FTN - DPM
Katedra za mašine alatke, tehnološke procese,
FTS i procese projektovanja
Laboratorija za mašine alatke, FTS i APP
Osnovne akademske studije
Novi Sad, oktobar 2026.

OBRADNI I TEHNOLOŠKI SISTEMI

Studijski program:
PROIZVODNO MAŠINSTVO

Naziv predmeta:

OBRADNI I TEHNOLOŠKI SISTEMI

Semestar: V
Fond časova: 3+3
Status predmeta: Obavezni
Izvođači nastave:

Predavanja: dr Aleksandar **ŽIVKOVIĆ**, redovni profesor
dr Cvijetin **MLAĐENOVIĆ**, docent

Vežbe: dr Cvijetin **MLAĐENOVIĆ**, docent
Ms.c Dejan Marinković, asistent

Autorizovani materijal za predavanja – Zabranjeno je štampanje i umnožavanje

Obradni i tehnološki sistemi - 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. Čiča, Đ.: Mašine alattke, 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. Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina, Građevinska knjiga, Beograd, 1967
10. Sredanović, B., Globočki, L, G.: Podloge za vežbe iz obradnih sistema za obradu rezanjem, Radna verzija skripte za vežbe, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2014.
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

Obradni i tehnološki sistemi - 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. Zeljković, M, Tabaković, S.: Proizvodno mašinstvo početkom XXI veka, 42. Jupiter konferencija, Mašinski fakultet, Beograd, 2020

15. 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).

16. Zeljković, M.: Obradni i tehnološki sistemi, autorizovana prezentacija predavanja Fakultet tehničkih nauka, 2012 – 2020.

PROVERA ZNANJA I OCENJIVANJE

1. Redovno prisustvo predavanjima	5 poena
2. Redovno prisustvo vežbama	5 poena
3. Urađen i prihvaćen grafički rad **(4 L.V.)**	20 poena
4. Kolokvijum 1 (20 pitanja)	20 poena
5. Kolokvijum 2 (20 pitanja)	20 poena
Predispitne obaveze	**70 poena**
4. Pismeni ispit	**30 poena**

Ukupno: **max. 100 poena**

GRAFIČKI RAD

Obrada rezultata laboratorijskih merenja:

- Ispitivanje tačnosti pozicioniranja obradnog centra FM 38;
- Ispitivanje statičkog ponašanja struga;
- Ispitivanje dinamičkog ponašanja mašine alatke
- Ispitivanje bučnosti mašina alatki;

Pismeni deo ispita:

2 zadatka (po sadržaju odgovaraju zadacima rađenim na vežbama)

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026. 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

1.1 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 ekonomske celishodnosti.

Tehnologija proučava i primenjuje metode i sredstva kojima ostvarujemo određeni proces.

U proizvodnji povezuje *materijal, opremu, parametre procesa i zahteve proizvoda*.

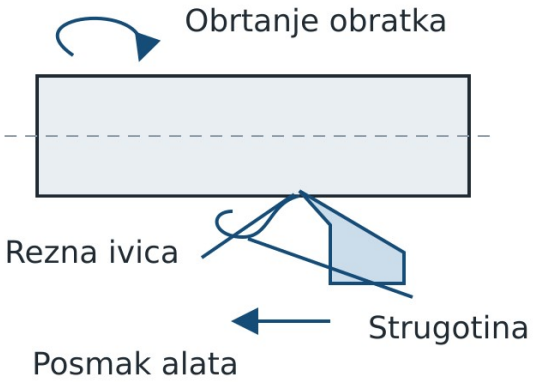
Izbor tehnologije zavisi od *funkcije dela, obima proizvodnje i raspoloživih sredstava*.

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

Tehnologija povezuje princip, sredstva rada i izvođenje procesa

1. Fizički princip

Kako se materijal uklanja?

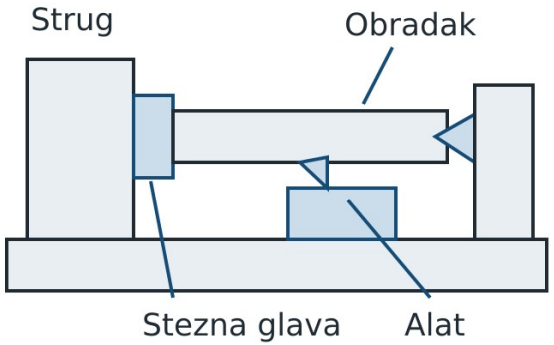


Rezna ivica odvaja materijal u obliku strugotine.

Rezultat: promena oblika, mera i stanja površine.

2. Sredstva rada

Čime se obrada izvodi?



Strug, rezni alat i pribor za stezanje i oslanjanje.

Obezbeđuju kretanja, pozicioniranje i stabilnost.

3. Način realizacije

Kako se proces planira?

1. Grubo struganje
2. Završno struganje
3. Kontrola mera

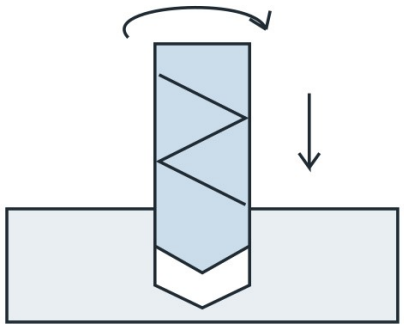
Redosled zahvata, izbor alata i parametara obrade.

v_c — brzina rezanja
f — posmak po obrtaju
a_p — dubina rezanja

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

Isti radni predmet – različit princip i sredstva rada i izvođenje procesa

Bušenje

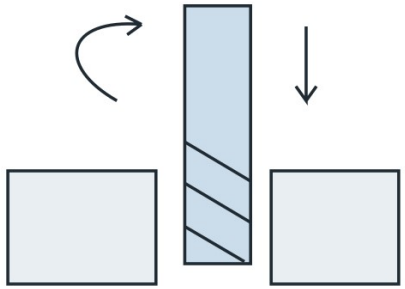


Princip: rezanje reznim ivicama burgije.

Oprema: bušilica ili CNC mašina.

Organizacija: izbor burgije, stezanje i aksijalni posmak.

Glodanje otvora

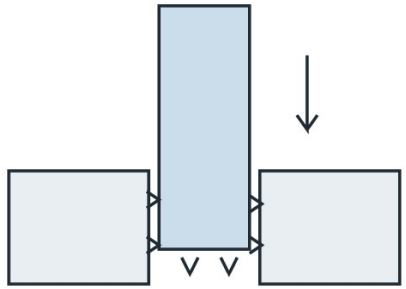


Princip: rezanje glodalom po programiranoj putanji.

Oprema: CNC glodalica ili obradni centar.

Organizacija: priprema putanje i koordinacija osa.

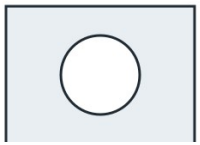
Elektroerozija



Princip: odvajanje materijala električnim pražnjenjima.

Oprema: elektroerozivna mašina sa elektrodom.

Organizacija: priprema elektrode i dielektrika; provodljiv obradak.



Ista nominalna geometrija

Različita priprema, vreme obrade, kvalitet površine i troškovi.

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

Materijalne tehnologije su:

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

Materijalni procesi (tehnologije) menjaju oblik, sastav, strukturu ili svojstva materijala.

Ostale tehnologije obuhvataju:

Informacione sisteme - obrađuju podatke za projektovanje, planiranje i upravljanje.

Energetske sistemi - obezbeđuju i pretvaraju energiju potrebnu za rad.

Transport, skladištenje i kontrola - podržavaju tok proizvodnje.

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

Primer proizvodnih tehnologija:

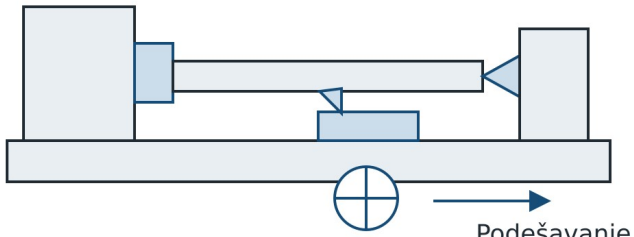
Grupa postupaka	Primeri
Dobijanje početnog oblika	Livenje, sinterovanje
Deformisanje	Kovanje, valjanje, izvlačenje
Odvajanje materijala	Struganje, glodanje, elektroerozija
Spajanje	Zavarivanje, lepljenje
Promena svojstava i površine	Termička obrada, prevlake
Dodavanje materijala	Aditivna proizvodnja

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

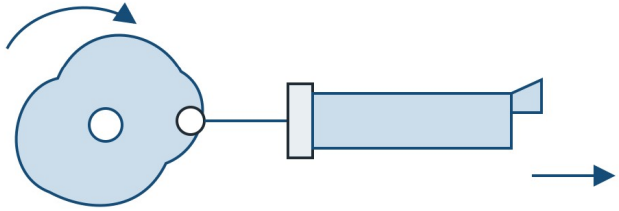
Mehaničke tehnologije (tehnologije mašinogradnje ili <u>proizvodne tehnologije)</u> mogu biti:

*1) <u>Tradicionalne tehnologije</u>***:** Tehnologije koje se realizuju na obradnim i tehnološkim sistemima sa ručnim upravljanjem ili unapred podešenim mehaničkim upravljanjem.

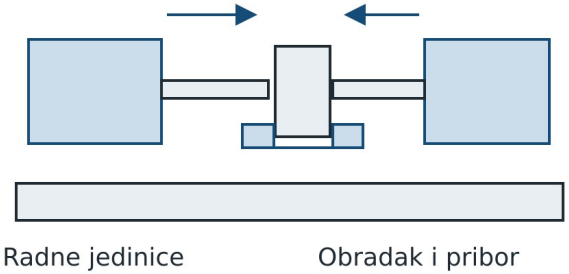
Ručno upravljanje



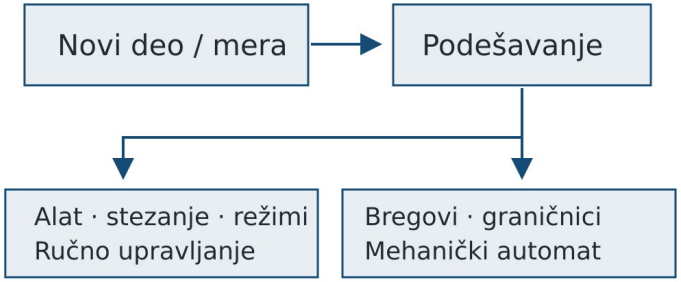
Mehanički automatsko upravljanje



Agregatna mašina



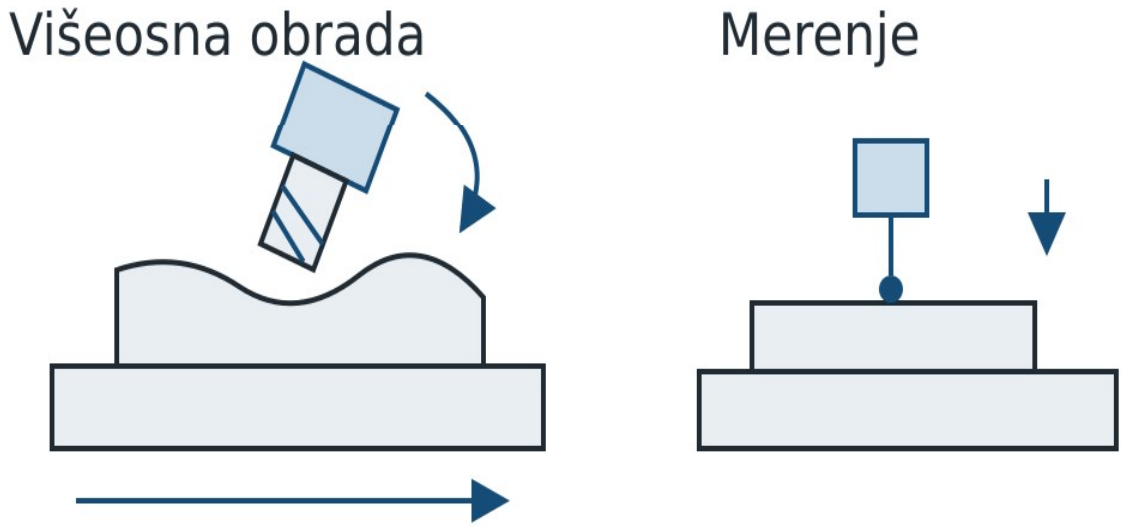
Promena proizvodnog zadatka



1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

2) ***Napredne tehnologije***

Tehnologije koje se realizuju primenom savremenih postupaka obrade i obradnih i tehnoloških sistema sa računarskim upravljanjem, automatizacijom, merenjem i digitalnim povezivanjem, radi proširenja mogućnosti izrade i kontrole proizvoda.

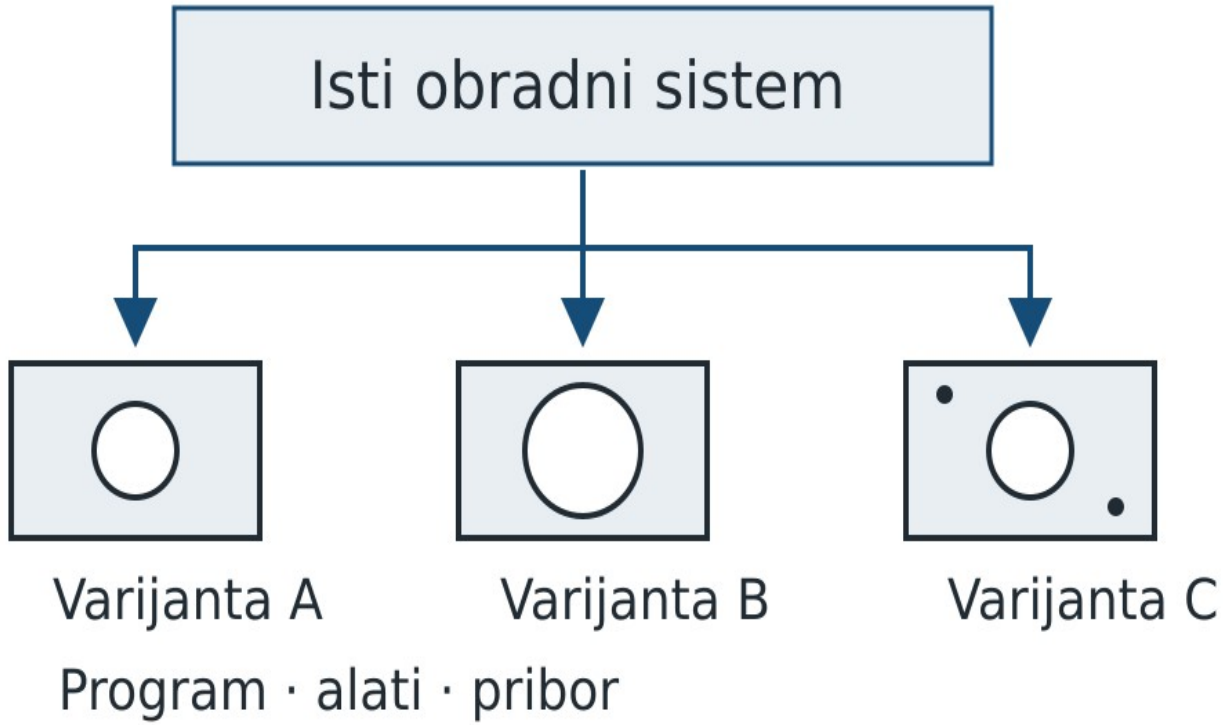


Tehnološke mogućnosti i kontrola

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

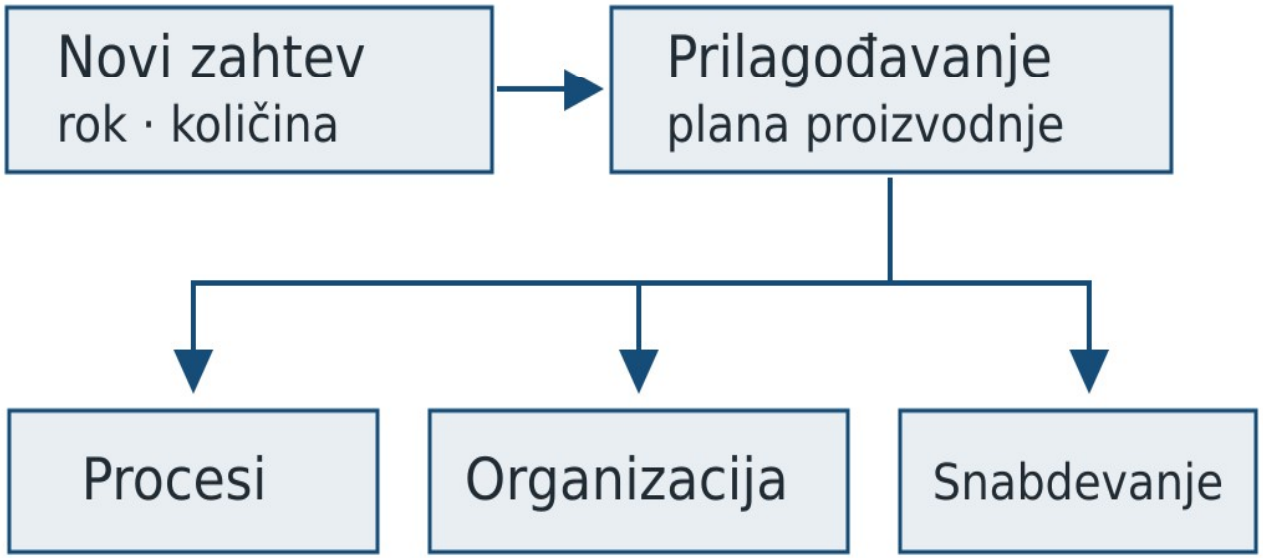
3) ***Fleksibilne tehnologije***

Tehnologije koje se realizuju u okviru obradnih i tehnoloških sistema koji omogućuju izradu različitih delova promenom programa, alata, pribora ili podešavanja, u granicama mogućnosti sistema.



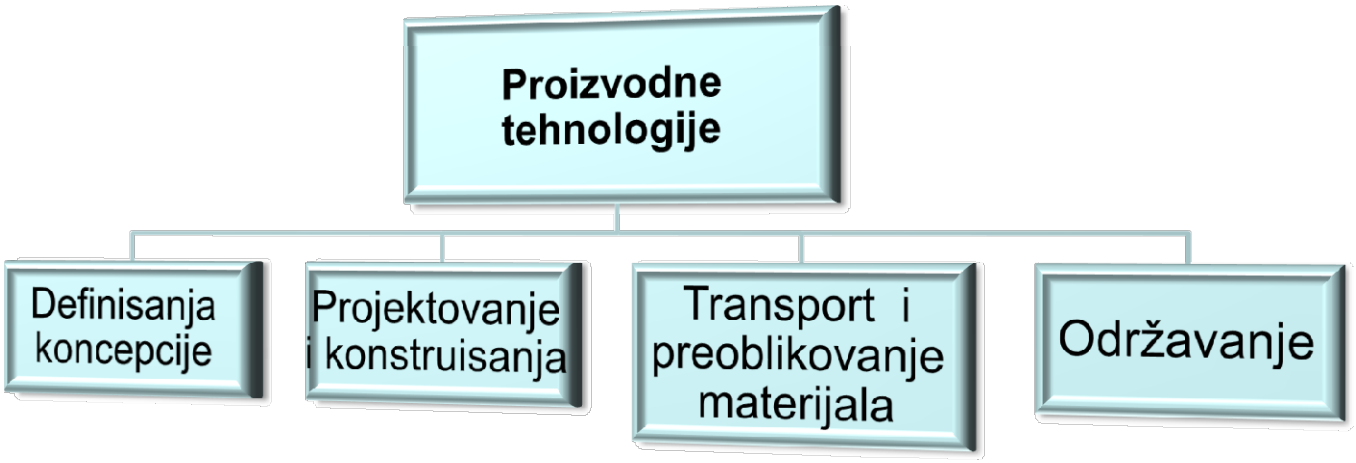
4) ***Agilne tehnologije***

Tehnologije koje se realizuju uz ***brzo prilagođavanje proizvodnih procesa***, opreme, organizacije rada i snabdevanja promenjenim zahtevima u pogledu proizvoda, količine i rokova isporuke.



1.1 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.**



1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

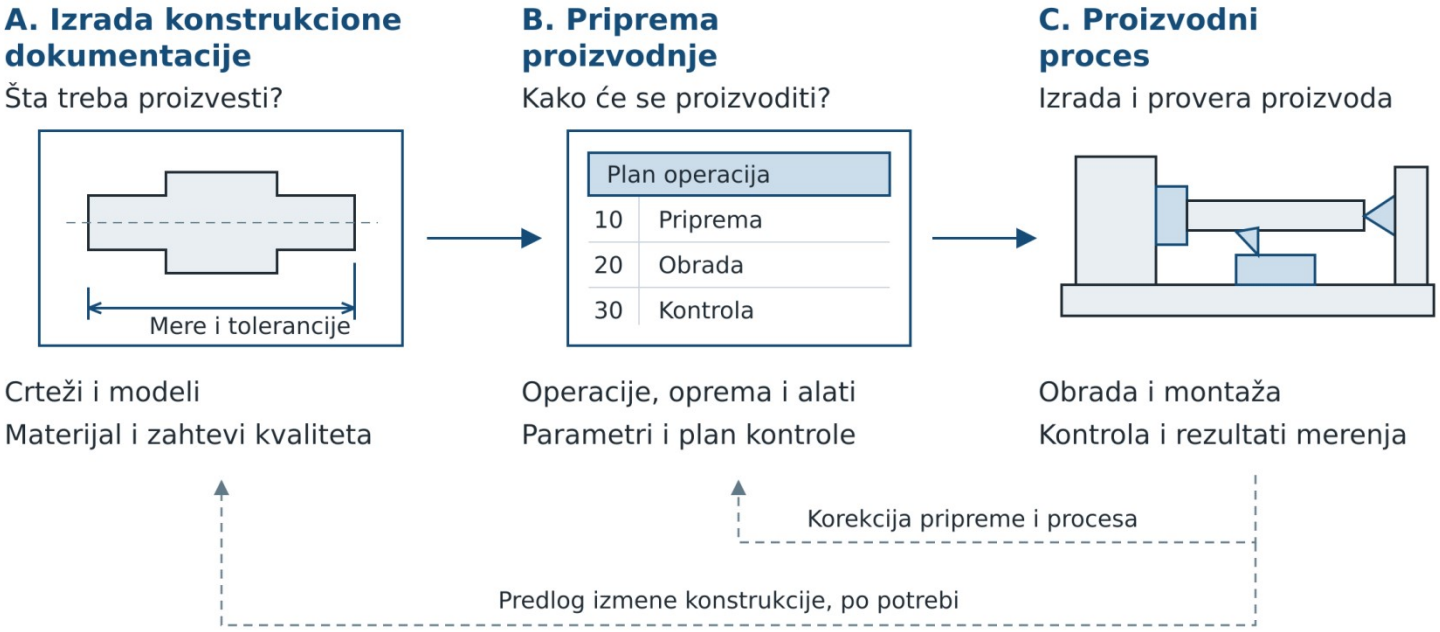
Proizvodne tehnologije se realizuju kroz određene faze proizvodnog procesa.

Faze realizacije proizvodnih tehnologija:

A. Izrada konstrukcione dokumentacije za proizvod;

B. Priprema proizvodnje;

C. Proizvodni proces (proces proizvodnje);



1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

A. Izrada dokumentacije

- *projektovanje proizvoda*

Definisanje funkcije, uslova rada, opterećenja, zahtevanog radnog veka i osnovne koncepcije proizvoda.

- *konstruisanje*

Razrada oblika, dimenzija, materijala, tolerancija, naleganja, veza i drugih zahteva, uz izradu modela, crteža i prateće dokumentacije.

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

B. *Priprema proizvodnje*; (u širem smislu obuhvata)

- Proveru konstrukcije izradom i ispitivanjem prototipa, po potrebi.
- Izradu tehnološke dokumentacije: redosleda operacija, izbora opreme, parametara obrade i plana kontrole.
- Izbor, nabavku ili izradu potrebnih alata i pribora.
- Proveru pripremljenog proizvodnog procesa izradom probne odnosno nulte serije, po potrebi.

1.1 Tehnologija kao naučna disciplina

C. Proizvodni proces (proces proizvodnje)

Proizvodni proces obuhvata aktivnosti kojima se materijal i pripremci pretvaraju u gotov proizvod, uz korišćenje odgovarajućih mašina, alata, pribora i druge opreme:

- Izradu poluproizvoda i pripremaka;
- Obradu pripremaka i dobijanje delova — izradaka;
- Montažu delova u podsklopove, sklopove i proizvod;
- Površinsku obradu i zaštitu, prema zahtevima proizvoda;
- Završno podešavanje, kontrolu i ispitivanje proizvoda;
- Pakovanje za skladištenje i transport.

1.2 Položaj tehnologije obrade rezanjem u savremenoj proizvodnji

Obrada rezanjem zauzima značajno mesto u proizvodnim tehnologijama jer omogućuje:

- Ostvarivanje zahtevanih oblika, mera, tolerancija i kvaliteta površine;
- Završnu obradu pripremaka dobijenih livenjem, deformisanjem i drugim postupcima;
- Izradu delova, alata i opreme za različite industrijske grane.

Razvoj postupaka obrade, mašina alatki i upravljanja doprinosi povećanju produktivnosti, unapređenju kvaliteta i smanjenju troškova proizvodnje.

1.2 Položaj tehnologije obrade rezanjem u savremenoj proizvodnji

Uloga obrade rezanjem u ostvarivanju kvaliteta, automatizaciji i integraciji proizvodnje.

- **Ostvarivanje zahteva proizvoda** — obrada rezanjem omogućuje dobijanje zahtevane geometrije, tačnosti mera i kvaliteta površine.
- **Objedinjavanje zahvata** — obradni centri omogućuju glodanje, bušenje i izradu navoja na istoj mašini, čime se može smanjiti broj stezanja i pomoćno vreme.
- **Automatizacija obrade** — CNC upravljanje omogućuje programirano i ponovljivo izvođenje kretanja i ciklusa.
- **Integracija u proizvodne sisteme** — mašine za obradu rezanjem povezuju se sa rukovanjem delovima, transportom, merenjem i drugim proizvodnim aktivnostima.

Razvoj savremene proizvodnje menja način pripreme, upravljanja i povezivanja obrade rezanjem. Njena osnovna uloga ostaje ostvarivanje površina i zahteva koji omogućuju funkciju proizvoda

1.2 Položaj tehnologije obrade rezanjem u savremenoj proizvodnji

Tačnost obrade i funkcionalni zahtevi proizvoda

- **Tačnost obrade** predstavlja stepen usklađenosti ostvarenih mera i geometrije dela sa propisanim zahtevima.
- Pri projektovanju proizvoda definišu se **tolerancije mera, oblika i položaja** potrebne za ostvarivanje funkcije dela.
- Razvoj pojedinih proizvoda donosi strože zahteve tačnosti, odnosno uža tolerancijska polja.
- Obrada rezanjem, uz odgovarajuću opremu, alate, upravljanje i kontrolu, omogućuje ostvarivanje tih zahteva.

Značaj zahtevane tačnosti:

- Obezbeđuje pravilno naleganje i saradnju delova, čime doprinosi pouzdanosti i radnom veku proizvoda.
- Omogućuje zamenljivost delova pri montaži i održavanju.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026. god.

2.0 ISTORIJA RAZVOJA MAŠINA ALATKI I SISTEMA

Od ručnog pogona do CNC mašine
i povezanog proizvodnog sistema

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

Glavne razvojne promene

Period	Glavna promena
Pre industrijske proizvodnje	Ljudski pogon i jednostavni mehanizmi
XVIII–XIX vek	Mehanizacija i preciznija metalna konstrukcija
XX vek	Električni pogon i razvijeni prenosi
Od 1950-ih	Numeričko upravljanje (NC)
Od 1970-ih	Računarsko upravljanje (CNC)
Savremena proizvodnja	Više operacija, automatizacija i tok podataka

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

Kako je bilo: ljudski pogon



Bušilica sa lukom



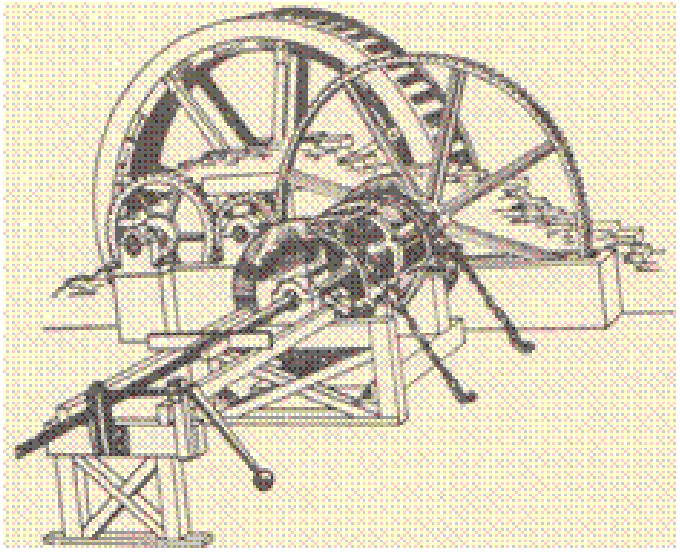
Istorijski strug

Čovek obezbeđuje energiju i neposredno vodi rad.

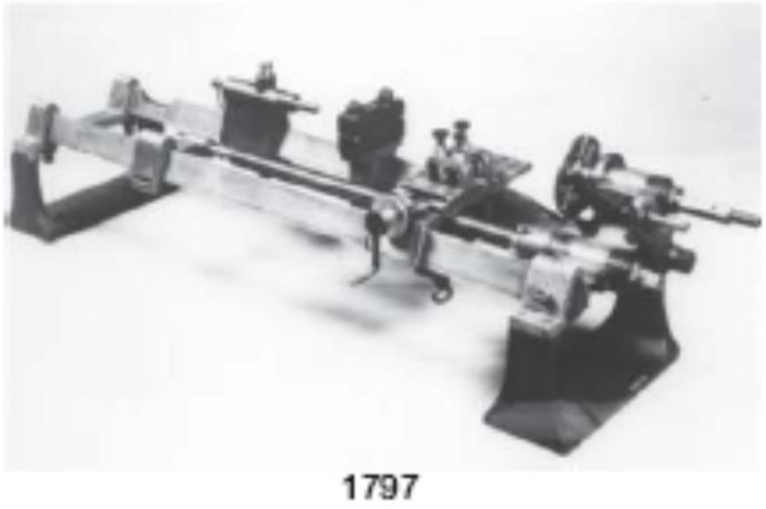
Snaga i ponovljivost obrade su ograničene.

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

Mehanizacija i preciznija konstrukcija



Obrada cilindara



Maudslayev strug, oko 1800.

Metalna konstrukcija i vođenje alata omogućuju precizniju obradu i ponavljanje mera.

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

Električni pogon i konvencionalne mašine



Sopstveni motor

Prenosnici

Rukovalac zadaje
i prati obradu

Veća raspoloživa snaga i produktivnost.

Upravljanje i dalje znatno zavisi od rukovaoca.

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

NC: kretanja se zadaju programom



Kasniji primer mašine sa upravljačkom jedinicom (1978).

1952: demonstracija NC na MIT-u.

Program zadaje položaje i funkcije mašine.

Kretanja izvode pogoni prema komandama upravljanja.

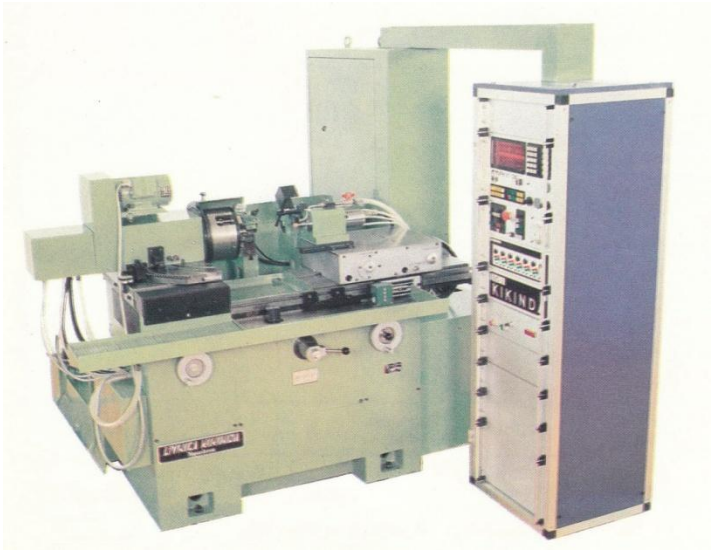
2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

CNC: računar u upravljanju mašinom

Od 1970-ih: čuvanje i izmena programa,
korekcije alata i koordinacija kretanja.



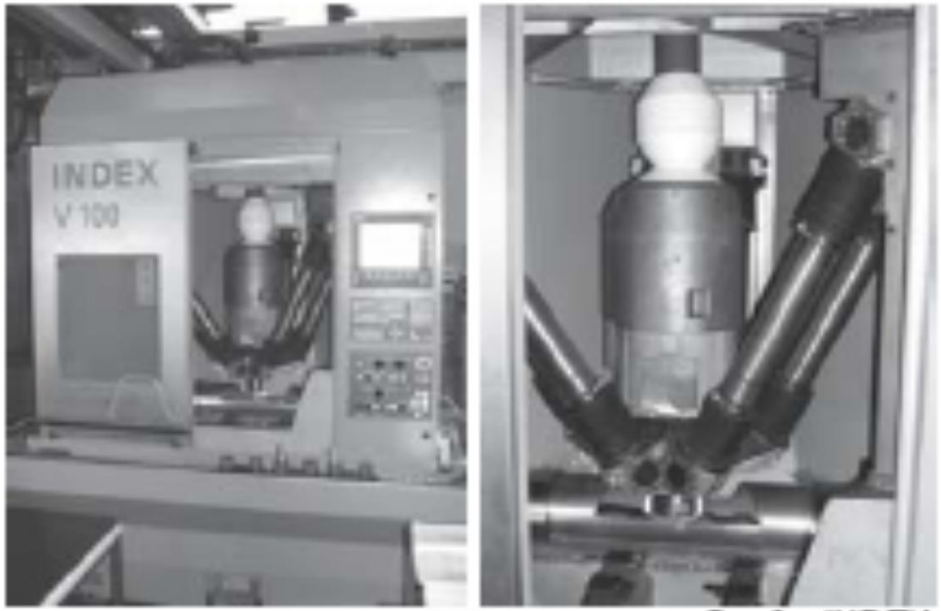
Potisje PA 25/30



Kikinda B 380

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

Obradni centar: više operacija u jednom stezanju



2000 Quelle: INDEX

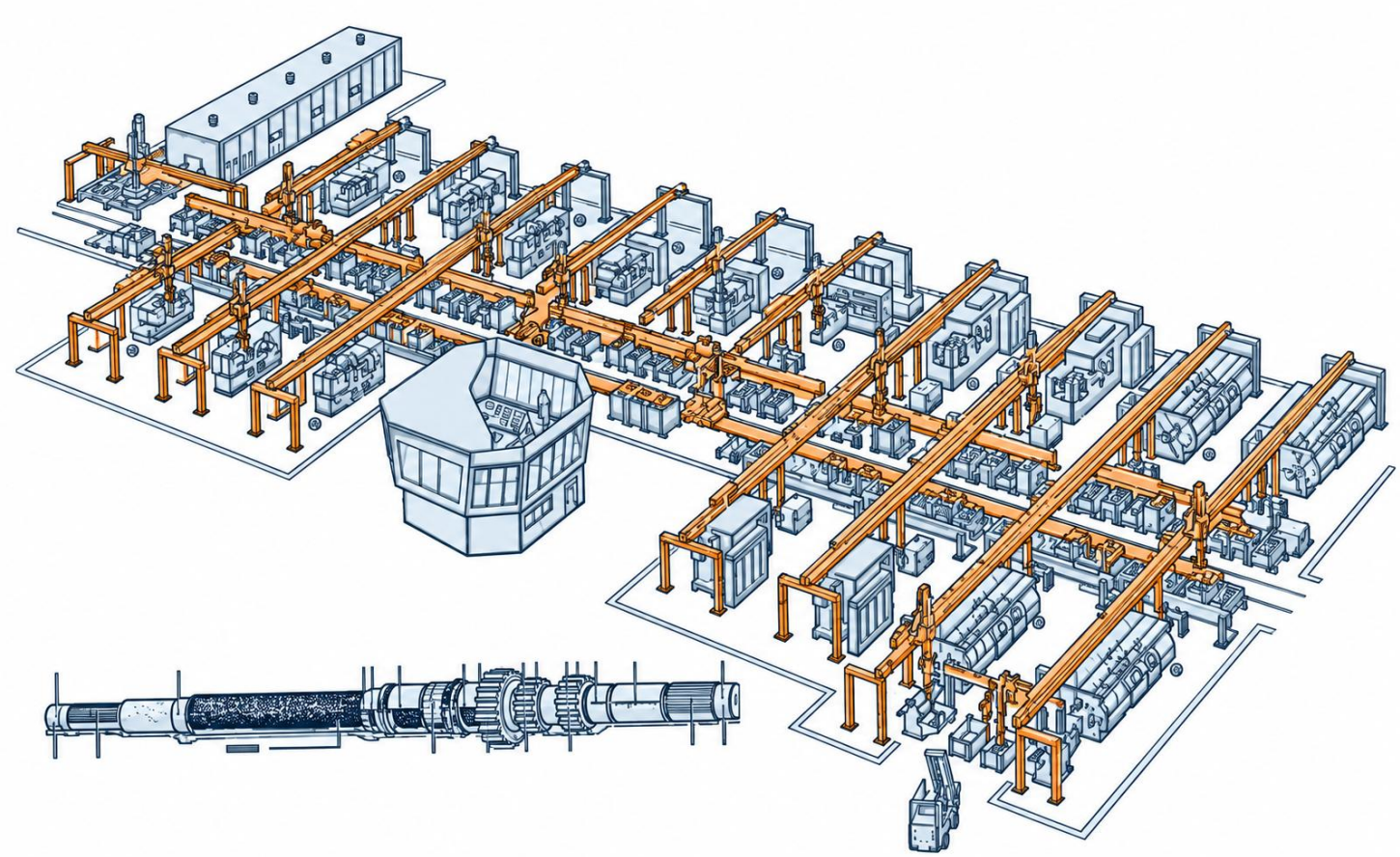
Automatska izmena alata

Koordinisano kretanje osa

Više površina i operacija u jednom stezanju

2. Istorijat razvoja mašina alatki i sistema

Od pojedinačne mašine do proizvodnog sistema

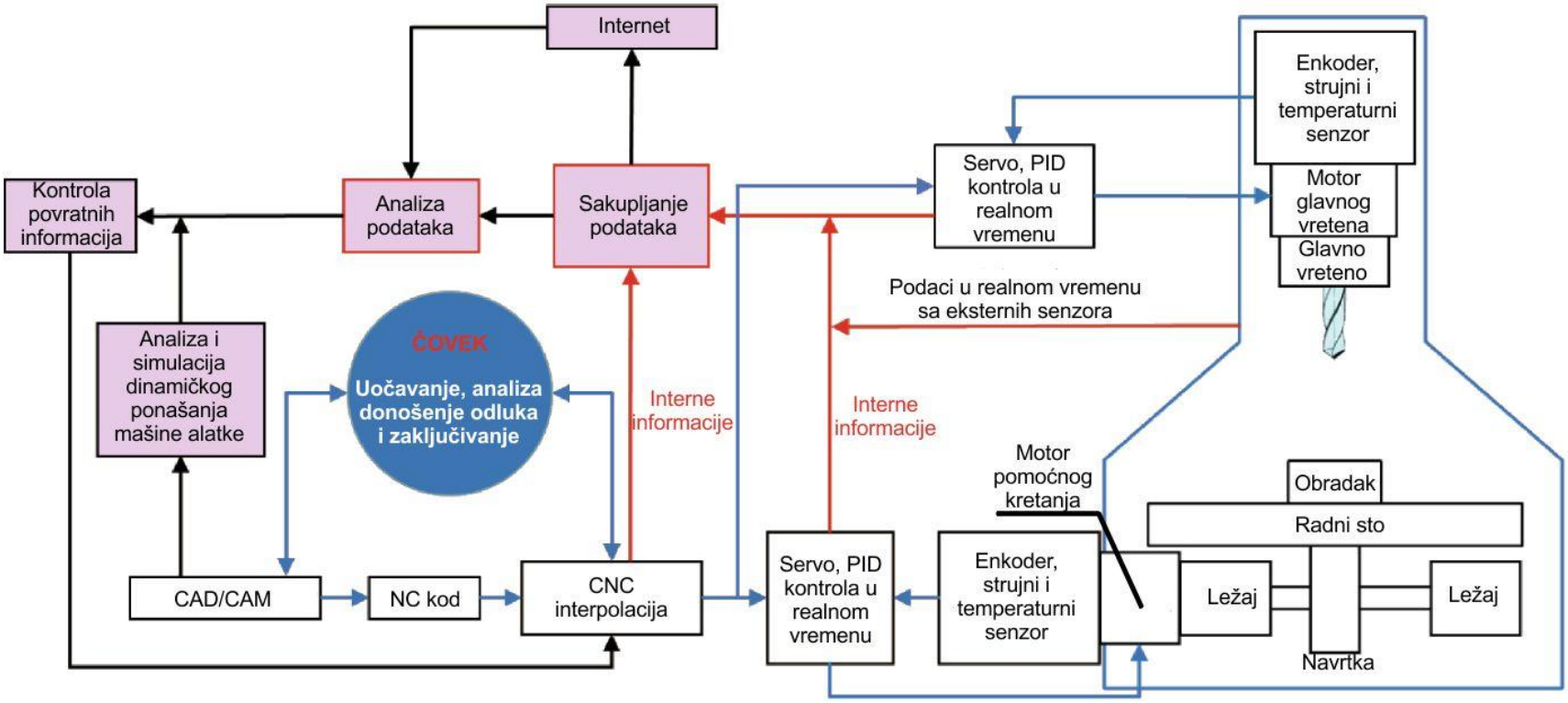


Povezivanje mašina, rukovanja delovima i upravljanja.

Automatizuju se i pomoćne aktivnosti.

2. Istorijat razvoja mašina alatki i tehnoloških sistema

Danas: obrada i podaci iz procesa - “Pametna” mašina alatka



Informacije pomažu kontroli kvaliteta, planiranju i održavanju proizvodne opreme.

2. Istorijat razvoja mašina alatki i tehnoloških sistema

Nekada i danas: šta se promenilo?

Aspekt	Raniji sistemi	Savremeni sistemi
Pogon	Ljudski ili zajednički pogon	Individualni i servo pogoni
Upravljanje	Ručne radnje i mehanizmi	Program i koordinacija osa
Uloga čoveka	Neposredno izvođenje rada	Priprema, nadzor i intervencije
Informacije	Iskustvo i povremena kontrola	Merenja i podaci iz procesa

Izbor opreme i dalje zavisi od zadatka i ekonomičnosti.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, oktobar 2026. god.

3.0 SISTEMI I PROCESI U PROIZVODNOM MAŠINSTVU

Sistemi, tokovi i struktura obradnog procesa

Definisanje osnovnih pojmova

Sistem - skup fizičkih i apstraktnih činilaca povezanih u cilju realizacije (ostvarenja) osnovnih funkcija:

Funkcija	Primer pri struganju
Izvođenje procesa	Alat uklanja materijal sa obratka
Upravljanje procesom	Program ili rukovalac zadaje rad
Kontrola stanja procesa	Merenje i praćenje rezultata

Definisanje osnovnih pojmova

Sistemi u proizvodnom mašinstvu

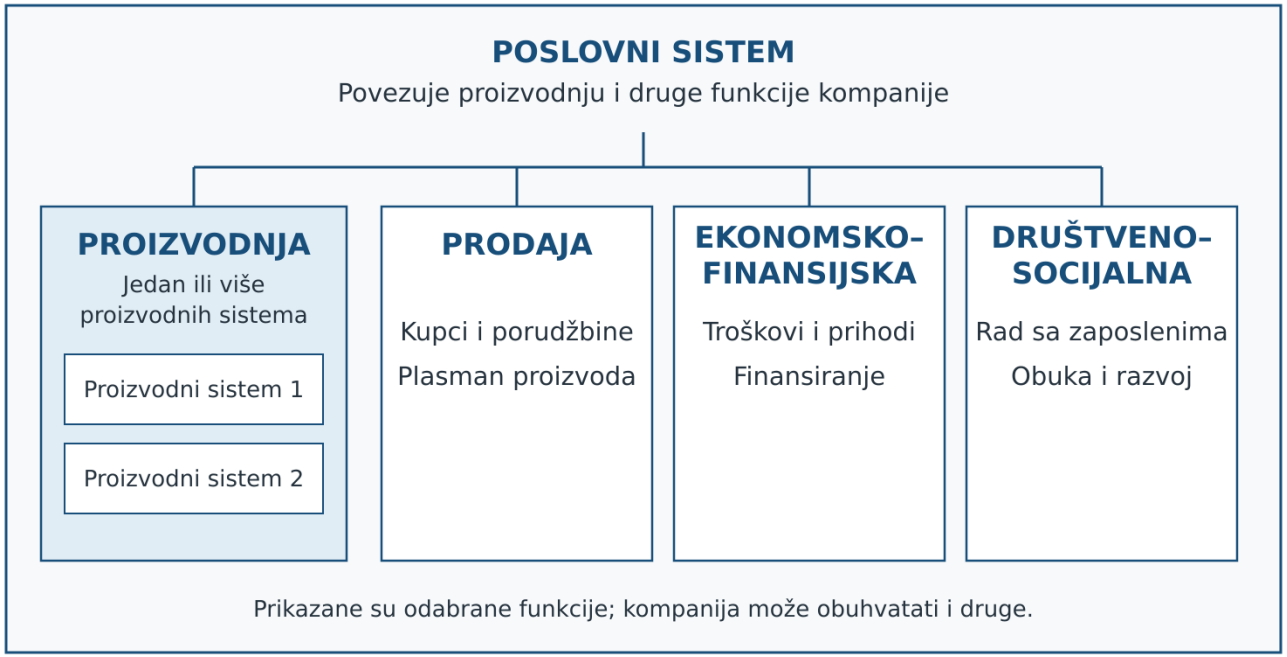


Definisanje osnovnih pojmova

Poslovni sistem

Poslovni sistem obuhvata jedan ili više proizvodnih sistema zajedno sa drugim funkcijama kao što su ekonomsko–finansijska, društveno–socijalna itd. (Kompanija, „Biznis sistem“).

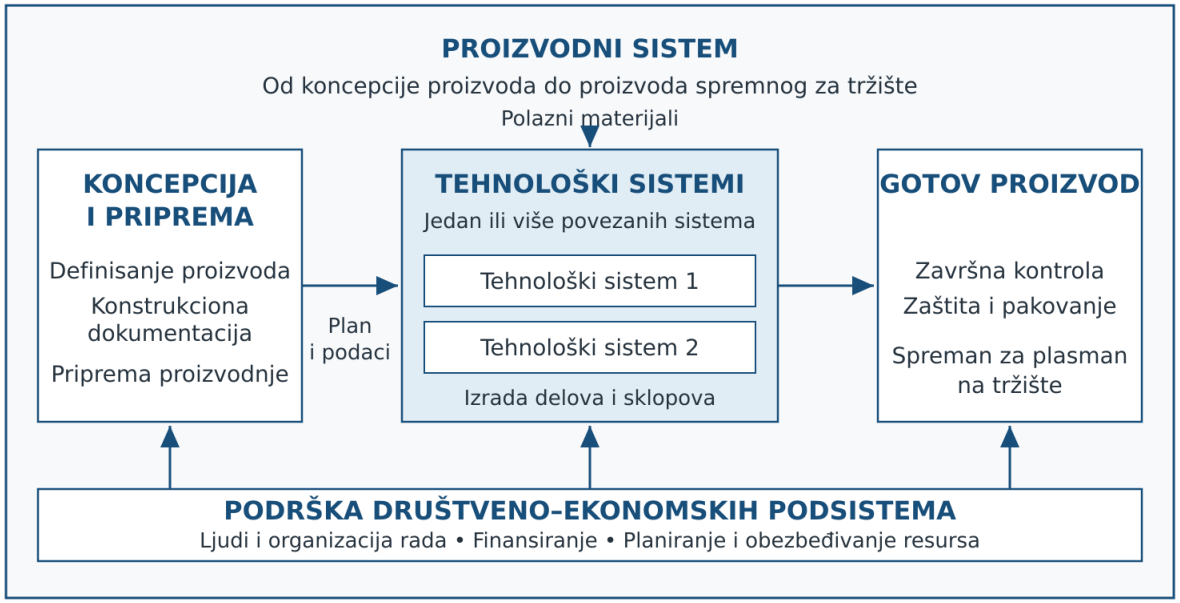
Poslovni sistem — kompanija



Definisanje osnovnih pojmova

Proizvodni sistem

- Proizvodni sistem obuhvata jedan ili više tehnoloških sistema, uz neophodnu podršku društveno–ekonomskih podsistema, a sa ciljem podizanja vrednosti polaznih materijala u smislu dobijanja gotovog proizvoda.
- Sastoji se od podsistema u kojima započinje definisanje koncepcije proizvoda, da bi se završio sa podsistemima u kojima se dobija gotov proizvod spreman za plasman na tržište.

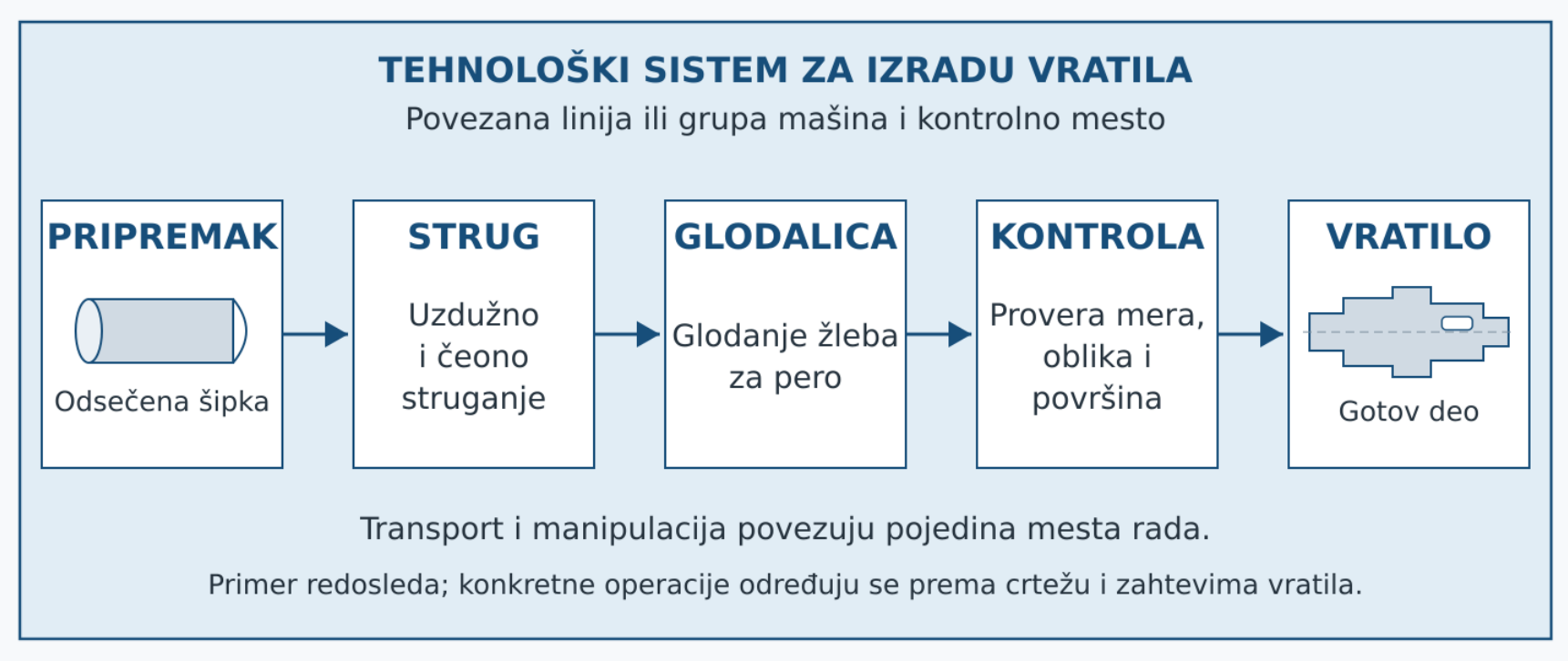


Cilj: podizanje vrednosti polaznih materijala dobijanjem gotovog proizvoda.

Definisanje osnovnih pojmova

Tehnološki sistem

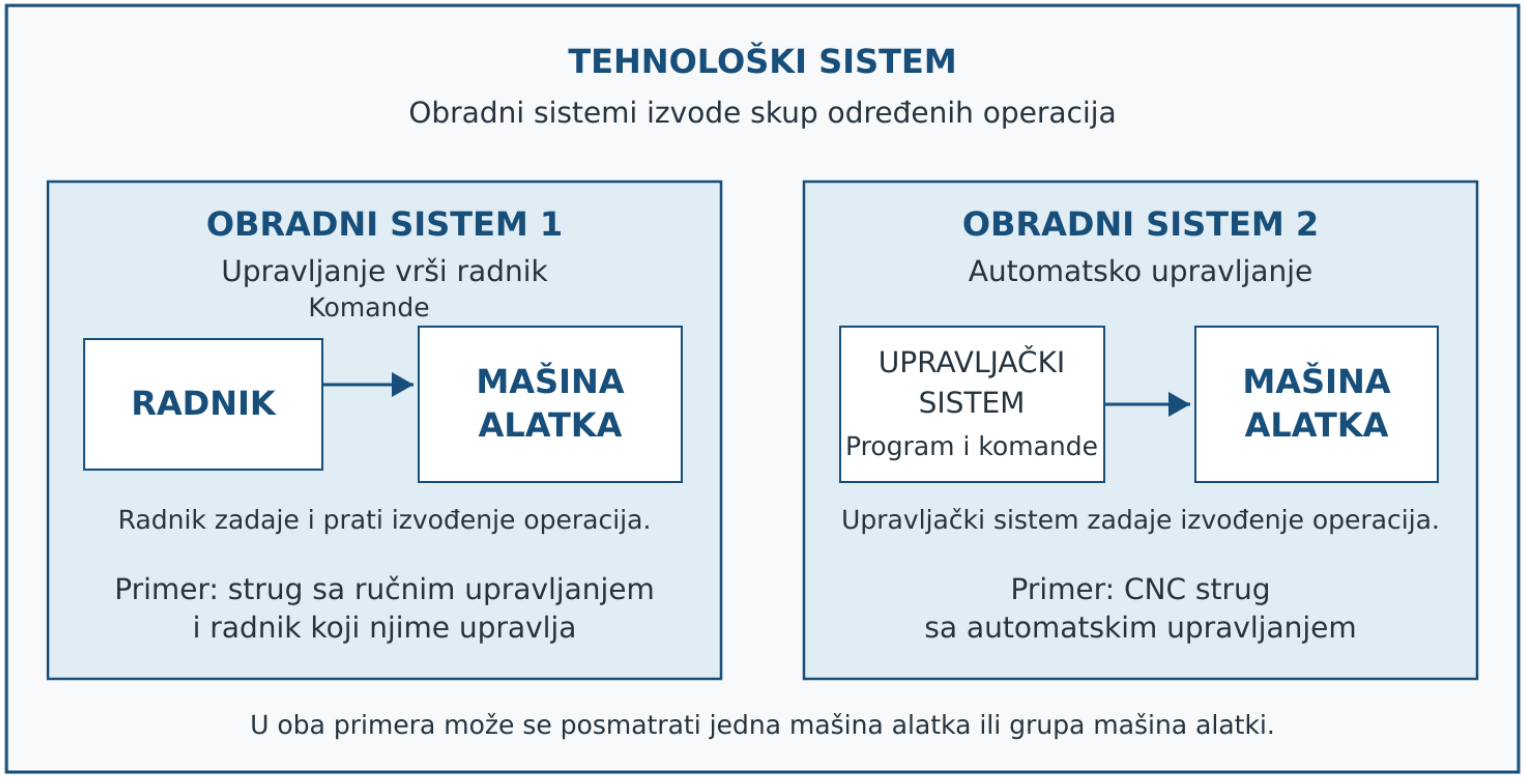
Tehnološki sistem je obuhvaćen proizvodnim sistemom. Sadrži skup podsistema u kojima se od polufabrikata ili drugih sirovina dobijaju gotovi delovi ili sklopovi.



Definisanje osnovnih pojmova

Obradni sistem

Obradni sistem, u okviru tehnološkog sistema, jeste mašina alatka ili grupa mašina alatki koje izvode skup određenih operacija.



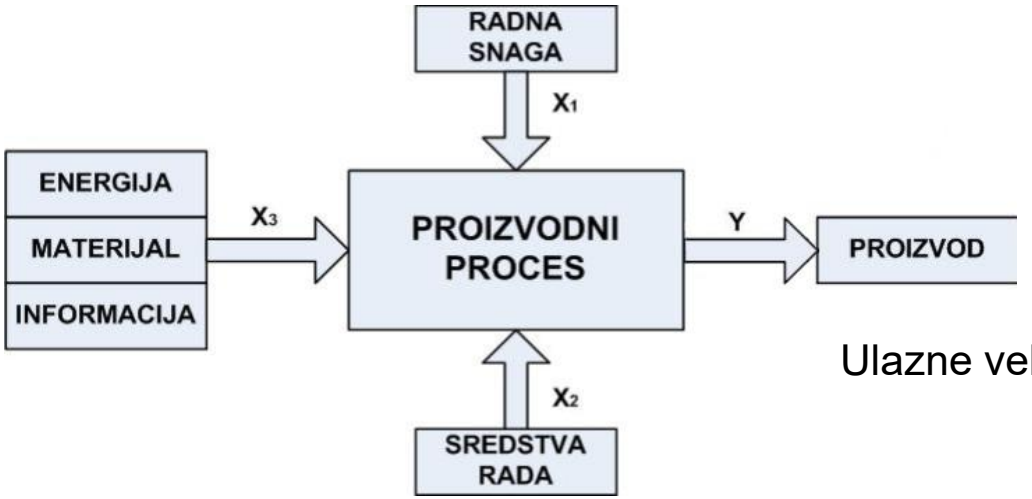
Kod automatskog upravljanja radnik obavlja pripremu, podešavanje i nadzor rada.

Definisanje osnovnih pojmova

- **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.***



Model proizvodnog procesa

Ulazne veličine:

x_3 - ~ konstantni troškovi po proizvodu

x_1, x_2 – funkcija trajanja procesa obrade

$x_1 = f(t_k)$

$x_2 = f(t_k)$

Definisanje osnovnih pojmova

***Proizvodni proces* - Direktni i indirektni proizvodni procesi**

Direktni (osnovni)	Indirektni (posebni)
Projektovanje i konstrukcija proizvoda	Unutrašnji transport materijala
Projektovanje tehnološkog procesa	Kontrola i sortiranje delova
Izrada delova	Ispitivanje proizvoda
Spajanje i montaža podsklopova i sklopova	Druge aktivnosti ove grupe
Konačna montaža, zaštita i pakovanje	

Podela prema dejstvu aktivnosti u proizvodnom procesu

Definisanje osnovnih pojmova

***Proizvodni proces* -Dopunski i pomoćni proizvodni procesi**

Dopunski procesi	Pomoćni procesi
Izrada specijalnih pribora	Nabavka materijala
Izrada specijalnih alata	Dovoz i odvoz materijala
Oštrenje alata	Druge aktivnosti koje potpomažu proizvodnju
Održavanje (remont) tehnološke opreme	

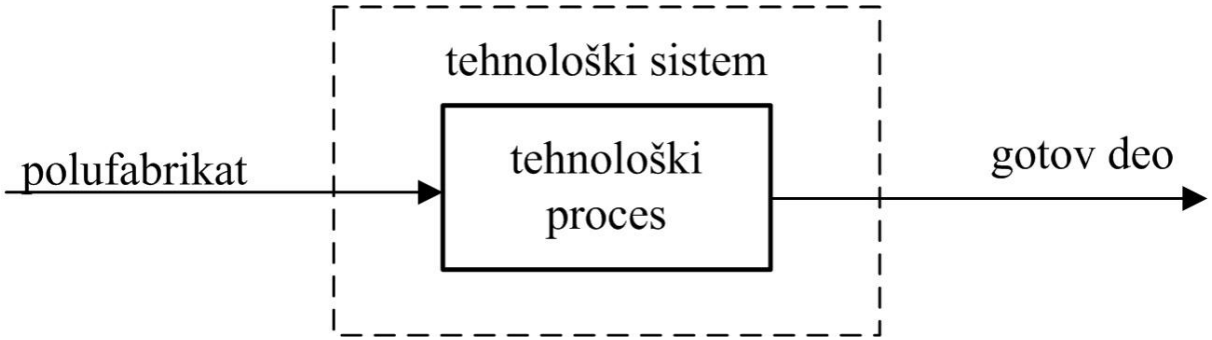
Podela prema dejstvu aktivnosti u proizvodnom procesu

Definisanje osnovnih pojmova

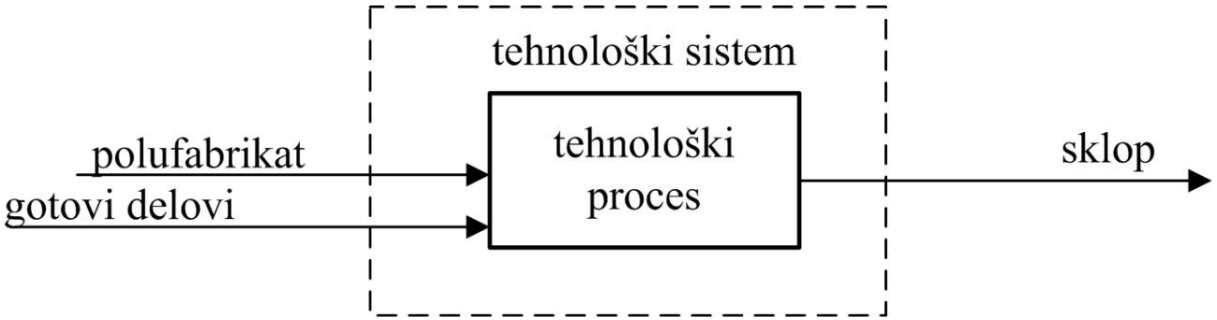
Tehnološki proces

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.

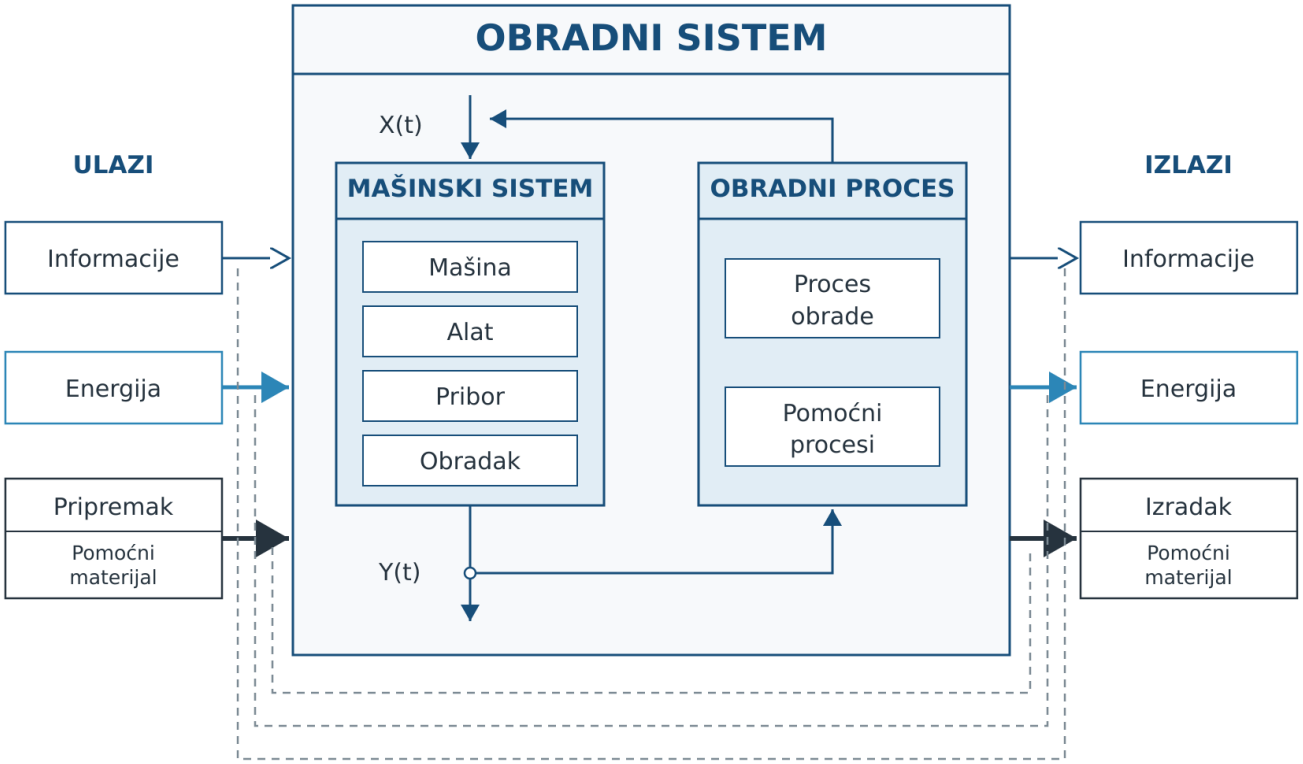


- **Tehnološki sistem** može da sadrži i proces oblikovanja, koji se odnosi na spajanje i montažu gotovih delova



Obradni sistemi

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



MAPO: mašina, alat, pribor i obradak • Oznake i veze zadržane su prema izvornom modelu.

- **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):

Element	Uloga	Primer struganja
M Mašina alatka	Obezbeđuje kretanja i prihvata sile	CNC strug
A Alat	Neposredno ostvaruje obradu	Nož za struganje
P Pribor	Pozicionira, steže ili oslanja	Stezna glava i čeljusti
O Obradak	Predmet koji se obrađuje	Stepenasto vratilo

Obradni sistemi

Ulazne informacije

Skup informacija	Primer
Glavne tehničke karakteristike mašine	Radni prostor, snaga i raspoloživa kretanja
Alat	Geometrija, materijal i korekcije
Pribori	Način baziranja i stezanja
Pripremak	Materijal, dimenzije i dodaci
Režimi obrade (režimi rezanja)	Brzina rezanja, posmak i dubina rezanja
Upravljanje obradnim procesom	Program, redosled i komande

Ulazna energija

Služi za savladavanje otpora u obradnom sistemu i obezbeđuje potrebna kretanja elemenata obradnog sistema pri realizaciji obradnog procesa.

Ulazni materijal

Sastoji se od pripremka i pomoćnog materijala. U pomoćni materijal spadaju sredstva za hlađenje i podmazivanje, ulje u prenosnicima itd.

Izlazi obradnog sistema

Izlaz	Sadržaj
Informacije	Kvalitet obrade, proizvodnost i ekonomičnost
Energija	Transformisana ulazna energija, prvenstveno toplota
Izradak	Transformisani pripremak
Otpadni materijal	Strugotina, otpadni deo trake, utrošeni fluidi

Povratna sprega povezuje rezultat sa daljim upravljanjem procesom

Praćenje rezultata obrade kao izlazna informacija

Postojeći pojam	Primer pokazatelja	Potrebna provera
Kvalitet obrade	Mere, oblik, položaj i stanje površine	Poređenje sa zahtevom dela
Proizvodnost	Broj dobrih delova u vremenu	Ciklus, zastoji i priprema
Ekonomičnost	Trošak po dobrom delu	Materijal, vreme, alat i škart
Dodatni pokazatelj	Energija po dobrom delu	Granica sistema i interval

Pokazatelji dobijaju smisao kada imaju isti obuhvat i uslove poređenja

Obradni sistemi

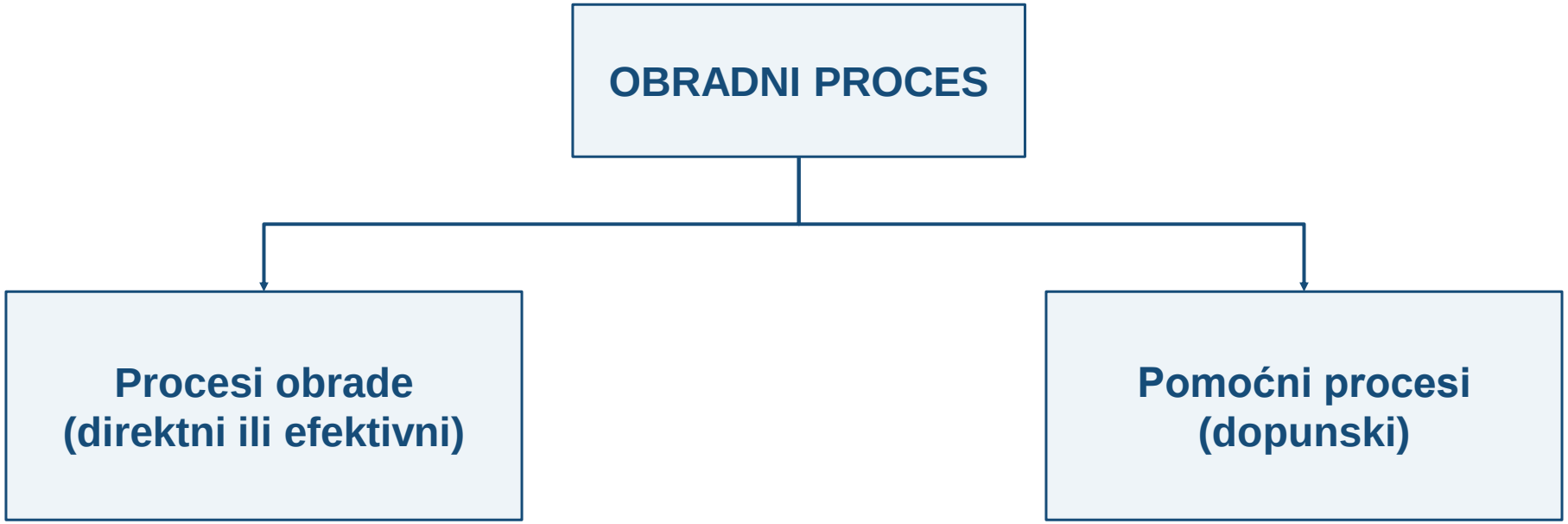
Povratna sprega i merenje na mašini – izlazna informacija

Nivo povratne informacije	Merena veličina	Primer reakcije
Regulacija kretanja	Položaj ili brzina ose	Korekcija dejstva pogona
Kontrola dela	Mera ili položaj površine	Korekcija alata ili izdvajanje dela
Nadzor procesa	Opterećenje, vibracije ili temperatura	Provera alata ili promena režima

Merenje položaja ose i potvrda mere dela predstavljaju različite zadatke

Obradni procesi

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



Model obradnog procesa

Procesi obrade i pomoćni procesi

Procesi obrade	Pomoćni procesi
Neposredno dejstvo alata na obradak	Postavljanje i baziranje pripremka
Formiranje površina	Stezanje i otpuštanje
Promena oblika ili dimenzija	Pozicioniranje obratka i alata
Primer: uzdužno struganje	Primer: izmena alata i prilaženje

Metode obrade

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

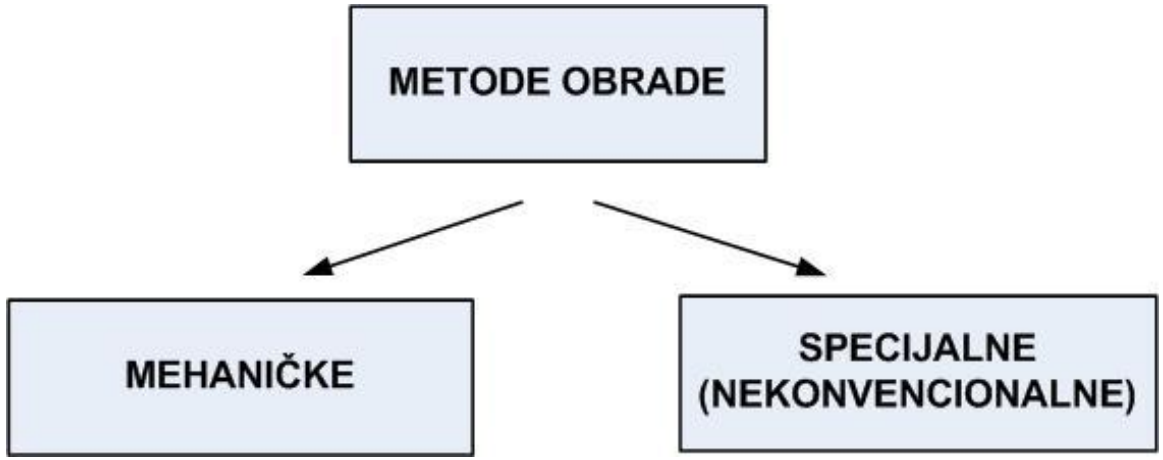
Osnovne metode obrade dele se na:

- **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).

Način ostvarenja procesa obrade



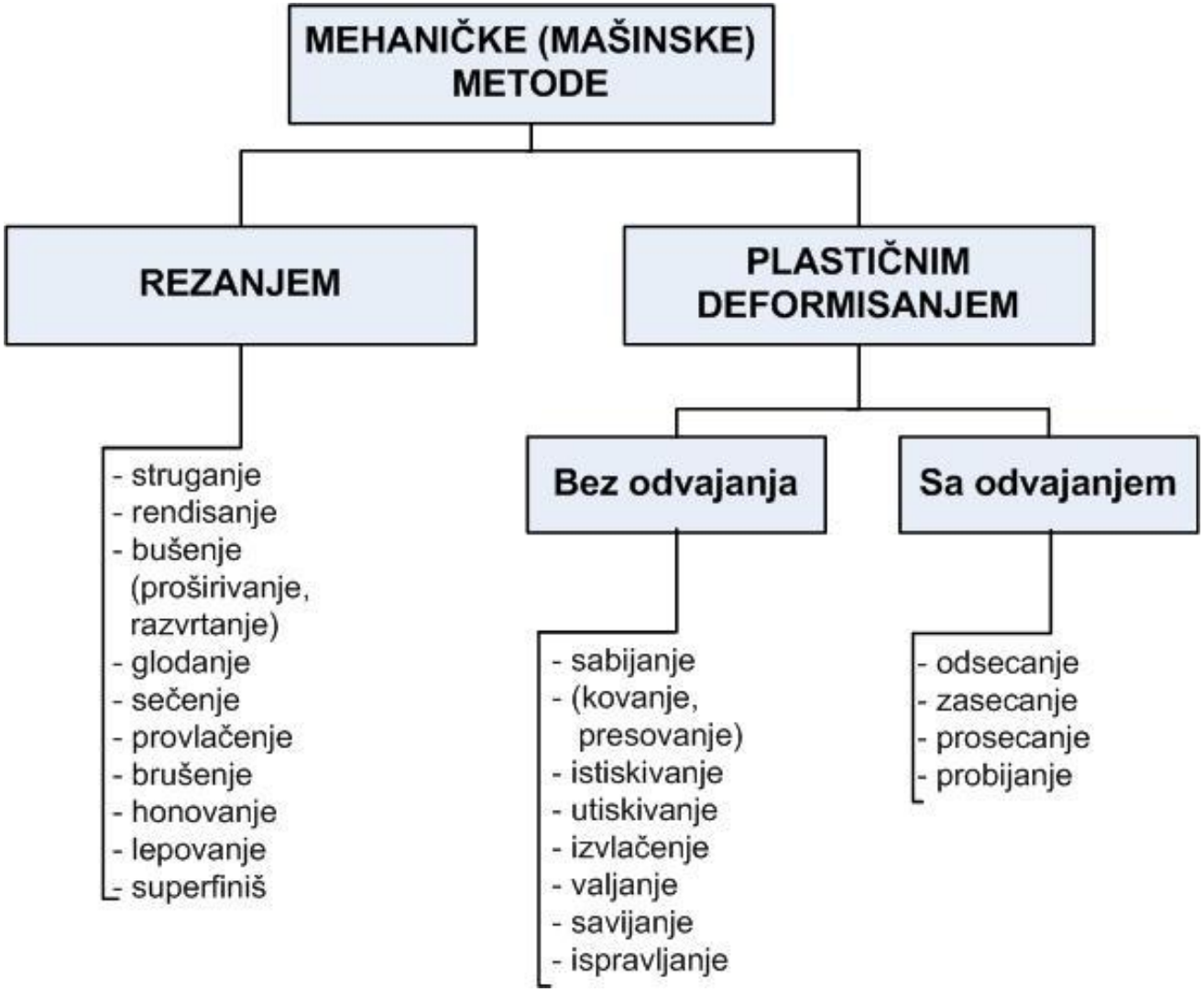
Mehaničke metode: mehaničko dejstvo alata i obratka.

Specijalne metode: druga dejstva u skladu sa metodom.

Primeri: elektroeroziona i elektrohemijska obrada.

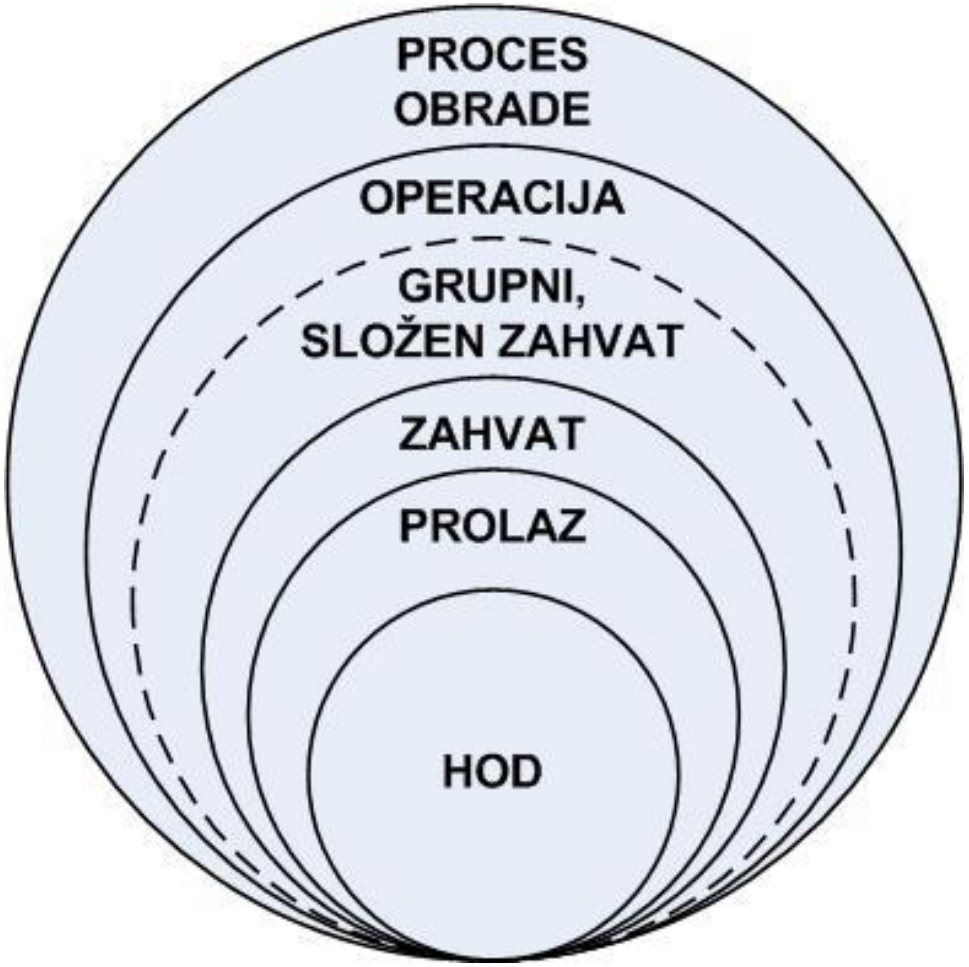
Obradni procesi

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);

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;

Primer strukture operacije struganja

Nivo	Primer u jednom stezanju
Operacija	Obrada dostupnih površina vratila na strugu
Pomoćne aktivnosti	Stezanje, postavljanje alata i prilaženje
Zahvat 1	Grubo uzdužno struganje sa istim režimom
Prolazi zahvata 1	Skidanje pojedinačnih slojeva materijala
Zahvat 2	Završno struganje sa zadatim završnim režimom

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.

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.

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.

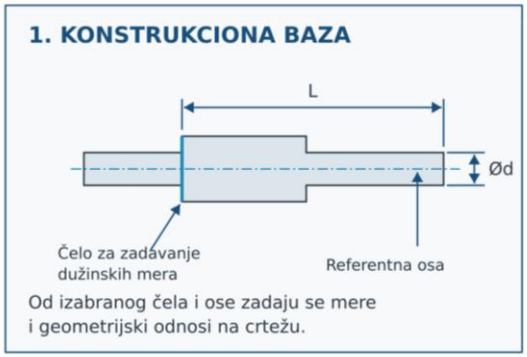
- **Tehnološke baze** služe za određivanje položaja obratka pri izvođenju procesa obrade i mogu biti neobrađene, obrađene, pomoćne i dopunske.

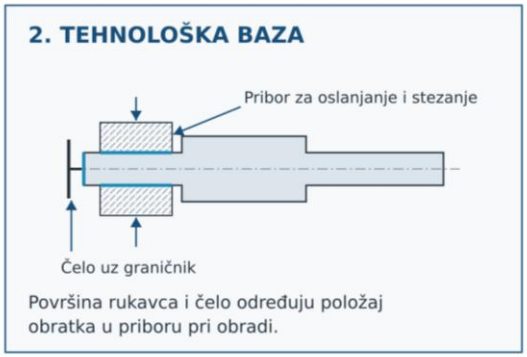
- **Merne baze** služe za merenje i kontrolu mera i odnosa geometrijskih elemenata gotovog dela.

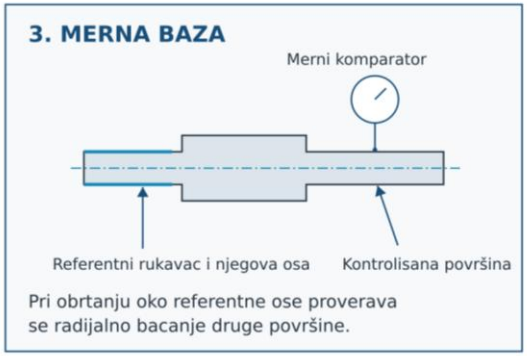
- **Montažne baze** služe za orijentaciju i postavljanje delova pri montaži.

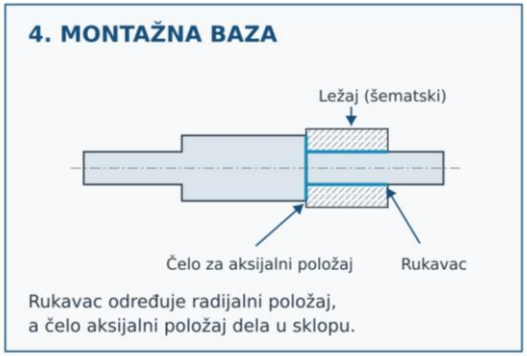
Primer baza na vratilu

Vrsta baze	Primer moguće uloge
Konstrukciona	Osa rukavca i čelo za zadavanje mera
Tehnološka	Površine oslonca i stezanja u priboru
Merna	Referenca za proveru mera i odstupanja
Montažna	Rukavac i čelo koji orijentišu deo u sklopu









FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

4.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Sadržaj

4.0. KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.1 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju rotacionih površina

4.2 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju ravnih površina

4.3 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju složenih – profilnih površina

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 mašine alatke se može podeliti na:
  - pogonski sistem;
  - prenosni sistem;
  - noseći sistem;

Uvod

- Elementarne površine koje definišu geometrijski oblik obradka mogu biti: ***rotacione, ravne i profilne*** (specijalne);
  - Obrada rotacionih površina se najčešće realizuje metodama obrade:
    - struganje;
    - bušenje;
    - okrugo 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 mašinogrđnje 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; → linearno; ⇢ periodično kretanje

Klasifikacija osnovnih kretanja kod konvencioanlnih 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 tehnološke kriterijume.

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ . \\ . \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}$$

- Kinematski sistemi za glavno i pomoćno kretanje, a po potrebi i dopunska kretanja koji *obezbeđuju određeni skup brzina na mašinama* alatkama se nazivaju ***prenosnici***.

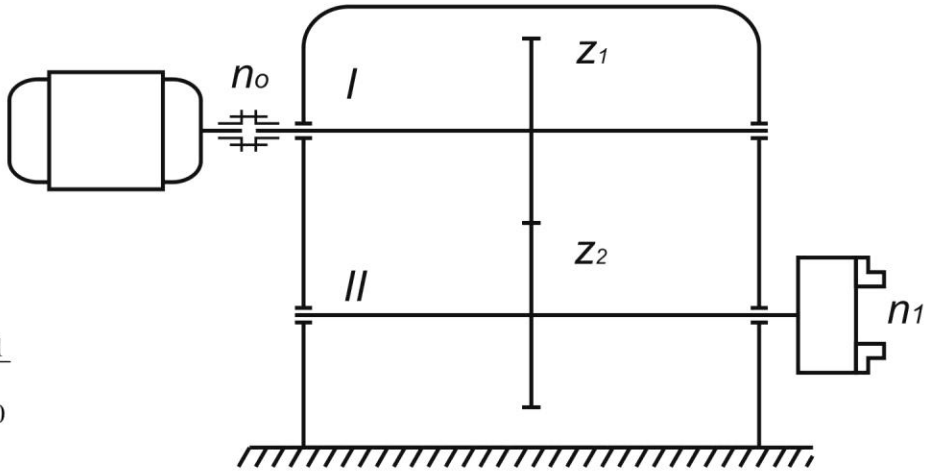
Uvod

Primer elementarnog zupčastog prenosnika

$$i = \frac{n_o}{n_1}$$

$$k = \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{n_1}{n_0}$$



$$n_0 \rightarrow \boxed{[k_1]} \rightarrow n_1$$

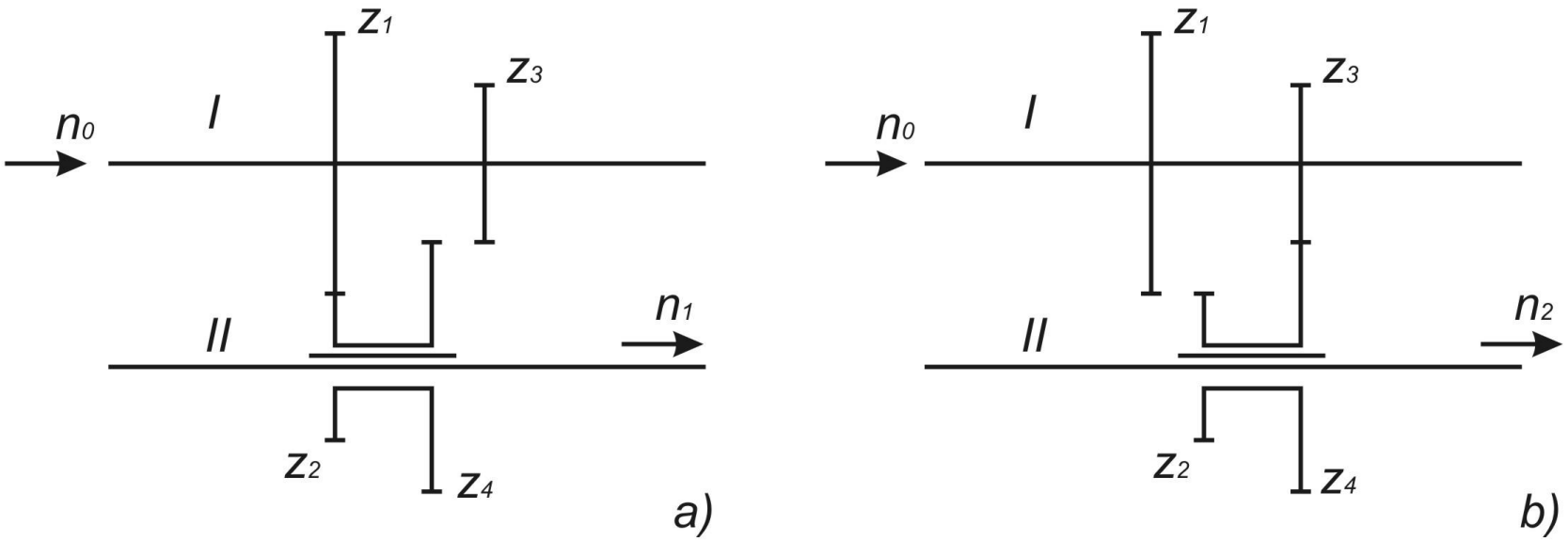
$$k_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_1}{n_0} = \frac{1}{i_1}$$

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

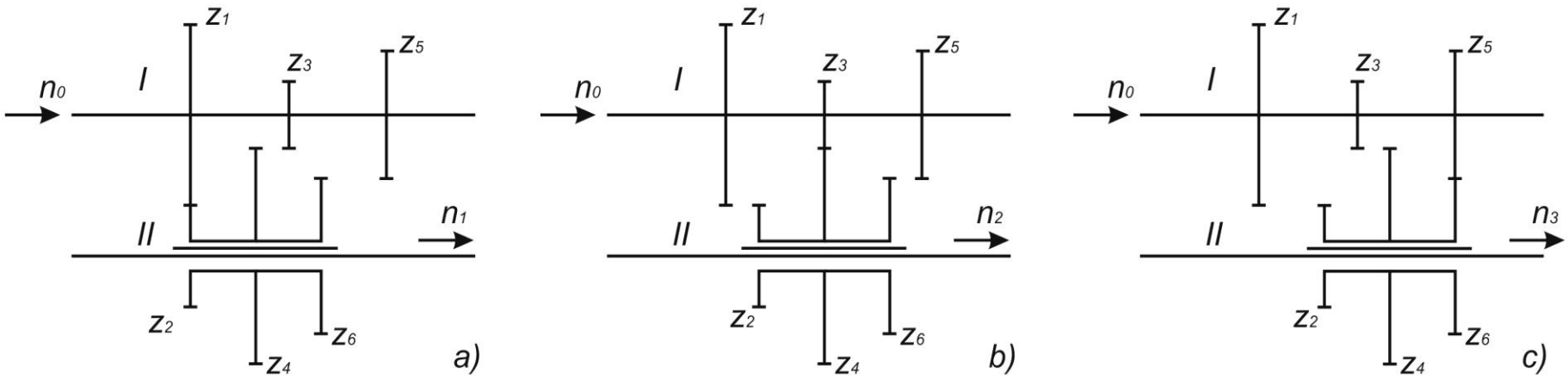


$$n_1 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} = n_0 \cdot k_1 \; ; \; n_2 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} = n_0 \cdot k_2$$

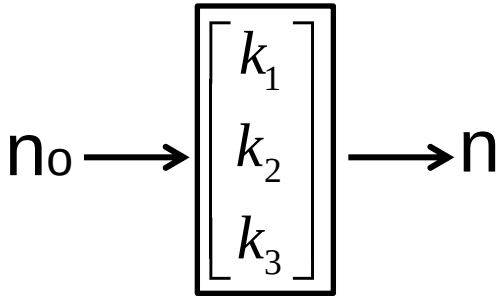
$$\overset{n_0}{\rightarrow} \boxed{\begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix}} \rightarrow n$$

Uvod

Primer zupčastog prenosnika sa pomerljivom grupom od tri zupčanika

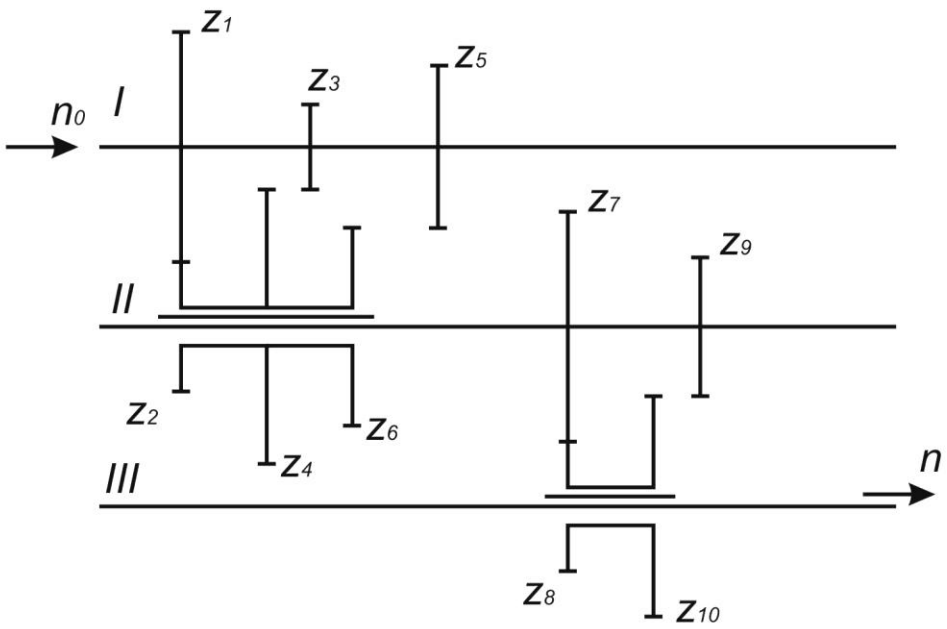


$$n_1 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} = n_0 \cdot k_1 \,;\; n_2 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} = n_0 \cdot k_2 ;\; n_3 = n_0 \cdot \frac{z_5}{z_6} = n_0 \cdot k_3$$



Uvod

Primer zupčastog prenosnika sa pomerljivom grupom od tri i dva zupčanika



$$n_1 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_0 \cdot k_1' \cdot k_1'' = n_0 \cdot k_1(uk)$$

$$n_2 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_0 \cdot k_2' \cdot k_1'' = n_0 \cdot k_2(uk)$$

$$n_3 = n_0 \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} = n_0 \cdot k_3' \cdot k_1'' = n_0 \cdot k_3(uk)$$

$$n_4 = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} = n_0 \cdot k_1' \cdot k_2'' = n_0 \cdot k_4(uk)$$

$$n_5 = n_0 \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} = n_0 \cdot k_2' \cdot k_2'' = n_0 \cdot k_5(uk)$$

$$n_6 = n_0 \cdot \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} = n_0 \cdot k_3' \cdot k_2'' = n_0 \cdot k_6(uk)$$

$$\overset{n_0}{\rightarrow} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \end{bmatrix} \rightarrow n \qquad n = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_6 \end{bmatrix}$$

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

4.1 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju rotacionih površina

4.1.1 Kinematska struktura strugova

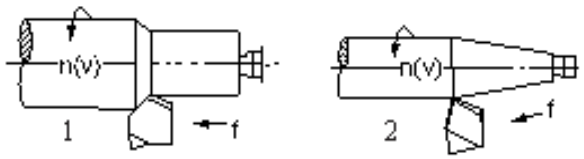
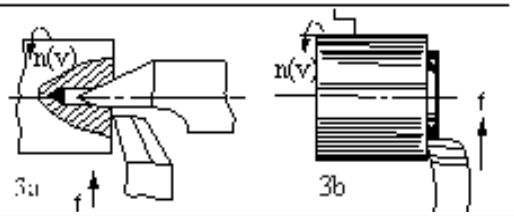
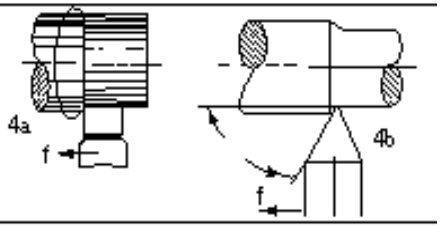
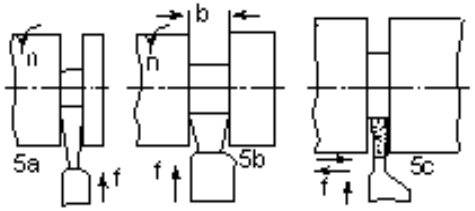
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

4.1.1 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 operacijma/zahvatima odgovaraju i različiti alati u zavisnosti od same obrade kao i od zahtevanog kvaliteta obrađene površine.

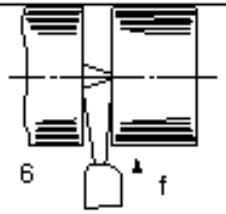
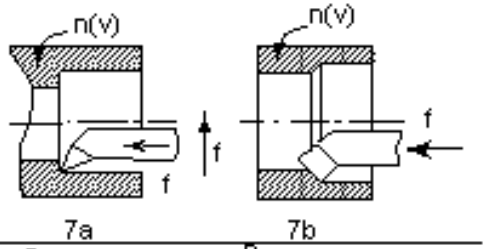
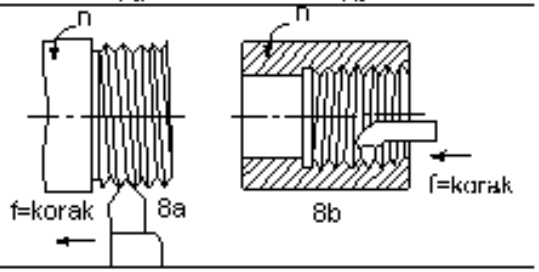
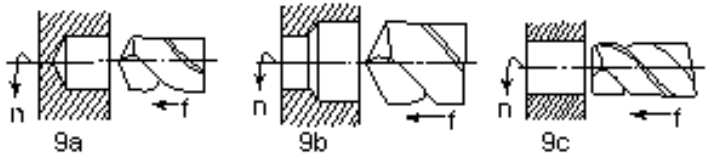
4.1.1 Kinematska struktura strugova

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 oštrom reznom ivicom	
5. Ukopavanje žleba: a) Alatom za ukopavanje žleba b) Širokim alatom za ukopavanje žleba c) Ukopavanje širokog žleba uskim alatom za ukopavanje	

4.1.1 Kinematska struktura strugova

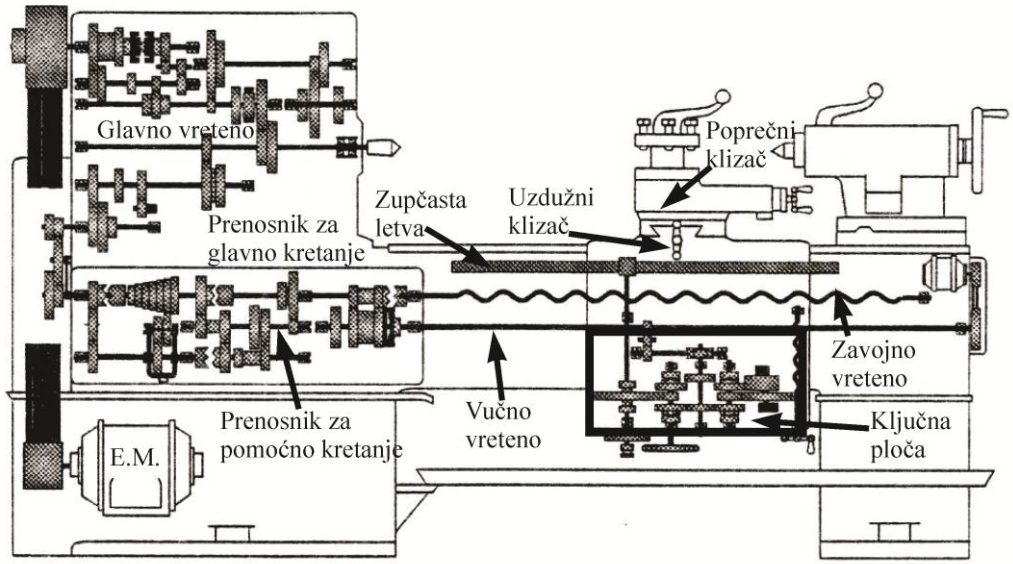
Tipični zahvati obrade struganjem.

6. Odsecanje alatom za odsecanje	
7. Obrada 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 burgijom b) Proširivanje zavojnom burgijom c) Proširivanje proširivačem	

4.1.1 Kinematska struktura strugova

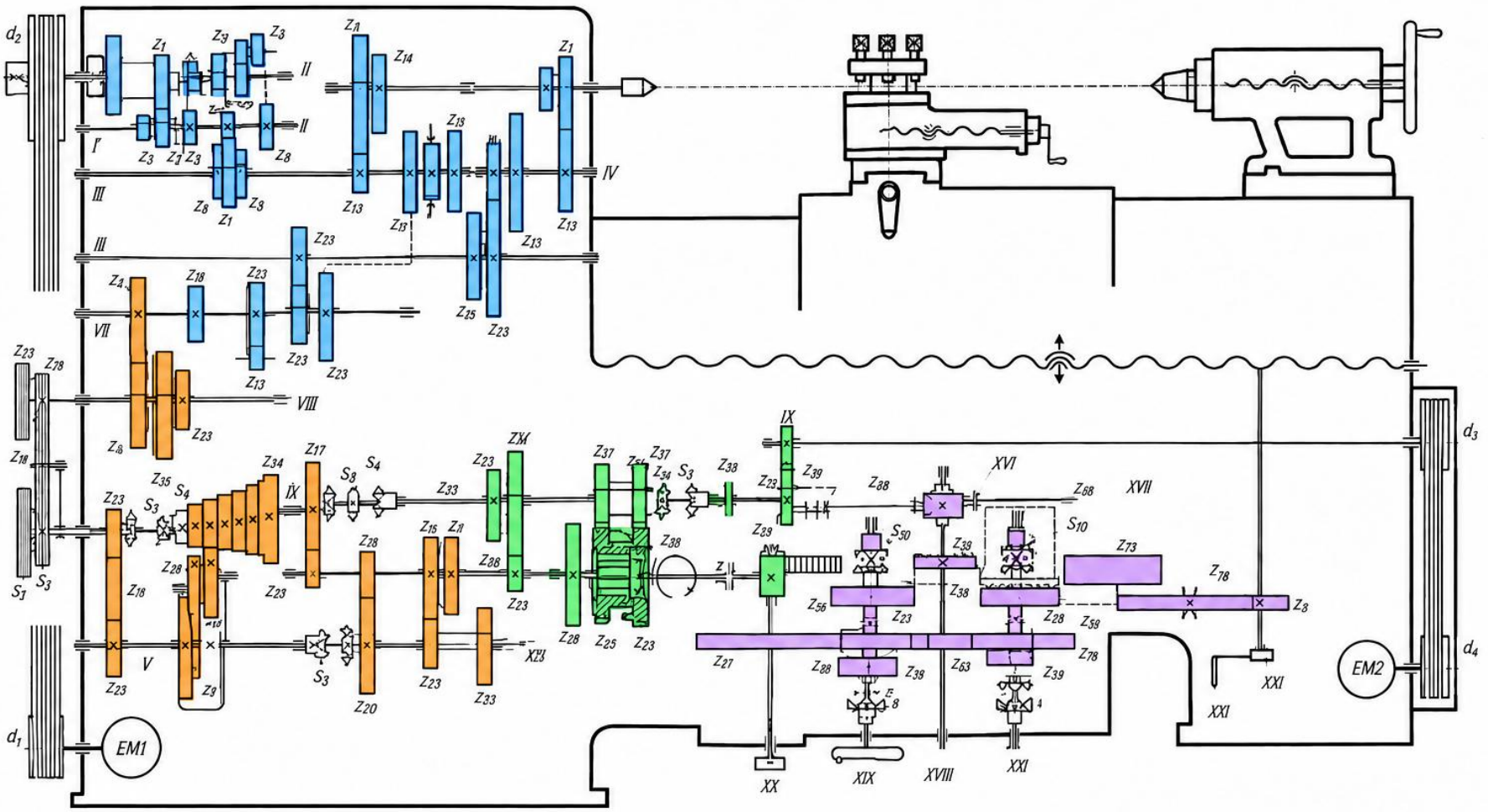
- Strugovi imaju zavisan tip prenosnika, odnosno, pogon za glavno i pomoćno kretanje se dobija od istog pogonskog elektromotora.

- 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

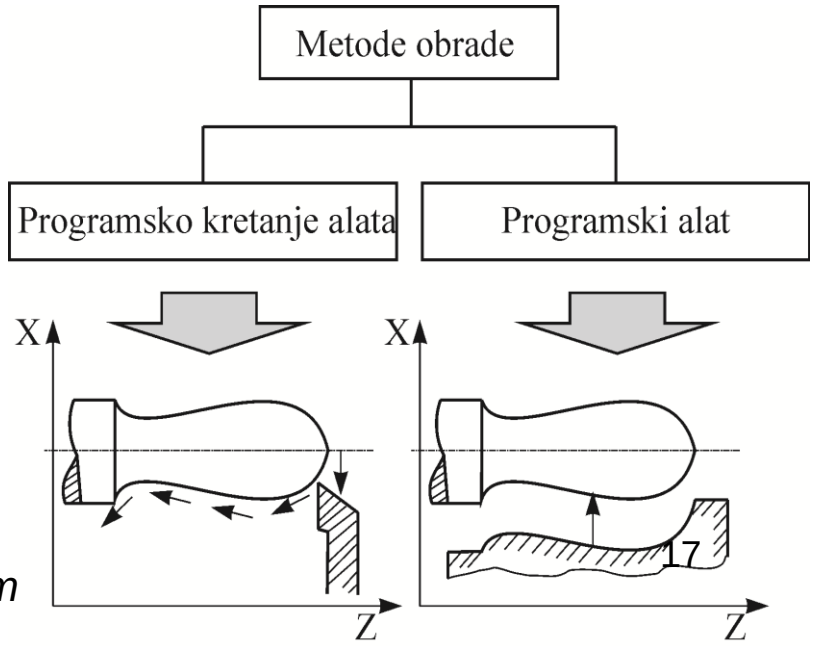
4.1.1 Kinematska struktura strugova



Kinematska šema univerzalnog struga

4.1.1 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.



Metode obrade struganjem

4.1.1 Kinematska struktura strugova

- Programsko kretanje alata se ostvaruje u koordinatnom sistemu *OZX.*
  - *Z* – osa ovog koordinatnog sistema je osa glavnog vretena,
  - *X* – osa je normalna na "*Z*" osu (osu glavnog vretena).
- Sistem klizača mašine na kojem se nalazi nosač alata se sastoji od dva klizača i to:
  - jedan klizač koji se pomera u pravcu "*Z*" ose (uzdužni klizač);
  - jedan klizač koji se pomera u pravcu "*X*" ose (poprečni klizač);

4.1.1 Kinematska struktura strugova

Vektor brzine kretanja vrha alata :

$s = s\ (s_z; s_x)$

s - rezultujući vektor brzine

s_z - komponenta brzine u pravcu "z" ose

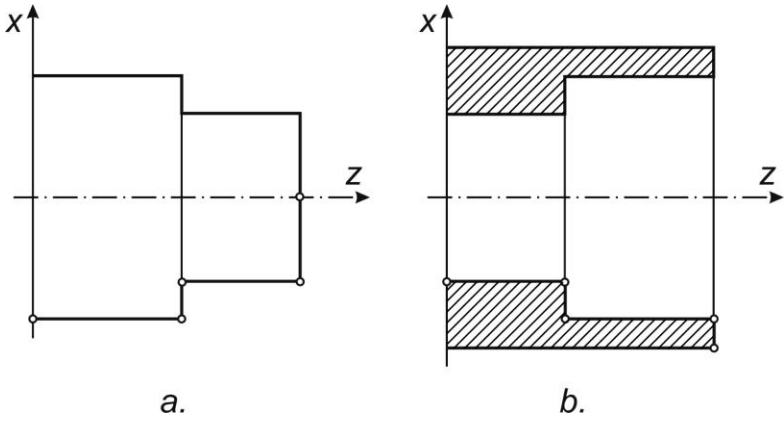
s_x - komponenta brzine u pravcu "x" ose

1. Slučaj

Kada se kretanje izvodi samo u pravcu jedne od koordinatnih osa:

$\vec{s} = \vec{s}(\vec{s}_z; \vec{s}_x = 0)$ - uzdužno struganje

$\vec{s} = \vec{s}(\vec{s}_z = 0; \vec{s}_x)$ - poprečno struganje



Kretanje alata pri: a) uzdužnom; b) poprečnom struganju;

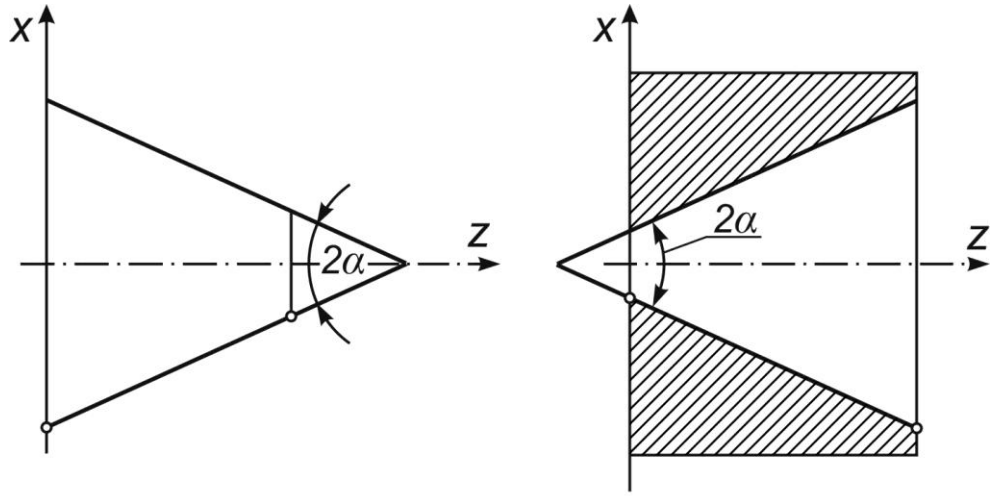
4.1.1 Kinematska struktura strugova

2. Slučaj:

Kada postoji **konstantna (kruta) zavisnost** između kinematskih lanaca za “Z” i “X” osu.

$$\vec{s} = \vec{s}(\vec{s}_z; \vec{s}_x = C \cdot s_z \cdot \vec{i})$$

U ovom slučaju se ostvaruje konusno struganje, odnosno, izrada konusa, pri čemu, je C kruta, konstantna veza između kretanja po *X* i *Z* osi



a. b.

Kretanje alata pri struganju; a)struganju spoljašnjeg; b)unutrašnjeg konusa;

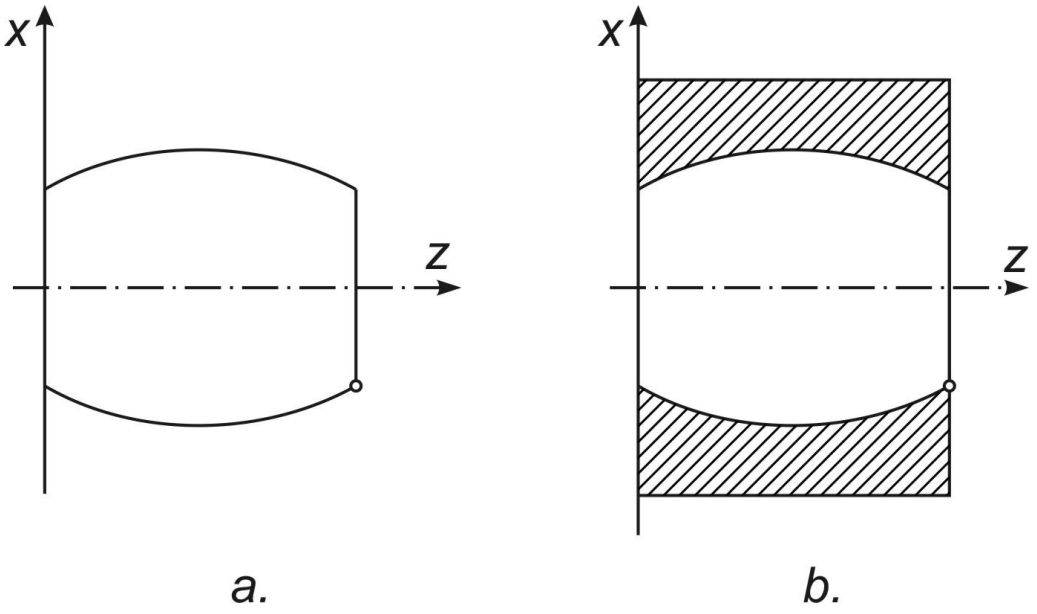
4.1.1 Kinematska struktura strugova

3. Slučaj:

Između kinematskih lanaca klizača **postoji određena funkcionalna** zavisnost kretanja u pravcu "Z" i "X" ose u obliku:

$$\vec{s} = \vec{s}(\vec{s}_z; \vec{s}_x = \varphi(z; x)\vec{s}_z)$$

U ovom slučaju je u pitanju struganje obratka proizvoljne konture.



Kretanje alata pri: a) struganju spoljašnjeg; b) unutrašnjeg profila

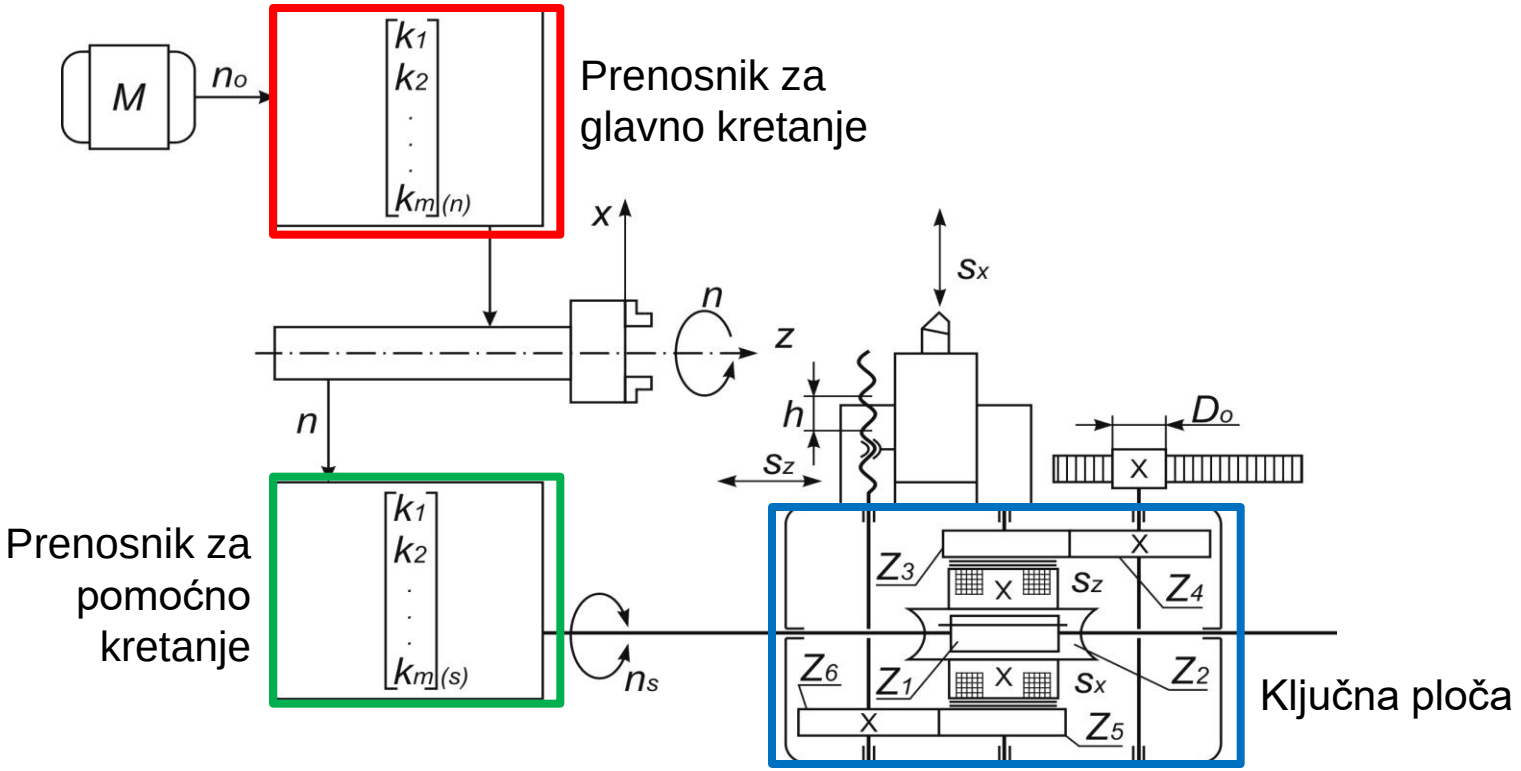
4.1.1 Kinematska struktura strugova

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 produkcionog struga

4.1.1 Kinematska struktura strugova

*1 Produkcioni strug – **glavno kretanje***

Potrebne brzine rezanja se ostvaruju preko prenosnika za glavno kretanje.

Brzina rezanja za obradu struganjem je:

$v_i = D_P \pi n_i$; [mm/min]; $n_i = 1,2,3.....m$

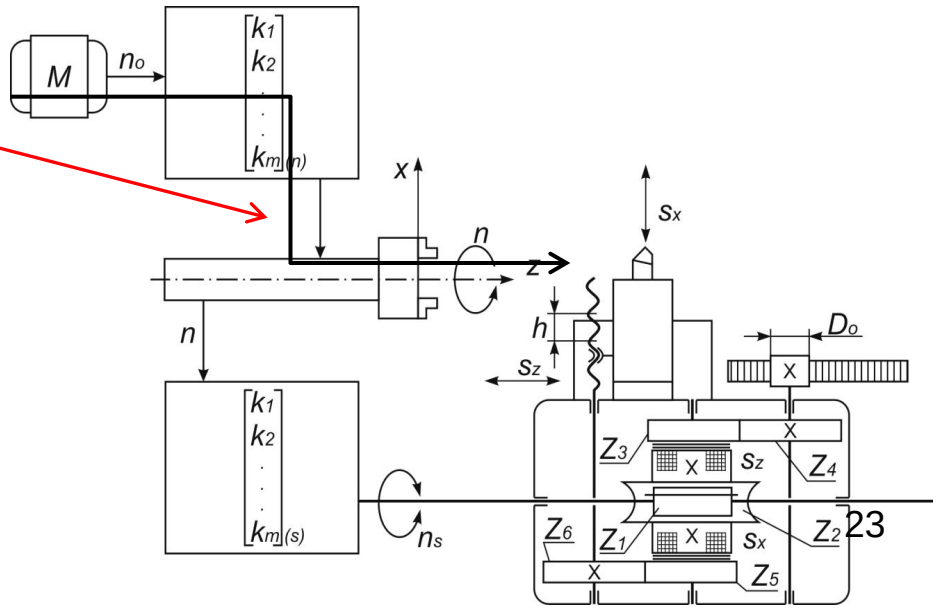
gde je $\mathbf{D_p}$ prečnik radnog predmeta, a $\boldsymbol{n_i}$ broj obrtaja radnog predmeta za odgovarajuću brzinu rezanja koji se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(n)} \quad ; [o/min]$$

n_0 - broj obrtaja elektromotora, $k_{m(n)}$ - prenosni faktor prenosnika za glavno kretanje.

Raspoložive brzine rezanja su:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ . \\ v_m \end{bmatrix} = D_p \pi n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(n)} \quad ; [mm/min]$$



4.1.1 Kinematska struktura strugova

1 Produkcioni strug – ***pomoćno uzdužno kretanje***

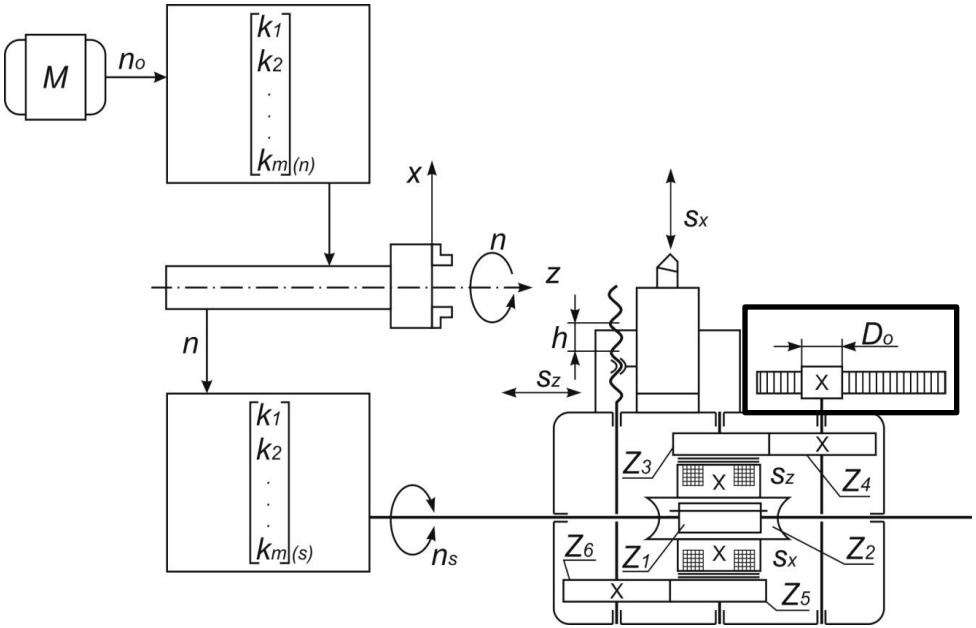
Veličina pomaka [mm/o] *za uzdužno struganje* u pravcu *Z* ose za slučaj kada se obrtno kretanja pretvara u pravolinijsko preko zupčanika i zupčastve letve se određuje kao:

$$s_z = n_{zDo} D_o \pi \ ; \text{[mm/o]}$$

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_{zDo} broj obrtaja zupčanika koji je u zahvatu sa zupčastom letvom.



4.1.1 Kinematska struktura strugova

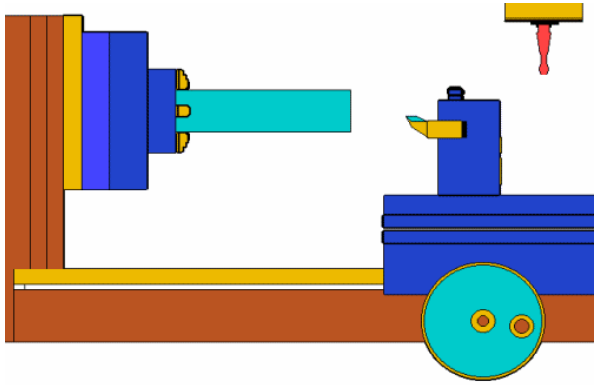
1 Produkcioni strug – ***pomoćno uzdužno kretanje***

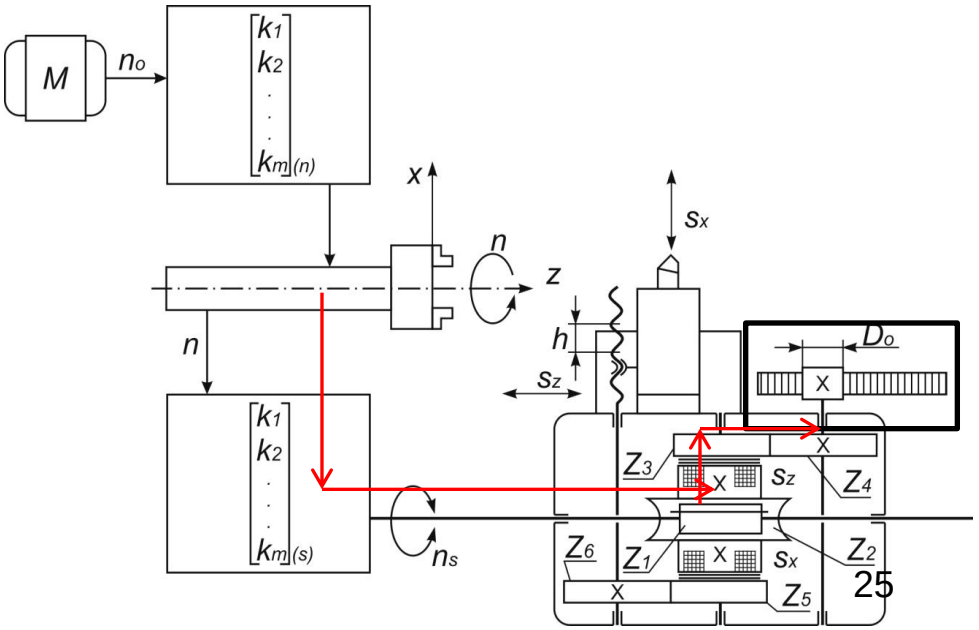
Broj obrtaja zupčanika koji je u zahvatu sa zupčastom letvom se određuje kao :

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_{zDo} = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4} \quad ; [o/min]$$

Za n=1 [mm/obrtaju] glavnog vretena pomak se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_z = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1}{z_2}\frac{z_3}{z_4} D_o \pi = C_z \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \quad ; [mm/o]$$





4.1.1 Kinematska struktura strugova

1 Produkcioni strug – ***pomoćno poprečno kretanje***

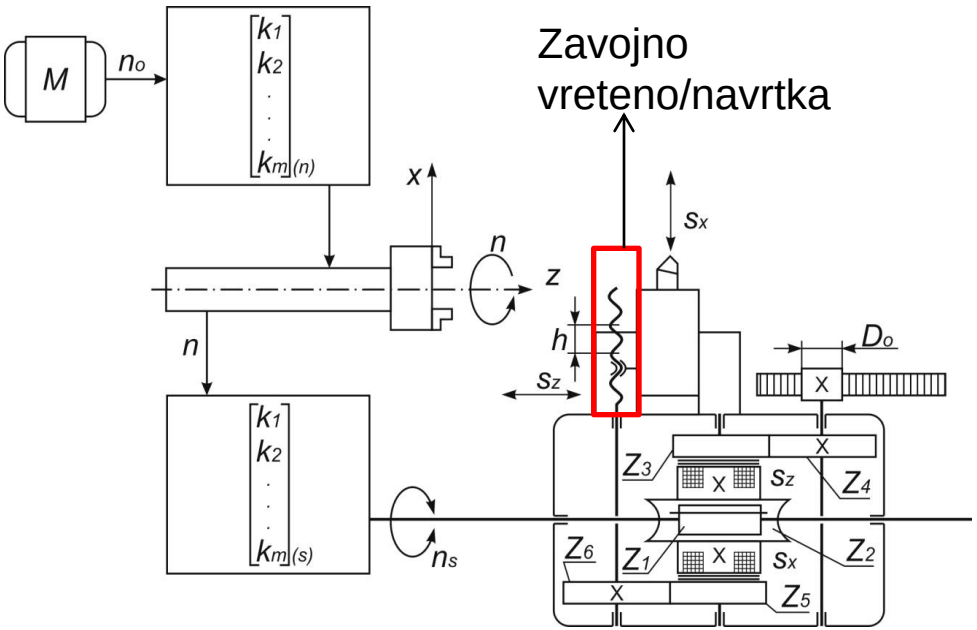
Veličina pomaka [mm/o] *za poprečno struganje* u pravcu *X* ose za slučaj kada se obrtno kretanja pretvara u pravolinijsko preko zavojnog vretena i navrtke se određuje kao:

$s_x = n_v h_v$; [mm/o]

s_x [mm/o] - tehnološki parametar u zavisnosti od stepena površinske hrapavosti

nv[1/o] – broj obrtaja zavojnog vretena

h_v [mm] korak zavojnog vretena



4.1.1 Kinematska struktura strugova

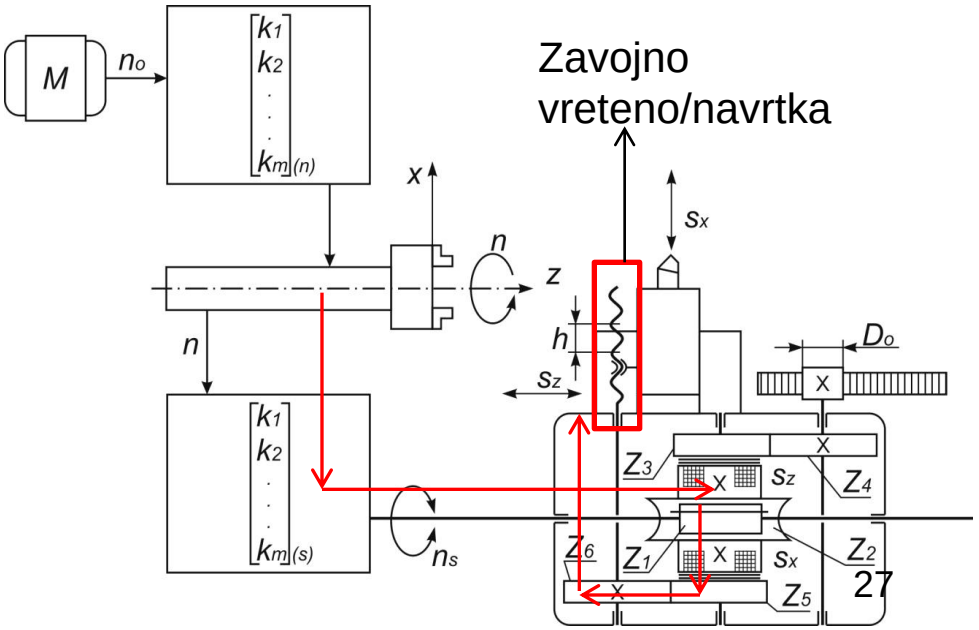
1 Produkcioni strug – ***pomoćno uzdužno kretanje***

Broj obrtaja zavojnog vretena se određuje kao :

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_h = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1}{z_2}\frac{z_5}{z_6} \quad ; \text{[o/min]}$$

Za n=1 [mm/obrtaju] glavnog vretena pomak se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_{h_v} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_1}{z_2}\frac{z_5}{z_6} h_v = C_z \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \quad ; \text{[mm/o]}$$

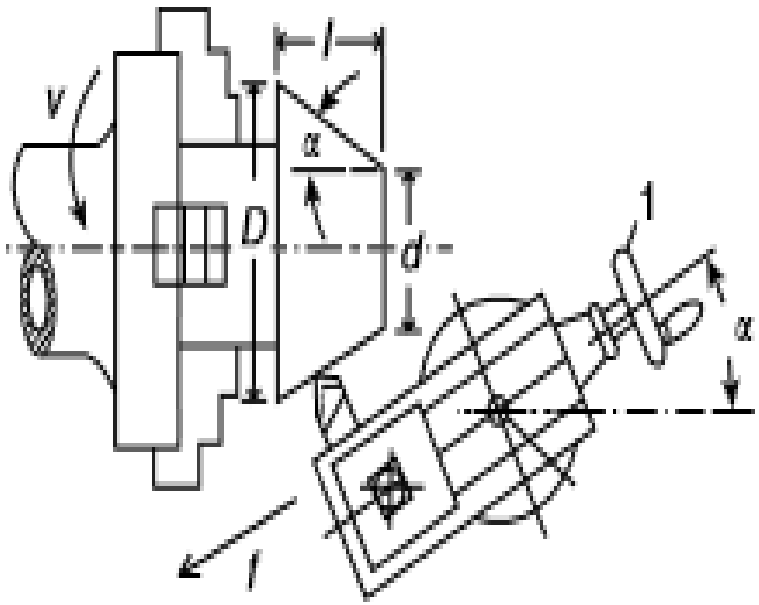


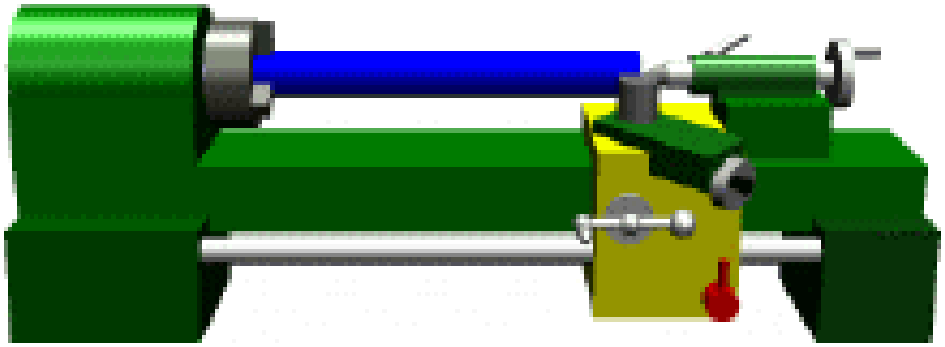
4.1.1 Kinematska struktura strugova

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 α 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.

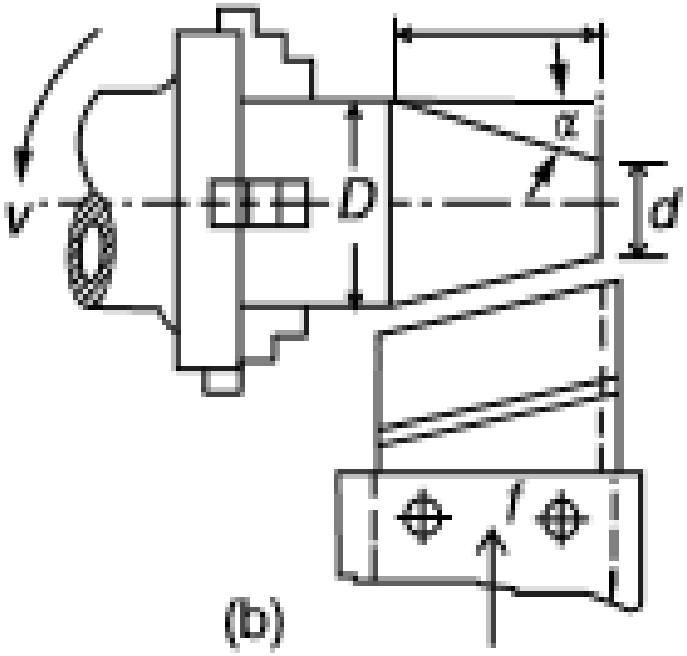




4.1.1 Kinematska struktura strugova

2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

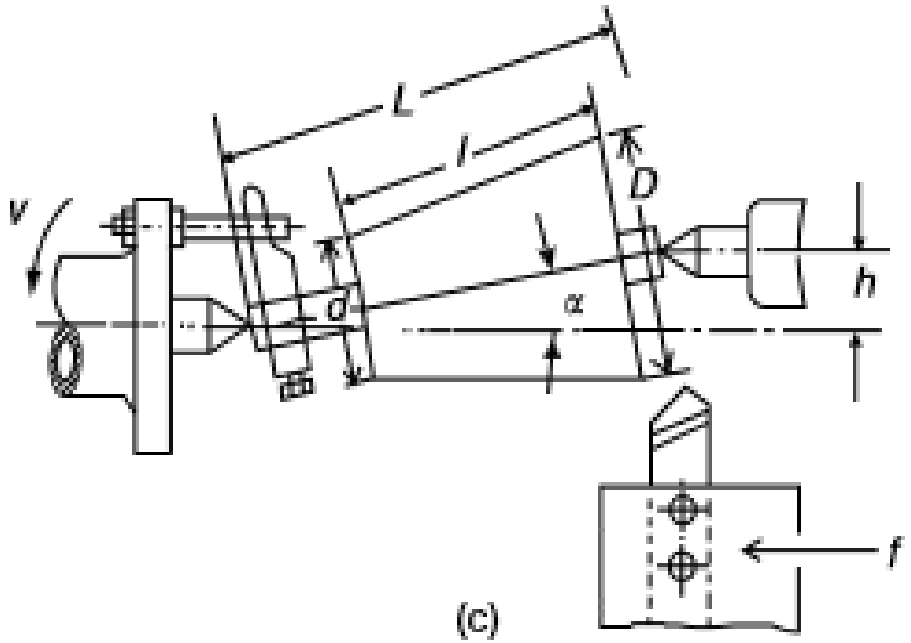
b) *Korišćenjem profilnih alata*. U ovom slučaju alat se kreće u poprečnom (X) pravcu, pri čemu širina alata mora biti veća od dužine konusa koji se obrađuje.



4.1.1 Kinematska struktura strugova

2. Kinematska struktura struga za izradu konusa

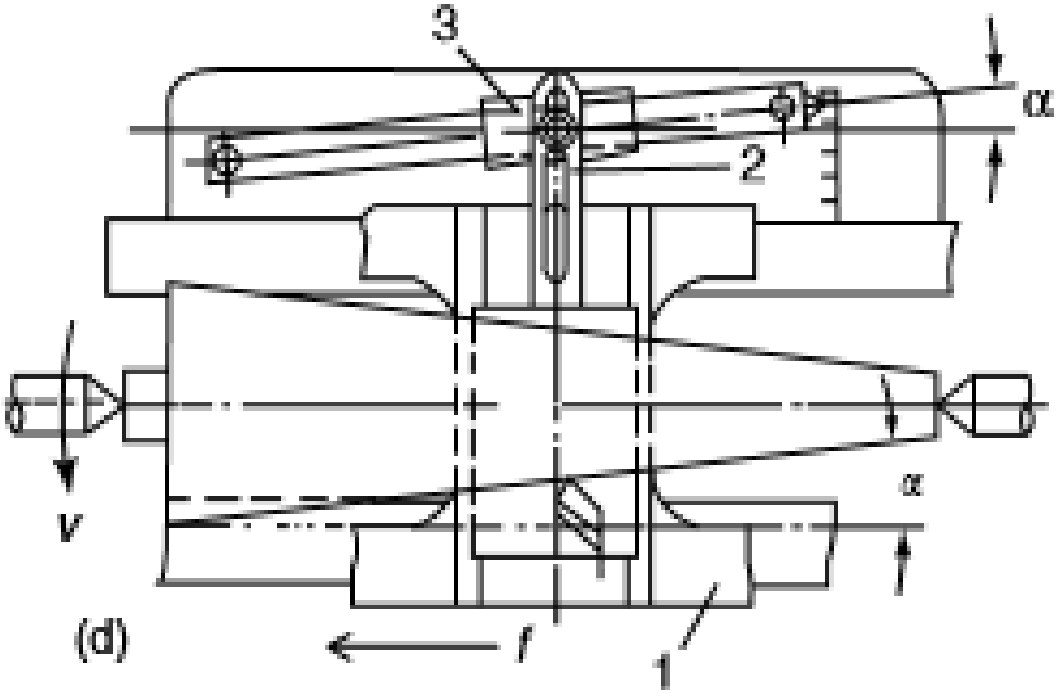
c) *Pomeranjem ose zadnjeg šiljka (šiljka konjica).* Pri izradi konusa ovom metodom, konjic se pomera u odnosu na osu vretena za visinu *h* koja obezbeđuje da se osa radnog predmeta postavi pod uglom α, u odnosu na osu glavnog vretena, ali tako da površina struganja bude paralelna osi glavnog vretena. Na ovaj način se mogu strugati konusi manjih uglova do 8°.



4.1.1 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.

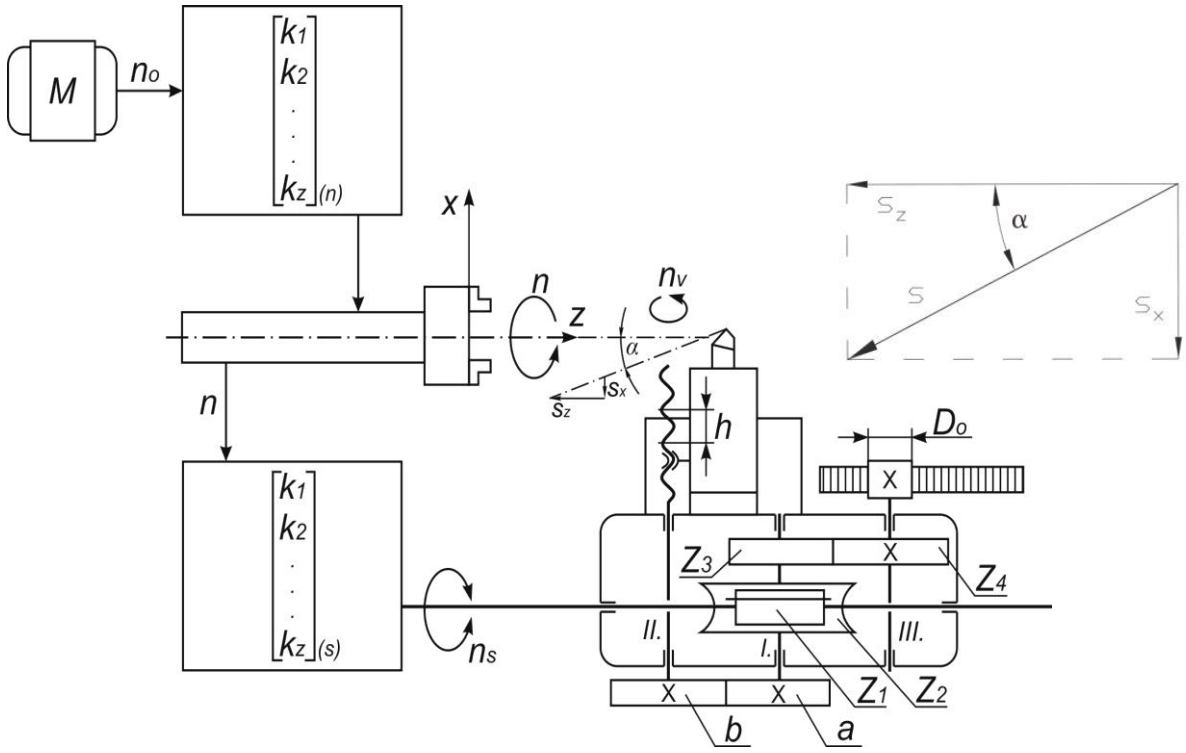


4.1.1 Kinematska struktura strugova

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:

$$\frac{s_x}{s_z} = tg\alpha$$



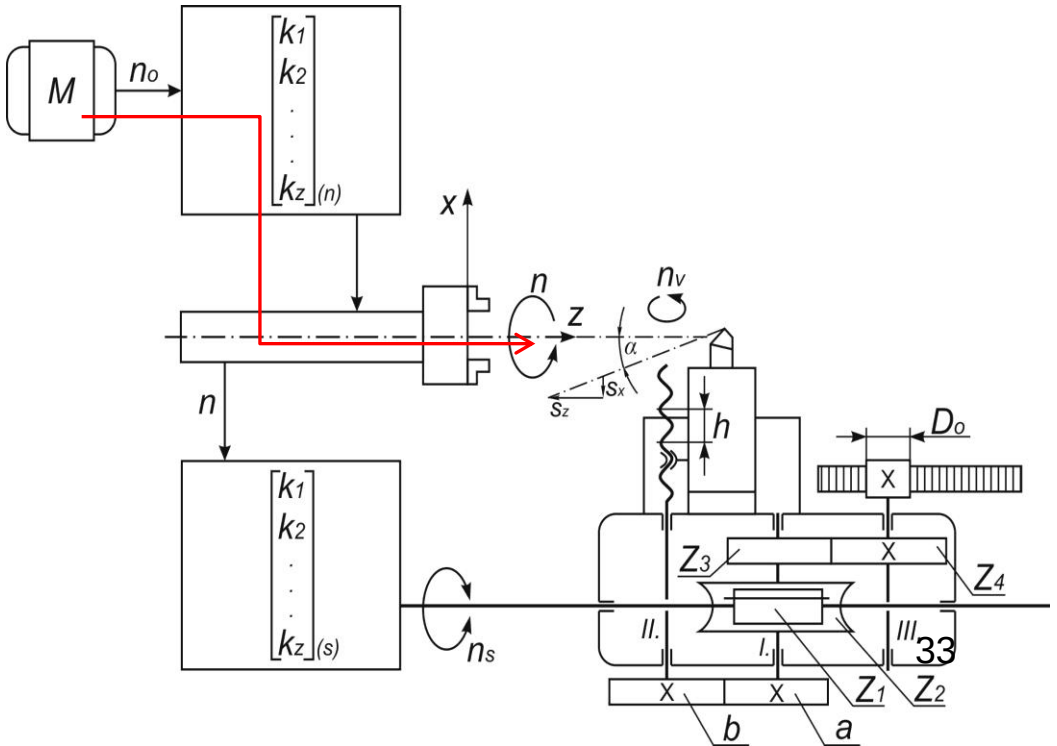
4.1.1 Kinematska struktura strugova

2. Kinematska struktura struga za izradu konusa – ***glavno kretanje***

Potreban broj obrtaja za ulaznu brzinu rezanja $v = D_p \pi n_i$ je:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ . \\ . \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix} \quad ; [o/min]$$

(n)

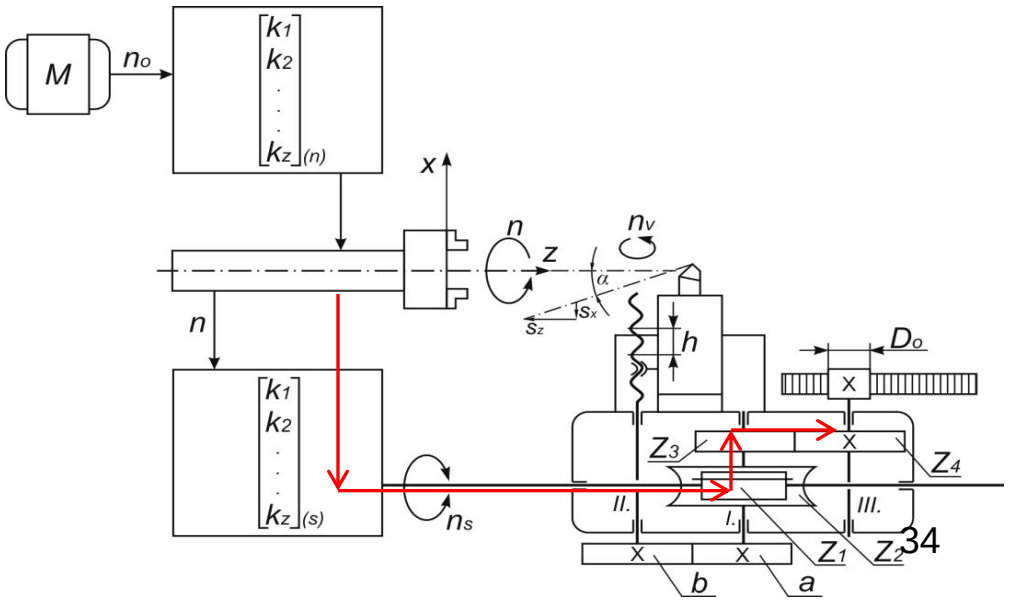


5.1.1 Kinematska struktura strugova

2. Kinematska struktura struga za izradu konusa – ***pomoćno uzdužno kretanje (*** s_z ***)***

- Pomoćno kretanje u pravcu Z ose za slučaj pretvaranja obrtnog u pravolinijsko kretanje preko zupčanika i zupčaste letve, za n=1 [mm/obrtaju] glavnog vretena se dobija kao:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ . \\ . \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_z = n \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot D_0 \cdot \pi \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s = C_z \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s \quad ; \text{[mm/o]}$$



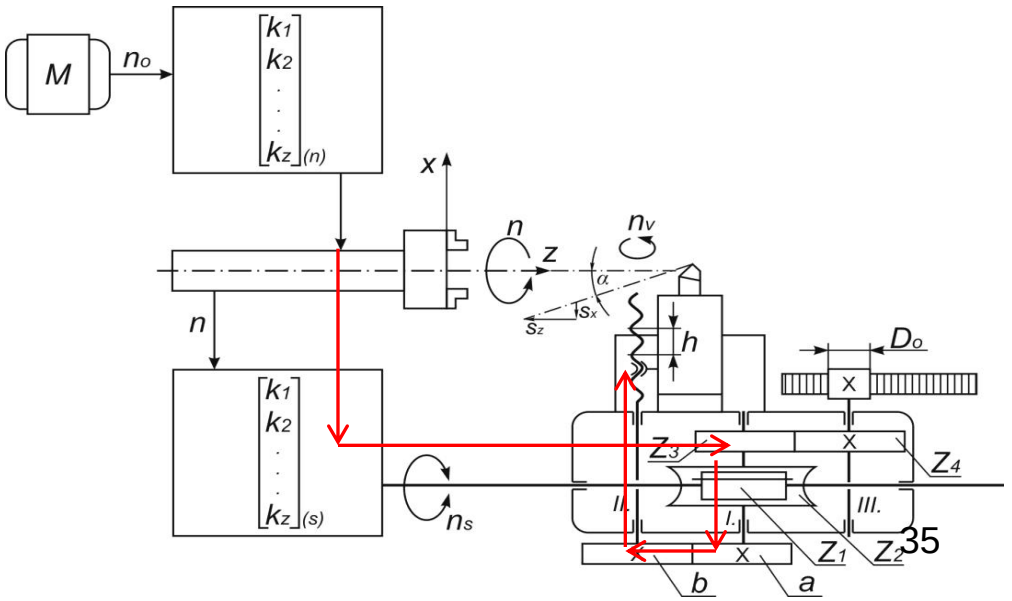
5.1.1 Kinematska struktura strugova

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:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ . \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_{h_v} = \frac{z_1}{z_2}\frac{a}{b} h_v \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \quad ; \text{[mm/o]}$$

gde su ***a*** i ***b*** izmenljivi zupčanici, čijom zamenom se omogućava izrada konusa u širokom dijapazonu uglova.



4.1.1 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 *α.* Prema tome izmenljivi zupčanici se određuju kao:

$$\frac{s_x}{s_z} = tg\alpha = \frac{\begin{bmatrix} k_1 \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a}{b} \cdot h}{\begin{bmatrix} k_1 \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot D_0 \cdot \pi} = \frac{a}{b} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{h}{D_0 \cdot \pi}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{D_0 \cdot \pi}{h} \cdot tg\alpha$$

Rešenje, predstavlja određivanje brojeva zuba zupčanika "a" i zupčanika "b", pri kojima će se rezultujuće kretanje vrha alata ostvariti pod uglom α koji je jednak ½ ugla vrha konusa.

4.1.1 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.

4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – ***Tipovi navoja***

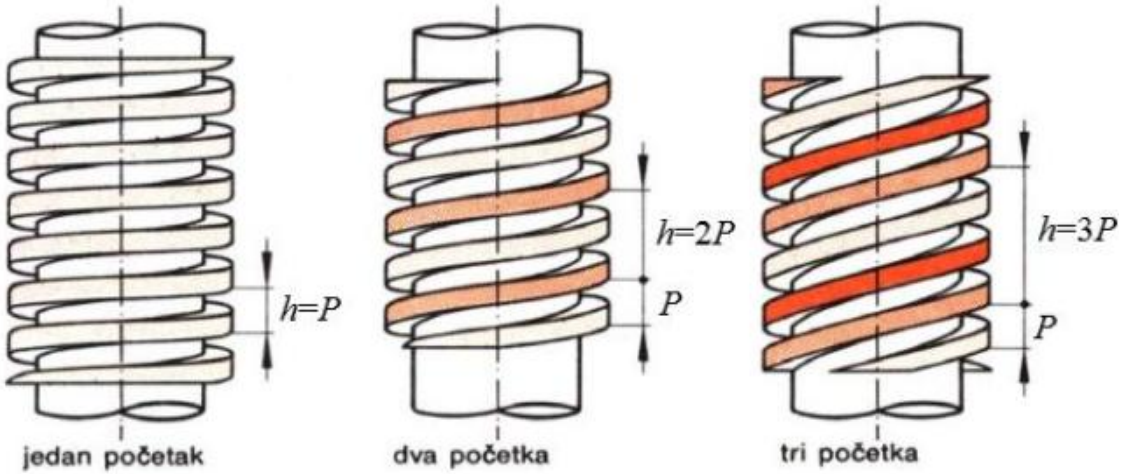
a) Metrička zavojnica (navoj). Kod metričkih navoja pomak je jednak koraku zavojnice ***s = P,*** ako je u pitanju jednohoda zavojnica, odnosno, zavojnica sa jednim početkom.

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

4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – ***Tipovi navoja***

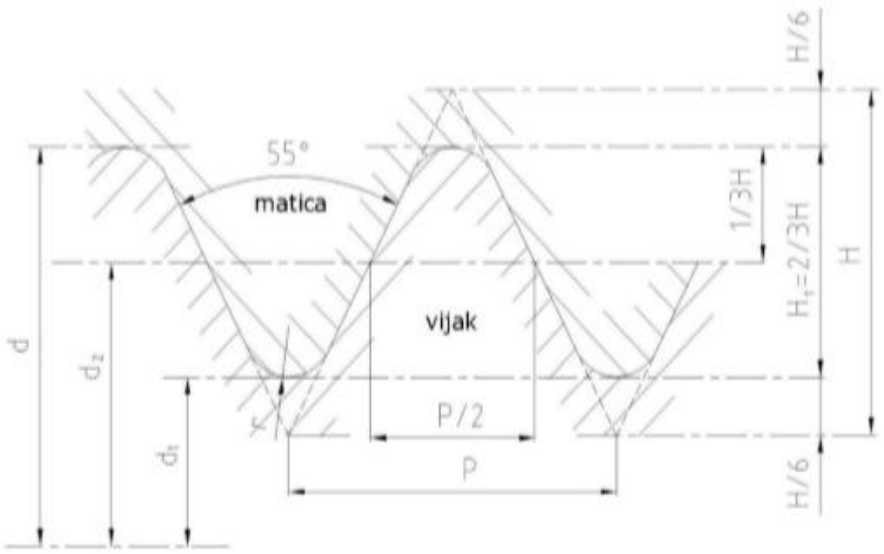
b) Whithworth-ov navoj je jednohodi navoj čiji teorijski profil ima oblik ravnokrakog trougla, a dimezije su izražene u colovnom sistemu mera.

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* [mm];

Pomak, potreban za izradu ovog navoja definisan je kao:

$$s = P = \frac{1''}{e} = \frac{25,4}{e}$$;[mm/o];



Šematski prikaz Whithworth-ovg navoj

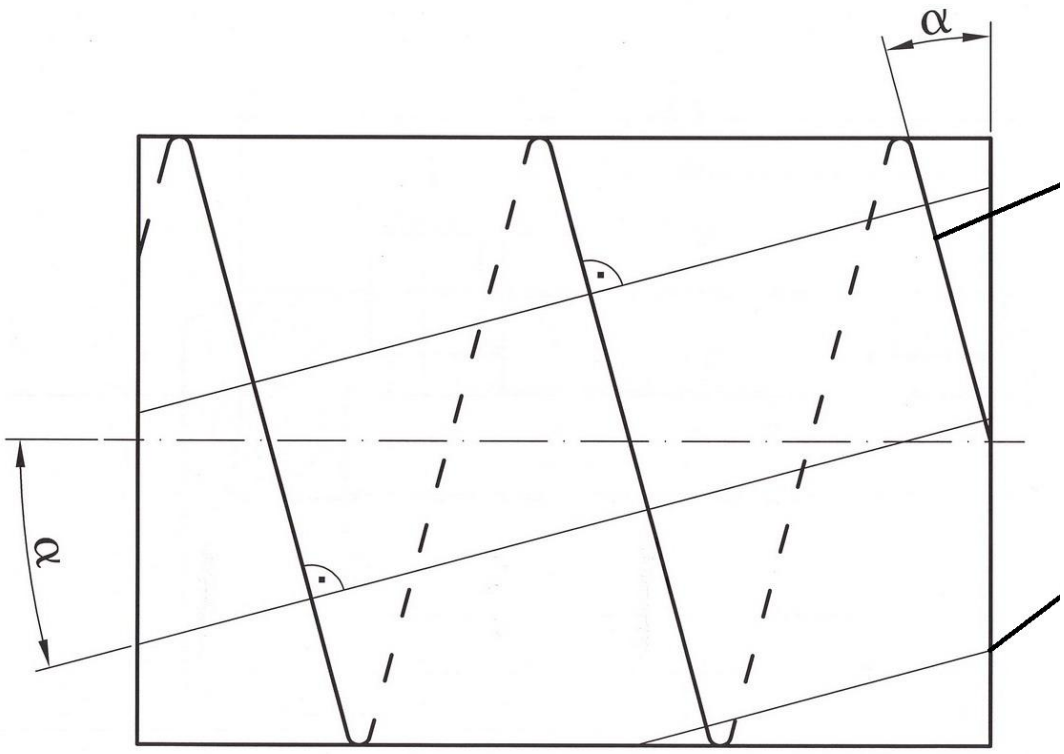
4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – ***Tipovi navoja***

c) Modulna zavojnica (navoj)

Pomak je definsan preko modula zavojnice kao:

s = P = i*m*π; *i – broj početaka zavojnice, m – moduo zavojnice*

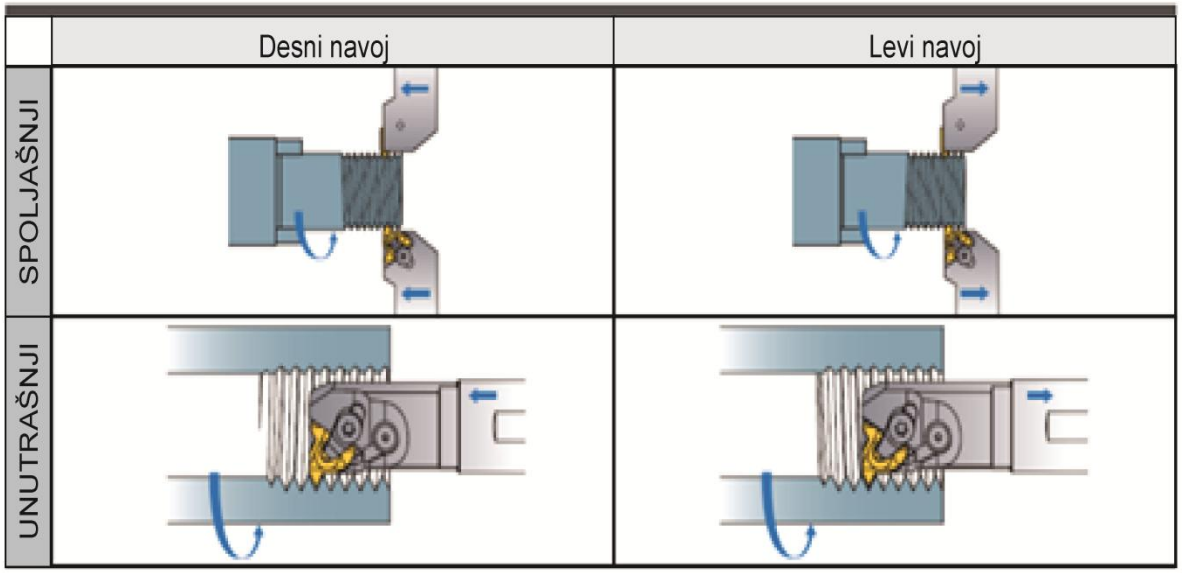


4.1.1 Kinematska struktura strugova

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

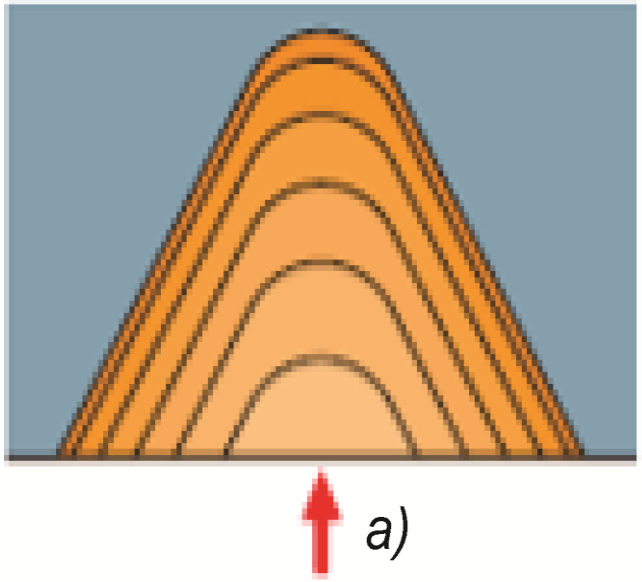
4.1.1 Kinematska struktura strugova

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:

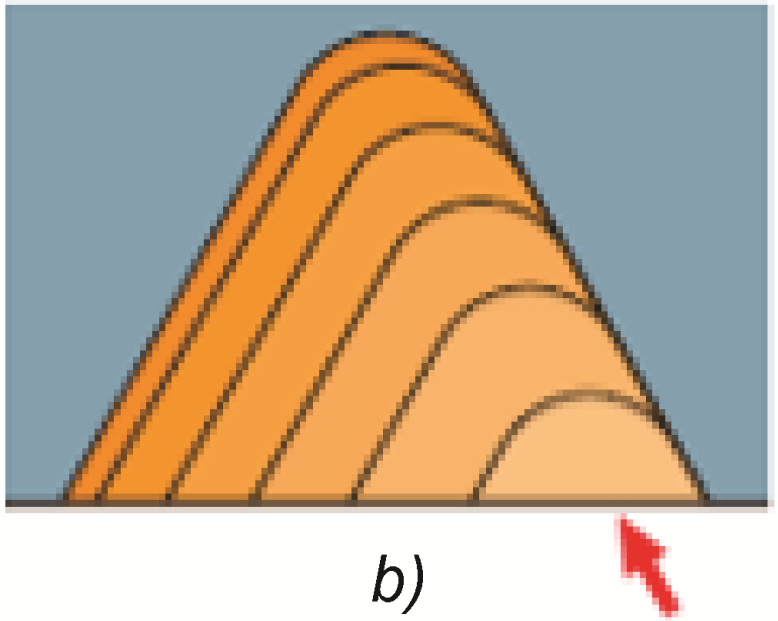
a) Radijno primicanje (radijlani pomak.) Ulaz alata je po sredini profila, tako da se pločica haba podjednako sa obe strane. Ovaj način se koristi za navoje koji imaju korak do 1.5 [mm]. Radijalno primicanje se najčešće koristi kod završne obrade.



4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – ***Izrada navoja***

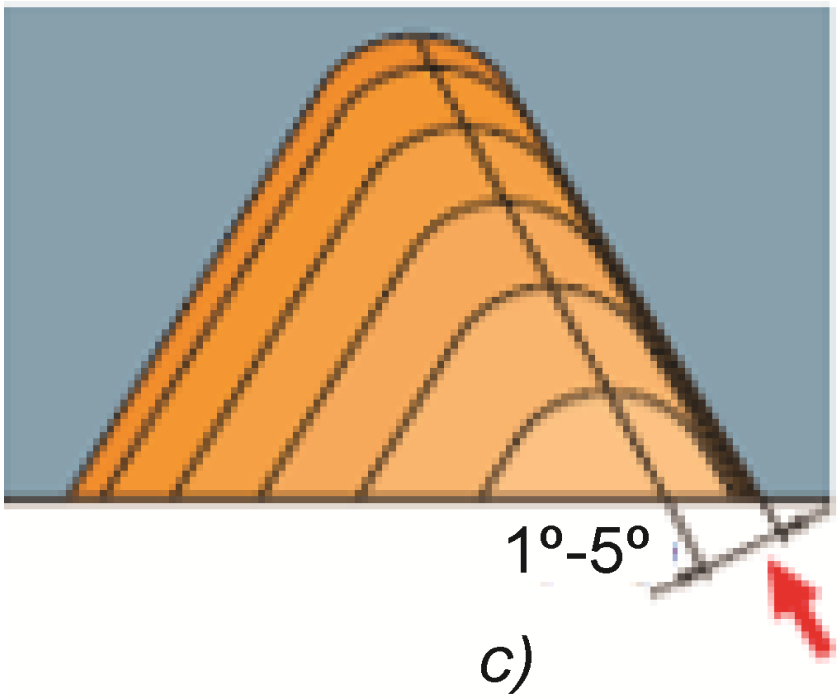
b) Bočno primicanje alata (Primicanje paraleleno boku profila) Ovaj način struganja navoja je relativno jednostavn za korišćenje (postoje polu-standardni programi za rezanje navoja), pri čemu se redukuju sile rezanja. Nedostaci ove metode se ogledaju u velikom bočno trenju desne strane reznog dela alata i relativno teškoj promeni dubine rezanja. Ovaj način primicanja se koristi kod grube obrade, čime se postiže odvajanje strugotine samo s jedne strane.



4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strugovi za izradu specijalnih (profilnih) površine – ***Izrada navoja***

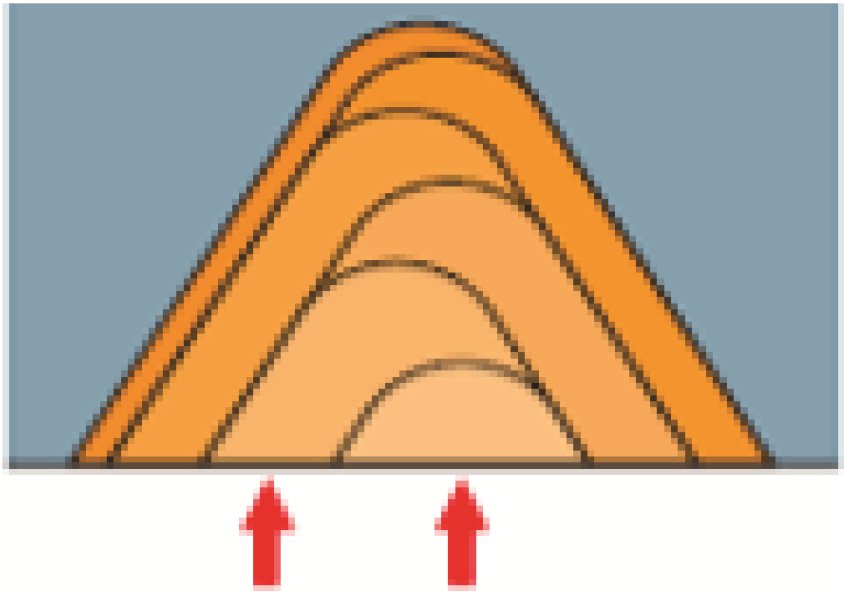
c) Modifikovano bočno primicanje alata. Ulazi se s jedne strane profila navoja i prati se njegov ugao, prema sredini. Na taj način se smanjuju vibracije koje se javljaju pri struganju navoja i smanjuje se toplota generisana pri rezanju jer alat nije punom bočnom površinom u zahvatu.



4.1.1 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.



d)

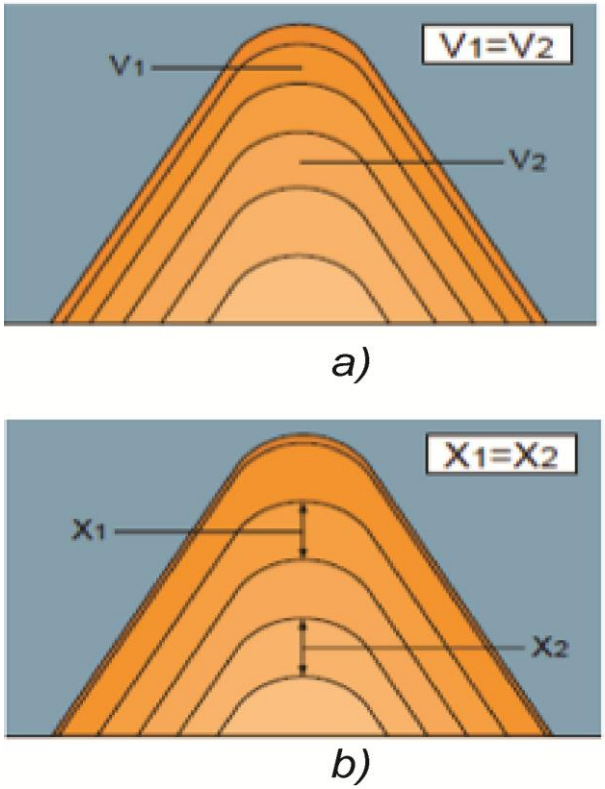
4.1.1 Kinematska struktura strugova

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

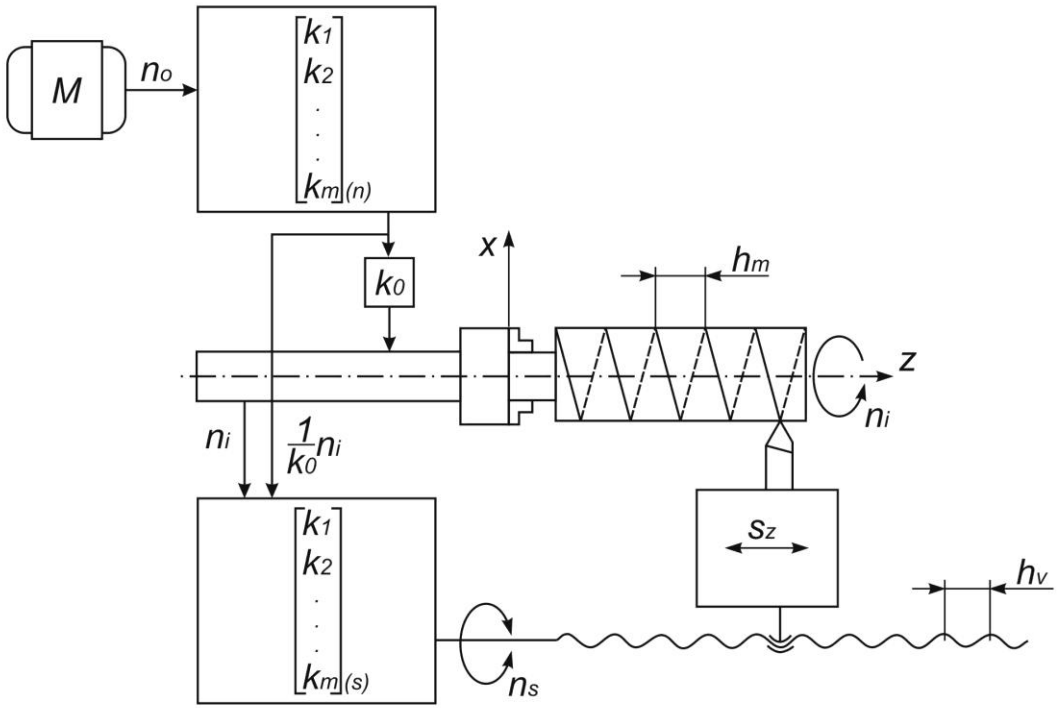


Slika 3.14 Definisanje dubine rezanja kod struganja navoja

4.1.1 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.



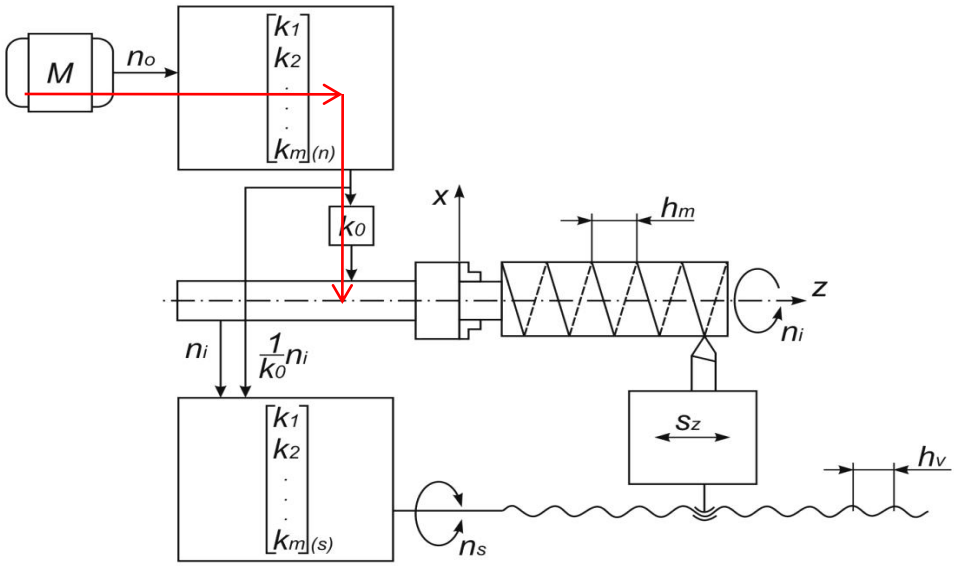
Kinematska struktura struga za izradu zavojnica

4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strug za izradu zavojnica – ***Glavno kretanje***

Uspostavljanje potrebnog broja obrtaja glavnog vretena se vrši preko kinematskog lanca:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ . \\ . \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 k_0 \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(n)} \quad ;[o/min]$$



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,.....m), a k_{in} - neki od raspoloživih prenosnih faktora prenosnika za glavno kretanje (i =1, 2,.....m)$_n$.

4.1.1 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.

s = h =i*P; - metrička zavojnica (navoj)

$s = h = \frac{1''}{e} = \frac{25,4}{e}$ - *Whithworth-ov* zavojnica (navoj)

s = h = i*m*π - modulna zavojnica (navoj)

[mm/o]

4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strug za izradu zavojnica – ***Pomoćno kretanje***

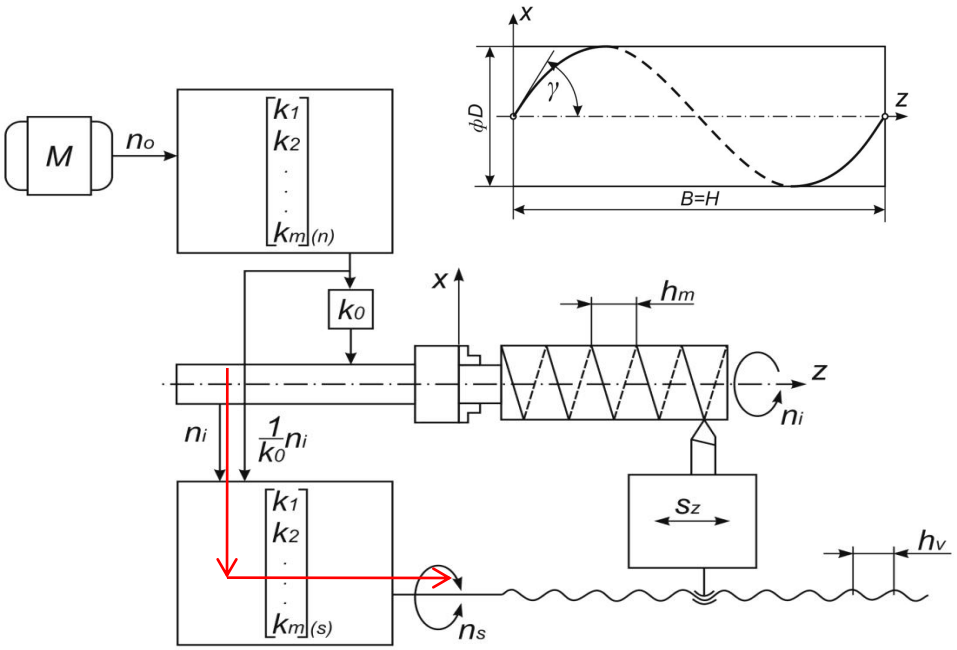
Ako se kinematski lanac za pomoćno kretanje definiše od glavnog vretena, preko prenosnika za pomoćno kretanje definisanog matricom $k_{m(s)}$, do zavojnog vretena, reč je o ***direktnom kinematskom lancu***.

Izrada zavojnice normalnog koraka:

$$s_z = n_v h_v ;\ [mm/o]$$

Broj obrtaja zavojnog vretena n_V:

$$n_v = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ;\ [o/\min]$$



Za $n = 1$ i $s_z = h$ pri izradi metričkog navoja pomak je:

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ . \\ h_m \end{bmatrix} = h_v \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ;\ [mm/o]$$

4.1.1 Kinematska struktura strugova

4. Strug za izradu zavojnica – ***Pomoćno kretanje***

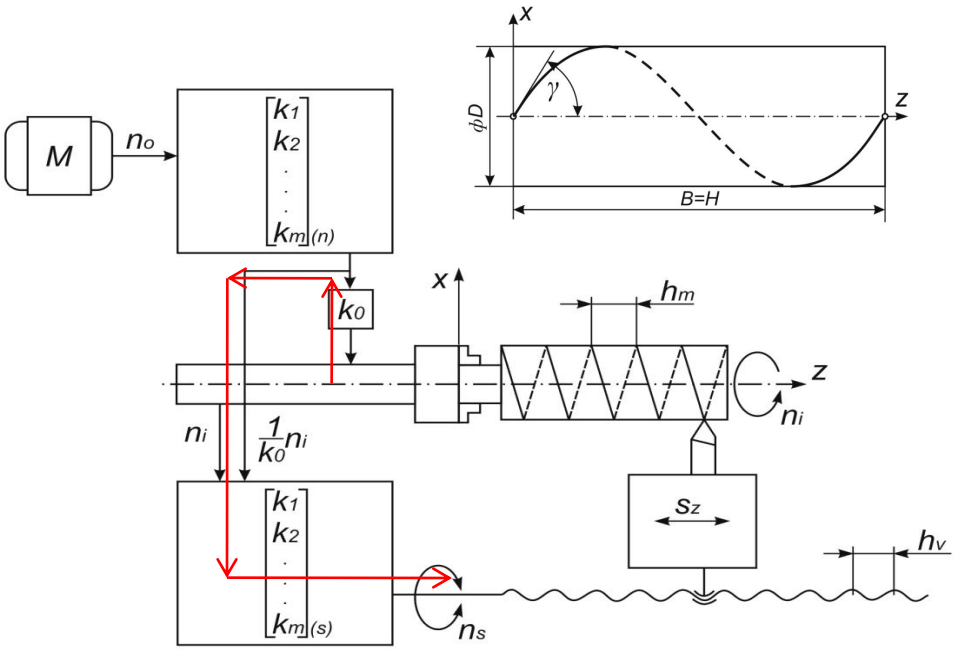
Ako se kinematski lanac definiše od glavnog vretena, preko ***prenosnog faktora k_0***, i prenosnika za pomoćno ***kretanje definisanog matricom $k_{m(s)}$*** do zavojnog vretena, onda se na datoj mašini realizuje obrada ***navoja sa velikim korakom***.

Izrada zavojnice velikog koraka:

$$s_z = n_v h_v ; \; [mm/o]$$

Broj obrtaja zavojnog vretena n_V:

$$n_v = n \frac{1}{k_0} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ; [o/\min]$$



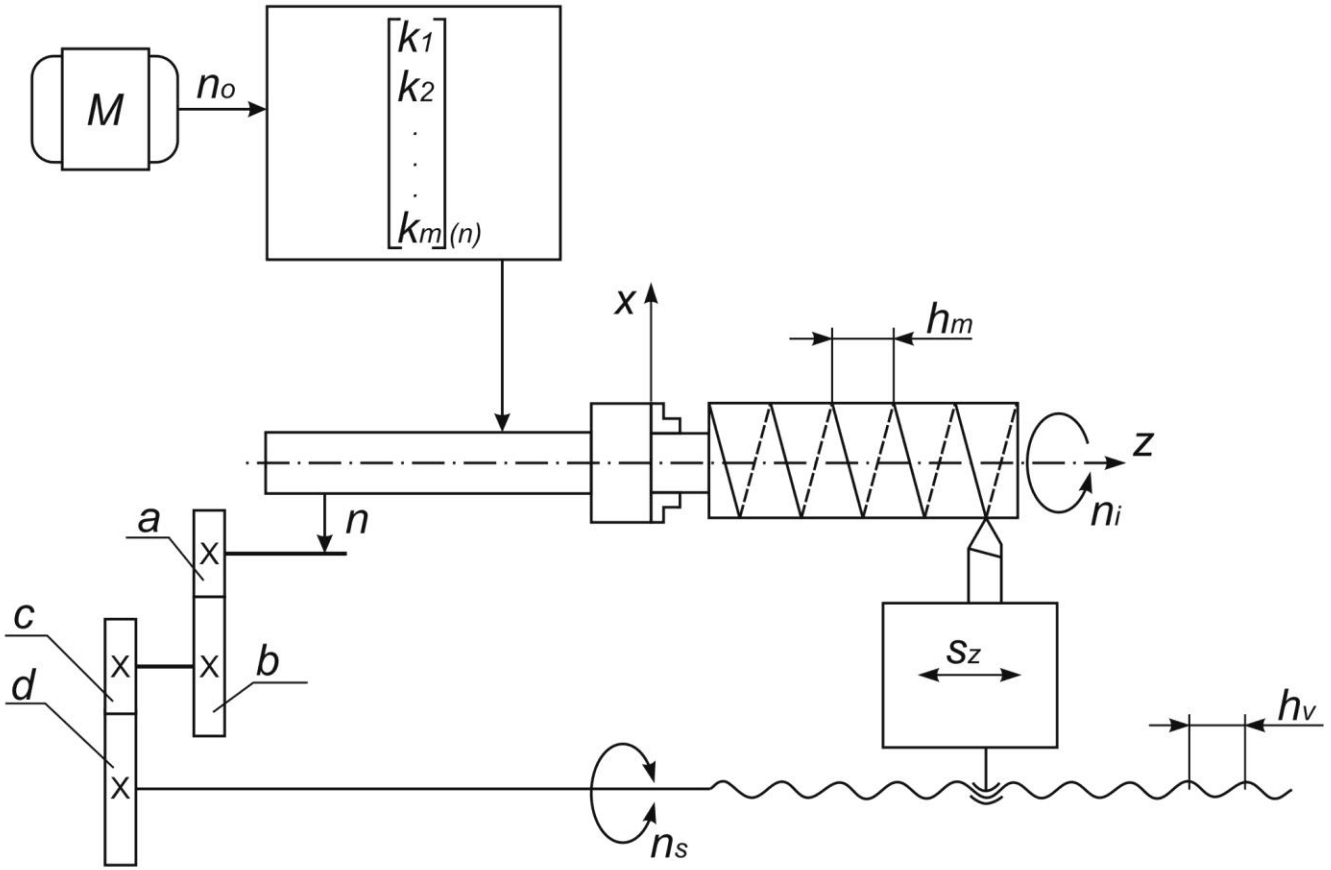
Za $n = 1$ i $s_z = h$ pri izradi metričkog navoja pomak je:

$$\begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ . \\ h_m \end{bmatrix} = h_v \frac{1}{k_0} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ; [mm/o]$$

4.1.1 Kinematska struktura strugova

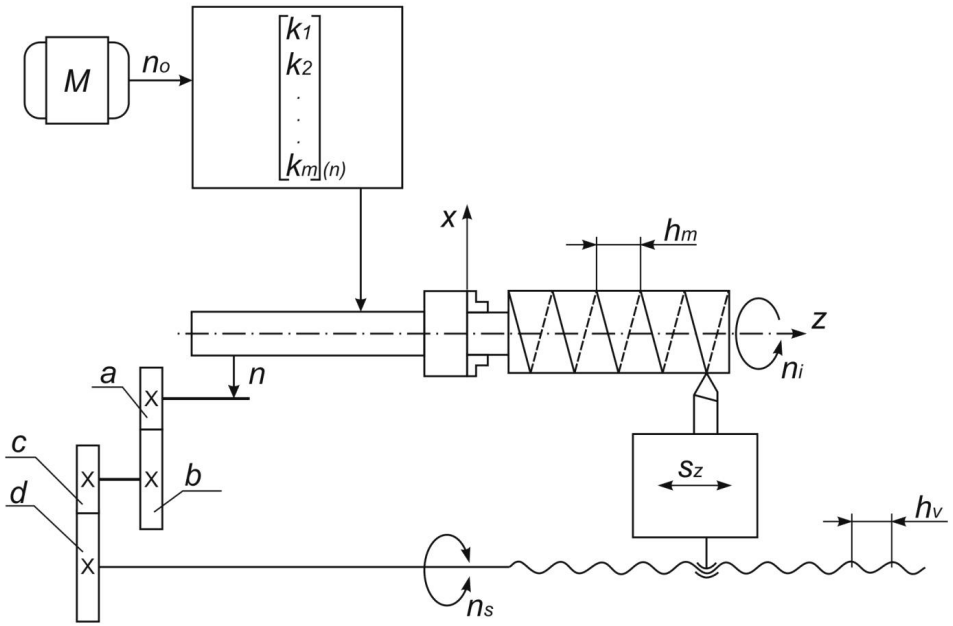
Strug za izradu zavojnica sa izmenljivim zupčanicima

Na ovom strugu se može izrađivati zavojnica bilo kog koarka, ako postoji mogućnost izbora i postavljanja potrebnih izenljivih zupčanika (a, b, c, d)



4.1.1 Kinematska struktura strugova

Strug za izradu zavonica sa izmenljivim zupčanicima



Glavno kretanje

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ n_m \end{bmatrix} = n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix} \text{(n)}$$

Pomoćno kretanje:

Prenosni faktor izmenljivih zupčanika

$$k = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

$$n \cdot h_m = n_s \cdot h_v$$

$$n_s = k \cdot n = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot n$$

$$k = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{n_s}{n} = \frac{h_m}{h_v}$$

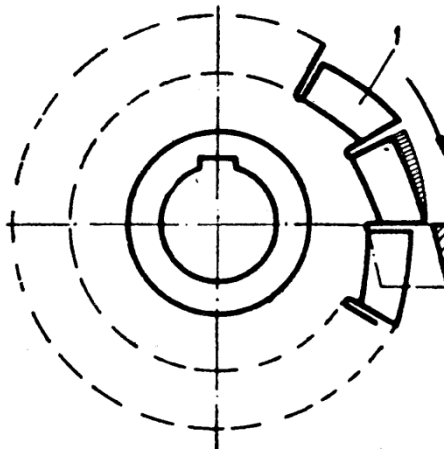
4.1.1 Kinematska struktura strugova

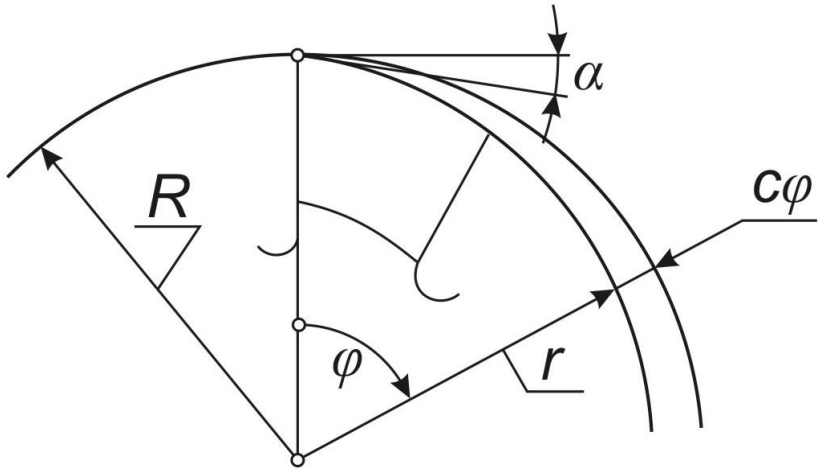
5. Strug za leđno struganje

Leđno struganje predstavlja specijalnu operaciju za obradu krivih, nerotacionh površina - programskih (profilnih) alata.

Glavna primena leđnog struganja je pri izradi leđno struganih glodala čiji zubi imaju krivolinijski oblik i konturu u zavisnosti od profila koji se sa ovim glodalima izrađuju.

Profil ovih alata treba da je takav da i posle ponovnog oštrenja ostane nepromanjen, pa se alati oštre isključivo po leđnoj površini.



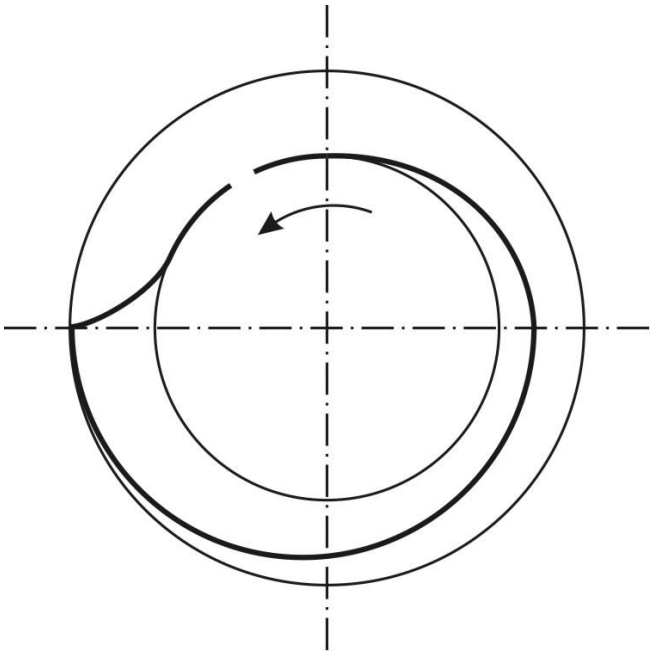


Kretanje strugarskog noža po Arhimedovoj spirali

4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje – ***Izrada pločastih alata***

Pojedini alati (obradci) se mogu izraditi bez uzdužnog pomaka (s_z). Pri ovom načinu obrade obradak se ravnomerno obrće, a alat (nož) za leđno struganje pomoću brega dobija ravnomeran pomak u poprečnom pravcu (s_x). Između glavnog i pomoćnog kretanja postoji kruta kinematska veza.

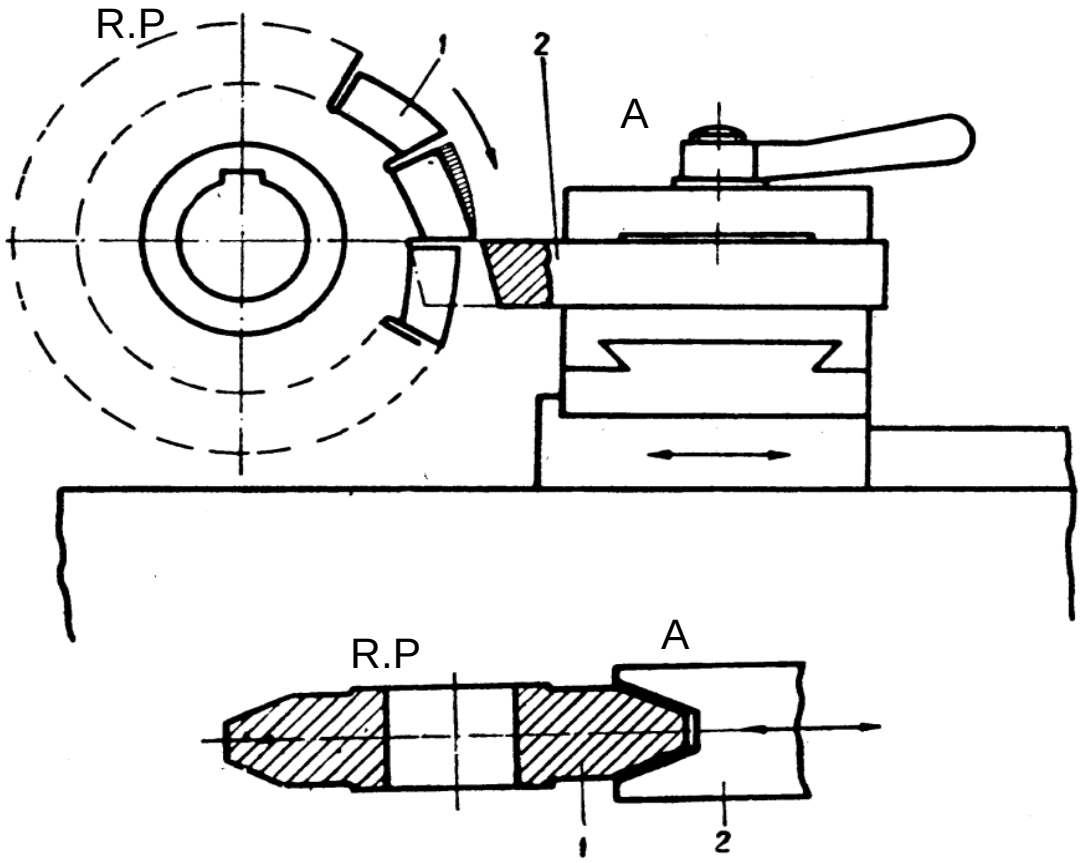


Bregasta ploča

4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje – Izrada pločastih alata

Kod obrade glodala sa leđno struganim zubima, glodalo (radni predmet) izvodi obrtno kretanje uz istovremeno primicanje noža, da bi se sa zuba glodala skinula količina materijala koja odgovara šafiranoj površini na zubu glodala.

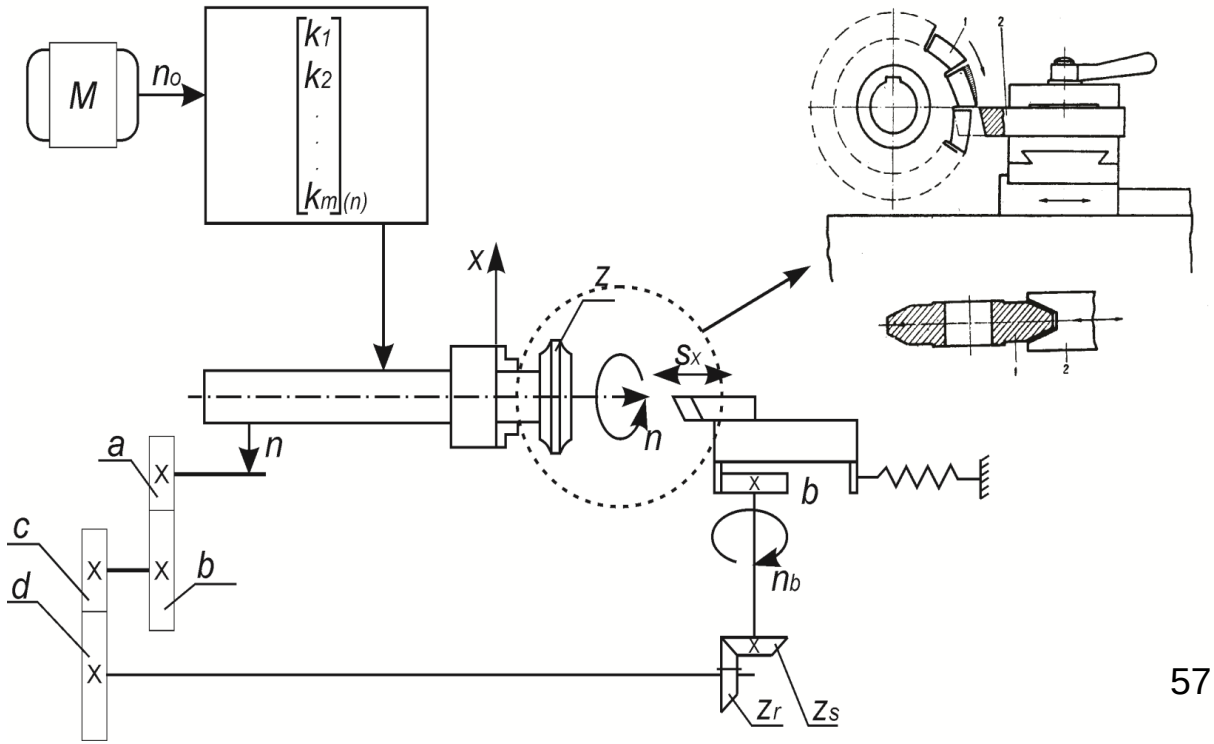


4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje – Izrada pločastih alata

Pri izradi pločastih glodala sa leđno struganim zubima (modulna glodala) dok glodalo napravi jedan obrt, potrebno je izvršiti struganje leđne površine na “z” zuba.

Pri radijalnom pomaku noža radi obrade jednog zuba, potrebno je pre nailaska sledećeg zuba da se nož brzo vrati u svoj početni položaj.



4.1.1 Kinematska struktura strugova

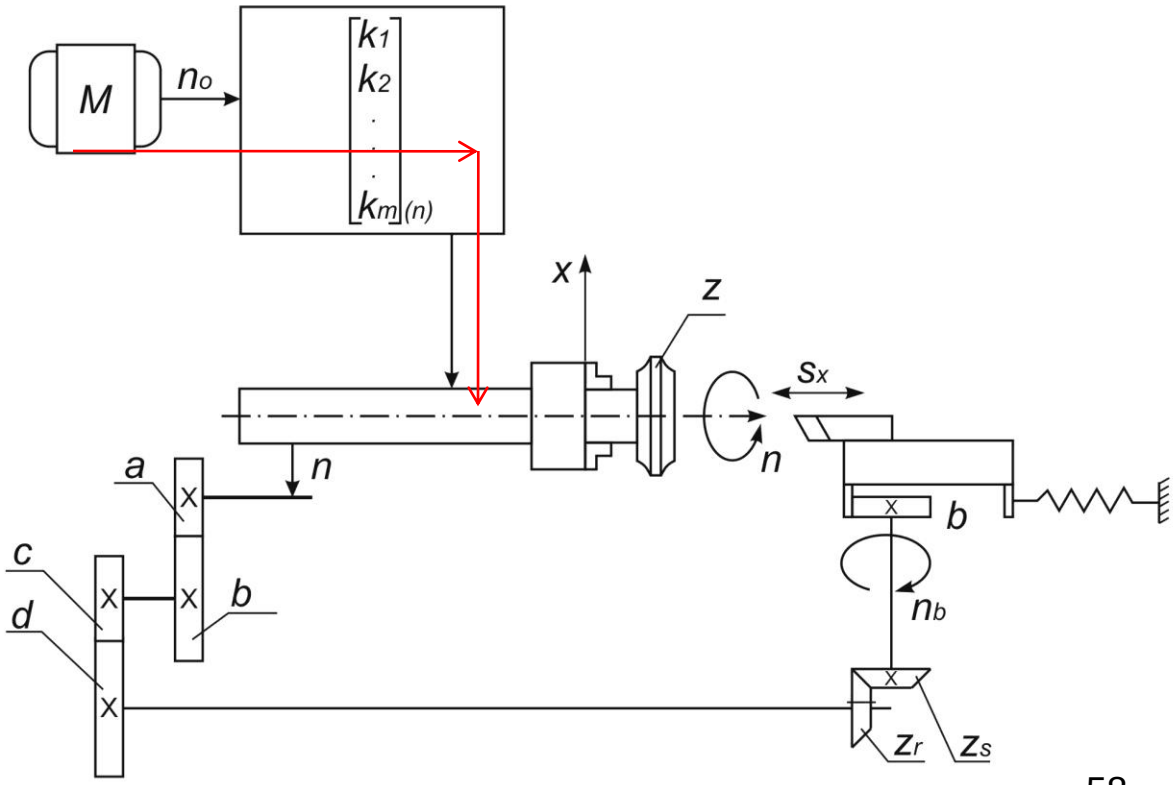
5. Strug za leđno struganje – Izrada pločastih alata

Potrebna kretanja su u ovom slučaju:

glavno kretanje – obrtanje obradka brojem obrtaja "n", radi ostvarenja brzine rezanja "v". Za uspostavljanje potrebne brzine rezanja bira se jedan od raspoloživih brojeva obrtaja glavnog vretena.

$$v = D_p \pi n; \left[m/\min \right]$$

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}; \left[o/\min \right]$$



4.1.1 Kinematska struktura strugova

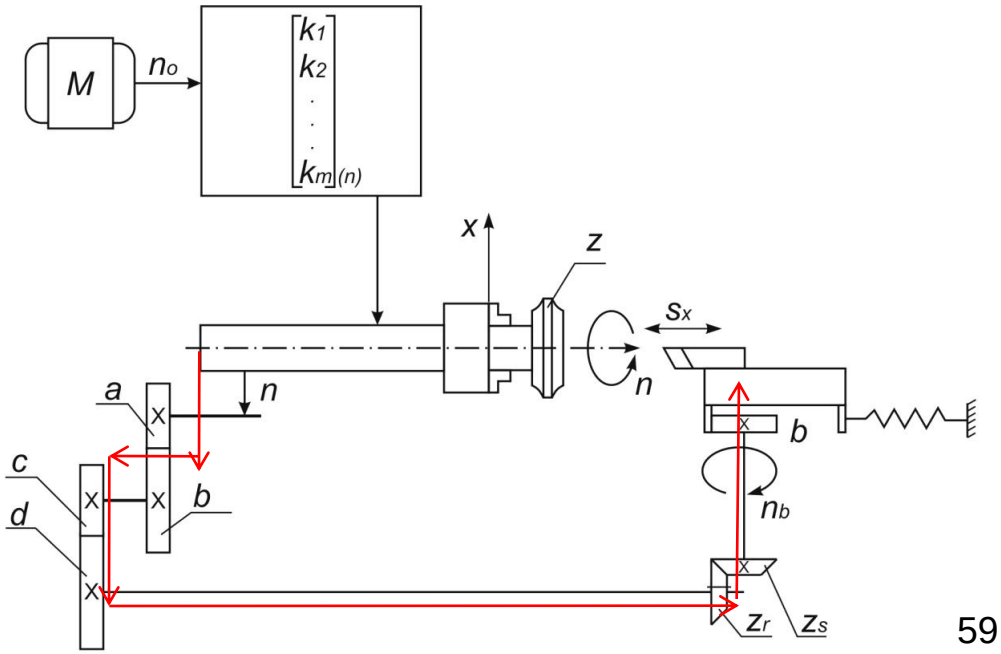
5. Strug za leđno struganje – Izrada pločastih alata

pomoćno kretanje **– obrtanje bregaste** ploče "n_b", koje obezbeđuje radijalno primicanje i odmicanje alata, tj. leđno struganje.

$$n_b = n \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{z_r}{z_s}$$

Za $n*z = n_b*1 \rightarrow n_b/n = Z$, odnonso za jedan obrtaj radnog predmeta alat treba da obradi Z zuba na radnom predmet

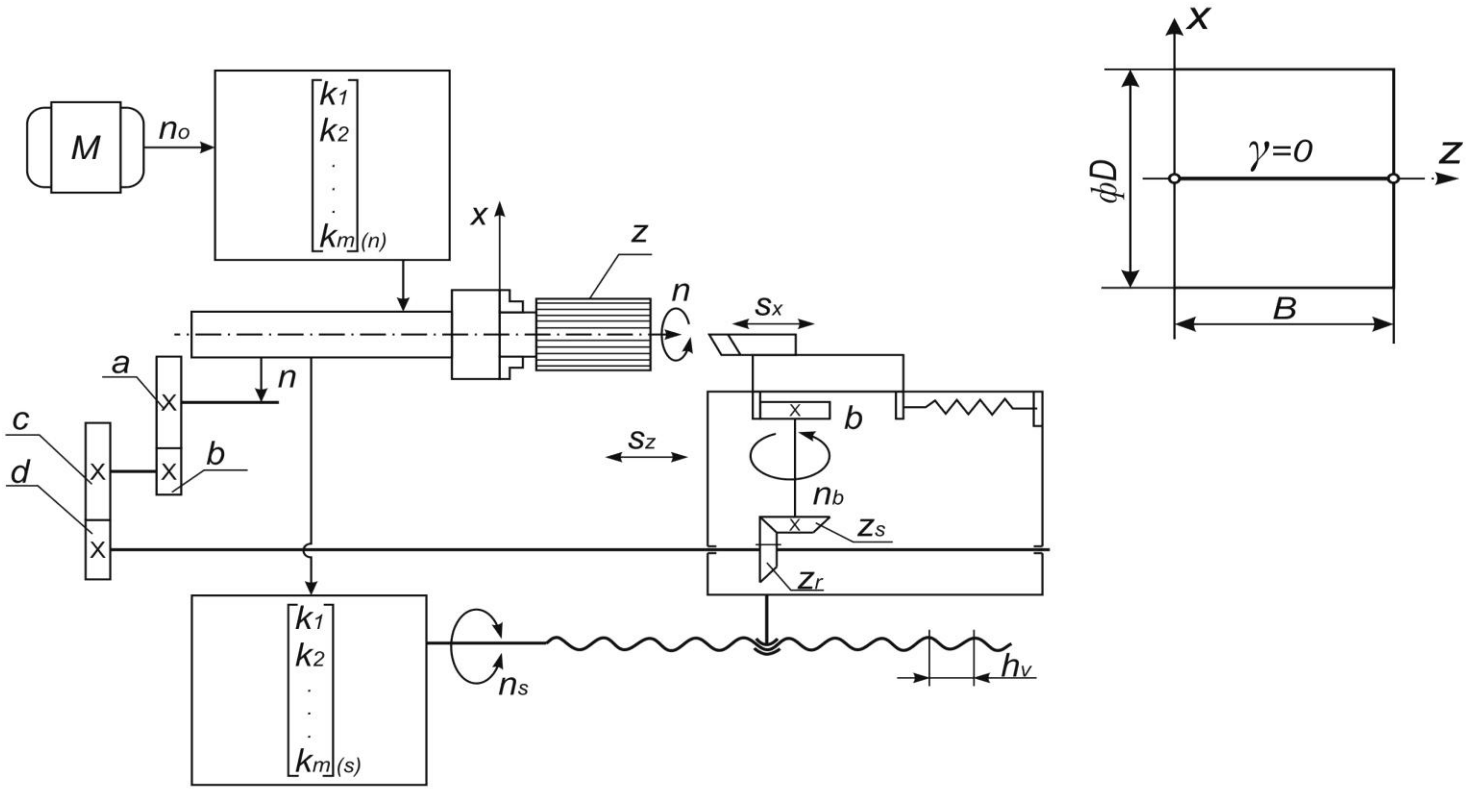
$$k = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = Z \cdot \frac{z_s}{z_r}$$



4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje - Izrada glodala sa pravim zubima

Ukoliko se radi o valjkastim glodalima ili drugim glodalima veće dužine, gde je potrebno da strugarski nož izvodi i uzdužno kretanje pored radijalnog, potrebno je pomoću vodećeg vretena ostvariti i uzdužno kretanje nosača alata.



Kinematska struktura strugova za obradu alata sa pravim zubima

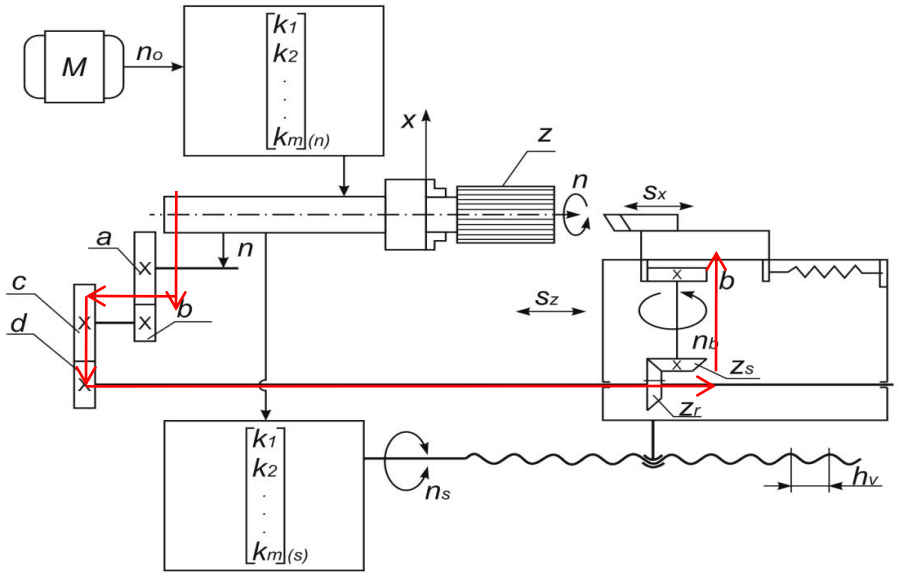
4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje - Izrada glodala sa pravim zubima

Potrebna kretanja su u ovom slučaju:

glavno kretanje – obrtanje obradka brojem obrtaja "n", radi ostvarenja brzine rezanja *"v=Dπn"*.

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}; [o/\min]$$



pomoćno kretanje – **obrtanje bregaste** ploče "n_b", koje obezbeđuje radijalno primicanje i odmicanje alata, tj. leđno struganje

$$n_b = n \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{z_r}{z_s}$$ Za $n*z = n_b*1 \rightarrow n_b/n = Z$ $$k = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = Z \cdot \frac{z_s}{z_r}$$

4.1.1 Kinematska struktura strugova

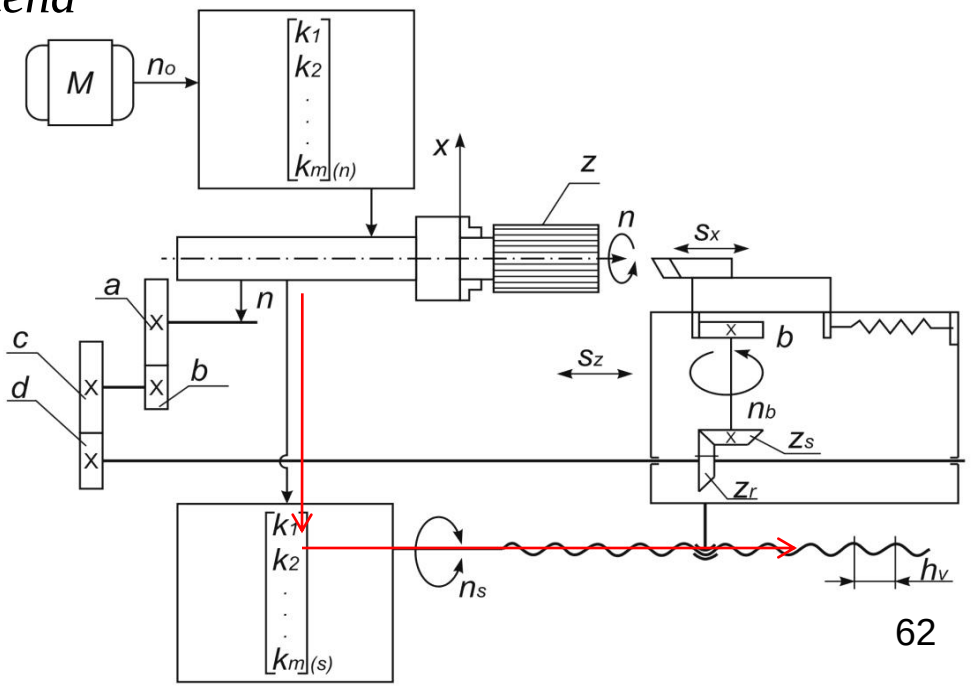
5. Strug za leđno struganje - Izrada glodala sa pravim zubima

***pomoćno kretanje* – uzdužni pomak "s_z",** koje je sinhronizovano, tj. u kinematskoj vezi sa glavnim kretanjem i ostvaruje se kinematskim lancem od glavnog vretena preko prenosnika za pomoćno kretanje datog matricom $k_{m(s)}$, do zavojnog vretena koraka h_v.

$$s_z = n_v h_v$$

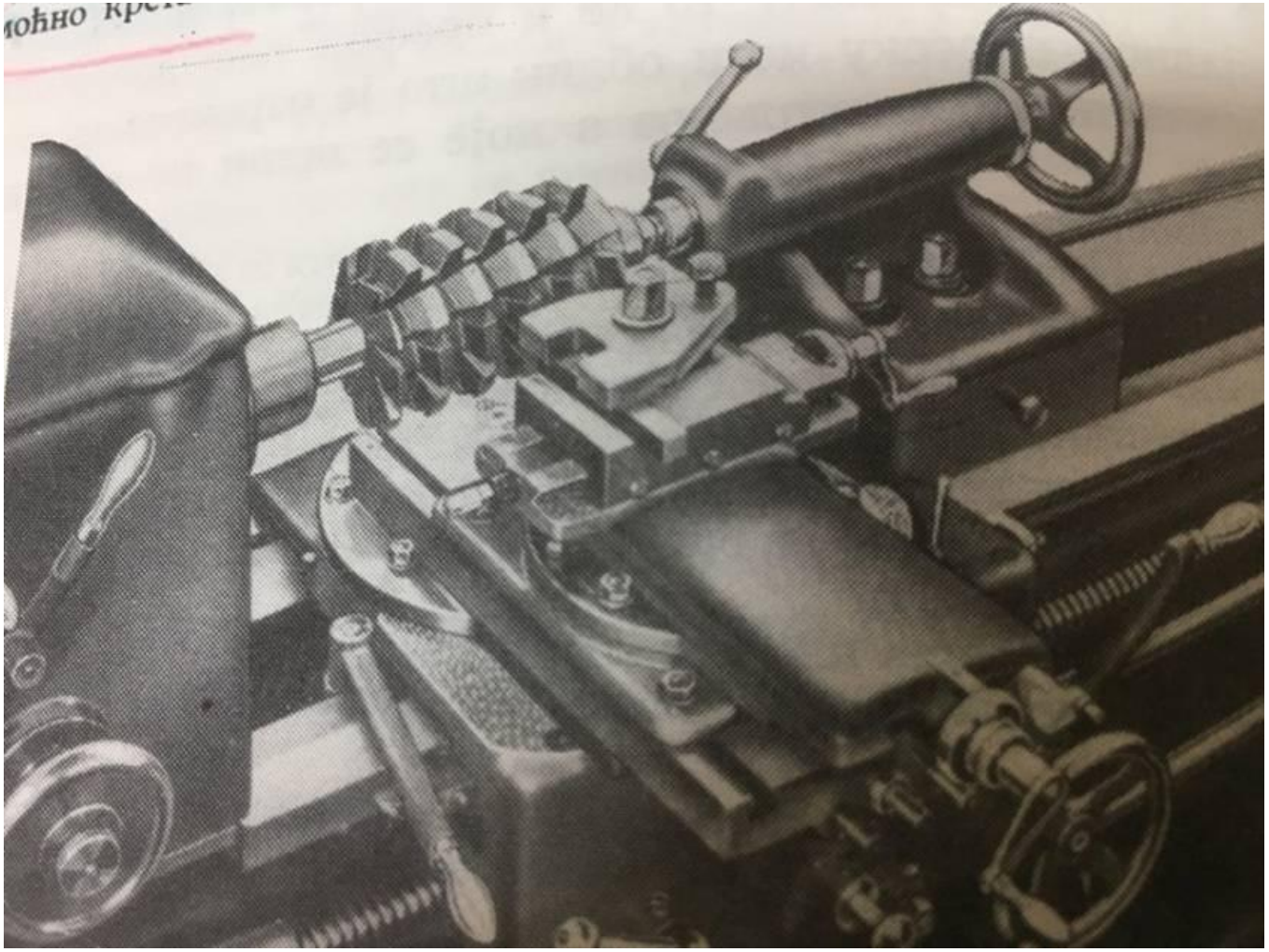
$$n_v = n \cdot k_{m(s)}, za\ n = 1\ obrtaj\ glavnog\ vretena$$

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_z = h_v \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ;[mm/o];$$



4.1.1 Kinematska struktura strugova

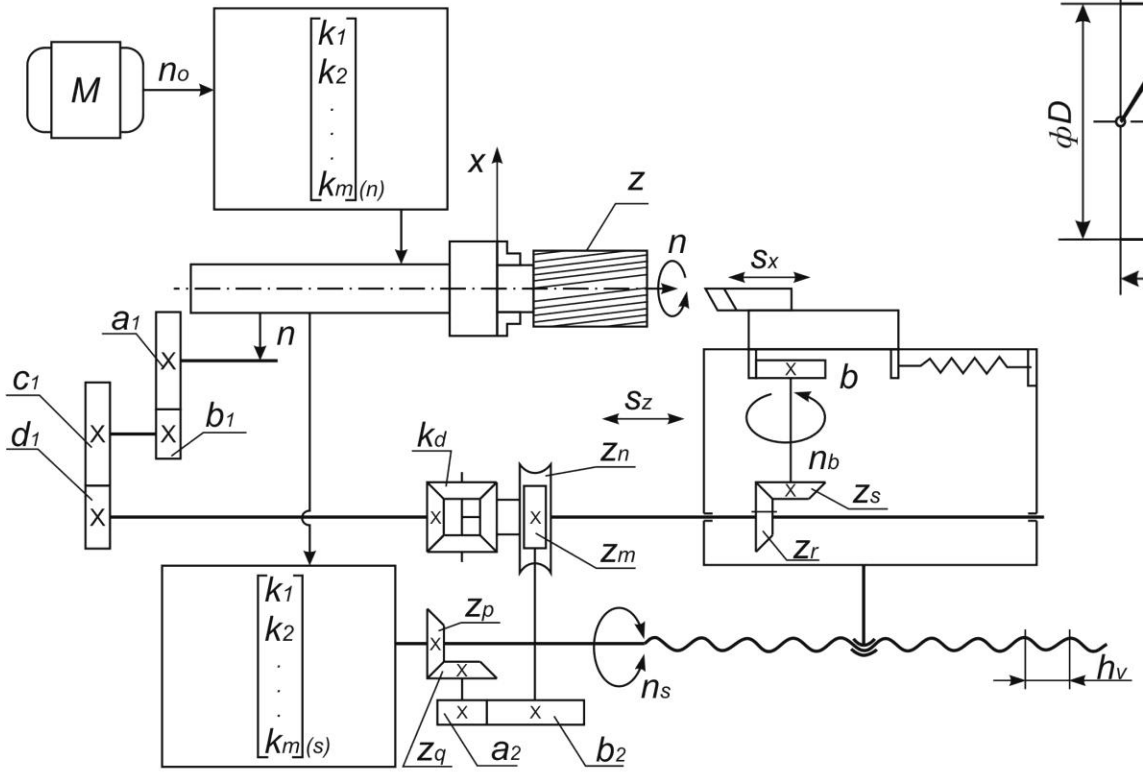
5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

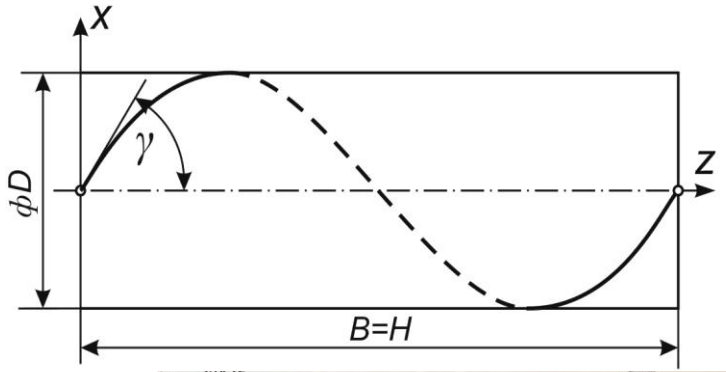


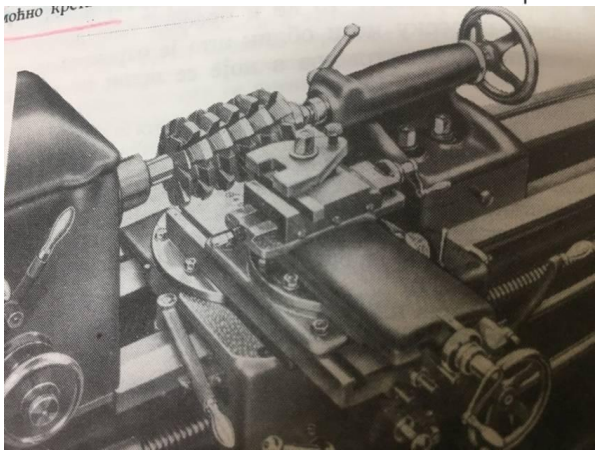
4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

Pri izradi glodala sa zavojnim zubima, pored glavnog obrtnog kretanja, aksijalnog pomaka i ravnomernog obrtanja bregaste ploče, potrebno je još jedno dopunsko kretanje radi obezbeđenja uslova da zupci budu zavojnog oblika sa uglom nagiba zavojnice “γ”.







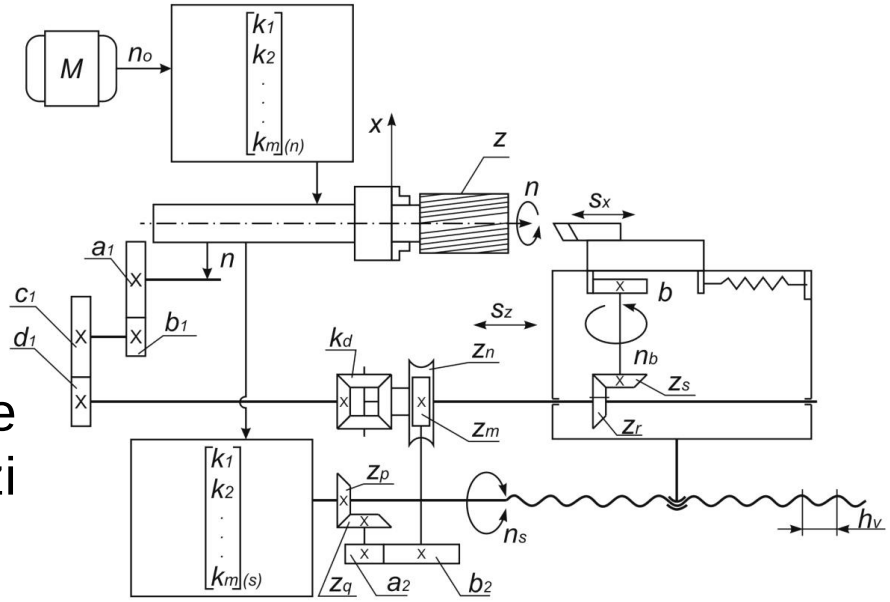
4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

Potrebna kretanja su u ovom slučaju:

a) ***glavno kretanje*** – obrtanje obradka brojem obrtaja "n", radi ostvarenja brzine rezanja "v".

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}; \left[o/\min \right]$$



b) ***uzdužni pomak "s_z",*** koje je sinhronizovano, tj. u kinematskoj vezi sa glavnim kretanjem.

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_z = h_v \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ; \left[mm/o \right];$$

4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

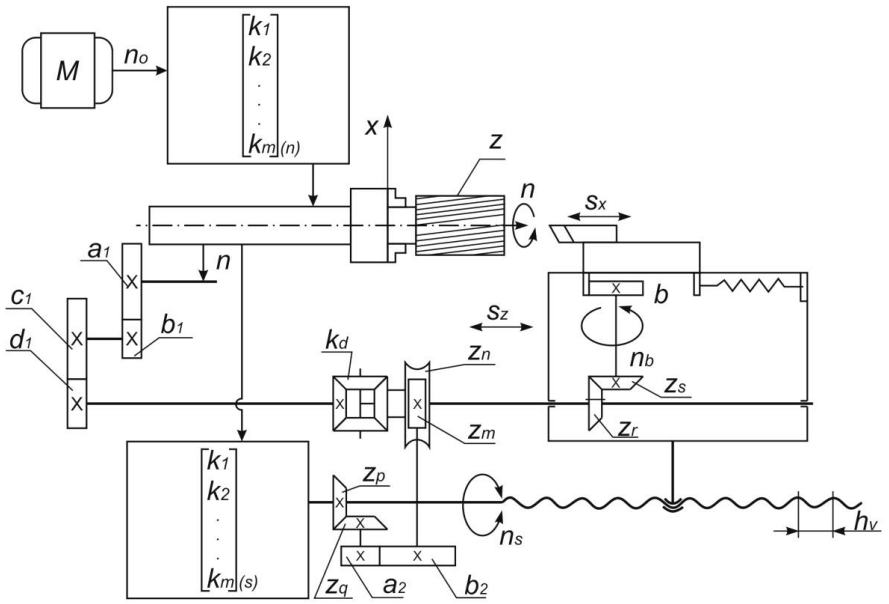
c) ***pomoćno kretanje – obrtanje bregaste ploče "n_b",*** koje obezbeđuje radijalno primicanje i odmicanje alata.

$$n_b = n \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot k_d \cdot \frac{z_s}{z_r}$$

$$n = 1;\ n_b = z$$

$$z = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot k_d \cdot \frac{z_s}{z_r}$$

$$k = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{Z}{k_d} \bullet \frac{z_r}{z_s}$$



4.1.1 Kinematska struktura strugova

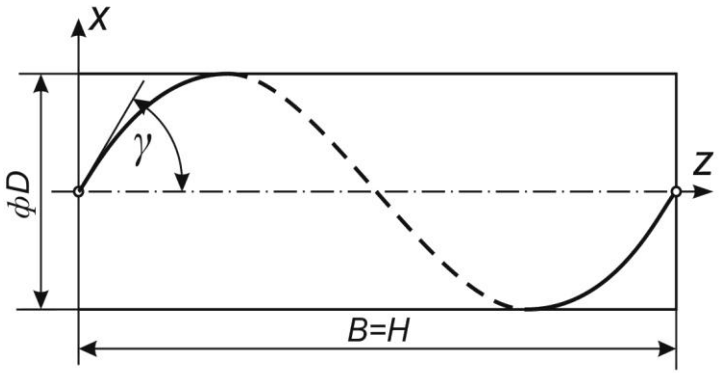
5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

d) ***pomoćno kretanje – dopunsko obrtanje bregaste ploče - "Δn_b".***

Razlika položaja zuba paralelnih sa osom obradka, tj. osom mašine, i onih poređanih po zavojnici, tj. pod uglom na osu obradka, zavisi od položaja razmatranog preseka duž uzdužne Z-ose.

Zato mora postojati sinhronizacija razmatranog kretanja – dopunskog obrtanja bregaste ploče sa pogonom uzdužnog kretanja, tj. obrtanjem zavojnog vretena *"n_v"*, koraka *"h_v"*.

Prema tome, pri izradi zavojnih zubaca potrebno je bregastoj ploči saopštiti jedno dodatno obrtno kretanje (± Δn_b) u zavisnosti od ugla nagiba zavojnice (γ), aksijalnog pomaka i smera zavojnice.



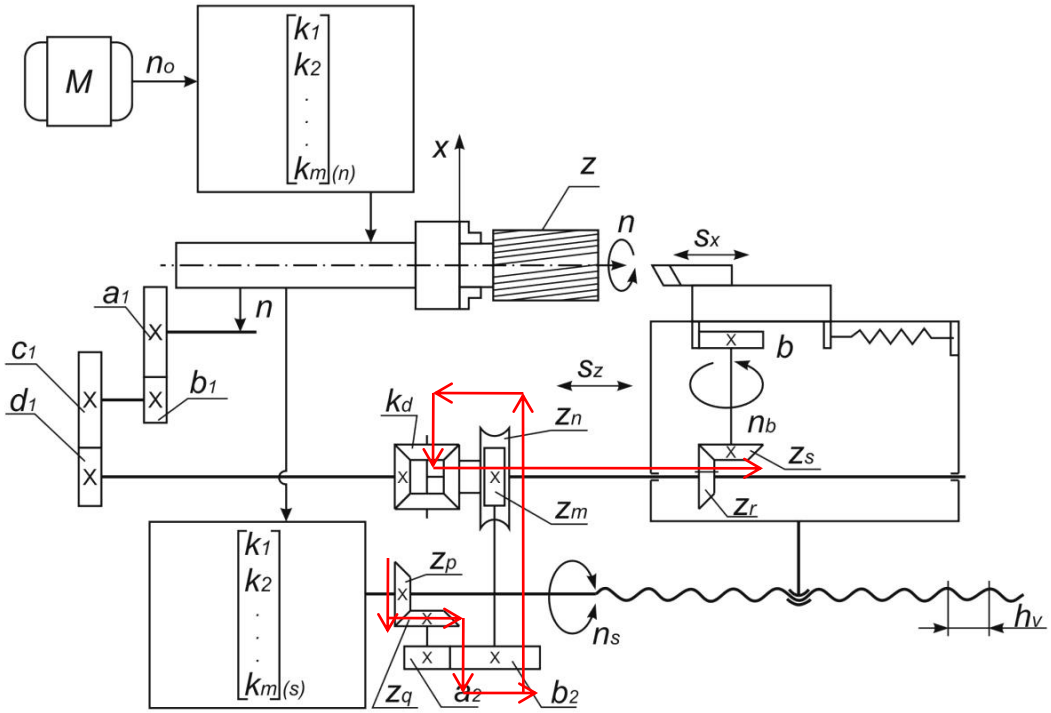
5.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

d) ***pomoćno kretanje – dopunsko obrtanje bregaste ploče - "Δn_b".***

Kao pogonsko vratilo, za ovo dopunsko kretanje, služi zavojno vreteno struga čiji je broj obrtaja "$n_s=n_v$". Kinematski lanac za dopunsko obrtanje bregaste ploče je:

$$\Delta n_b = n_v \cdot \frac{z_p}{z_q} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{z_m}{z_n} \cdot k_d^{'} \cdot \frac{z_r}{z_s}$$



4.1.1 Kinematska struktura strugova

5. Strug za leđno struganje alata (glodala) sa zavojnim zubima

d) ***pomoćno kretanje – dopunsko obrtanje bregaste ploče - "Δn_b".***

$\Delta n_b = Z$, za putanju alata *(L)*, koja je jednaka koraku zavojnice zuba *(H)*, tj. za $L = H$.

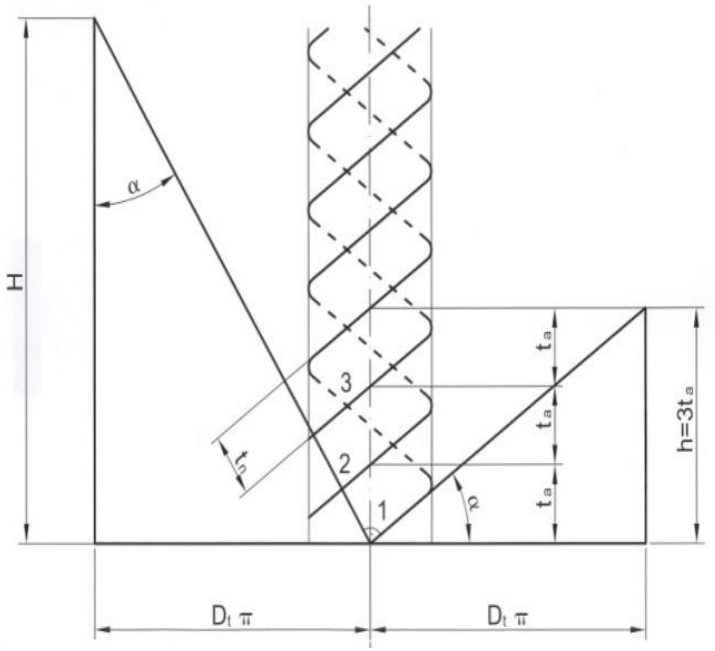
Korak zavojnice zuba - ″H″ se određuje na osnovu geometrije obradka.

$$h = i \cdot t_a = D_t \cdot \pi \cdot tg\alpha$$

$$t_a = m \cdot \pi = \frac{m_n}{\cos\alpha} \cdot \pi$$

$$D_t = \frac{i \cdot m_n}{\sin\alpha}$$

$$H = \frac{D_t \cdot \pi}{tg\alpha} = \frac{i \cdot m_n}{\sin\alpha} \cdot \frac{\pi}{tg\alpha}$$



$L = H = n_v * h_v \rightarrow n_v = H/h_v$

$\Delta n_b = Z$

$$Z = \frac{H}{h_v} \cdot \frac{z_p}{z_q} \cdot \frac{b_2}{a_2} \cdot \frac{z_n}{z_m} \cdot k_d' \cdot \frac{z_s}{z_r}$$

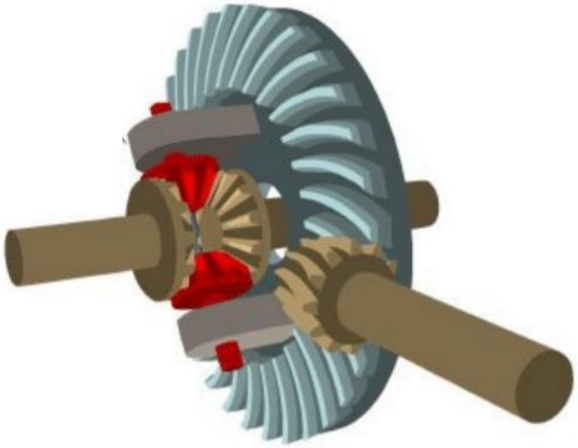
4.1.1 Kinematska struktura strugova

Diferencijal

Jedan od segmenata prenosne strukture mašina alatki je **DIFERENCIJAL**.

On spada u grupu elementarnih prenosnika, no specifičan je iz razloga što ima dva prenosna faktora.

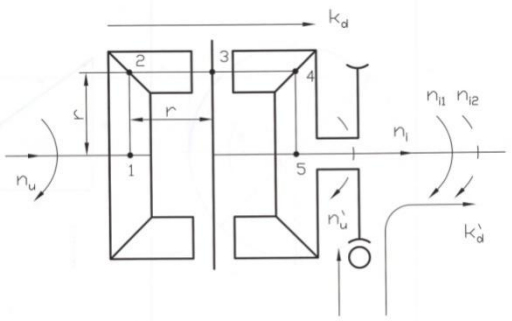
Šta je uloga diferencijala kod prensone strukture mašina alatki?

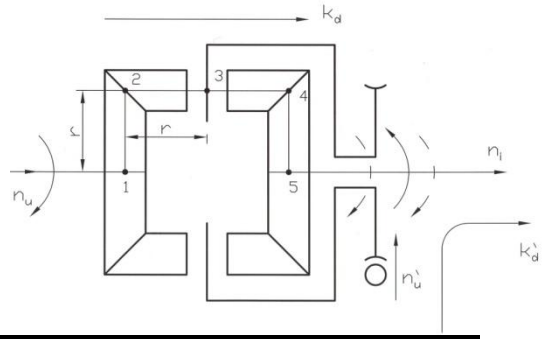


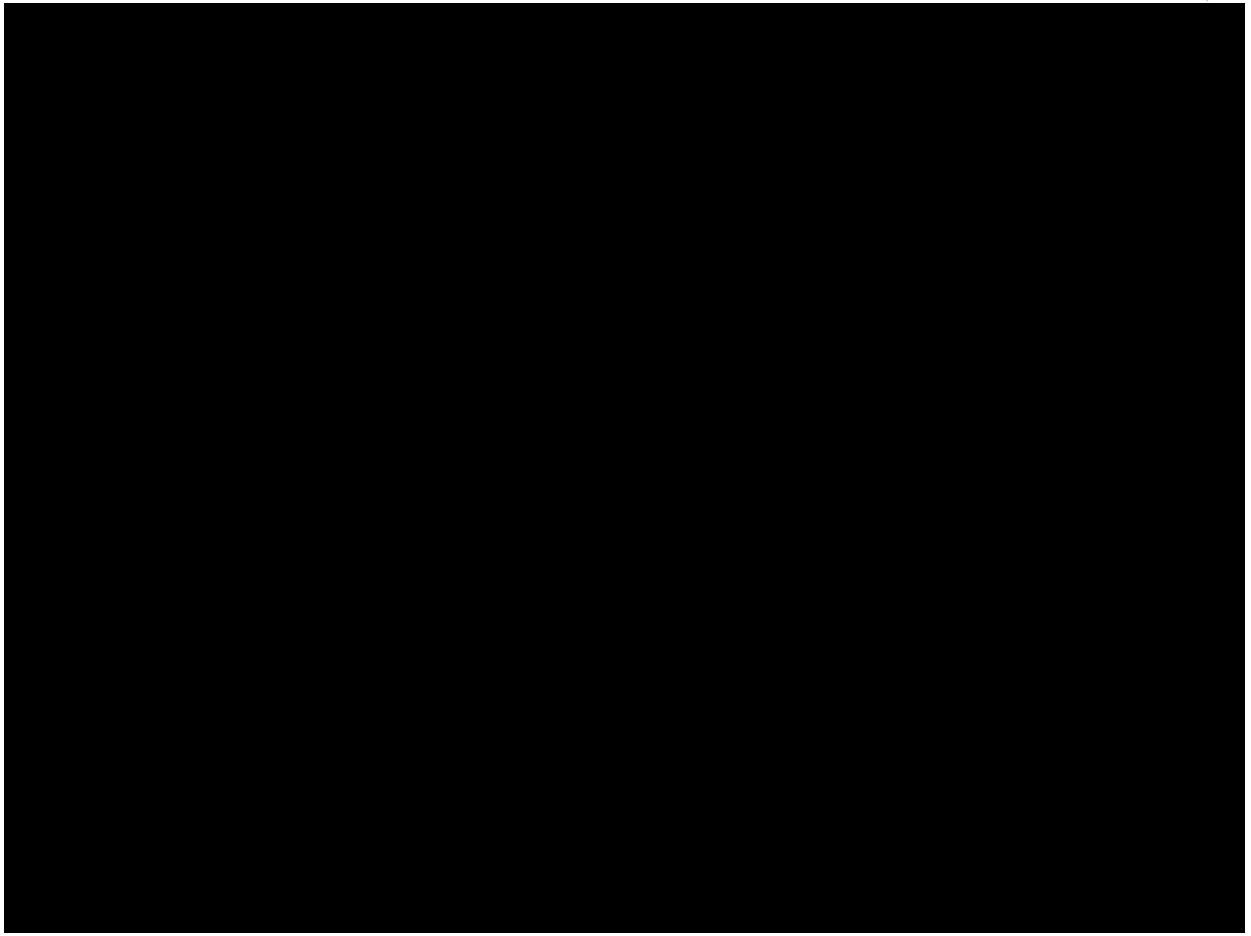


4.1.1 Kinematska struktura strugova

Diferencijal



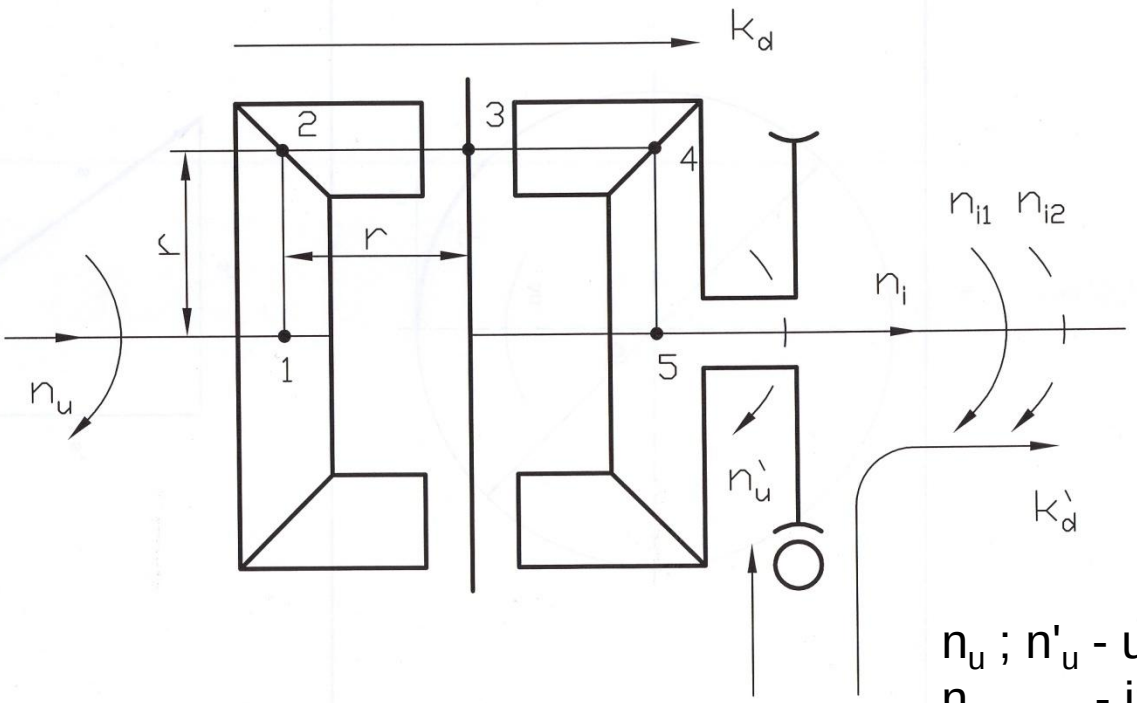




4.1.1 Kinematska struktura strugova

Diferencijal - ***I tip diferencijala***

a) Kod ovog tipa diferencijala ulazni broj obrtaja može biti preko levog koničnog zupčanika (n_u), pri čemu se na izlazu javlja broj obrtaja n_i. Prenosni faktor je u tom slučaju k_d.



n_u ; n'_u - ulazni brojevi obrtaja
n_i - izlazni broj obrtaja
n_{i1} ; n_{i2} - izlazni broj obrtaja za parcijalne slučajeve, tj. za $n'_u=0$ i $n_u=0$

4.1.1 Kinematska struktura strugova

Diferencijal - ***I tip diferencijala***

$$v_1 = v_4 = v_5 = 0$$

Tačka 2

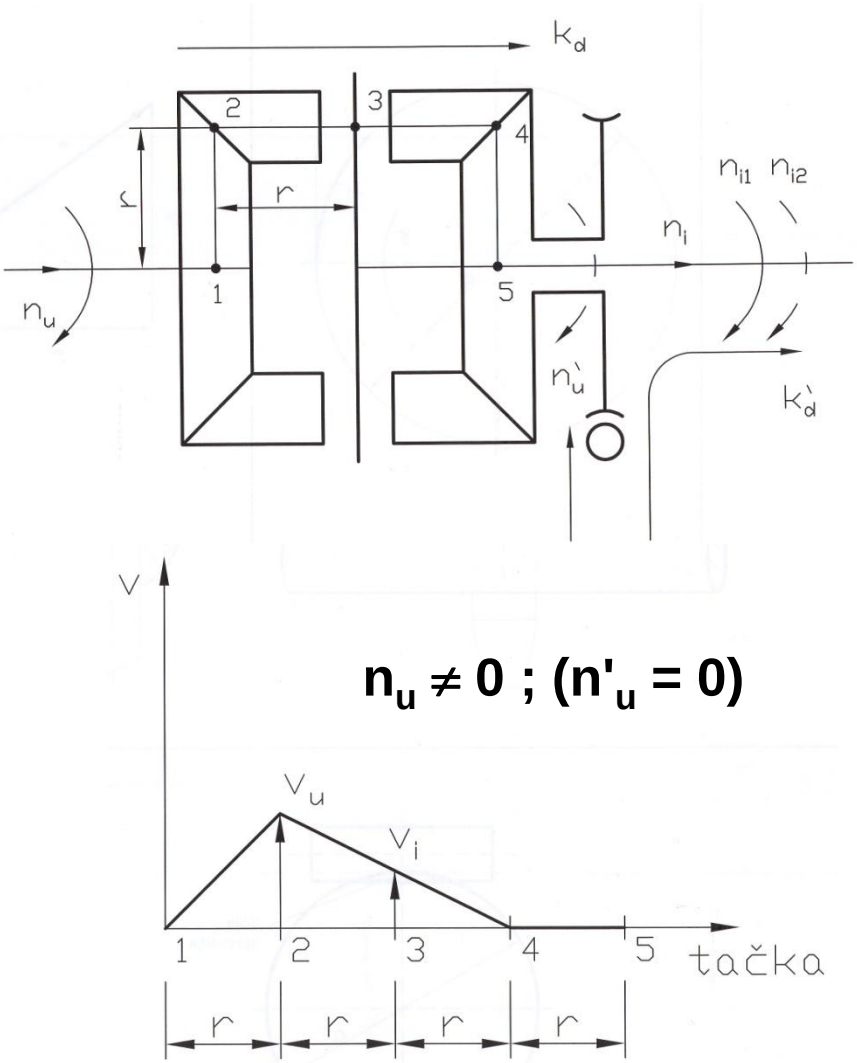
$$v_2 = v_u = r \cdot \omega_u = r \cdot \frac{\pi n_u}{30}$$

Tačka 3

$$v_3 = v_i = r \cdot \omega_{i1} = r \cdot \frac{\pi n_{i1}}{30}$$

$$\frac{v_u}{2r} = \frac{v_i}{r} \Rightarrow \frac{v_i}{v_u} = \frac{1}{2} = \frac{r\frac{\pi n_{i1}}{30}}{r\frac{\pi n_u}{30}} = \frac{n_{i1}}{n_u}$$

$$\boxed{\frac{n_{i1}}{n_u} = \frac{1}{2} = k_d \qquad tj. \qquad k_d = \frac{1}{2}}$$



$n_u \neq 0$; $(n'_u = 0)$

Dijagram brzina u pet karakterističnih tačaka

4.1.1 Kinematska struktura strugova

*Diferencijal - I **tip diferencijala***

$$v_1 = v_2 = v_5 = 0$$

Tačka 4

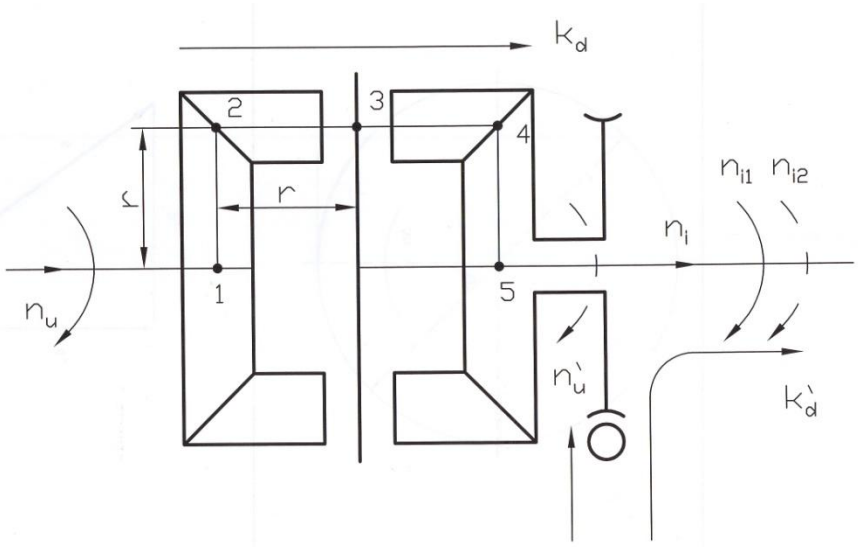
$$v_4 = v_u^{'} = r \cdot \omega'_u = r \cdot \frac{\pi \quad n'_u}{30}$$

Tačka 3

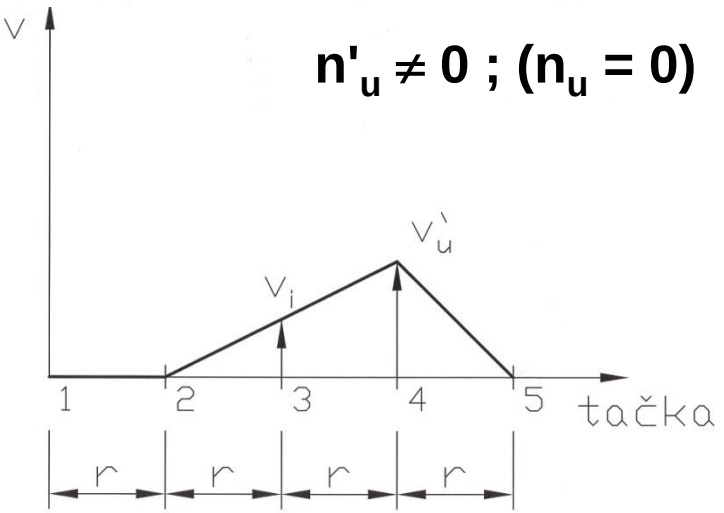
$$v_3 = v_i = r \quad \cdot \quad \omega_{i2} = r \quad \cdot \quad \frac{\pi \quad n_{i2}}{30}$$

$$\frac{v_i}{r} = \frac{v_u^{`}}{2r} \Rightarrow \frac{v_i}{v_u^{`}} = \frac{1}{2} = \frac{n_{i2}}{n_u^{`}}$$

$$\boxed{\frac{n_{i2}}{n_u} = \frac{1}{2} = k_d^{'} \qquad tj. \qquad k_d^{'} = \frac{1}{2}}$$



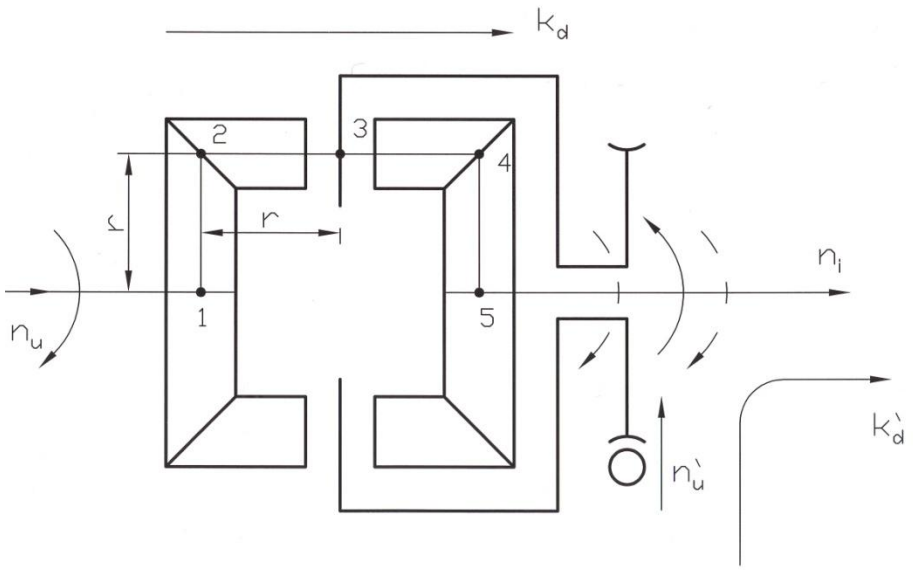
$n'_u \neq 0$; ($n_u = 0$)



Dijagram brzina u pet karakterističnih tačaka

4.1.1 Kinematska struktura strugova

Diferencijal - ***II tip diferencijala***



$$v_1 = v_3 = v_5 = 0$$

Tačka 2

$$v_2 = v_u = r \cdot \omega_u = r \cdot \frac{\pi n_u}{30}$$

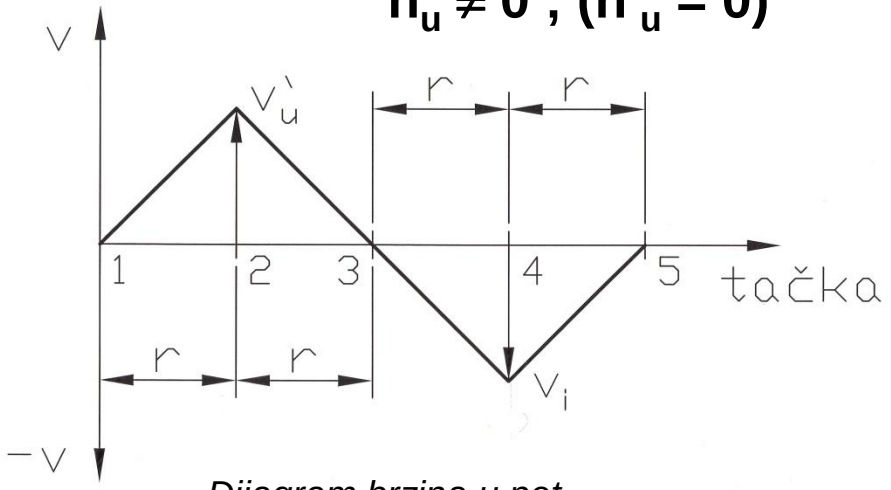
Tačka 4

$$v_4 = v_i = r \cdot \omega_{i1} = r \cdot \frac{\pi n_{i1}}{30};$$

$$v_u = -v_i \Rightarrow n_4 = -n_{i1}$$

$$\frac{n_{i1}}{n_u} = -1 = k_d \qquad tj. \qquad k_d = -1$$

$n_u \neq 0$; ($n'_u = 0$)



Dijagram brzina u pet karakterističnih tačaka

4.1.1 Kinematska struktura strugova

*Diferencijal - **II tip diferencijala***

$$v_1 = v_2 = v_5 = 0$$

Tačka 3

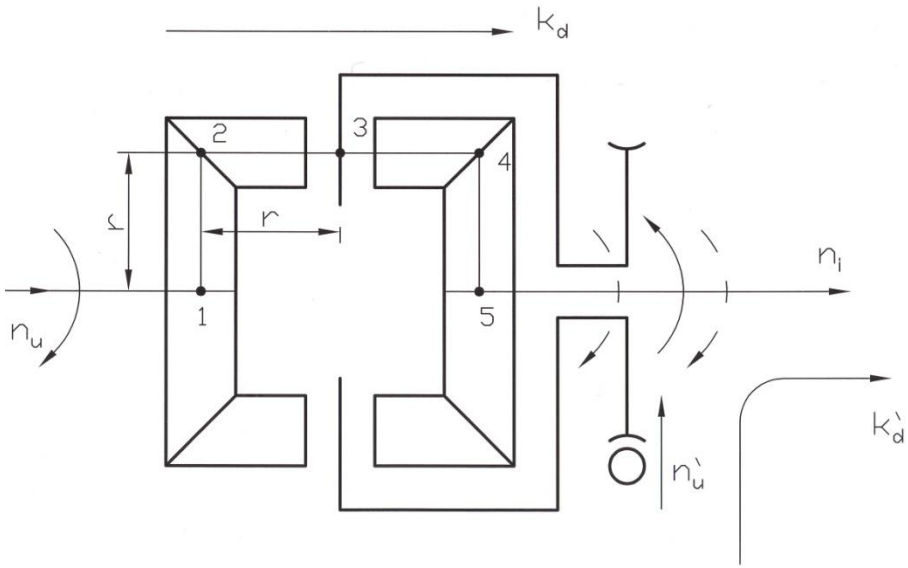
$$v_3 = v_u' = r \cdot \omega_u' = r \cdot \frac{\pi n_u'}{30}$$

Tačka 4

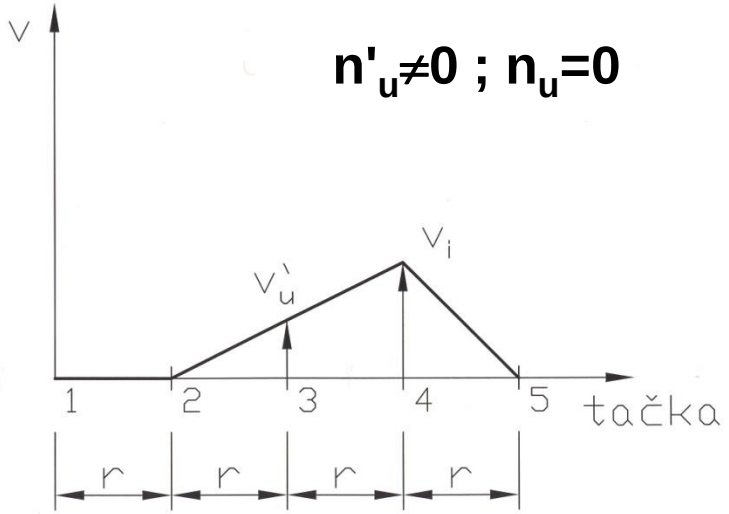
$$v_4 = v_i = r \cdot \omega_{i2} = r \cdot \frac{\pi \; n_{i2}}{30}$$

$$\frac{v_i}{v'_u} = 2 \quad \Rightarrow \quad \frac{n_{i2}}{n_u} = 2$$

$$\frac{n_{i2}}{n_u} = 2 = k'_d \qquad tj. \qquad k'_d = 2$$



$n'_u \neq 0$; $n_u = 0$



Dijagram brzina u pet karakterističnih tačaka

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug

Automatizacija maloserijske i serijske proizvodnje se uspešno izvodi primenom numerički upravljanih mašina za obradu rezanjem.

Njihova primena dovodi do povećanja proizvodnosti, povećanja tačnosti obrade, povećanja vremenskog stepena iskorišćenja mašine.

CNC mašine moraju da ispune:

1. Veći stepen iskorišćenja - *ostvaruje se automatizacijom radnog ciklusa i skraćenjem pomoćnih vremena. Intenzivniji rad i učestalija kretanja radnih organa postavljaju više zahteve u pogledu pouzdanosti, trajnosti i dimenzionisanja pogona i prenosnih elemenata.*
2. Viša tačnost – *zahteva odgovarajuću statičku i dinamičku krutost noseće strukture, dobro prigušenje vibracija, preciznost vođenja i pozicioniranja, kao i smanjenje uticaja toplotnih deformacija i habanja na tačnost mašine.*

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug

3. Upravljanje svim funkcijama mašine ostvaruje se preko CNC upravljačke jedinice - *Glavno i pomoćna kretanja najčešće se ostvaruju zasebnim pogonima, kojima se pojedinačno upravlja, dok se njihovo međusobno usklađivanje ostvaruje elektronski, preko upravljačkog sistema.*

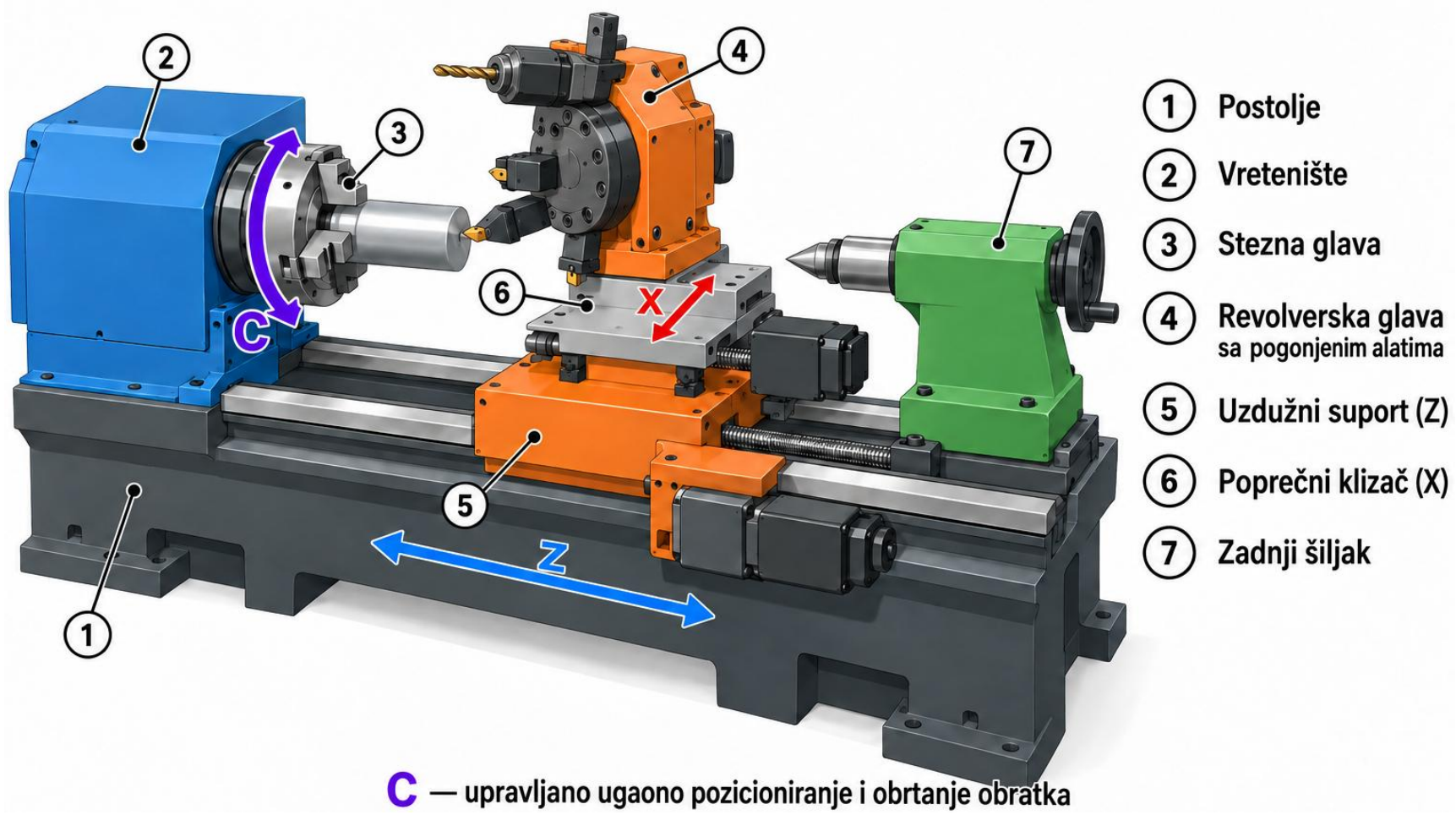
4. Automatizovana izmena alata – *izbor, pozicioniranje i izmena alata ostvaruju se automatski, prema komandama iz programa. U zavisnosti od konstrukcije mašine, koriste se revolverske glave ili sistemi sa magacinom i automatskim izmenjivačem alata.*

5. Integrisani merni sistemi – *merni sistemi predstavljaju sastavni deo upravljačkog sistema mašine i najčešće obezbeđuju povratne informacije o položaju i brzini kretanja radnih organa, omogućavajući rad pogona u zatvorenim regulacionim petljama.*

6. Visoki zahtevi za sklopove vretena – *glavna i pomoćna vretena projektuju se prema zahtevima tačnosti obrtanja, krutosti, broja obrtaja i opterećenja. Posebna pažnja posvećuje se izboru i rasporedu ležajeva, prednaprezanju, podmazivanju i hlađenju, radi smanjenja vibracija i uticaja toplotnih deformacija na tačnost obrade.*

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug –upravljanim osama X, Z i C



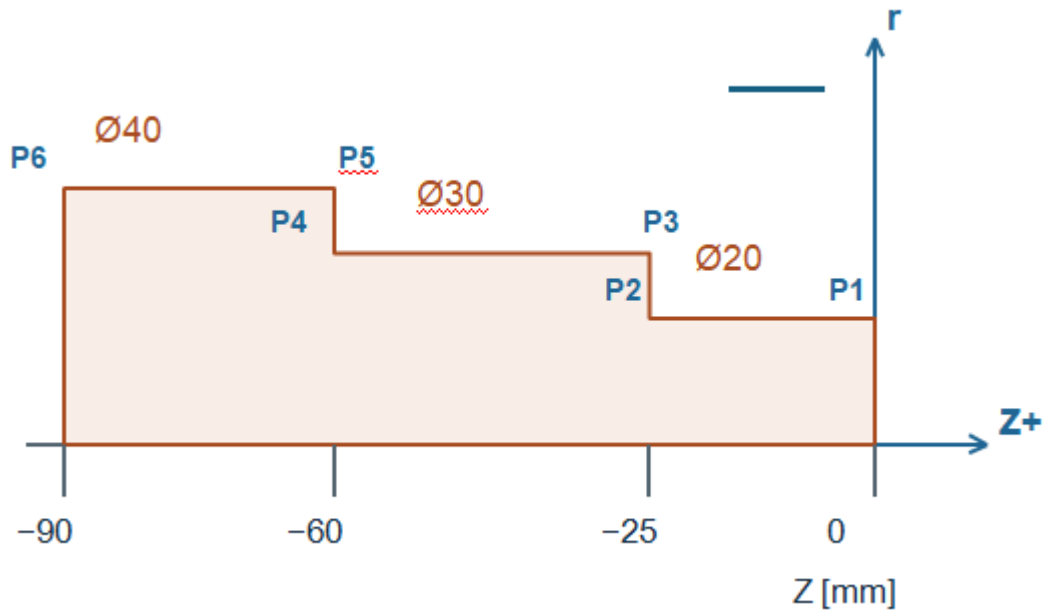
Šematski prikaz jednostavnog CNC struga sa dve translatorne ose

4.1.1 Kinematska struktura strugova

***CNC Strug* – *sa* upravljanim osama X, Z i C**

Uzdužno i poprečno struganje (X i Z osa)

Operacija	Aktivni pomak	Primer
Cilindrična površina	Z	X = konst.
Čeona površina	X	Z = konst.
Konus / kontura	X i Z	Koordinisano (istovremeno) kretanje



4.1.1 Kinematska struktura strugova

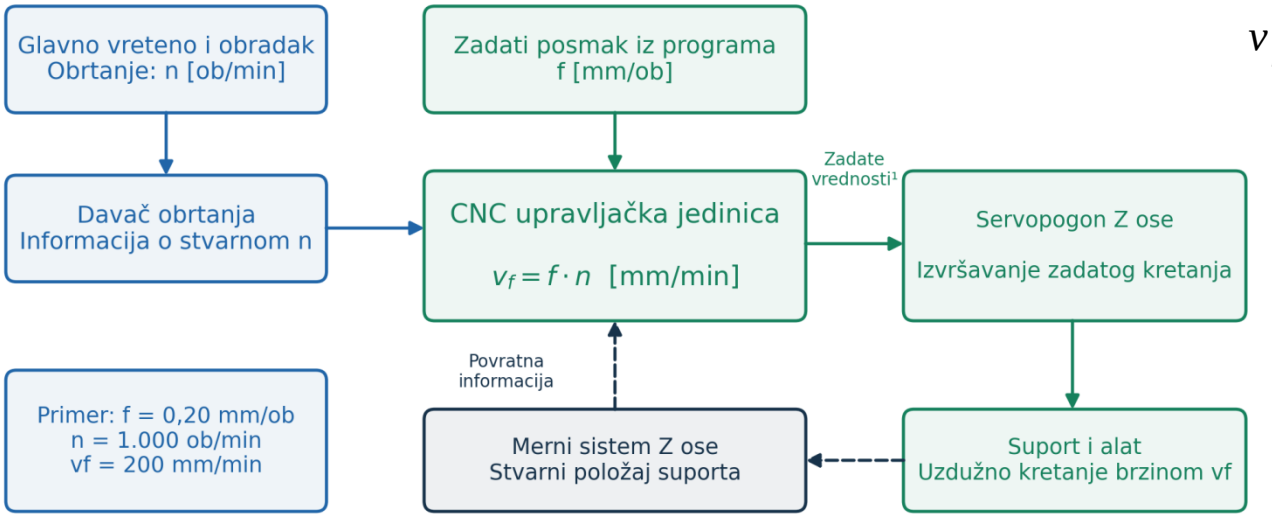
***CNC Strug – sa* upravljanim osama X, Z i C**

Uzdužno i poprečno struganje (X i Z osa)

Kod struga sa ručnim upravljanjem veza između glavnog i pomoćnog kretanja se ostvaruje *mehaničkim prenosnim lancem od glavnog vretena do suporta*.

Kod CNC struga *pogoni su zasebni*, a veza se ostvaruje preko ***upravljanja i informacije o obrtanju vretena.***

Uzdužna obrada



$$v_f = f \cdot n(t) \Leftrightarrow \frac{v_f(t)}{n(t)} = f = const.$$

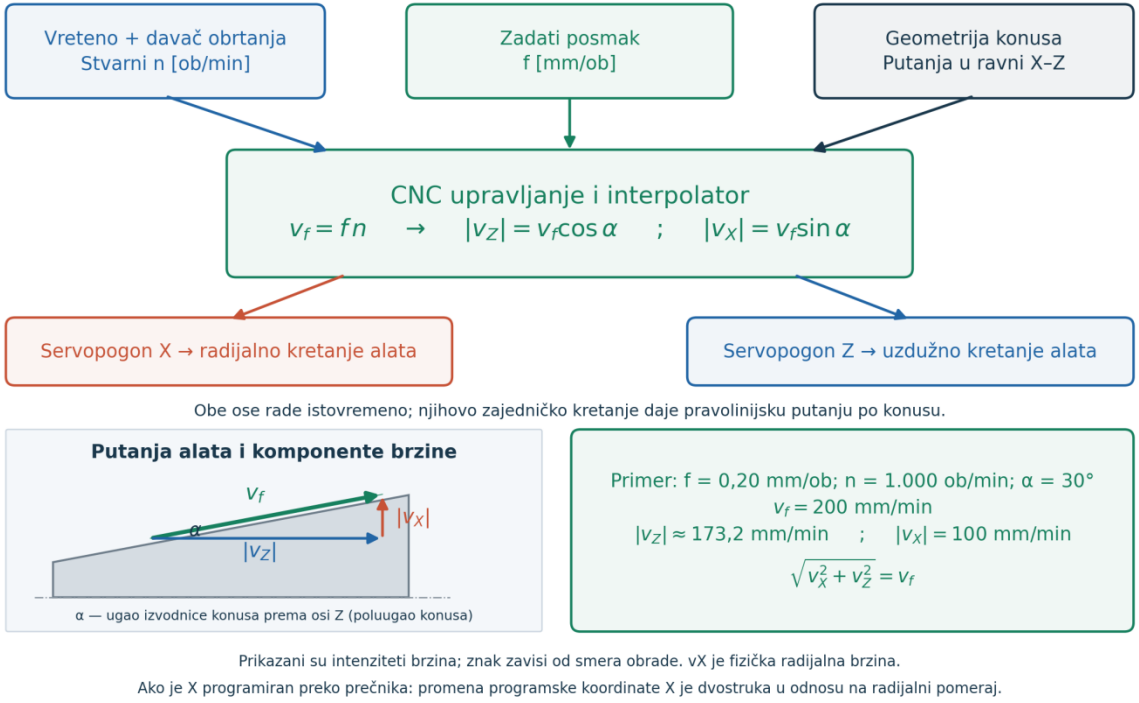
Jedan obrt obratka – uzdužno pomeranja alata za zadati pomak

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug – *sa* upravljanim osama X, Z i C

Uzdužno i poprečno struganje (X i Z osa) - konus

Kod izrade konusa **posmak (f) odnosi se na pomeranje duž kose putanje alata**. CNC upravljanje izračunava (v_f=*f*n*), a interpolator određuje komponente brzine za istovremeno kretanje osa X i Z.



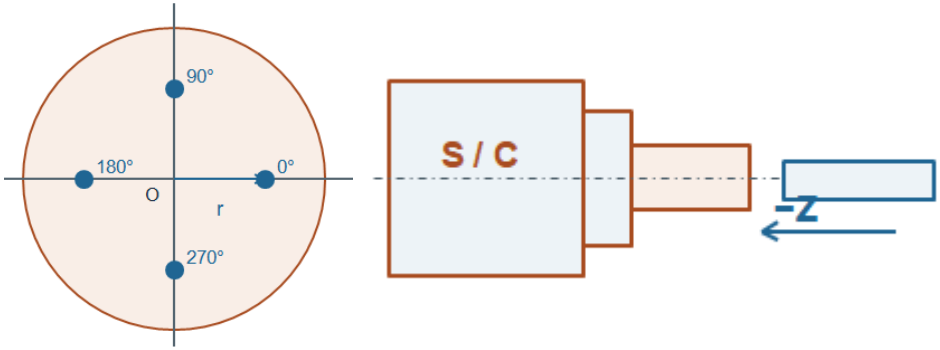
Ne ostvaruje svaka osa zasebno brzinu (f*n) — tu brzinu daje njihovo rezultujuće kretanje:

$$v_f = \sqrt{v_x^2 + v_z^2} = f \cdot n$$

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug – sa upravljanim osama X, Z i C

Glavno vreteno i C-osa – aksijalni i radijalni gonjeni alat

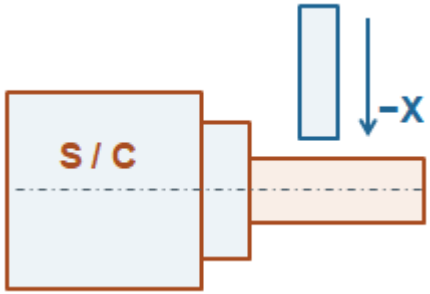


Operacija: Bušenje čeonih otvora

Z osa – Bušenje na odgovrajuću dubinu

X osa – Zauzimanje odogovarajuće pozicije

C – osa – Indeksiranje otvora (Obrtanje vretna za određeni ugao)



Operacija: Bušenje radijalnih otvora

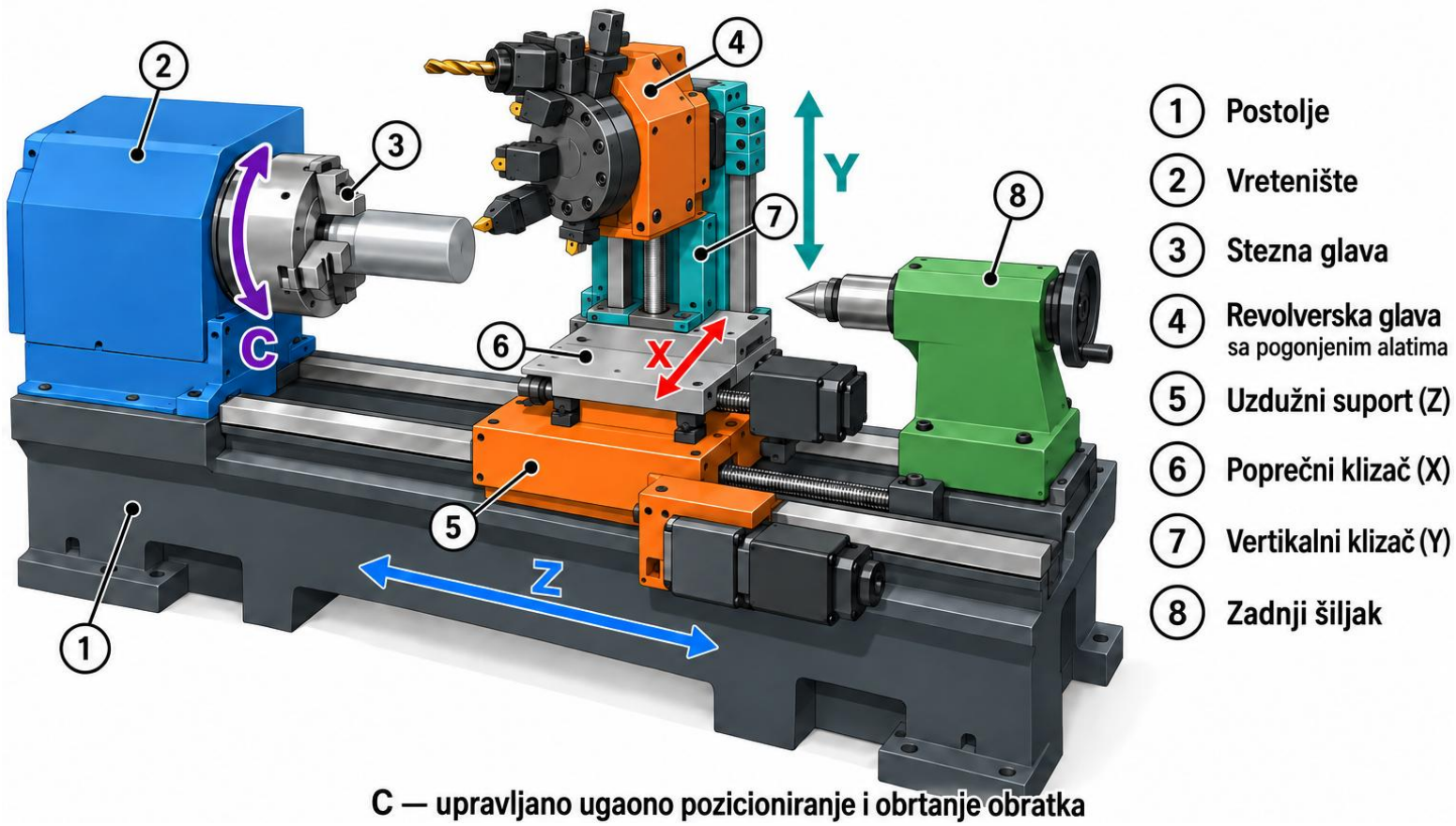
Z osa –Zauzimanje odogovarajuće pozicije

X osa – Bušenje na odgovrajuću dubinu

C – osa – Indeksiranje otvora (Obrtanje vretna za određeni ugao)

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug **–upravljanim osama X, Z, Y i C**

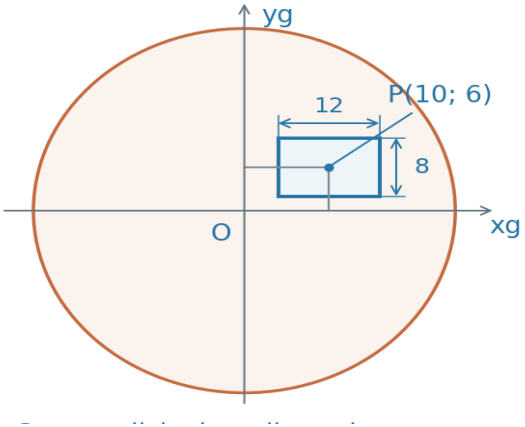


Šematski prikaz jednostavnog CNC struga sa rve translatorne ose

4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug –upravljanim osama X, Z, Y i C

Y i C-osa – aksijalni i radijalni gonjeni alat





Operacija: Glodanje čeonog džepa

X i Y ose: - pozicioniranje alata i interpolirano kretanje za obradu džepa

Z osa: primicanje alata i obrada na potrebnu dubinu džepa

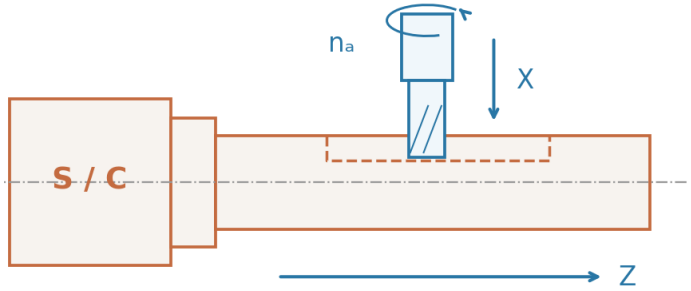
C osa: ugaono pozicioniranje obratka i zadržavanje položaja tokom obrade.

Gonjeni alat: obrtanje glodala predstavlja glavno kretanje.

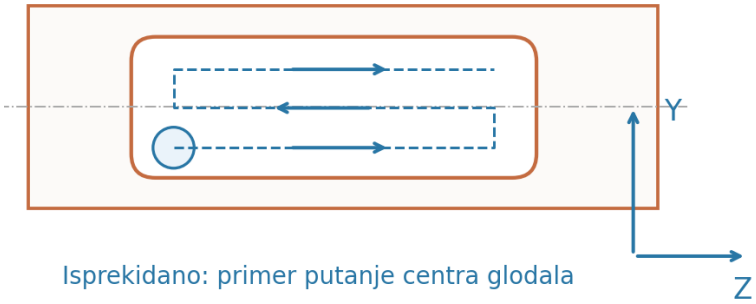
4.1.1 Kinematska struktura strugova

CNC Strug –upravljanim osama X, Z, Y i C

Y i C-osa – aksijalni i radijalni gonjeni alat



Obradak miruje; glodalo se obrće.



Isprekidano: primer putanje centra glodala

Operacija: Glodanje radijalnog džepa

X osa: - primicanje alata i obrada na potrebnu dubinu.

Y i Z ose: istovremeno kretanje za obradu džepa u ravni Y–Z.

C osa: ugaono pozicioniranje obratka i zadržavanje položaja tokom obrade.

Gonjeni alat: obrtanje glodala predstavlja glavno kretanje.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

4.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.1 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju rotacionih površina

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

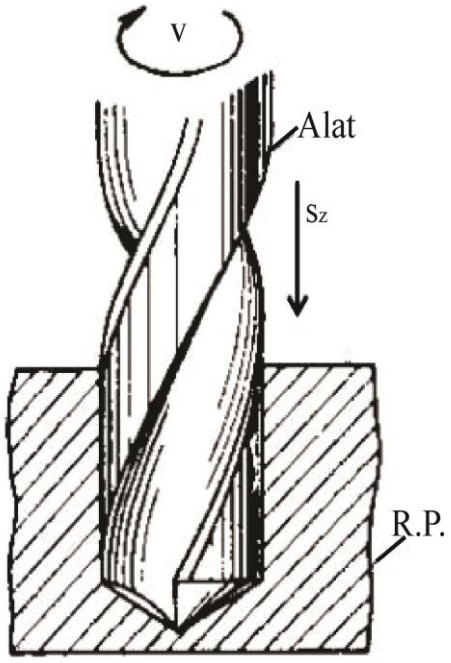
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem

Operacije na bušilicama imaju za cilj izradu i obradu rupa/otvora u radnom predmetu.

Ovaj proces podrazumeva dovođenje alata koji vrši **glavno obrtno** i **pomoćno pravolinijsko kretanje (s_z)**, duž ose obrtanja glavnog vretena, ka stacionarnom radnom predmetu.

Bušenje se smatra oprecijom grube obrade i prema tome uopšteno posmatrano, nema veliku tačnost obrade i kvalitet obrađene površine.



Šematski prikaz oprecije bušenja

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem

U zavisnosti od zahtevane tačnosti i kvaliteta obrađene površine na bušilicama se mogu realizovati sledeći tehnološki zahvati obrade:

- bušenje
- proširivanje,
- upuštanje,
- razvrtanje,
- zabušivanje
- urezivanje navoja itd.

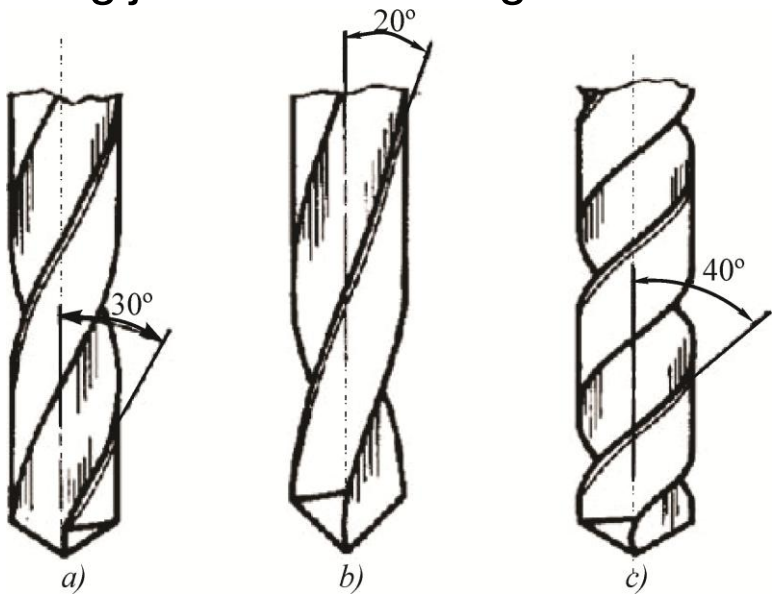
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem – ***zahvat bušenja***

Bušenje otvora i rupa se izvodi u punom materijalu jednim alatom ili, kod rupa većih prečnika, stepenasto u nekoliko faza, burgijama različitog prečnika.

Prema obliku burgije se dele na ravne i spiralne (sa cilindričnom i koničnom drškom), prema vrsti materijala na burgije od brzoreznog čelika i sa pločicama ot tvrdog metala.

Najčešće korišćeni alat za bušenje je spiralna burgija, koja se odlikuje zavojnim žljebovima (dva žljeba) za izbacivanje strugotine i za dovod sredstva za hlađenje.



Spiralna burgija različitih ugla nagiba zavojnice: a)30°; b)20°; c)40°

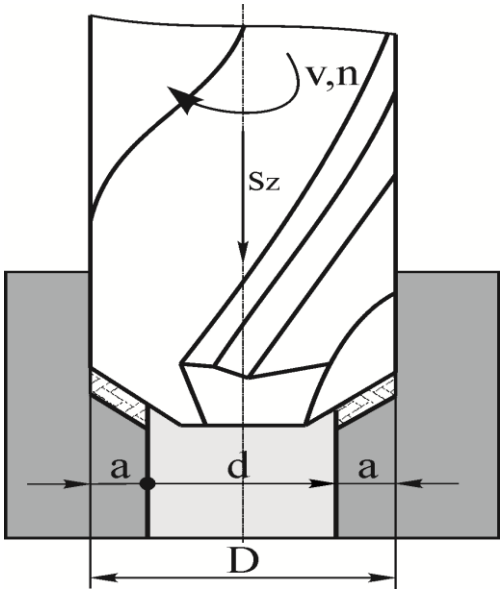
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem – ***zahvat proširivanja***

Proširivanje je zahvat koji se izvodi za dalju obradu već prethodno izbušenih ili izlivenih rupa

Ovim zahvatom se postiže veća dimenzionalnost, tačnost oblika i mera, kao i bolji kvalitet obrađene površine.

Zahvat proširivanja se obično izvodi između bušenje i razvrtanja.



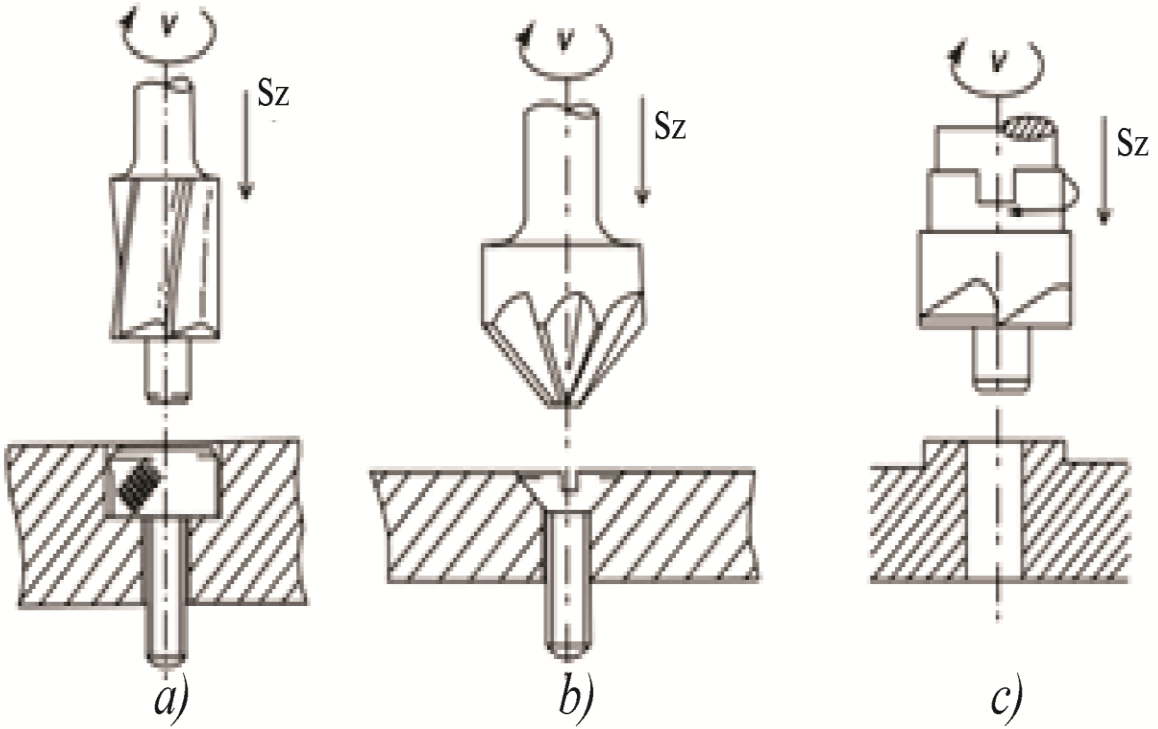
Zahvat proširivanja

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem – ***zahvat upuštanja***

Upuštanje je postupak (zahvat) obrade ulaza ili izlaza rupe/otvora.

Upuštači su rezni alati koji se upotrebljavaju za proširivanje ulaza ili izlaza rupe/otovra, te za postizanje tačnijeg oblika postojećih rupa/otvora.



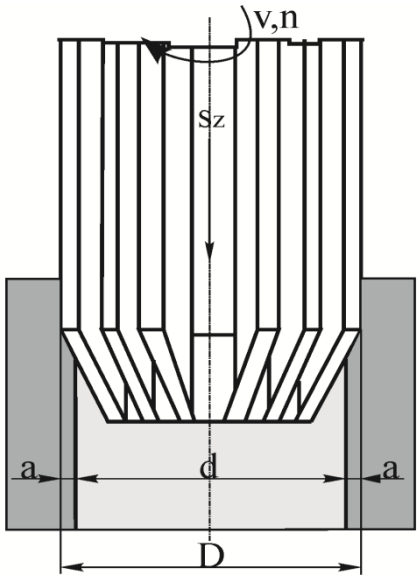
Zahvati upuštanja

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem – ***zahvat razvrtanja***

Razvrtanje je zahvat obrade obično nakon proširivanja, ali se može koristiti i nakon bušenja.

Ovaj zahavt predstavlja postupak završne obrade otvora/rupe tačnosti dimenzija od 40 do 400 [μm] u zavisnosti od prečika rupe i kvaliteta obrađene površine.



Zahvati razvrtanja

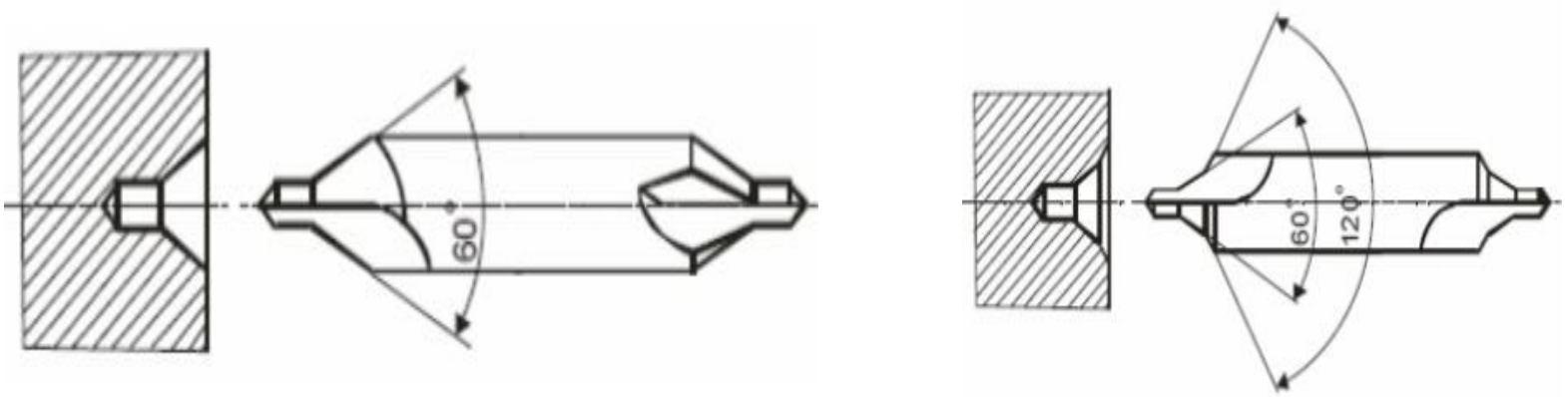
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem – ***zahvat zabušivanja***

Zabušivanje je zahvat obrade pre bušenja koja obezbeđuje centriranje i pravilno vođenje spiralne burgije.

Ova operacija se izvodi sa zabušiavčima sa jednostrukim konusom.

Operacija zabušivanja se koristi i za zabušivanje gnezda za centriranje na vratilima i osovinama, čime se obezbeđuje pravilno centriranje i stezanje osovina i vratila pri obradi struganjem i brušenjem.



Zahvat zabušivanja

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Mašine za obradu bušenjem – ***Izrada zavojnica (navoja)***

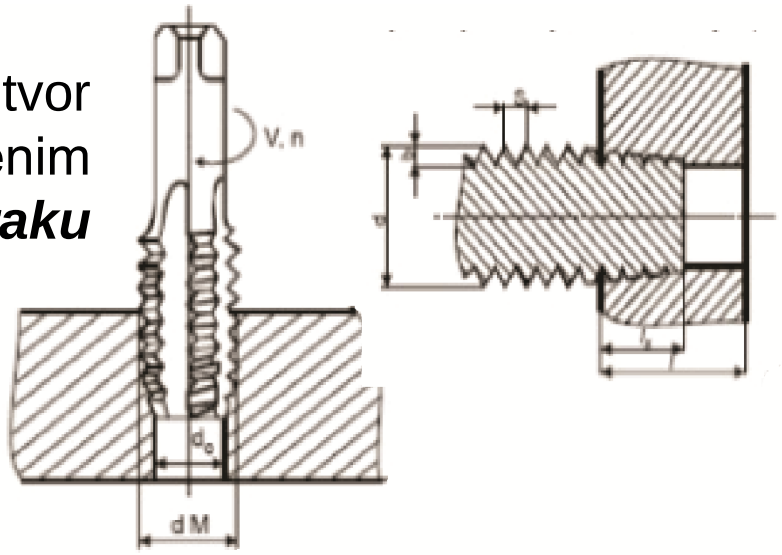
Izrada zavojnica (navoja) je zahvat izrade unutrašnjeg navoja ureznikom koji je u osnovi alat za urezivanje.

Postoje dve mogućnosti za izradu navoja na bušilicama:

a) **urezivanje navoja u otvorima**, *pri čemu se ne zahteva uređaj za promenu pravca i stezna glava za ureznik*;

b) **urezivanje navoja u rupama**, *pri čemu bušilica mora biti opremljena sa uređajem za promenu smera okretanja zajedno sa steznom glavom za ureznik.*

Ureznica ulazi normalno u rupu/otvor određenim brojem obrtaja, i određenim pomakom, ***koji mora odgovarati koraku navoja.***



Zahvat izrade navoja na bušilici

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem

Klasifikaciju bušilica je moguće izvršiti prema više kriterijuma:

A) Prema položaju ose glavnog vretena:

- vertikalne;
- horizontalne;

B) Prema broju glavnih vretena:

- jednovretene;
- viševretene;

- Posebnu grupu čine agregatne bušilice, projektovane od standardnih agregata (modula). One takođe mogu biti jednovretene ili viševrtene, sa horizontalnim, vetikalnim ili kosim položajem glavnog vretena.

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem

Vertikalne bušilice sa jednim vretenom obuhvataju niz tipova mašina:

1) stone;
2) stubne;
3) bušilice sa postoljem;
4) radijalne;
5) univerzalne;
6) koordinatne;

U vertikalne bušilice sa više vretena spadaju:

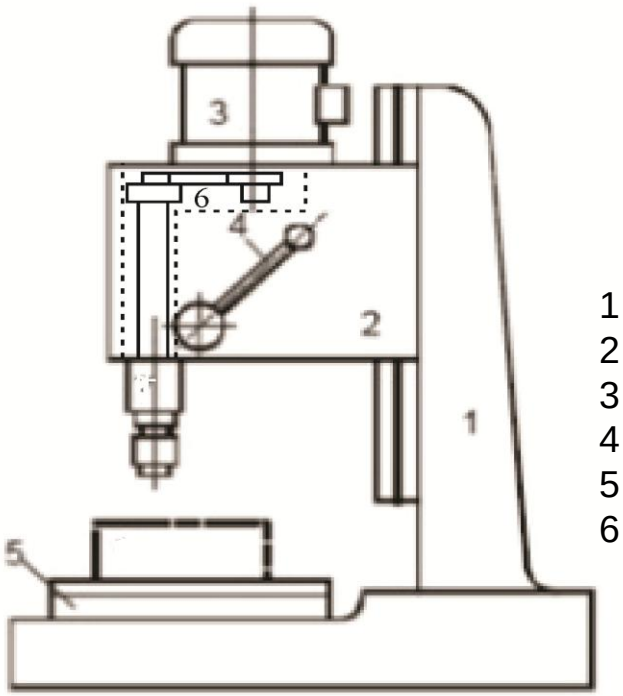
1) redne;
2) bušilice sa viševretenom glavnom;
3) viševretene bušilice;
4) bušilice sa revolverskog glavom (revolverskim nosašem alata);

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem – ***Stone bušilice***

Ove bušilice se koriste za obradu rupa/otvora malih prečnika od 0,25 do 12 [mm].

Jedna od glavni karakteristika ovih bušilica je da imaju ručni pomak a, zbog malih prečnika raspolažu visokim brojevima obrtaja glavnog vretena radi postizanja potrebne brzine rezanja.



Šema stone bušilice

Promena broja obrtaja vrši se pomoću stepenastog kaišnika, zupčastog prenosnika ili prenosnika za kontinualnu promenu broja obrtaja.

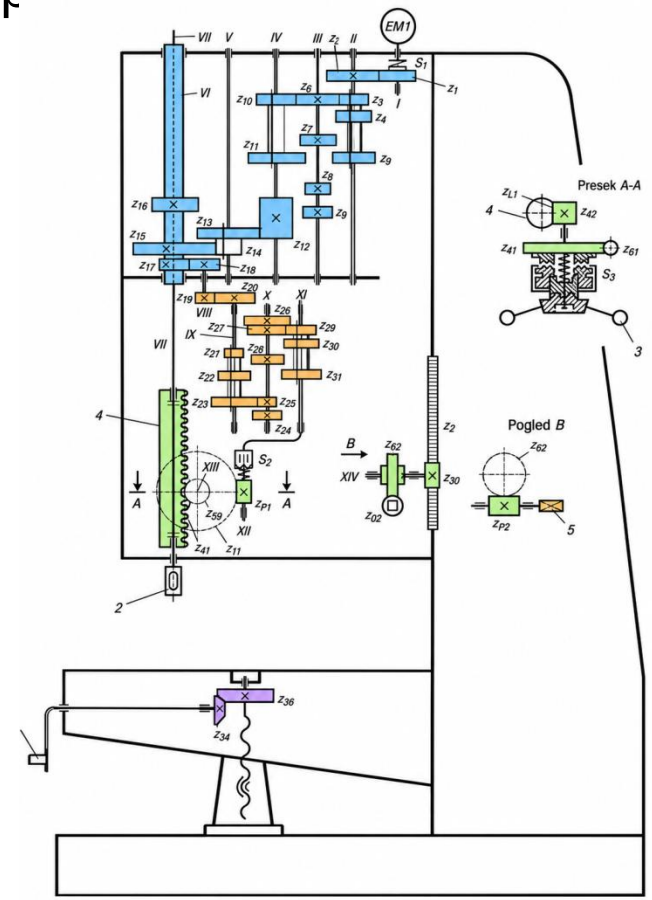
1 - noseći stub;
2 – konzola;
3 - pogonski elektromotor;
4 – ručica za pomoćno kretanje
5 - radni sto;
6 - prenosnik za glavno kretanje

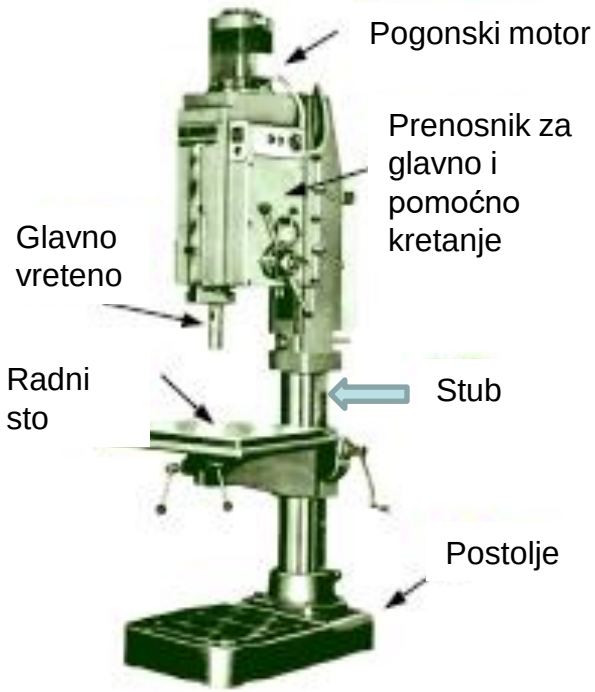
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem – ***Stubne bušilice***

Bušilice ovog tipa se koriste za obardu većih rupa i otvora. Postolje se kod stubnih bušilica pričvršćuje na temelje.

Ove bušilice imaju širok raspon brojeva obrtaja i pomaka, usled čega se pored bušenja koriste i za proširivanje, razvrtanje i urezivanje navoja.





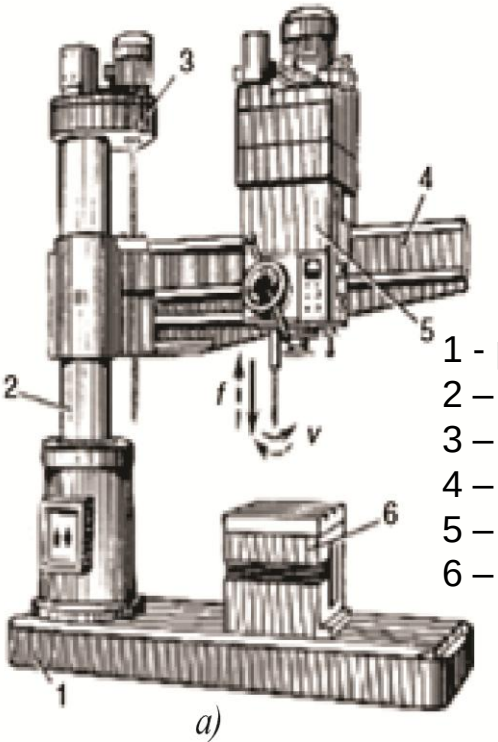
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem - **Radijalna bušilica**

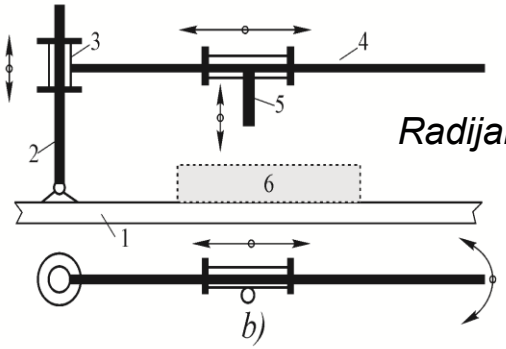
Mašine pogodne za bušenje, razvrtanje i urezivanje navoja kod velikih radnih predmeta.

Mogu da se primenjuju u pojedinačnoj i serijskoj proizvodnji. Karakteristično za ove mašine je velika produktivnost i tačnost.

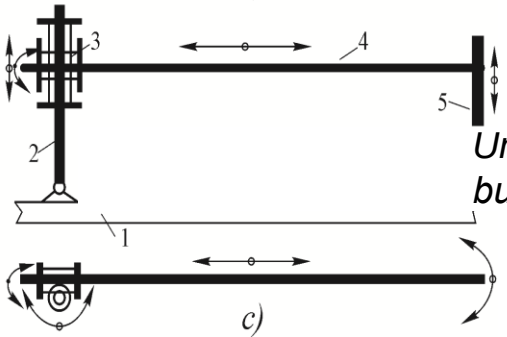
Pri obradi na ovim mašinama postoji mogućnost bušenja više rupa pri čemu je radni predmet stacionaran, dok se glavno vreteno pomera do svakog pojedinačnog mesta određenog za bušenje.



1 - postolje;
2 – vertikalni stub;
3 – zavojno vreteno;
4 – konzola
5 – glavno vreteno;
6 – radni sto



Radijalna bušilica



Univerzalna radijalna bušilica

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

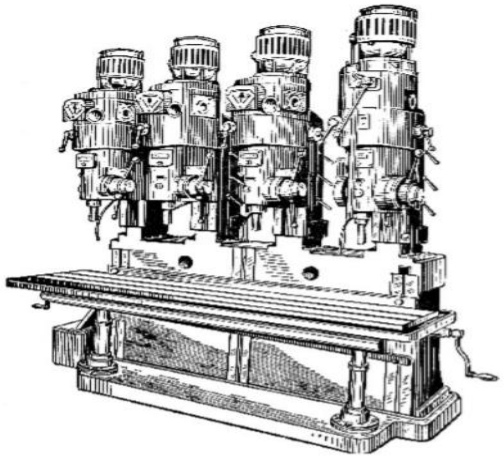
Vrste mašina za obradu bušenjem - **Viševretene bušilice**

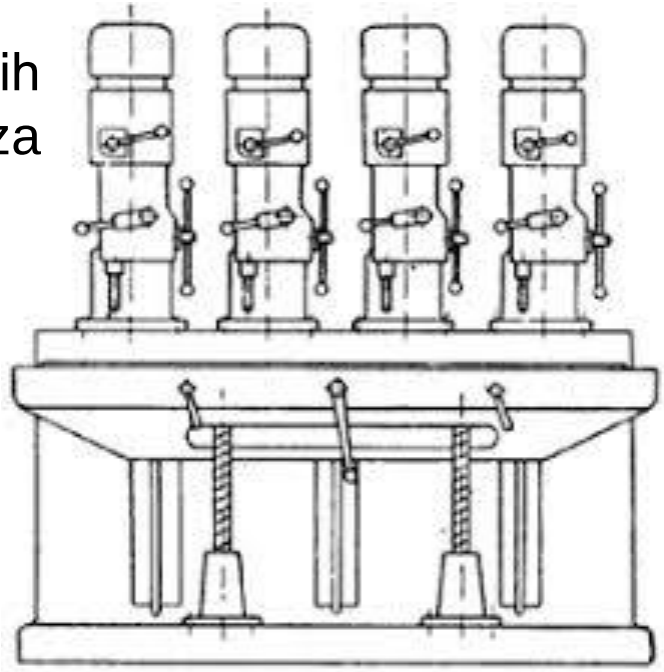
Služe u ***serijskoj i masovnoj proizvodnji*** za obradu radnih predmeta koji zahtevaju istovremeno bušenje, proširivanje, razvrtanje i urezivanje navoja na ***većem broju rupa u različitim ravnima radnog predmeta***.

Postoje tri vrste viševretenih bušilica:

a) Bušilice sa više vretena (Redna bušilica). Kod ovih bušilica glavna vretena su raspoređena u nizu, a svako vreteno pokreće sopstveni elektromotor i povezani su zajedničkim postoljem.

Koriste se za ***istovremenu obradu*** različitih rupa/otvora na jednom radnom predmetu ili za obradu jede rupe sa različitim alatima.

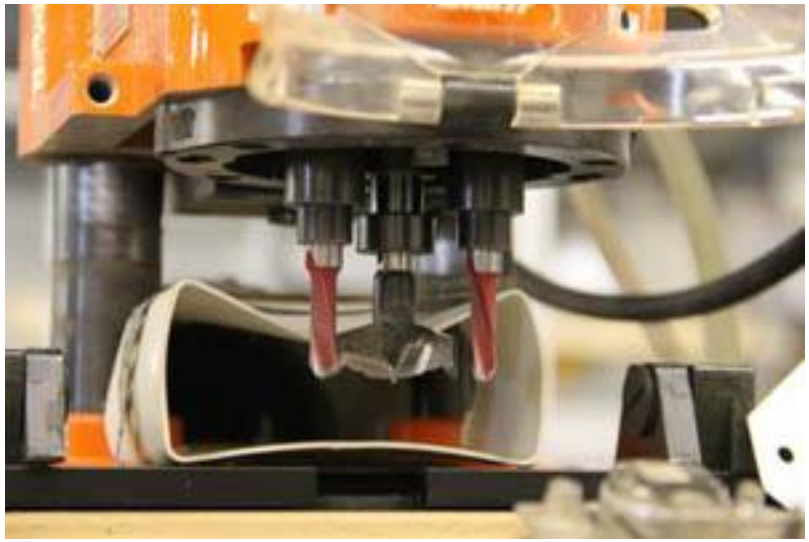


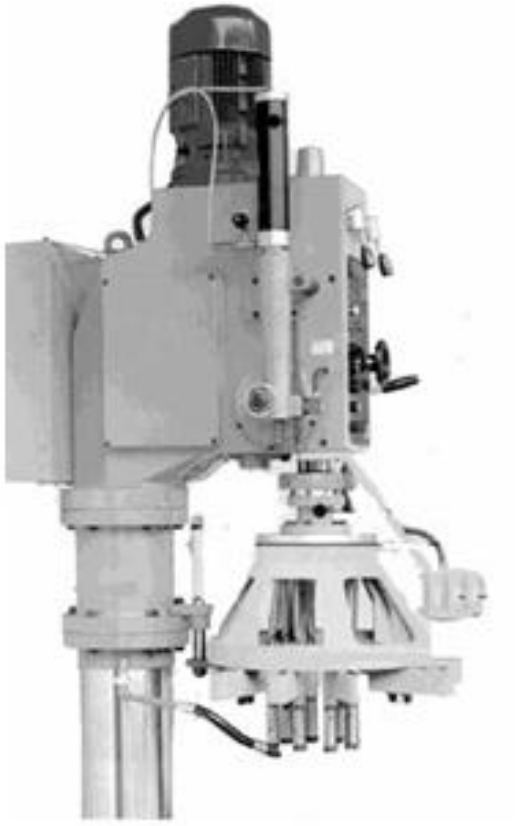


4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem - **Viševretene bušilice**

b) Bušilice sa viševretenom glavom. Ove bušilice se razlikuju od prethodnih jer imaju zajednički elektromotor za sva glavna vretena. Vretena se podešavaju za bušenje većeg broja rupa različitih ili istih prečnika na jednom radnom predmetu



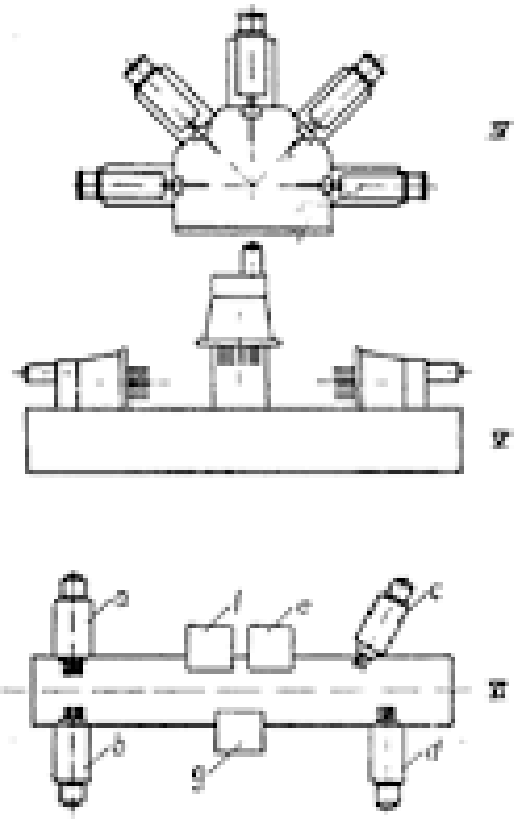


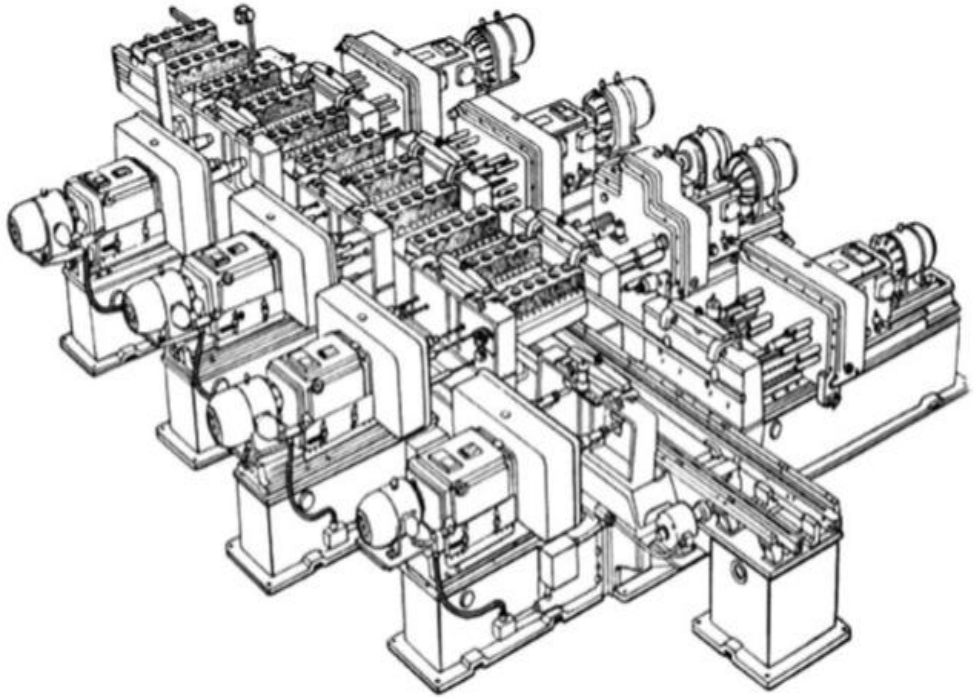
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Vrste mašina za obradu bušenjem - **Viševretene bušilice**

c) Agregatne bušilice. Ove bušilice se koriste u masovnoj proizvodnji. Izgrađene su od standardnih agregatnih jedinica koje mogu biti smeštene u horizontalnoj i/ili vertikalnoj ravni.

Na njima je moguće bušiti rupu(e)/otvor(e) u različitim ravnima radnog predmeta



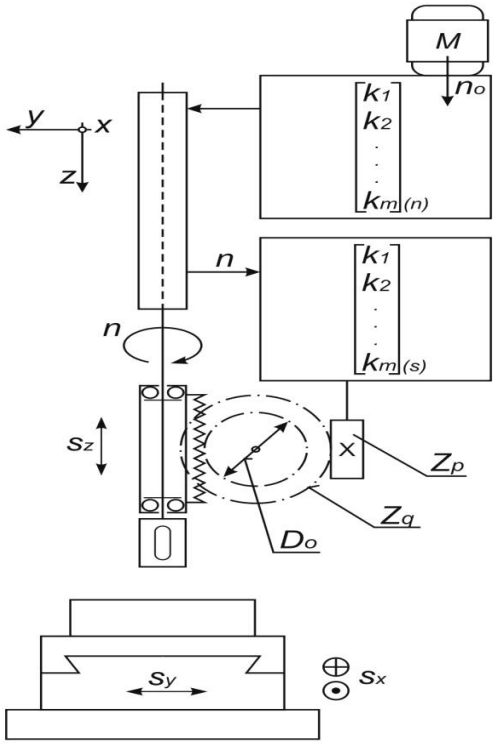


4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kinematska struktura vertikalnih bušilica

Kod bušilica glavno (obrtno) i pomoćno (pravolinijsko) kretanje se predaje alatu te je prenosni (kinematski) sistem smešten obično u istom kućištu.

Kao pretvarač obrtnog u pravolinijsko kretanja alata služi zupčanik – zupčasta letva, koja je izrađena direktno na čauri koja vodi glavno vreteno.



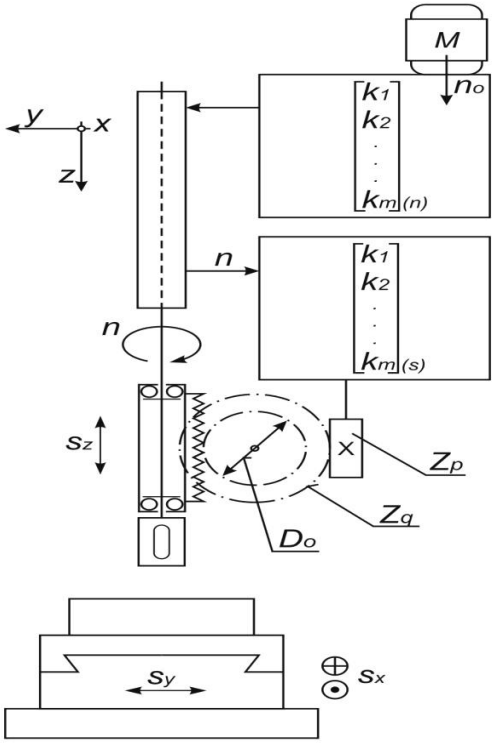
Kinematska šema jednovretene vertikalne bušilice

4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kinematska struktura vertikalnih bušilica – ***Glavno kretanje***

Glavno kretanje se ostvaruje preko pogonskog elektromotora (n_0) i prenosnika ga glavno kretanje $k_{m(n)}$.

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}; \quad [o/\min]; \quad v_i = D_a \pi n_i ; i = 1,2...m$$



4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kinematska struktura vertikalnih bušilica – ***Pomoćno kretanje***

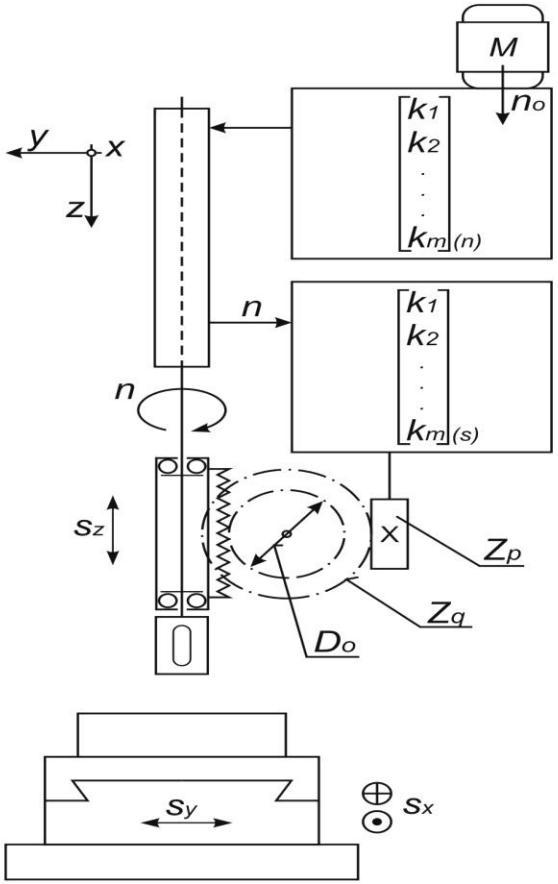
Putem prenosnika za pomoćno kretanje, pužnog reduktora i pretvarača obrtnog u pravolinijsko kretanje, ostvaruje se pomoćno kretanja u pravcu *Z*-ose, tj pomak s_z. Za vreme obrade nema kretanja u pravcu *X* i *Y* – ose.

$$s_z = n_{zDo} D_o \pi; \left[mm/o\right]$$

Broj obrtaja zupčanika (n_{zDo}) koji je u sprezi sa zupčastvom letvom:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_{(zD_o)} = n \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{z_p}{z_q}; \left[o/\min\right]; \quad za\ n = 1 \left[mm/o\right]$$

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_z = \frac{z_p}{z_q} \cdot D_0 \pi \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} ;\left[mm/o\right]$$



4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica)

Kod ovih mašina radni predmet ostaje nepokretan, dok se alat obrće i vrši pomoćna pravolinijska kretanja u pravcu sve tri ose (X, Y i Z).

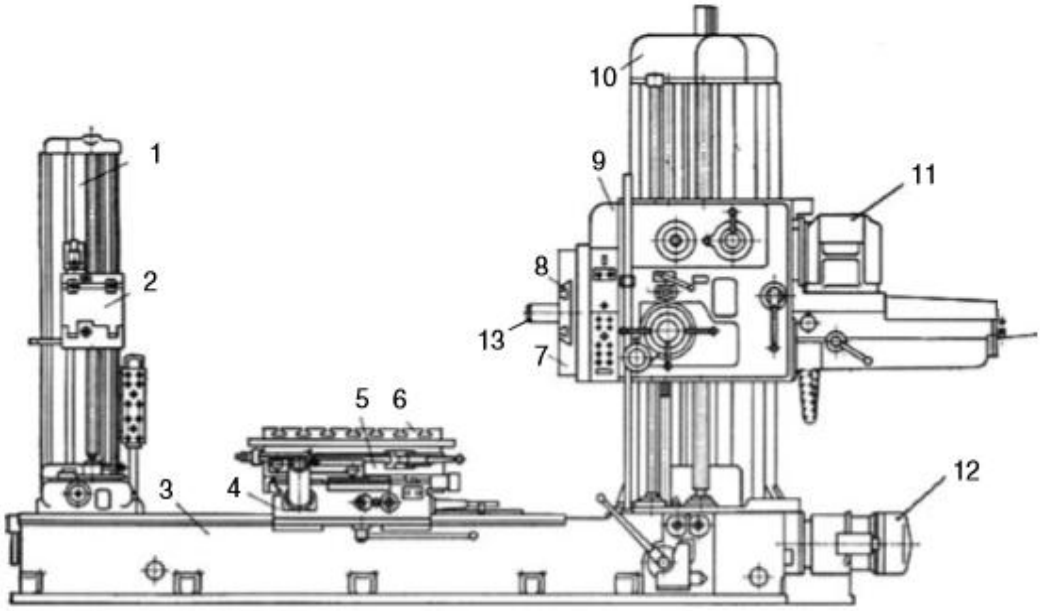
Služe za tačnu obradu bušenjem, upuštanjem, proširivanjem, razvrtanjem, urezivanje i narezivanje navoja, unutrašnje struganje, poprečno struganje i glodanje.

Osnovna namena im je obrada rotacionih i ravnih površina na težim i teškim prizmatičnim radnim predmetima.

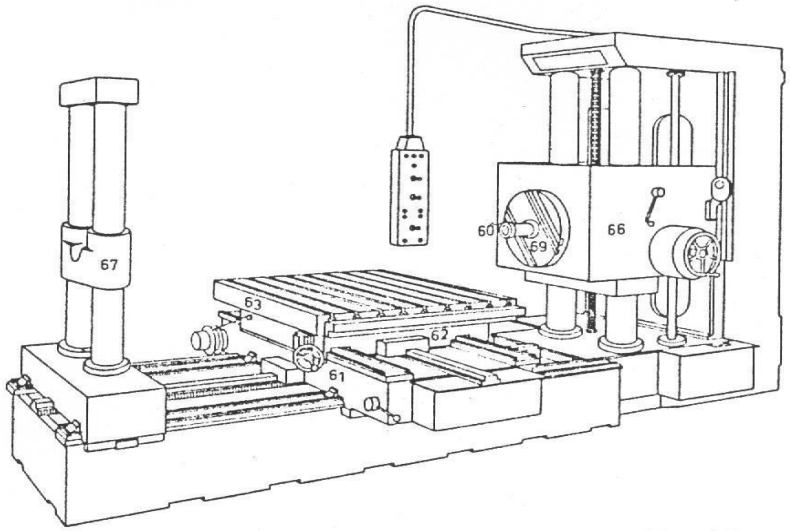
Zbog svoje fleksibilnosti, ove mašine alatke su pogodne za obradu kada se druge operacije obrade obavljaju zajedno sa bušenjem.

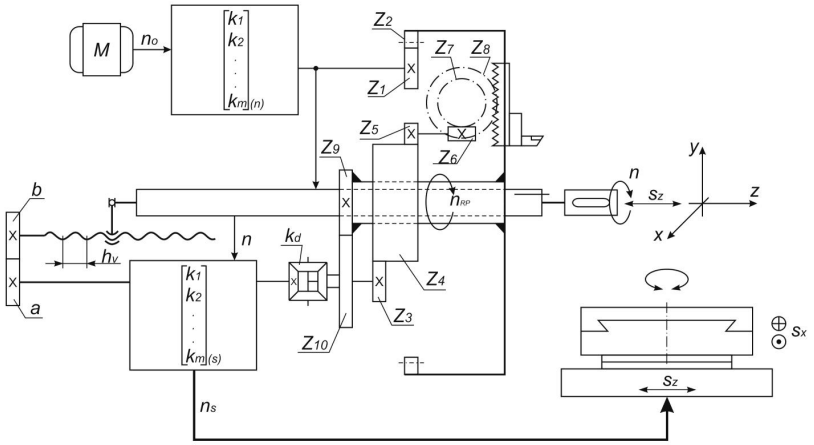
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica)



1 - pomoćni stub;
2 – pomoćni oslonac vretena za unutrašnje struganje;
3 - postolje
4 – nosač radnog stola
5 – klizne vođice;
6 – radni sto;
7 – radijalni klizač
8 – radna obrtna ploča
9 – prenosnik za glavno kretanje
10 – noseći stub
11 – elektromotor za osnovna kretanje
12 - elektromotor za kretanje radnog stola
13 – centralno vreteano





4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica) – ***Glavno kretanje***

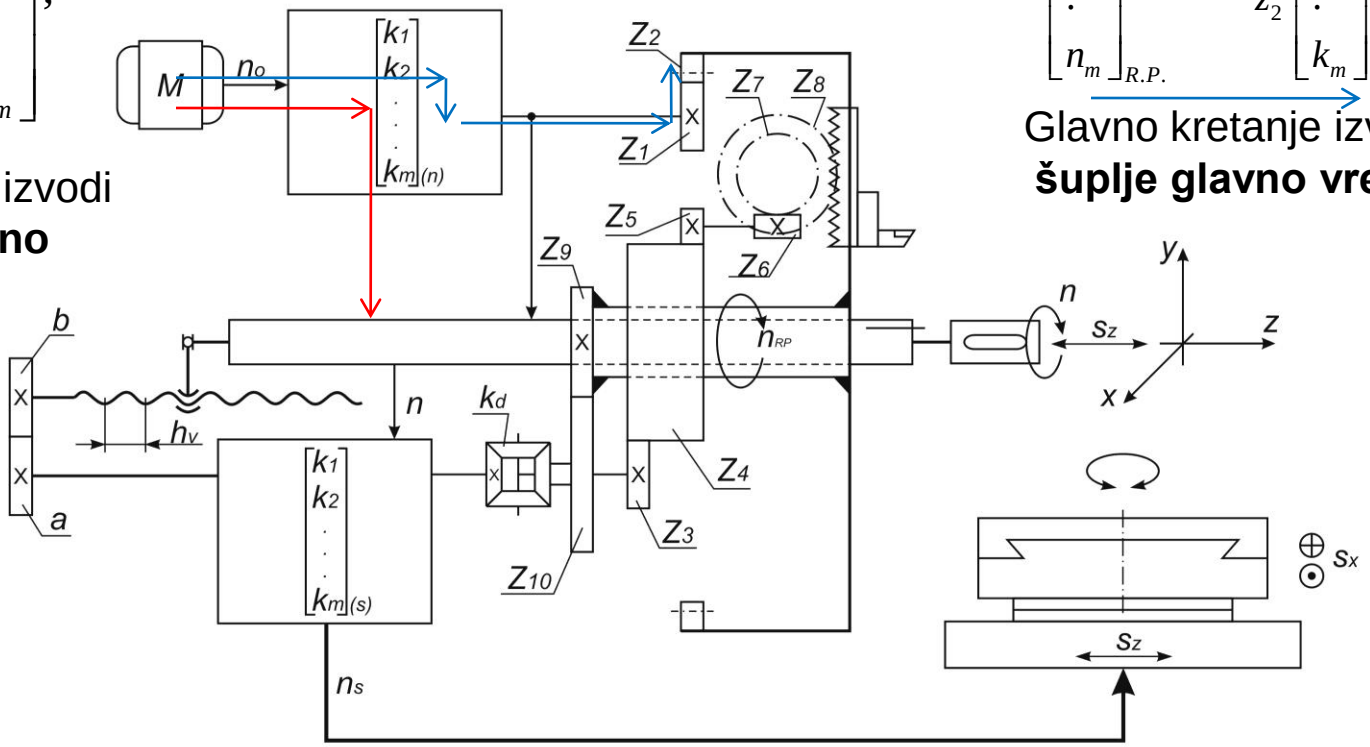
Kinematski lanaci za određivanje potrebnih brojeva obrtaja centralnog glavnog vretena i radne ploče su:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_{C.V.} = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix};$$

Glavno kretanje izvodi **centralno vreteno**

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_{R.P.} = n_o \frac{z_1}{z_2} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}$$

Glavno kretanje izvodi **šuplje glavno vreteno**



4.1.2 Kinematska struktura bušilica

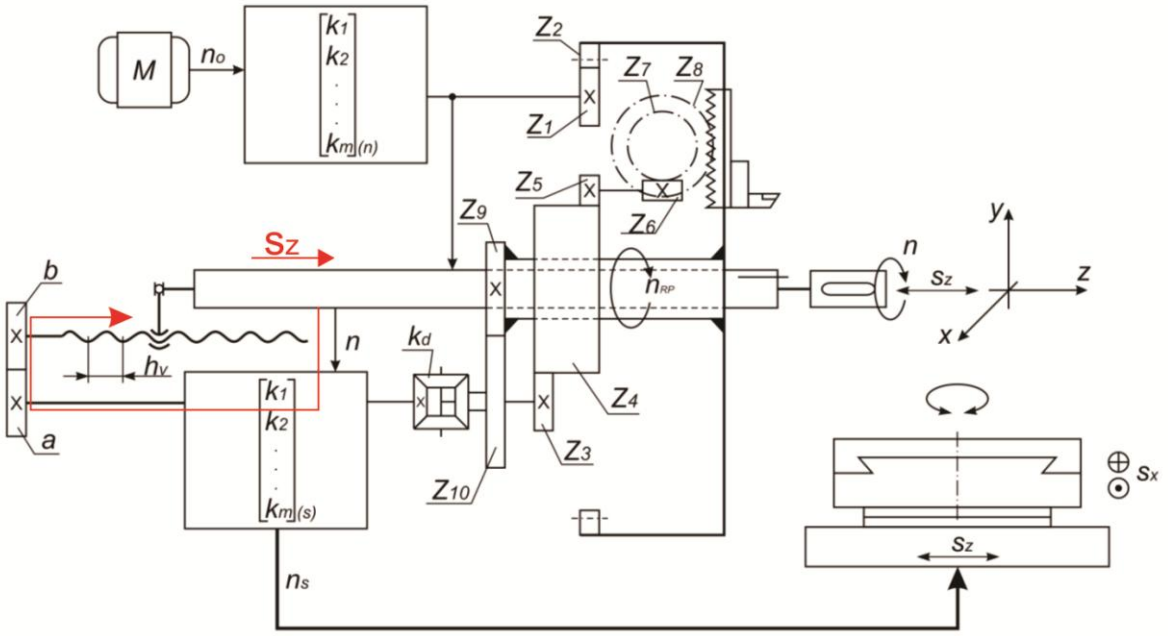
Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica) – ***Pomoćno kretanje***

Pogon pomoćnog kretanja se odvodi sa glavnog vretena i posle prenosnika za pomoćno kretanje se **razgranava u tri pravca**:

a) na izmenljive zupčanike (a, b), zavojno vreteno koraka hv za obezbeđenje aksijalnog pomaka glavnom vretenu. Izborom zupčanka (a,b) obezbeđuju se različite vrednosti pomaka pri rezanju navoja. Ovaj kinemtaski lanac glasi:

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_{s_{vz}} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \frac{a}{b} \cdot h_v ; [mm/o]$$

Glavno kretanje izvodi centralno vreteno



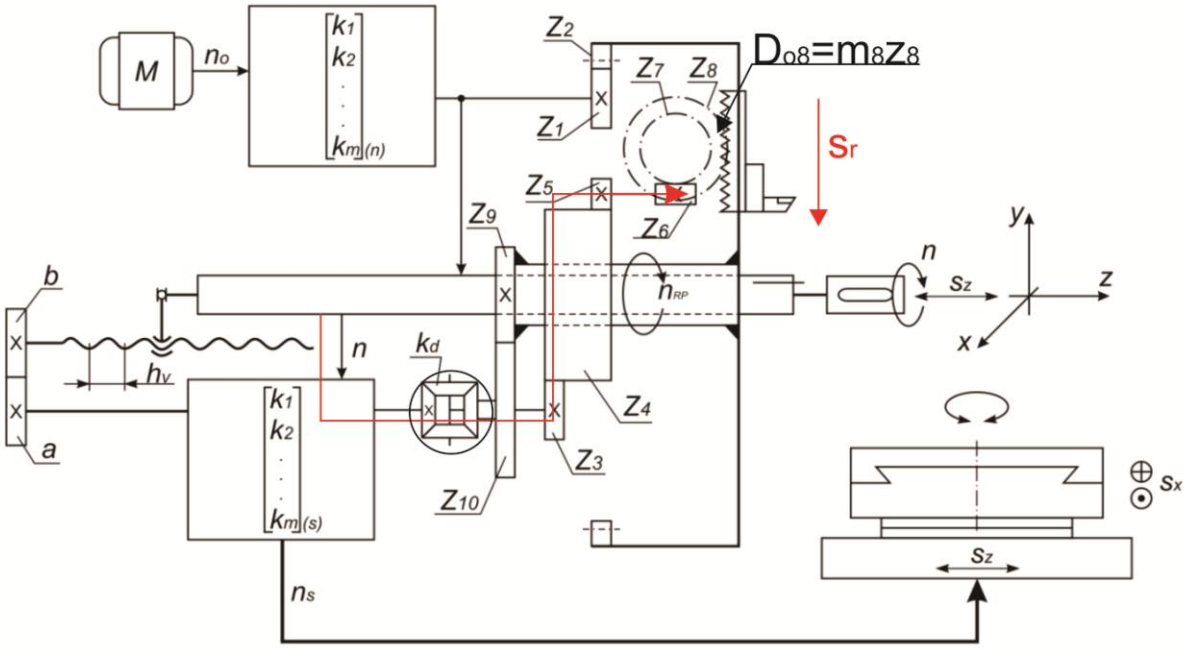
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica) – ***Pomoćno kretanje***

b) na diferencijalni prenosnik (k_d), koji služi za pogon radijalnog klizača na radnoj ploči radi obezbeđenja pomaka s_r, pri čeonom ili poprečnom struganju. Ovaj kinemtaski lanac **za poprečno struganje** glasi:

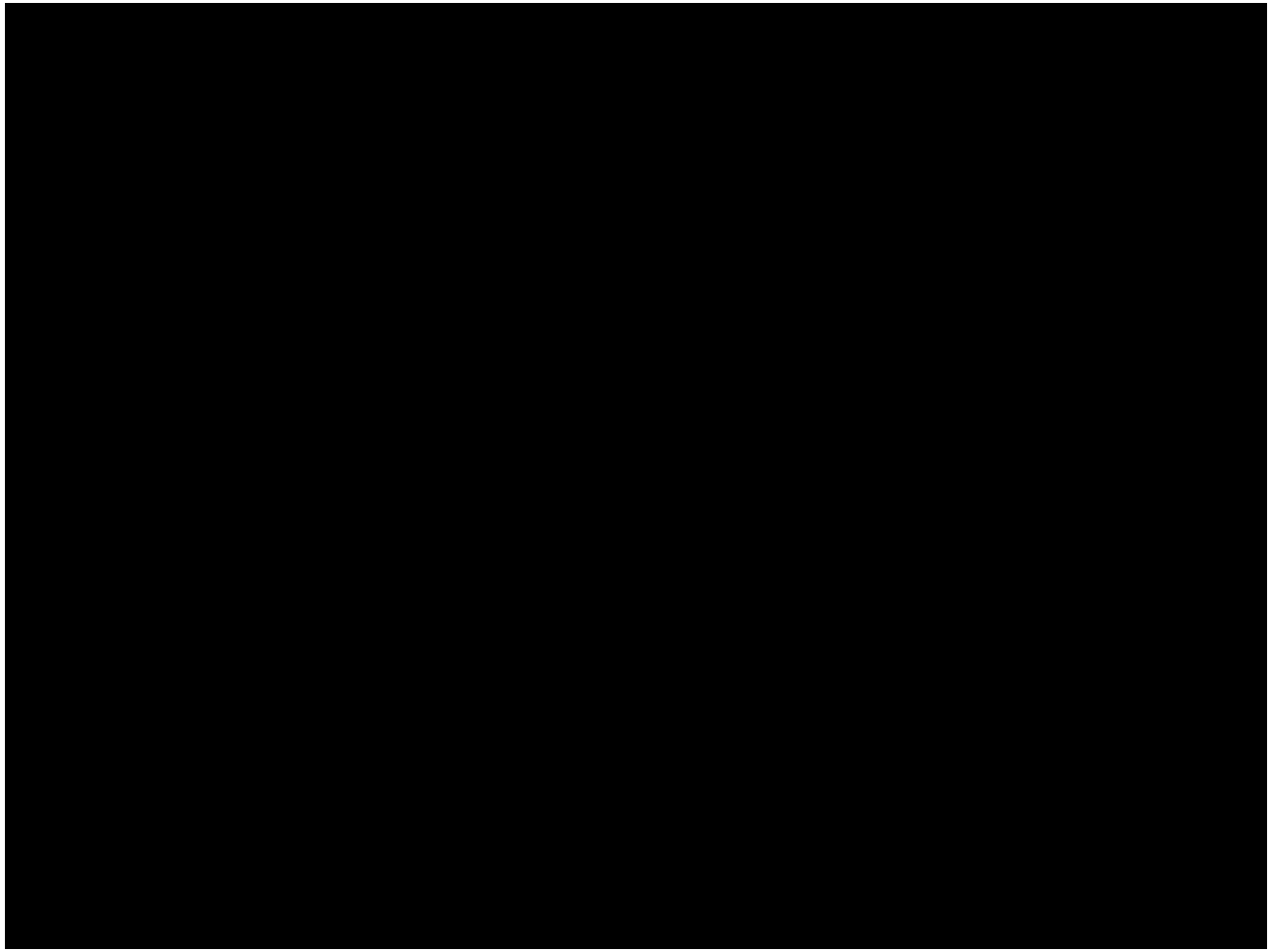
Glavno kretanje izvodi šuplje glavno vreteno

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ s_m \end{bmatrix}_r = \frac{z_1}{z_2} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \cdot k_d \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot z_8 \cdot m_8 \pi; \ [mm/o]$$



4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica) – ***Pomoćno kretanje***



4.1.2 Kinematska struktura bušilica

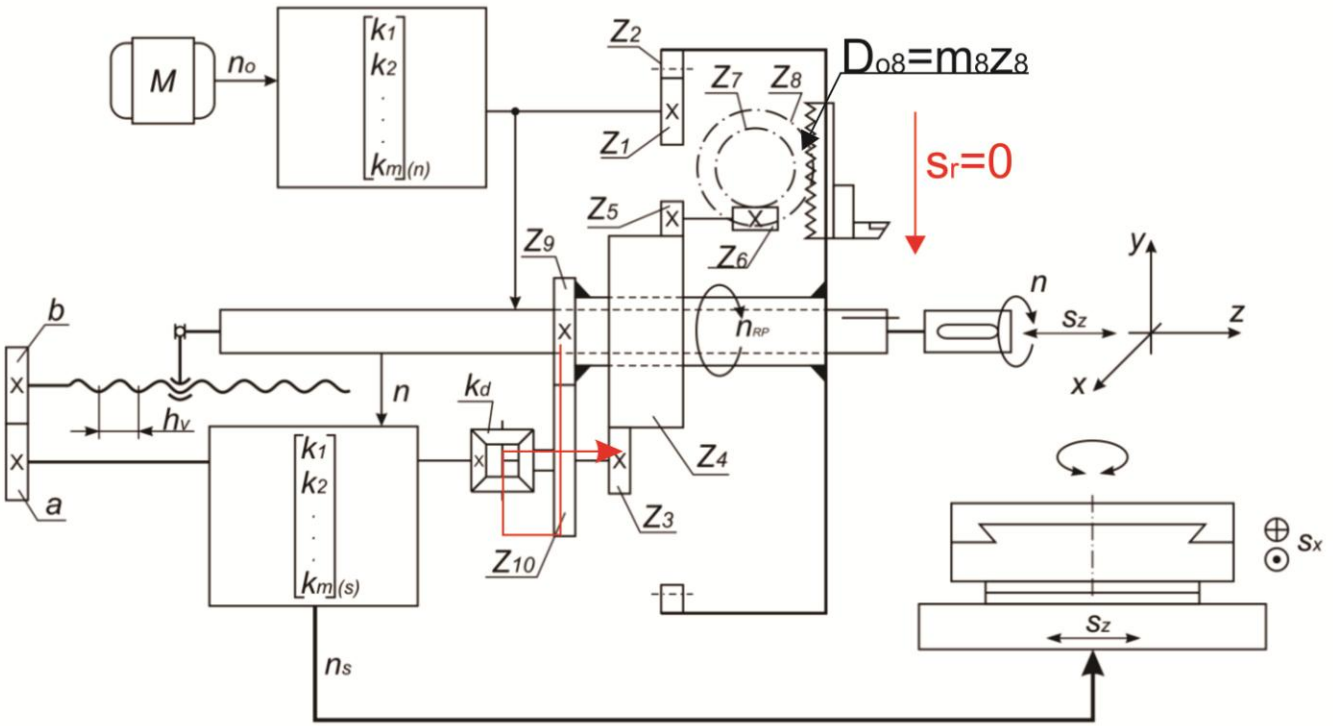
Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica) – ***Pomoćno kretanje***

Kada radijalni klizač treba da miruje (s_r=0) a ravna ploča se obrće ($n_{R.P.}$≠0) potrebno je da se zupčanik (z_4) obrće istim brojem obrtaja kao i radna ploča ($n_{z4} = n_{R.P}$) što je izraženo kod **uzdužnog unutrašnjeg struganja velikih otvora**. Pogon ovog izjednačavajućeg kretanja se odvodi sa radne ploče.

$$n_{Z4} = \frac{z_9}{z_{10}} \cdot k'_d \frac{z_3}{z_4} = n_{R.P.}, odnosno,$$

$$\frac{z_9}{z_{10}} = \frac{1}{k'_d} \frac{z_4}{z_3}$$

Glavno kretanje izvodi šuplje glavno vreteno



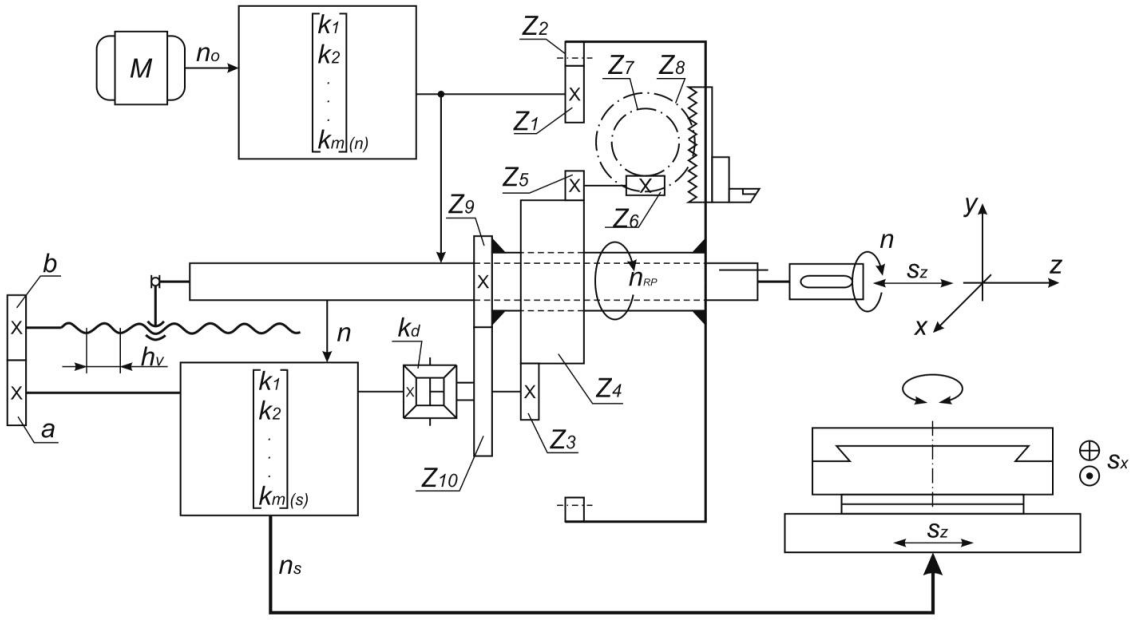
4.1.2 Kinematska struktura bušilica

Kombinovana bušilica glodalica (Horizontalna bušilica) – ***Pomoćno kretanje***

C) ka radnom stolu mašine, za obezbeđenje pomaka radnog stola u X i Z pravcu. Ovaj kinematski lanac obezbeđuje pomak u pomenutim pravcima i okretanje radnog stola. Pomak u pravcu Y ose se postiže pomeranjem kućišta glavnog vretena po stolu.

$$\begin{bmatrix} s_{z_1} \\ s_{z_2} \\ . \\ . \\ s_{z_m} \end{bmatrix}_s = \frac{z_2}{z_1} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot n_{RP} \cdot c \qquad [mm/1.o.g.v]$$

$c = h_1$; $c = (z_p D_o \pi)/z_q$



FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

4.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Sadržaj

4.0. KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.1 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju rotacionih površina

4.2 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju ravnih površina

4.3 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju složenih – profilnih površina

KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

5.2 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju ravnih površina

5.2.1 Kinematska struktura glodalica

5.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

4.2 Obrada ravnih površina

Ravne površine se u principu realizuju metodama obrade:

- glodanje;
- rendisanje;
- ravno brušenje;

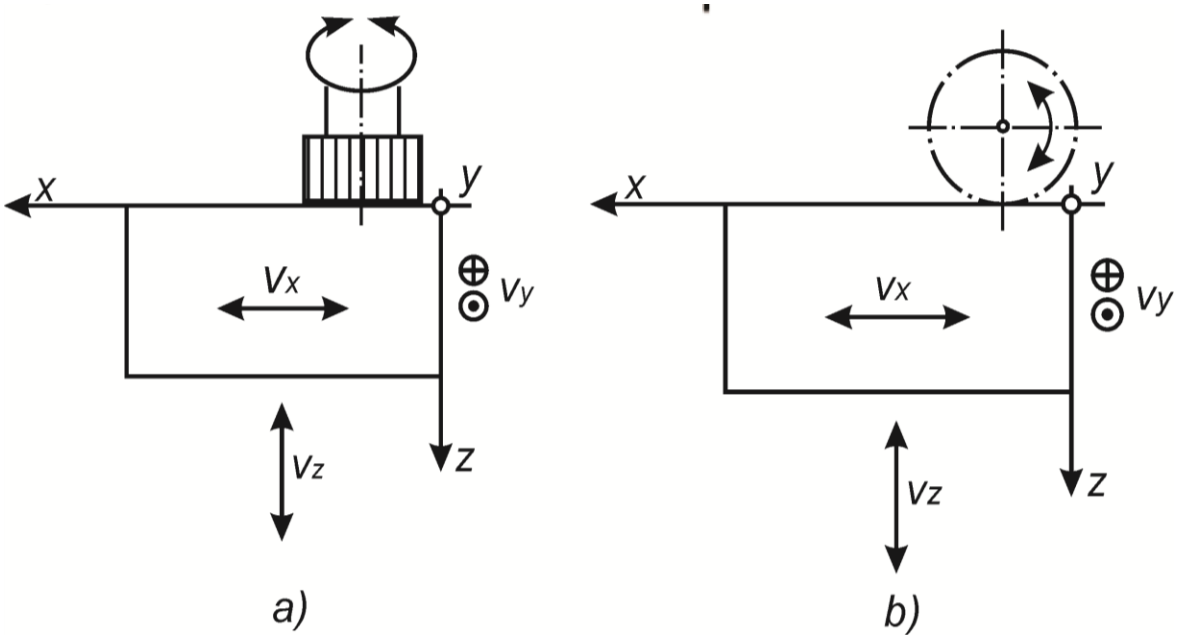
pri čemu prve dve metode predstavljaju prethodnu, odnosno u nekim slučajevima i završnu obradu, a poslednja je, u principu, metoda završne obrade navedenih površina.

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Mašine za obradu glodanjem

Služe za obradu ravnih površina višesečnim 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

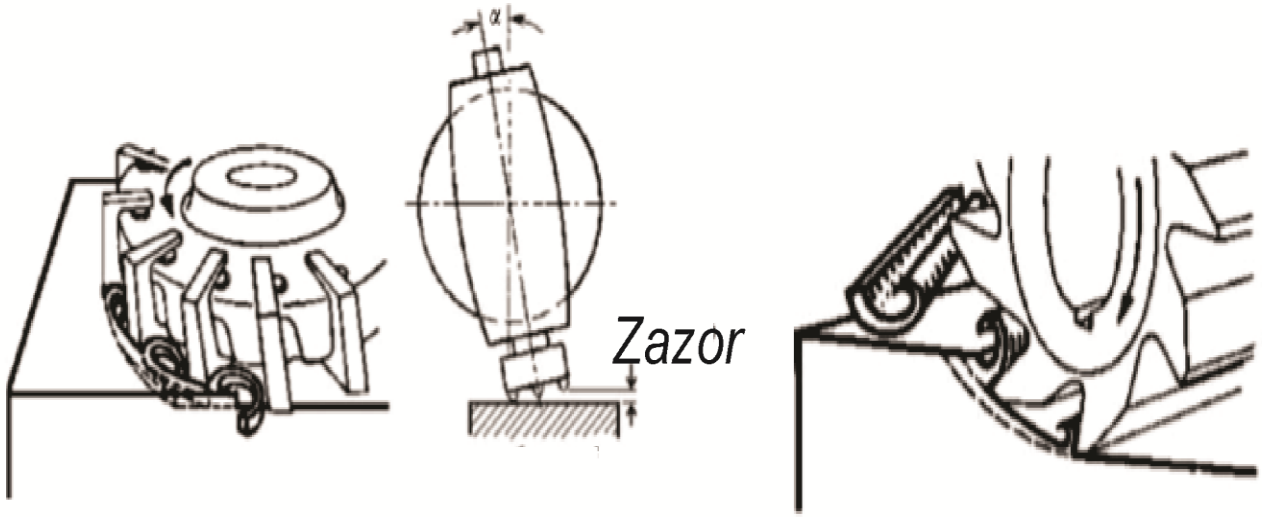
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

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*.



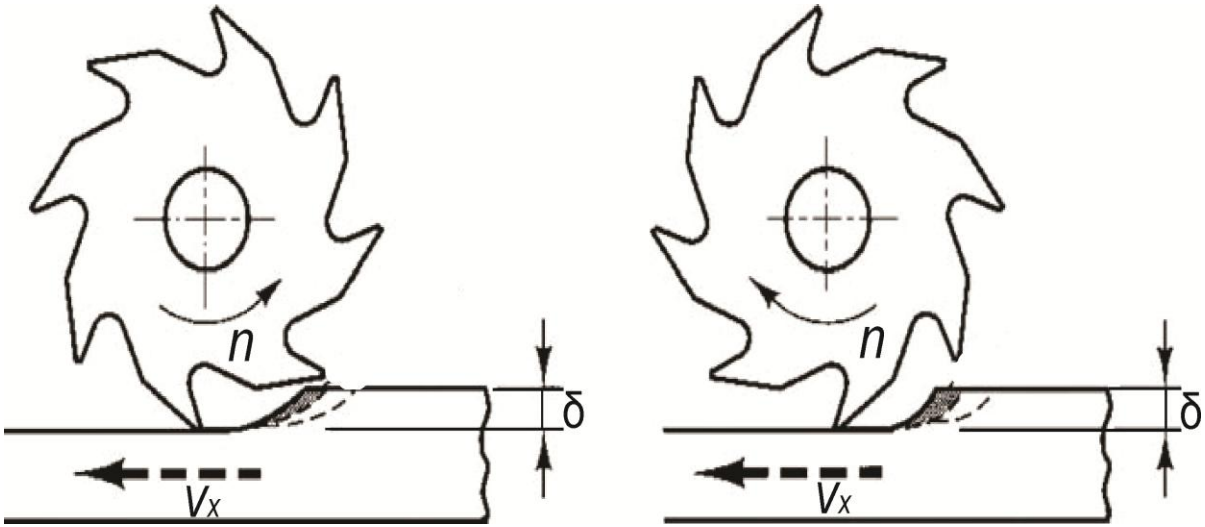
Čeono glodanje *Obimno glodanje*

4.2.1 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*

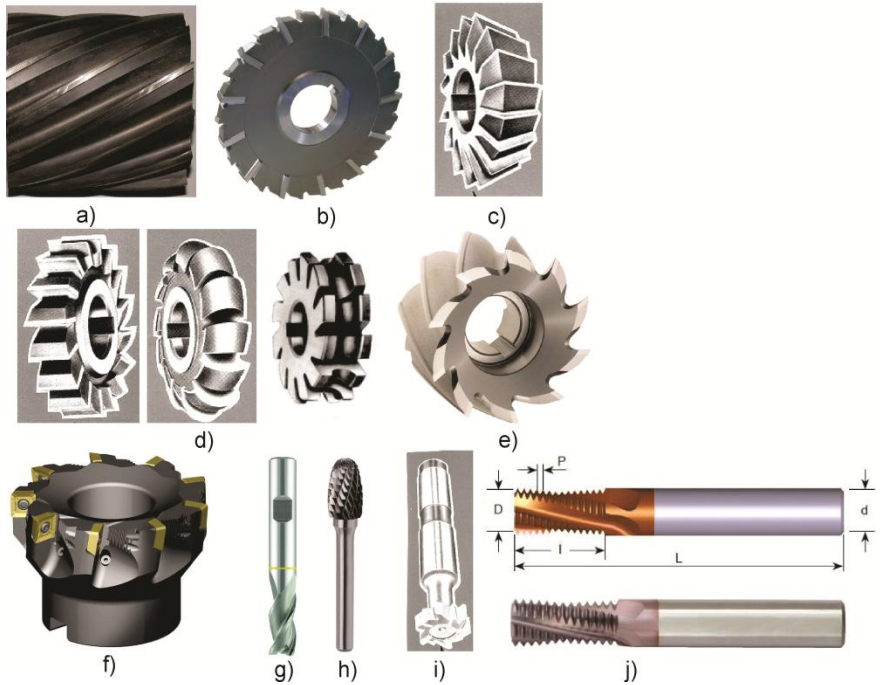
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

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 izraduT – žljebova
j) Glodala za navoj

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

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, ...)

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

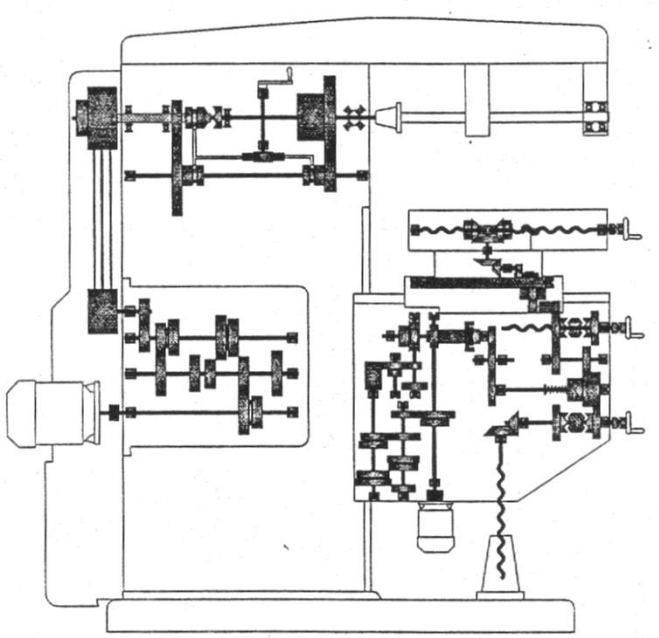
Kinematska struktura konzolnih glodalica

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 narmalna pravca, dok glavno vreteno miruje u prostoru i vrši glavno obrtno kretanje.

Prema položaju glavnog vretena mogu biti:

- ***horizontalne*** i
- ***vertikalne***.



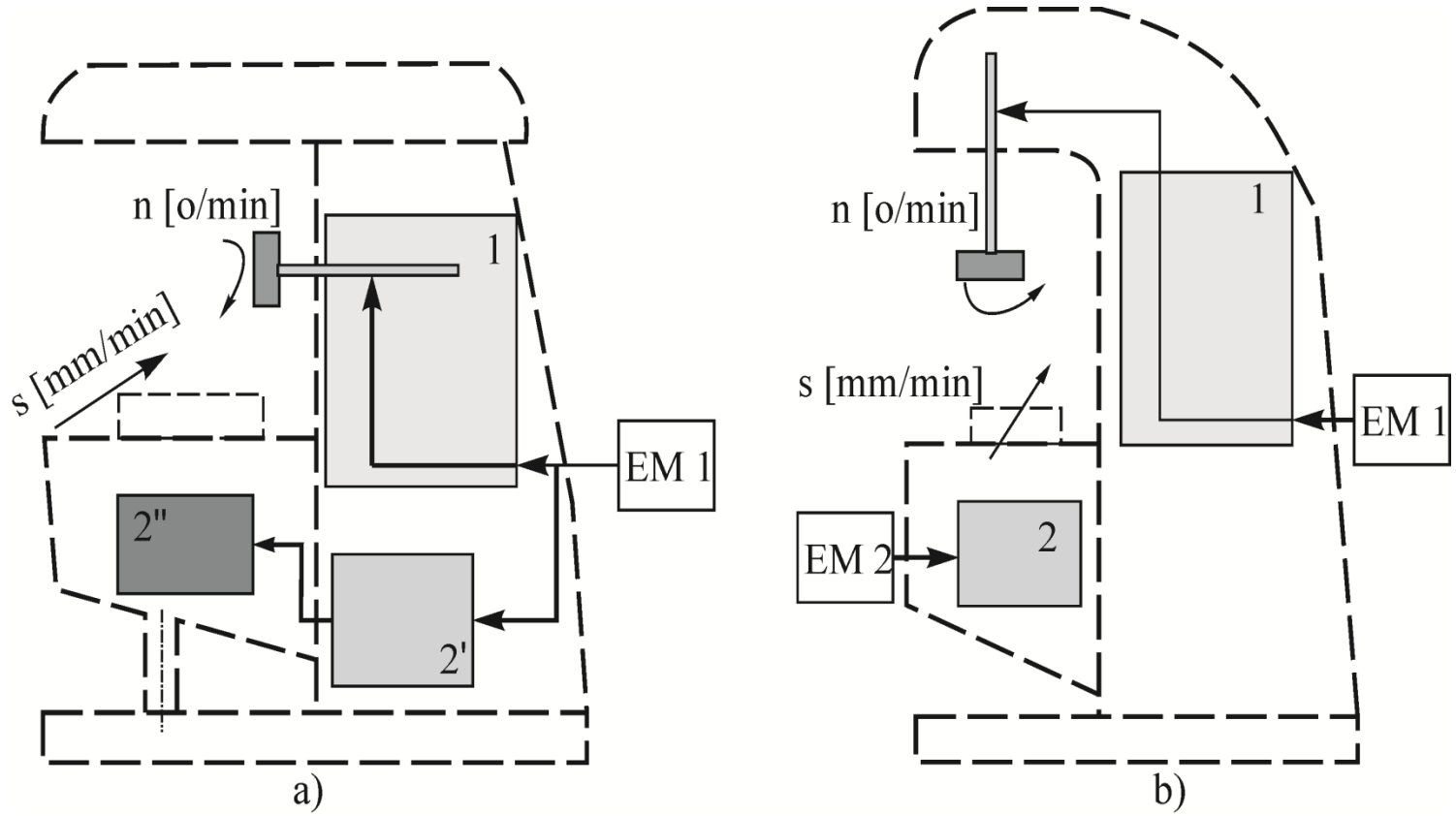
Horizontalna konzola glodalica

4.2.1 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

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

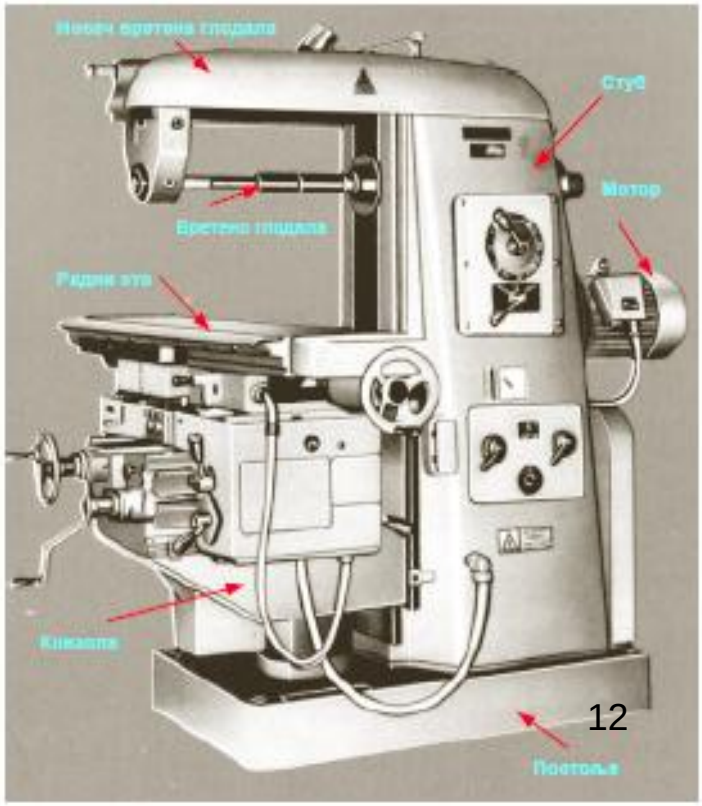
Kinematska struktura konzolnih glodalica – ***Horizontalne glodalice***

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.

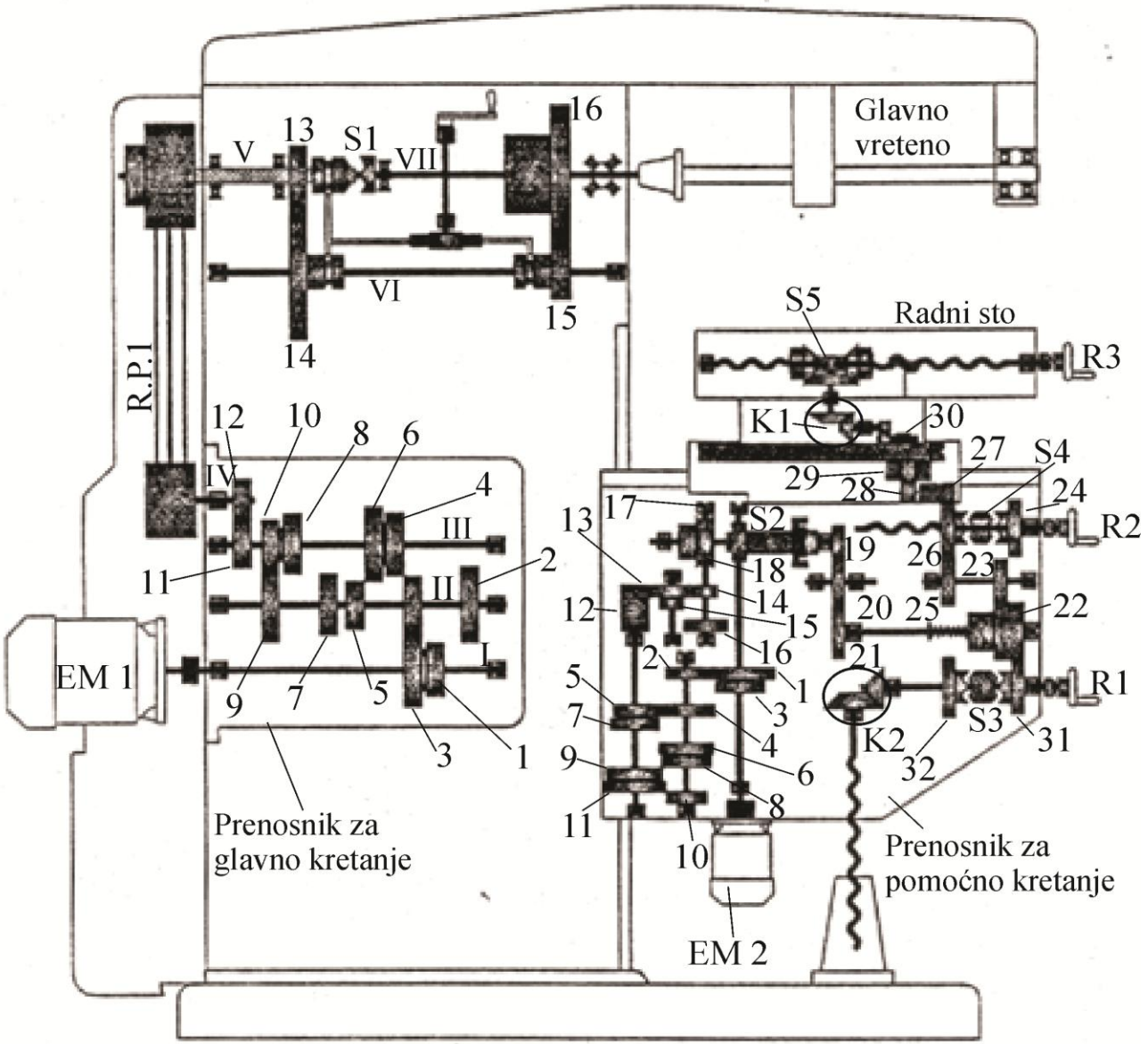
Radni sto mašine (sa radnim premetom) izvodi pomoćno pravolinijsko kretanje u uzdužnom ili poprečnom pravcu.

Ako se radni sto može zakretati u horizontalnoj ravni tada je reč o ***univerzalnoj glodalici*****,** koja pored prethodnih operacija omogućuje izradu zavojnih žljebova.



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

*Kinematska struktura konzolnih glodalica – **Horizontalne glodalice***



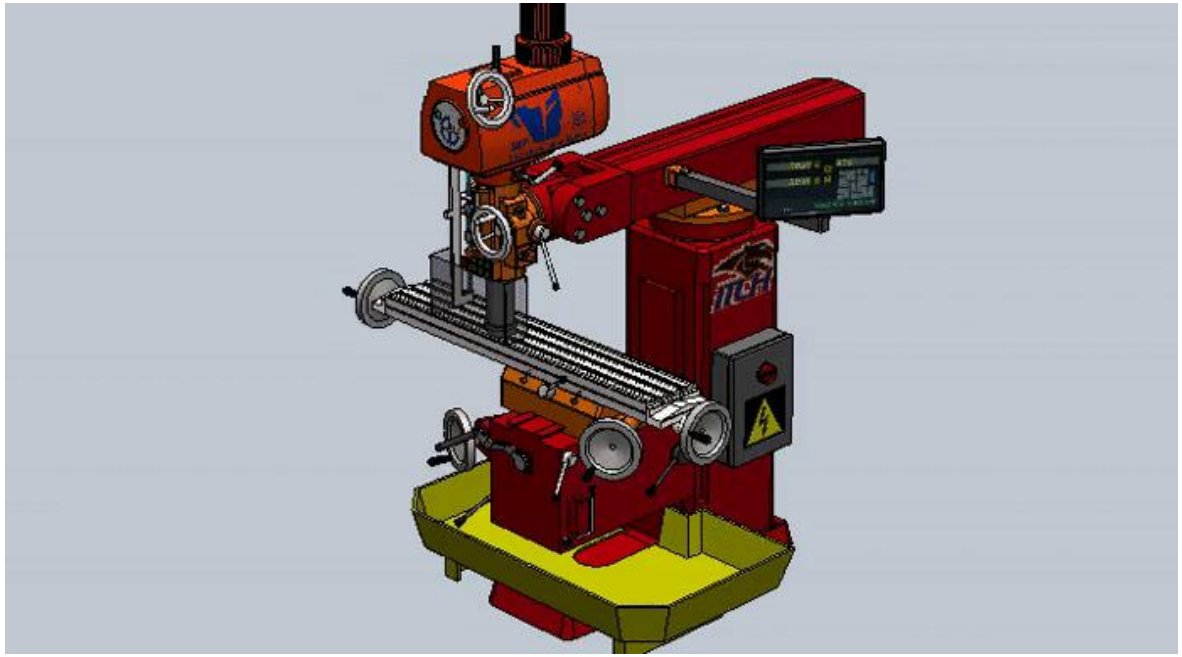
Šematski prikaz horizontalne glodalice

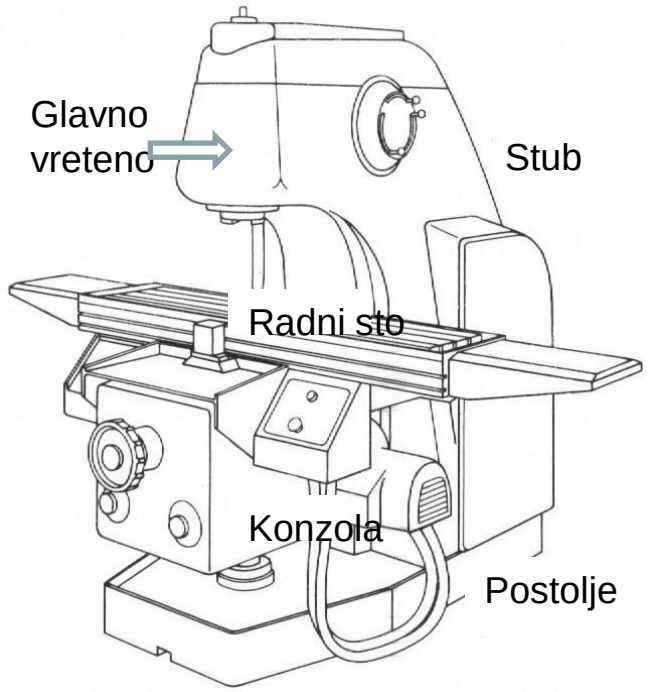
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura konzolnih glodalica– ***Vertikalne glodalice***

Vertikalna glodalica ima vertikalno glavno vreteno koje se nalazi na nosaču glavnog vretena obrtnom oko horizontalne ose.

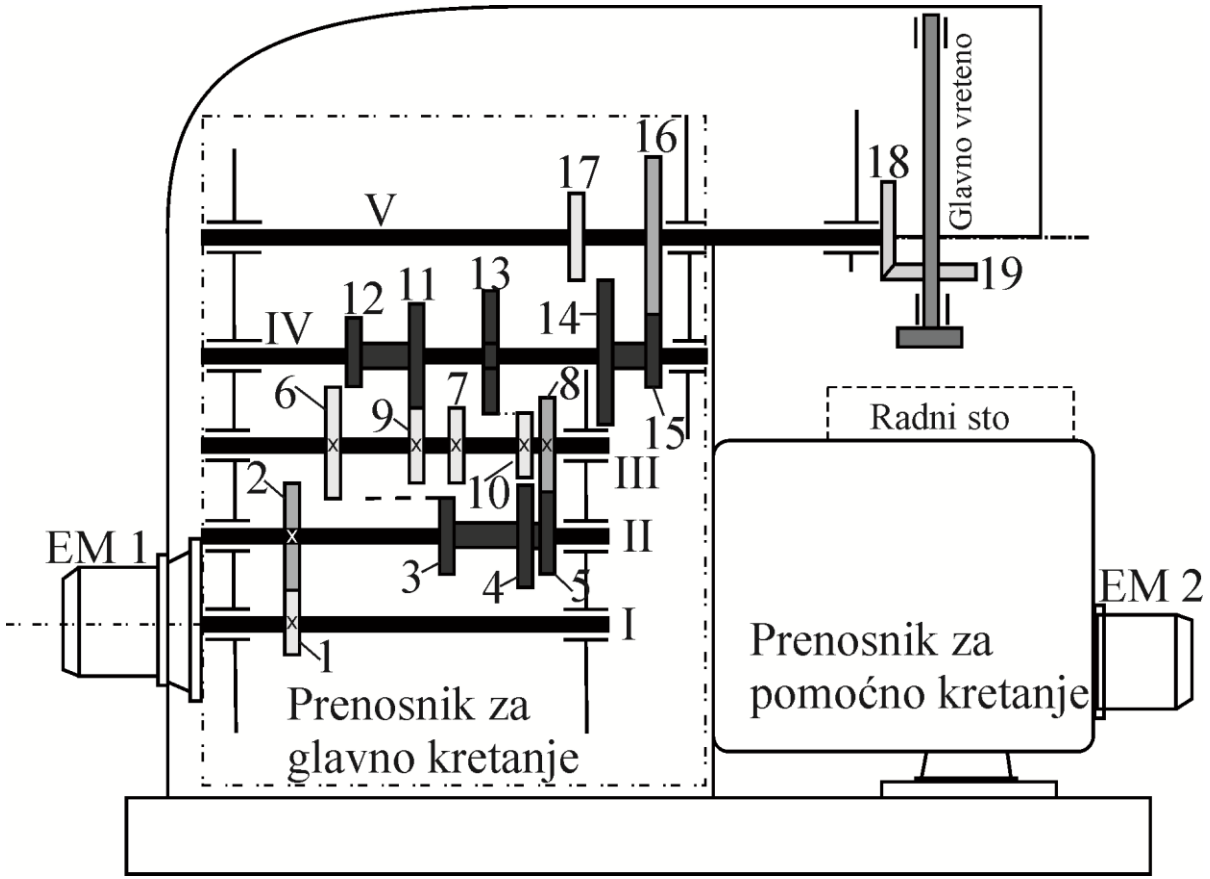
Namenjene su pored obrade ravnih površina glavama za glodanje i za obradu vertikalnih rupa, izradu zavojnih žljebova.





4.2.1 Kinematska struktura glodalica

*Kinematska struktura konzolnih glodalica– **Vertikalne glodalice***



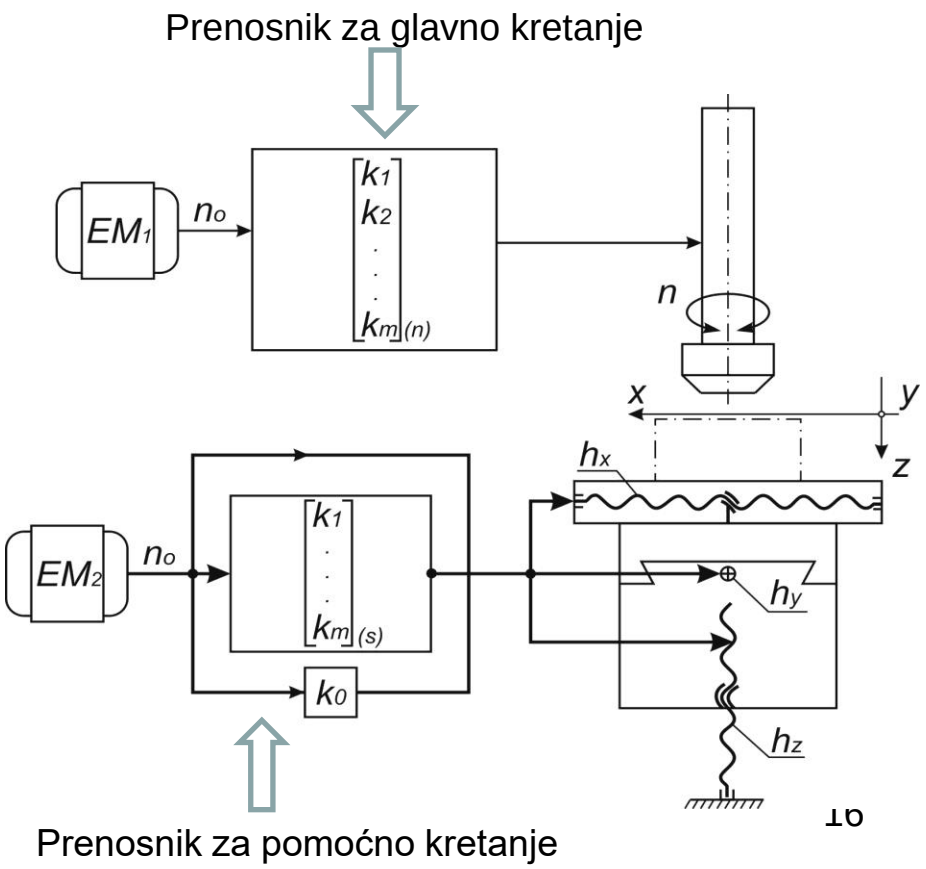
Šematski prikaz prenosnika za glavno kretanje vertikalne glodalice

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

*Kinematska struktura konzolnih glodalica– Vertikalne glodalice –**Glavno kretanje***

Potrebni brojevi obrtaja glavnog kretanja za tražene brzine rezanja $v_i = n_i \pi D_a$, $(i=1,2.....m)_{(n)}$ se mogu dobiti kao:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_n = n_{oEM_1} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_n ; [o/\min]$$

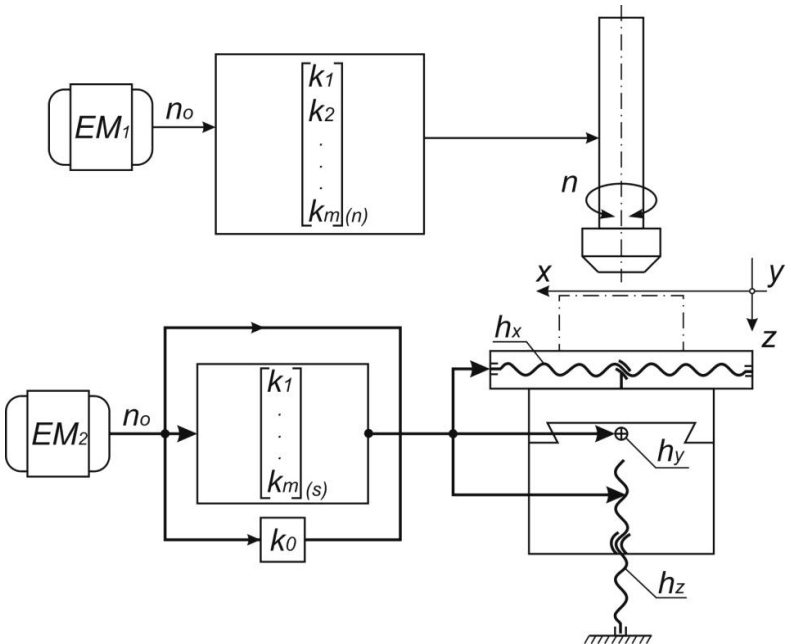


Kinematska struktura konzolnih glodalica– Vertikalne glodalice – ***Pomoćno kretanje***

Pomoćno kretanje obično ima sledeće brzine: brzi hod; radni hod; puzeći hod;

Radni hod:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ . \\ v_m \end{bmatrix}_{Sx} = n_{em_2} \cdot h_x \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s ; \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ . \\ v_m \end{bmatrix}_{Sy} = n_{em_2} \cdot h_y \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s ; \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ . \\ v_m \end{bmatrix}_{Sz} = n_{em_2} \cdot h_z \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s$$



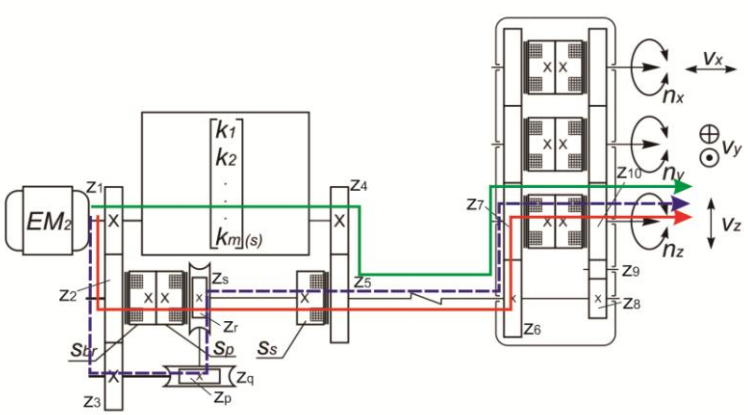
Brzi hod:

$$v_{bx} = n_{oem_2} \cdot h_x \ [mm/min]$$
$$v_{by} = n_{oem_2} \cdot h_y \ [mm/min]$$
$$v_{bz} = n_{oem_2} \cdot h_z \ [mm/min]$$

Puzeći hod:

$$v_{px} = n_{oem_2} \cdot k_0 \cdot h_x \ [mm/min]$$
$$v_{py} = n_{oem_2} \cdot k_0 \cdot h_y \ [mm/min]$$
$$v_{pz} = n_{oem_2} \cdot k_0 \cdot h_z \ [mm/min]$$

Kinematska struktura konzolnih glodalica– Vertikalne glodalice – ***Pomoćno kretanje***

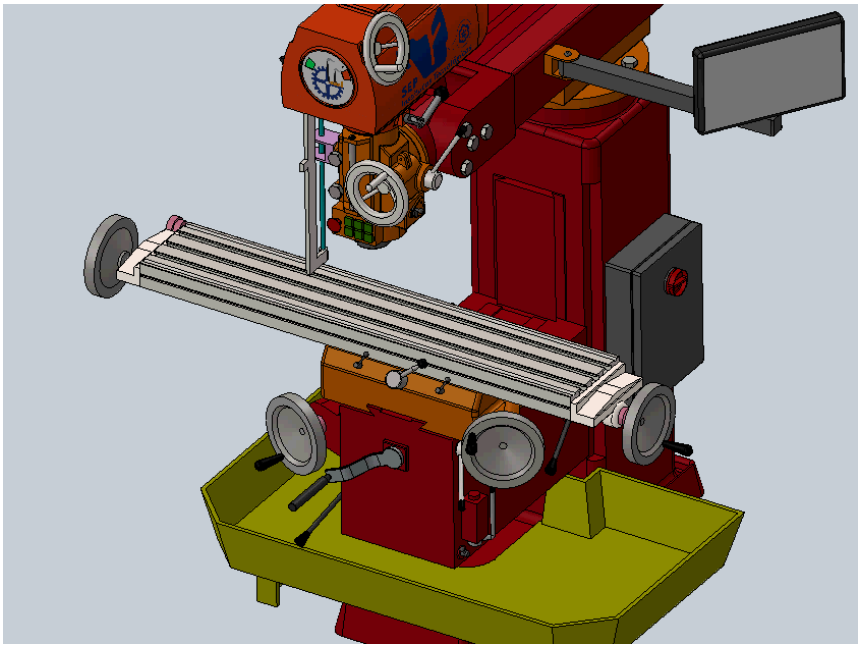


Brzi hod pomoćnog kretanja u *Z* pravcu:

$$v_{bz} = n_{em_2} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_7} ili \left(\frac{z_8}{z_{10}} \right) \cdot h_z ; \left[m/\min \right]$$

Puzeći hod pomoćnog kretanja u *Z* pravcu :

$$v_{pz} = n_{em_2} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_p}{z_q} \cdot \frac{z_r}{z_s} \cdot \frac{z_6}{z_7} ili \left(\frac{z_8}{z_{10}} \right) \cdot h_z ; \left[m/\min \right]$$



Radni hod u pravcu Z ose:

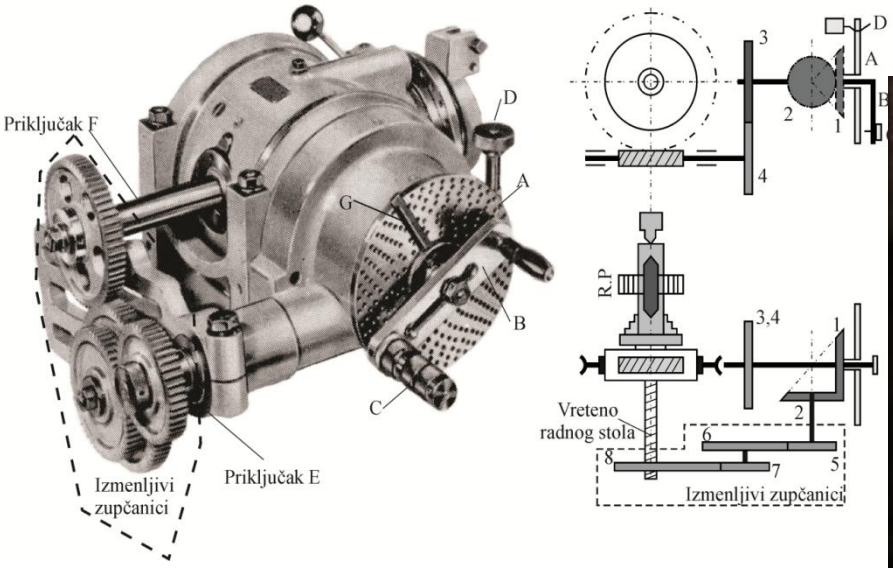
$$v_{rZ} = n_{em_2} \cdot h_z \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_6}{z_7} ili \frac{z_8}{z_{10}} ; \left[m/\min \right]$$

Podeoni aparat

Primena podeonog aparata je raznovrsna, a njegova osnovna uloga je deljenje obima kružnog predmeta na jednaki broj delova preko podeone ploče.

Podeoni aparat se praktično ugrađuje u kinematsku strukturu glodalice.

Podeoni aparat ostvaruje obrtno kretanje, te isti mora biti povezan zupčanicima preko prikuljača *E* ili *F* sa zavojnim vretenom radnog stola.





Univerzalni podeoni aparat

Podeoni aparat

Primenom univerzalnog podeonog aparata moguća je:

- izrada zupčanika pojedinačnom metodom
- izrada žljebova,
- izrada arhimedove spirale;
- izrada zupčanika sa kosim zubima;
- izrada zupčaste letve;

Izrada delove je moguća različitim metodama deljenja podeone ploče, kao što su:

- ***posredno,***
- ***dvostruko i***
- ***diferencijalno delenje.***

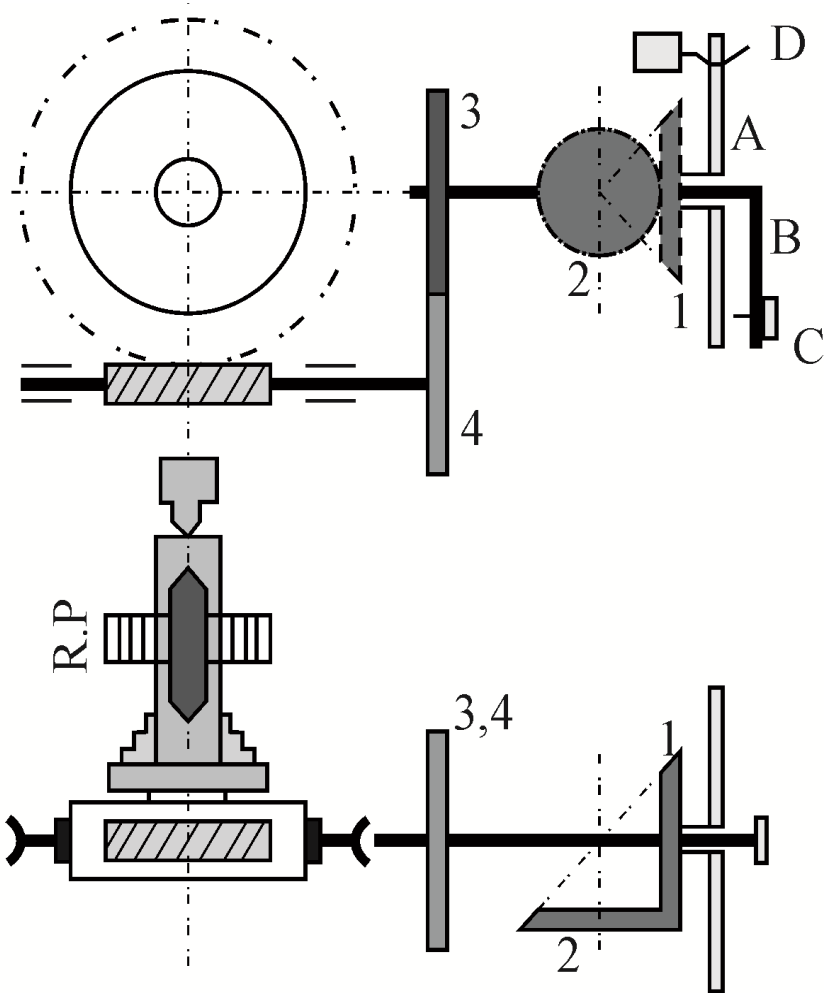
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

*Univerzalni podeoni aparat-**Posredno deljenje***

U ovom slučaju je glavni prenosni element pužni prenosnik, kod koga je osovina pužnog točka direktno vezana za *glavno vreteno podeonog aparata*.

Periodično okretanje glavnog vretena na kome se nalazi radni predmet (R.P.) se postiže okretanjem ručice (B) preko zupčanika (3 i 4) i pužnog prenosnika.

Da bi se dobio potreban broj podela (koji zavisi od broja zuba na radnom predmetu) okreće se ručica podeonog aparata u odnosu na podeonu ploču (A) za određeni broj rupa.



Univerzalni podeoni aparata pri posrednim deljenjem

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat-***Posredno deljenje***

Prenosni faktor pužnog prenosnika *k =1/Z* *predstavlja konstrukcionu karakteristiku podeonog aparata* i obično iznosi *k* = 1/40, 1/60 ili 1/80.

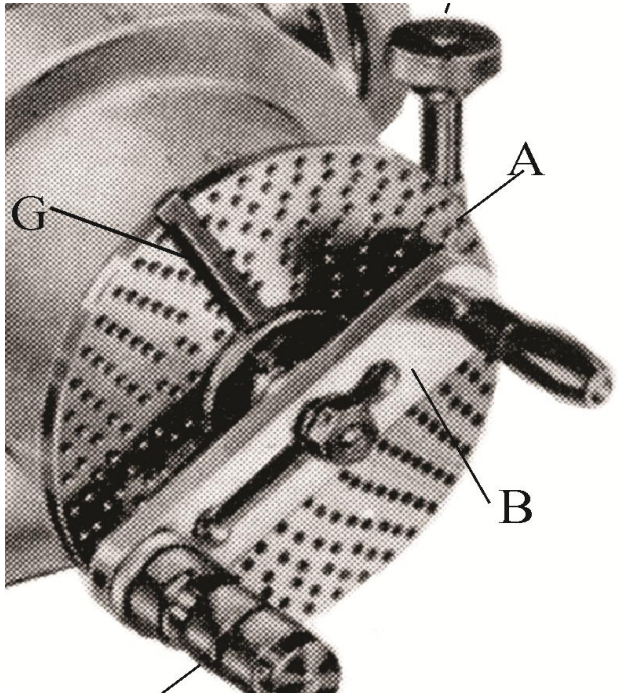
Podeona ploča ima nekoliko koncentrično raspoređenih kružnih redova sa tačno definisanim i jednako raspoređenim otvorima.

U praksi se najčešće sreću podeoni aparati sa tri podeone ploče *Brown i Sharpe* sa brojevima rupa:

- *Ploča 1:* 15, 16, 17, 18, 19 i 20
- *Ploča 2:* 21, 23, 27, 29, 31 i 33
- *Ploča 3*: 35, 37, 39, 41, 43, 47 i 49

ili dve podeone ploče *Parkinson* sa brojevima rupa:

- *Ploča 1:* 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 i 43
- *Ploča 2:* 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 i 66



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

*Univerzalni podeoni aparat-**Posredno deljenje***

Treba izraditi *Z'* podela, odnosno, zuba po obimu radnog predmeta,

k = *1/Z (*prenosni faktor pužnog točka), gde je *Z* broj zuba pužnog točka.

Ručicu podeonog aparata je potrebno okrenuti za:

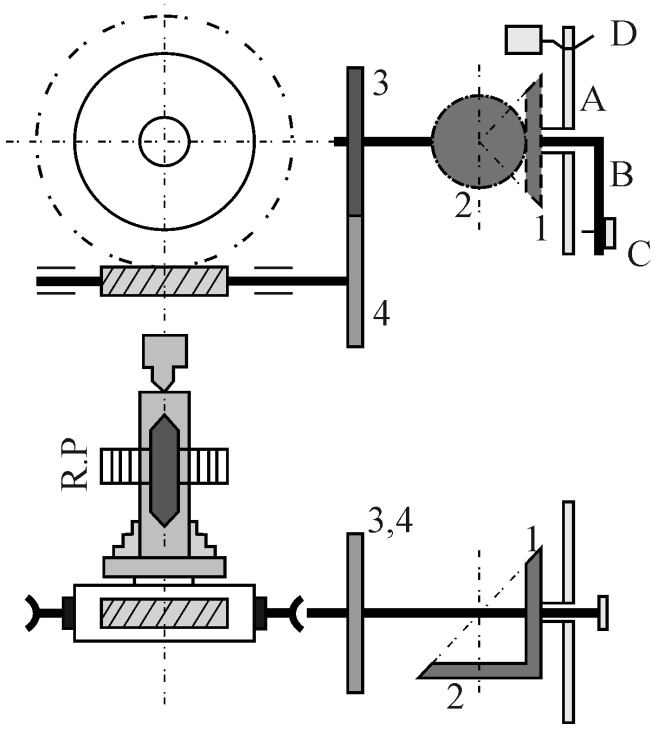
n = Z/Z' obrta

Na primer: Potrebno je izraditi zupčanik sa Z'=30 zuba, ako je prensoni faktor pužnog prenosnika 1/Z = 40. Broj obrta ručice podeonog aparata biće:

$$n = \frac{z}{z'} = \frac{40}{30} = 1\frac{1}{3}\ obrta;\ odnosno,\quad n = 1 + \frac{6}{18}$$

Ručicu B treba okrenuti za jedan pun krug i na krugu sa 18 podeoka na ploči, okrenuti za još 6 podeoka.

Radni predmet koji je povezan na glavno vreteno će se okrenuti za 1/30 deo kruga, odnosno za 12°.



Univerzalni podeoni aparata pri posrednim deljenjem

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat - ***Dvostruko deljenje***

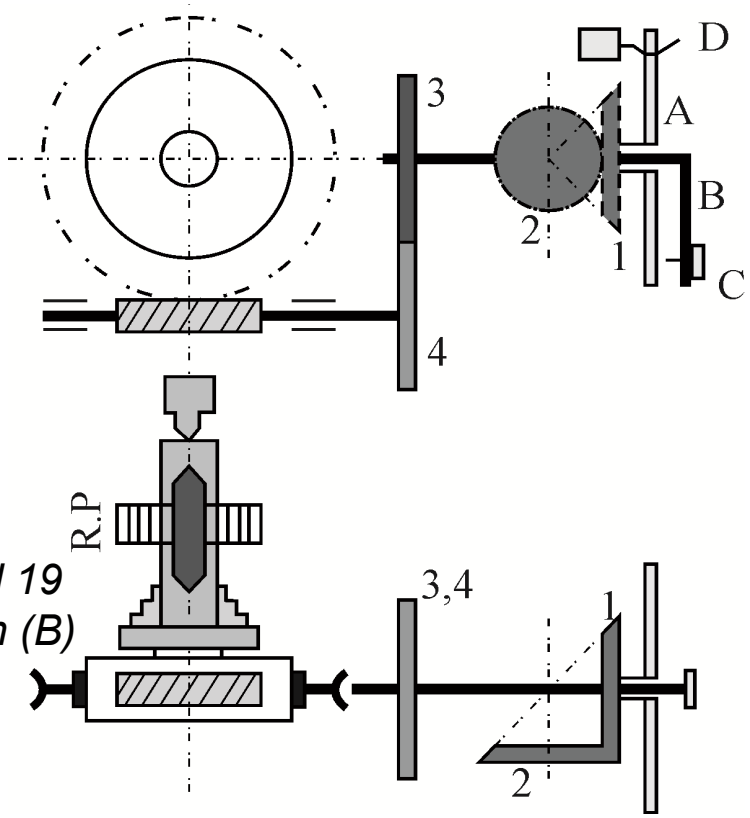
Ukoliko se deljenje ne može izvršiti sa jednom podeonom pločom, odnosno sa raspoloživim rupama jedne njene strane, primenjuje se *dvostruko deljenje*, pri čemu se upotrebljavaju istovremeno po jedan krug sa spoljašnje i sa unutrašnje strane podeone ploče.

Na primer za izradu z' = 57 zuba zupčanika sa prenosnim faktorom pužnog prenosnika 1/Z = 40 poreban broj obrta ručice podeonog aparata je:

$$n = \frac{z}{z'} = \frac{40}{57} = \frac{21}{57} + \frac{19}{57} = \frac{7}{19} + \frac{1}{3} = \frac{7}{19} + \frac{6}{18}$$

Ručicu B treba okrenuti za sedam podeljaka po krugu od 19 rupa npr. sa spolj. , a zatim okrenuti ploču (A) sa ručicom (B) za 6 podeljaka po krugu od 18 rupa sa unutr. strane.

Radni predmet koji je povezan na glavno vreteno će se okrenuti za 1/57 deo kruga, odnosno za 6,2°.



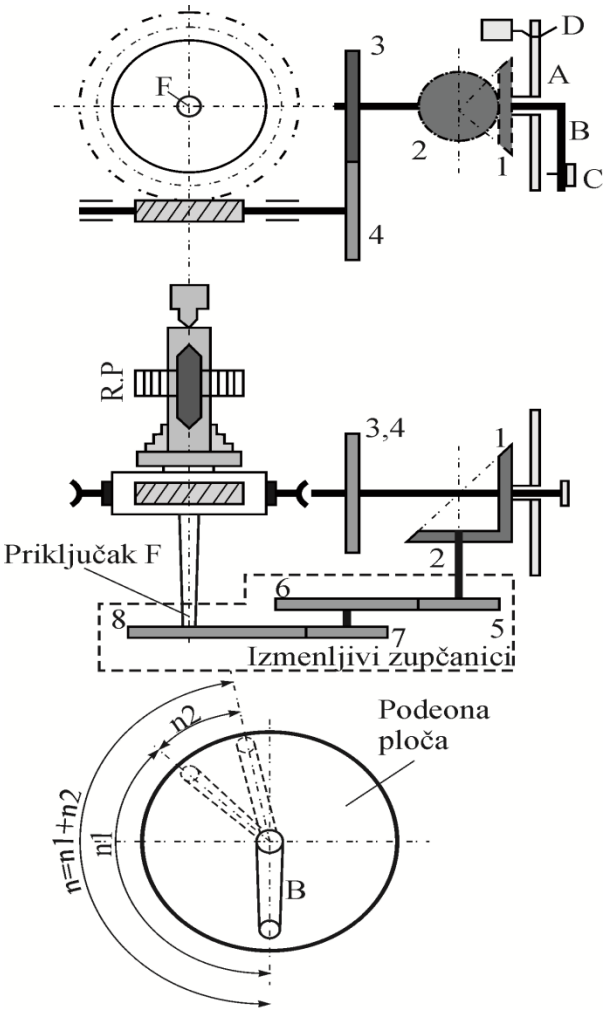
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat ***– Diferencijalno deljenje***

U slučajevim kada broj podela nije nedeljiv (npr. 13, 23, 127 itd) ne mogu se upotrebljavati prethodno prikazane metode, i tada se koristi ***metoda diferencijalnog deljenja.***

Traženo obrtanje radnog predmeta se dobija kao suma dva kretanja (obrtanja):

- obrtanja ručice u odnosu na podeonu ploču i,
- obrtanja podeone ploče koje se pokreće sa glavnog vretena preko izmenjlivih zupčanika (z_5 - z_8) da bi se obezbedila korekcija kretanja (obrtanja).



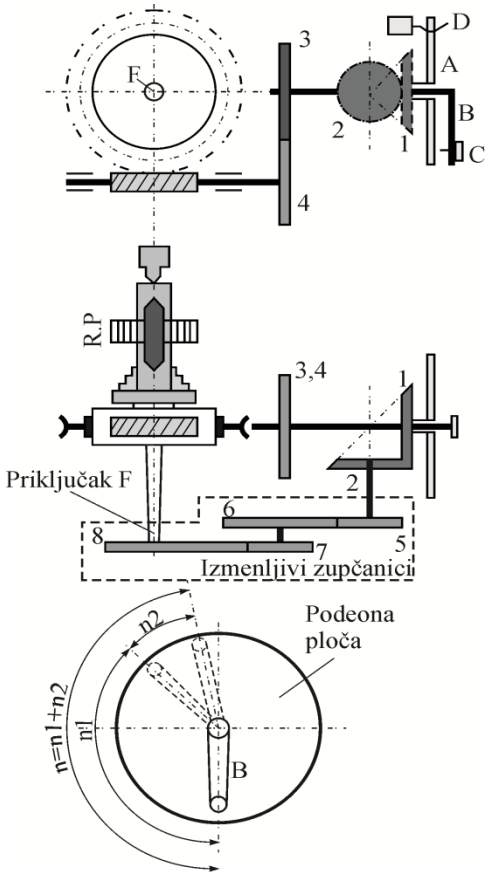
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat – ***Diferencijalno deljenje***

Pri izradi *Z'* zuba, pri čemu je *Z'* nedeljiv broj, usvaja se umesto nedeljivog broja *Z'* neki drugi, deljiv broj *Z''* kao pomoćni.

Za novi broj *Z''* određuje se potreban broj obrtaja ručice podeonog aparata (n_1) u odnosu na podeonu ploču kao kada bi ona bila nepokretna i tada je:

$$n_1 = \frac{z}{z''}$$



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

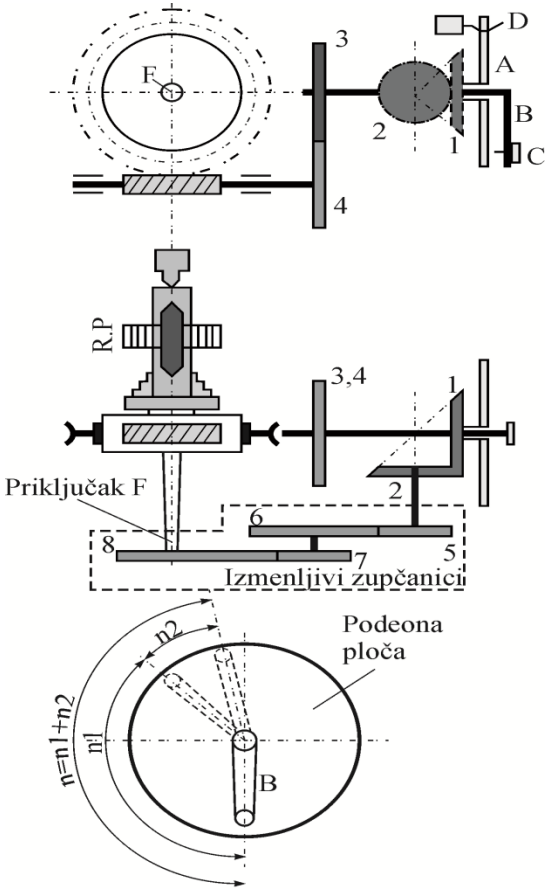
Univerzalni podeoni aparat – ***Diferencijalno deljenje***

Pošto je usvajanjem broja *Z''* napravljena greška, to se mora dopunskim obrtanjem podeone ploče izvršti korekcija iste.

Dopunsko obrtanje podeone ploče je:

$$n_2 = \frac{k}{z'}$$

gde je *k* –prenosni faktor zupčanika između glavnog vretena podeonog aparata i podeone ploče, pri čemu je $k = k_1 k_2$, gde je k_1 –prenosni faktor izmenljivih zupčanika (*a/b i c/d*), a k_2 – prenosni faktor ostalih zupčanika u podeonom aparatu do podeone ploče.



Oba pojedinačna kretanja (n_1 i n_2) treba da budu jednaka obrtanju ručice podeonog aparata (n) u odnosu na nepokretnu podeonu ploču to je:

$$n = n_1 + n_2 = \frac{z}{z''} + \frac{k}{z'} = \frac{z}{z'} \Rightarrow \frac{k}{z'} = \frac{z}{z'} - \frac{z}{z''},\ ili\ \ k = \frac{z(z''-z')}{z''} \Rightarrow k_1 = \frac{z(z''-z')}{z''}$$

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat ***– Diferencijalno deljenje***

Na primer, potrebno je izraditi zupčanik sa z'=37 zuba, sa prenosnim faktorom pužnog prenosnika 1/Z = 60.
Potreban broj obrta ručice podeonog aparata, ako se kao pomoćni deljiv broj usvoji z''=34 je:

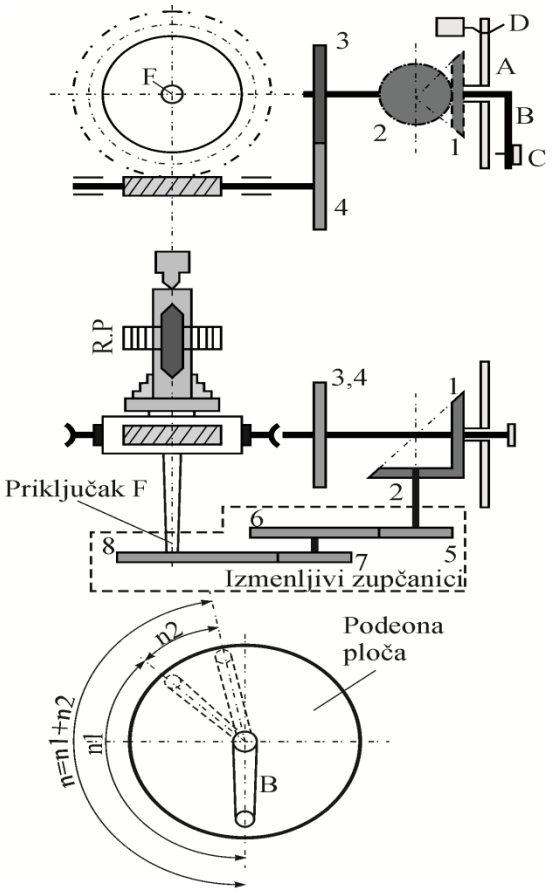
$$n_1 = \frac{z}{z''} = \frac{60}{34} = \frac{30}{17} = 1 + \frac{13}{17}$$

a prenosni faktor izmenljivih zupčanika je:

$$k_1 = \frac{z_5}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_8} = \frac{z(z''-z')}{z''} = \frac{60(34-37)}{34} = -\frac{60}{34} \cdot 3 = -\frac{60}{34} \cdot \frac{81}{27}$$

Ručicu B se okreće u odnosu na podeonu ploču podeonog aparata za1 ceo obrt i još za 13 podeljaka po krugu od 17 rupa na podeonoj ploči .

Za ovo vreme podeona ploča se obrćre te će stvarno obrtanje ručice podeonog aparata odgovarati i jednom i drugom kretanju postavljanjem izmenljivih zupčanika z_5 = 60; z_6 = 34; z_7 =81 i z_8 = 27

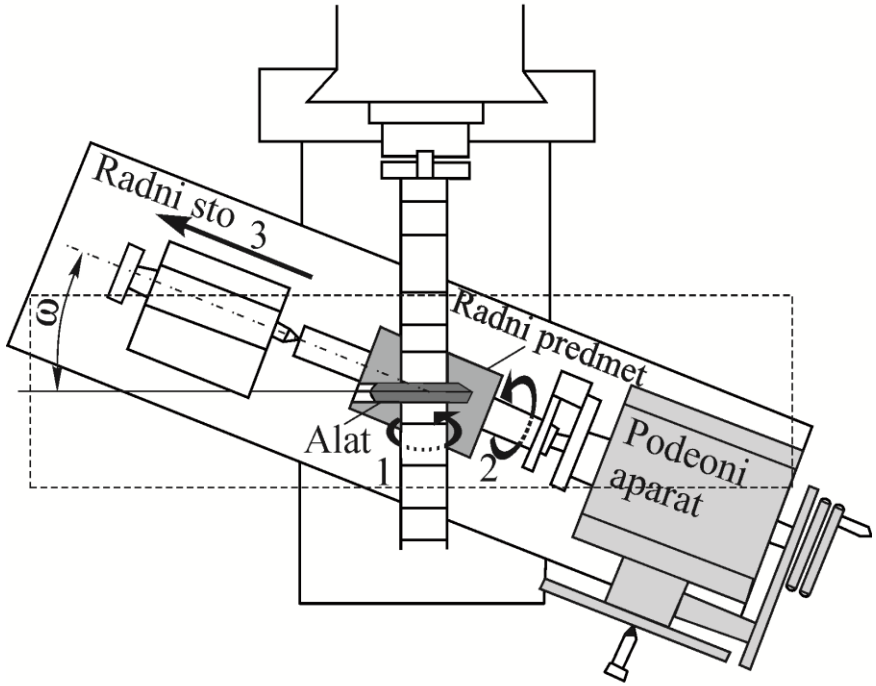


4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat ***– Izrada zavojnih žljebova***

Obrtno (2) i pravolinijsko kretanje radnog predmeta (3) moraju da imaju tačnu međusobnu zavisnosti.

Obrtno kretanje (2) ostvaruje se na glodalici posredstvom podeonog aparata, a pravolinijsko kretanje (3) uzdužnim kretanjem klizača preko zavojnog vretena radnog stola glodalice.



Položaj alata u odnosu na radni sto mašine pri izradi zavojnice

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat ***– Izrada zavojnih žljebova***

Zavojno vreteno radnog stola mora istovremeno da obezbedi pravolinijsko kretanje i obrtno kretanje radnog predmeta.

Karakteristične veličine pri izradi zavojnog žleba:

z – broj zuba pužnog točka na podeonom aparatu,

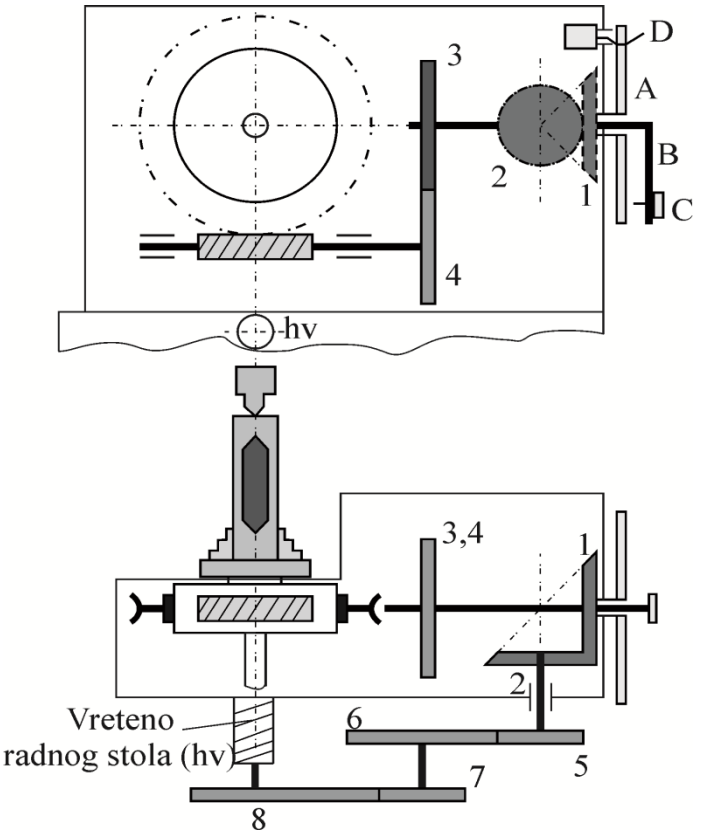
h_v – korak zavojnog vretena stola glodalice,

d – prečnik na kome se radi zavojni žleb,

H – korak zavojnog žleba koji se izrađuje čije se usaglašavanje ostvaruje pomoću prenosnog faktora K_1 izmenljive grupe zupčanika, prema: $K1=h_v z/H$.

$n_s = H/h_v$ – potrebni broj obrta zavojnog vretena za jedan hod zavojnice žljeba.

$K_2 = 1/z$ – konstanta podeone glave (prenosni faktor pužnog para).



Univerzalni podeoni aparata pri izradi zavonjice

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Univerzalni podeoni aparat **– *Izrada zavojnih žljebova***

Broj obrta zavojnog vretena koji je potreban da bi se radni predmet aksijalno pomerio za korak zavojnice se određuje kao:

$$n_s \cdot h_v = n_{r.p} \cdot H \,;\; za \; n_{r.p} = 1$$

$$n_s = \frac{H}{h_v}$$

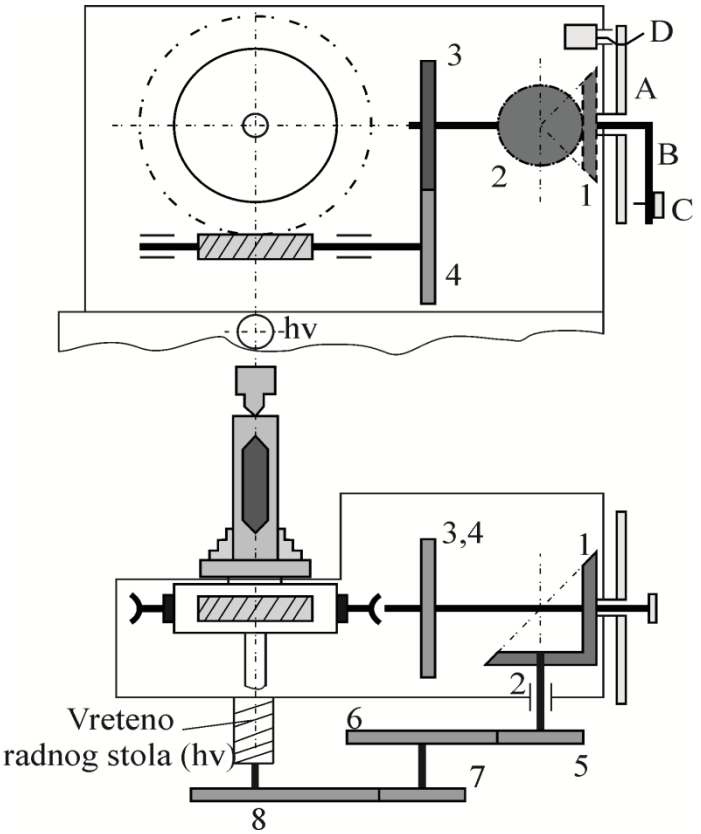
Kinemtski lanac između zavojnog vretena i podeone ploče:

$$n_s \cdot \frac{z_8}{z_7} \cdot \frac{z_6}{z_5} \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{1}{z} = \frac{H}{h_v} \cdot \frac{z_8}{z_7} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{1}{z} = 1; \quad \frac{z_2}{z_1} = \frac{z_3}{z_4} = 1$$

$$\boxed{\frac{z_8}{z_7} \cdot \frac{z_6}{z_5} = \frac{z \cdot h_v}{H}}$$

Potreban broj obrta ručice podeone ploče da bi se izradila zavojnica sa *i* početka

$$n_r = \frac{z}{i} = \frac{broj\ zuba\ \ puža}{broj\ \ početaka\ zavojnice}$$



Univerzalni podeoni aparata pri izradi zavonjice

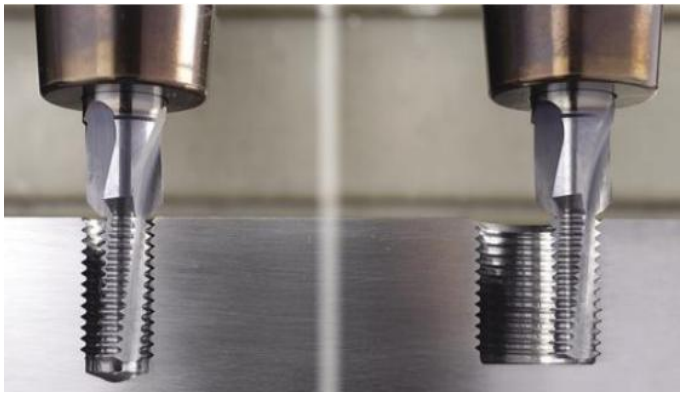
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

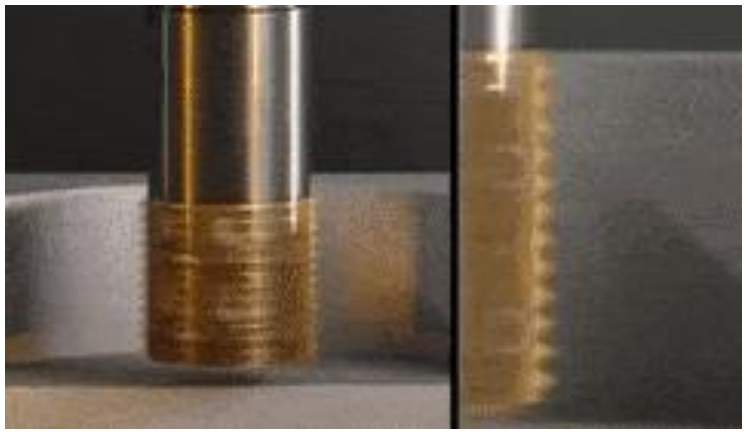
Izrada zavojnica (navoja) na glodalici

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

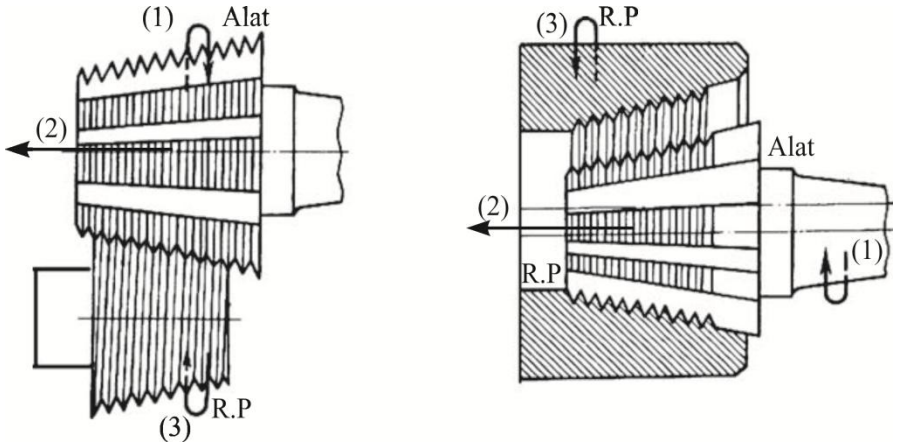
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

*Izrada zavojnica (navoja) na glodalici – **Kratkohodne zavojnice***

Alat za zavojnice manjeg koraka ima paraleleno profilisane žljebove umesto zavojnih žljebova.

Alat (1) **- glavno obrtno kretanje i aksijalno pomoćno kretanje** (2)

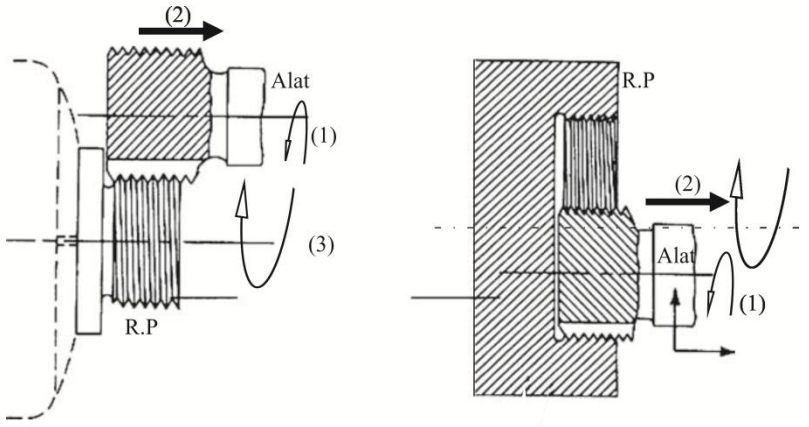
Radni predmet - **pomoćno obrtno kretanje** (3),.



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

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

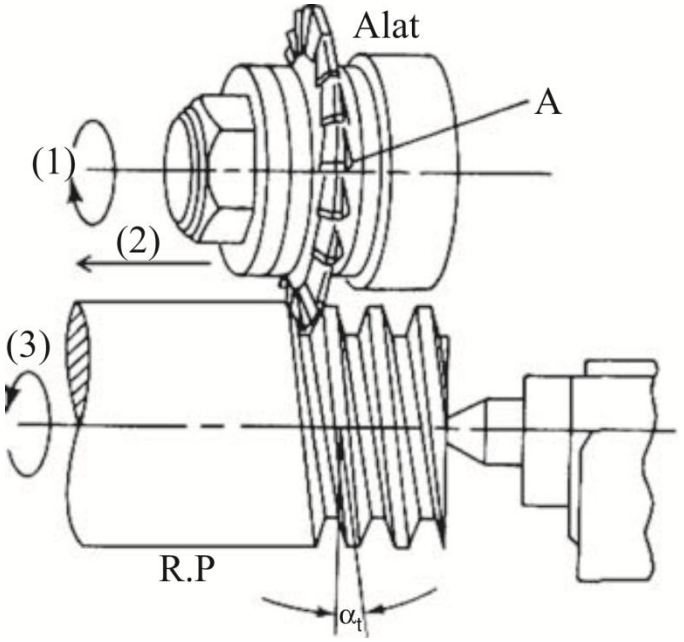
*Izrada zavojnica (navoja) na glodalici – **Dugohodne zavojnice***

Dugohodne zavojnice, odnosno zavojnice velikog koraka izrađuju se na univerzalnoj glodalici pomoću podeonog aparata.

Kao alat za izradu dugohodnih zavojnica koristi se specijalno koturasto glodalo.

Alat - glavnog obrtnog kretanja (1) i aksijalno pomoćno kretanje (2)

Radni predmet - obrtno pomoćno kretanje



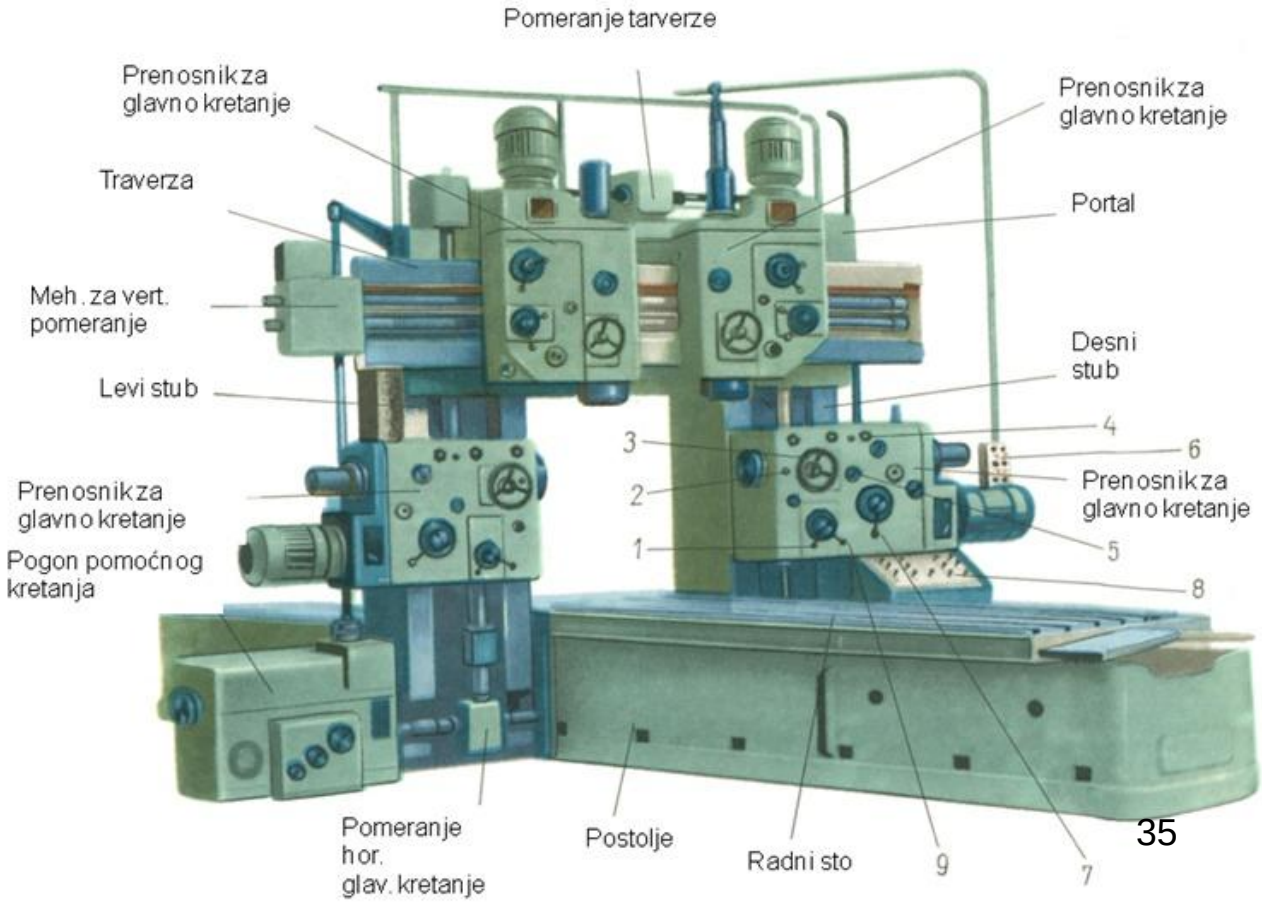
Izrada dugogodnih zavojnica koturastim glodalom

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura dugohodnih (portalnih) glodalica

Namenjene su za obradu horizontalnih, vertikalnih i kosih površina na teškim radnim predmetima.

Kod svih ovih glodalica radni sto sa ***obratkom izvodi uzdužno pomoćno kretanje putem zupčanika i zupčaste letve ili puža i pužne letve.***



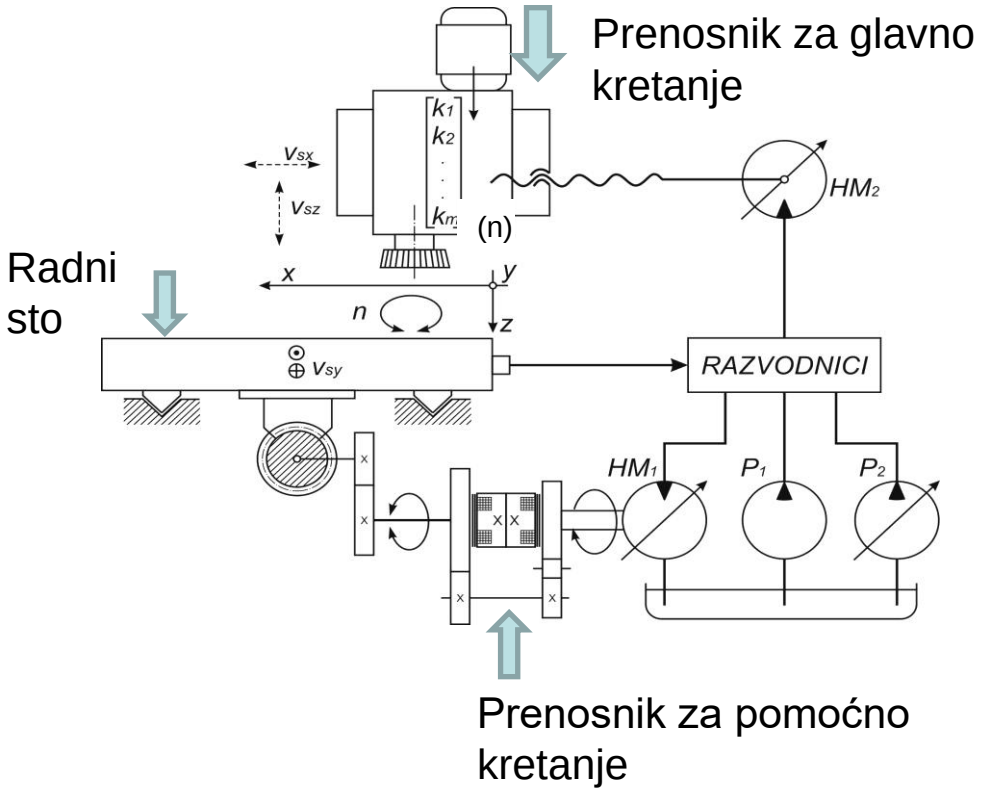
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura dugohodnih (portalnih) glodalica – ***Glavno kretanje***

Glavno kretanje se ostvaruje preko elektromotora i prenosnika za glavno kretanje prikaznog matricom (*n)*.

Za potrebne brzine rezanja ($v_1=D_a\pi n_1$, $v_2= D_a\pi n_2 \ldots v_{m=} D_a\pi n_m$) broj obrtaja glavnog vretena se određuje kao:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_n = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_n ; \left[o/\min\right]$$



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura dugohodnih (portalnih) glodalica – ***Pomoćno kretanje***

Prenosnik za pomoćno kretanje je hidraulični i sastoji se od pumpi P_1 i P_2 i hidromotorra HM_1 i HM_2.

Pomoćno kretanje je mehaničko za *X* i *Y* prvace, dok je u pravcu *Z* ose ručno.

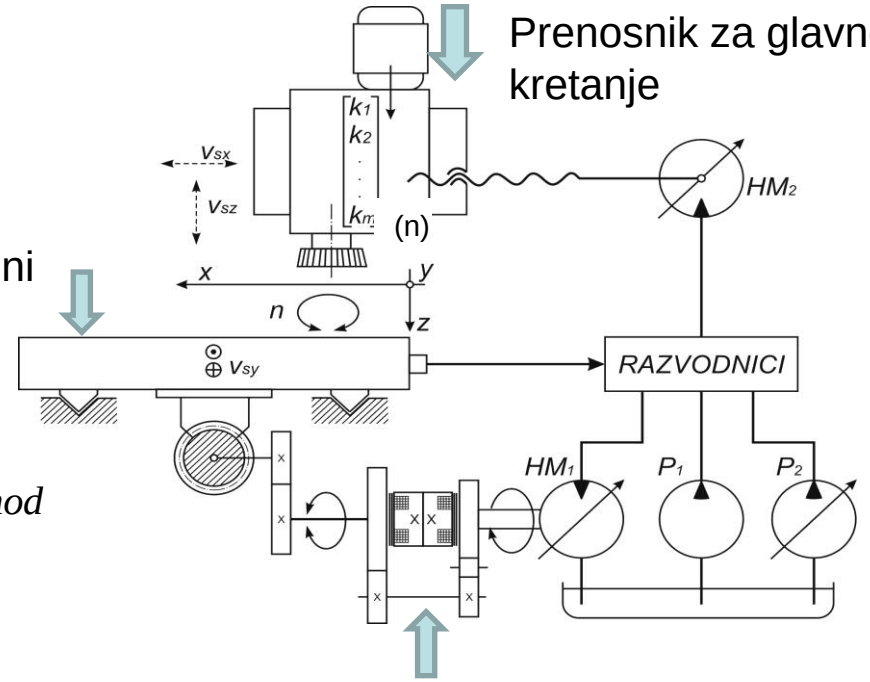
Pomoćnog kretanja u X pravcu:

$$v_{sx} = n_{HM_2} \cdot h_x ; \left[m/\min \right]$$

Pomoćnog kretanja u Y pravcu:

$$v_{sy} = n_{HM1} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot H ; \ \left[m/\min \right]; \ za \ radni \ hod$$

$$v_{sy} = n_{HM1} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot H ; \left[m/\min \right]; \ za \ povratni \ hod$$



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

Razlika između CNC glodalice i obradnog centra postoji, ali se nazivi u praksi često preklapaju. Prema definiciji iz ISO 10791-7, obradni centar je numerički upravljana mašina koja izvodi više vrsta obrade, uključujući glodanje, bušenje, obradu otvora i urezivanje navoja, uz automatsku izmenu alata iz magacina ili sličnog spremišta prema programu.

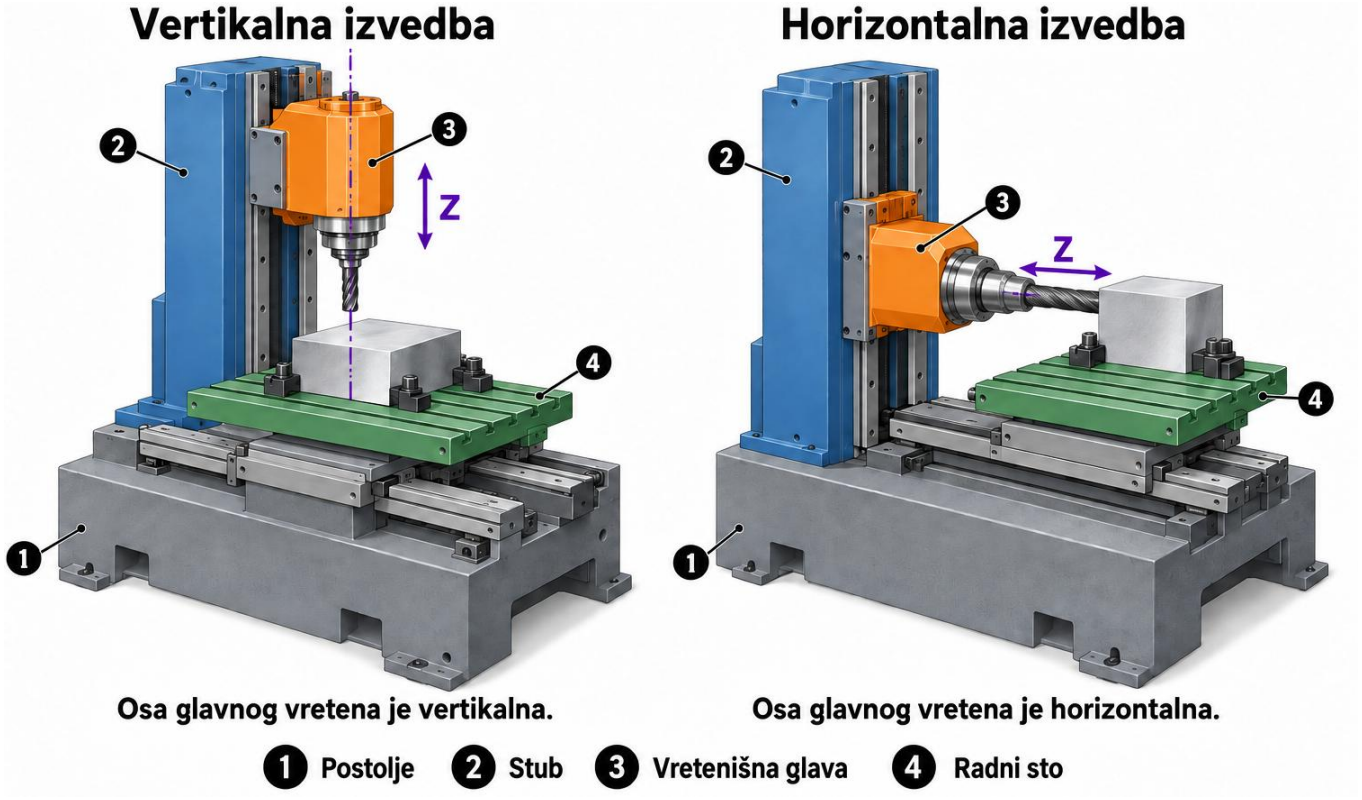
Obeležje	CNC glodalica	Obradni centar
Numeričko upravljanje	Da	Da
Glodanje i druge obrade odgovarajućim alatima	Moguće	Predviđeno za programski sled više obrada
Automatska izmena alata iz magacina	Nije nužan uslov naziva	Osnovno obeležje
Broj upravljanih osa	Zavisi od izvedbe	Zavisi od izvedbe; može imati i samo tri ose

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

CNC glodalice razvrstavaju se prema položaju glavnog vretena, konstrukcionoj koncepciji i broju numerički upravljanih osa.

Prema položaju glavnog vretena razlikuju se vertikalne i horizontalne glodalice.

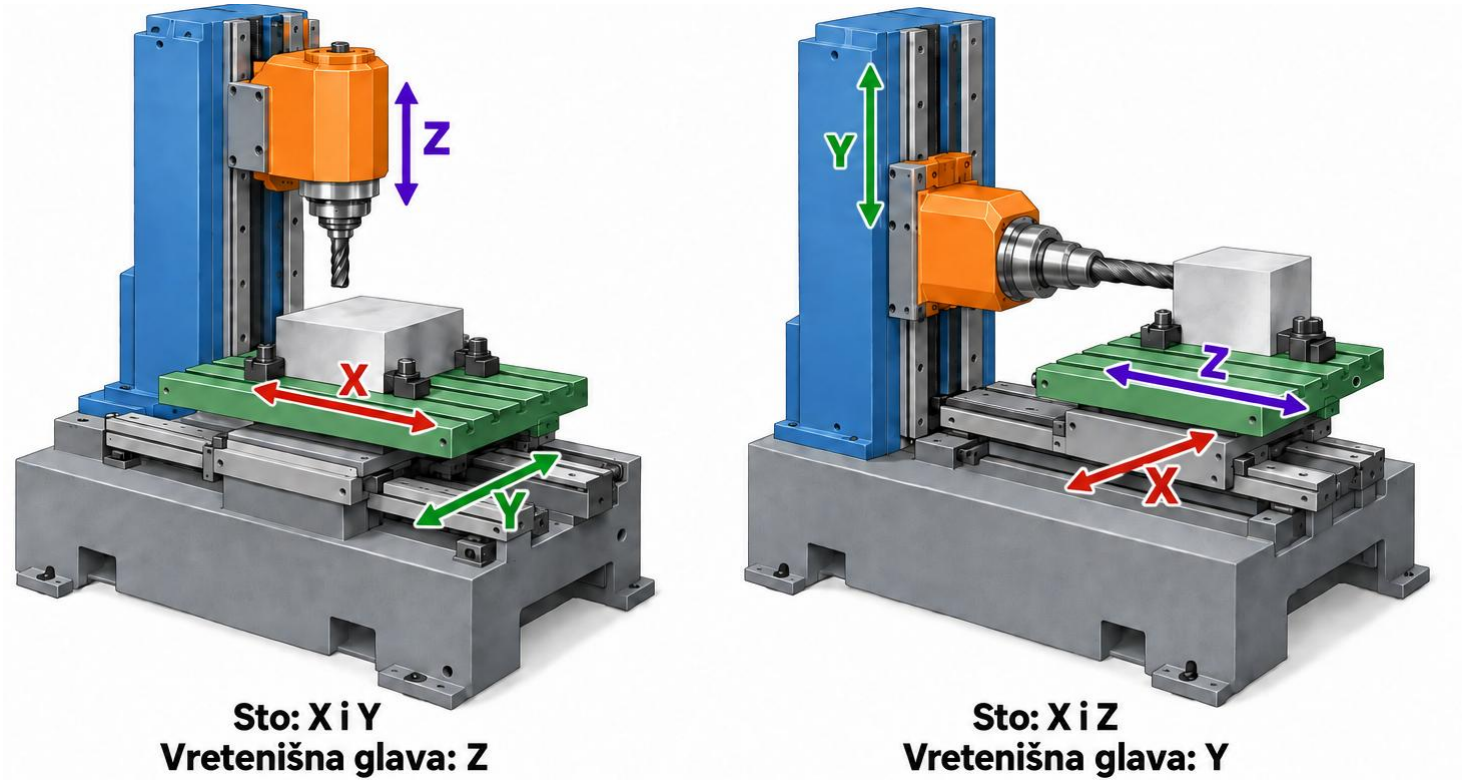


4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

Za razumevanje kinematskih i tehnoloških mogućnosti CNC glodalica posebno je značajna podela prema broju i rasporedu upravljanih osa. Upravljana osa predstavlja pravolinijsko ili obrtno kretanje radnog organa mašine čiji se položaj i kretanje određuju numeričkim upravljanjem.

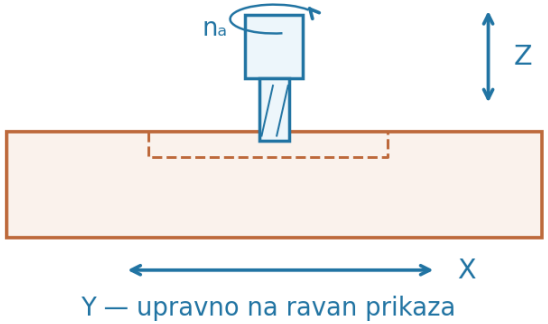
Osnovnu konfiguraciju čine tri linearne ose — X, Y i Z.



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

1. Troosna obrada



Primer: glodanje džepa na horizontalnoj površini

X i Y — kretanje i obrada konture džepa.
Z — kretanje alata i obrada po dubini.
Orijentacija alata prema obratku ostaje stalna.

X, Y i Z menjaju relativni položaj.

Osa alata zadržava orijentaciju.

Moguće su ravne i prostorno zakrivljene površine.

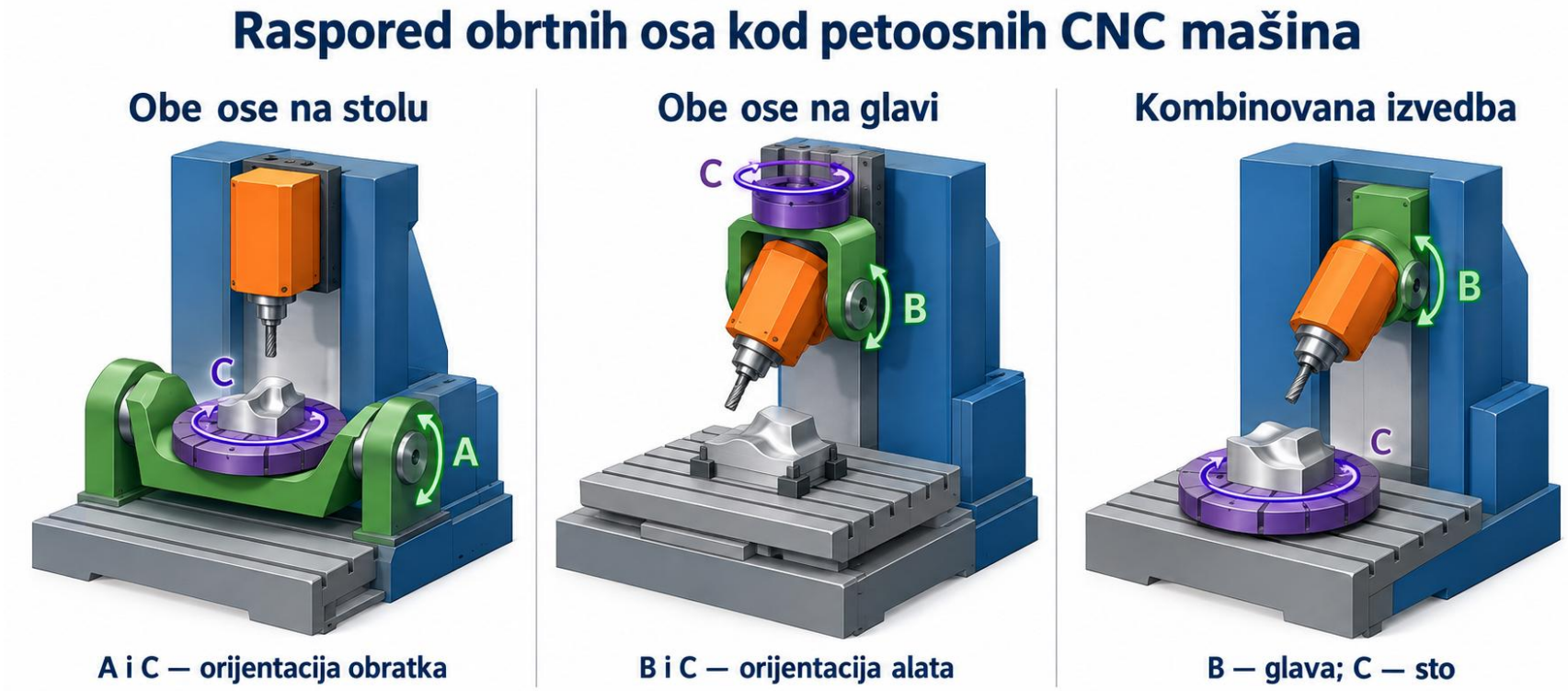
Pristup bočnim površinama može zahtevati novo stezanje.

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

Dodavanjem jedne ili dve obrtne ose ostvaruju se četvoroosne i petoosne konfiguracije. Obrtne ose mogu biti izvedene na radnom stolu, vretenišnoj glavi ili kombinovano.

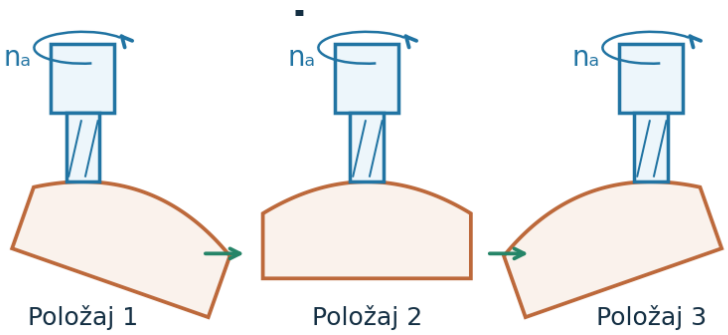
Linearne ose određuju **relativni položaj alata i obratka**, a dodatne obrtne ose ***omogućavaju promenu njihove međusobne orijentacije***.



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

2. Petosna obrada



Primer: glodanje zakrivljene prostorne površine

X, Y, Z i obrtne ose — koordinisano kretanje.
Položaj i orijentacija menjaju se tokom rezanja.
Prikazani su uzastopni položaji obratka i alata.

Linearne i rotacione ose sinhronizovane prate putanju.

Smer alata može se menjati tokom rezanja.

Primeri: složene površine.

Mogućnost zavisi od mašine, CAM-a i upravljanja.

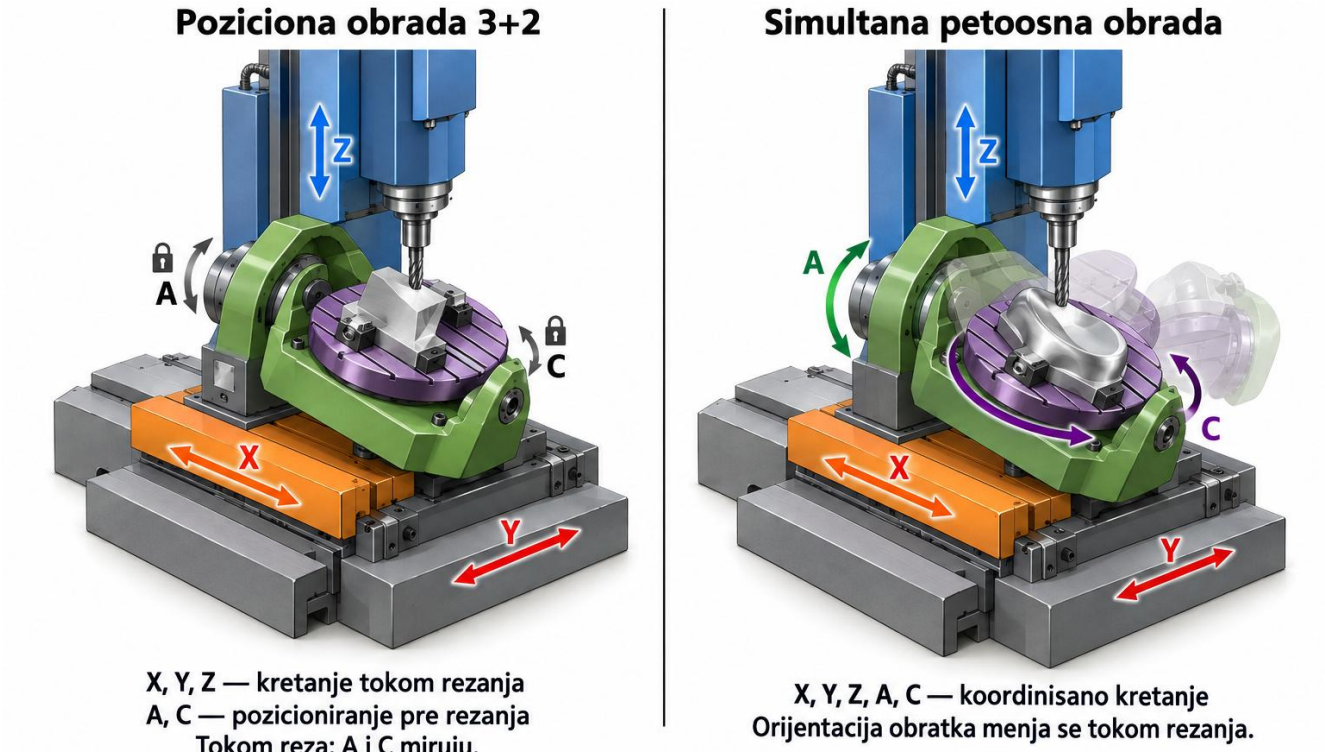
4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

Potrebno je razlikovati ukupan broj upravljanih osa od broja osa koje mogu istovremeno učestvovati u interpoliranom kretanju.

Kod obrade u režimu 3+2 dve obrtne ose postavljaju alat ili obradak u željeni ugaoni položaj, nakon čega se obrada izvodi kretanjem po tri linearne ose.

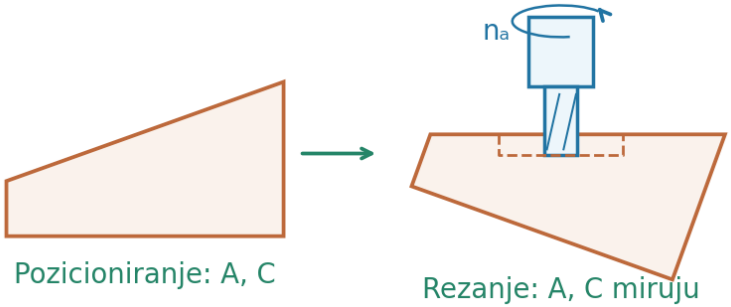
Kod simultane petoosne obrade moguće je koordinisano kretanje svih pet osa tokom rezanja.



4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

3. Poziciona obrada 3+2



Primer: džep na nagnutoj ravnoj površini

A i C — postavljanje orijentacije pre rezanja.
X, Y i Z — kretanje i obrada nakon pozicioniranja
Tokom reza obrtne ose zadržavaju svoj položaj.

Rotacione ose postavljaju orijentaciju za zahvat.

Tokom zahvata njihov položaj ostaje stalan.

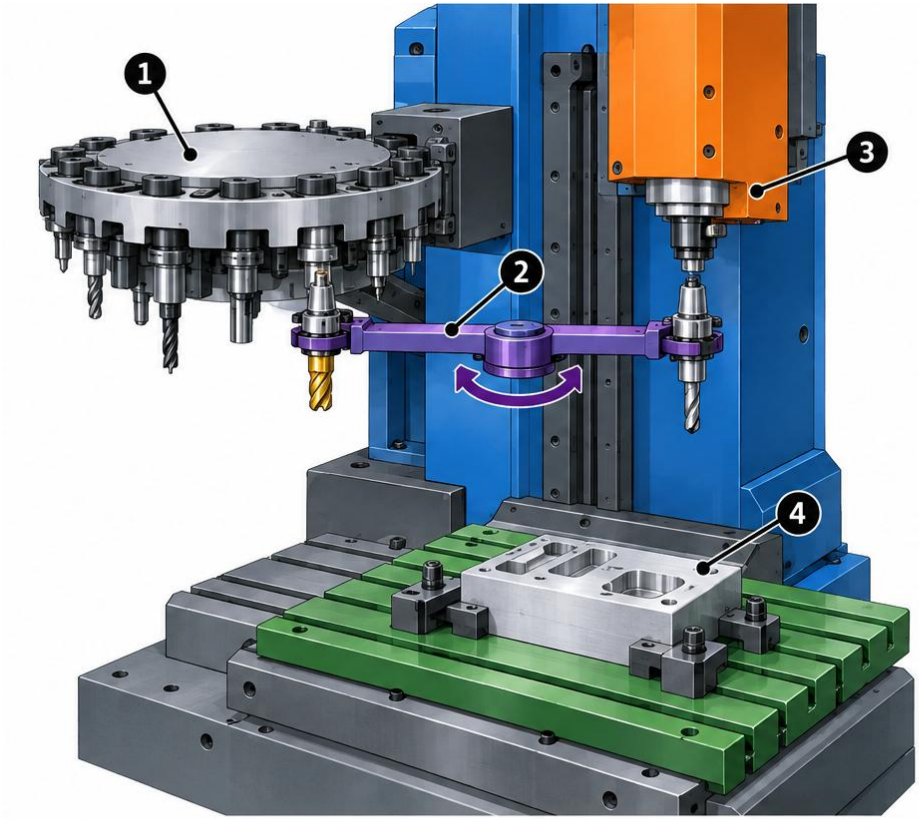
Rezanje izvode linearne ose.

Nova orijentacija omogućava sledeću površinu.

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

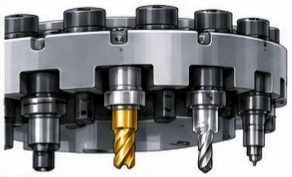
Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

Obrada jednog radnog komada često zahteva primenu više različitih alata. Zbog toga se obradni centri opremaju magacinom i sistemom automatske izmene alata, koji omogućavaju prelazak sa jednog zahvata na drugi bez ručne zamene alata.



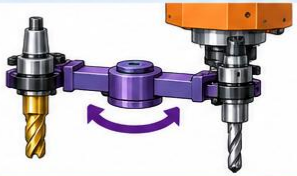
1 Magacin alata 2 Izmenjivač alata 3 Glavno vreteno 4 Obradak

1. Priprema alata



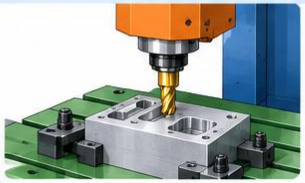
Magacin dovodi sledeći alat na mesto izmene.

2. Automatska izmena



Prethodni alat vraća se u magacin, a novi postavlja u vreteno.

3. Nastavak obrade



Obrada se nastavlja novim alatom prema programu.

Primer sleda: glodanje → bušenje → urezivanje navoja

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

Kinematska struktura CNC glodalica i obradnih centara

U odnosu na ručno upravljane glodalice, CNC glodalice pružaju sledeće mogućnosti i prednosti:

- veću produktivnost zahvaljujući automatizaciji radnog ciklusa, skraćenju pomoćnih vremena i programskom zadavanju režima obrade;
- visoku ponovljivost i mogućnost postizanja zahtevane tačnosti i kvaliteta obrađene površine;
- obradu složenih kontura i prostornih površina koordinisanim kretanjem više osa;
- veću fleksibilnost pri prelasku na drugi obradak, promenom programa i odgovarajućom pripremom alata i pribora;
- smanjenje potrebe za neposrednim ručnim upravljanjem tokom obrade.

Ostvarivanje ovih prednosti zavisi od konstrukcije i stanja mašine, izbora alata, stezanja obratka, režima obrade i kvaliteta programa.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

4.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Sadržaj

4.0. KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.1 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju rotacionih površina

4.2 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju ravnih površina

4.3 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju složenih – profilnih površina

KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.2 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju ravnih površina

4.2.1 Kinematska struktura glodalica

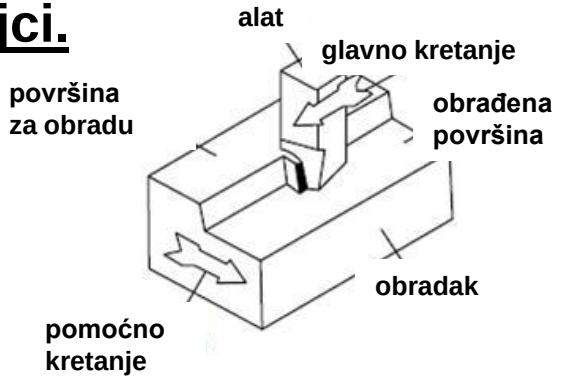
4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

Mašine za obradu rendisanjem

Služe za obradu ravnih površina jednosečnim alatom. Obrada rendisanjem izvodi se na mašinama alatkama kod kojih je glavno kretanje pravolinijsko.

U zavisnosti da li alat ili radni predmet izvodi glavno kretanje, razlikuje se obrada na **kratkohodnoj ili dugohodnoj rendisaljci.**



Kratkohodna rendisaljka (dužina hoda≈1000 mm)

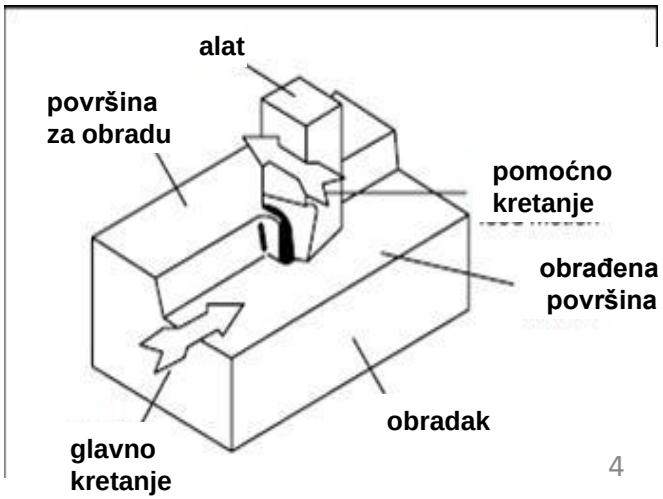
Alat – glavno pravolinijsko kretanje

Radni premet – pomoćno periodično kretanje

Dugohodna rendisaljka (dužina hoda >1000 mm)

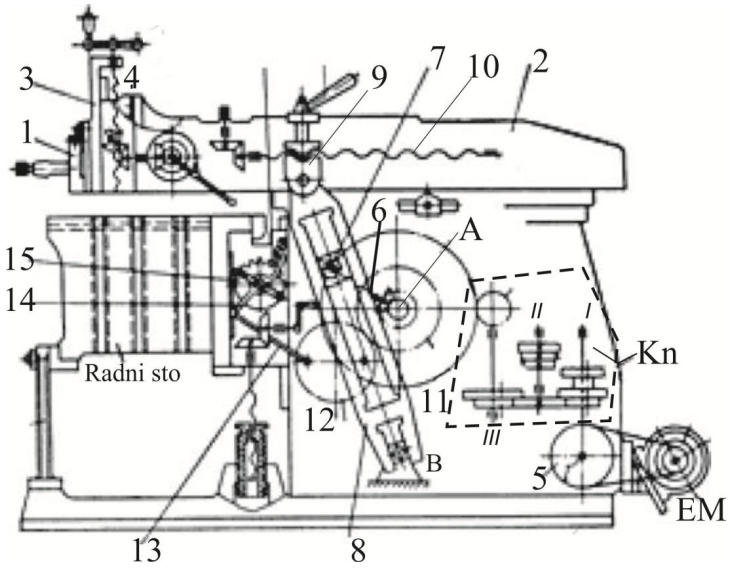
Radni premet– glavno pravolinijsko kretanje

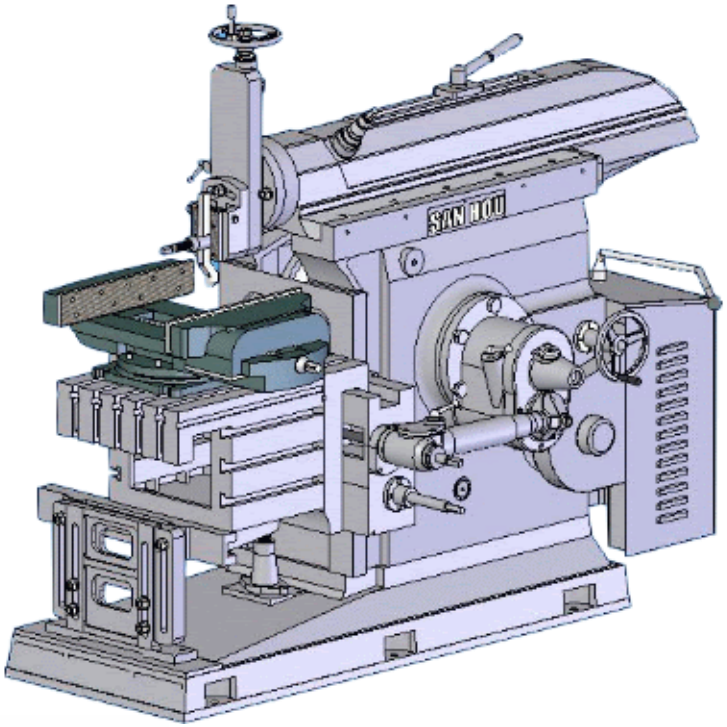
Alat– pomoćno periodično kretanje

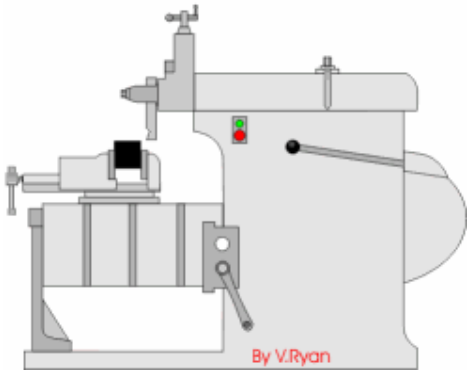


4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

Mašine za obradu rendisanjem- ***Kratkohodne rendisaljke***







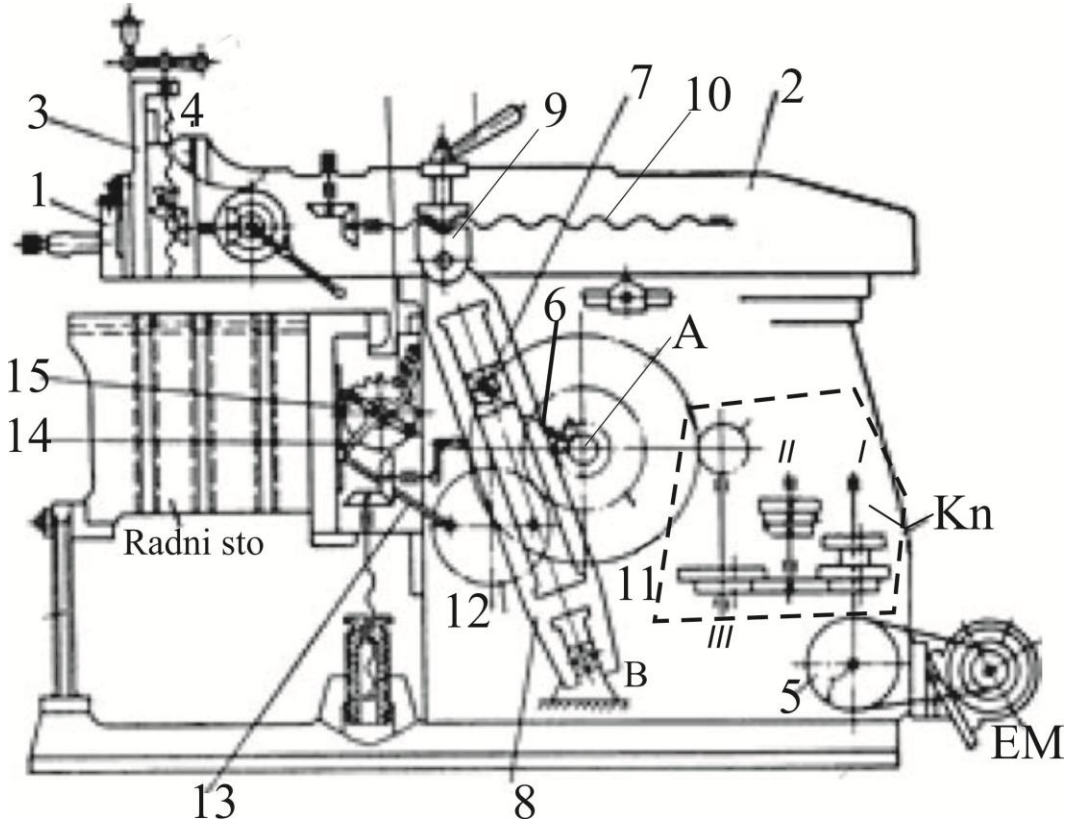
4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

Mašine za obradu rendisanjem- ***Kratkohodne rendisaljke***

Kod kratkohodne rendisaljke alat izvod glavno kretanje.

Kinematsku strukturu čini prenosnik za glavno i pomoćno kretanje.

Prenosnik za glavno kretanje je najčešće u vidu kulisnog mehanizma ili je hidraulični.



Kinematska struktura horizontalne kratkohodne rendisaljke

1 – Alat
2 – Nosač alata
3 – Držač alata
4 – Zavojno vreteno
5 – Remeni prenosnik
6 – Krivajni mehanizam
7 – Klizač
8 – Kulisno klatno
9 – Poluga
10 – Navrtka sa zavojnim vretenom
11 , 12 - Zupčanici
13 – Oscilujuća poluga
14 – Dvokraka poluga
15 – Ozubljeni točak
Kn – Prenosnik za glavno kretanje

Mašine za obradu rendisanjem- Kratkohodne rendisaljke ***– Glavno kretanje***

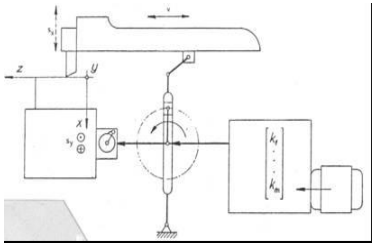
KINEMATIKA RENDISALJKI-Glavno kretanje

Krivajni mehanizam treba da obezbedi automatski prelaz iz radnog u povratni hod i obrnuto. Različiti brojevi obrtaja za potrebne brzine rezanja

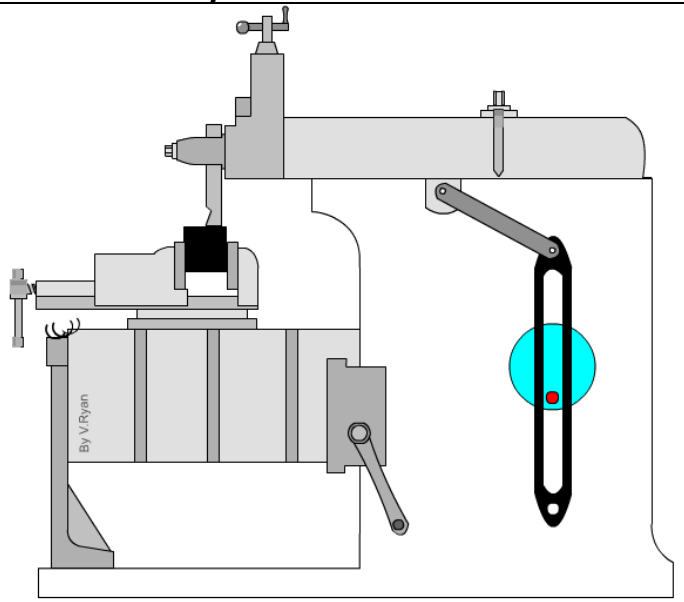
$$v = 2Ln_L, \ [m/min];$$

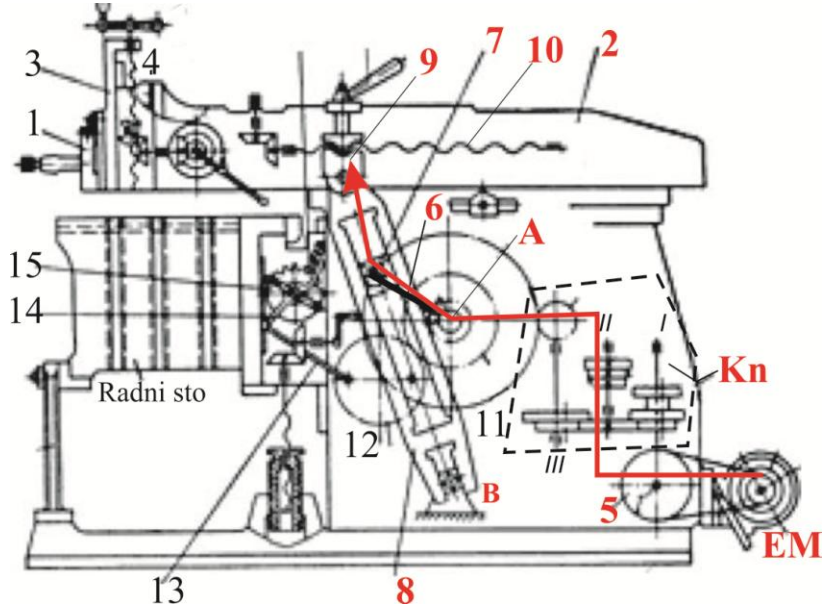
gde je $L=2r$, r – poluprečnik krivajnog mehanizma, a $n_L = n$ – broj duplih hodova se dobijaju preko kinematskog lanca kao:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ . \\ n_m \end{bmatrix}_L = n_o \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ k_m \end{bmatrix}; \ [dh/\min]$$



Obrtno kretanje glavnog pogonsko vratila (A) se pretvara u pravolinijsko kretanje nosača alata ***posredstvom krivajnog mehanizma***



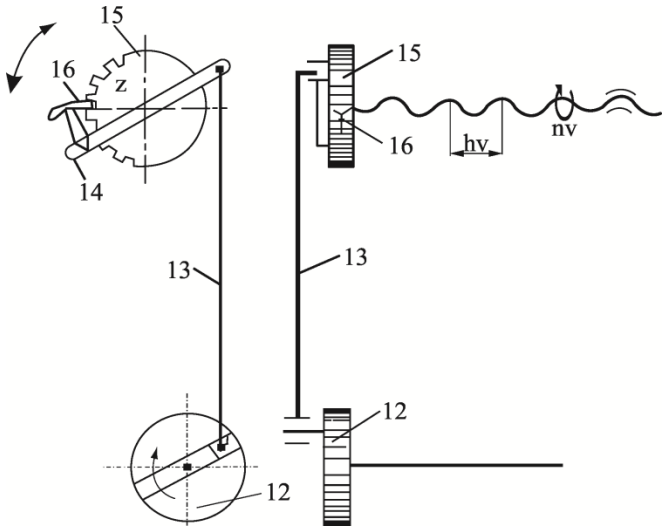


4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

Mašine za obradu rendisanjem- Kratkohodne rendisaljke – ***Pomoćno kretanje***

Pomoćno kretanje se odvodi sa glavnog pogonskog vratila (A) koje ima isti broj obrtaja kao što je i broj duplih hodova nosača alata.

Skakavica (16) se pomera u jednom ili drugom smeru za neki ugao koji zavisi od geometrijskih odnosa poluga koji su stalni i od ekcentričnosti klizača koji se može menjati.

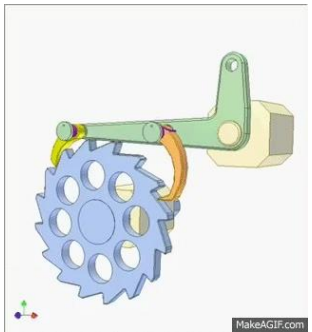


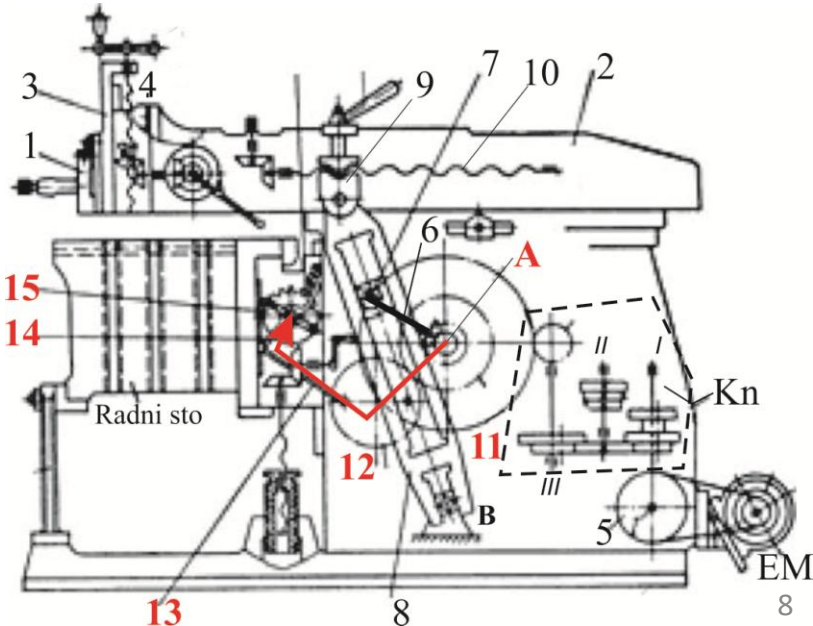
Pomoćno kretanje se dobija iz kinematskog lanca kao:

$$s_y = n_y \cdot h_y; \quad \frac{z}{360} = \frac{z'}{360},\ i\ \frac{n_y}{s_y} = \frac{360}{h_y}$$

$$n_y = \frac{z'}{z} \cdot 360,\ odnosno,\ s_y = \frac{n_y}{360} \cdot h_y = \frac{h_y}{360} \cdot \frac{z'}{z} \cdot 360$$

$$s_y = \frac{z'}{z} \cdot h_y$$





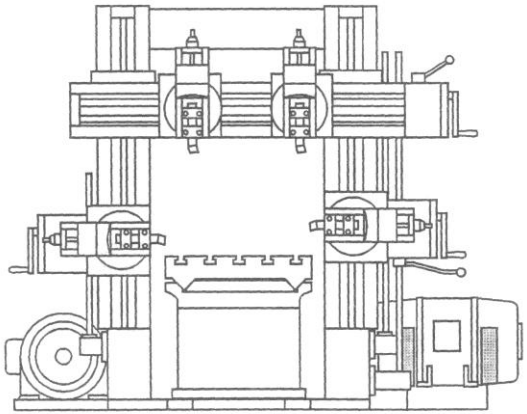
4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

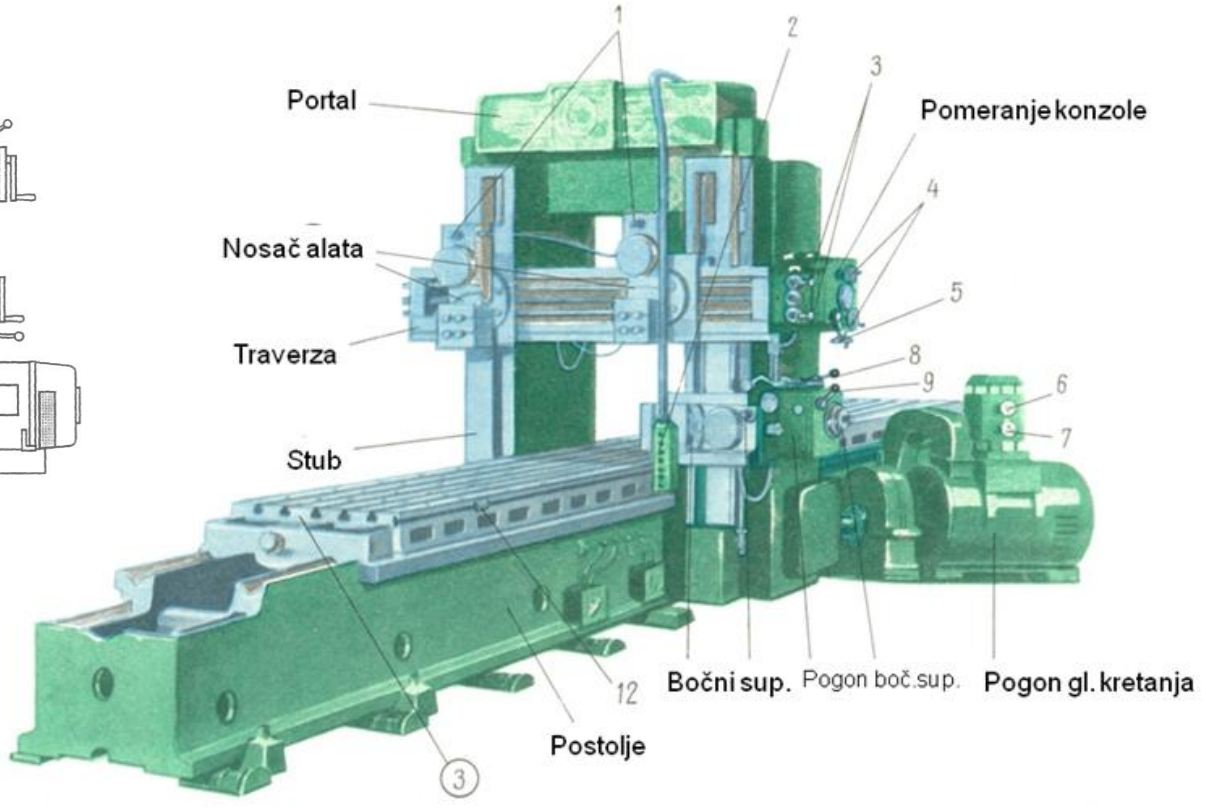
Mašine za obradu rendisanjem- Dugohodne rendisaljke

Za veće hodove rendisanja (*l>1 m*) se koriste dugohodne rendisaljke.

Glavno pravolinijsko kretanje kod ovih mašina izvodi **radni predmet**, a **alat izvodi pomoćno pravolinijsko kretanje**.

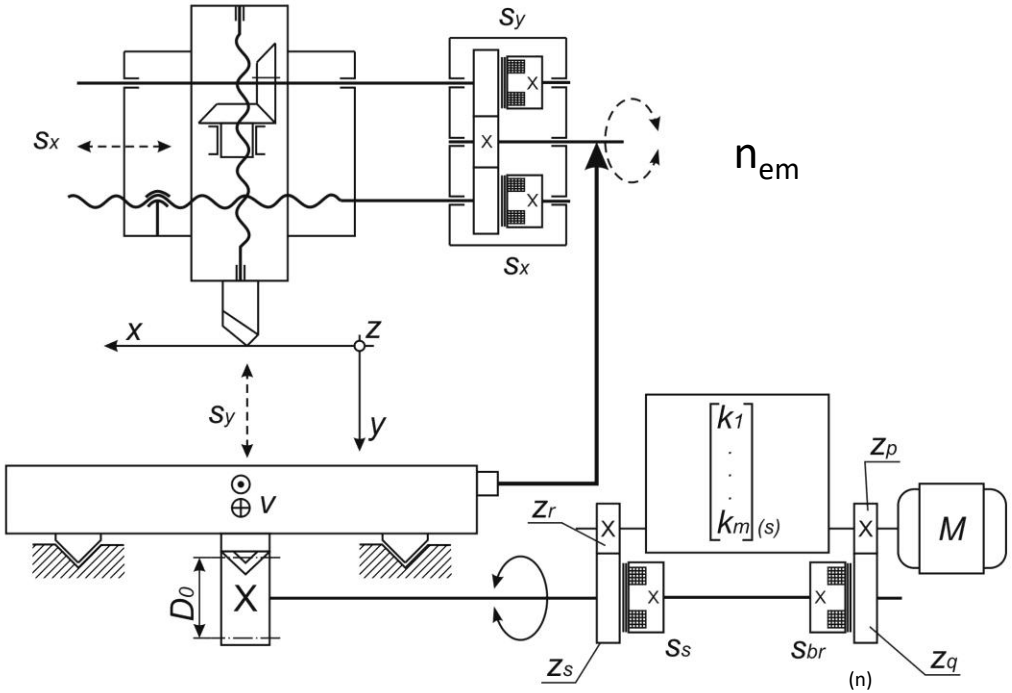
Usled velikih dužina hodova prenosnik za glavno kretanje, mora da obezbedi kako odgovarajući broj obrtaja za potrebe brzine rezanja, tako i za povrtanu brzinu koja je 1.5 do 2 puta veće od radne.





4.2.2 Kinematska struktura rendisaljki

Mašine za obradu rendisanjem- Dugohodne rendisaljke



Glavno kretanje
- radni hod

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ . \\ . \\ . \\ v_z \end{bmatrix} = n_o \cdot \frac{z_r}{z_s} \cdot \mathrm{D}_0 \cdot \pi \begin{bmatrix} k_1 \\ . \\ . \\ . \\ k_z \end{bmatrix} \quad [\mathrm{mm/min}] \quad (n)$$

- **povratni hod**

$V_p = (n_o \,.\, z_p\, D_o.\pi)/z_q$

Kod ovih mašina ne postoji ni jedno vratilo koje ima isti broj obrtaja kao što je broj duplih hodova radnog stola.

Pomoćno kretanje s_x i s_y obezbeđuje poseban pogon koji uključuje elektromagnetne spojnice (Sx, Sy) preko kontaktora i graničnika na radnom stolu, koji ujedno određuju i hod mašine.

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

4.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Sadržaj

4.0. KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.3 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju složenih – profilnih površina

4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

4.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Uvodne napomene

Sistematizacija obradaka sa ozubljenjem prema osnovnoj geometriji:

- cilindrični (cilindrični zupčanici) ;
- konusni (konusni zupčanici) ;
- torusni (pužni točkovi) ;

Cilindrični osnovna površina:

- zupčanici;
- lančanici;
- ožljebljena vratila;
- ozubljeni kaišnici;
- zupčaste spojnice;

Cilindrični zupčanici sa:

- spoljašnjim ozubljenjem;
- sa unutrašnjim ozubljenjem,

Uvodne napomene

Cilindrični zupčanici sa spoljašnjim ozubljenjem sa:
- pravim zubima;
- kosim zubima;
- strelastim zubima;

Cilindrični zupčanici sa unutrašnjim ozubljenjem:
- sa pravim zubima;
- sa kosim zubima;

Konični zupčanici sa:
- pravim zubima;
- kosim zubima;
- ravni zubi (čeono ozubljenje);

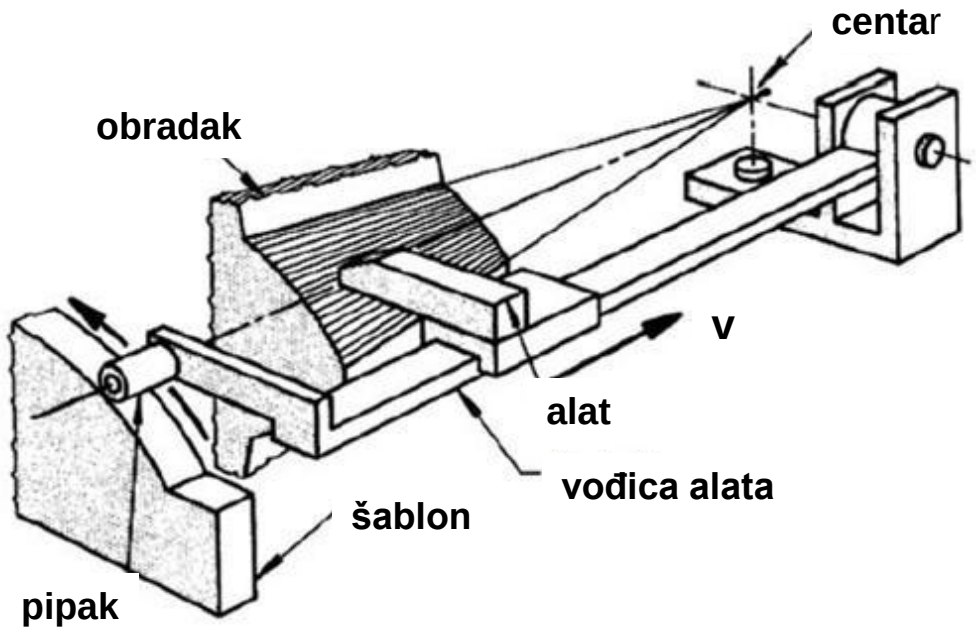
Pužni točkovi (ozubljenje na torusnoj površini)

Metode izrade zupčanika

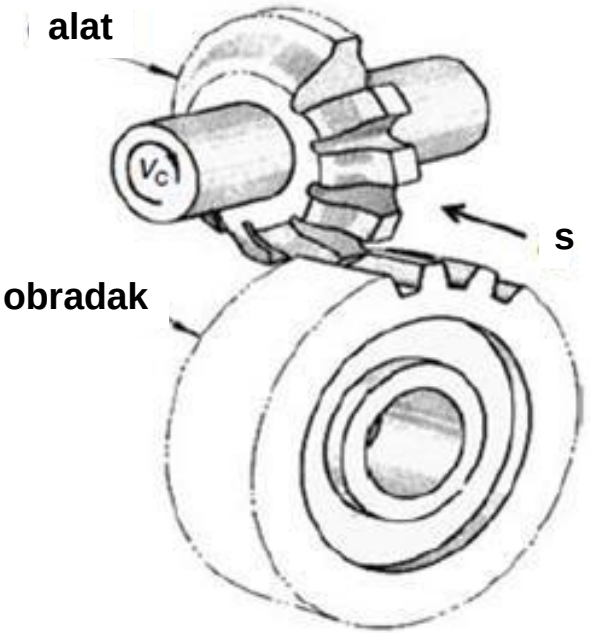
R. br.	Metoda izrade	Tačnost		Modul obradka
		Profila	Koraka	
1.	Kopiranje	mala	mala	vrlo veliki
2.	Profilni alat	srednja	srednja	mali i srednji
3.	Relativno kotrljanje	velika	velika	mali, srednji i veliki

1. Izrada ozubljenja kopirajem
   - metod obrade: rendisanje
   - princip upravljanja: kopiranje
   - alat: prost (nož za rendisanje)
   - modul: vrlo veliki
   - tačost profila: mala
   - tačnost koraka: mala;

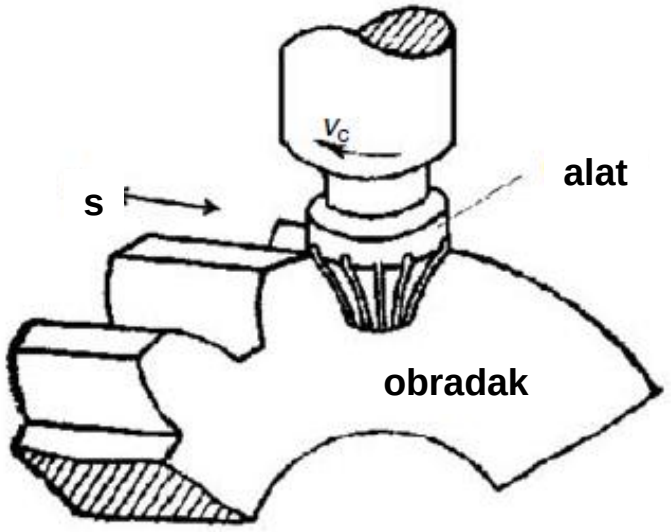
     primenom podeonog aparata malo veća (srednja);



2. Izrada ozubljenja profilnim alatima
   - metod obrade: glodanje
   - princip upravljanja: ručno
   - alat: složen (modulno glodalo)
   - modul: mali i srednji
   - tačnost profila: srednja
   - tačnost koraka: srednja (primena podeonog aparata)



Obrada modulnim glodalom



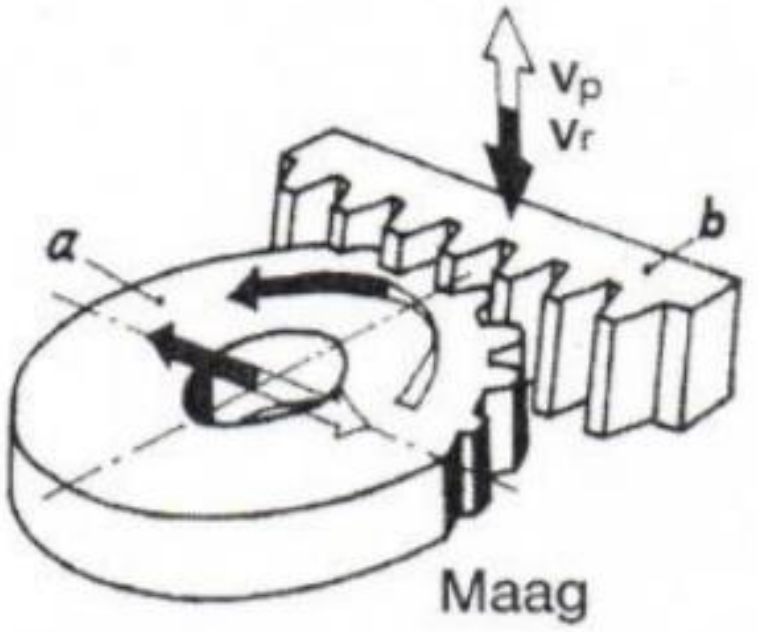
Obrada vretenastim profilnim glodalom

3. Izrada ozubljenja relativnim kotrljanjem

- metod obrade: rendisanje ili glodanje
- princip upravljanja: ručno, upravljanje graničnicima
- alat: srednje složen i složen
- modul: mali, srednji i veliki
- tačnost profila: velika
- tačnost koraka: velika (apsolutna)
- relativno kotrljanje: obradak (zupčanik) - alat (zupčasta letva) (Maag metod)
  obradak (zupčanik) - alat (zupčanik) (Fellows metod)
  obradak (pužni točak) - alat (puž) (Pfauter metod)

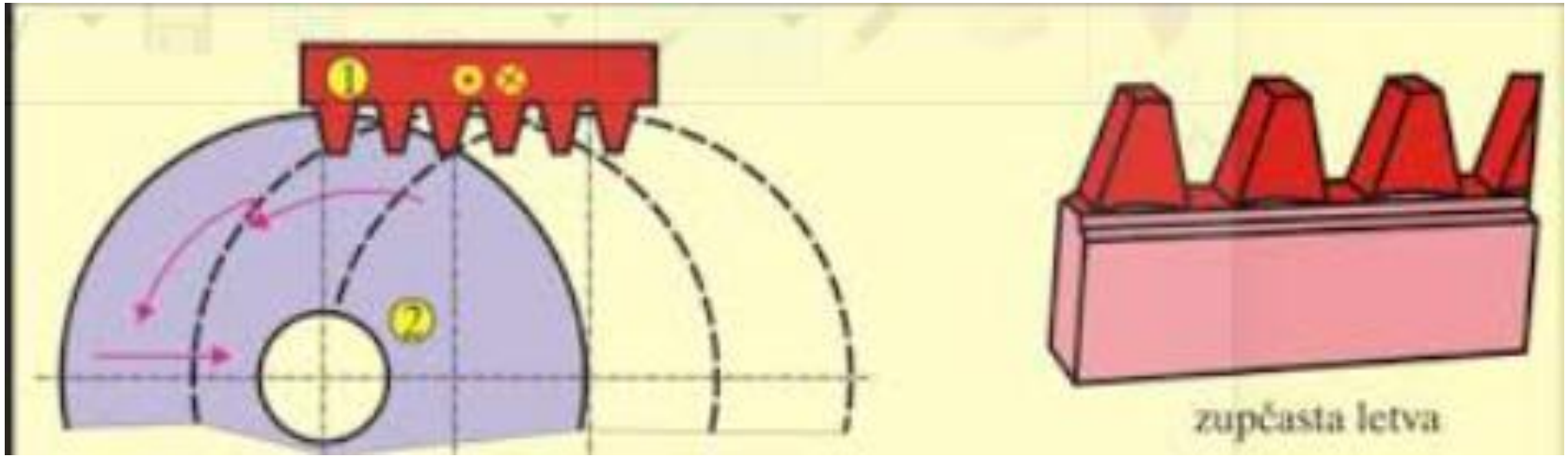
4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

- **MAAG metoda** je metoda izrade spoljašenjg cilinidričnog 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.



4.3.1 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.

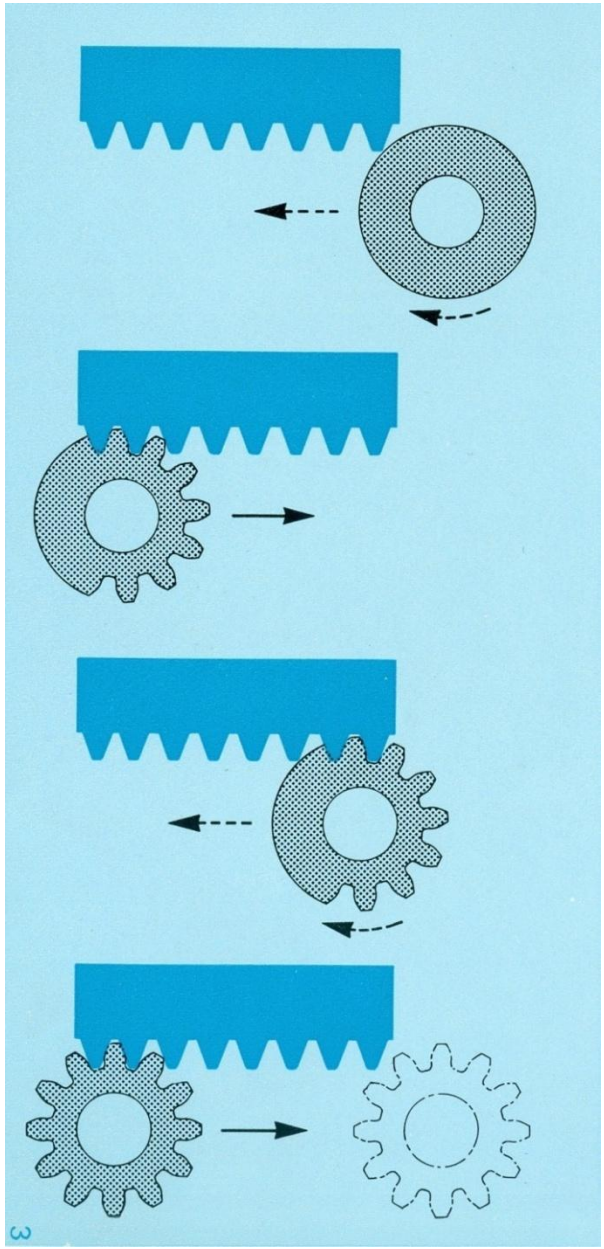


4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

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;

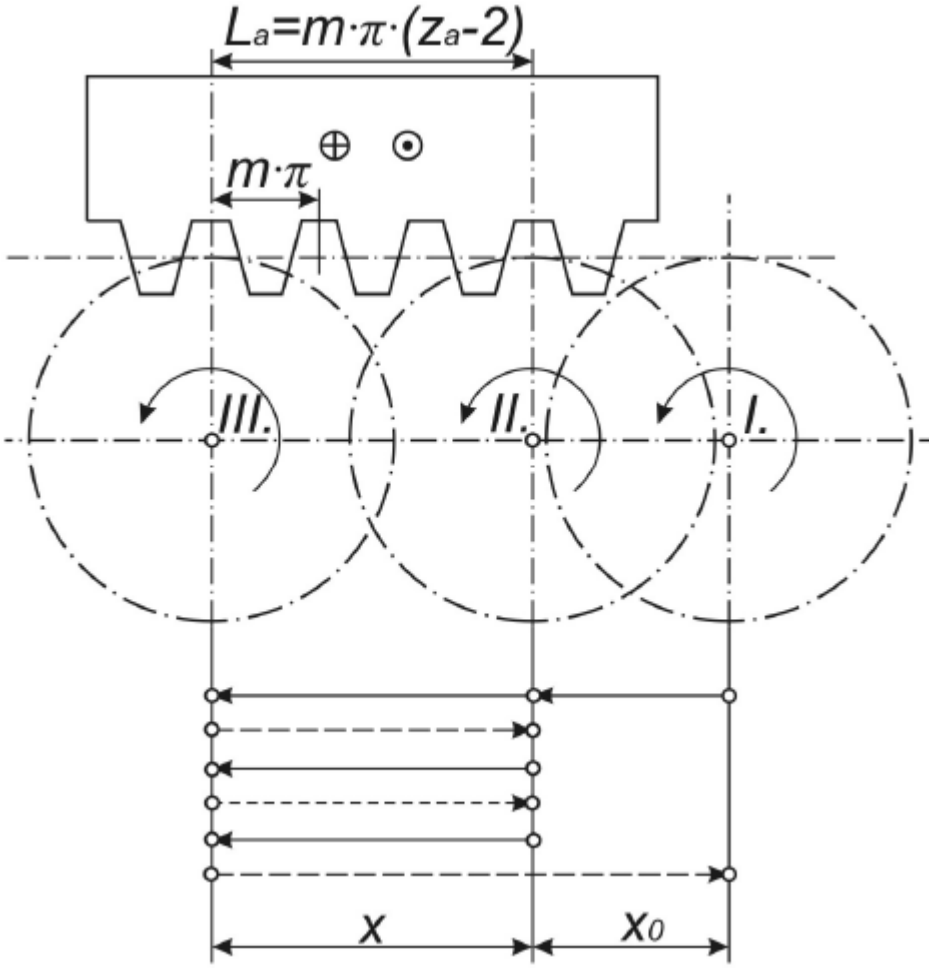


4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

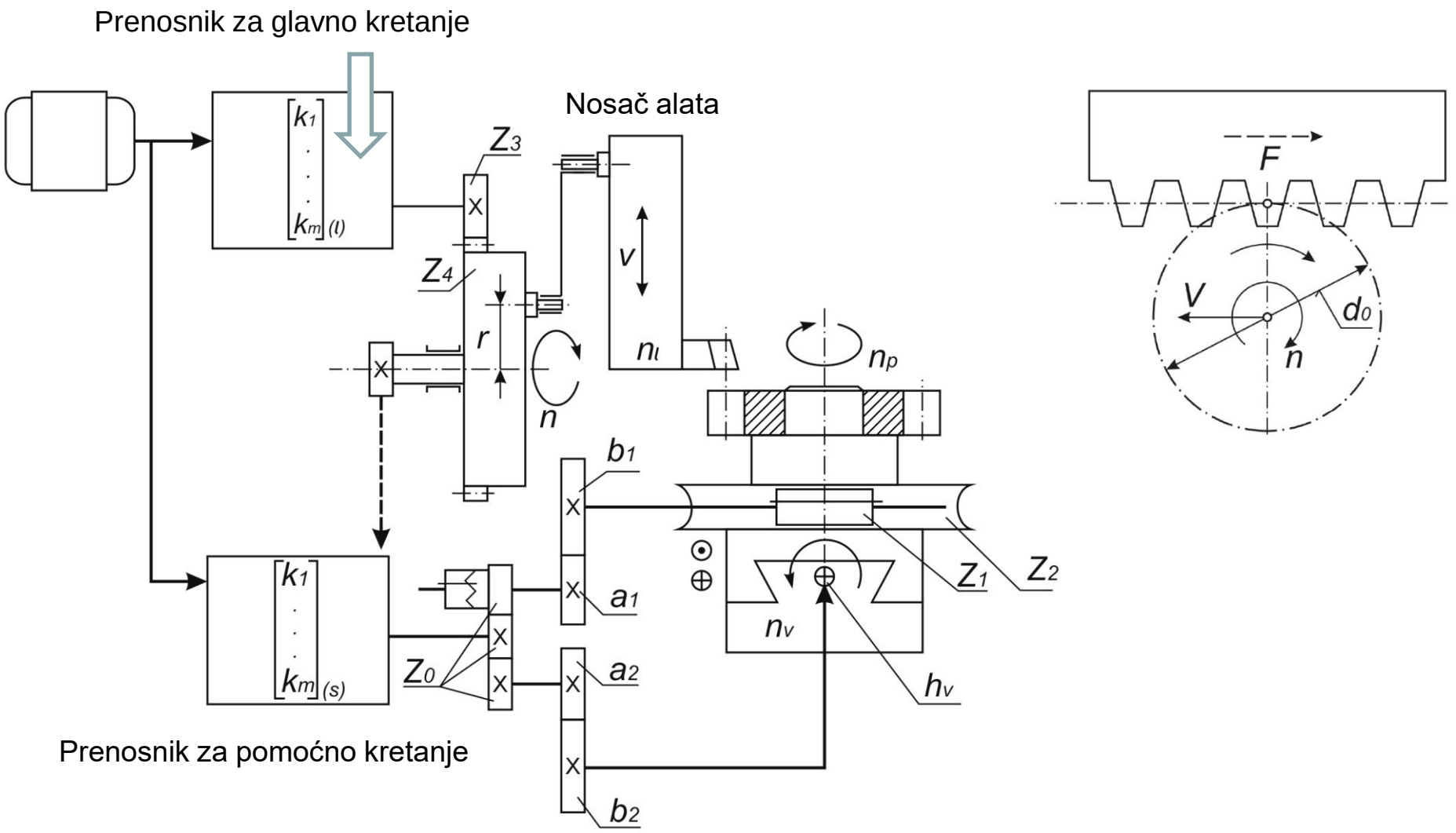
Kinematska struktura mašine treba da obezbedi izradu ozubljenja parcijalno, po segmentima.

X_o – put prodiranja alata u obradak pri početku obrade;

X – put pri izradi jednog segmenta, ponavlja se onoliko puta koliko segmenata ima ozubljeni obradak (zupčanik).



4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG



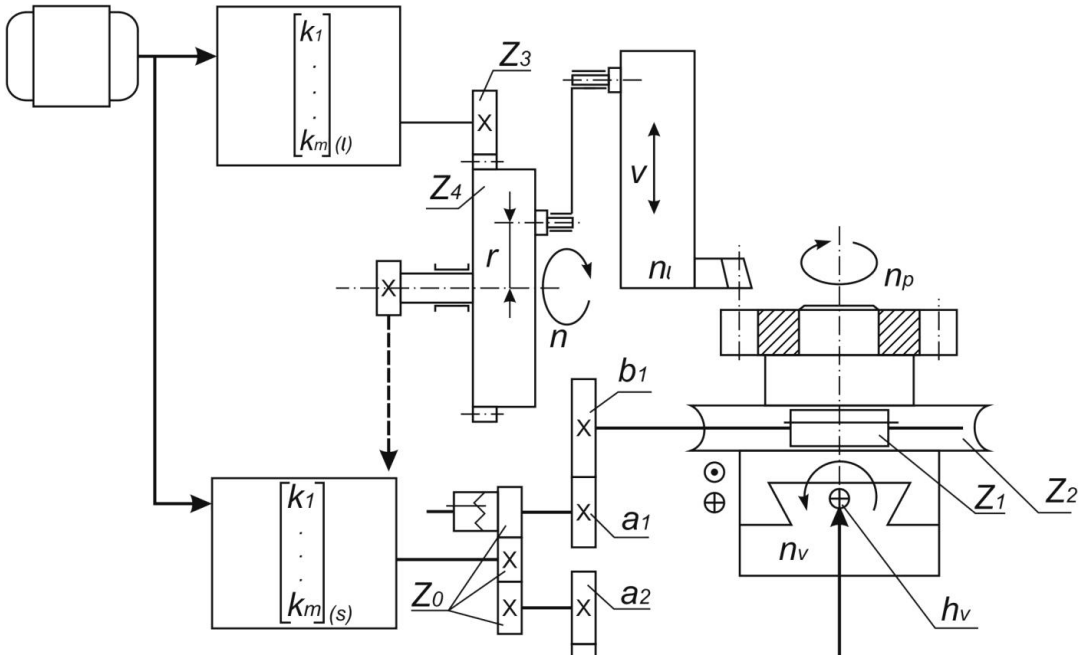
Maag postupak: Mašina vertikalna kratkohodna rendisaljka

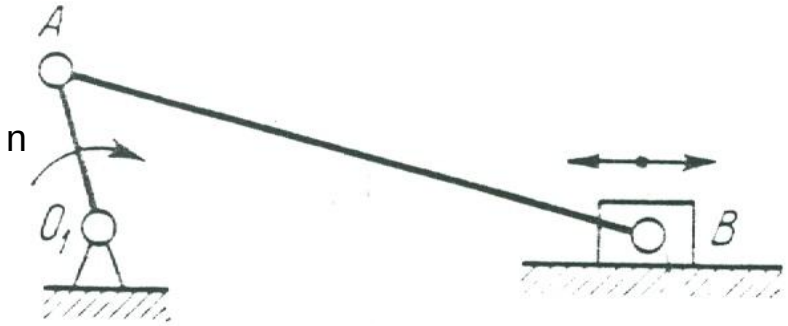
Alat vrši pravolinijsko kretanje gore-dole; radni hod na dole;

Obradak: 1 komponenta relativnog kretanje (rotacija) i 2 – ga translacija

4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Glavno kretanje: pravolinijsko naizmenično (dole-gore) kretanje alata





Prost krivajni mehanizam

O_1A= r - krivaja

AB - poluga

B - klizač

L = 2 r – hod klizača

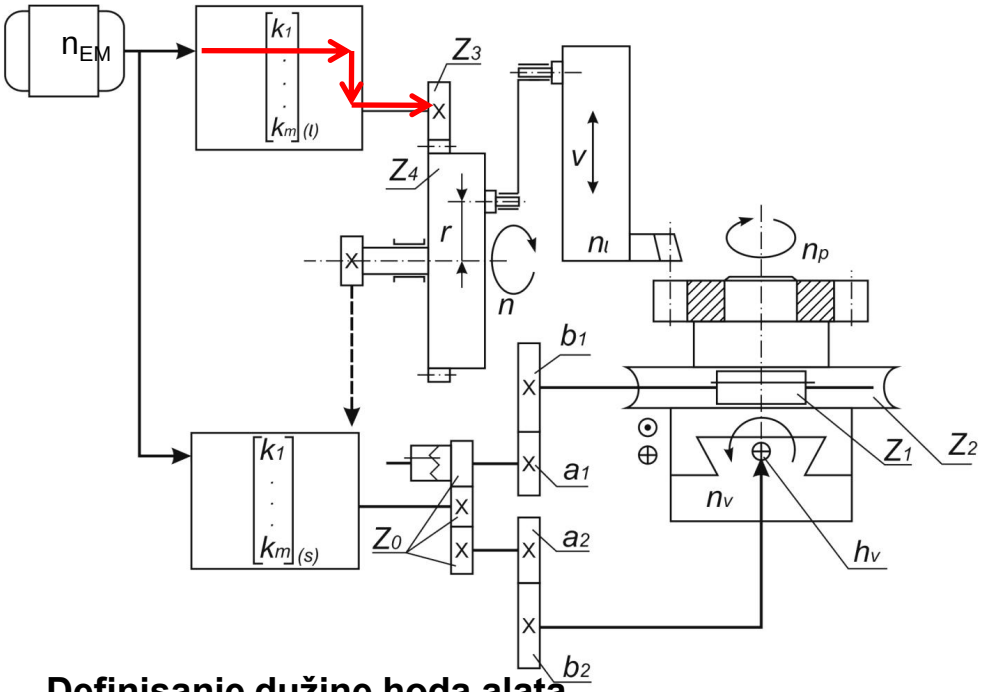
$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n_L$$

$n_L = n$ -broj duplih hodova

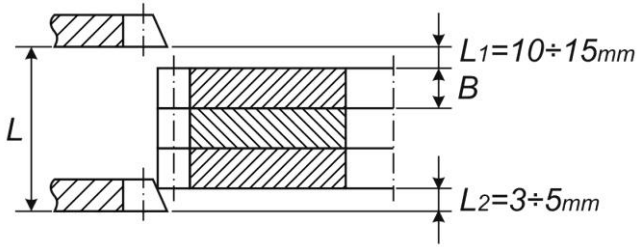
$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n$$

4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Glavno kretanje: pravolinijsko naizmenično (dole-gore) kretanje alata



Definisanje dužine hoda alata



$$L = L_1 + i \cdot B + L_2 \; < \; L_{max} \qquad L_{max} = 2 \cdot r$$

$$i = \frac{L_{max} - L_1 - L_2}{B}$$

Glavno kretanje:

$$V_{sr} = 2 \cdot L \cdot n_L$$

$n_L = n$ -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

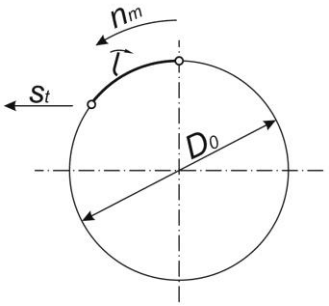
Srednja brzina rezanja

$$n = n_{EM} \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_L \cdot \frac{z_3}{z_4} \qquad \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ . \\ . \\ . \\ v_m \end{bmatrix} = n_{EM} \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ . \\ . \\ . \\ k_m \end{bmatrix}_L \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot 2L$$

4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Pomoćno kretanje (obrtanje radnog predmeta duž alata) n_p

1. komponenta relativnog kotrljanja - **Tangencijalni pomak**

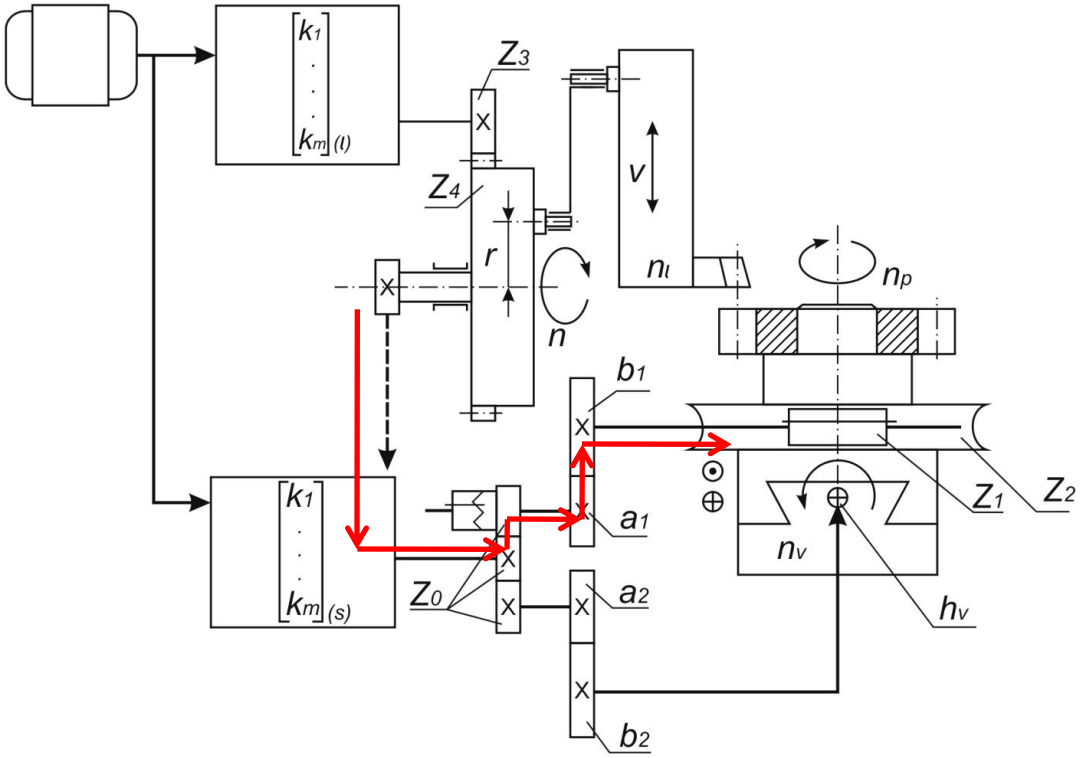


$$\hat{l} = s_t = D_0 \cdot \pi \cdot n_p$$

$$n_p = \frac{s_t}{D_0 \cdot \pi}$$

s_t – tehnološki parametar, usvaja se zavisnosti od kvaliteta obrade

$$s_t = (0{,}1 \div 0{,}35)\ [mm/dh]$$



$$n_p = n \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_s \cdot \frac{z_0}{z_0} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{s_t}{D_0 \cdot \pi} = 1 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_{(s)} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{s_t}{D_0 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{k_{is}} \cdot \frac{z_2}{z_1}$$

4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

Pomoćno kretanje – 2. komponenta relativnog kotrljanja **- Osni pomak**

Pravolinijsko kretanje radnog predmeta duž alata

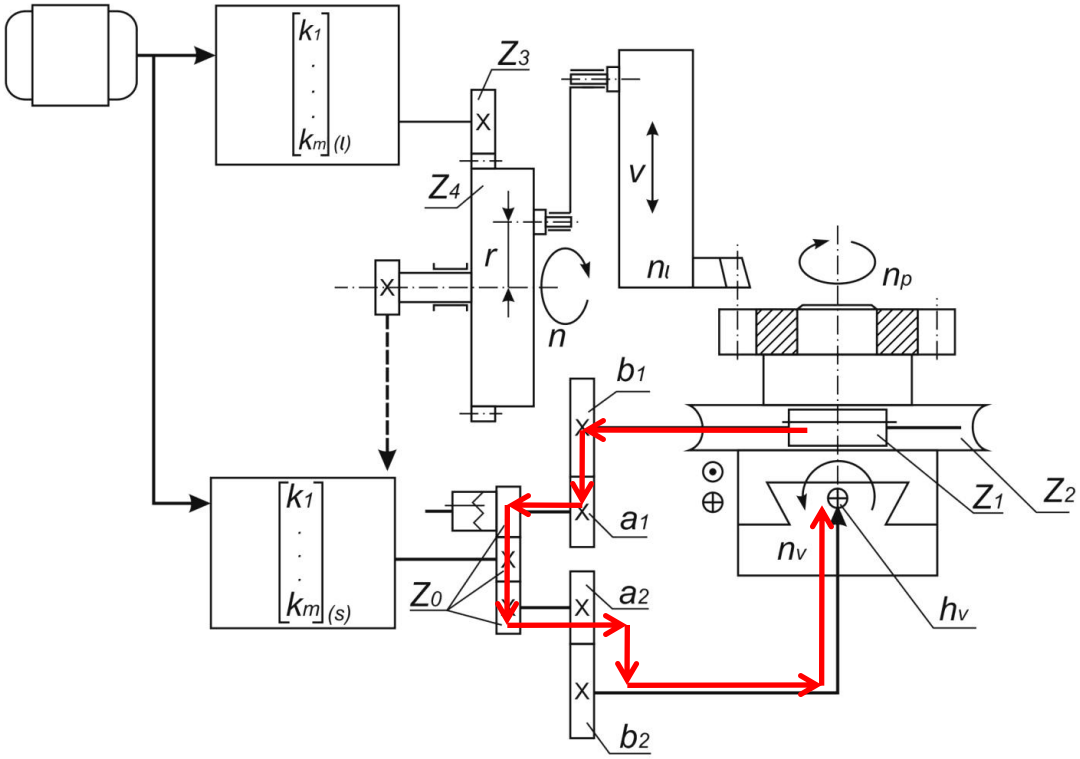
$$s_l = h_v \cdot n_v$$

$$n_v = n_p \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{z_0}{z_0} \cdot \frac{z_0}{z_0} \cdot \frac{a_2}{b_2}$$

$$n_p = 1; \quad s_l = D_0 \cdot \pi$$

$$D_0 \cdot \pi = h_v \cdot 1 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{c}{l}$$

$$\frac{a_2}{b_2} = \frac{D_0 \cdot \pi}{h_v} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{a_1}{b_1}$$



4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

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;

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

5.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Sadržaj

5.0. KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

5.3 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju složenih – profilnih površina

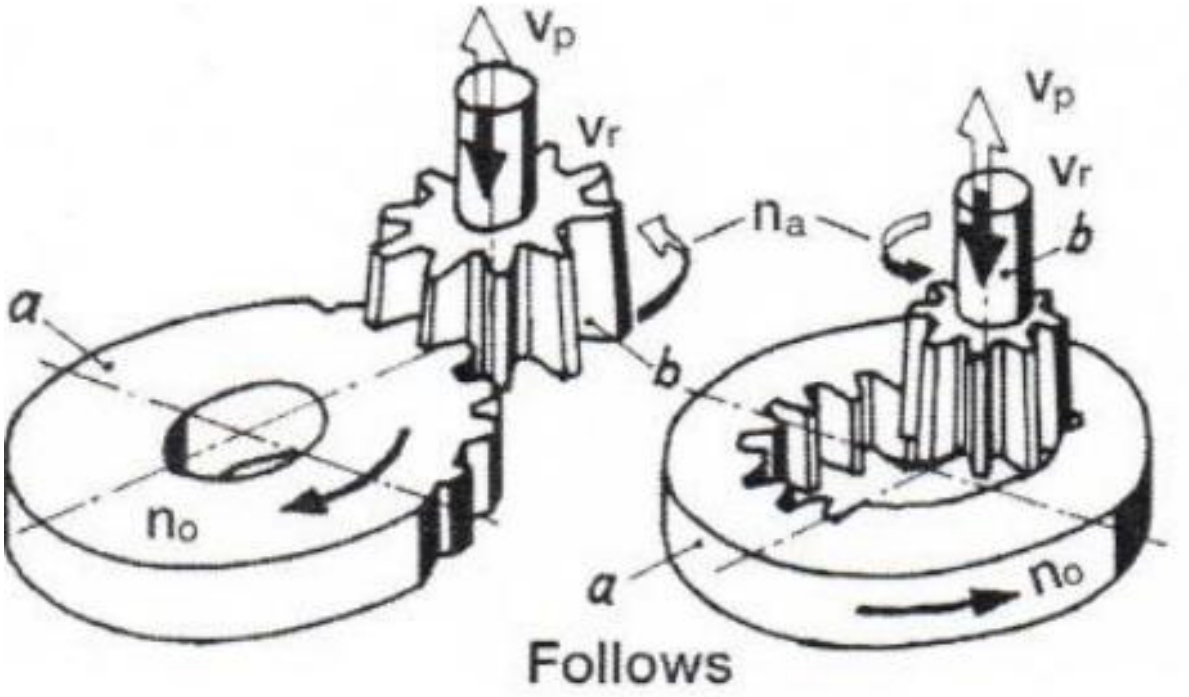
5.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

5.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

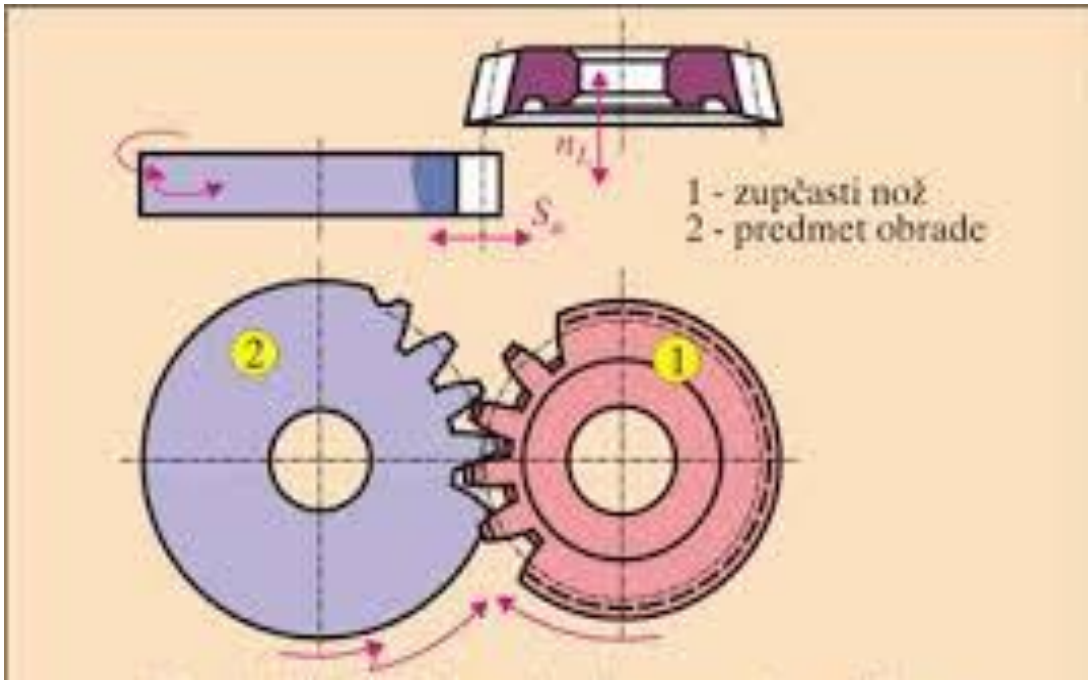
5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

- 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 također **pomoćno obrtno kretanje.**

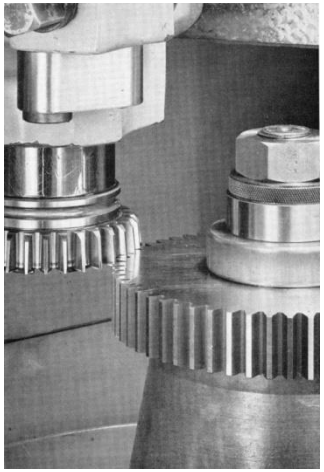


5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

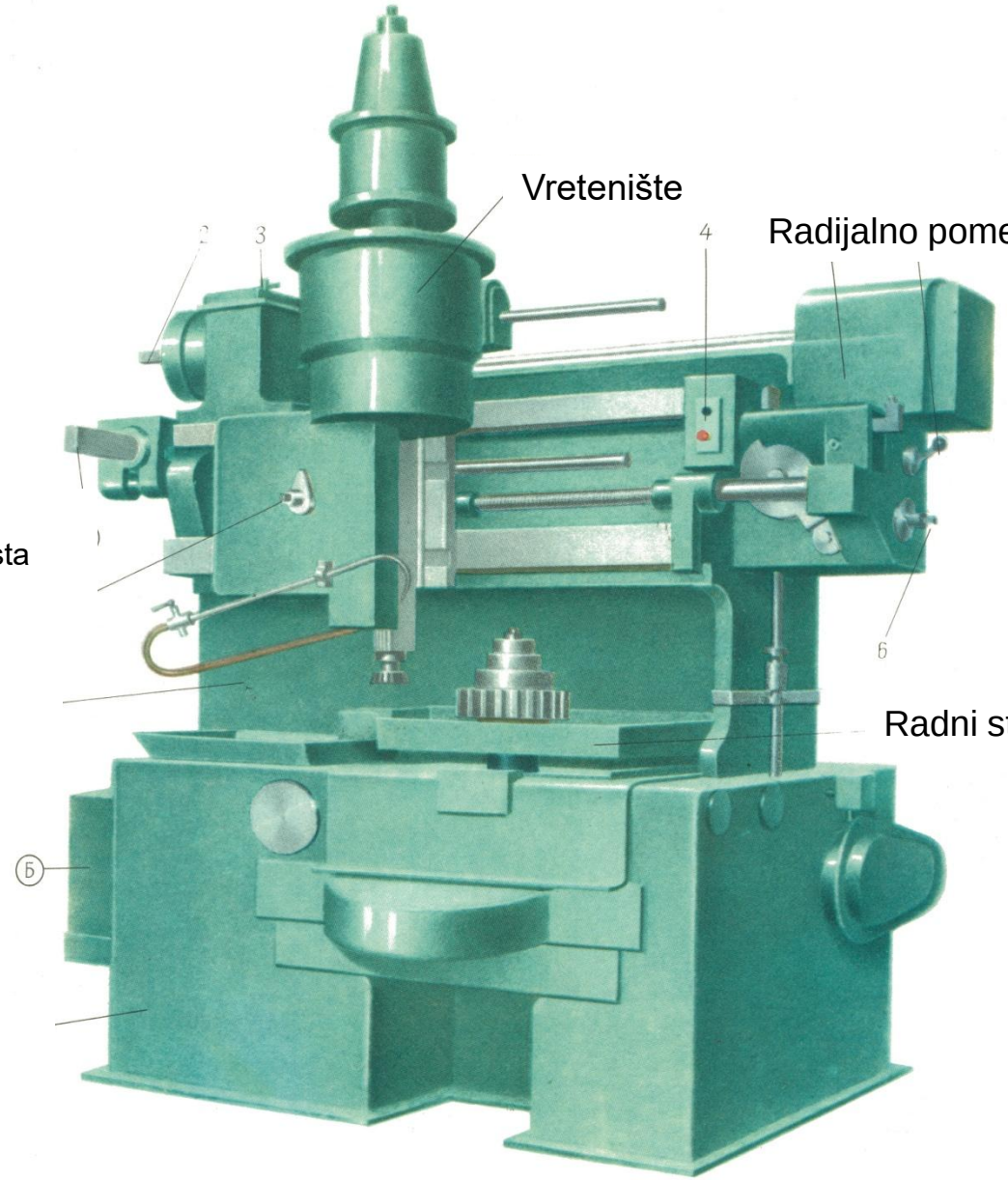
- Radni hod se obavlja obično pri kretanju alata na dole, a u početku rada primiče se radni predmet radijalno prema alatu do određene dubine uz istovremeno vertikalno kretanje alata i uz relativno kotrljanje.
- Radijalno primicanje radnog predmeta reguliše se pomoću jedne promenjive bregaste ploče koja po završenoj obradi dejstvom odgovarajućeg mehanizma automatski zaustavlja mašinu.



5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS



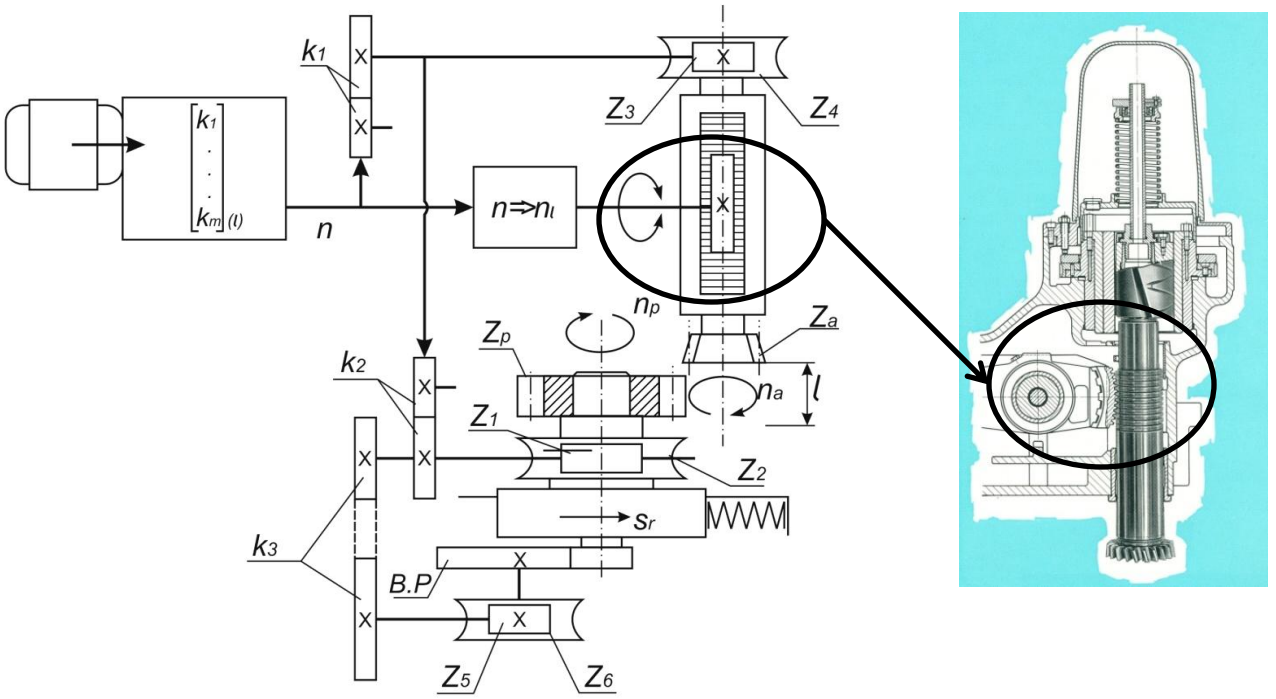
Krivajni mehanizam i mehanizam zupčanik zupčasta letva



Rendisaljka za zupčanike FELLOWS

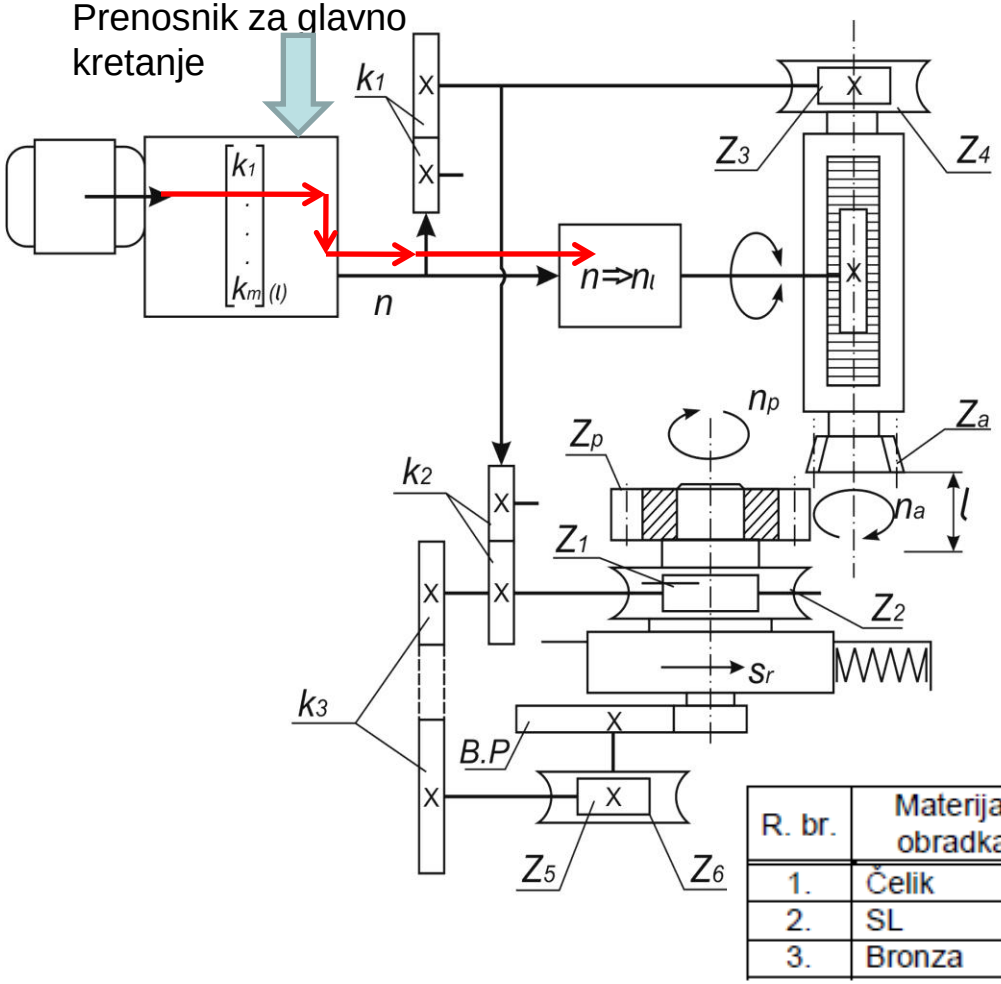
Pri izradi zupčanika sa pravim zubima potrebna kretanja su:

- Glavno kretanje ***v*** – pravolinijsko vertikalno kretanje alata
- Obrtanje alata n_a –, tj. pomoćno kretanje što ujedno prestavlja prvu komponenetu relativnog kotrljanja.
- Obrtanje radnog predmeta n_p – pomoćno kretanje, što je druga komponeneta relativnog kotrljanja
- Pomoćno kretanje – radijalno primicanje radnog predmeta ka alatu



5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

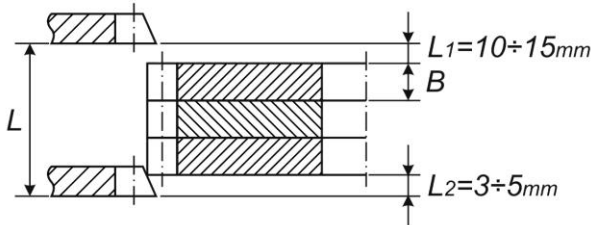
Glavno kretanje



R. br.	Materijal obradka	Brzina rezanja [m/min]
1.	Čelik	12÷20
2.	SL	15
3.	Bronza	30

$$V = 2 \cdot L \cdot n_L$$

$$n_L = n$$



$$L = L_1 + i \cdot B + L_2$$

Dužina hoda

Srednja brzina rezanje

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_m \end{bmatrix} = 2 \cdot L \cdot n_0 \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_m \end{bmatrix}_L$$

Pretvaranje obrtnog u pravolinijsko kretanje **krivajnim mehanizmom i zupčanikom i zupčastom letvom**

5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

Pomoćno kretanje - prva komponenta relativnog kotrljanja – obrtanje alata

$$n_a = n \cdot k_1 \cdot \frac{z_3}{z_4}$$

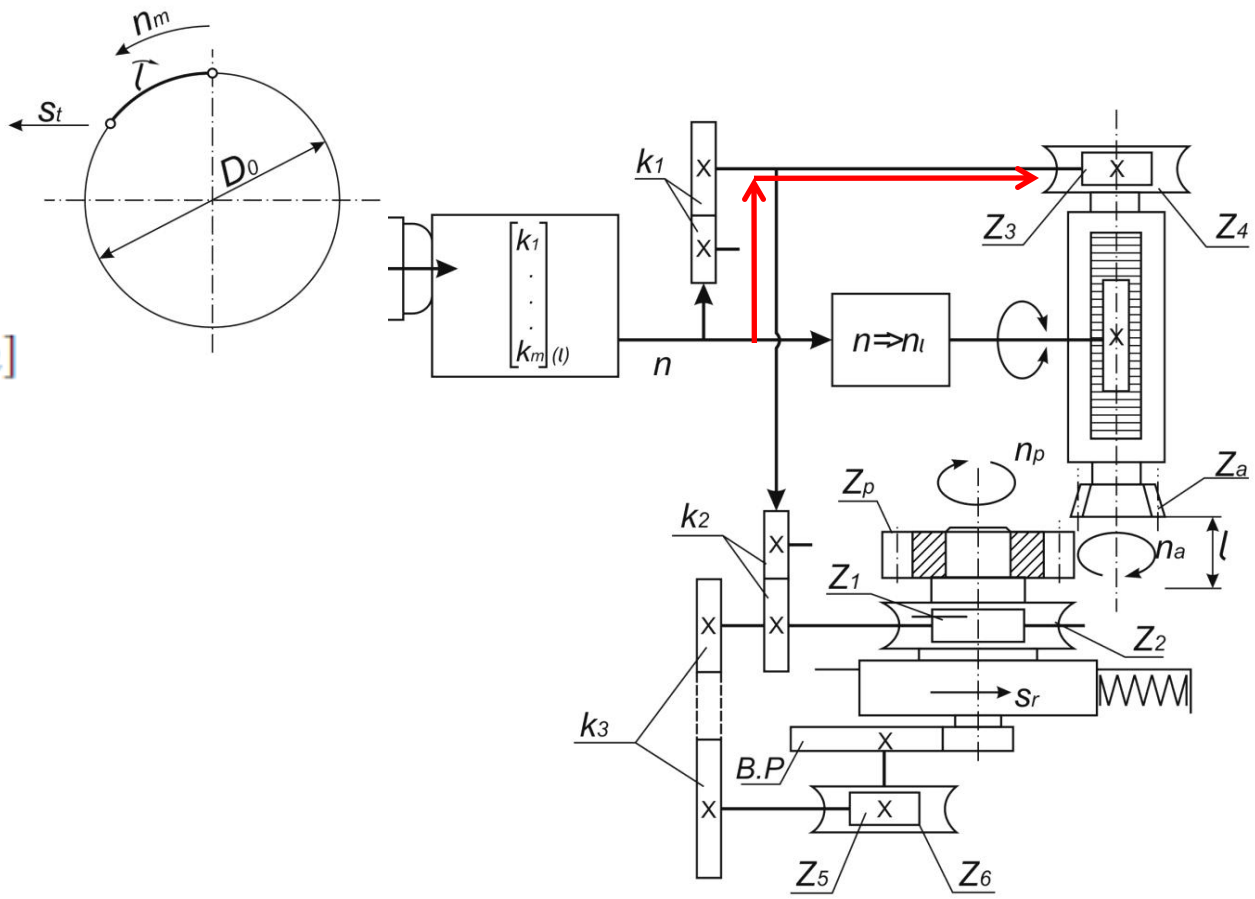
$$\hat{l} = s_t = D_{0ALATA} \cdot \pi \cdot n_a$$

$$s_t = (0{,}1 \div 0{,}35)\ [mm/dh]$$

$$n_a = \frac{s_t}{D_{0A} \cdot \pi}$$

$$\frac{s_t}{D_{0A} \cdot \pi} = 1 \cdot k_1 \cdot \frac{z_3}{z_4}$$

$$k_1 = \frac{a_1}{b_1} \longrightarrow \frac{a_1}{b_1} = k_1 = \frac{s_t}{D_{0A} \cdot \pi} \cdot \frac{z_4}{z_3}$$



5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

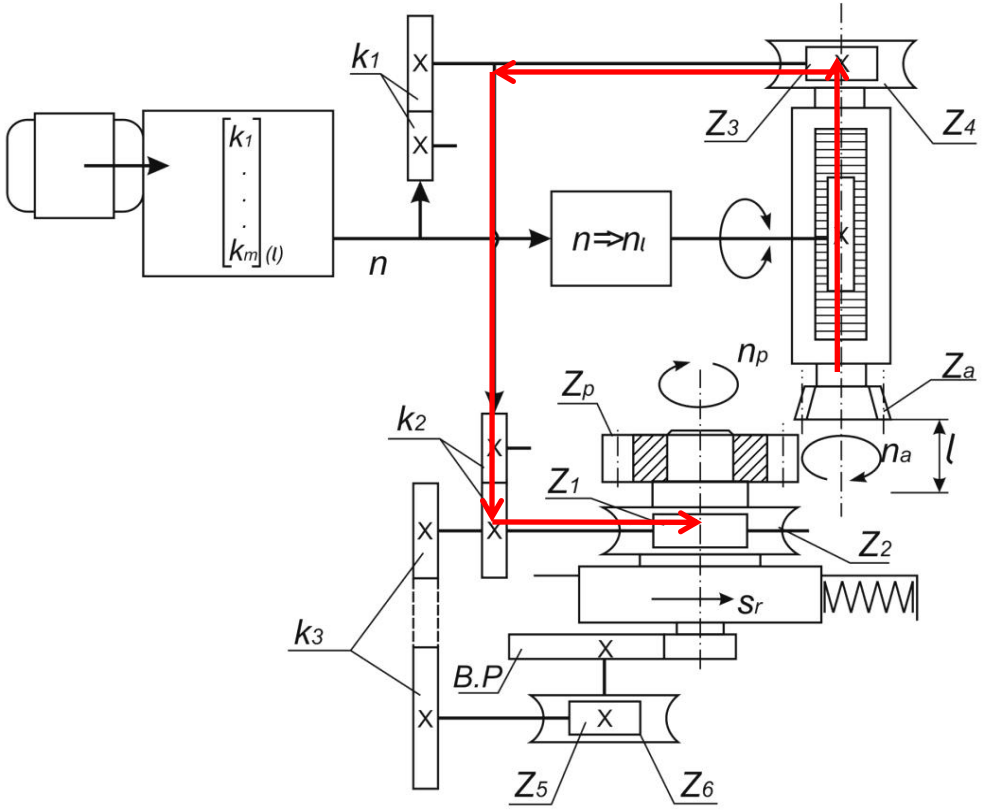
Pomoćno kretanje - druga komponenta relativnog kotrljanja–obrtanje radnog predmeta

$$n_p = n_a \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot k_2 \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$\frac{n_p}{n_a} = \frac{z_{alata}}{z_{obratka}} = \frac{z_a}{z_p}$$

$$\frac{z_a}{z_p} = \frac{z_4}{z_3} \cdot k_2 \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

$$k_2 = \frac{z_a}{z_p} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_2}{z_1} \longrightarrow k_2 = \frac{a_2}{b_2} \; ; \; \frac{a_2}{b_2} = \frac{z_a}{z_p} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_2}{z_1}$$



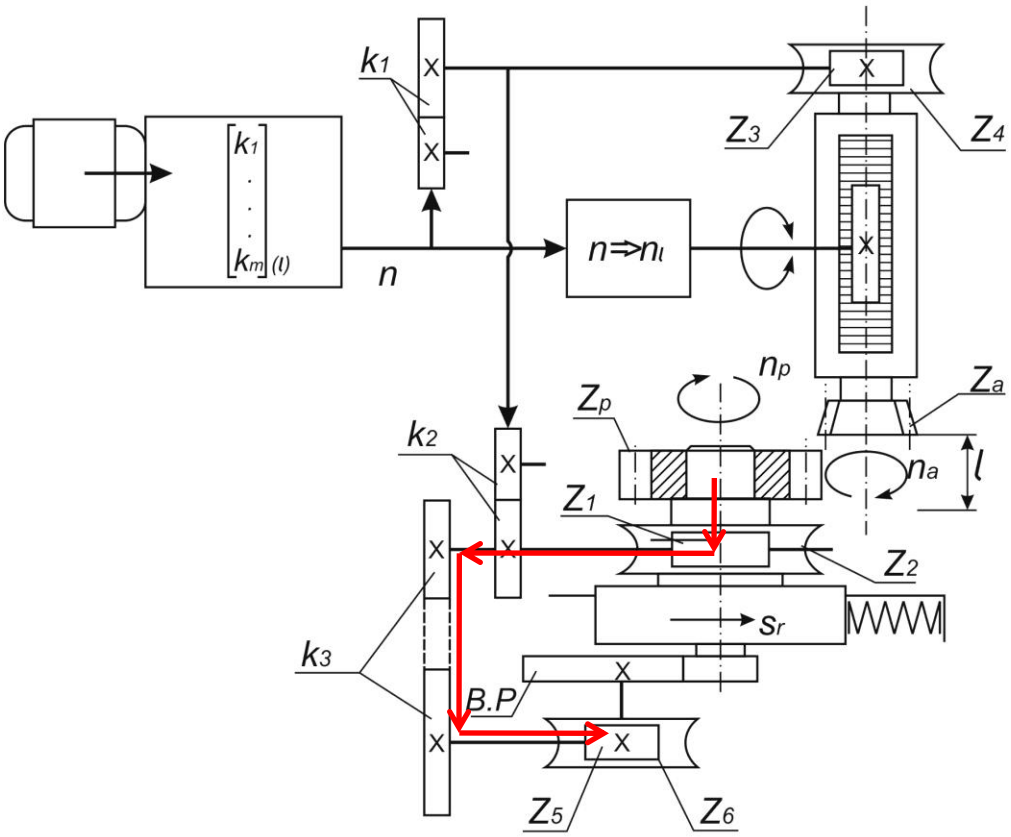
5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

Pomoćno kretanje – radijanli pomak radnog predmeta (obrtanje bregaste ploče)

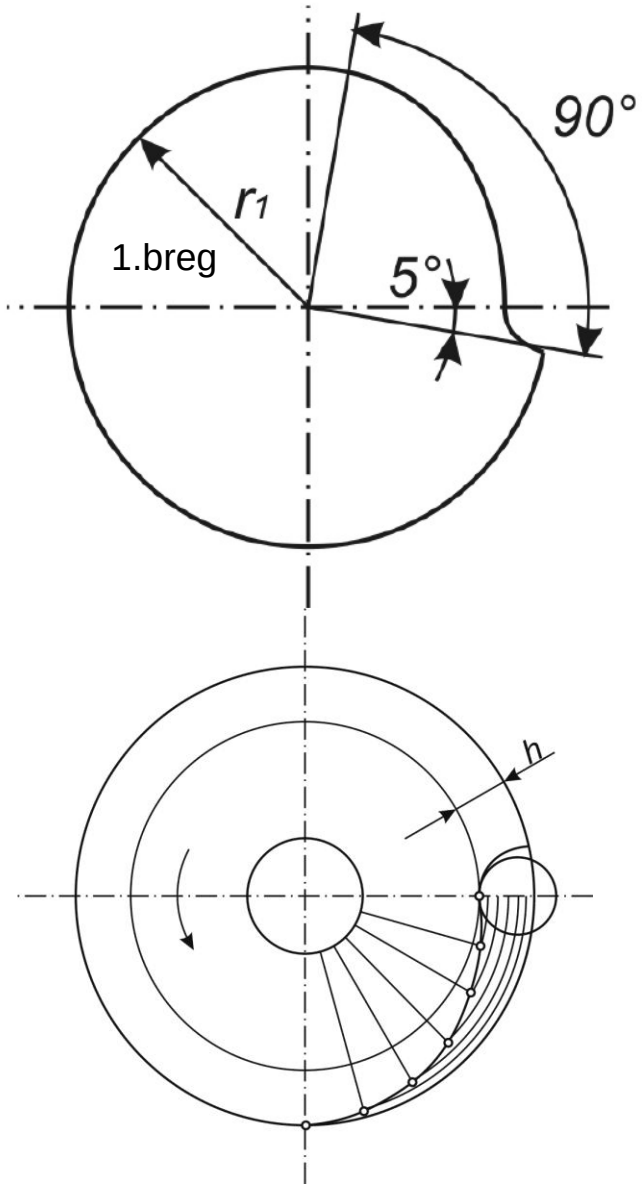
$$n_{bp} = n_p \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6}$$

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{n_{bp}}{n_p}$$

$$\frac{n_{bp}}{n_p} = \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6}$$



5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

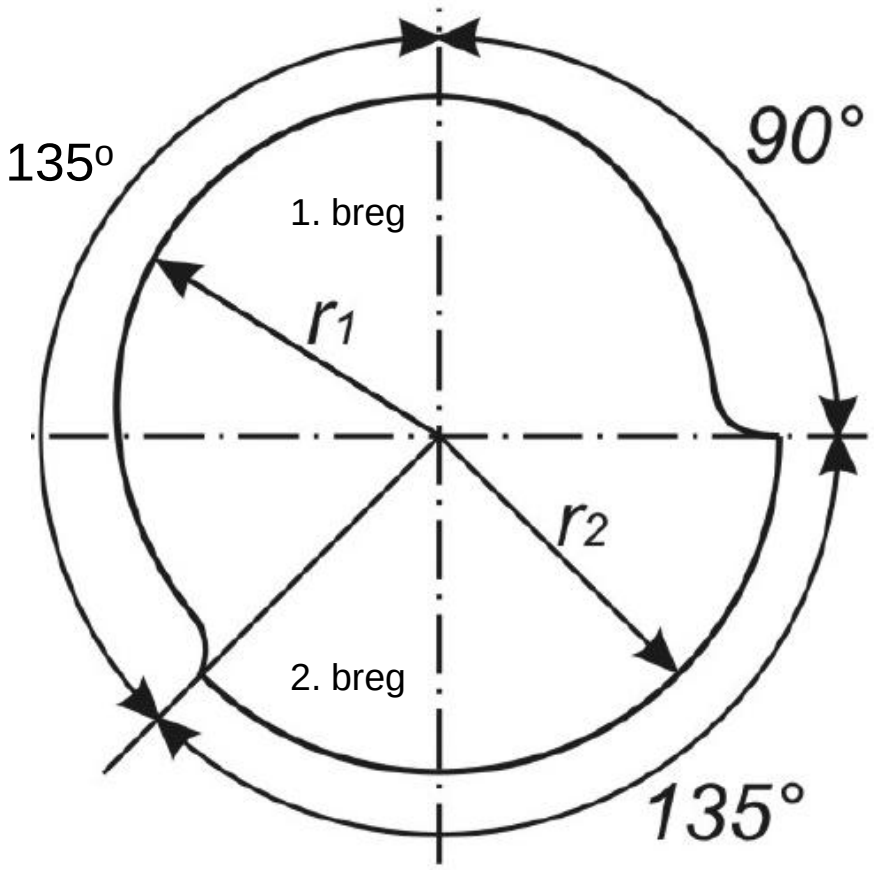


Bregasta ploča sa jednim bregom:
(izrada ozubljenja u jednom prolazu)

$$\frac{270°}{360° + (3° \div 5°)} = \frac{z_2}{z_1} \cdot k_3 \cdot \frac{z_5}{z_6}$$

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{270°}{360° + (3° \div 5°)}$$

Rendisaljka za zupčanike tipa FELLOWS

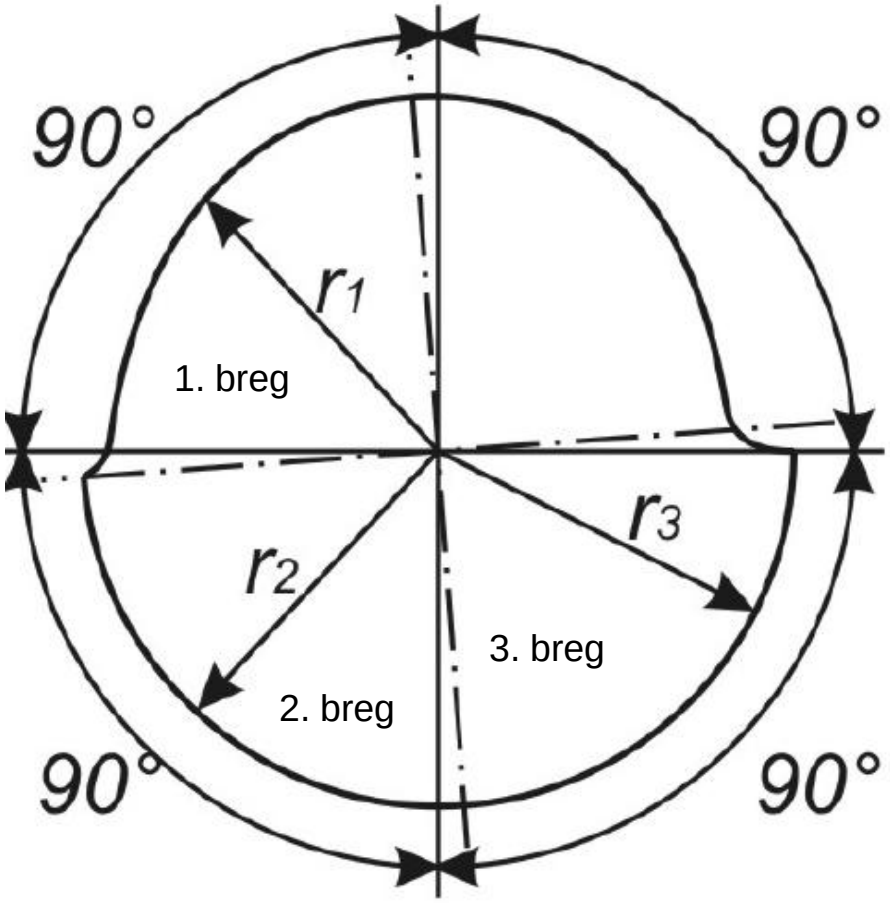


Bregasta ploča sa dva brega:
(izrada ozubljenja u dva prolaza)

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{135°}{360° + (3° \div 5°)}$$

5.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

Rendisaljka za zupčanike tipa FELLOWS



Bregasta ploča sa tri brega:
(izrada zupčanika u tri prolaza)

$$k_3 = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{90°}{360° + (3° \div 5°)}$$

5.3.2 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

FTN - DPM - LAMA
Predmet: **Obradni i tehnološki sistemi**
Novi Sad, OKTOBAR 2026.

4.0 KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Sadržaj

4.0. KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

4.3 Kinematska struktura mašina alatki za realizaciju složenih – profilnih površina

4.3.1 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa MAAG

4.3.2 Kinematska struktura rendisaljki za zupčanike tipa FELLOWS

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

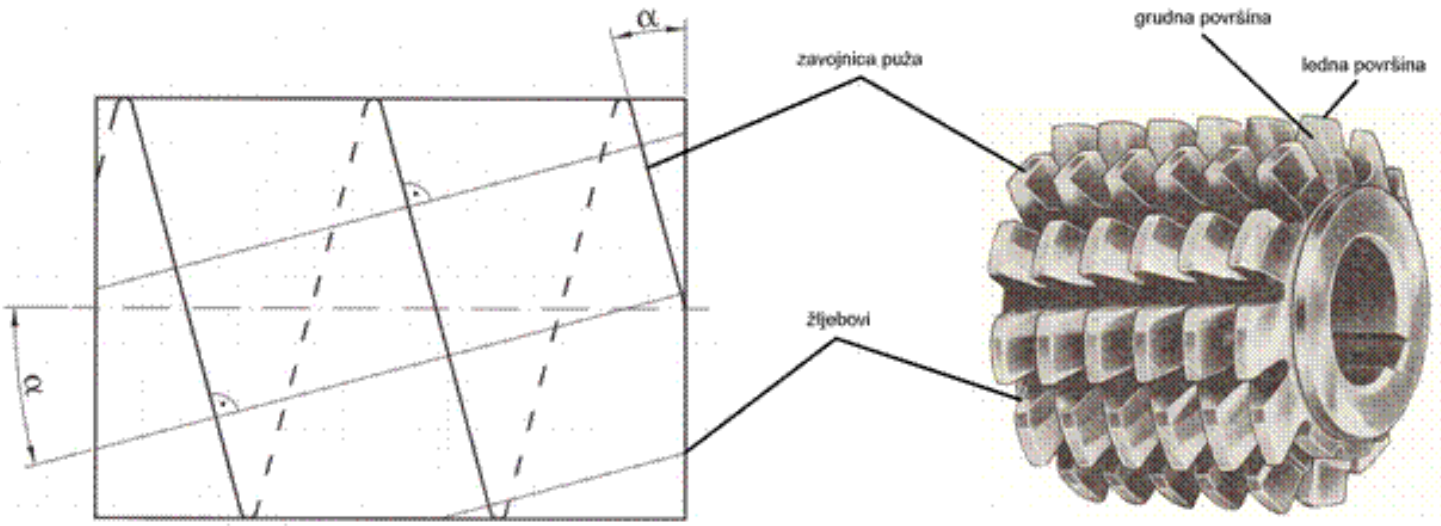
Sadržaj

KINEMATSKA STRUKTURA MAŠINA ZA IZRADU OZUBLJENJA PO METODI RELATIVNOG KOTRLJANJA NA OSNOVU SPREZANJA ALATA I OBRADKA PO PRINCIPU PUŽ – PUŽNI TOČAK (tzv. PFAUTER metoda)

1. Uvodne napomene
2. Izrada cilindričnih zupčanika
3. Izrada pužnih točkova

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

- Izrada zupčanika glodanjem po pricnipu 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.



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Osnovni parametri puža, tj. alata su:

- ugao zavojnice: α (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.

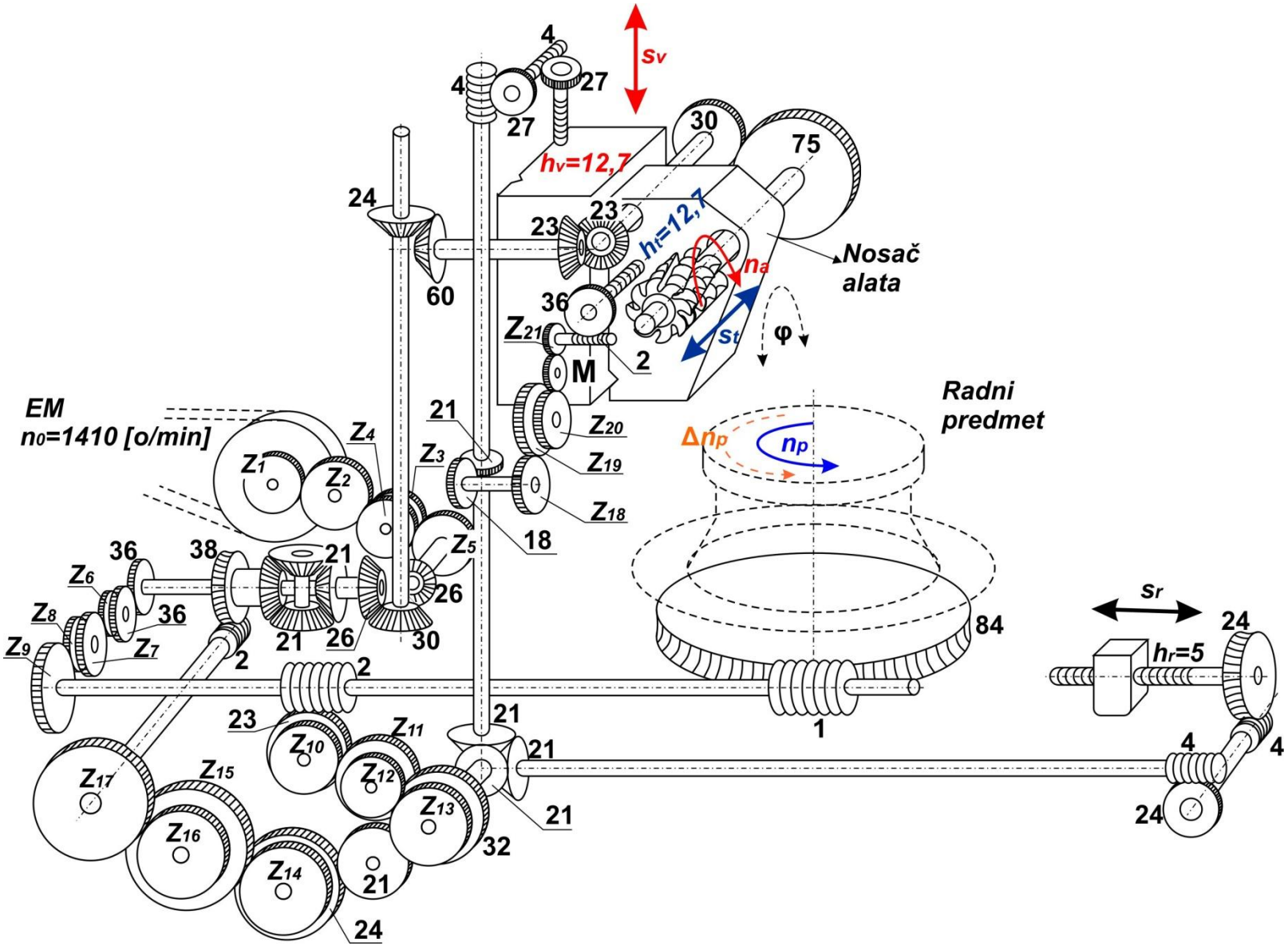
Alat prema svojoj geometriji, predstavlja glodalo i naziva se pužno, ili pužasto, odnosno **ODVALNO** glodalo, a mašina **ODVALNA GLODALICA**

4.3.3 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 ($\boldsymbol{\Delta n_p}$) se ono, u slučaju potrebe, koriguje.
  - Vertikalni pomak (s_v) – obezbeđuje se osnovnim klizačem preko zavojnog vretena koraka $\boldsymbol{h_v}$. Na njemu je još jedan klizač (poprečni klizač) koji se može zakretati za ugao φ (ugao naginjanja alata)
  - Tangencijalni pomak (s_t) – ("tangencijalni" se zove zato što pri uglu φ = 0 obezbeđuje kretanje u pravcu tangente na radni predmet). Ovaj klizač se pokreće zavojnim vretenom koraka $\boldsymbol{h_t}$.
  - 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 $\boldsymbol{h_r}$.

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Kinematska struktura glodalice za zupčanike Pfauter



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

- Brzina rezanja $v\left[\frac{m}{\min}\right]$

materijal obradka	$v\left[\frac{m}{\min}\right]$
čelik $\sigma_M < 600\ MPa$	$25 \div 40$
čelik $\sigma_M > 600\ MPa$	$20 \div 30$
sivi liv	$16 \div 21$
bronza	$25 \div 50$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

- Vertikalni pomak – $s_v \left[\frac{mm}{o}\right]$

$$s_v = (0{,}5 \div 4) \left[\frac{mm}{o}\right]$$

- Tangencijalni pomak – $s_t \left[\frac{mm}{o}\right]$

$$s_t = (0{,}2 \div 1{,}8) \left[\frac{mm}{o}\right]$$

- Radijalni pomak – $s_r \left[\frac{mm}{o}\right]$

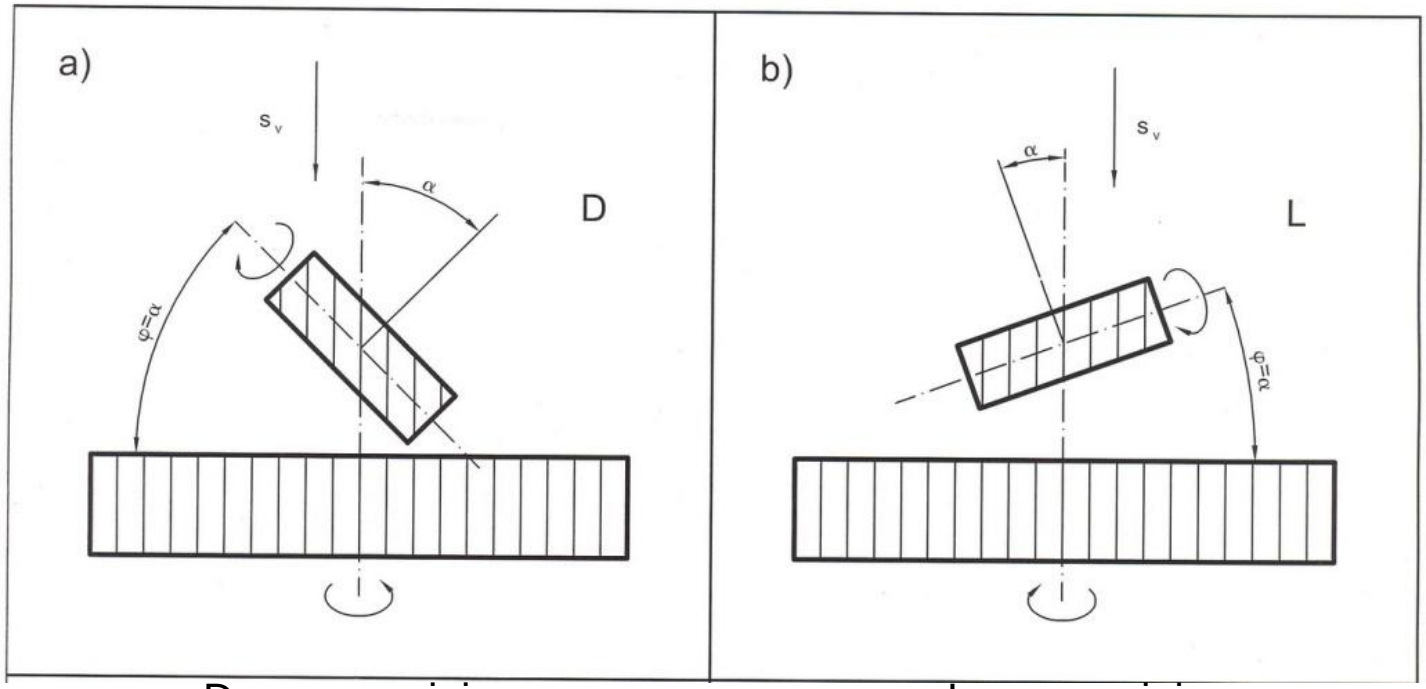
$$s_r = (0{,}3 \div 1{,}25) \left[\frac{mm}{o}\right]$$

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* $n_p = 1$.

4.3.3 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°).
- Pri izradi zupčanika sa pravim zubima osa alata je nagnuta u odnosu na ravan podeonog kruga zupčanika za ugao nagiba zavojnice glodala (α), da bi se pri vertikalnom kretanju alata poklopili pravci zavojnice alata i zuba zupčanika.



Desna zavojnica — Leva zavojnica

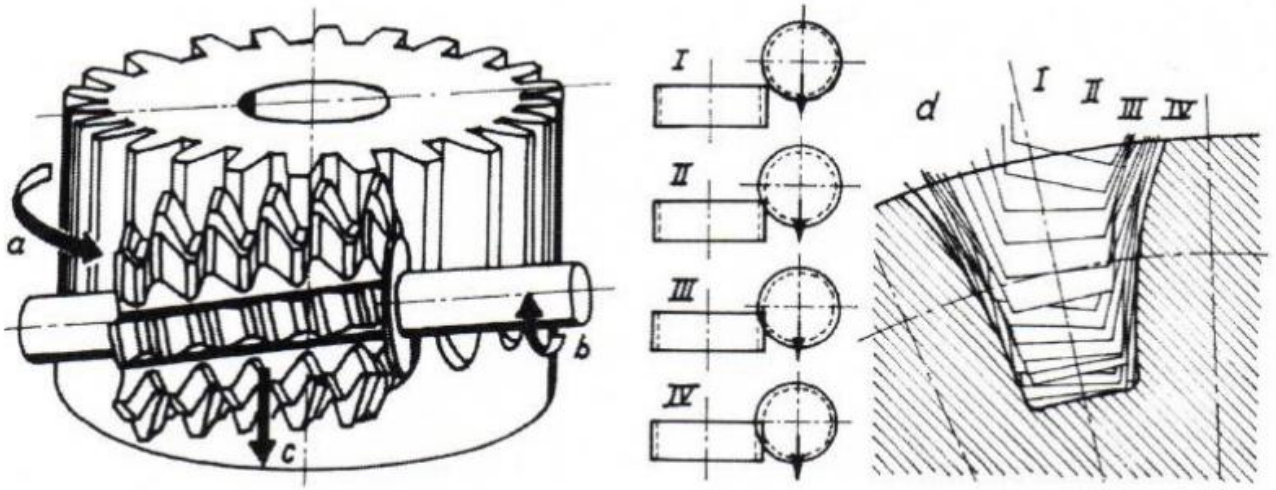
Ugao naginjanja alata (φ) = uglu nagiba zavojnice goladala (α)

4.3.3 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.



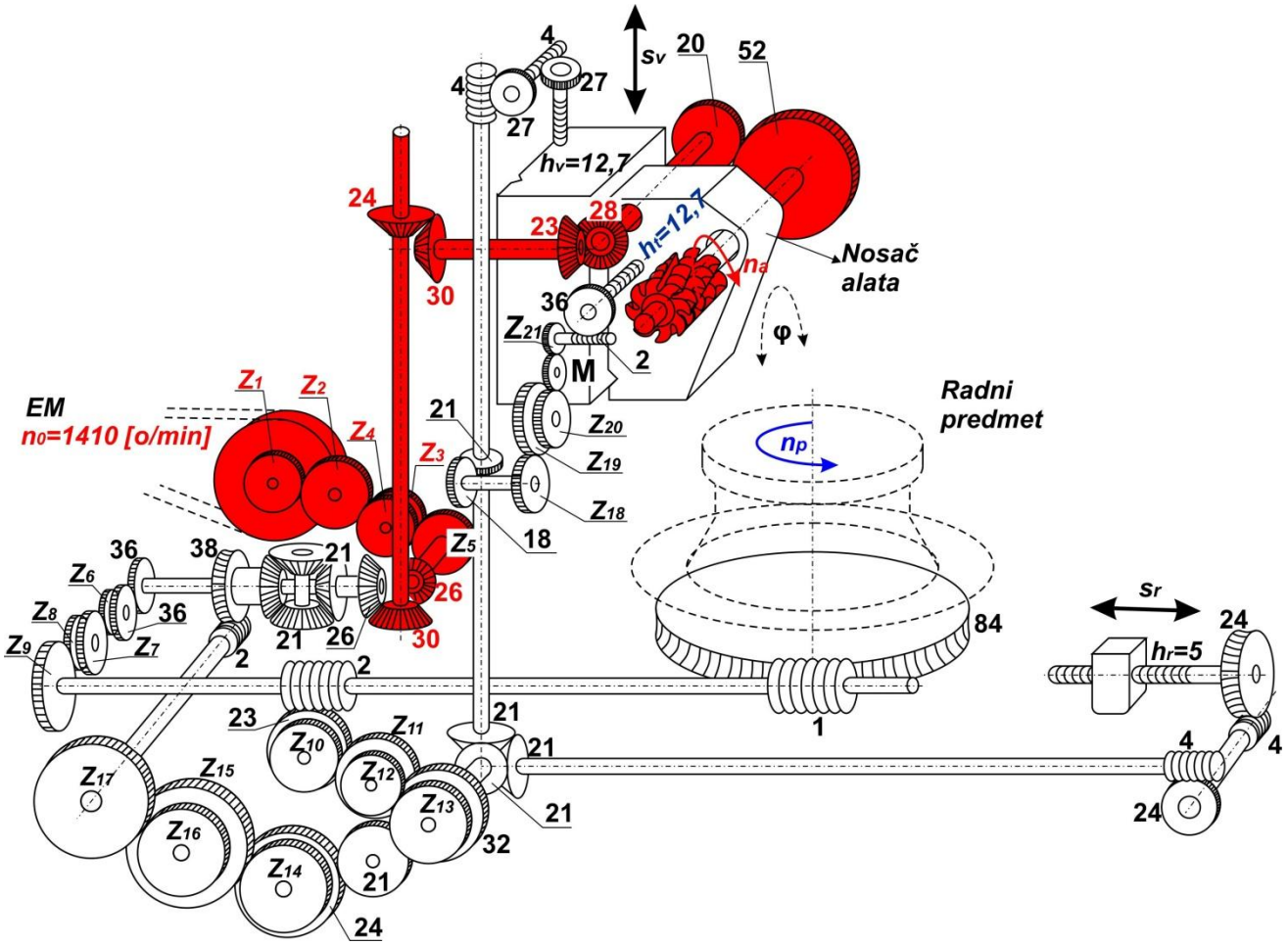
- Pri jednom obrtu radnog predmeta, alat se mora okrenuti Z puta, ako je Z broj zuba zupčanika koji se izrađuje, i ako alat ima jednu zavojnicu.

4.3.3 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



4.3.3 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)

$$n_a = n_0 \cdot k_{uk} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{23}{28} \cdot \frac{20}{52} \quad ; \qquad (z_2 \text{ je međuzupčanik})$$

sa druge strane je:

$$n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi} \text{ ,pa je } \frac{v}{D_a \cdot \pi} = n_0 \cdot \frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{23}{28} \cdot \frac{20}{52}$$

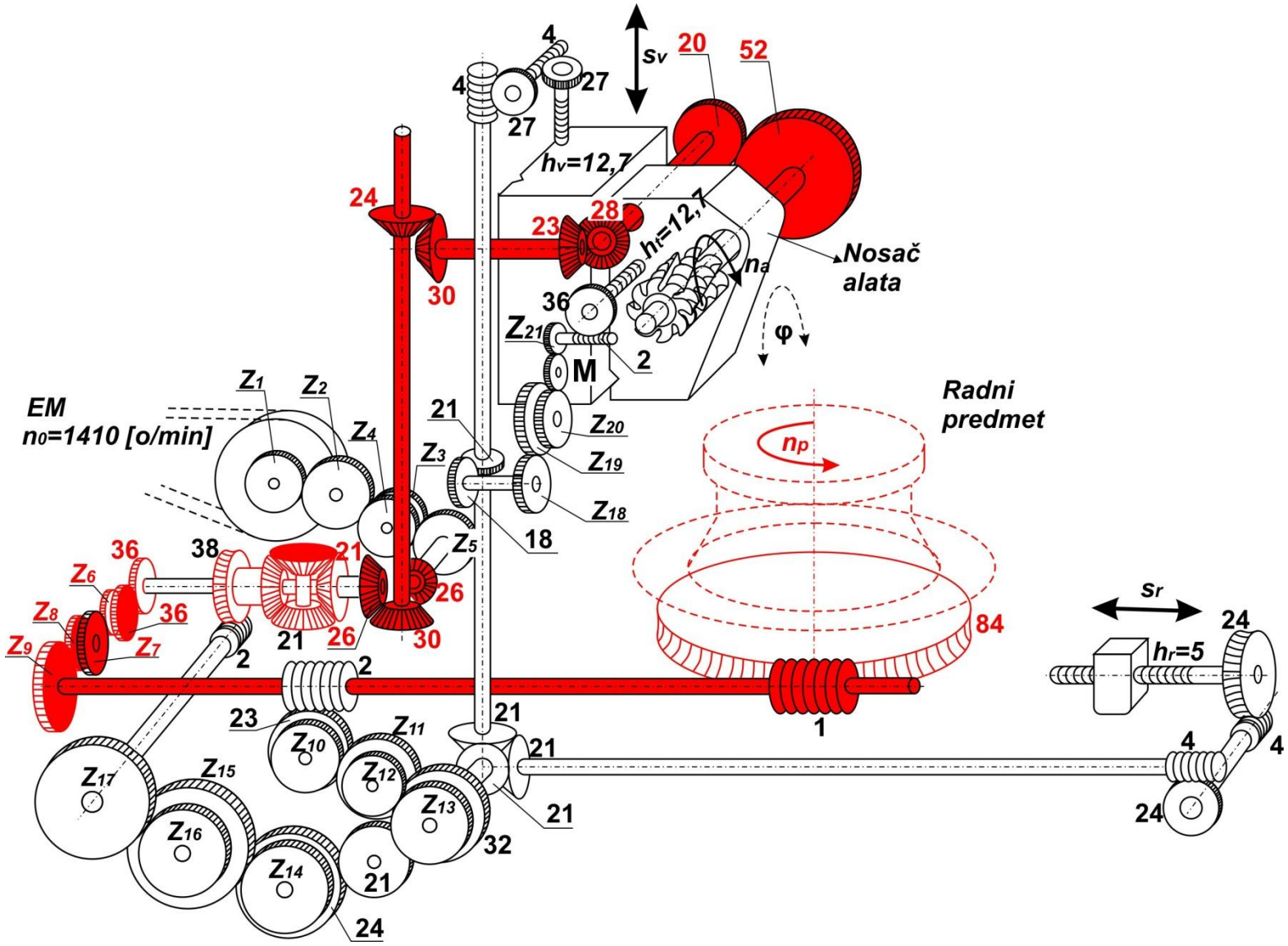
Ovde su nepoznati izmenljivi zupčanici $z_1 \div z_5$:

$$\frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} = \frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0} \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{28}{23} \cdot \frac{52}{20} = \frac{20}{(0{,}06) \cdot \pi \cdot 1410} \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{28}{23} \cdot \frac{52}{20}$$

$$\frac{z_1}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} = 0{,}3435 \qquad \text{(nije potrebna visoka tačnost pri izračunavanju)}$$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pomoćno kretanje – obrtanja radnog predmeta



4.3.3 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:

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} \quad ,tj. \quad k_{uk} = \frac{n_p}{n_a}$$

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:

$$\frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p} \quad \text{, pa prema tome sledi:}$$

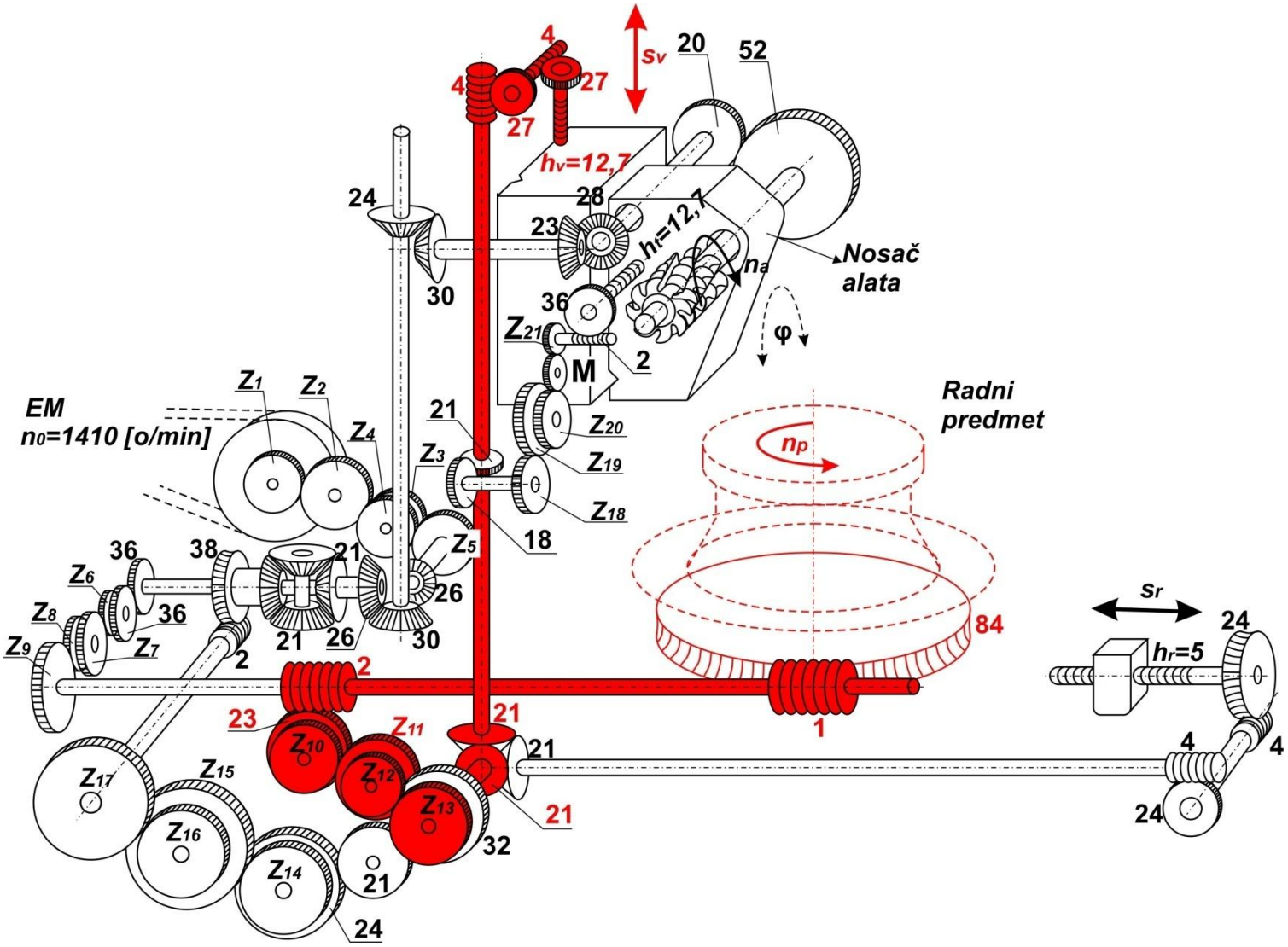
$$k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p} = \frac{1}{30} = \frac{52}{20} \cdot \frac{28}{23} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{30}{26} \cdot k_d \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84}$$

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:

$$\frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} = \frac{1}{30} \cdot \frac{20}{52} \cdot \frac{23}{28} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{26}{30} \cdot (-1) \cdot \frac{84}{1}$$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pomoćno kretanje – vertikalni pomak alata



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pomoćno kretanje – vertikalni pomak alata

3) Pomoćno kretanje: vertikalni pomak – s_v

$$s_v = h_v \cdot n_v \quad \left[\frac{mm}{o}\right] \quad \Rightarrow \quad \left[\frac{mm}{1 obrtu\ predmeta}\right]$$

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 $h_v = 12{,}7\ [mm]$ je:

$$\frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} = \frac{1}{12{,}7} \cdot \frac{1}{84} \cdot \frac{23}{2} \cdot \frac{21}{4} \cdot \frac{27}{4}$$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

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.**

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

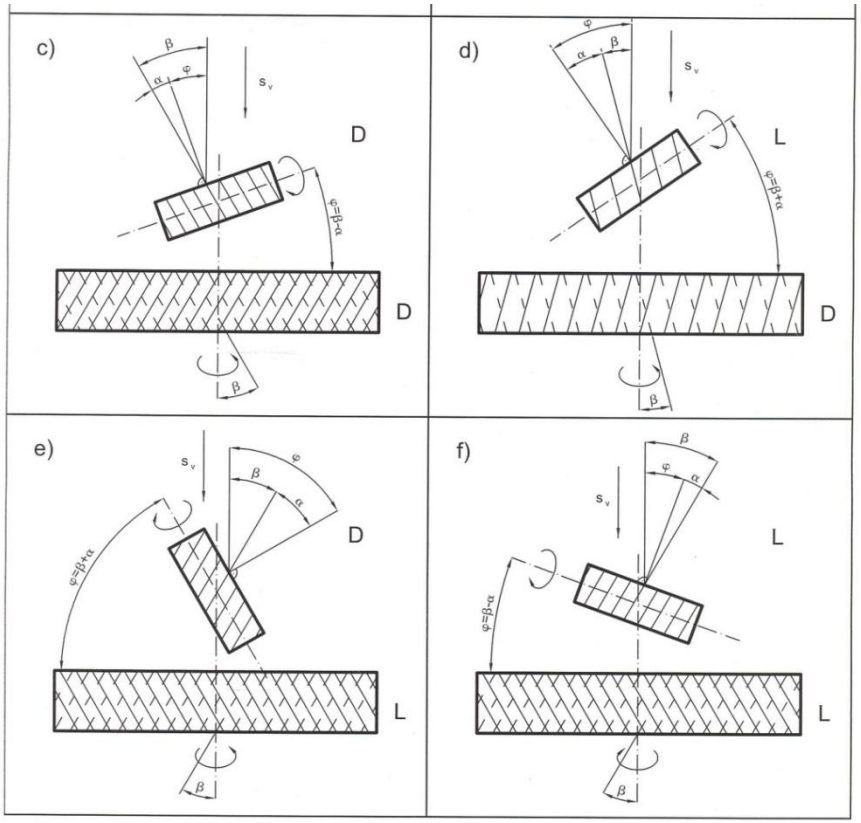
Izrada zupčanika sa kosim zubima

Ugao naginjanja ose alata u odnosu na ravan podeonog kruga zupčanika φ – zavisi od ugla zavojnice alata i pravca zuba zupčanika (obzirom da oni mogu biti, osim pravih i sa kosim zubima – pod uglom β).

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 – φ 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	



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Izrada zupčanika sa kosim zubima

- Zaključak je **da je pri istim smerovima potreban manji ugao zakretanja – φ** , nego u slučajevima različitih smerova zuba zupčanika i zavojnice alata.
- Proces obrade – rezanja, nesmetano se odvija do ugla naginjanja alata oko (22÷23)°, tako da je u slučaju izrade zupčanika sa kosim zubima, većeg ugla β 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 postoje 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 α (što povoljno utiče na smanjenje ugla naginjanja alata – φ kod istih smerova) postoje i alati sa zavojnicama sa više početaka.

4.3.3 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

(za ova kretanja naznačeni kinematski lanci su isti kao kod izrade prvih zuba

- dopunsko obrtanje predmeta, zbog kosih 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)

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} \quad ,tj. \quad k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p}$$

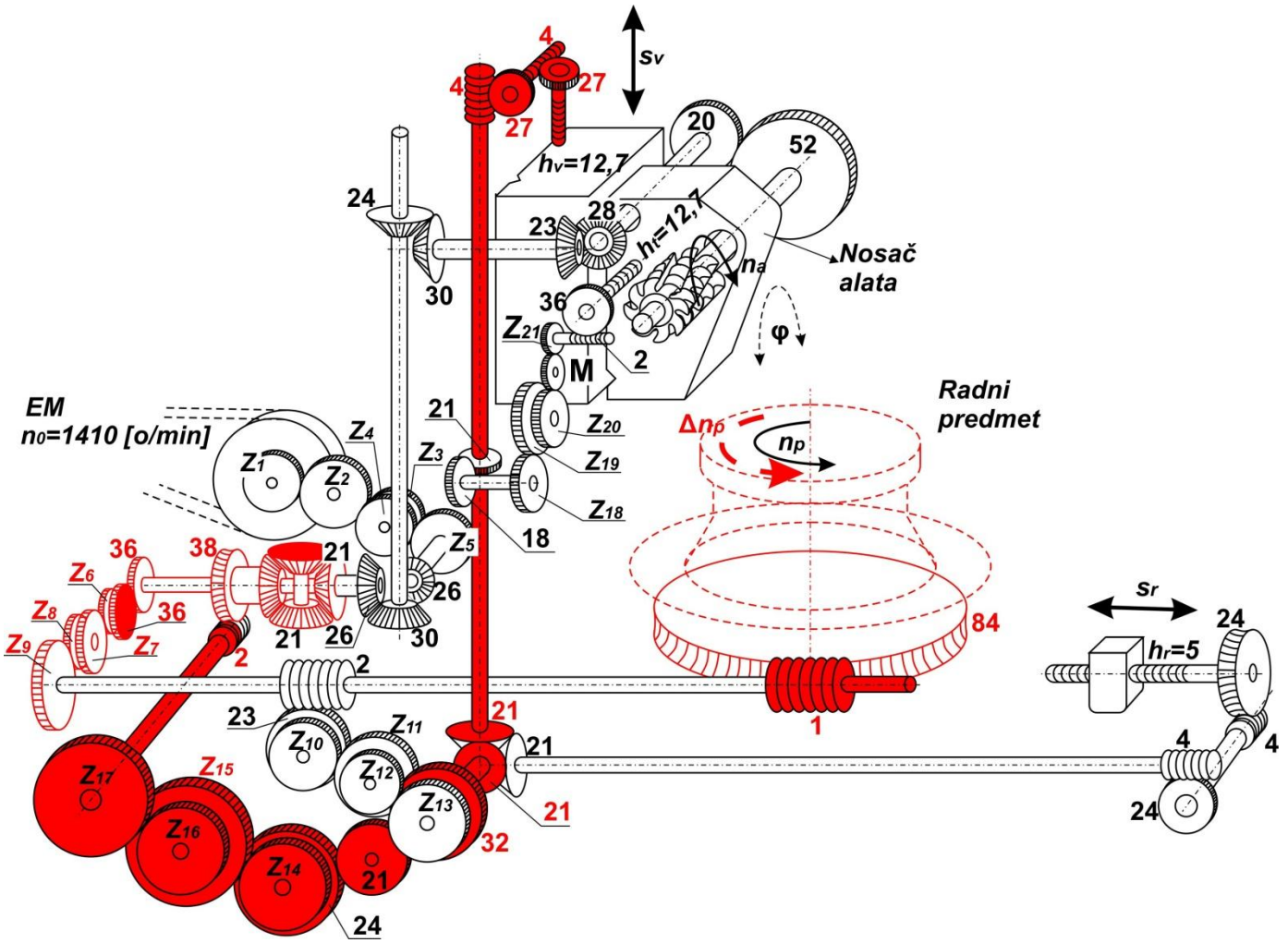
Ovaj kinematski lanac se rešava na potpuno isti način kao i u primeru br.1.

3) Pomoćno kretanje: vertikalni pomak – s_v

$$s_v = h_v \cdot n_v = h_v \cdot n_p \cdot k_{uk}$$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Izrada zupčanika sa kosim zubima – Pomoćno kretanje – Dopunsko obrtanje radnog predmeta



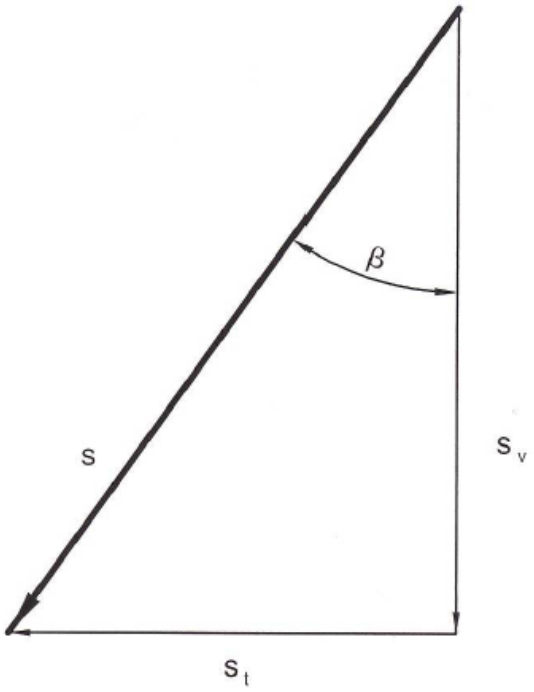
4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Izrada zupčanika sa kosim zubima

4) Pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje predmeta – Δn_p

Zbog kosih zuba se alat u odnosu na predmet mora kretati ne vertikalno nego koso – pod uglom β. 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.

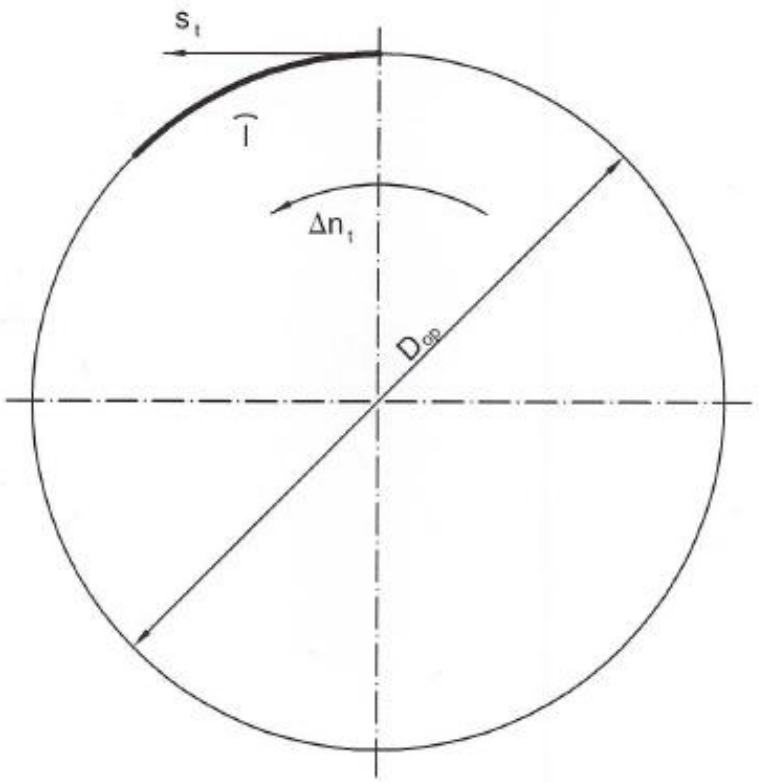


$$s_t = s_v \cdot tg\beta = h_v \cdot n_v \cdot tg\beta$$

4.3.3 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 – φ u odnosu na pravac tangente na predmet, već se to dobija dopunskim obrtanjem predmeta – Δn_p ("dopunsko" je, jer obrtanje n_p već postoji kao komponenta relativnog kotrljanja).



$$s_t = \overset{\frown}{l} = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Izrada zupčanika sa kosim zubima

Iz jednakosti kretanja s_t prema navedene dve skice je:

$$h_v \cdot n_v \cdot tg\beta = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p \quad \text{, odnosno:}$$

$$\frac{\Delta n_p}{n_v} = \frac{h_v \cdot tg\beta}{D_{op} \cdot \pi} = k_{uk}$$

Taj kinematski lanac naznačen je na kinematskoj strukturi mašine, i odatle sledi:

$$k_{uk} = \frac{h_v \cdot tg\beta}{D_{op} \cdot \pi} = \frac{27}{4} \cdot \frac{27}{4} \cdot \frac{21}{27} \cdot \frac{32}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{z_{14}}{z_{15}} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{2}{38} \cdot k_d^{`} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84}$$

U ovom izrazu je sve poznato, osim izmenljivih zupčanika $z_{14} \div z_{17}$, tj.:

$$h_v = 12{,}7\ mm\ ;\ \beta = 12^\circ\ ;\ D_{op} = m \cdot z_p = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot z_p = \frac{2}{\cos 12^\circ} \cdot 30\ ;\ k_d^{`} = 2 \quad \text{(II tip diferencijala);}$$

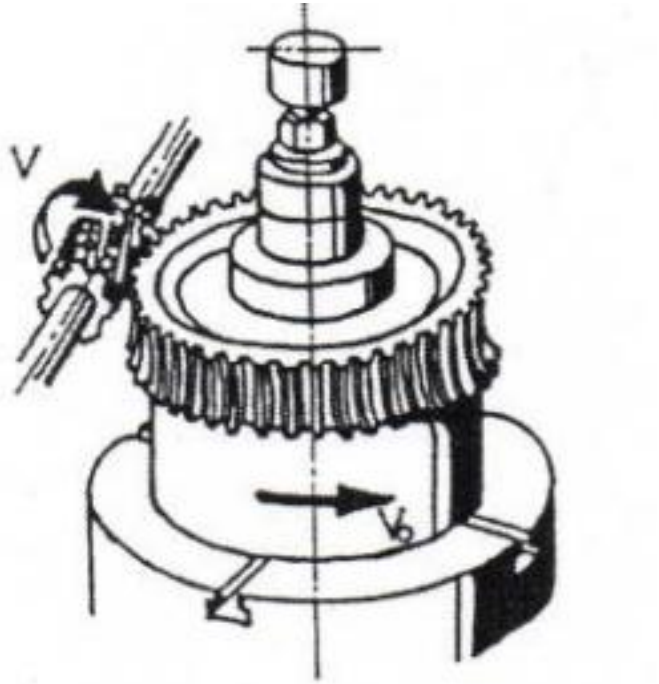
4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

- 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.

4.3.3 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).



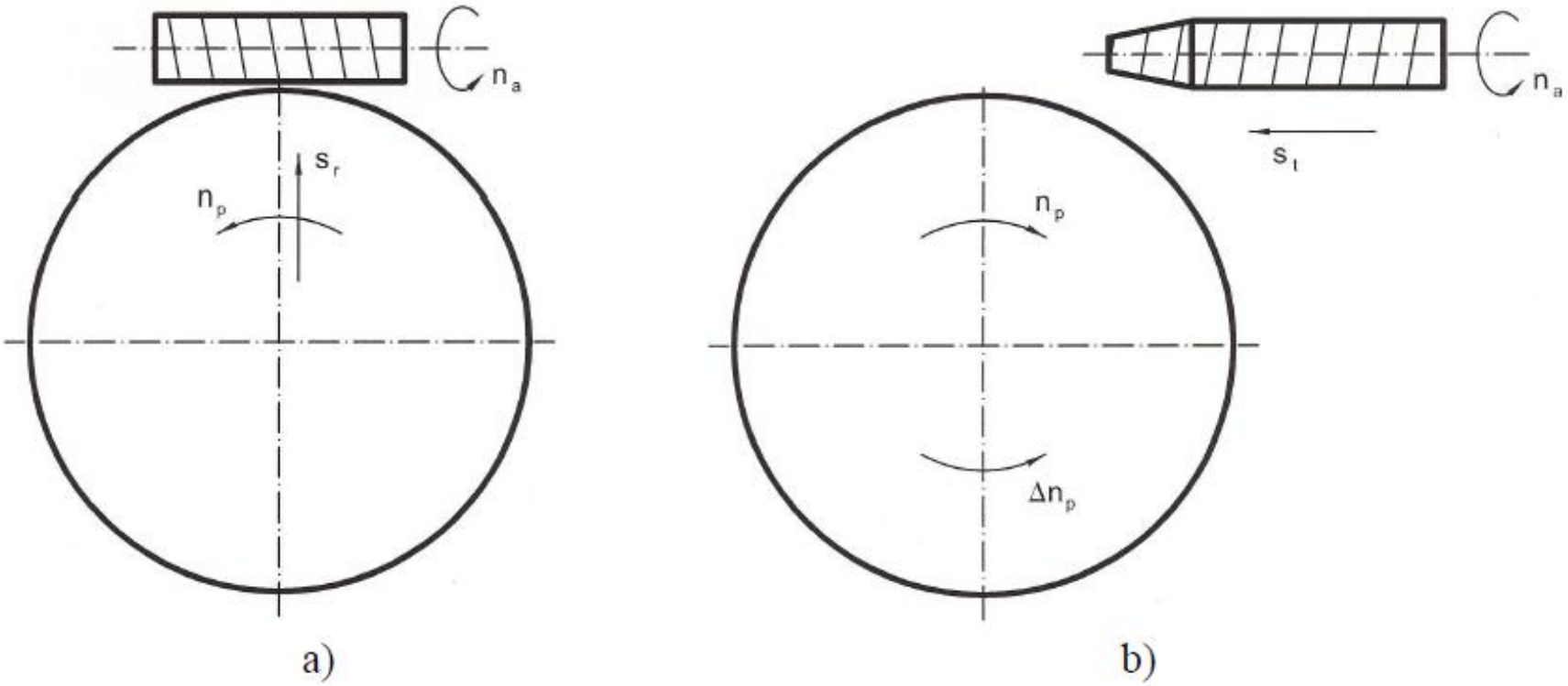
4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

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.



Sl. 6

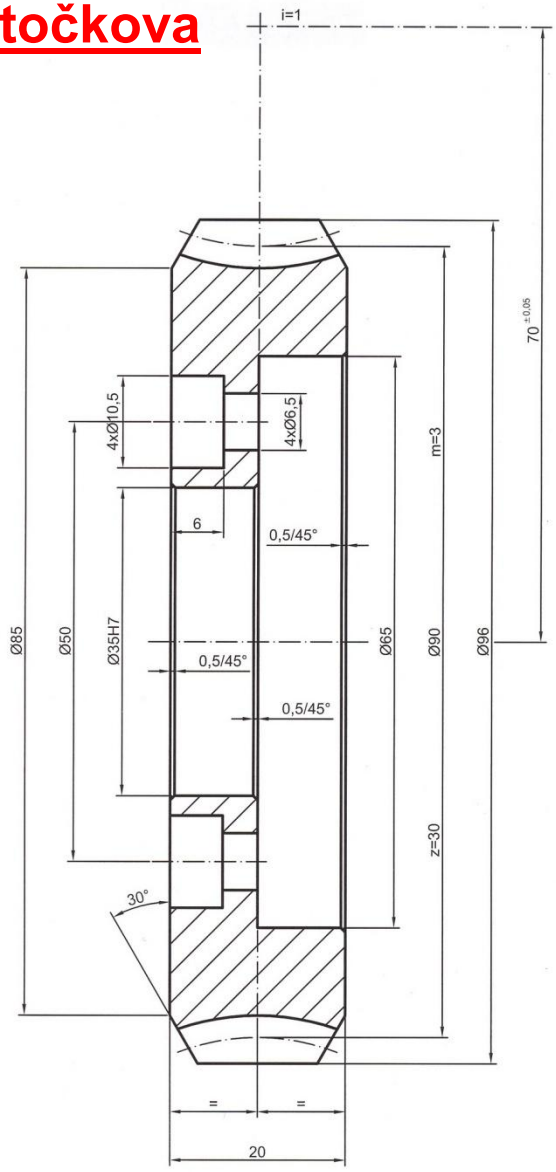
4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

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.

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Izrada pužnih točkova



Primer pužnog točka

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

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

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Radijalna metoda izrade pužnih točkova – glavno kretanje

1) Glavno kretanje: obrtanje alata – n_a

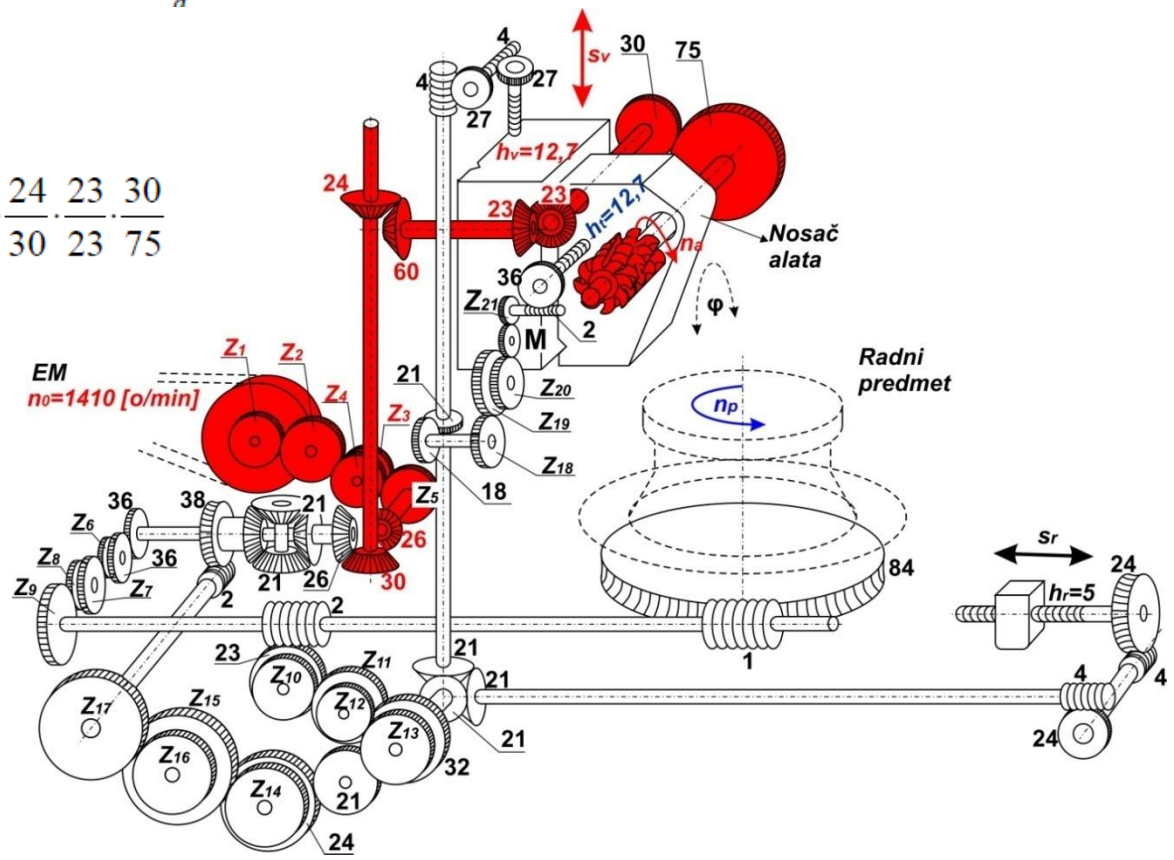
(to je ujedno i jedna komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_a = n_0 \cdot k_{uk} \quad \text{, a također je } n_a = \frac{v}{D_a \cdot \pi}$$

Odavde je:

$$k_{uk} \frac{n_a}{n_0} = \frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0} \quad \text{, tj.}$$

$$\frac{v}{D_a \cdot \pi \cdot n_0} = k_{uk} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_4}{z_5} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{24}{30} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{30}{75}$$



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Radijalna metoda izrade pužnih točkova – pomoćno kretanje

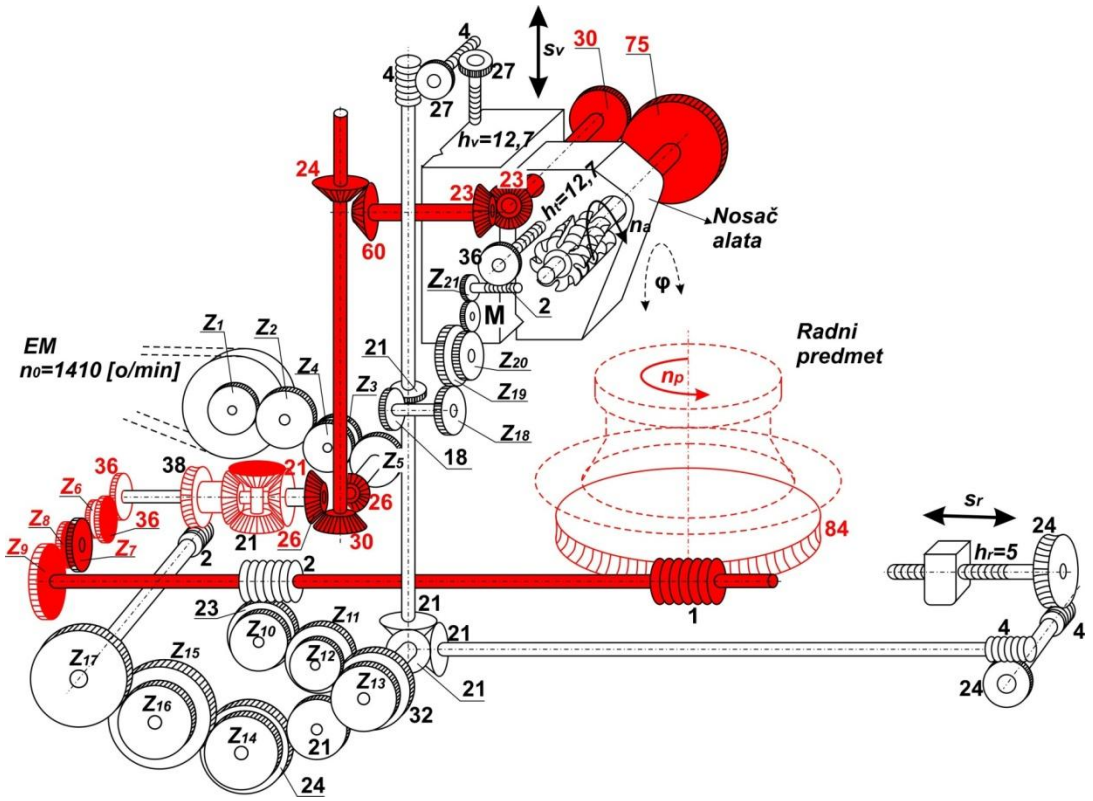
2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta – n_p

(što je druga komponenta relativnog kotrljanja)

Obzirom da komponente relativnog kotrljanja moraju biti sinhronizovane, tj. kinematski usklađene, sledi:

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} \quad \text{, tj.} \quad k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p} = \frac{1}{30}$$

$$k_{uk} = \frac{1}{30} = \frac{75}{30} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{30}{24} \cdot \frac{30}{26} \cdot k_d \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{z_6}{z_7} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{1}{84} \quad ;$$



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Radijalna metoda izrade pužnih točkova – pomoćno kretanje

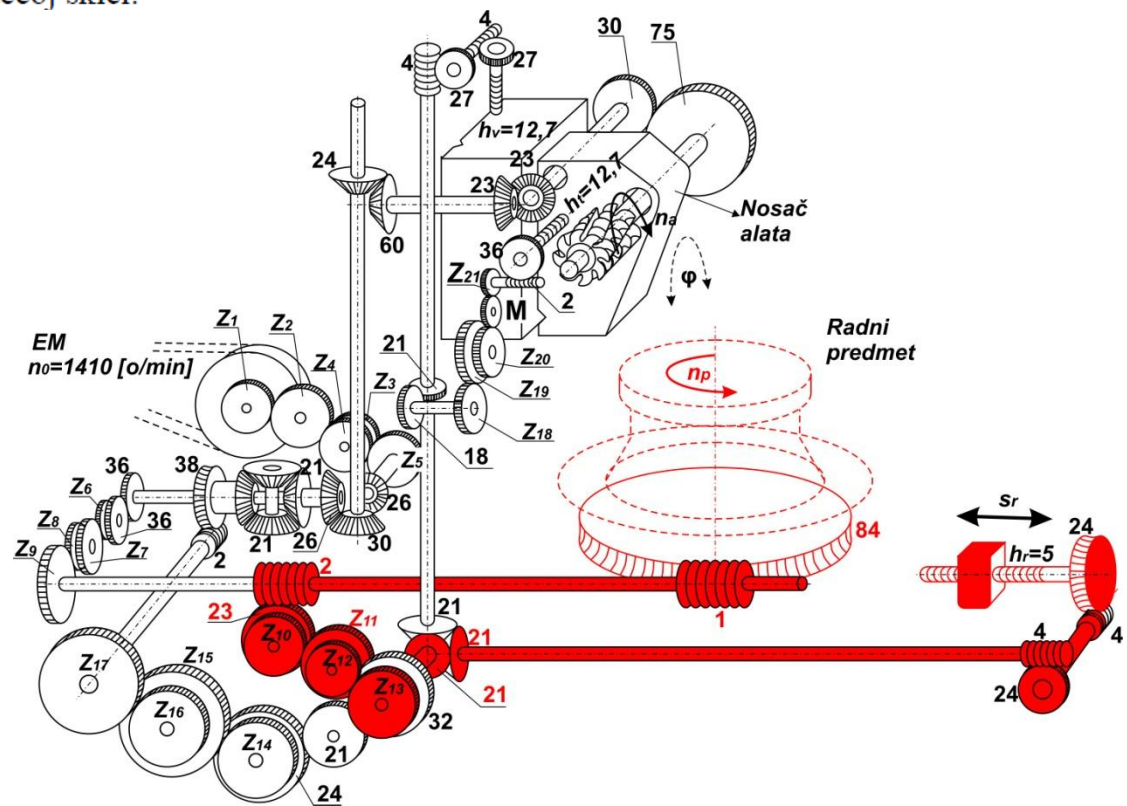
3) Pomoćno kretanje: radijalni pomak – s_r

Ovo kretanje se ostvaruje zavojnim vretenom koraka $h_r = 5\ mm$, pa je stoga:

$$s_r = h_r \cdot n_r \left[\frac{mm}{o}\right] \Rightarrow \left[\frac{mm}{1 obrtu\ predmeta}\right]$$

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 datoj 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
2) obrtanje predmeta

(nisu naznačeni kinematski lanci, obzirom da su već više puta razmatrani)

3) tangencijalni pomak
4) dopunsko obrtanje predmeta

(naznačeni kinematski lanci pri razmatranju ovih kretanja)

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.

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

2) Pomoćno kretanje: obrtanje predmeta – n_p

(to je druga komponenta relativnog kotrljanja)

$$n_p = n_a \cdot k_{uk} \quad , \text{tj.} \quad k_{uk} = \frac{n_p}{n_a} = \frac{i_a}{z_p}$$

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 $h_t = 12{,}7\ mm$, pa je stoga:

$$s_t = h_t \cdot n_t \left[\frac{mm}{o}\right] \Rightarrow \left[\frac{mm}{1 obrtu\ predmeta}\right]$$

Iz ovog jasno sledi da to kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta, i to se odnosi za $n_p = 1$

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pomoćno kretanje: tangencijalni pomak

3) Pomoćno kretanje: tangencijalni pomak – s_t

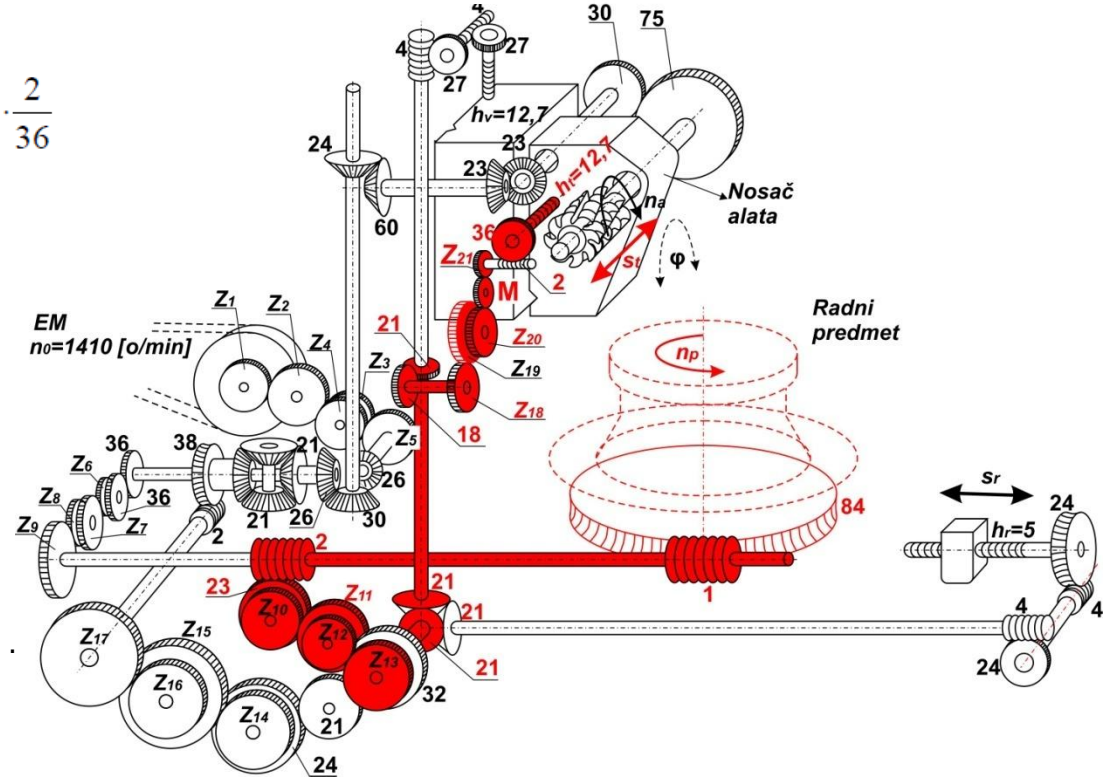
Ovo kretanje se ostvaruje obrtanjem zavojnog vretena koraka $h_t = 12{,}7\ mm$, pa je stoga:

$$s_t = h_t \cdot n_t \left[\frac{mm}{o}\right] \Rightarrow \left[\frac{mm}{1 obrtu\ predmeta}\right]$$

Iz ovog jasno sledi da to kretanje mora biti u kinematskoj vezi sa obrtanjem predmeta, i to se odnosi za $n_p = 1$

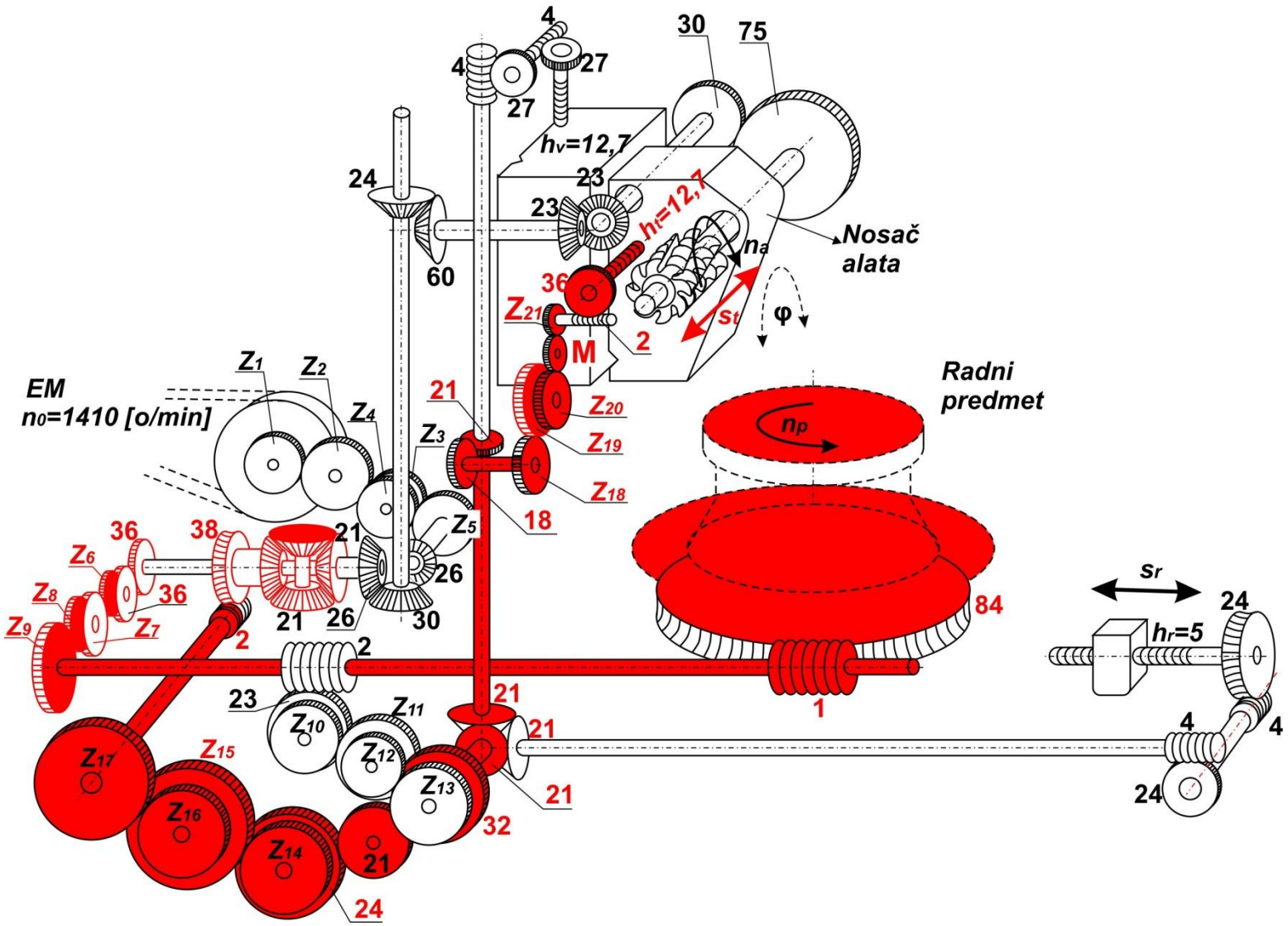
$$s_t = h_t \cdot n_t = h_t \cdot n_p \cdot \frac{84}{1} \cdot \frac{2}{23} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{12}}{z_{13}} \cdot \frac{27}{21} \cdot \frac{21}{18} \cdot \frac{z_{18}}{z_{19}} \cdot \frac{z_{20}}{M} \cdot \frac{M}{z_{21}} \cdot \frac{2}{36}$$

(M je ovde međuzupčanik)



4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje radnog predmeta

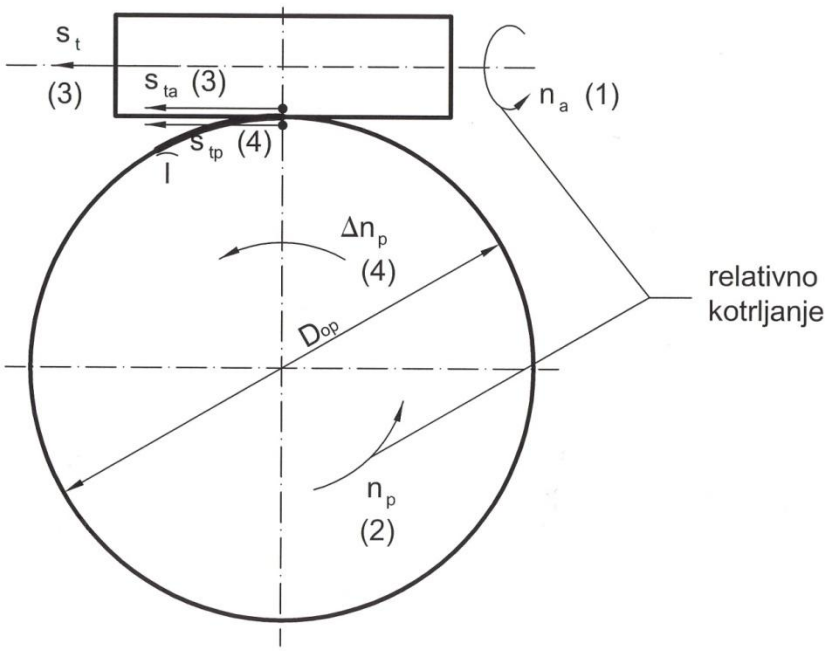


4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

Pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje radnog predmeta

4) pomoćno kretanje: dopunsko obrtanje predmeta – Δn_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 $s_t = s_{tp}$.



$s_{ta} = h_t \cdot n_t \quad ; \quad s_{tp} = \widehat{l} = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$

$s_{ta} = s_{tp}$

$h_t \cdot n_t = D_{op} \cdot \pi \cdot \Delta n_p$; 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.

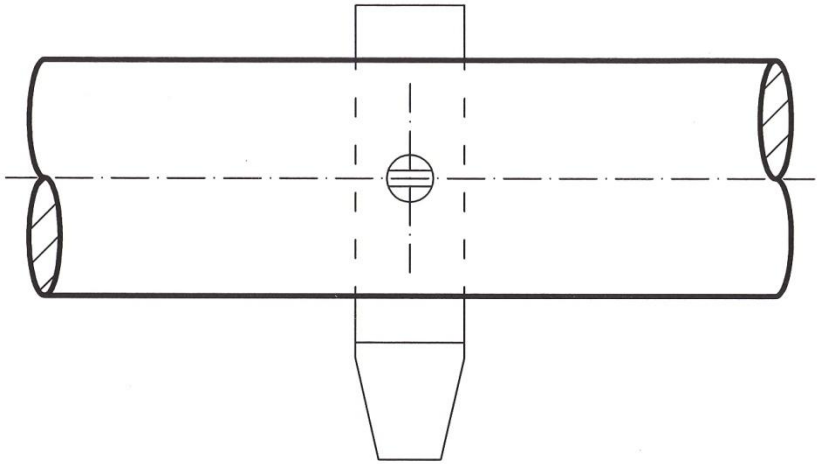
Pri izradi pužnih točkova, od alata se, osim odgovarajućeg modula, zahteva i odgovarajući prečnik, tj. on je definisan crtežom puža na kome mora biti dato i osno rastojanje. Tako dva pužna točka istog modula i broja zuba, ali različitog osnog rastojanja, zahtevaju pri izradi dva različita odvalna glodala. Obzirom da su alati u vidu odvalnih glodala skupi, njihova primena je neekonomična u slučajevima pojedinačne ili maloserijske proizvodnje pužnih točkova.

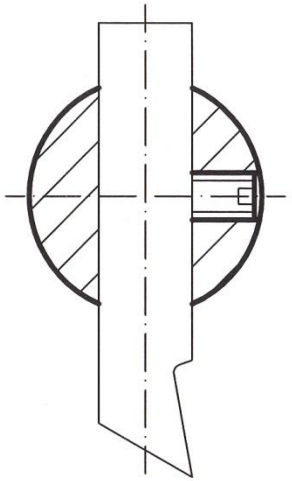
4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

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.

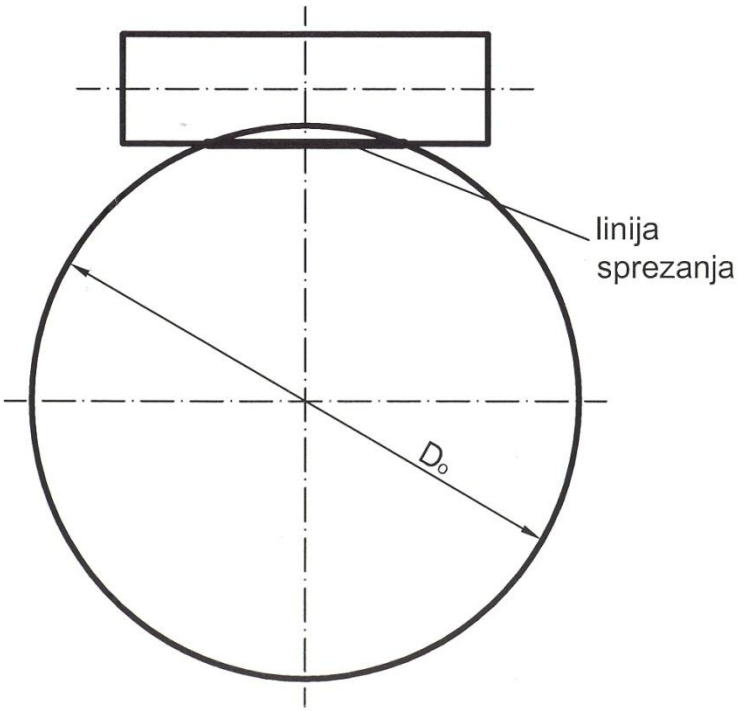
Kad se odstrani treći, pa četvrti i tako redom, dok ne ostane samo jedan, odvalno glodalo je dobilo oblik jednozubog alata, ali i dalje konstantnog prečnika. Naravno, jednozubi alat se ne izrađuje na taj način, već se jednosečni alat – nož odgovarajućeg profila, postavlja u poprečni otvor jednog vratila i zavrtnjem fiksira u željenom radijalnom položaju.

Glodalica za zupčanike Pfauter- Izrada pužnih točkova





Skica jednozubog alata



Odpuštanjem zavrtnja i pomeranjem noža menja se radijus, 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.

4.3.3 Kinematska struktura odvalnih glodalica za zupčanike tipa PFAUTER

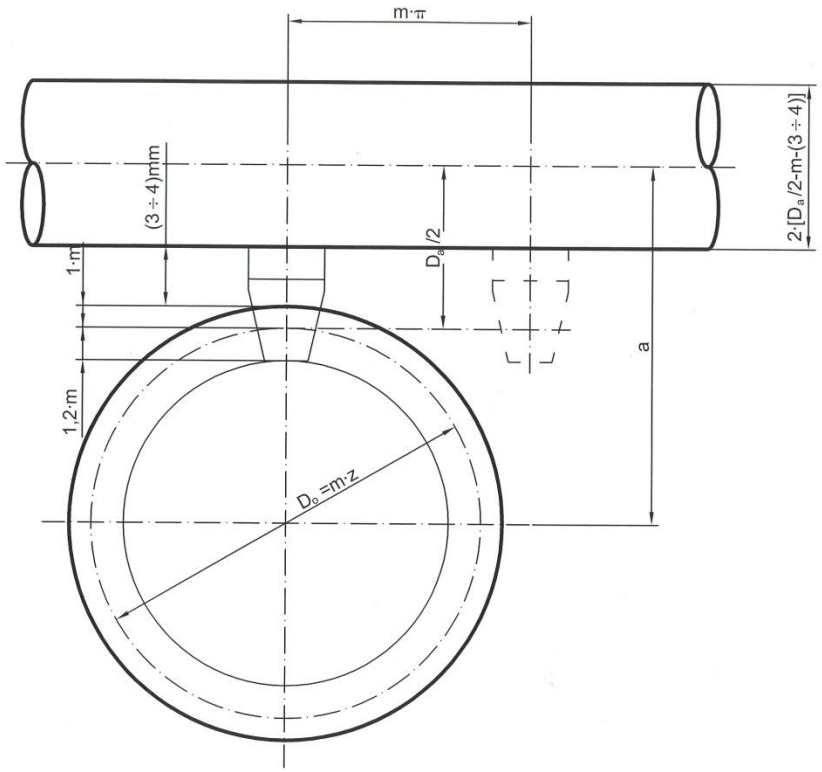
Nož jednozubog alata mora stoga da se pri izradi pužnog točka nađe u svim tačkama linije sprezanja. Ovo je moguće izvesti primenom jedino tangencijalne metode.

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.

4.3.3 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 zavojnicu, tj. mora postojati DVA zuba na alatu. Njihovo rastojanje je jednako koraku zavojnice puža koji iznosi: $h = m \cdot \pi$



Osnovne dimenzije jednozubog (dvozubog) alata