

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

PROJEKTOVANJE MAŠINA ALATKI III - DEO

dr Aleksandar Živković, vanr. profesor

Studijski program: Proizvodno mašinstvo

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

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

Naziv predmeta:

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

Semestar: VIII

Fond časova: 3+3

Izvođači nastave:

Predavanja: dr Aleksandar ŽIVKOVIĆ, vanr. profesor

Vežbe: dr Cvijetin MLAĐENOVIĆ, asistent

FTN - DPM - LAMA

Studijski program: Proizvodno mašinstvo

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

Novi Sad, oktobar 2021.

Predmet: **Projektovanje mašina alatki**

7.0 SISTEMI ZA VOĐENJE - VOĐICE-

PMA- KORIŠĆENA LITERATURA

KORIŠĆENA LITERATURA:

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

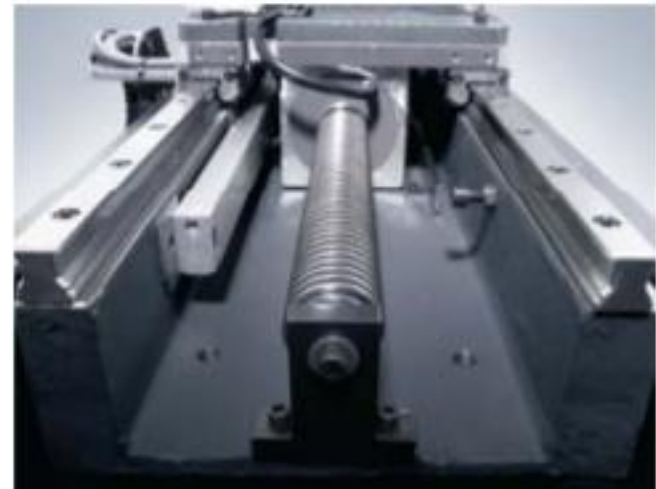
PMA- KORIŠĆENA LITERATURA

KORIŠĆENA LITERATURA:

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

Uvodne napomene

- ❑ Sistemi za vođenje (VOĐICE) imaju zadatak da obezbede da se alat ili obradak kreće duž unapred određene putanje. Vođice kontrolišu kretanje različitih delova mašine alatke u svim pozicijama pre, tokom i nakon obrade.
- ❑ Pod vođenjem se podrazumeva definisanje tačne putanje kretanja pokretnog u odnosu na nepokretne delove mašine alatke.
- ❑ Funkcija vodenja obezbeđuje se na način da vođice dozvoljavaju samo jedan stepen slobode kretanja.
- ❑ Osnovni zadatak vođica je da prime spoljašnje opterećenje, i da obezbede međusobni položaj, kao i mogućnost relativnog pomeranja izvršnih organa mašine alatke, tj. alata i obratka.



Uvodne napomene

- ❑ Vođice predstavljaju oslonce izvršnim organima mašina alatki, pri čemu se, preko njih uspostavlja tačno definisani relativni položaj alata u odnosu na obradak, obezbeđujući pri tome zahtevanu tačnost obrade.
- ❑ Pri obradi, relativna kretanja alata u odnosu na obradak se izvode pomeranjem izvršnih organa po vođicama, te je tačnost obrade u zavisnosti od tačnosti vođica.
- ❑ Pored zahteva za tačnosti, jednostavne montaže i ekonomičnosti, vođice moraju imati:
 - ✓ visoku krutost;
 - ✓ visoku ravnomernost kretanja, tj. odsustvo neravnomernog kretanja i tačnost pozicioniranja pokretnog elementa;
 - ✓ povišenu tačnost kao i visok kvalitet obrađene površine;
 - ✓ minimalne gubitke usled trenja (male sile koje deluju na površinu vođica) i minimalnu promenu koeficijenta trenja;
 - ✓ dobra svojstva prigušenje vibracija (odsustvo vibracija u procesu obrade);
 - ✓ zadati veka mašina sa stanovišta intenziteta habanja (trajnost vođica). Trajnost zavisi od sposobnosti vođica da zadrže početnu tačnost;

Uvodne napomene

U cilju ispunjenja zaheva, pri izboru vođica i njihove geometrije, potrebno je voditi računa o uslovima rada vođica, koji su definisani:

- ✓ opterećenjem, odnosno površinskim pritiskom, koje je kod većine mašina alatki promenljivo tokom eksploatacije,
- ✓ brzinom kretanja pokretnog elemenata, koja se nalazi u širokom rasponu, a zavisi od namene vođica,
- ✓ podmazivanjem, koje je zavisno od vrste i oblika vođica,
- ✓ zaprljanošću kontaktnih površina,
- ✓ dozvoljenom temperaturom na vođicama,
- ✓ režimom trenja.

Uvodne napomene

Vođice se mogu sistematizovati prema više kriterijuma:

➤ **Prema vrsti kretanja:**

✓ **vođice za pravolinijsko kretanje;**

- *vođice za vođenje pokretnih elemenata mašine alatke;*
- *vođice za pomeranje i fiksiranje povremeno pokretnih elemenata mašine alatke*

✓ **vođice za obrtno kretanje (ležišta);**

➤ **Prema nameni (vidu kretanja) :**

✓ **vođice za glavno kretanje;**

✓ **vođice za pomoćno kretanja;**

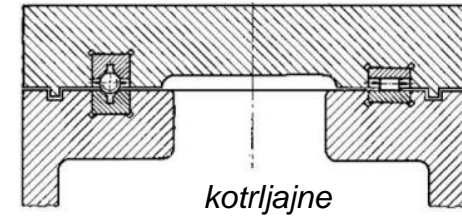
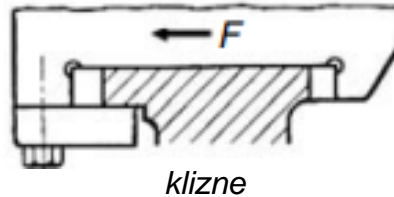
✓ **vođice za premeštanje povremeno pokretnih elemenata;**

Uvodne napomene

➤ Prema karakteru trenja :

✓ **klizne** (za mašine normalne preciznosti ($> 0,001$ mm) i veće snage (> 3 kW))

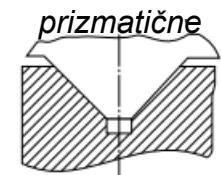
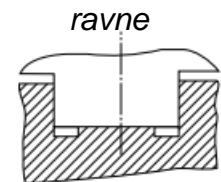
- hidrodinamičke,
- hidrostatičke,



✓ **kotrljajne** (za mašine povišene preciznosti ($< 0,001$ mm) i manje snage (< 3 kW)).

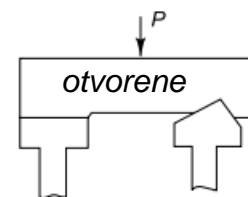
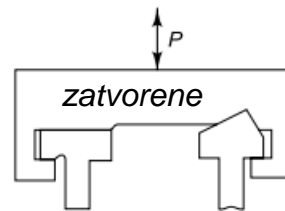
➤ Prema geometrijskom obliku:

- ✓ **ravne,**
- ✓ **prizmatične i**
- ✓ **kružne (cilindrične) vođice.**



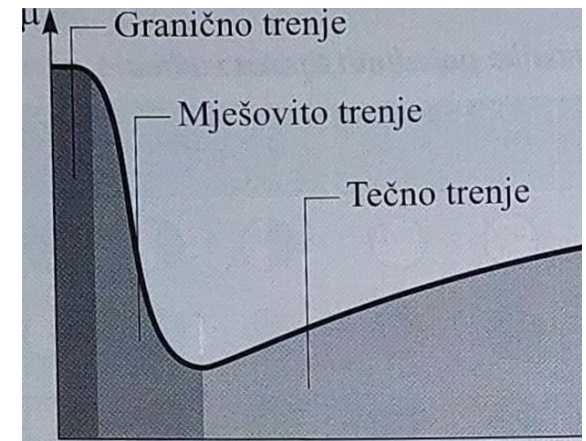
➤ Prema mogućnosti kompenzovanja momenata i sila:

- ✓ **zatvorene i**
- ✓ **otvorene.**



Klizne vođice

- Klizne vođice imaju veliku moć nosenja i krutost, dobra svojstva prigušenja, relativno nisku cenu izrade i ugradnje, dok je tačnost vođenja zavisna od preciznosti i tolerancija njihove izrade i montaže.
- Osnovni nedostatak ovih vođica je veliki koeficijent trenja, što je nepovoljno zbog velikih gubitaka.
- Jedan od načina smanjenja trenja kod kliznih vođica je odgovarajuće podmazivanje.
- Kod kliznih vođica, klizne površine pokretnog i nepokretnog elementa mogu biti u direktnom kontaktu ili se između njih može nalaziti tanak sloj maziva, različite čvrstoće i nosivosti.
- U zavisnosti od uslova rada i načina podmazivanja kod kliznih vođica se javljaju sledeći uslovi rada:
 - ✓ granično trenje,
 - ✓ mešovito trenje i
 - ✓ hidrodinamičko plivanje (tečno trenje).

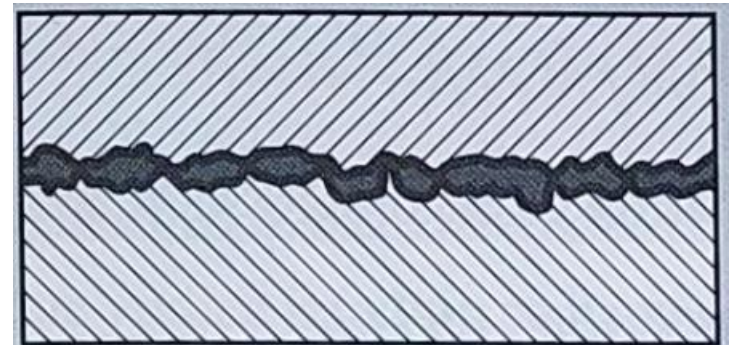
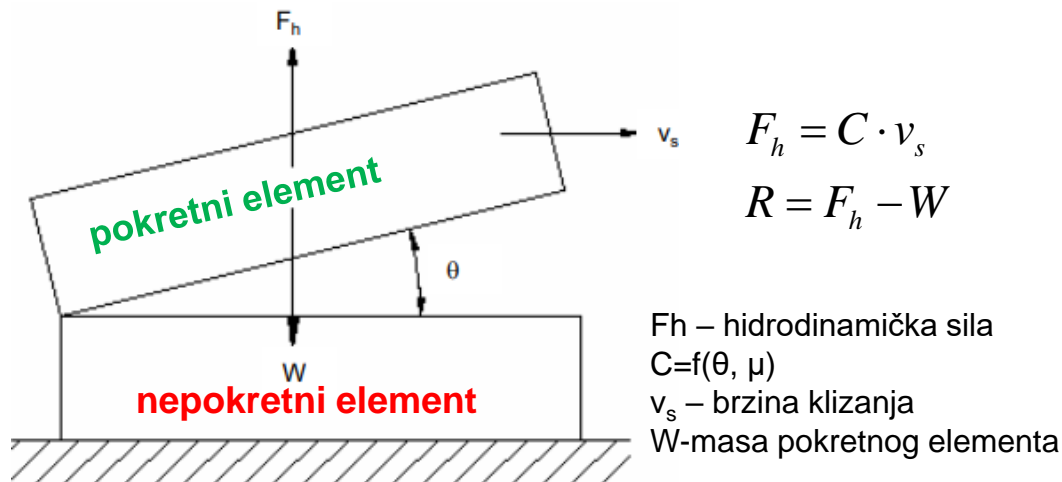


Klizne vodice

Granično trenje se javlja u uslovima vrlo malih brzina klizanja i pri relativno velikim pritiscima (opterećenju).

Kod graničnog trenja tarne površine, koje na sebi imaju tanki granični sloj maziva, dodiruju se samo u najjisturenijim tačkama površinskih neravnina u kojima je probijen granični sloj.

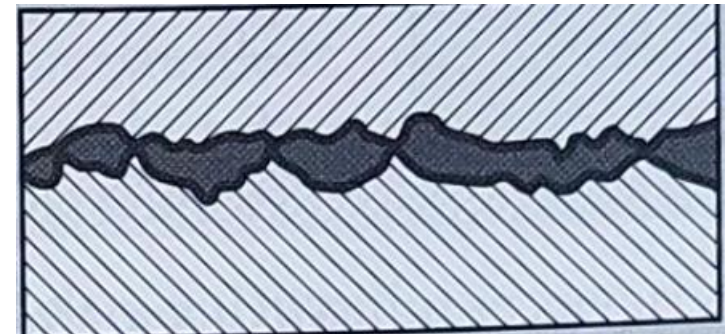
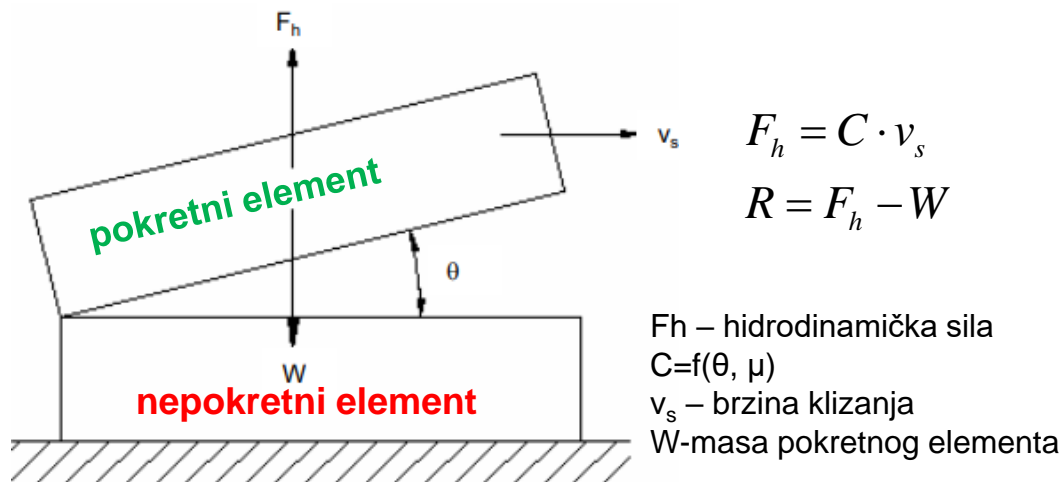
Pokretni element leži na nepokretnom kada je hidrodinamička sila (F_h) manja od težine pokretnog elementa (W).



7.0 Sistemi za vođenje

Klizne vodice

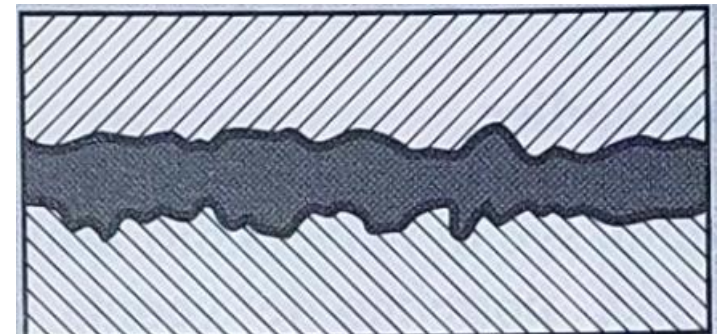
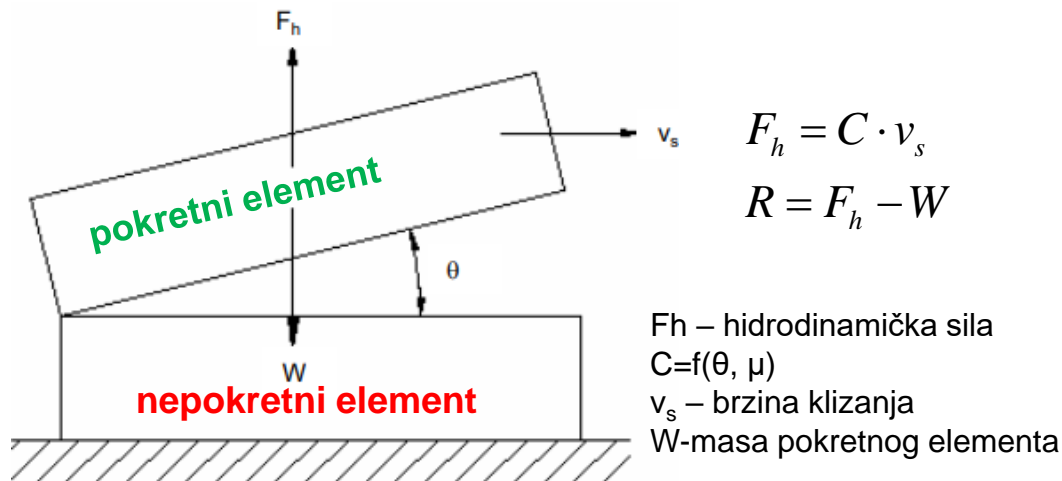
- **Mešovito trenje** javlja se u slučaju kada se tarne površine ne dodiruju direktno, već klize preko svojih graničnih slojeva, budući da vrhove neravnina tarnih površina razdvaja tanki sloj maziva.
- Količina maziva koja se nalazi u području kontakta zavisi od relativne brzine kretanja, geometrije kontaktnih površina, te viskoznosti maziva.
- Sila trenja je obrnuto proporcionalna brzini kretanja i tu je naročito izražena mogućnost za nastanak neravninomernog kretanja.
- Rezultujuća normalna sila (R) na pokretni element počinje da deluje nagore i telo lebdi jer je hidrodinamička sila veća od težine pokretnog elementa.



7.0 Sistemi za vođenje

Klizne vodice

- Pri *hidrodinamičkom podmazivanju* (hidrodinamičkom plivanju) hidrodinamička sila razdvaja dve međusobno pokretne površine (razdvojene kontinualnim slojem maziva) i tu se odvija ravnomerno kretanje bez prisustva metalnog kontakta međusobno pokretneih elemenata.
- Razlikuje se hidrodinamicko i hidrostatičko trenje. Kod hidrodinamičkog trenja potrebni pritisak u sloju maziva nastaje kao posledica prirodnog kretanja tela pri dovoljnoj brzini.
- Kod hidrostatičkog trenja moć nošenja sloja maziva obezbeđuje se između tarnih površina tako što se mazivo dovodi pod pritiskom ostvarenim preko hidrostatičkog sistema.



Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Osnovi preduslovi za postizanje potrebne tačnosti su:

- zadovoljavajuća sopstvena geometrijska tačnost vođica;
- primena vođica takvog konstrukcionog oblika koji isključuje mogućnost slobodnog pomeranja pod dejstvom komponenata sila rezanja, što se obično obezbeđuje specijalnim elementima za otklanjanje zazora, odnosno, visokom krutošću vođica;

Sa stanovišta konstrukcionog oblika postoje:

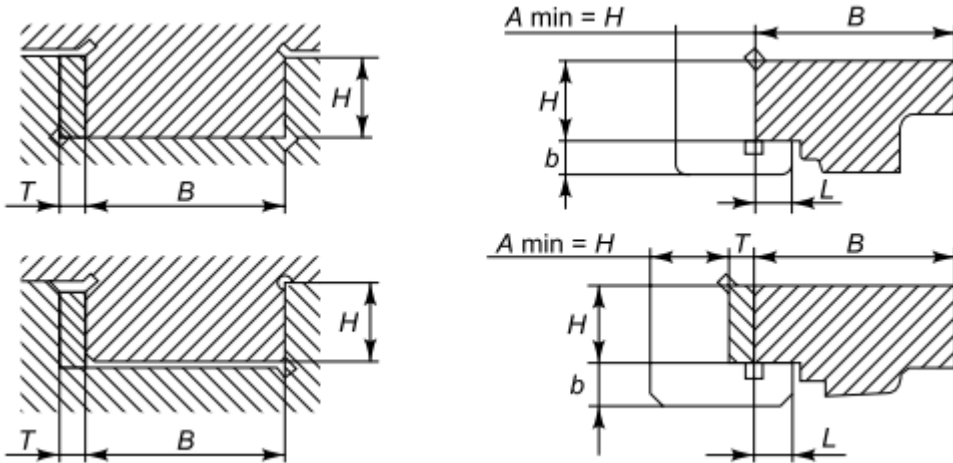
- a) pravougaone vođice (ravne vođice)
- b) vođice oblika lastionog repa (trapezoidne vođice)
- c) prizmatične vođice (trouglaste)
- d) cilindrične vođice
- e) kombinovane vođice

Svaki od navedenih tipova vođica može biti otvorenog i zatvorenog tipa. Kod otvorenih vođica veza se ostvaruje silom, dok kod zatvorenih se veza ostvaruje oblikom.

Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Pravougaone vođice (ravne vođice)

Dimenzije poprečnog preseka vođica su unificirane i/ili standardizovane u zavisnosti od visine vođica „H“.

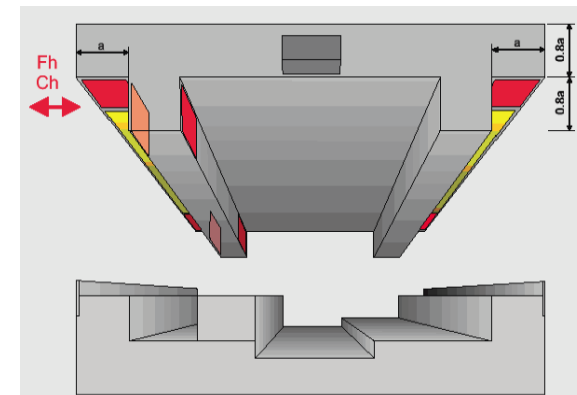
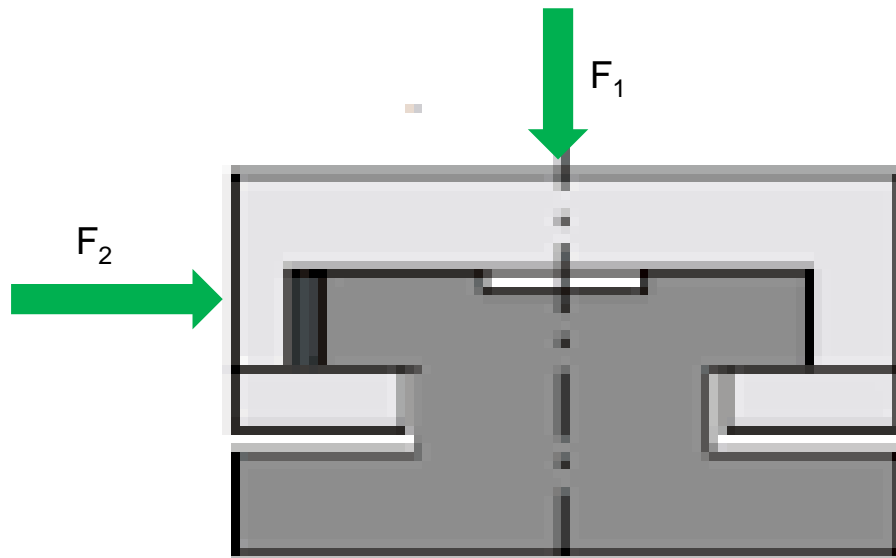


H	10	12	16	20
B	[0.394]	[.472]	[0.63]	[0.787]
	16	20	25	32
	20	25	32	40
	25	32	40	50
	32	40	50	63
	40	50	63	80
T	3 [0.118]	4 [.157]	5 [.197]	5
Min.*	5	6	8	10
L	8	10	12	16
b	6	8	10	12

Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Pravougaone vođice (ravne vođice)

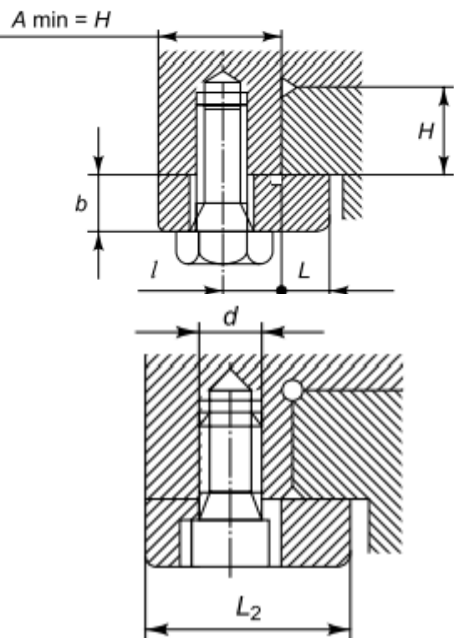
- Kod ovih vođica se po pravilu ugrađuju i letve koje sprečavaju vertikalno kretanje (preturanje) dok sam geometrijski oblik sprečava horizontalno preturanje.
- Pomeranja u vertikalnom i horizontalnom pravcu su nezavisna, tako da se zazor u vertikalnom pravcu automatski reguliše pod dejstvom sopstvene težine (F_1) pokretnog elementa, dok se zazor u horizontalnom pravcu, mora eliminisati u cilju postizanja potrebne tačnosti vođenja.



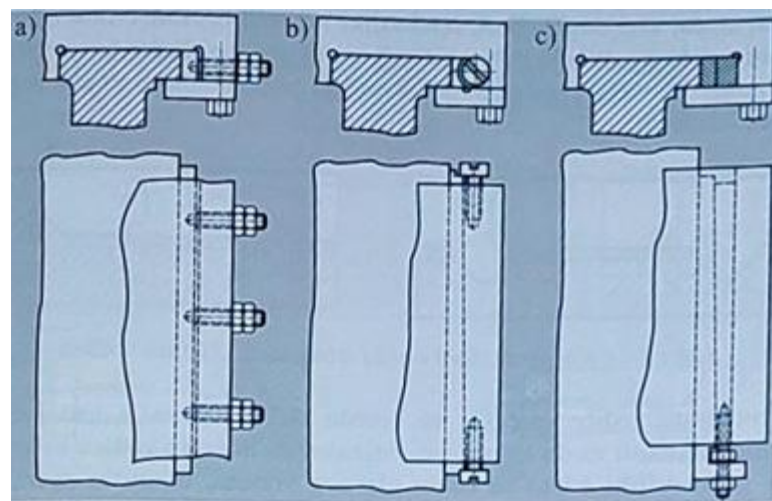
Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Pravougaone vođice (ravne vođice)

- Za podešavanje veličine bočnog zazora najčešće se koriste elementi u vidu letvi, koje mogu biti ravne ili konusne.
- Kod ravnih letvi zazor se reguliše vijcima (a, b), dok se konusne letve izvode obično sa nagibom 1:50 (c) i one, po pravilu, obezbeđuju veću krutost.
- Kod regulisanja zazora mora se voditi računa da smer opterećenja vođica ne opterećuje letvu za regulisanje zazora.



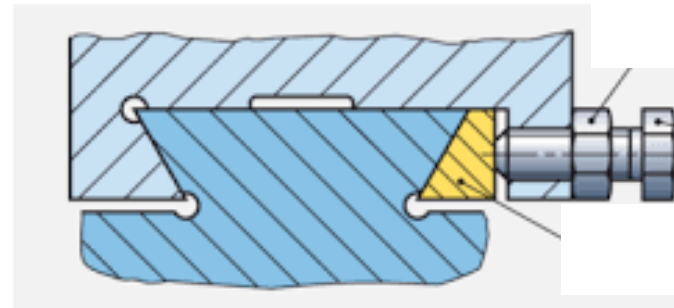
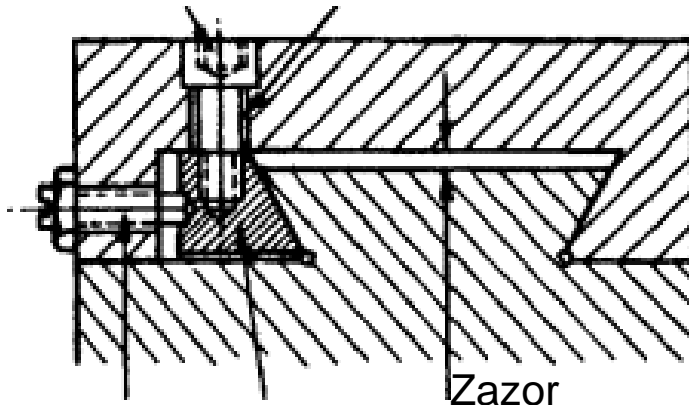
H	10 [.394]	12 [.472]
d	M5	M6
Min.*	5 [.197]	6 [.236]
L	8	10
b	6	8
Min.*	15 [0.59]	18 [0.709]
L ₂	18	22
l	4	5



Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Vođice oblika lastionog repa (trapezoidne vođice)

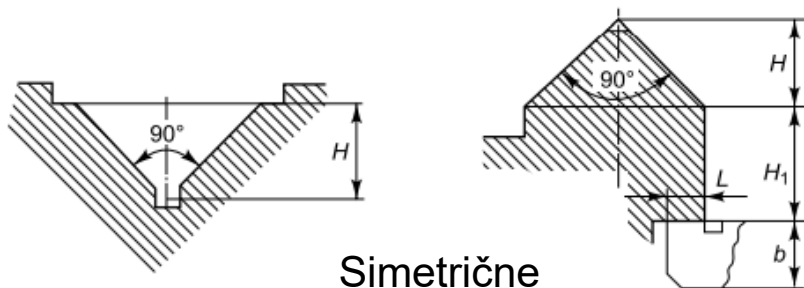
- Ove vođice karakteriše kompaktna konstrukcija, ali i složenija izrada u odnosu na pravougaone vođice.
- Oblik ovih vođica pozicionira pokretni element, kako u horizontalnom, tako i u vertikalnom pravcu.
- Kao i kod pravougaonih, neophodno je podešavanje bočnog zazora, zbog ravne noseće površine. Uobičajeni način podešavanja zazora kod ovih vođica je pomoću klinova trapeznog poprečnog preseka, pomerljivih u horizontalnom i vertikalnom pravcu.
- Zbog malih dimenzija po visini, krutost ovih vođica je manja u poređenju sa pravougaonim i trouglastim vođicama.



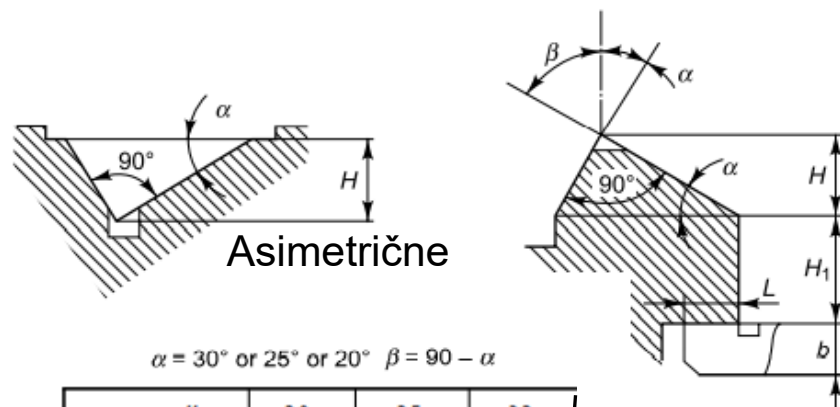
Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Prizmatične vođice (trouglaste)

- **Prizmatične vođice** isključuju pojavu zazora u horizontalnoj ravni i pri montaži i u procesu habanja, jer ugaoni položaj kliznih površina ima automatsku regulaciju zazora pod dejstvom sopstvene mase, što predstavlja prednost u odnosu na pravougaone vođice.
- Mogu biti simetrične i asimetrične, ispupčene i udubljene.



Simetrične



Asimetrične

$$\alpha = 30^\circ \text{ or } 25^\circ \text{ or } 20^\circ \quad \beta = 90 - \alpha$$

<i>H</i>	10 [0.394]	12 [0.472]	16 [0.63]
	10	14 [5.551]	18 [0.709]
<i>H1</i>	12	16	20
	14	18	22
Min.*	5 [0.197]	6 [0.236]	8 [0.315]
<i>L</i>	8	10	12
<i>b</i>	6	8	10

<i>H</i>	20	25	32
	22	28	36
<i>H1</i>	25	32	40
	28	36	45
Min.*	10	12	16
<i>L</i>	16	20	25
<i>b</i>	12	16	20

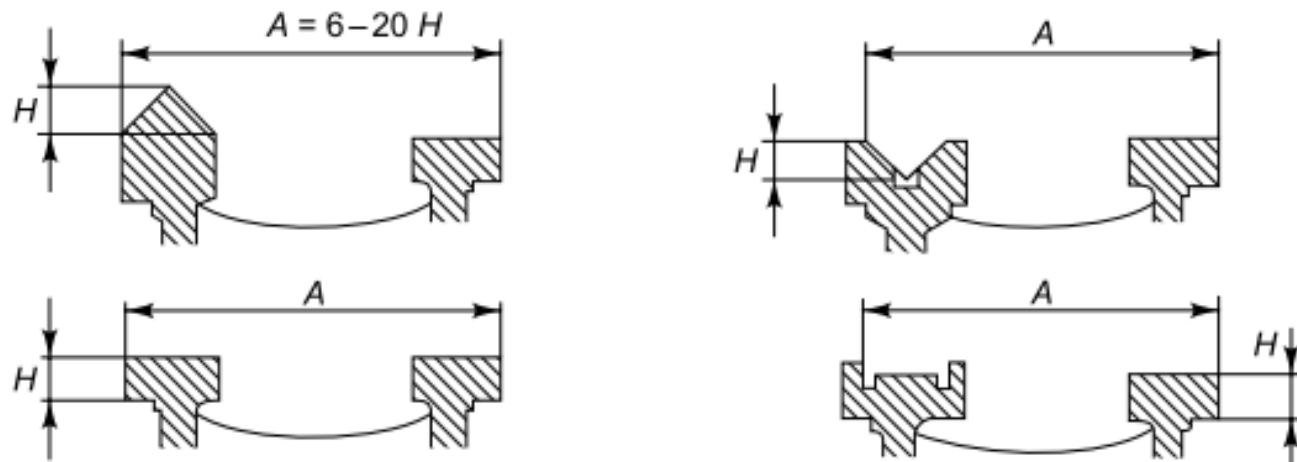
Prizmatične vođice (trouglaste)

- Prizmatične udubljene vođice dobro zadržavaju ulje za podmazivanje, što je posebno važno pri malim brzinama kretanja (npr. dugohodne rendisaljke, brusilice), dok se ispupčene odlikuju dobrim odvođenjem strugotine (manja sklonost ka kontaminaciji).
- Trouglaste vođice najčešće se koriste kod strugova, a kao jedna od osnovnih prednosti, da trosenje vođica ne utiče na njihov geometrijski odnos sa osom glavnog vretena, u smislu zadržavanja paralelnosti.
- Prizmatične vođice se teže obrađuju od pravougaonih, posebno ako su obe vođice prizmatične. Zbog lakše obrade koriste se i kombinovane vođice (1 prizmatična i 1 ili 2 pravougaone).
- Ugao profila prizmatičnih vođica zavisi od komponenti sila obrade u vertikalnom i horizontalnom pravcu.

Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

Kombinovane vođice

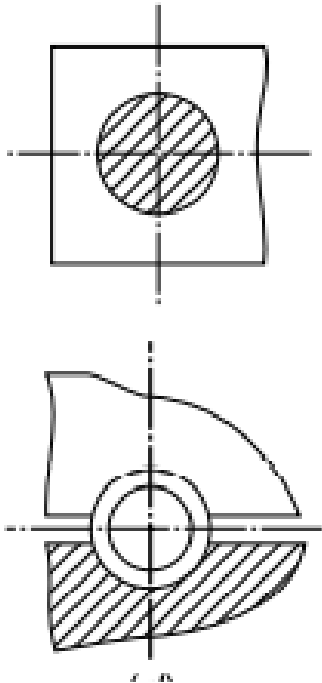
- Kombinovane vođice se često koriste sa ciljem objedinjavanja dobrih karakteristika pojedinih tipova vođica.
- U zavisnosti od pravca i smjera delovanja opterećenja na pokretni element, ove vođice mogu biti otvorene ili zatvorene.
- Na primjer, kako bi se izbegao bočni zazor, te obezbijedila velika moć nosenja i jeftinija izrada, često se koristi kombinacija trouglastih i pravougaonih vođica.



Klizne vođice - Konstrukcioni oblici

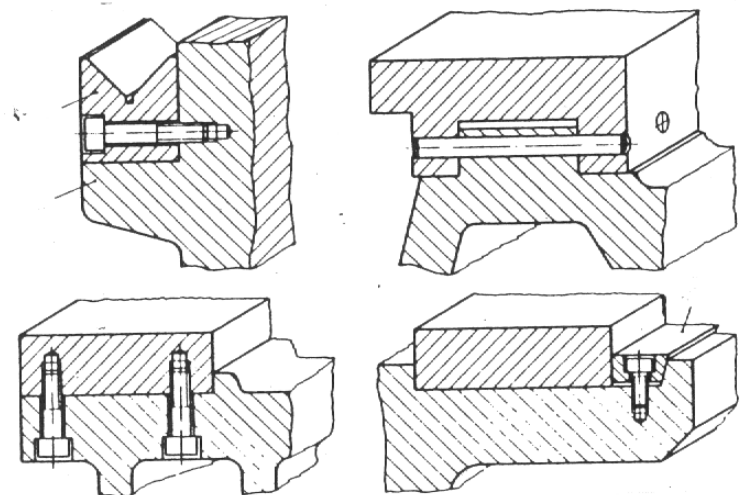
Cilindrične vođice

- Cilindrične vođice se koriste za vrlo mala opterećenja, zbog njihove male krutosti. Takođe, mogu se pričvrstiti samo na krajevima i njihova kompenzacija habanja je prilično komplikovana



Klizne vođice – Materijali za klizne vođice

- Sa stanovišta materijala, vođice mogu da se izrađuju zajedno sa postoljem ili da se posebno izrađuju i montiraju.
- Za izradu kliznih vođica mogu se koristiti metali i nemetali.
- Vođice od sivog liva koje su izrađene izjedna sa postoljem predstavljaju najjednostavnije rjesenje. Ove vođice pri intenzivnom korišćenju ne obezbđuju dug vek eksploatacije, te se zbog toga termički obrađuju kako bi im se poboljšala otpornost na habanje.
- Povećanje otpornosti na habanje moguće je postići i primenom specijalnih prevlaka, kao, na primjer, hromnih ili molibdenskih.



Klizne vođice – Materijali za klizne vođice

- **Ukoliko se vođice izrađuju odvojeno od nosećeg elementa, najčešće se kao materijal koristi čelik.**
- Za izradu celičnih vođica najčešće se koriste niskouglenični čelici, **koji se u termički obađuju** cementiranjem, kaljenjem i sl.
- Osim konvencionalnih materijala za vođice (sivi liv, modifikovani liv i čelik) danas se koriste i nekonvencionalni materijali.
- To su obično materijali na bazi politetrafluoretilena (PTFE) različitog komercijalnog naziva: TURCITE, MOGLICE, ZX -100 itd.
- Osnovna prednost ovih materijala je mali koeficijent trenja.

Tabela 11. Koeficijent trenja različitih materijala kliznih parova

spregnuti materijali	koeficijent trenja			
	statički		kinematski	
	suvo	podmazano	suvo	podmazano
čelik – čelik	0,18	0,12	0,10	0,09
čelik – SL	0,19	0,10	0,16	0,10
čelik – bronza	0,11	0,10	0,10	0,09
čelik- TURCIT	--	--	--	0,04-0,08

Klizne vođice – Proračun kliznih vođica

- Proračun vođica se vrši na bazi **dozvoljenog površinskog pritiska**.
- Za određivanje pritiska na vođicu potrebno je izračunati sile rezanja, gravitacije i druge sile koje izazivaju pritisak na vođicu, odnosno, odrediti maksimalna opterećenja koja izazivaju pritisak na vođice.

Dozvoljeni pritisak na vođicama

Mašina	Preporučeni pritisak [Pa]		Maksimalni pritisak [Pa]
	SL. vođica SL./Č. sedlo	Č. vođica Č. sedlo	
Strugovi, glodalice i sl.	1.25×10^6	1.5×10^6	3×10^6
Rendisaljke, provlakačce	0.4×10^6	0.5×10^6	0.8×10^6
Brusilice	0.035×10^6	0.05×10^6	0.07×10^6

Klizne vođice – Proračun kliznih vođica

Delovanje sila na pravougaone vođice pri struganju.

- Sile nastale u procesu struganja se prenose na površine vođica A, D i C.

Sila na površinu C je:

$$F_C = \frac{F_z Y_f - F_y h}{b} + \frac{G}{2}$$

Sila na površinu A je:

$$F_A = F_z \frac{G}{2} - \frac{F_z Y_f - F_y h}{b}$$

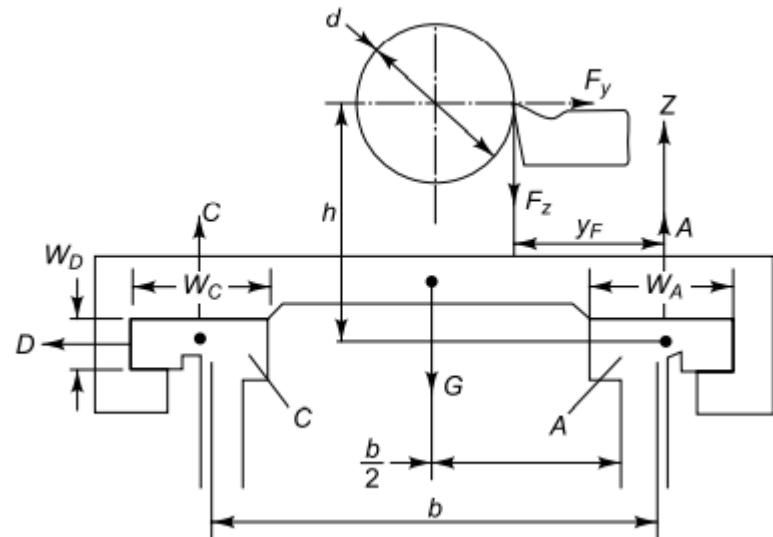
Sila na površinu D je:

$$F_D = F_y \approx 0.3 F_z$$

$$p_c = \frac{F_c}{W_c L} \leq p_{doz.}$$

$$p_A = \frac{F_A}{W_A L} \leq p_{doz.}$$

$$p_D = \frac{F_D}{W_D L} \leq p_{doz.}$$



Klizne vođice – Proračun kliznih vođica

Delovanje sila na kombinovane vođice pri struganju.

- Sile nastale u procesu struganja se prenose na površine vođica A, D i C.

Sila na površinu A je:

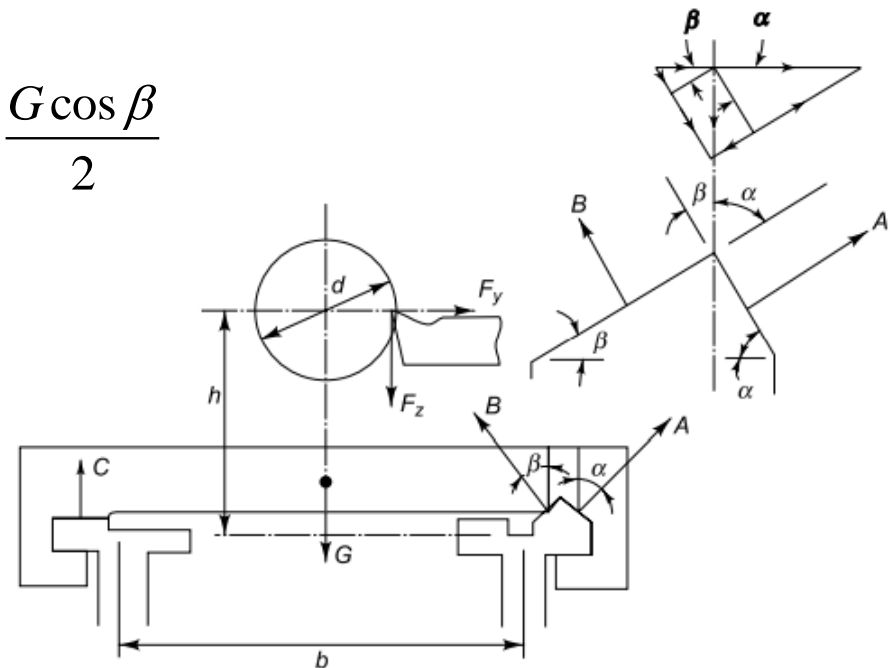
$$F_A = \frac{F_z (d + b) \cos \alpha}{2b} + \frac{F_y \cos \alpha}{b} - F_y \sin \alpha + \frac{G \cos \alpha}{2}$$

Sila na površinu B je:

$$F_B = \frac{F_z (d + b) \cos \beta}{2b} + \frac{F_y \cos \beta}{b} - F_y \sin \beta + \frac{G \cos \beta}{2}$$

Sila na površinu C je:

$$F_C = \frac{F_z (b - d)}{2b} - \frac{f_y h}{b} + \frac{G}{2}$$



Klizne vođice – Proračun kliznih vođica

Delovanje sila na pravougaone vođice pri glodanju.

- Opterećenja vođica se proračunavaju na osnovu oblika konstrukcije, šeme opterećenja i rasporeda aktivnih opterećenja.

$$\sum F_{xi} = 0; \mu F_A + \mu F_B + \mu F_C - Q = 0, \Rightarrow Q = \dots\dots$$

$$\sum F_{yi} = 0; F_B - F_y = 0 \Rightarrow F_B = F_y,$$

$$\sum F_{zi} = 0; F_A + F_C - F_z - G = 0, \Rightarrow F_A = \dots\dots$$

$$\sum M_{xi} = 0; Y_C \cdot F_C + Z_F \cdot F_y - Y_F \cdot F_z - Y_G \cdot G = 0 \Rightarrow F_C = \dots\dots$$

$$\sum M_{yi} = 0; (X_A - \mu \cdot Z_A) \cdot F_A + (X_C - \mu \cdot Z_C) \cdot F_C - Z_Q \cdot Q - Z_F \cdot F_x - X_F \cdot F_z - X_G \cdot G = 0, \Rightarrow X_C = \dots\dots$$

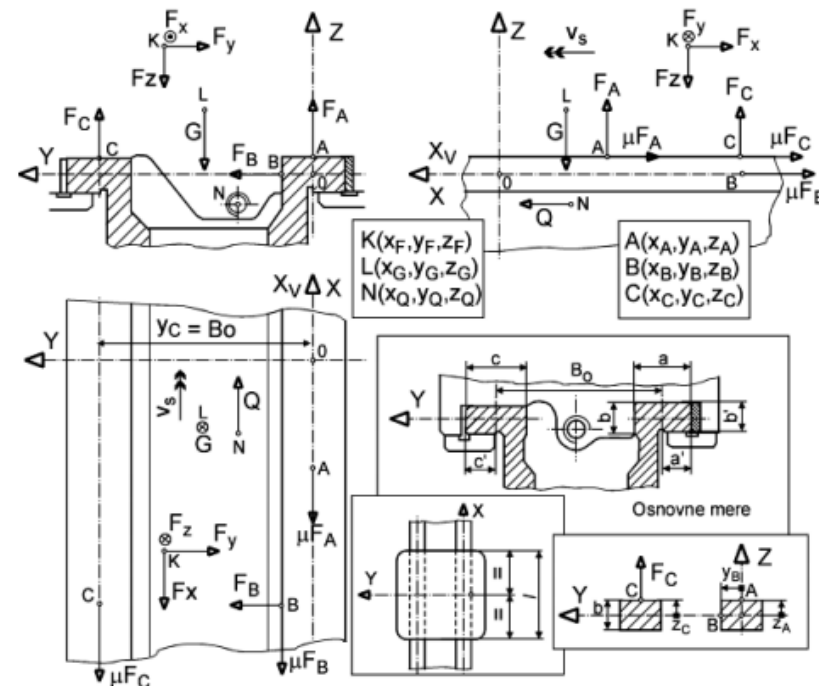
$$\sum M_{zi} = 0; X_B \cdot F_B - \mu \cdot Y_B \cdot F_B - \mu \cdot Y_C \cdot F_C + Y_Q \cdot Q - Y_F \cdot F_x - X_F \cdot F_y = 0 \Rightarrow X_B = \dots\dots$$

Dopunski uslov - krutost vođica srazmerna je njihovoj efektivnoj širini, odnosno važi:

$$\frac{X_A F_A}{a} = \frac{X_C F_C}{c} \Rightarrow X_A = \dots\dots$$

$$p_c = \frac{F_C}{c \cdot L} \leq p_{doz.} \quad p_A = \frac{F_A}{a \cdot L} \leq p_{doz.}$$

$$p_B = \frac{F_B}{b \cdot L} \leq p_{doz.}$$



Kotrljajne vođice

- Kotrljajne vođice su nastale umetanjem kotrljajnih elemenata između dva elementa koja se međusobno kreću, što ima za posledicu manje trenje (0,001-0,0025)
- Krutost se može značajno povećati prednaprežanjem.
- Prema tipu kotrljajnih tela dele se na :
 - ✓ kuglične
 - ✓ valjčaste i
 - ✓ igličaste kotrljajne vođice.

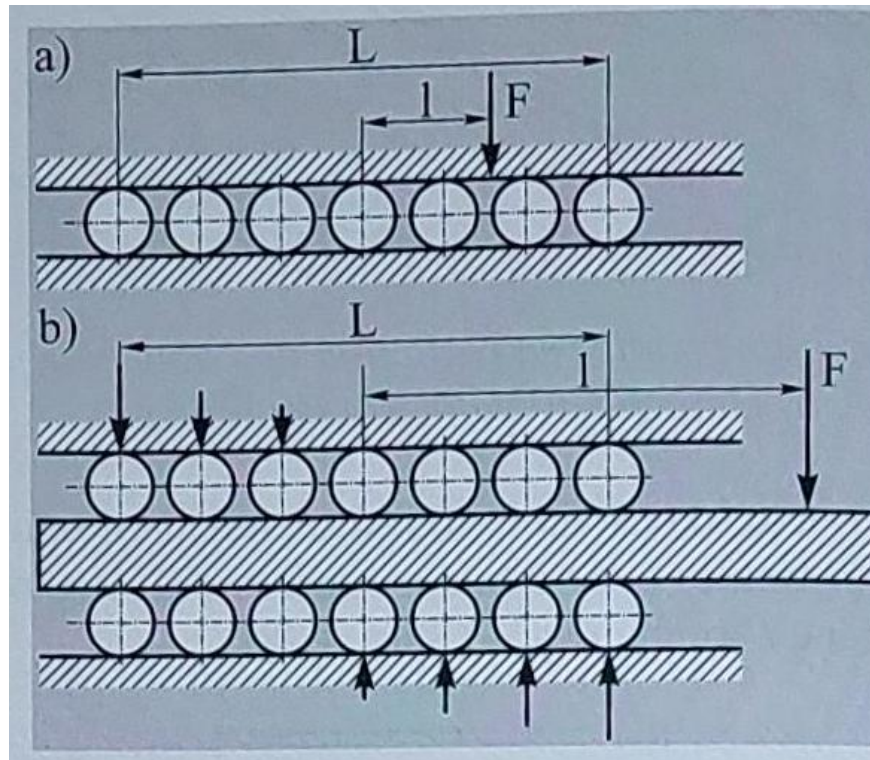


Kotrljajne vođice

- Osnovne karakteristike kotrljajnih vođica su:
 - ✓ Nosivost – zavisi od zazora, materijala i termičke obrade, tvrdoće radnih površina i tačnosti izrade elemenata vođica. Nosivost zavisi i od broja kotrljajnih tela i njihovog oblika. Pri istim dimenzijama nosivost vođica sa kuglicama je manja od vođica sa valjčićima.
 - ✓ Krutost - zavisi od tačnosti izrade vođica i kotrljajnih tela. Krutost vođica sa valjčićima sa prednapretnjem je veća od krutosti kliznih vođica u pravcu dejstva sile.
 - ✓ Ravnomernost kretanja klizača sa kotrljajnim vođicama je velika i neravnomerno kretanje praktično ne postoji. Neravnomerno kretanje može nastati samo u slučaju prevelikog prednapretnja ili pri jako niskom kvalitetu izrade vođica.
 - ✓ Dinamičke karakteristike vođica sa kotrljanjem karakterisane su oblikom vibracija i parametrima prigušenja. Amplituda vibracija u rezonantnoj oblasti kod kotrljajnih vođica bliska je amplitudi vibracija kod kliznih vođica, dok je frekvencija znatno veća. Vibracije u pravcu kretanja vođica u osnovi zavisi od krutosti i zazora pogonskog sistema.

Kotrljajne vođice

- U zavisnosti od načina na koji se ostvaruje vođenje, kotrljajne vođice mogu biti **otvorenog i zatvorenog** tipa.
- *Kod otvorenih vođica (a)* postoji samo jedan red kotrljajnih tela smeštenih između pokretnog i nepokretnog elementa.
- *Kod zatvorenih vođica (b)* postoje dva ista niza kotrljajnih tela ugrađenih u noseću strukturu mašine alatke, između kojih je postavljen pokretni element

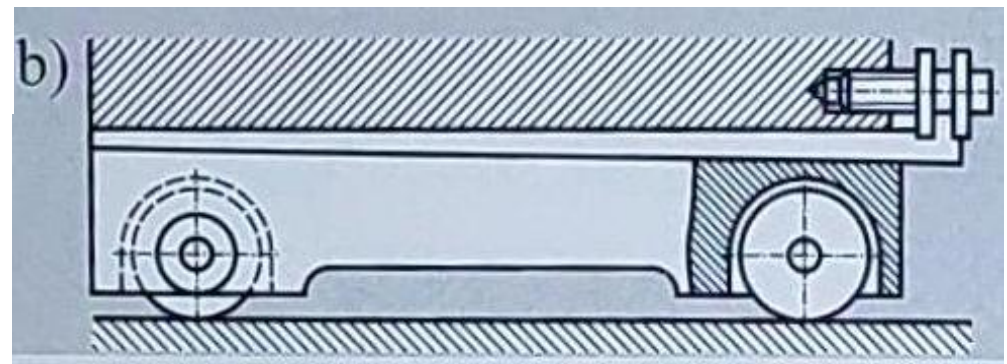
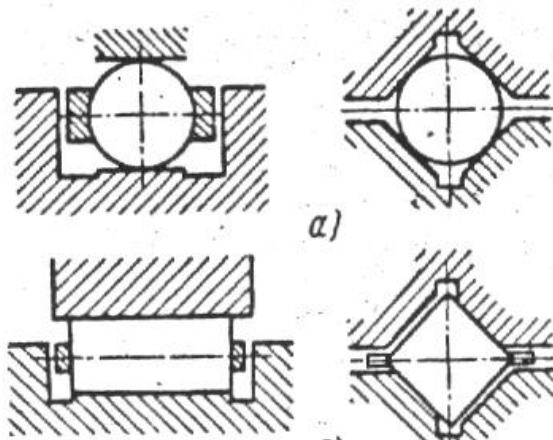


Kotrljajne vođice

➤ Postoje dva načina gradnje kotrljajnih vođica:

a) kotrljajna tela se postavljaju između dva međusobno pokretna elementa tzv. kotrljajne vođice ograničenog hoda (a);

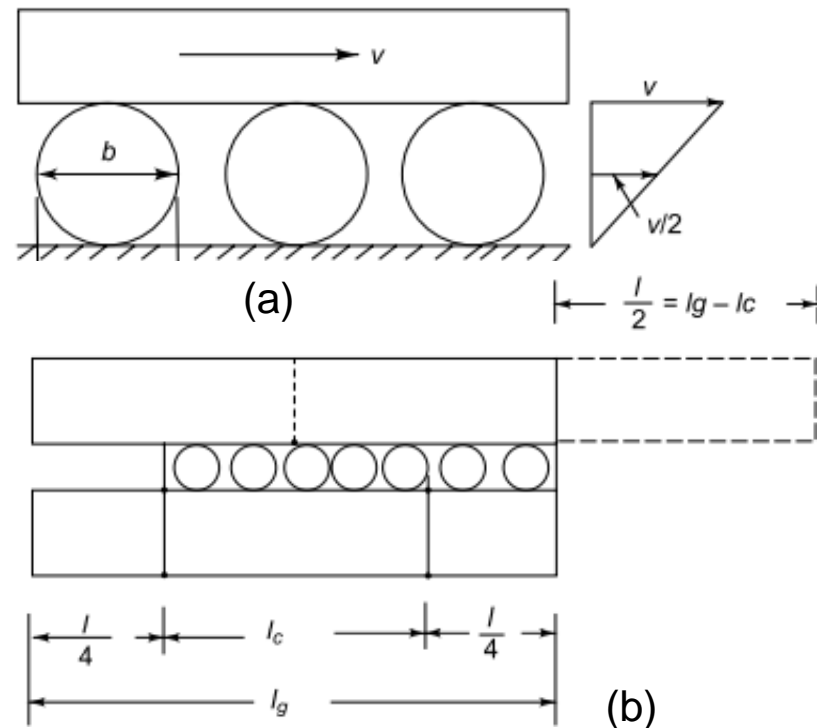
b) postavljanjem kotrljajnih oslonaca, tako da je hod sa stanovišta principa vođenja neograničen, tzv. vođice neograničenog hoda (b)



7.0 Sistemi za vođenje

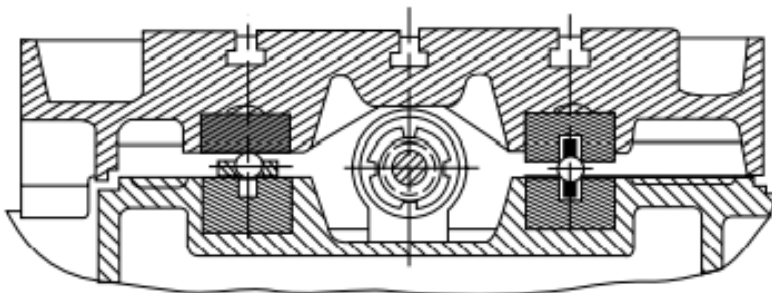
Kotrljajne vođice

- Kod vođica ograničenog hoda kao posledica kotrljanja tela po nepokretnom elementu dolazi do promene relativnog položaja vođenog (pokretnog) elementa, kotrljajnih tela i nepokretnog elementa.
- Brzina kretanja (a) centra kotrljajnih tela je jednaka polovini vrednosti njegove obimne brzine, usled čega je i rastojanje koje pređu kotrljajna tela jednako polovini rastojanja, odnosno, hoda koji je napravio pokretni element (b).

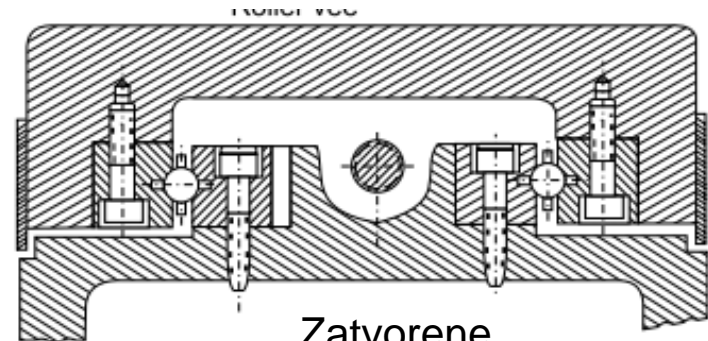


Kotrljajne vođice

- U zavisnosti od prednaprezanja kotrljajne vođice ograničenog hoda se mogu ugraditi:
 - ✓ bez prethodnog prednaprezanja;
 - ✓ sa delimičnim prednaprezanjem;
 - ✓ sa prethodno podešenim prednaprezanjem;
- Kod zatvorenih kotrljajnih vođica mora se predvideti mogućnost podešavanja zazora.
- Otvorene kotrljajne vođice poseduju mogućnost automatskog regulisanja zazora pod dejtvom sopstvene mase pokretnog elementa mašine alatke.



Otvorene

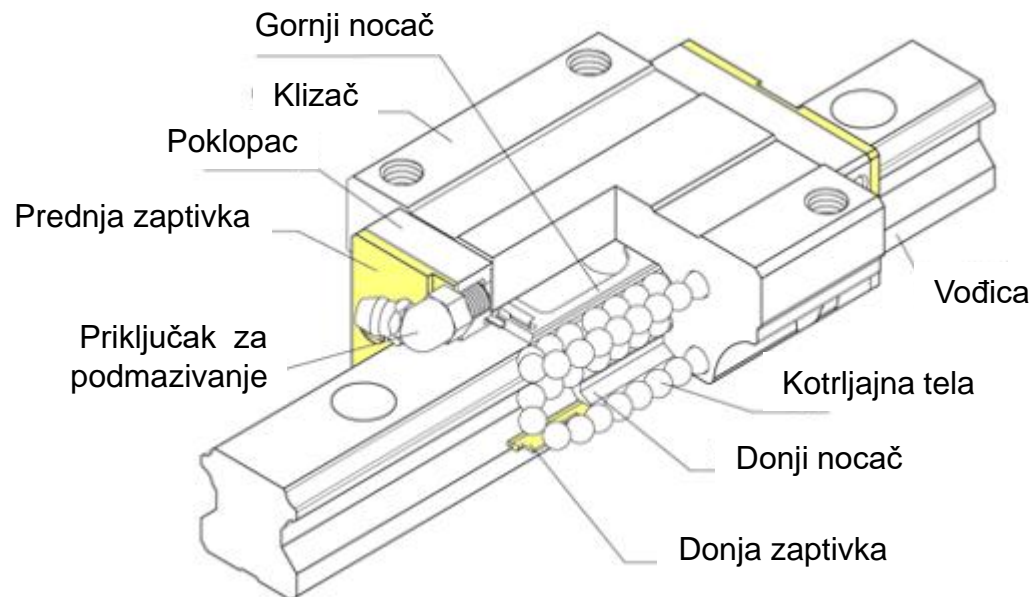
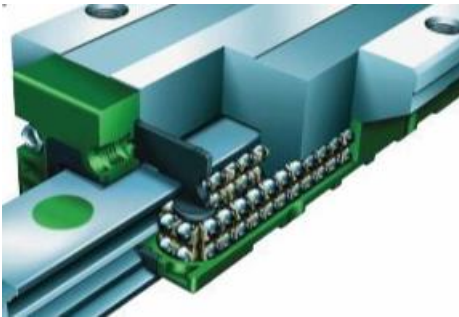


Zatvorene

7.0 Sistemi za vođenje

Kotrljajne vođice

- Savremena rešenja vođica sa kotrljanjem predstavljaju prizmatične kotrljajne vođice sa recirkulacijom kuglica ili valjića.
- Kotrljajne vođice sa recirkulacijom kotrljajnih tela sastoje se od vođice, koja se vezuje za noseću strukturu mašine alatke i pokretnih klizača u kojima se obezbeđuje recirkulacija kotrljajnih tela



Kotrljajne vođice

Prizmatične kotrljajne vođice sa recirkulacijom kotrljajnih tela se mogu podeliti prema:

➤ tačnosti na:

- ✓ normalne tačnosti
- ✓ visoke tačnosti
- ✓ precizne
- ✓ super precizne
- ✓ ultra precizne

➤ prednaprezanju:

- ✓ bez prednaprezanja
- ✓ sa malim prednaprezanjem
- ✓ sa srednjim prednaprezanjem i
- ✓ sa veliki prednaprezanjem.

Kotrljajne vođice – Proračun kotrljajnih vođica

Proračun kotrljajnih vođice se vrši na bazi **maksimalne sile (nosivosti)** koju vođica može da prenese, a koja je u funkciji **dozvoljenog površinskog pritiska**.

Sila trenja koja deluje na površine kotrljajnih vođica je:

$$F_{fa} = nF_0 + \frac{\mu K (F_y + W_t + W_r)}{r}$$

Nosivost kotrljajne vođice je:

$$F_{lbr} = K_n \cdot d^2 \text{ - sa kuglicama}$$

$$F_{lbr} = K_n \cdot b \cdot d \text{ - sa valjčićima}$$

n – broj kontaktnih površina na vođici

F_0 – konstantna komponenta sile trenja (40 do 50 N)

μ – koeficijent trenja (0,001 – 0,0025)

r – radijus kotrljajnog tela

$K = 1,5$ za otvorene vođice, i $2,8$ za zatvorene vođice

F_y – vertikalna komponenta sile rezanja

W_t – masa radnog stola

W_{rp} – masa radnog predmeta

d – prečnik kuglice/valjčića

b – dužina valjčića

K_n – koeficijent opterećenja (0,002 - 0,06) za kuglice i (1,5 - 2) za valjčiće. Manje vrednosti odgovaraju za SL, a veće za čelik

Kotrljajne vođice – Proračun kotrljajnih vođica

Nosivost kotrljajne vođice (F_{lbr}) se može primeniti za:

- a) određivanje maksimalne sile koju vođica može da prenese ako su kotrljajni elementi izabrani ili
- b) za dimenzionisanje kotrljajnih tela.

U oba slučaja maksimalno opterećenje se računa kao:

$$F_{max} = b \cdot t \cdot p_{doz.}$$

Broj kotrljajnih tela u vođici se može odrediti kao:

$$Z = \frac{L}{t \cdot d}; \quad 16 \leq Z \leq \frac{q}{4}; \quad 16 \leq Z \leq \frac{F_{lbr}}{3\sqrt{d}}$$

b – prečnik kuglice/ dužina valjčića

t – (1,5 – 2,5)

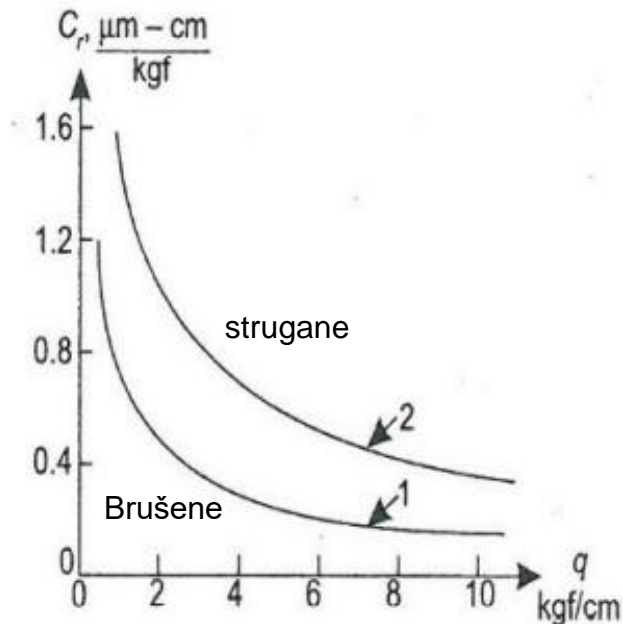
$p_{doz.}$ - maksimalni dozvoljeni pritisak (kao kod kliznih)

q – opterećenje po jediničnoj dužini valjčića

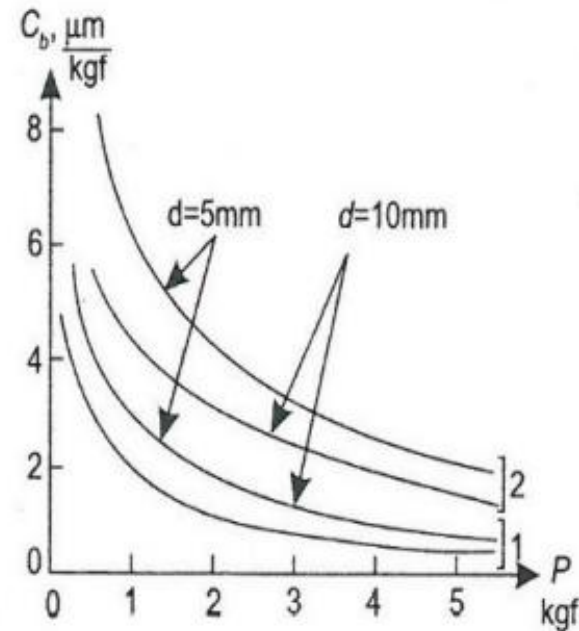
7.0 Sistemi za vođenje

Kotrljajne vođice – Proračun kotrljajnih vođica

Koeficijenti krutosti kotrljajnih vođica zavise od opterećenja, prečnika kotrljajnih tela, materijalna vođice i završne obrade.



Vođice sa valjčićima



Vođice sa kuglicama

FTN - DPM - LAMA

Studijski program: Proizvodno mašinstvo

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

Novi Sad, oktobar 2021.

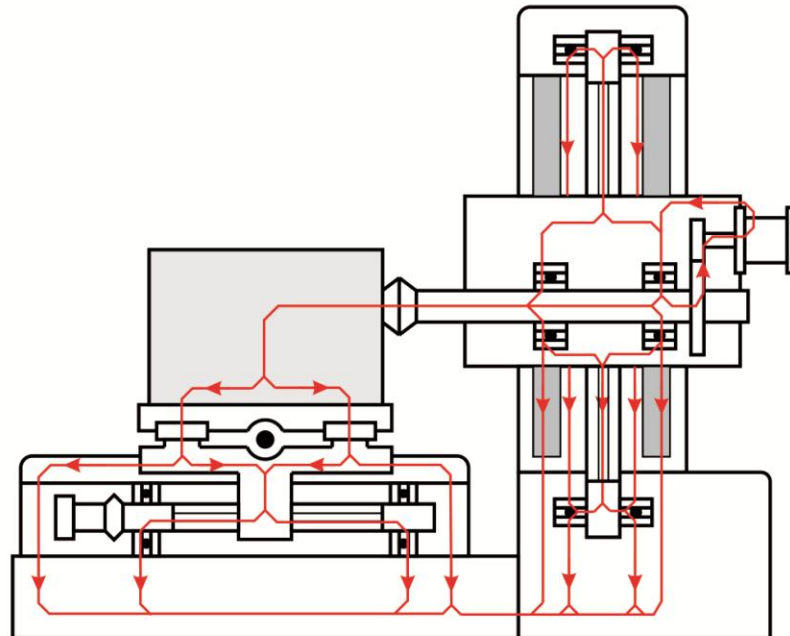
Predmet: **Projektovanje mašina alatki**

8.0 NOSEĆA STRUKTURA MAŠINA ALATKI

8.0 Noseća struktura mašina alatki

Uvodne napomene

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

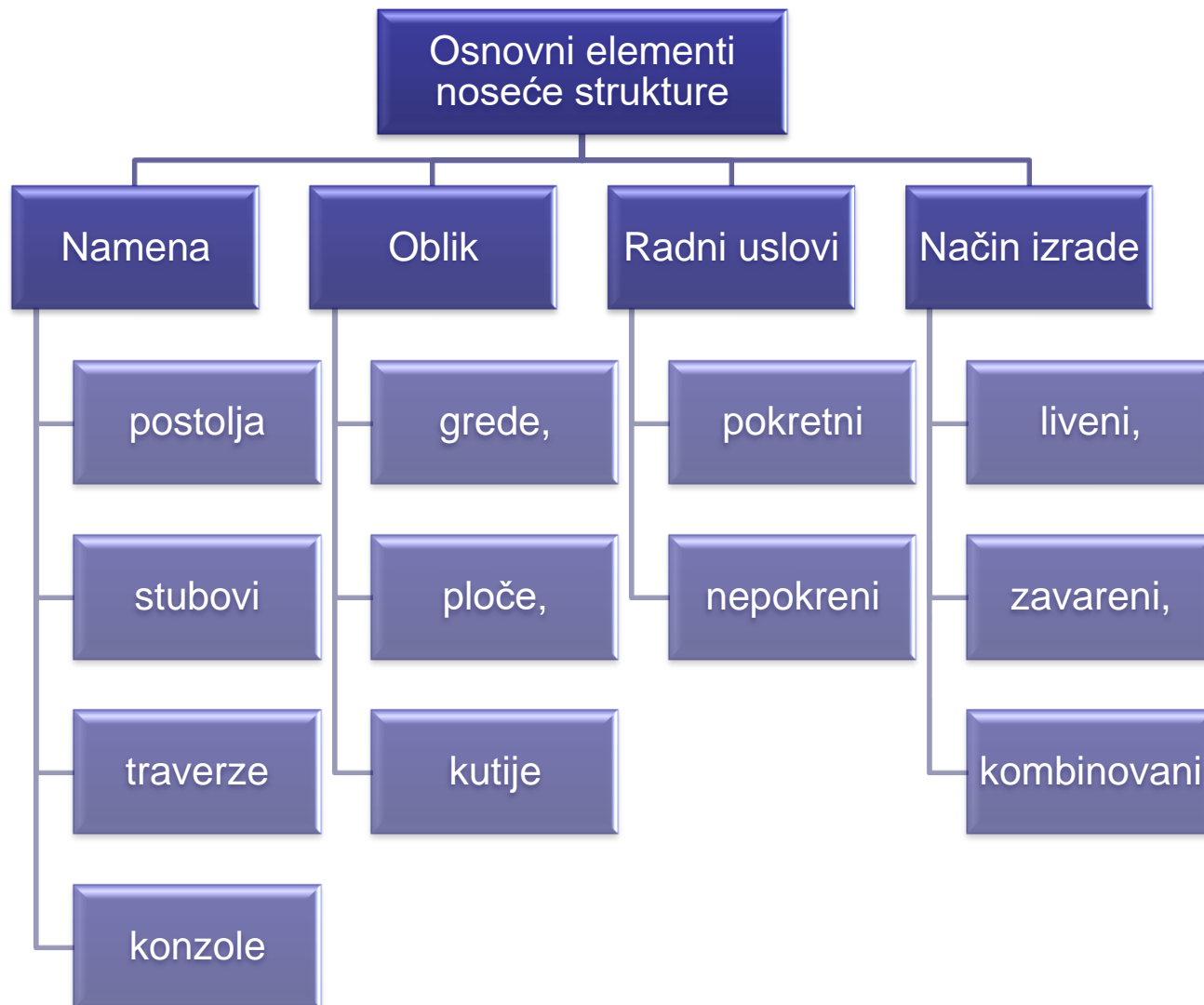


Uvodne napomene

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

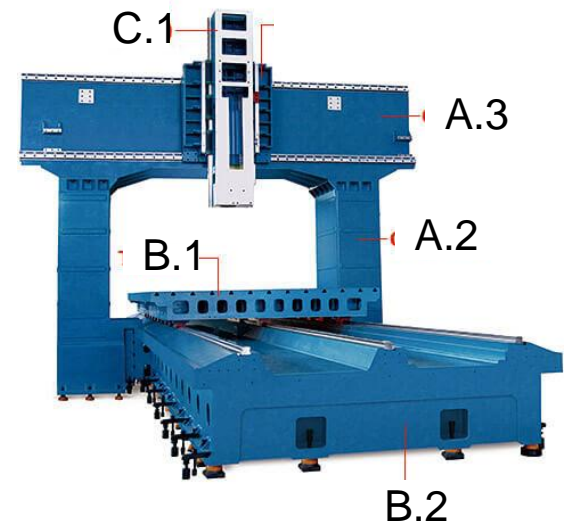
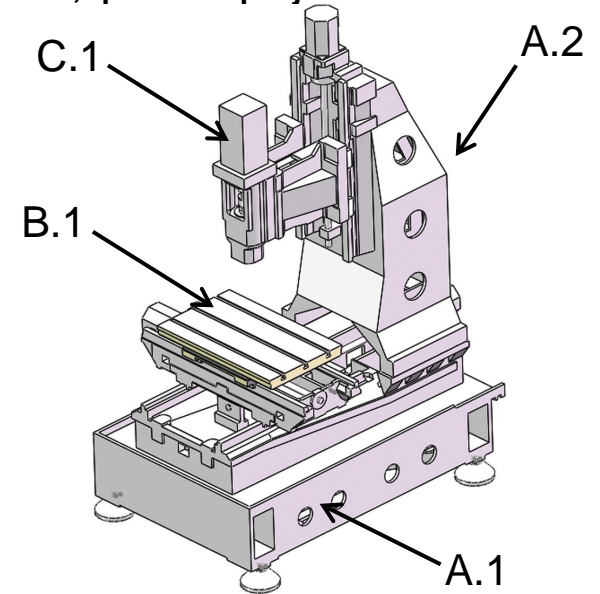
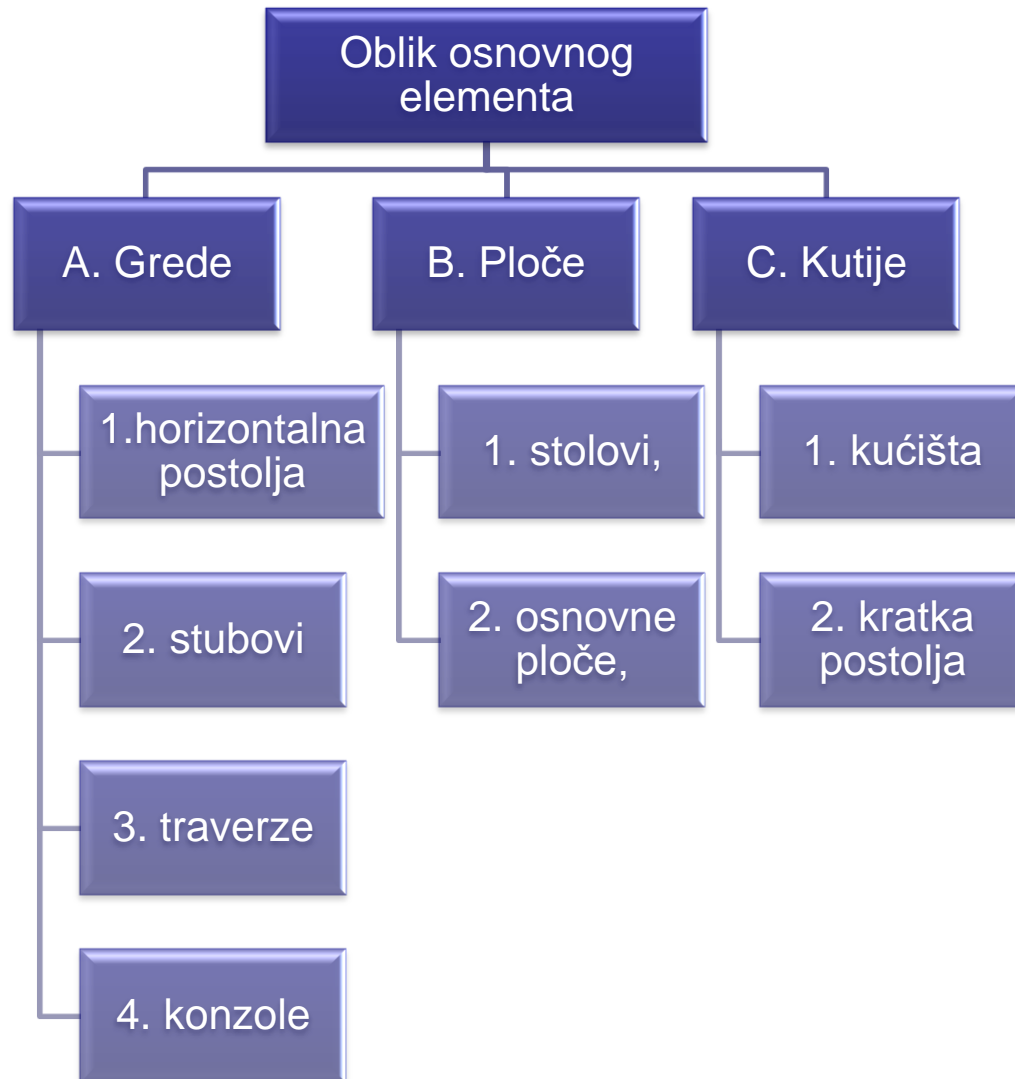
Uvodne napomene

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



Uvodne napomene

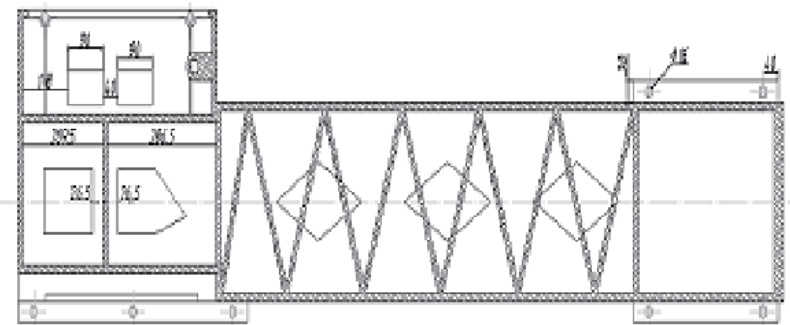
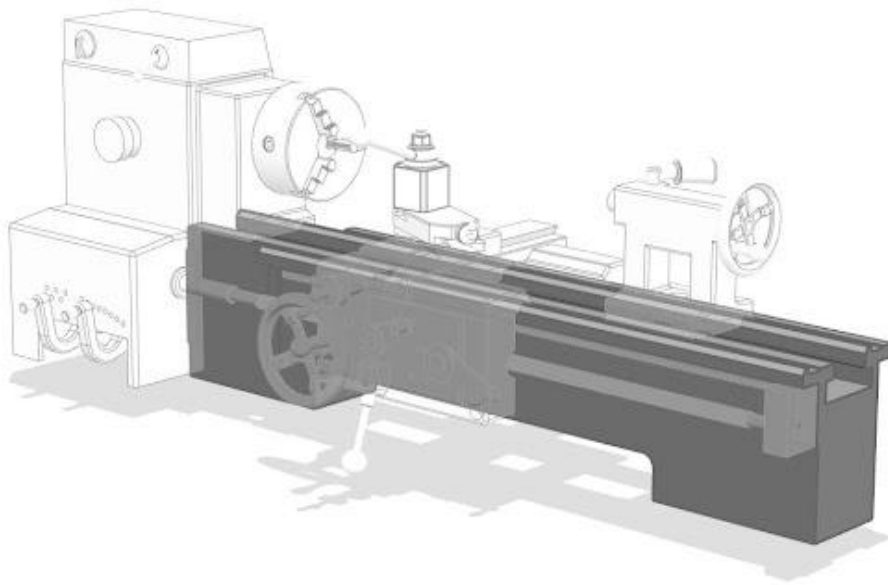
- ❑ Najpogodniji kriterijum sistematizacije je prema obliku, pa se pojedini elementi mogu grupisati kao:



8.0 Noseća struktura mašina alatki

Uvodne napomene

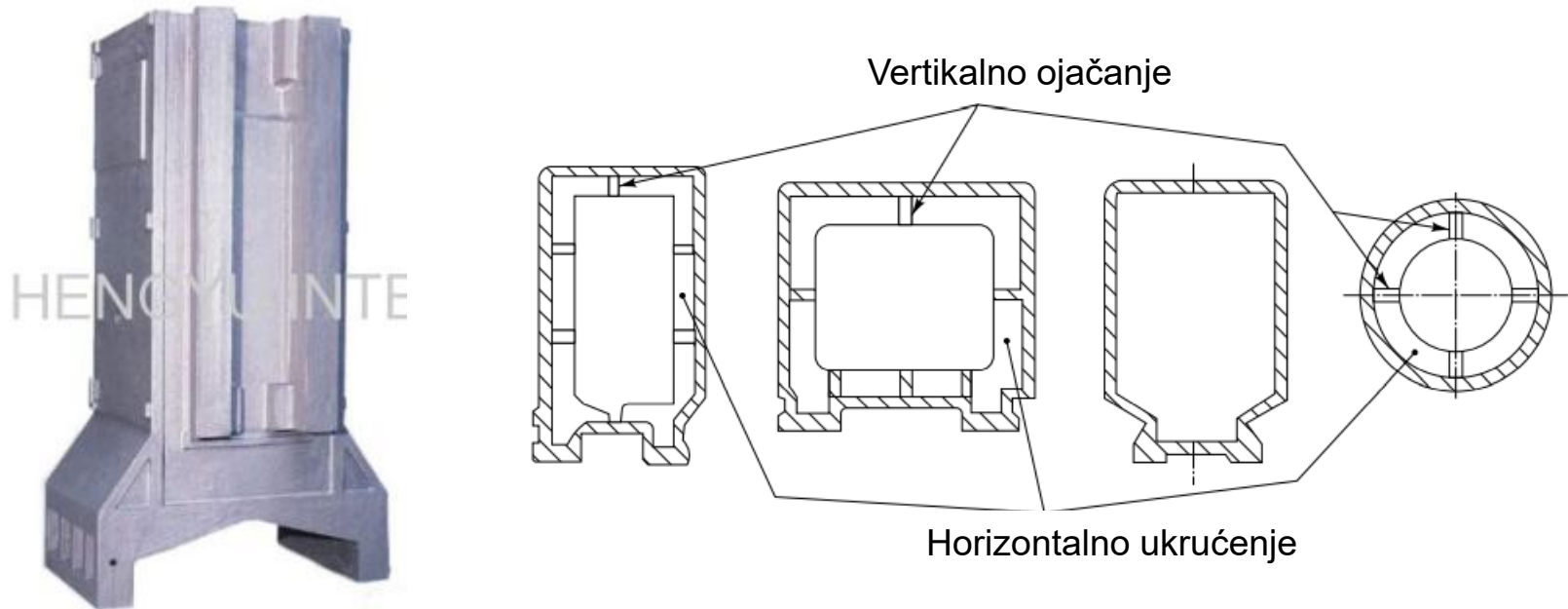
- ❑ **Horizontalna postolja** kao elementi noseće strukture mogu biti, u obliku greda ili ramne konstrukcije. Oblik postolja je određen položajem i dužinom pokretnih elemenata.
- ✓ Konstrukcioni oblik zavisi od zahtevane statičke i dinamičke krutosti, mase i dimenzija elemenata koji se postavljaju na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



8.0 Noseća struktura mašina alatki

Uvodne napomene

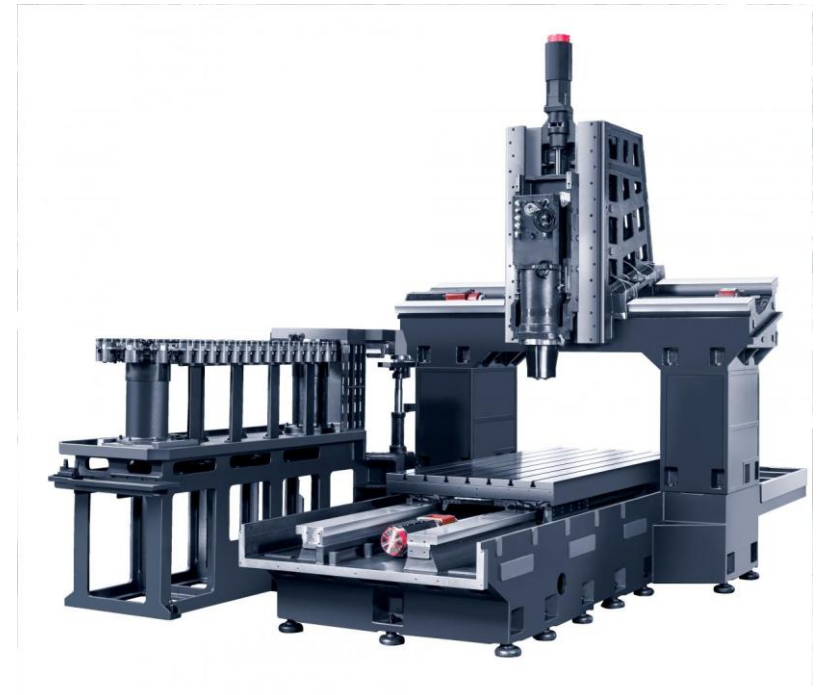
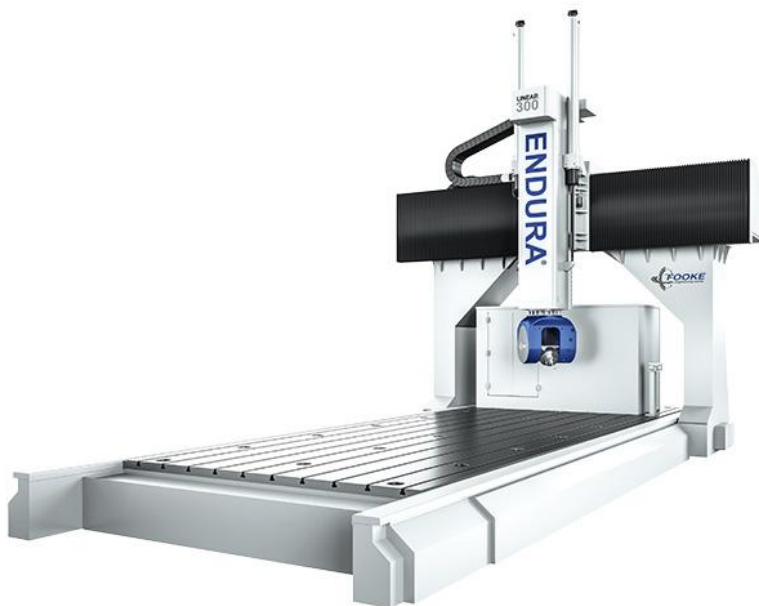
- ❑ **Osnovne ploče** služe za povećanje stabilnosti mašina sa stubovima. Osnovni zahtev koji se postavlja pred ove elemente je krutost.
- ❑ **Stubovi** služe za obezbeđenje kretanja konzola, prenosnika ili traverzi kod mašina alatki. Poprečni preseki stubova se najčešće izvode u obliku kružnog ili pravougaonog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



8.0 Noseća struktura mašina alatki

Uvodne napomene

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



Kriterijumi za proračun noseće strukture

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

Kriterijumi za proračmun noseće strukture

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

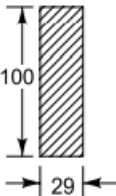
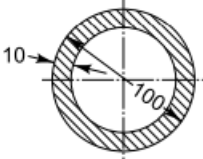
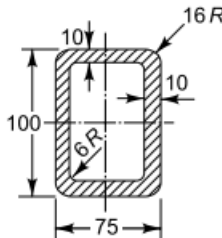
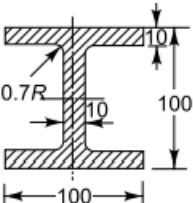
Poprečni presek elemenata konstrukcije

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

8.0 Noseća struktura mašina alatki

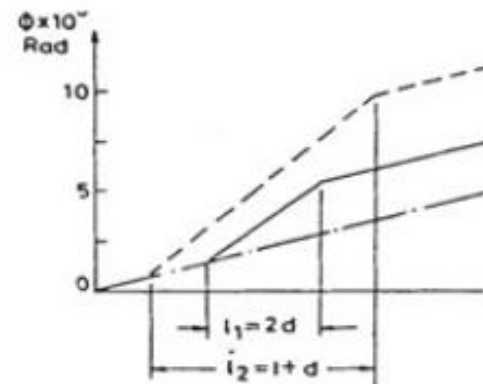
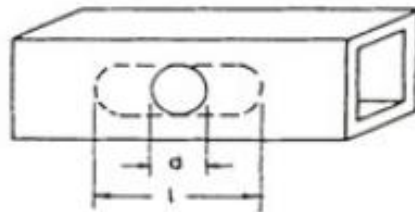
Poprečni presek elemenata konstrukcije

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

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

Uticajni faktori na krutost noseće konstrukcije

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



Uticaj otvora na ugao uvijanja

8.0 Noseća struktura mašina alatki

Uticajni faktori na krutost noseće konstrukcije

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


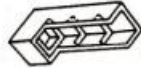
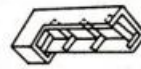
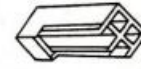

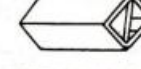
	Relativna krutost oko			Relativna sopstvena frekvencija oko			Relativna prigušenje oko		
	X-X	Y-Y	Z-Z	X-X	Y-Y	Z-Z	X-X	Y-Y	Z-Z
	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	85	85	28	90	87	68	75	89	95
	89	89	35	95	91	90	112	95	165
	91	91	41	97	92	92	112	95	185

8.0 Noseća struktura mašina alatki

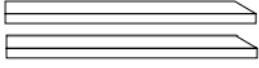

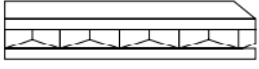
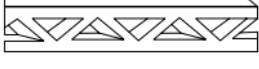

Uticajni faktori na krutost noseće konstrukcije

- ❑ Postavljanje rebra može značajno povećati krutost. Rebra koja su postavljena kvadratno/paralelna sa zidovima preseka povećavaju krutost na savijanje do 17% i udvostručuju torzionu (uvijanje) krutost.
- ❑ Dijagonalna rebra povećavaju krutost na savijanje do 78%, a torziona je do 3,7 puta veću nego od krutost kutije bez rebra.

Uticaj rebara na krutost zatvorene konstrukcije

Raspored rebara	Relativna krutost		Relat. težina	Relativna krutost po jed. težine	
	Savijanje	Uvijanje		Savijanje	Uvijanje
1 	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2 	1.10	1.63	1.1	1.0	1.48
3 	1.08	2.04	1.14	0.95	1.79
4 	1.17	2.16	1.38	0.85	1.56
5 	1.78	3.69	1.49	1.20	3.07
6 	1.55	2.94	1.26	1.23	2.39

Uticaj rebara na krutost otvorene konstrukcije

Raspored rebara	Relativna torziona krutost	Relat. težina	Relativna torziona krutost po jed. težine
1 	1.0	1.0	1.0
2 	1.34	1.34	1.0
3 	1.43	1.34	1.07
4 	2.48	1.38	1.80
5 	3.73	1.66	2.25

Materijali elemenata noseće strukture

- ❑ Uobičajeni materijali za noseću konstrukciju mašina alatki su liveno gvožđe, čelik, sivi liv i nekonvencionalni materijali (polimer beton, granit, itd.).
- ❑ Konstrukcije od livenog gvožđa su do skoro isključivo korišćene, ali u poslednje vreme zavarene čelične konstrukcije nalaze širu primenu zbog napretka u tehnologiji zavarivanja.
- ❑ Izbor materijala zavisi od brojnih faktora, kao što su njegove mehaničko-fizičke osobine:
 - ✓ Modul elastičnosti. Za visoku krutost potrebno je izabrati materijale sa visokom vrednošću modula elastičnosti (statičko i dinamičko ponašanje (krutost)).
 - ✓ Zapreminska (specifična) masa: Materijali bi trebalo da imaju veću specifičnu masu-veća specifična krutost (statičko i dinamičko ponašanje (raspored masa))
 - ✓ Prigušenje. Treba birati materijale sa većim koeficijentom prigušenja (dinamičko ponašanje).
 - ✓ Otpornost na habanje i svojstva trenja. Materijali bi trebalo da imaju nizak koeficijent trenja i da su otporni na habanje.

8.0 Noseća struktura mašina alatki

Materijali elemenata noseće strukture

- ✓ Koeficijent toplotnog širenja. Materijali bi trebalo da imaju nizak koeficijent toplotnog širenja. Ako se koriste kompozitni materijali, svaki bi trebalo da ima isti koeficijent toplotnog širenja kako bi se izbegle toplotne deformacije.
- ❑ Pored mehaničko-fizičkih osobina materijala treba uzeti u obzor i:
 - ✓ cenu materijala,
 - ✓ obradivost ,
 - ✓ tehnologiju izrade (mogućnost zavarovanja, livenja, spajanja, ..)
 - ✓ ukupnu proizvodnju.

Fizičko-mehaničke osobine pojedinih materijala

Osobina \ Materijal	čelik	čelični liv	sivi liv	polimer beton
Zapreminska masa [kg/dm ³]	7,85	7,40	7,20	2,28-2,47
Zatezna čvrstoća [N/mm ²]	370-450	380	250	17-40
Modul elastičnosti [N/mm ²]	210	170	85-120	40-60
Toplotna provodljivost [W/mK]	50	45	50	3-11
Specifični toplotni kapacitet [J/kg K]	450	480	500	700-800
Logar. dekrement prigušenja	0,0025	0,0030	0,0045	0,02-0,03

Materijali elemenata noseće strukture

- ❑ Sivi liv. Mogu se izrađivati složeni i kompleksni oblike. Ima prilično dobra svojstva prigušenja i dobre mehaničke osobine, otpornost na habanje i obradivost.
- ❑ Modifikovani liv Modifikacija se radi u cilju poboljšanja osobina sivog liva obično zaobljavanjem lamela grafita. Kada se ovaj postupak radi magnezijumom dobija se *nodularni liv*. Ovak liv pored osobina SL se dobro i termički obrađuje.
- ❑ Čelik. Koristi za izradu zavarenih konstrukcija elemenata noseće strukture (niskougljenični) i za izradu umetnutih vođica (legirani). Ima visoku krutost i čvrstoću, ali mali koeficijent prigušenja. Umetnute vođice se rade iz delova zbog lakše termičke obrade i zbog razlike u koeficijentu toplotne provodljivosti (čelik, SL).
- ❑ Polimer beton je vrsta kompozitnog materijala razvijen za visoko precizne noseće konstrukcije mašina alatki. Tačnost i kvalitet površina odlivaka od polimer betona znatno nadmašuju odlivke od SL i ČL, što omogućava izbegavanje nekih operacija naknadne obrade.

Proračun pojedinih elemenata noseće strukture

- ❑ Faktori koji utiču na konstrukcioni oblik osnovnih elemenata noseće strukture su:
 - ✓ namena i funkcija;
 - ✓ opterećenje (faktor krutosti);
 - ✓ smeštaj ostalih elemenata;
 - ✓ odvođenje strugotine;
- Faktor namene utiče na uzdužni presek elementa noseće strukture, zavisno da li se on kreće ili miruje.
- Ako se pokretni element obrće onda je noseći element cilindričnog oblika. Nepokretni elementi noseće strukture su prizmatičnog oblika i imaju površine za oslanjanje i eventualno vođenje drugih elemenata.

8.0 Noseća struktura mašina alatki

Proračun pojedinih elemenata noseće strukture

❑ Faktor opterećenja - Postolja

Opterećenje na savijanje:

$$\delta = \frac{Fl^3}{\mu EI_x};$$

Opterećenje na uvijanje:

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{M}{GI_p};$$

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32}, \text{ za kružni pop. presek}$$

$$I_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}, \text{ za prstenasti pop. presek}$$

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{KM}{Gdb^3}; [Nm/rad], \text{ za pravougaoni pop. presek}$$

δ – ugib usle savijanja

φ – ugaono pomeranje usled uvijanja

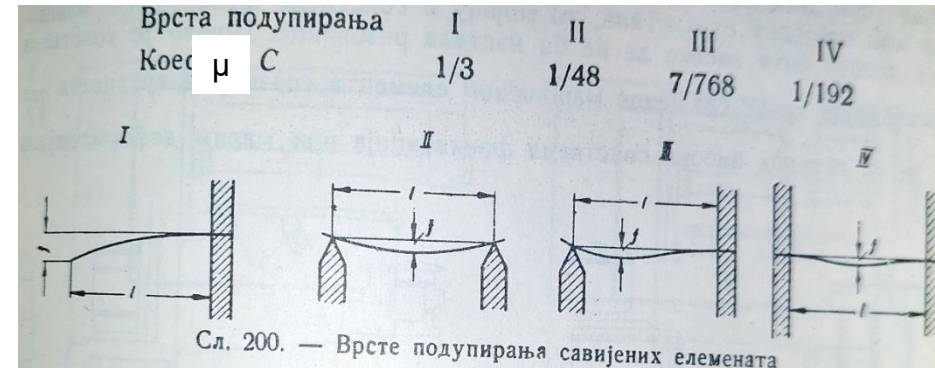
l – dužina postolja

E – modul elastičnosti

I_x – moment inercije

I_p – polarni moment

μ – koeficijent zavisan od vrste oslonca



Сл. 200. — Врсте подупирања савијених елемената

G – modul krutosti = $7.9 \cdot 10^4$ [N/mm²] – za Č.

d – debljina popr. preseka; b – širina popr. preseka za $d > b$

M - moment

d/b	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4	6	8	10	Above 10
K	7.1	5.1	4.36	4.0	3.8	3.56	3.3	3.26	3.2	3.0

Proračun pojedinih elemenata noseće strukture

❑ Faktor opterećenja - Stubovi

- Treba proveriti ugibe na savijanja i smicanja u dve ravni. Ugib usled savijanja se određuje kao kod konzole.
- Ugib smicanja zavisi od odnosa debljine i širine poprečnog preseka.

$$\delta_{smicanja} = \lambda \frac{Wl}{GA};$$

$\frac{d}{b}$	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	> 2
λ	4.5	3.0	2.35	2.0	1.75	1.6	1.55

M - moment, d – debljina pop., preseka, b – širina popr. preseka, t – debljina zida.

Opterećenje na uvijanje: Ugib smicanja u pravcu debljine: Ugib smicanja u pravcu širine:

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{2M(b+d-2t)}{4G(b-t)^2(d-t)^2};$$

$$\delta_{smicanja} = \frac{d\varphi}{2};$$

$$\delta_{smicanja} = \frac{d\varphi}{2};$$

W – sila smicanja, l – dužina stuba, G – modul krutosti, A – površina poprečnog preseka

Maksimalni dozvoljeni ugib $\leq (0,003 - 0,005)/metru$ u pravcu koji utiče na preciznost obradka.

$\leq 0,01 - 0,025$ u poprečnom preseku.

Maksimalni dozvoljeni ugao uvijanja $\leq 0^\circ 30'/metru$