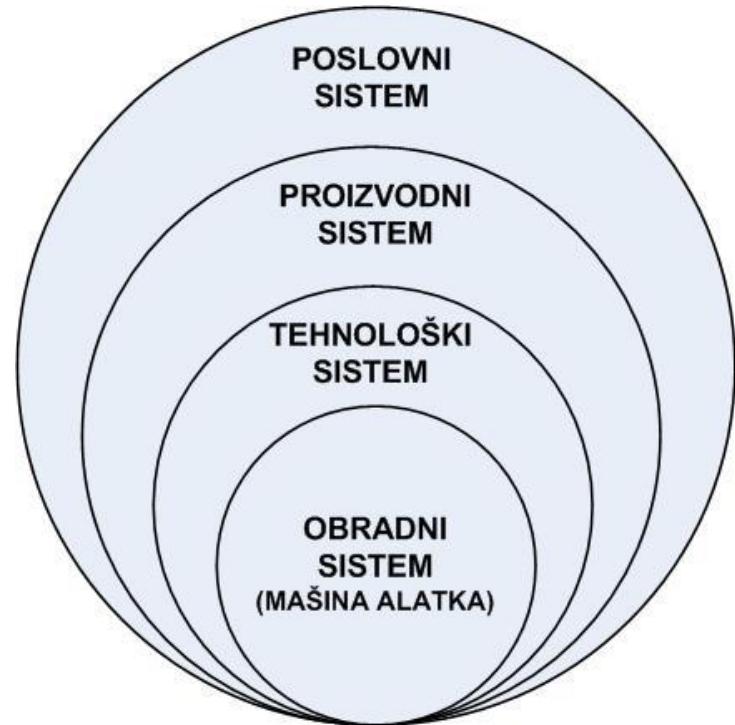
---

**Sistem** - skup fizičkih i apstraktnih činilaca povezanih u cilju ostvarenja osnovnih funkcija:

- izvođenje procesa,
- upravljanje procesom i
- kontrola stanja procesa.

U proizvodnom mašinstvu,  
postoje sledeći sistemi:

- poslovni
- proizvodni,
- tehnološki i
- obradni.



*Sistemi u proizvodnom mašinstvu*

# Definisanje osnovnih pojmoveva

---

- **Poslovni sistem** – obuhvata jedan ili više proizvodnih sistema zajedno sa drugim delatnostima kao što su ekonomsko – finansijski, društveno - socijalni itd. (Kompanije, “Biznis sistem”)
  
- **Proizvodni sistem** – obuhvata više tehnoloških podsistema, uz neophodnu podršku društveno-ekonomskih podsistema, a sa **ciljem podizanja vrednosti** polaznih materijala u smislu dobijanja gotovog proizvoda.

Sastoji se od elemenata u kojima započinje definisanje koncepcije proizvoda, da bi se završio sa elementima u kojima se dobija gotov proizvod spremjan za plasman na tržište.

# Definisanje osnovnih pojmova

---

- **Tehnološki sistem** – je obuhvaćen proizvodnim sistemom.

*Sadrži skup podsistema u kojima se od polufabrikata ili drugih sirovina dobijaju gotovi delovi ili sklopovi. To je npr. linija ili grupa mašina gde se izvode određene aktivnosti i operacije tako da se od polufabrikata dobije gotov deo.*

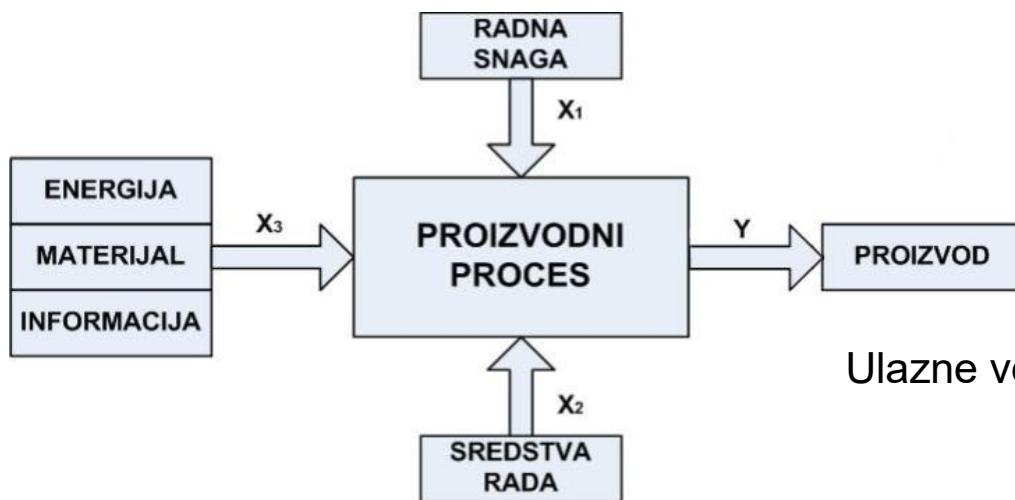
- **Obradni sistem** – (u okviru tehnološkog sistema) je mašina alatka ili grupa mašina alatki koje izvode skup određenih operacija.
- Mašina alatka ili grupa mašina alatki sa radnikom koji vrši upravljanje predstavlja obradni sistem.
- Mašina alatka sa automatskim upravljanjem je takođe obradni sistem.

# Definisanje osnovnih pojmoveva

- **Proces** - skup aktivnosti povezanih u cilju transformacije informacija, energije i materijala pri stvaranju gotovog dela, odnosno proizvoda, od sirovine ili polufabrikata

## Proizvodni proces

Skup međusobno povezanih aktivnosti koje imaju za cilj transformaciju polufabrikata ili sirovine u gotov proizvod.



Ulagne veličine:

$x_3$  - ~ konstantni troškovi po proizvodu  
 $x_1, x_2$  – funkcija trajanja procesa obrade

$$x_1 = f(t_k)$$

$$x_2 = f(t_k)$$

*Model proizvodnog procesa*

# Definisanje osnovnih pojmove

---

***Proizvodni procesi*** se, prema dejstvu aktivnosti, dele na :

- direktne (osnovne) procese;
- indirektne (posebne) procese;
- dopunske procese;
- pomoćne procese;

# Definisanje osnovnih pojmoveva

---

## Proizvodni proces

---

**Direktni (osnovni) procesi** sadrže, aktivnosti koje se odnose **direktno na dobijanje gotovog dela ili proizvoda.**

Oni obuhvataju:

- **projektovanje i konstrukciju proizvoda,**
- **projektovanje tehnološkog procesa izrade proizvoda,**
- **izradu delova,**
- **spajanje i montažu podsklopova i sklopova,**
- **konačnu montažu proizvoda, zaštitu i pakovanje.**

**Indirektni (posebni) procesi** sadrže aktivnosti koje se odnose na:

- unutrašnji transport materijala,
- kontrolu i sortiranje delova,
- ispitivanje proizvoda i dr.

# Definisanje osnovnih pojmova

---

## Proizvodni proces

**Dopunski procesi** sadrže aktivnosti koje se odnose na:

- izradu **specijalnih pribora**,
- izradu **specijalnih alata**,
- **oštrenje alata**,
- održavanje (remont) tehnološke opreme i sl.

**Pomoćni procesi** obuhvataju aktivnosti u okviru proizvodnog procesa koje se odnose na:

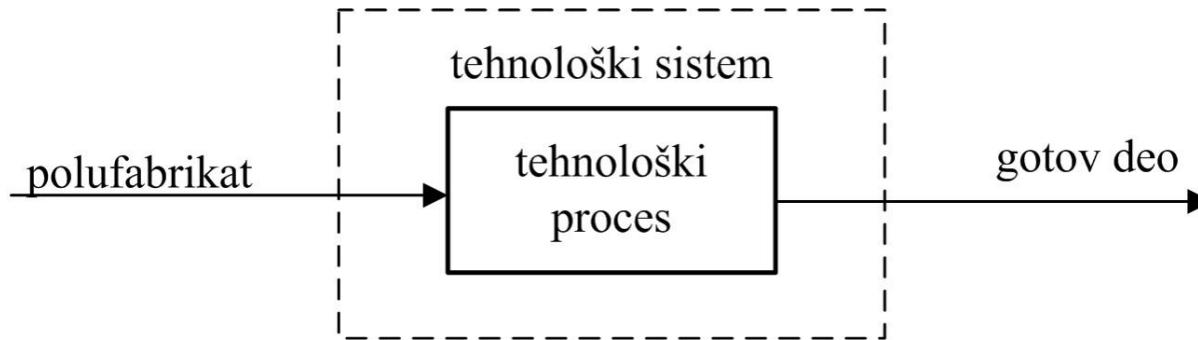
- nabavku materijala,
- dovoz i odvoz materijala,
- kao i sve druge aktivnosti koje potpomažu proizvodnju.

# Definisanje osnovnih pojmova

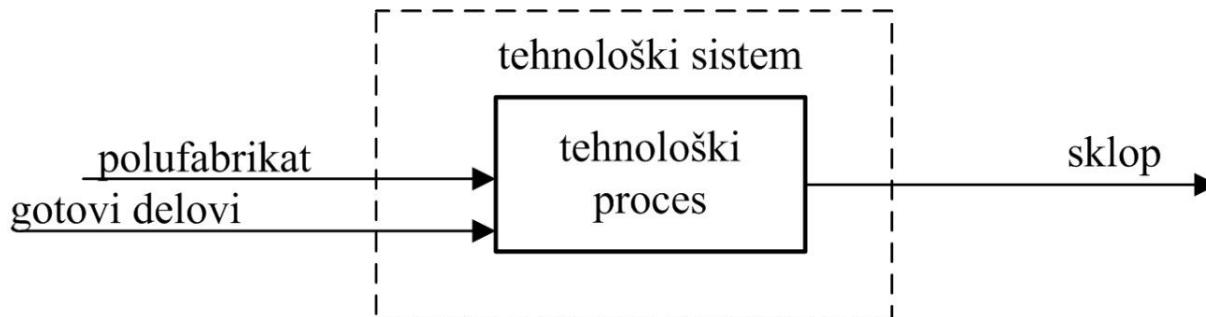
## Tehnološki proces

Skup međusobno povezanih aktivnosti sa ciljem transformacije polufabrikata u gotove delove, podsklopove i sklopove.

- **Tehnološki sistem** sa **svojim procesom obezbeđuje dobijanje gotovih delova od polufabrikata.**

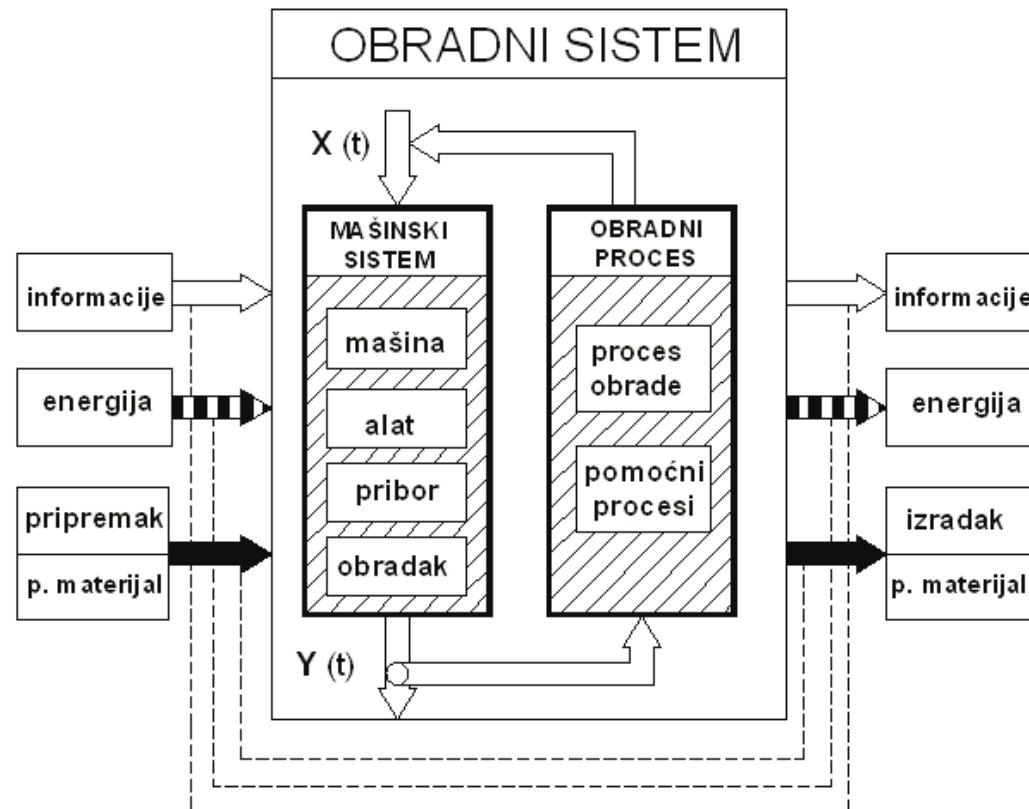


- **Tehnološki sistem** može da sadrži i proces oblikovanja, koji se odnosi na spajanje i montažu gotovih delova



# Obradni sistemi

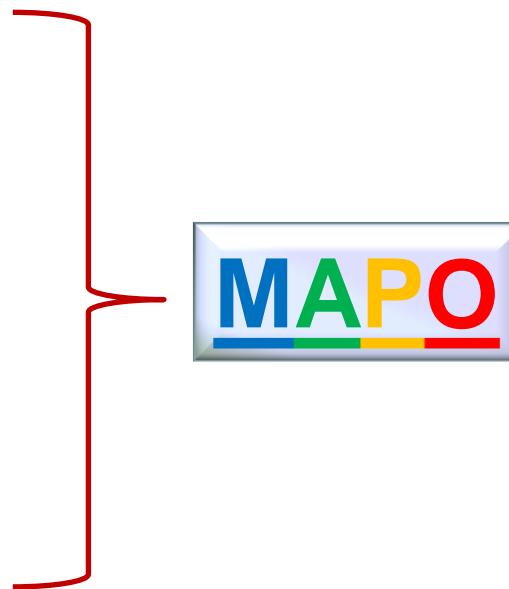
- Obradni sistem se može definisati kao **mašinski sistem sa obradnim procesom kao osnovnom funkcijom**.



- **Mašina alatka** je samo jedan segment obradnog sistema i njoj su potrebni "dodatni elementi" – alat, pribor i obradak da se na njoj realizuje obradni proces.

## Mašinski sistem čine (**MAPO**):

- Mašina alatka;
- Alat;
- Pribor;
- Obradak;



# Obradni sistemi

---

Ulaz u obradni sistem predstavljaju:

- informacije;
- energija;
- materijal.

# Obradni sistemi

---

Ulagne informacije predstavljaju više skupova informacija:

- skup informacija o glavnim (tehničkim) karakteristikama mašine;
- skup informacija o alatu;
- skup informacija o priborima;
- skup informacija o pripremku;
- skup informacija o režimima obrade (režimima rezanja);
- skup informacija o upravljanju obradnim procesom;

# Obradni sistemi

---

- **Ulagana energija** služi za savladavanje otpora u obradnom sistemu i obezbeđuje potrebna kretanja elemenata obradnog sistema pri realizaciji obradnog procesa.
- **Ulagani materijal** se sastoji od pripremka i pomoćnog materijala.
- U pomoći materijal spadaju sredstva za hlađenje i podmazivanje, ulje u prenosnicima, itd.

Izlaz iz obradnog sistema čine:

- informacije;
- energija;
- izradak (gotov deo) i gubici materijala.

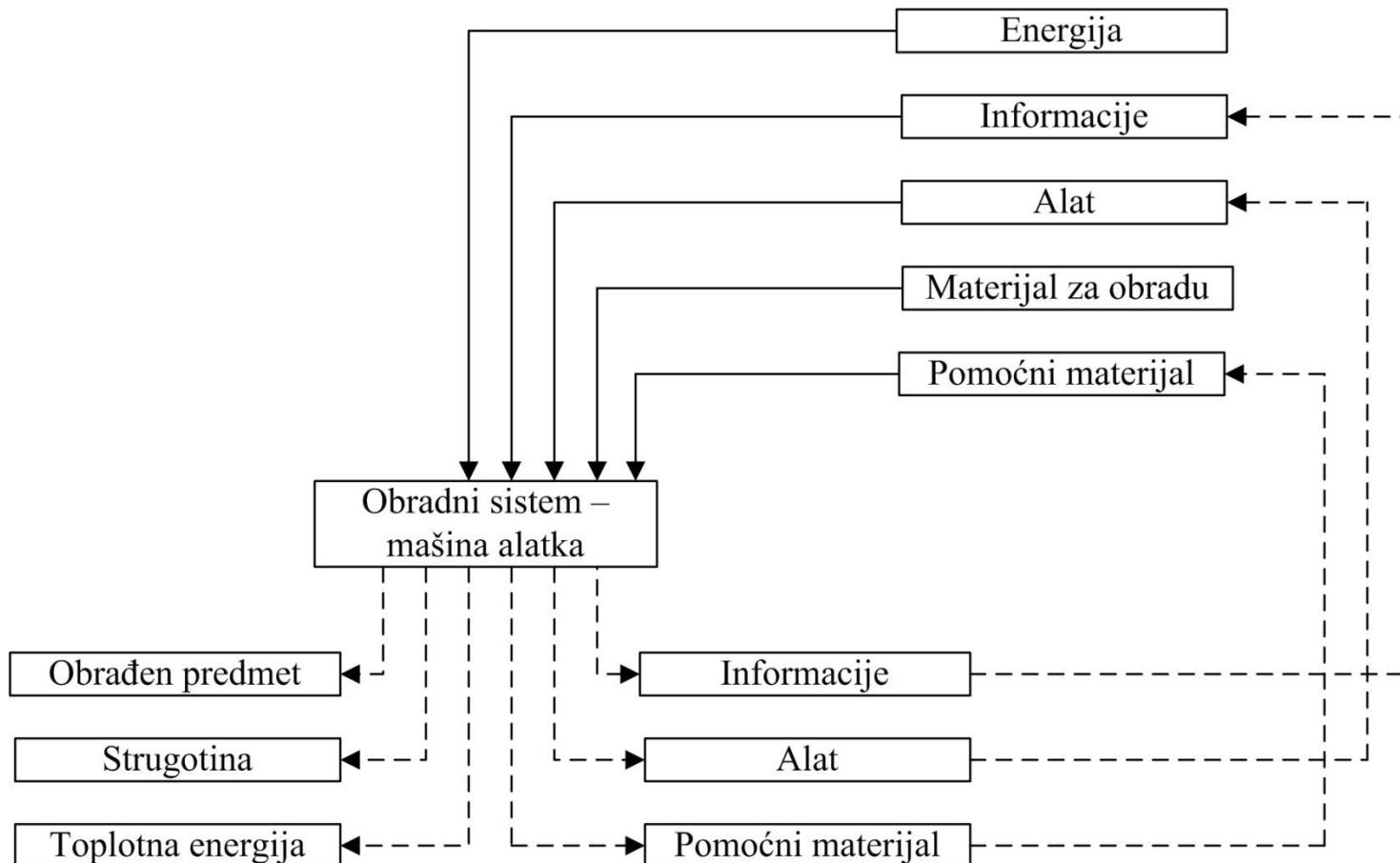
# Obradni sistemi

---

Izlazne informacije predstavljaju transformisane ulazne informacije, a odnose se na skup informacija koje definišu:

- kvalitet obrade u smislu **tačnosti ostvarenih mera, položaja i oblika površina i kvaliteta obrađenih površina,**
  - proizvodnost i
  - ekonomičnost obradnog sistema.
- Izlazna energija** predstavlja transformisanu ulaznu energiju.
- Najveći deo energije se transformiše u **toplotnu**, a znatno manje u kinetičku i zvučnu.
- Izlazni materijal** je transformisani ulazni materijal. Sastoji se od izradka i otpadnog materijala. U otpadni materijal spadaju utrošeno sredstvo za hlađenje i podmazivanje, utrošeno ulje za podmazivanje, strugotina pri obradi rezanjem, otpadni deo trake pri obradi lima itd.
- Između ulaza i izlaza iz obradnog sistema postoji **povratna sprega**.

# Obradni sistemi

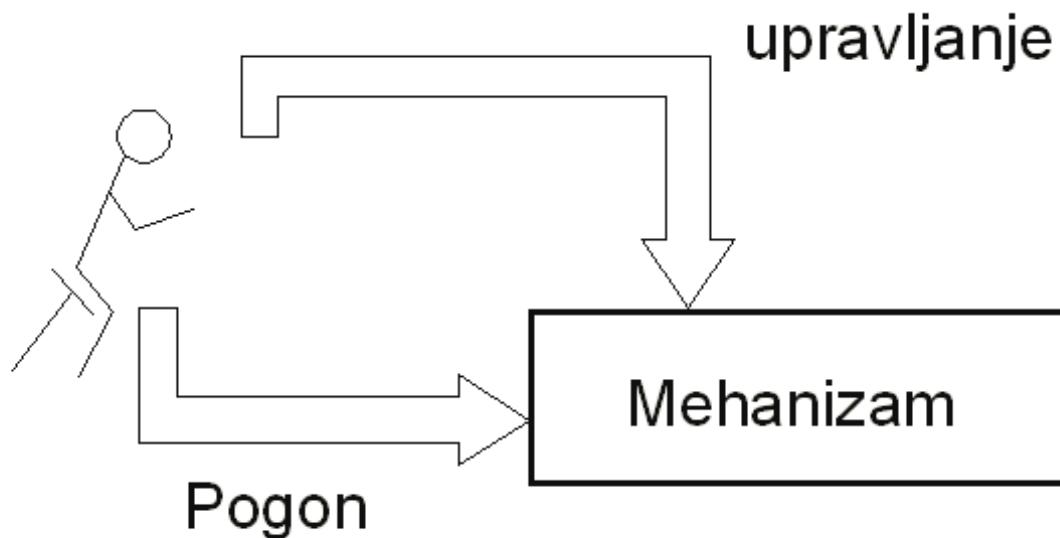


Ovde je mašina alatka poistovećena sa obradnim sistemom, što je moguće obzirom da po definiciji sistem podrazumeva kao osnovnu funkciju izvođenje procesa, a to se izvodi na mašini alatki opremljenoj ranije pomenutim “dodatnim elementima”.

# Modeli drugih sistema

---

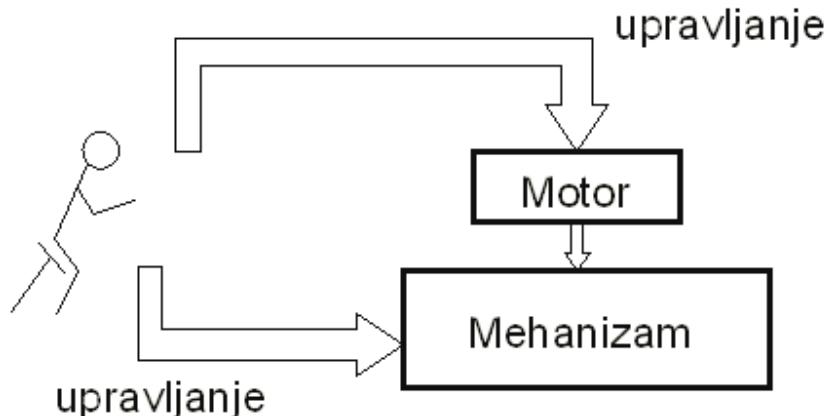
U nastavku se prikazuju modeli obradnih sistema sa stanovišta upravljanja.



***Ručna obrada***

# Modeli drugih sistema

Model konvencionalne mašine alatke kod koje energiju za preoblikovanje pripremka u izradak obezbeđuje pogonski motor, dok se preoblikovanje vrši primenom određenih mehanizama.

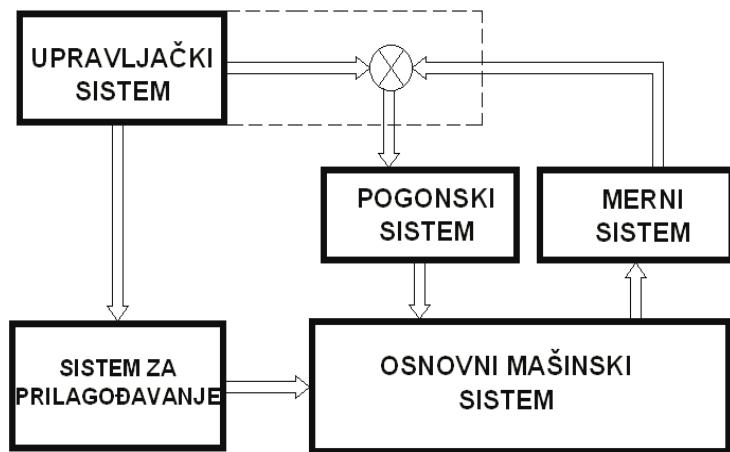


## **Model konvencionalne mašine alatke**

(Mehanizacija: Funkciju preoblikovanje vrši motor i mehanizam)

# Modeli drugih sistema

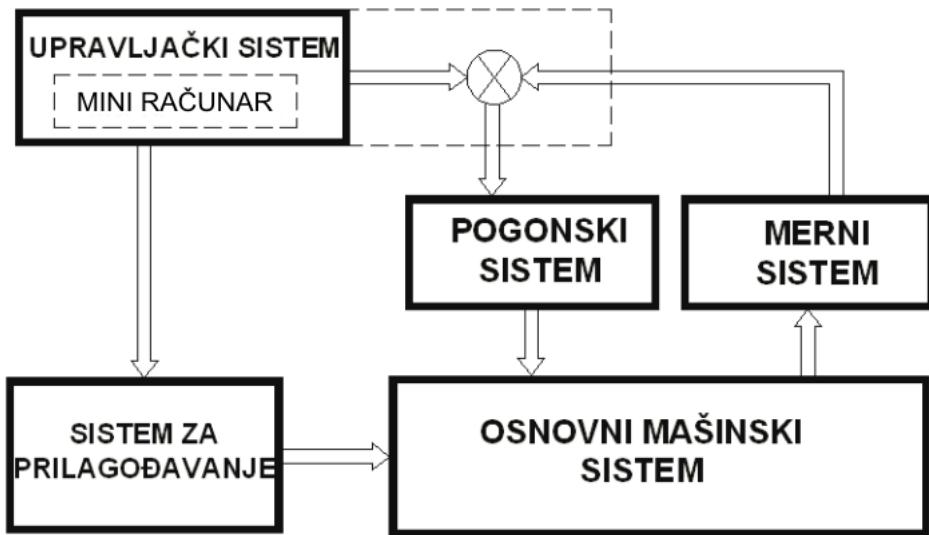
Model numerički upravljane mašine alatke, sadrži: upravljački sistem (upravljačku jedinicu), sistem za prilagođavanje upravljačkih informacija (interface), pogonski sistem, merni sistem i osnovni mašinski sistem (osnovnu mašinu alatku).



**Model numerički upravljane masine alatke ( NC MA)** (Automatizacija: Mehanizovana i funkcija upravljanja)

# Modeli drugih sistema

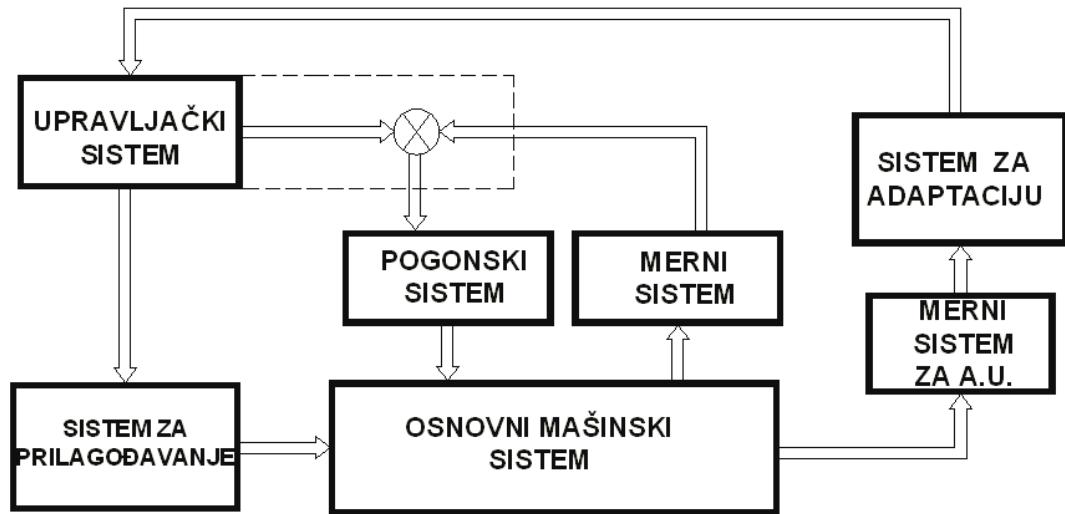
Upravljačka jedinica kod kompjuterski numerički upravljane mašine alatke sadrži kao centralni element procesni mini računar



*Model kompjuterski numerički  
upravljane mašine alatke (CNC MA)*

# Modeli drugih sistema

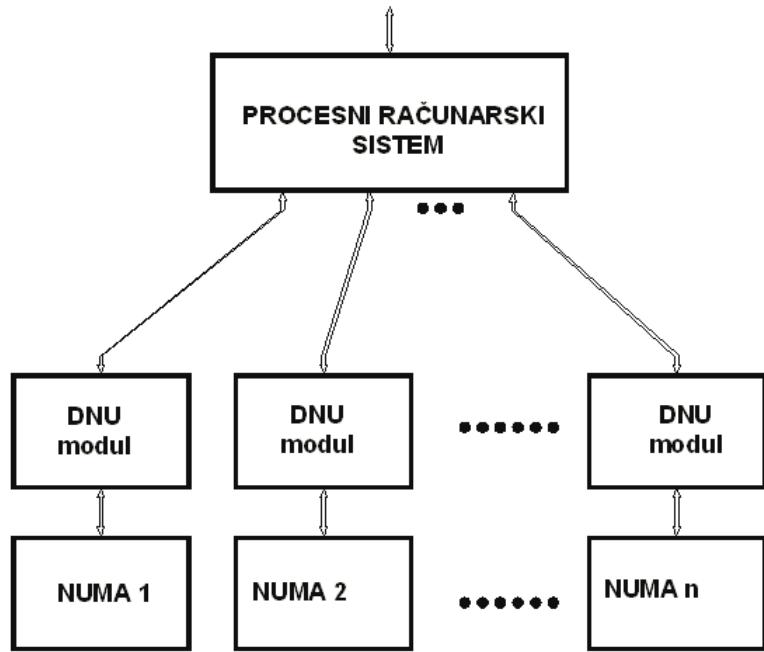
Adaptivno upravljeni AU - (AC- Adaptiv Control) obradni sistemi u svojoj strukturi sadrže i sistem za adaptaciju, kao i merni sistem adaptivnog upravljanja (sistem za identifikaciju)



***Model kompjuterski numerički upravljane mašine alatke sa adaptivnim upravljanjem***

# Modeli drugih sistema

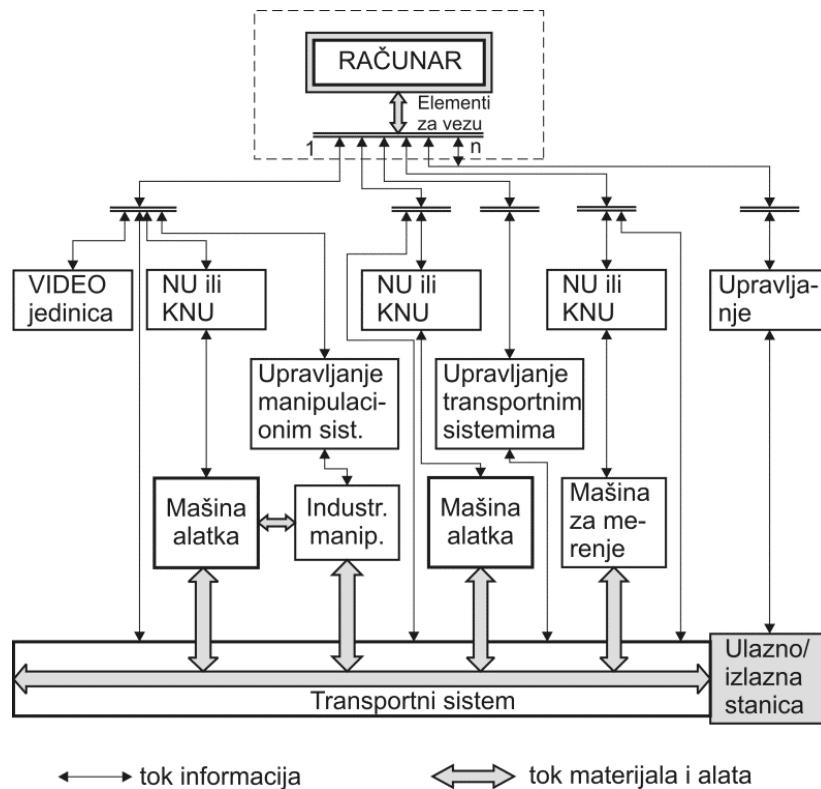
Direktno - distribuirano numeričko upravljanje DNU (DNC) podrazumeva istovremeno ON-LINE centralizovano upravljanje više mašina alatki, sa jednog mesta, pomoću centralnog računarskog sistema



*Principijelna koncepcija DNU sistema*

# Modeli drugih sistema

U težnji da se sve aktivnosti u okviru tehnološkog procesa obuhvate automatizacijom razvijeni su sistemi sa manjim ili većim stepenom integracije – tzv. fleksibilni tehnološki sistemi.



Model automatskog fleksibilnog tehnološkog sistema (AFTS)

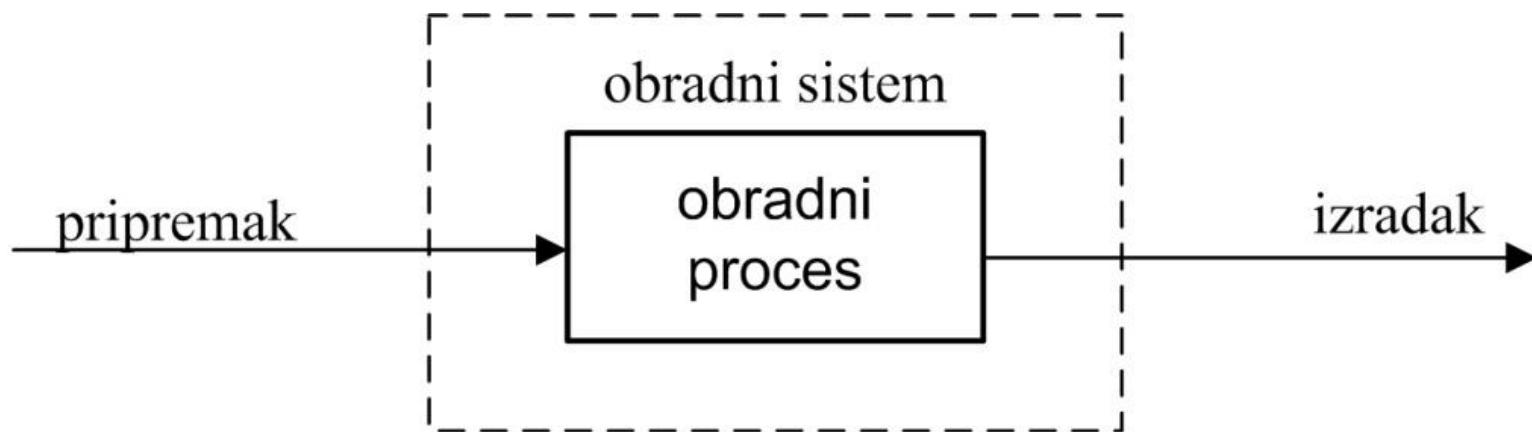
# Obradni procesi

---

## Obradni procesi

Obradni procesi čini skup aktivnosti koje se realizuju na mašini alatki, a mogu se, podeliti na:

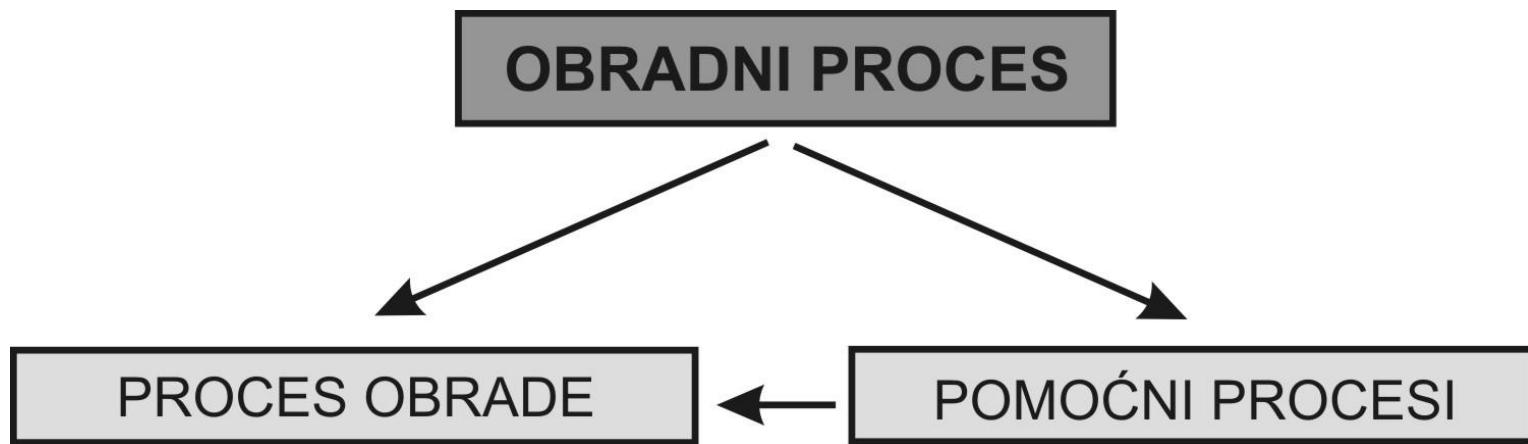
- procese obrade (direktne ili efektivne);
- pomoćne procese (dopunske);



*Model obradnog procesa*

# Obradni procesi

---



*Osnovna podela obradnog procesa*

# Obradni procesi

---

## Metode obrade

---

Postupci izvođenja procesa obrade u smislu međusobnog dejstva alata i obratka, u strogo predviđenom izvođenju osnovnih i dopunskih kretanja definišu **metod obrade**.

Osnovne metode obrade dele se na:

- **metode obrade rezanjem,**
- metode obrade plastičnim deformisanjem,
- nekonvencionalne metode obrade,
- metode obrade velikim brzinama deformisanja, i
- posebne metode obrade.

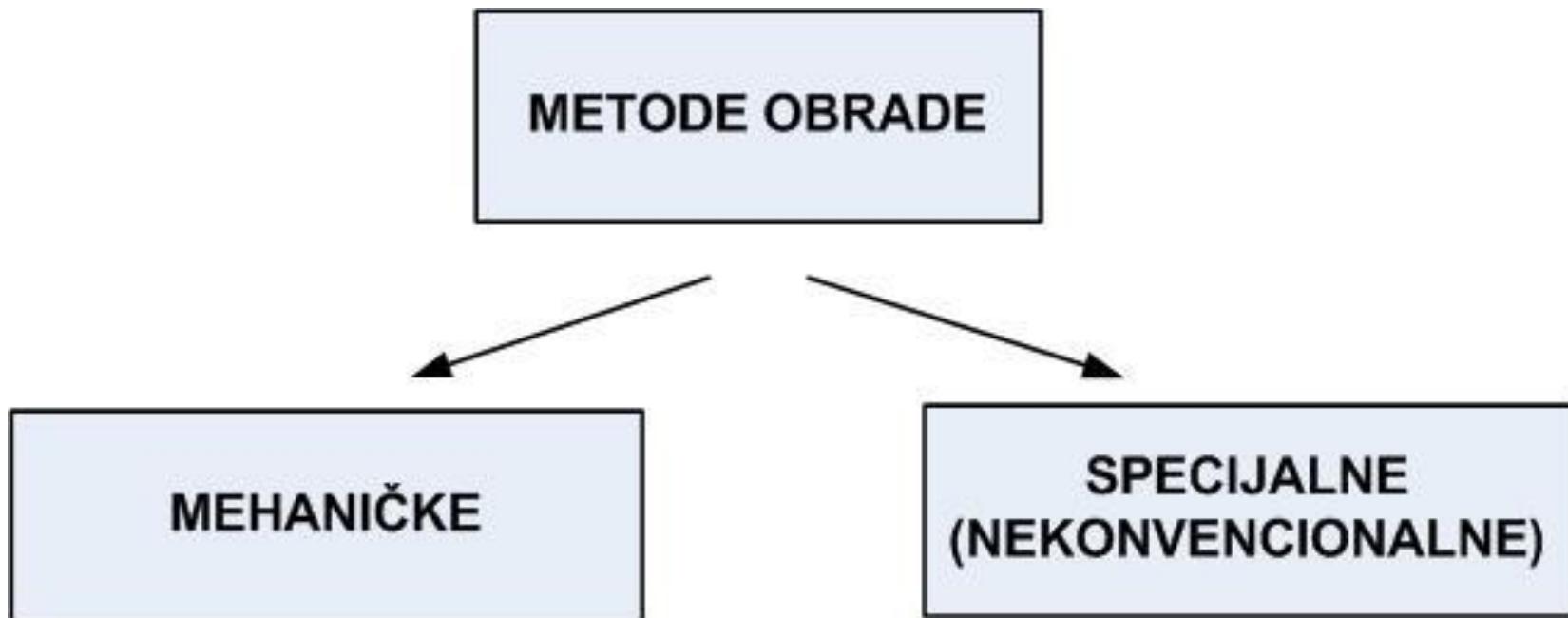
Metode obrade rezanjem dele se, prema:

- alatima sa definisanom geometrijom (jedno-, dvo- i višesečni alati) i
- alatima sa nedefinisanom geometrijom (mnogosečni alati).

# Obradni procesi

---

Prema načinu ostvarenja procesa obrade razlikuju se:



# Obradni procesi

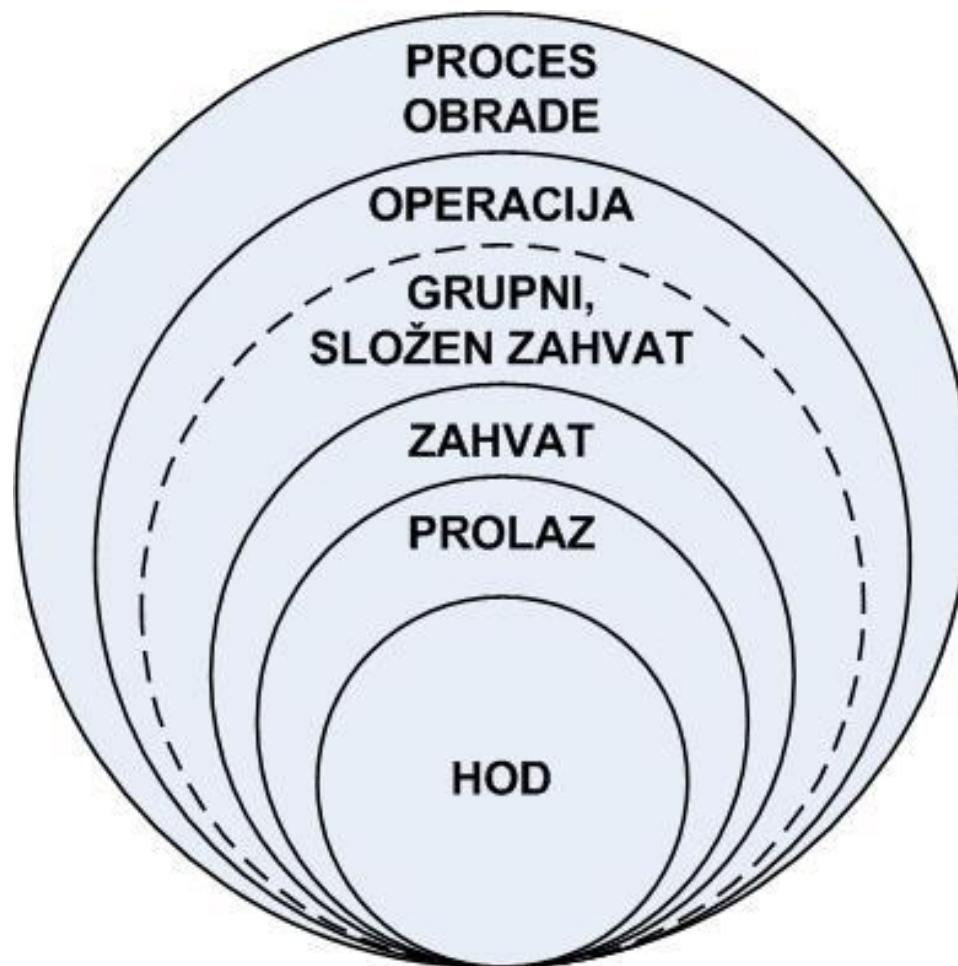
Mehaničke metode obrade su:



# Obradni procesi

---

Elementi mehaničkih metoda obrade su:



# Obradni procesi

---

## Struktura obradnog procesa

- **Proces obrade** se odvija u jednoj ili više *operacija (tehnoloških operacija)*;
- **Opreacija** – skup direktnih i pomoćnih dejstava na obradak na jednom obradnom sistemu koji omogućuje završetak jedne celine procesa obrade. (Obrada na jednom obradnom sistemu u jednom stezanju);
- **Zahvat** je izvršno ili **direktno dejstvo alata na obradak u okviru operacije** (elementi režima obrade se ne menjaju);

# Obradni procesi

---

## Struktura obradnog procesa

- **Složen zahvat** predstavlja deo operacije gde se jednim alatom vrši konačno formiranje jedne **složene površine**;
  
- **Prolaz** je deo **zahvata koji se odnosi na skidanje jednog sloja materijala sa jednim alatom i to pri određenom pomeranju**;

# Obradni procesi

---

## *Pomoćni procesi*

---

Osnovne aktivnosti kod pomoćnih procesa odnosi se na pozicioniranje pripremka, obratka i alata.

- **Pozicioniranje pripremka**, predstavlja postavljanje ili baziranje pripremka na mašinu ili u pribor, a pre početka obrade.
- **Pozicioniranje obratka** predstavlja postavljanje ili baziranje obratka na mašinu ili u pribor ili njegovo dovođenje u novi položaj, tj. u novu poziciju u odnosu na alat;
- **Pozicioniranje alata** odnosi se na postavljanje alata u određen položaj u odnosu na držač, postavljanje držača sa alatom u određen položaj u odnosu na nosač alata ili dovođenje alata u određeni položaj u odnosu na obradak.

# Obradni procesi

---

## *Pomoćni procesi*

Baziranje pripremka, obratka ili alata vrši se preko odgovarajućih tačaka, linija ili površina, koje predstavljaju baze.

Sve baze se mogu podeliti na:

- konstrukcione,
- tehnološke,
- merne,
- montažne.

# Obradni procesi

---

## Pomoćni procesi

- **Konstrukcione baze** su tačke, linije ili površine koje služe za definisanje mera i odnosa pojedinih geometrijskih elemenata na konstrukcionom crtežu nekog dela ili sklopa.
- **Tehnološke baze** služe za određivanje položaja obratka pri izvođenju procesa obrade i mogu biti neobrađene, obrađene, pomoćne i dopunske.
- **Merne baze** služe za merenje i kontrolu mera i odnosa geometrijskih elemenata gotovog dela.
- **Montažne baze** služe za orientaciju i postavljanje delova pri montaži.

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI -Geometrijske karakteristike-**

### Uvod

- Da bi mašina alatka u potpunosti izvršila postavljene zadatke mora da postoji određena usklađenost između mašine, alata i radnog predmeta.
- Tri glavna uslova koje svaka mašina alatka treba da ispuni su:  
**TAČNOST, PROIZVODNOST I EKONOMIČNOST.**
- Svaka mašina alatka je u potpunosti definisana svojim tehničkim karakteristikama
- Tehničke karakteristike su podaci kojima se definiše mašina alatka u smislu njene veličine, performansi (mogućnosti izvođenja procesa) i kvaliteta.
- Ove karakteristike se dele u tri grupe, prema oblasti kojoj pripadaju podaci:
  - ✓ **Geometrijske karakteristike**
  - ✓ **Tehnološke karakteristike,**
  - ✓ **Eksplotacione karakteristike**

### Uvod

- Pokazatelji kvaliteta mašine alatke se odnose na geometrijsku i kinematsku tačnost, statičko, dinamičko i toplotno ponašanje mašine alatke.
- Greške izrade elemenata mašine kao i greške sklapanja i montaže utiču na geometrijsku i kinematsku tačnost, a time i na radnu tačnost mašine alatke.
- Geometrijska tačnost predstavlja skup parametara koji pokazuju odstupanje od idealnog geometrijskog oblika elemenata mašine, odstupanja od nominalnog relativnog položaja pojedinih elemenata.
- Kinematskom greškom se naziva greška koja se javlja u pojedinim elementima kinematskog lanca mašine. Kinematska tačnost obuhvata i tačnost pozicioniranja kao i ponovljivosti pozicija izvršnih organa mašine alatke.
- Statičko, dinamičko i toplotno ponašanje su poremećaji koji su posledica procesa obrade. Presudnu ulogu igra statička i dinamička krutost kako elemenata tako i mašine alatke u celini.

### Geometrijske karakteristike mašine alatke

Gabaritne dimenzije mašine;

- gabaritne dimenzije radnog prostora (definišu njegovu veličinu i oblik):
  - ✓ za strug:  $D_{\max}$ ,  $L_{\max}$
  - ✓ za konzolnu glodalicu:  $B_{\max}$ ,  $L_{\max}$
  - ✓ za bušilicu:  $d_{\max}$
- dimenzije pojedinih elemenata mašina, npr.: prečnik otvora glavnog vretena, dimenzije nosača alata, tip i veličina konusa za prihvatanje pribora;
- visina ose mašine;
- Tačnost izvedene mašine, kao geometrijska karakteristika, zavisi od:
  - ✓ postavljene (definisane) koncepcije mašine;
  - ✓ izvedene konstrukcije elemenata i sklopova;
  - ✓ tehnologije izrade i montaže;

### Geometrijska karakteristike mašine alatke

- Pod koncepcijom se podrazumeva način ostvarenja osnovnih kretanja koje zahteva metoda obrade, odnosno vrsta mašine alatke
- Izvedena konstrukcija elemenata i sklopova je rezultat definisanja parametara konstrukcije od strane konstruktora;
- Tehnologija izrade i montaže je rezultat definisanja tehnoloških parametara izrade delova i montaže od strane tehnologa;
- Na konstrukciju, izradu i montažu se može uticati poznavanjem teorije mernih lanaca.
- Veća tačnost mašina alatki se ne postiže tačnijom izradom delova već koncepcionim rešenjem.
- **Geometrijska tačnost**, je jedna od tačnosti, kojom se definiše „kvalitet“ mašine u smislu njenih geometrijskih osobina.

### Geometrijska tačnost mašine alatke

- Procedura i postupak ispitivanje geometrijske tačnosti, merna oprema, uslovi ispitivanja, parametri tačnosti, dozvoljena odstupanja su definisani standardima. Ispitivanja obuhvataju:
  - ✓ tačnosti (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine;
  - ✓ tačnosti trajektorije pri kretanju vitalnih elemenata (koji obezbeđuju relativno kretanje između alata i obradka);
  - ✓ tačnosti međusobnog položaja vitalnih elemenata (koji utiču na tačnost obradka, kasnije pri radu mašine);
- Ispitivanje ili određivanje geometrijske tačnosti podrazumeva završno ispitivanje tačnosti ***montirane mašine u neopterećenom stanju i dovedene u stacionarno temperaturno stanje***. Osnove za ispitivanje tačnosti izrade mašina alatki postavio je Prof. Šlezinger (G. Schlesinger 1874- 1949).
- Na osnovu njih izrađeni su nacionalni standardi u industrijski razvijenim zemljama. Ovi standardi služe za kvalitativni prijem mašina.

### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine

- Elementi mašina alatki su definisani odgovarajućim crtežima, na kojima su prikazane mere pojedinih elemenata konture, njihov međusobni položaj, kao i dozvoljeno odstupanje tih površina od idealne (nominalne) vrednosti.
- Odstupanje od idealnog oblika naziva se GREŠKA OBLIKA.
- U opštem slučaju mašinski elementi pa i elementi mašina alatki su ograničeni:
  - ✓ ravnim površinama;
  - ✓ rotacionim površinama;
  - ✓ proizvoljnim prostornim površinama (skulpturnim površinama);

### Geometrijska tačnost mašine alatke

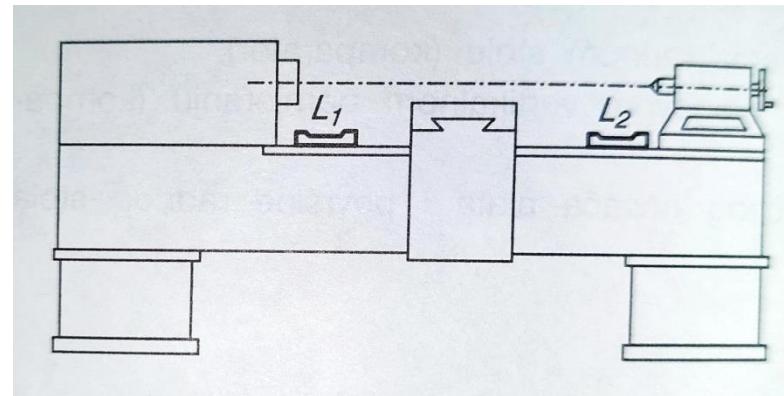
#### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

- Kontrola ravnih površina kod mašina alatki se susreće pri ispitivanju osnovnih (fundamentalnih) ploča, vođica (kliznih, kotrljajnih), ploča za stezanje;
- Pre bilo kog merenja mašinu alatku treba postaviti u horizontalni položaj i prekontrolisati ravnost površina i njihov položaj u prostoru (horizontanost) pomoću:
  - LIBELE (okvirna ili koicident);
  - AUTOKOLIMATORA
  - MERNOG LENJIRA I SATA;
  - LASERSKOG MERNOG SISTEM;

### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

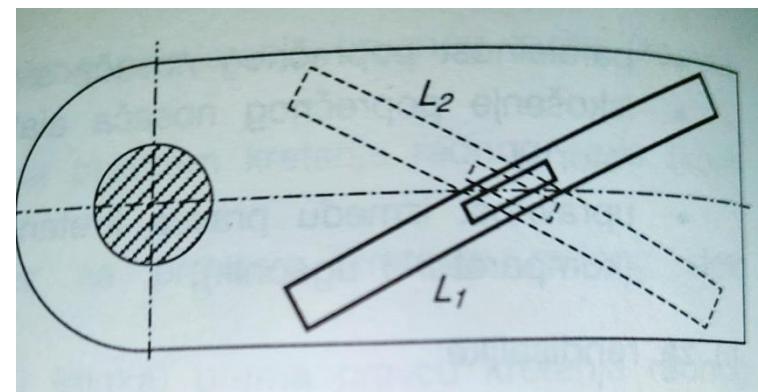
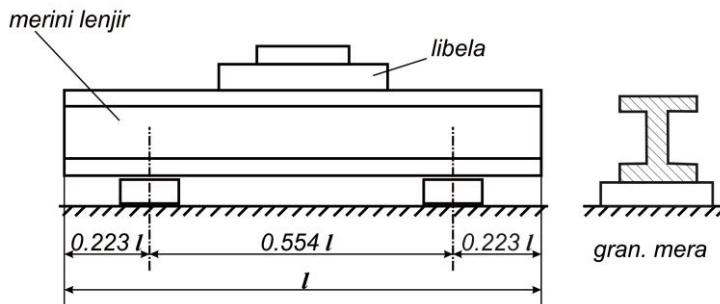
- Pri kontroli položaja (horizontalnosti) površine u prostoru koristi se libela, pri čemu dužina naleganja libele ne sme biti manja od 200 mm.
- Libela se prvo postavi u na levi krak  $L_1$ , a zatim na desni  $L_2$  kraj vođice. Postupak se prvo radi na prednjoj, pa na zadnjoj strani vođice.
- Na merno mesto na vođicama se postavlja prizma sa žljebom koji tačno odgovara profilu vođice,a zatim se na prizmu postavlja libela.
- Merenje u poprečnom pravcu vrši se na taj način što se na vođice postavlja poprečni most a na njega libela.



## Geometrijska tačnost mašine alatke

### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

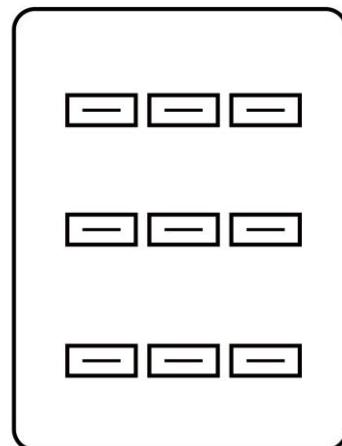
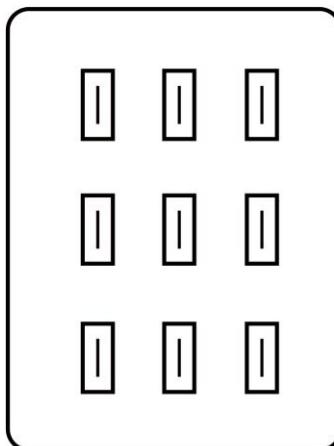
- Kod mašina alatki koji imaju temeljnu ploču (npr. radijalna bušilica). kontrola se vrši postavljanjem libele u dva unakrsna pravca.
- Libela se na ravnu površinu ne postavlja direktno, već preko tačnog planparalelnog lenjira i graničnih merila.
- Rastojanje između graničnih merila - oslonaca je tako definisano da ugib mernog lenjira usled sopstvene težine bude minimalan. Na ovaj način se izbegava uticaj neuravnjenosti površine na rezultate merenja horizontalnosti.
- Ova dva pravca merenja po mogućnosti treba da su međusobno normalna, jer je tada veća tačnost merenja.



### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

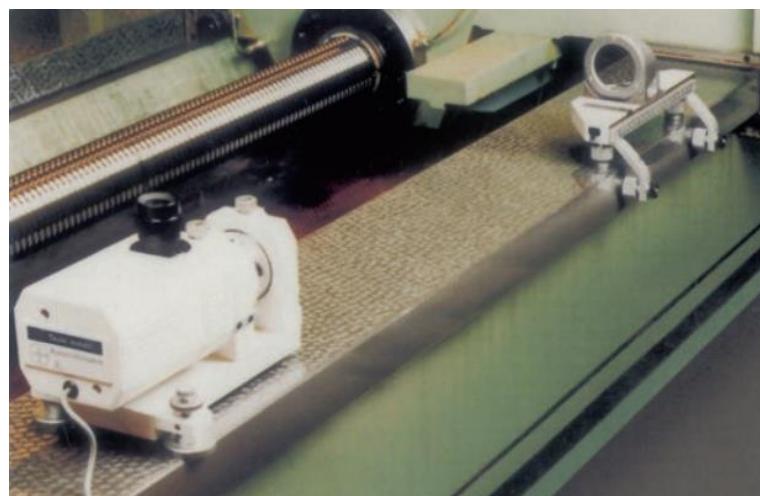
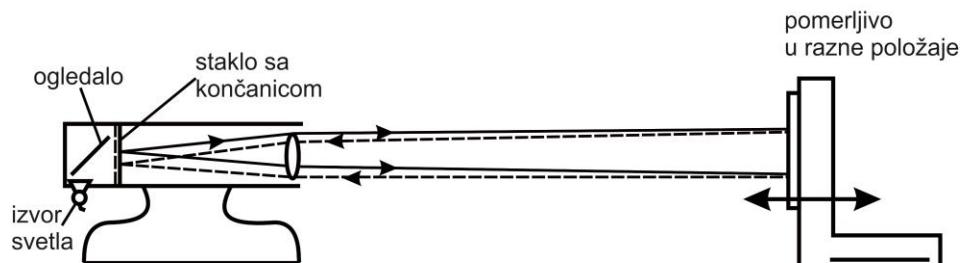
- Provera *ravnosti (uravnenosti) površina pomoću libele* se vrši na taj način što se libela postavlja na mernu površinu, prvo u tri uzdužna paralelna pravca , a zatim u tri poprečna paralelna pravca i u svakoj tački se očitava pokazivanje.
- Rastojanje mernih mesta u jednom pravcu iznosi 300-500 mm. *Pojas rasipanja očitanih vrednosti predstavlja odstupanje površine od idealne ravni.*



### Geometrijska tačnost mašine alatke

Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

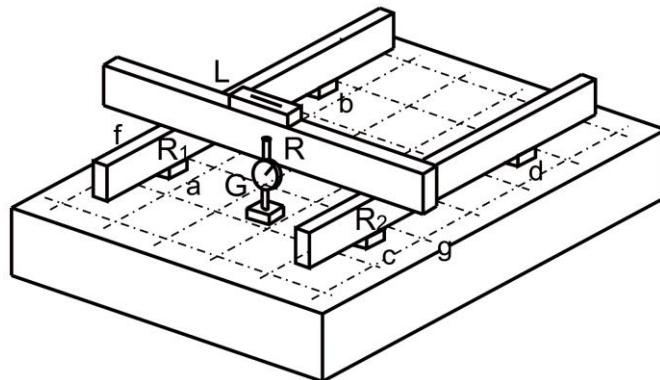
- Ravnost i horizontalnost površina se takođe može ispitati i pomoću autokolimatora.
- Autokolimator se postavlja na površinu koja se kontroliše pomoću sopstvenog stakla, dok se na istu površinu ispred durbina postavlja ogledalo koje se nalazi na vertikalnom kraku pravouglog ugaonika i pri merenju se pomera.



### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola ravnih površina

- Proveru ravnosti (uravnjenosti) površina je moguće vršiti i prko mernog sata (komparatora) i lenjira
- Dva merna lenjira se postave na granična merila po istom principu kao i kod proveravanja horizontalnosti.
- Treći merni lenjir se postavlja u određeni broj položaja na njih i u defiisanim tačkama meri pokazivanje mernog sata pri čemu je pipak mernog sata naslonjen na donju površinu poprečno postavljenog mernog lenjira.

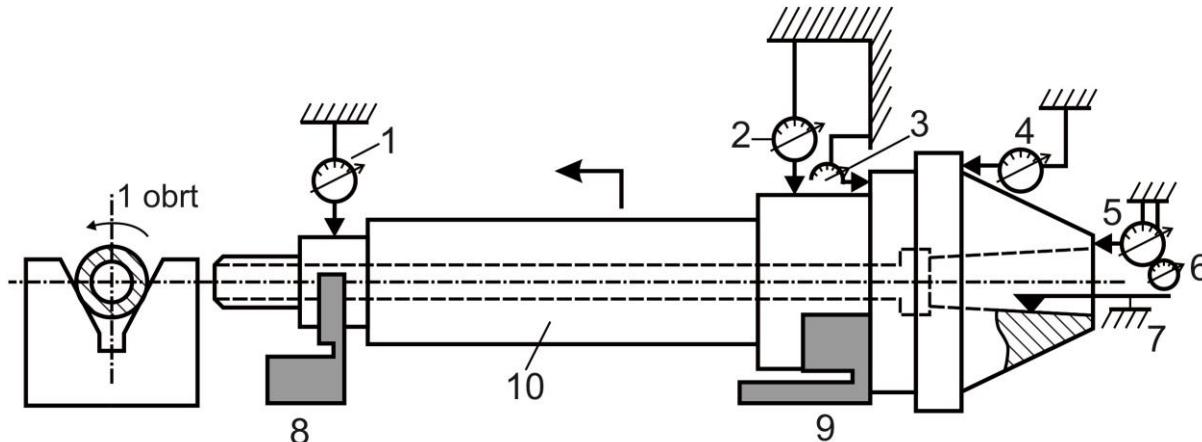


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Tačnost (grešaka) oblika vitalnih elemenata mašine - Kontrola rotacionih površina

Ova kontrola obuhvata:

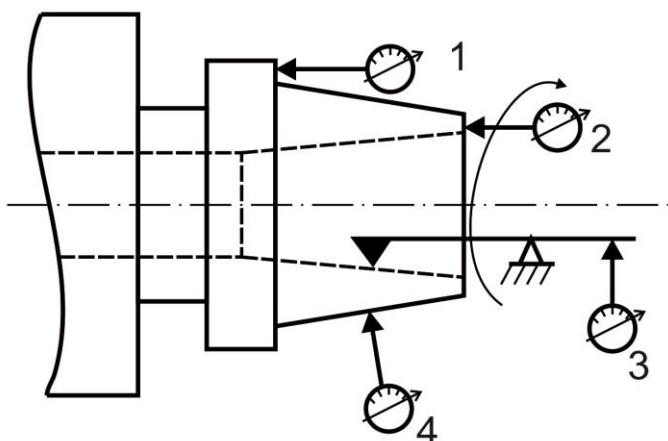
- kontrolu cilindričnosti i kružnosti (cilindričnog oblika);
- radijalno bacanje pojedinih rotacionih površina, međusobno, odnosno u odnosu na određenu (referentnu) rotacionu površinu;
- aksijalno bacanje.



## Geometrijska tačnost mašine alatke

### Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

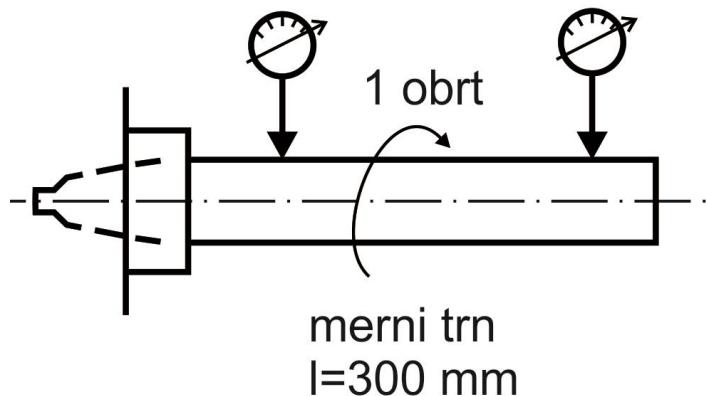
- Ova kontrola se može izvršiti na dva načina **neposrednim merenjem** ili **posredno primenom mernog trna**.
- Neposrednim merenjem moguće je odrediti:
  - aksijalno bacanje čeone površine venca (merni sat-položaj 1);
  - aksijalno bacanje vrha glavnog vretena (merni sat-položaj 2);
  - kružnost unutrašnjeg konusa (merni sat-položaj 3) i
  - kružnost spoljnog konusa vrha vretena (merni sat-položaj 4)



### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

- Centričnost ose unutrašnjeg konusa glavnog vretena meri se posredno primenom mernog trna. Obzirom da se meri tačnost ose, potrebno je izvršiti materijalizaciju ose što se u ovom lučaju čini mernim trnom.
- Merni trn ima valjkasti oblik sa koničnim završetkom. Konični završetak mernog trna odgovara unutrašnjem konusu glavnog vretena i izražen je brojem Metričkog ili Morze konusa.
- Korisna dužina mernog trna je obično 300 mm, ali može biti i manja i veća u granicama od 75 do 500 mm.

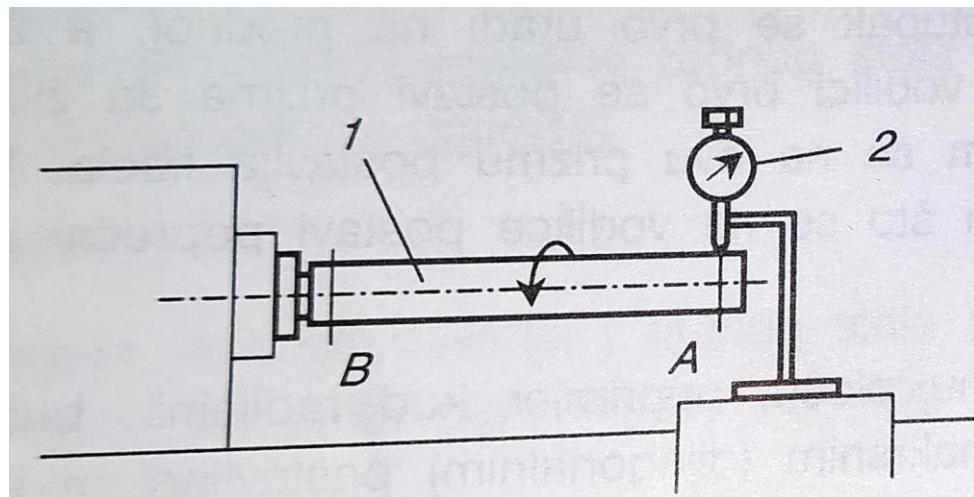


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

##### Centričnost ose unutrašnjeg konusa

- Merni pipak mernog sata (2), čiji stalak stoji na nepokretnom elementu mašine, se postavlja na kraj mernog trna (1). Glavno vreteno sa mernim trnom se ručno okreće za jedan obrt i meri skretanje kazaljke mernog sata.
- Najveće dozvoljeno odstupanje za ovo merenje kod strugova (položaj A) visine šiljaka do 400 mm, iznosi **0,02** mm, ako je odstojanje mernog pipka 300 mm.
- Merenje se ponavlja za drugi položaj (bliže glavnom vretenu - položaj B), a dozvoljeno odstupanje iznosi **0,01** mm.

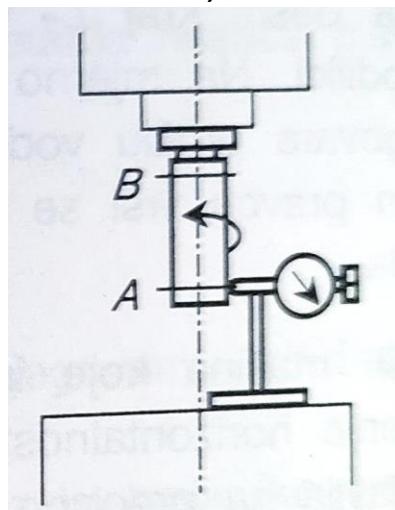


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

##### Centričnost ose unutrašnjeg konusa

- Kod ispitivanja centričnosti konusa glavnog vretena bušilica, vertikalnih glodalica se koriste merni trnovi dužine 100 mm za vretena sa Morze konusom manjim od MK2 i dužine od 300 mm za Morze konuse veće od MK2.
- Dozvoljena odstupanja za stubne i bušilice sa postoljem su 0,02 mm (merno mesto A) i 0,015 mm (merno mesto B) za Morze konuse do MK2, a za veće odstupanja su 0,03 i 0,02 mm.
- Za vertikalne glodalice se koristi merni trn od 300 mm, pri čemu su dozvoljena odstupanja 0,02 mm (merno mesto A) i 0,01 mm (merno mesto B).

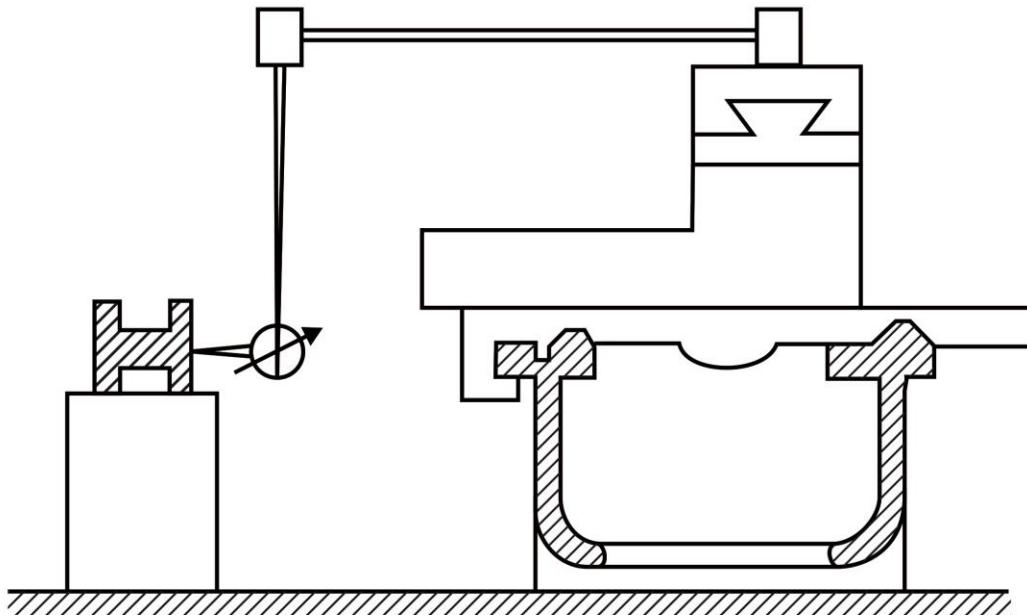


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Kontrola tačnosti kretanja pokretnih elemenata mašina

##### Kontrola pravolinijskog kretanja (vođenja) klizača

- Stalak mernog sata se postavlja na klizač, a merni pipak na merni lenjir. U krajnjim tačkama vođica podesi se merni sat na nultu vrednost.
- Vrši se pomeranje klizača duž vođica i prati pokazivanje mernog sata. Odstupanje od idealnog pravca ukazuju na pravost kretanja klizača duž vođica (postolja)

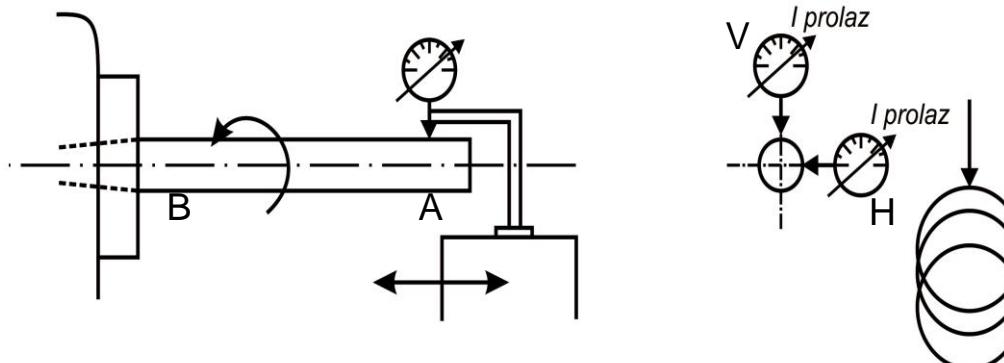


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

##### Paralelnost ose glavnog vretena sa pravcem kretanja nosača alata

- Nosač mernog sata se postavlja na nosač alata i zajedno sa njim pomera duž mernog trna, a pipak mernog sata klizi po izvodnici mernog trna (od tačke A do tačke B). Merenje se vrši u vertikalnoj i horizontalnoj ravni.
- Da bi se isključila greška centričnosti postavlja se glavno vreteno sa mernim trnom u srednji položaj greške centričnosti.
- Okretanjem glavnog vretena za  $90^\circ$  u odnosu na ravan izmerenih najvećih odstupanja centričnosti konus glavnog vretena se greška iz vertikalne prenosi u horizontalnu ravan, pri čemu se greška centričnosti svodi na minimalnu vrednost.



## Geometrijska tačnost mašine alatke

### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

#### Paralelnost ose glavnog vretena sa pravcem kretanja nosača alata

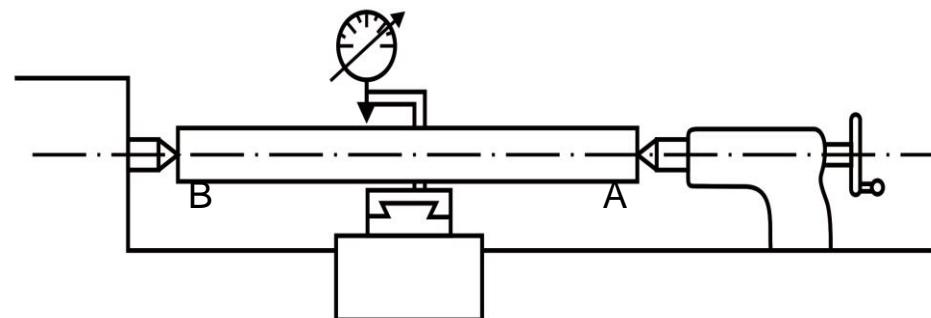
- Dozvoljeno odstupanje za horizontalne strugove sa šiljcima visine šiljaka do 400 mm od paralelnosti u vertikalnoj i horizontalnoj ravni iznosi 0,02 mm, na mernoj dužini 300 mm.
- Dozvoljeno odstupanje za horizontalne strugove sa šiljcima visine šiljaka preko 400 mm od paralelnosti iznosi u vertikalnoj 0,04 mm i horizontalnoj ravni 0,03 mm, na mernoj dužini 500 mm.
- Dozvoljeno odstupanje za strugove sa horizontalnom i vertikalnom revolver glavom za glavno vreteno do 30 mm od paralelnosti u vertikalnoj i horizontalnoj ravni iznosi 0,01 mm, na mernoj dužini 100 mm.
- Dozvoljeni smer odstupanja je sledeći: u vertikalnoj ravni slobodni kraj mernog trna sme biti usmeren naviše, a u horizontalnoj ravni ka prednjoj vođici.
- Smer dozvoljenog odstupanja kod neopterećenih mašina alatki mora uvek biti takav da **ELASTIČNE DEFORMACIJE** odgovarajućih elemenata mašina pod radnim opterećenjem doprinose **SMANJENJU tih ODSTUPANJA**.

### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

##### Kontrola paralelnosti „radne ose“ sa pravcem kretanja nosača alata

- Osa koja spaja osu glavnog vretena i osu nosača šiljka (konjica) kod strugova se naziva **radna osa**.
- Za strugove razmaka između šiljaka do 3000 mm, ispitivanje se vrši pomoću mernog sata i mernog valjka.
- Merenje se vrši u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Merni valjak se stegne između šiljaka a merni sat se postavi na nosač alata.
- U vertikalnoj ravni se merenje vrši pomeranjem komparatora duž izvodnice mernog trna, dok se u horizontalnoj ravni merenja izvrši samo u krajnjim tačkama mernog trna (A i B).

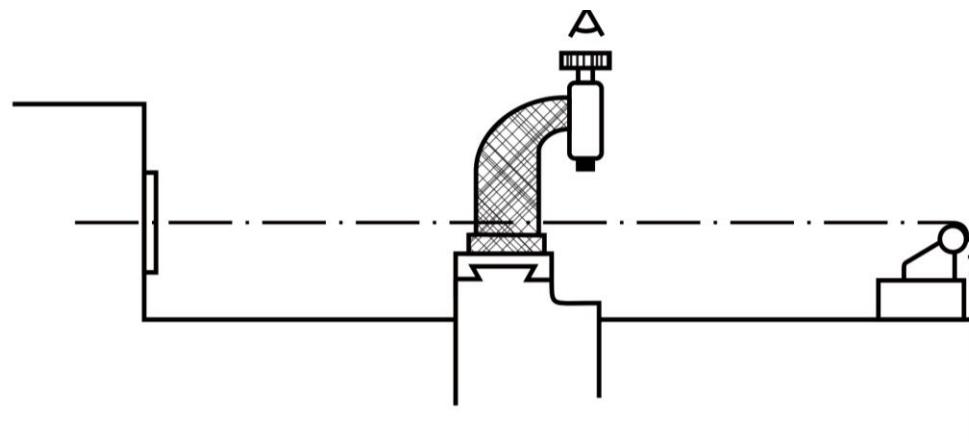


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

##### Kontrola paralelnosti „radne ose“ sa pravcem kretanja nosača alata

- Kod strugova razmaka šiljaka preko 3000 mm vrši se merenje paralelnosti pomoću merne žice (prečnika 0,1 mm) koja se jednim krajem centrično učvršćuje u stezač pomoću, a drugi (desni) kraj se prebacuje preko kotura postavljenog na desni kraj vođica i zateže pomoću tega.
- Mikroskop (A) se postavlja na nosač alata i pomera u uzdužnom pravcu. Merenje se vrši očitavanjem odsupanja pomoću končanice mikroskopa.

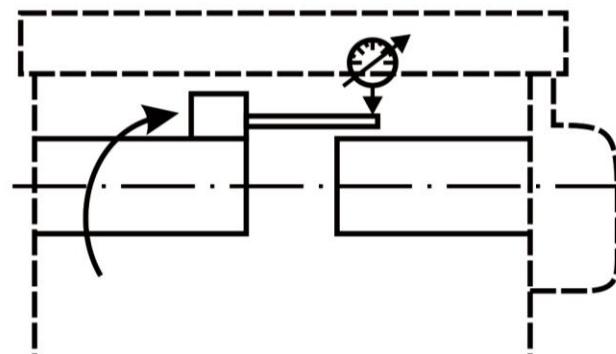
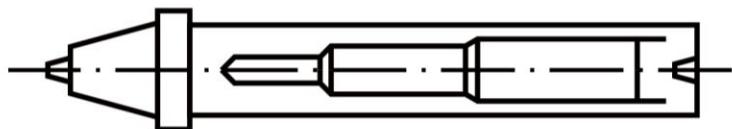


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

##### Ispitivanje koaksijalnosti

- Ovakva ispitivanja su značajna kod kontrole konzolnih horizontalnih glodalica.
- U glavno vreteno se postavi merni trn i na njega nosač mernog sata.
- Pipak mernog sata se nasloni na merni cilindar i ručnim obrtanjem glavnog vretena za jedan obrt se meri pokazivanje mernog sata.

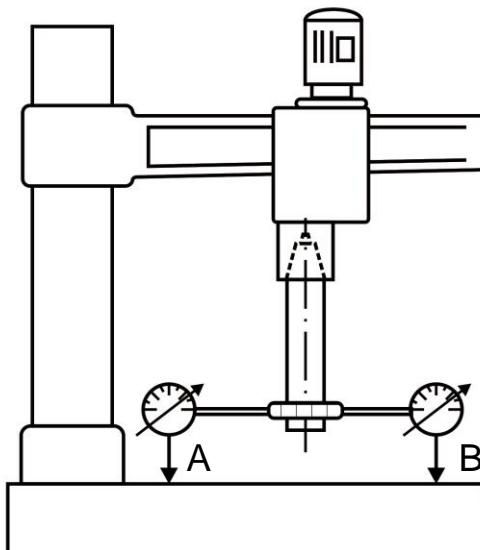


### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

##### Kontrola normalnosti ose glavnog vretena prema radnom stolu

- Ova ispitivanja se vrše kod mašina sa vertikalnim glavnim vretenom.
- Merenje se izvodi u ravni simetrije i ravni normalnoj na ravan simetrije maštine alatke. Pipak komparatora se osloni na planparaleleni lenjir koji je postavljen na sto maštine.
- U ravni simetrije maštine očita se pokazivanje mernog sata u jednom krajnjem položaju (A), a zatim se ručno okrene glavno vreteno i očitava pokazivanje mernog sata u tački koja se nalazi okrenuta za  $180^\circ$  u odnosu na prvu tačku (B).



### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

#### Kontrola normalnosti ose glavnog vretena prema radnom stolu

Dozvoljena odstupanja su:

- kod stubnih bušilica na mernoj dužini od 500 mm: u ravni simetrije 0,08 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,05 mm
- kod bušilica sa postoljem na mernoj dužini od 300 mm: u ravni simetrije 0,05 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,03 mm
- kod radijalnih bušilica na mernoj dužini od 1000 mm: u ravni simetrije 0,2 mm/m i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,1 mm/m;
- kod vertikalnih glodalica na mernoj dužini od 150 mm: u ravni simetrije 0,01 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,01 mm

### Geometrijska tačnost mašine alatke

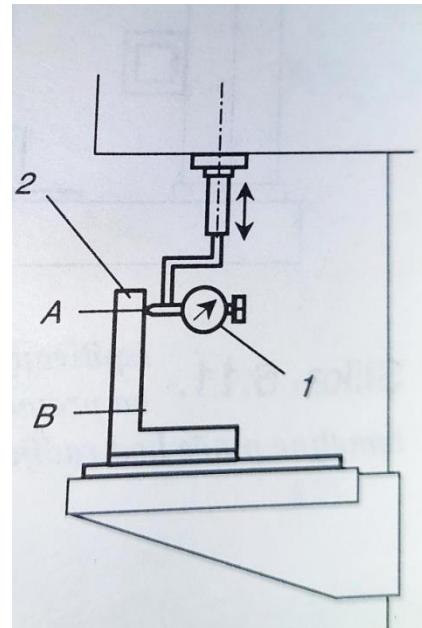
#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

##### Kontrola normalnosti pravca kretanja glavnog vretena prema radnom stolu

Ova ispitivanja se vrše takođe kod mašina sa vertikalnim glavnim vretenom.

Ispitivanje se vrši pomoću komparatora, ugalomera i lenjira. Komparator se postavlja na glavno vreteno, a njegov pipak na uglomer (2) koji se nalazi na radnom stolu mašine.

Merenje se vrši aksijalnim (vertikalnim) pomeranjem glavnog vretena u ravni simetrije i u ravni normalnoj na ravan simetrije.



### Geometrijska tačnost mašine alatke

#### Određivanje grešaka međusobnog položaja elemenata

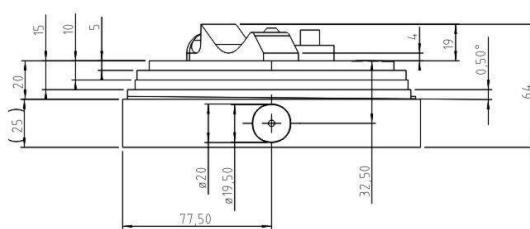
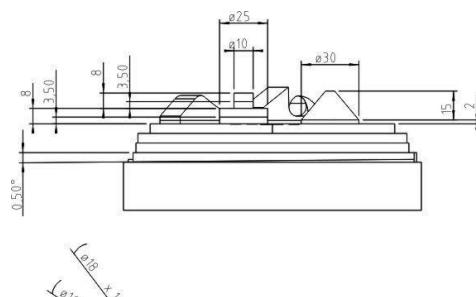
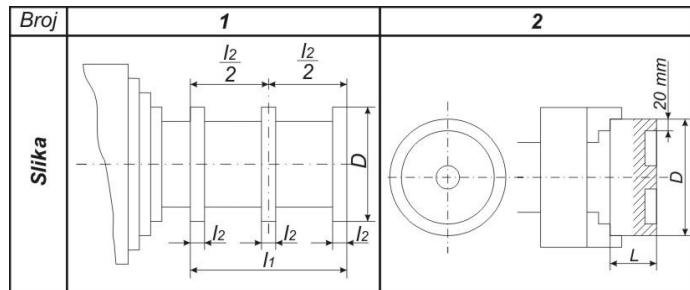
#### Kontrola normalnosti pravca kretanja glavnog vretena prema radnom stolu

Dozvoljena odstupanja su:

- kod stubnih bušilica na mernoj dužini od 500 mm: u ravni simetrije 0,06 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,06 mm
- kod bušilica sa postoljem na mernoj dužini od 300 mm: u ravni simetrije 0,05 mm i u ravni mormalnoj na ravan simetrije 0,03 mm
- kod radijalnih bušilica za maksimalnu dubinu bušenja od 150 mm u ravni simetrije 0,05, a za dubine bušenja od 300 mm u ravni simetrije 0,1 i za dubine veće od 300 mm, dozvoljeno odstupanje je 0,15 mm.

## Radna tačnost mašine alatke

- Zbog odsustva opterećenja prvenstveno, pri ispitivanju geometrijske tačnosti standard predviđa i tzv. praktična ispitivanja kojima se vrši izrada probnih radnih predmeta i tada je reč o tzv. **radnoj tačnosti**.
- Pod ispitivanjem radne tačnosti podrazumeva se izrada uzorka, sa naznačenim merama i dozvoljenim odstupanjima od njih uz uslov postizanja najvećeg stepena tačnosti koji omogućava data mašina.
- Izgled radnog predmata je prilagođen osnovnim operacijama obrade na dатој mašini.



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI -Tehnološke karakteristike-**

### Tehnološke karakteristike

- Tehnološke karakteristike su osobine kojima mašina alatka raspolaže radi realizacije odgovarajuće tehnologije izrade obradaka, što je u ovom slučaju određene metode obrade rezanjem
- Da bi se obrada realizovala, mašina, odnosno njeni elementi moraju obezbediti odgovarajuća kretanja obradka i alata, i to uz prihvatanje sila i momenata koji se pri obradi pojavljuju.
- Tehnološke karakteristike su u neposrednoj vezi sa parametrima režima obrade.

### Tehnološke karakteristike

Za slučaj *obrade struganjem* ti parametri su:

- materijal obradka iskazan koeficijentima  $C_k$ ,  $C_v$ ,  $x$ ,  $x_1$ ,  $y$ ,  $y_1$ ;
- vrsta obrade (gruba, završna, ...) koja zavisi od zahtevanog kvaliteta izradka, konfiguracije pripremka, tehnologije izrade pripremka, ...;
- materijal reznog dela alata ( $\xi_m$ );
- geometrija reznog dela alata ( $\xi_k$ );
- postojanost, vreme zamene alata ( $\xi_T$ );
- dubina rezanja (a), u funkciji dodatka za obradu, broja prolaza, glavnog vremena obrade, vrste obrade, ...;
- pomaka (s) u funkciji kvaliteta obradene površine, vrste obrade, vitkosti strugotine, ....;

### Tehnološke karakteristike

Za slučaj *obrade bušenjem* ti parametri su:

- materijal obradka iskazan koeficijentima -  $C_m$ ,  $C_F$ ,  $C_V$ ,  $x$ ,  $x_1$ ,  $x_o$ ,  $y$ ,  $y_1$ ,  $y_o$ ,  $m$
- vrsta obrade (bušenje, proširivanje, razvrtanje, ...) koja zavisi od zahtevanog kvaliteta izradka,
- materijal alata ( $k_c$ )
- vreme zamene alata, tj. postojanost ( $T$ )

Za slučaj *obrade glodanjem* ti parametri su:

- materijal obradka iskazan koeficijentima  $C_V$ ,  $C_F$ ,  $x$ ,  $x_o$ ,  $y$ ,  $y_o$ ,  $m$ ,  $i$ ,  $i_o$ ,  $q$ ,  $q_o$ ,  $u$ ,  $w$ ,
- vrsta obrade (gruba, završna, obimno, čeono glodanje, ...) koja zavisi od zahtevanog kvaliteta izradka, konfiguracije pripremka, tehnologije izrade pripremka...
- materijal reznog dela alata
- vreme zamene alata, tj. postojanost
- dubina rezanja , u funkciji zahtevanog kvaliteta obrađene površine, vrste obrade, ...

Na osnovu ovih parametara određuju se elementi režima obrade, u cilju usaglašavanja, odnosno izbora mašine odgovarajućih tehnoloških karakteristika. To su glavni faktori obrade: **brzine i sile rezanja**.

### Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

Izraz za brzinu rezanja za obradu struganjem se može napisati u sledećem obliku:

$$V_s = \frac{C_v}{a^x s^y} \xi_m \xi_k \xi_T$$

Sličan izraz je i za određivanje brzine rezanja pri metodi obrade bušenjem

$$v = (C_v D^{x_0} \mu_o) k_v / (T^m s^{y_0})$$

odnosno pri obimnom glodanju:

$$v = (C_v D^i) / (T^m a^x s_z^y b^q z^u \varepsilon^w)$$

Neophodno je da mašina alatka obezbedi brzine rezanja za različite kombinacije navedenih parametara.

Ova brzina je ustvari obimna brzina obradka ili alata prečnika D, pa se od mašine zahteva da raspolaze odgovarajućim brojem obrtaja - n.

$$n = \frac{V}{\pi d}$$

### Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

- Da bi se na bilo kom prečniku ili pri obradi alatom bilo kog prečnika mogla ostvariti zahtevana brzina rezanja, morala bi mašina raspolagati sa beskonačno mnogo različitih brojeva obrtaja. Prethodno se može ostvariti unutar određenog intervala (opsega) ( $n_{\min}$  -  $n_{\max}$ ):

$$n_{\min} = \frac{V_{\min}}{\pi d_{\max}} \quad n_{\max} = \frac{V_{\max}}{\pi d_{\min}}$$

i to primenom pogona sa kontinualnom promenom brojeva obrtaja:

- motori istosmerne struje,
- motori naizmenične struje sa promenom frekfencije,
- hidromotori,
- turbinski pogon,
- primenom kontinulanih (specijalnih) prenosnika.

### Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

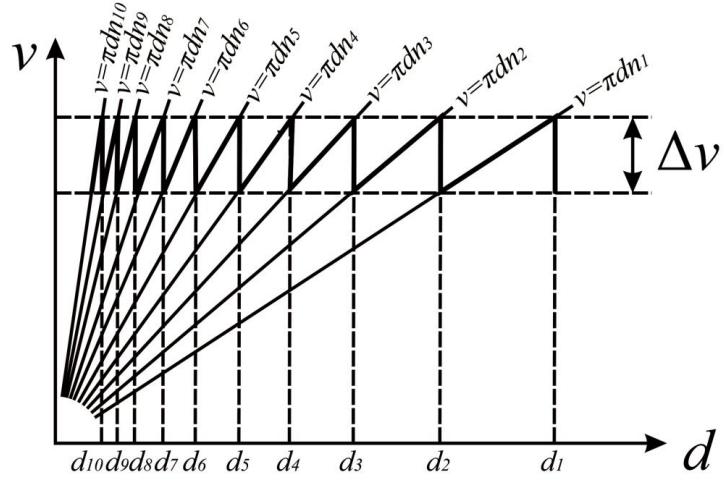
- Sve ovo se odražava na složenost mašine, odnosno njenu cenu, pa se u velikom broju slučajeva, bar kada je reč o konvencionalnim mašinama, promena brojeva obrtaja ostvaruje po određenim stupnjevima, koji predstavljaju neki matematički niz (aritmetički, geometrijski, ...), unutar usvojenog intervala (opsega):

$$n_1(n_{\min}), n_2, n_3, \dots, n_m(n_{\max})$$

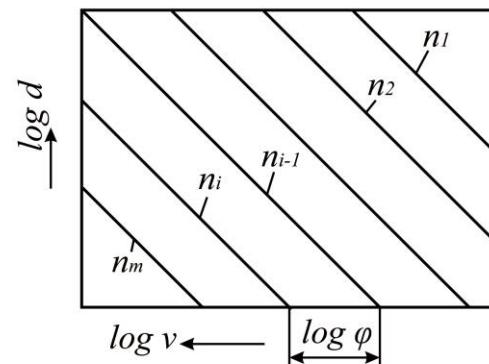
- Na osnovu prethodnog može se zaključiti da jednu od *tehnoloških karakteristika mašine alatke predstavljaju brojevi obrtaja određeni*:
  - ✓ graničnim vrednostima ,
  - ✓ brojem stupnjeva ,
  - ✓ vrstom promene ( za geometrijsku, kao najčešću korišćenu zakonitost).

## Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

- Ovi podaci se mogu predstaviti grafički u pravouglom koordinatnom sistemu ( $D, v$ ) u obliku familije pravih koje prolaze kroz koordinatni početak, i predstavlja radni dijagram maštine.
- Radni dijagram sliži za određivanje brojeva obrtaja za zadatu tehnološku brzinu i prečnik obradka (alata).
- Zbog oblika testeraste linije naziva se radni testerasti dijagram maštine, što je za slučaj geometrijske promene brojeva obrtaja.
- Ovi podaci se mogu predstaviti grafički u tzv. **radnom dijagramu** u funkciji prečnika. Za slučaj geometrijske zakonitosti, koja se najčešće koristi kod maština alatki za obradu rezanjem.



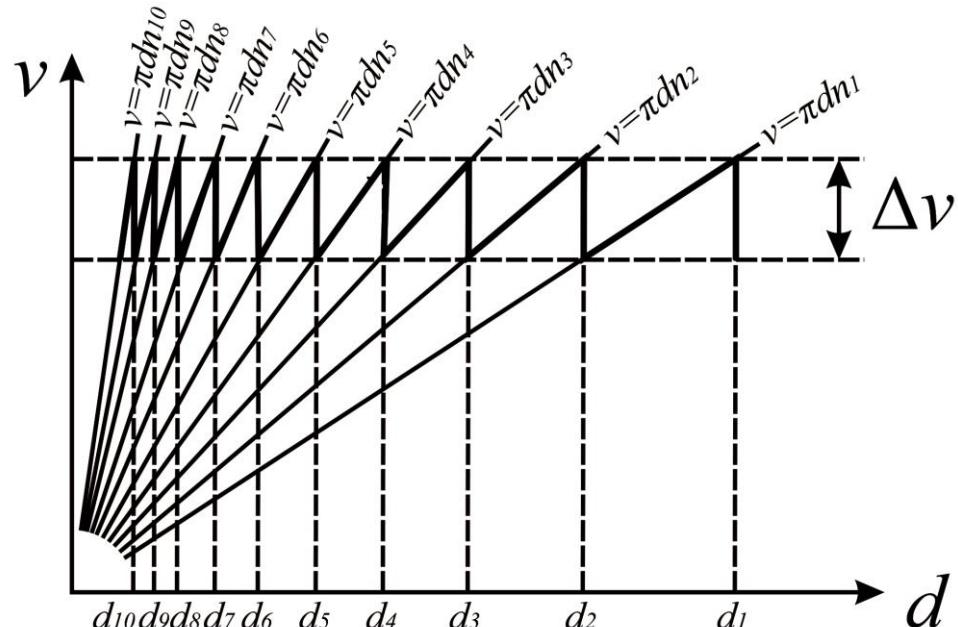
Radni testerasti dijagram



Radni logaritamski dijagram

### Tehnološke karakteristike - *Brojevi obrtaja*

- Brzina određena izrazom prema teoriji obrade rezanjem (tehnološka brzina) može se ostvariti samo na nekim prečnicima.
- U intervalu između njih neminovno je odstupanje od te brzine zbog prisustva samo nekih brojeva obrtaja, a najveće je  $\Delta v$  (maksimalni gubitak tehnološke brzine).
- Gubitak tehnološke brzine  $\Delta v$  je dopustiv u određenim granicama, a zavisi od faktora promene.
- Imajući u vidu da se kod mašina alatki faktor geometrijske promene kreće od  $\varphi = 1,12$  do  $\varphi=2$ , to relativni gubitak tehnološke brzine  $\Delta v [\%]$  iznosi od 10,7[%] do 50[%] respektivno.



### Tehnološke karakteristike - Maksimalni glavni otpor rezanja

- U zavisnosti od režima obrade javljaju se različita opterećenja koja deluju na mašinu.
- Najveće opterećenje, tj. glavni otpor rezanja koji mašina može da podnese (uz zadovoljavajuću tačnost obradka) predstavlja jednu od **tehnoloških karakteristika**. Kod struganja on je:

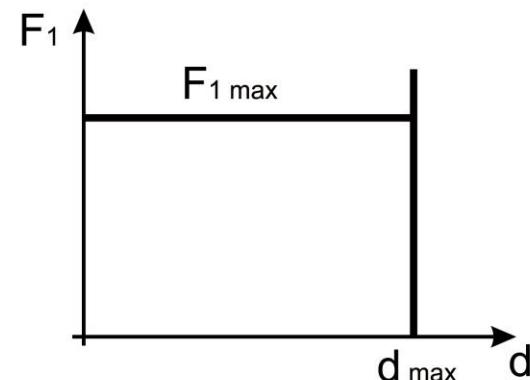
$$F_1 = C_k \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1}$$

- Kod obrade bušenjem (dvosečni alat) glavni otpori rezanja stvaraju moment koji se naziva moment bušenja, otpori prodiranja se uravnotežuju (isti pravac, suprotni smer), dok su otpori pomoćnog kretanja kolinearni pa se sabiraju i njihov zbir se naziva aksijalni otpor bušenja

$$F_3 = C_F \cdot D^{x_1} \cdot s^{y_1} \cdot k_F$$

- Otpor rezanja pri čeonom glodanju alatom od tvrdog metala (razmatrana kao veće vrednost u odnosu na obradu alatom od brzoreznog čelika)

$$F_m = z' \cdot F_{1m}; \quad F_{1m} = C_k a_{1\max}^{x_1} s^{y_1}$$



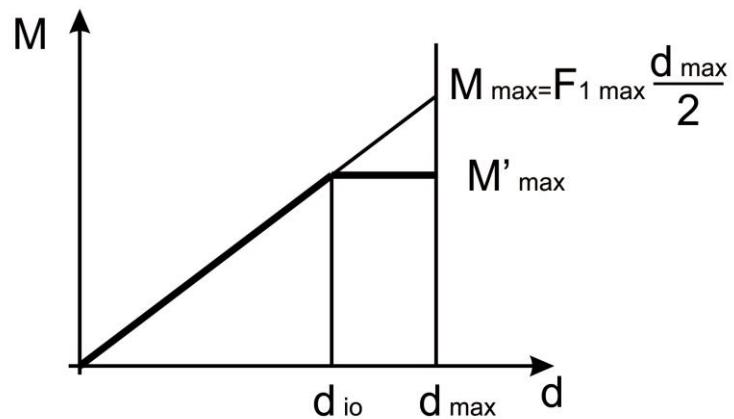
### Tehnološke karakteristike - **Maksimalni merodavni obrtni moment - $M'_{max}$**

Kod obrade struganjem, glavni otpor rezanja deluje na rastojanju  $D/2$  od ose rotacije, pa se na obradku javlja obrtni moment koji se prenosi na glavno vreteno mašine kao i sve druge elemente prenosnika za glavno kretanje.

$$M = F_1 \cdot \frac{d}{2}$$

U eksploataciji se vrlo retkojavljaju ekstremni slučajevi, tj. obrada najvećeg prečnika uz najveći glavni otpor rezanja, pa bi dimenzionisanje elemenata mašine alatke prema momentu  $M_{max}$  bilo, u opštem slučaju, neracionalno.

Zato se kod mašina univerzalne namene, tj. mašina predviđenih za rad u širokom opsegu režima i prečnika, definiše najveći dozvoljeni moment, tj. moment prema kojem se dimenzionišu elementi mašine alatke **maksimalni merodavni obrtni moment -  $M'_{max}$** .



### Tehnološke karakteristike - **Maksimalni merodavni obrtni moment - $M'_{max}$**

Imajući u vidu zadržavanje momenta na konstantnu vrednost u zoni velikih prečnika, to znači da tu mora doći do smanjenja jedne njegove komponente, a to je sila  $F_{1max}$ .

Do prečnika  $D_{io}$  može raditi i pri najtežim režimima (a da se pri tom čak ni ne dostigne moment na bazi kojeg je mašina projektovana), a iznad njega sa redukovanim režimima zbog opasnosti od prekoračenja najvećeg dozvoljenog momenta.

Drugim rečima to znači da je potpuno iskorišćenje maštine samo na prečniku  $D_{io}$ , koji se zato i zove "**idealni prečnik obrade**".

#### Bušenje

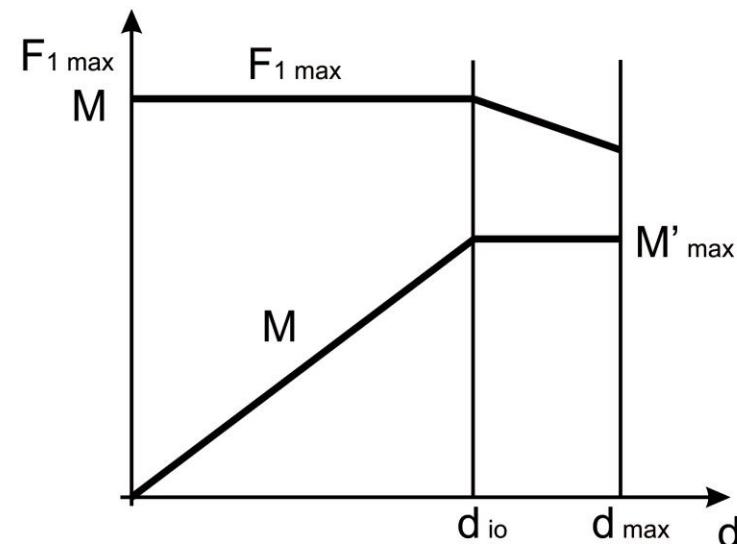
$$M'_{max} = C_m D_{io}^x s^y$$

#### Čeono glodanje

$$M'_{max} = \frac{z F_{1m} D_o}{2}$$

#### Obimno glodanje

$$M'_{max} = \frac{0,5 \cdot D_{max} \cdot s_{io} \cdot b \cdot k_{sm} \cdot a_{1max}}{v}$$



### Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Jedan od najvažnijih zadataka u projektovanju tehnologije obrade je određivanje pogonske snage, ali uzimajući u obzir i ekonomično iskorišćenje mašine.
- Kod specijalnih mašina kod kojih je u pitanju uža oblast primene, pogonska snaga se izračunava za manji dijapazon režima obrade, dononso, pri najvećoj sili, koja sledi iz predviđenog preseka strugotine, i brzini, pri usvojenoj postojanosti izabranog alata.

$$P = F \cdot v$$

- Kod univerzalnih mašina alatki se mora uzeti u obzir cela oblast primene i u toj oblasti odrediti optimalne režime rezanja na osnovu kojih će se proračunati potrebna snaga.
- Pri obradi struganjem je  $P_K = F \cdot v$

$$P_K = P_1 + P_2 + P_3 = \underbrace{F_1 \cdot v_1}_{\text{Glavni otpor rezanja}} + \underbrace{F_2 \cdot v_2}_{\text{Sila pomoćnog kretanja}} + \underbrace{F_3 \cdot v_3}_{\text{Otpor prodiranja}}$$

### Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Za slučaj – uzdužno struganje je  $P_2=0$  zbog  $v_2=0$  .
- U opštem slučaju je  $F_3 \approx 0.2F_1$ , i  $v_3 \leq 0.01v$  pa je  $P_3/P_1 = 0.002 = 0.2\%$ .
- U najnepovoljnijem slučaju je  $P_3 \leq 0.5P_1$ , pa je i ova komponenta zanemarivo mala, te se može smatrati da je  $P_k = P_1$  .
- Ulazna ili pogonska snaga (snaga pogonskog motora) mašine mora biti veća zbog neminovnih gubitaka pri prenosu energije od pogona do procesa obrade, što se iskazuje stepenom iskorišćenja  $\eta$ , pa je potrebna pogonska snaga:

$$P = \frac{F_1 \cdot v}{\eta}$$

- Ugradnja pogona snage koja bi zadovoljila i najteže uslove rada

$$P_{\max} = F_{1\max} \cdot v_{\max} / \eta$$

bila bi skupa i neopravdana, obzirom da  $F_{1\max}$  odgovara gruboj, a  $v_{\max}$  završnoj obradi.

Pitanje realne najnepovoljnije kombinacije ovih parametara razmatra se sa dva aspekta: **alata, tj. potpunog iskorišćenja njegove postojanosti i mašine, odnosno potpunog iskorišćenja preseka strugotine.**

## Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

a) Snaga obzirom na iskorišćenje postojanosti alata ( $T=\text{const.}$ )

$$P_A = \frac{F_1 \cdot v}{\eta} = \frac{C_K \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1} \cdot v}{\eta}$$

vitkost strugotine je:  $g = \frac{a}{s}$      $a = g \cdot s$

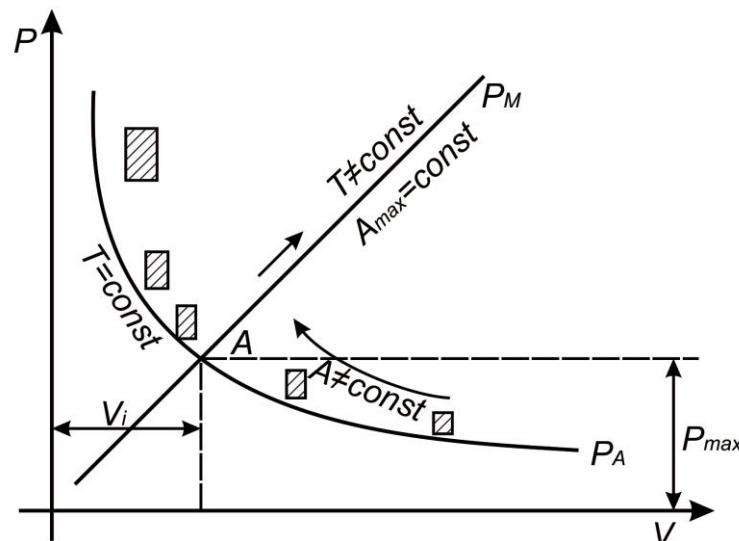
$$s = \left( \frac{C_v}{g^x \cdot v} \cdot \xi_m \cdot \xi_k \cdot \xi_T \right)^{x+y}$$

$$P_A = \frac{C_A}{\eta} \cdot v^z \quad z = 1 - \frac{x_1 + y_1}{x + y} < 0$$

b) Snaga obzirom na iskorišćenje preseka strugotine  $A_{max}$ , tj.

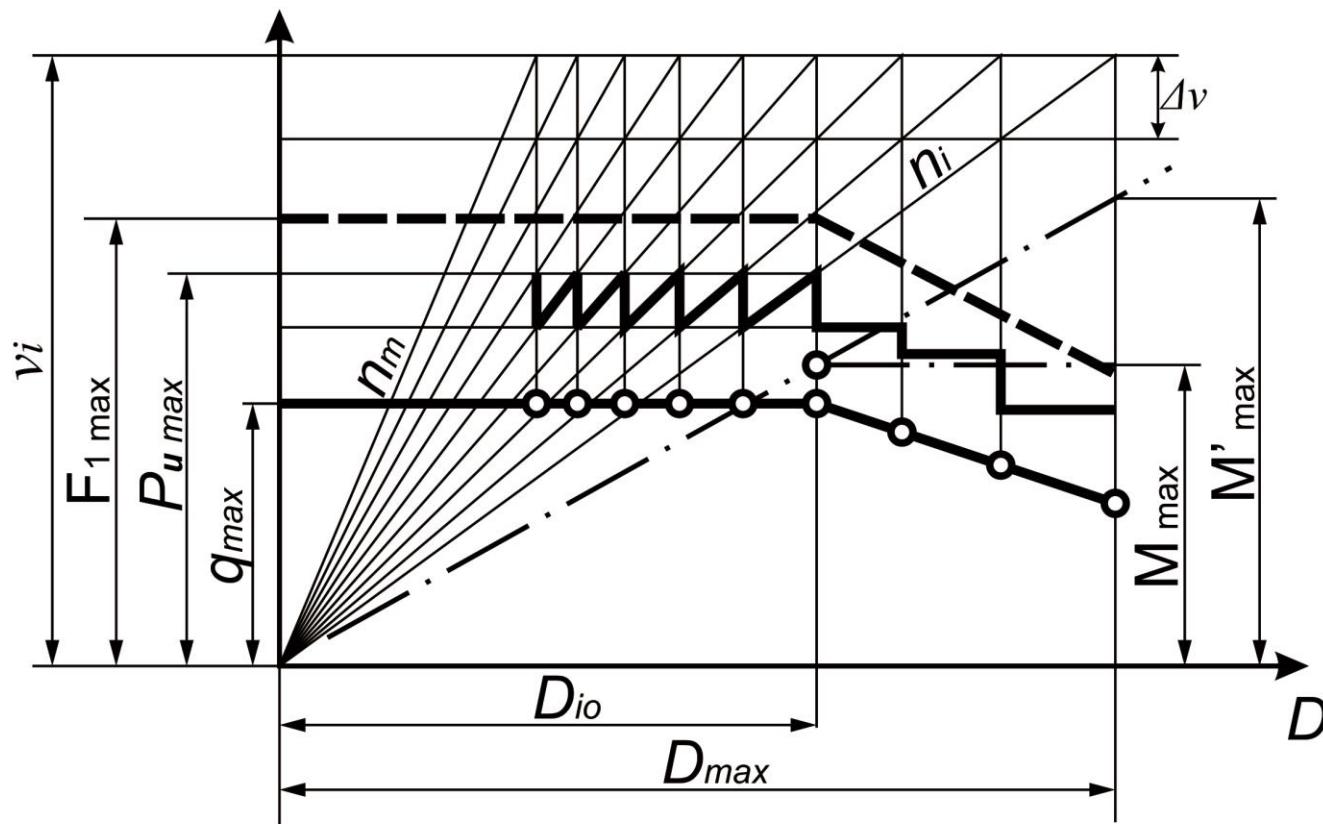
$$P_M = \frac{F_{1\max} \cdot v}{\eta} = \frac{C_M \cdot v}{\eta}$$

Pogonska snaga  $P_{\max}$ , kao jedna od tehnoloških karakteristika mašine alatke, ostvaruje se pri istovremenom iskorišćenju usvojene postojanosti i preseka strugotine pri brzini rezanja  $v_i$  koja se stoga i naziva "idealna" brzina.



## Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Sve karakteristike u potpunosti iskorišćene samo na idealnom prečniku  $D_{io}$ .



Tehnološke karakteristike maštine alatke u radnom dijagramu

### Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Rad mašine sa manjim brzinama od  $v_i$  je moguć, ali samo sa snagom do limitirajuće prave  $P_M$  (da ne bi došlo do preopterećenja mašine).

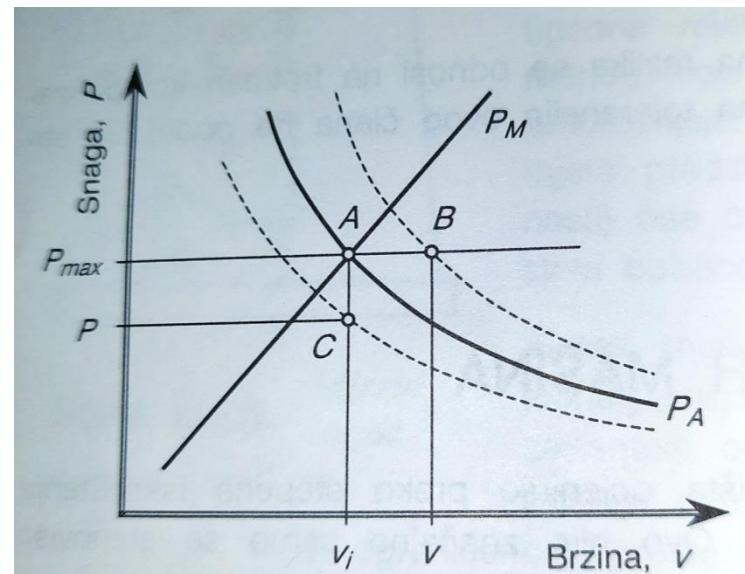
To znači da se ne može iskoristiti u potpunosti ugrađena pogonska snaga  $P_{max}$ , uz prateće povećanje glavnog vremena izrade (zbog smanjenja brzine), kao i iz istog razloga smanjenja količine skinute strugotine.

- Povećanje brzine u odnosu na  $v_i$  je takođe moguće. Pri tome se opet može iskoristiti ugrađena snaga zbog limitirajuće krive  $P_A$ .

Količina strugotine se i u ovom slučaju smanjuje iako je brzina veća, zbog intenzivnijeg pada preseka strugotine. Povoljna je okolnost što se vreme izrade smanjuje.

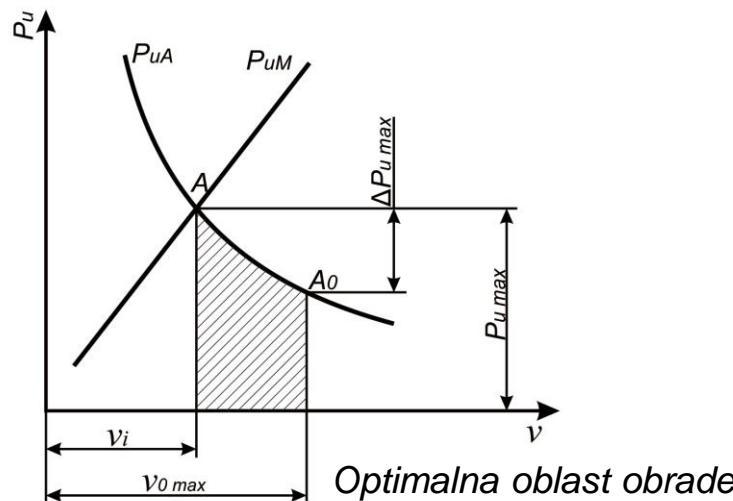
$P_A$  – snaga u oblasti potpunog iskorišćenja mašine (preseka strugotine)

$P_M$  – snaga u oblasti potpunog iskorišćenja postojanosti alata



## Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

- Promena brzine rezanja na mašini sa predviđenom vrstom alata zahteva određenu snagu, i moguće kombinacije su unutar šrafiranog područja na desnoj slici.
- Eksploracija mašine sa manjim brzinama rezanja nema smisla, jer je glavno vreme obrade veće, a količina skinute strugotine u jedinici vremena manja.
- Povećanjem brzine iznadne  $v_i$ , smanjuje se  $t_g$  što je povoljno, ali se sada smanjuje količina skinute strugotine zbog manjeg preseka strugotine.
- To je tipičan slučaj završne obrade. Teorijski bi za slučaj  $v = \infty$  bilo  $t_g = 0$ , ali i količina skinute strugotine  $Q = a * s * v = A * v = 0$  zbog  $A=0$ .
- Povećanje brzine iznad  $v_i$  očito, ima opravdanja samo do neke granice  $v_{0\max}$ .



## Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Količina skinute strugotine u jedinici vremena (za slučaj struganja) je:  $Q = a * s * v$  [m<sup>3</sup>/s] ili  $Q = g * s^2 * v$  [m<sup>3</sup>/s]

Odnos količina skinute strugotine pri radu sa brzinom  $v_{0max}$  u odnosu na  $v_i$  zove se proizvodni stepen iskorišćenja i on je:

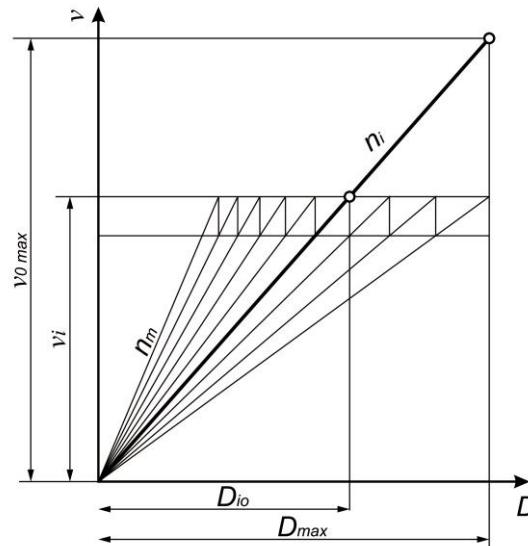
$$\eta_Q = \frac{g \cdot s^2 \cdot v_{0max}}{g \cdot s_{max}^2 \cdot v_i}$$

Eliminisanjem pomaka, proizvodni stepen iskorišćenja se može izraziti samo kao funkcija brzine:

$$\eta_Q = \left( \frac{v_i}{v_{0max}} \right)^{\frac{2}{x+y}-1} \quad \frac{v_i}{v_{0max}} = \eta_Q^{\frac{x+y}{2-x-y}}$$

**Idealni broj obrtaja** je broj pri kojem se na najvećem prečniku postiže brzina  $v_{0max}$ . Prečnik na kome se, uz isti broj obrtaja, ostvari idealna brzina  $v_i$ , predstavlja - **idealni prečnik obrade**.

$$D_{io} = (0,7 - 0,8) D_{max}$$



### Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Pogonska snaga  $P_{max}$ , samo delimično pokazuje "kvalitet" mašine u pogledu njenih tehnoloških karakteristika.

Pitanje je, naime, koji njen deo se može iskoristiti za proces obrade, tj. kao korisna snaga -  $P_K$ . Globalan odgovor na to daje stepen iskorišćenja kao odnos korisne i ulazne snage -  $\eta$ , čija najveća vrednost može biti  $P_{max}$ :

$$\eta = \frac{P_K}{P}$$

Drugi način prikaza ulazne pogonske snage je:

$$P = P_K + P_O = P_K + P'_O + P''_O$$

$P_O$  - snaga gubitaka pri radu mašine;

$P'_O$  - snaga gubitaka pri radu mašine u praznom hodu;

$P''_O$  - dopunska snaga gubitaka zbog povećanih opterećenja na pokretnim elementima;

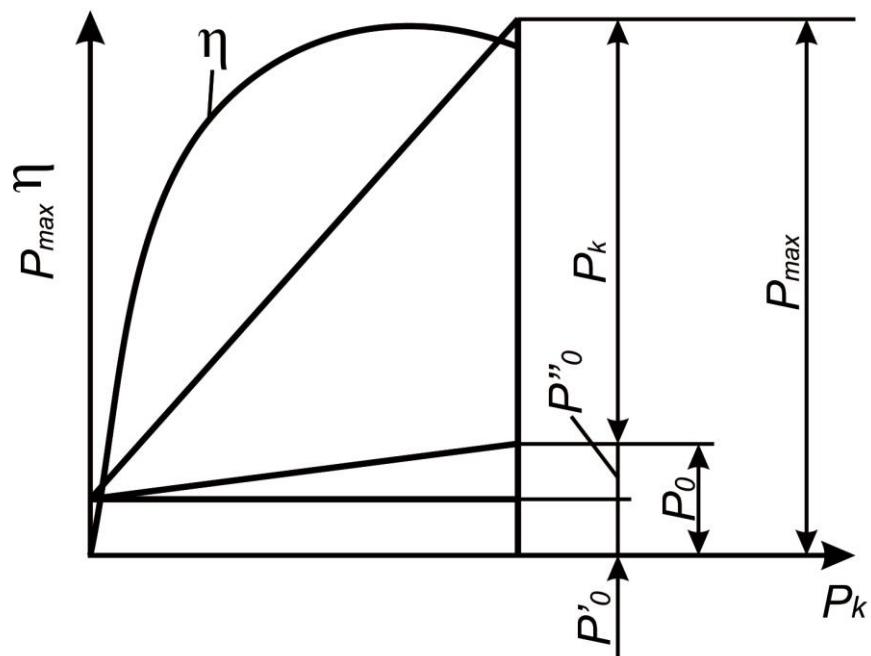
## Tehnološke karakteristike - *Pogonska snaga*

Koeficijent korisnog dejstva je:

$$\eta = P_k/P = (P-P_o)/P = 1-(P_o/P) = P_k/(P_k+P_o) = 1/(1+P_o/P) ;$$

$$\eta = f(P_k, P_o)$$

Vrednosti  $\eta$  kada mašina sa glavnim obrtnim kretanjem su **0,75-0,85**, a sa glavnim pravolinijskim kretanjem **0,65-0,75**.



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI -Eksplotacione karakteristike-**

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI**

**-Eksplotacione karakteristike-**  
**STATIČKO PONAŠANJE**

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

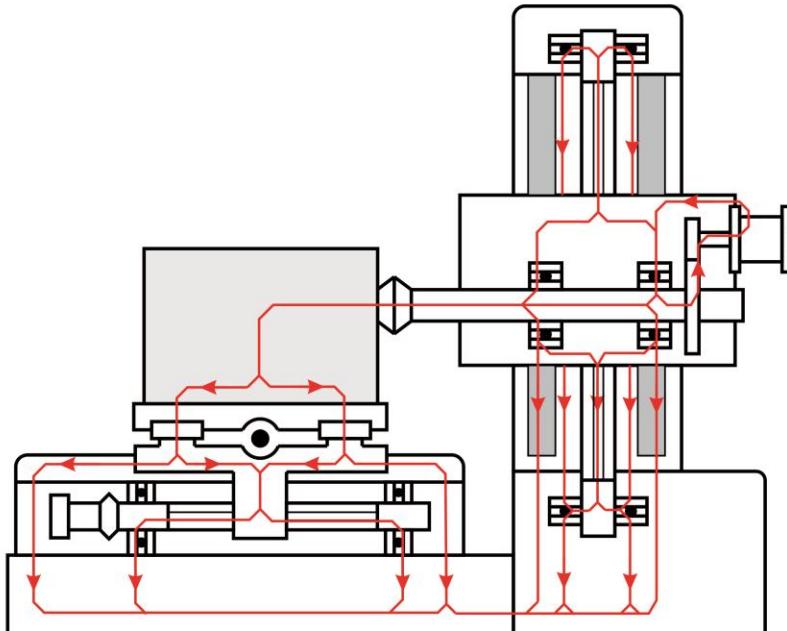
### Osnovni pojmovi i definicija krutosti

- Krutost mehaničkog sistema se može definisati kao sposobnost sistema da prenosi opterećenja uz neznatne promene geometrije.
- Identifikovana je kao jedna od najvažnijih konstrukcionalnih karakteristika mehaničkih sistema. To važi i za sisteme sa visokim zahtevima za tačnošću, kao što su mašina alatke i industrijski roboti.
- Krutost se može odraziti na efekte mašina alatki zbog dinamičke stabilnosti, otpornosti na habanje, tačnosti i produktivnosti.
- Smatra se jednom od najvažnijih konstrukcionalnih karakteristika mašina alatki, a za razliku od drugih mehaničkih sistema, **konstrukcije mašina alatki se dimenzionisu u odnosu na kriterijume krutosti.**
- Visoka statička krutost maštine alatke je uslov za tačno održavanje položaja alata u odnosu na obradak tokom obrade i direktno utiče na dimenzionalnu tačnost izradka.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Osnovni pojmovi i definicija krutosti

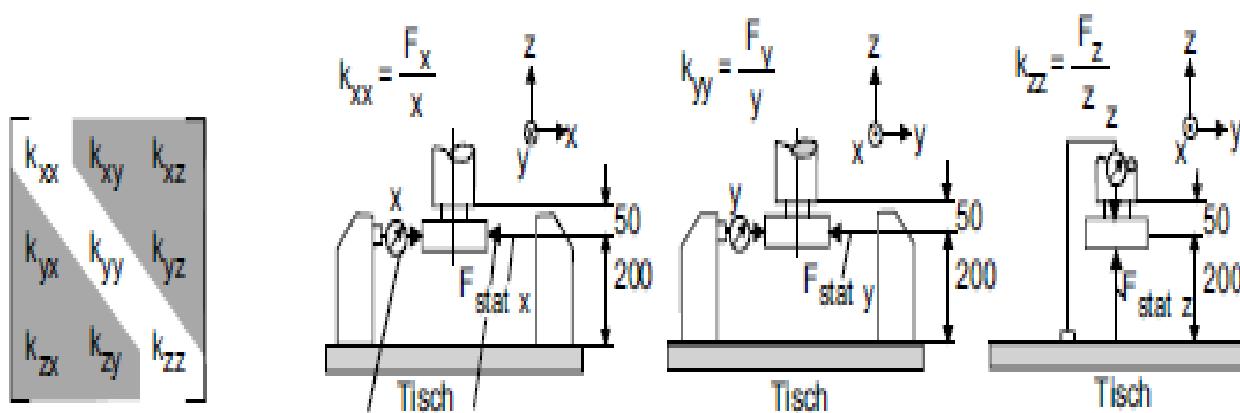
- Statičke sile koje se prostiru kroz petlju krutosti i spojeve između komponenti uzrokujući da se elementi izloženi dejstvu sile deformišu.
- Pri razmatranju statičkog ponašanja mašina alatki se definiše odziv maštine, tj. pomeraji njenih vitalnih elemenata uzrokovani dejstvom statičkih i kvazi statičkih sila.
- U cilju definisanja krutosti maštine alatke potrebno je definisati krutost vitalnih elemenata, odnosno elemenata u toku sile. Tok sila u nosećoj strukturi maštine alatke treba da je zatvoren i da su sile u statičkoj ravnoteži.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Osnovni pojmovi i definicija krutosti

- Statička krutost mašina alatki se definiše kao odnos statičke sile, koja deluje između alata i obradka u pravcu normalnom na obrađenu površinu, i elastičnog ugiba u tačaki dejstva sile.
- Sila koja deluje u jednom koordinatnom pravcu izaziva pomeranja u sva tri koordinatna pravaca, pa je krutost maštine alatke definisana matricom krutosti.
- Maštine alatke se odlikuje visokom tačnošću, čak i pri "teškim" režimima obrade. To zahteva veoma visoku krutost elemenata i noseće strukture maštine alatke.
- Krutost noseće strukture prvenstveno određuje krutost komponente (komponenti) najveće popustljivosti u toku sile.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Osnovni pojmovi i definicija krutosti

- Pristup razmatranju odziva mehaničkog sistema izloženog dejstvu statičkih sila može biti sa stanovišta razmatranja: naponskog i deformacionog stanja. Kod mašina alatki određuje se deformaciono stanje .
- Analiza statičkog ponašanja nekog sistema može se izvoditi analitičkim i eksperimentalnim metodama.
- Analitičke metode baziraju na poznavanju i primeni otpornosti materijala, a danas uz primenu računara koriste se i savremene numeričke metode - metod konačnih elemenata.
- U najjednostavnijem matematičkom izrazu statička krutost se može definisati i kao skalarni odnos sile i njome izazvane deformacije :

$$C=F/y$$

- Eksperimentalno ispitivanje statičkog ponašanja mašine alatke moglo bi se izvoditi pri samom procesu obrade, koji je izvor sile, uz njeni merenje, kao i merenje deformacija pojedinih elemenata mašine.
- Proces obrade je izvor i drugih poremećajnih faktora, osim statičke sile, a njegovo izvođenje praćeno je odgovarajućim troškovima **pa je zato pogodnije ispitivanje pri simulaciji procesa.**

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

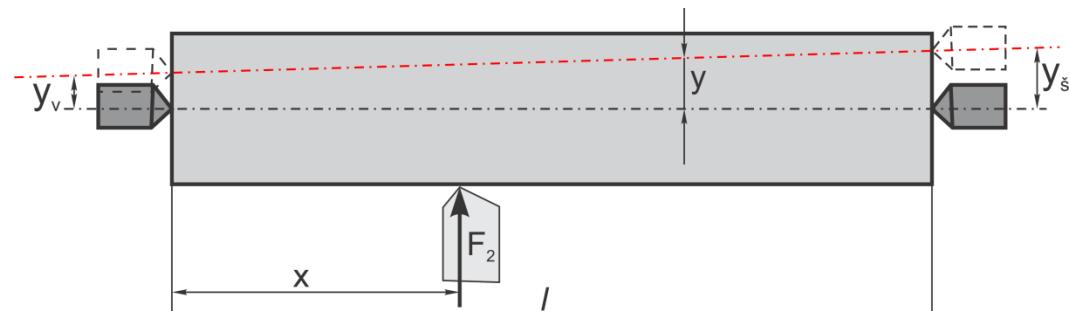
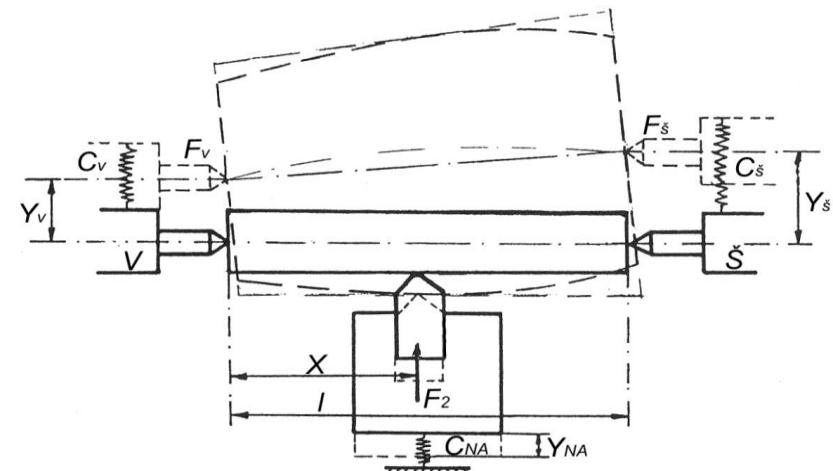
### Krutost elementa mašine alatke

- Statička krutost mašine alatke je definisana krutošću njenih elemenata.
- S druge strane obradak ima svoju krutost, pa se, uzimajući u obzir statička krutost mašine i obradka govori o statičkoj krutosti obradnog sistema koji se sastoji od mašine, alata, pribora i obradka (MAPO).
- Ukupno relativno pomeranje između alata i obradka je:  $y = y_v + y_{NA} + y_s$

$y_v$  – pomeranje nastalo usled deformacija vretena

$y_{NA}$  - pomeranje nastalo usled deformacija nosača alata

$y_s$  - pomeranje nastalo usled deformacija šiljka



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Krutost elementa mašine alatke

- Tačka delovanja opterećenja ( $F_2$ ) se menja (uzdužno po x koordinati) i relativni uticaji elemenata sa različitim krutostima se menjaju te se njihov uticaj na ukupnu krutost ne mogu zanemariti.
- Usled delovanja sile  $F_2$  javljaju se sile reakcije na vretenu i šiljku u obliku:

$$F_v = F_2 \left( 1 - \frac{x}{l} \right) \quad F_{\check{s}} = F_2 \frac{x}{l}$$

Pomeranje ose vretena i šiljka u skladu sa njihovim krutostima  $C_v$  i  $C_{\check{s}}$  je:  $y_v = \frac{F_v}{C_v}$ ;  $y_{\check{s}} = \frac{F_{\check{s}}}{C_{\check{s}}}$

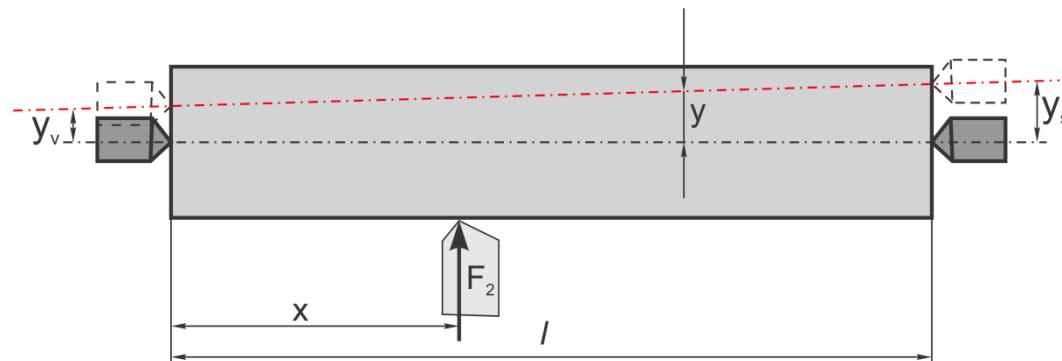
Pomeranje ose radnog predmeta u odnosu na položaj alata je :

$$y = y_v + (y_{\check{s}} - y_v) \frac{x}{l} = F_2 \frac{C_{\check{s}} [1 - (x/l)]^2 + C_v (x/l)^2}{C_v C_{\check{s}}};$$

$$\alpha = C_v / C_{\check{s}}$$

$$y = \frac{F_2}{C_v} \left[ \left( 1 - \frac{x}{l} \right)^2 + \alpha \left( \frac{x}{l} \right)^2 \right]$$

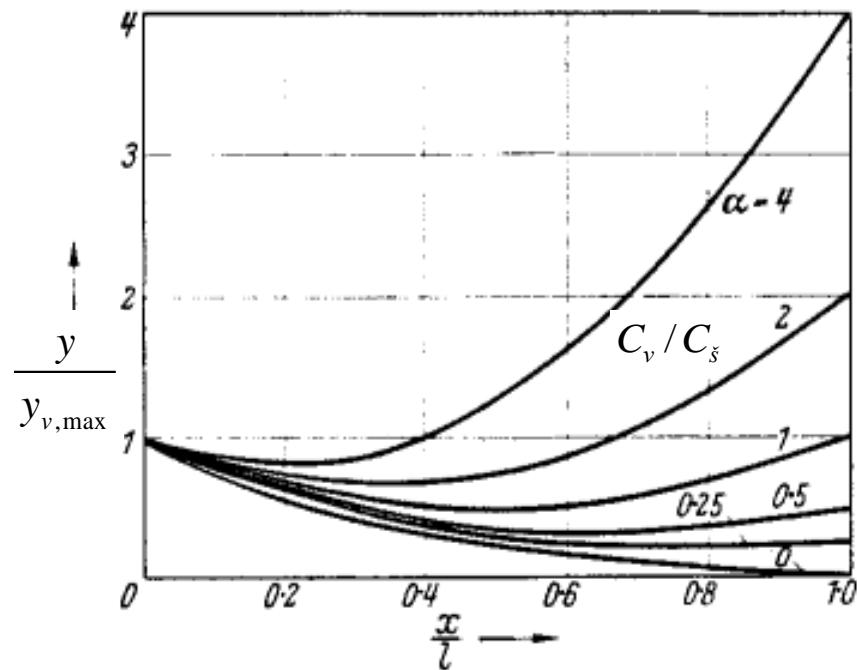
$$\frac{y}{y_{v,\max}} = \left( 1 - \frac{x}{l} \right)^2 + \alpha \left( \frac{x}{l} \right)^2$$



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Krutost elementa mašine alatke

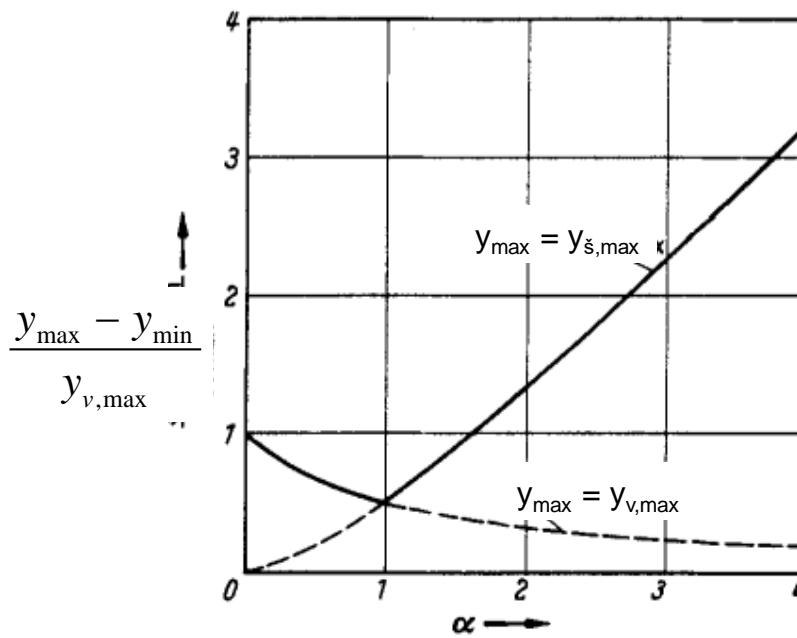
- Zbog pomeranja nosača alata, dolazi do promene dimenzije – prečnika, koja zavisi od razlike između maksimalnog i minimalnog pomeranja ose radnog predmeta u odnosu nosač alata.
- Usled pomeranja vrha glavnog vretena (utiče ceo sklop glavnog vretena) i zadnjeg šiljka (utiče ceo sklop konjića) takođe se menja oblik obradka, a zbog njihovih različitih vrednosti se menja i oblik obradka iz cilindra u konus.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Krutost elementa mašine alatke

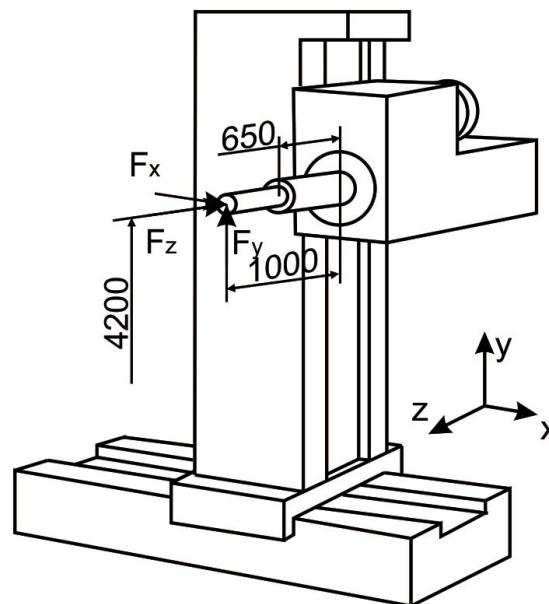
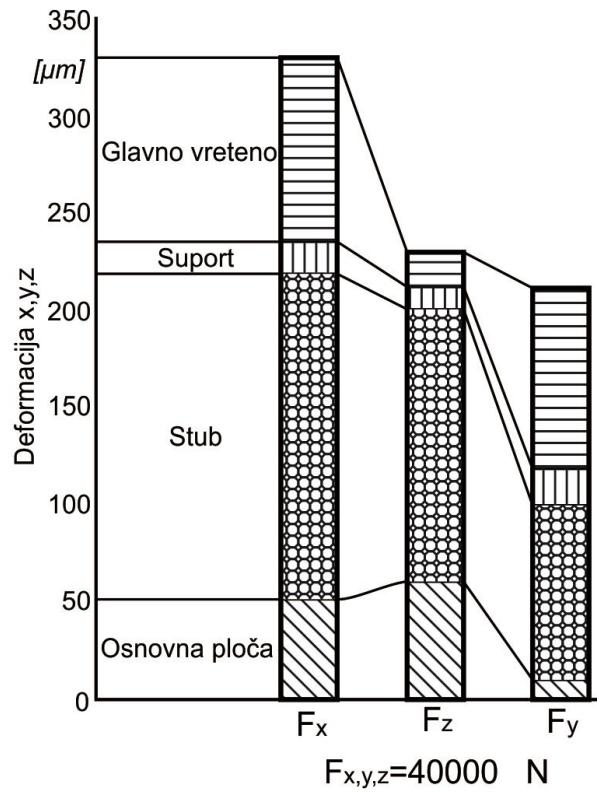
- Kada je  $\alpha < 1$  maksimalno pomeranje se javlja  $y_{\max}$  na glavnom vretenu ( $y_{\max} = y_{v,\max}$ ).
- U slučaju kada je  $\alpha > 1$ , krutost sklopa šiljka je manja od krutosti vretena (najčešća varijanta), maksimalno pomeranje se javlja na šiljku ( $y_{\max} = y_{s,\max}$ ).
- Odsupanje od oblika će biti minimalno za slučaj  $\alpha = 1$ , odnosno kada su krutosti oba elementa jednake.
- Krutosti različitih elemenata mašine moraju biti izbalansirana- velika krutost jednog elementa bi trebalo da se razlikuje za relativno malu vrednost od krutosti drugog elementa.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Krutost elementa mašine alatke

Analiza deformacija pojedinih elemenata noseće strukture horizontalne bušilice - glodalice



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

Elementi mašina alatki su opterećeni statičkim silama različitog porekla pa se pod eksperimentalnim ispitivanjem statičkog ponašanja mašina alatki podrazumeva definisanje uticaja:

- težine obradka i
- sila iz procesa rezanja na deformacije elemenata i maštine kao celine, i
- "kritičnog elementa" maštine alatke pri statičkom ili kvazi-statičkom opterećenju.

#### Uticaj težine obradka

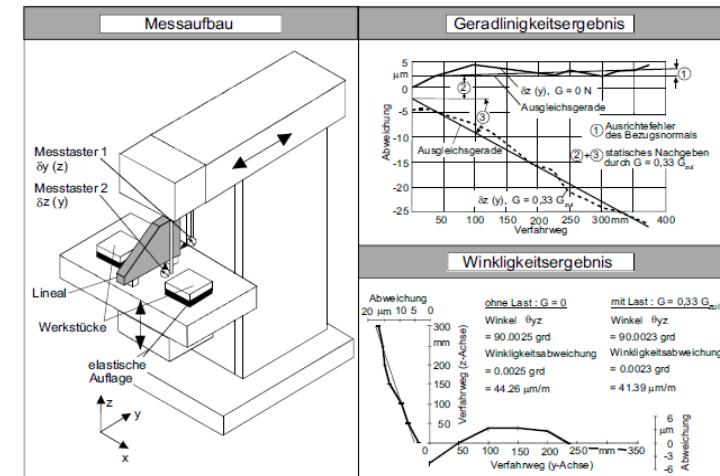
- Kada je težina obradka mala u poređenju sa silom iz procesa obrade (npr. obrada na presama) ili ako je obradak mali (lake konzolne glodalice i strugovi) uticaj njegove mase se može zanemariti.
- Opterećenje struga težinom obradka uglavnom dovodi do pomeranja ose rotacije glavnog vretena, što rezultira odstupanjem od paralelnosti ose obradka i kretanja klizača u pravcu "z"-ose.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Uticaj težine obradka

- Opterećenje mase obratka može biti dominantno kod srednje teških i teških mašina alatki.
- Kod glodalica na primer, zbog svoje težine, obradak vrši pritisak na radni sto, koji se preko vođica i ostalih elemenata noseće strukture prenosi na temelj.
- Svi elementi noseće strukture koji se nalaze u toku sile težine obradka su manje ili više deformisani.
- Kada se radni sto kreće pomera se i vektor opterećenja mase obradka, što rezultira promenom sila i momenta reakcije na vođicama konzole na stubu mašine, što dovodi do promenljivih deformacija.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Uticaj sila (opterećenja) iz procesa obrade

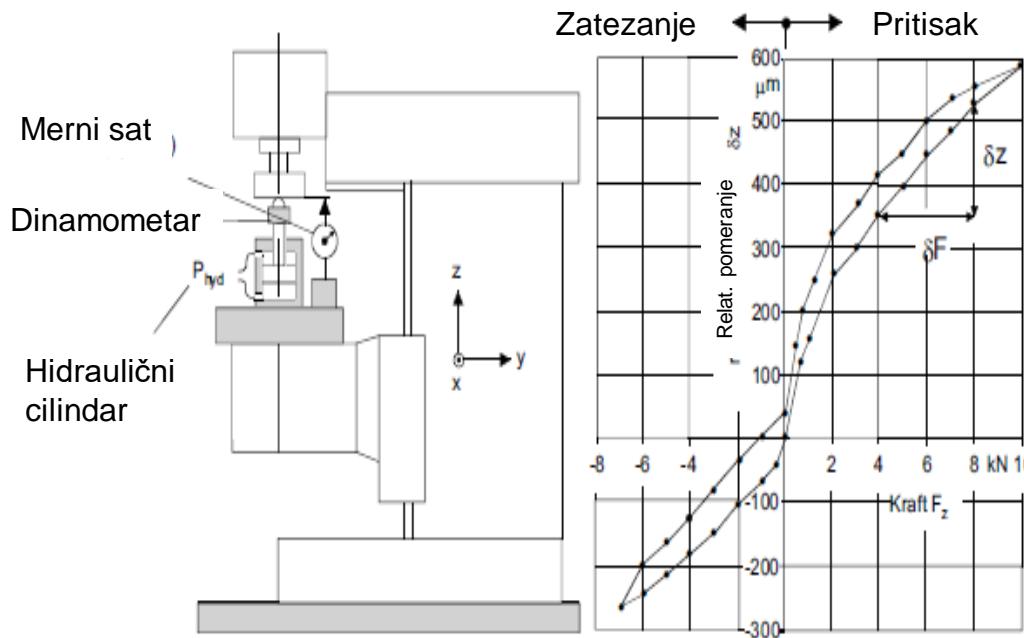
- Pri definisanju statičkog ponašanja mašina alatki najčešće se misli na određivanje krutost usled sila rezanja.
- Merenje statičke krutosti nije definisano standardima.
- Postojeći nacionalni i međunarodni standardi (npr. ISO 230, ISO 10791-7, ASME B5.54) daju smernice i preciziraju metode i merne instrumente za ispitivanje i procenu tačnosti mašina alatki.
- Merenja se definišu za jedan položaj i pravac, zanemarujući karakterizaciju statičke krutosti maštine alatke u celom radnom prostoru.
- Pri merenju statičke krutosti, pomeranje (deformacija) na mestu kontakta alata i obradka se procenjuje kao rezultat simuliranog statičkog opterećenja iz procesa.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Uticaj sila (opterećenja) iz procesa obrade

- Snimljena karakteristika predstavlja direktnе staticke deformacije.
- Nakon poništavanja zazora u ležajevima, vođicama i spojevima, krutost sistema se povećava s povećanjem opterećenja. Usled promenjenih uslova kontakta u spojevima često nastaje histerezis.

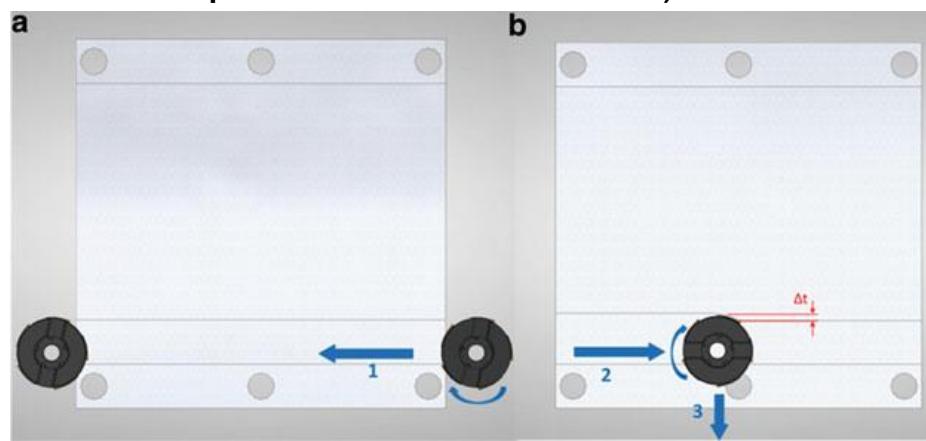


## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Uticaj sila (opterećenja) iz procesa obrade

- Za ispitivanje statičke krutosti mašina alatki mogu se koristiti i opterećenja iz samog procesa rezanja.
- Obrađuju se posebno projektovani uzorci, tako projektovani da generišu unapred definisane sile tokom procesa obrade. Delovi se zatim mere i procenjuju, kako bi se izvukli zaključci o ponašanju maštine alatke.
- U slučaju ispitivanja konzolnih glodalica, ispitni obradak se obrađuje suprotmosmernim glodanjem duž jedne strane (1). Kada alat izađe iz zahvata menja se smer pomoćnog kretanja tako da se u povratnom hodu izvodi istosmerno glodanje (2). U povratnom hodu alat se zaustavlja na sredini obradka i izvlači iz zahvata (3). Razlika u obrađenoj ivici ( $\Delta t$ ) uzima se kao mera deformacije maštine (mereno u pravcima osa X, Y i Z).



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Eksperimentalno ispitivanje statičkog ponašanja maštine alatke moglo bi se izvoditi pri samom procesu obrade, koji je izvor sile, uz njeno merenje, kao i merenje deformacija pojedinih elemenata maštine.
- Proces obrade je izvor i drugih poremećajnih faktora, osim statičke sile, a njegovo izvođenje praćeno je odgovarajućim troškovima (energija, alat, materijal obratka itd.) pa je zato pogodnije i češće prisutno ispitivanje pri simulaciji procesa.
- Pri uzdužnoj obradi struganjem prisutni su otpori rezanja  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_3$ . Zbog odnosa njihovih vrednosti 5:2:1, kao i njihovog pravca i smera, uticaj komponente  $F_3$  na tačnost obratka je zanemarljiv.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Promene dimenzije obratka - njegovog prečnika, zbog deformacija izazvanih silama  $F_1$  i  $F_2$  su prvenstveno vezane za elemente mašine: nosač alata i klizače.

Deformacije usled dejstva otpora  $F_1$ :  $\Delta D_1 = 2\Delta x_1$

Deformacije usled dejstva otpora  $F_2$ :  $\Delta D_2 = 2\Delta x_2$

Prečnik obradka nakon deformacije pod dejstvom otpora  $F_1$  i  $F_2$  u opštem slučaju iznosi

$$D_i = D + 2\Delta x_1 + 2\Delta x_2$$

Za slučaj dejstva otpora  $F_1$ :

$$D_1 = D + 2\Delta x_1$$

$$(R + \Delta x_1)^2 = R^2 + \Delta z^2; R^2 + 2R \cdot \Delta x_1 + \Delta x_1^2 = R^2 + \Delta z^2$$

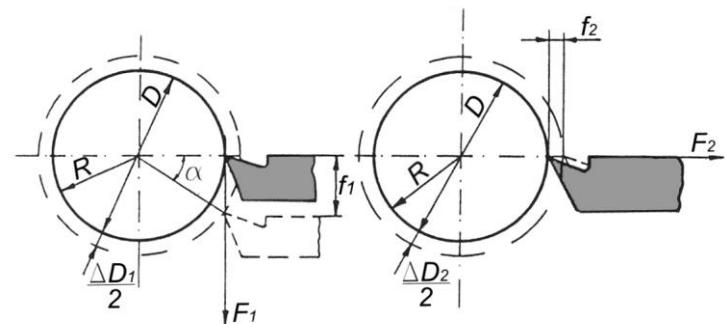
$$2R \cdot \Delta x_1 = \Delta z^2; \Delta x_1 = \Delta z^2 / D; D_1 = D + 2 \Delta z^2 / D$$

$\Delta z^2 / D$  je zanemarljivo malo

Za slučaj dejstva otpora  $F_2$

$$D_2 = D + 2\Delta x_2 = 2(R + \Delta x_2)$$

$$D_2 = D + 2 \Delta x_2$$



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

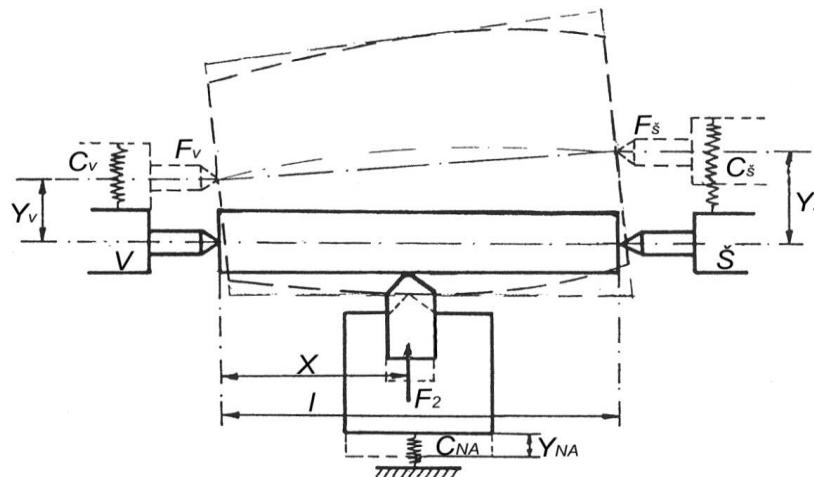
### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Uticaj dejstava sile  $F_2$  nije zanemarljiv jer se radi o sili normalnoj na obrađenu površinu.
- Njihov odnos, tj. odnos netačnosti dimenzije obratka zbog prisustva otpora  $F_1$  i  $F_2$  je u opštem slučaju:

$$\frac{\Delta D_1}{\Delta D_2} < 0,01 = 1\%$$

- Najveći uticaj na tačnost obradka ima sila „otpor prodiranja- $F_2$ “, tako da je dovoljno samo nju simulirati.



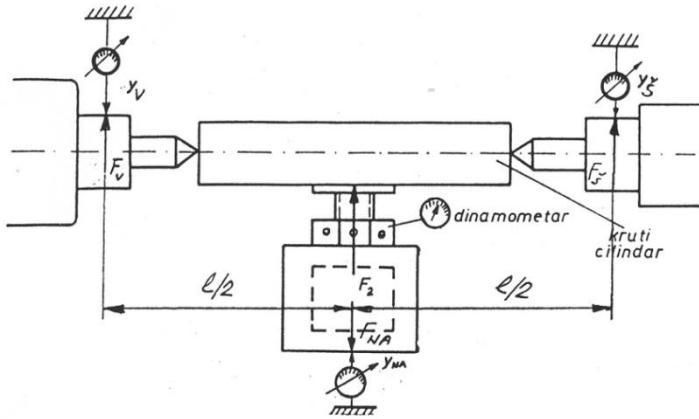
Pomeraji elemenata mašine pri dejstvu sile  $F_2$

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

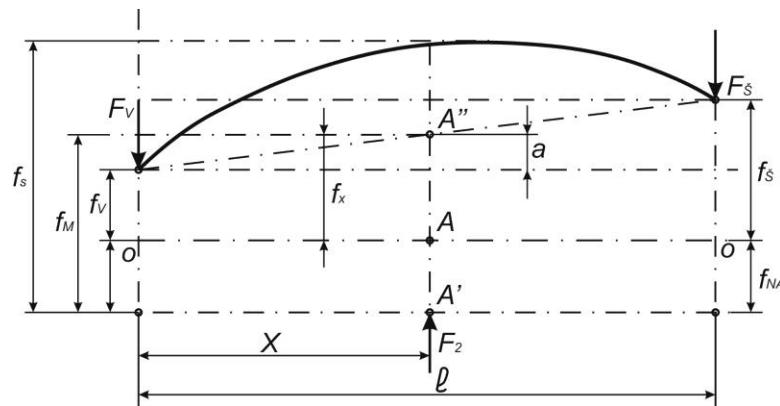
### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Da bi se izvršilo eksperimentalno ispitivanje neophodna je merna instrumentacija: dinamometar za registrovanje simulirane sile  $F_2$  i merni satove (komparatore) za registrovanje pomeranja tri vitalna elementa najuticajnija na tačnost obradka.



Dispozicija merenja statičke krutosti struga



Parametri određivanja statičke krutosti struga

- U neopterećenom stanju mašine, izvodnica cilindričnog obradka je paralelna osi mašine i označena je linijom 0-0. Na njoj se nalazi tačka dodira vrha alata i radnog predmeta - A.

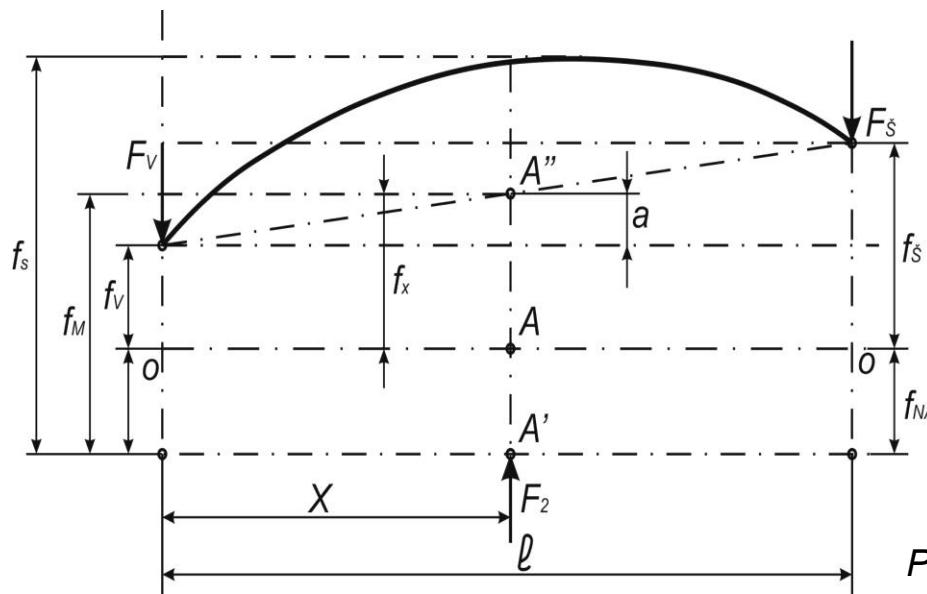
## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Pri dejstvu sile ( $F_2$ ), vrh alata se usred deformacije njegovog nosača pomera za  $f_{NA}$ , u položaj A'. Istovremeno se i tačka A koja pripada radnom predmetu pomerila u poziciju , tj. za vrednost  $f_x$ , kao posledice deformacije sklopa glavnog vretena  $f_v$  (levog oslonca) i deformacije sklopa šiljka konjica  $f_s$  (desnog oslonca).
- Ukupno razdvajanje od prethodno zajedničke tačke A zbog dejstva sile  $F_2$  iznosi:  $f_M = f_{NA} + f_x$ . Pri tome je:

$$f_x = f_v + a ; \quad a = (f_s - f_v) * x / l$$



Parametri određivanja statičke krutosti struga

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Deformacije mašine, a samim tim i njena krutost zavisi od rastojanja dejstva sile od vrha vretena  $x$ , unutar raspona šiljaka  $l$ .
- Kada se statička krutost struga želi izraziti jednom brojnom vrednošću usvaja položaj sile na polovini raspona šiljaka, tj.  $x=l/2$ . U tom slučaju je:

$$f_x = \frac{(f_v + f_{\check{s}})}{2} \quad f_M = \frac{f_{NA} + (f_v + f_{\check{s}})}{2}$$

$$\frac{F_2}{C_m} = \frac{F_{NA}}{C_{NA}} + \left( \frac{F_v}{C_v} + \frac{F_s}{C_s} \right)$$

- Statička krutost mašine (u obliku njene recipročne vrednosti - popustljivosti) se može odrediti uz poznate krutosti nosača alata, sklopa glavnog vretena i sklopa šiljka konjica. Njihovi izrazi su:

$$C_{NA} = \frac{F_{NA}}{f_{NA}} = \frac{F_2}{f_{NA}}; \quad C_v = \frac{F_v}{f_v} = \frac{F_2}{2f_v}; \quad C_{\check{s}} = \frac{F_{\check{s}}}{f_{\check{s}}} = \frac{F_2}{2f_{\check{s}}}$$

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Deformacije mašine, a samim tim i njena krutost zavisi od rastojanja dejstva sile od vrha vretena  $x$ , unutar raspona šiljaka  $l$ .
- Kada se statička krutost struga želi izraziti jednom brojnom vrednošću usvaja položaj sile na polovini raspona šiljaka, tj.  $x=l/2$ . U tom slučaju je:

$$f_x = \frac{(f_v + f_{\check{s}})}{2} \quad f_M = \frac{f_{NA} + (f_v + f_{\check{s}})}{2}$$

$$\frac{F_2}{C_m} = \frac{F_{NA}}{C_{NA}} + \left( \frac{F_v}{C_v} + \frac{F_s}{C_s} \right)$$

- Statička krutost mašine (u obliku njene recipročne vrednosti - popustljivosti) se može odrediti uz poznate krutosti nosača alata, sklopa glavnog vretena i sklopa šiljka konjica. Njihovi izrazi su:

$$C_{NA} = \frac{F_{NA}}{f_{NA}} = \frac{F_2}{f_{NA}}; \quad C_v = \frac{F_v}{f_v} = \frac{F_2}{2f_v}; \quad C_{\check{s}} = \frac{F_{\check{s}}}{f_{\check{s}}} = \frac{F_2}{2f_{\check{s}}}$$

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

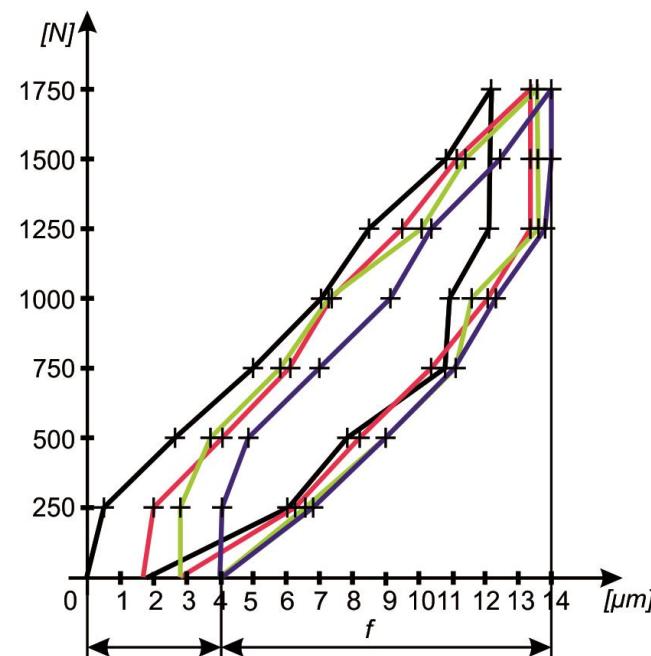
### Eksperimentalno određivanje statičkog ponašanja mašina alatki

#### Određivanje statičke krutosti univerzalnog struga

- Krutost navedenih vitalnih elemenata mašine određeni su izmerenom silom  $F_2$ , ali ostaje problem njihovih deformacija -  $f$ .
- To je zbog činjenice da su svi oni projektovani kao pokretni sklopovi, pa u njima postoji određeni zazor.
- Usled toga se pri mora utvrditi zavisnost između statičke sile i odgovarajućeg pomeraja u više zatvorenih ciklusa opterećenje - rasterećenje.

Zbog izraženog histerezisa, tj. „zaostajanja“ u toku rasterećenja, ova karakteristika se naziva i histerezis - dijagram.

Veličina histerezisa zavisi od kvaliteta sklopova mašine, a u prvom redu od kvaliteta naležućih površina.



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI**

**-Eksplotacione karakteristike-**  
**DINAMIČKO PONAŠANJE**

### Uvodne napomene

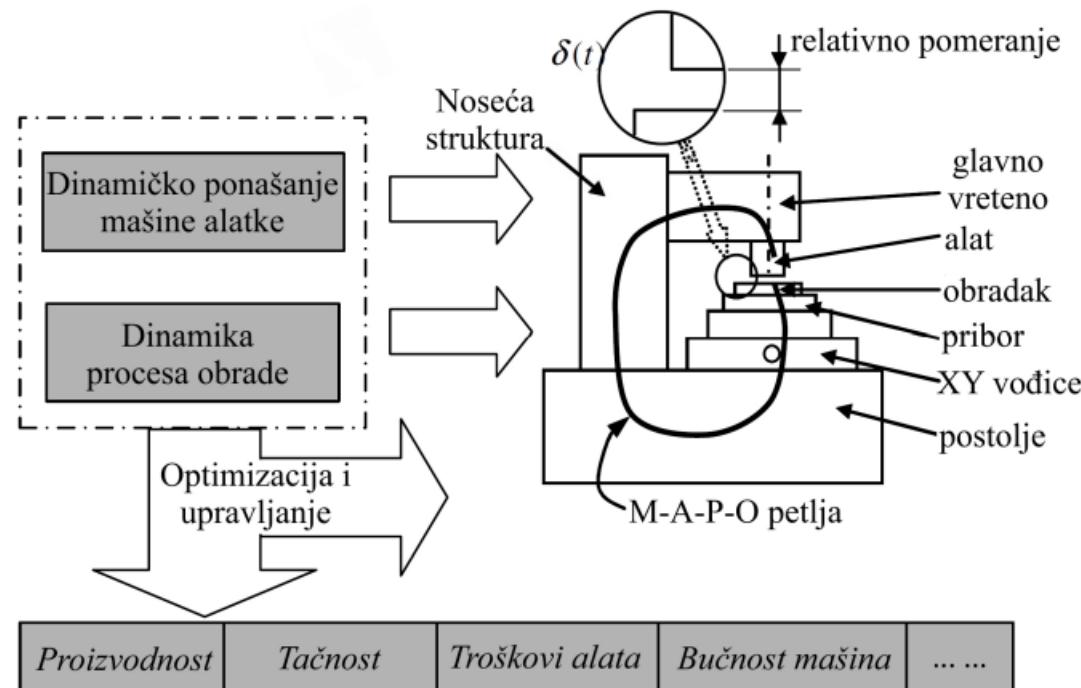
### Dinamičko ponašanje

- Pri radu mašine se javljaju sile promenljivog intenziteta u vremenu, tj. dinamičke sile. One su prisutne čak i pri radu u praznom hodu, uz dodatne koje nastaju u procesu rezanja.
- Može se desiti da i mašina velike statičke krutosti u uslovima eksploatacije ne zadovoljava zahtevanu tačnost izradaka. Razlog ovome je što na promenu položaja elemenata mašine u neopterećenom stanju, osim intenziteta sile utiče i brzina promene tokom vremena, tj. učestanost ili frekvencija.
- Trenutni trendovi u oblasti razvoja mašina alatki zahtevaju od projektanata da se koncentrišu ne samo na optimizaciju mašine alatke u smislu maksimalnih brzina i tačnosti, već da u obzir uzimaju i njihovo dinamičko ponašanje pri procesu rezanja.
- Savremene mašine alatke moraju biti sistemi sa dominantnim dinamičkim karakteristikama, kako bi odgovorile zahtevima u pogledu proizvodnosti, tačnosti i pouzdanosti.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Potrebno je optimizovati i sistem MAPO i proces obrade u smislu povećanja dinamičke stabilnosti.
- Dinamičke karakteristike mašine alatke i dinamika procesa rezanja predstavljaju dva integrisana elementa koja se istovremeno moraju uzeti u obzir pri optimizaciji obradnih sistema prema zahtevima savremene industrije.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Dinamičko ponašanje obradnih sistema, koje je definisano intenzitetom i karakterom vibracija u toku izvođenja obradnih procesa, ima znatan negativan uticaj na:
  - ✓ smanjenja tačnosti obrade i kvaliteta obrađene površine,
  - ✓ značajnog povećanja habanja reznog alata,
  - ✓ pojave oštećenja mašine alatke i/ili njenih elemenata,
  - ✓ smanjenja proizvodnosti,
  - ✓ povećanja troškova usled rasta vremena obrade,
  - ✓ gubitaka u materijalu i energiji,
  - ✓ dodatnih troškove recikliranja ili dorade neadekvatno obrađenih delova – škarta,
  - ✓ pojave intezivne buke u procesu rezanja, itd.
- Preko dinamičkog ponašanja definiše se i dinamički kvalitet obradnog sistema, i to preko dinamičke stabilnosti i dinamičke krutosti dinamičkog sistema, kao jednog od osnovnih poremećajnih sistema u okviru obradnog sistema.

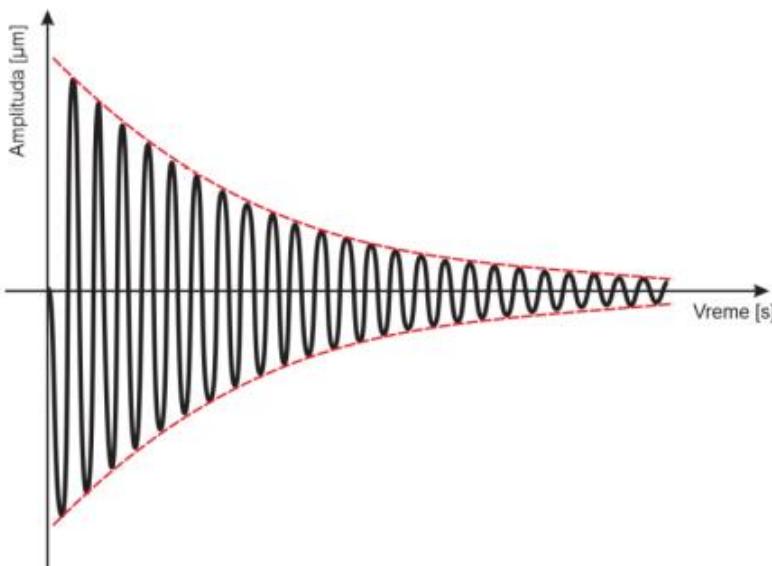
### Uvodne napomene

- U cilju smanjenja negativnih uticaja pojave vibracija u procesu rezanja, potrebno je, na bazi dinamičkih karakteristika mašine alatke i dinamike procesa rezanja, detektovati i analizirati tipove i izvore vibracije koje se javljaju pri radu mašine alatke.
- Vibracije se, po izvoru pobude, mogu podeliti na **slobodne, prinudne i samopobudne vibracije**.
- Dinamičko ponašanje mašine alatke se može razmatrati sa tri stanovišta:
  - a) *mašina ne radi, ali je bila izložena dejstvu dinamičkih sila - slobodne (sopstvene, prirodne) vibracije;*
  - b) *mašina radi u praznom hodu - prinudne vibracije;*
  - c) *mašina je u eksploataciji, na njoj se izvodi proces rezanja - samopobudne vibracije*

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- **Sopstvene vibracije** nastaju kada se mehaničkom sistemu, izvedenom iz svog ravnotežnog položaja, omogući slobodno oscilovanje bez spoljašnjih uticaja.
- Osnovna odlika ovog tipa vibracija je da im se amplituda, nakon prestanka delovanja pobude koja ih izaziva, eksponencijalno smanjuje do potpunog iščezavanja u zavisnosti od prigušenja.



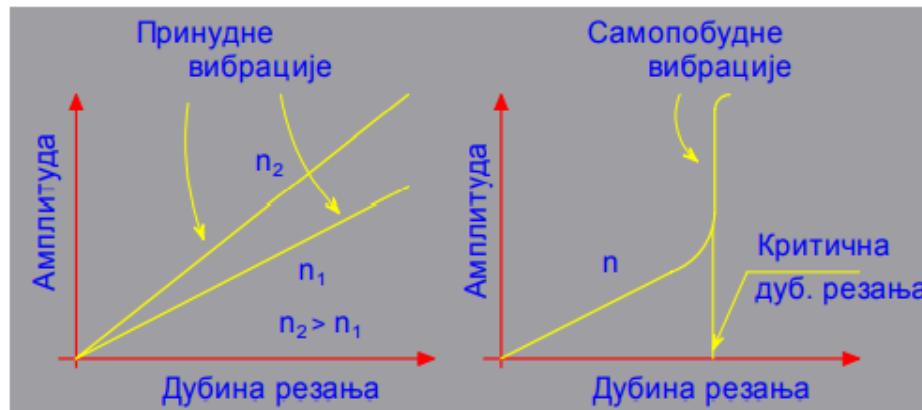
### Uvodne napomene

- **Prinudne vibracije** u obradnim sistemima nastaju usled neuravnoteženosti obrtnih masa, promenljivog karaktera sila rezanja (npr. ožljebljenog vratila, kada alat naizmenično ulazi i izlazi iz zahvata obrade) i dr.
- **Slobodne** i **prinudne** vibracije, ukoliko je poznat njihov izvor, mogu se efikasno izbeći, redukovati ili ukloniti iz procesa obrade
- **Samopobudne vibracije** predstavljaju najnepovoljniji tip vibracija, koje energiju za svoj nastanak i rast amplitude crpe iz samog procesa rezanja.
- Ove vibracije često dovode do nestabilnog rada mašine alatke, a za posledicu imaju smanjenje kvaliteta obrađene površine, pojavu buke, ubrzano trošenje alata i elemenata mašine alatke
- Poremećajna sila  $F(y,t)$  ne zavisi samo od  $y$  i  $t$ , već pri vibracijama mašinskog sistema predstavlja funkciju geometrije alata, materijala obratka, parametara procesa rezanja, kao i funkciju dinamičkog stanja same mašine alatke.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Pojava samopobudnih vibracija karakteriše se:
  - ✓ naglim porastom amplituda vibracija sa frekvencom koja je bliska jednoj od sopstvenih frekvenci,
  - ✓ promenom u smislu povećanja buke u zoni rezanja,
  - ✓ promenom oblika strugotine, i
  - ✓ naglim pogoršanjem kavliteta obrađene površine,
- U zavisnosti od odnosa dinamičkih parametara sistema, za neku kritičnu dubinu rezanja amplituda vibracija ima nagli porast, što karakteriše početak nastanka samopobudnih vibracija.



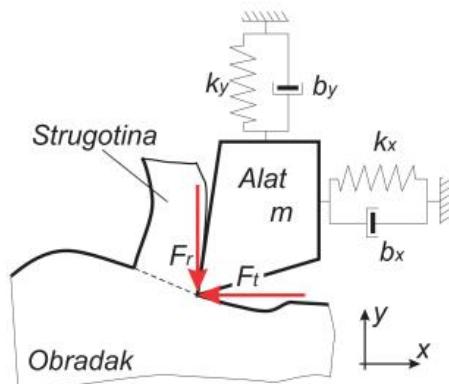
Zavisnost amplituda vibracija od dubine rezanja za prinudne i samopobudne vibracije

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

Samopobudne vibracije se mogu podeliti na:

- Frikcione samopobudne vibracije – ovaj tip vibracija nastaje usled trenja između leđne površine alata i obratka, koje izaziva oscilovanje alata u pravcu glavne sile rezanja.
- Samopobudne vibracije nastale usled sprezanja položaja – ove vibracije se javljaju kada oscilovanje alata u pravcu sile prodiranja generiše i njegovo oscilovanje u pravcu glavne sile rezanja, i obratno.
  - ✓ Ova pojava dovodi do istovremenih oscilacija alata i u pravcu sile prodiranja i u pravcu glavne sile rezanja ali sa različitim amplitudama, te zbog toga putanja vrha alata pri oscilovanju ima oblik elipse.
  - ✓ U fizičkom smislu, ovu pojavu izaziva više uzroka, kao npr. trenje na grudnoj i leđnoj površini alata, variranje debljine strugotine tokom rezanja, itd.

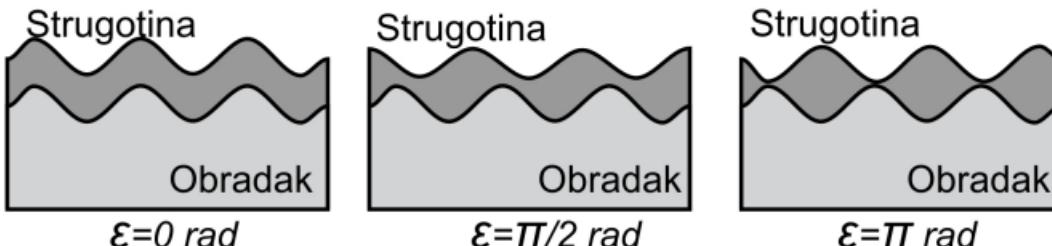


Model samopobudnih vibracija nastalih usled sprezanja položaja

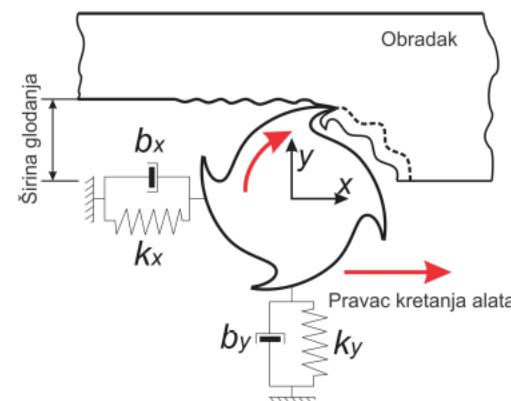
## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Samopobudne vibracije nastale usled regenerativnog efekta – nastaje kada alat obrađuje površinu koja je već obrađena u prethodnom obrtaju (kod struganja) ili prethodnim zubom (kod glodanja).
- Zbog toga talasastost obrađene površine nastala u jednom prolazu alata usled njegovog oscilovanja, u svakom sledećem prolazu raste, povećavajući pri tom i amplitudu oscilovanja alata sve do nastanka samopobudnih vibracija.
- Debljina strugotine, a time i sila rezanja, varira usled fazne razlike u talasastosti obrađenih površina dobijenih prvim i drugim zubom alata. *Varijacije sile rezanja izazvane promenom debljine strugotine, mogu dovesti do povećanja amplitude oscilovanja alata, a time i do nastanka samopobudnih vibracija.*



Uticaj fazne razlike talasastosti obrađene površine ( $\varepsilon$ ) na promenu debljine strugotine



Regeneracija talasastosti površine obratka na modelu glodanja sa dva stepena slobode

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

- Mašinski sistem - mašina, alat, pribor, obradak (MAPO), predstavlja u realnim uslovima dinamički sistem sa beskonačno mnogo stepeni slobode.
- Proračun dinamičkih karakteristika i određivanje dinamičkog ponašanja jednog obradnog sistema moguće je ostvariti na dva načina, *eksperimentalnim ispitivanjem ili matematičkim modelovanjem*, najčešće primenom metode konačnih elemenata.
- Određivanje dinamičkih karakteristika sistema eksperimentalnim ispitivanjima, zasniva se na određivanju funkcije frekventnog odziva (FRF ) ili funkcije prenosa sistema (TF ).
- Osnovna ideja je da se struktura mašine pobudi silom određene frekvencije na određenom mestu, a da se prati dinamički odziv sistema na istom ili nekom drugom mestu.
- Pobuda sistema može biti ostvarena primenom sinusne ili impulsne sile, a odziv sistema se meri odgovarajućim senzorima (davačima urzanja, brzine ili pomeranja).

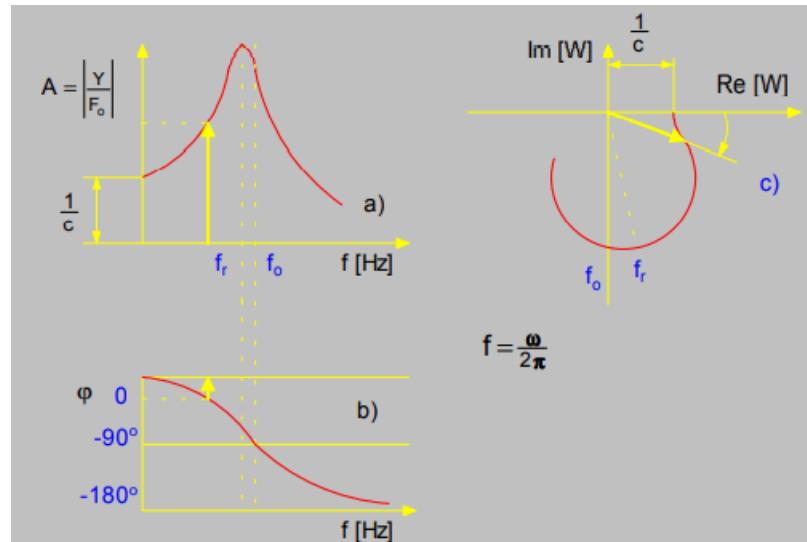
### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

- Mašinski sistem - mašina, alat, pribor, obradak (MAPO), predstavlja u realnim uslovima dinamički sistem sa beskonačno mnogo stepeni slobode.
- Proračun dinamičkih karakteristika i određivanje dinamičkog ponašanja jednog obradnog sistema moguće je ostvariti na dva načina, *eksperimentalnim ispitivanjem ili matematičkim modelovanjem*, najčešće primenom metode konačnih elemenata.
- Određivanje dinamičkih karakteristika sistema eksperimentalnim ispitivanjima, zasniva se na određivanju funkcije frekventnog odziva (FRF ) ili funkcije prenosa sistema (TF ).
- Osnovna ideja je da se struktura mašine pobudi silom određene frekvencije na određenom mestu, a da se prati dinamički odziv sistema na istom ili nekom drugom mestu.
- Pobuda sistema može biti ostvarena primenom sinusne ili impulsne sile, a odziv sistema se meri odgovarajućim senzorima (davačima urzanja, brzine ili pomeranja).

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

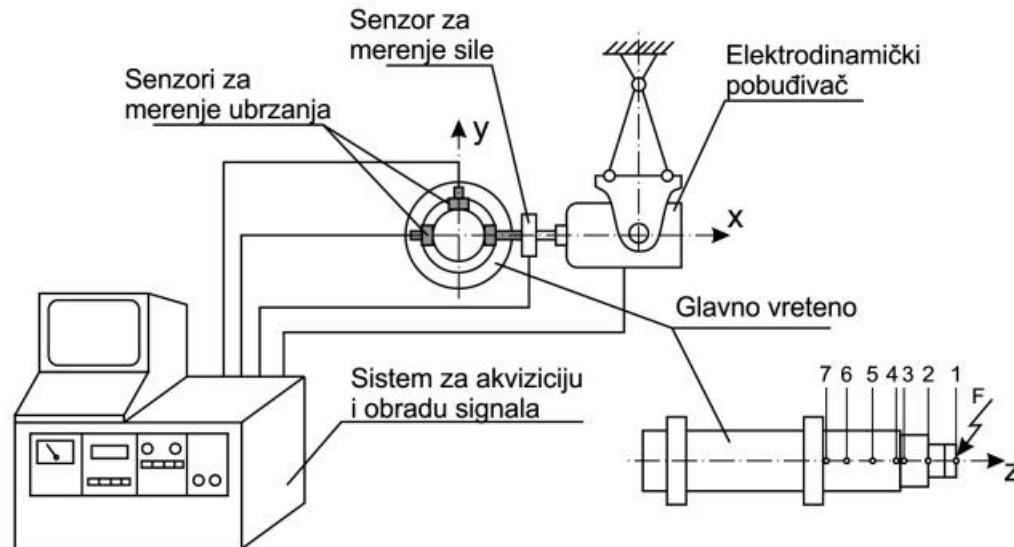
- Eksperimentalnim metodama ispitivanja snimaju se frekventne karakteristike sistema, i to:
  - amplitudno - frekventna,
  - amplitudno - fazna, i
  - fazno - frekventna karakteristika.
- Ove karakteristike se snimaju pri uvođenju u sistem dinamičke pobudne sile (sinusne ili implusne) u određenom frekventnom opsegu.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

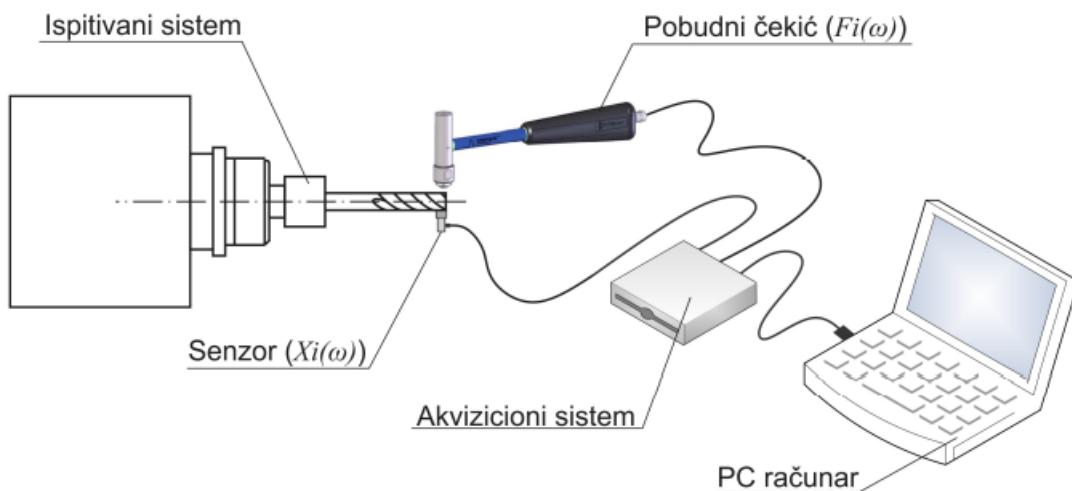
- Metoda sinusne pobudne sile se zasniva na primeni elektromagnetnih ili hidrauličnih vibracionih pobuđivača. Metodologija ispitivanja se zasniva na činjenici da uvođenjem harmonijske pobude određene frekvencije u sistem, posle izvesnog vremena nastaje stacionarno stanje, pri čemu je izlazna karakteristika takođe harmonijska, sa istom frekvencijom kao i pobuda ali sa različitom fazom i amplitudom.
- Snimanje frekventnih karakteristika u odabranom frekventnom opsegu vrši se pri stupnjevitoj ili kontinualnoj promeni frekvencije pobudne sile i merenjem amplitude pomeraja i faznog ugla u odnosu na pobudnu silu.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

- Drugi način ispitivanja mehaničkih sistema je pomoću Furijeove (Furier) analize, gde se, primenom **impulsne** sile, ostvaruje pobuda sistema širokim spektrom različitih frekvencija u samo jednom ispitivanju.
- Osnovna ideja je da se Furijerove transformacije primene na ulazni i izlazni signal kako bi se definisao kompletan frekventni odziv sistema u jednom ispitivanju.
- Ovaj metod je široko primenjivan u ispitivanjima pri kojima se analizirana struktura pobuđuje u nekoj tački pobudnim čekićem a odziv sistema se meri u istoj ili nekoj drugoj tački, najčešće senzorima ubrzanja.



### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

#### Dinamička krutost

- Na osnovu snimljenih frekventnih karakteristika dinamičkog sistema mogu se odrediti njegovi parametri: **masa, krutost i prigušenje**.
- Parametri dinamičkog sistema se određuju posebno za svaki stepen slobode po sledećim formulama, i to:

Masa sistema:

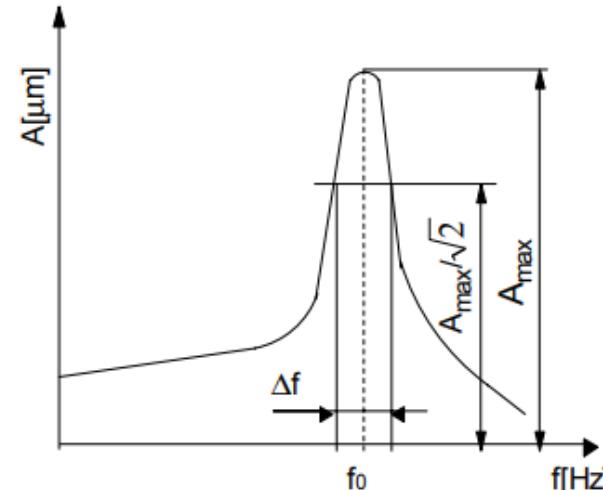
$$m = \frac{F_0 Q}{A_{max} (2\pi f)_0^2}$$

Prigušenje sistema:

$$b = \frac{F_0}{A_{max} 2\pi^2 f_0}$$

Krutost sistema:

$$c = \frac{F_0 Q}{A_{max}}$$



F<sub>0</sub> [N] - amplituda pobudne sinusne sile;

A<sub>max</sub> [μm] - maksimalna amplituda odgovarajućeg stepena slobode iz amplitudno - frekfentne ili amplitudno- fazne karakteristike;

f<sub>0</sub> [Hz] - sopstvena frekfencija koja se u eksperimentima uzima približno kao rezonantna frekfencija;

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

#### Dinamička krutost

Q - *dinamički faktor pojačanja* koji se određuje iz izraza:

$$Q = \frac{1}{D}$$

gde je D - *dinamički faktor prigušenja* i određuje se prema metodi  $\sqrt{2}$

$$D = \frac{\Delta f}{2f_0}$$

Konačno, kao jedan od najvažnijih pokazatelja kvaliteta obradnih sistema definiše se i **dinamička krutost** u rezonansi, kao:

$$c_{din} = \frac{F_0}{A_{max}} = \frac{c}{Q}$$

**Dinamička krutost** pokazuje koliko je maksimalno moguće smanjenje statičke krutosti sistema u dinamičkim uslovima eksploracije obradnih sistema.

Visoka dinamička krutost se postiže ako je frekvencija izazvanih vibracija manja ili veća od frekvencije sopstvenih vibracija i ako je faktor prigušenja što veći.

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

#### Dinamička stabilnost

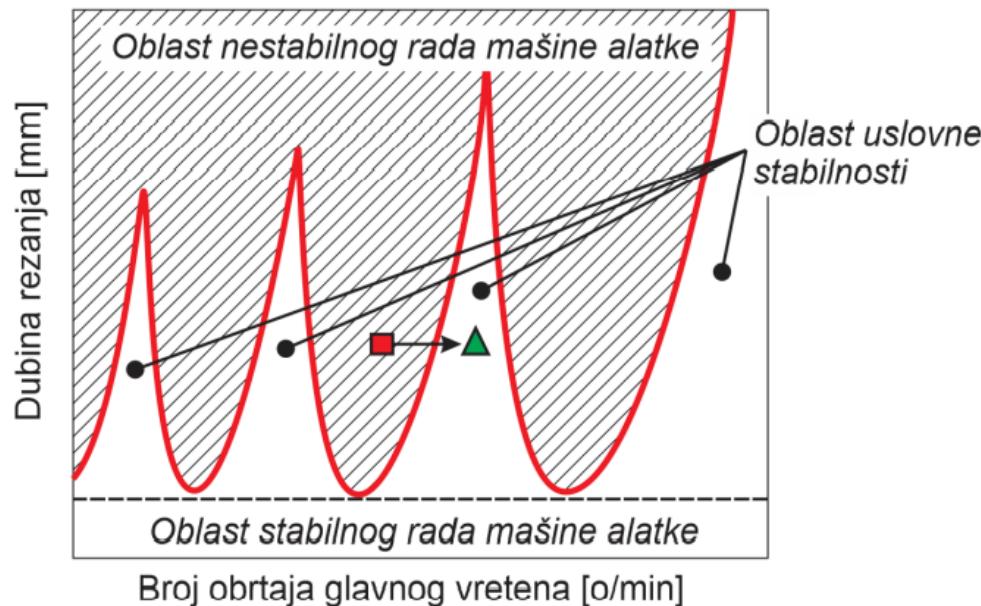
- Pojava samopobudnih vibracija pri rezanju predstavlja kriterijum za utvrđivanje početka nestabilnog rada obradnog sistema.
- Eksperimentalno ispitivanje samopobudnih vibracija najčešće se sprovodi iz dva razloga, u cilju verifikacije razvijenih matematičkih i numeričkih modela za definisanje karte stabilnosti, ili u cilju definisanja eksperimentalne karte stabilnosti.
- U oba slučaja primenjuju se iste metode eksperimentalnog ispitivanja, sa tom razlikom da je za definisanje eksperimentalne karte stabilnosti potreban značajno veći broj ponavljanja eksperimenta nego u slučaju verifikacije razvijenih modela za definisanje karte stabilnosti.
- Svrha ispitivanja samopobudnih vibracija je određivanje početka nestabilnog rada maštine, što je definisano tzv. **kartom stabilnosti**.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

#### Dinamička stabilnost

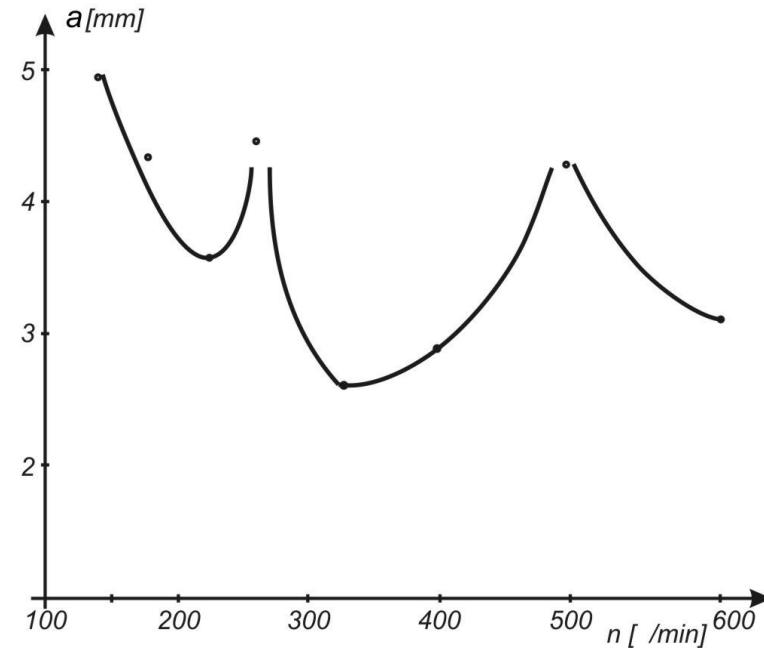
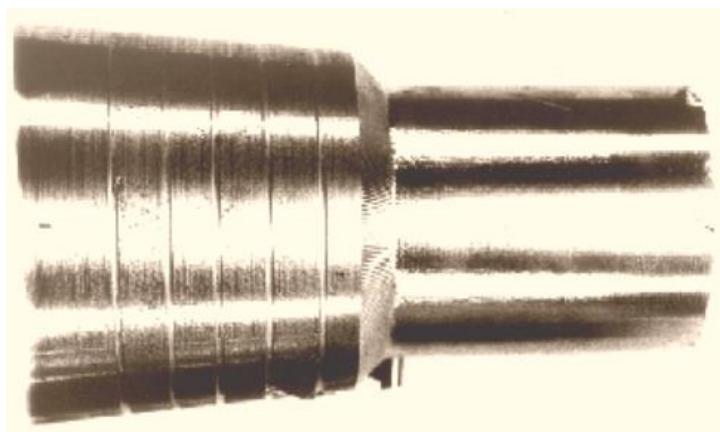
- Pri određenim režimima rezanja, obično pri malim dubinama rezanja, samopobudne vibracije ne nastaju, a sam proces rezanja se smatra stabilnim. Međutim, pri rezanju dubinama većim od granične, pomenute vibracije nastaju i brzo rastu, a proces obrade prelazi u nestabilno područje.
- Između stabilnog i nestabilnog procesa rezanja postoji jasna granica, koja se može prikazati u zavisnosti od broja obrtaja glavnog vretena i dubine rezanja na karti stabilnosti.



### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

#### Dinamička stabilnost

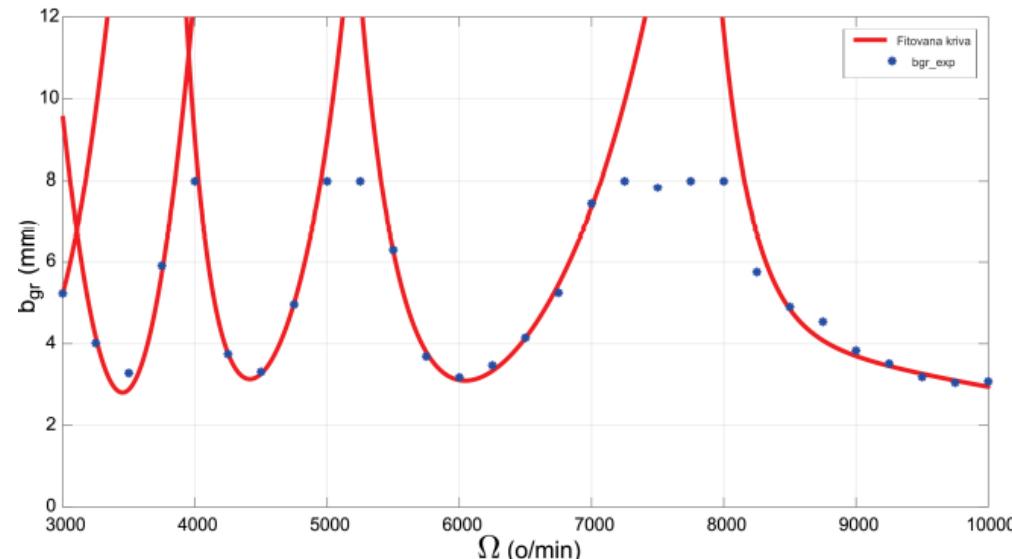
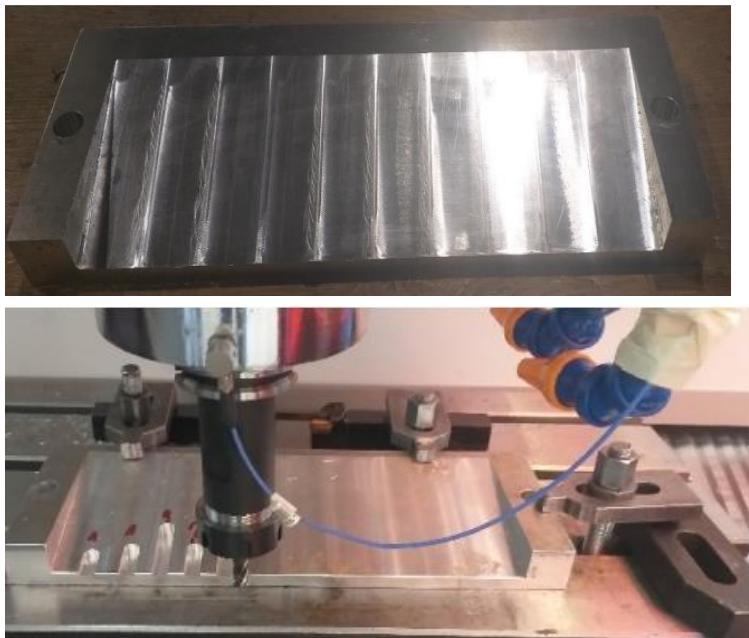
- Pri eksperimentalnom određivanju karte stabilnosti u vidu tzv. lepezastog dijagrama, treba izvoditi obradu sa promenom parametara režima rezanja.
- Kod obrade struganjem to su: dubina rezanja, broj obrtaja pri konstantnom pomaku. Orada se izvodi pri rezanju konusa, čime se obezbeđuje promena dubine rezanja.
- Pri tome se registruje veličina amplitude vibracije. Dubina rezanja pri kojoj se registruje nagli porast amplitude, smatra se graničnom za pojavu samopobudnih vibracija, za taj pomak i broj obrtaja.



### Eksperimentalna identifikacija dinamičkih karakteristika

#### Dinamička stabilnost

- Kod obrade glodanjem to su: dubina rezanja, broj obrtaja pri konstantnoj brzini pomoćnog kretanja. Orada se izvodi na radnom predmetu sa zakošenom gornjom površinom, čime se obezbeđuje promena dubine rezanja.
- Pri tome se registruje veličina amplitude vibracije. Dubina rezanja pri kojoj se registruje nagli porast amplitude, smatra se graničnom za pojavu samopobudnih vibracija, za izabranu brzinu pomoćnog kretanja i broj obrtaja.



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI**

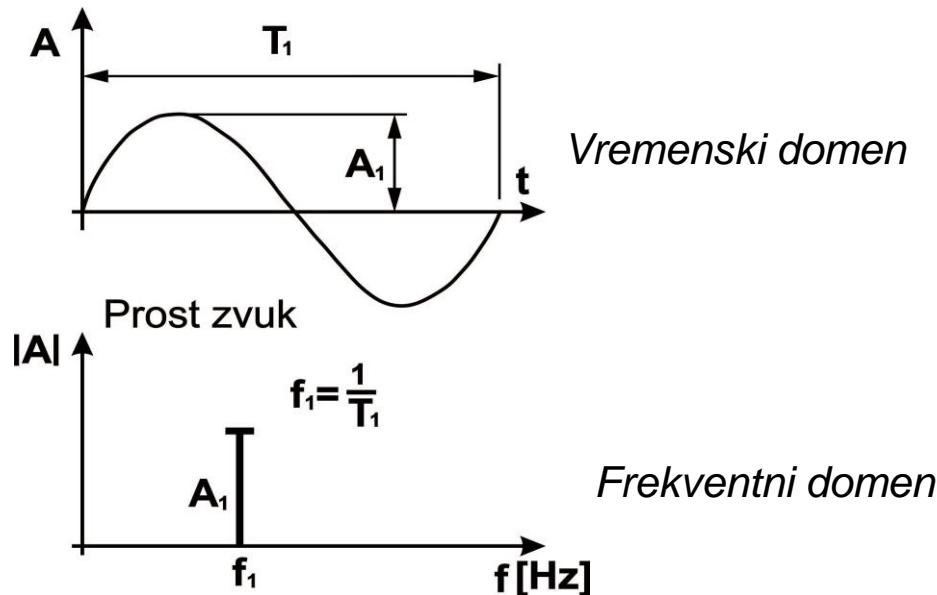
**-Eksplotacione karakteristike-**

**BUKA KOD MAŠINA ALATKI**

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

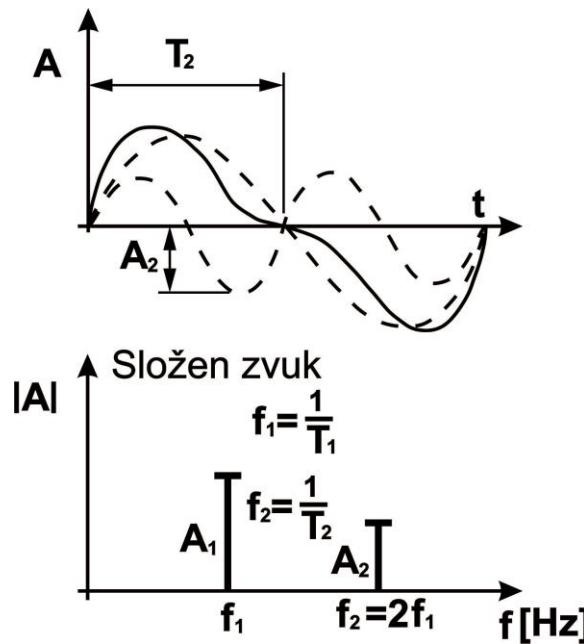
- Pod dejstvom dinamičkih sila javlja se vibriranje čestica mehaničkog sistema.
- Na graničnim površinama mehaničkog sistema se to vibriranje prenosi na čestice elastične sredine - vazduh i tada se naziva akustično oscilovanje, odnosno **zvuk**.
- Osnovna pojava u području akustike je prost zvuk i to je sinusoidno akustično oscilovanje periode  $T_1$ , maksimalne amplitude  $A_1$ .
- Zbog jednostavnijeg razmatranja se iz vremenske funkcije prelazi u frekventnu. Ovakav prikaz se naziva spektar, u konkretnom slučaju, spektar prostog zvuka.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

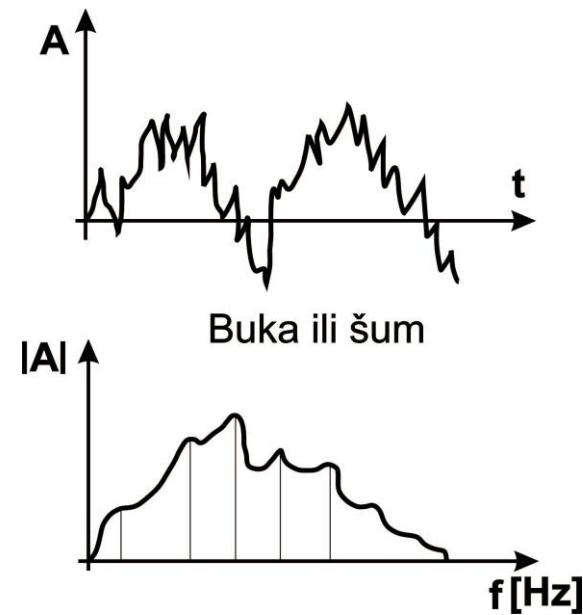
### Uvodne napomene

- Kad se prostom zvuku dodati još jedan takav, ali različite amplitude i periode, onda je ta pojava **složen zvuk**.
- Broj komponenti se može povećati do veoma velikog (teorijski beskonačnog) i onda je to *buka ili šum*. Buka je, dakle, akustična pojava koja ima kontinualan spektar



Vremenski domen

Frekventni domen



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Istraživanja o emisiji buke imaju za cilj da, odgovarajućim postupcima smanje negativan uticaj buke na ljude, rukovaoce mašina.
- Drugi cilj istraživanja o emisiji izvora buke, kod mašina alatki je da se dobiju uporedne informacije o njihovom akustičnom ponašanju u cilju poređenja sa drugim mašinama sličnih glavnih karakteristika.
- Unutar mašina alatki postoji veliki broj izvora buke, čije karakteristike se mogu posmatrati kao: prostorne (stacionarni, mobilni izvori buke), vremenske (stalna, promenljiva buka) i akustične (jačina, spektar, usmerenost).
- Što se tiče prostornih karakteristika, imajući u vidu maštine alatke instalisane u proizvodnom pogonu, radi se o stacionarnim izvorima buke.
- Za procenu vremenskog toka zvučnih signala u meračima nivoa buke su instalisana različita vremena integracije, koja utiču na dinamiku merenja i prikaza nivo buke.
- U skladu sa DIN IEC 651, predviđene su tri različite dinamike prikaza, spora (S; koja ima vremensku konstantu reakcije  $\tau = 1$  [s]), brza (F;  $\tau = 125$  [ms]) i impulsna (I;  $\tau = 35$  [ms]).

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- S jedne strane, izbor dinamike prikaza zavisi od toga da li je buka stalna (nepromenljiva, sa promenama nivoa do 5 [dB]), ili promenljiva (sa promenama nivoa preko 5 [dB]; impulsna-brzo rastući vrhovi sa trajanjem manjim od 1 [s]),
- S druge strane zavisi od propisa za merenje koja se moraju poštovati tokom merenja buke.
- Obzirom da se pri radu mašine, čak i u praznom hodu, javlja veliki broj dinamičkih sila, njihov odziv je u elastičnoj sredini zapravo buka.
- Ona ima uticaja na tačnost mašine kao njenu eksploracionu karakteristiku, indirektno preko čoveka - rukovaoca.
- U cilju kvantifikovanja buke radi procene njenog štetnog delovanja na čoveka, razmatraju se njeni parametri počev od akustične (zvučne) energije ( $E$ ), koja predstavlja ukupnu energiju (potencijalnu i kinetičku) čestica usled elastičnog oscilovanja:

$$E = P \cdot t$$

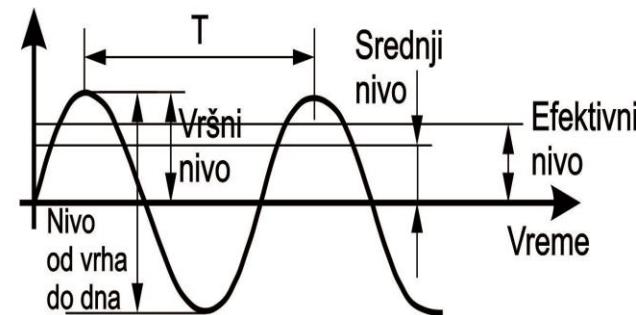
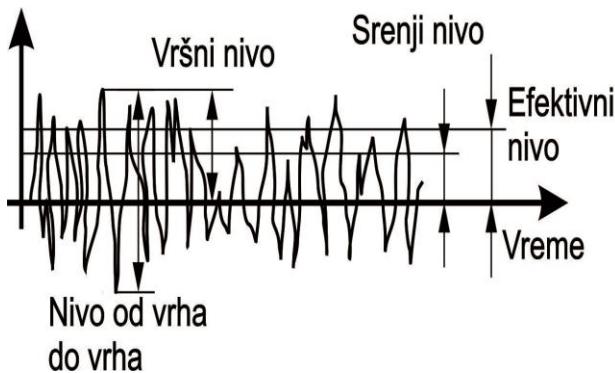
Snaga izvora buke ( $P$ ) je ukupna zvučna energija koju u jedinici vremena zrači zvučni izvor:

$$P = I \cdot A$$

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

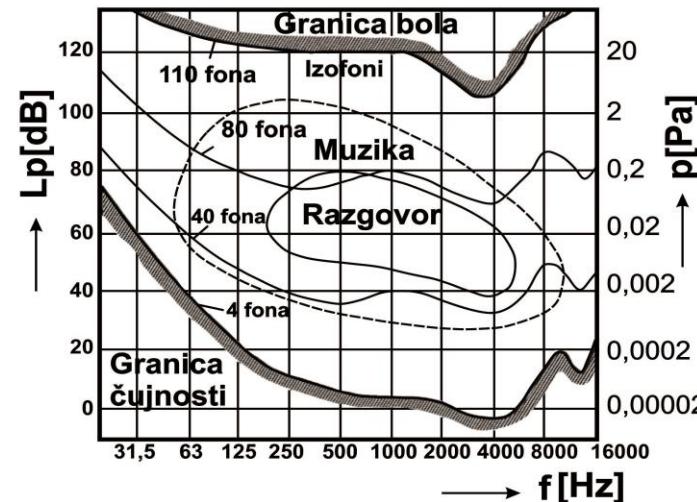
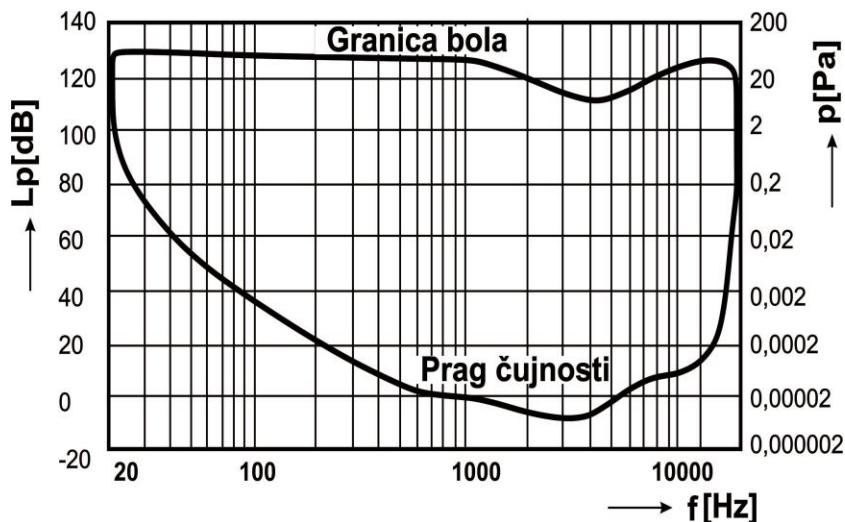
- Zvučna energija koja u jedinici vremena prođe kroz jedinicu površine predstavlja intenzitet zvuka ( $I$ ).
- Od izvora se zvuk prostire u vidu zvučnih talasa. Pritisak koji postoji u određenoj tački sredine kada nema zvučnih talasa naziva se statički pritisak.
- Pri emitovanju zvuka, razlika između pritiska koji postoji u nekoj tački sredine i statičkog pritiska je zvučni pritisak.
- On je karakterisan sa nekoliko vrednosti: vršni nivo (maksimalna vrednost -  $X_{MAX}$ ), srednji nivo ( $X_{sr}$ ), efektivni nivo (efektivna vrednost –  $X_{RMS}$ ),



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Karakteristične frekvencije u oblasti razmatranja akustičnih pojava su:
  - ✓  $f = 20 \text{ [Hz]}$  donja granica čujnog spektar ispod koje je područje infravuka
  - ✓  $f = 20.000 \text{ [Hz]}$  gornja granica čujnog spektra iznad kojeg je područje ultrazvuka, a iznad  $10^9$ – hiperzvuk.
- Obzirom na činjenicu da se buka ovde razmatra zbog uticaja na čoveka, područje interesovanja se ograničava na oblast u kojoj reaguje organ čula sluha čoveka.
- Čujna oblast je definisana graničnim frekvencijama i zvučni pritiscima.

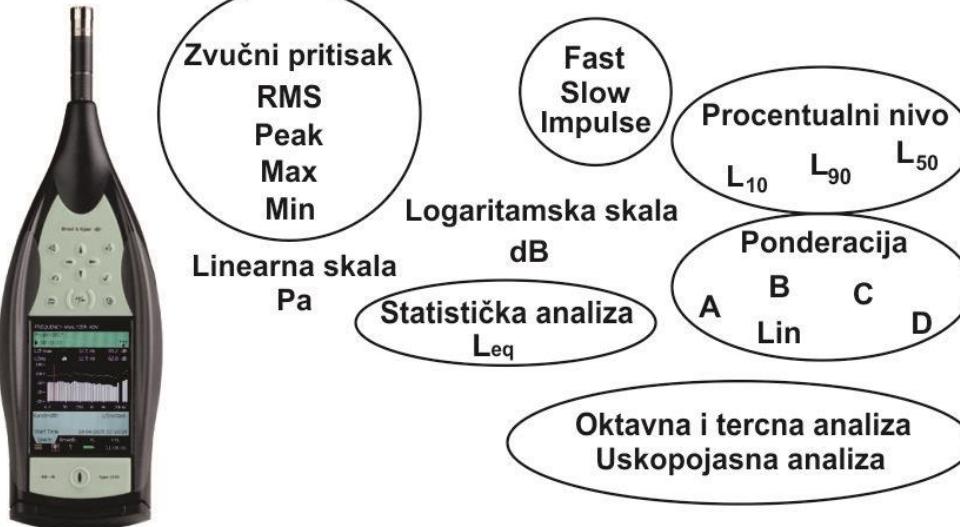


## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Instrumentacija za merenje buke

Za merenje parametara buke u vremenskom i frekventnom domenu koristi se širok spektar instrumenata. Svi tipovi instrumenata se mogu podeliti u tri grupe:

- 1) instrumenti za određivanje ukupnog nivoa buke, koji za analizu sadrže težinske krive i detektor signala;
- 2) instrumenti za frekvencijsku analizu signala, koji sadrže skup filtera za filtriranje ulaznog signala i detektor signala;
- 3) kombinacija navedenih tipova instrumenata.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Instrumentacija za merenje buke

Osnovni elementi navedenih instrumentacija su:

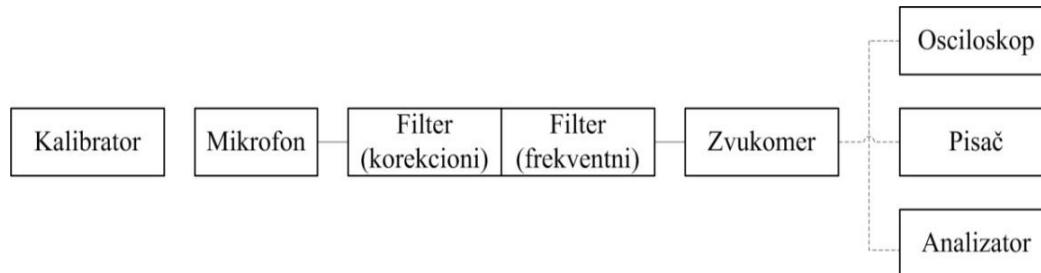
**Pretvarač** - sa zadatkom pretvaranja zvučne oscilacije izazvane dejstvom zvučnih talasa u električni signal;

**Predpojačivač** - ima zadatak da pojača električni signal relativno male amplitude dobijen na izlazu pretvarača i sa podesivim pojačanjem da pokrije širok dinamički opseg;

**Težinske frekvencijske karakteristike** - ponderišu signal u frekventnom domenu čime se dobija trenutni nivo signala sa A, B, C, D ili linearom karakteristikom (Lin);

**Filteri** - imaju zadatak da izvrše analizu signala u frekventnom domenu, a kao rezultat se dobija frekventni spektar analiziranog signala;

**Detektor (Zvukomer)** –služi za određivanje energetski srednje vrednosti signala proporcionalnog efektivnoj vrednosti.



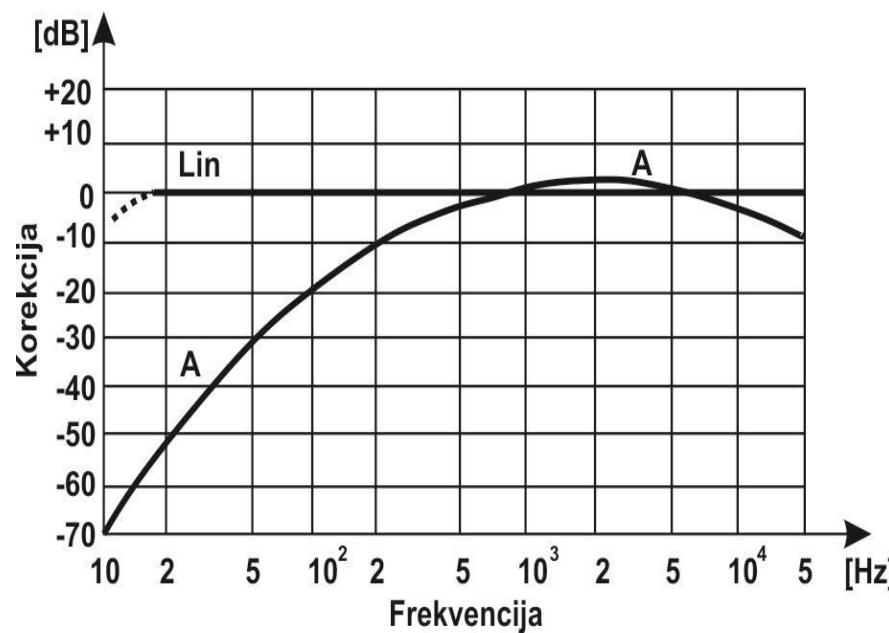
## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Instrumentacija za merenje buke

*Težinske frekvencijske karakteristike:* Pokazivanje instrumenta pri merenju buke, obzirom da je fizički realno, neće odgovarati subjektivnom osećanju čoveka.

Zato se u instrumente ugrađuju tzv. *korekcione (težinske, ponderisane) frekvencijske karakteristika* pomoću koje i on reaguje kao uvo.

Korekcioni filter omogućuje i izbor prikazivanja primljenog signala u obliku "objektivno prisutnog zvučnog pritiska" (nekorigovana karakteristika - ), ili "subjektivne procene objektivno prisutnog zvučnog pritiska" (uz korekcionu karakteristiku - krivu A). Sem korekcione karakteristike „A“ koriste se i korekcione karakteristike „B“(za srednje nivoe buke), „C“ (za visoke nivoe buke), „D“ (merenje buke u okolini aerodroma).



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Dopušteni nivo buke u radnoj sredini

Nivo buke mašine se meri radi utvrđivanja njenog "kvaliteta" sa stanovišta ovog svojstva, kao i radi provere da li je nivo bučnosti ispod dopuštenog.

Dopušteni nivo buke u radnoj sredini je, u našoj zemlji, propisan Pravilnikom o merama i normativima zaštite na radu od buke u radnim prostorijama.

Redni broj	VRSTA DELATNOSTI	Dovoljeni nivo buke [dB(A)]		
		a	b	c
1.	Fizički rad bez zahteva za mentalnim naprezanjem i zapažanjem okoline sluhom.	85	85	80
2.	Fizički rad usmeren na tačnost i koncentraciju. Povremeno praćenje i kontrola okoline sluhom. Upravljanje transportnim sredstvima.	80	75	70
3.	Rad koji se obavlja pod čestim govornim komandama i akustičnim signalima. Rad koji zahteva stalno praćenje okoline sluhom. Rad pretežno mentalnog karaktera, ali rutinski.	75	70	60
4.	Rad pretežno mentalnog karaktera koji zahteva koncentraciju, ali rutinski.	70	65	55
5.	Mentalni rad usmeren na kontrolu rada grupe ljudi koja obavlja pretežno fizički. Rad koji zahteva koncentraciju ili neposredno komuniciranje govorom i telefonom.	-	60	50
6.	Mentalni rad usmeren na kontrolu rada grupe ljudi koja obavlja pretežno mentalni rad. Rad koji zahteva koncentraciju, neposredno komuniciranje govorom i telefonom. Rad isključivo vezan za razgovore preko komunikacionih sredstava.	-	55	45
7.	Mentalni rad koji zahteva veliku koncentraciju, isključivanje iz okoline, preciznu psihomotoriku ili komuniciranje sa grupom ljudi.	-	-	40
8.	Mentalni rad, kao izrada koncepcija, rad vezan ua veliku odgovornost, komuniciranje radi dogovora sa grupom ljudi.	-	-	35
9.	Koncertne i pozorišne sale.	-	-	30

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Dopušteni nivo buke u radnoj sredini

Dozvoljeni nivoi buke klasifikovani su prema njihovim izvorima:

- označava buku koju stvara oruđe za rad ili uređaj kojim radnik rukuje ili ga poslužuje
- označava buku koju stvara oruđe za rad ili uređaj kojim radnik ne rukuje ili ga ne poslužuje
- označava buku koju stvara neproizvodni izvor (uređaji za ventilaciju ili klimatizaciju, susedna organizacija, ulični saobraćaj i sl.)

Nivo buke koji se navodi u Pravilniku kao dozvoljeni, se pri merenju tretira kao , tj. ukupni, ili totalni ili opšti nivo buke. To znači neki opšti prosek niva buke, različitih pri pojedinim frekfencijama u čujnom opsegu.

Prosek ovde znači isti uticaj na čoveka, kao i realno promenljiv nivo buke po pojedinim frekfencijama spektra, tokom osmočasovnog radnog vremena.

Pravilnik, osim navedenog dozvoljenog nivoa buke, propisuje i “dopušteno vreme izlaganja buci s obzirom na nivo trajanja buke”, kao i “vrednost nivoa zvučnog pritiska u oktavnim pojasevima”.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Dopušteni nivo buke u radnoj sredini

Buku mašine treba izmeriti i u pojedinim užim opsezima unutar frekvencija (20 – 20.000) . Ti opsezi su standardom definisani kao *oktavni pojasi*, tj. frekventni opsezi. Čujno frekventno područje sadrži 10 takvih opsega - oktava.

t [h]	Nivo buke $L_d$ [dB(A)]	N kriva	Vrednosti nivoa zvučnog pritiska u oktavnim pojasevima [dB]							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
8	85	80	98.7	91.6	86.4	82.7	80	77.7	75.9	74.4
6	87	82	100.7	93.8	88.7	85.2	82	80.3	78.5	77
4	90	85	102.6	95.9	91	87.6	85	82.3	81	79.5
3	92	87	104.6	98.1	93.4	90.1	87	85.3	83.6	82.1
2	95	90	106.6	100.3	95.7	92.5	90	87.8	86.2	84.7
1 1/2	97	92	108.6	102.5	98	94.9	92	90.4	88.8	87.9
1	100	95	110.5	104.6	100.3	97.3	95	92.9	91.3	89.8
1/2	105	100	114.5	109	105	102.2	100	98	96.4	95
1/4	110	105	118.4	113.3	109.6	107.1	105	103.1	101.5	100.1
1/8	115	110	126.3	122	118.9	116.8	115	113.2	111.8	110.4

*Dopušteno dnevno vreme izlaganja buci i vrednosti  
njenog nivoa po oktavnim pojasevima*

Vrednosti nivoa zvučnog pritiska po pojedinim oktavama definisane su tzv. N - krivama (kolona 3). N – krive , tj. njihov broj, je definisan smanjenjem vrednosti dopuštenog nivoa buke za 5 db(A).

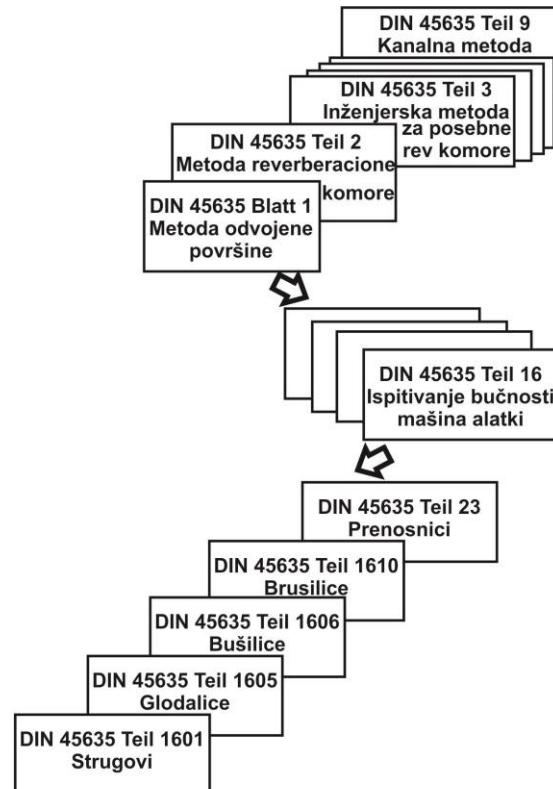
## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Tehnologija merenja buke mašina alatki

Podaci koje proizvođača mašina alatki navode u okviru Upustva za upotrebu o emisiji buke su od velike važnosti i za proizvođača i za rukovaoca.

S jedne strane, može se proveriti usklađenost sa zakonskim propisima, s druge, poređenjem buke sopstvene sa drugim mašinama, daju se smernice o tome da li i u kojoj su meri obavezne smernice za smanjenje buke.

Standardi DIN 45635 su grupisani u tri nivoa.



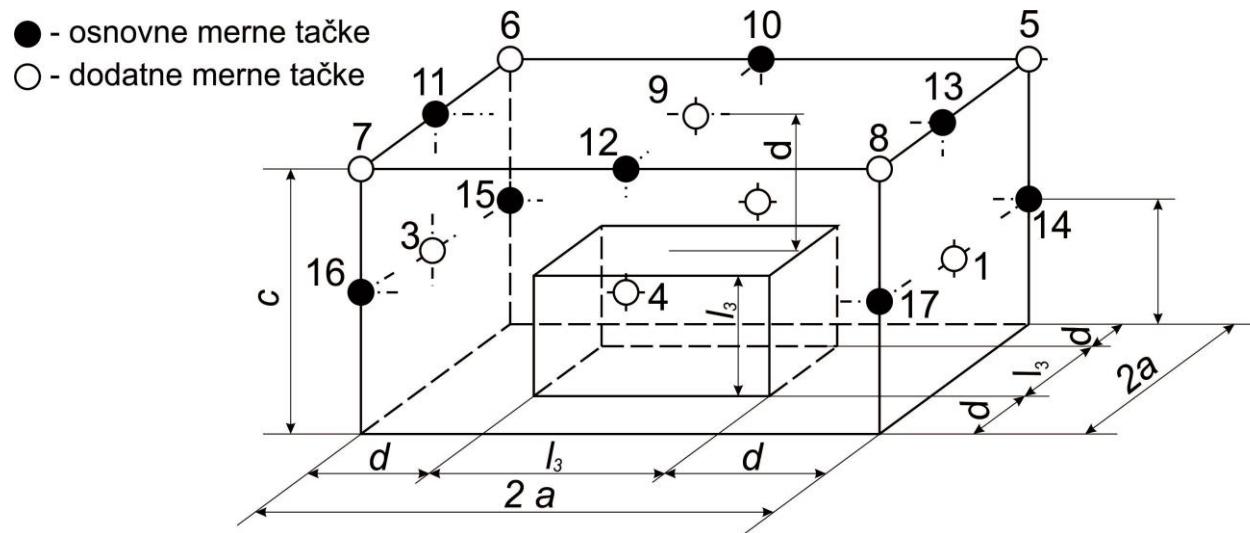
## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Tehnologija merenja buke mašina alatki

Metoda obvojne površine predstavlja jednostavnu i zbog toga praktičnu metodu za određivanje emisije buke, a podeljena je u tri klase tačnosti, koje zavise od okoline gde se vrši merenje, tačnosti mernih instrumenata i rasporeda mernih tačaka.

Na određenom rastojanju od ovog paralelopipeda ustanovljava se merna površina. Uobičajena vrednost ovog rastojanja je 1[m].

Položaj merne površine u odnosu na referentni paralelopiped, kao i broj i raspored mernih tačaka zavisi od dimenzija mašine i njenog položaja u odnosu na pod ili zidove koji reflektuju zvučne talase.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Tehnologija merenja buke mašina alatki

U svim tačkama "i" meri se nivo zvučnog pritiska  $L_p$  prema A korekcionoj karakteristici i sporom (SLOW) dinamičkom odzivu, pri radu maštine u praznom hodu i pri obradi.

Radi globalnog uvida u raspored komponenti spektra buke meri se i objektivni ukupni nivo buke prema LIN karakteristici.

Obzirom da se ispitivanje odnosi na buku same maštine, izmerene vrednosti treba korigovati. U zavisnosti od nivoa buke pri radu maštine ( $L_\Sigma$ ) i nivoa buke okoline ( $L_o$ ) mogu se javiti tri slučaja:

a)  $L_\Sigma - L_o > 10 \text{ [dB]}$

Buka okoline nema značajnijeg uticaja, pa se izmerena vrednost može pripisati samoj maštini.

b)  $L_\Sigma - L_o = (4 - 10) \text{ [dB]}$

Buka okoline ima udela u izmerenoj vrednosti  $L_\Sigma$ , pa treba izvršiti korekciju buke maštine.

$$L_M = L_\Sigma - K_1$$

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Tehnologija merenja buke mašina alatki

Pri tome je:

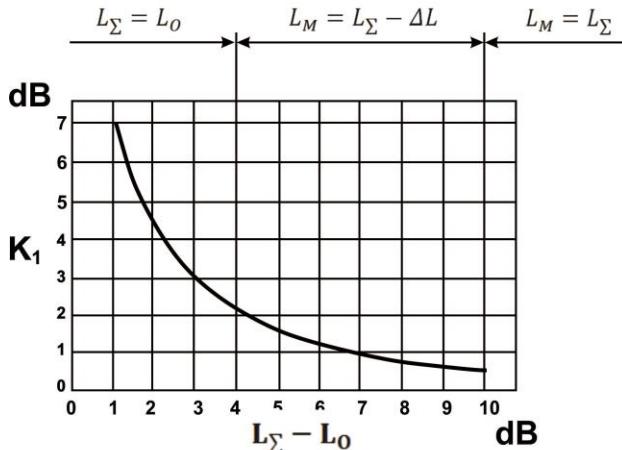
$L_M$  [dB]- nivo buke mašine

$L_\Sigma$ [dB] - izmerena vrednost buke mašine i okoline

$L_o$  [dB] - nivo buke okoline

$K_1$  [dB]- faktor korekcije uticaja buke okoline

Vrednosti faktora korekcije buke okoline određuju se na osnovu razlike  $L_\Sigma - L_o$



$L_\Sigma - L_o$ [dB]	$K_1$ [dB]
4	2
5	2
6	1
7	1
8	1
9	0.5
10	0.5
>10	0

c)  $L_\Sigma - L_M < 4$  [dB]

Buka okoline ima dominantan uticaj u izmerenoj vrednosti  $L_\Sigma$ . Određivanje nivoa buke mašine se tada vrši na drugi način. Postupak određivanja nivoa buke mašine alatke u ovom slučaju je detaljno definisan u DIN 45635.

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI**

**-Eksplotacione karakteristike-**  
**TOPLOTNO PONAŠANJE**

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

---

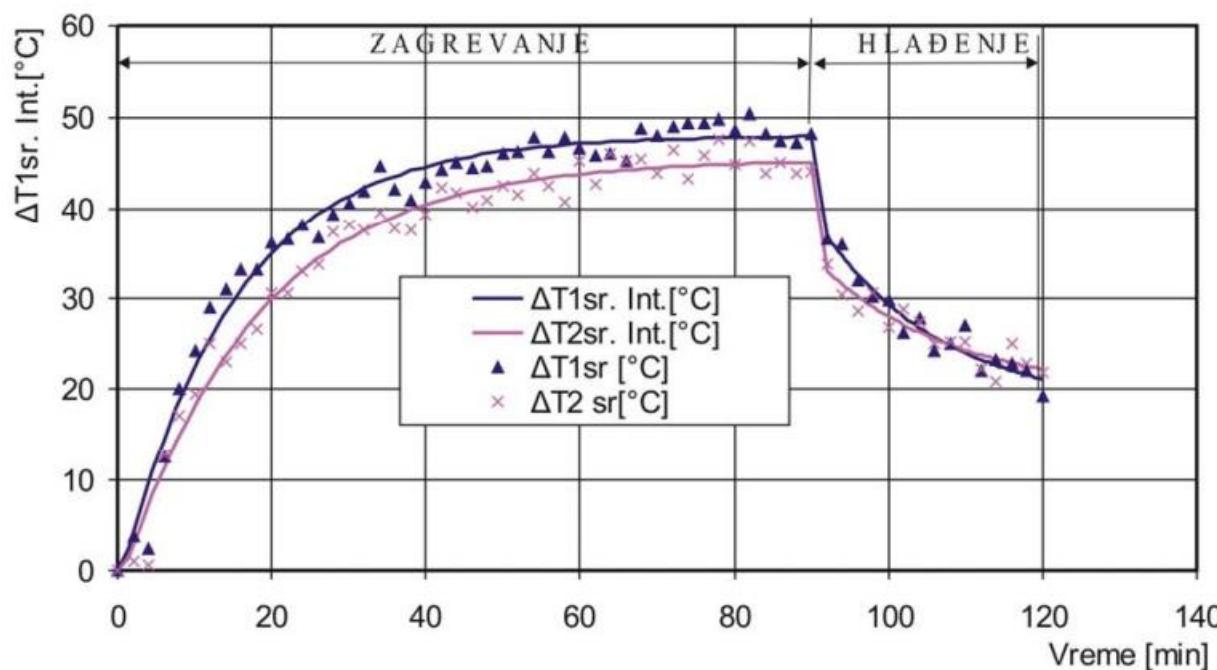
### Uvodne napomene

- Mašina alatka se može smatrati mehaničkim sistemom sa brojnim topotnim izvorima i ponorima.
- Ukupna količina toplote, koja se razvija u mašini transformacijom ulazne energije i prenosom ili zračenjem od okoline, ima uticaj na tačnost obrade zbog temperaturnih deformacija pojedinih elemenata mašine.
- Vremenska i prostorna promena topotnih, odnosno temperaturnih stanja u mašini alatki uslovljava topotne deformacije elemenata, što u krajnjoj liniji dovodi do promene prvobitno regulisanog međusobnog položaja alata i obradka i pojave greške (netačnosti mera i oblika) pri obradi.
- Isto tako, ove deformacije izazivaju i greške pozicioniranja elemenata kod numerički upravljenih obradnih sistema.
- Strukturnom analizom mašina alatki mogu se definisati topotni izvori, kao i oblici prenošenja toplote. Pojedinačni topotni izvori od posebnog interesa za mašine alatke su: ležišta, vodice, spregnuti zupčanici, remeni prenosnici, spojnice, kočnice, motori, hidroinstalacije i dr.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

- Polazeći od početnog nezagrejanog stanja mašine alatke, posle određenog vremenskog perioda dolazi do tzv. toplotne ravnoteže za koju važi da je količina toplote koja se razvija unutar strukture mašine alatke jednaka količini toplote koja se preda okolini.
- Sve do postizanja toplotne ravnoteže temperatura elemenata mašine alatke raste, a sa njom i toplotne deformacije.
- Sa toplotnom ravnotežom postiže se i stacionarno temperaturno stanje mašine alatke.

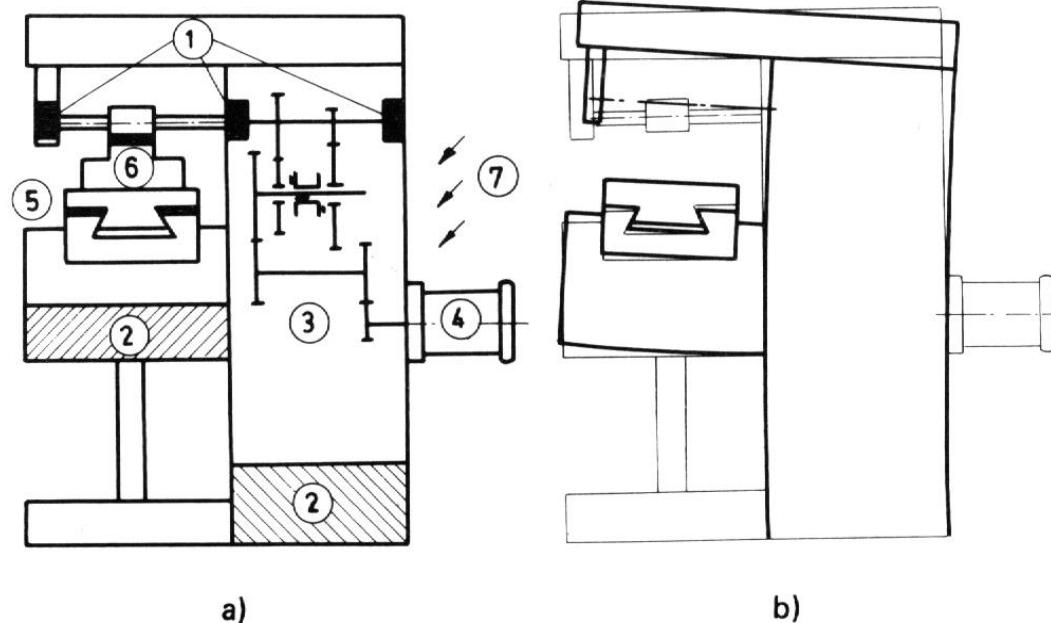


## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Uvodne napomene

Položaj i intenzitet toplotnih izvora na mašni je promenljiv u vremenskom domenu i oni se mogu podeliti i na :

- *spoljne izvore* (predmeti iz neposrednog okruženja (grejna tela, zidovi, druge mašine, dejstvo sunčanih zraka itd.) i toplotno dejstvo protoka materijala kroz obradni sistem (obradak, pomoćni materijal, rashladno sredstvo, sredstvo za podmazivanje i sl.);
- *unutrašnji izvori toplote* – obuhvataju energiju gubitaka pogonskih motora i rad sila trenja u prenosnoj strukturi i procesa rezanja;



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

---

### Uvodne napomene

- Pod unutrašnjim uticajim i unutrašnjim izvorima toplote podrazumevaju se faktori toplotnog uticaja koji nastaju radom mašine u opterećenom ili neopterećenom stanju.
- Deo ove generisane toplote dovodi do povećanja temperature alata i obradka. Najveći deo toplote je u strugotini, koji, posebno u mašinama sa horizontalnom površinom stezanja, doprinose povećanju temperature radnog stola.
- Među unutrašnje izvore toplote takođe se ubraja toplotno stanje rashladne tečnosti, koja kvasi najveći deo radnog prostora.
- Oba ova izvora mogu pripadati nepredvidivim uticajnim faktorima i koristite se za postizanje ujednačene distribucije temperature.
- Ciljani toplotni uticaj se takođe može izvesti hlađenjem pojedinačnih komponenti (glavno vreteno, motori), koji indirektno, ali, takođe, imaju uticaj na strukturu mašine.
- Toplota iz unutrašnjih izvora predstavlja transformisanu ulaznu električnu energiju. Znači celokupna ulazna snaga kod jedne mašine alatke se koristi za savladavanje otpora u elektromotoru, prenosnicima i za savladavanje otpora u zoni rezanja.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

---

### Uvodne napomene

- Od posebnog interesa je određivanje stacionarnog toplotnog stanja ležaja na glavnom vretenu mašina alatki, obzirom da njihova temperatura ne sme preći određene vrednosti.
- U suprotnom može doći do neželjenih deformacija, a i opadanja viskoznosti maziva.
- Pošto, promena toplotnog stanja dovodi do promene međusobnog položaja sklopova i zazora to utiče i na promenu statičkih i dinamičkih karakteristika mašina alatki.
- Ako mašina dugo radi pri konstantnim režimima obrade (masovna proizvodnja), tada temperatura i deformacije teži ka stacionarnom stanju.
- Kod univerzalnih mašina alatki sa čestim promenama opterećenja ili u mašinama sa promenljivim radnim programima takvo stanje se ne postiže.
- U ovom slučaju, raspodela temperature i deformacija su dinamične veličine.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

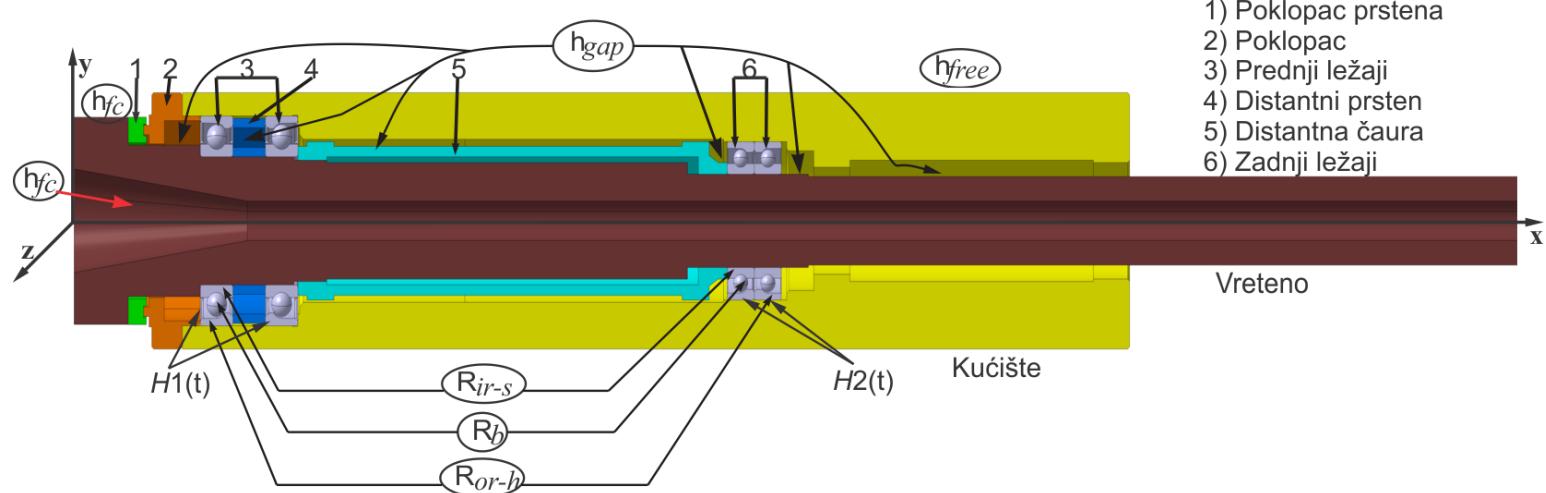
### Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

- Uticaj toplotnih deformacija kao poremećajnog sistema je od velikog značaja, pogotovo kod mašina alatki koje koriste motor-vretena, kod kojih se javlja dodatni toplotni izvor na rotoru motora koji je u neposrednoj blizini ležišta, što dodatno otežava problem toplotnih pojava.
- Kod visokobrzinskih mašina alatki nedovoljna radna tačnost dovodi se u vezu sa topotnim deformacijama.
- Ovakvih greške obrade koje su izazvane statičkim i dinamičkim ponašanjem mogu biti veoma male u odnosu na greške koje nastaju kao posledica toplotnog uticaja.
- Promene toplotnog stanja dovode do promene zazora i preklopa u sklopu glavnog vretena, što direktno utiče na statičko i dinamičko ponašanje maštine alatke.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

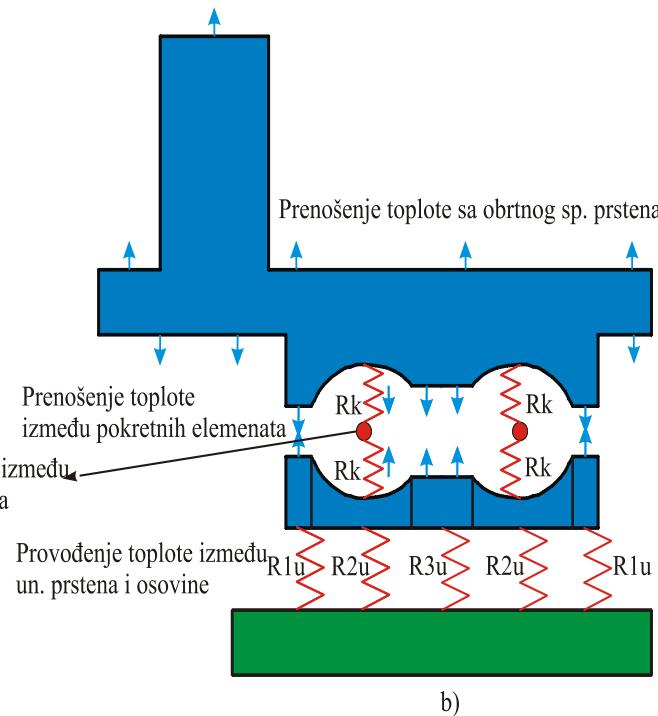
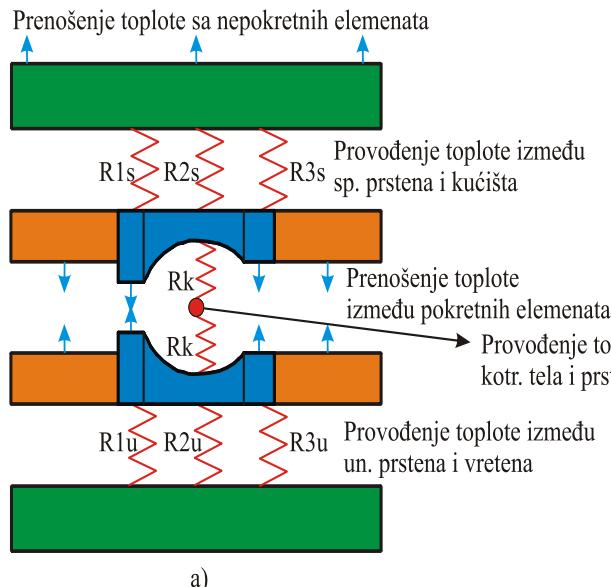
- Druga grupa pitanja u vezi sa topotnim ponašanjem mašina alatki vezana je za prenos toplote kroz strukturu maštine alatke. Vidovi prenosa toplote mogu se grupisati na:
- ✓ provođenje toplote kroz kontakte,
  - ✓ prirodnu konvekciju,
  - ✓ prinudnu konvekciju i
  - ✓ prostiranje toplote zračenjem.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

- Provodenje toplote ili kondukcija, sastoji se u predaji toplote od jednog molekula drugom, pri čemu se toplota, po kinetičkoj teoriji molekula putem sudara, prostire od toplijih molekula, koji imaju veću brzinu, ka hladnijim molekulima istog tela koji imaju manju brzinu predajući im na taj način jedan deo toplotne energije.
- Provodenje toplote kroz kontakte kod sklopa glavnog vretena se ostvaruje na mestu kontakta kotrljajnih tela i prstenova i prstenova sa vretenom odnosno kućištem.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Vidovi prenosa toplote kod mašina alatki

- Proces konvekcije se sastoji u tome što zagrejani molekuli fluida (u ovom slučaju sredstva za podmazivanje) prelaze sa jednog mesta (izvora topline koji se nalazi na mestu kontakta kotrljajnih elemenata i spoljašnjeg prstena) na drugo mesto.
- Deo ovih molekula prelazi na glavno vreteno, dok se drugi deo oslobađa u atmosferu.
- Ovde postoje dve vrste strujanja fluida i to prirodna i prinudna konvekcija.
- Prinudna konvekcija se javlja kada, temperature i specifične gustine imaju različite vrednosti u raznim slojevima posmatranog fluida.
- Ovakvo stanje slojeva fluida pod uticajem gravitacije i obrtanja ležišta ostvaruje strujanje celokupne mase fluida, a sa ovim i puno prostiranje topline kroz fluid (sredstva za podmazivanje i hlađenje).
- Prirodna konvekcija se ostvaruje razmenom topline između nepokretnih delova maštine alatke i okoline.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

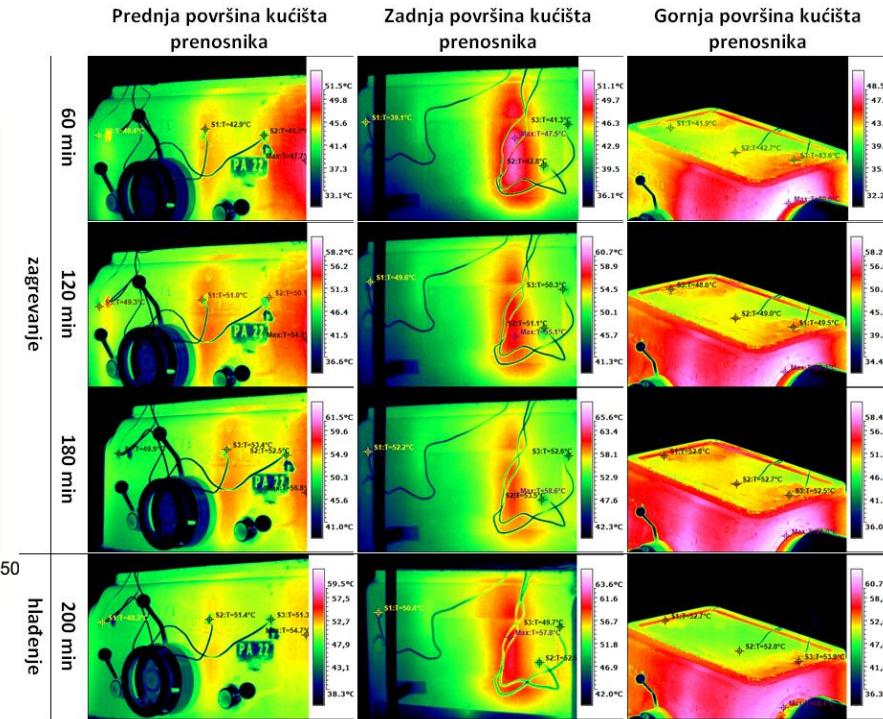
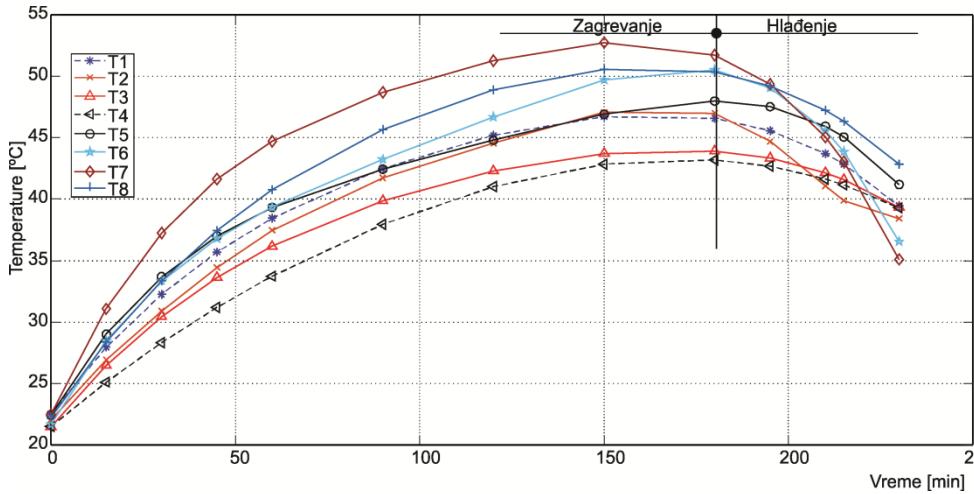
### Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

- Radi uvida u toplotno ponašanje konkretnе mašine vrši se eksperimentalno ispitivanje pri njenom radu u praznom hodу, obzirom da količina toplote koja se razvija u zoni rezanja nema nekog značajnijeg uticaja na deformacije elemenata mašine (odvodi se alatom, obradkom i sredstvom za hlađenje i podmazivanje).
- Ispitivanjem se utvrđuju sledeći parametri:
  - ✓ priraštaj temperatura karakterističnih tačaka mašine u odnosu na početnu temperaturu;
  - ✓ vreme postizanja stacionarnog temperaturnog stanja;
  - ✓ temperaturne deformacije preko utvrđivanja promene položaja ose glavnog vretena;
- Zbog neravnomernog rasporeda toplotnih izvora u mašinama alatkama to ni porast temperature na pojedinim mestima nije isti.
- Najveći broj pokretnih elemenata se nalazi u prenosniku za glavno kretanje, te je i razvijena toplota tu najintenzivnija.

## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

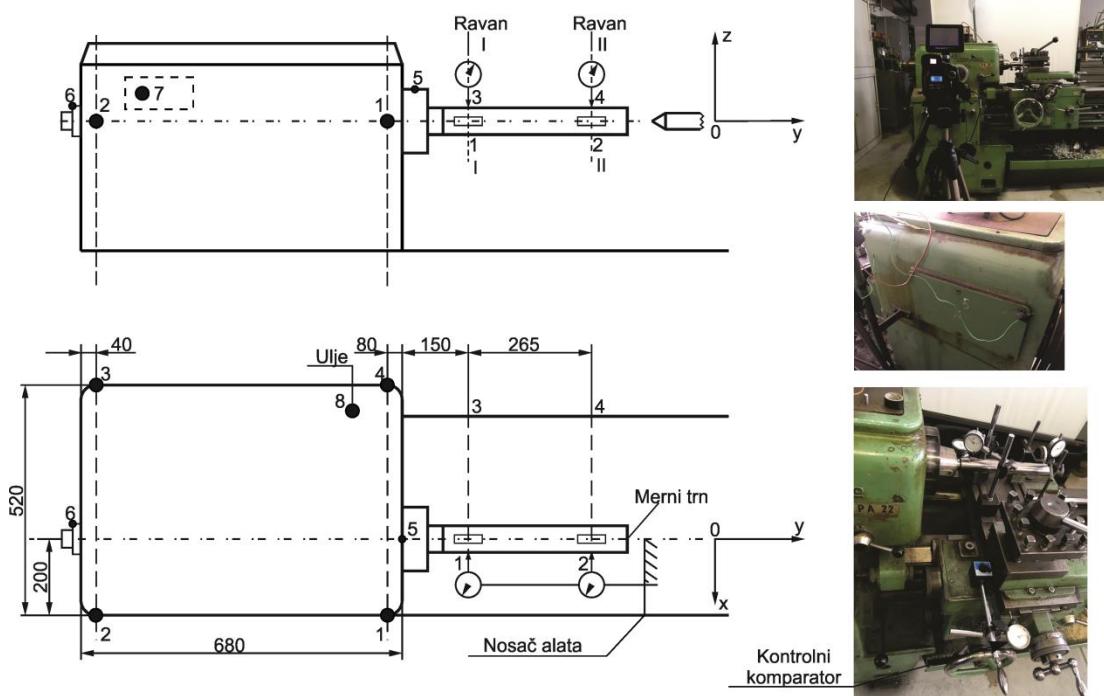
- Vreteno maštine alatke prima pogon preko prenosnika za glavno kretanje, a nosi ili alat ili radni predmet, te tako direktno utiče na tačnost obradka.
- Zbog toga se ispitivanje deformacija pod dejstvom temperature vrši na prenosniku za glavno kretanje, a i ispitivanja su pokazala da je on najzagrejaniji deo maštine alatke.
- Ispitivanje toplotnog ponašanja podrazumeva definisanje krive zagrevanja od početnog hladnog do približno stacionarnog stanja maštine za najvažnije toplote izvore.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

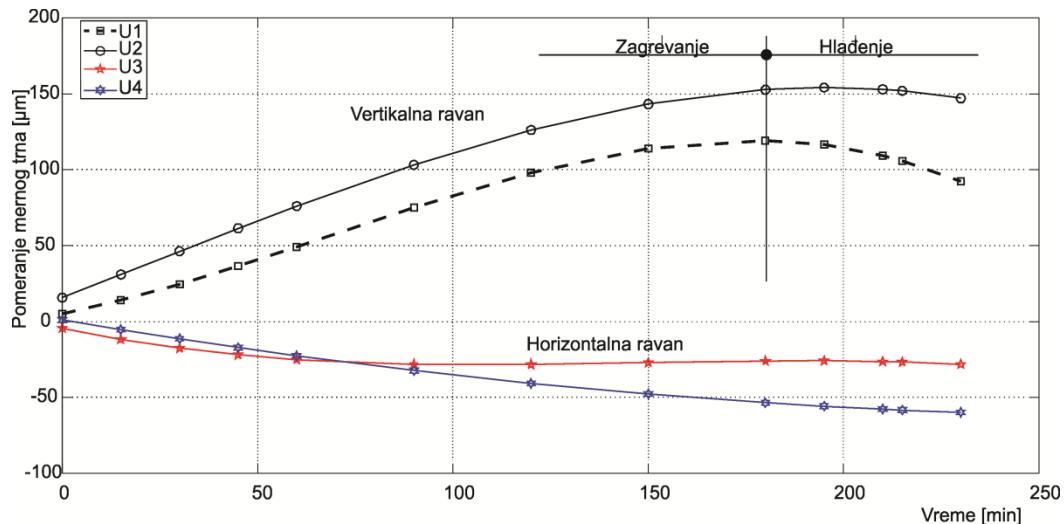
- Za vreme merenja toplotnih deformacija glavno vreteno se zaustavlja, a komparatori preko poprečnog klizača se dovode u početni položaj (položaj merenja).
- Na poprečni klizač mašine se postavljaju komparatori u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Merni pipci komparatora oslanjaju se na merni trn u vertikalnoj ravni u tačkama 1 i 2, i horizontalnoj ravni u tačkama 3 i 4.



## 4.0 GLAVNE KARAKTERISTIKE MAŠINA ALATKI

### Eksperimentalno ispitivanje toplotnog ponašanja mašina alatki

- U vertikalnoj ravni deformacije (pomeranja) prate tok porasta tempearature, dok u horizontalnoj to nije tako uočljivo zbog neponištenog zazora u ležajima.



- Na bazi razlika deformacija u stacionarnom toplotnom stanju, moguće je odrediti i ugao nagiba ose glavnog vretena u vertikalnoj i horizontalnoj ravni kao:

$$\alpha_v = \operatorname{arctg} \frac{U_2 - U_1}{l} \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_H = \operatorname{arctg} \frac{U_4 - U_3}{l} \cdot 10^{-3}$$

$U$  - pomernja očitana na komparatoru u posmatranim tačkama u stacionarnom toplonom stanju, a  
 $l$  - rastojanje između komparatora.

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

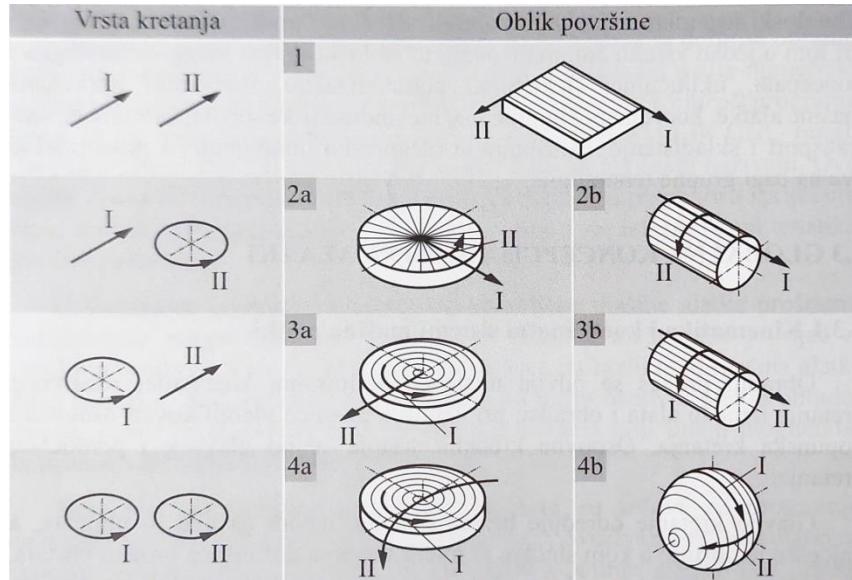
OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI**

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

- Proces rezanja se odvija u definisanoj kinematskoj vezi između alata i obradka.
- Osnovna kretanja se sastoje od glavnog i pomoćnog kretanja.
- Dopunska kretanja se odnose na poziciona, podeona i slične vrste kretanja, kao i na kretanja vezana za manipulaciju alatima i obradcima.
- Putanja relativnog kontakta između alata i obradka je najčešće sastavljena od elementarnih pravolinijskih i obrtnih kretanja, koja se ostvaruju odgovarajućim kretanjima izvršnih organa mašine alatke.



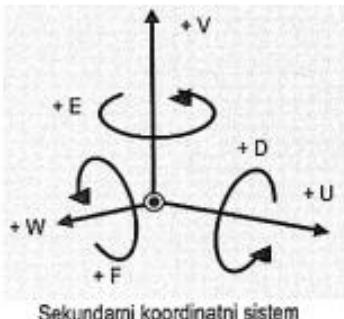
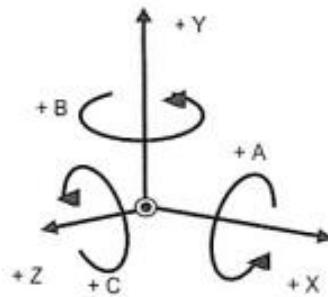
*Mogući načini kombinovanja pravolinijskih i obrtnih kretanja*

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

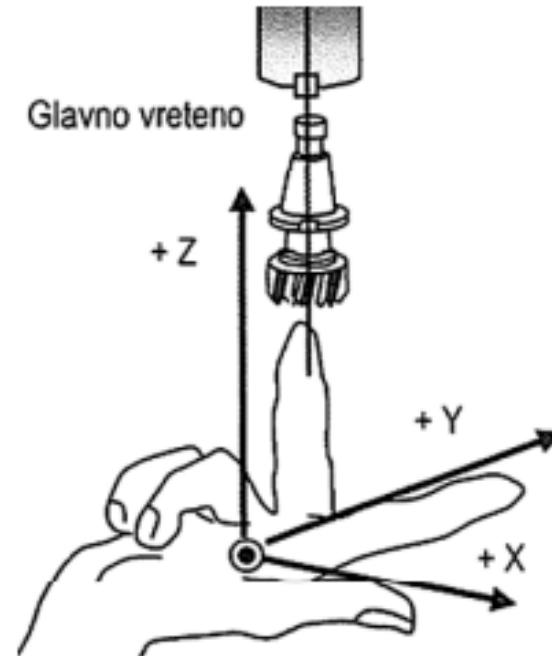
- Obzirom na različite mogućnosti kretanja izvršnih organa mašina alatki kao i stepena njihove složenosti, mašine alatke se mogu podeliti u tri grupe:
  - ✓ **proste,**
  - ✓ **složene i**
  - ✓ **kombinovane.**

Oblici kretanja po osama M.A.:

- rotaciona ili pravolinijiska,
- glavna i pomoćna kretanja.



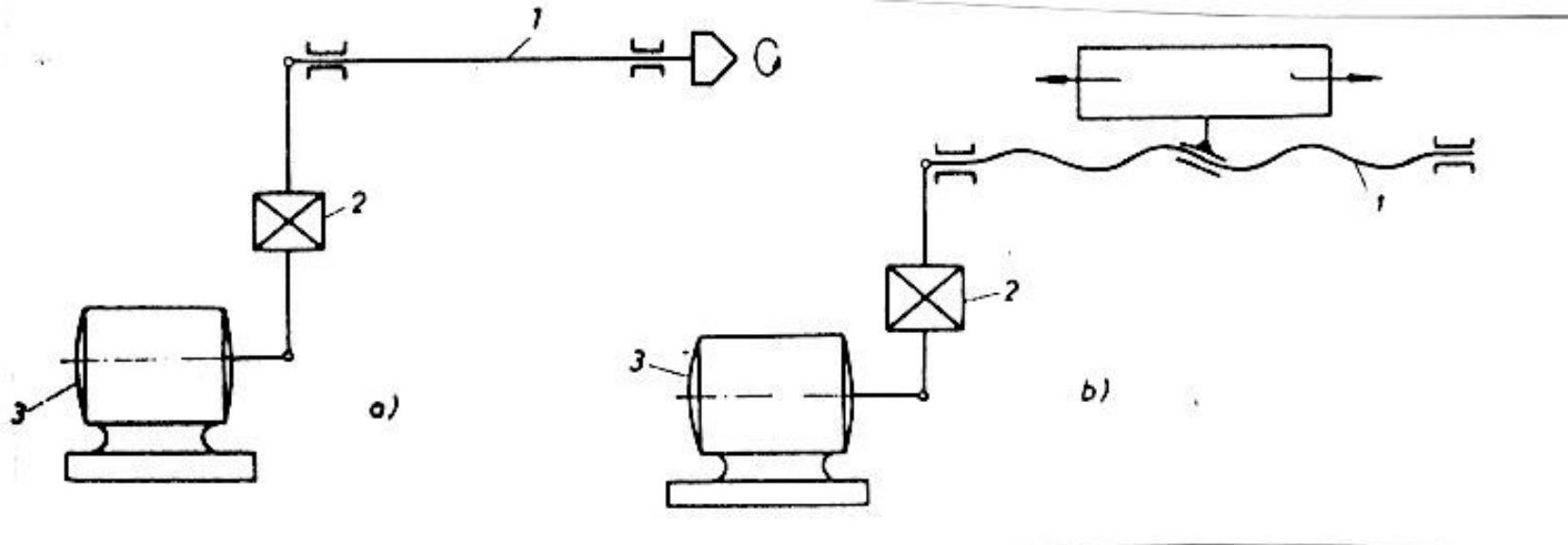
Primarni koordinatni sistem



Sekundarni koordinatni sistem

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Proste mašina = ostvaruju samo jedno kretanje (ili obrtno ili pravolinijsko), tako da je za obradu nekog obradka potrebno pomoćno kretanje koje u tom slučaju mora da izvodi sam rukovaoc.



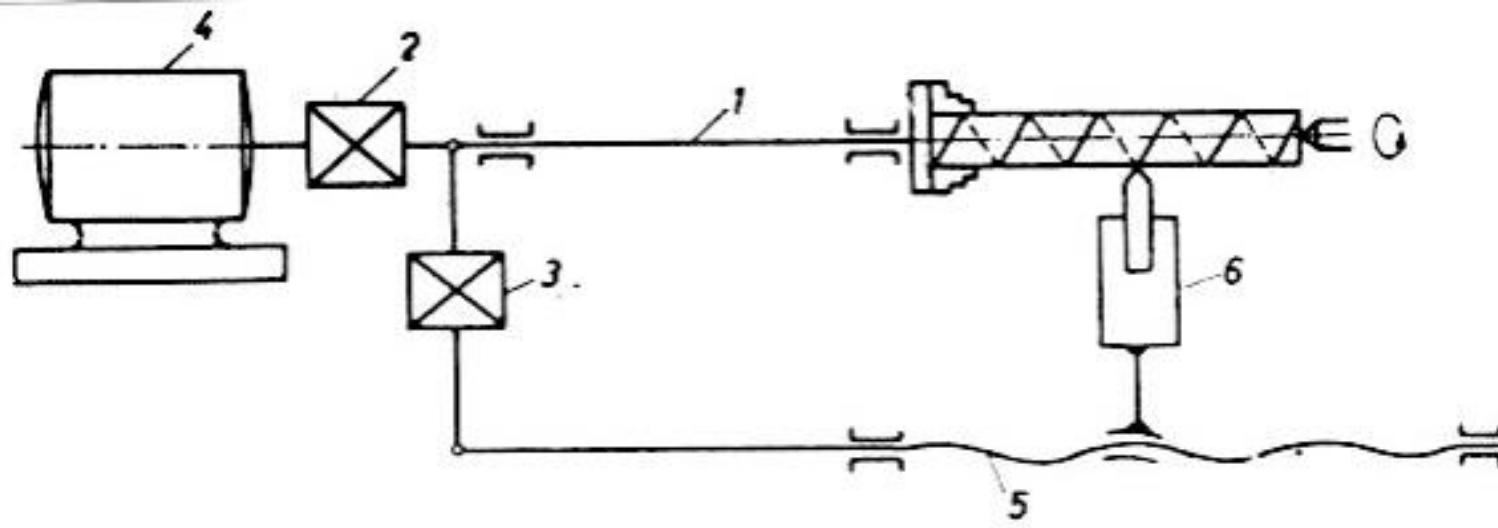
a) sa obrtnim kretanjem

b) sa pravolinijskim kretanjem

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

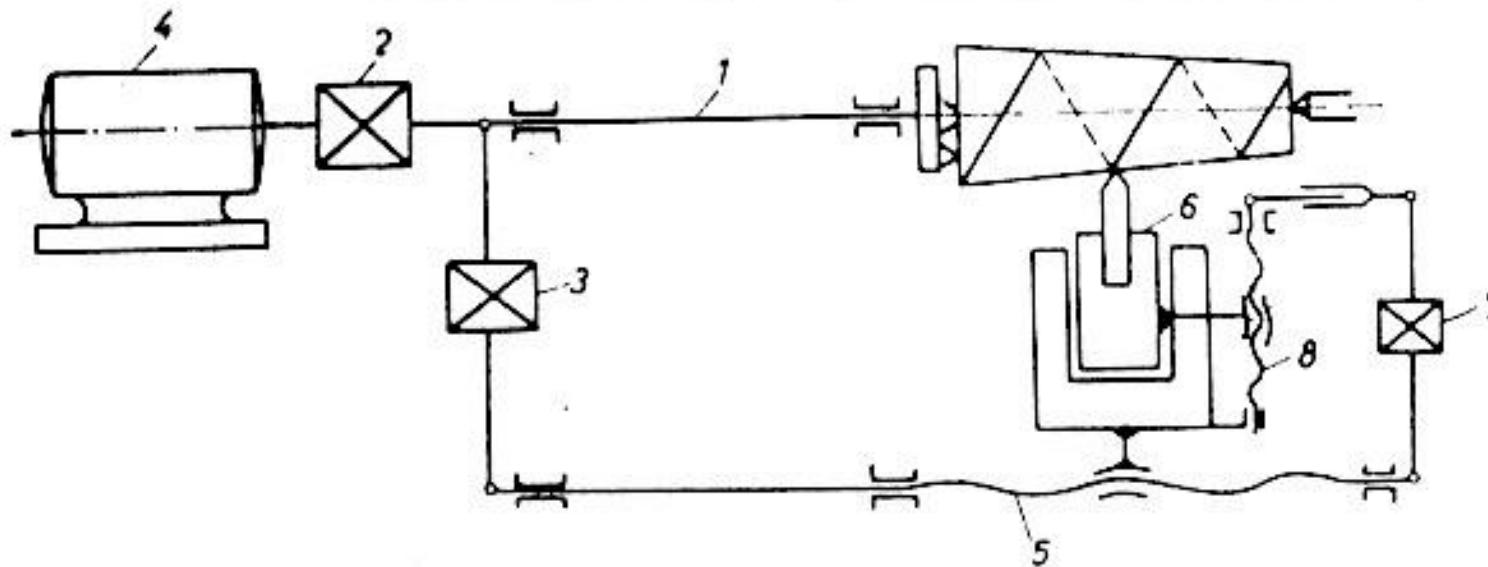
---

**Složene mašine** = istovremeno se ostvaruju **osnovna kretanja**.



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Kod **kombinovanih** mašina se pojavljuje više grupa prostih ili složenih sistema koji se nalaze u određenoj međuzavisnosti.



Složeni sistem sa prenosnicima 2 i 3 obezbeđuje glavno i pomoćno kretanje kao u prethodnom slučaju ostvarujući njihovu međusobnu zavisnost.

Prost sistem je onaj koji preko prenosnika 7 i zavojnog vretena 8 obezbeđuje radikalno primicanje alata. Istovremenim dejstvom svih ovih kretanja postiže se izrada konične zavojnice.

## **5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI**

---

**Složene i kombinovane mašine alatke** mogu imati **različita koncepcijska rešenja pri istoj nameni**, u zavisnosti od toga kakva se uloga dodeljuje alatu i radnom predmetu u pogledu izvođenja **osnovnih kretanja**.

Oznaka (Simbol):

**A** – alat; **R** - radni predmet;

**G** - glavno kretanje;

**P<sub>x</sub>**, **P<sub>y</sub>**, **P<sub>z</sub>**, - pomoćno pravolinijsko kretanje u pravcima osa X, Y, Z;

**Po** -pomoćno obrtno kretanje;

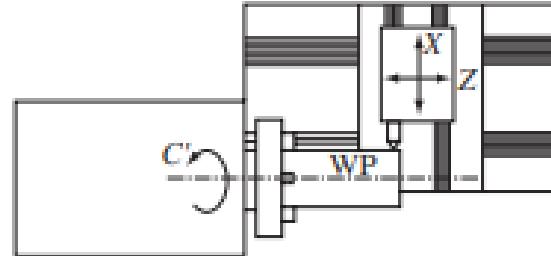
**Napomena:** Simbol za kretanje se postavlja uz simbol za alat ili radni predmet, zavisno od toga ko izvodi kretanje označeno tim simbolom;

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

---

### Simbolički prikaz (struktturni izraz) za strug

$$P_z, P_x (A, R) G$$



Ako se simboli u zagradi posmatraju kao jedan član, a simboli za kretanje kao posebni članovi onda je broj mogućih permutacija :

$$K = 1 \times 2 \times 3 \times 4 = 4! = 24$$

**Konstatacija:** Sa stanovišta mogućnosti kretanja mogu se ostvariti 24 koncepcijske varijante.

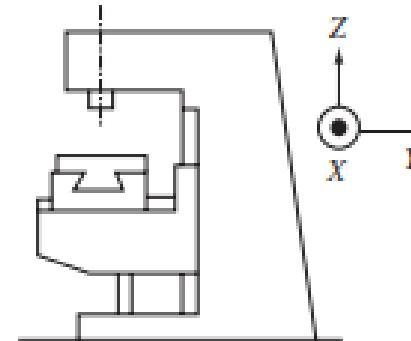
### 3.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Simbolički prikaza **konzolne glodalice** je:

**G (A,R) P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub>, P<sub>z</sub>**

$$K = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 = 5! = 120$$

120 koncepcijskih varijanti u pogledu kretanja;



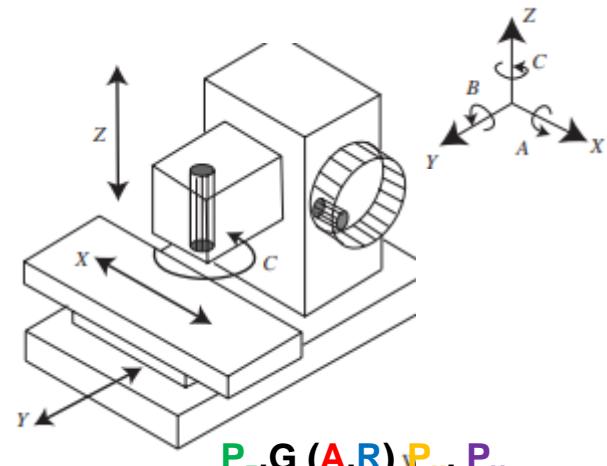
Kod konzolnih glodalica se mogu pojaviti i druge koncepcijске varijante:

P<sub>y</sub>, G (A,R) P<sub>x</sub>, P<sub>z</sub>

P<sub>z</sub>, G (A,R) P<sub>y</sub>, P<sub>x</sub>

P<sub>x</sub>, G (A, R) P<sub>y</sub>, P<sub>z</sub>

P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub>, G (A,R) P<sub>z</sub> *itd.*



*Obradni centar sa tri ose.*

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

---

Kod **jednovretenih bušilica** koje imaju samo jedno pomoćno kretanje simbolički prikaz je :

**Pz, G (A,R)**

što odgovara 3 ! tj. 6 koncepcijskih varijanti.

Kod **rendisaljki** je i glavno i pomoćno kretanje pravolinijsko i u zavisnosti od toga da li alat ili radni predmet izvodi glavno kretanje razlikuju se kratkohodne i dugohodne rendisaljke.

**G ( A,R) Py**, - kratkohodna rendisaljka,

**G (A,R) Py** – dubilica,

**Px, (A,R) G** - dugohodna rendisaljka;

6 koncepcijskih  
varijanti.

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

**Brusilica za ravno brušenje sa pravougaonim stolom ima simbolički prikaz**

$P_z, G (A, R) P_x, P_y$ , ili

$G (A, R) P_x, P_y, P_z$

što daje  $5!$  varijanti tj. 120 varijanti.

**Brusilica za spoljašnje okruglo brušenje po principu Norton-a ima simbolički prikaz**

$P_y, G (A, R) P_x, P_o$

**Brusilica za spoljašnje okruglo brušenje po principu Landisa ima simbolički prikaz**

$P_x, P_y, G (A, R) P_o$

120 koncepcijskih varijanti.

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

---

Simbolički prikaz brusilice za unutrašnje okruglo  
brušenje je

**P<sub>x</sub>, P<sub>y</sub>, G (A, R) Po**

sa 5!, tj. 120 varijanti;

**ZAKLJUČAK:**

*Isti simbolički prikaz može da predstavlja sasvim različite mašine .*

## **5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI**

---

Dalje povećanje koncepcijskih varijanti se može postići variranjem broja:

- **glavnih vretena,**
- **istovremeno obrađenih površina na obradku,**
- **istovremeno obrađenjih radnih predmeta itd.**

**Povećanjem složenosti mašine može se (pored obezbeđnja potrednih kretanja) postići i :**

- skraćenje glavnog vremena obrade ili
- skraćenje pomoćnog vremena ili
- istovremeno skraćenje i glavnog i pomoćnog vremena.

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

---

### ***Istovremena obrada više površina***

Poklapanje glavnih i pomoćnih vremena može se postići i pri istovremenoj obradi više površina na jednom radnom predmetu, komponovanjem agregatnih jedinica oko radnog predmeta.

Postoje principijelno dva slučaja:

- radni predmet nepokretan
- radni predmet pokretan.

## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

---

**Koncepciona rešenja kod mašina sa nepokretnim radnim predmetom.**

$$K = \binom{n_1 + n_2 - 1}{n_2} \quad \begin{array}{l} n_1 - \text{broj osnovnih pravaca pomoćnog kretanja}, \\ n_2 - \text{broj površina na radnom predmetu koje se obrađuju}. \end{array}$$

K - broj varijantnih rešenja = broj kombinacija sa ponavljanjem n1 elemenata n2 klase.

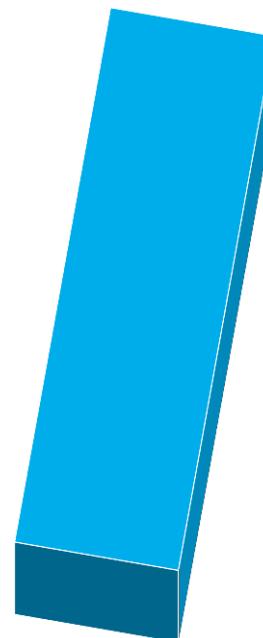
### Primer 1:

Za najjednostavniji slučaj obrade paralopipeda

n1 = 2 (horizontalan i vertikalni pravac)

n2 = 6

**K = 7**



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Koncepciona rešenja kod mašina sa nepokretnim radnim predmetom.

### Primer 1:

Za najjednostavniji slučaj obrade paralopipeda

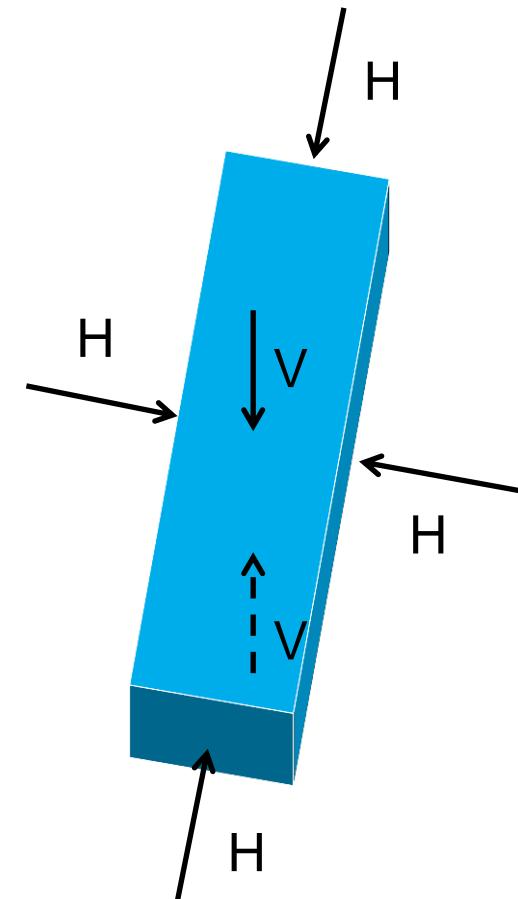
$n_1 = 2$  (horizontalan i vertikalni pravac)

$n_2 = 6$

$K = 7$

$H$	$H$	$H$	$H$	$H$	$H$	
$H$	$H$	$H$	$H$	$H$	$V$	
$H$	$H$	$H$	$H$	$V$	$V$	
$H$	$H$	$H$	$V$	$V$	$V$	
$H$	$H$	$V$	$V$	$V$	$V$	
$H$	$V$	$V$	$V$	$V$	$V$	
$V$	$V$	$V$	$V$	$V$	$V$	

$H$						
$H$	$H$	$H$	$H$	$H$	$H$	$V$
$H$	$H$	$H$	$H$	$V$	$V$	$V$
$H$	$H$	$H$	$V$	$V$	$V$	$V$
$H$	$H$	$V$	$V$	$V$	$V$	$V$
$H$	$V$	$V$	$V$	$V$	$V$	$V$
$V$						



### 3.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Koncepciona rešenja kod mašina sa nepokretnim radnim predmetom.

Primer 2:

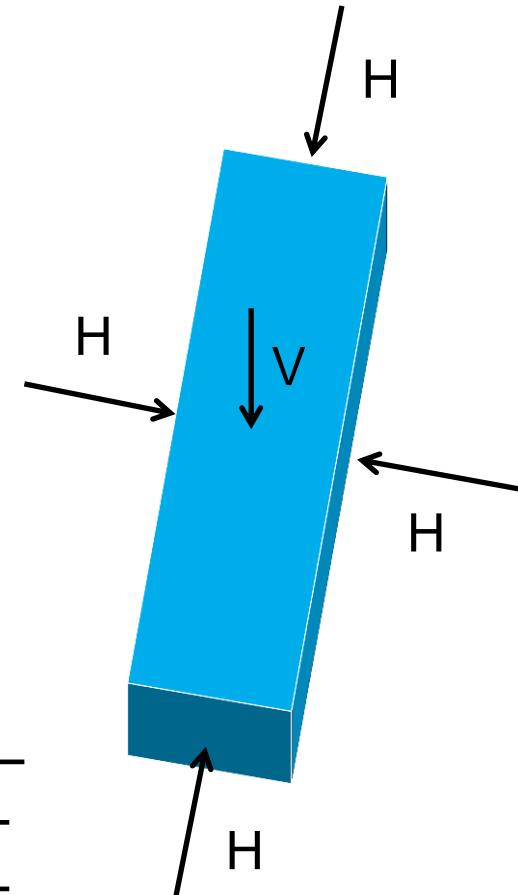
$n_1 = 2$  (horizontalan i vertikalni pravac)

$n_2 = 5$  (1 površina za postavljanje i stezanje radnog predmeta)

$K = 6$

H	H	H	H	H
H	H	H	H	V
H	H	H	V	V
H	H	V	V	V
H	V	V	V	V
V	V	V	V	V

H	H	H	H	H
H	H	H	H	V
H	H	H	V	V
H	H	V	V	V
H	V	V	V	V
V	V	V	V	V



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Koncepciona rešenja kod mašina sa nepokretnim radnim predmetom.

Primer 3:

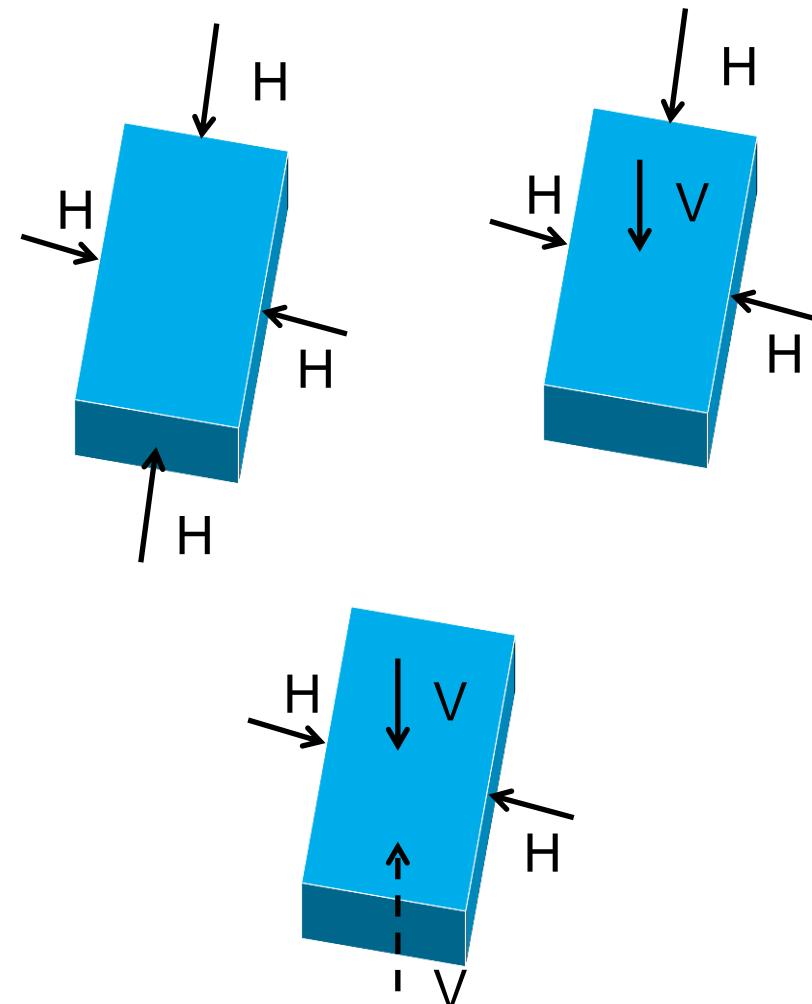
$n_1 = 2$  (horizontalan i vertikalni pravac)

$n_2 = 4$  (četverostranana obrada)

$K = 5$

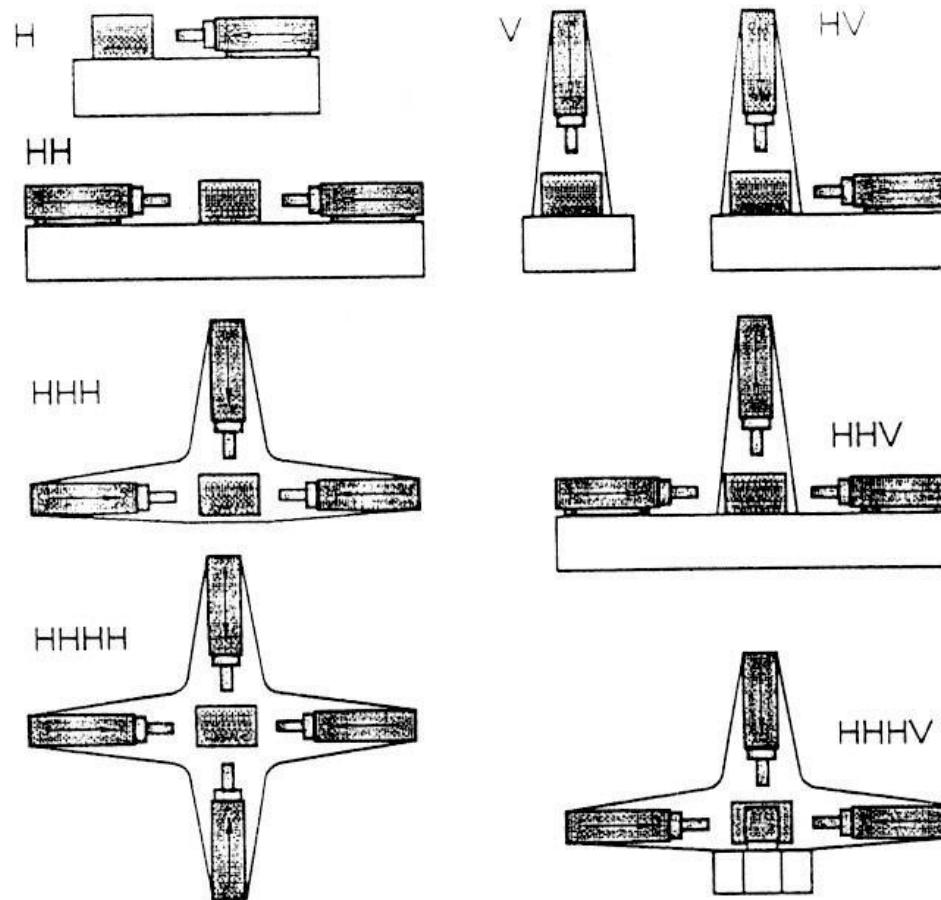
$H$	$H$	$H$	$H$
$H$	$H$	$H$	$V$
$H$	$H$	$V$	$V$
$H$	$V$	$V$	$V$
$V$	$V$	$V$	$V$

$H$	$H$	$H$	$H$
$H$	$H$	$H$	$V$
$H$	$H$	$V$	$V$
$H$	$V$	$V$	$V$
$V$	$V$	$V$	$V$



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

Primeri višestrane obrade nepokretnog radnog predmeta



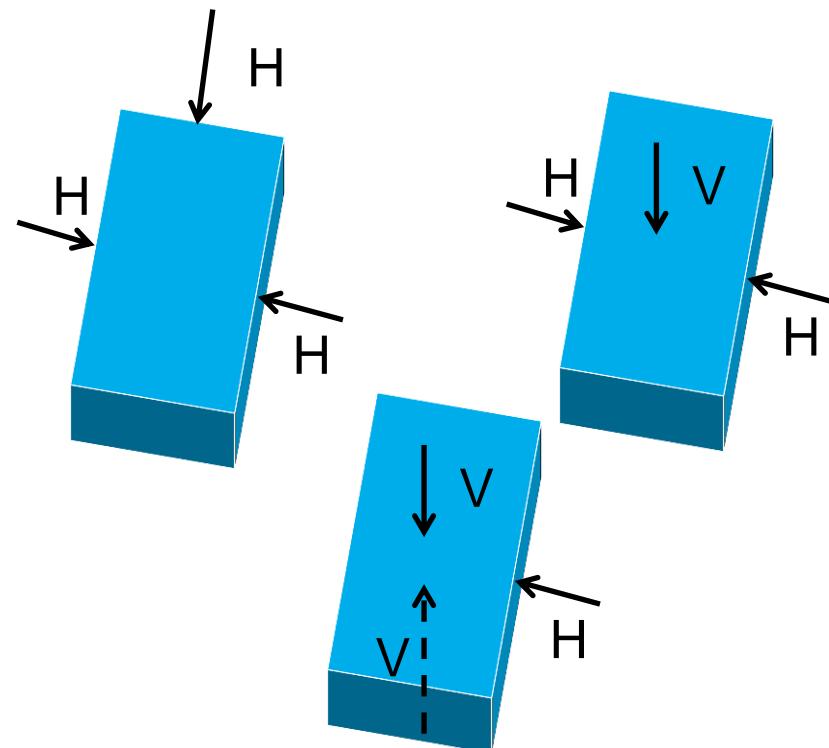
## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

### Koncepciona rešenja kod mašina sa pokretnim radnim predmetom

- radni predmet vrši pomoćno kretanje;
  - $n_2 = 3$  (oslanjanje i stazanje radnog predmeta)
  - $n_1 = 2$
- } Broj kombinacija **K = 4**

H	H	H	
H	H	V	=
H	V	V	
V	V	V	—

$H \quad H \quad H$   
 $H \quad H \quad V$   
 $H \quad V \quad V$   
 $V \quad V \quad V$



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

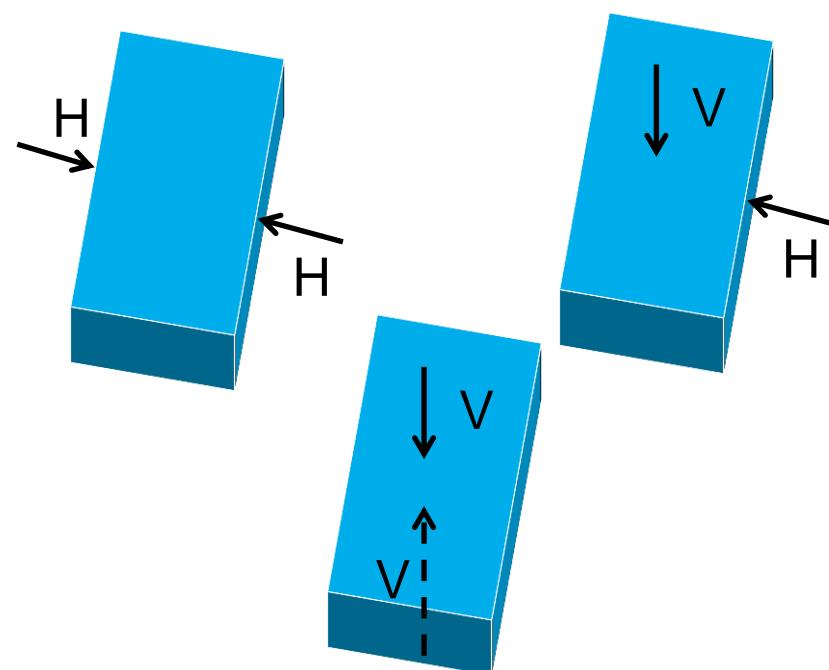
Koncepciona rešenja kod mašina sa pokretnim radnim predmetom

- radni predmet vrši pomoćno kretanje;
  - $n_2 = 2$
  - $n_1 = 2$
- } Broj kombinacija **K = 3**

$H$	$H$
$H$	$V$
$V$	$V$

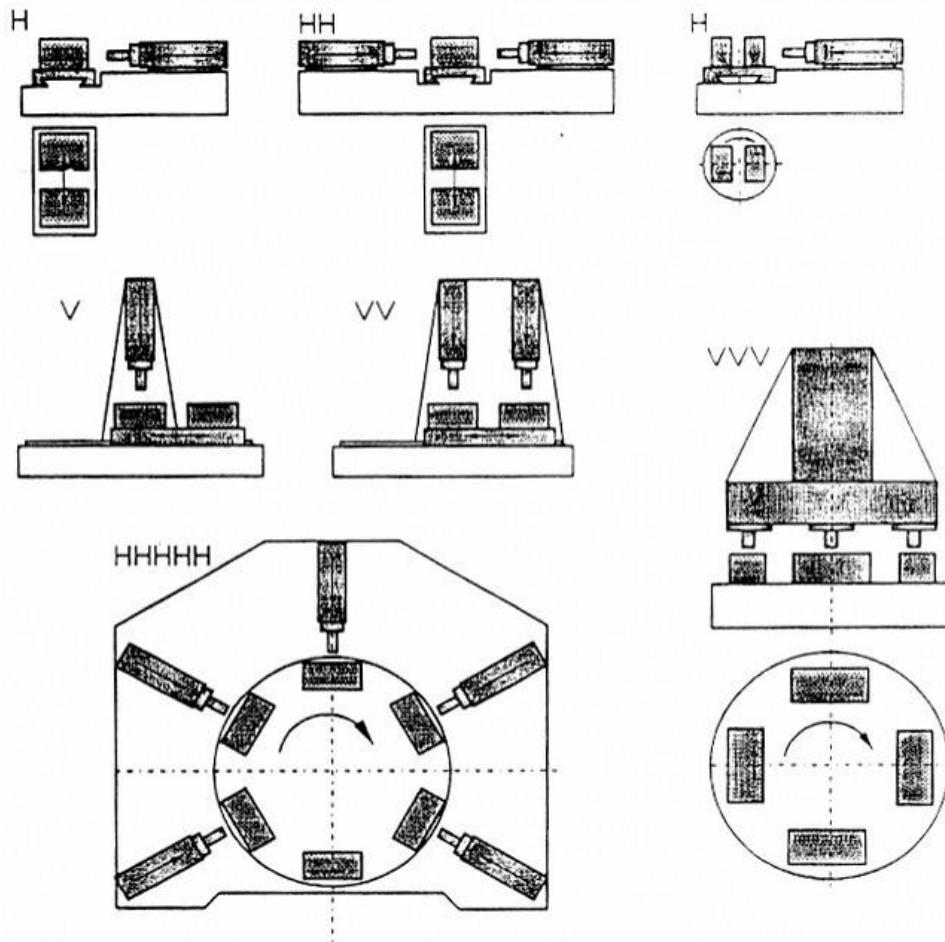
 $\equiv$ 

$H$	$H$
$H$	$V$
$V$	$V$



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

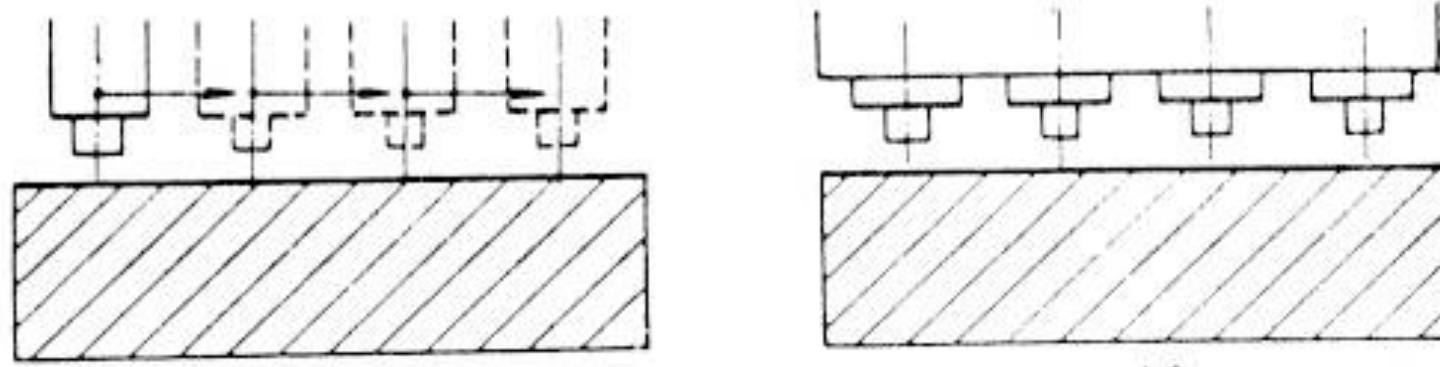
Primeri višestrane obrade pokretnog radnog predmeta



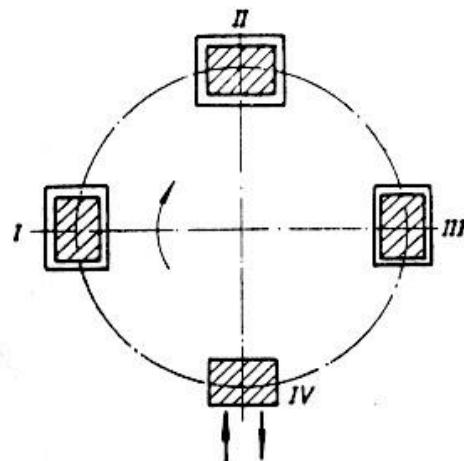
### 3.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

#### ***Skraćenje glavnog vremena:***

- Prelaskom sa jednovretene na viševretenu obradu;



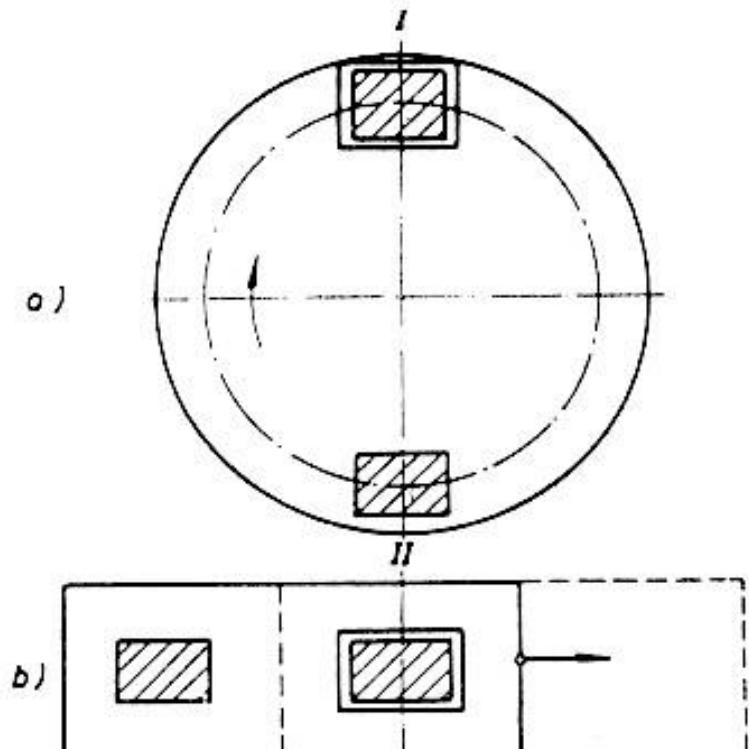
- Istovremenom obradom različitim alatima;



## 5.0 OPŠTE KONCEPCIJSKE VARIJANTE MAŠINA ALATKI

### ***Skraćenje pomoćnog vremena***

- delimičnim ili potpunim preklapanjem sa glavnim vremenom obrade



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **5.0 PROJEKTOVANJE / IZBOR MAŠINA ALATKI ZA OBRADU REZANJEM**

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

---

Osnovu za izbor ili projektovanje mašine alatke čini radni predmet koji će se obrađivati na mašini. Analiza mora obuhvatiti sledeće faze:

- Analiza oblika površina radnog predmeta (rotacioni, prizmatični.....),
- Analiza graničnih dimenzija radnog predmeta ( $D_{\max}$ ,  $L_{\max}$ ,  $B_{\max}$ ,  $H_{\max}$  ...),
- Analiza materijala radnog predmeta (Čelik, Sivi Liv, itd),
- Analizu materijala i dimenzija alata,
- Analiza tolerancija mera i oblika na radnom predmetu

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

---

Pri projektovanju/izboru mašine alatke, potrebno je voditi računa o sledećem:

- Kinematskoj strukturi prenosnika za glavno i pomoćno kretanje,
- Tačnosti mašine,
- Radnom prostoru mašine,
- Ekonomičnosti i produktivnosti,
- Statičkim, dinamičkim i toplotnim karakteristikama mašine,
- Fleksibilnosti i adaptivnosti mašine,
- Ergonomiji i estetici mašine, itd

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

Mašine alatke se projektuju i/ili biraju na osnovu grupe delova koji se obrađuju na predmetnoj mašini.

Definisanje tipa i vrste mašine alatke

(strug, glodalica, bušilica.....)

Analiza radnog predmeta

(granične dimenzijs, materijal r.p., oblik polufabrikata,  
broj komada)

Analiza i izbor alata

(materijal alata i granične dimenzijs alata)

Izbor koncepcione varijante M.A.

Karakteristike prenosnika za pomoćno  
kretanje

Karakteristike prenosnika za glavno kretanje

Karakteristike prenosnika za dopunska  
kretanja

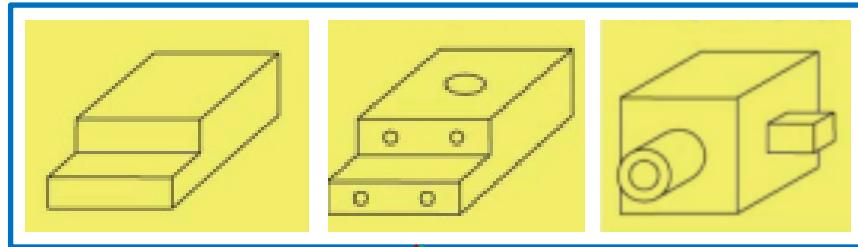
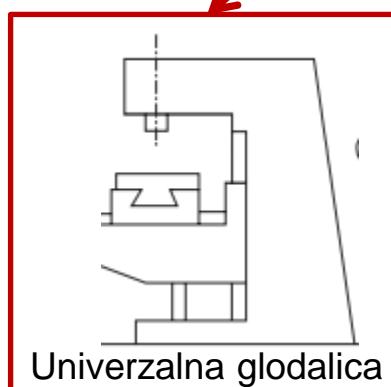
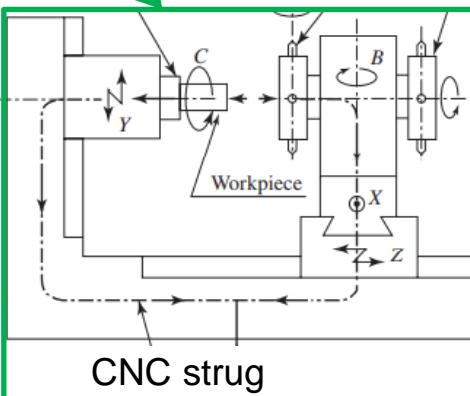
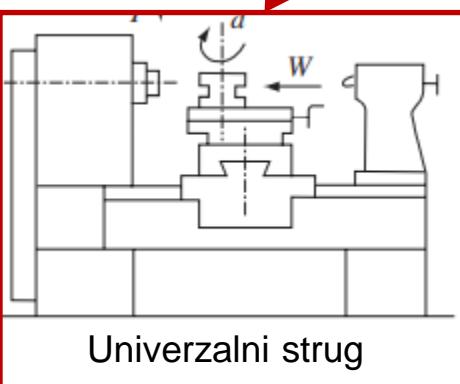
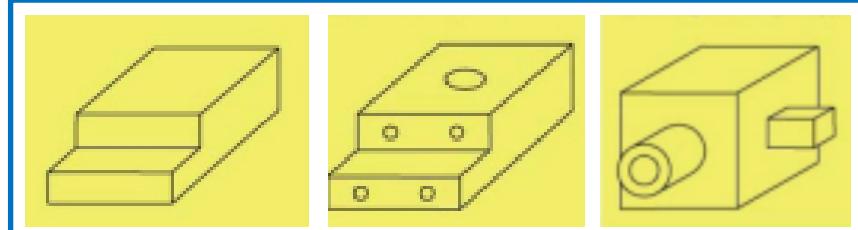
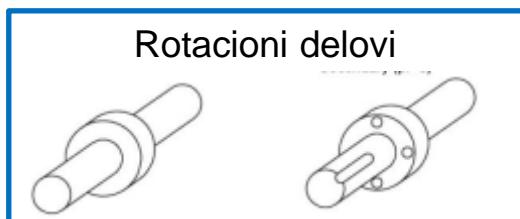
Snaga pogonskog(ih) motora

*Faze pri projektovanju/izboru  
mašina alatki*

# 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

## Definisanje tipa i vrste mašine alatke

Definisanje tipa i vrste mašine prvenstveno zavisi od oblika površina, dimenzija, materijala i zahtevane tačnosti radnog predmeta, veličine serije itd.



## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

### Analiza radnog predmeta

Kod univerzalnih mašina treba obezbediti glavne karakteristike, koje obezbeđuju široki dijapazon dimenzija obradka i obradu predmeta od različitih materijala, uz dobijanje različitih kvaliteta obrađene površine.

Polazni podaci za proračun glavnih karakteristika mašina alatki su:

- materijal i oblik polufabrikata;
- granične dimenzije radnih predmeta:

#### Struganje

- ✓  $D_{\max}$  - maksimalni prečnik,  $f$
- ✓  $D_{\min}$  - minimalni prečnik,  $f$
- ✓  $L_{\max}$  - maksimalna slobodna dužina predmeta obrade,

#### Bušenje

- ✓  $D_{\max}$  - maksimalni prečnik otvora,  $f$
- ✓  $D_{\min}$  - minimalni prečnik otvora,  $f$
- ✓  $L_{\max}$  - maksimalna dubina otvora,

#### Glodanje

- ✓  $B_{\max}$  - maksimalna širina,
- ✓  $H_{\max}$  - maksimalna visina,
- ✓  $L_{\max}$  - maksimalna dužina,

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

---

### Analiza i izbor alata za struganje

Izbor standardnog alata se vrši na osnovu dimenzija i karakteristika predmeta obrade i tipa mašine na kojoj se vrši obrada.

Izbor alata podrazumeva:

- izbor vrste alata (od BČ, od TM sa lemljenim pločicama, sa mehanički pričvršćenim pločicama, itd.)
- određivanje dimenzija drške (poprečnog preseka nosača) alata i dužine prepusta,
- usvajanje napadnog ugla  $\kappa$ ,
- određivanje dimenzija pločice,
- određivanje vrednosti radijusa vrha rezne pločice, itd.

Manje vrednosti dimenzija poprečnog preseka tela strugarskih noževa se usvajaju kod manjih prečnika predmeta obrade, fine obrade i veće stabilnosti sistema *alat - obradak- mašina*.

Izbor dimenzija rezne pločice se vrši prema usvojenoj dubini rezanja i poznatog (usvojenog) napadnog ugla  $\kappa$

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

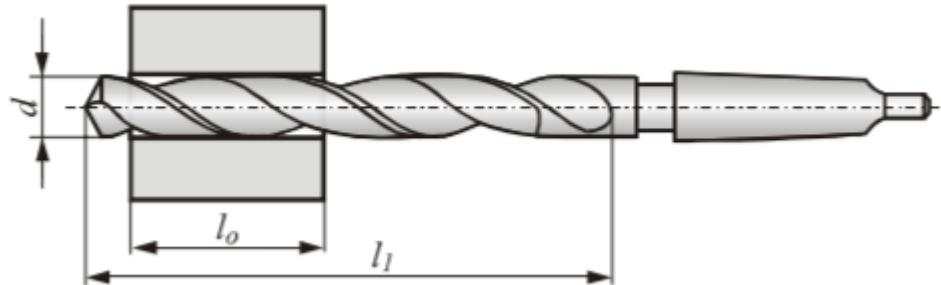
### Analiza i izbor alata za bušenje

Definisanje alata pri obradi bušenjem podrazumeva izbor standardnog alata, dimenzija, tolerancije izrade alata i materijala alata.

Izbor standarda alata se vrši na osnovu dimenzija i karakteristika otvora. Otvori prečnika većeg od 20 mm se uglavnom izrađuju sa alatima sa Morze konusnom (MK) drškom.

Dubina otvora koji se obrađuje direktno utiče na dužinu ožljebljenog dela alata, a time i definisanje standarda kome alat pripada.

$$l_{Imin} = l_o + 3d$$



Standardni alati u obradi bušenjem se izrađuju sa valjkastom i MK drškom. Pri projektovanju univerzalne mašine u obradi bušenjem predviđa se mogućnost korišćenja obe vrste alata.

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

### Analiza i izbor alata za glodanje

Definisanje alata pri obradi glodanjem podrazumeva izbor standardnog alata, dimenzija, tolerancije izrade alata i materijala alata.

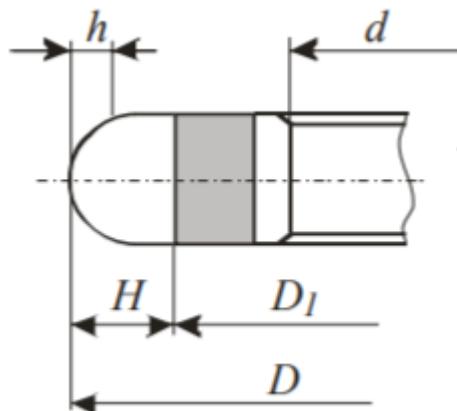
Sa povećanjem prečnika smanjuje se debljina strugotine i opterećenje sečiva, povećava se odvođenje toplote i postojanost alata.

Veći prečnik glodala obezbeđuje veći broj zuba većih dimenzija, veći korak po zubu, veći prečnik vratila (kod horizontalne glodalice) ili veći prečnik drške i vrata glodala (kod vretenastih glodalica), bolju ravnomernost obrade, manje vibracije i bolji kvalitet obrađene površine.

Pri izboru prečnika (npr. Koturastog loda) treba voditi računa o debljini tela glodala:

$$D_1 = (1,6 - 2,5)d$$

$$D \geq D_1 + 2H$$



$d$  – prečnik glavnog vretena

$D_1$  – prečnik glodala

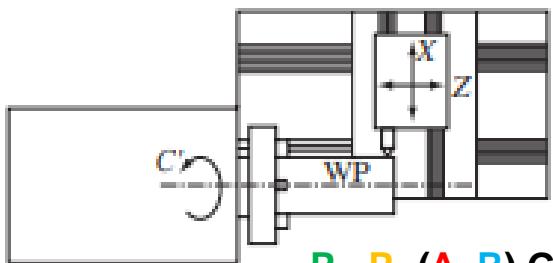
$H = h + (5 - 10)$  mm – visina profila glodala

$h$  – dubina glodanja

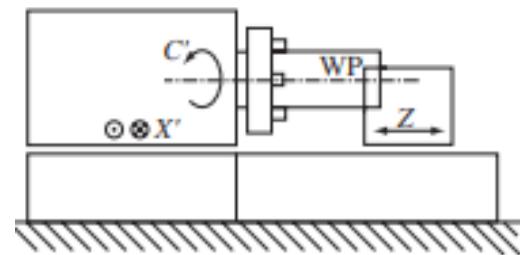
# 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

## Izbor koncepcione varijante M.A.

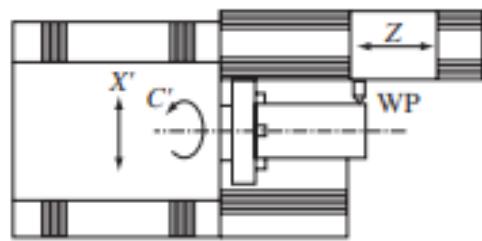
Izbor koncepcije mašine alatke je u zavisnosti od toga kakva se uloga dodeljuje alatu i radnom predmetu u pogledu izvođenja **osnovnih kretanja**.



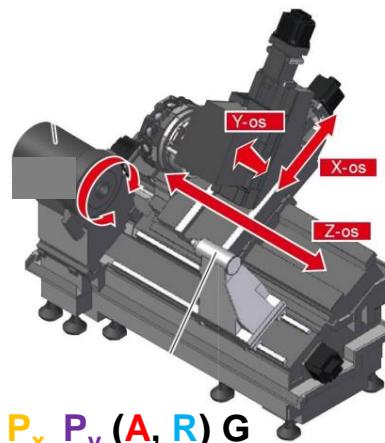
$P_z, P_x (A, R) G$   
 $(CvOZX)$



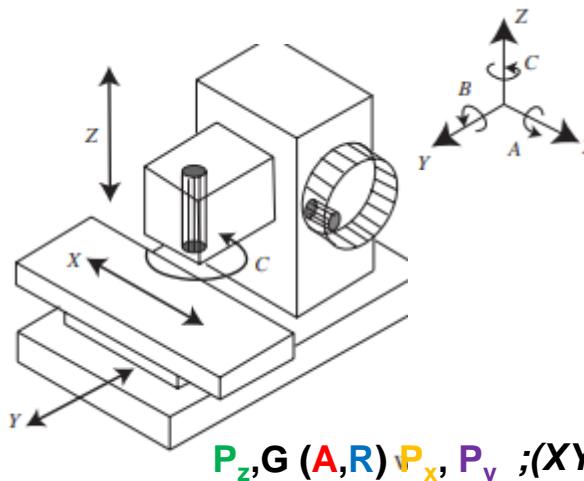
$P_z, P_x, P_y (A, R) G$   
 $(CvOXYZ)$



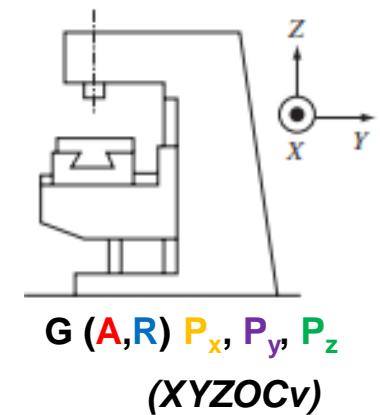
$P_z (A, R) G, P_x ;(XCvOZ)$



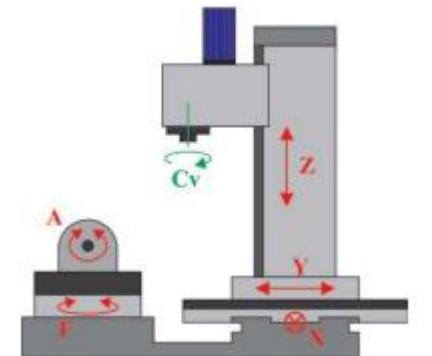
$P_z, P_x, P_y (A, R) G$   
 $(CvOXYZ)$



$P_z, G (A,R) P_x, P_y ;(XYOZCv)$



$G (A,R) P_x, P_y, P_z$   
 $(XYZOCv)$



$P_x, P_y, P_z, G (A,R) R_x, R_z$   
 $(AFOXYZCv)$

# 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

## Izbor koncepcione varijante M.A.

Usvajanje određene koncepcije maštine alatke se vrši na bazi morfološke analize posmatrajući karakteristike maština alatki kao što su:

- ✓ Tačnost,
- ✓ Brzina
- ✓ Snaga
- ✓ Krutost
- ✓ Fleksibilnost
- ✓ Održavanje

		Izvršioci funkcija			
		1	2	3	4
Modul glavnog vretena	1	Prihvata alata	ISO	HSK	
	2	Uležištenje	Aksijalno	Radijalno-aksijalno	Radijalno
	3	Pogon	Koračni	DC	AC
	4	Veza sa vretenom	Električno vratilo	In line	Zupčasti prenosnik Remeni prenosnik
Modul pomoćnog kretanja	5	Sistem vođenja	Kotrljajne	Klizne	
	6	Vrste kl. vodica	Klasične	Hidro-statičke	Hidro-dinamicke Aero-statičke
	7	Oblik kliznih vodica	Otvorene pravugane	Zatvorene pravugane	V vodice
	8	Regulisanje zazora	Letva bez nagiba	Letva sa nagibom	Bez regulisanja
	9	Podmazivanje	Pumpom	Mašcu	Potapanjem
	10	Zašita vodica	Uzdužni štitnici	Kruti štitnici	Teleskopski
	11	Pretvarač kretanja	Kuglično zavojno vreteno	Klizno zavojno vreteno	Zupčanik zupčasta letva
	12	Uležištenje vretena	Jedna strana	Dvije strane	
	13	Pogon	Linearni motor	Koračni motor	Servomotor
	14	Uležištenja	Radijalni kuglični	Radijalno aksijalno kug.	Tandemi

Primeri morfoloških matrica pri izboru koncepcije maštine alatke

12. Rotaciju glavnog vretena omogućiti	Zupčanici	Vretena	Pužni meh.	Servomotor
13. Rotaciju glavnog vretena zakočiti	Polugama		Kočnicama	
14. Električnu energiju dovesti	Gradska mreža	Akumulator	Generator na dizel	Obnovljivi izvor energije
15. Dovedenu električnu energiju pretvoriti u (rotacijsku) mehaničku	Elektromotor		Motovreteno	
16. Mehaničku energiju do glavnog vretena dovesti	Zupčani prijenos	Pužni prijenos	Lančani prijenos	Remenski prijenos

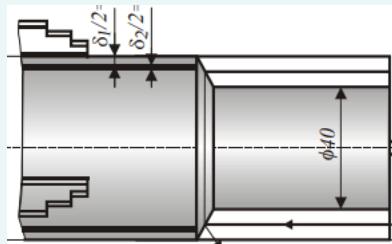
## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

### Karakteristike prenosnika za pomoćno kretanje

Pri određivanju režima rezanja, odnosno karakteristika pojedinih prenosnika prvo se polazi od **dodataka za obradu**.

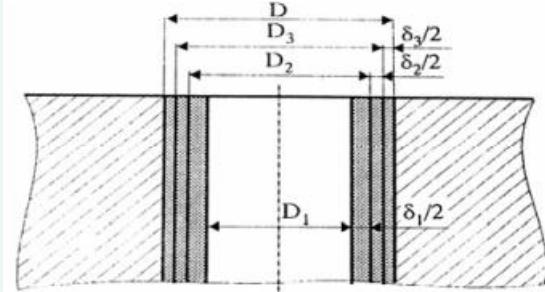
#### Struganje

- ✓  $\delta_1$  - dodatak za grubu obradu,
- ✓  $\delta_2$  - dodatak za finu obradu struganjem



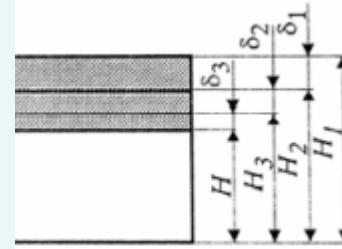
#### Bušenje

- ✓  $\delta_1$  - dodatak za obradu proširivanjem,
- ✓  $\delta_2$  - dodatak za obradu grubim razvrtanjem i
- ✓  $\delta_3$  - dodatak za obradu finim razvrtanjem.



#### Glodanje

- ✓ dodatak za grubu obradu glodanjem ( $\delta_1$ )
- ✓ dodatak za finu obradu glodanjem ( $\delta_2$ ) i
- ✓ dodatak za brušenje ( $\delta_3$ )



## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

Karakteristike prenosnika za pomoćno kretanje



STRUGOVI

Nakon određivanja dubine struganja (proizilazi iz dodataka za obradu) određuju se granične vrednosti pomoćnog kretanja  $s_{\min}$ ,  $s_{\max}$ .

Određivanje maksimalnog pomaka se izvodi primenom četiri kriterijuma i to obzirom na:

➤ **otpornost drške noža ( $s_1$ )**,

Određivanje se izvodi za grubu obradu struganjem (maksimalna dubina rezanja za maksimalni prečnik obrade).

➤ **hrapavost obrađene površine( $s_{II}$ )**,

Izračunava se za grubu obradu. Maksimalna hrapavost obrađene površine, koja se može dozvoliti na mašinama za obradu struganjem, može se usvojiti na osnovu preporuka standarda.

➤ **na krutost radnog predmeta (dozvoljeni ugib) ( $s_{III}$ )**.

Za dugačke i tanke radne predmete izračunavanje ima svoj značaj i treba ga obavezno vršiti pošto pomak dobijen izračunavanjem po ovom kriterijumu može biti odlučujući.

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

Karakteristike prenosnika za pomoćno kretanje



STRUGOVI

### ➤ Na vitkost strugotine ( $s_{IV}$ )

Maksimalni pomak obzirom na vitkost strugotine ne mora da bude merodavan pri definitivnom izboru granične maksimalne vrednosti pomaka i u principu više služi kao orijentaciona vrednost pri konačnom izboru.

### Usvajanje merodavnog maksimalnog pomaka

	материјал 1	материјал 2	материјал 3
помак обзиром на отпорност алата	$s_{\max}^I$	$s_{\max}^I$	---
помак обзиром на храпавост обрађене површине		$s_{\max}^{II}$	
помак обзиром на крутост радног предмета	$s_{\max}^{III}$	$s_{\max}^{III}$	---
помак обзиром на виткост струготине	$s_{\max}^{IV}$	$s_{\max}^{IV}$	---

Od više vrednosti maksimalnog pomaka, dobijenih po četiri kriterijuma za različite materijale, potrebno je usvojiti **minimalnu vrednost**.

- ✓ Za razliku od izračunavanja maksimalnog pomaka, **minimalni pomak** ima smisla računati samo obzirom na **храпавост обрађене површине**.
- ✓ **Minimalni pomak** obzirom na *храпавост* izračunava se iz uslova da mašina ostvari određeni **minimalni stepen храпавости обрађене површине**

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

Karakteristike prenosnika za pomoćno kretanje



GLODALICE

U opštem slučaju granične vrednosti pomaka pri glodanju valjčastim glodalom moguće je odrediti obzirom na:

- otpornost zuba alata,
- **otpornost mašine (dozvoljeni ugib vratila),**
- stabilnost radnog predmeta i
- **hrapavost obrađene površine.**

Iz sistematizovanih podataka lako je odabратi ekstremne vrednosti pomaka po obrtu, za merodavne granične vrednosti pomaka.

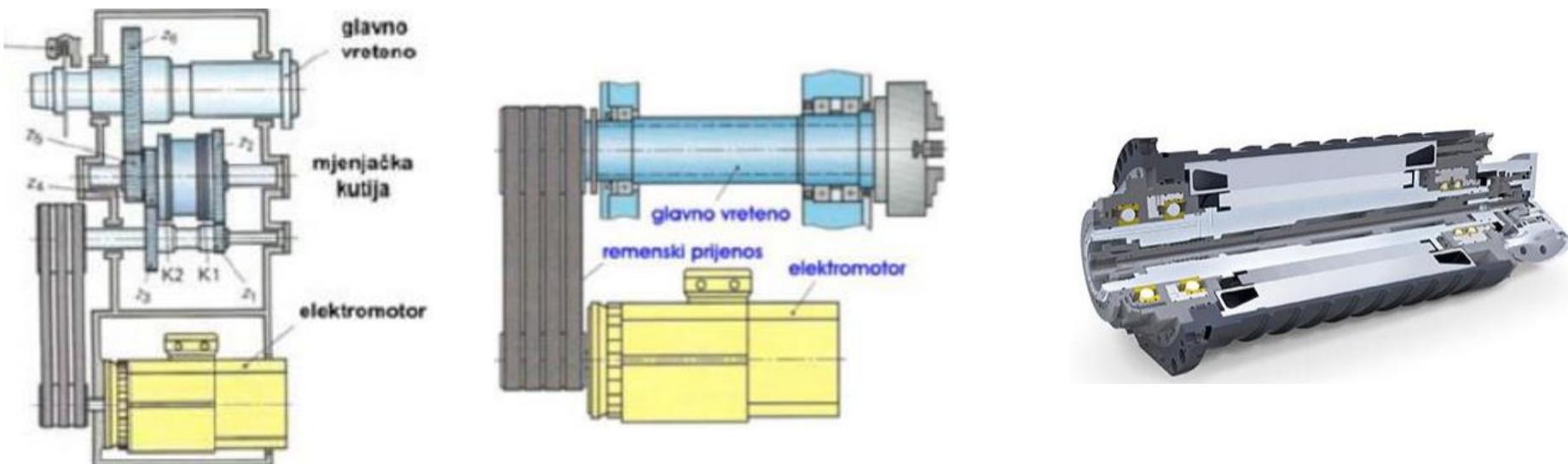
- $s_{\min}$  (za minimalni prečnik alata)
- $s_{\max}$  (za maksimalni prečnik alata)

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

### Karakteristike prenosnika za glavno kretanje

Pri definisanju prenosnika za glavno kretanja prvo je potrebno odlučiti da li se prenos obrtnog momenta sa pogonskog sistema na glavno vreteno ostvaruje:

- ✓ Zupčastim prenosnikom, (stupnjevita promena br. obrtaja)
- ✓ Remenim prenosnikom (kontinualna promena)
- ✓ Kombinovanim prenosnikom (stupnjevito kontinualna promena)
- ✓ Direktnom vezom (kontinualna promena)
- ✓ Motorvretenom (kontinualna promena)



### Karakteristike prenosnika za glavno kretanje

Brzina rezanja a time i broj obrtaja zavisi od *materijala koji se obrađuje, alata, dubine rezanja, pomaka/brzine pomoćnog kretanja* kao i prepostavljene postojanosti alata.

Izračunavanje brojeva obrtaja, u svrhu dolaska do graničnih veličina brojeva obrtaja, neophodno sprovesti za sve kombinacije alata i materijala koji se obrađuje, grube i završne obrade odnosno obrada na graničnim dimenzijama koje se obrađuju.

- Maksimalni broj obrtaja za pojedine materijale koji dolaze u obzir za obradu, dobiće se sigurno pri završnoj obradi na minimalnom graničnom prečniku obrade ili prečniku alata pri obradi sa alatima od tvrdog meatlnog karbida (TM)
- Minimalni broj obrtaja za pojedine materijale koji se obrađuju dobiće se pri gruboj obradi na maksimalnom prečniku radnog predmeta ili alata alatom od brzoreznog čelika (BČ)

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

---

### Broj stupnjeva pomaka i broja obrtaja

Ako se unapred prepostavi da će prenosnici biti *stezenasti* zupčasti prenosnik onda se mora i odrediti broj stupnjeva pomaka/brzine pomoćnog kretanja, kao i broj stupnjeva broja obrtaja.

$$m_s = 1 + \frac{\log s_{\max} - \log s_{\min}}{\log \phi_s}$$

broj stupnjeva prenosnika za pomoćno kretanje

$$m_n = 1 + \frac{\log n_{\max} - \log n_{\min}}{\log \phi_n}$$

broj stupnjeva prenosnika za glavno kretanje

$\Phi_s, \Phi_n$  – faktori stupnjeva prenosnika za pomoćno i glavno kretanje

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

---

### Broj stupnjeva pomaka i broja obrtaja

Ukoliko se žele projektovati prenosnici kao kontinualni tada je nepotrebno iznalaziti broj stupnjeva i same stupnjeve, već se u ovoj fazi definisanje glavnih karakteristika završava sa određivanjem  $n_{max}$ ,  $n_{min}$ ,  $s_{max}$  i  $s_{min}$ .

Za slučaj kombinovanja stupnjevitog i kontinualnog prenosnika tada je u ovoj fazi razrade dovoljno definisati, odnosno usvojiti opseg regulacije kontinualnog prenosnika

$$R_k = \frac{\bar{n}_{\max}}{\bar{n}_{\min}} \quad , \text{opseg regulacije celog prenosnika je } R_u = n_{\max} / n_{\min}$$

Broj stupnjeva stupnjevitog dela prenosnika izračunava se sada prema izrazu:

$$\bar{m}_{n_s} = 1 + \frac{\log R_s}{\log \phi_n} \qquad R_s = \frac{R_u}{R_k}$$

### Karakteristike prenosnika za glavno kretanje

Opseg brojeva obrtaja:

➤ Sporohodi strugovi:

$$n_{\min} = 20(400/D)^2$$

$$n_{\max} = 2000(400/D)^2$$

➤ Srednjebrzohodi strugovi:

$$n_{\min} = 40(400/D)^{2,36}$$

$$n_{\max} = 5000(400/D)^{2,36}$$

➤ Brzohodi strugovi

$$n_{\min} = 70(400/D)^{2,64}$$

$$n_{\max} = 3000(400/D)^{2,76}$$

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

---

### Snaga pogonskog(ih) motora

Pri izračunavanju snage pogonskog motora za glavno i za pomoćno kretanje se razlikuju dva slučaja.

- specijalne mašine alatke
- univerzalne mašine alatke.

Kod specijalnih mašina je poznat skup delova predviđenih za obradu i primenom teorije rezanja lako se definiše snaga motora.

Kod univerzalnih mašina alatki, zbog širokog opsega prečnika obrade postavlja se pitanje kako često će se obrađivati minimalni - maksimalni prečnik obrade.

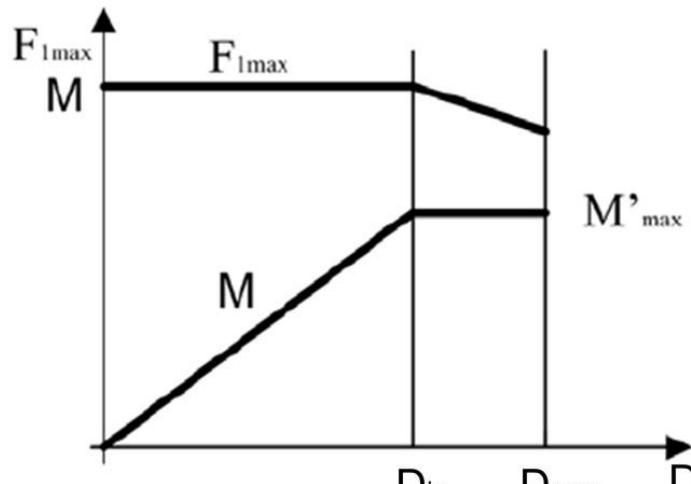
## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

### Snaga pogonskog(ih) motora

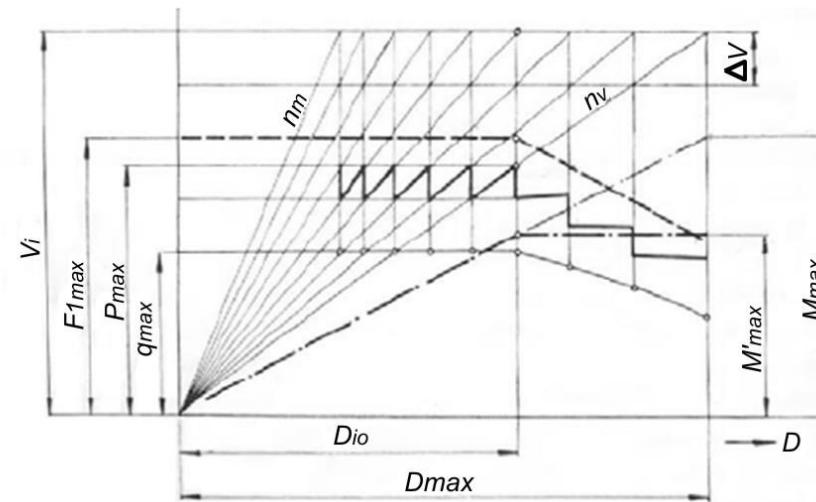
Mašina do prečnika idealnog prečnika obrade ( $D_{io}$ ) može raditi i pri najtežim režimima, a iznad njega sa redukovanim režimima zbog opasnosti od prekoračenja najvećeg dozvoljenog momenta.

Pogonska snaga  $P_{max}$ , ostvaruje se pri istovremenom iskorišćenju usvojene postojanosti i preseka strugotine pri brzini idealnoj brzini rezanja  $v_i$

$$F_{1max} = C_k a^{x_1} s y_1 v \quad - npr. za struganje$$



Korigovan radni dijagram za  $F_{1max}$  i  $M$

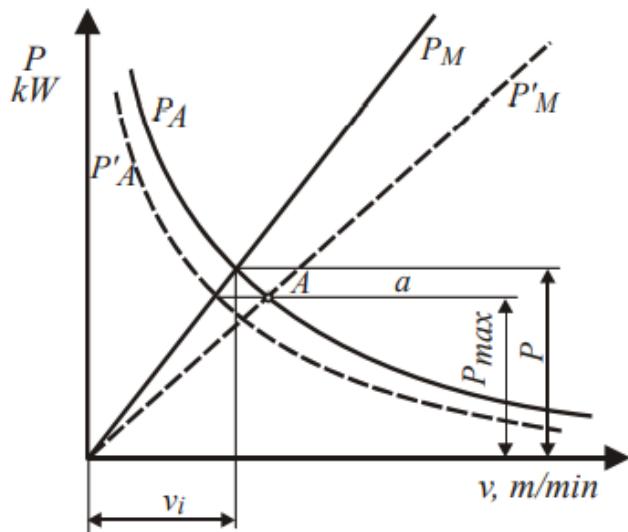


Iskorišćenje glavnih karakteristika mašine

## 6.0 Projektovanje/izbor mašina alatki

### Snaga pogonskog(ih) motora

Potrebna snaga mašine se može izračunati za slučaj maksimalnog iskorišćenja postojanosti alata  $P_A$  uz usvojeno (nepotpuno) iskorišćenje preseka strugotine i slučaj maksimalnog preseka strugotine  $P_M$  (i nepotpuno iskorišćenje postojanosti alata) pri gruboj obradi maksimalnog prečnika predmeta



Usvajanje snage mašine pri nepotpunom iskorišćenju preseka strugotine

Snaga pogonskog motora glavnog kretanja je:  
$$P = (F_{1\max} \cdot v_i) / \eta$$

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **7.0 PROJEKTOVANJE PRENOSNE STRUKTURE ZA GLAVNO KRETANJE**

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

---

Veliki broj različitih zahteva koji se postavljaju pred mašine alatke utiče na njihov razvoj, kako u pogledu konstrukcije, tako i u pogledu načina gradnje. Struktura mašine alatke se sastoji od više podsistema/sistema, kao što su:

- **pogonski,**
  - **prenosni,**
  - **noseći,**
  - **sklop glavnog vretena,**
  - **sistem za vođenje,**
  - pomoćni sistemi,
  - upravljački sistem,
  - merni sistem,
  - sistem za automatsku izmenu alata,
  - sistem za automatsku izmenu obradaka.
- 
- PMA**

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

---

- Noseći sistem ima zadatak da poveže podsisteme mašine alatke i da primi opterećenja koja nastaju od procesa rezanja, mase pojedinih delova mašine alatke, obradka, alata itd.
- Pogonski i prenosni sistem obezbeđuje pogon svih podsistema i prenosi energiju od izvora ka izvršnim organima. Kao najvažniji se izdvajaju **prenosni sistemi za glavna i pomoćna kretanja**.
- Sklop glavnog vretena predstavlja sklopove kojima se dovodi kretanje i obrtni moment na radni predmet ili alat sa ciljem ostvarivanja obradnog procesa.
- Sistem za vođenje, pored primanja spoljašnjeg opterećenja, obezbeđuje relativno kretanje izvršnih organa u cilju uspostavljanja tačno definisanog relativnog položaja alata i obradka.
- Kao značajni pomoćni sistemi izdvajaju se sistemi za hlađenje i podmazivanje, sistemi za odvođenje strugotine, sistemi zaštite od opasnih zona, itd

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

---

- Upravljački sistemi preko pogonskih, prenosnih i mernih sistema upravlja svim aktivnostima neophodnim za realizaciju obradnog procesa.
- Merni sistem obezbeđuje tačno i pouzdano merenje odgovarajućih kretanja izvršnih organa i da te podatke proslede upravljačkoj jedinici.
- Radi povećanja stepena automatizacije, povećanju fleksibilnosti i produktivnosti, mašine alatke su često opremljene i sistemima za automatsku manipulaciju alatima i obradcima.
- U zavisnosti od postavljenog zadatka, vrste obradnog procesa, postoje razne konstrukcione izvedbi podsistema sa odgovarajućim osobinama, o kojima se mora voditi računa već pri projektovanju glavnih karakteristika i definisanju koncepcionih rešanja mašina alatki.

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

---

- Pred prenosne sisteme mašina alatki postavljaju se značajni zahtevi u pogledu funkcionalnih karakteristika, a kao najvažniji se mogu izdvojiti:
  - ✓ širok opseg brojeva obrtaja i pomaka/brzina pomoćnog kretanja,
  - ✓ visoka tačnost i pouzdanost u radu,
  - ✓ mala topotna opterećenja,
  - ✓ visoka dinamička stabilnost,
  - ✓ dobre karakteristike ubrzanja i kočenja,
  - ✓ prenosni lanac bez zazora (prednapregnuti sistemi),
  - ✓ bez pojave *stick-slip* efekata (bez neravnomernog klizanja).

Pored toga, kod savremenih prenosnih sistema potrebno je ugraditi elemente veštačke inteligencije i funkcije donošenja odluka uz modularnost i decentralizaciju.

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

---

Kao osnovni kriterijum podele prenosnih sistema je prema osnovnom fizičkom principu rada (vrsti energije):

- Mehaničke;
- Hidraulične;
- Pneumatske;
- Električni.

## **7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje**

---

- Mehanički prenosnici usled jednostavnosti, pouzdanosti i široke mogućnosti preimene pretstavljuju najviše korišćenu vrstu prenosika kod mašina alatki.
- Pored osnovne uloge, mehaničkih prenosnika služe i za:
  - ✓ prilagođavanje brzine i momenta,
  - ✓ pretvaranje obrtnog u pravolinjsko kretanje i obrnuto,
- Pred mehaničke prenosnike se postavljaju sledeći zahtevi:
  - ✓ velika tačnost pozicioniranja,
  - ✓ visok stepen iskorišćenja, malo trenje
  - ✓ eliminisanje pojave *stick-slip* efekta,
  - ✓ malo habanje,
  - ✓ veliko prigušenje,
  - ✓ male dimenzije i mase, itd

## **7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje**

---

- Mehanički prenosnici se mogu podeliti na osnovu više kriterijuma kao što su vrsti i tipu kretanja, načinu prenosa kretanja, s obzirom na geometriju, itd..
- Mehanički prenosnici prema vrsti i tipu kretanja koje se dobija na izlazu iz prenosnika su:
  - ❖ Mehanički prenosnici za glavno obrtno kretanje;
  - ❖ Mehanički prenosnici za glavno pravolinijsko kretanje;
  - ❖ Mehanički prenosnici za pomoćno obrtno kretanje;
  - ❖ Mehanički prenosnici za pomoćno pravolinijsko kretanje.

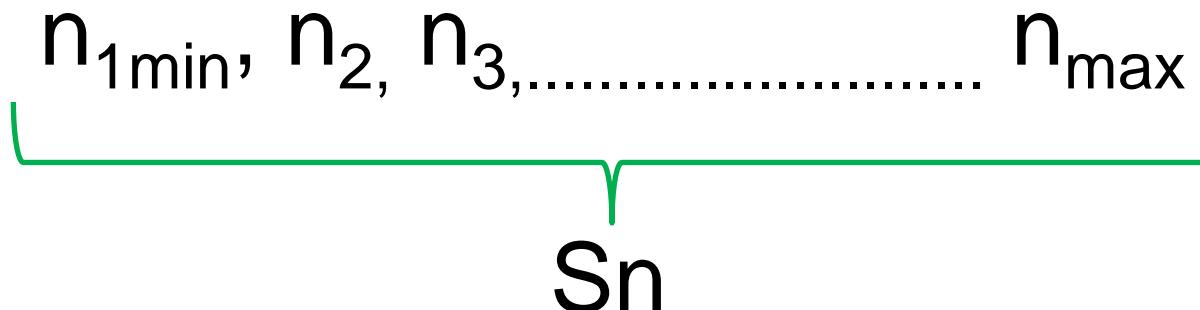
## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Prenosnik za glavno obrtno kretanje

Mašine alatke se odlikuju velikim brojem brzina rezanja kako bi mogle da obrađuju delove različitih dimenzija i materijala korišćenjem različitih vrsta materijala i rezne geometrije alata.

Materijali alata, obratka, oblik alata, vrsta procesa obrade i potreban kvalitet obrađene povšine određuje optimalne i najekonomičnije brzine rezanja.

Univerzalne mašine alatke moraju imati širok raspon brojeva obrtaja kako bi se pokrili zahtevi različitih operacija obrade, vrste i oblika obradka i zadovoljio zahtevani kvalitet obrađene površine.



### Prenosnik za glavno obrtno kretanje

Prenosnici za glavna obrtna kretanja se sreću kod više mašina alatki:

- strugova,
- glodalica,
- bušilica,
- brusilica.

Kod svih njih ovaj prenosnik ***treba da obezbedi brzinu rezanja*** koja zavisi od:

- ✓ materijala obradka,
- ✓ materijala alata,
- ✓ geometrije reznog dela alata,
- ✓ vrste obrade (gruba, završna),
- ✓ elemenata režima rezanja, itd.

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Prenosnik za glavno obrtno kretanje

Potrebna brzina rezanja pri obrtnom kretanju radnog predmeta ili alata na prečniku radnog predmeta ili alat ( $d$ ) je:

$$v = d\pi n; \text{ [mm/min]}$$

Prenosnik treba da obezbedi potreban broj obrtaja za ulaznu brzinu rezanja kojim se na prečniku "d" ostvaruje obimna brzina "v", tj.:

$$n = v / (\pi d); \text{ [o/min]}$$

Brzina rezanja kod mašine alatke, pojavljuje se u određenom opsegu ( $v_{min}$ - $v_{max}$ ), kao posledica kombinacija raznih vrednosti parametara obrade.

Na osnovu graničnih vrednosti definišu se i granične vrednosti brojeva obrtaja:

$$n_{min} = v_{min} / (\pi d_{max});$$

$$n_{max} = v_{max} / (\pi d_{min});$$

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Prenosnik za glavno obrtno kretanje

Odnos maksimalne i minimalne veličine brzine, broja obrtaja ili prečnika predstavlja **opseg regulacije** ( $S_n$ ) koji se izražava kao:

$$S_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{d_{\max}}{d_{\min}} = S_v \cdot S_d$$

Kod mašina alatki sa glavnim pravolinijskim kretanjem opseg regulacije  $S_n$  zavisi samo od opsega brzina  $S_v$ . Kod ostalih  $S_n$  je u funkcij opsega brzina i opsega prečnika  $S_d$ , pa su potrebne velike brzine rezanja i veliki rasponi prečnika.

Opšte posmatrano, pri projektovanju prenosika opseg brzina treba povećati za 25% zbog budućeg razvoja materijala za alat.

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Prenosnik za glavno obrtno kretanje

Vrednosti opsega regulacije ( $S_n$ ) za savremene mašine alatke:

Mašina alatka	$S_n$
CNC strugovi	250
Kombinovana bušilica glodalica (borverke)	100
Glodalice	50
Bušilice	10
Brusilice	4

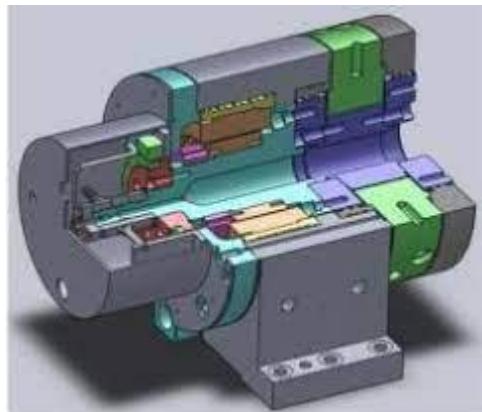
Unutar opsega graničnih vrednosti brojeva obrtaja  $n_{\min} - n_{\max}$ , prenosnik može ostvarivati samo određeni broj različitih ili beskonačno mnogo brojeva obrtaja prenosnice i dele na:

- **stupnjevite;**
- **kontinualne;**
- **kombinovane mehaničke prenosnike**

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno

- Pred konstrukciju mašina alatki postavljaju se specifični zahtevi koji se mogu rezimirati u dva osnovna načela:
  - staticka 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 maštine.
- Sklop glavnog vretena čini skup elemenata koji obezbeđuju tačno definisani položaj vretena u odnosu na ostale podsisteme maštine alatke (vreteno, uležištenje, kućište sistem za stezanje i otpuštanje alata, itd..)

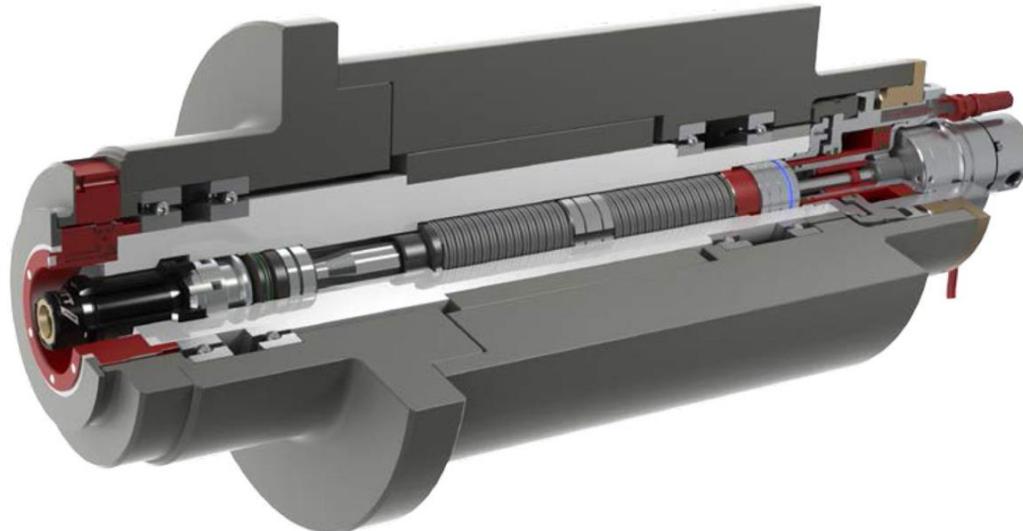


## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno

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

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

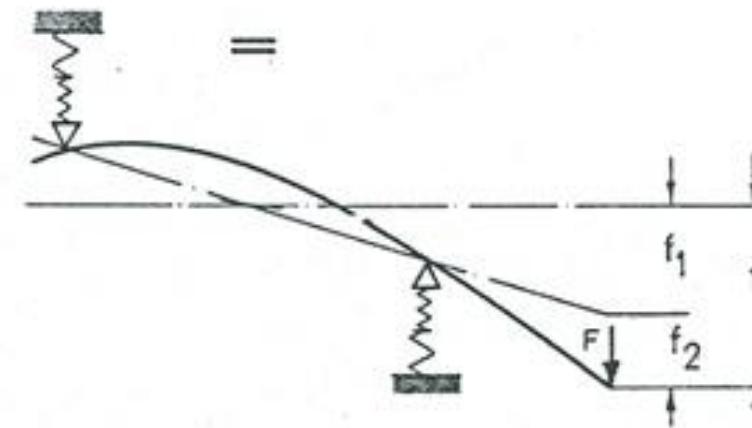


### Glavno vreteno - Tačnost

- **Tačnost** sklopa glavnog vretera je definisana radijalnim i aksijalnim bacanjem vrha vretera.
- Radijalno bacanje glavnog vretera izaziva greške u vidu odstupanja od dozvoljene hrapavosti obrađene površine, dok aksijalno bacanje glavnog vretra 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 vreterna tačno izrađena i centrirana, radijalno i aksijalno bacanje vrha glavnog vretera 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.

### 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.

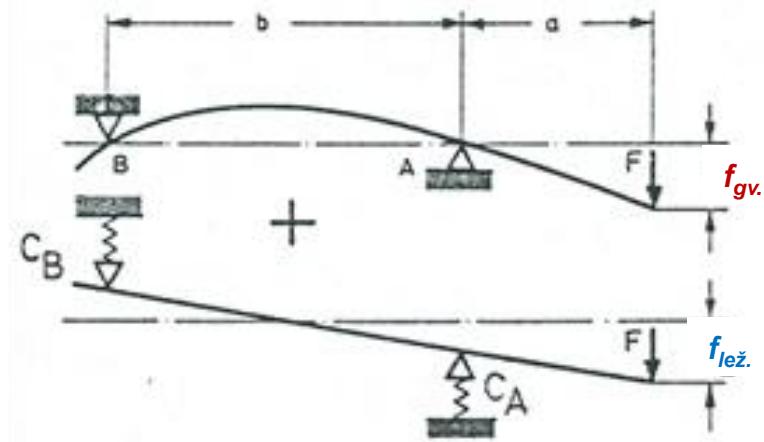


## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Statička krutost

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

- ✓ krutosti vretna
- ✓ 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 vretna i uležištenja  $f = f_{gv} + f_{lez}$ .

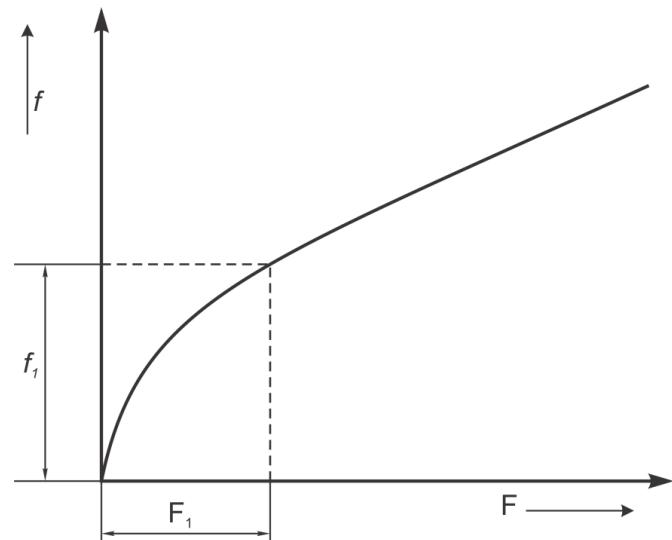
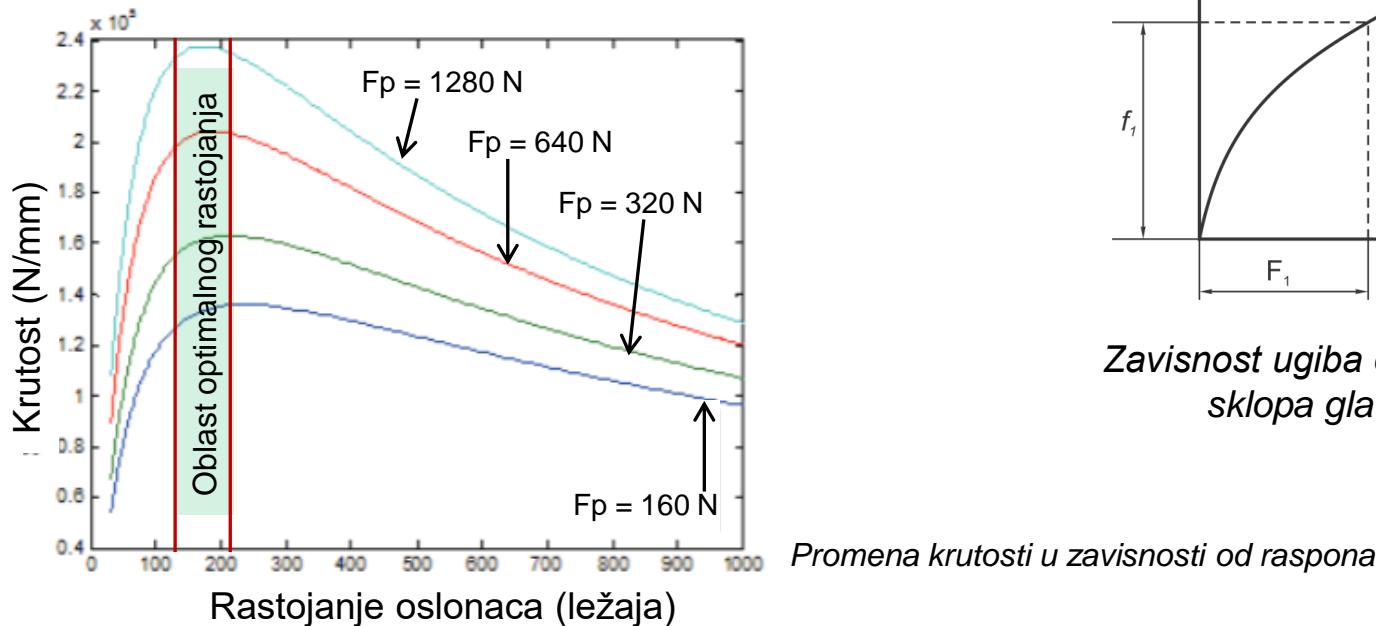
- U ukupnom ugibu (deformaciji) sklopa glavnog vretna, vretno učestvuje sa 50%-70%, dok ostatak otpada na uležištenje, s tim da je tendencij porasta učešća uležištenja kod savremenih mašina alatki.
- Koje od deformacija će preovladati zavisi od dimenzija i oblika vretna, kao i od krutosti ležaja.

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Statička krutost

- Kod idealno krutih ležaja zavisnost između ugiba i opterećenja podloeže Hukovom zakonu (linearna zavisnost).
- U stavnosti 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  $F_1$ .*



Zavisnost ugiba od opterećenja kod sklopa glavnog vretena

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Statička krutost

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

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

Ugib glavnog vretna je:

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

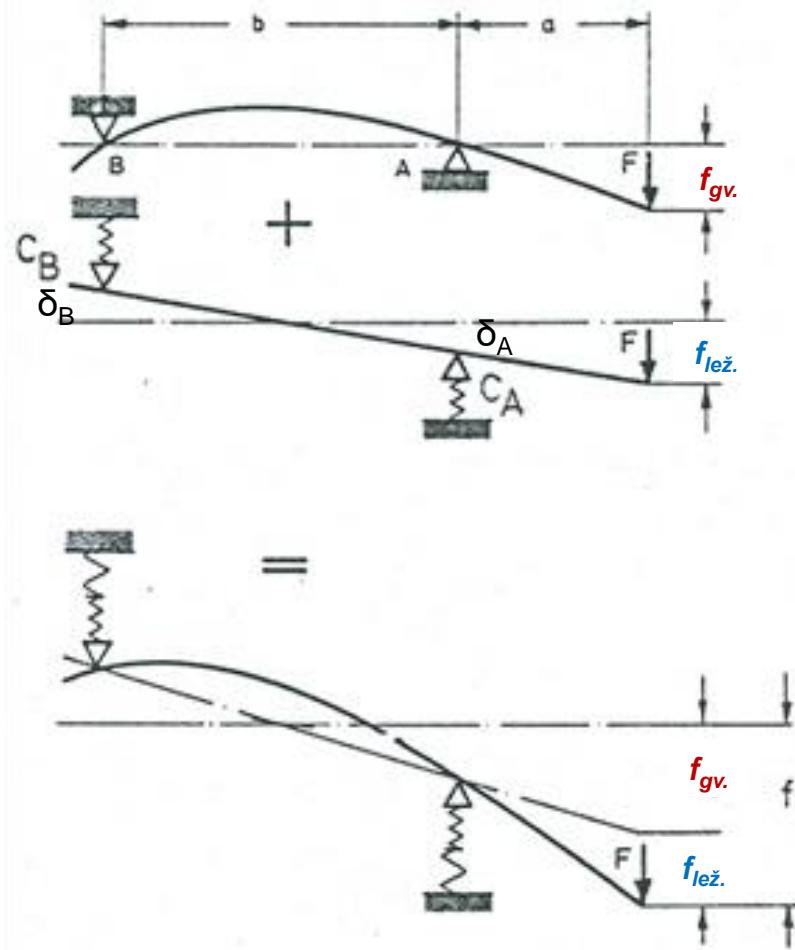
Ugib uležištenja je:

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

Ukupan ugib  $f = f_{gv} + f_{lež.}$

Ukupna krutost, odnosno popustljivost sklopa glavnog vretna je:

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



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

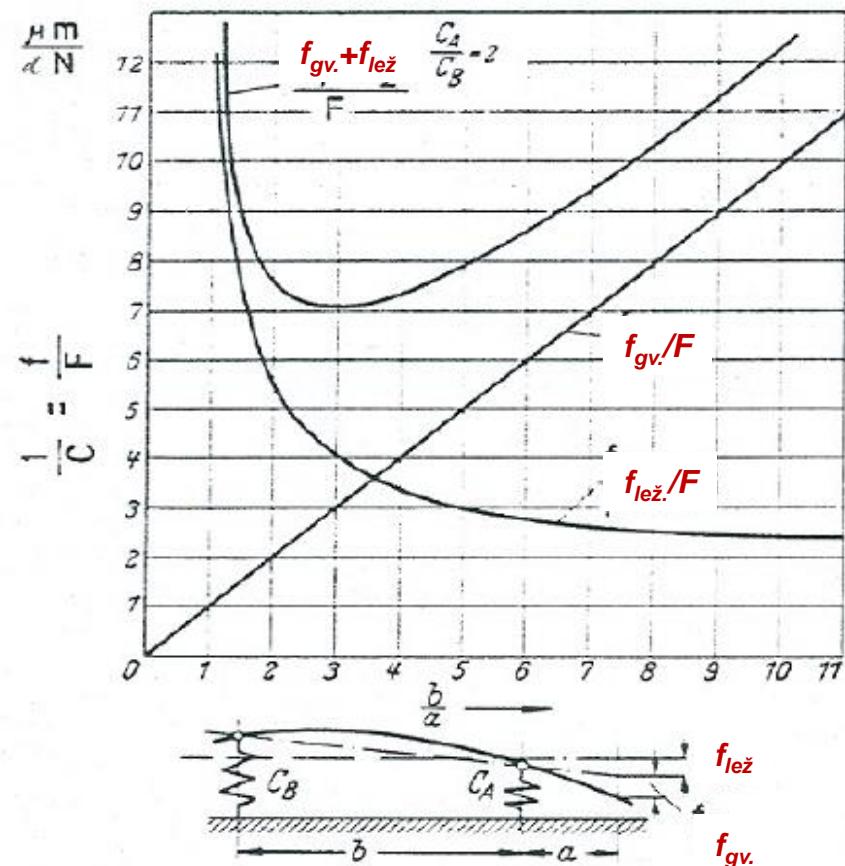
### Glavno vreteno – Statička krutost

- Optimalna vrednost odnosa "b/a," (k - faktora raspona ležaja) iznosi 3, jer je pri toj vrednosti pomeranje vrha vretna 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 vretna 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 vretna 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 amplitudne vibracije 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].

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### 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 uslovjen 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

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Vek

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

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretna

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

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Definisanje 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	●	●	●	●	●	●	●

● Odlično   ● Vrlo dobro   ● Dobro   ○ Loše

### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretna

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

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

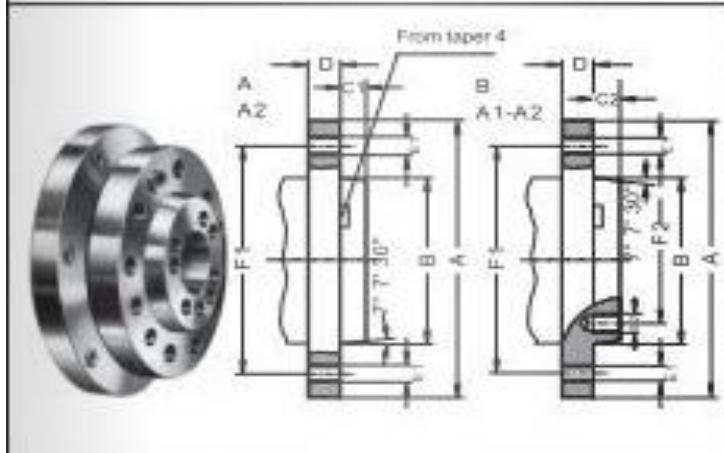
### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena

- **Oblik vrha glavnog vretena** treba da obezbedi precizno i pouzdano stezanje obradka ili alata.
- **Konstrukcioni 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	14.288	22	11xM10	104.8	8xM10	61.9
6	165	106.305	14	15.875	25	11xM12	133.4	8xM12	82.8
8	210	139.731	16	17.462	28	11xM16	171.4	8xM16	111.1
11	280	196.883	18	19.05	36	11xM20 (11xM18)	235	BxM20 (BxM18)	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
26	725	584.248	24	25.400	56	12xM30	647.6	11xM30	530.2

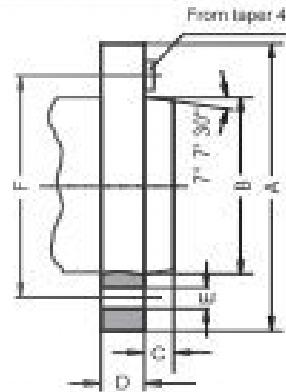


Vrh vretna za strugove

# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

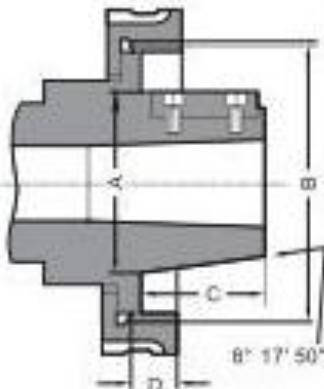
## Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena

DIN 55027 ISO 702/III



Vel. vrha vretena	A	B max	C	D	E	F
3	102	53.983	11	18	3x21	75
4	112	63.521	11	20	3x21	85
5	135	82.575	13	22	4x21	104,0
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	463,6

Tip L



Dugački konus

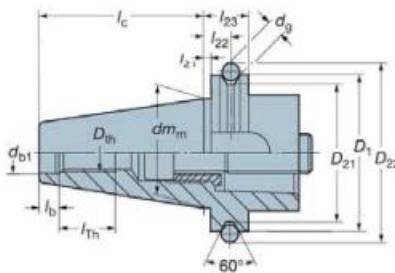
Vel. vrha vretena	A+0.051	B	C	D	Driving key
L00	69.850	3 3/4-6 UNS	50.800	14.288	Ø 9.525x38.1
L0	82.550	4 1/2-6 UNS	60.325	15.875	Ø 9.525x44.45
L1	104.775	6-6 UNS	73.025	19.050	Ø 15.875x60.32
L2	133.350	7 3/4-6 UNS	85.725	25.400	Ø 19.05x73.02
L3	165.100	10 3/8-4 UNS	94.425	28.575	Ø 25.4x82.55

Vrh vretna za strugove

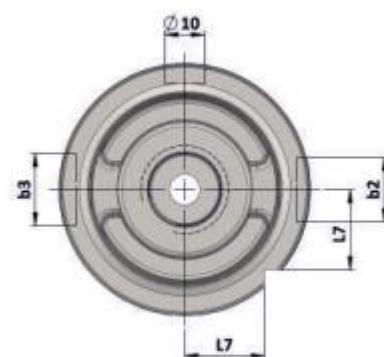
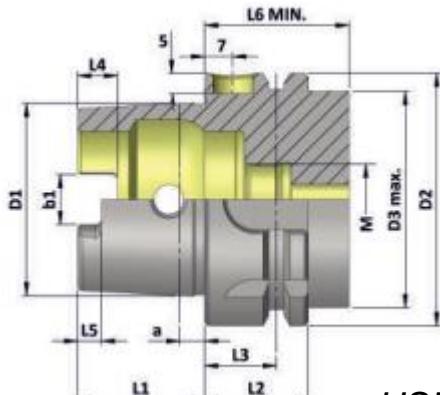
# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

## Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena

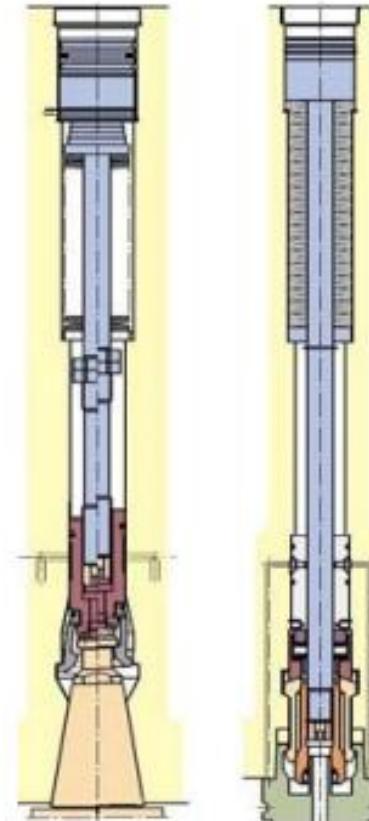
- Kod glodalica (obradnih centara) držač alata se izvodi sa konusom čiji je ugao nagiba znatno veći od ugla trenja (ISO prihvati) ili sa cilindričnim prihvatom (HSK prihvati).
- Kod glodanja aksijalna sila može imati i smer koji teži da izvuče držač alata to je kod istih predviđen prostor za smeštaj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



Morse konus (ISO prihvati)



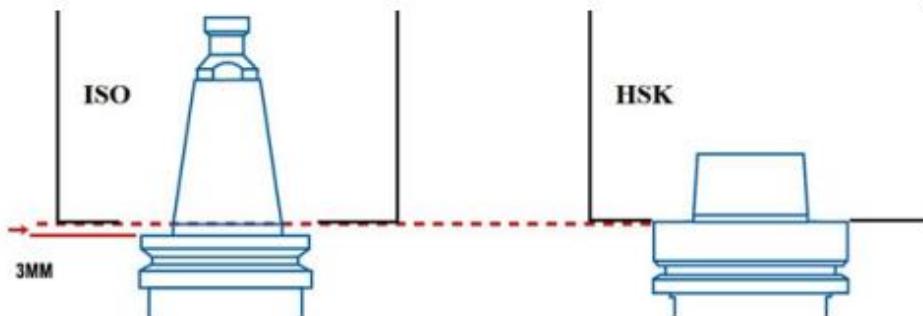
HSK prihvati



Principi stezanja držača alata

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena



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

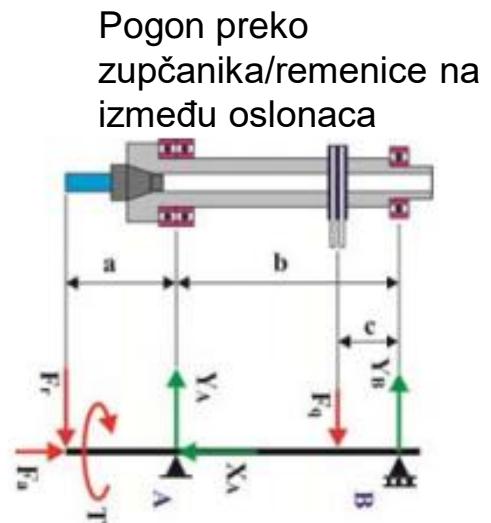
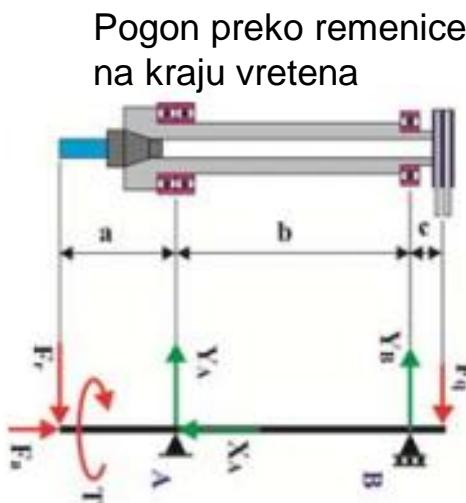
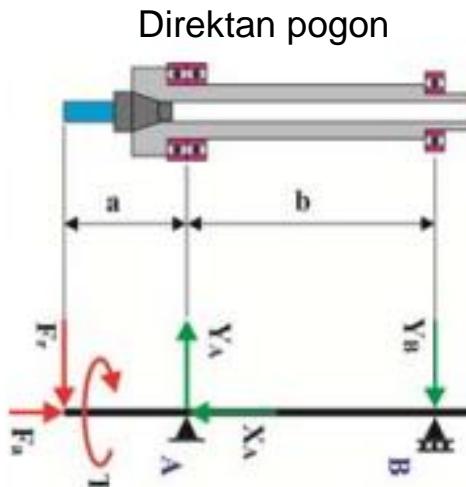
Tip	Oznaka veličine	Primjena
ISO	30	Veoma male mašine
	40	Obradni centri srednje veličine
	50	Veliki obradni centri
HSK	24	Mikromašine
	30	Obradni centri za mikroobradu
	38	Mali visokoprzinski obradni centri
	48	Visokoprzinski obradni centri srednje veličine
	60	Veliki visokoprzinski obradni centri

# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

## Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretna

### □ Dimenzionisanje glavnog vretna

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



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

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

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

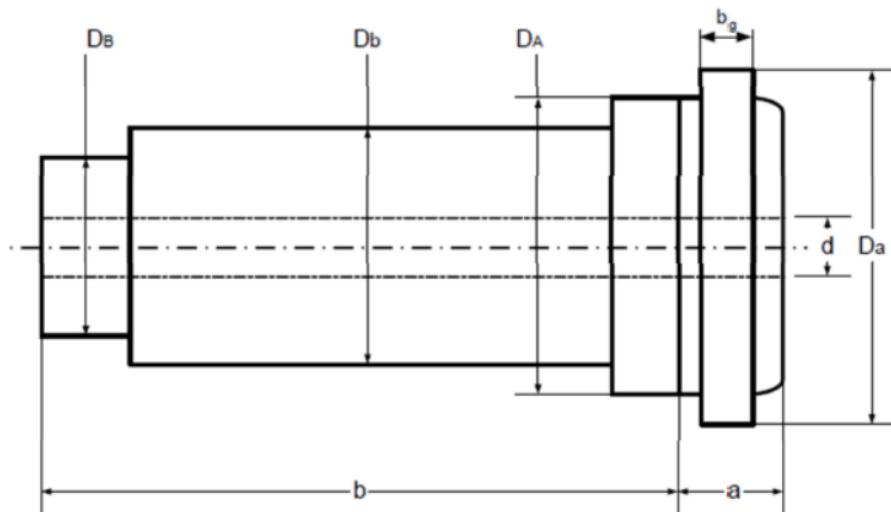
## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Definisanje 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]



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Glavno vreteno – Definisanje glavnog vretena

#### Dimenzionisanje glavnog vretena

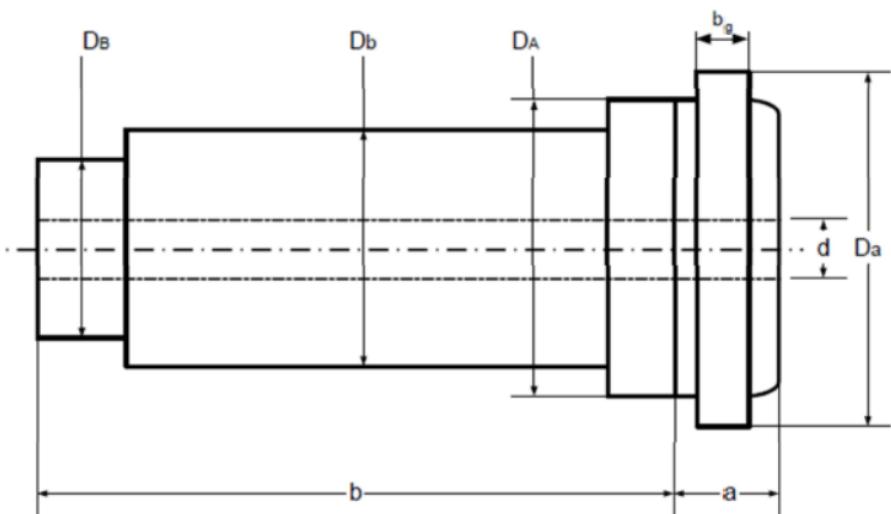
- ✓ Koeficijenti raspona u pogledu glavnih veličina glavnog vretena formiraju se na osnovu :

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

Tip	Preciznost obrade ili krutost vratila	Koeficijent prepusta kod prednjeg ležaja $K_a$	Koeficijent medurastojanja 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 :

$$D_a \approx K_a \cdot D_A$$



### Uležištenje glavnog vretna

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

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretna

- Za uležištenje glavnih vretna 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	Aerostatička	Magnetna
Velika brzohodnost	● <sup>1)</sup>	○	●	●	●
Vek	●	●	● <sup>2)</sup>	● <sup>2)</sup>	● <sup>2)</sup>
Visoka 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 magneta ¶

### Uležištenje glavnog vretna

- U 95 [%] konstrukcija uležištenja glavnih vretna mašina alatki koriste se kotrljajni ležaji;
- Grubo posmatrano način uležištenja glavnih vretna 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) **tehnološki**, (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.

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretna - 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 vretna - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

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

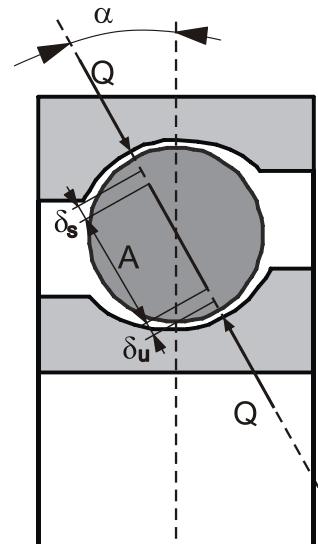
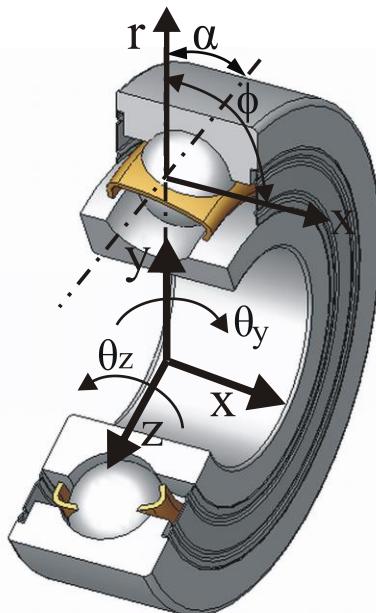
Klasa tačnosti	Maksimalno bacanje [ $\mu\text{m}$ ]
Visoko-precizni kotrljajni ležaji	2,0
Specijalni-precizni kotrljajni ležaji	1,0
Ultraprecizni kotrljajni ležaji	0,5

- 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 vretna - Kotrljajni ležaji

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

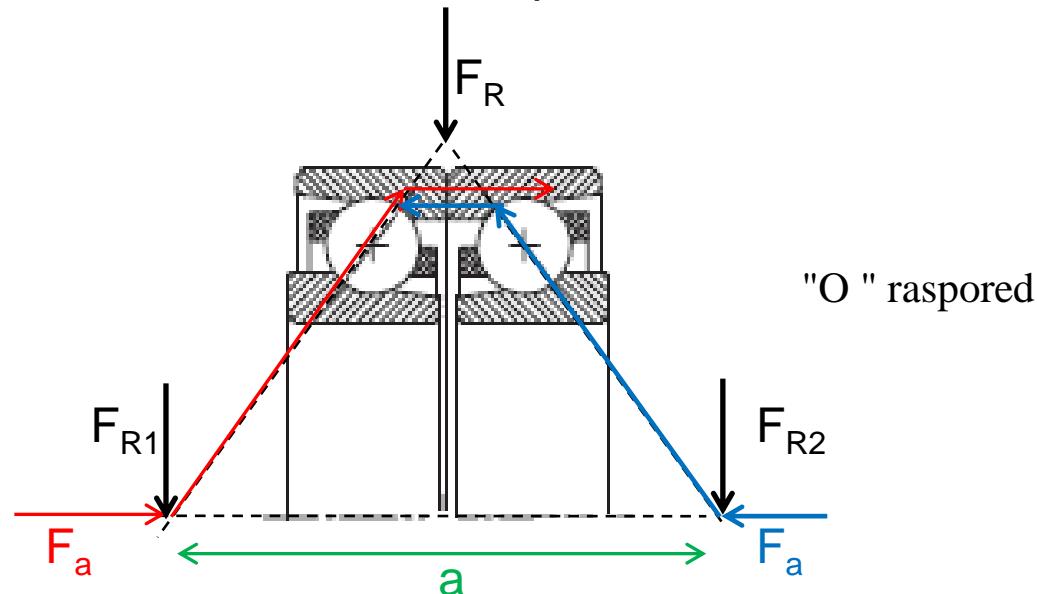
- Kod kugličnih ležaja sa kosim dodirom opterećenje deluje na dodirne površine između kuglica i putanja kotrljanja pod nekim uglom u odnosu na osu ležaja, pa mogu da prihvate kombinovano opterećenje (radijalno i aksijalno).
- Aksijalna opterećenja mogu delovati samo u jednom smeru.
- Ugao kontkta kod 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 vretna - 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 vretna opterećena i momentom.

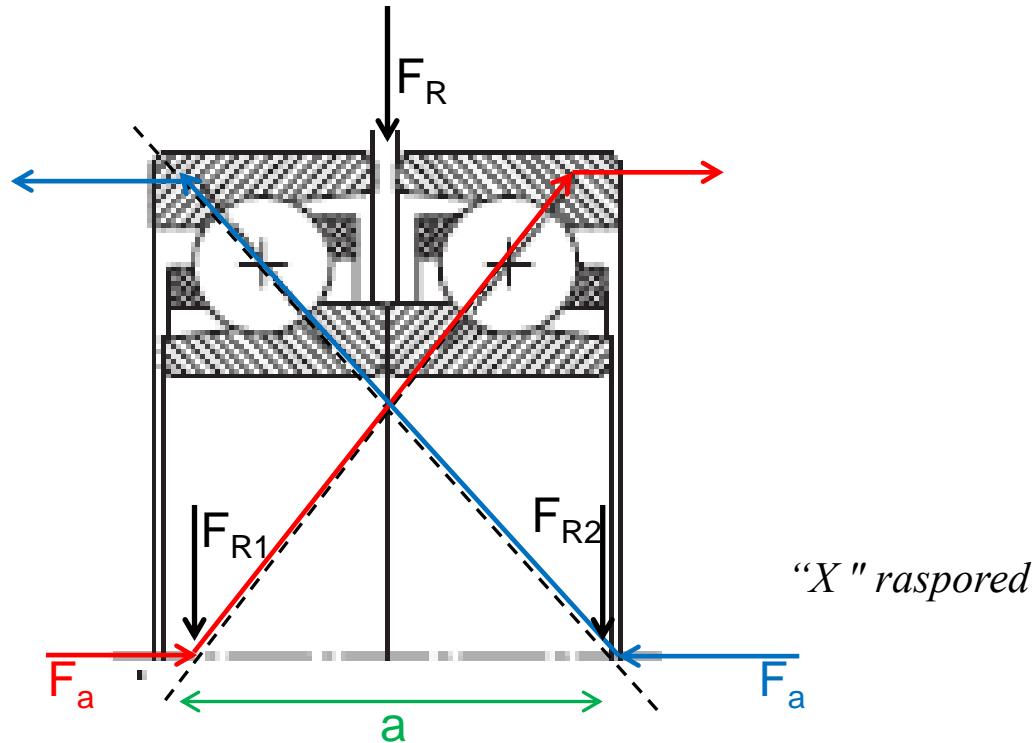


## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretena - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

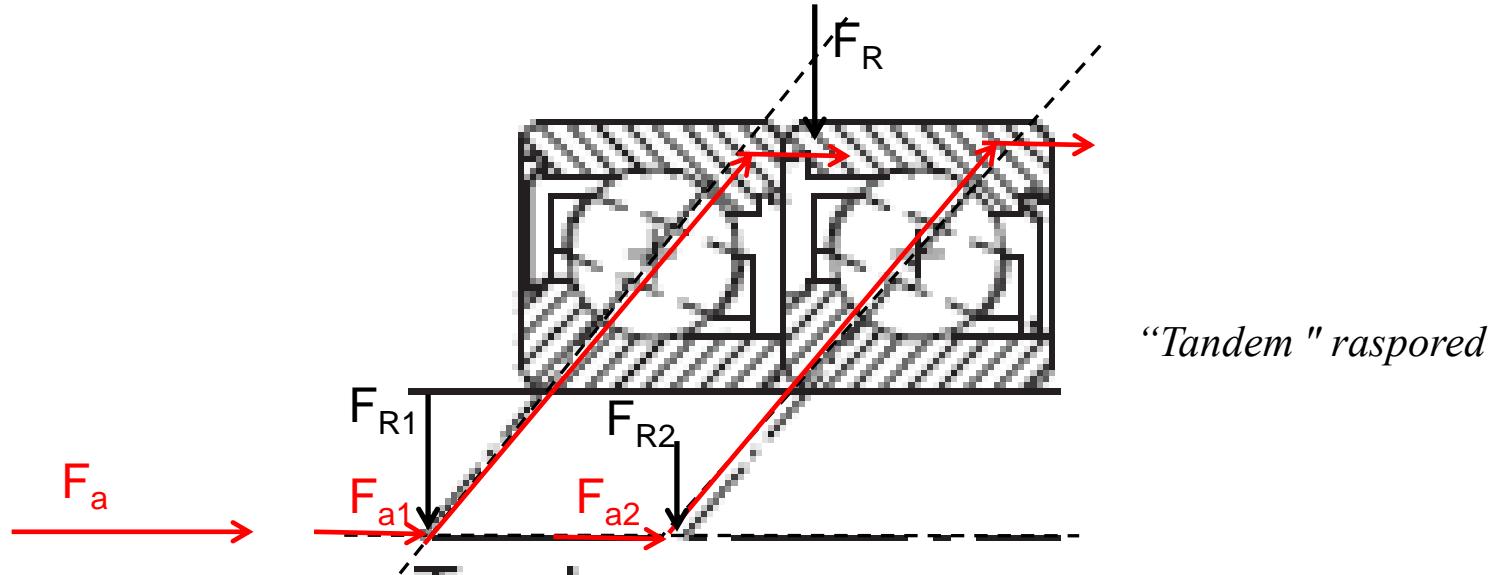
- Kada su ležaji ugrađeni u „X“ rasporedu aksijalno opterećenje deluje tako da se njihovi pravci približavaju jedan prema drugom u odnosu na osu ležaja. Primaju aksijalna opterećenja u oba smera.
- Ovaj način ugradnje ne daje tako kruto uležištenje kao kada se ležaji ugrađuju u „0“ rasporedu, a takođe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



### Uležištenje glavnog vretena - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

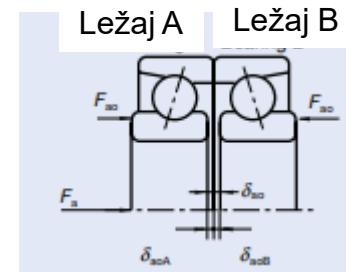
- Kada su ležaji ugrađeni u „**TANDEM**” rasporedu, opterećenje deluje paralelno. Aksijalna opterećenja su ravnomerno raspoređena u oba ležaja.
- Ovaj način ugradnje omogućava prijem aksijalnog opterećenja samo u jednom smeru, tako da se mora ugraditi treći ležaj koji prima aksijalno opterećenje u suprotnom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



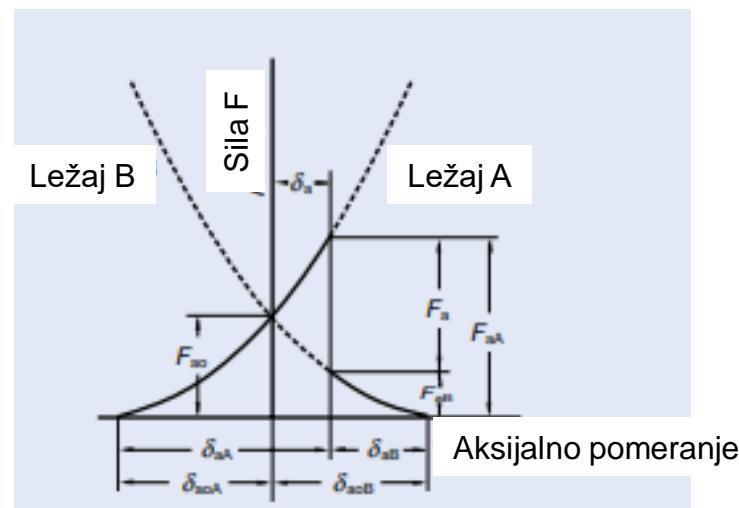
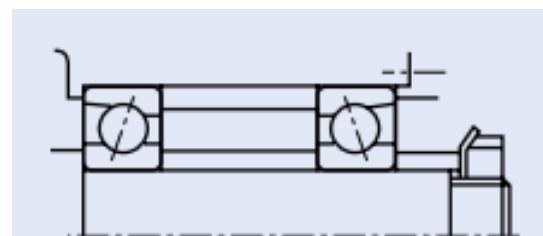
## Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

- Osnovni zahtev koji treba da zadovolje ovi ležaji je krutost. Krutost ležaja zavisi od prednaprezanja, prečnika prvrta, 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

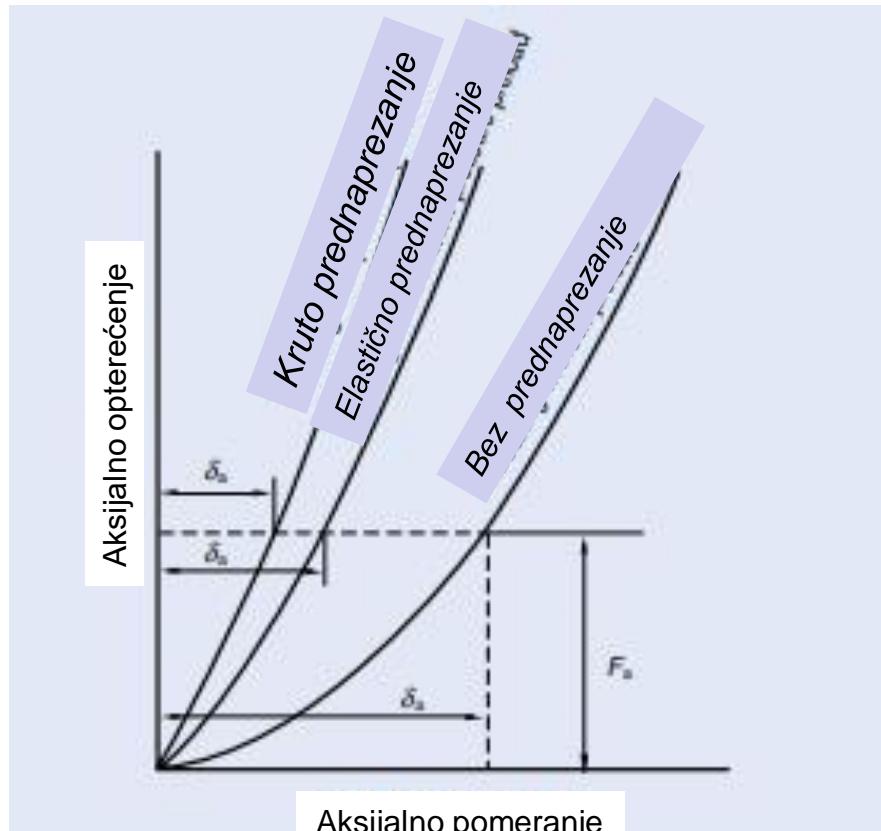


# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

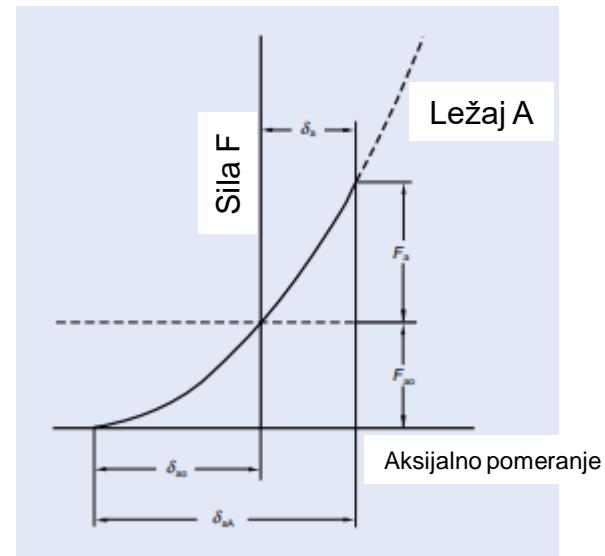
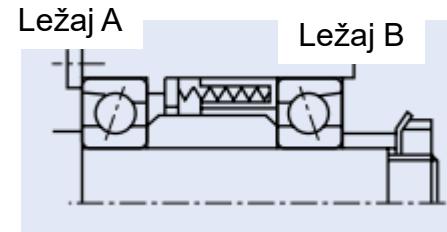
## Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

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



Poređenje krutosti i prednaprezanja



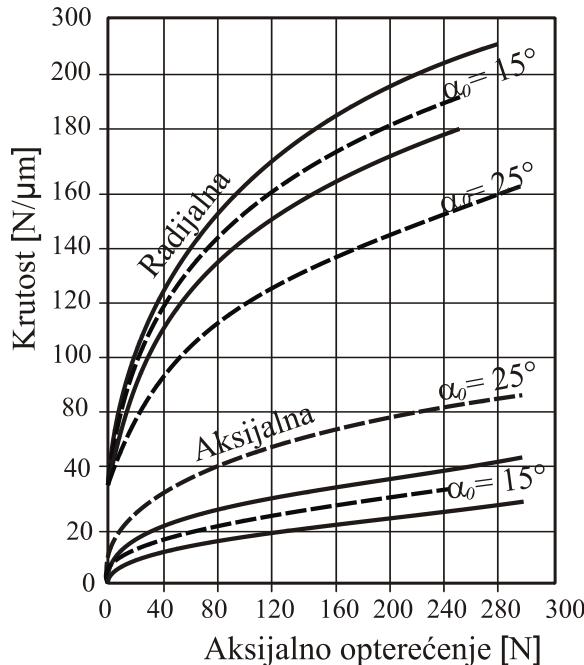
Elastično prednaprezanje

# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

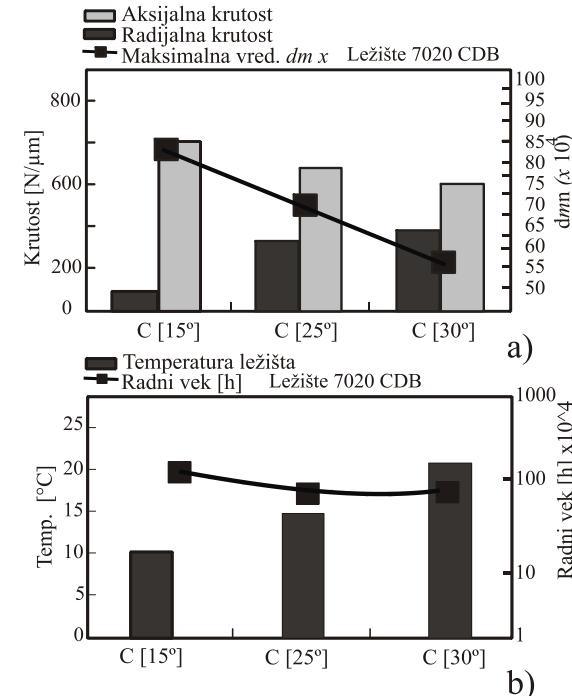
## Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

- Aksijalna krutost sklopa glavnog vretna određena je, skoro u potpunosti, vrednošću aksijalne krutosti uležištenja.
- Kod kugličnih ležića 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 ležića pri približno istom porastu temperature.



Zavisnost aksijalne i radijalne krutosti od ugla kontakta i opterećenja



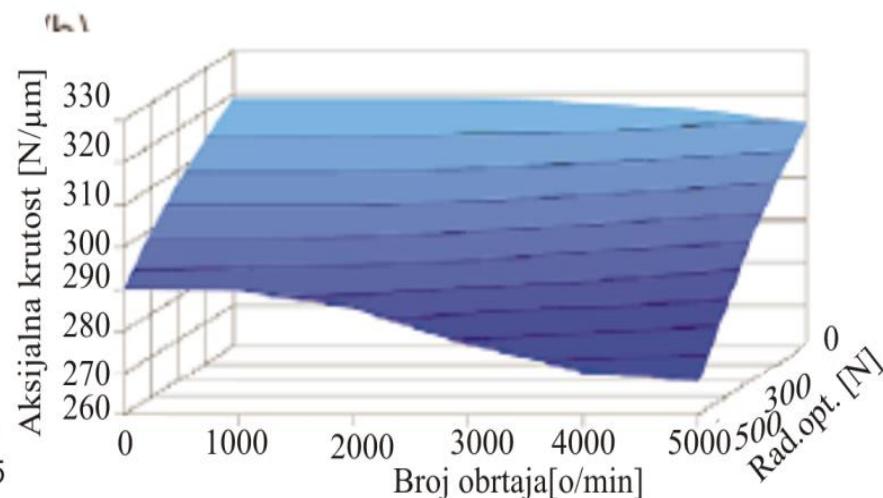
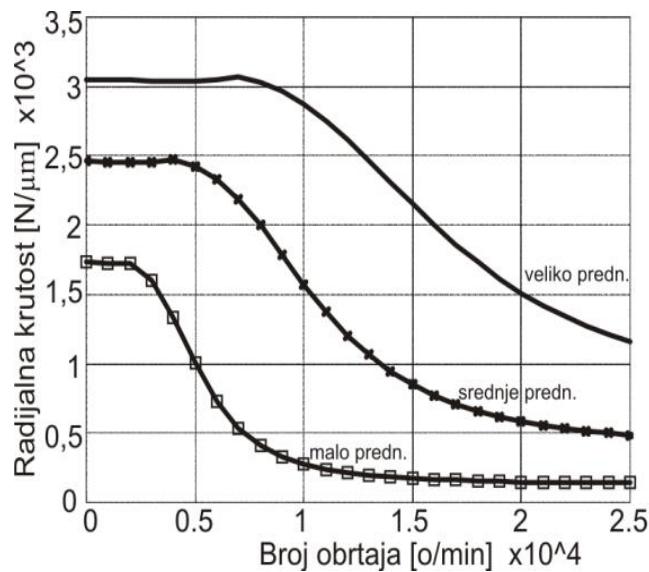
Zavisnost: a) aksijalne i radijalne krutosti i graničnog broja obrtaja; b) temperature i veka ležaja od ugla kontakta

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretna - 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.



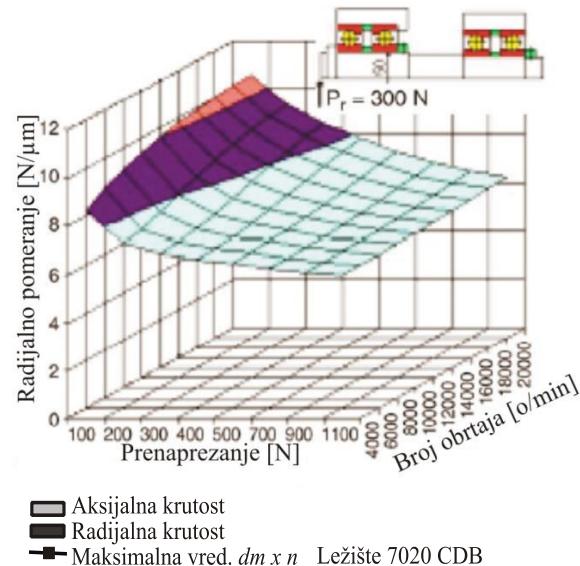
Promena radijalne i aksijalne krutosti kugličnog ležaja sa kosim dodirom u zavisnosti od broja obrtaja i prednaprezanja

# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

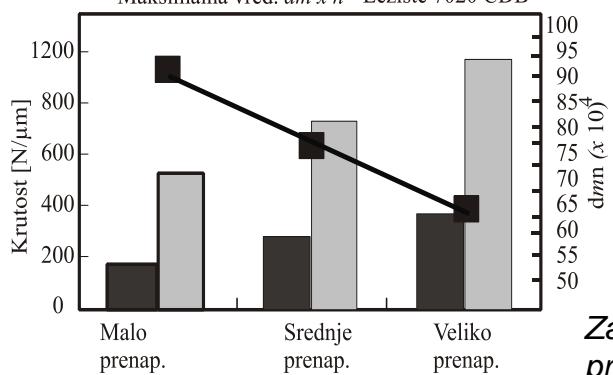
## Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

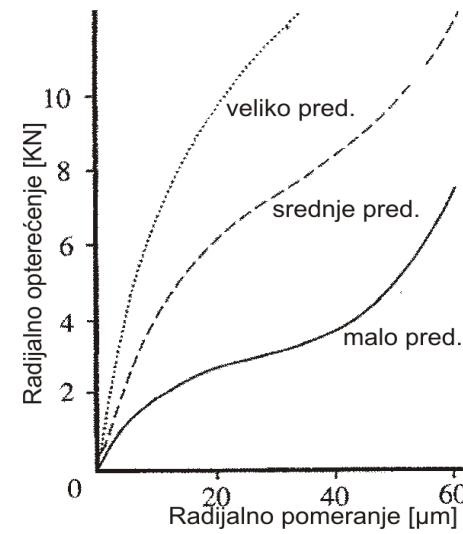
- Zahtev za povećanjem krutosti ležaja, povećanjem preklopa i prednaprezanja je povezan sa povećanjem radijalnih pomeranja u ležaju i porastom temperature.,.



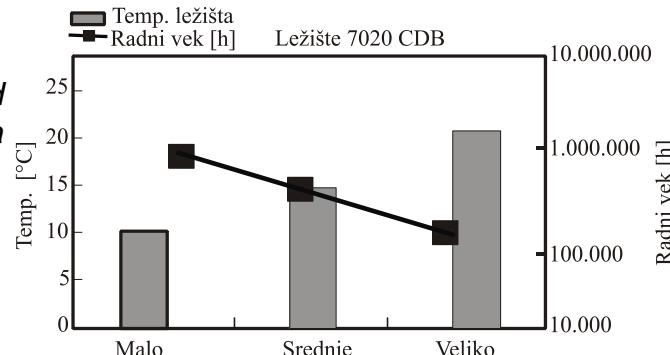
Zavisnost radijalnog pomeranja od prednaprezanja i broja obrtaja



Zavisnost krutosti od prednaprezanja



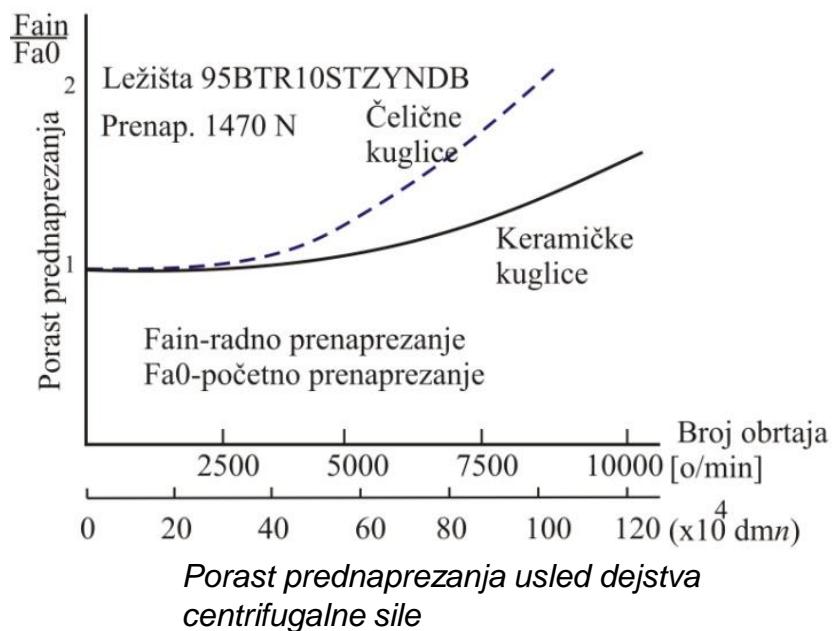
Zavisnost radijalnog pomeranja od radijalnog opterećenja



### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

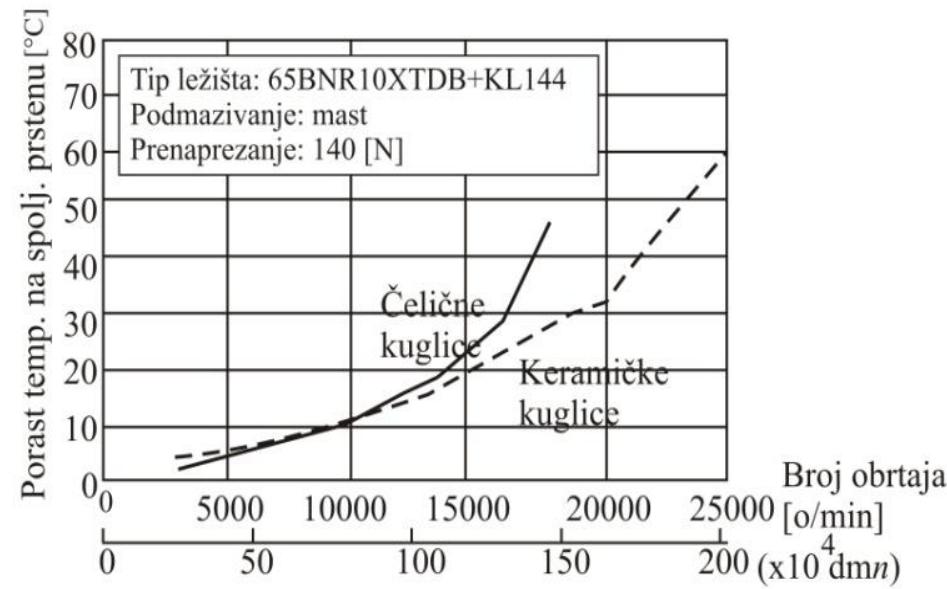
- Dalji zahtevi za porastom brzohodnosti ležaja uslovili su razvoj istih sa keramičkim kuglicama. Za izradu kuglica najčešće se koristi silicijum-nitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).
- Keramičke kuglice u odnosu na čelične imaju:
  - 1) 40 [%] manju masu što utiče na smanjenje centrifugalne sile kojom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



### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

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

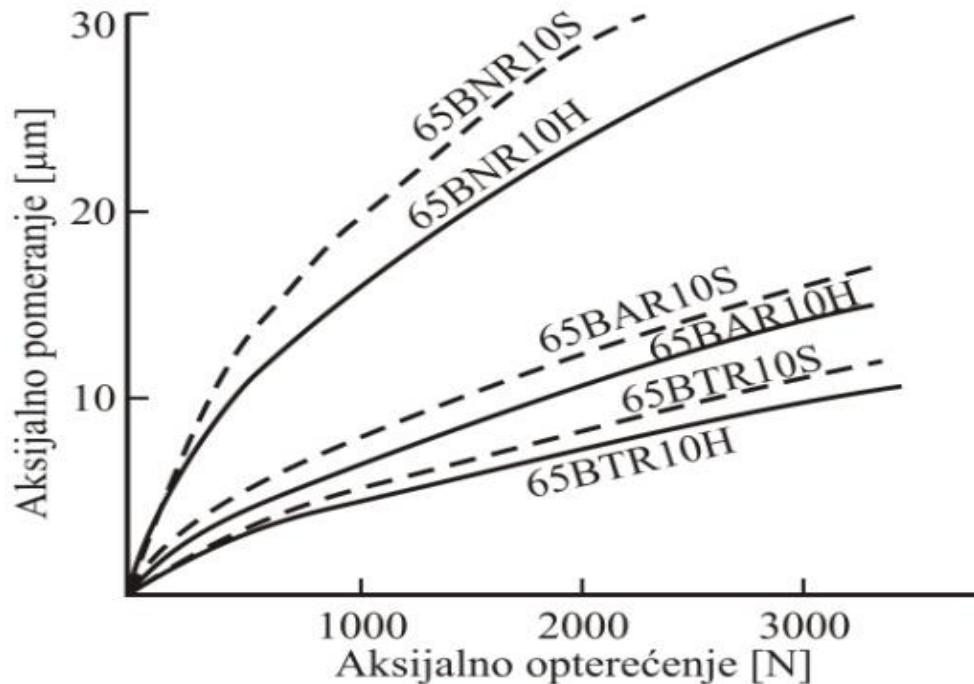


Porast temperature na spoljašnjem prstenu zavisnosti od broja obrtaja

### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

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



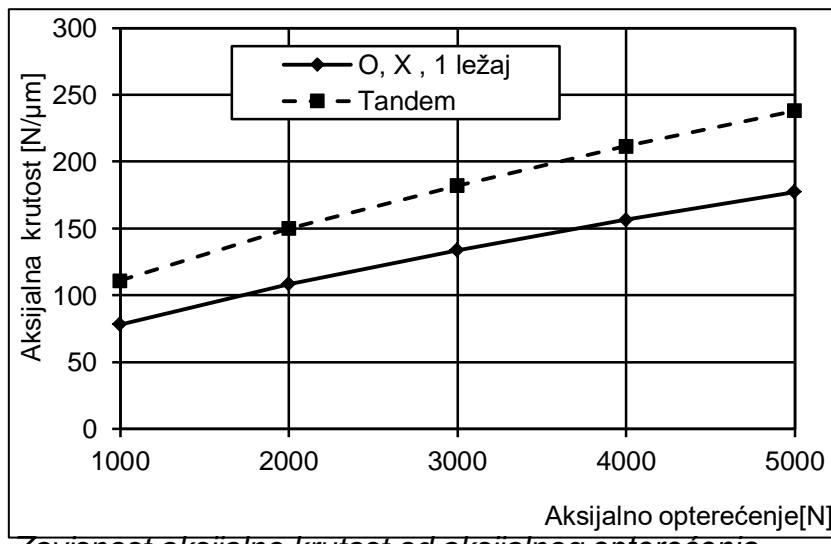
Aksijalno pomeranje spoljašnjeg prstena hibridnih  
i konvencionalnih ležaja u zavisnosti od aksijalnog opterećenja

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

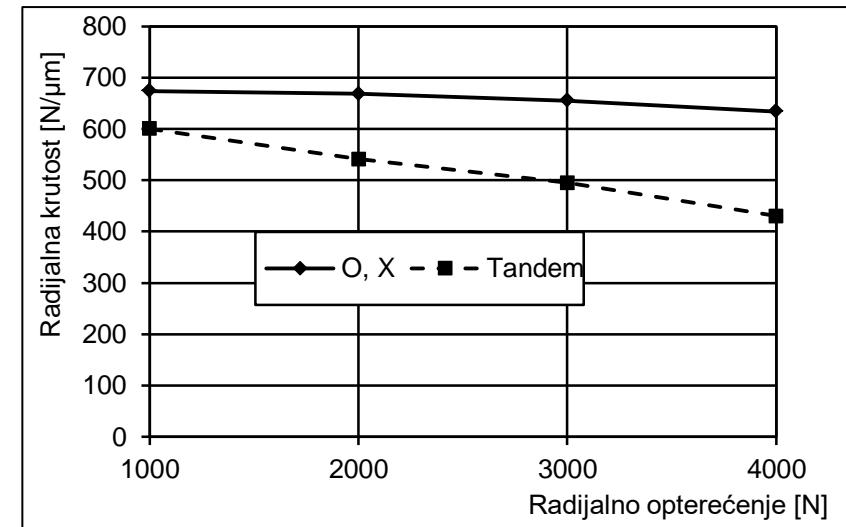
### Uležištenje glavnog vretena - Kotrljajni ležaji

#### Kuglični ležaji sa kosim dodirom

- Način uležištenja je takođe povezan sa krutošću i prednaprezanjem 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



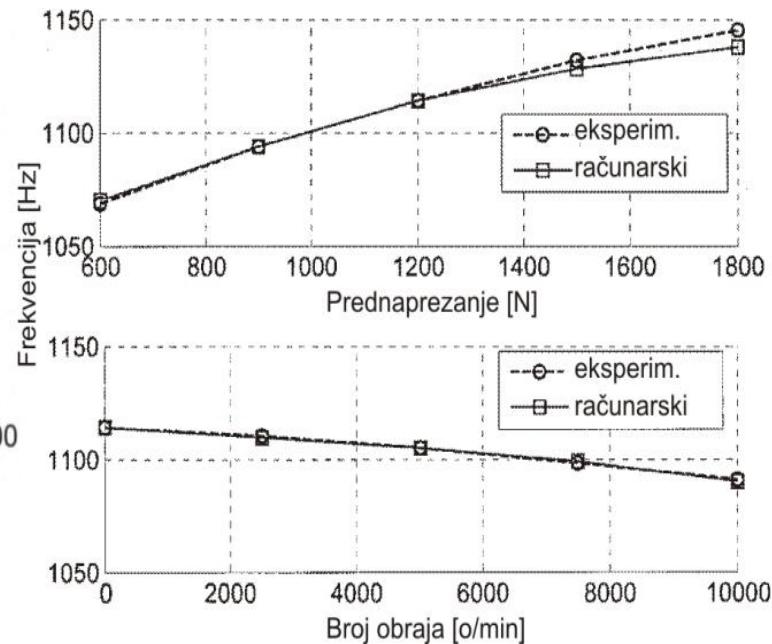
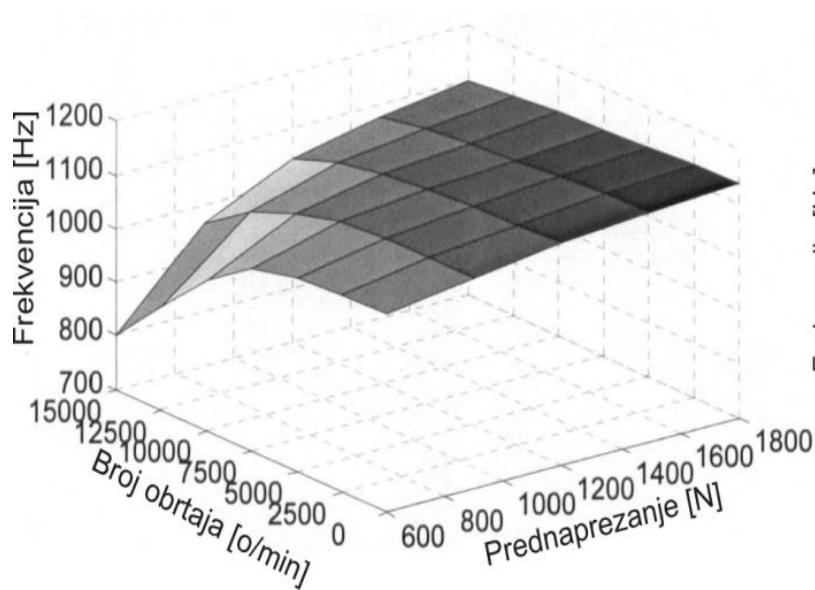
Zavisnost radijalne krutost od radijalnog opterećenja

## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretna - 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.

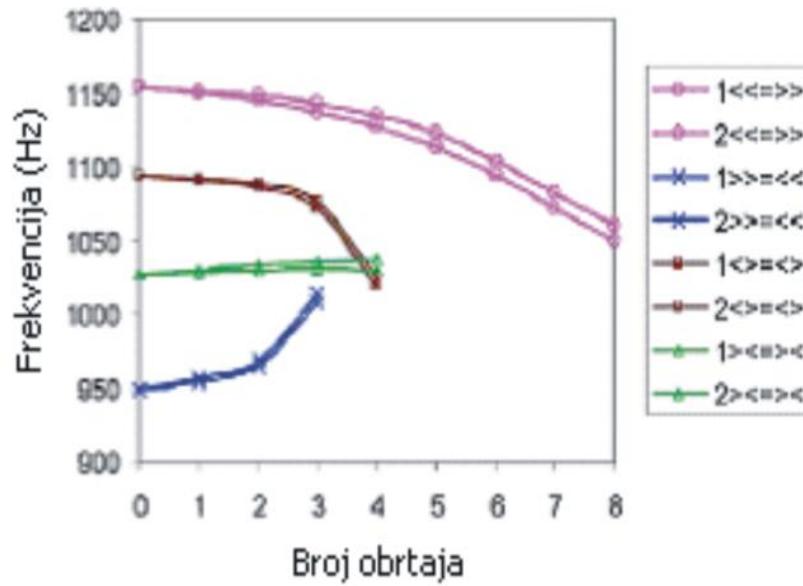
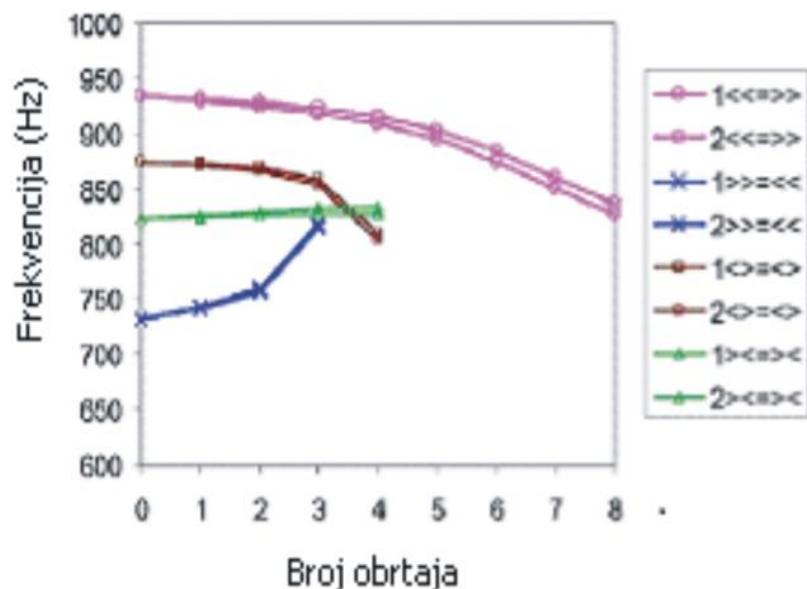


Uticaj prednaprezanja i brzine na drugu sopstvenu frekvenciju

## Uležištenje glavnog vretna - 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 prednaprezanjem vrednost sopstvene frekvencije opada sa porastom broja obrtaja .



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

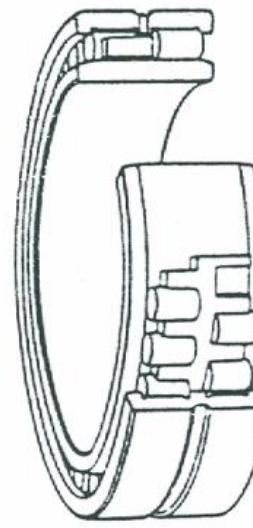
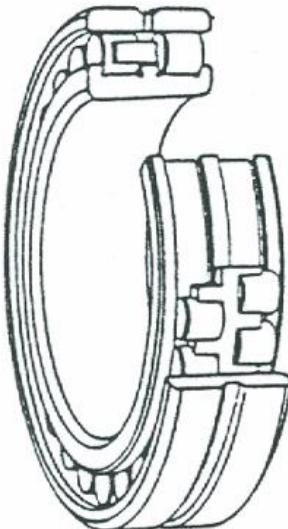
### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Cilindrično- valjčasti ležaji

- Cilindrično-valjčasti ležaji za glavna vretna su sa malim poprečnim presekom, velikom moći nošenja i malom elastičnošću (velikom krutošću).
- Njihovom primenom se dobijaju kruta uležištenja koja mogu podneti velika radikalna 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.



NN 30



NNU 49



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretna - 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 upgrade sa naleganjem sa preklopom.



### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Cilindrično- valjčasti ležaji

- U cilju postizanja zadovoljavajuće tačnosti i krutosti sklopa glavnog vretna 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 vretna i iznosi **10 – 40 [ $\mu\text{m}$ ]** u zavisnosti od veličine ležaja.

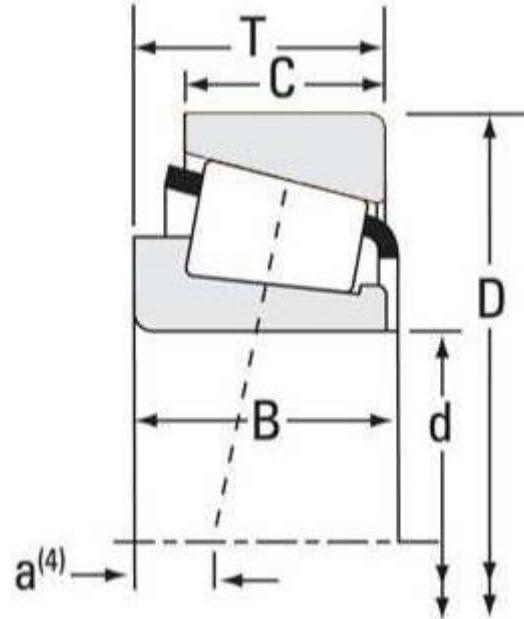


## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Konično - valjčasti ležaji

- Kod konično-valjčastih ležaja rezultantno 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 prstenskih kugličnih ležaja sa kosim dodirom.



### Uležištenje glavnog vretna - Kotrljajni ležaji

#### Konično - valjčasti ležaji

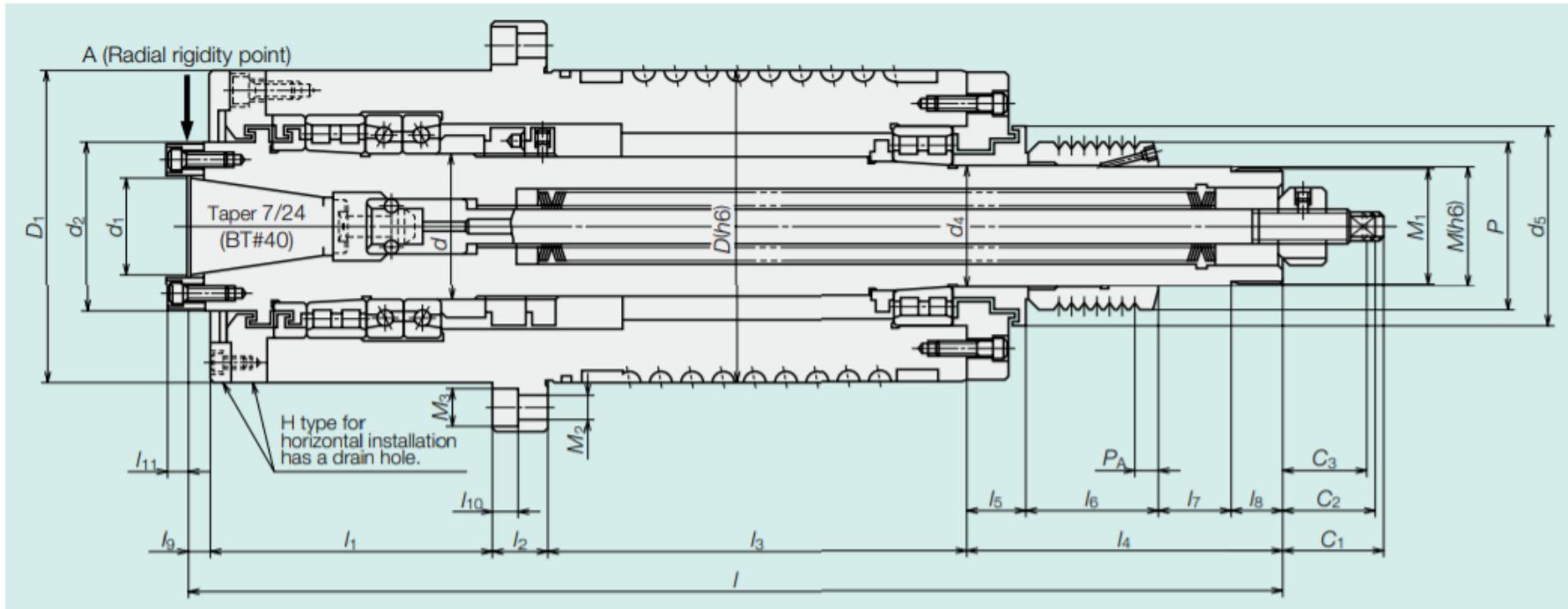
- Ležaji su rastavljeni, tj. spoljni prsten i unutrašnji prsten sa sklopom valjčića i kavezom se mogu odvojeno ugraditi, što je prednost sa stanovišta montaže. Kod glavnih vretna mašina alatki se **koriste ležaji serije 320 X**.
- Rade se sa mnogo valjčića relativno velikog prečnika, što obezbeđuje veliku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



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### KONSTRUKCIONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

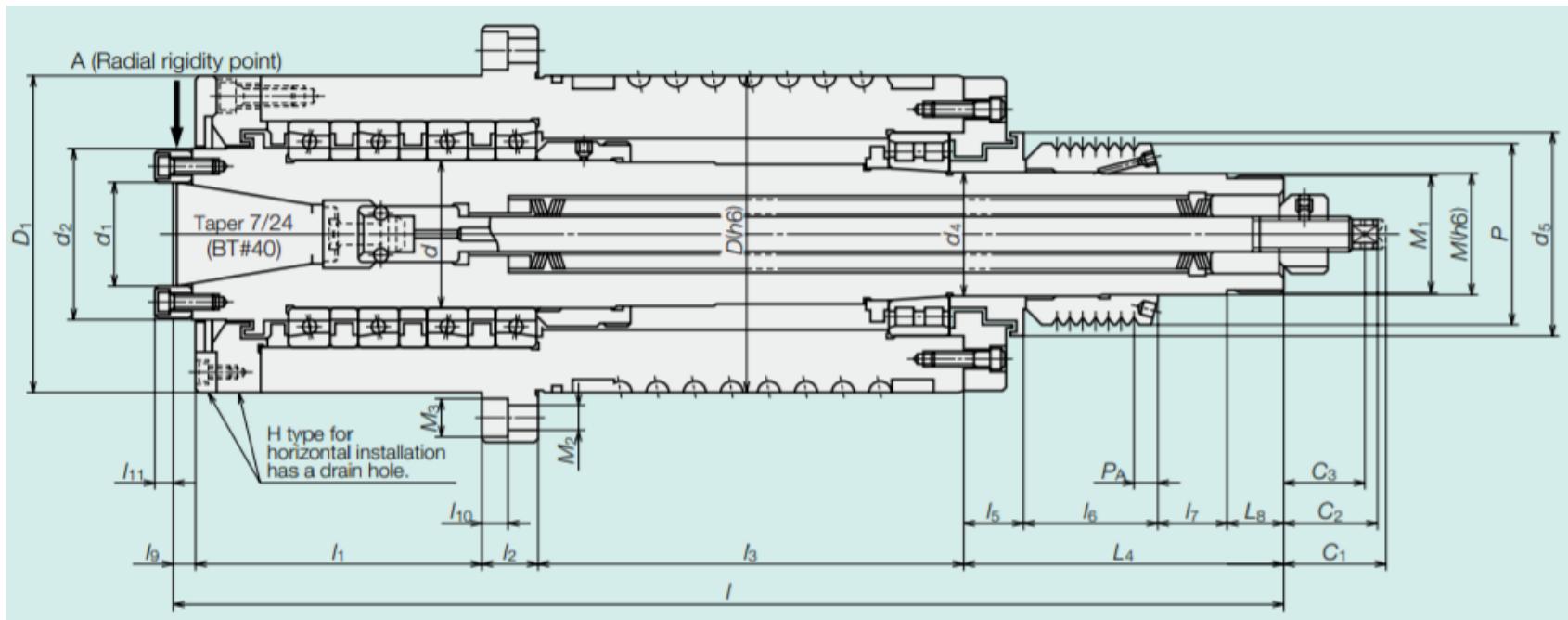
- ✓ Primena: Obradni centri
- ✓  $n = 4000 - 8000 [\text{o/min}]$ ;  $P = 5,5 - 11 [\text{kW}]$ ;
- ✓ Aksijalna krutost:  $275 - 520 \text{ N}/\mu\text{m}$
- ✓ Radijalna krutost:  $245 - 500 \text{ N}/\mu\text{m}$
- ✓ Prednji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj i kuglični sa kosim dodirom u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



# 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

## KONSTRUKCIONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

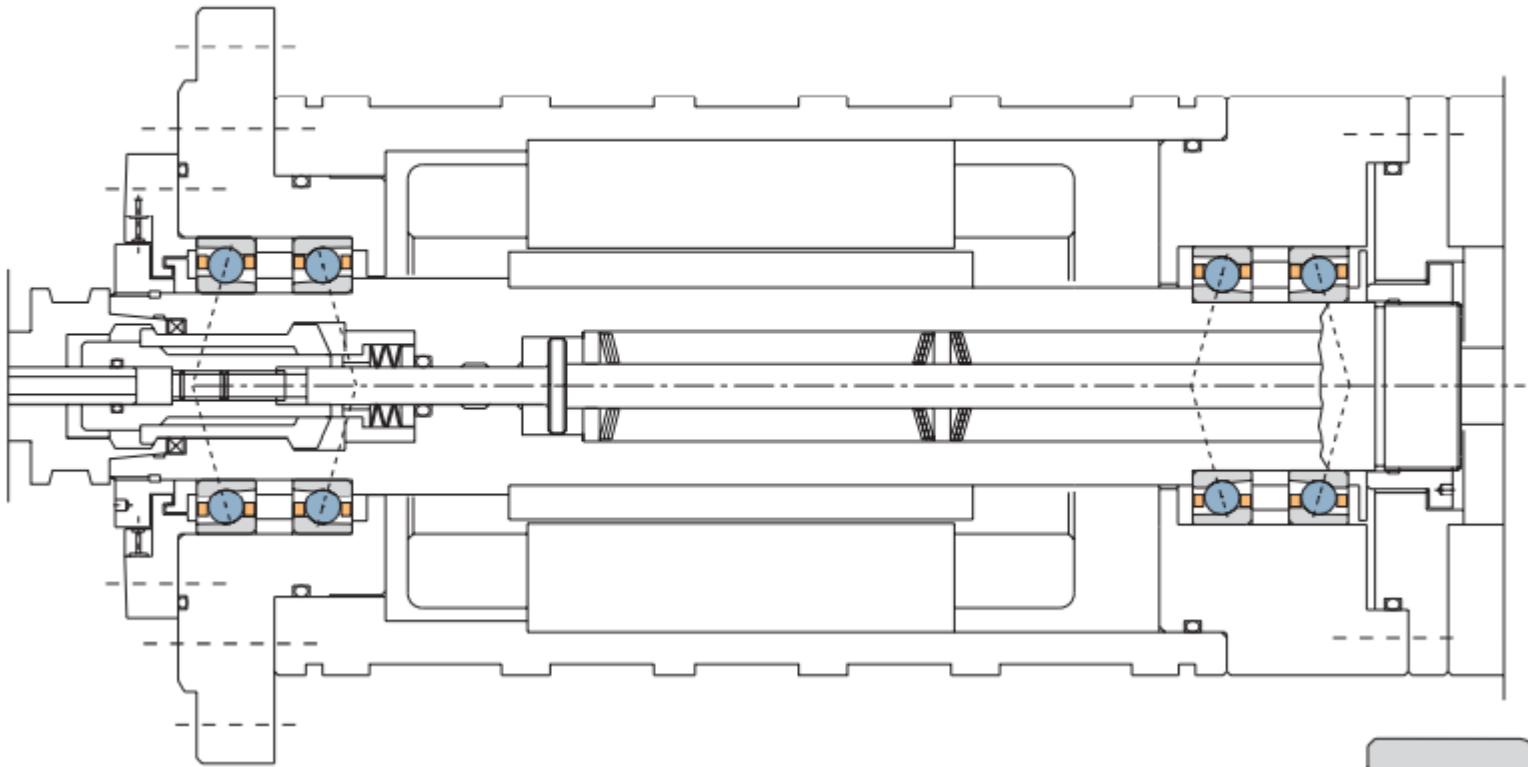
- ✓ Primena: Obradni centri
- ✓  $n = 10000 - 12000 [\text{o/min}]$ ;  $P = 3,7 - 5,5 [\text{kW}]$ ;
- ✓ Aksijalna krutost:  $128 - 167 \text{ N}/\mu\text{m}$
- ✓ Radijalna krutost:  $98 - 137 \text{ N}/\mu\text{m}$
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u Tandem-O rasporedu;
- ✓ Zadnji oslonac: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



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### KONSTRUKCIONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

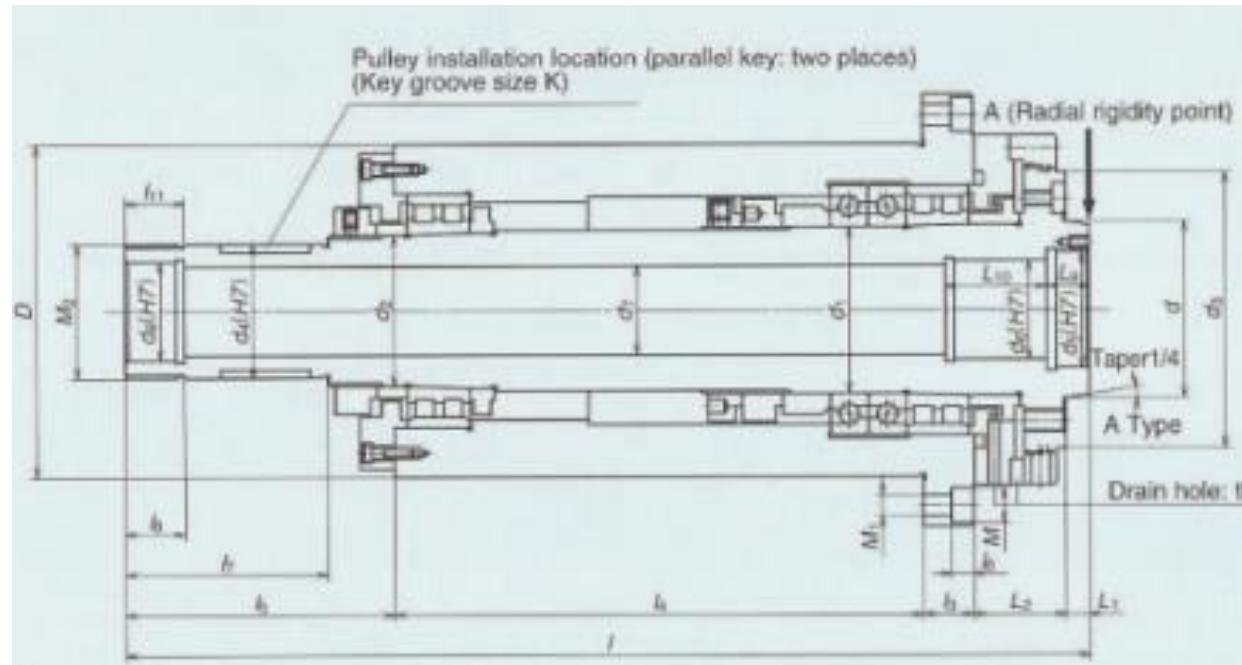
- ✓ Primena: Visokobrzinski obradni centri
- ✓  $n = 20000 - 30000 [\text{o/min}]$ ;  $P = 3,7 - 5,5 [\text{kW}]$ ;
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;
- ✓ Zadnji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;



## **7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje**

## KONSTRUKCIJONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

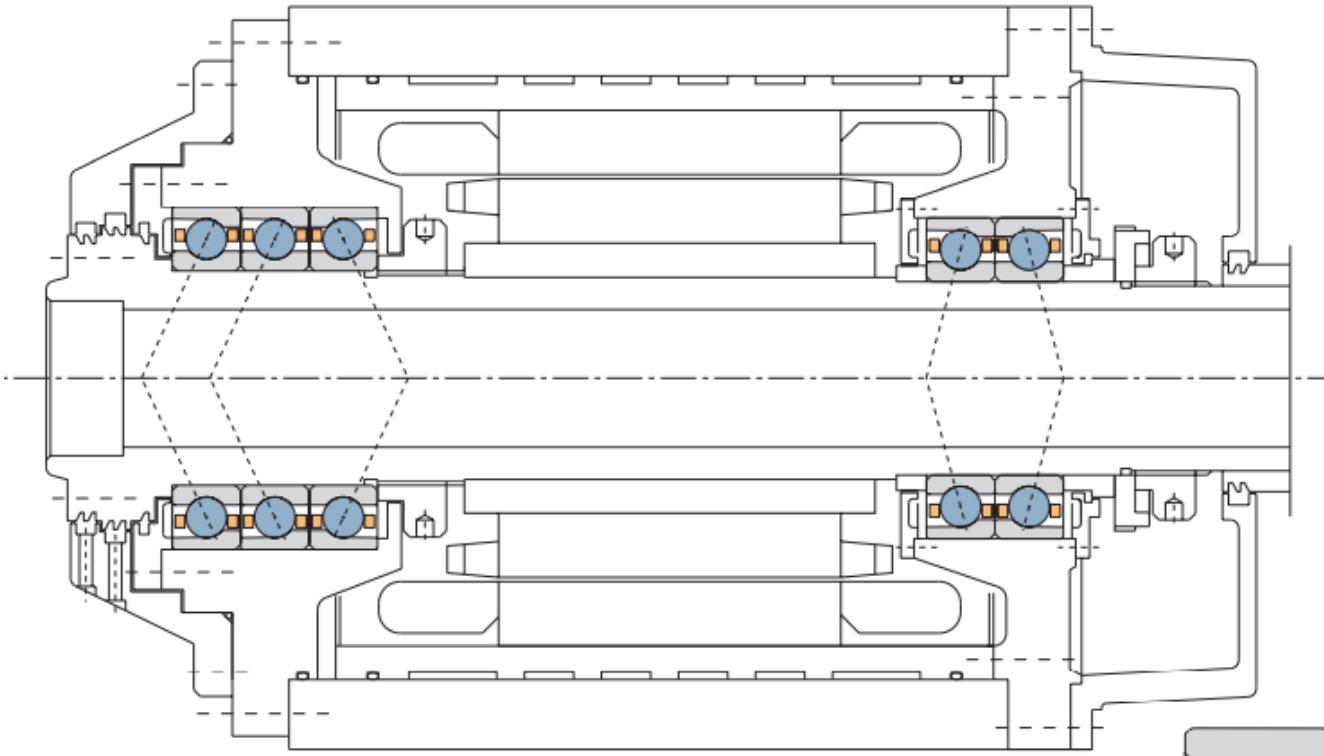
- ✓ Primena: NC strug
  - ✓  $n = 4000 - 5000 \text{ [o/min]}$ ;
  - ✓ Aksijalna krutost:  $34 - 46 \text{ N}/\mu\text{m}$
  - ✓ Radijalna krutost:  $34 - 45 \text{ N}/\mu\text{m}$
  - ✓ Prednji oslonac: dvoredi cilindrično-valjčasti ležaj i kuglični sa kosim dodjom u O rasporedu;
  - ✓ Zadnji oslonac: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



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### KONSTRUKCIONA REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

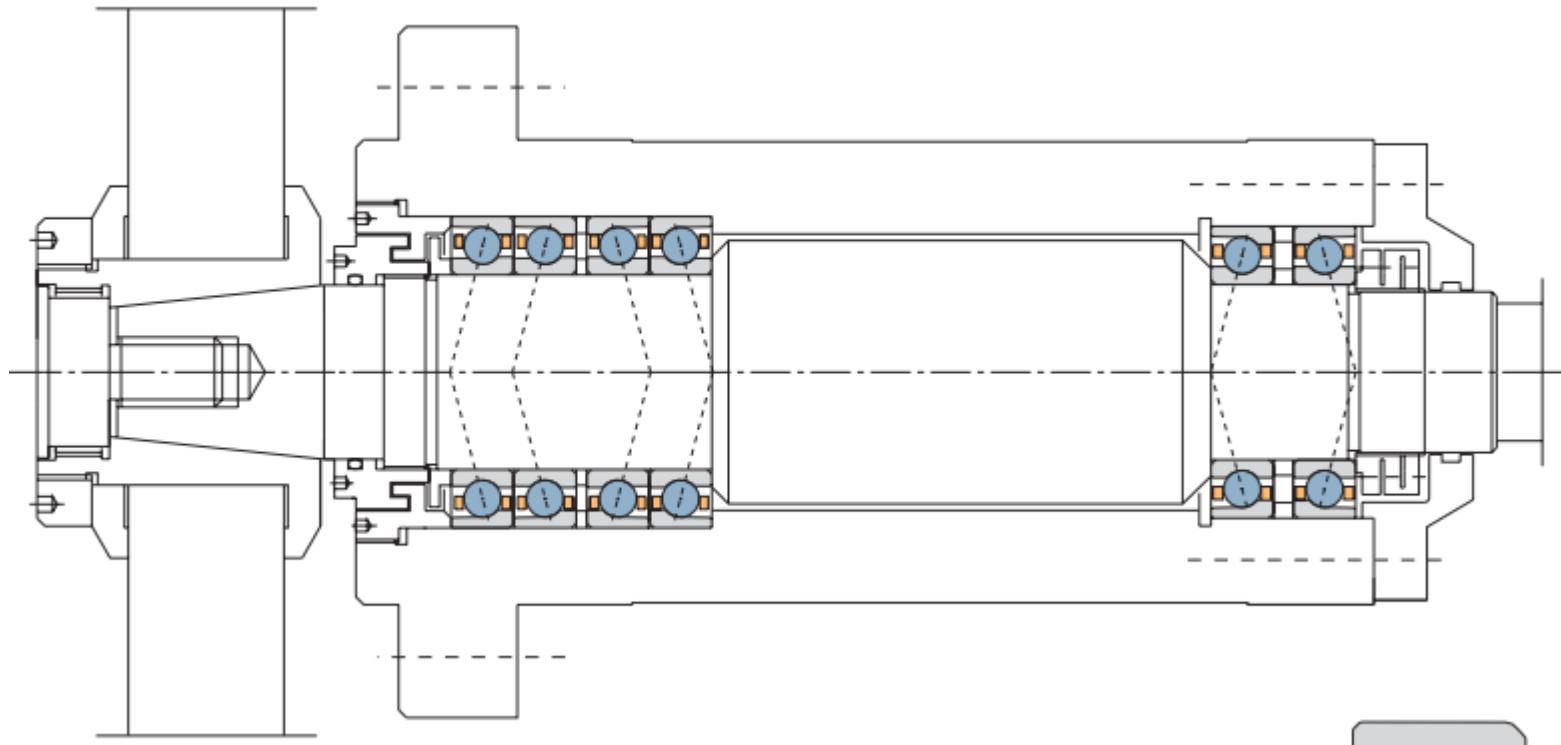
- ✓ Primena: NC strug
- ✓  $n = 10000 - 12000[\text{o/min}]$ ;
- ✓ Prednji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u Tandem - O rasporedu (3 ležaja);
- ✓ Zadnji oslonac: kuglični sa kosim dodirom u O rasporedu;



## 7.0 Projektovanje prenosne strukture za glavno kretanje

### KONSTRUKCIONA 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;



**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVANJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **8.0 PROJEKTOVANJE PRENOSNE STRUKTURE ZA POMOĆNO KRETANJE**

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Mašine sa ustaljenim pomoćnim pravolinijskim kretanjem

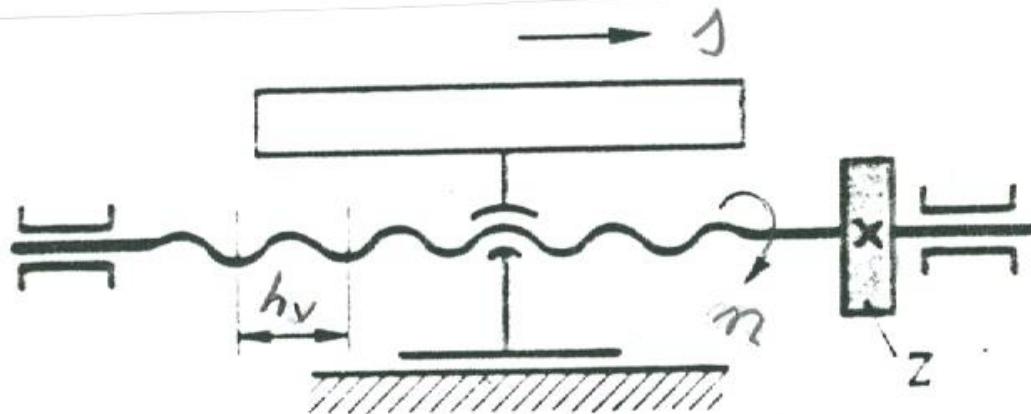
- Kada postoje zahtevi za povišenom tačnošću i ponovljivosti pozicioniranja, velikim brzinama, smanjenim trenjem i habanjem, kao pretvarači obrtnog u pravolinijsko kretanje se koriste **zavojno vreteno – navrtka.**
- Obzirom na trenje koje se javlja pri kontaktu vretena i navrtke razlikuju se dva tipa prenosnika po ovom principu:
- *prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja klizanja,*
- *prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja.*
- Postoji nekoliko načina ugradnje zavojnih parova, pri čemu način ugradnje zavisi od: ***kinematske strukture mašina alatki, položaja osa, potrebnog hoda, intenziteta sila rezanja, itd.***

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

Mašine sa ustaljenim pomoćnim pravolinijskim kretanjem

Zavojno vreteno navrtka – Mogući načini ugradnje zavojnih parova

- Navrtka se posebnim veznim elementom vezuje za pokretni izvršni element mašine alatke, dok je zavojno vreteno uležišteno u nepokretnom elementu.
- Pogonski i/ili prenosni elementi daju odgovarajući broj obrtaja koji se dovodi na zavojno vreteno. Zavojno vreteno može biti povezano sa elektromotorom direktno ili preko zupčastih ili remenih prenosnika.



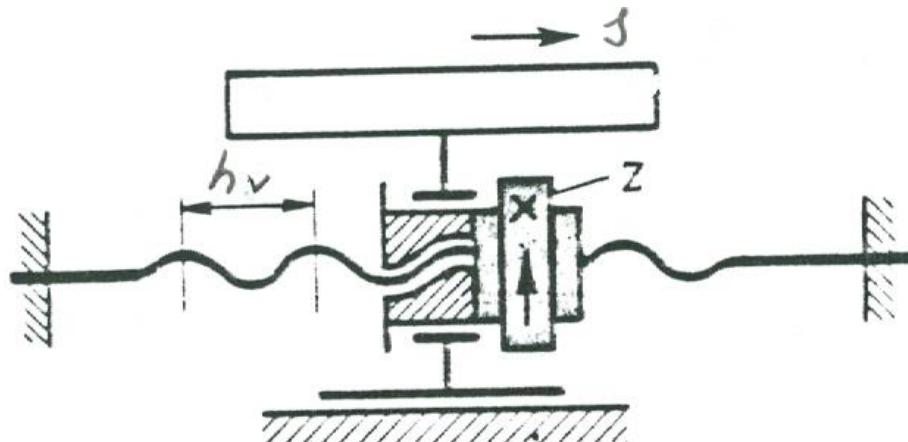
Pokretna navrtka, nepokretno zavojno vreteno

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

**Mašine sa ustaljenim pomoćnim pravolinijskim kretanjem**

**Zavojno vreteno navrtka – Mogući načini ugradnje zavojnih parova**

- Kod veoma dugačkih zavojnih vretena, zavojno vreteno je nepokretno i vezano za nepokretni deo mašine alatke, dok je navrtka uležištena na pokretnom elementu.
- Obrtanjem navrtke dolazi do njenog pomeranja duž zavojnog vretena, što dovodi i do kretanja izvršnih organa mašine alatke.



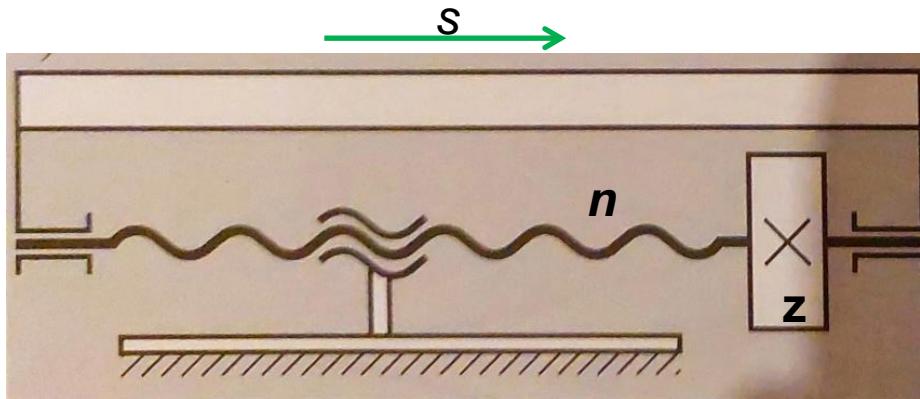
*Pokretna navrtka, nepokretno zavojno vreteno*

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

Mašine sa ustaljenim pomoćnim pravolinijskim kretanjem

Zavojno vreteno navrtka – Mogući načini ugradnje zavojnih parova

- Navrtka je vezana u nepokretnom elementu i nema mogućnost ni obrtnog ni pravolinijskog kretanja.
- Zavojno vreteno je uležišteno u pokretnom delu ima mogućnost aksijanog pomeranja, što dovodi do pomeranja izvršnog organa mašine.

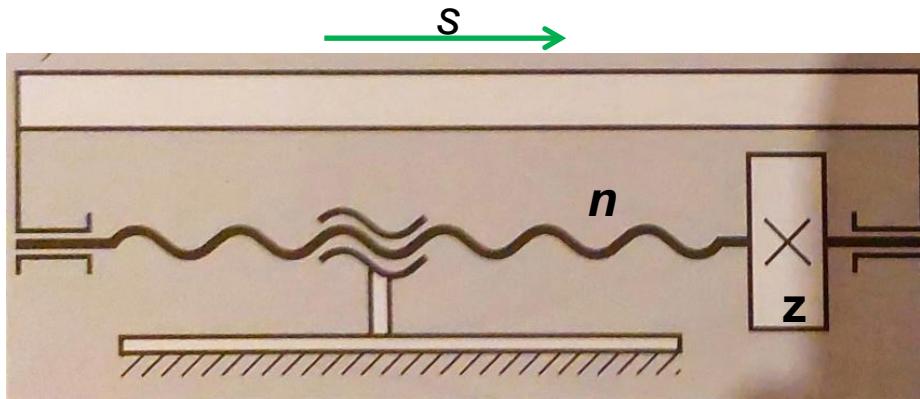


### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

Mašine sa ustaljenim pomoćnim pravolinijskim kretanjem

Zavojno vreteno navrtka – Mogući načini ugradnje zavojnih parova

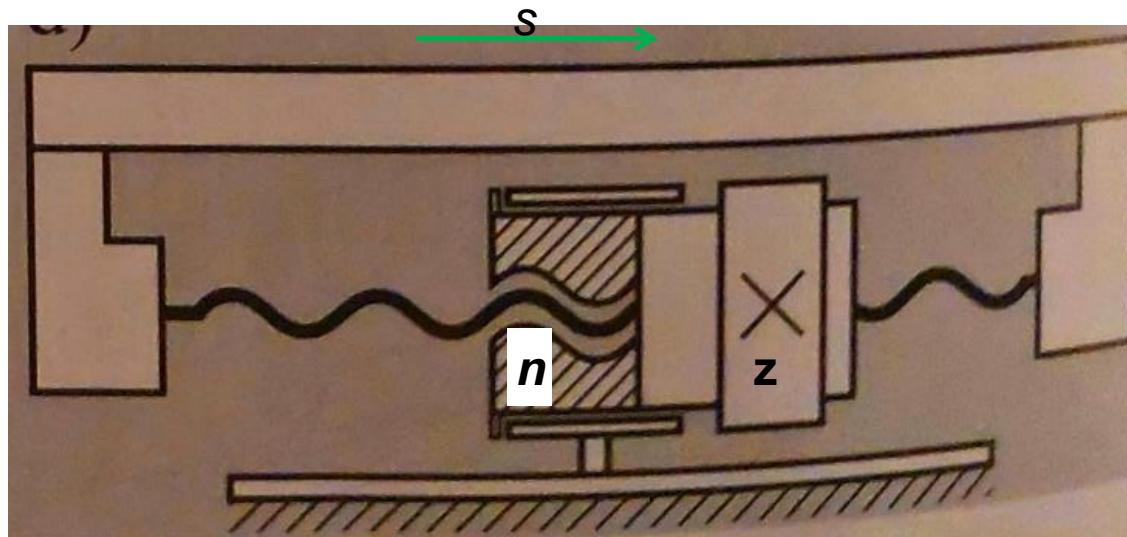
- Navrtka je vezana u nepokretnom elementu i nema mogućnost ni obrtnog ni pravolinijskog kretanja.
- Zavojno vreteno je uležišteno u pokretnom delu ima mogućnost aksijanog pomeranja, što dovodi do pomeranja izvršnog organa mašine.



### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Zavojno vreteno navrtka – Mogući načini ugradnje zavojnih parova

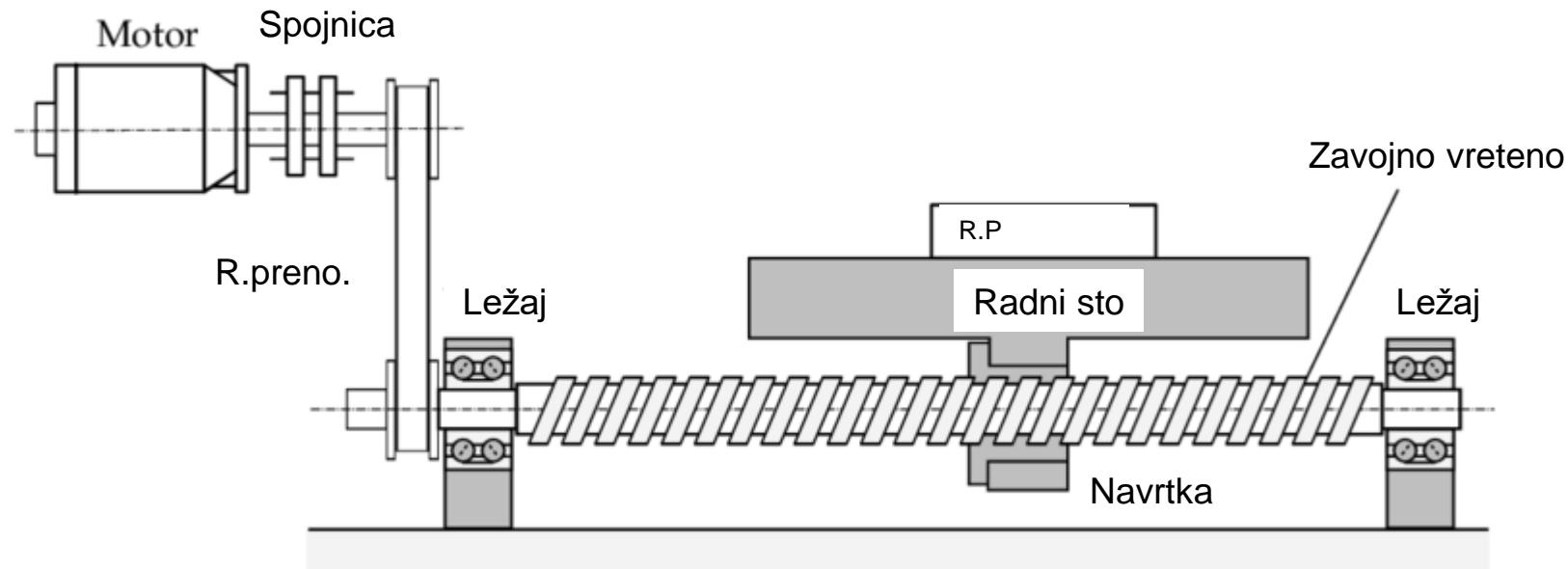
- Navrtka je vezana za nepokretni deo mašine i na nju se sa elektromotora dovodi obrtno kretanje.
- Zavojno vreteno se aksijalno pomera čime obezbeđuje pravolinijsko kretanje izvršnog organa mašine alatke.



### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja klizanja

- Kod prenosnika na bazi trenja klizanja koristi se zavojno vreteno i navrtka sa standardnim pravougaonim ili trapeznim profilom.
- Ove prenosnike karakteriše kompaknost konstrukcije, jednostavna izrada i velika nosivost.
- Poseduje samokočivost pa se koristi kod vertikalno vođenih elemenata mašina alatki.



### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja klizanja

- Kod ovih prenosnika se mora posvetiti pažnja izboru materijala elemenata zavojnog spoja usle velikog trenja dodirnih površina.
- Za zavojno vreteno se koriste ugljenični ili legirani čelici, dok se navrtka izrađuje od olovne bronce ili antifrikcionog sivog liva.
- Veza između pravolinijskog i obrtnog kretanja je u ovom slučaju:

$$s_i = h_v \cdot n_i$$

- Dozvoljena aksijalna sila pritiska je:

$$F_a = p \cdot \pi \cdot h_v \cdot l_v \cdot n;$$

$h_v$  – korak zavojnog vretena;

$$n = \frac{\text{Širina navrtke}}{h_v};$$

$$l_v = D_0 - D_r$$

$p$  - dozvoljeni pritisak u ležaju [MPa]:

= 80 za čelična vretena i navrtke od livenog gvožđa

= 30 za čelična vretena i navrtke od bronce (za precizna pomoćna kretanja)

= 120 za čelična vretena i navrtke od bronce (za glodalice)



### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

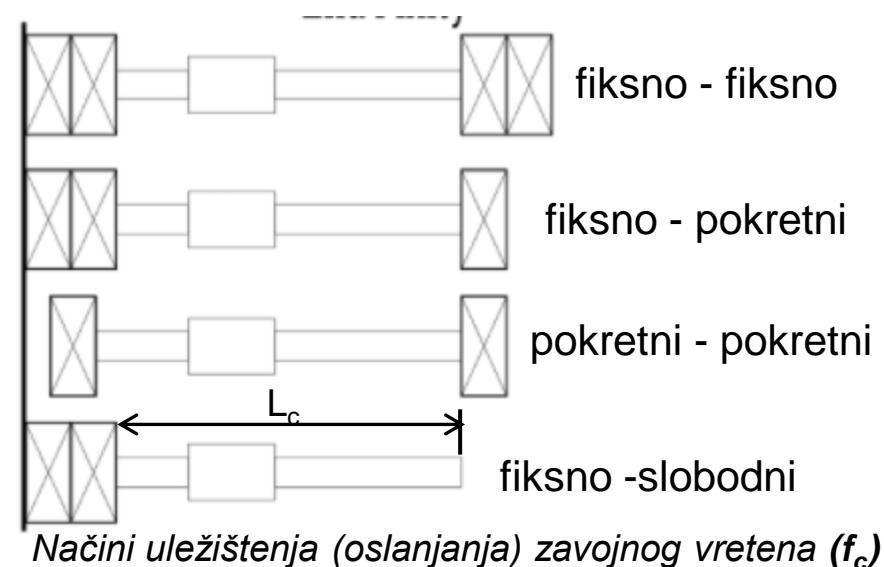
#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja klizanja

- Pri izboru ovih prenosnika mora se voditi računa o :
- ✓ **Kritičnoj brzini** – maksimalni broj obrtaja u minuti, što se zasniva na sopstvenoj frekvenciji zavojnog vretena. Kritični broj obrtaja je u funkciji prečnika, dužine i načina oslanjanja zavojnog vretena.
  - ✓ Dužina zavojnog vretena je određena zahtevima primene,
  - ✓ Kritični broj obrtaja za datu dužinu zavojnog vretena može se povećati izborom većeg prečnika ili korišćenjem oslonaca veće krutosti.

$$n_c = f_c \left( \frac{d_v}{L_c} \right) \cdot 10^7; [o/min]$$

Radni broj obrtaja bi trebalo biti:

$$\underline{n \leq 0,8 * n_c}$$



### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja klizanja

##### Prednosti:

- Zavojna vretena su jeftinija i lakša za proizvodnju. Isplativija su ud kugličnih zavojnih vretena pri malim brzinama i kod lakih i srednje teških mašina alatki;
- Efikasniji su kod vertikalnih kretanja;
- Pojedina zavojna vretena imaju osobinu samokočivosti. Ovo je obično prisutno kod navrtki od bronze koje imaju visok koeficijent trenja.
- Manja buka;
- Obloženi su samopodmazujućim premazom – ne zahtavlja primenu spoljašnjeg podmazivanja.

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja klizanja

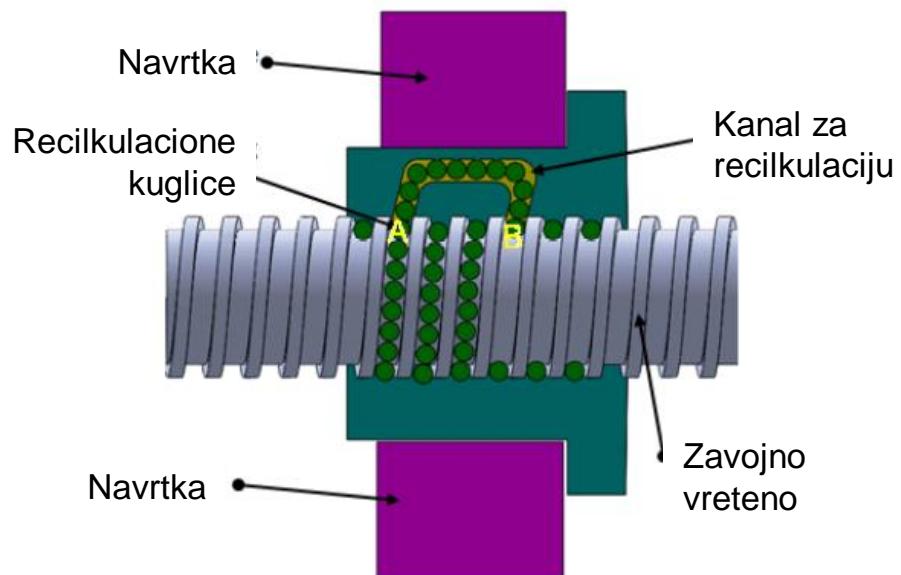
##### Nedostaci:

- Imaju niži stepen efikasnosti od 20 do 80%. Ne preporučuju se za kontinualne prenosnike.
- Imaju manji vek trajanja od kugličnih zavojnih vretna. Habanje navoja je brže jer se stvara velika količina trenja između vretna i navrtke
- Toplota nastala trenjem izaziva toplotna širenja, što negativno utiče na tačnost.
- Zahtevaju pogonske elektromotore veće snage jer im je potreban veći obrtni momenta.

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavoјnim parom na bazi trenja kotrljanja

- Kod ovih prenosnika između navrtke i zavojnog vretena se nalaze kotrljajna tela.
- Postoji mogućnost regulisanja prednaprezanja.
- Zavoјna vretna sa kugličnim kotrljajnim telima se sastoje od
  - ✓ zavoјnog vretena,
  - ✓ navrtke sa sistemom za recirkulaciju kuglica i
  - ✓ kuglica kao recirkulacionih tela



### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavoјnim parom na bazi trenja kotrljanja

- Postoje dva načina recirkulacije kuglica: **spoljašnja i unutrašnja recirkulacija.**
- Spoljašnja recirkulacija kuglica se postiže pomoću recirkulacijske cevi ili kanala. Prilagođen dizajn cevi omogućava kuglicama da izađu iz navrtke i da u uđu tangencijalno, omogućavajući ravnomerniji i glatki protok kao i viši brzine.



Recirkulacioni kanal



Recirkulacioni cev

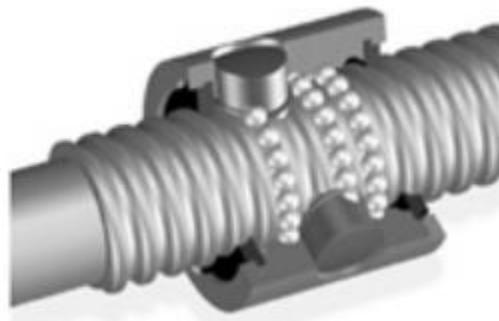
Spoljašnja recirkulacija

## 8.0 Projektovanje prenosne strukture za pomoćno kretanje

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja

- Kod unutrašnjeg sistema recirkulacije, recirkulacija kuglica se vrši u kanalima smeštenim unutar navrtke.



*Recirkulaciona jedinica (S-oblik ili ravna recirkulacija)*

*Unutrašnja recirkulacija*

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja

- Prenosnici sa kugličnim zavojnim vretenima dužine približno do 12 m mogu se koristiti u mašinama sa dugim hodom.
- U zavisnosti od primene, prečnik zavojnog vretena je u opsegu od 16 do 160 mm, dok je korak između 5 i 40 mm.
- Sadašnji prenosnici sa kugličnim zavojnim vretenom podržavaju brzinu kretanja do 100 m/min sa ubrzanjem od 2 g.
- Optimizacija konstrukcije zavojnog kuličnog vretena, premazivanje kuglica radi smanjenja trenja i habanja, ugib i prednaprezanja navrtke, dovele su do značajnog povećanja brzine i preciznosti prenosnika sa kugličnim zavojnim vretenom.

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja - *Prednaprezanje*

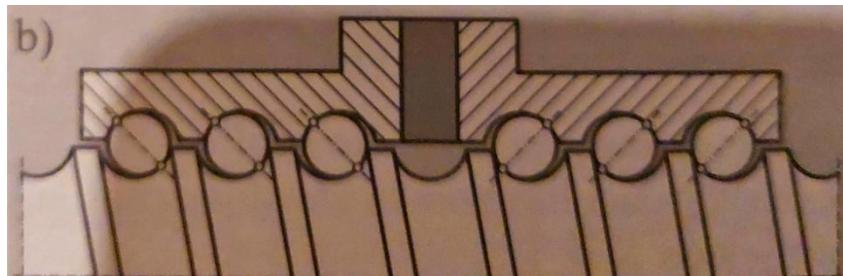
- Kod kugličnih zavojnih vretna, kako bi se smanjila greška pozicioniranja i povećala tačnost pri promeni smera kretanja je potrebno elimisati zazor što se izvodi prednaprezanjem.
- Prednaprezanje stvara početne elastične deformacije u kuglicama i stazama kotrljanj u navrtci i vretenu obezbeđujući aksijalno opterećenja.
- Pravilno definisana veličina prednaprezanja treba da obezbedi postizanje optimalne efikasnosti i povećanje veka zavojnog vretna.
- Prednaprezanje sistema zavojno vreteno - navrtka se izvodi :
  - ✓ **primenom dvodelne navrtke,**
  - ✓ **promenom rastojanja između kotrljajnih tela,**
  - ✓ **povećanjem prečnika kotrljajnih tela.**

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

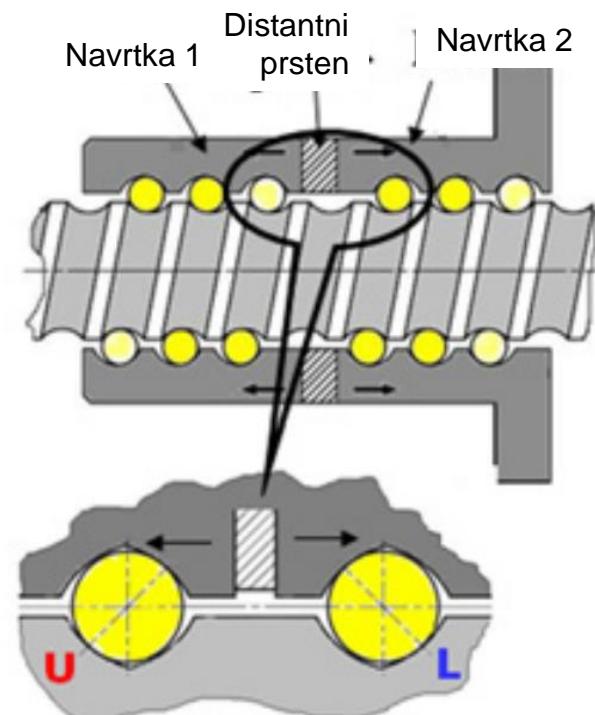
Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja – Prednaprezanje

#### Prednaprezanje primenom dvodelne navrtke

- Najefikasniji metod koji obezbeđuje srednje i velike vrednosti sile prednaprezanja se ostvaruje primenom dve navrtke koje se kreću u suprotnim smerovima, a između njih se nalazi distantski prsten.
- Razmicanjem navrtki zavojno vreteno je opterećeno na istezanje, ostvaruje se "O" raspored kuglica.
- Primicanjem navrtki vreteno je opterećeno na pritisak čime se ostvaruje "X" raspored kuglica.



"X" raspored kuglica



"O" raspored kuglica

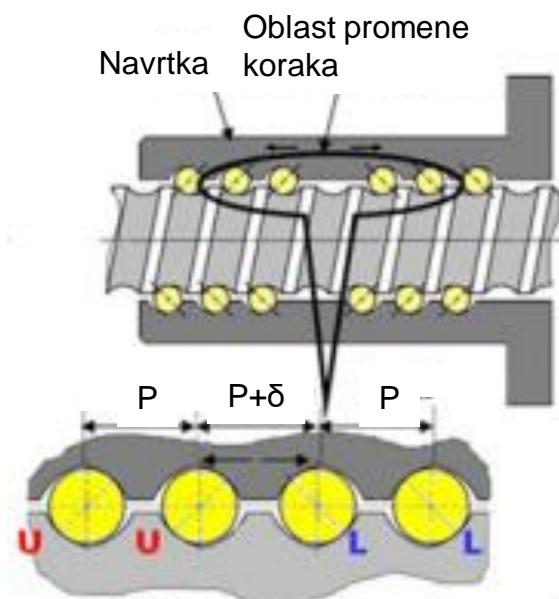
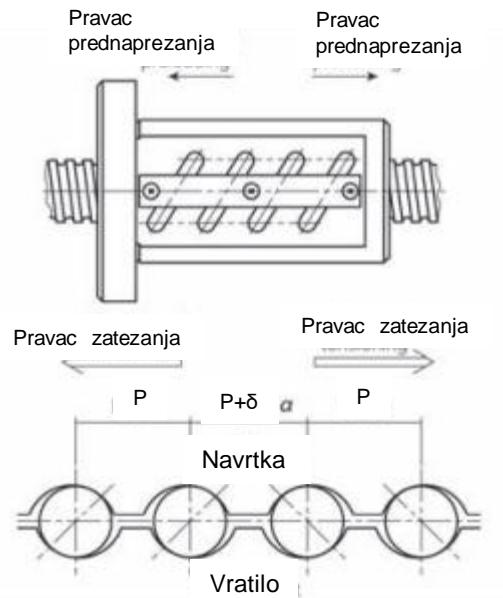
### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja – Prednaprezanje

#### Promenom rastojanja između kotljajnih tela (promenom koraka)

Srednje vrednosti prednaprezanja se mogu ostvariti promenom koraka zavojnog vretena, pri čemu kuglice osvaruju kontakt sa vretenom i navrtkom u dve tačke.

- Kod ovog tipa prenaprezanja rastojanje između kotljajnih tela je uvećano za veličinu prednaprezanja  $\delta$ .



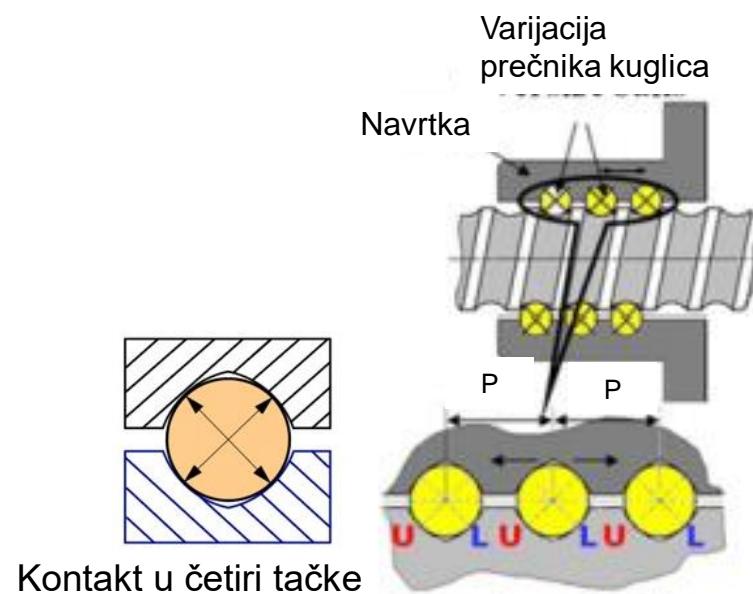
### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja – Prednaprezanje

#### Povećanjem prečnika kotrljajnih tela.

Prednaprezanje ostvarno ovom metodom je najjednostavniji način prednaprezanja. U ovom slučaju su kuglice malo većeg prečnika od prečnika staza kotrljanja i ostavruje se kontakt u četiri tačke.

Ovaj slučaj se može primeniti pri malom prednaprezanju zbog habanja kuglica.



## 8.0 Projektovanje prenosne strukture za pomoćno kretanje

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja – Prednaprezanje

Vrednost prednapretzanja određuje aksijalnu krutost kugličnog zavojnog vretena - veća vrednost prednaprezanja - veća je krutost komponenti.

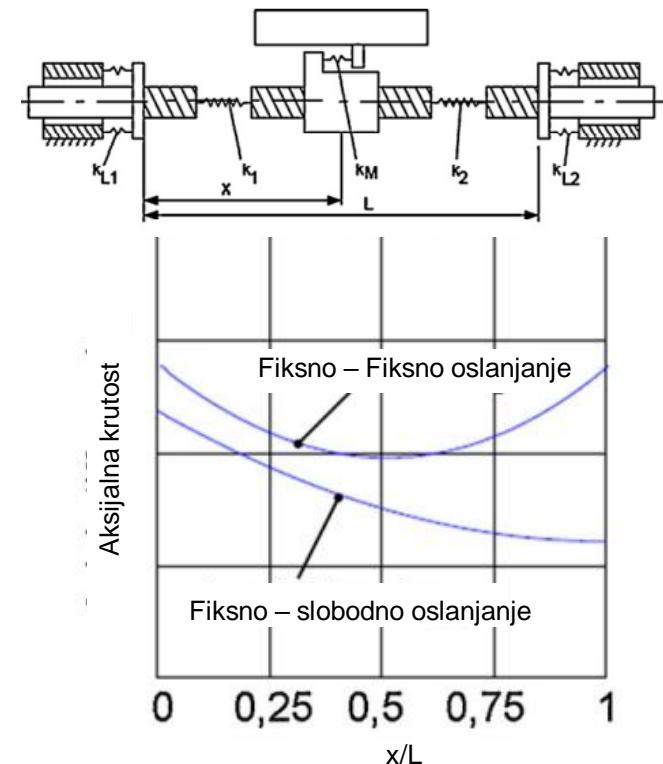
U skladu sa Hercovom teorijom kontaktno, odnos između sile prednaprezanja i krutosti zavojnog vretena  $K_a$  se može napisati kao:

$$K_a = \frac{1}{3} F_p^2; \text{ ili}$$

$$K_a = \frac{F_a}{\delta_{a0}} \frac{3F_p}{0,5\delta_a}$$

Malo prednaprezanje  
 $K_a = 0,05Ca$

Srednje i veliko prednaprezanje  
 $K_a = (0,05 - 0,1)Ca$   
Ca – dinamička nosivost



## 8.0 Projektovanje prenosne strukture za pomoćno kretanje

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja

- Projektovanje i proračun zavojnih vretena sa reciklacijom kuglica je definisano standardima npr.: DIN 69051-3, DIN69051-4 i DIN69051-5

ULAZ

Masa pokretnih delova, maksimalna brzina, vreme ubrzanja, koeficijent trenja, orijentacija (vertikalno/horizontalno), vek, tačnost pozicioniranja.



Privremeni izbor zavojnog vretena na bazi prečnika, dužine, koraka na osnovu eksplatacionih uslova



Maksimalna sila pritiska < Dozvoljene sile pritiska



Maksimalni broj obrtaja < Dozvoljeni broj obrtaja



Određivanje i/ili provera krutosti



Određivanje i provera veka zavojnog vretena

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja - **PREDNOSTI**

- Manji startni moment;
- Manji koeficijent trenja u poređenju sa zavojnim vretenima na bazi klizanja;
- Efikasnost prenosa energije je veoma visoka i iznosi 95 %.
- Može se lako ostvariti prednaprezanje da bi se eliminisao zazor;
- Sila trenja je praktično nezavisna od brzine kretanja i trenje u mirovanju je veoma malo; shodno tome;
- Imaju duži vek;
- Kuglična zavojna vretena su prilagođena za velike snage, brzine i sa kontinualnom i stupnjevitom promenom.

### Prenosnik za pomoćno pravolinijsko kretanje

#### Prenosnici sa zavojnim parom na bazi trenja kotrljanja - **NEDOSTACI**

- Zahtevaju periodično remontovanje da bi se održala njihova efikasnost;
- Prljavštine ili druge čestica smanjuje vek;
- Nemaju samokočivost;
- Zahtevaju visok nivo podmazivanja.

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

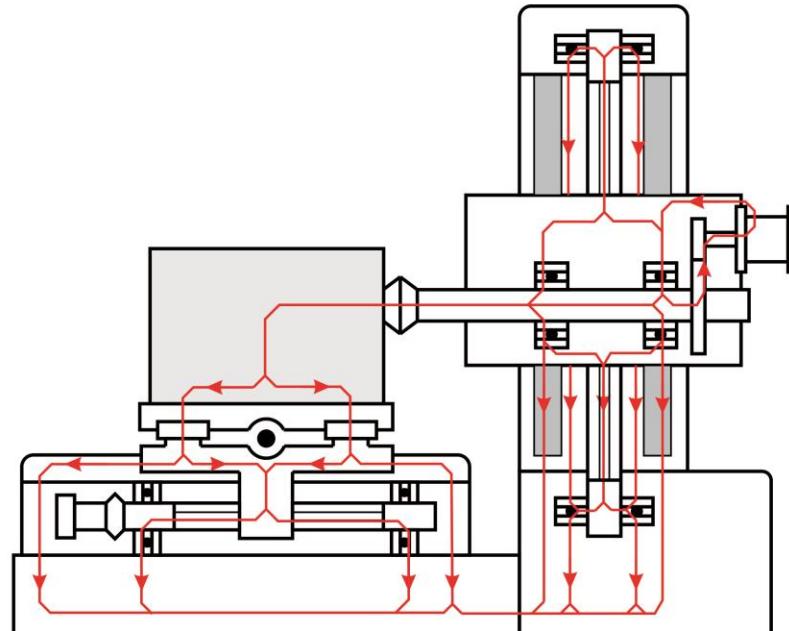
OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

## **9.0 NOSEĆA STRUKTURA MAŠINA ALATKI**

### Uvodne napomene

- Noseća struktura maštine alatke obuhvata elemente, koji nose i prihvataju sve ostale delove maštine alatke.
- Skup delova i sklopova maštine alatke koji obezbeđuju pravilan međusobni položaj alata i radnog predmeta kako u stanju mirovanja, tako i u procesu obrade nazivaju se *noseća struktura*.
- Noseća struktura se može, drugim rečima, definisati i kao skup elemenata i sklopova maštine alatke koji sačinjavaju lanac, u kome se zatvaraju sve sile nastale u procesu rezanja.

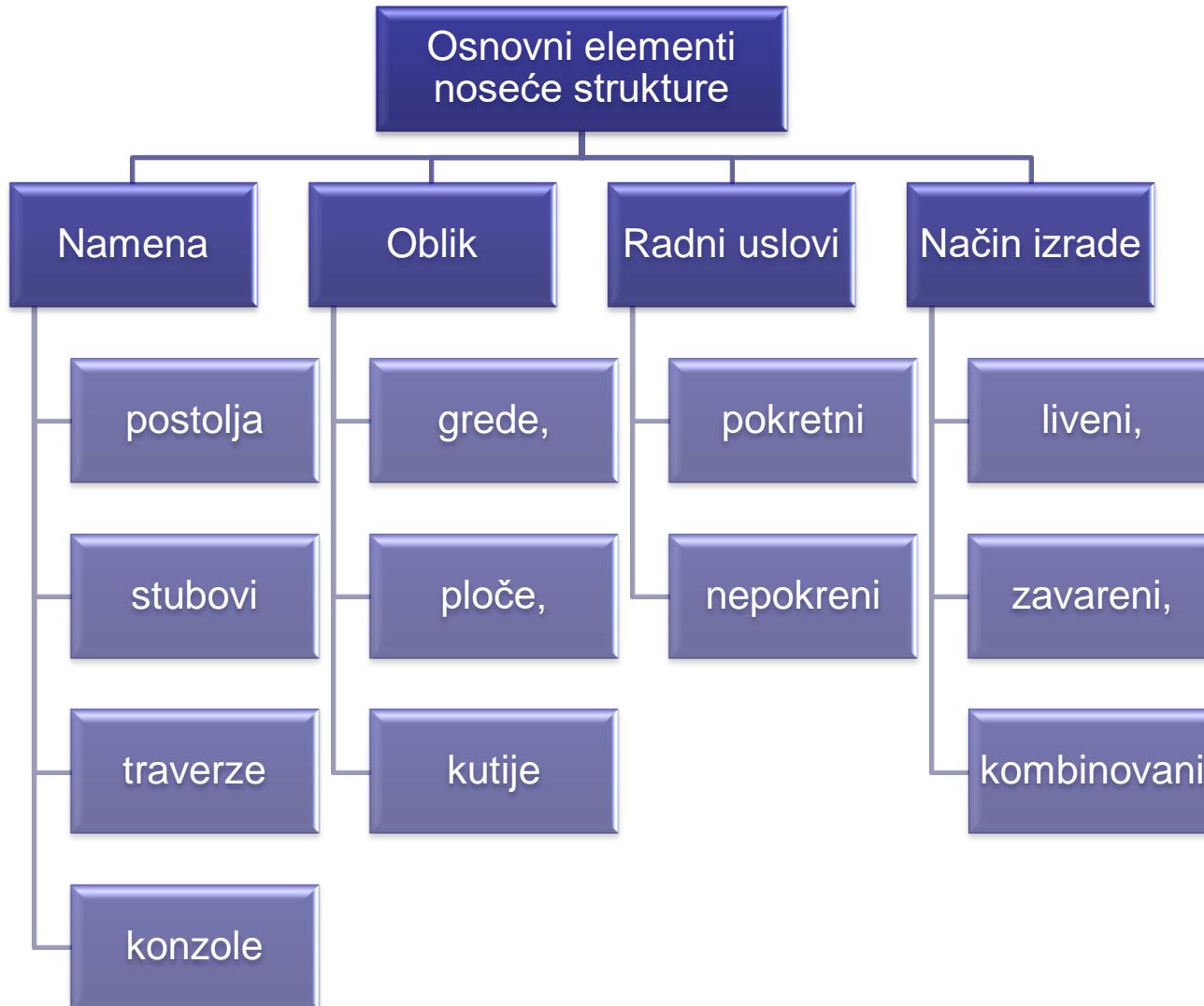


### Uvodne napomene

- Noseće strukture sastavljene su od elemenata poput postolja, osnovnih ploča, stubova, traverzi i dr., čiji oblik, dimenzije i materijal primarno zavise od pravca i dužine pomoćnih kretanja, veličine i pravca sila rezanja, karakteristika obradka.
- Noseća struktura se može podeliti u četiri kategorije u skladu sa njihovim funkcijama:
  - ✓ Osnovni elementi noseće strukture (postolja, osnovne ploče) – elementi na koje se montiraju određeni podsklopovi ;
  - ✓ Elementi za prihvatanje i pomeranje alata (klizači–suporti, nosači alata, ....),
  - ✓ Elemente za prihvatanje i pomeranje obradka (radni stolovi,.....),
  - ✓ Elemente za prihvatanje i vođenje obrtnih delova (kućišta, ...).

## Uvodne napomene

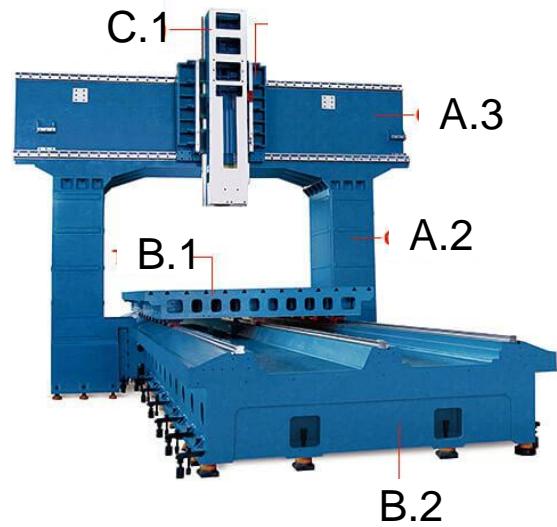
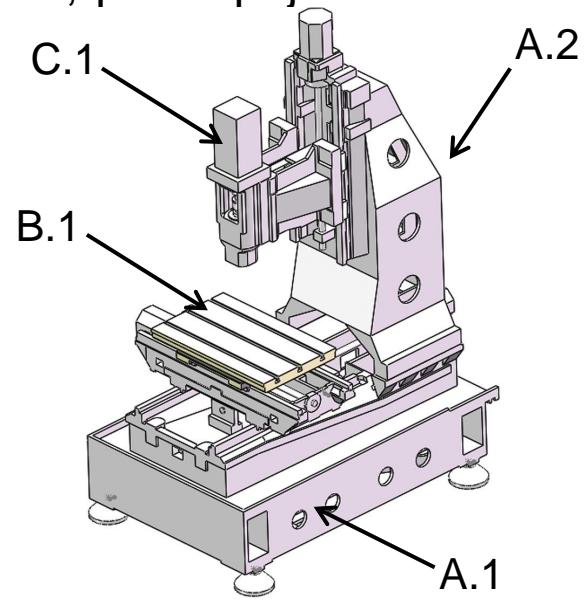
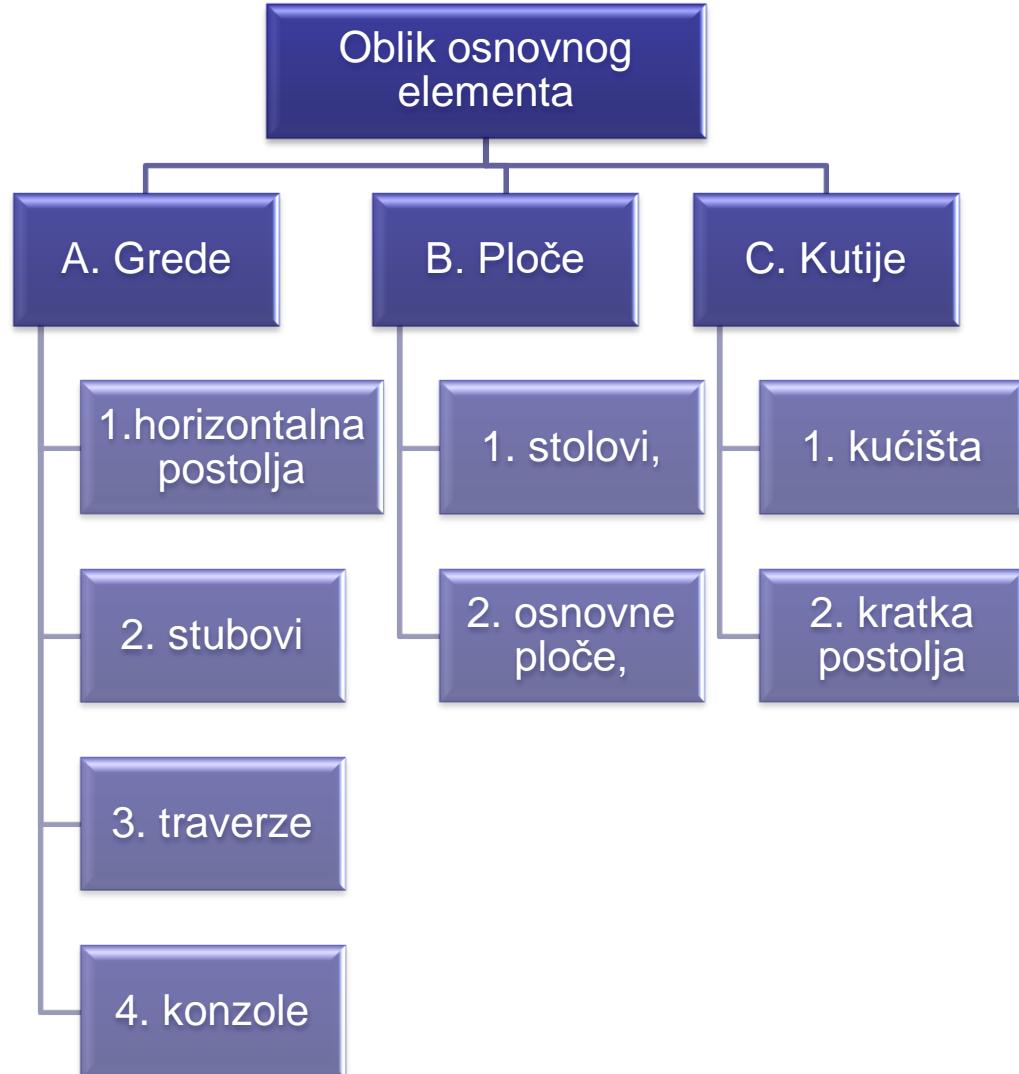
- ❑ Podelu osnovnih elemenata noseće strukture je moguće izvršiti prema nameni, obliku, radnim uslovima i načinu izrade.



# 9.0 Noseća struktura mašina alatki

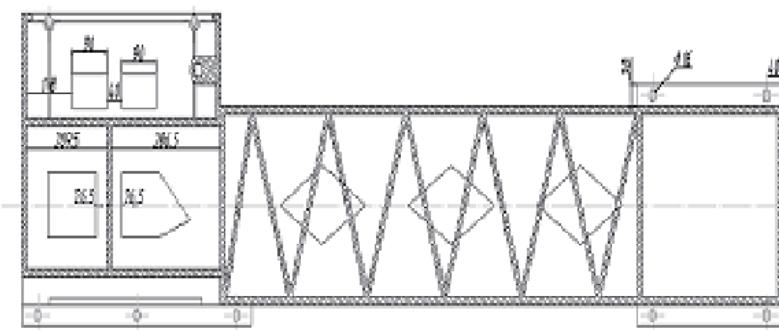
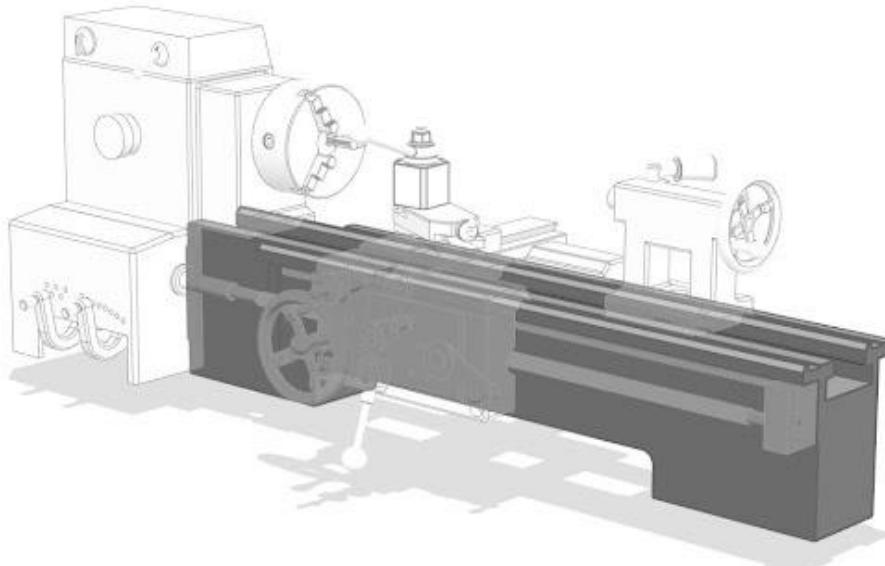
## Uvodne napomene

- ❑ Najpogodniji kriterijum sistematizacije je prema obliku, pa se pojedini elementi mogu grupisati kao:



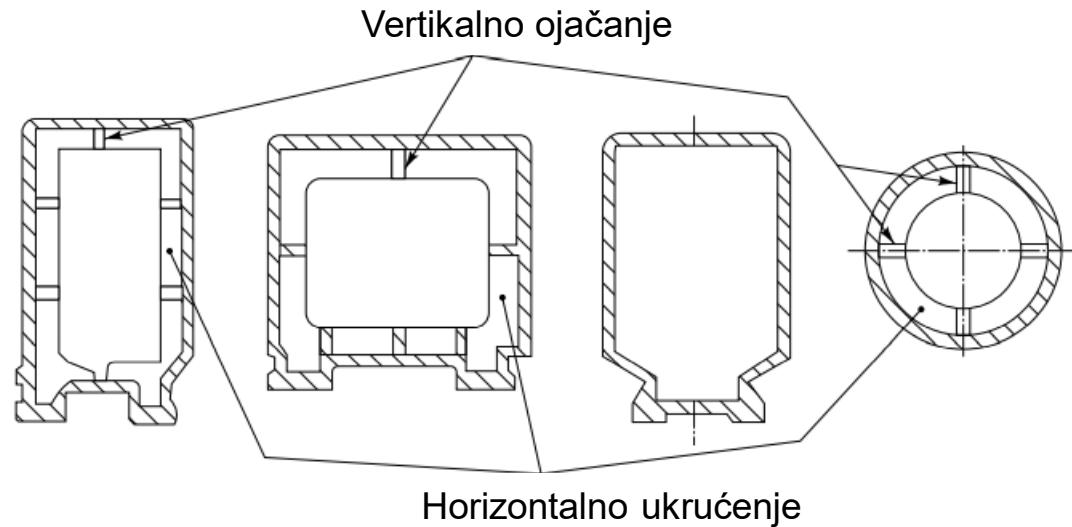
### Uvodne napomene

- **Horizontalna postolja** kao elementi noseće strukture mogu biti, u obliku greda ili ramne konstrukcije. Oblik postolja je određen položajem i dužinom pokretnih elemenata.
- ✓ Konstrukcioni oblik zavisi od zahtevane statičke i dinamičke krutosti, mase i dimenzija elemenata koji se postavljaju na postolje, broja i položaja vođica, kao i njihovog rastojanja i sl.



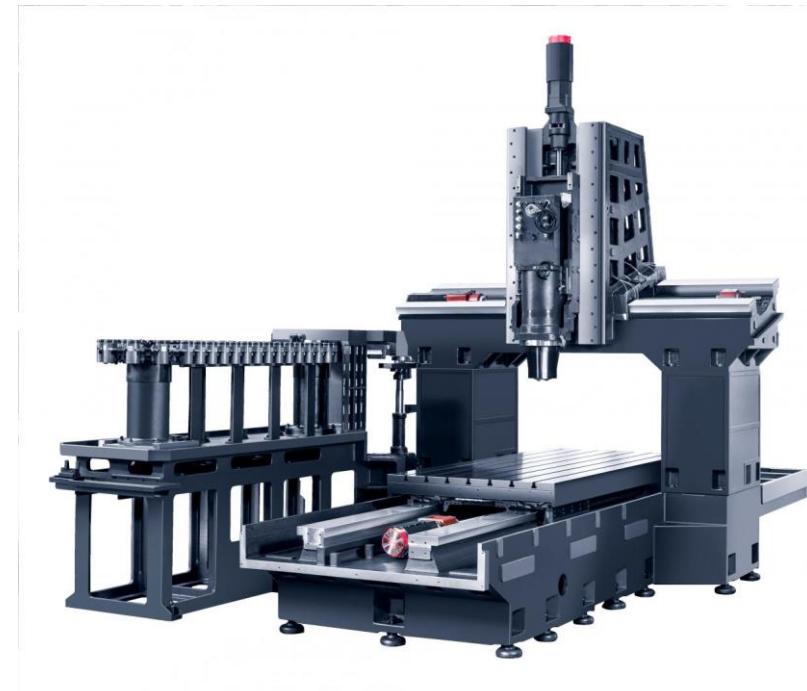
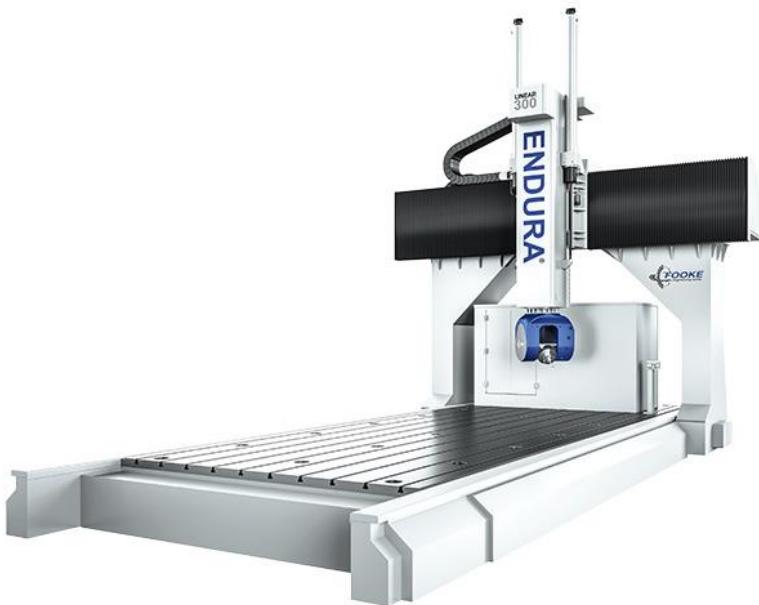
### Uvodne napomene

- **Osnovne ploče** služe za povećanje stabilnosti mašina sa stubovima. Osnovni zahtev koji se postavlja pred ove elemente je krutost.
- **Stubovi** služe za obezbeđenje kretanja konzola, prenosnika ili traverzi kod mašina alatki. Poprečni preseci stubova se najčešće izvode u obliku kružnog ili pravougaonog poprečnog preseka. Krutost ovih elemenata najviše zavisi od poprečnog preseka. Poprečni presek se obično kontinualno smanjuje od podnožja ka vrhu.



### Uvodne napomene

- **Traverze** služe za spajanje stubova u jednu celinu kod portalnih mašina alatki, čime se dobija kruta noseća struktura.
- ✓ Oblik i dimenzije poprečnog preseka traverzi zavise od dimenzija stubova, načina povezivanja sa stubovima, kao i od konstrukcionih zahteva.



### Kriterijumi za proračun noseće strukture

- U toku obrade nastaju sile koje dovode do deformacija koje narušavaju tačnost obrade.
- Pojedine sile ne zavise od intenziteta procesa rezanja npr. sile težine pokretnih delova mašine. Uticaj na tačnost ostalih, kao što su sile rezanja, vezan je za brzinu obrade.
- Odnos sila i deformacija i njihov kombinovani uticaj na proces rezanja dovodi do zahteva za krutošću pojedinih delova konstrukcije i konstrukcije u celini.
- Prema različitim vrstama sila, koje se javljaju tokom procesa rezanja, mogu se navesti različite specifikacije zahteva za krutost.
- Da bi se mogao izvršiti proračun elemenata noseće strukture potrebno je poznavati **mesto** i **veličinu (intenzitet)** opterećenja.
  - ✓ **Veličina** (intenzitet) **opterećenja** se određuje po metodama teorije obrade rezanjem, a za uslove rada koji odgovaraju merodavnim opterećenjima.
  - ✓ **Mesto delovanja opterećenja** se određuje na osnovu napadnih tačaka pojedinih otpora rezanja i mase (na osnovu statike i otpornosti materijala).

### Kriterijumi za proračun noseće strukture

- Elementi mašina alatki su projektovani uglavnom na osnovu krutosti i stabilnosti. Ugibi i deformacije svih komponenti duž linije delovanja sila treba da bude minimalna.
- Generalno, struktura mašina alatki se projektuje prema momentu savijanja (ugib) i torzionu krutost (ugao uvijanja).
- Usvojena konstrukcija se proverava na krutost i čvrstoću.
- Konstrukcije kao što su postolja, stubovi i ostali delimično zatvoreni profili se tretiraju kao statički opterećene tankozidne grede.
- Kutijasti oblici (npr. kućišta) se razmatraju za slučaj delovanja normalnih sila na zidove, pri čemu se smatra da isti imaju konstantnu debljinu, a uticaj rebara, otvora i slično se uzima u obzir preko popravnih koeficijenata.
- Noseća konsrtrukcija radnih stolova i sl. koji su opterećene normalnim silama na svoju osnovnu ravan se proračunavaju kao tanke homogene ploče.

### Poprečni presek elemenata konstrukcije

- Tokom rada maštine alatke, većina njenih elemenata noseće konstrukcije je izložena složenom opterećenju
- Rezultujuća deformacija se sastoji od uvijanja, savijanja i zatezanja/pritiska.
- Pod jednostavnim zateznim opterećenjem ili pritisku, čvrstoća i krutost elementa zavise samo od površine poprečnog preseka. Međutim, deformacije i naponi u elementima izloženim uvijanju i savijanju dodatno zavise od oblika poprečnog preseka.
- Oblik koji obezbeđuje maksimalni moment inercije i modul preseka smatraće se najboljim jer će obezbiti minimalne vrednosti napona i deformacija.
- Noseća konstrukcija mašina alatki ima prilično malu vrednost odnosa dužine i širine njenih elemenata.

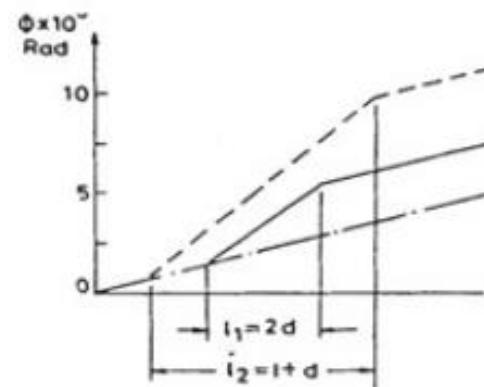
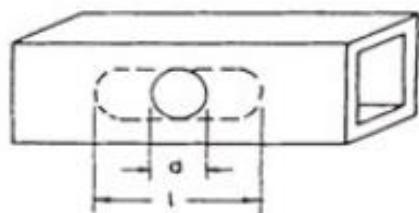
## Poprečni presek elemenata konstrukcije

- Vrednosti momenta savijanja i uvijanja za različite preseke, u poređenju sa punom pločom.

Poprečni presek	A [cm <sup>2</sup> ]	Težina [kg/m]	Relativna dozvoljena vrednost			
			M. sav., [kg*cm]	M. uv., [kg*cm]	Napon	Napon
			Ugib	α		t
(a)	29.0	22.8	1	1	1	1
(b)	28.3	22.2	1.12	1.15	43	8.8
(c)	29.07	22.85	1.4	1.6	38.5	31.4
(d)	28.4	22.3	1.8	1.8	4.5	1.9

### Uticajni faktori na krutost noseće konstrukcije

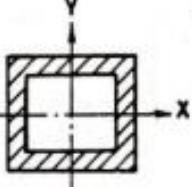
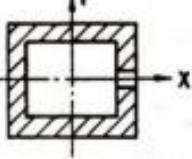
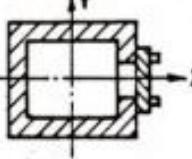
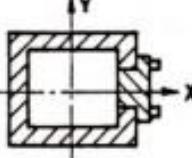
- U većini slučajeva postolja maštine alatke i drugi elementi noseće konstrukcije ne mogu biti u obliku zatvorenog profila (otvor za ležajeve, otvor za slobodan protok strugotine i sl. ).
- Otvori i rupe u nosećoj konstrukciji imaju nepovoljn uuticaj na njegovu čvrstoću i krutost.
- Kružna rupa utiče na dužinu preseka, na dužini koja je jednaka dvostrukom prečniku.
- Dužina na koju utiče dužina otvora jednak je dužini otvora, plus širini istog.



Uticaj otvora na ugao uvijanja

## Uticajni faktori na krutost noseće konstrukcije

- Uticaj otvora na statički i dinamičku krutost noseće konstrukcije maštine alatke se može smanjiti postavljanjem odgovarajućih poklopaca.

	Relativna krutost oko			Relativna sopstvena frekvencija oko			Relativna prigušenje oko		
	X-X	Y-Y	Z-Z	X-X	Y-Y	Z-Z	X-X	Y-Y	Z-Z
	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	85	85	28	90	87	68	75	89	95
	89	89	35	95	91	90	112	95	165
	91	91	41	97	92	92	112	95	185

## Uticajni faktori na krutost noseće konstrukcije

- Postavljanje rebra može značajno povećati krutost. Rebra koja su postavljena kvadratno/paralelna sa zidovima preseka povećavaju krutost na savijanje do 17% i udvostručuju torzionu (uvijanje) krutost.
- Dijagonalna rebra povećavaju krutost na savijanje do 78%, a torziona je do 3,7 puta veću nego od krutost kutije bez rebra.

*Uticaj rebara na krutost zatvorene konstrukcije*

Raspored rebara	Relativna krutost		Relativna krutost po jed. težine	
	Savijanje	Uvijanje	Savijanje	Uvijanje
1		1.0	1.0	1.0
2		1.10	1.63	1.1
3		1.08	2.04	1.14
4		1.17	2.16	1.38
5		1.78	3.69	1.49
6		1.55	2.94	1.26

*Uticaj rebara na krutost otvorene konstrukcije*

Raspored rebara	Relativna torziona krutost	Relat. težina	Relativna torziona krutost po jed. težine
1	1.0	1.0	1.0
2	1.34	1.34	1.0
3	1.43	1.34	1.07
4	2.48	1.38	1.80
5	3.73	1.66	2.25

### Materijali elemenata noseće strukture

- Uobičajeni materijali za noseću konstrukcije mašina alatki su liveno gvožđe, čelik, sivi liv i nekonvencionalni matrijali (polimer beton, granit, itd.).
- Konstrukcije od livenog gvožđa su do skoro isključivo korišćene, ali u poslednje vreme zavarene čelične konstrukcije nalaze širu primenu zbog napretka u tehnologiji zavarivanja.
- Izbor materijala zavisi od brojnih faktora, kao što su njegove mehaničko-fizičke osobine:
  - ✓ Modul elastičnosti. Za visoku krutost potrebno je izabrati materijale sa visokom vrednošću modula elastičnosti (statičko i dinamičko ponašanje (krutost)).
  - ✓ Zapreminska (specifična) masa: Materijali bi trebalo da imaju veću specifičnu masu-veća specifična krutost (statičko i dinamičko ponašanje (raspored masa))
  - ✓ Prigušenje. Treba birati materijale sa većim koeficijentom prigušenja (dinamičko ponašanje).
  - ✓ Otpornost na habanje i svojstva trenja. Materijali bi trebalo da imaju nizak koeficijent trenja i da su otporni na habanje.

### Materijali elemenata noseće strukture

- ✓ Koeficijent toplotnog širenja. Materijali bi trebalo da imaju nizak koeficijent toplotnog širenja. Ako se koriste kompozitni materijali, svaki bi trebalo da ima isti koeficijent toplotnog širenja kako bi se izbegle toplotne deformacije.
- Pored mehaničko-fizičkih osobina materijala treba uzeti u obzor i:
  - ✓ cenu materijala,
  - ✓ obradivost ,
  - ✓ tehnologiju izrade (mogućnost zavarovanja, livenja, spajanja, ..)
  - ✓ ukupnu proizvodnju.

Fizičko-mehaničke osobine pojedinih materijala

Osobina \ Materijal	čelik	čelični liv	sivi liv	polimer beton
Zapreminska masa [kg/dm <sup>3</sup> ]	7,85	7,40	7,20	2,28-2,47
Zatezna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	370-450	380	250	17-40
Modul elastičnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	210	170	85-120	40-60
Toplotna provodljivost [W/mK]	50	45	50	3-11
Specifični toplotni kapacitet [J/kg K]	450	480	500	700-800
Logar. dekrement prigušenja	0,0025	0,0030	0,0045	0,02-0,03

### Materijali elemenata noseće strukture

- Sivi liv. Mogu se izrađivati složeni i kompleksni oblike. Ima prilično dobra svojstva prigušenja i dobre mehaničke osobine, otpornost na habanje i obradivost.
- Modifikovani liv Modifikacija se radi u cilju poboljšanja osobina sivog liva obično zaobljavanjem lamela grafita. Kada se ovaj postupak radi magnezijumom dobija se *nodularni liv*. Ovak liv pored osobina SL se dobro i termički obrađuje.
- Čelik. Koristi za izradu zavarenih konstrukcija elemenata noseće strukture (niskouglenični) i za izradu umetnutih vođica (legirani). Ima visoku krutost i čvrstoću, ali mali koeficijent prigušenja. Umetnute vođice se rade iz delova zbog lakše termičke obrade i zbog razlike u koeficijentu toplotne provodljivosti (čelik, SL).
- Polimer beton je vrsta kompozitnog materijala razvijen za visoko precizne noseće konstrukcije mašina alatki. Tačnost i kvalitet površina odlivaka od polimer betona znatno nadmašuju odlivke od SL i ČL, što omogućava izbegavanje nekih operacija naknadne obrade.

### Proračun pojedinih elemenata noseće strukture

- Faktori koji utiču na konstrukcioni oblik osnovnih elemenata noseće strukture su:
  - ✓ namena i funkcija;
  - ✓ opterećenje (faktor krutosti);
  - ✓ smeštaj ostalih elemenata;
  - ✓ odvođenje strugotine;
- Faktor namene utiče na uzdužni presek elementa noseće strukture, zavisno da li se on kreće ili miruje.
- Ako se pokretni element obrće onda je noseći element cilindričnog oblika. Nepokretni elementi noseće strukture su prizmatičnog oblika i imaju površine za oslanjanje i eventualno vođenje drugih elemenata.

## Proračun pojedinih elemenata noseće strukture

### □ Faktor opterećenja - Postolja

*Opterećenje na savijanje:*

$$\delta = \frac{Fl^3}{\mu EI_x};$$

*Opterećenje na uvijanje:*

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{M}{GI_p};$$

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32}, \text{ za kružni pop. presek}$$

$$I_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}, \text{ za prstenasti pop. presek}$$

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{KM}{Gdb^3}; [Nm/rad], \text{ za pravougaoni pop. presek}$$

$\delta$  – ugib usle savijanja

$\varphi$  – uaono pomeranje usled uvijanja

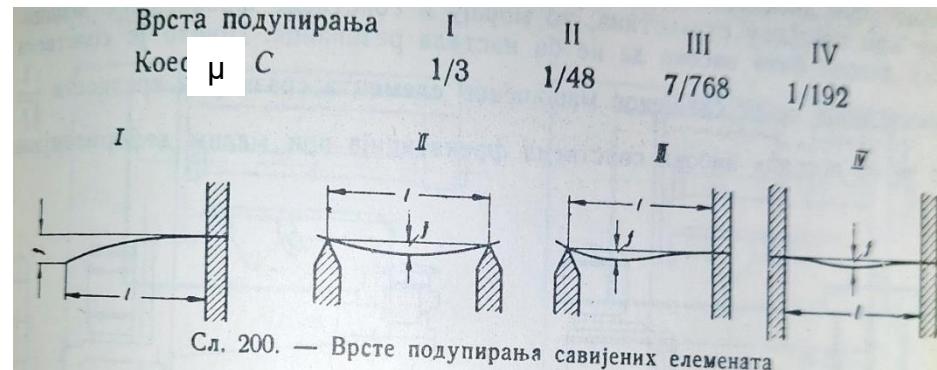
$l$  – dužina postolja

$E$  – modul elastičnosti

$I_x$  – moment inercije

$I_p$  – polarni moment

$\mu$  – koeficijent zavisan od vrste oslonca



$G$  – modul krutosti  $= 7.9 \times 10^4$  [N/mm<sup>2</sup>] – za Č.

$d$  – debljina popr. preseka;  $b$  – širina popr. preseka za  $d > b$

M - moment

d/b	Above									
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4	6	8	10	10
K	7.1	5.1	4.36	4.0	3.8	3.56	3.3	3.26	3.2	3.0

### Proračun pojedinih elemenata noseće strukture

#### □ Faktor opterećenja - Stubovi

- Treba proveriti ugibe na savijanja i smicanja u dve ravni. Ugib usled savijanja se određuje kao kod konzole.
- Ugib smicanja zavisi od odnosa debljine i širine poprečnog preseka.

$$\delta_{smicanja} = \lambda \frac{Wl}{GA};$$

$\frac{d}{b}$	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	> 2
$\lambda$	4.5	3.0	2.35	2.0	1.75	1.6	1.55

M - moment, d – debljina popr. preseka, b – širina popr. preseka, t – debljina zida.

*Opterećenje na uvijanje:* Ugib smicanja u pravcu debljine:      Ugib smicanja u pravcu širine:

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{2M(b + d - 2t)}{4G(b - t)^2(d - t)^2},$$

$$\delta_{smicanja} = \frac{d\varphi}{2};$$

$$\delta_{smicanja} = \frac{d\varphi}{2};$$

W – sila smicanja, l – dužina stuba, G – modul krutosti, A – površina poprečnog preseka

*Maksimalni dozvoljeni ugib  $\leq (0,003 - 0,005)/\text{metru}$  u pravcu koji utiče na preciznost obradka.*

*$\leq 0,01 - 0,025$  u poprečnom preseku.*

*Maksimalni dozvoljeni ugao uvijanja  $\leq 0^\circ 30' / \text{metru}$*

**FTN - DPM - LAMA**

Predmet: PROJEKTOVNJE I EKSPLOATACIJA

OBRADNIH I TEHNOLOŠKIH SISTEMA

**Novi Sad, februar 2022. god.**

# **9.0 NOSEĆA STRUKTURA MAŠINA ALATKI**

## **-SISTEMI ZA VOĐENJE- -VOĐICE -**

## Uvodne napomene

- Sistemi za vođenje (VOĐICE) imaju zadatak da obezbede da se alat ili obradak kreće duž unapred određene putanje. Vođice kontrolišu kretanje različitih delova mašine alatke u svim pozicijama pre, tokom i nakon obrade.
- Pod vođenjem se podrazumeva definisanje tačne putanje kretanja pokretnog u odnosu na nepokretne delove mašine alatke.
- Funkcija vodenja obezbjeduje se na nacin da vođice dozvoljavaju samo jedan stepen slobode kretanja.
- Osnovni zadatak vođica je da prime spoljašnje opterećenje, i da obezbede međusobni položaj, kao i mogućnost relativnog pomeranja izvršnih organa mašine alatke, tj. alata i obratka.



## Uvodne napomene

- Vođice predstavljaju oslonce izvršnim organima mašina alatki, pri čemu se, preko njih uspostavlja tačno definisani relativni položaj alata u odnosu na obradak, obezbeđujući pri tome zahtevanu tačnost obrade.
- Pri obradi, relativna kretanja alata u odnosu na obradak se izvode pomeranjem izvršnih organa po vođicama, te je tačnost obrade u zavisnosti od tačnosti vođica.
- Pored zahteva za tačnosti, jednostavne montaže i ekonomičnosti, vođice moraju imati:
  - ✓ visoku krutost;
  - ✓ visoku ravnomernost kretanja, tj. odsustvo neravnomernog kretanja i tačnost pozicioniranja pokretnog elementa;
  - ✓ povišenu tačnost kao i visok kvalitet obrađene površine;
  - ✓ minimalne gubitke usled trenja (male sile koje deluju na površinu vođica) i minimalnu promenu koeficijenta trenja;
  - ✓ dobra svojstva prigušenje vibracija (odsustvo vibracija u procesu obrade);
  - ✓ zadati veka mašina sa stanovišta intenziteta habanja (trajnost vođica). Trajinost zavisi od sposobnosti vođica da zadrže početnu tačnost;

## Uvodne napomene

U cilju ispunjenja zaheva, pri izboru vođica i njihove geometrije, potrebno je voditi računa o uslovima rada vođica, koji su definisani:

- ✓ opterećenjem, odnosno površinskim pritiskom, koje je kod većine mašina alatki promenljivo tokom eksploracije,
- ✓ brzinom kretanja pokretnog elemenata, koja se nalazi u širokom rasponu, a zavisi od namene vođica,
- ✓ podmazivanjem, koje je zavisno od vrste i oblika vođica,
- ✓ zaprljanošću kontaktnih povrsina,
- ✓ dozvoljenom temperaturom na vođicama,
- ✓ režimom trenja.

## Uvodne napomene

Vodice se mogu sistematizovati prema više kriterijuma:

➤ **Prema vrsti kretanja:**

- ✓ **vođice za pravolinijsko kretanje;**
  - *vođice za vođenje pokretnih elemenata mašine alatke;*
  - *vođice za pomeranje i fiksiranje povremeno pokretnih elemenata mašine alatke*
- ✓ **vođice za obrtno kretanje ( ležišta );**

➤ **Prema nameni (vidu kretanja) :**

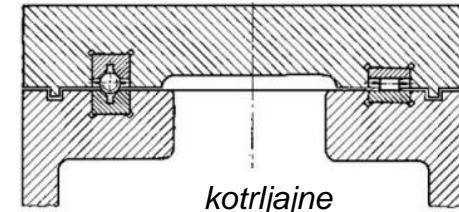
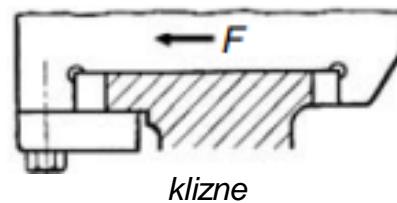
- ✓ **vođice za glavno kretanje;**
- ✓ **vođice za pomoćno kretanje;**
- ✓ **vođice za premeštanje povremeno pokretnih elemenata;**

## Uvodne napomene

### ➤ Prema karakteru trenja :

✓ **klizne** (za mašine normalne preciznosti ( $> 0,001$  mm) i veće snage ( $> 3$  kW))

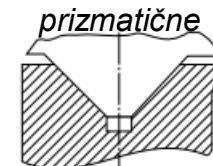
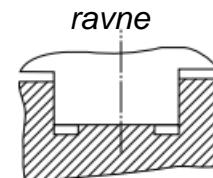
- hidrodinamičke,
- hidrostatičke,



✓ **kotrljajne** (za mašine povišene preciznosti ( $< 0,001$  mm) i manje snage ( $< 3$  kW)).

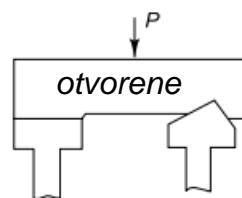
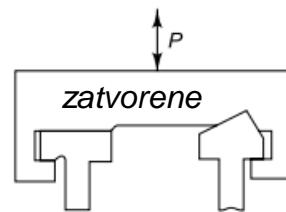
### ➤ Prema geometrijskom obliku:

- ✓ **ravne**,
- ✓ **prizmatične i**
- ✓ **kružne (cilindrične) vodice**.



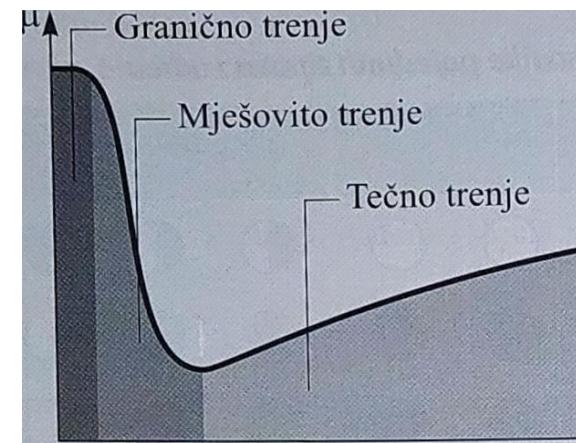
### ➤ Prema mogućnosti kompenzovanja momenata i sila:

- ✓ **zatvorene i**
- ✓ **otvorene**.



## Klizne vođice

- Klizne vođice imaju veliku moć nosenja i krutost, dobra svojstva prigušenja, relativno nisku cenu izrade i ugradnje, dok je tačnost vođenja zavisna od preciznosti i tolerancija njihove izrade i montaže.
- Osnovni nedostatak ovih vođica je veliki koeficijent trenja, što je nepovoljno zbog velikih gubitaka.
- Jedan od načina smanjenja trenja kod kliznih vođica je odgovarajuće podmazivanje.
- Kod kliznih vođica, klizne površine pokretnog i nepokretnog elementa mogu biti u direktnom kontaktu ili se između njih može nalaziti tanak sloj maziva, različite čvrstoće i nosivosti.
- U zavisnosti od uslova rada i načina podmazivanja kod kliznih vođica se javljaju sledeći uslovi rada:
  - ✓ granično trenje,
  - ✓ mešovito trenje i
  - ✓ hidrodinamičko plivanje (tečno trenje).

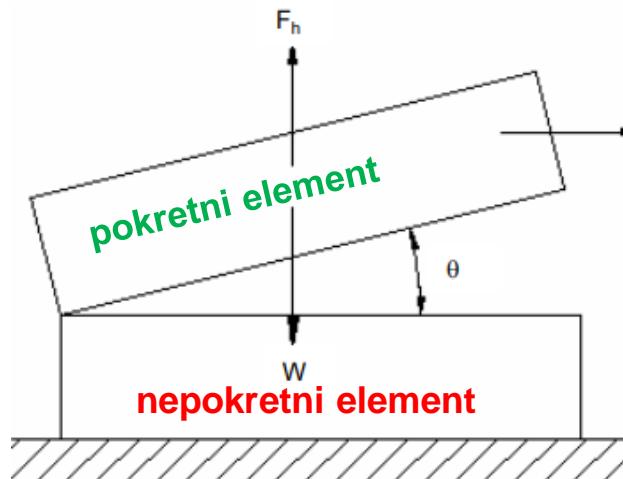


## Klizne vodice

**Granično trenje** se javlja u uslovima vrlo malih brzina klizanja i pri relativno velikim pritiscima (opterećenju).

Kod graničnog trenja tarne površine, koje na sebi imaju tanki granični sloj maziva, dodiruju se samo u najisturenijim tačkama površinskih neravnina u kojima je probijen granični sloj.

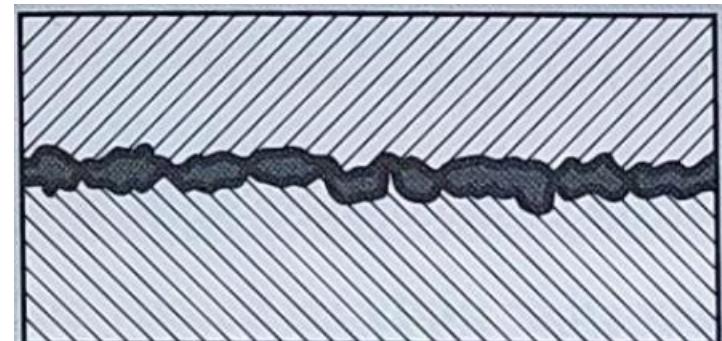
Pokretni element leži na nepokretnom kada je hidrodinamička sila ( $F_h$ ) manja od težine pokretnog elementa ( $W$ ).



$$F_h = C \cdot v_s$$

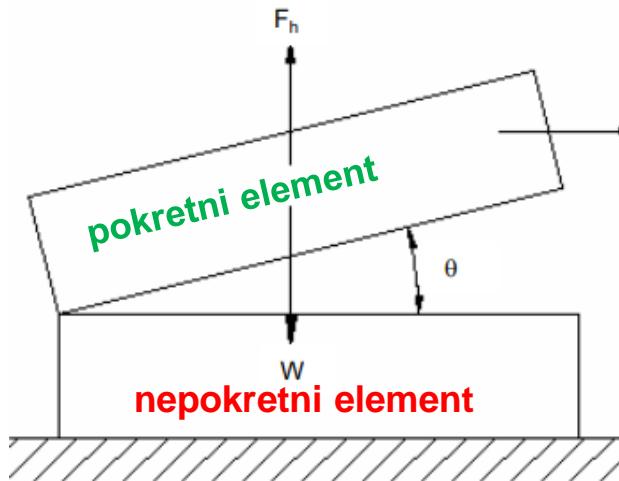
$$R = F_h - W$$

$F_h$  – hidrodinamička sila  
 $C=f(\theta, \mu)$   
 $v_s$  – brzina klizanja  
 $W$ -masa pokretnog elementa



## Klizne vodice

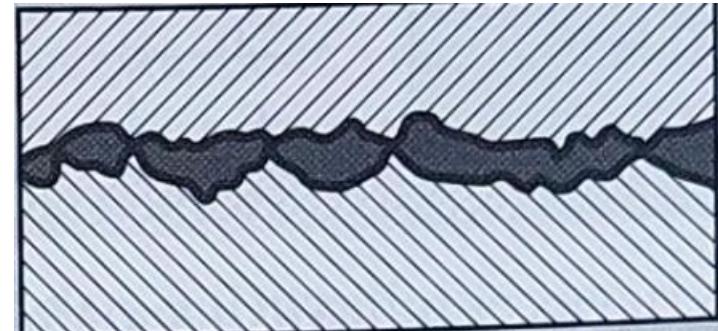
- **Mešovito trenje** javlja se u slučaju kada se tarne površine ne dodiruju direktno, već klize preko svojih graničnih slojeva, buduci da vrhove neravnina tarih površina razdvaja tanki sloj maziva.
- Količina maziva koja se nalazi u području kontakta zavisi od relativne brzine kretanja, geometrije kontaktnih površina, te viskoznosti maziva.
- Sila trenja je obrnuto proporcionalna brzini kretanja i tu je naročito izražena mogućnost za nastanak neravnomernog kretanja.
- Rezultujuća normalna sila ( $R$ ) na pokretni elemnt počinje da deluje nagore i telo lebdi jer je hidrodinamička sila veća od težine pokretnog elementa.



$$F_h = C \cdot v_s$$

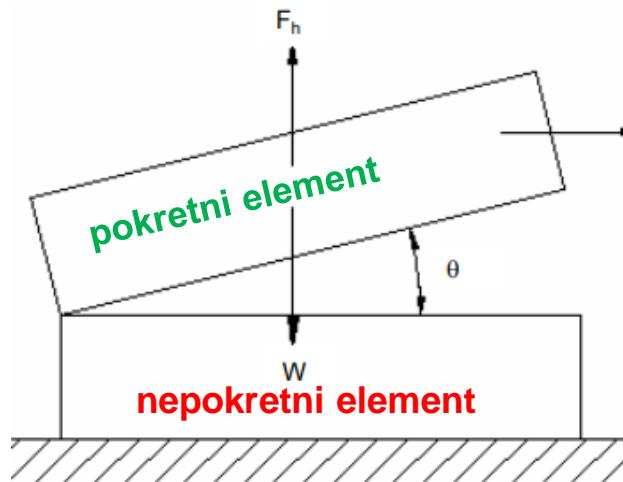
$$R = F_h - W$$

$F_h$  – hidrodinamička sila  
 $C=f(\theta, \mu)$   
 $v_s$  – brzina klizanja  
 $W$  – masa pokretnog elementa



## Klizne vodice

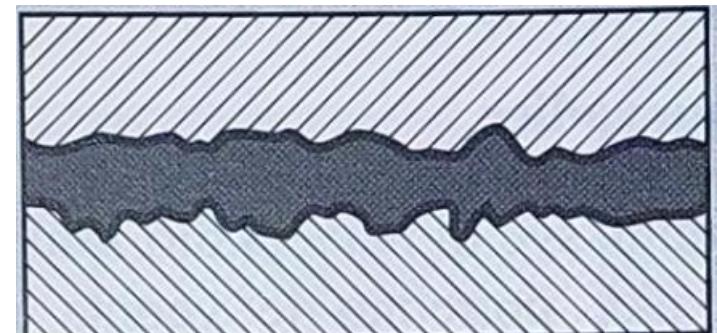
- Pri *hidrodinamičkom podmazivanju* (hidrodinamičkom plivanju) hidrodinamička sila razdvaja dve međusobno pokretne površine (razdvojene kontinualnim slojem maziva) i tu se odvija ravnomerno kretanje bez prisustva metalnog kontakta međusobno pokretnih elemenata.
- Razlikuje se hidrodinamicko i hidrostaticko trenje. Kod hidrodinamičkog trenja potrebnii pritisak u sloju maziva nastaje kao posledica prirodnog kretanja tela pri dovoljnoj brzini.
- Kod hidrostatickog trenja moć nošenja sloja maziva obezbeđuje se između tarih površina tako što se mazivo dovodi pod pritiskom ostvarenim preko hidrostatickog sistema.



$$F_h = C \cdot v_s$$

$$R = F_h - W$$

$F_h$  – hidrodinamička sila  
 $C=f(\theta, \mu)$   
 $v_s$  – brzina klizanja  
W-masa pokretnog elementa



## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

Osnovi preduslovi za postizanje potrebne tačnosti su:

- zadovoljavajuća sopstvena geometrijska tačnost vođica;
- primena vođica takvog konstrukcionog oblika koji isključuje mogućnost slobodnog pomeranja pod dejstvom komponenata sila rezanja, što se obično obezbeđuje specijalnim elementima za otklanjanje zazora, odnosno, visokom krutošću vođica;

Sa stanovišta konstrukcionog oblika postoje:

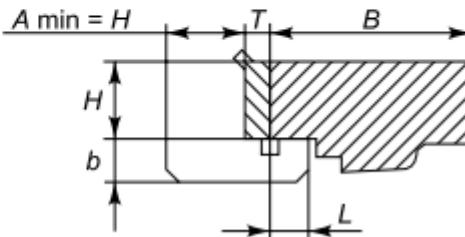
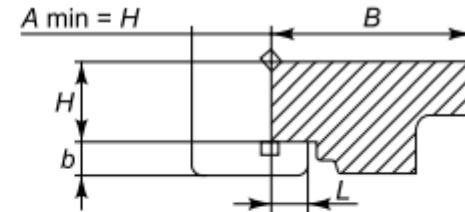
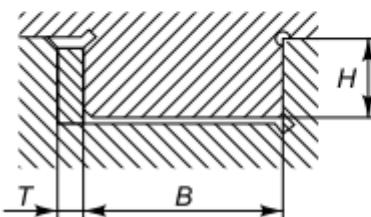
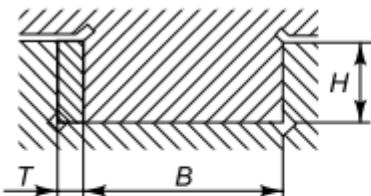
- a) pravougaone vođice (ravne vođice)
- b) vođice oblika lastionog repa (trapezoidne vođice)
- c) prizmatične vođice (trouglaste)
- d) cilindrične vođice
- e) kombinovane vođice

Svaki od navedenih tipova vođica može biti otvorenog i zatvorenog tipa. Kod otvorenih vođica veza se ostvaruje silom, dok kod zatvorenih se veza ostvaruje oblikom.

## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

### Pravougaone vodice (ravne vodice)

Dimenzije poprečnog preseka vodica su unificirane i/ili standardizovane u zavisnosti od visine vodica „H“.

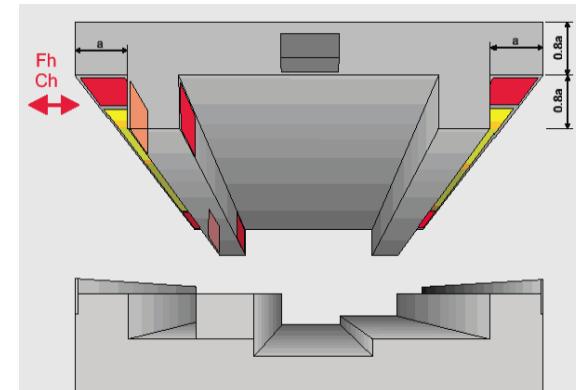
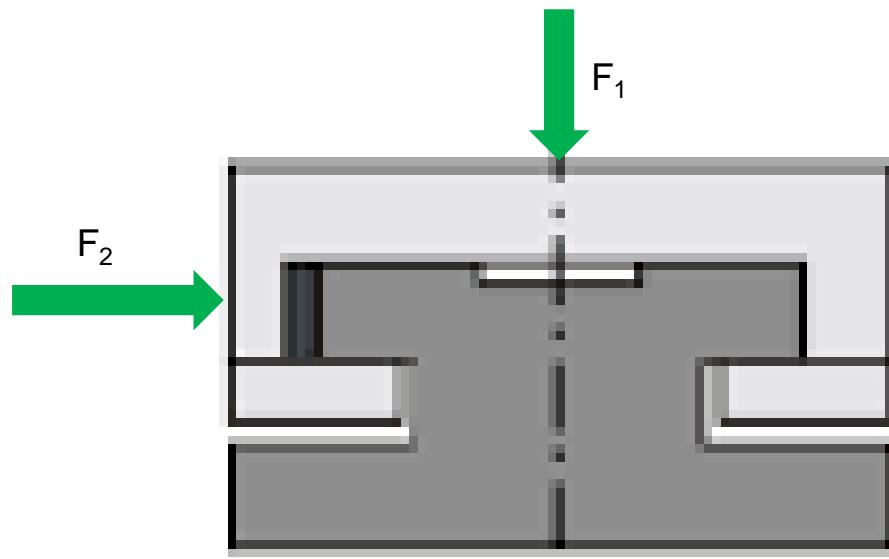


$H$	10	12	16	20
$B$	[0.394]	[0.472]	[0.63]	[0.787]
$T$	16	20	25	32
$b$	20	25	32	40
$L$	25	32	40	50
$b$	32	40	50	63
$T$	40	50	63	80
$b$	3 [0.118]	4 [.157]	5 [.197]	5
Min.*	5	6	8	10
$L$	8	10	12	16
$b$	6	8	10	12

## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

### Pravougaone vodice (ravne vodice)

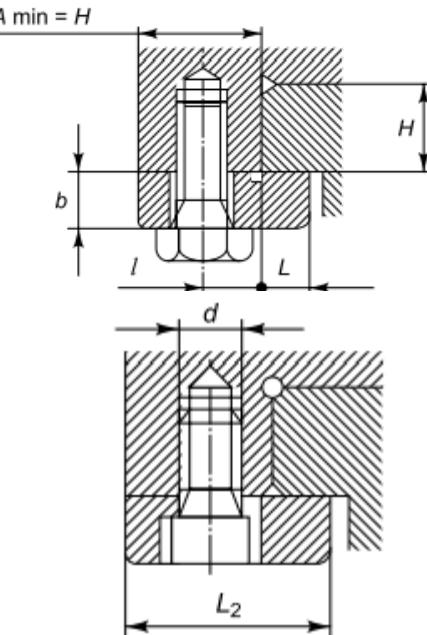
- Kod ovih vodiča se po pravilu ugrađuju i letve koje sprečavaju vertikalno kretanje (preturanje) dok sam geometrijski oblik sprečava horizontalno preturanje.
- Pomeranja u vertikalnom i horizontalnom pravcu su nezavisna, tako da se zazor u vertikalnom pravcu automatski reguliše pod dejstvom sopstvene težine ( $F_1$ ) pokretnog elementa, dok se zazor u horizontalnom pravcu, mora eliminisati u cilju postizanja potrebne tačnosti vodenja.



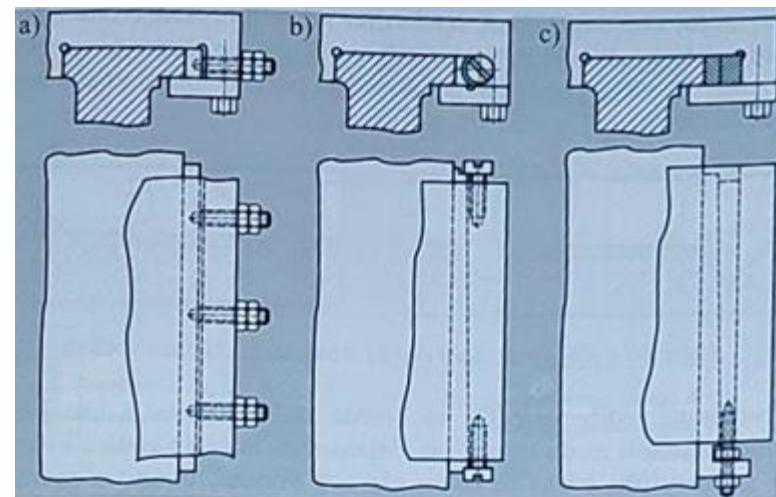
## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

### Pravougaone vodice (ravne vodice)

- Za podešavanje veličine bočnog zazora najčešće se koriste elementi u vidu letvi, koje mogu biti ravne ili konusne.
- Kod ravnih letvi zazor se reguliše vijcima (a, b), dok se konusne letve izvode obično sa nagibom 1:50 (c) i one, po pravilu, obezbeđuju veću krutost.
- Kod regulisanja zazora mora se voditi računa da smer opterećenja vođica ne opterećuje letvu za regulisanje zazora.



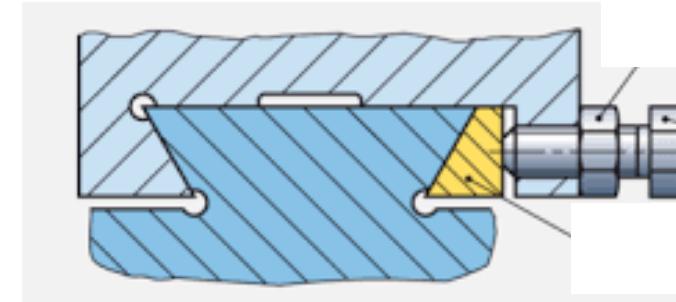
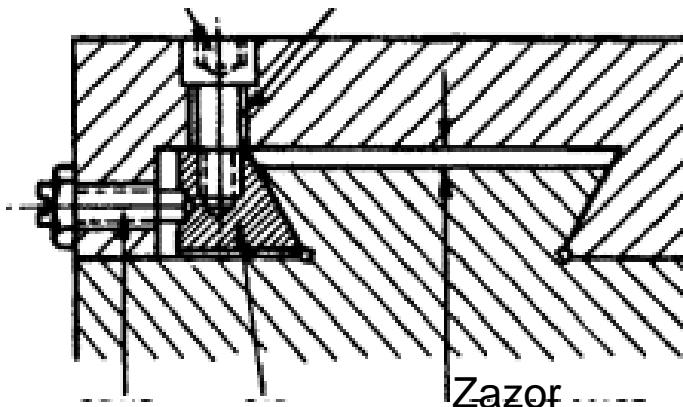
H	10 [.394]	12 [.472]
d	M5	M6
Min.*	5 [.197]	6 [.236]
L	8	10
b	6	8
Min.*	15 [0.59]	18 [0.709]
L <sub>2</sub>	18	22
/	4	5



## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

### Vodice oblika lastionog repa (trapezoidne vodice)

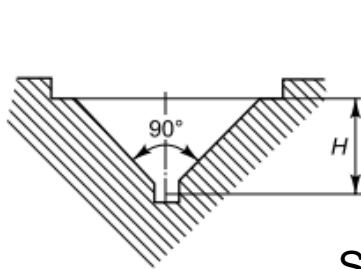
- Ove vodice karakteriše kompaktna konstrukcija, ali i složenija izrada u odnosu na pravougaone vodice.
- Oblik ovih vodica pozicionira pokretni element, kako u horizontalnom, tako i u vertikalnom pravcu.
- Kao i kod pravougaonih, neophodno je podešavanje bočnog zazora, zbog ravne noseće površine. Uobičajeni nacin podečavanja zazora kod ovih vodica je pomoću klinova trapeznog poprečnog preseka, pomerljivih u horizontalnom i vertikalnom pravcu.
- Zbog malih dimenzija po visini, krutost ovih vodica je manja u poređenju sa pravougaonim i trouglastim vodicama.



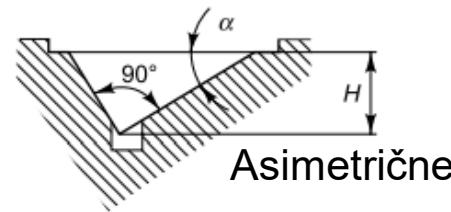
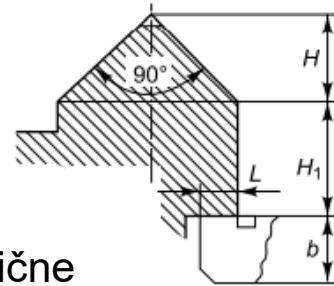
## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

### Prizmatične vodice (trouglaste)

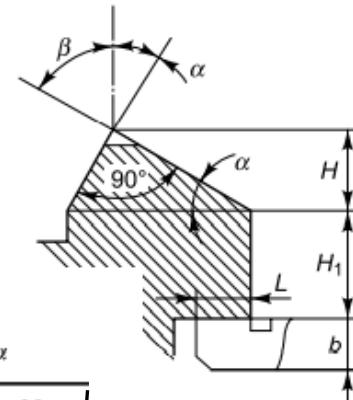
- **Prizmatične vodice** isključuju pojavu zazora u horizontalnoj ravni i pri montaži i u procesu habanja, jer ugaoni položaj kliznih površina ima automatsku regulaciju zazora pod dejstvom sopstvene mase, što predstavlja prednost u odnosu na pravougaone vodice.
- Mogu biti simetrične i asimetrične, ispuščene i udubljene.



Simetrične



Asimetrične



$$\alpha = 30^\circ \text{ or } 25^\circ \text{ or } 20^\circ \quad \beta = 90^\circ - \alpha$$

<i>H</i>	10 [0.394]	12 [0.472]	16 [0.63]	
	10	14 [5.551]	18 [0.709]	
<i>H1</i>	12	16	20	
	14	18	22	
Min.*	5 [0.197]	6 [0.236]	8 [0.315]	
	8	10	12	
<i>L</i>	6	8	10	

<i>H</i>	20	25	32	
	22	28	36	
<i>H1</i>	25	32	40	
	28	36	45	
Min.*	10	12	16	
	16	20	25	
<i>b</i>	12	16	20	

## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

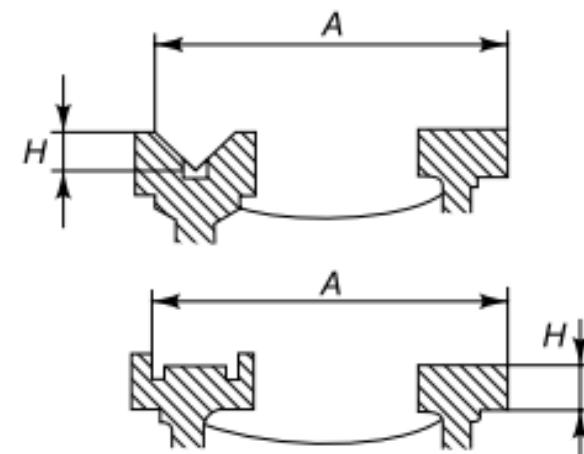
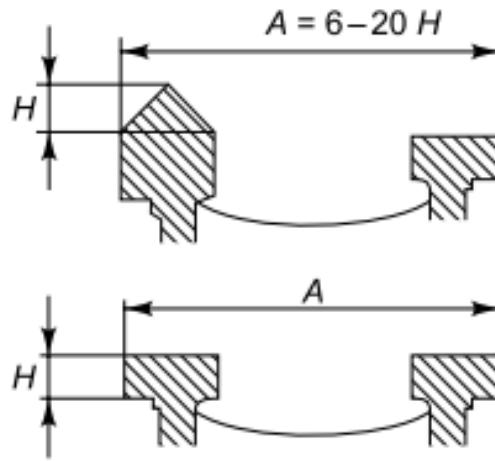
### Prizmatične vodice (trouglaste)

- Prizmatične udubljene vodice dobro zadržavaju ulje za podmazivanje, što je posebno važno pri malim brzinama kretanja (npr. dugohodne rendisaljke, brusilice), dok se ispuščene odlikuju dobrim odvođenjem strugotine (manja sklonost ka kontaminaciji).
- Trouglaste vodice najčešće se koriste kod strugova, a kao jedna od osnovnih prednosti, da trosenje vodica ne utiče na njihov geometrijski odnos sa osom glavnog vretena, u smislu zadržavanja paralelnosti.
- Prizmatične vodice se teže obrađuju od pravougaonih, posebno ako su obe vodice prizmatične. Zbog lakše obrade koriste se i kombinovane vodice (1 prizmatična i 1 ili 2 pravougaone).
- Ugao profila prizmatičnih vodica zavisi od komponenti sila obrade u vertikalnom i horizontalnom pravcu.

## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

### Kombinovane vodice

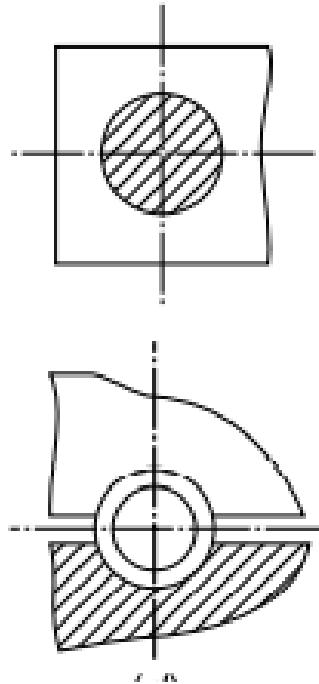
- Kombinovane vođice se često koriste sa ciljem objedinjavanja dobrih karakteristika pojedinih tipova vođica.
- U zavisnosti od pravca i smera delovanja opterećenja na pokretni element, ove vođice mogu biti otvorene ili zatvorene.
- Na primjer, kako bi se izbegao bočni zazor, te obezbijedila velika moć nosenja i jeftinija izrada, često se koristi kombinacija trouglastih i pravougaonih vođica.



## Klizne vodice - Konstrukcioni oblici

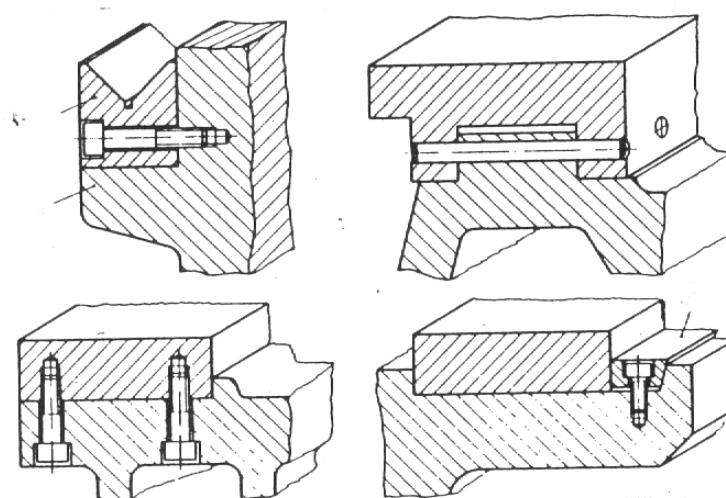
### Cilindrične vodice

- Cilindrične vođice se koriste za vrlo mala opterećenja, zbog njihove male krutosti. Takođe, mogu se pričvrstiti samo na krajevima i njihova kompenzacija habanja je prilično komplikovana



## Klizne vodice – Materijali za klizne vodice

- Sa stanovišta materijala, vođice mogu da se izrađuju zajedno sa postoljem ili da se posebno izrađuju i montiraju.
- Za izradu kliznih vođica mogu se koristiti metali i nemetali.
- Vođice od sivog liva koje su izrađene izjedna sa postoljem predstavljaju najjednostavnije rjesenje. Ove vođice pri intenzivnom korišćenju ne obezbđuju dug vek eksploatacije, te se zbog toga termički obrađuju kako bi im se poboljsala otpornost na habanje.
- Povećanje otpornosti na habanje moguce je postići i primenom specijalnih prevlaka, kao, na primjer, hromnih ili molibdenskih.



## Klizne vodice – Materijali za klizne vodice

- Ukoliko se vodice izrađuju odvojeno od nosećeg elementa, najčešće se kao materijal koristi čelik.
- Za izradu celičnih vođica najčešće se koriste niskougljenični čelici, koji se u termički **obađaju** cementiranjem, kaljenjem i sl.
- Osim konvencionalnih materijala za vodice (sivi liv, modifikovani liv i čelik) danas se koriste i nekonvencionalni materijali.
- To su obično materijali na bazi politetrafluoretilena (PTFE) različitog komercijalnog naziva: TURCITE, MOGLICE, ZX -100 itd.
- Osnovna prednost ovih materijala je mali koeficijent trenja.

*Tabela 11. Koeficijent trenja različitih materijala kliznih parova*

spregnuti materijali	koeficijent statički		trenja	
	suvo	podmazano	kinematski	
			suvo	podmazano
čelik – čelik	0,18	0,12	0,10	0,09
čelik – SL	0,19	0,10	0,16	0,10
čelik – bronza	0,11	0,10	0,10	0,09
čelik- TURCIT	--	--	--	0,04-0,08

## Klizne vođice – Proračun kliznih vođica

- Proračun vođica se vrši na bazi **dozvoljenog površinskog pritiska**.
- Za određivanje pritiska na vođicu potrebno je izračunati sile rezanja, gravitacije i druge sile koje izazivaju pritisak na vođicu, odnosno, odrediti maksimalna opterećenja koja izazivaju pritisak na vođice.

### Dozvoljeni pritisak na vođicama

Mašina	Preporučeni pritisak [Pa]		Maksimalni pritisak [Pa]
	SL. vođica SL./Č. sedlo	Č. vođica Č. sedlo	
Strugovi, glodalice i sl.	$1.25 \times 10^6$	$1.5 \times 10^6$	$3 \times 10^6$
Rendisaljke, provlakačce	$0.4 \times 10^6$	$0.5 \times 10^6$	$0.8 \times 10^6$
Brusilice	$0.035 \times 10^6$	$0.05 \times 10^6$	$0.07 \times 10^6$

## Klizne vodice – Proračun kliznih vodica

Delovanje sila na pravougaone vodice pri struganju.

- Sile nastale u procesu struganja se prenose na površine vodica A, D i C.

Sila na površinu C je:

$$F_C = \frac{F_z Y_f - F_y h}{b} + \frac{G}{2}$$

Sila na površinu A je:

$$F_A = F_z \frac{G}{2} - \frac{F_z Y_f - F_y h}{b}$$

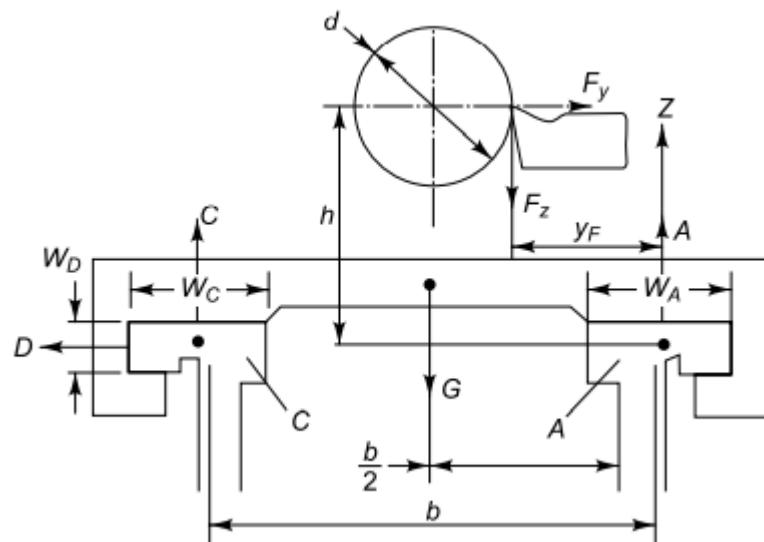
Sila na površinu D je:

$$F_D = F_y \approx 0.3F_z$$

$$p_c = \frac{F_c}{W_c L} \leq p_{doz.}$$

$$p_A = \frac{F_A}{W_A L} \leq p_{doz.}$$

$$p_D = \frac{F_D}{W_D L} \leq p_{doz.}$$



## Klizne vodice – Proračun kliznih vodica

Delovanje sila na kombinovane vodice pri struganju.

- Sile nastale u procesu struganja se prenose na površine vodica A, D i C.

Sila na površinu A je:

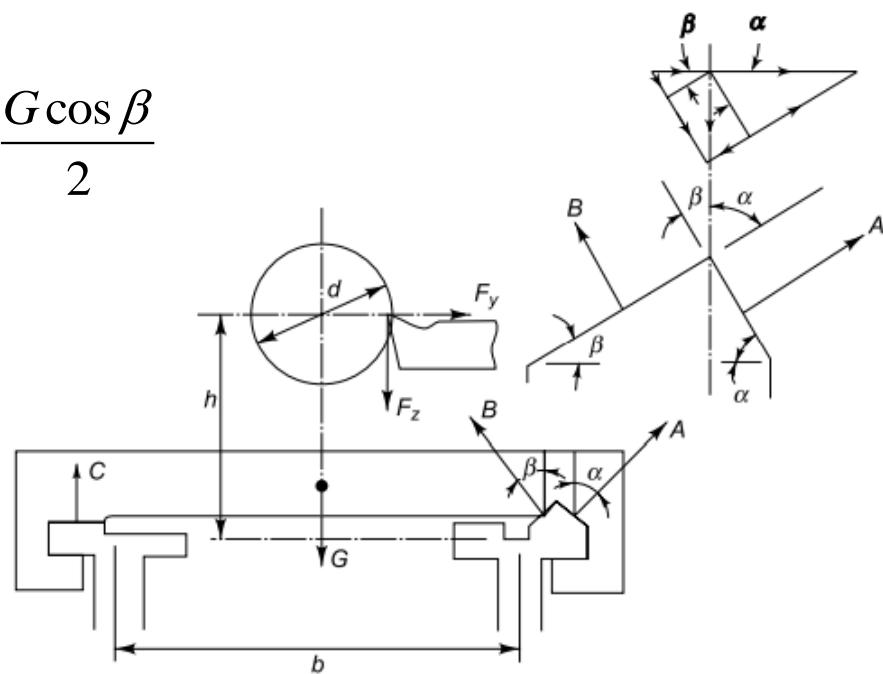
$$F_A = \frac{F_z(d+b)\cos\alpha}{2b} + \frac{F_y \cos\alpha}{b} - F_y \sin\alpha + \frac{G \cos\alpha}{2}$$

Sila na površinu B je:

$$F_B = \frac{F_z(d+b)\cos\beta}{2b} + \frac{F_y \cos\beta}{b} - F_y \sin\beta + \frac{G \cos\beta}{2}$$

Sila na površinu C je:

$$F_C = \frac{F_z(b-d)}{2b} - \frac{f_y h}{b} + \frac{G}{2}$$



## Klizne vodice – Proračun kliznih vodica

Delovanje sila na pravougaone vodice pri glodanju.

- Opterećenja vodica se proračunavaju na osnovu oblika konstrukcije, šeme opterećenja i rasporeda aktivnih opterećenja.

$$\sum F_{xi} = 0; \mu F_A + \mu F_B + \mu F_C - Q = 0, \Rightarrow Q = \dots$$

$$\sum F_{yi} = 0; F_B - F_y = 0 \Rightarrow F_B = F_y,$$

$$\sum F_{zi} = 0; F_A + F_C - F_z - G = 0, \Rightarrow F_A = \dots$$

$$\sum M_{xi} = 0; Y_C \cdot F_C + Z_F \cdot F_y - Y_F \cdot F_z - Y_G \cdot G = 0 \Rightarrow F_c = \dots$$

$$\begin{aligned} \sum M_{yi} = 0; & (X_A - \mu \cdot Z_A) \cdot F_A + (X_C - \mu \cdot Z_C) \cdot F_C - \\ & - Z_Q \cdot Q - Z_F \cdot F_x - X_F \cdot F_z - X_G \cdot G = 0, \Rightarrow X_C = \dots \end{aligned}$$

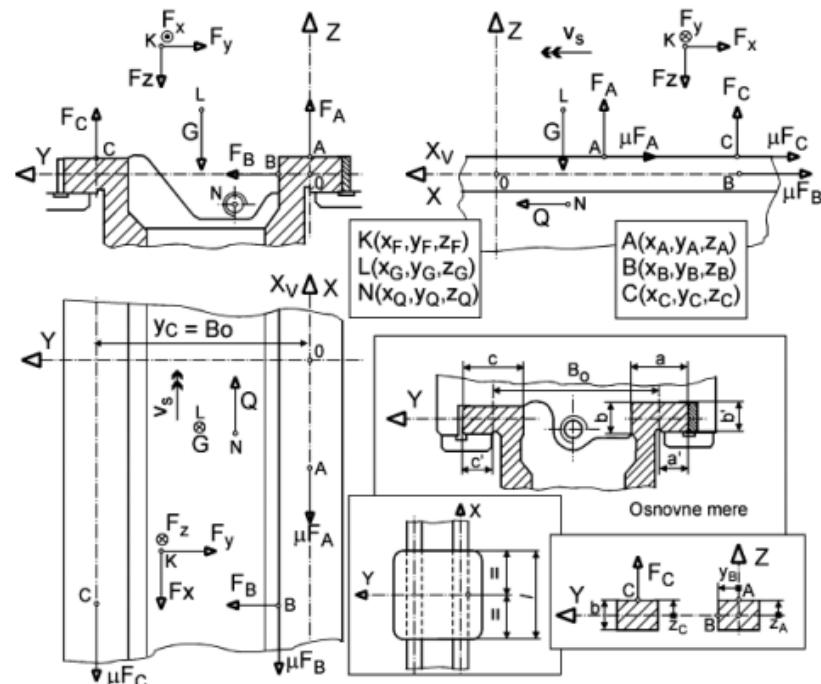
$$\begin{aligned} \sum M_{zi} = 0; & X_B \cdot F_B - \mu \cdot Y_B \cdot F_B - \mu \cdot Y_C \cdot F_C + \\ & + Y_Q \cdot Q - Y_F \cdot F_x - X_F \cdot F_y = 0 \Rightarrow X_B = \dots \end{aligned}$$

Dopunski uslov - krutost vodica srazmerna je njihovoj efektivnoj širini, odnosno važi:

$$\frac{X_A F_A}{a} = \frac{X_C F_C}{c} \Rightarrow X_A = \dots$$

$$p_c = \frac{F_c}{c \cdot L} \leq p_{doz.} \quad p_A = \frac{F_A}{a \cdot L} \leq p_{doz.}$$

$$p_B = \frac{F_B}{b \cdot L} \leq p_{doz.}$$



## Kotrljajne vodice

- Kotrljajne vodice su nastale umetanjem kotrljajnih elemenata između dva elementa koja se međusobno kreću, što ima za posledicu manje trenje (0,001-0,0025)
- Krutost se može značajno povećati prednaprezanjem.
- Prema tipu kotrljajnih tela dele se na :
  - ✓ kuglične
  - ✓ valjčaste i
  - ✓ igličaste kotrljajne vodice.

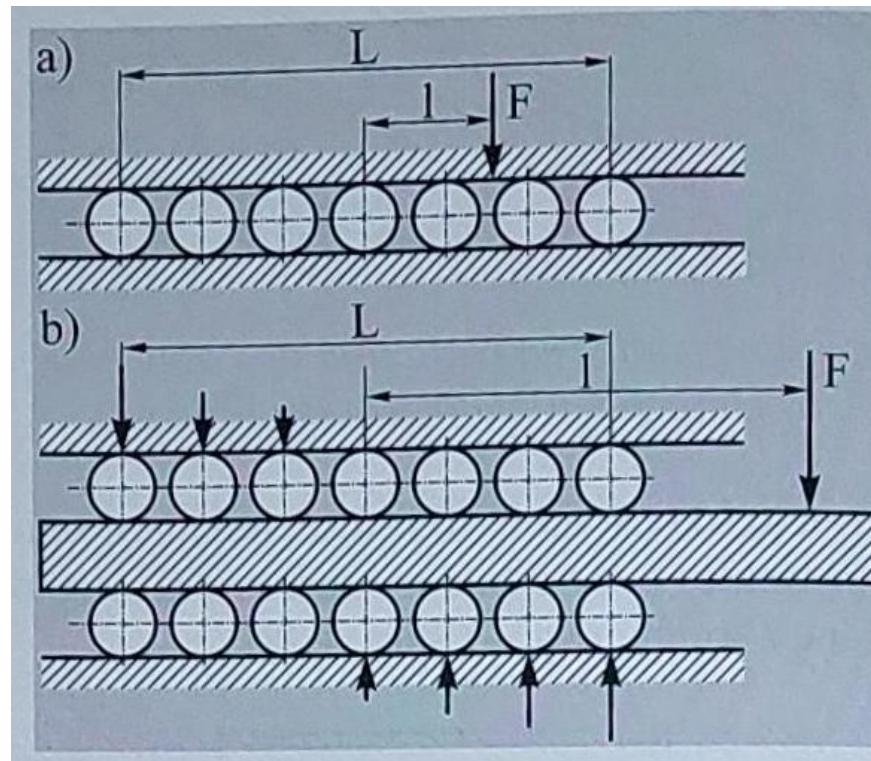


## Kotrljajne vodice

- Osnovne karakteristike kotrljajnih vođica su:
  - ✓ Nosivost – zavisi od zazora, materijala i termičke obrade, tvrdoće radnih površina i tačnosti izrade elemenata vođica. Nosivost zavisi i od broja kotrljajnih tela i njihovog oblika. Pri istim dimenzijama nosivost vođica sa kuglicama je manja od vođica sa valjčićima.
  - ✓ Krutost - zavisi od tačnosti izrade vođica i kotrljajnih tela. Krutost vođica sa valjčićima sa predneprezanjem je veća od krutosti kliznih vođica u pravcu dejstva sile.
  - ✓ Ravnomernost kretanja klizača sa kotrljajnim vođicama je velika i neravnomerno kretanje praktično ne postoji. Neravnomerno kretanje može nastati samo u slučaju prevelikog prednaprezanja ili pri jako niskom kvalitetu izrade vođica.
  - ✓ Dinamičke karakteristike vođica sa kotrljanjem karakterisane su oblikom vibracija i parametrima prigušenja. Amplituda vibracija u rezonantnoj oblasti kod kotrljajnih vođica bliska je amplitudi vibracija kod kliznih vođica, dok je frekvencija znatno veća. Vibracije u pravcu kretanja vođica u osnovi zavisi od krutosti i zazora pogonskog sistema.

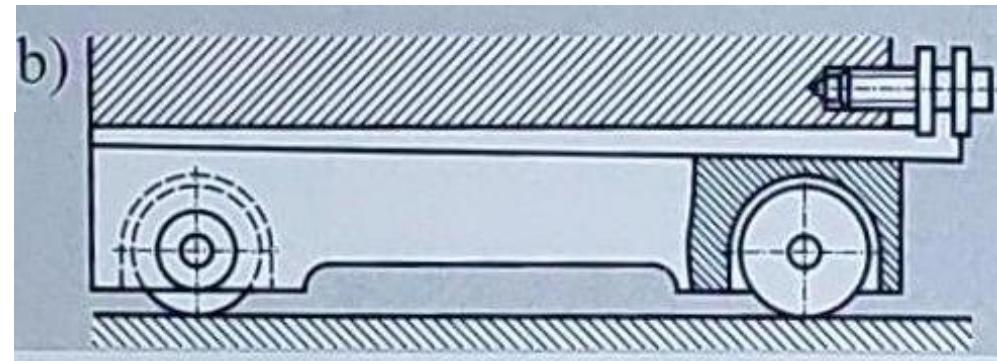
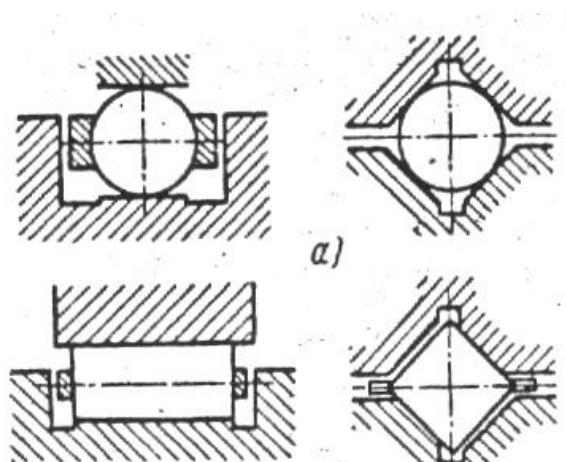
## Kotrljajne vodice

- U zavisnosti od načina na koji se ostvaruje vođenje, kotrljajne vodice mogu biti **otvorenog i zatvorenog** tipa.
- Kod *otvorenih vodica* (a) postoji samo jedan red kotrljajnih tela smeštenih između pokretnog i nepokretnog elementa.
- Kod *zatvorenih vodica* (b) postoje dva ista niza kotrljajnih tela ugrađenih u noseću strukturu mašine alatke, između kojih je postavljen pokretni element



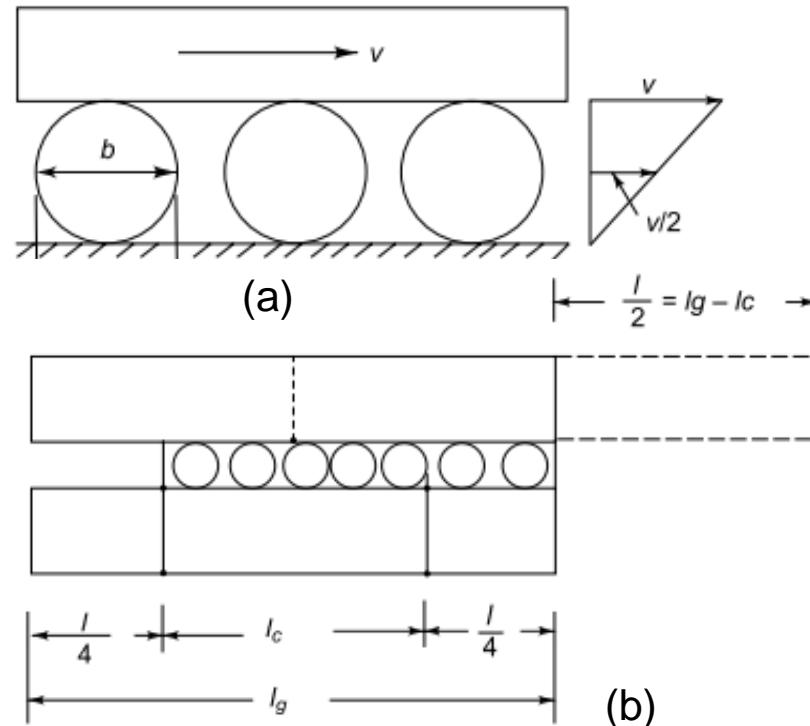
## Kotrljajne vodice

- Postoje dva načina gradnje kotrljajnih vođica:
  - a) kotrljajna tela se postavljaju između dva međusobno pokretna elementa tzv. kotrljajne vodice ograničenog hoda (a):
  - b) postavljanjem kotrljajnih oslonaca, tako da je hod sa stanovišta principa vođenja neograničen, tzv. vodice neograničenog hoda (b)



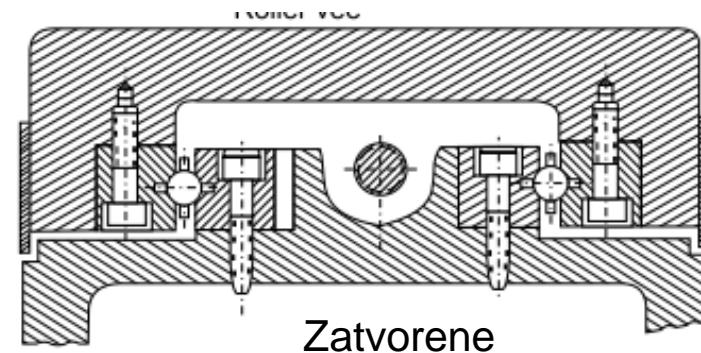
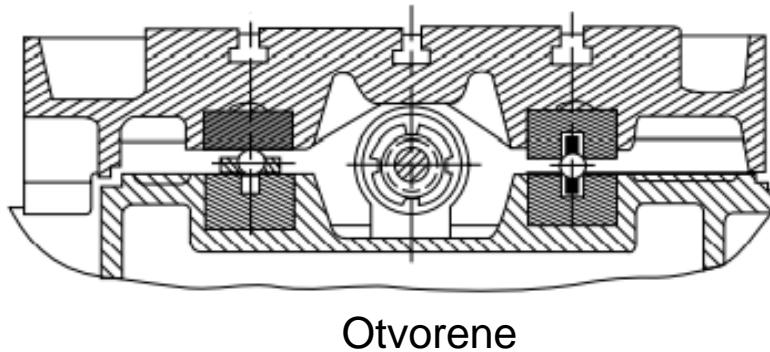
## Kotrljajne vodice

- Kod vođica ograničenog hoda kao posledica kotrljanja tela po nepokretnom elementu dolazi do promene relativnog položaja vođenog (pokretnog) elementa, kotrljajnih tela i nepokretnog elementa.
- Brzina kretanja (a) centra kotrljajnih tela je jednaka polovini vrednosti njegove obimne brzine, usled čega je i rastojanje koje pređu kotrljajna tela jednako polovini rastojanja, odnosno, hoda koji je napravio pokretni element (b).



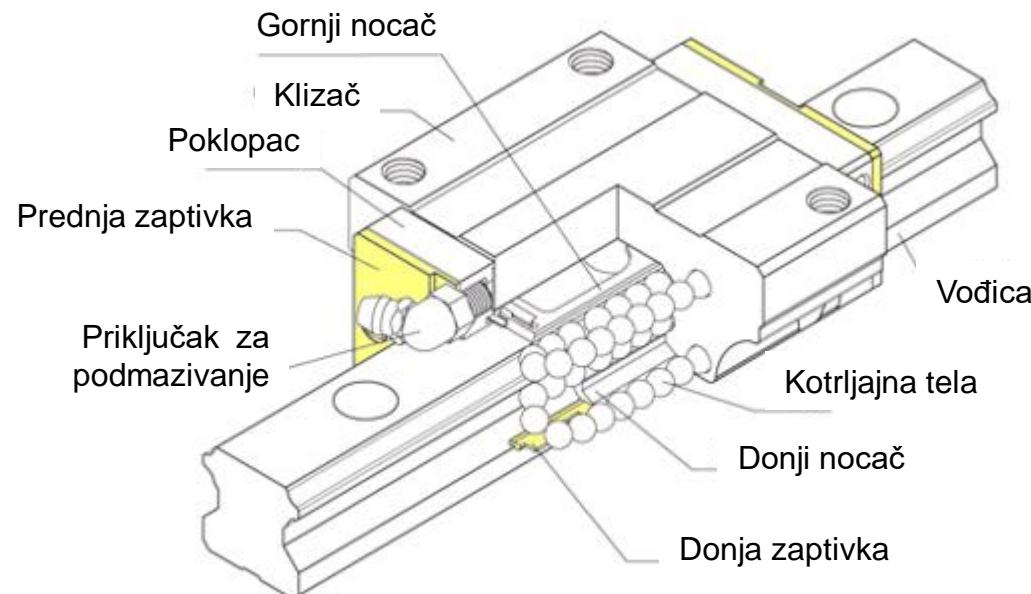
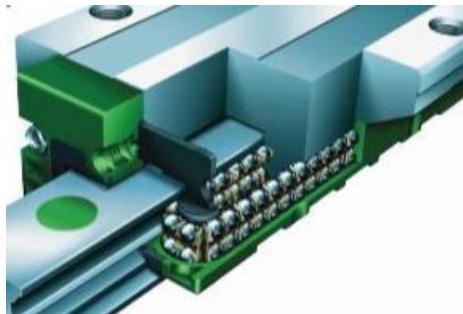
## Kotrljajne vodice

- U zavisnosti od prednaprezanja kotrljajne vodice ograničenog hoda se mogu ugraditi:
  - ✓ bez prethodnog prednaprezanja;
  - ✓ sa delimičnim prednaprezanjem;
  - ✓ sa prethodno podešenim prednaprezanjem;
- Kod zatvorenih kotrljajnih vodica mora se predvideti mogućnost podešavanja zazora.
- Otvorene kotrljajne vodice poseduju mogućnost automatskog regulisanja zazora pod dejtvom sopstvene mase pokretnog elementa maštine alatke.



## Kotrljajne vodice

- Savremena rešenja vodica sa kotrljanjem predstavljaju prizmatične kotrljajne vodice sa recirkulacijom kuglica ili valjčića.
- Kotrljajne vodice sa recirkulacijom kotrljajnih tela sastoje se od vodice, koja se vezuje za noseću strukturu maštine alatke i pokretnih klizača u kojima se obezbeđuje recirkulacija kotrljajnih tela



## Kotrljajne vodice

Prizmatične kotrljajne vodice sa recirkulacijom kotrljajnih tela se mogu podeliti prema:

➤ **tačnosti na:**

- ✓ normalne tačnosti
- ✓ visoke tačnosti
- ✓ precizne
- ✓ super precizne
- ✓ ultra precizne

➤ **prednaprezanju:**

- ✓ bez prednaprezanja
- ✓ sa malim prednaprezanjem
- ✓ sa srednjim prednaprezanjem i
- ✓ sa veliki prednaprezanjem.

## Kotrljajne vodice – Proračun kotrljajnih vodica

Proračun kotrljajnih vodice se vrši na bazi **maksimalne sile (nosivosti)** koju vodica može da prenese, a koja je u funkciji **dozvoljenog površinskog pritiska**.

Sila trenja koja deluje na površine kotrljajnih vodica je:

$$F_{fa} = nF_0 + \frac{\mu K(F_y + W_t + W_r)}{r}$$

Nosivost kotrljajne vodice je:

$$F_{lbr} = K_n \cdot d^2 \text{ - sa kuglicama}$$

$$F_{lbr} = K_n \cdot b \cdot d \text{ - sa valjčićima}$$

$n$  – broj kontaktnih površina na vodiči

$F_0$  – konstantna komponenta sile trenja (40 do 50 N)

$\mu$  – koeficijent trenja (0,001 – 0,0025)

$r$  – radijus kotrljajnog tela

$K$  = 1,5 za otvorene vodice, i 2,8 za zatvorene vodice

$F_y$  – vertikalna komponenta sile rezanja

$W_t$  – masa radnog stola

$W_{rp}$  – masa radnog predmeta

$d$  – prečnik kuglice/valjčića

$b$  – dužina valjčića

$Kn$  – koeficijent opterećenja (0,002 - 0,06 ) za kuglice i (1,5 - 2) za valjčiće. Manje vrednosti odgovaraju za SL, a veće za čelik

## Kotrljajne vođice – Proračun kotrljajnih vođica

Nosivost kotrljajne vođice ( $F_{lbr}$ ) se može primeniti za:

- a) određivanje maksimalne sile koju vođica može da prenese ako su kotrljajni elementi izabrani ili
- b ) za dimenzionisanje kotrljajnih tela.

U oba slučaja maksimalno opterećenje se računa kao:

$$F_{max} = b \cdot t \cdot p_{doz.}$$

Broj kotrljajnih tela u vođici se može odrediti kao:

$$Z = \frac{L}{t * d}; \quad 16 \leq Z \leq \frac{q}{4}; \quad 16 \leq Z \leq \frac{F_{lbr}}{3\sqrt{d}}$$

$b$  – prečnik kuglice/ dužina valjčića

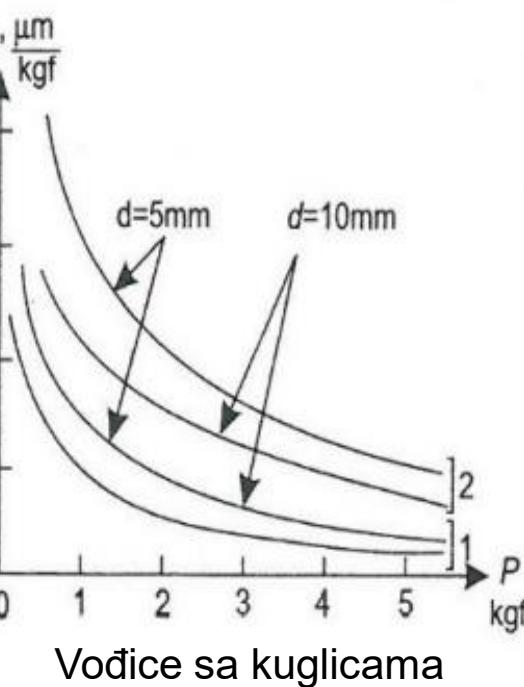
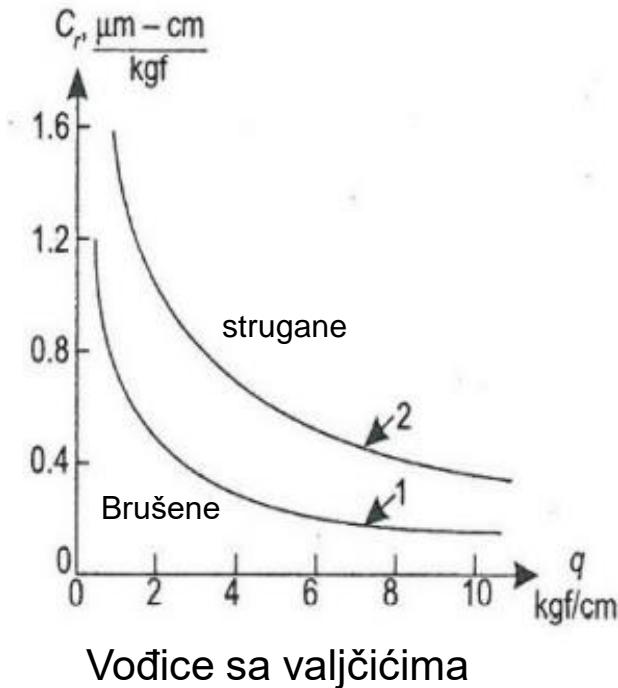
$t$  – (1,5 – 2,5)

$p_{doz.}$  - maksimalni dozvoljeni pritisak (kao kod kliznih)

$q$  – opterećenje po jediničnoj dužini valjčića

## Kotrljajne vodice – Proračun kotrljajnih vodica

Koeficijenti krutosti kotrljajnih vodica zavise od opterećenja, prečnika kotrljajnih tela, materijalna vodice i završne obrade.



**FTN - DPM - LAMA**

**Predmet: Projektovanje i eksploracija**

**obradnih sistema**

**Novi Sad, Februar 2022.**

# **10.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI**

# Uvod

---

- Proces obrade rezanjem ostvaruje se relativnim kretanjem između alata i radnog predmeta pomoću odgovarajućeg kinematskog sistema.
- Kinematski sistem mašina alatki se sastoji od nekoliko funkcionalnih celina, koje u konstrukcionom smislu čine sklopove.
- Celokupni kinematski sistem maštine alatke se može podeliti na:
  - pogonski sistem;
  - prenosni sistem;
  - noseći sistem;

- Elementarne površine koje definišu geometrijski oblik obradka mogu biti: **rotacione, ravne i profilne** (specijalne);
  - Obrada rotacionih površina se najčešće realizuje metodama obrade:
    - struganje;
    - bušenje;
    - okruglo brušenju;
  - Ravne površine se u principu realizuju metodama obrade:
    - rendisanje;
    - glodanje;
    - ravno brušenje;
  - Profilne površine se mogu realizovati različitim metodama obrade zavisno od kimenatske strukture mašine alatke na kojoj se iste realizuju.

U okviru predmata će se razmatrati samo obrada najprisutnijih profilnih površina u industriji mašinograđnje i to **zavojnih i evolventnih površina.**

# Uvod

---

- U zavisnosti od složenosti geometrijskog oblika radnog predmeta koji se želi dobiti, kod mašina alatki postoje dva tipa kretanja: **glavno i pomoćno kretanje.**

Kretanje alata i radnog predmeta		
Proces obrade	Glavno kretanje	Pomoćno kretanje
Struganje	R.P. 	A 
Bušenje	A 	A 
Glodanje	A 	R.P. 
Rendisanje		
- kratkohodno	A 	R.P. 
- dugohodno	R.P. 	A 
Brušenje		
- ravno	A 	R.P. 
- okruglo	A 	R.P. 

Napomena:  obrtno;  lineamo;  periodično kretanje

Klasifikacija osnovnih kretanja kod konvencionalnih mašina alatki

# Uvod

---

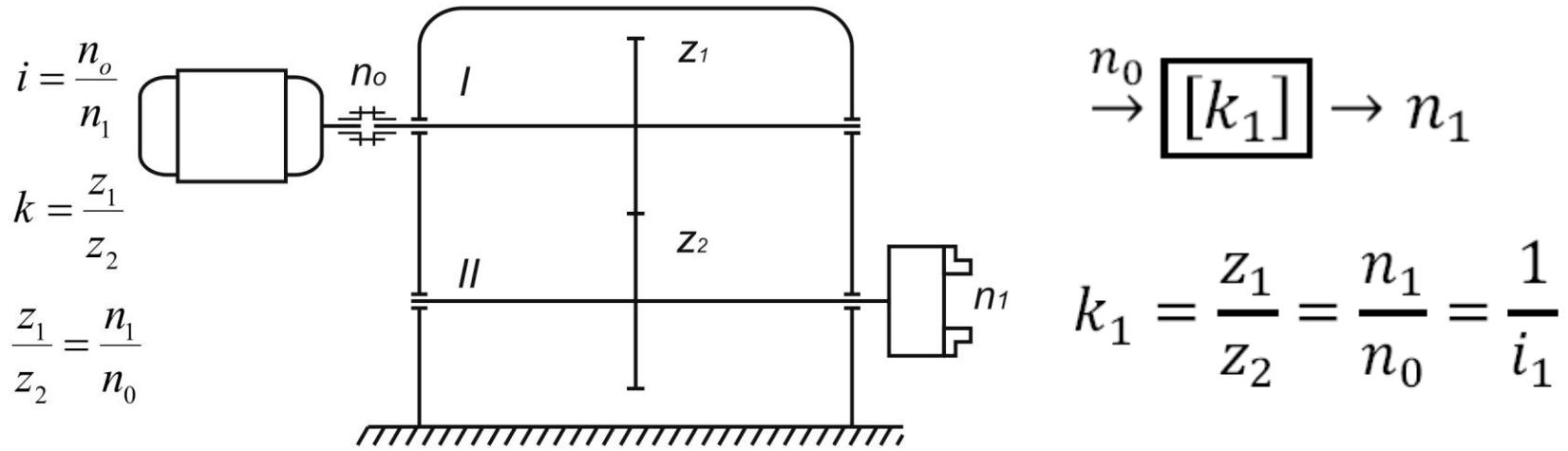
- Za jedan opseg dimenzija radnih predmeta kinematski sistem treba da raspolaže sa skupom brzina kako glavnog kretanja (brzina rezanja), tako i brzinama pomoćnog kretanja (pomak) koje će zadovoljiti tehničke kriterijume.

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}$$

- Kinematski sistemi za glavno i pomoćno kretanje, a po potrebi i dopunska kretanja koji obezbeđuju određeni skup brzina na mašinama alatkama se nazivaju **prenosnici**.

# Uvod

## Primer elementarnog zupčastog prenosnika

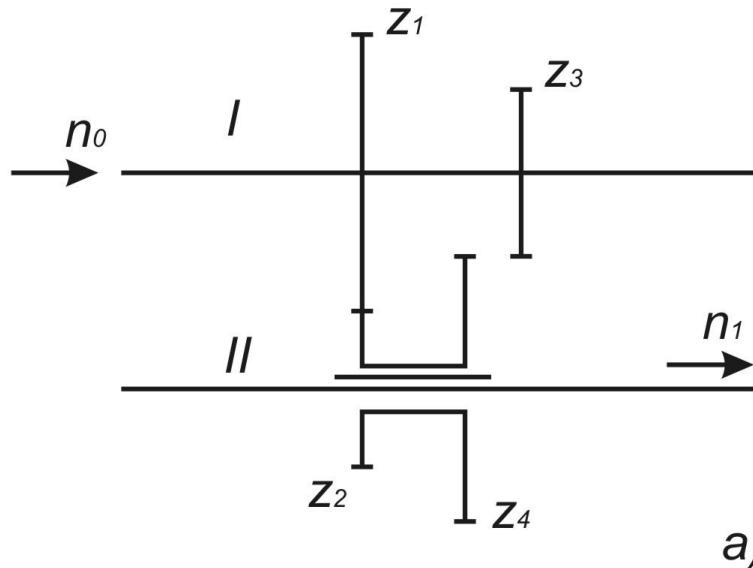


**Prenosni faktor (k)** je odnos izlaznog i ulaznog broja obrtaja u kinematskom lancu koji se posmatra.

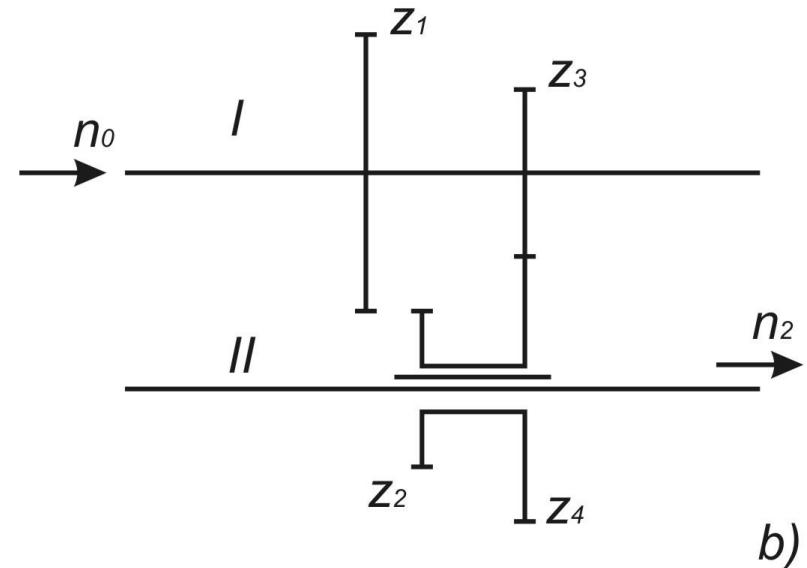
Prenosni faktor predstavlja recipročnu vrednost **prenosnog odnosa (i)**.

# Uvod

Primer zupčastog prenosnika sa pomerljivom grupom od dva zupčanika



a)



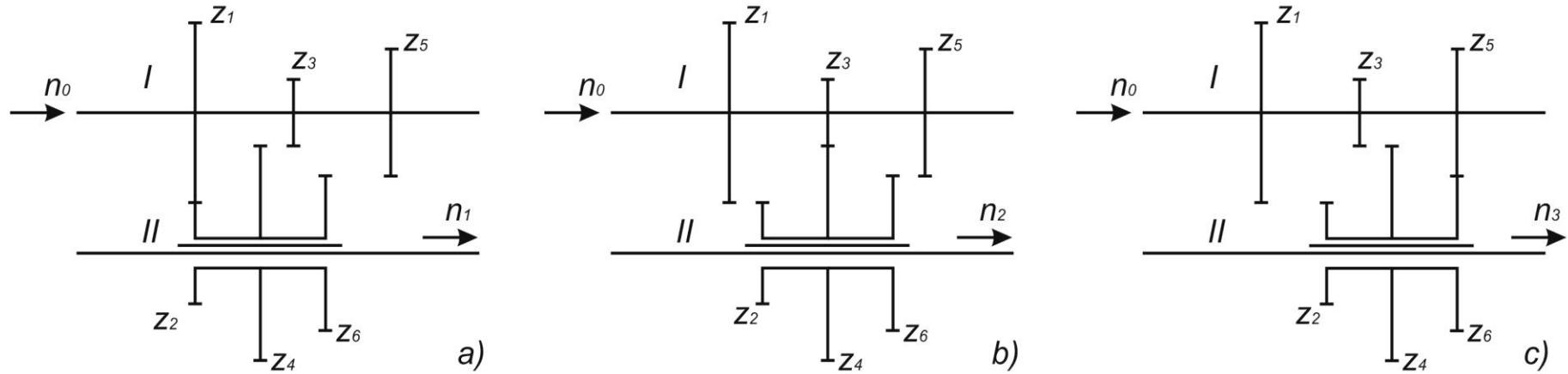
b)

$$n_1 = n_0 \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = n_0 \cdot k_1 ; \quad n_2 = n_0 \cdot \frac{Z_3}{Z_4} = n_0 \cdot k_2$$

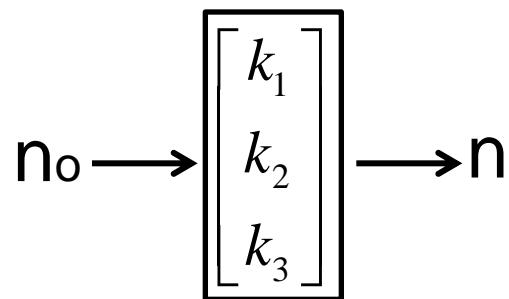
$$\xrightarrow{n_0} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} \rightarrow n$$

# Uvod

Primer zupčastog prenosnika sa pomerljivom grupom od tri zupčanika

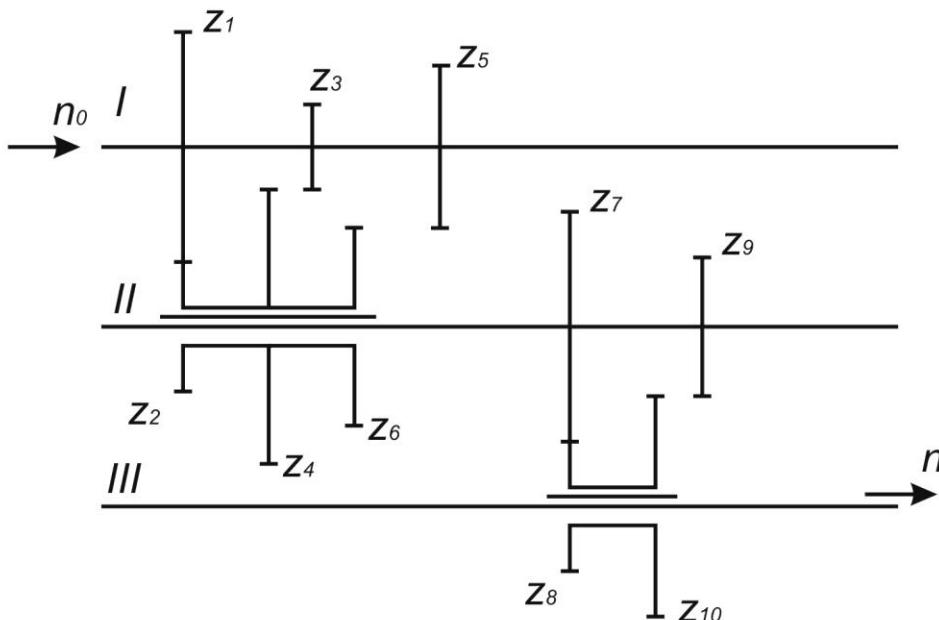


$$n_1 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} = n_0 \cdot k_1; n_2 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} = n_0 \cdot k_2; n_3 = n_0 \cdot \frac{z_5}{z_6} = n_0 \cdot k_3$$



# Uvod

Primer zupčastog prenosnika sa pomerljivom grupom od tri i dva zupčanika



$$\begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \end{bmatrix} \rightarrow n \quad n = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ k_6 \end{bmatrix}$$

$$n_1 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_0 \cdot k'_1 \cdot k''_1 = n_0 \cdot k_1(\text{uk})$$

$$n_2 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_0 \cdot k'_2 \cdot k''_1 = n_0 \cdot k_2(\text{uk})$$

$$n_3 = n_0 \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_0 \cdot k'_3 \cdot k''_1 = n_0 \cdot k_3(\text{uk})$$

$$n_4 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} = n_0 \cdot k'_1 \cdot k''_2 = n_0 \cdot k_4(\text{uk})$$

$$n_5 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} = n_0 \cdot k'_2 \cdot k''_2 = n_0 \cdot k_5(\text{uk})$$

$$n_6 = n_0 \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} = n_0 \cdot k'_3 \cdot k''_2 = n_0 \cdot k_6(\text{uk})$$

Ukupni prenosni faktor celog kinematskog lanca jednak je proizvodu parcijalnih prenosnih faktora elementarnih prenosa u tom kinematskom lancu.

$$n_{izl} = n_{ul} \cdot k_{uk}$$

# **KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI**

---

## **5.1 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju rotacionih površina**

### **5.1.1 Kinematska struktura strugova**

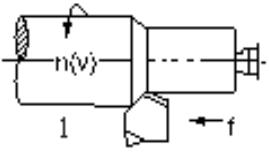
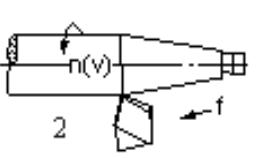
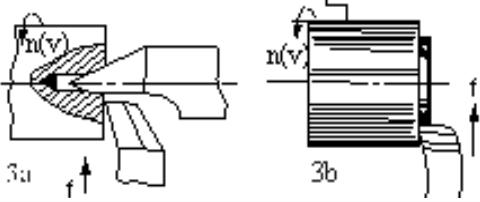
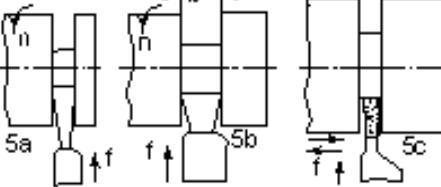
# Kinematska struktura strugova

---

- Strugovi se generalno smatraju najstarijim mašinama alatkama koje se još uvek koriste u mašinskim pogonima.
- Strugovi se koriste za: uzdužno i poprečno struganje spoljašnjih i unutrašnjih cilindričnih i konusnih površina, izradu zavojnica, bušenje, urezivanje, narezivanje navoja, itd.
- Kod operacije obrade struganjem glavno kretanje je obrtno i izvodi ga radni predmet, dok je pomoćno kretanje pravolinijsko i izodi ga alat i može imati različite pravce u zavisnosti od odgovarajuće operacije.
- Različitim operacijama/zahvatima odgovaraju i različiti alati u zavisnosti od same obrade kao i od zahtevanog kvaliteta obrađene površine.

# Kinematska struktura strugova

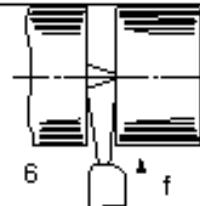
## Tipični zahvati obrade struganjem.

Zahvati obrade	Skica i pravac kretanja alata
1. Obrada cilindrične površine standardnim strugarskim nožem	
2. Obrada konusne površine standardnim strugarskim nožem	
3. Obrada čela radnog predmeta: a) Alatom za čeonu obradu dok je RP stegnut između šiljaka b) Alatom za čeonu obradu dok je RP stegnut u steznoj glavi	
4. Završna obrada: a) Alatom sa širokom reznom ivicom b) Alatom oštom reznom ivicom	
5. Ukopavanje žleba: a) Alatom za ukopavanje žleba b) Širokim alatom za ukopavanje žleba c) Ukopavanje širokog žleba uskim alatom za ukopavanje	

# Kinematska struktura strugova

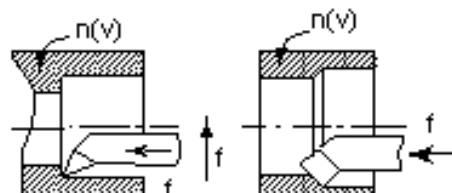
## Tipični zahvati obrade struganjem.

6. Odsecanje alatom za odsecanje



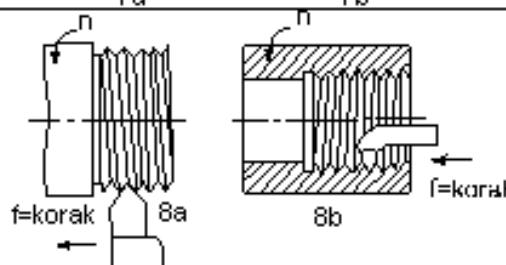
7. Obrađa unutrašnje konture:

- a) Savijenim alatom za grubu obradu
- b) Savijenim alatom za završnu obradu



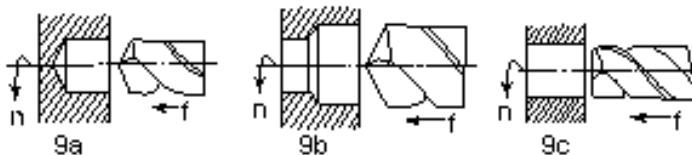
8. Urezivanje navoja:

- a) Alatom za spoljašnje urezivanje navoja
- b) Alatom za unutrašnje urezivanje navoja



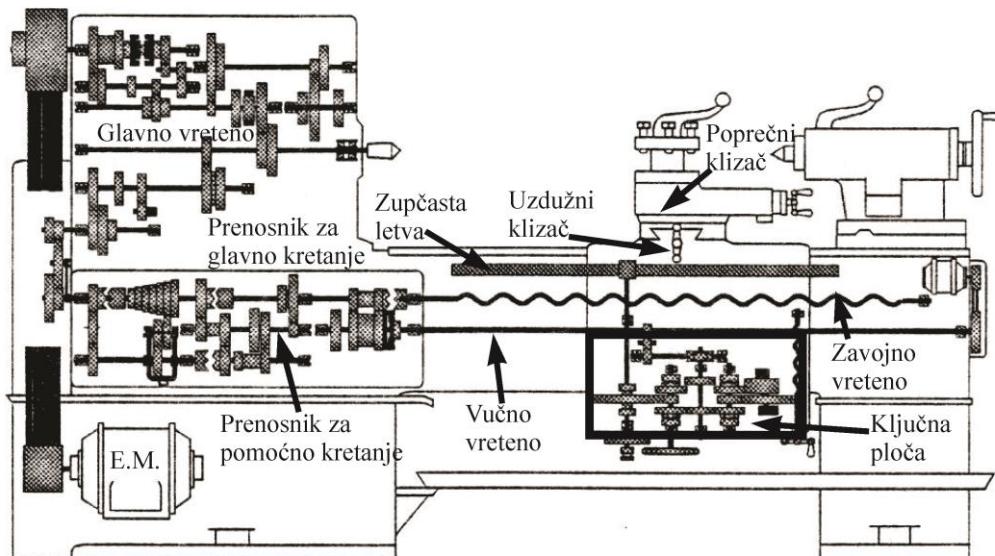
9. Bušenje i proširivanje:

- a) Bušenje zavojnom burgjom
- b) Proširivanje zavojnom burgjom
- c) Proširivanje proširivačem



# Kinematska struktura strugova

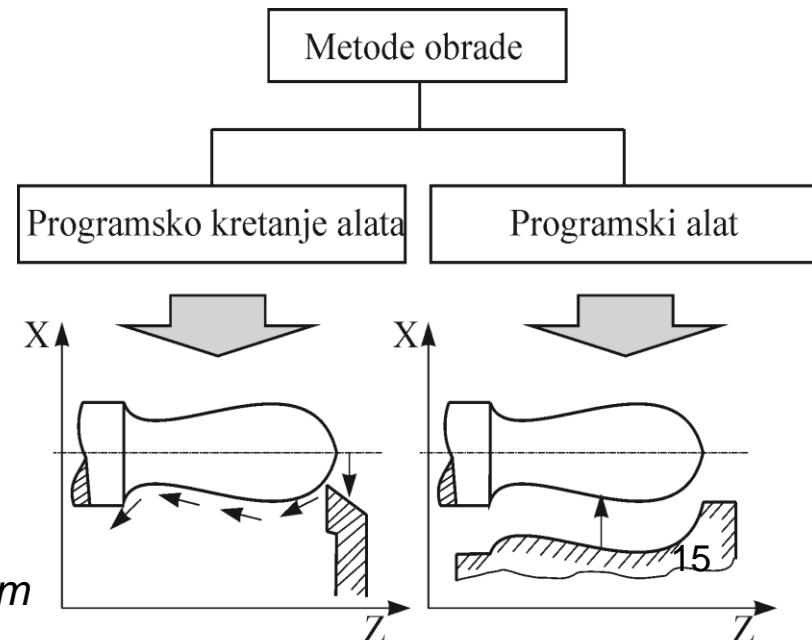
- Strugovi imaju zavisan tip prenosnika, odnosno, pogon za glavno i pomoćno kretanje se dobija od istog pogonskog elektromotora.
- Pogon za pomoćno kretanje se uzima direktno sa glavnog vretena, obzirom da je potrebna stroga zavisnost između glavnog kretanja (obrtanja radnog predmeta) i pomoćnog kretanja (translatornog kretanja alata).



*Kinematska šema univerzalnog struga*

# Kinematska struktura strugova

- Kod obrade struganjem potrebna kontura radnog predmeta se ostvaruje programskim kretanjem alata i programskim (profilnim alatom) alatom.
- Obrada struganjem programskim (profilnim) alatom se primenjuje u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji.
- Pri obradi struganjem programskim kretanjem alata, konturu obradka opisuje vrh alata.



# Kinematska struktura strugova

---

- Programsко кретање алата се остварује у координатном систему  $OZX$ .
  - $Z$  – оса овог координатног система је оса главног вретена,
  - $X$  – оса је нормална на “ $Z$ ” осу (осу главног вретена).
- Систем klizača mašine на којем се налази nosač alata se sastoji od dva klizača i to:
  - jedan klizač koji se pomera u pravcu “ $Z$ ” осе (uzdužni klizač);
  - jedan klizač koji se pomera u правцу “ $X$ ” осе (попрећни klizač);

# Kinematska struktura strugova

Vektor brzine kretanja vrha alata :

$$\vec{s} = \vec{s}(s_z; s_x)$$

$s$  - rezultujući vektor brzine

$s_z$  - komponenta brzine u pravcu "z" ose

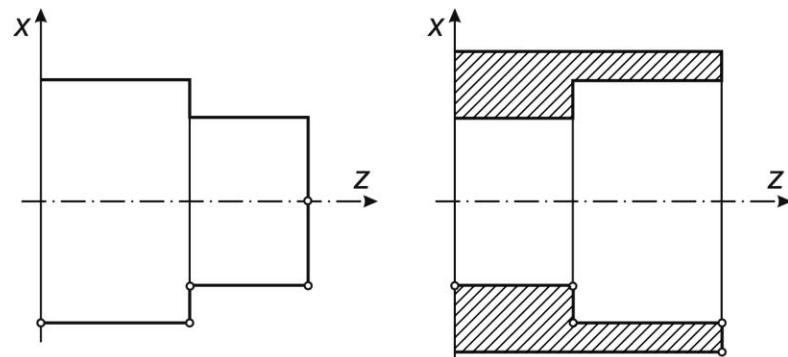
$s_x$  - komponenta brzine u pravcu "x" ose

## 1. Slučaj

Kada se kretanje izvodi samo u pravcu jedne od koordinatnih osa:

$\vec{s} = \vec{s}(s_z; \vec{s}_x = 0)$  - uzdužno struganje

$\vec{s} = \vec{s}(s_z = 0; \vec{s}_x)$  - poprečno struganje



a.

b.

Kretanje alata pri: a) uzdužnom; b)  
poprečnom struganju;

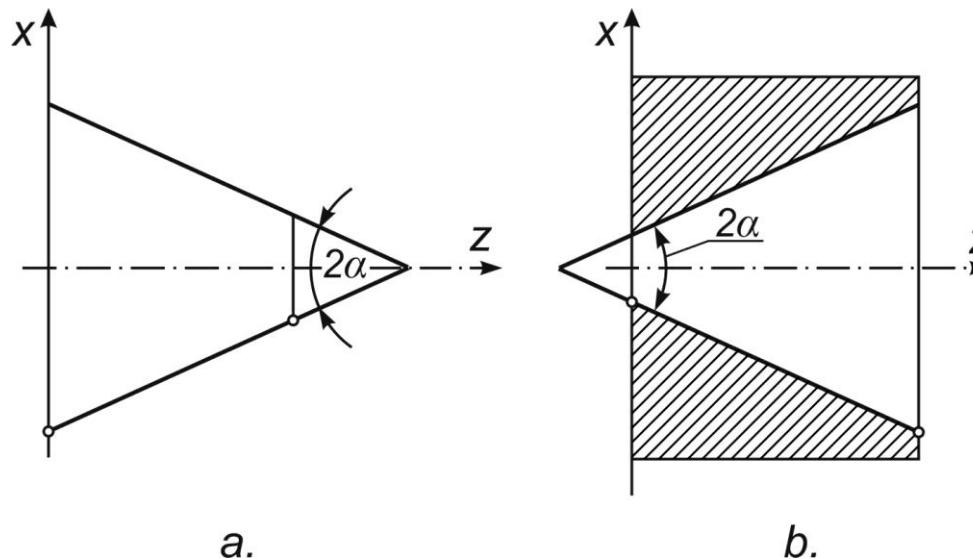
# Kinematska struktura strugova

## 2. Slučaj:

Kada postoji **konstantna (kruta) zavisnost** između kinematskih lanaca za "Z" i "X" osu.

$$\vec{s} = \vec{s}(s_z; s_x = C \cdot s_z \cdot \vec{i})$$

U ovom slučaju se ostvaruje konusno struganje, odnosno, izrada konusa, pri čemu, je C kruta, konstantna veza između kretanja po X i Z osi



Kretanje alata pri struganju; a)struganju spoljašnjeg; b)unutrašnjeg konusa;

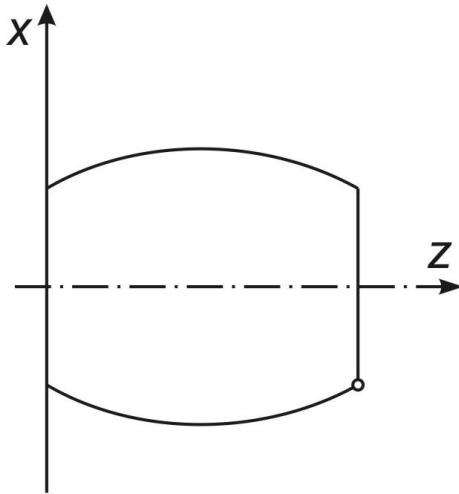
# Kinematska struktura strugova

## 3. Slučaj:

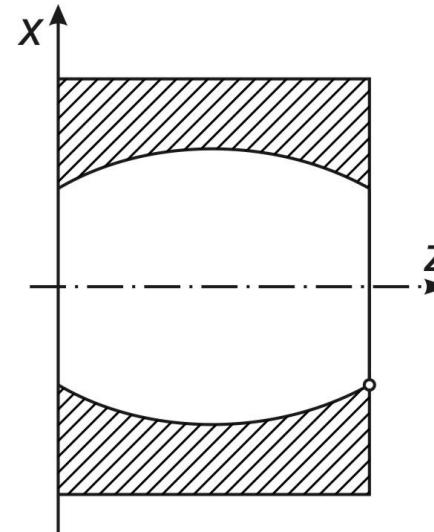
Između kinematskih lanaca klizača postoji određena funkcionalna zavisnost kretanja u pravcu "Z" i "X" ose u obliku:

$$\vec{s} = \vec{s}(s_z; s_x = \varphi(z; x) \vec{s}_z)$$

U ovom slučaju je u pitanju struganje obratka proizvoljne konture.



a.



b.

Kretanje alata pri: a) struganju spoljašnjeg; b) unutrašnjeg profila

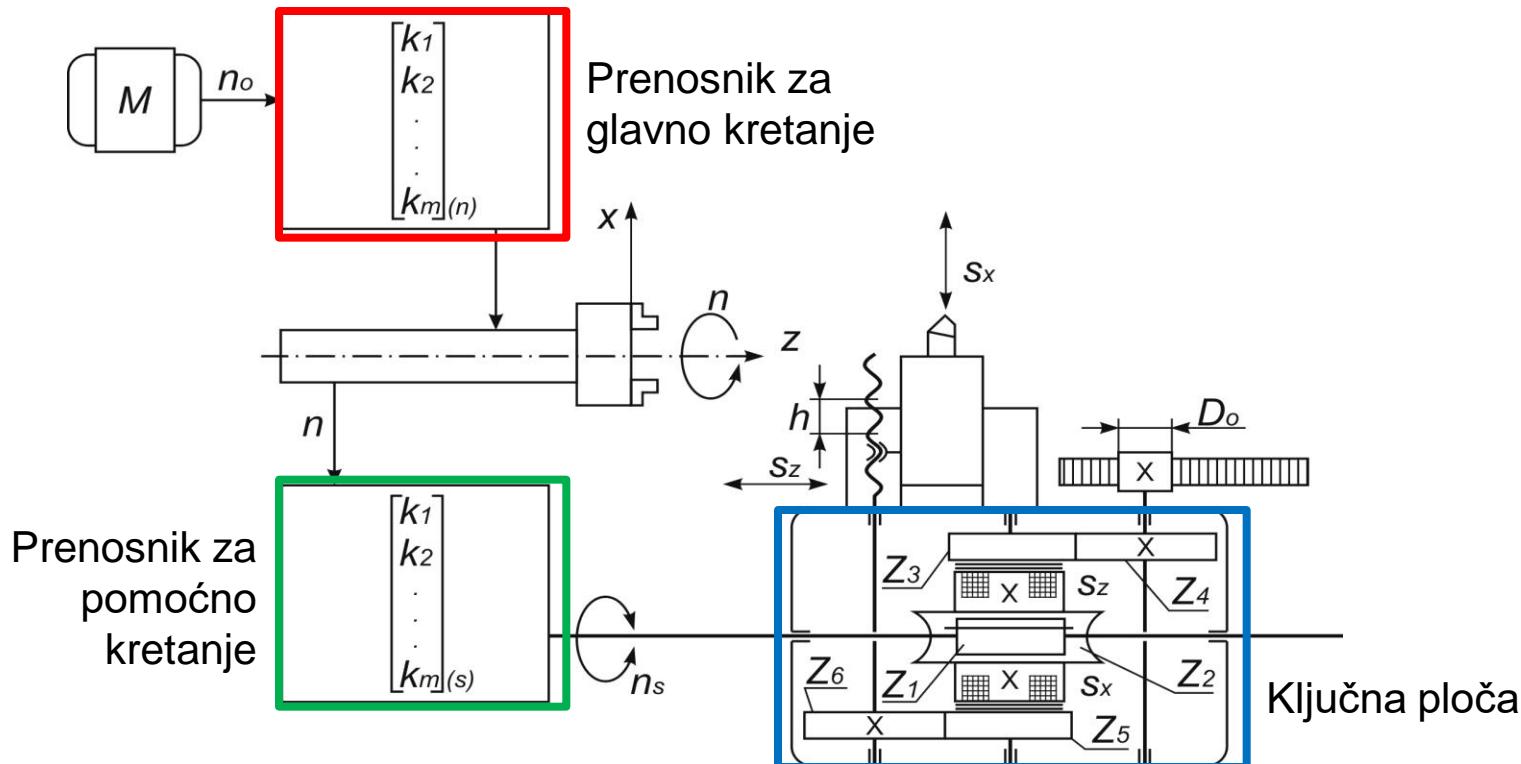
# Kinematska struktura strugova

## 1. Produkcioni strug

Produkcioni strugovi mogu da izvode kretanje samo u pravcu jedne od koordinatnih:

$\vec{s} = \vec{s}(\vec{s}_z; \vec{s}_x = 0)$  - uzdužno struganje

$\vec{s} = \vec{s}(\vec{s}_z = 0; \vec{s}_x)$  - poprečno struganje



Kinematska šema produpcionog struga

# Kinematska struktura strugova

## 1 Producioni strug – glavno kretanje

Potrebne brzine rezanja se ostvaruju preko prenosnika za glavno kretanje.

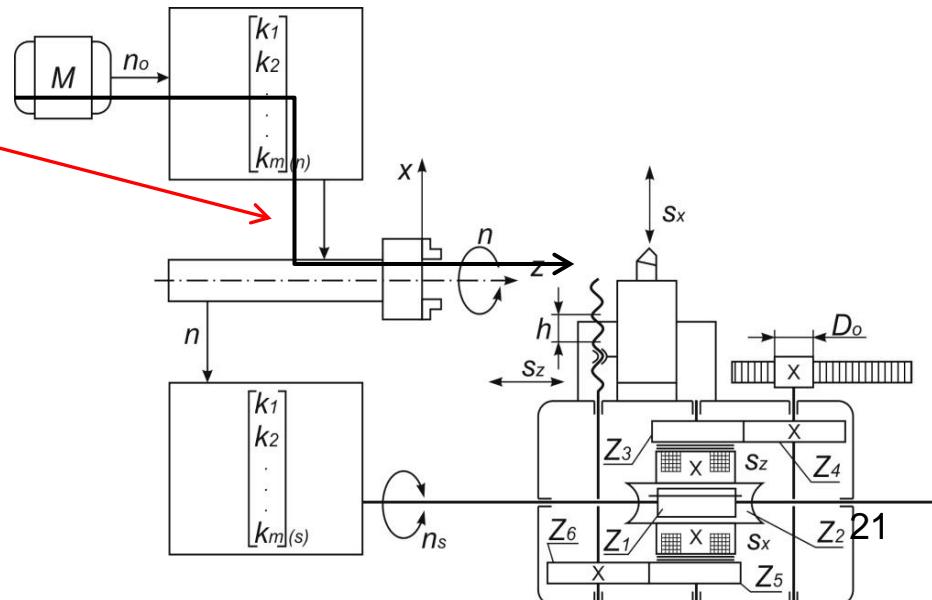
Brzina rezanja za obradu struganjem je:

$$v_i = D_p \pi n_i; [\text{mm/min}]; n_i = 1, 2, 3, \dots, m$$

gde je  $D_p$  prečnik radnog predmeta, a  $n_i$  broj obrtaja radnog predmeta za odgovarajuću brzinu rezanja koji se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_m \end{bmatrix} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_{(n)} ; [\text{o/min}]$$

$n_0$  - broj obrtaja elektromotora,  $k_{m(n)}$  - prenosni faktor prenosnika za glavno kretanje.



Raspoložive brzine rezanja su:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix} = D_p \pi n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_{(n)} ; [\text{mm/min}]$$

# Kinematska struktura strugova

## 1 Producioni strug – pomoćno uzdužno kretanje

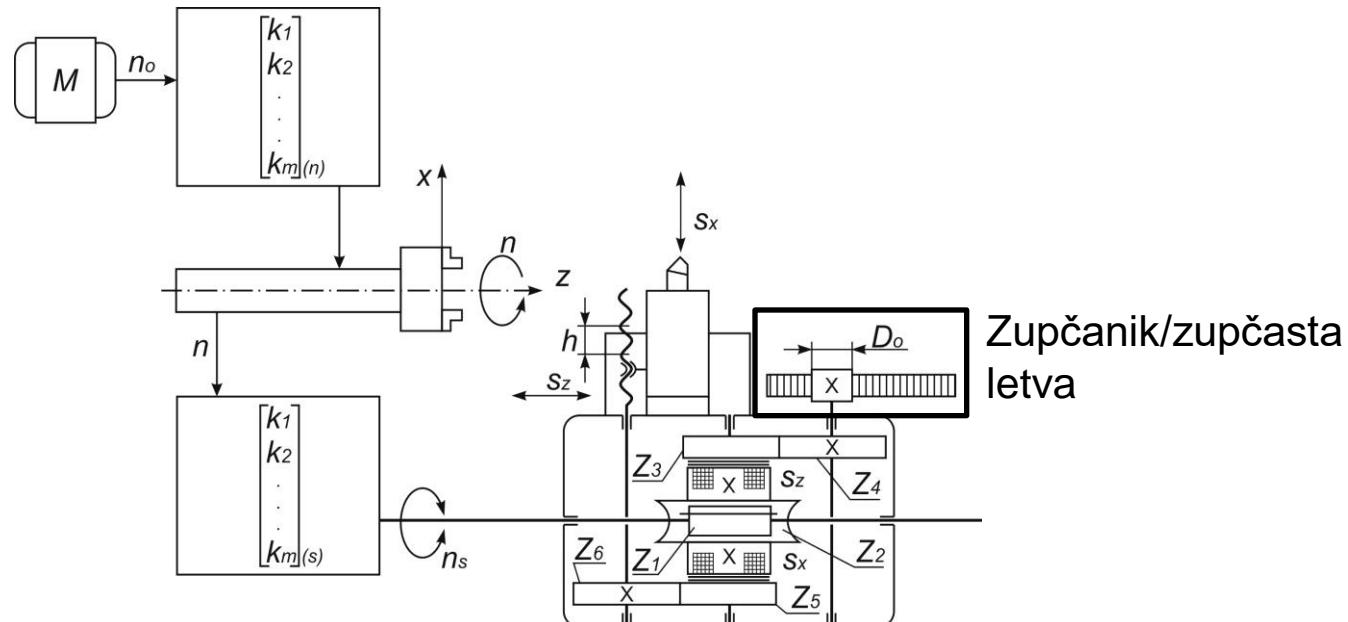
Veličina pomaka [mm/o] za uzdužno struganje u pravcu Z ose za slučaj kada se obrtno kretanja pretvara u pravolinijsko preko zupčanika i zupčastve letve se određuje kao:

$$s_z = n_{zD_o} D_o \pi ; [\text{mm/o}]$$

$s_z$  [mm/o] - tehnološki parametar u zavisnosti od stepena površinske hrapavosti

$D_o$  [mm] - prečnik podeonog kruga zupčanika koji je u zahvatu sa zupčastom letvom

$n_{zD_o}$  broj obrtaja zupčanika koji je u zahvatu sa zupčastom letvom.



# Kinematska struktura strugova

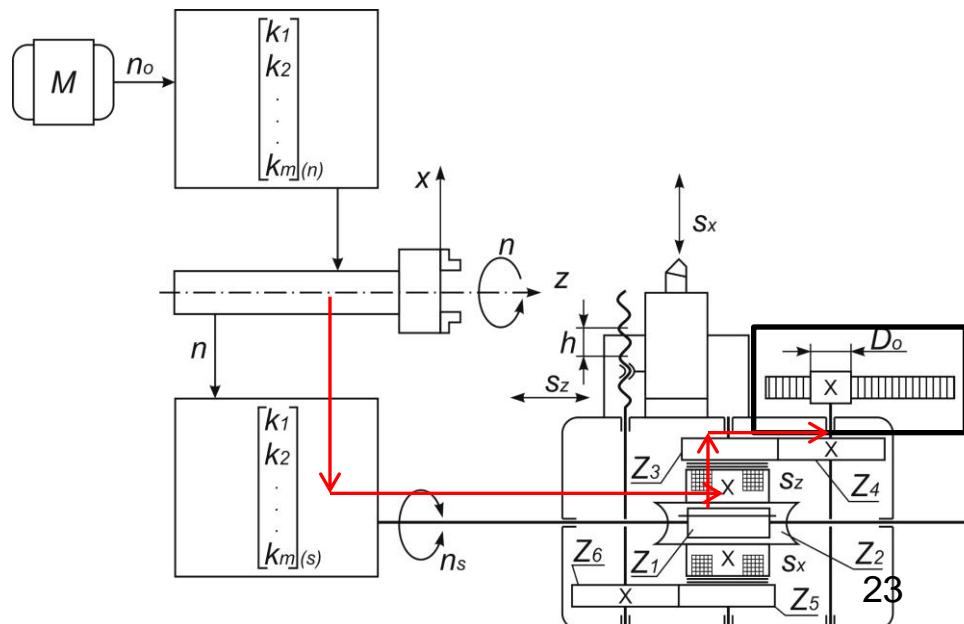
## 1 Producioni strug – pomoćno uzdužno kretanje

Broj obrtaja zupčanika koji je u zahvatu sa zupčastom letvom se određuje kao :

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ n_m \end{bmatrix}_{zDo} = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} ; [\text{o/min}]$$

Za  $n=1$  [mm/obrtaju] glavnog vretena pomak se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \cdot \\ s_m \end{bmatrix}_z = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} D_o \pi = C_z \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ; [\text{mm/o}]$$



# Kinematska struktura strugova

## 1 Producioni strug – pomoćno poprečnokretanje

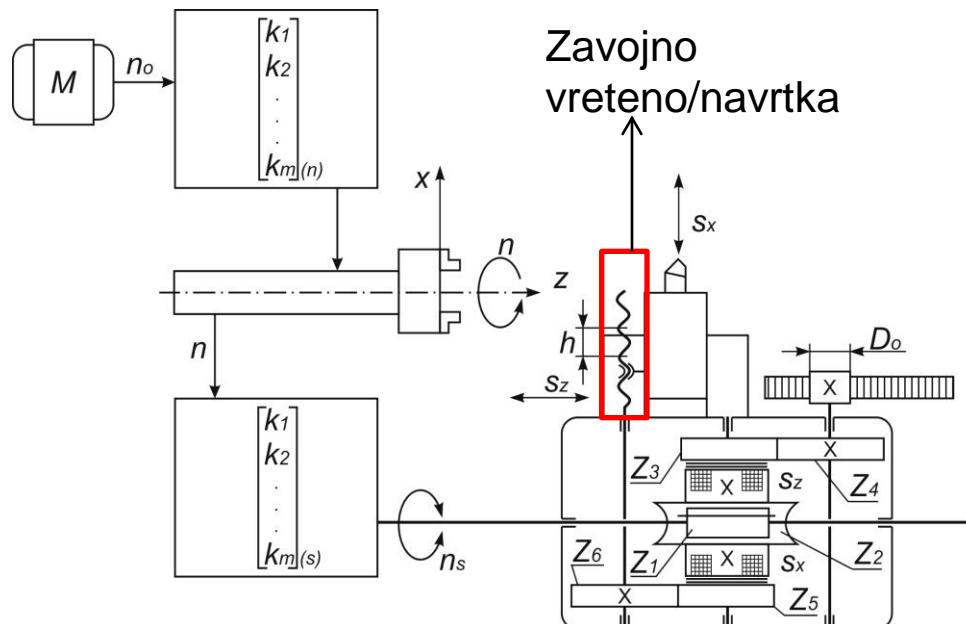
Veličina pomaka [mm/o] za poprečno struganje u pravcu X ose za slučaj kada se obrtno kretanja pretvara u pravolinijsko preko zavojnog vretena i navrtke se određuje kao:

$$s_x = n_v h_v; \text{ [mm/o]}$$

$s_x$  [mm/o] - tehnološki parametar u zavisnosti od stepena površinske hrapavosti

$n_v$ [1/o] – broj obrtaja zavojnog vretena

$h_v$  [mm] korak zavojnog vretena



# Kinematska struktura strugova

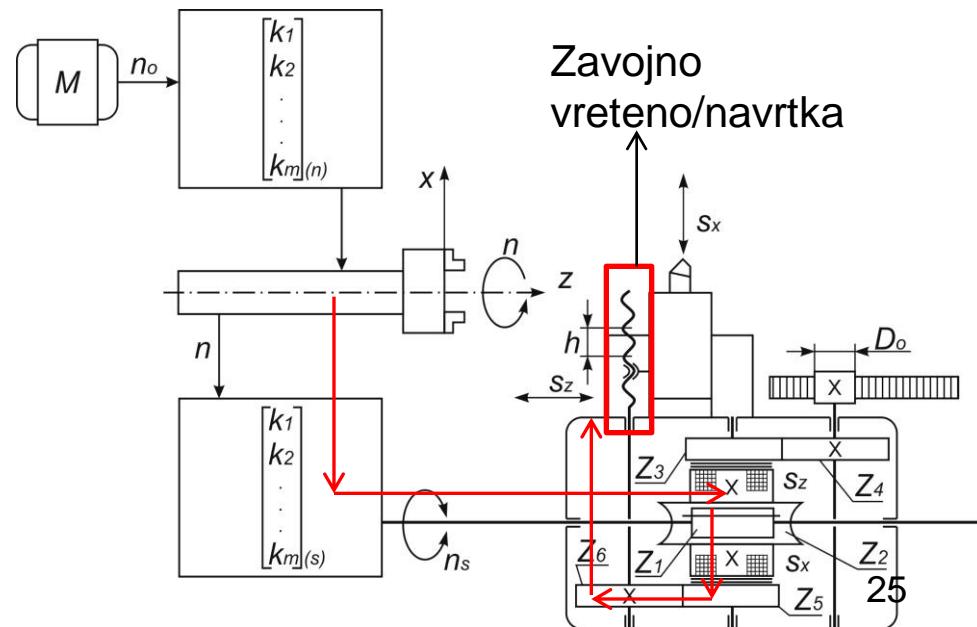
## 1 Producioni strug – pomoćno uzdužno kretanje

Broj obrtaja zavojnog vretena se određuje kao :

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ n_m \end{bmatrix}_h = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1 z_5}{z_2 z_6}; [\text{o/min}]$$

Za  $n=1$  [mm/obrtaju] glavnog vretena pomak se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \cdot \\ s_m \end{bmatrix}_{h_v} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1 z_5}{z_2 z_6} h_v = C_z \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)}; [\text{mm/o}]$$

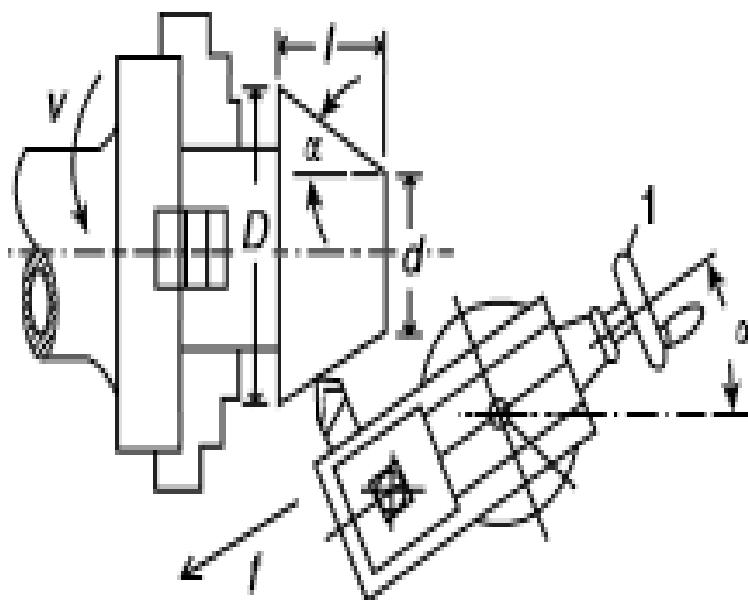


# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

Izrada konusa struganjem je moguća sa jednom od sledećih metoda:

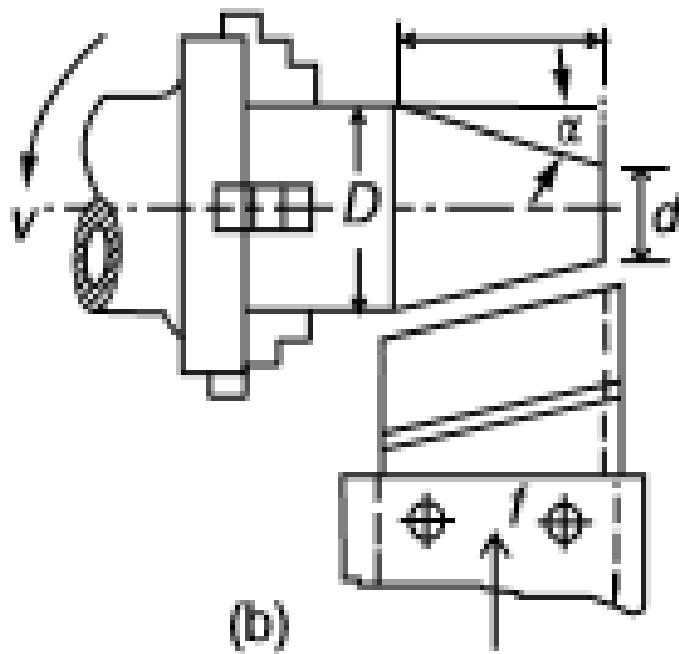
a) Zaokretanjem poprečnog (pomoćnog) klizača (1) za ugao  $\alpha$  u odnosu na Z osu. Pri ovom načinu struganja konusa donji nosač alata mora biti fiksiran u početnoj poziciji. Pomak alata se ostvaruje ručno, okretanjem obrtne ručke (2). Ova metoda struganja konusa se koristi za kratke unutrašnje i spoljašnje konusne površine sa velikim uglom konusa.



# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

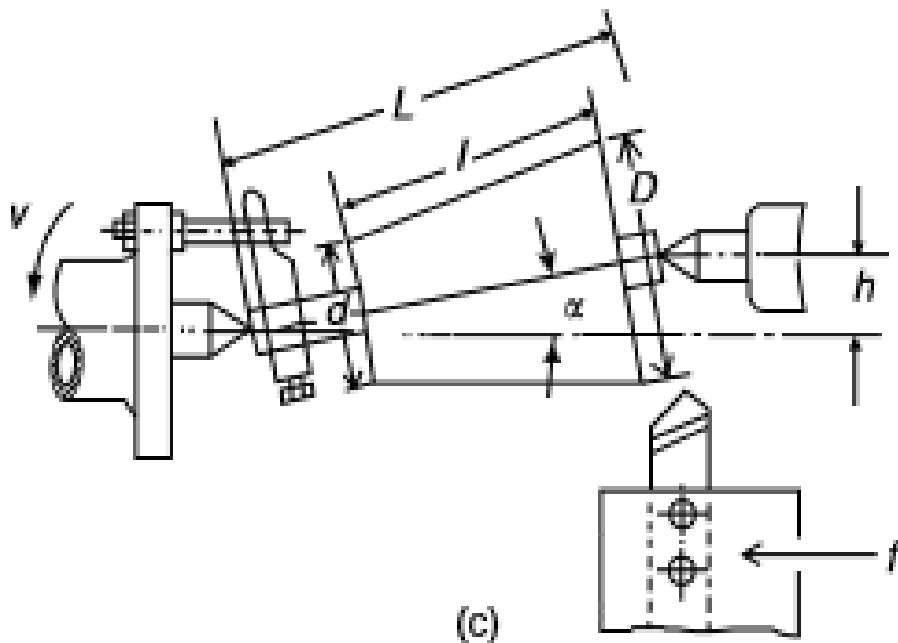
b) *Korišćenjem profilnih alata.* U ovom slučaju alat se kreće u poprečnom (X) pravcu, pri čemu širina alata mora biti veća od dužine konusa koji se obrađuje.



# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

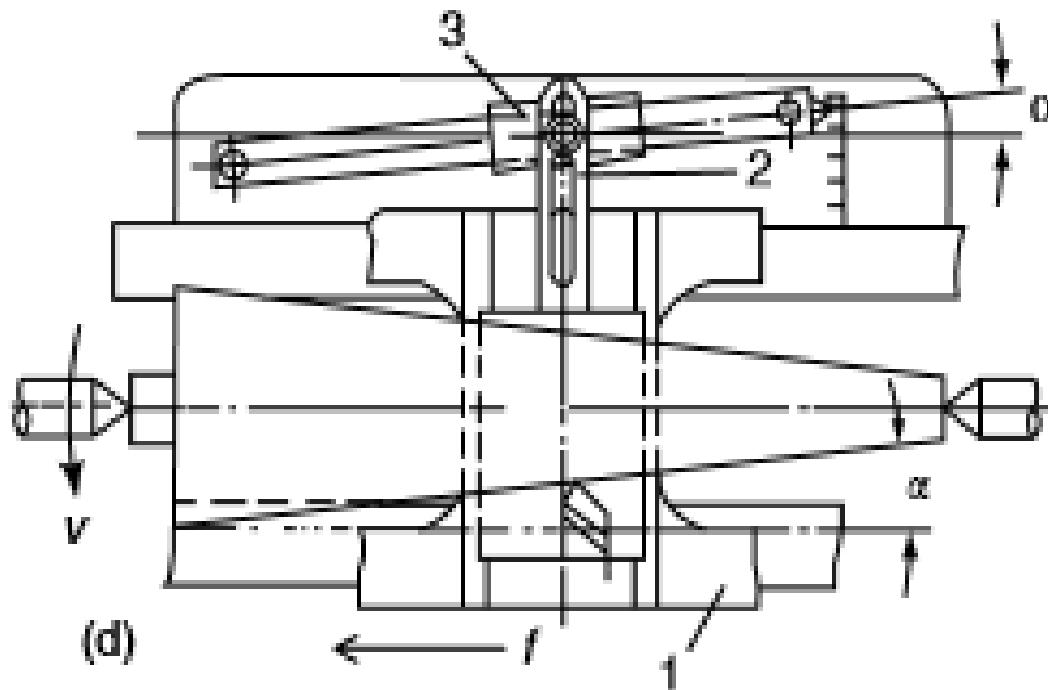
c) Pomeranjem ose zadnjeg šiljka (šiljka konjica). Pri izradi konusa ovom metodom, konjic se pomera u odnosu na osu vretena za visinu  $h$  koja obezbeđuje da se osa radnog predmeta postavi pod uglom  $\alpha$ , u odnosu na osu glavnog vretena, ali tako da površina struganja bude paralelna osi glavnog vretena. Na ovaj način se mogu strugati konusi manjih uglova do  $8^\circ$ .



# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

d) Pomoću kopirnih sistema, ili uređaja za struganje konusa. Ova metoda se koristi za struganje dugačkih konusa.

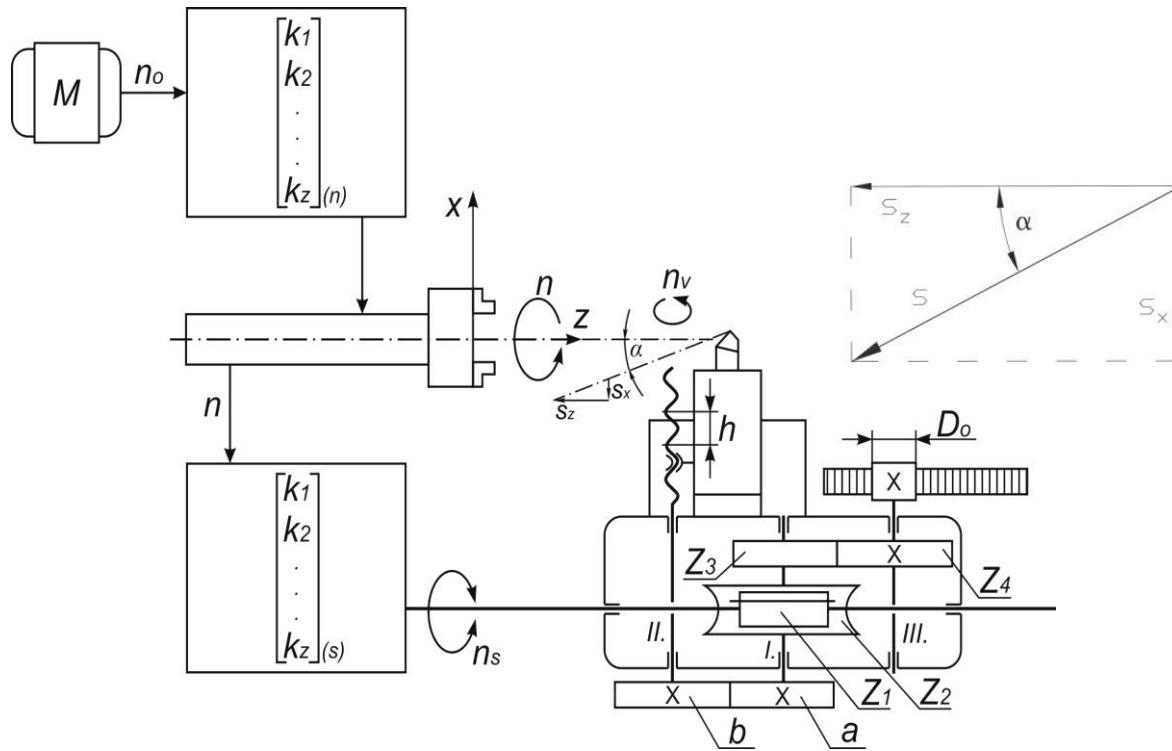


# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

e) Na osnovu istovremenog pogona klizača za "Z" i "X" osu, pri čemu između kinematskih lanaca postoji linearna zavisnost:

$$\frac{s_x}{s_z} = \tan \alpha$$

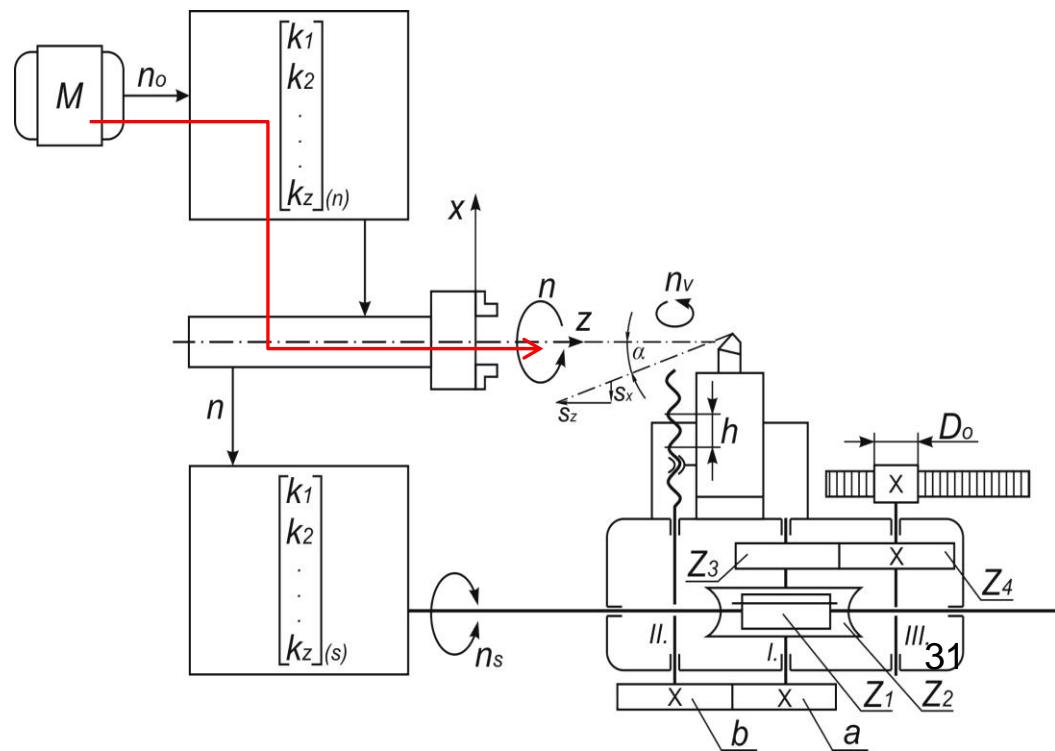


# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa – **glavno kretanje**

Potreban broj obrtaja za ulaznu brzinu rezanja  $v = D_p \pi n_i$  je:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix} \quad (\text{n}) ; [\text{o/min}]$$

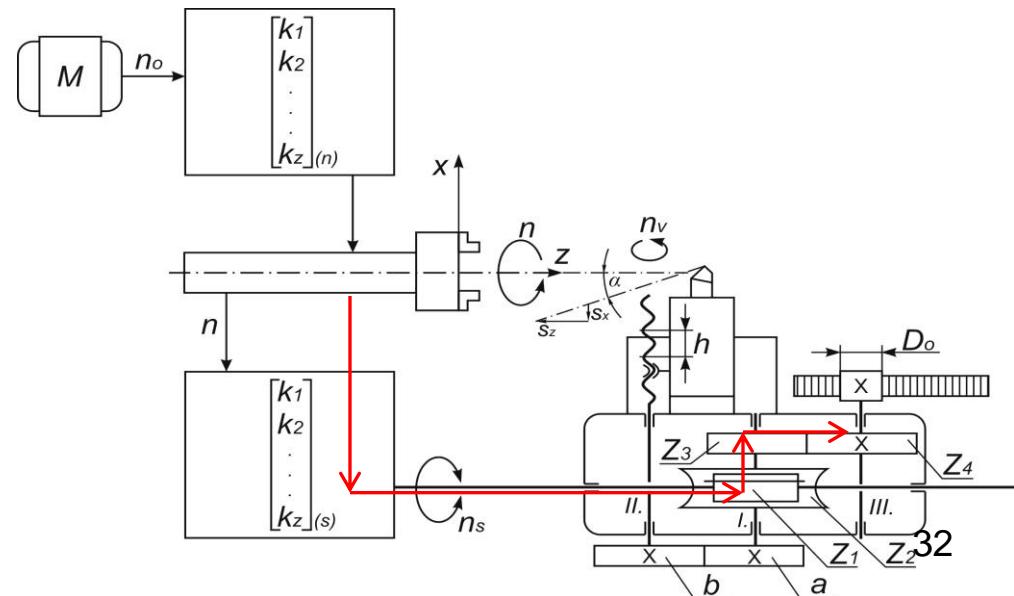


# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa – pomoćno uzdužno kretanje ( $s_z$ )

- Pomoćno kretanje u pravcu Z ose za slučaj pretvaranja obrtnog u pravolinjsko kretanje preko zupčanika i zupčaste letve, za  $n=1$  [mm/obrtaju] glavnog vretena se dobija kao:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_m \end{bmatrix}_z = n \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot D_0 \cdot \pi \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_s = C_z \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_s ; \text{ [mm/o]}$$



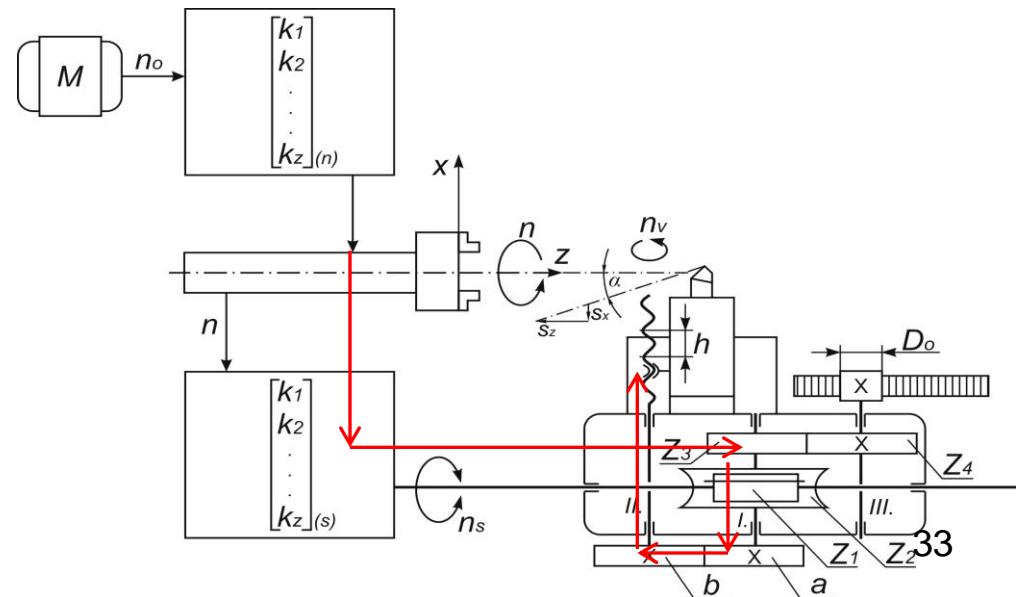
# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa – pomoćno poprečno kretanje ( $s_x$ )

- Uzimajući u obzir kinematsku vezu između glavnog vretena i zavojnog vretena sa slike za  $n=1$  [mm/obrtaju] glavnog vretena, pomoćno kretanje  $s_x$  je:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ s_m \end{bmatrix}_{h_v} = \frac{z_1}{z_2} \frac{a}{b} h_v \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ; \text{ [mm/o]}$$

gde su **a** i **b** izmenljivi zupčanici, čijom zamenom se omogućava izrada konusa u širokom dijapazonu uglova.



# Kinematska struktura strugova

## 2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

Pri izradi konusa ovom metodom postoji kruta kinematska veza između kretanja po X i Z -osi, **Sx = Sztgα** iz koje se dobijaju potrebni izmenljivi zupčanici  $a$  i  $b$  koji omogućavaju izradu konusa za zadati ugao  $\alpha$ . Prema tome izmenljivi zupčanici se određuju kao:

$$\frac{s_x}{s_z} = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\begin{bmatrix} k_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a}{b} \cdot h}{\begin{bmatrix} k_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot D_0 \cdot \pi} = \frac{a}{b} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{h}{D_0 \cdot \pi}$$



$$\frac{a}{b} = \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{D_0 \cdot \pi}{h} \cdot \operatorname{tg}\alpha$$

Rešenje, predstavlja određivanje brojeva zuba zupčanika "a" i zupčanika "b", pri kojima će se rezultujuće kretanje vrha alata ostvariti pod uglom  $\alpha$  koji je jednak  $\frac{1}{2}$  ugla vrha konusa.

# Kinematska struktura strugova

---

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – **Uvodne napomene**

Zavojnice karakteriše dva parametra:

- korak zavojnice;
- profil;

Profil definiše kao i tačnost profila kvalitet profila alata, dok veličinu i tačnost koraka zavojnice određuje struktura i tačnost kinematskog lanca mašine.

Neke od najčešće korišćenih vrsta zavojnica (navoja) su:

- metrički,
- Whithworth-ov i,
- modulni.

# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – **Tipovi navoja**

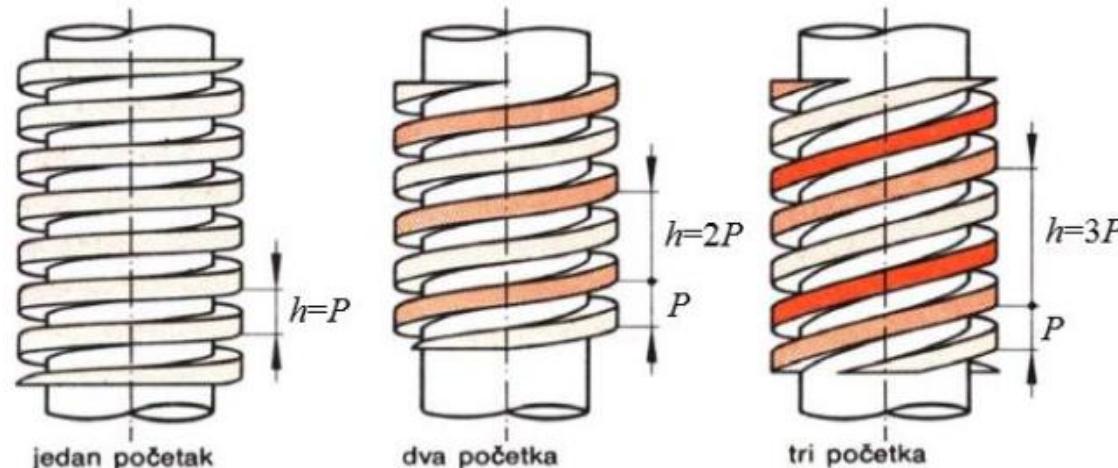
a) Metrička zavojnica (navoj). Kod metričkih navoja pomak je jednak koraku zavojnice  $s = P$ , ako je u pitanju jednohoda zavojnica, odnosno, zavojnica sa jednim početkom.

**$s = h = 2 * P$  – dvohodni navoj**

**$s = h = 3 * P$  – trohodni navoj**

Pomak potreban za izradu navoja u opštem slučaju:

**$s = i * P$ ; [mm/o];** *i - broj početaka, a P – korak navoja (zavojnice)*



Šematski prikaz metričkog navoja (zavojnice) sa jednim, dva i tri početka

# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – **Tipovi navoja**

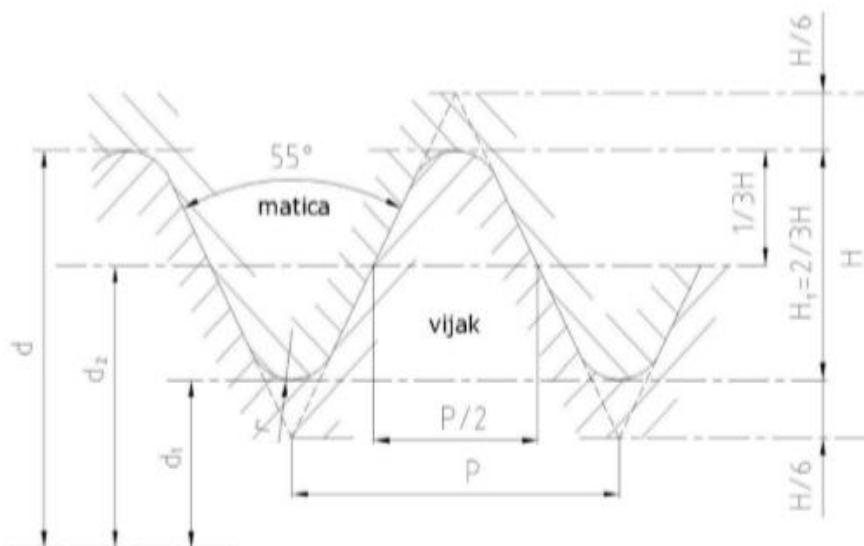
b) Whithworth-ov navoj je jednohodi navoj čiji teorijski profil ima oblik ravnokrakog trougla, a dimezije su izražene u colovnom sistemu mera.

Broj koraka na dužini jednog cola ( $e$ ) je kod ovog navoja najčešće ceo broj. Veza između koraka navoja ( $P$ ) i broja koraka na dužini jednog cola je data izrazom:

$$P^*e = 25,4 \text{ [mm]};$$

Pomak, potreban za izradu ovog navoja definisan je kao:

$$s = P = \frac{1''}{e} = \frac{25,4}{e} \text{ ;[mm/o];}$$



Šematski prikaz Whithworth-ovg navoj

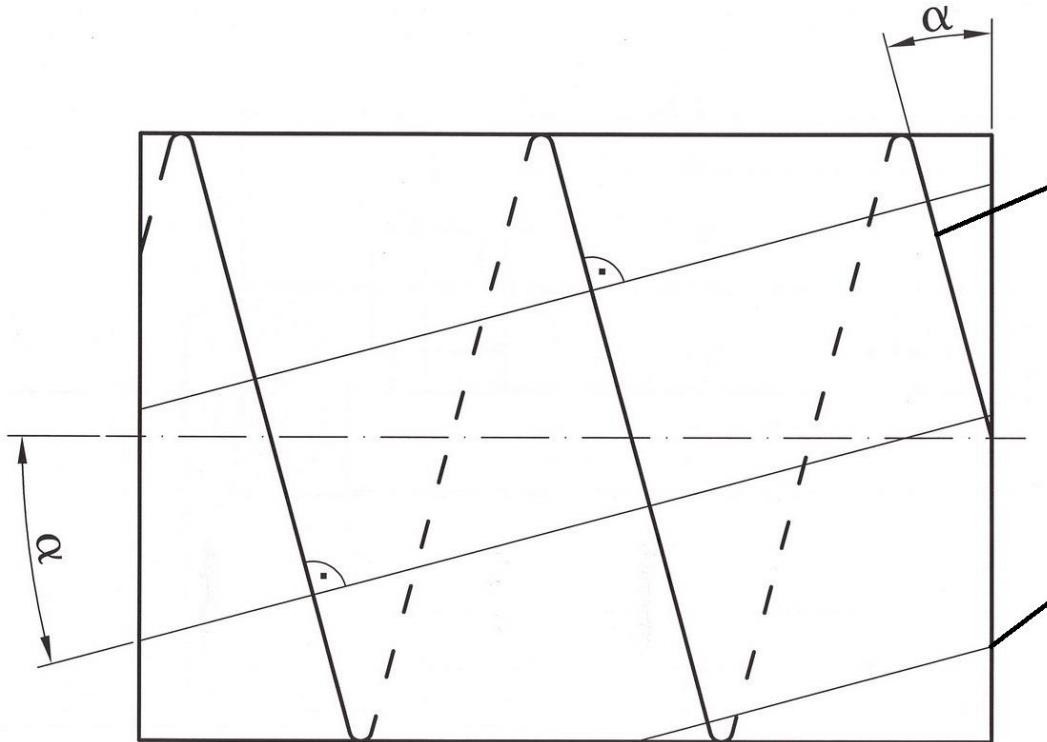
# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – **Tipovi navoja**

### c) Modulna zavojnica (navoj)

Pomak je definsan preko modula zavojnice kao:

$$s = P = i * m * \pi; \quad i - \text{broj početaka zavojnice}, \quad m - \text{moduo zavojnice}$$

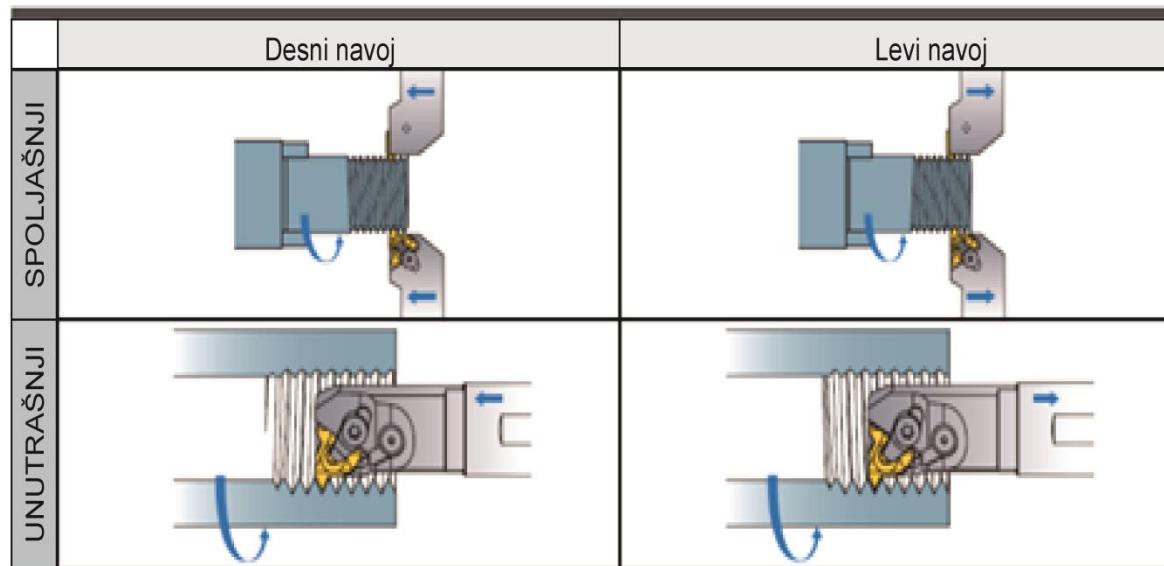


# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – Izrada navoja

Izrada navoja struganjem je najčešći način izrade navoja, pri čemu pokriva širok opseg profila navoja.

Struganjem se može raditi spoljašnji i unutrašnji navoj



*Izrada spoljašnjeg i unutrašnjeg navoja struganjem*

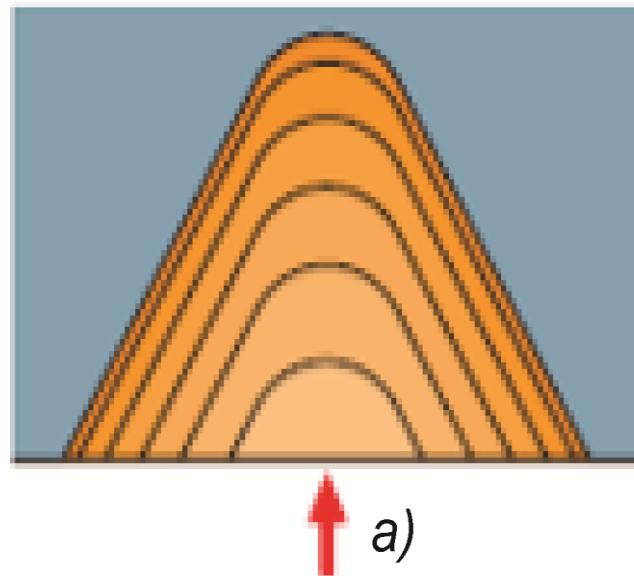
# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – Izrada navoja

Način na koji se navoj izrađuje utiče na njegov kvalitet, kao i na postojanost alata, intenzitet vibracija koje se javljaju tokom obrade.

Načini ulaza alata u radni predmet kod struganja navoja mogu biti:

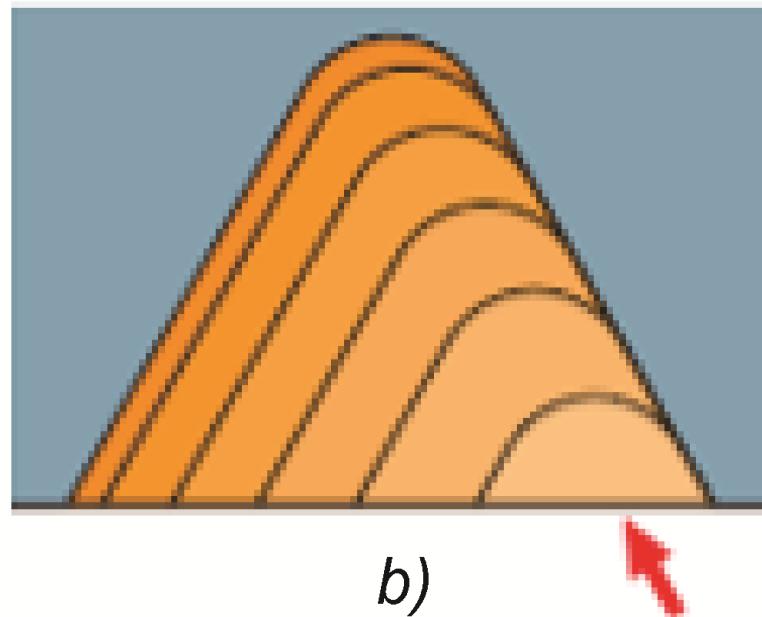
a) **Radijno primicanje (radijlani pomak.)** Ulaz alata je po sredini profila, tako da se pločica haba podjednako sa obe strane. Ovaj način se koristi za navoje koji imaju korak do 1.5 [mm]. Radijalno primicanje se najčešće koristi kod završne obrade.



# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – Izrada navoja

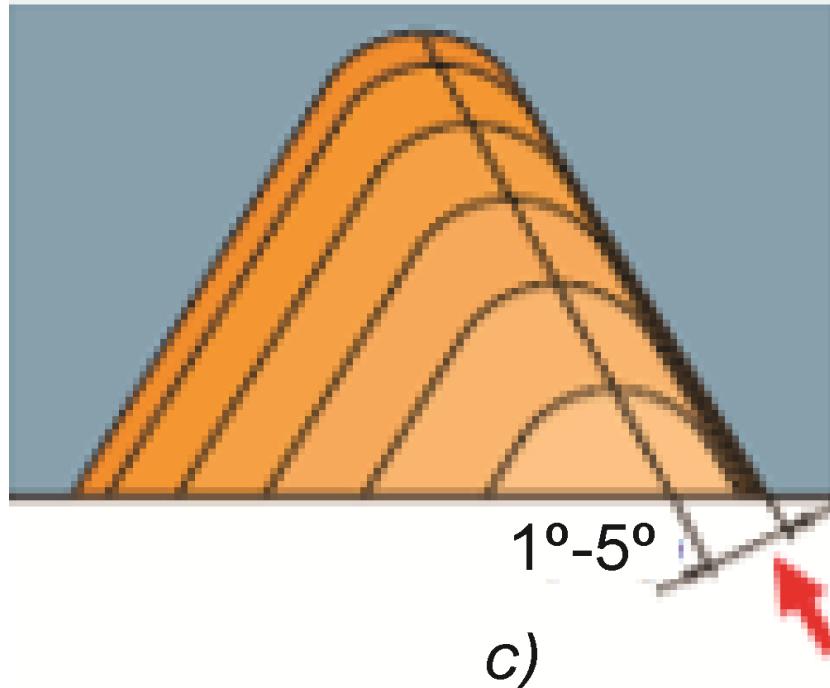
**b) Bočno primicanje alata (Primicanje paralelno boku profila)** Ovaj način struganja navoja je relativno jednostavn za korišćenje (postoje polustandardni programi za rezanje navoja), pri čemu se redukuju sile rezanja. Nedostaci ove metode se ogledaju u velikom bočno trenju desne strane reznog dela alata i relativno teškoj promeni dubine rezanja. Ovaj način primicanja se koristi kod grube obrade, čime se postiže odvajanje strugotine samo s jedne strane.



# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – Izrada navoja

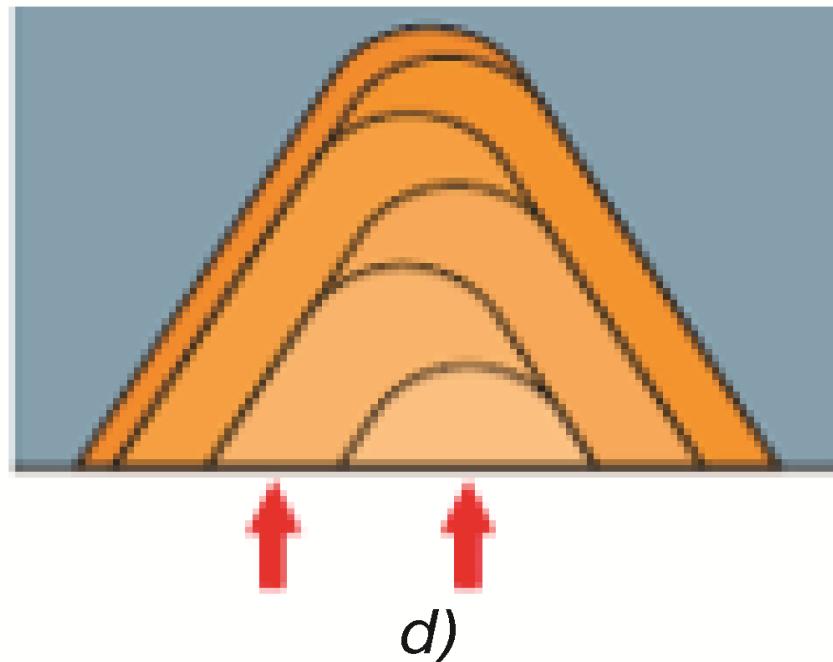
c) **Modifikovano bočno primicanje alata.** Ulazi se s jedne strane profila navoja i prati se njegov ugao, prema sredini. Na taj način se smanjuju vibracije koje se javljaju pri struganju navoja i smanjuje se toplota generisana pri rezanju jer alat nije punom bočnom površinom u zahvatu.



# Kinematska struktura strugova

## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – Izrada navoja

c) **Inkrementalno primicanje.** Rezna pločica ulazi u radni predmet različitim pomakom. Ovaj način izrade se koristi uglavnom kod struganja navoja velikih profila. Prednost je podjednako habanje rezne pločice te s time povezana i veća postojanost alata.

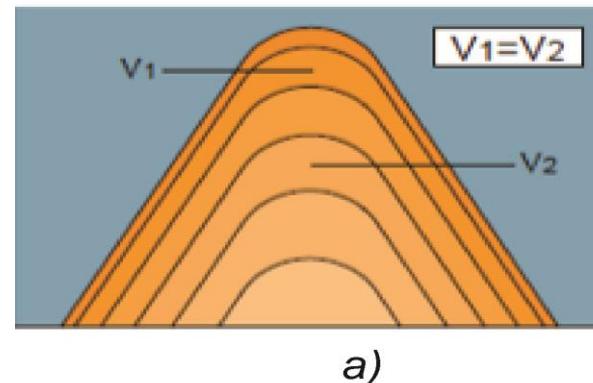


# Kinematska struktura strugova

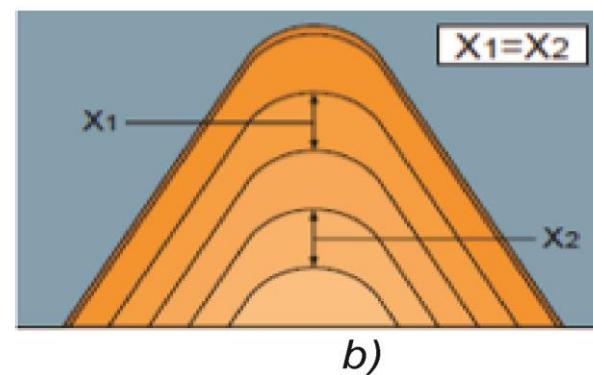
## 4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – Dubina rezanja navoja

Postoje dva prilaza pri zauzimanju dubine rezanja, a od njih zavisi postojanost alata, kompleksnost programiranja i broj potrebnih prolaza.

- a) Konstantna vrednost poprečnog preseka strugotine (konstantna površina rezanja)



- b) Konstantna vrednost dubine rezanja

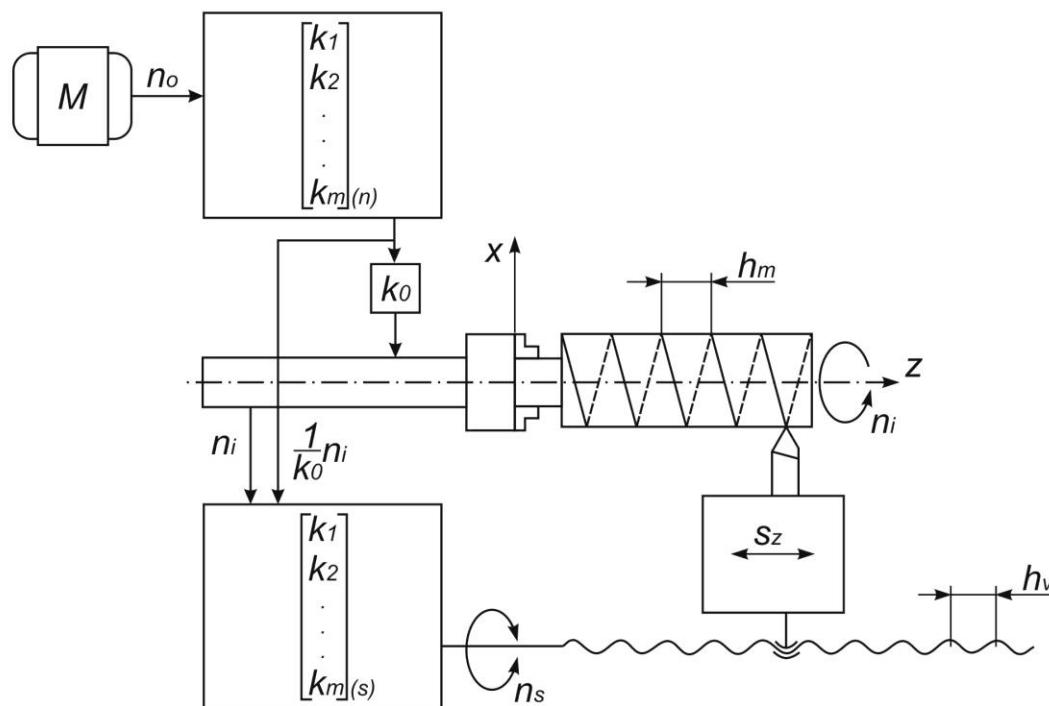


Slika 3.14 Definisanje dubine rezanja kod struganja navoja

# Kinematska struktura strugova

## 4. Strug za izradu zavojnica

Od strugova za izradu zavojnica na prvom mestu dolaze u obzir univerzalni strugovi i strugovi sa vodećim vretenom, gde vodeće vreteno obezbeđuje, zajedno sa odgovarajućim zupčastim prenosom strogu zavisnost između glavnog i pomoćnog kretanja.



Kinematska struktura struga za izradu zavojnica

# Kinematska struktura strugova

## 4. Strug za izradu zavojnica – **Glavno kretanje**

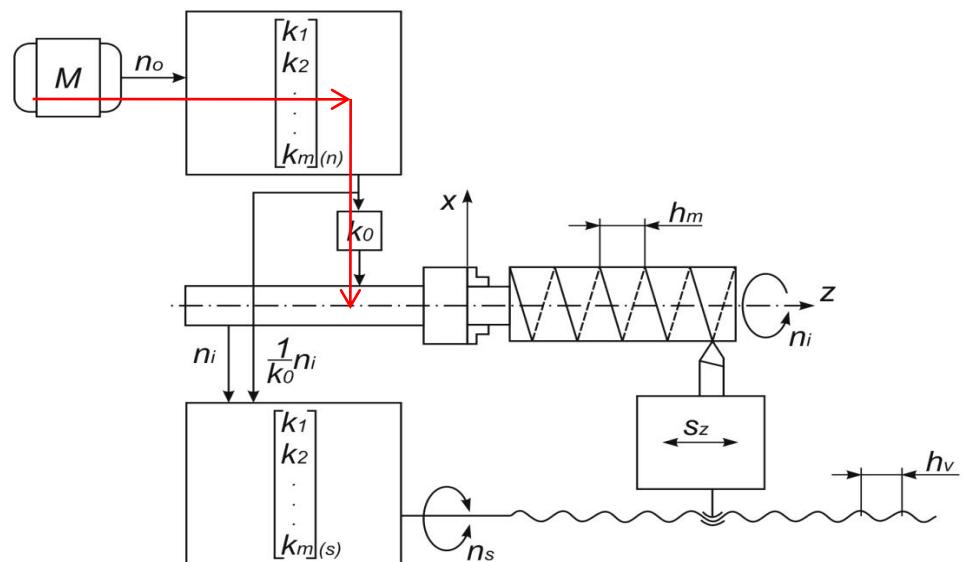
Uspostavljanje potrebnog broja obrtaja glavnog vretena se vrši preko kinematskog lanca:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 k_0 \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \vdots \\ k_{m(n)} \end{bmatrix}; [\text{o/min}]$$

prenosni faktor  $k_0$  je:

$$k_0 = \frac{n_i}{n_{em} \cdot k_{in}}$$

$n_i$  – neki od mogućih brojeva obrtaja glavnog vretena ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), a  $k_{in}$  - neki od raspoloživih prenosnih faktora prenosnika za glavno kretanje ( $i = 1, 2, \dots, m$ )<sub>n</sub>.



# Kinematska struktura strugova

## 4. Strug za izradu zavojnica – Pomoćno kretanje

Red pomaka (koraka) kod strugova za izradu zavojnica mora odgovarati redu standardnih koraka navoja.

Opšti princip izrade zavojnica na strugu sastoji se u tome što pri jednom obrtu radnog predmeta, odnosno glavnog vretena, nosač alata posredstvom vodećeg vretena mora da pređe put jednak jednom koraku zavojnice ( $h$ ) koja se izrađuje.

$$\underline{s = h = i^*P}; \text{ - metrička zavojnica (navoj)}$$

$$s = h = \frac{1''}{e} = \frac{25,4}{e} \quad - \underline{\text{Whithworth-ov zavojnica}} \\ \text{(navoj)}$$

$$\underline{s = h = i^*m^*\pi} \quad - \text{modulna zavojnica (navoj)}$$

[mm/o]

# Kinematska struktura strugova

## 4. Strug za izradu zavojnica – Pomoćno kretanje

Ako se kinematski lanac za pomoćno kretanje definiše od glavnog vretena, preko prenosnika za pomoćno kretanje definisanog matricom  $k_{m(s)}$ , do zavojnog vretena, reč je o **direktnom kinematskom lancu**.

Izrada zavojnice normalnog koraka:

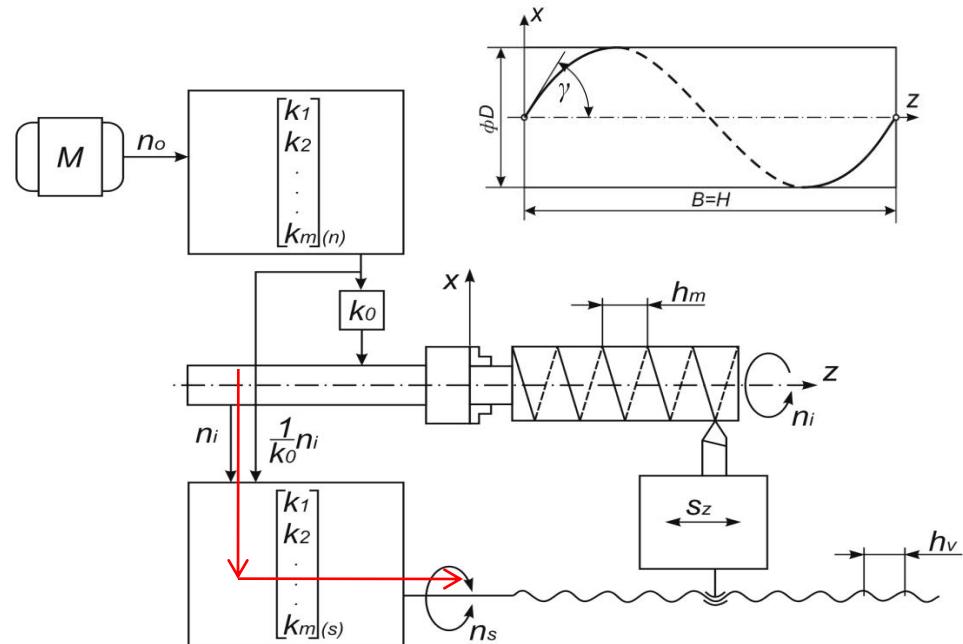
$$s_z = n_v h_v; [mm/o]$$

Broj obrtaja zavojnog vretena  $n_v$ :

$$n_v = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)}; [o/min]$$

Za  $n=1$  i  $s_z = h$  pri izradi metričkog navoja pomak je:

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{bmatrix} = h_v \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)}; [mm/o]$$



# Kinematska struktura strugova

## 4. Strug za izradu zavojnica – Pomoćno kretanje

Ako se kinematski lanac definiše od glavnog vretena, preko **prenosnog faktora  $k_0$** , i prenosnika za pomoćno **kretanje definisanog matricom  $k_{m(s)}$**  do zavojnog vretena, onda se na dатој машини реализује обрада **navoja sa velikim korakom**.

Izrada zavojnice velikog koraka:

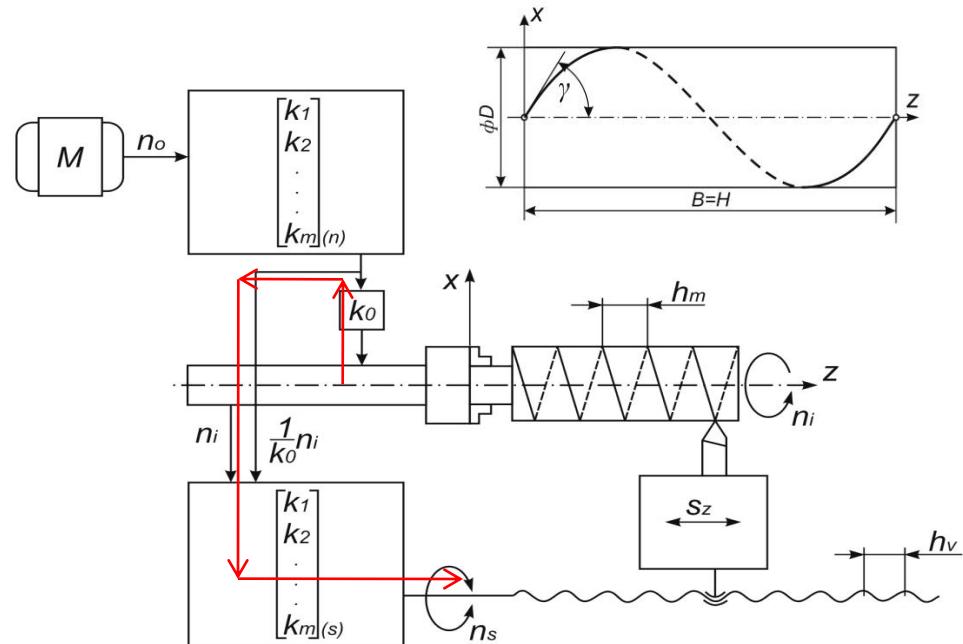
$$s_z = n_v h_v; [mm/o]$$

Broj obrtaja zavojnog vretena  $n_v$ :

$$n_v = n \frac{1}{k_0} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)}; [o/min]$$

Za  $n=1$  i  $s_z = h$  pri izradi metričkog navoja pomak je:

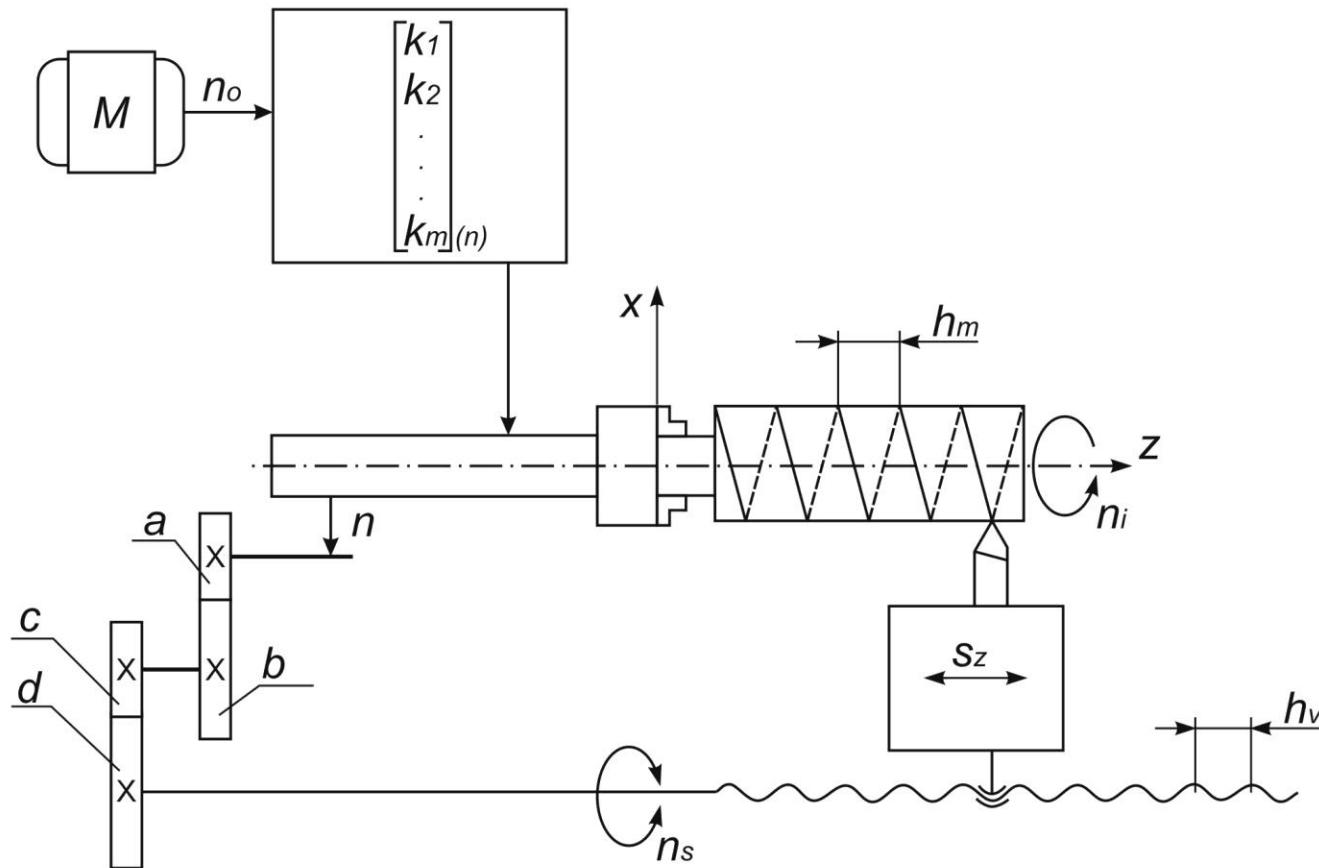
$$\begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ . \\ h_m \end{bmatrix} = h_v \frac{1}{k_0} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)}; [mm/o]$$



# Kinematska struktura strugova

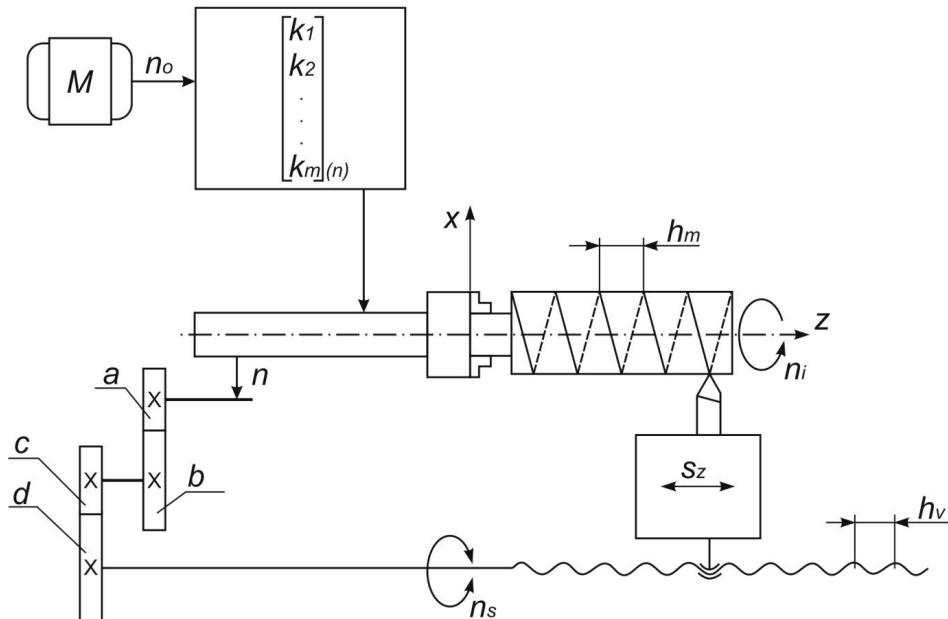
## Strug za izradu zavojnica sa izmenljivim zupčanicima

Na ovom strugu se može izrađivati zavojnica bilo kog koarka, ako postoji mogućnost izbora i postavljanja potrebnih izmenljivih zupčanika (a, b, c, d)



# Kinematska struktura strugova

Strug za izradu zavonica sa izmenljivim zupčanicima



Glavno kretanje

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \vdots \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}(n)$$

Pomoćno kretanje:

Prenosni faktor izmenljivih zupčanika

$$n \cdot h_m = n_s \cdot h_v$$

$$n_s = k \cdot n = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot n$$

$$k = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{n_s}{n} = \frac{h_m}{h_v}$$

$$k = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

# Kinematska struktura glodalica

---

Ravne površine se u principu realizuju metodama obrade:

- glodanje;
- rendisanje;
- ravno brušenje;

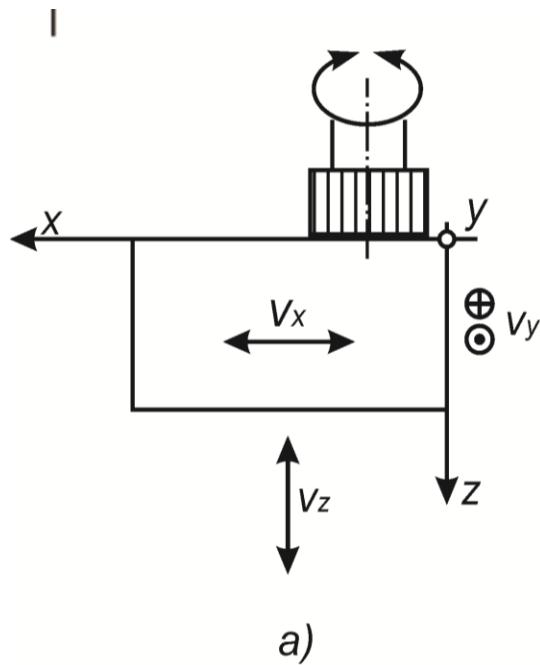
pri čemu prve dve metode predstavljaju prethodnu, odnosno u nekim slučajevima i završnu obradu, a poslednja je, u principu, metoda završne obrade navedenih površina.

# Kinematska struktura glodalica

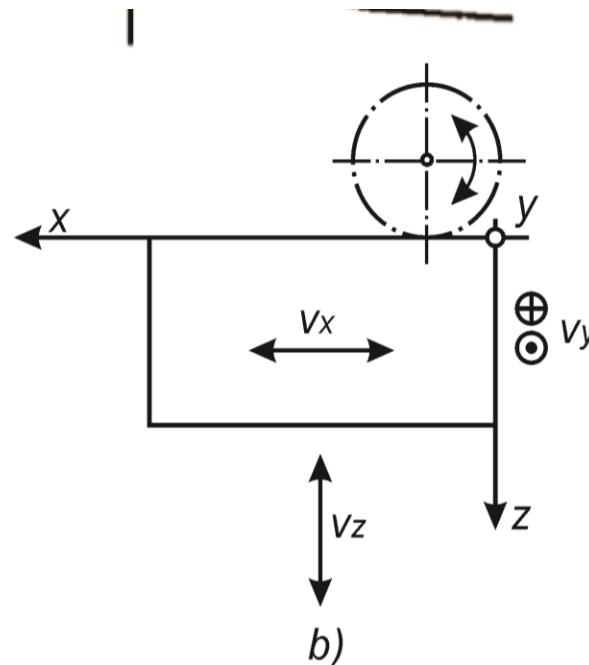
## Mašine za obradu glodanjem

Služe za obradu ravnih površina višesetečnim alatom, pri čemu **alat izvodi glavno obrtno, a obradak pomoćno pravolinijsko kretanje.**

Postoje dve osnovne vrste obrade glodanjem: čeono i obimno.



Čeono glodanje



Obimno glodanje

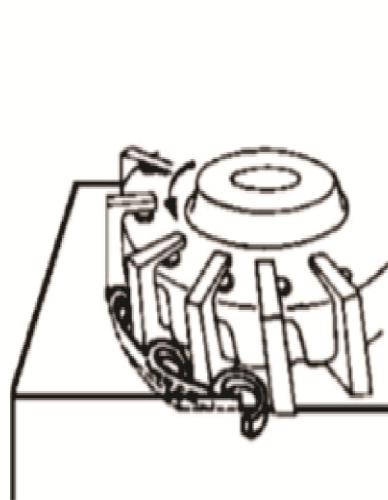
# Kinematska struktura glodalica

## Mašine za obradu glodanjem

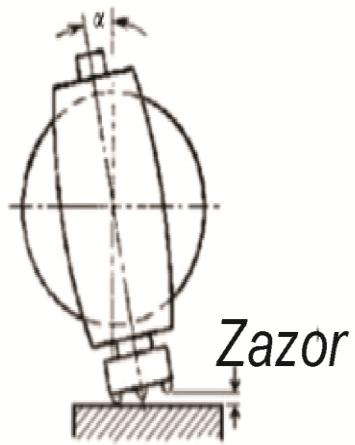
Pri čeonom glodanju, obrađena površina je pod pravim uglom u odnosu na osu glodala.

Kod obimnog glodanja, rezanje se vrši pomoću zuba raspoređenih po obimnoj površini glodala, a obrađena površina je paralelna sa osom glodala. Obimno glodanje se obično izvodi na horizontalnim glodalicama.

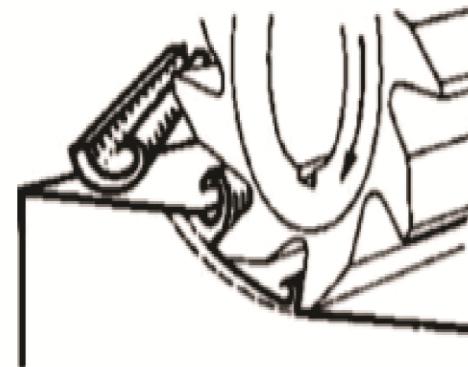
Kod obimnog glodanja mogu se razlikovati dva tipa kretanja alata u odnosu na radni predmet: suprotnosmerno i istosmerno glodanje.



Čeono glodanje



Zazor



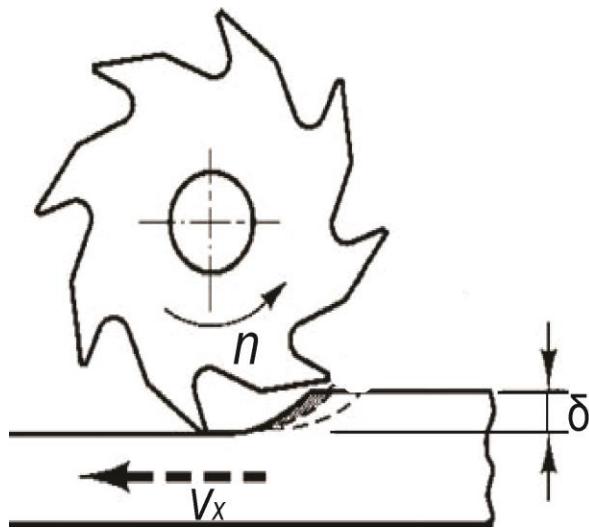
Obimno glodanje

# Kinematska struktura glodalica

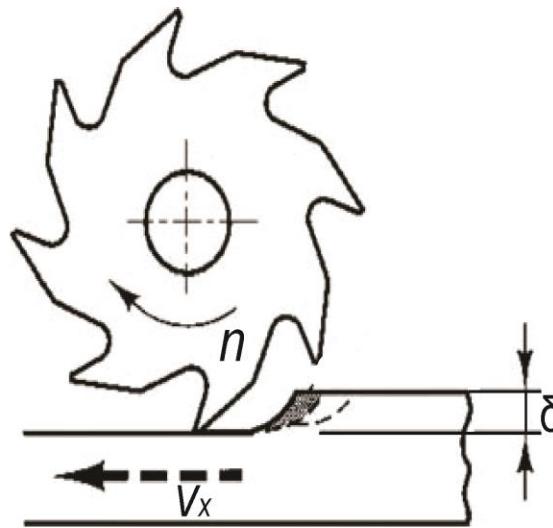
## Mašine za obradu glodanjem

Kod suprotnosmernog glodanja glodalo se kreće u smeru suprotnom od smera kretanja radnog predmeta (materijala).

Pri istosmernom glodanju zubi glodala i radni predmet imaju isti smer kretanja. Zub po ulasku u materijal zadire naglo pri najvećoj debljini strugotine koja se zatim pri daljem kretanju zuba sve više smanjuje.



Suprotnosmerno glodanje



Istosmerno glodanje

# Kinematska struktura glodalica

## Mašine za obradu glodanjem – Alati za glodanje

Alat za glodanje je **glodalo definisane geometrije reznog dela**, sa više glavnih reznih ivica koje su smeštene na zubima glodala.

Rezne ivice periodično ulaze u zahvat s predmetom koji se obrađuje i izlaze iz njega, tako da im je dinamičko opterećenje jedno od osnovnih obeležja.

Postoji više kriterijuma podele glodala, ali se ona najčešće dele prema **načinu izrade, obliku i nameni**.



- a) Valjkasto glodalo
- b) Testerasto glodalo
- c) Konusno glodalo
- d) Profilno glodalo
- e) Čeono valjakot glodalo
- f) Glava za glodanje
- g) Čeono vretenasto glodalo
- h) Vretenasto loptasto glodalo
- i) Vretenasto glodalo za izradu T – žljebova
- j) Glodala za navoj

## Mašine za obradu glodanjem – **Podela**

Grupisanje glodalica se može izvršiti prema različitim kriterijumima kao što su.

a) *Prema položaju ose glavnog vretena na:*

- horizontalne i
- vertikalne.

b) *Prema dužini hoda radnog stola (veličini obradaka, robusnosti konstrukcije) glodalice mogu biti:*

- konzolne i
- dugohodne (portalne).

Posebnu grupu čine glodalice za obradu specijalnih oblika površina (zavojnica, zupčanika, ...)

# Kinematska struktura glodalica

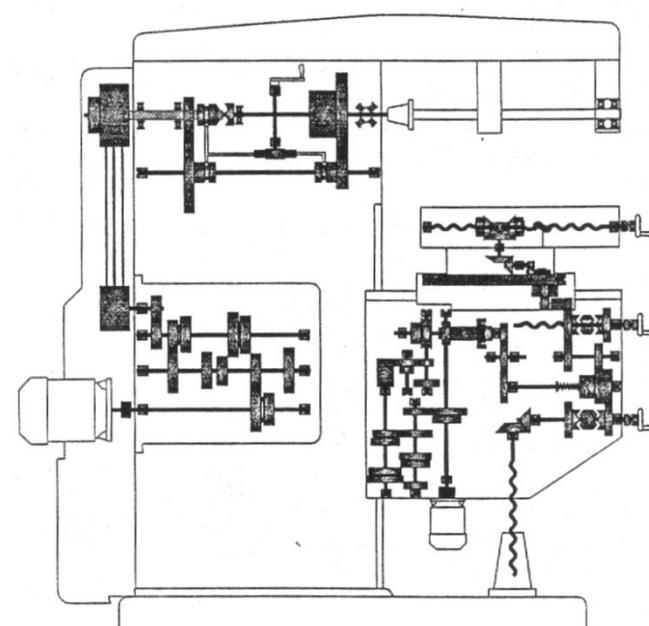
## Kinematska struktura konzolnih glodalica

Konzolne glodalice služe za obradu obradaka malih i srednjih veličina. Osnovna im je karakteristika da imaju konzolu pokretnu u vertikalnom pravcu na kojoj se nalaze poprečni klizač i radni sto (uzdužni klizač) pomerljivi u horizontalnoj ravni.

Obradak je stegnut na radni koji je pokretan u tri međusobno normalna pravca, dok glavno vreteno miruje u prostoru i vrši glavno obrtno kretanje.

Prema položaju glavnog vretena mogu biti:

- **horizontalne** i
- **vertikalne.**



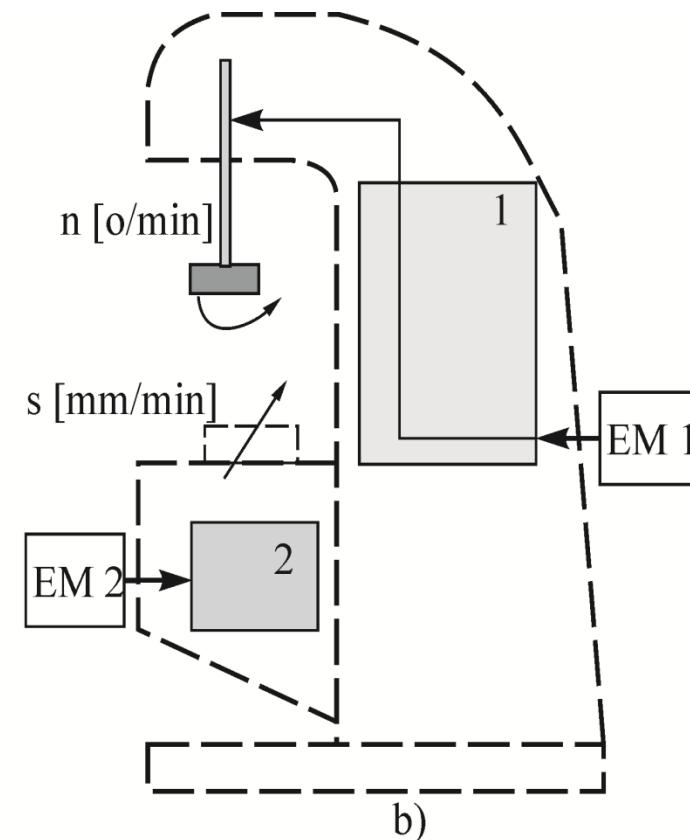
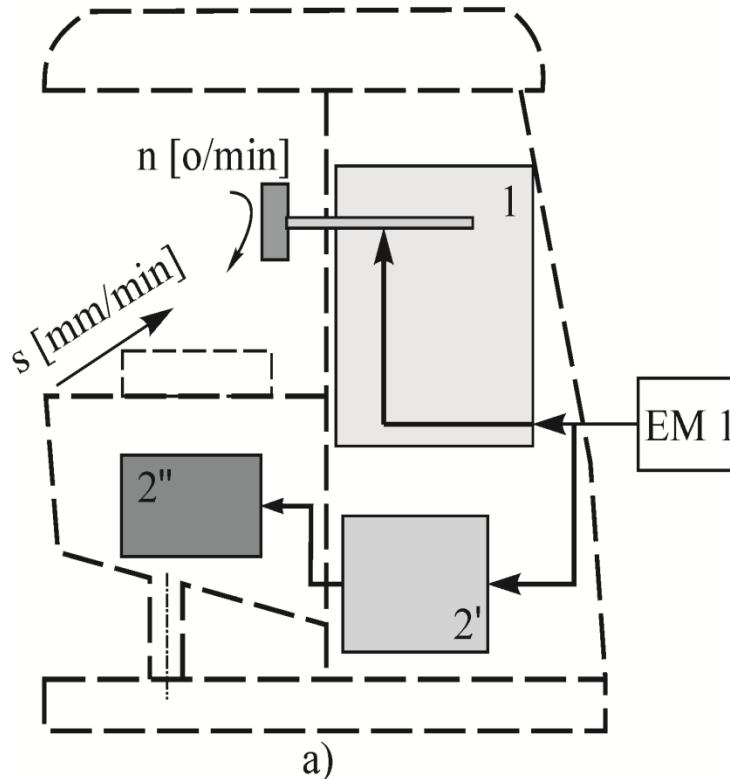
Horizontalna konzola glodalica

# Kinematska struktura glodalica

## Kinematska struktura konzolnih glodalica

Pomoćno kretanje kod glodalica je potpuno nezavisno od glavnog.

Kod konzolnih glodalica za pogon pomoćnog kretanja se mogu koristiti dva načina: *zajednički ili odvojeni pogonski elektromotor.*



Šematski prikaz konzolne glodalice: a) sa zajedničkim; b) odvojenim elektromotorom

# Kinematska struktura glodalica

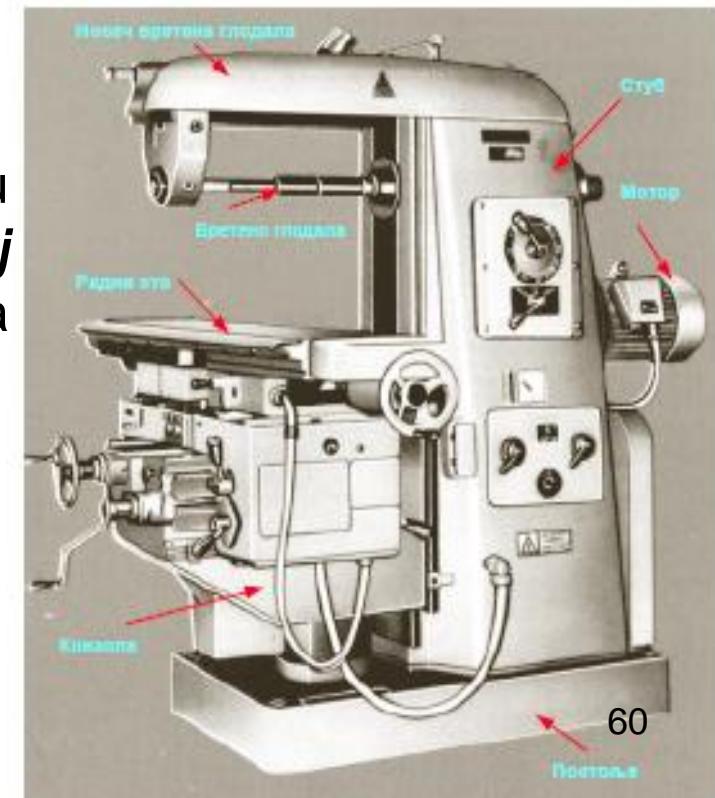
## Kinematska struktura konzolnih glodalica – **Horizontalne glodalice**

**Horizontalne glodalice** su namenjene za obradu ravnih površina obimnim glodanjem, za izradu žljebova, za usecanje ili odsecanje testerastim glodalima, kao i za izradu zavojnih žljebova ili zupčanika pojedinačnim glodanjem, modulskim glodalima primenom podeonog aparata.

Glavno obrtno kretanje izvodi glavno vreteno sa glodalom.

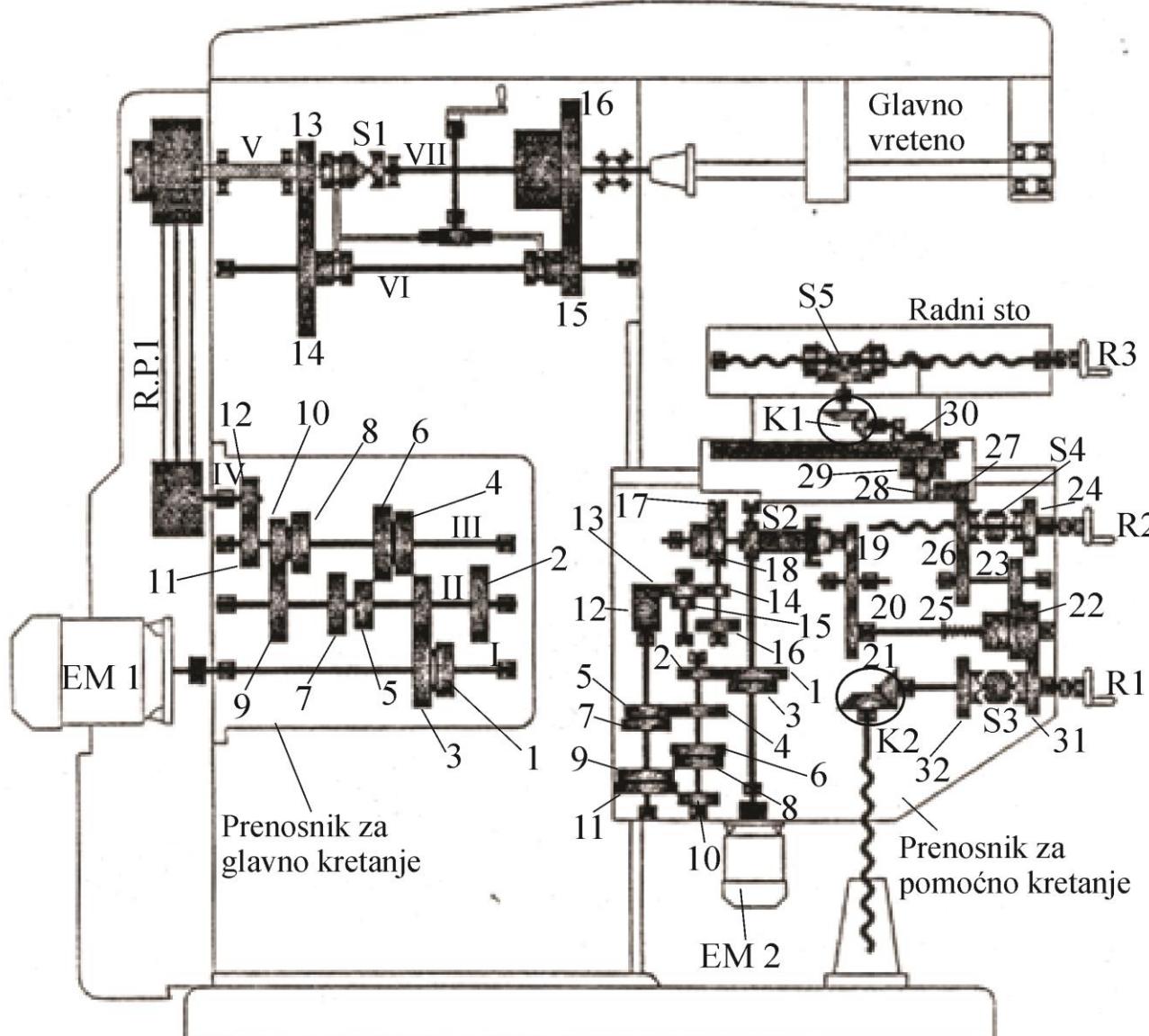
Radni sto maštine (sa radnim premetom) izvodi pomoćno pravolinijsko kretanje u uzdužnom ili poprečnom pravcu.

Ako se radni sto može zakretati u horizontalnoj ravni tada je reč o **univerzalnoj glodalici**, koja pored prethodnih operacija omogućuje izradu zavojnih žljebova.



# Kinematska struktura glodalica

## Kinematska struktura konzolnih glodalica – **Horizontalne glodalice**



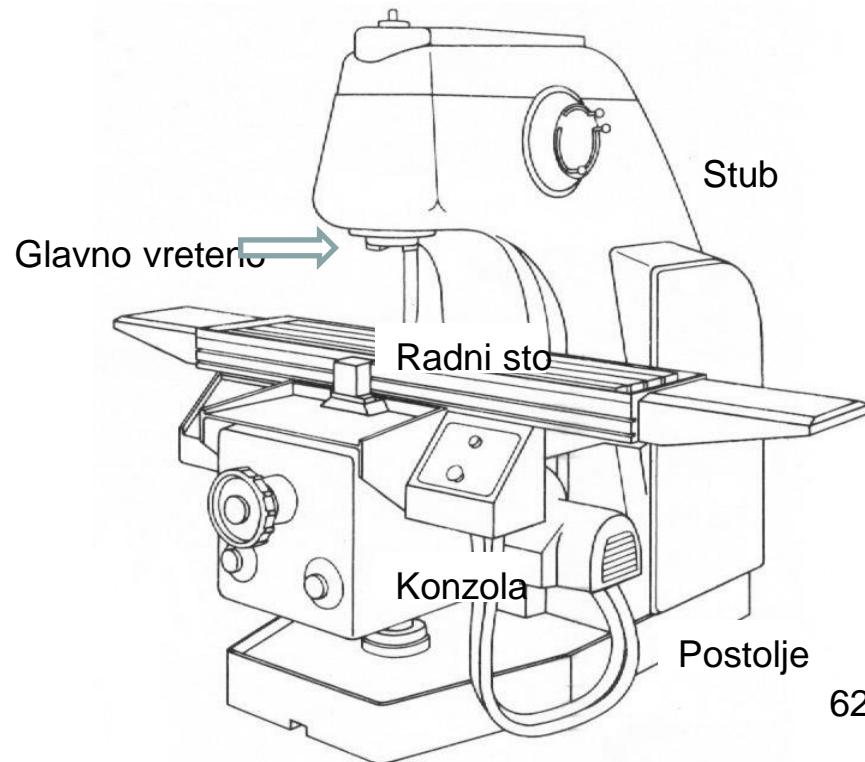
Šematski prikaz horizontalne glodalice

# Kinematska struktura glodalica

## Kinematska struktura konzolnih glodalica – Vertikalne glodalice

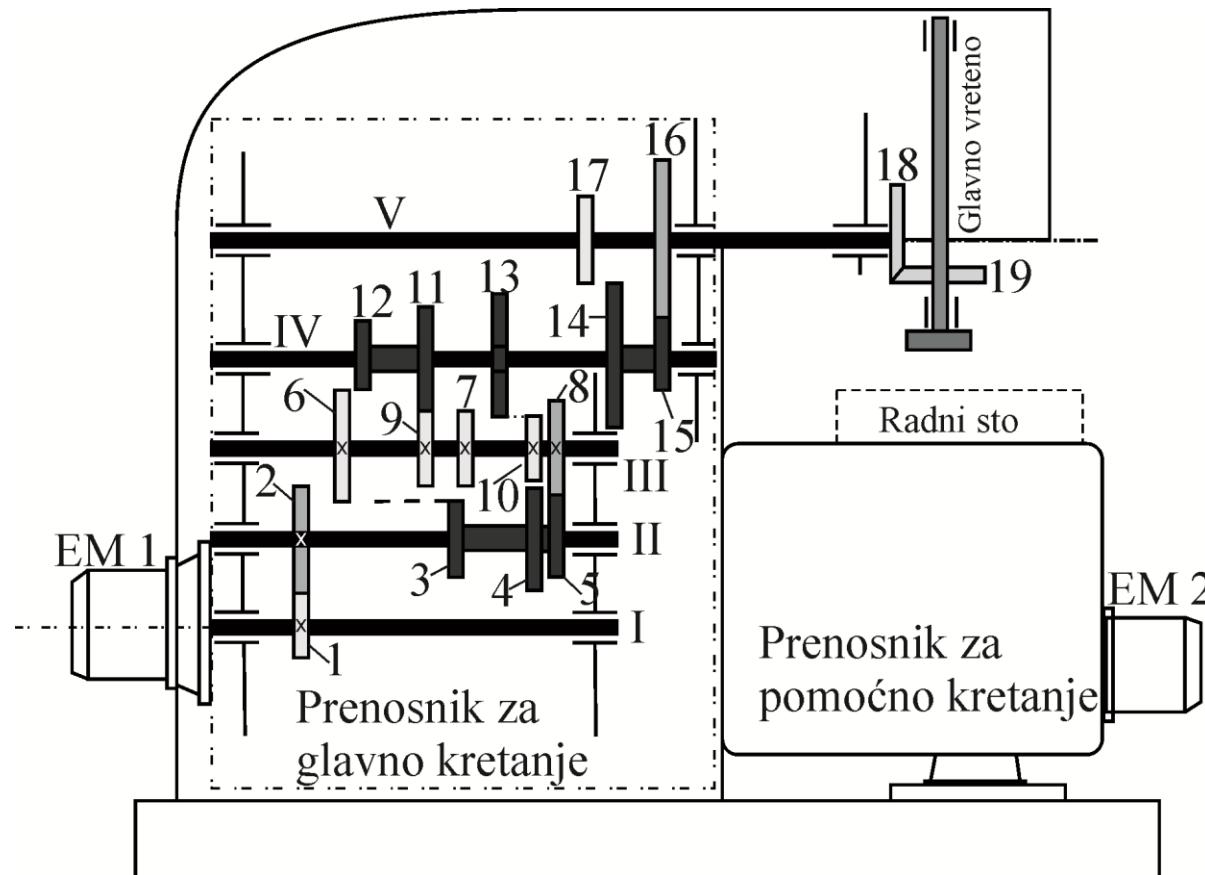
Vertikalna glodalica ima vertikalno glavno vreteno koje se nalazi na nosaču glavnog vretna obrtnom oko horizontalne ose.

Namenjene su pored obrade ravnih površina glavama za glodanje i za obradu vertikalnih rupa, izradu zavojnih žljebova.



# Kinematska struktura glodalica

## Kinematska struktura konzolnih glodalica – Vertikalne glodalice



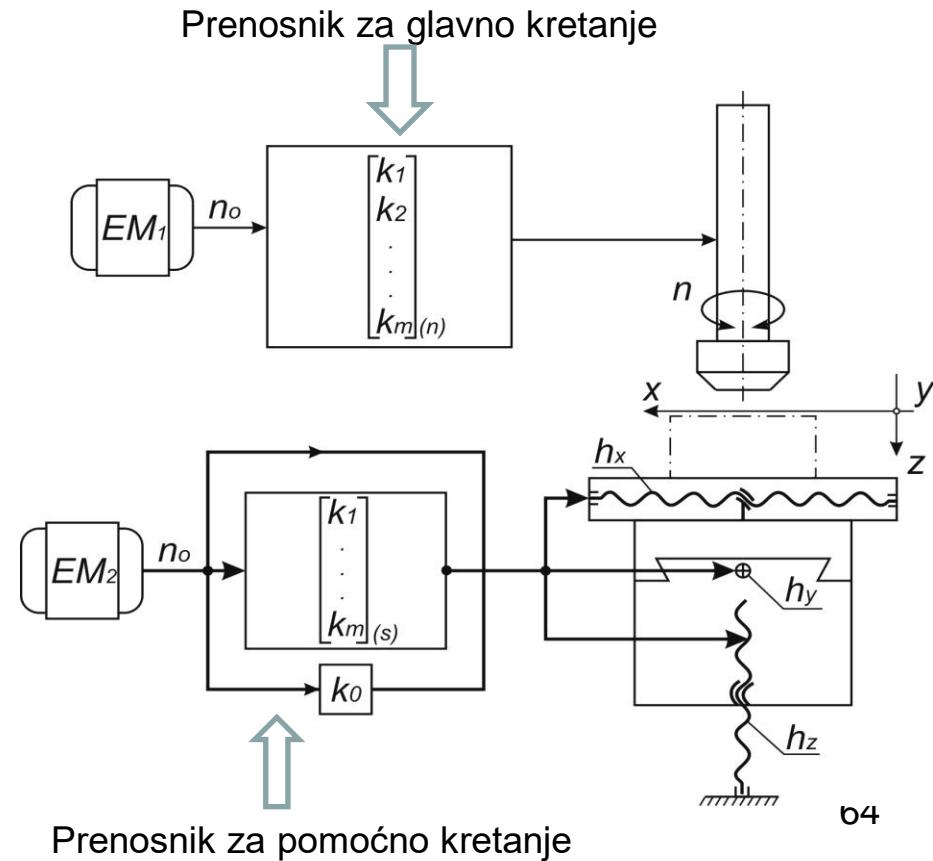
Šematski prikaz prenosnika za glavno kretanje  
vertikalne glodalice

# Kinematska struktura glodalica

## Kinematska struktura konzolnih glodalica – Vertikalne glodalice – **Glavno kretanje**

Potrebni brojevi obrtaja glavnog kretanja za tražene brzine rezanja  $v_i = n_i \pi D_a$ , ( $i=1,2,\dots,m$ )<sub>(n)</sub> se mogu dobiti kao:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ n_m \end{bmatrix}_n = n_{oEM_1} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_n ; [o/min]$$

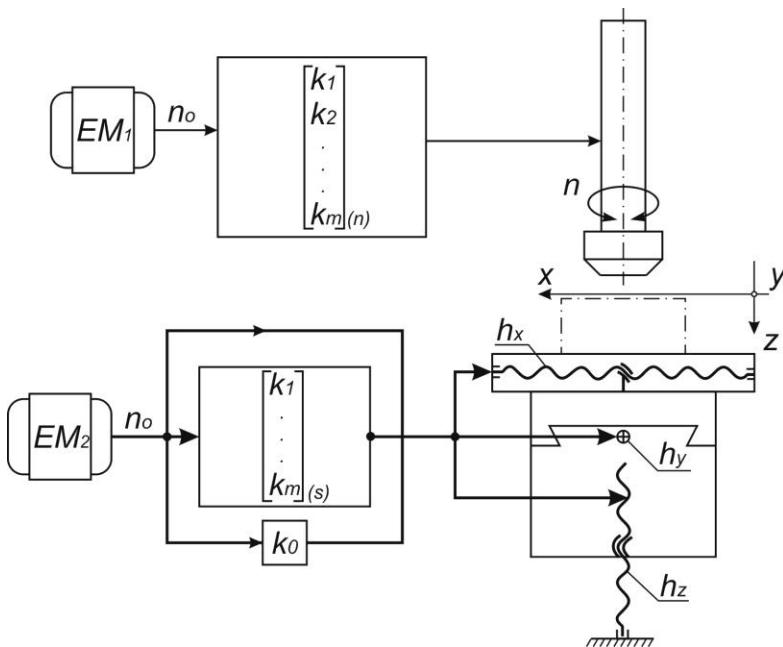


## Kinematska struktura konzolnih glodalica – Vertikalne glodalice – Pomoćno kretanje

Pomoćno kretanje obično ima sledeće brzine: brzi hod; radni hod; puzeći hod;

Radni hod:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix}_{Sx} = n_{em_2} \cdot h_x \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_s ; \quad \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix}_{Sy} = n_{em_2} \cdot h_y \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_s ; \quad \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix}_{Sz} = n_{em_2} \cdot h_z \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_s$$



Brzi hod:

$$v_{bx} = n_{oem_2} \cdot h_x \text{ [mm/min]}$$

$$v_{by} = n_{oem_2} \cdot h_y \text{ [mm/min]}$$

$$v_{bz} = n_{oem_2} \cdot h_z \text{ [mm/min]}$$

Puzeći hod:

$$v_{px} = n_{oem_2} \cdot k_0 \cdot h_x \text{ [mm/min]}$$

$$v_{py} = n_{oem_2} \cdot k_0 \cdot h_y \text{ [mm/min]}$$

$$v_{pz} = n_{oem_2} \cdot k_0 \cdot h_z \text{ [mm/min]} \quad 65$$

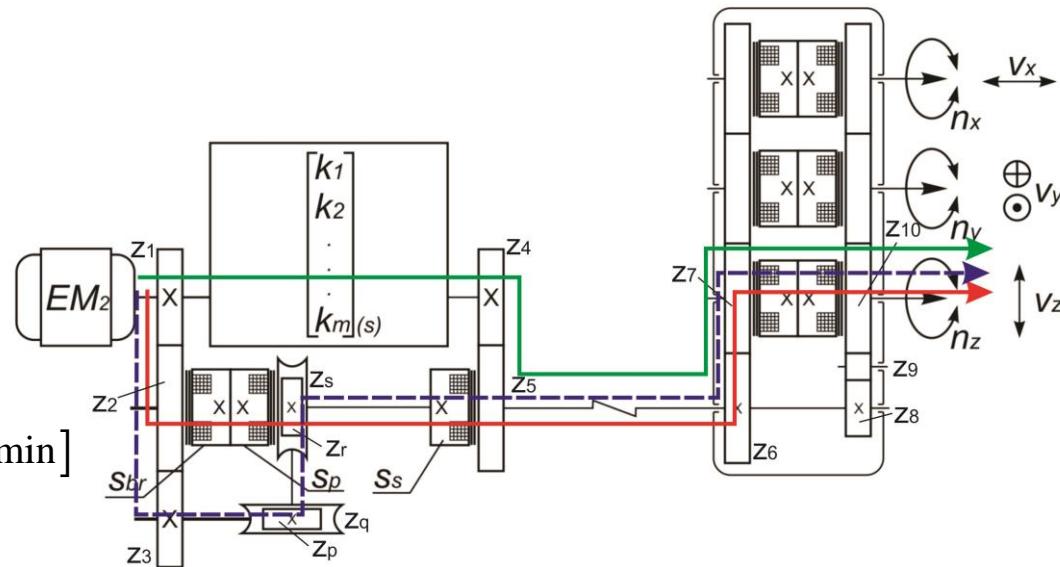
## Kinematska struktura konzolnih glodalica – Vertikalne glodalice – Pomoćno kretanje

Brzi hod pomoćnog kretanja u  $Z$  pravcu:

$$v_{bz} = n_{em_2} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_7} ili \left( \frac{z_8}{z_{10}} \right) \cdot h_z; [m/min]$$

Puzeći hod pomoćnog kretanja u  $Z$  pravcu :

$$v_{pz} = n_{em_2} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_p}{z_q} \cdot \frac{z_r}{z_s} \cdot \frac{z_6}{z_7} ili \left( \frac{z_8}{z_{10}} \right) \cdot h_z; [m/min]$$



Radni hod u pravcu  $Z$  ose:

$$v_{rz} = n_{em_2} \cdot h_z \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_6}{z_7} ili \frac{z_8}{z_{10}}; [m/min]$$

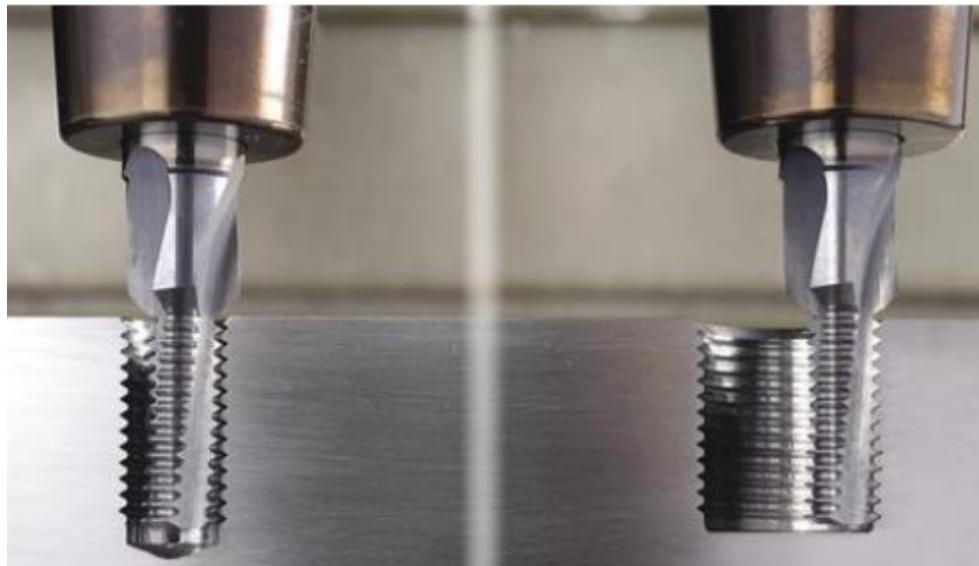
# Kinematska struktura glodalica

## Izrada zavojnica (navoja) na glodalici

Izrada zavojnica na glodalici je zahvat obrade sa kojim se može postići ekonomična izrada kako kratkohodnih tako i dugohodnih zavojnica zavisnosti od oblika alata i konstrukcije mašine.

Značajna prednost izrade zavojnica glodanjem se ogleda u mogućnosti izrade leve i desne zavojnice istim alatom.

Moguća je i obrada različitih prečnika istim alatom, a da se pri tome ne menja profil ni korak zavojnice.



*Glodanje unutrašnjeg navoja različitih prečnika istim alatom*

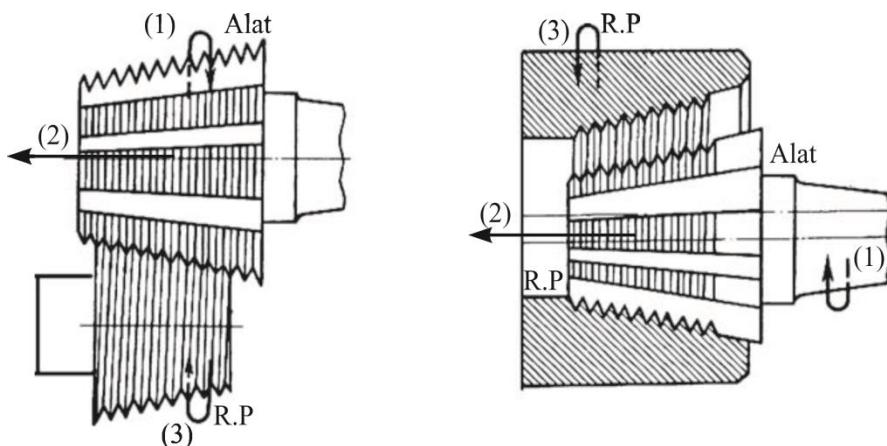
# Kinematska struktura glodalica

## Izrada zavojnica (navoja) na glodalici – Kratkohodne zavojnice

Alat za zavojnice manjeg koraka ima paralelno profilisane žljebove umesto zavojnih žljebova.

Alat (1) - glavno obrtno kretanje i aksijalno pomoćno kretanje (2)

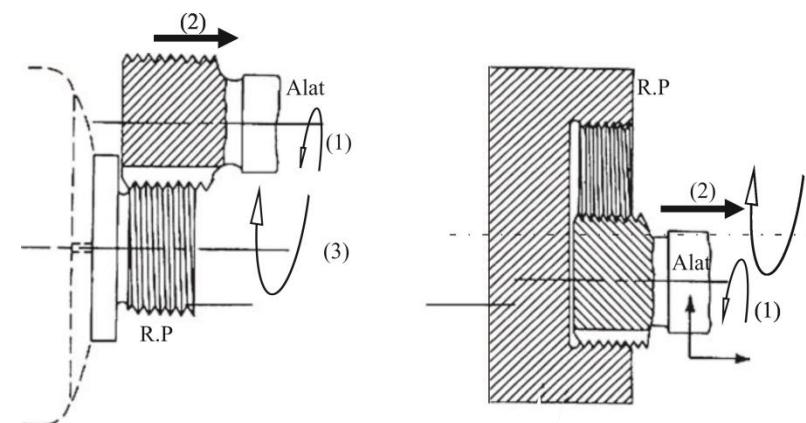
Radni predmet - pomoćno obrtno kretanje (3),..



*Izrada spoljašnje i unutrašnje zavojnice pri obrtnom kretanju radnog predmeta*

Alat (1) - glavno obrtno kretanje, aksijalno pomoćno kretanje (2) i pomoćno obrtno kretanje (3)

Radni predmet - stacionaran



*Izrada spoljašnje i unutrašnje zavojnice pri planetarnom kretanju alata*

# Kinematska struktura glodalica

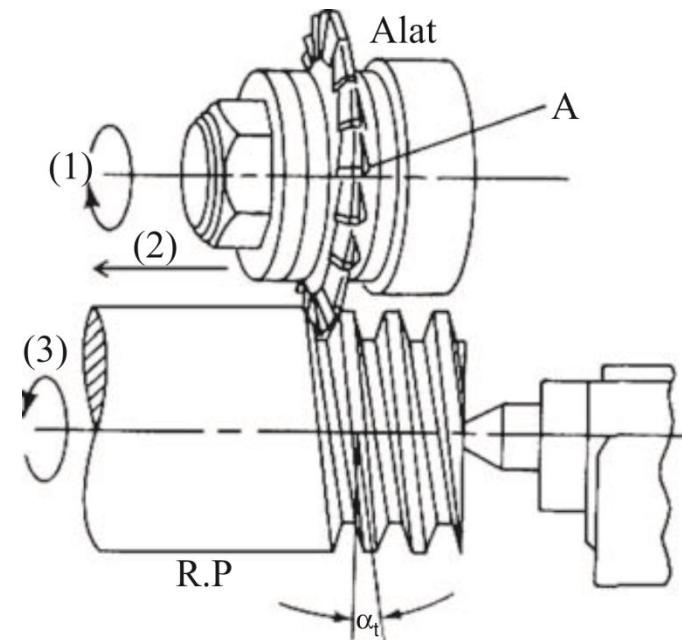
## Izrada zavojnica (navoja) na glodalici – Dugohodne zavojnice

Dugohodne zavojnice, odnosno zavojnice velikog koraka izrađuju se na univerzalnoj glodalici pomoću podeonog aparata.

Kao alat za izradu dugohodnih zavojnica koristi se specijalno koturasto glodal.

**Alat** - glavnog obrtnog kretanja (1) i  
aksijalno pomoćno kretanje (2)

**Radni predmet** - obrtno pomoćno  
kretanje

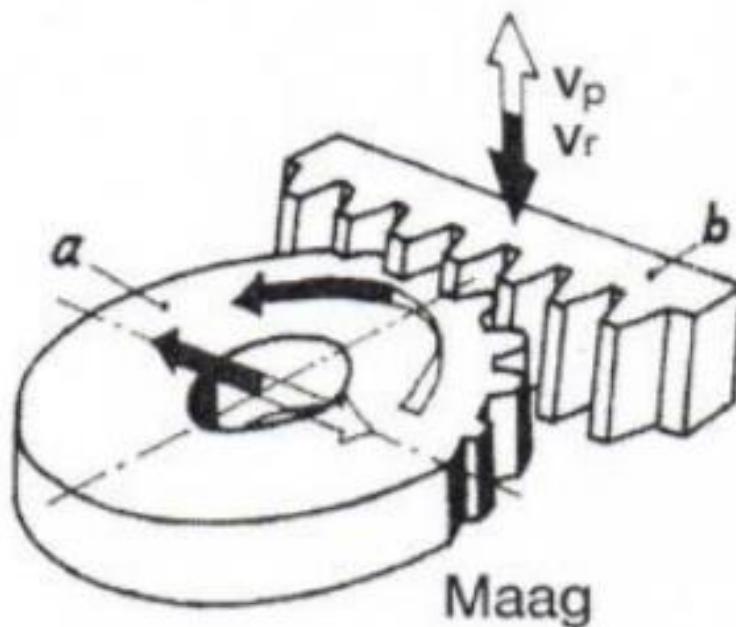


*Izrada dugogodnih zavojnica koturastim glodalom*

## **Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG**

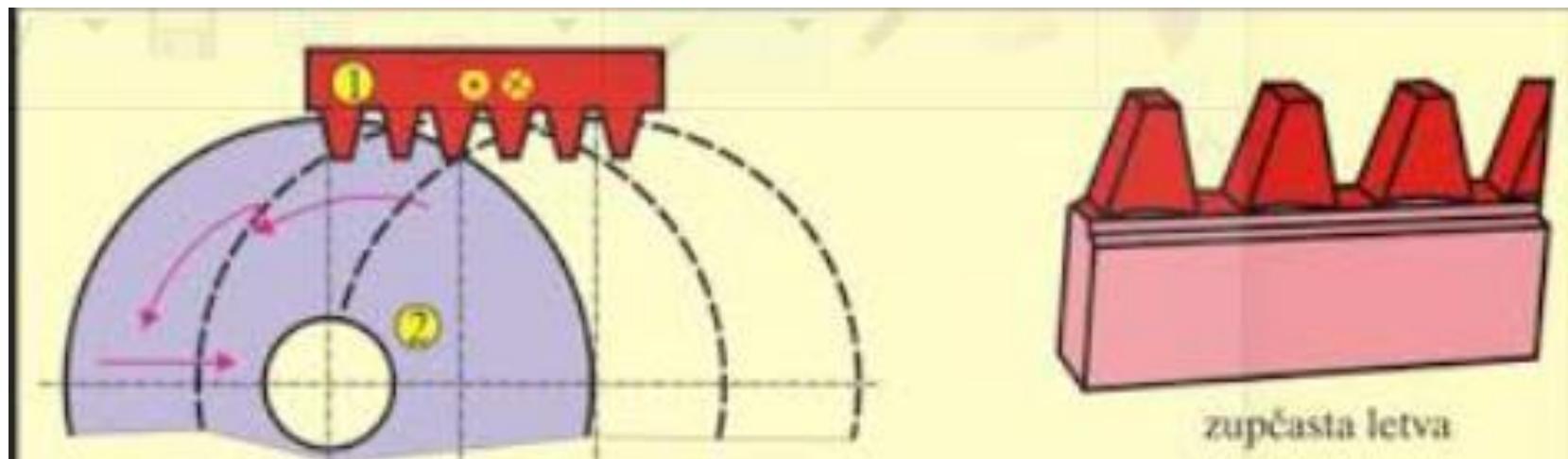
---

- **MAAG metoda** je metoda izrade spoljašnjeg cilindričnog ozubljenja sa pravim i kosim zubima, relativnim kotrljanjem.
- Alat je **zupčasti noža oblika zupčaste letve** tj. dela evolventnog zupčanika beskonačno velikog prečnika.
- **Alat** izvodi **glavno vertikalno pravolinijsko kretanje** pri čemu je radni hod na dole.
- **Pomoćna kretanja:** obrtno i pravolinijsko kretanje radnog predmeta duž alata.



## Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

- Relativno kretanje radnog predmeta prema alatu izvodi se periodično i to po završenom povratnom hodu a pre radnog hoda.
- Cilindrični zupčanici sa kosim zubima se izradjuju na isti način kao i pravi zubi , samo se nosač alata naginje za ugao nagiba zuba zupčanika.

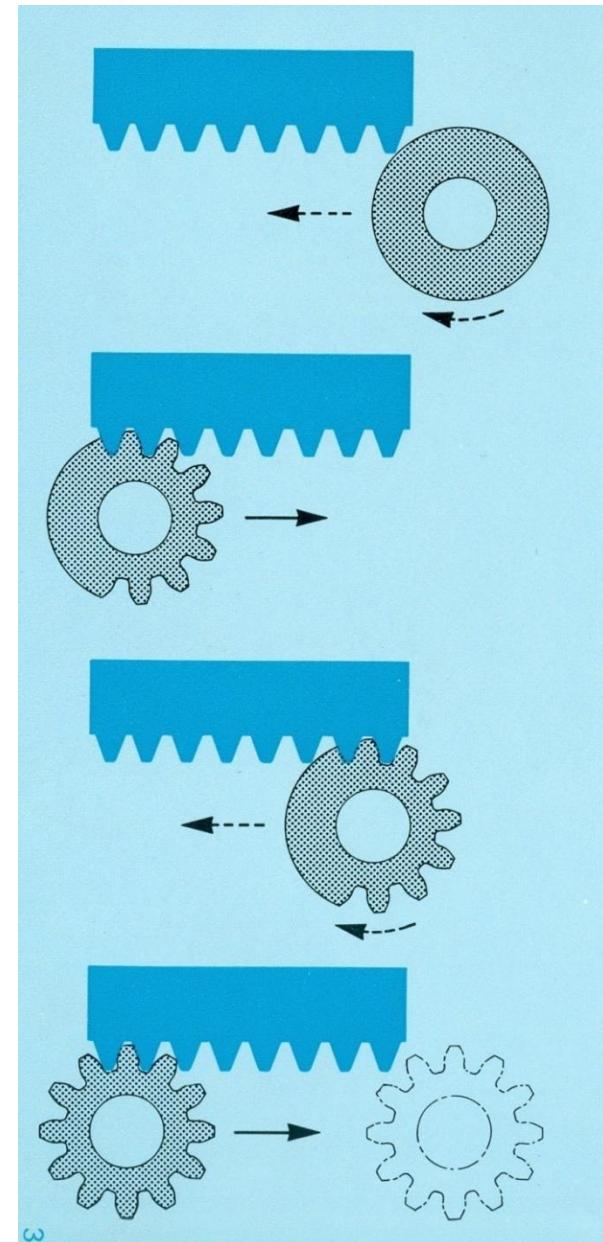


## Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Broj zuba alata obično je manji od broja zuba radnog predmeta, to po završenom pomeranju radnog predmeta od levog do desnog kraja alata neće biti obrađeni svi zubi.

Princip izrade ozubljenja u segmentima (delovima obima zupčanika):

- izrada jednog segmenta;
- brzi povratni hod nazad obradka;
- obrada sledećeg segmenta;
- brzi povratni hod izradka;

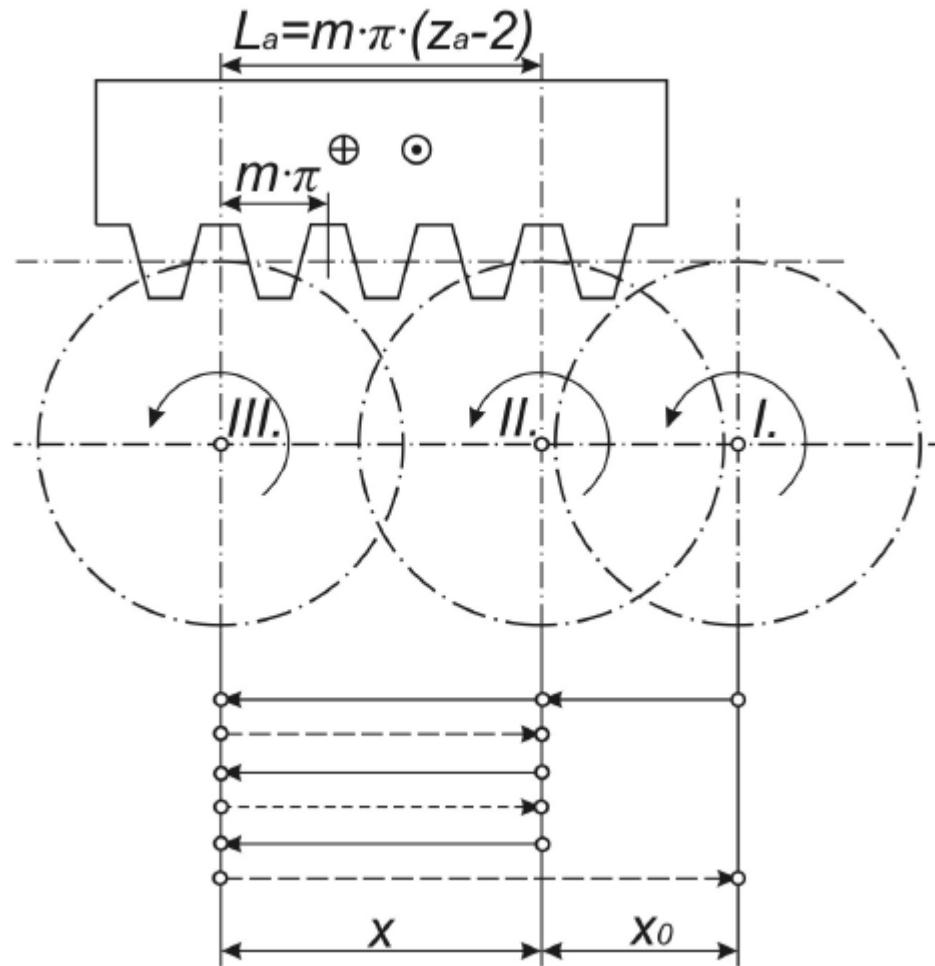


# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Kinematska struktura mašine treba da obezbedi izradu ozubljenja parcijalno, po segmentima.

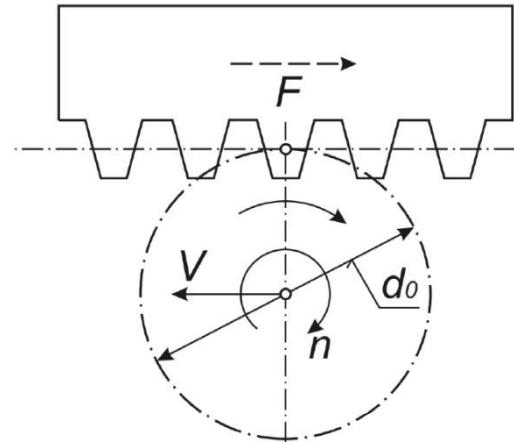
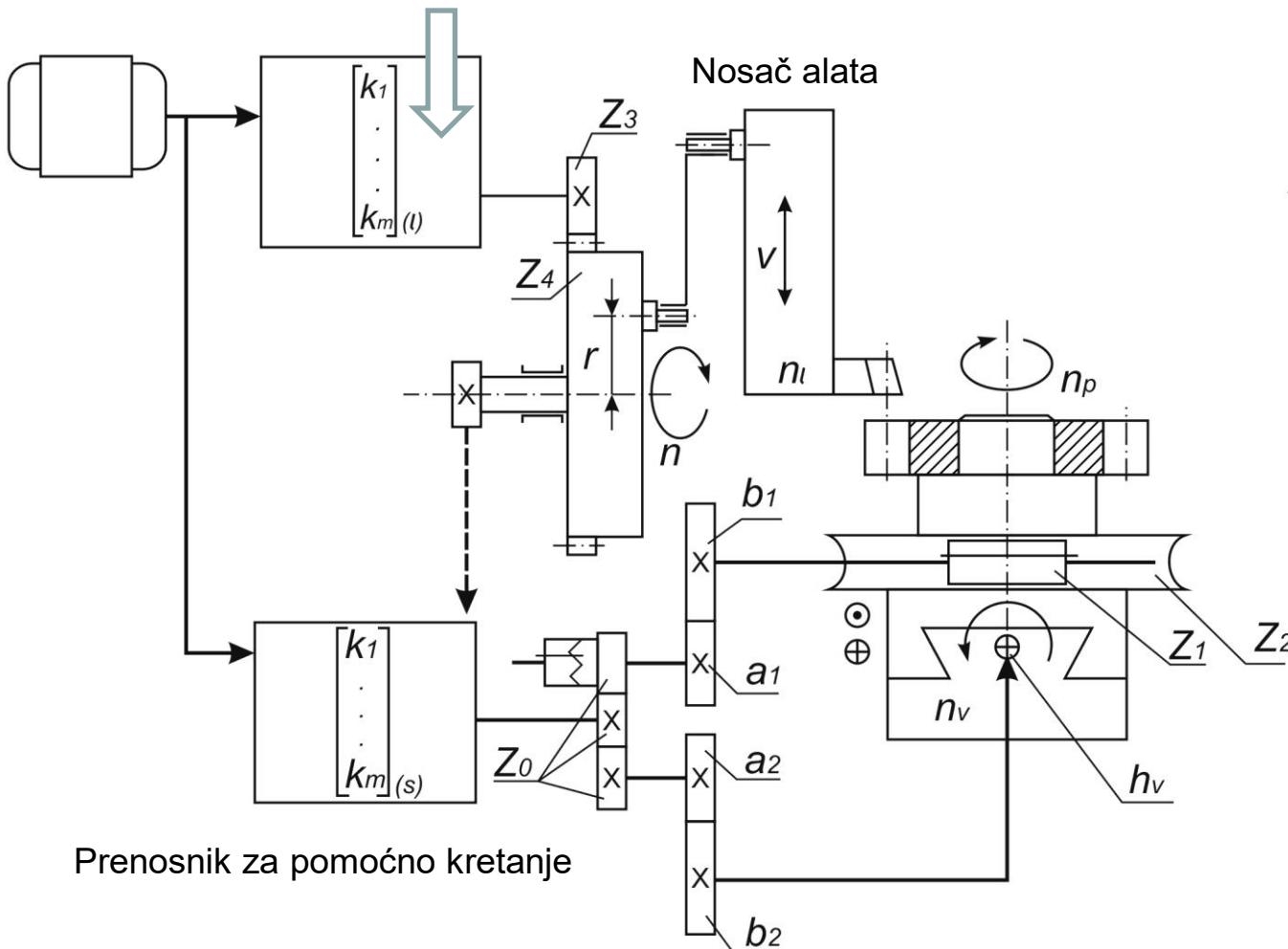
$X_0$  – put prodiranja alata u obradak pri početku obrade;

$X$  – put pri izradi jednog segmenta, ponavlja se onoliko puta koliko segmenata ima ozubljeni obradak (zupčanik).



# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Prenosnik za glavno kretanje



Prenosnik za pomoćno kretanje

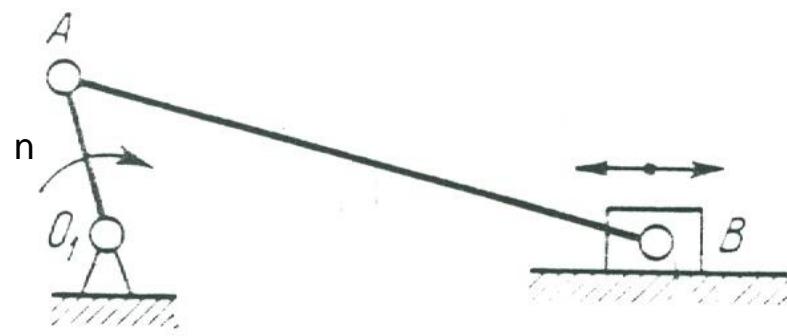
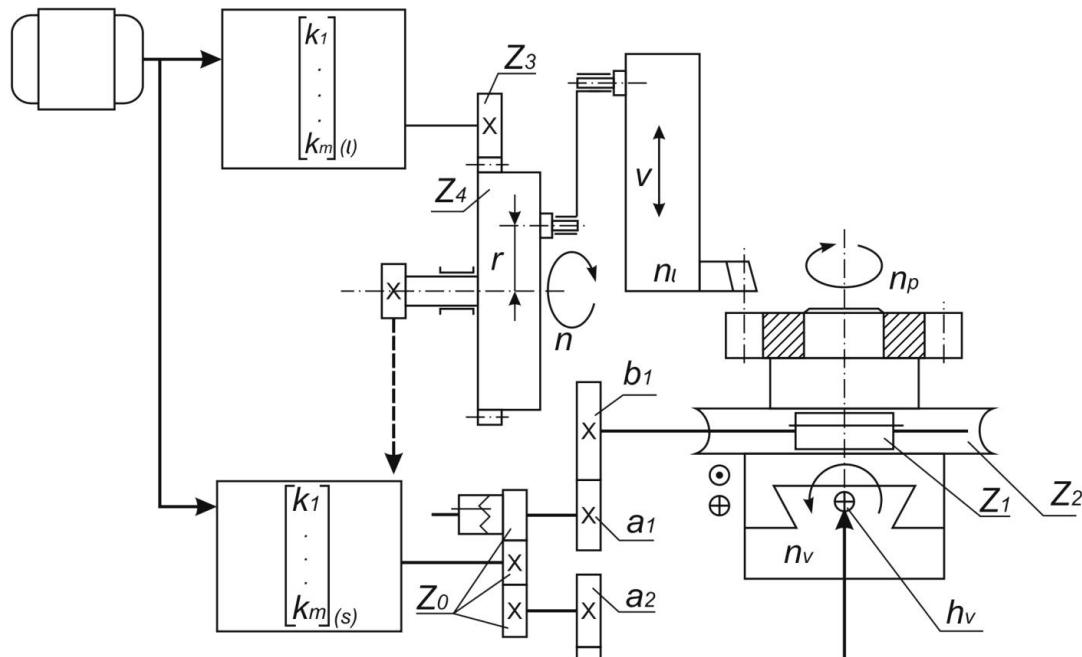
Maag postupak: Mašina vertikalna kratkohodna rendisaljka

Alat vrši pravolinijsko kretanje gore-dole; radni hod na dole;

Obradak: 1 komponenta relativnog kretanja (rotacija) i 2 – ga translacija

# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Glavno kretanje: pravolinjsko naizmenično (dole-gore) kretanje alata



Prost krivajni mehanizam  
 $O_1A = r$  - krivaja  
AB - poluga  
B - klizač  
 $L = 2r$  – hod klizača

$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n_L$$

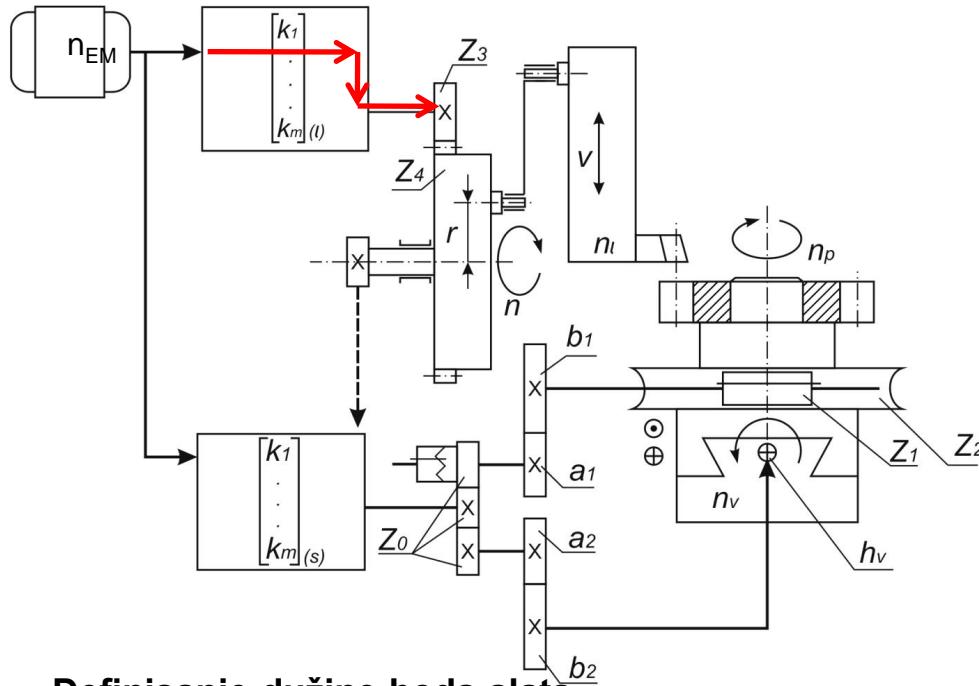
$$n_L = n \text{ - broj duplih hodova}$$

$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n$$

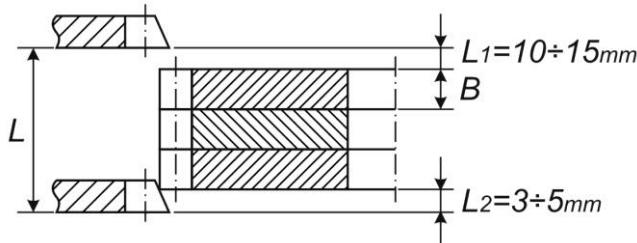
# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Glavno kretanje: pravolinjsko naizmenično (dole-gore) kretanje alata

**Glavno kretanje:**



**Definisanje dužine hoda alata**



$$L = L_1 + i \cdot B + L_2 < L_{max} \quad L_{max} = 2 \cdot r$$

$$i = \frac{L_{max} - L_1 - L_2}{B}$$

$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n_L$$

$n_L = n$  - broj duplih hodova

$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n$$

**Preporučene brzine rezanja**

R. br.	Materijal obradka	Brzina rezanja [m/min]
1.	Čelik	12÷20
2.	SL	15
3.	Bronza	30

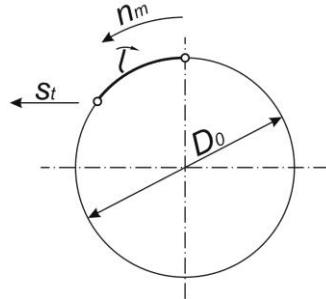
**Srednja brzina rezanja**

$$n = n_{EM} \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_L \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix} = n_{EM} \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_L \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot 2L$$

# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Pomoćno kretanje (obrtanje radnog predmeta duž alata)  $n_p$

1. komponenta relativnog kotrljanja - **Tangencijalni pomak**



$$\hat{l} = s_t = D_0 \cdot \pi \cdot n_p$$

$$n_p = \frac{s_t}{D_0 \cdot \pi}$$

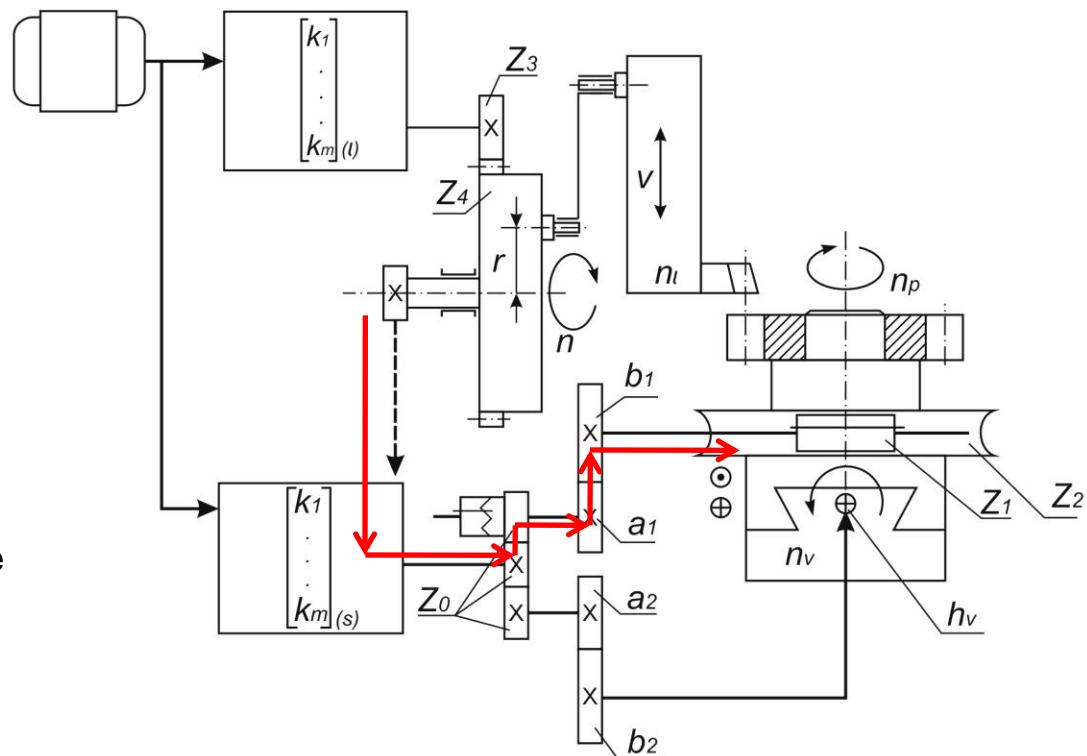
$s_t$  – tehnološki parametar, usvaja se zavisnosti od kvaliteta obrade

$$s_t = (0,1 \div 0,35) \text{ [mm/dh]}$$

$$n_p = n \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_0}{z_0} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{s_t}{D_0 \cdot \pi} = 1 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{s_t}{D_0 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{k_{is}} \cdot \frac{z_2}{z_1}$$



# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Pomoćno kretanje – 2. komponenta relativnog kotrljanja - **Osni pomak**

**Pravolinijsko kretanje radnog predmeta duž alata**

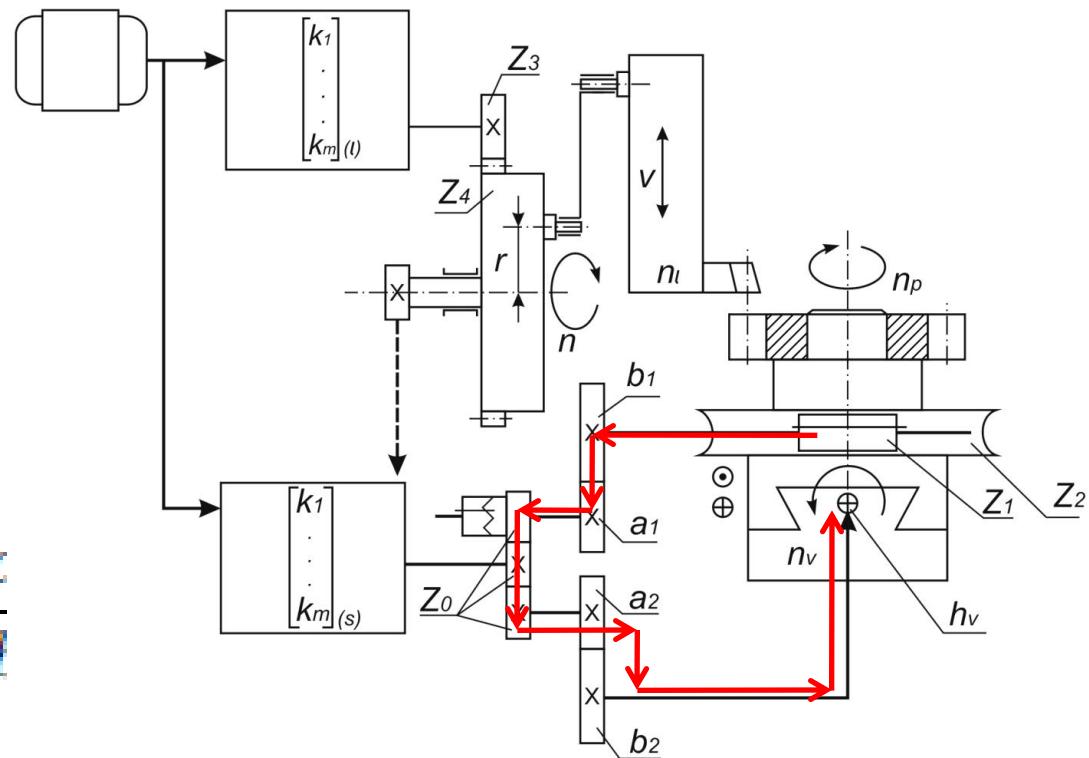
$$s_l = h_v \cdot n_v$$

$$n_v = n_p \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{z_0}{z_0} \cdot \frac{z_0}{z_0} \cdot \frac{a_2}{b_2}$$

$$n_p = 1; \quad s_l = D_0 \cdot \pi$$

$$D_0 \cdot \pi = h_v \cdot 1 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{\ell}{l}$$

$$\frac{a_2}{b_2} = \frac{D_0 \cdot \pi}{h_v} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a_1}{b_1}$$



Karakteristike metode izrade ozubljenja relativnim kotrljanjem MAAG:

Prednosti:

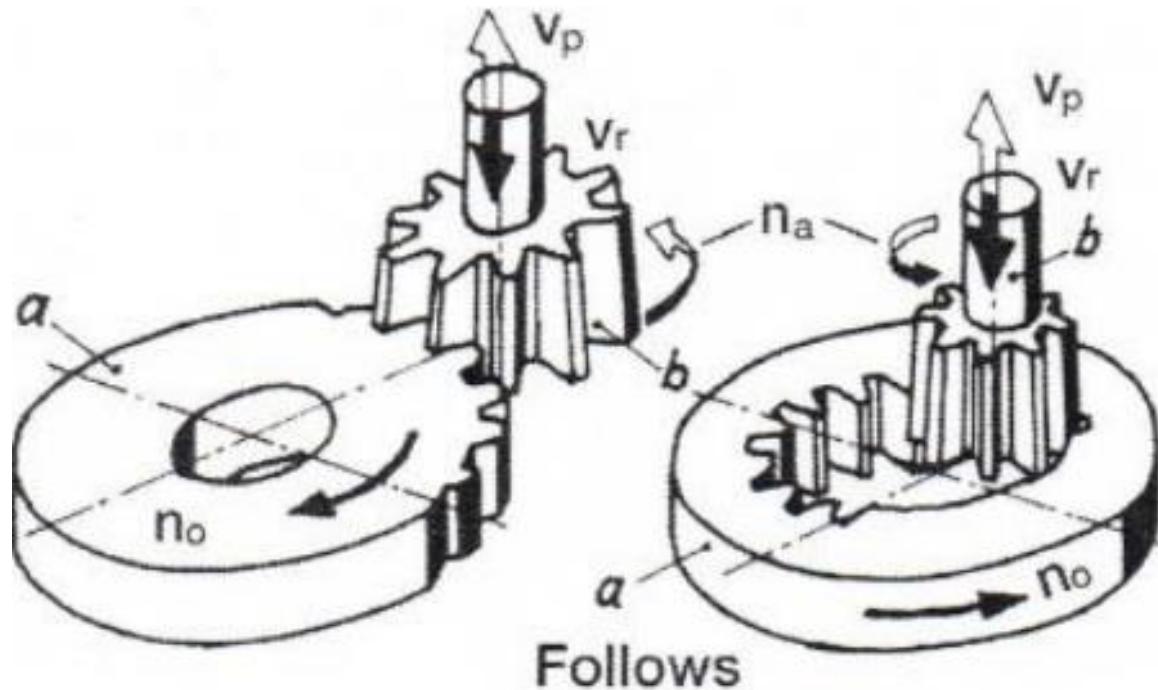
- jednostavan alat , laka izrada i oštrenje;
- tačan profil zuba zupčanika;
- dobar kvalitet (stepen površinske hrapavosti) obrađene površine;

Nedostaci:

- dugo vreme obrade;
- nemoguća izrada unutrašnjeg ozubljenja;

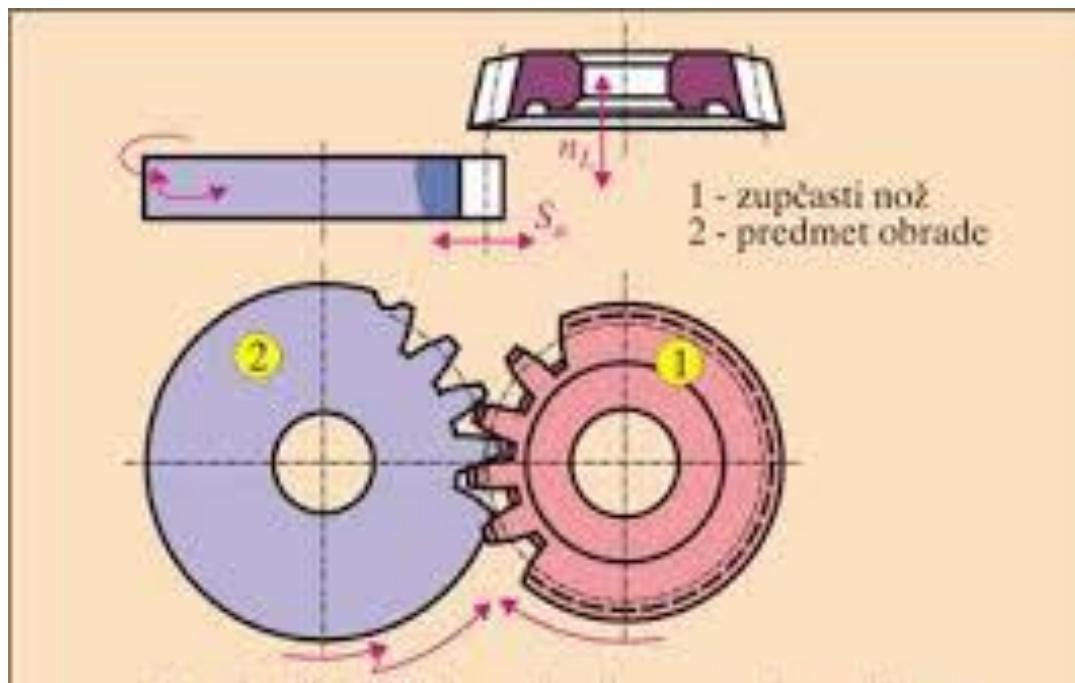
## Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

- FELLOWS je jedna od metoda koja je bazirana na relativnom kotrljanju koja, kao alat koristi kružni zupčasti nož, koji predstavlja višeprofilni alat u vidu zupčanika.
- **Alat izvodi glavno pravolinijsko kretanje u vertikalnom pravcu uz istovremeno pomoćno obrtno kretanje.**
- **Radni predmet** izvodi takođe pomoćno obrtno kretanje.

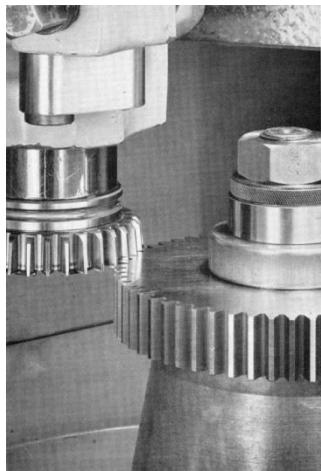


## Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

- Radni hod se obavlja obično pri kretanju alata na dole, a u početku rada primiče se radni predmet radijalno prema alatu do određene dubine uz istovremeno vertikalno kretanje alata i uz relativno kotrljanje.
- Radijalno primicanje radnog predmeta reguliše se pomoću jedne promenjive bregaste ploče koja po završenoj obradi dejstvom odgovarajućeg mehanizma automatski zaustavlja mašinu.



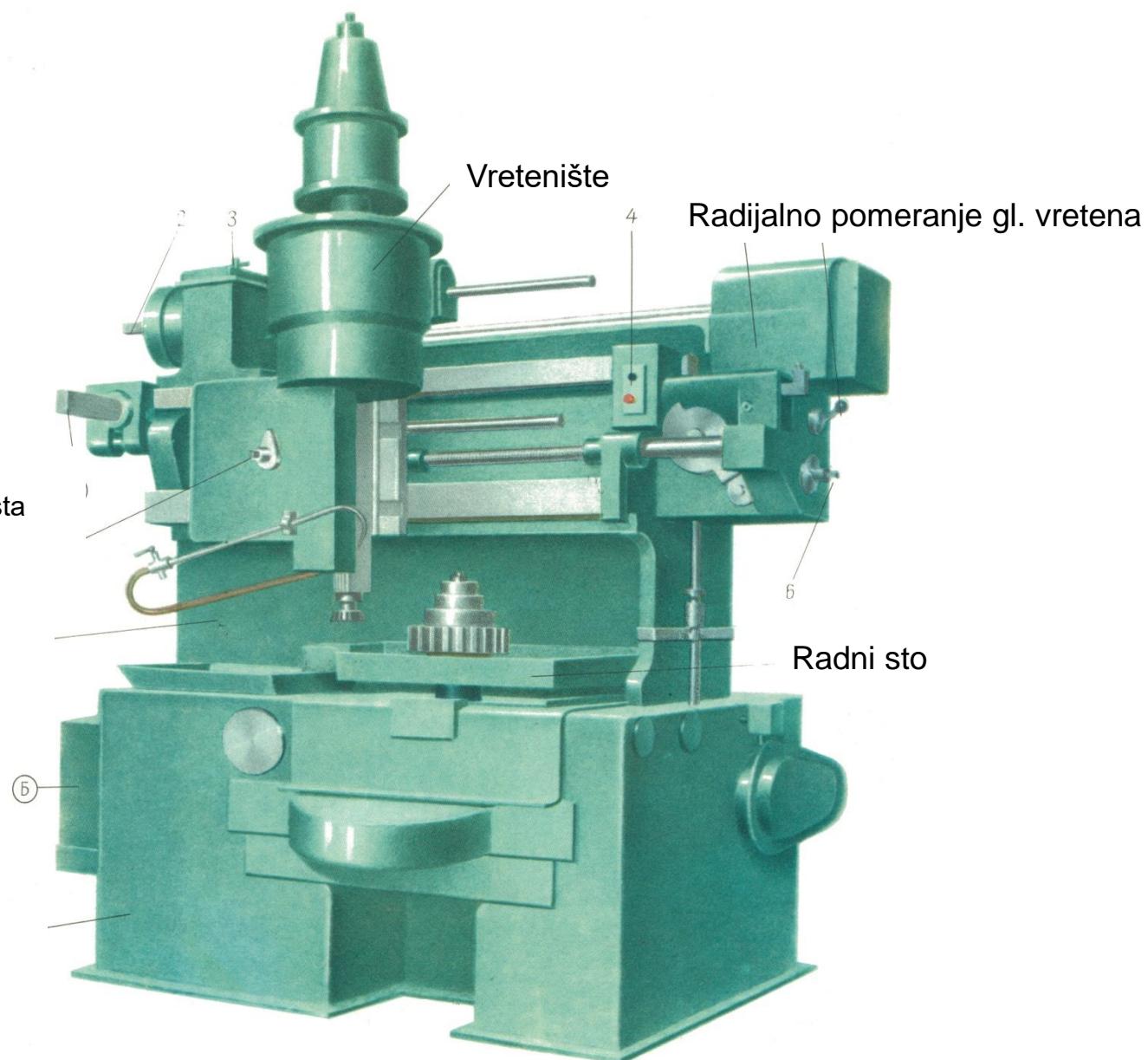
# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS



Krivajni mehanizam i  
mehanizam zupčanik zupčasta  
letva

Gornje postolje

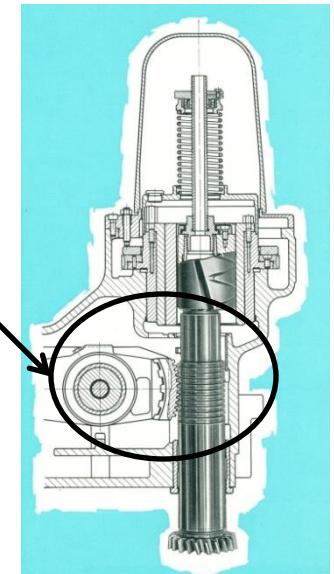
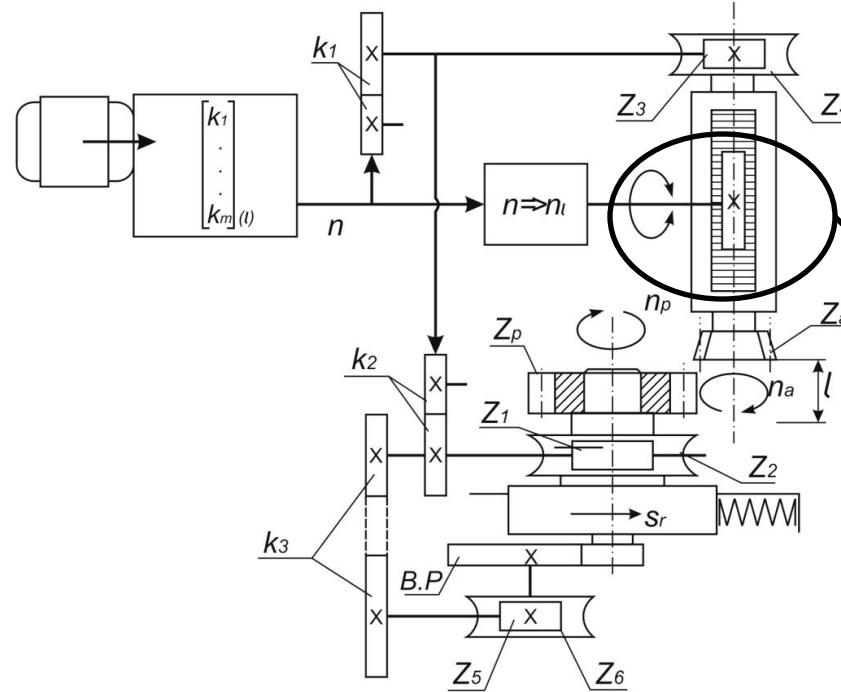
Donje postolje



# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

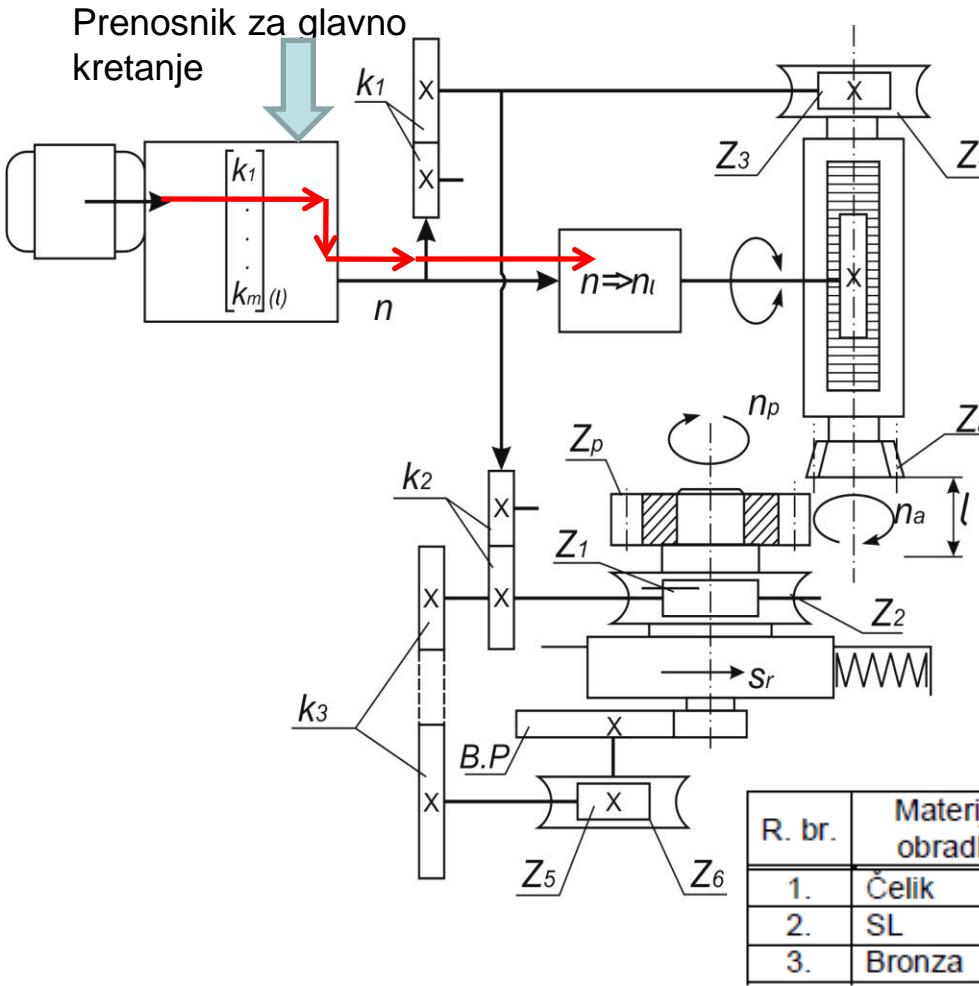
Pri izradi zupčanika sa pravim zubima potrebna kretanja su:

- Glavno kretanje **v** – pravolinjsko vertikalno kretanje alata
- Obrtanje alata **na** –, tj. pomoćno kretanje što ujedno prestavlja prvu komponetu relativnog kotrljanja.
- Obrtanje radnog predmeta **np** – pomoćno kretanje, što je druga komponeneta relativnog kotrljanja
- Pomoćno kretanje – radijalno primicanje radnog predmeta ka alatu



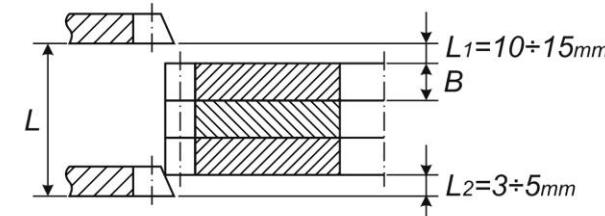
# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

## Glavno kretanje



$$V = 2 \cdot L \cdot n_L$$

$$n_L = n$$



$$L = L_1 + i \cdot B + L_2$$

Dužina hoda

Srednja brzina rezanja

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_m \end{bmatrix} = 2 \cdot L \cdot n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_m \end{bmatrix}_L$$

Pretvaranje obrtnog u pravolinijsko kretanje **krivajnjim mehanizmom i zupčanikom i zupčastom letvom**

# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

Pomoćno kretanje - prva komponenta relativnog kotrljanja – obrtanje alata

$$n_a = n \cdot k_1 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

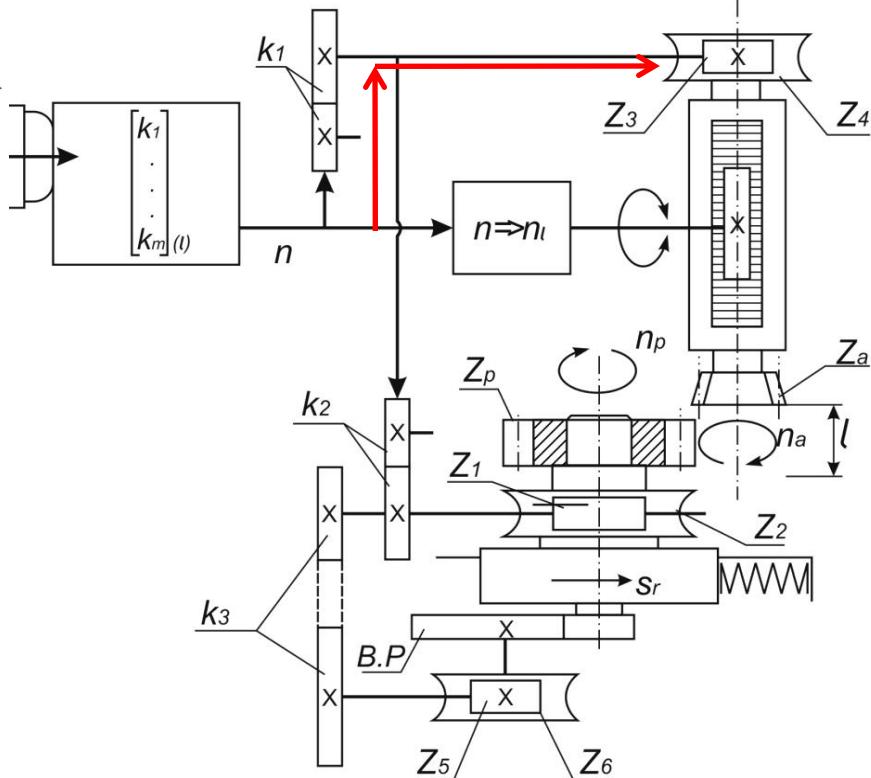
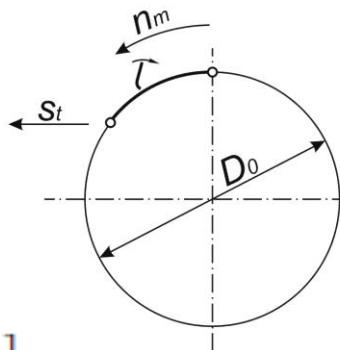
$$\hat{l} = s_t = D_{0ALATA} \cdot \pi \cdot n_a$$

$$s_t = (0,1 \div 0,35) [mm/dh]$$

$$n_a = \frac{s_t}{D_{0A} \cdot \pi}$$

$$\frac{s_t}{D_{0A} \cdot \pi} = 1 \cdot k_1 \cdot \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$k_1 = \frac{a_1}{b_1} \longrightarrow \frac{a_1}{b_1} = k_1 = \frac{s_t}{D_{0A} \cdot \pi} \cdot \frac{Z_4}{Z_3}$$



# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

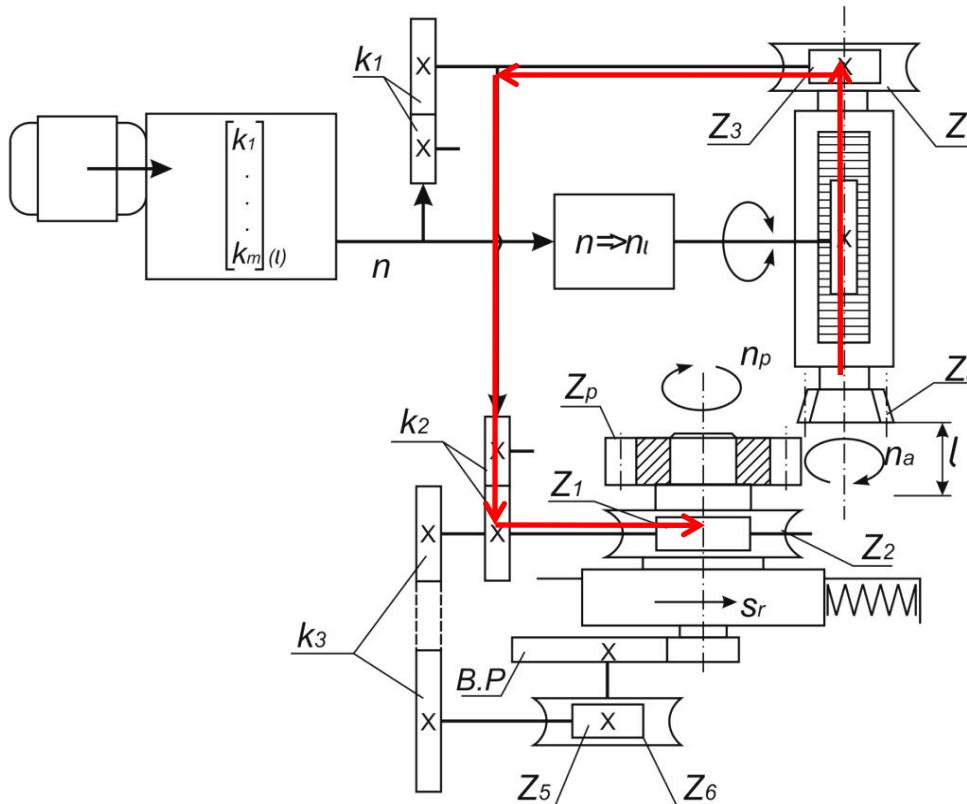
Pomoćno kretanje - druga komponenta relativnog kotrljanja–obrtanje radnog predmeta

$$n_p = n_a \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot k_2 \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{n_p}{n_a} = \frac{z_{alata}}{z_{obratka}} = \frac{z_a}{z_p}$$

$$\frac{z_a}{z_p} = \frac{z_4}{z_3} \cdot k_2 \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$k_2 = \frac{z_a}{z_p} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_2}{z_1} \rightarrow k_2 = \frac{a_2}{b_2} ; \quad \frac{a_2}{b_2} = \frac{z_a}{z_p} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_2}{z_1}$$



# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

Pomoćno kretanje – radijanli pomak radnog predmeta (obrtanje bregaste ploče)

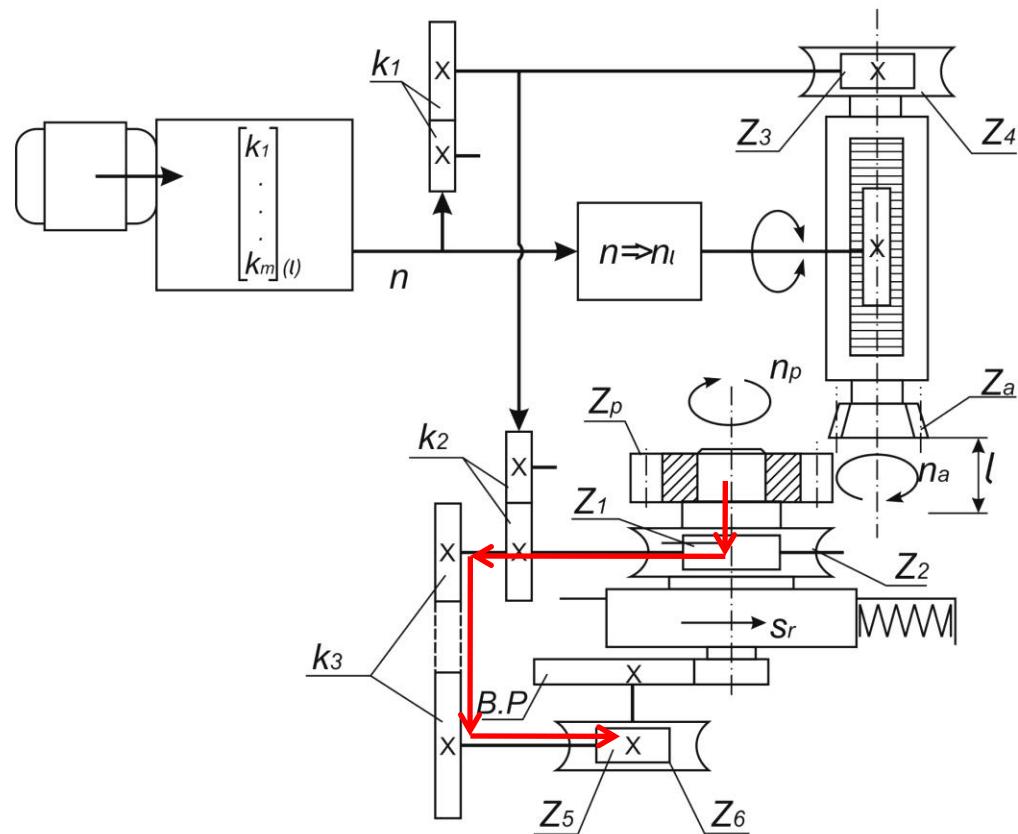
$$n_{bp} = n_p \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6}$$



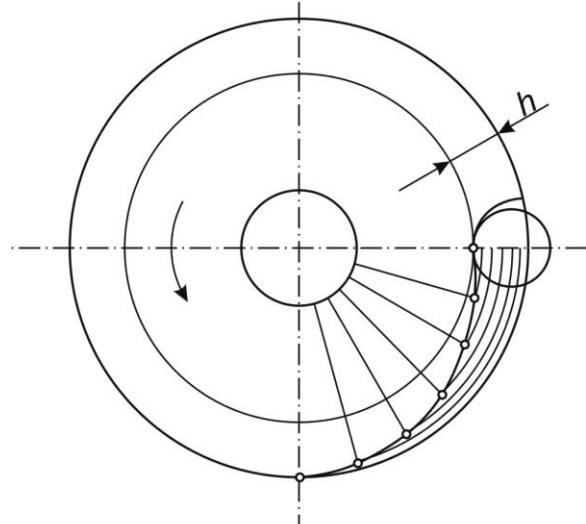
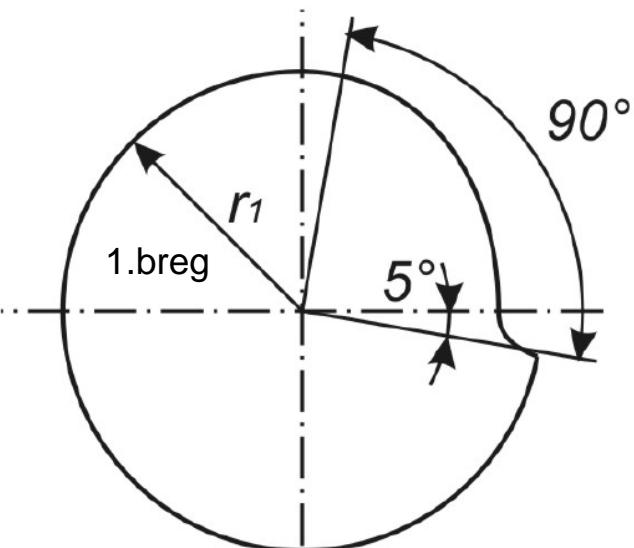
$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{n_{bp}}{n_p}$$



$$\frac{n_{bp}}{n_p} = \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6}$$



# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS



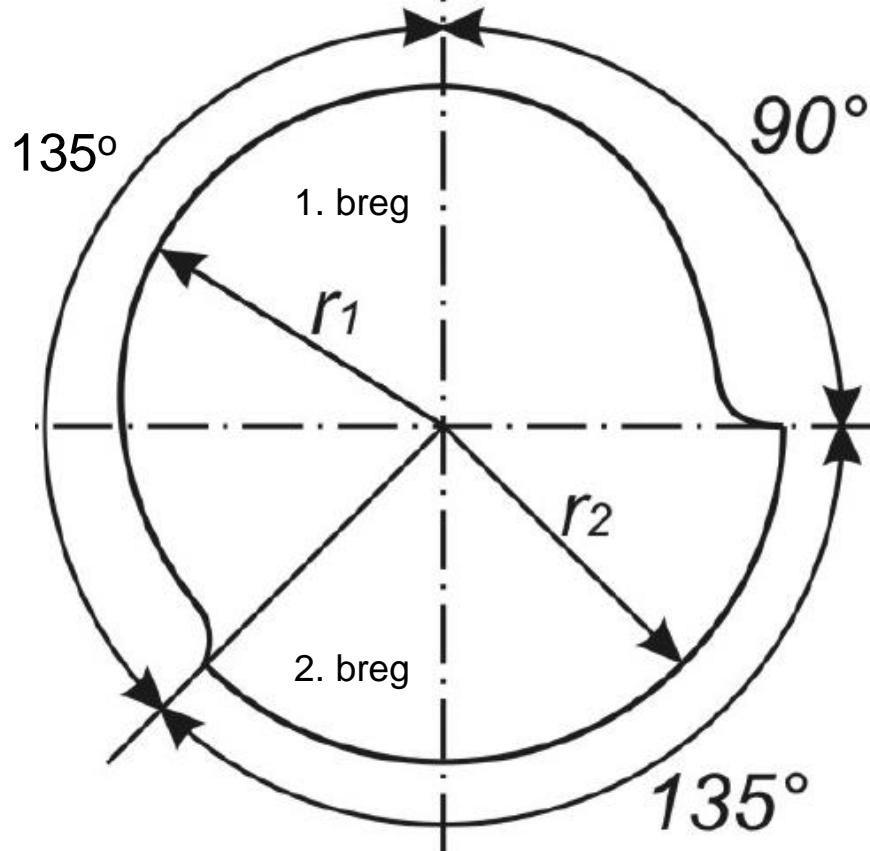
Bregasta ploča sa jednim bregom:  
(izrada ozubljenja u jednom prolazu)

$$\frac{270^\circ}{360^\circ + (3^\circ \div 5^\circ)} = \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6}$$

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{270^\circ}{360^\circ + (3^\circ \div 5^\circ)}$$

# **Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS**

## **Rendisaljka za zupčanike tipa FELLOWS**

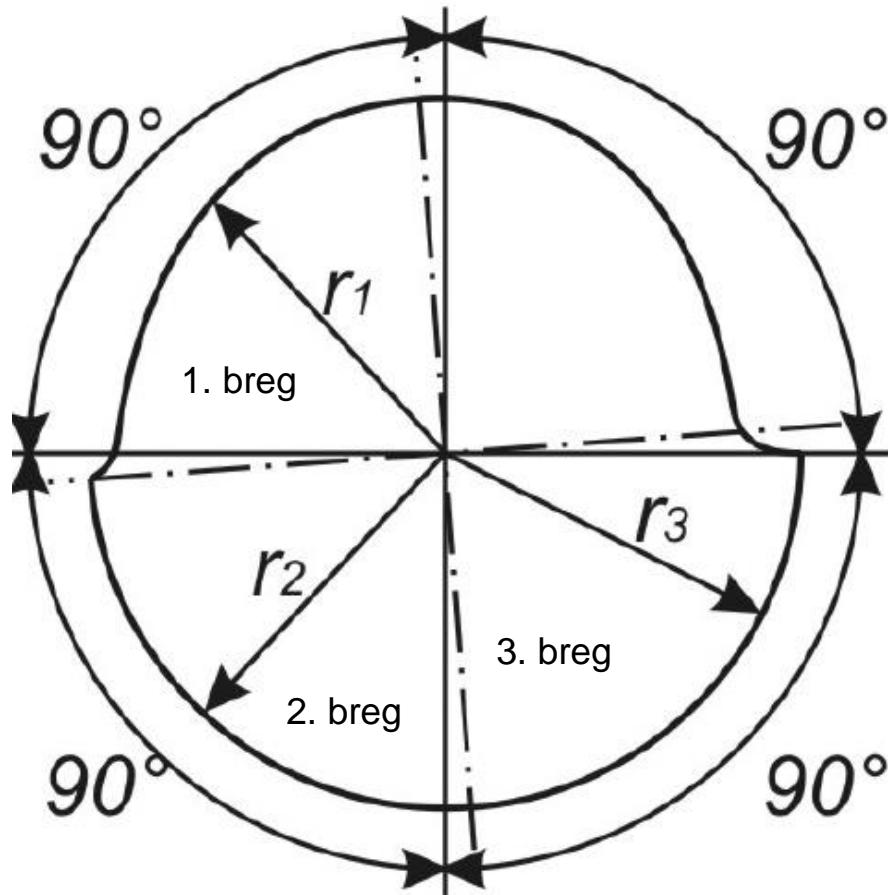


Bregasta ploča sa dva brega:  
(izrada ozubljenja u dva prolaza)

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{135^\circ}{360^\circ + (3^\circ \div 5^\circ)}$$

# Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

## Rendisaljka za zupčanike tipa FELLOWS



Bregasta ploča sa tri brega:  
(izrada zupčanika u tri prolaza)

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{90^\circ}{360^\circ + (3^\circ \div 5^\circ)}$$

## Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

---

Prednosti u odnosu na metodu Maag:

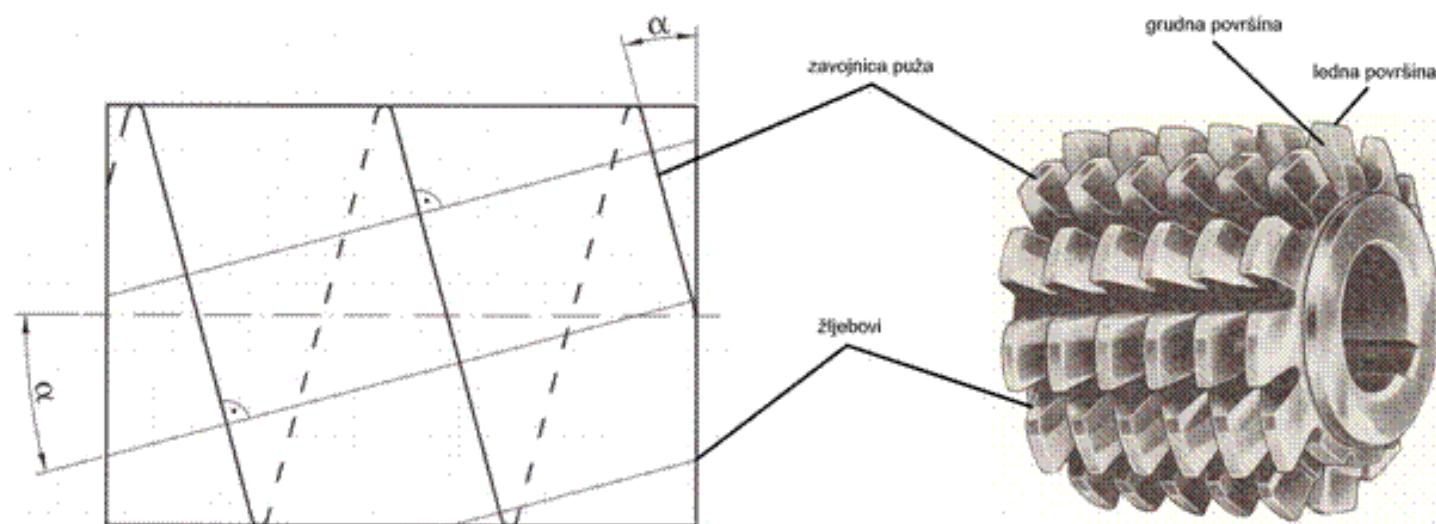
- kraće vreme obrade i veća tačnost (nije obrada ozubljenja u segmentima);
- mogućnost izrade unutrašnjeg ozubljenja;

Nedostaci:

- komplikovaniji i skuplji alat

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

- Izrada zupčanika glodanjem po principu relativnog kotrljanja ostvaruje se na specijalnoj glodalici tipa PFAUTER.
- Alat u ovom slučaju ima oblika puža, čija je osnovna geometrija zavojnica na obimu cilindra.
- Obzirom da takav oblik nema reznu geometriju, ova zavojnica je izpresecana žljebovima (pod pravim uglom).
- Na taj način su stvoreni zubi alata sa svojom grudnom površinom.
- Zavojnica puža predstavlja leđnu površinu zuba.
- Da bi se i posle oštrenja alata po grudnoj površini sačuvao profil zavojnice, leđna površina je oblikovana u vidu Arhimedove spirale leđnim struganjem.



Osnovni parametri puža, tj. alata su:

- ugao zavojnice:  $\alpha$  (što je ujedno i ugao žljebova, koji su takođe zavojni)
- broj početaka zavojnice:  $i_a$
- smer zavojnice: Desni (D), ili Levi (L)
- profil zavojnice: u zavisnosti od profila ozubljenja.

Alat prema svojoj geometriji, predstavlja glodalo i naziva se pužno, ili pužasto, odnosno **ODVALNO** glodalo, a mašina **ODVALNA GLODALICA**

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

- Kod ovih mašina alatki se pored ***glavnog obrtnog kretanja koje izvodi alat***, u zavisnosti od obrade javlja više pomoćnih kretanja.
- Raspoloživa kretanja na mašinama koje rade po metodi PFAUTER:

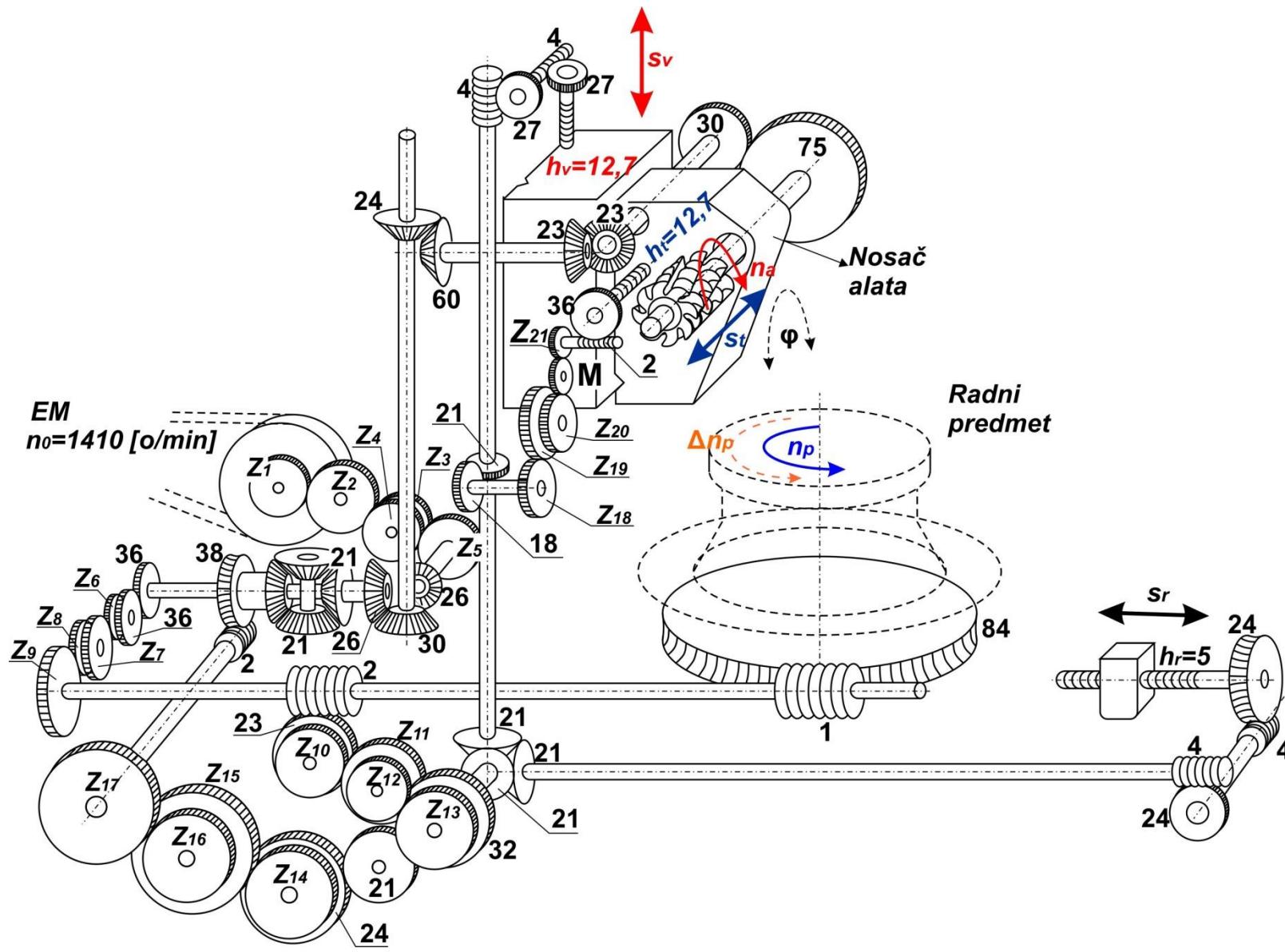
- **Glavno kretanje** – obrtanjem alata ( $n_a$ ) se obezbeđuje brzina rezanja "v" na prečniku  $D_a$ , tj.  $n_a = v/(\pi D_a)$

## □ **Pomoćna kretanja**

- **Obrtanjem predmeta ( $n_p$ )** – se obezbeđuje relativno kotrljanje sa alatom, a dopunskim obrtanjem ( $\Delta n_p$ ) se ono, u slučaju potrebe, koriguje.
- **Vertikalni pomak ( $s_v$ )** – obezbeđuje se osnovnim klizačem preko zavojnog vretena koraka  $h_v$ . Na njemu je još jedan klizač (poprečni klizač) koji se može zakretati za ugao  $\varphi$  (ugao naginjanja alata)
- **Tangencijalni pomak ( $s_t$ )** – ("tangencijalni" se zove zato što pri uglu  $\varphi = 0$  obezbeđuje kretanje u pravcu tangente na radni predmet). Ovaj klizač se pokreće zavojnim vretenom koraka  $h_t$ .
- **Radijalni pomak ( $s_r$ )** – obezbeđuje kretanje radnog predmeta u pravcu alata (radijalni pravac u odnosu na obradak) pomoću klizača, čiji je pogon zavojno vreteno koraka  $h_r$ .

## **Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER**

## *Kinematska struktura glodalice za zupčanike Pfauter*



# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

- Brzina rezanja  $v \left[ \frac{m}{\text{min}} \right]$

materijal obradka	$v \left[ \frac{m}{\text{min}} \right]$
čelik $\sigma_M < 600 \text{ MPa}$	25 ÷ 40
čelik $\sigma_M > 600 \text{ MPa}$	20 ÷ 30
sivi liv	16 ÷ 21
bronza	25 ÷ 50

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

- Vertikalni pomak –  $s_v \left[ \frac{mm}{o} \right]$
- Tangencijalni pomak –  $s_t \left[ \frac{mm}{o} \right]$

$$s_v = (0,5 \div 4) \left[ \frac{mm}{o} \right]$$

$$s_t = (0,2 \div 1,8) \left[ \frac{mm}{o} \right]$$

- Radijalni pomak –  $s_r \left[ \frac{mm}{o} \right]$

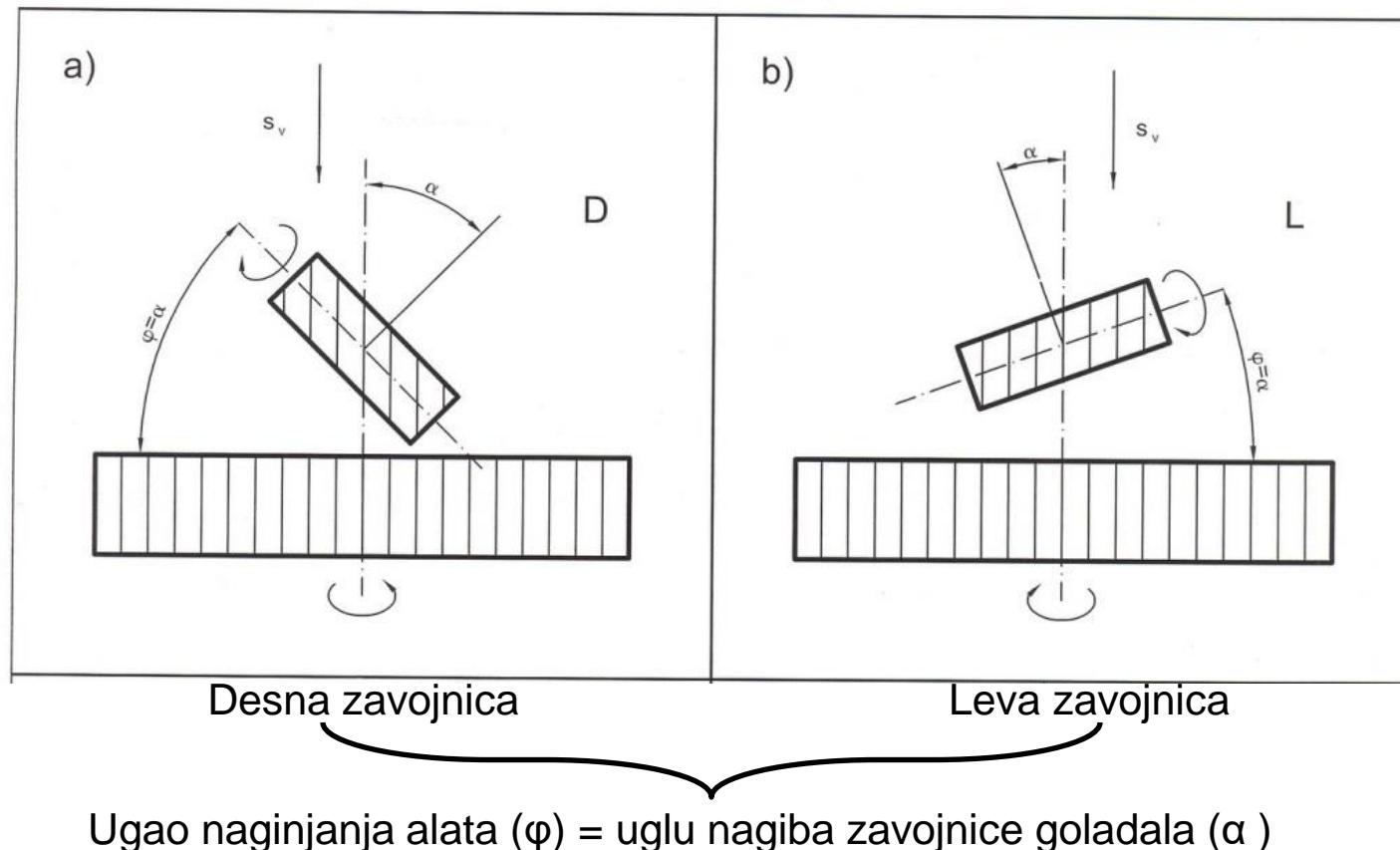
$$s_r = (0,3 \div 1,25) \left[ \frac{mm}{o} \right]$$

**Napomena:** Svi pomaci su parametri obrade koji se usvajaju u zavisnosti od zahtevanog kvaliteta obrađene površine (manji pomak – bolji kvalitet). Jedinice pomaka su [mm/o] što znači [mm/1obrtu radnog predmeta], dakle ove veličine se odnose za slučaj  $n_p = 1$ .

## **Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER**

## Izrada zupčanika sa pravim zubima

- U slučaju izrade cilindričnih zupčanika sa spoljašnjim ozubljenjem profil zavojnice alata je oblika zuba zupčaste letve (pravi bokovi pod uglom  $20^\circ$ ).
  - Pri izradi zupčanika sa pravim zubima osa alata je nagnuta u odnosu na ravan podeonog kruga zupčanika za ugao nagiba zavojnice glodala ( $\alpha$ ), da bi se pri vertikalnom kretanju alata poklopili pravci zavojnice alata i zuba zupčanika.

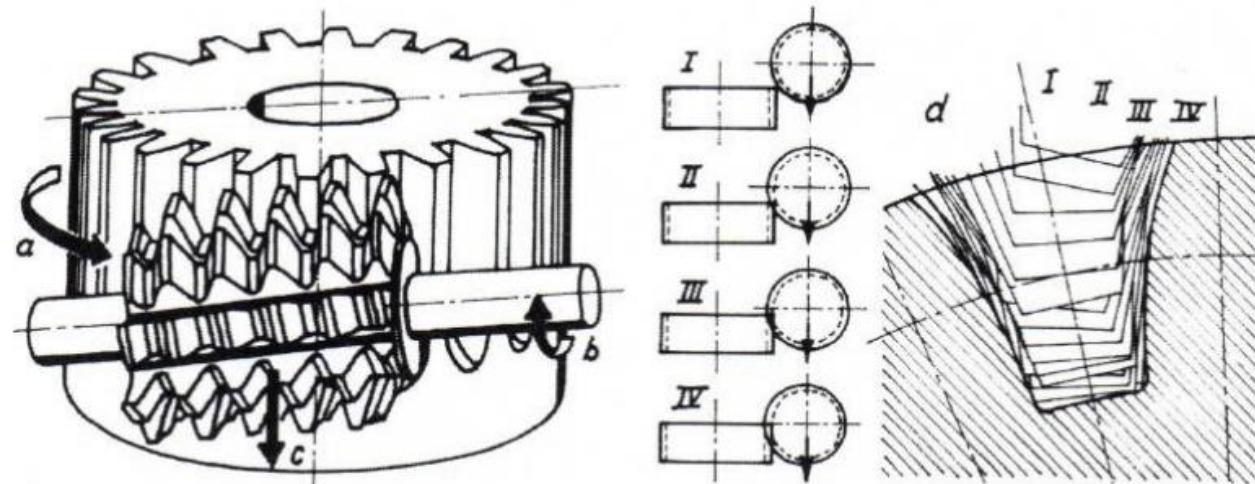


# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Izrada zupčanika sa pravim zubima

Pri izradi zupčanika sa pravim zubima potrebna kretanja su:

- obrtanje alata (glodala)  $n_a$  – , tj. glavno kretanje, što ujedno predstavlja i jednu komponentu relativnog kotrljanja
- obrtanje predmeta  $n_p$  – , tj. pomoćno kretanje, što je druga komponenta relativnog kotrljanja
- vertikalno kretanje – pomak  $s_v$ , tj. pomoćno kretanje da bi se zupčanik obradio po celoj širini.



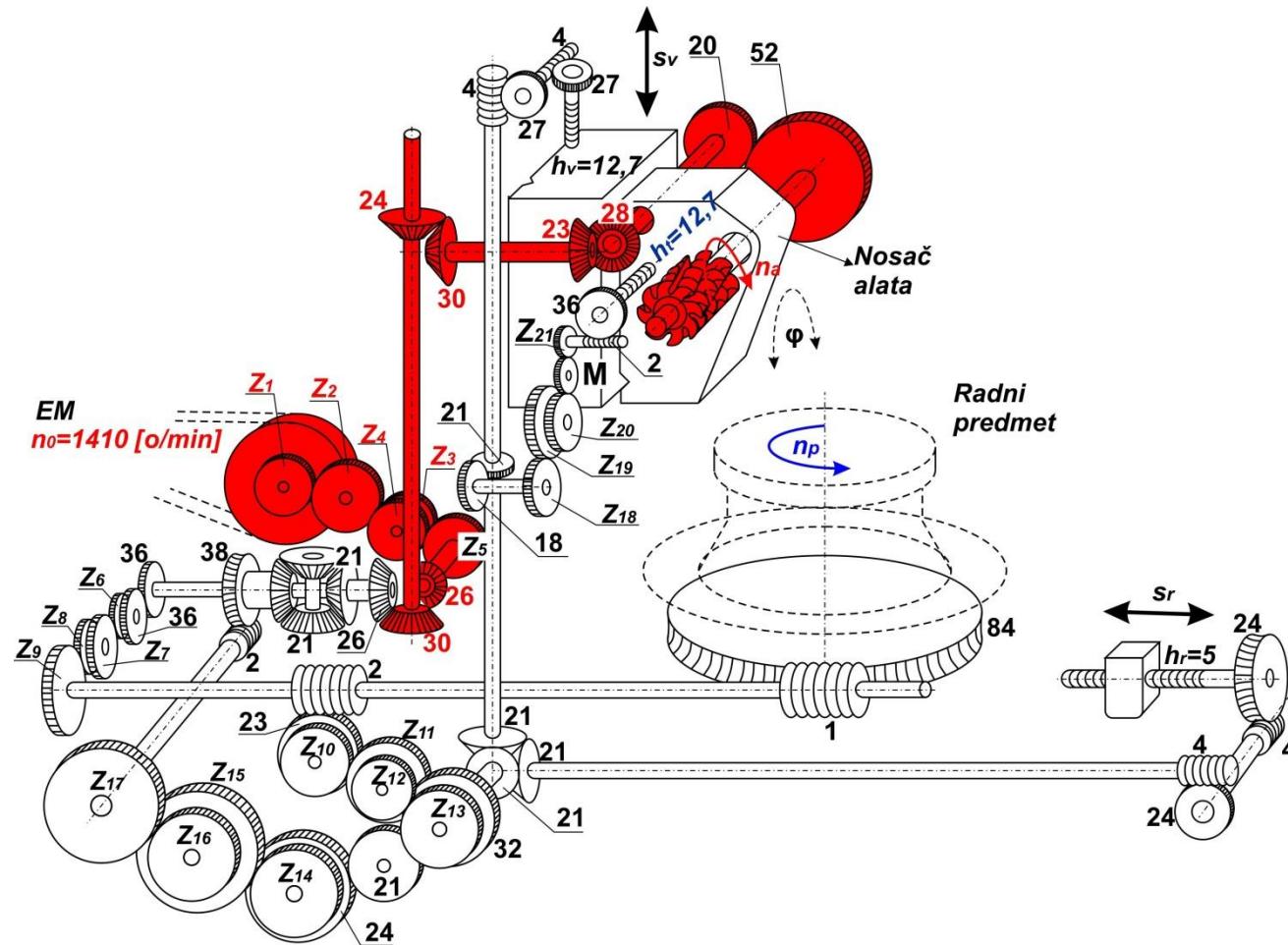
- Pri jednom obrtu radnog predmeta, alat se mora okrenuti  $Z$  puta, ako je  $Z$  broj zuba zupčanika koji se izrađuje, i ako alat ima jednu zavojnicu.

## **Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER**

# Izrada zupčanika sa pravim zubima

- $z_p = (30)$ ;
  - Prečnika alata  $D_a$ , zavojnica sa jednim početkom  $i_a=1$

## **Glavno kretanje – obrtanja alata**



# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Glavno kretanje – obrtanja alata

1) Glavno kretanje: obrtanje alata –  $n_a$

(to je ujedno i jedna komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_a = n_0 \cdot k_{uk} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{23}{28} \cdot \frac{20}{52} ; \quad (z_2 \text{ je međuzupčanik})$$

sa druge strane je:

$$n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi}, \text{pa je } \frac{v}{D_a \cdot \pi} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{23}{28} \cdot \frac{20}{52}$$

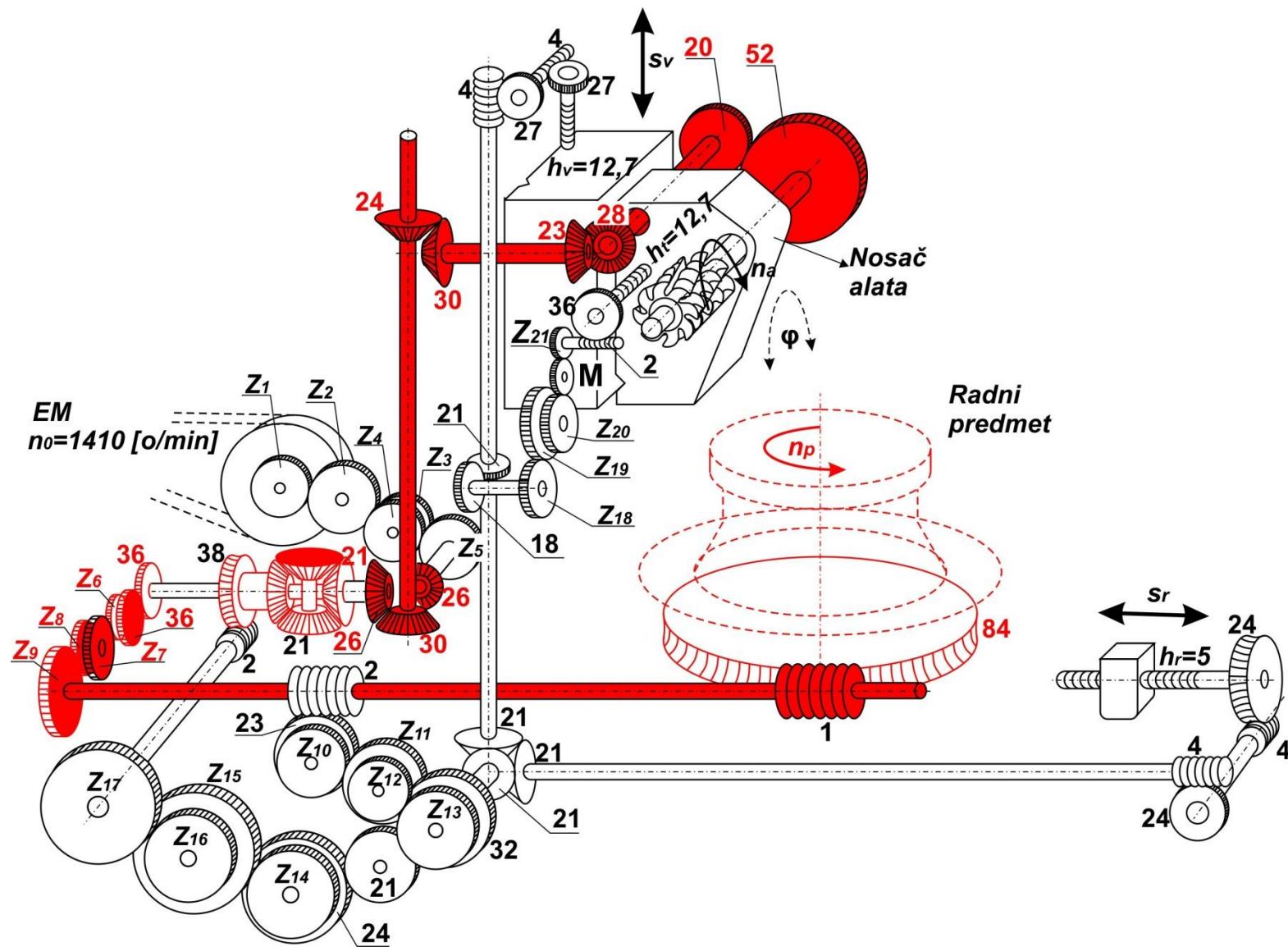
Ovde su nepoznati izmenljivi zupčanici  $z_1 \div z_5$ :

$$\frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} = \frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0} \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{28}{23} \cdot \frac{52}{20} = \frac{20}{(0,06) \cdot \pi \cdot 1410} \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{28}{23} \cdot \frac{52}{20}$$

$$\frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} = 0,3435 \quad (\text{nije potrebna visoka tačnost pri izračunavanju})$$

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Pomoćno kretanje – obrtanja radnog predmeta



# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Pomoćno kretanje – obrtanja radnog predmeta

2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta –  $n_p$

(to je ujedno i druga komponenta relativnog kotrljanja)

Obzirom da komponente relativnog kotrljanja moraju biti sinhronizovane, tj. kinematski usklađene, sledi:

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} \quad , \text{tj.} \quad k_{uk} = \frac{n_p}{n_a}$$

Odnos broja obrtaja predmeta i alata jednak je recipročnoj vrednosti njihovih brojeva zuba, tj. broja početaka ako je u pitanju puž – što je ovde slučaj sa alatom.

Dakle:

$$\frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p} \quad , \text{pa prema tome sledi:}$$

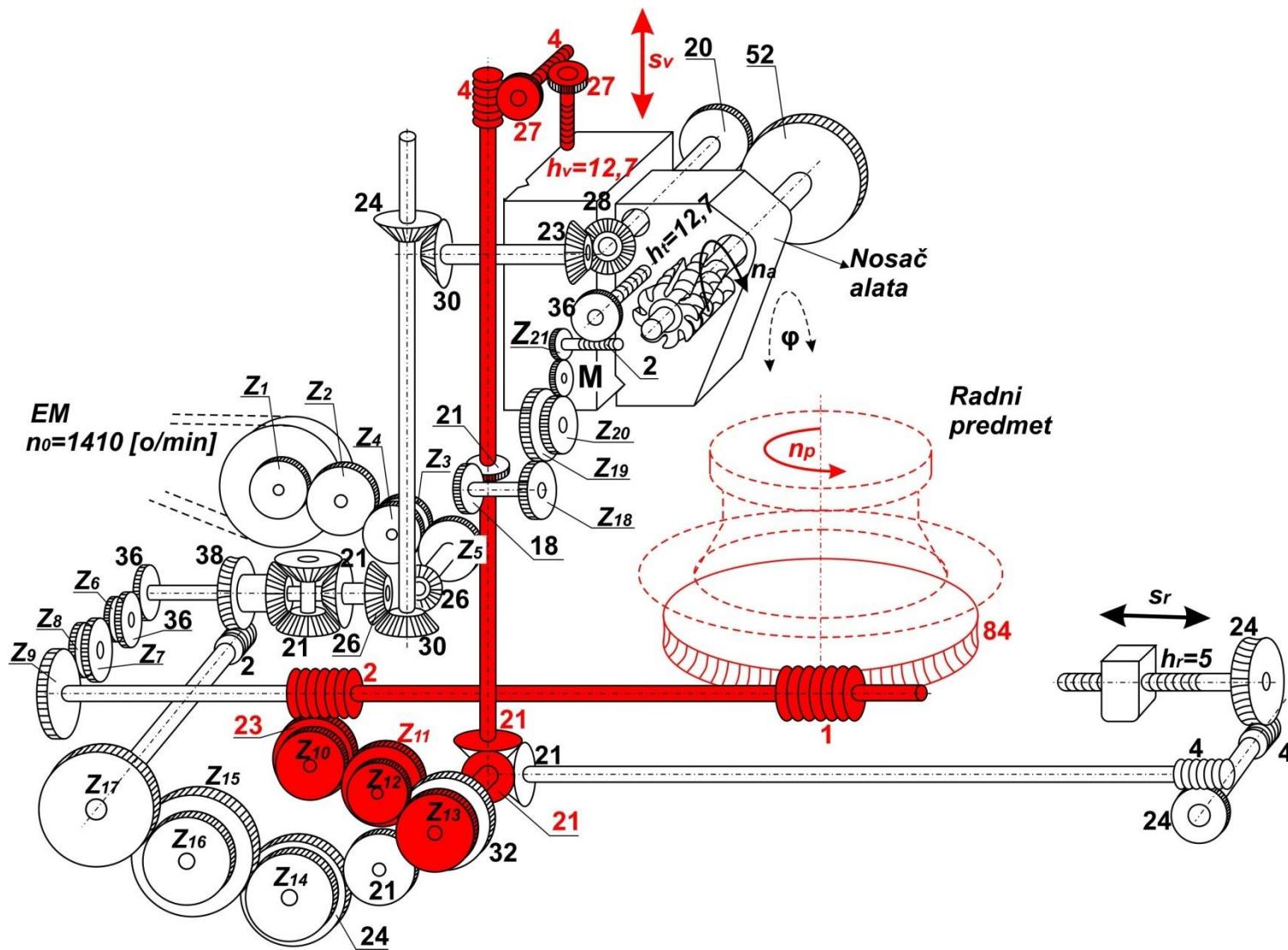
$$k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p} = \frac{1}{30} = \frac{52}{20} \cdot \frac{28}{23} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{30}{26} \cdot k_d \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84}$$

Izmenljivi zupčanici  $z_6 \div z_9$  moraju se odrediti sa APSOLUTNOM TAČNOŠĆU, obzirom da je ovo kinematski lanac relativnog kotrljanja. Rešenje se u ovakvim slučajevima nalazi skraćivanjem ili proširivanjem razlomaka sve dok se ne dobije proizvod dva količnika brojeva u opsegu  $20 \div 100$ . U skladu sa tim je:

$$\frac{z_6 \cdot z_8}{z_7 \cdot z_9} = \frac{1}{30} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{23}{28} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{26}{30} \cdot (-1) \cdot \frac{84}{1}$$

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Pomoćno kretanje – vertikalni pomak alata



# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Pomoćno kretanje – vertikalni pomak alata

3) Pomoćno kretanje: vertikalni pomak –  $s_v$

$$s_v = h_v \cdot n_v \left[ \frac{mm}{o} \right] \Rightarrow \left[ \frac{mm}{1 \text{ obrtu predmeta}} \right]$$

Očigledno je da ovo kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta " $n_p$ " i to baš za slučaj  $n_p = 1$ . Stoga je:

$$s_v = h_v \cdot n_p \cdot k_{uk} = h_v \cdot n_p \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{23} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{4}{27} \cdot \frac{4}{27}$$

za preporučeni (ili usvojeni) pomak  $s_v = 1 \left[ \frac{mm}{o} \right]$  i  $h_v = 12,7 \text{ [mm]}$  je:

$$\frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} = \frac{1}{12,7} \cdot \frac{1}{84} \cdot \frac{23}{2} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{27}{4}$$

Postavljanjem svih izračunatih zupčanika na odgovarajuća mesta na mašini, a skidanjem svih drugih koji u ovom slučaju ne trebaju izradiće se predviđeni cilindrični zupčanik sa pravim zubima.

Pri izradi **cilindričnih zupčanika sa kosim zubima** neophodna su sva tri razmatrana kretanja, a zbog jedine razlike u kosini zuba, potrebno je još neko, **dopunsko obrtanje obradka**.

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

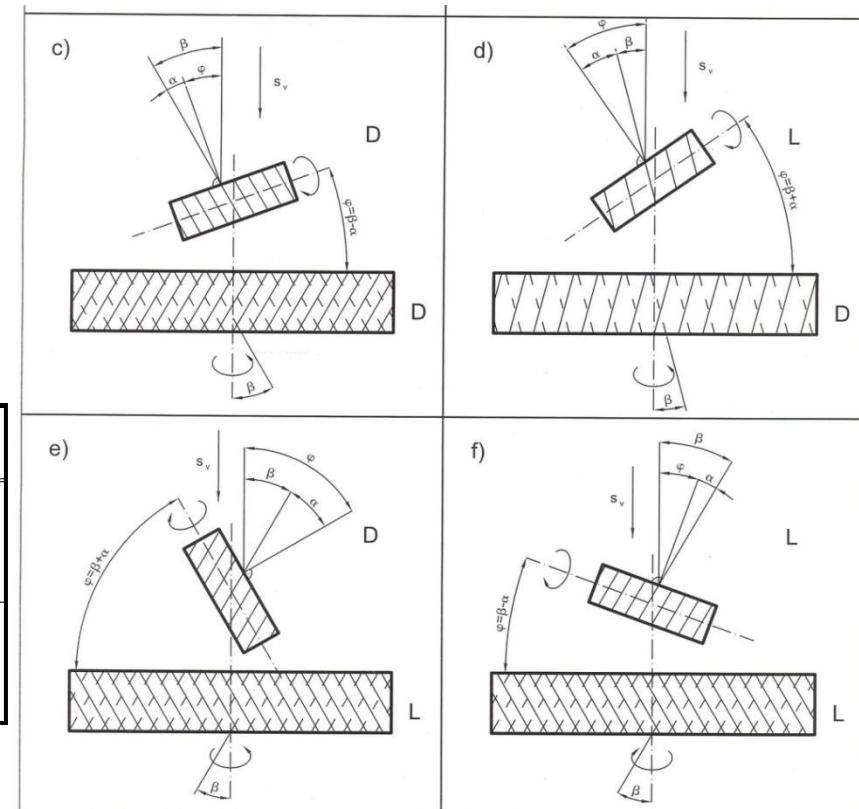
## Izrada zupčanika sa kosim zubima

Ugao naginjanja ose alata u odnosu na ravan podeonog kruga zupčanika  $\varphi$  – zavisi od ugla zavojnice alata i pravca zuba zupčanika (obzirom da oni mogu biti, osim pravih i sa kosim zubima – pod uglom  $\beta$ ).

Postupak izrade kosih zuba se razlikuje od prethodnog po tome što se pri nagibu ose alata uzima u obzir i ugao zuba zupčanika koji se izrađuje.

Skice prikazuju naginjanje alata smera zavojnice desnog (D) (c i e) i levog (L) (d i f) pri izradi **zupčanika sa kosim zubima** i to desnog smera (D) (c i d), odnosno levog (L) (e i f). Prema tome ugao naginjanja –  $\varphi$  je:

Sl.3	Smer zuba zupčanika	-	Smer zavojnice alata	Ugao naginjanja
c)	D	-	D	$\varphi = \beta - \alpha$
f)	L	-	L	
d)	D	-	L	$\varphi = \beta + \alpha$
e)	L	-	D	



## Izrada zupčanika sa kosim zubima

- Zaključak je **da je pri istim smerovima potreban manji ugao zakretanja –  $\varphi$** , nego u slučajevima različitih smerova zuba zupčanika i zavojnice alata.
- Proces obrade – rezanja, nesmetano se odvija do ugla naginjanja alata oko  $(22\div 23)^\circ$ , tako da je u slučaju izrade zupčanika sa kosim zubima, većeg ugla  $\beta$  poželjno, a nekad i neophodno, ozubljenje vršiti alatom istog smera zavojnice kako bi se naginjanje alata što više smanjilo.
- Osnovni oblik alata je sa desnom zavojnicom, ali zbog pomenutih razloga postoji i sa levom zavojnicom.
- Što se tiče broja početaka zavojnice alata ( $i_a$ ), osnovni oblik je sa  $i_a = 1$ . Obzirom da kod istog prečnika alata povećanje broja početaka dovodi do povećanja ugla  $\alpha$  (što povoljno utiče na smanjenje ugla naginjanja alata –  $\varphi$  kod istih smerova) postoji i alati sa zavojnicama sa više početaka.

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Izrada zupčanika sa kosim zubima

Potrebna kretanja su, kao i uslučaju izrade zupčanika sa pravim zubima:

- obrtanje alata
  - obrtanje predmeta
  - vertikalni pomak
  - dopunsko obrtanje predmeta, zbog kosih zuba
- (za ova kretanja naznačeni kinematski lanci su isti kao kod izrade prvih zuba)

1) Glavno kretanje: obrtanje alata –  $n_a$

(to je ujedno i jedna komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi} = n_0 \cdot k_{uk}$$

2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta –  $n_p$

(što je druga komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_p = n_a \cdot k_{uk}, \text{ tj. } k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p}$$

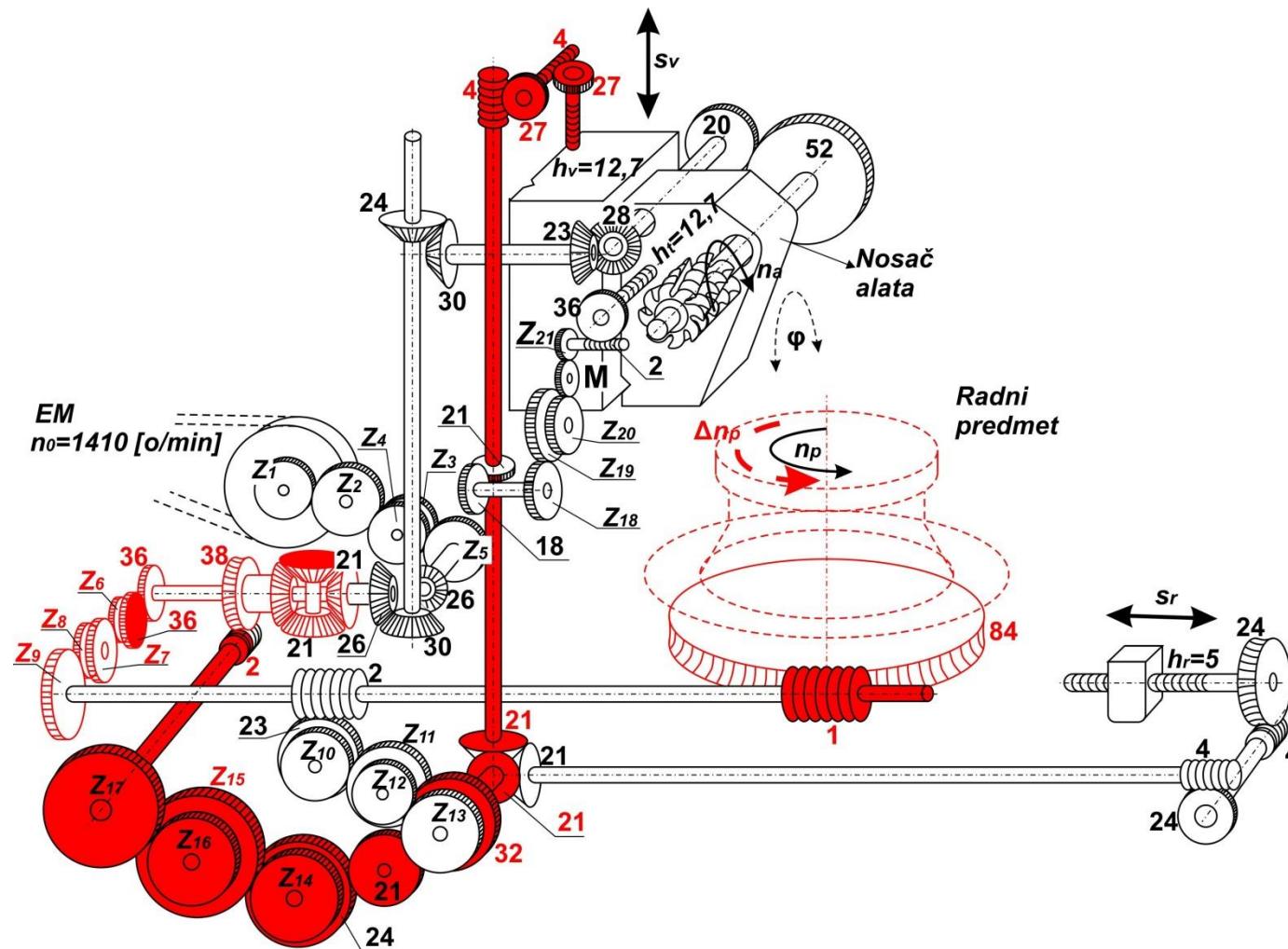
Ovaj kinematski lanac se rešava na potpuno isti način kao i u primeru br.1.

3) Pomoćno kretanje: vertikalni pomak –  $s_v$

$$s_v = h_v \cdot n_v = h_v \cdot n_p \cdot k_{uk}$$

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Izrada zupčanika sa kosim zubima – Pomoćno kretanje – Dopunsko obrtanje radnog predmeta

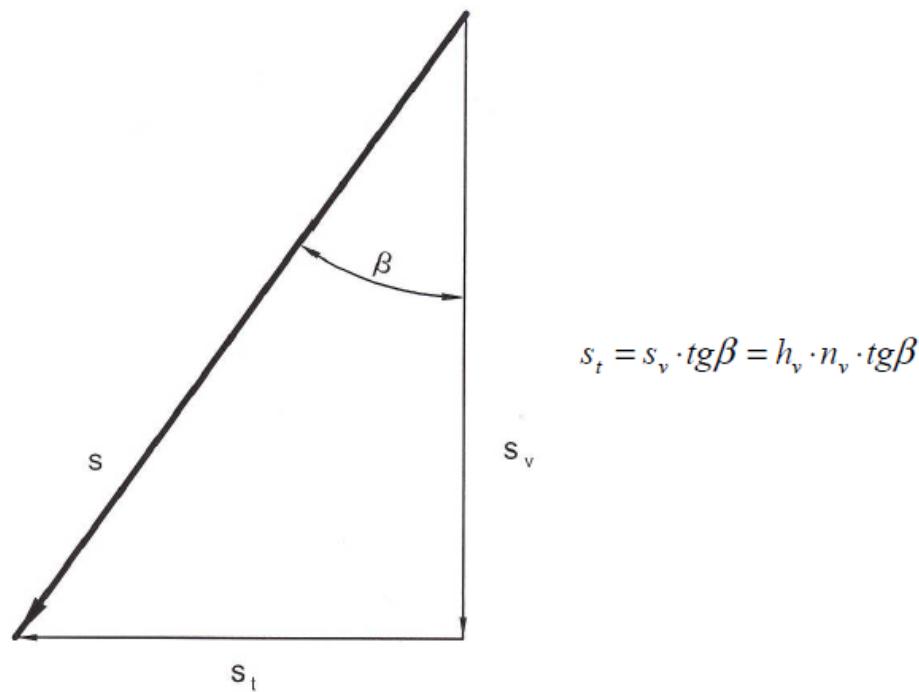


## Izrada zupčanika sa kosim zubima

4) Pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje predmeta –  $\Delta n_p$

Zbog kosih zuba se alat u odnosu na predmet mora kretati ne vertikalno nego koso – pod uglom  $\beta$ . Ovakvo kretanje se kao rezultujuće, ostvaruje pomoću dve komponente:

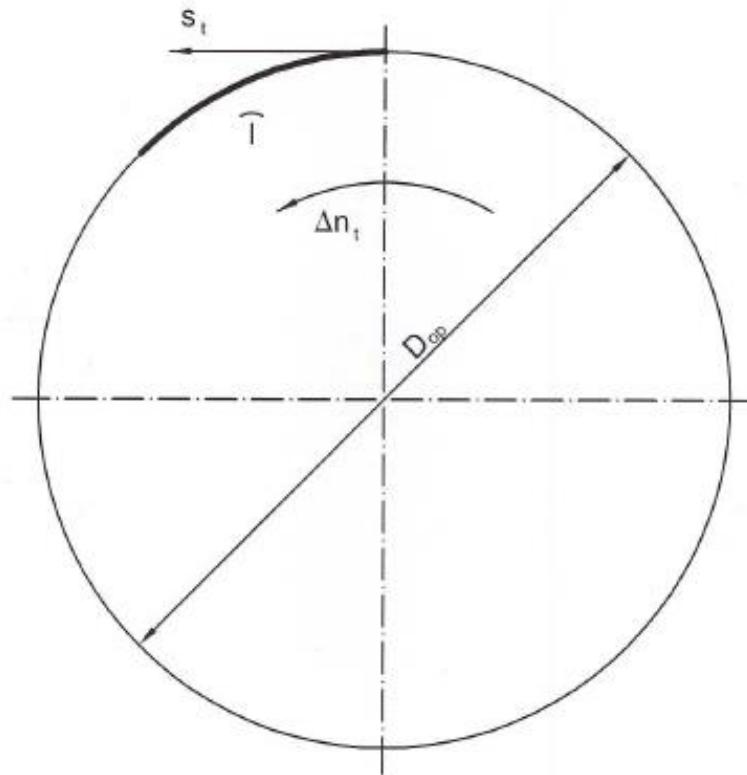
- vertikalno kretanje  $s_v$
- horizontalno kretanje  $s_t$  koje se naziva i "tangencijalno", jer se poklapa sa pravcem tangente na predmet.



# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Izrada zupčanika sa kosim zubima

Komponenta  $s_t$  se ne može ostvariti kretanjem alata jer je on nagnut za ugao zakretanja –  $\varphi$  u odnosu na pravac tangente na predmet, već se to dobija dopunskim obrtanjem predmeta –  $\Delta n_p$  ("dopunsko" je, jer obrtanje  $n_p$  već postoji kao komponenta relativnog kotrljanja).



$$s_t = \hat{l} = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$$

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

## Izrada zupčanika sa kosim zubima

Iz jednakosti kretanja  $s_t$  prema navedene dve skice je:

$$h_v \cdot n_v \cdot \operatorname{tg}\beta = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p , \text{ odnosno:}$$

$$\frac{\Delta n_p}{n_v} = \frac{h_v \cdot \operatorname{tg}\beta}{D_{op} \cdot \pi} = k_{uk}$$

Taj kinematski lanac naznačen je na kinematskoj strukturi mašine, i odatle sledi:

$$k_{uk} = \frac{h_v \cdot \operatorname{tg}\beta}{D_{op} \cdot \pi} = \frac{27}{4} \cdot \frac{27}{4} \cdot \frac{21}{27} \cdot \frac{32}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{2}{38} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84}$$

U ovom izrazu je sve poznato, osim izmenljivih zupčanika  $z_{14} \div z_{17}$ , tj.:

$$h_v = 12,7 \text{ mm} ; \beta = 12^\circ ; D_{op} = m \cdot z_p = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot z_p = \frac{2}{\cos 12^\circ} \cdot 30 ; k_d = 2 \quad (\text{II tip diferencijala});$$

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

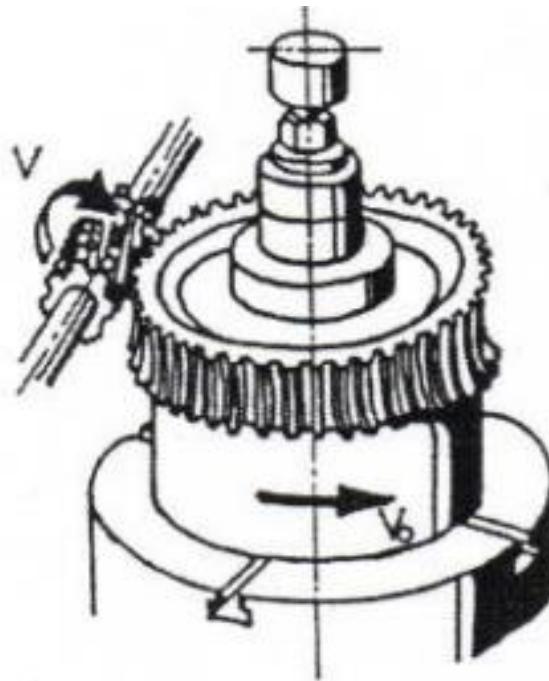
- Izrada **zupčanika sa unutrašnjim ozubljenjem NE MOŽE** se vršiti na ovoj mašini.
- Izrada drugih ozubljenih predmeta kao što su **ožljebljena vratila, lančanici i zupčaste spojnice izvodi se na isti način kao zupčanici sa pravim zubima** (obzirom da su zubi na navedenim predmetima pravi).
- Profil zavojnice alata mora, naravno, u tim slučajevima odgovarati profilu zuba predmeta, tj. nema više oblik zuba zupčaste letve.
- Izrada pužnih točkova moguća je na ovakvim mašinama – odvalnim glodalicama.

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

## Izrada pužnih točkova

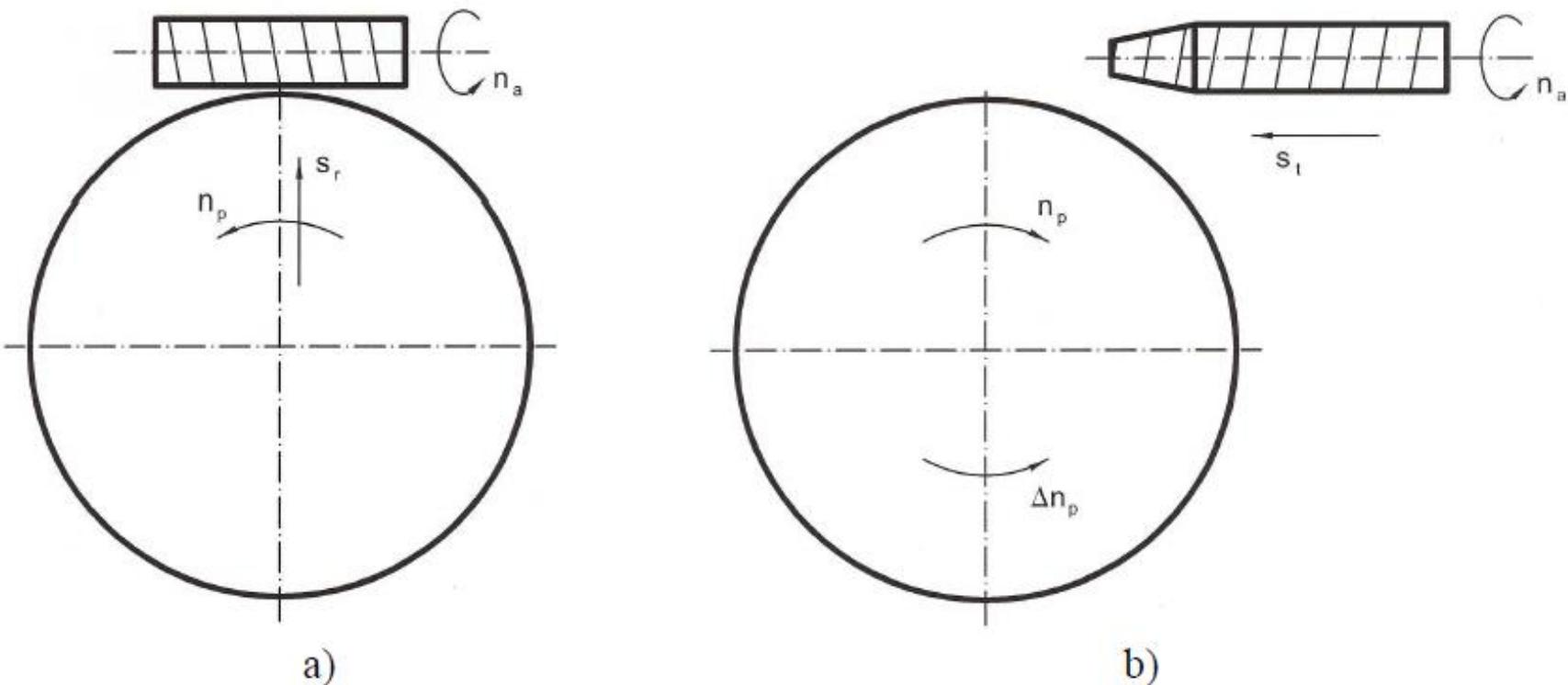
- Pužni točkovi se izrađuju posredstvom odvalnog glodala čija je osa horizontalna i leži u ravni simetrije pužnog točka koji se izrađuje.
- U ovom slučaju je položaj alata i predmeta istovetan položaju koji imaju pri sprezanju puž i pužni točak.
- Pri izradi pužnih točkova potrebno je osu alata dovesti do sredine predmeta (bez naginjanja).



## Izrada pužnih točkova

Pri početku obrade nastaje međusobno primicanje alata i radnog predmeta, pri čemu se razlikuju dve osnovne metode rada:

- a) *radijalna* i
- b) *tangencijalna*.

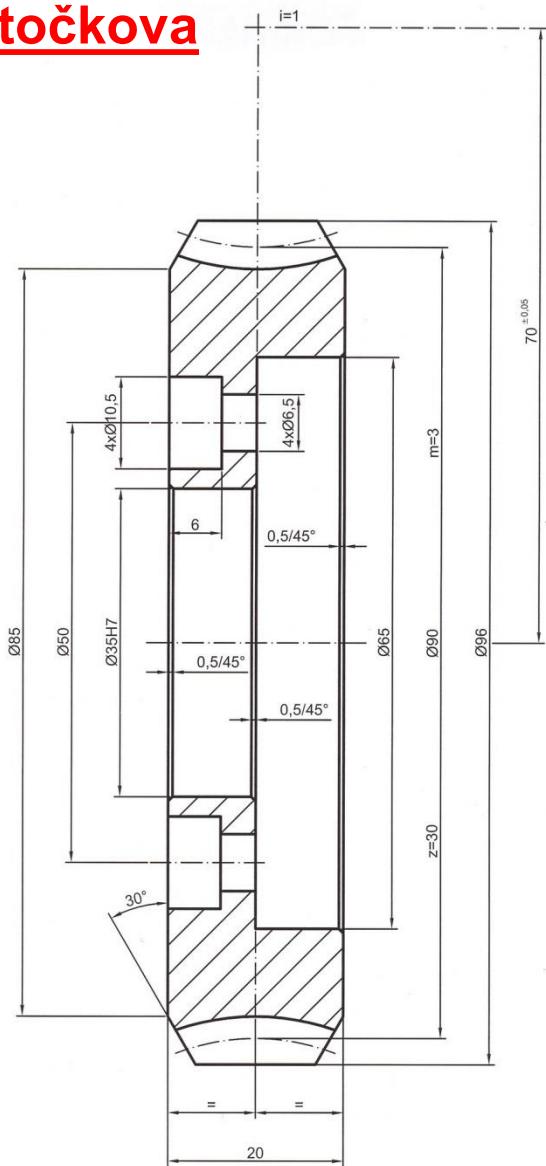


## Izrada pužnih točkova

- Pomaci  $s_r$  i  $s_t$  su parametri obrade, tj. tehnološki parametri koji se usvajaju u zavisnosti od predviđenog (zahtevanog) kvaliteta obrađene površine.
- Razmatranje kinematskih lanaca pojedinih kretanja, uz određivanje brojeva zuba izmenljivih zupčanika, izvešće se za slučaj izrade pužnog točka prikazanog na sledećoj slici i to radijalnom i tangencijalnom metodom, na odvalnoj glodalici kinematske strukture date ranije.
- Napominje se da alat (odvalno glodalo) mora biti identično pužu sa kojim će se predmet (pužni točak) sprezati u eksploataciji.

## **Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER**

## Izrada pužnih točkova



## Primer pužnog točka

## Radijalna metoda izrade pužnih točkova

Kod radijalne metode se radni predmet radijalno primiče alatu uz istovremeno obrtanje alata i radnog predmeta.

Potrebna kretanja za izradu pužnih točkova radijalnom metodom su:

- obrtanje alata (glodala) – , tj. glavno kretanje, što ujedno predstavlja i jednu komponentu relativnog kotrljanja,
- obrtanje radnog predmeta – , tj. pomoćno kretanje, što je druga komponenta relativnog kotrljanja (uz eventualnu korekciju sa obrtanjem ),
- radijalni pomak (pomoćno kretanje) - postepeno ulaženje u zahvat alata i predmeta do sprezanja sa punom dubinom profila zavojnice alata i zuba radnog predmeta

## **Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER**

## **Radijalna metoda izrade pužnih točkova – glavno kretanje**

1) Glavno kretanje: obrtanje alata –  $n_a$

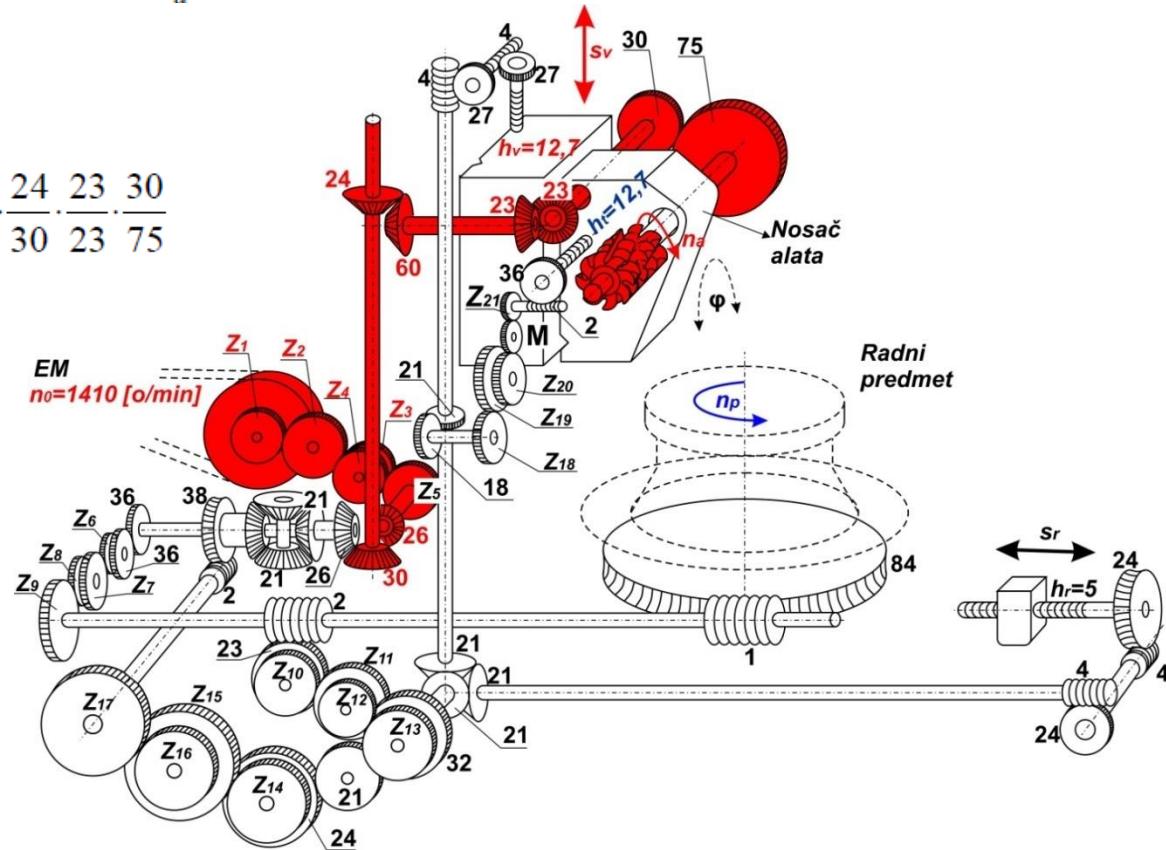
(to je ujedno i jedna komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_a = n_0 \cdot k_{uk} \quad , \text{ a takođe je } n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi}$$

Odavde je:

$$k_{uk} \frac{n_a}{n_0} = \frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0} , \text{ tj.}$$

$$\frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0} = k_{uk} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{30}{75}$$



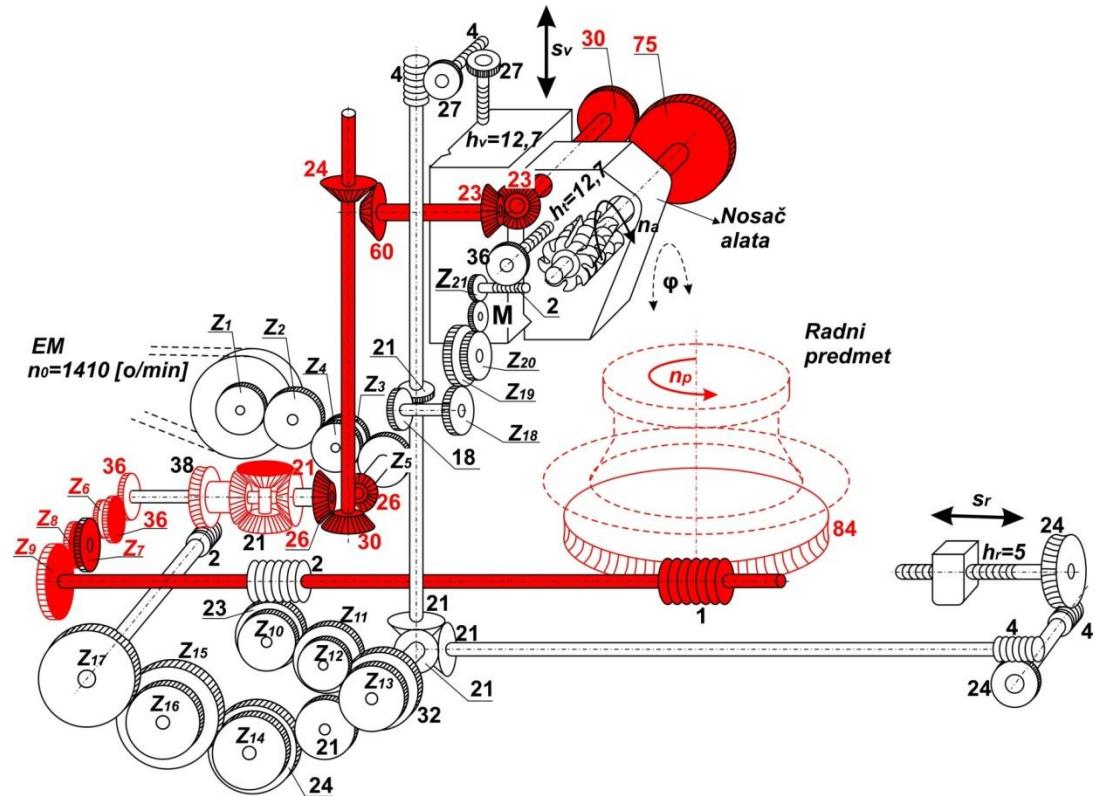
# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Radijalna metoda izrade pužnih točkova – pomoćno kretanje

- 2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta –  $n_p$   
(što je druga komponenta relativnog kotrljanja)

Obzirom da komponente relativnog kotrljanja moraju biti sinhronizovane, tj. kinematski usklađene, sledi:

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} \quad , \text{tj.} \quad k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p} = \frac{1}{30}$$
$$k_{uk} = \frac{1}{30} = \frac{75}{30} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{30}{26} \cdot k_d \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84} ;$$



# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Radijalna metoda izrade pužnih točkova – pomoćno kretanje

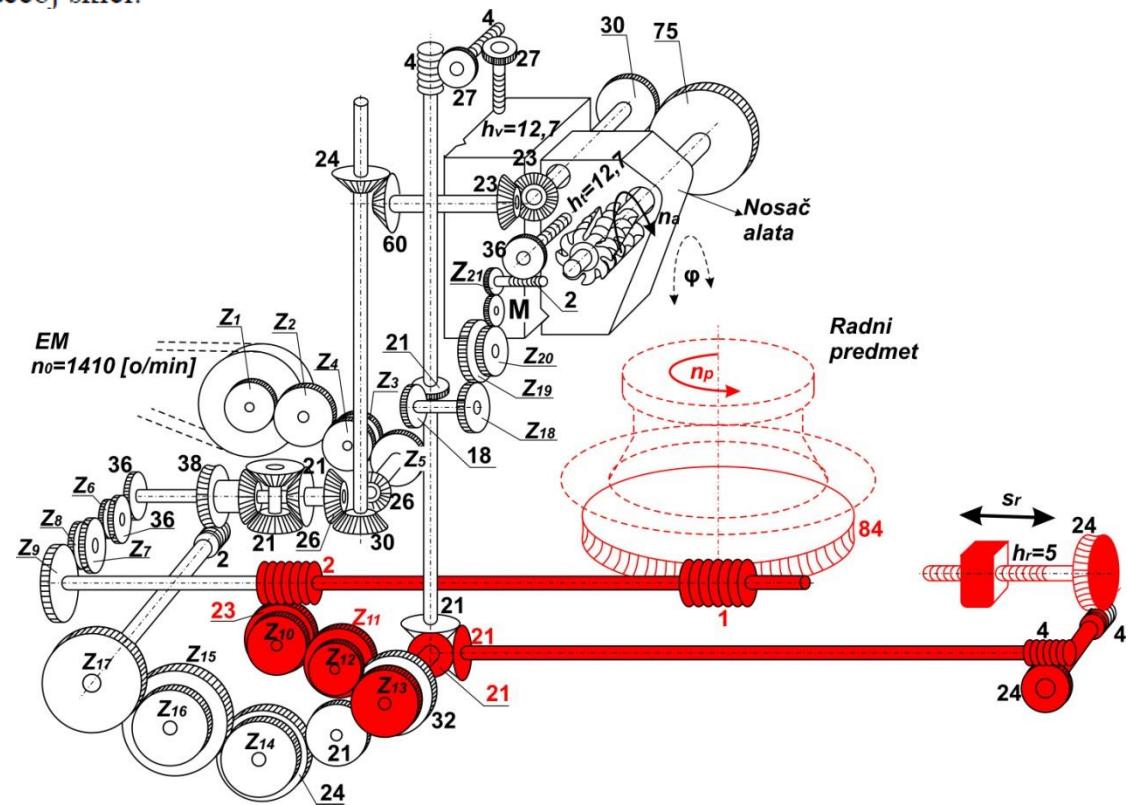
3) Pomoćno kretanje: radijalni pomak –  $s_r$

Ovo kretanje se ostvaruje zavojnim vretenom koraka  $h_r = 5 \text{ mm}$ , pa je stoga:

$$s_r = h_r \cdot n_r \left[ \frac{\text{mm}}{\text{o}} \right] \Rightarrow \left[ \frac{\text{mm}}{1 \text{ obrtu predmeta}} \right]$$

Iz ovoga jasno sledi da ovo kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta, i to se odnosi za  $n_p = 1$ . Ovaj kinematski lanac (obzirom da se prvi put pojavljuje) je naznačen na, već dатој kinematskoj strukturi mašine, prema sledećoj skici:

$$s_r = h_r \cdot n_r = h_r \cdot n_p \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{23} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{4}{24} \cdot \frac{4}{24}$$



## Tangencijalna metoda izrade pužnih točkova

Potrebna kretanja, već ranije navedena i naznačena na sl. 6b su:

- |                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
| 1) obrtanje alata             | { | (nisu naznačeni kinematski lanci, obzirom da su<br>već više puta razmatrani) |
| 2) obrtanje predmeta          |   |  |
| 3) tangencijalni pomak        | { | (naznačeni kinematski lanci pri razmatranju<br>ovih kretanja)                |
| 4) dopunsko obrtanje predmeta |   |  |

1) Glavno kretanje: obrtanje alata –  $n_a$

(što je ujedno i jedna komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi} = n_0 \cdot k_{uk}$$

Ovaj kinematski lanac se rešava kao i kod radijalne metode izrade.

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta –  $n_p$

(to je druga komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} , \text{ tj. } k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p}$$

I ovaj kinematski lanac se rešava kao i kod radijalne metode.

3) Pomoćno kretanje: tangencijalni pomak –  $s_t$

Ovo kretanje se ostvaruje obrtanjem zavojnog vretena koraka  $h_t = 12,7 \text{ mm}$ , pa je stoga:

$$s_t = h_t \cdot n_t \left[ \frac{\text{mm}}{\text{o}} \right] \Rightarrow \left[ \frac{\text{mm}}{1 \text{ obrtu predmeta}} \right]$$

Iz ovog jasno sledi da to kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta, i to se odnosi za  $n_p = 1$

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

## Pomoćno kretanje: tangencijalni pomak

3) Pomoćno kretanje: tangencijalni pomak –  $s_t$

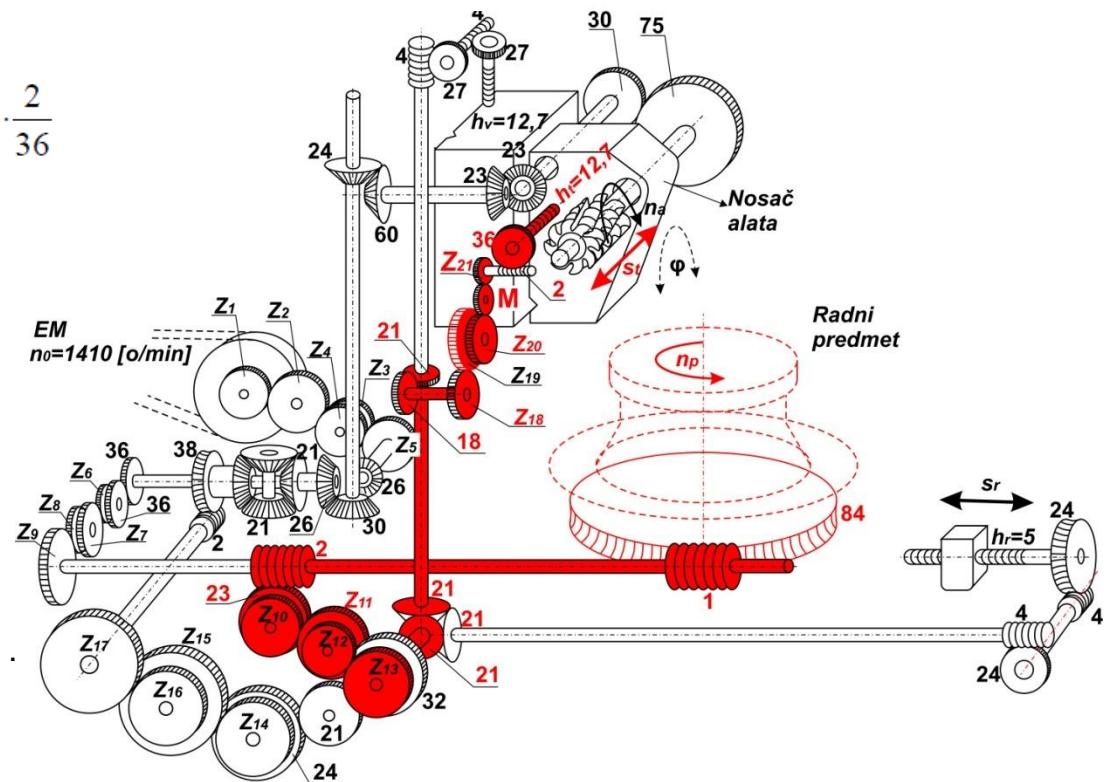
Ovo kretanje se ostvaruje obrtanjem zavojnog vretena koraka  $h_t = 12,7 \text{ mm}$ , pa je stoga:

$$s_t = h_t \cdot n_t \left[ \frac{\text{mm}}{\text{o}} \right] \Rightarrow \left[ \frac{\text{mm}}{1 \text{obrtu predmeta}} \right]$$

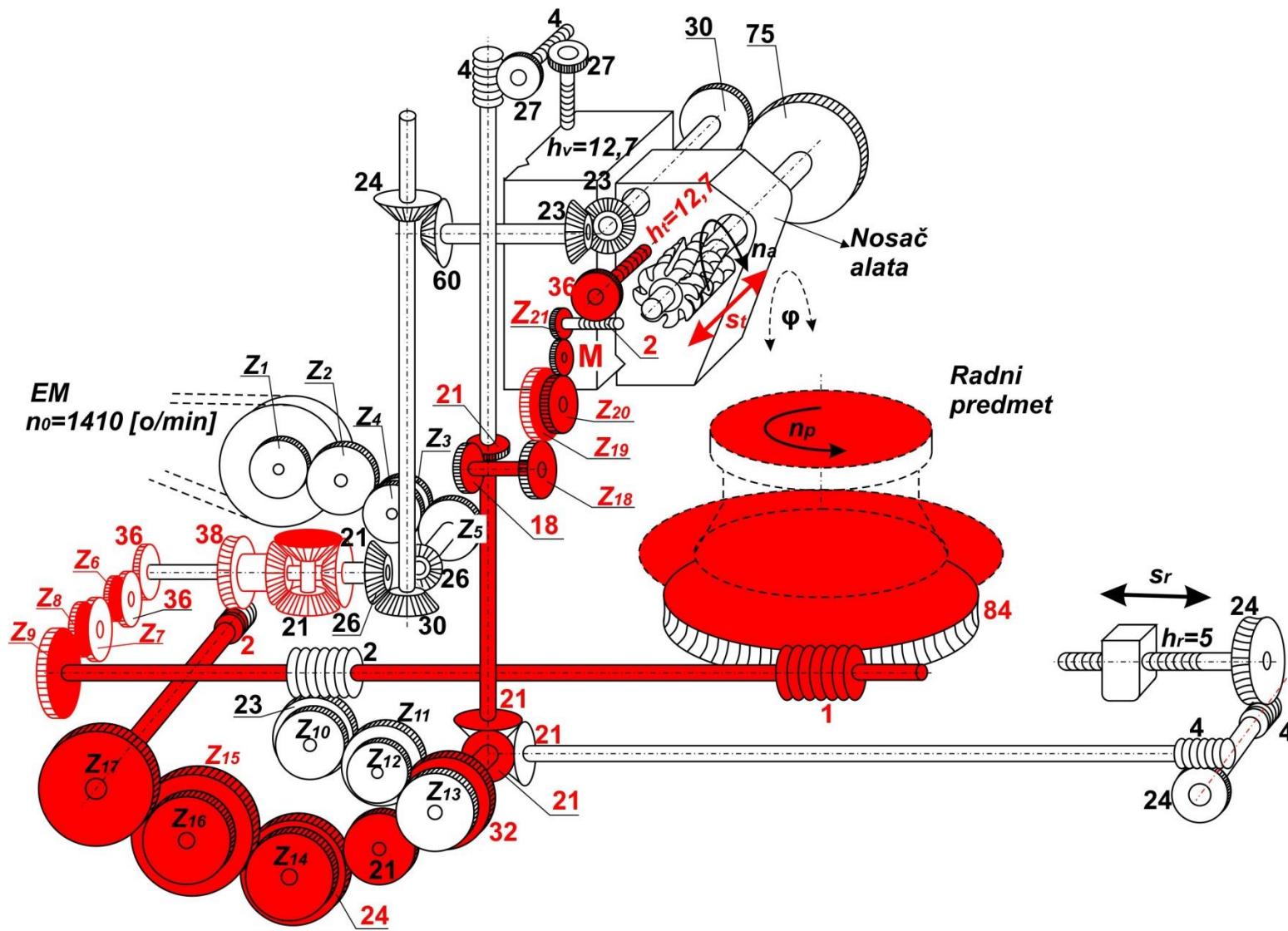
Iz ovog jasno sledi da to kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta, i to se odnosi za  $n_p = 1$

$$s_t = h_t \cdot n_t = h_t \cdot n_p \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{23} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{21}{18} \cdot \frac{z_{18}}{z_{19}} \cdot \frac{z_{20}}{M} \cdot \frac{M}{z_{21}} \cdot \frac{2}{36}$$

(M je ovde međuzupčanik)



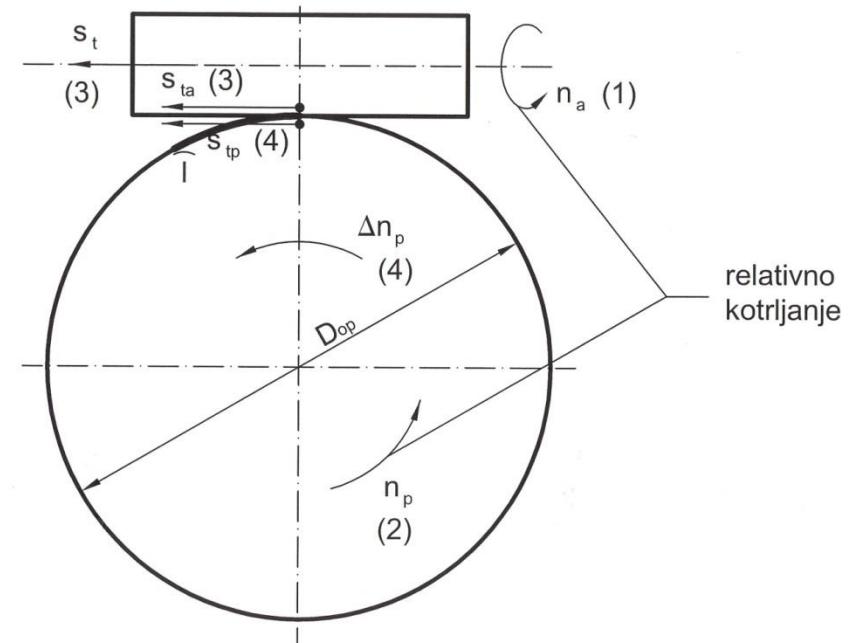
## Pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje radnog predmeta



## Pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje radnog predmeta

4) pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje predmeta –  $\Delta n_p$

Dodirna tačka alata i predmeta mora imati isti vektor brzine, jer u tom slučaju nema klizanja pri relativnom kotrljanju između njih. Obzirom da je alatu, pa time i njegovoj dodirnoj tački, dato kretanje  $s_t \equiv s_{ta}$ , isto se mora učiniti i sa dodirnom tačkom predmeta, tj. njegovoj dodirnoj tački se mora obezbediti kretanje  $s_t = s_{tp}$ .



$$s_{ta} = h_t \cdot n_t \quad ; \quad s_{tp} = \hat{l} = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$$

$$s_{ta} = s_{tp}$$

$$h_t \cdot n_t = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p \quad ; \text{ a odavde je:}$$

$$\frac{\Delta n_p}{n_t} = \frac{h_t}{D_{op} \cdot \pi} = \frac{36}{2} \cdot \frac{z_{21}}{z_{20}} \cdot \frac{z_{19}}{z_{18}} \cdot \frac{18}{21} \cdot \frac{21}{27} \cdot \frac{32}{21} \cdot \frac{21}{24} \cdot \frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{2}{38} \cdot k_d \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84}$$

## IZRADA PUŽNIH TOČKOVA JEDNOZUBIM ALATOM

Pri izradi pužnih točkova odvalnim glodalom javlja se jedan problem kojeg nema u slučaju izrade zupčanika. Naime, pri izradi zupčanika se od alata zahteva jedino odgovarajući modul. Tako, istim glodalom mogu se izrađivati zupčanici sa pravim i kosim zubima, bez obzira na njihov broj zuba i ugao zuba, naravno samo tog modula.

Pri izradi pužnih točkova, od alata se, osim odgovarajućeg modula, zahteva i odgovarajući prečnik, tj. on je definisan crtežom puža na kome mora biti dato i osno rastojanje. Tako dva pužna točka istog modula i broja zuba, ali različitog osnog rastojanja, zahtevaju pri izradi dva različita odvalna glodala. Obzirom da su alati u vidu odvalnih glodalica skupi, njihova primena je neekonomična u slučajevima pojedinačne ili maloserijske proizvodnje pužnih točkova.

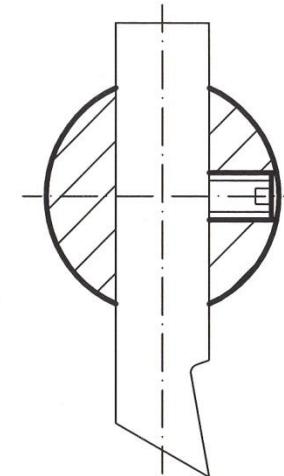
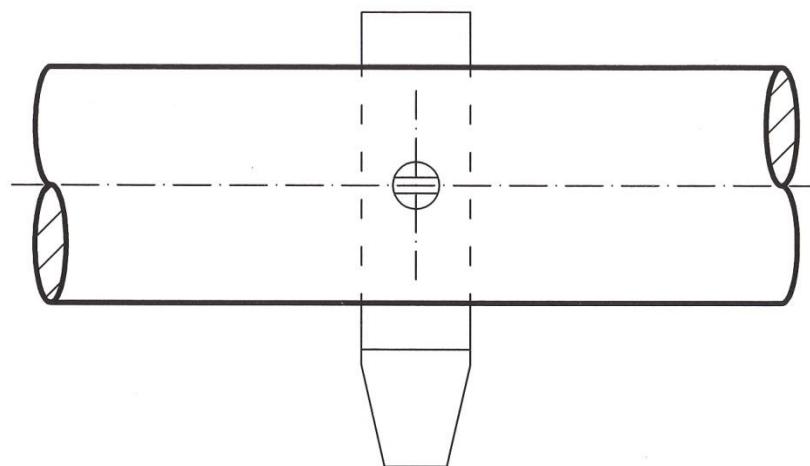
## Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

---

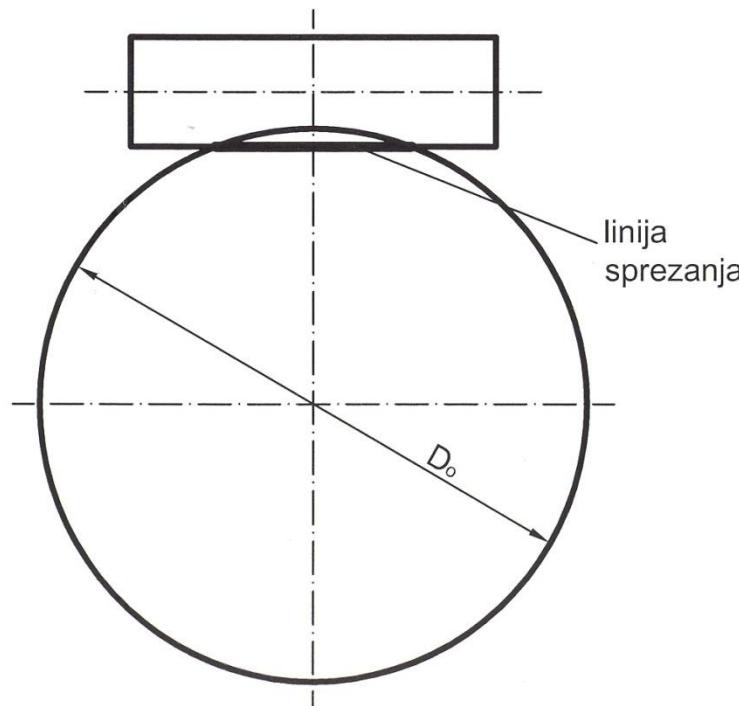
Taj problem se može uspešno rešiti primenom tzv. **JEDNOZUBOG ALATA** umesto skupog odvalnog glodala. Oblik navedenog alata može se objasniti na sledeći način: ako jednom odvalnom glodalu, čiji su zubi poređani po zavojnici, odstranimo jedan zub, ono će i dalje moći da izrađuje pužne točkove. Ista situacija će biti i kad se odstrani drugi zub.

Kad se odstrani treći, pa četvrti i tako redom, dok ne ostane samo jedan, odvalno glodalo je dobilo oblik jednozubog alata, ali i dalje konstantnog prečnika. Naravno, jednozubi alat se ne izrađuje na taj način, već se jednosečni alat – nož odgovarajućeg profila, postavlja u poprečni otvor jednog vratila i zavrtnjem fiksira u željenom radijalnom položaju.

# Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER



Skica jednozubog alata



Odpuštanjem zavrtnja i pomeranjem noža menja se radius, odnosno prečnik alata. Ovaj nož, tj. zub alata, mora pri izradi pužnog točka da preuzme zadatak svih zuba odvalnog glodala, kojih sada nema. Zahvat odvalnog glodala i pužnog točka je po celoj liniji sprezanja – tetivi podeonog kruga prema slici.

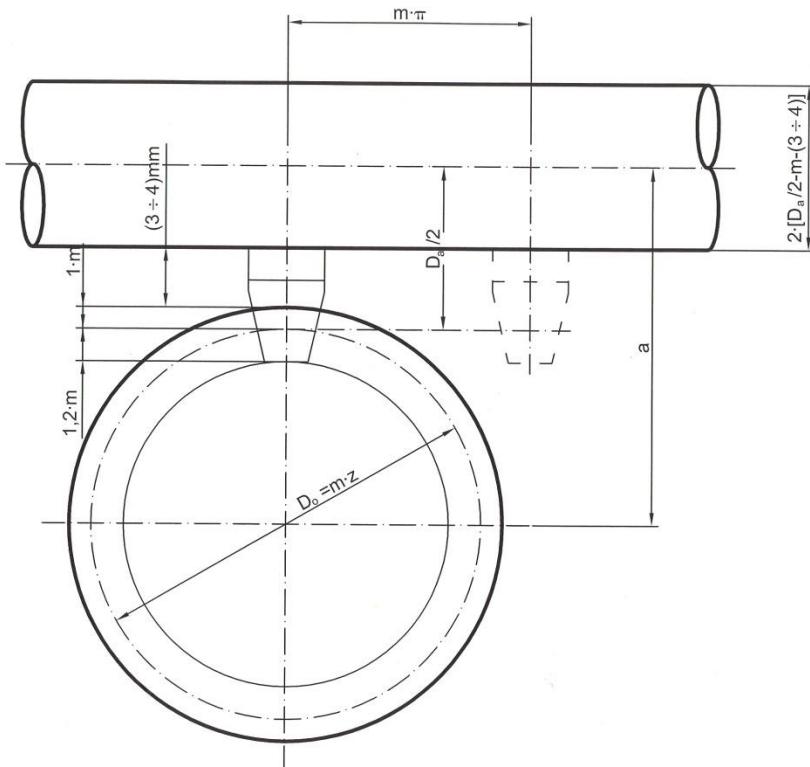
Nož jednozubog alata mora stoga da se pri izradi pužnog točka nađe u svim tačkama linije sprezanja. Ovo je moguće izvesti primenom jedino tangencijalne metode.

Zato se **izrada pužnog točka jednozubim alatom** NE MOŽE vršiti radijalnom metodom, već **ISKLJUČIVO tangencijalnom metodom.**

**Kinematski lanci kretanja i izračunavanje izmenljivih zupčanika istovetno je kao i pri izradi pužnog točka odvalnim glodalom tangencijalnom metodom.**

## Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pri izradi pužnog točka koji će se u eksploataciji sprezati sa pužem sa DVA početka, mora postojati po jedan zub koji će predstavljati svaku zavoјnicu, tj. mora postojati DVA zuba na alatu. Njihovo rastojanje je jednak koraku zavoјnice puža koji iznosi:  $h = m \cdot \pi$



Osnovne dimenzije  
jednozubog (dvozubog)  
alata