

VISOKA POSLOVNO-TEHNIČKA ŠKOLA  
STRUKOVNIH STUDIJA U UŽICU

## OBRADA DEFORMISANJEM

Prof. dr Predrag M. Drobnjak dipl.inž.maš.

### Deformacioni rad odsecanja pravim nagnutim noževima

- $W = F \times h = F \times b \times \tan \varphi$  [Nmm]
- gde je:
- $F$  [N] - sila odsecanja,
- $h = b \tan \varphi$  [mm] - uslovni hod noža u toku kojega nastaje sila  $F$  (pretpostavka je dovoljno tačna ako je širina materijala  $b$  dovoljno velika u odnosu na njegovu debljinu  $s$ ).

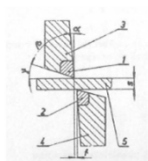
- Rad odsecanja na makazama sa pravim nagnutim noževima je istovetan radu odsecanja na makazama sa pravim paralelnim noževima:

- $W = n K \sigma_m \epsilon_{ot} A s \approx 0,6 \sigma_m \epsilon_{ot} A s$  [Nmm],
- što je logično ako se ima u vidu odsecanje istog preseka materijala!

- Između noževa se predviđa zazor u granicama  $f = (0,02 \div 0,05) s$ ;

- Geometrija noža sa uglovima:

- grudni  $\gamma = (3^\circ \div 12^\circ)$ ,
- ugao klina  $\beta = (75^\circ \div 85^\circ)$ ,
- leđni ugao  $\alpha = (2^\circ \div 3^\circ)$ .



## ODSECANJE KRUŽNIM NOŽEVIMA

- Proces odsecanja materijala sa kružnim noževima je istovetan procesu odsecanja sa pravim nagnutim noževima, jer se pravi noževi mogu smatrati kao kružni noževi, beskonačno velikog poluprečnika.
- Razdvajanje dugih traka po dužini vrši se isključivo pomoću kružnih noževa.

---

---

---

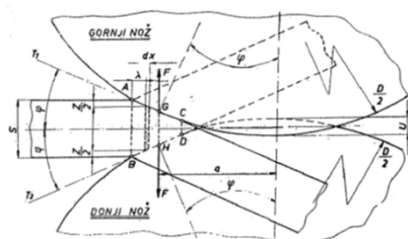
---

---

---

---

---



- U toku odsecanja kružnim noževima kontakt između materijala i noževa ostvaruje se po lukovima AC i BD, gde su tačke C i D izabrane proizvoljno.
- Uz pretpostavku da je dužina dodirnih lukova mala u odnosu na poluprečnik noževa....

---

---

---

---

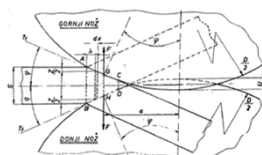
---

---

---

---

- ... radi jednostavnije analize vršimo aproksimaciju pravih AC i BD tangentama  $T_1$  i  $T_2$  povučених u tačkama G i H (koje se nalaze na sredini dodirnih lukova).
- U posmatranom trenutku, površinu razdvajanja zahvaćenu noževima, predstavlja trapez ABCD.
- Elementarna sila odsecanja koja otpada na površinu sa širinom  $dx$  može se predstaviti:




---

---

---

---

---

---

---

---

- $dF = \tau s dx$
- gde je:
- $\tau$  - napon smicanja
- $s$  - debljina materijala.
- Relativna dubina odsecanja na tom mestu je:
- $\epsilon = \frac{z}{s}$ ; gde je  $\frac{z}{2} = x \tan \varphi$
- $\varphi$  - polovina ugla izmedju tangenti  $T_1$  i  $T_2$ .
- Pa je ukupna sila odsecanja:
- $F = \frac{s^2}{2 \tan \varphi} \int_0^{\epsilon_{ot}} \tau d\epsilon$

---

---

---

---

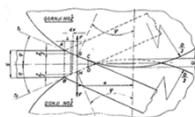
---

---

---

---

- Ukoliko se ne raspolaže sa dijagramima  $\tau = \tau(\epsilon)$ , tada se sila računa po približnom obrascu:
- $F = n K \sigma_m \epsilon_{ot} \frac{s^2}{2 \tan \varphi} \approx 0,6 \sigma_m \epsilon_{ot} \frac{s^2}{2 \tan \varphi} [N]$
- Poređenjem, vidi se da je deformaciona sila pri odsecanju kružnim noževima **dva** puta manja u odnosu na odsecanje pravim nagnutim noževima!
- Obrtni moment kružnog noža:
- $M = F \times a$
- F-sila odsecanja
- $a = \frac{D}{2} \sin \varphi$  - krak sile odsecanja




---

---

---

---

---

---

---

---

- Prečnik i širina noževa ( $D$  i  $h$ ) usvajaju se u zavisnosti od debljine materijala u granicama:
- - za  $s < 3$  mm  $D = (35 - 50)$  s i  $h = (20 - 25)$  mm
- - za  $s > 10$  mm  $D = (25 - 30)$  s i  $h = (50 - 90)$  mm.
- Zazor između noževa može biti:
- $f = (0,05 - 0,07)$  s.
- Ugao zahvata se određuje za početak odsecanja:
- $\frac{D}{2} - \frac{u}{2} = \frac{D}{2} \cos \varphi + \frac{s}{2}$ ; odakle odredimo ugao  $\varphi$ .
- Da ne bi nastupilo klizanje materijala bez odsecanja, mora biti ispunjen uslov:
- $2\varphi < \rho_1 + \rho_2$
- uglovi trenja između gornjeg i donjeg noža i materijala

---

---

---

---

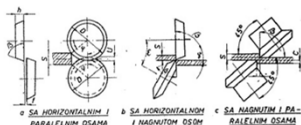
---

---

---

---

- Kružni noževi se izvode sa horizontalnim ili sa nagnutim osovinama.



- Kružni noževi sa horizontalnim i paralelnim osovinama se primenjuju za:

- odsecanje tabli limova u trake
- uzdužno i poprečno odsecanje traka
- odsecanje okruglih platina iz limova u obliku kvadratnih ploča.

- Kružni noževi se izvode i sa nagnutim osovinama i to:

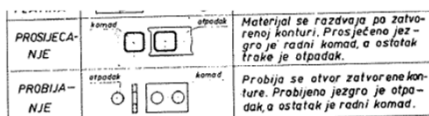
- Sa jednom horizontalnom i drugom nagnutom osovinom i primenjuje se za odsecanje materijala manjih debljina.
- Sa obe nagnute i međusobno paralelne osovine.

- Najčešće se kružni noževi sa nagnutim osovinama primenjuju za odsecanje:

- platina i raznih kontura;
- obrezivanje šupljih posuda izrađenih tehnologijom dubokog izvlačenja ili istiskivanjem

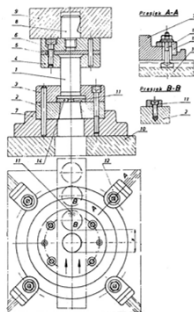
## PROSECANJE I PROBIJANJE

- Prosecanje i probijanje pripadaju operacijama razdvajanja materijala deformisanjem.
- Razdvajanje materijala se vrši po zatvorenoj konturi.
- Prosecanjem se dobija prosečeno jezgro kao obradak (komad), a ostatak je otpadak.
- Kod probijanja je probijeno jezgro otpadak.

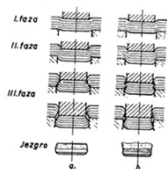


- Alat za prosecanje ili probijanje radi na istom principu kao i makaze, s tim što se u ovom slučaju materijal razdvaja po zatvorenoj konturi, prema geometriji obratka.

- 1 prosekač
- 2 prsten za prosecanje
- 3 ploča za vođenje
- 4 nosač prosekača
- 5 međuploča
- 6 gornja ploča
- 7 donja ploča
- 8 cilindrični rukavac
- 9 pritiskivač prese
- 10 stezna ploča
- 11 graničnik
- 12 stezaljka



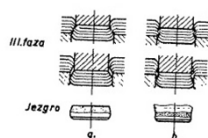
- U procesu prosecanja/probijanja mogu se uočiti tri faze.
- Na početku procesa deformisanja (I faza), materijal se pod pritiskom, prosekača ili probijača, elastično savija, a zatim u nekom određenom trenutku nastupa plastično savijanje, kombinovano sa istezanjem vlakana.



- Pri daljem prodiranju prosekača ili probijača u materijal (II faza), nastaju prekoračenjem granice gnječenja znatnije plastične deformacije. U ovoj fazi materijal se savija i utiskuje u otvor prstena za prosecanje, tako da se sila koju prenosi prosekač na materijal koncentriše na granični prstenasti sloj materijala, između reznih ivica prosekača i prstena za prosecanje.
- Ovakvo stanje opterećenja i napona dovodi prstenasti sloj do plastične deformacije.
- Vlakna u ovoj fazi još nisu prekinuta, iako već nastaje istiskivanje jezgra.



- Pri daljem prodiranju presekača u materijal usled (III faza) veoma male visine prstenastog elementa koji se deformiše, stepen deformacije znatno prevazilazi dozvoljenu granicu.
- U takvim uslovima dolazi do stvaranja prvih prskotina ispred reznih ivica pa do konačnog prekida materijala i istiskivanja jezgra.



- Najveća relativna dubina prodiranja presekača ( $\xi_{ot}$ ), u materijal obratka zavisi od:

- Vrste materijala (sa povećanjem tvrdoće opada vrednost  $\xi_{ot}$ );
- Debljine materijala (sa povećanjem debljine, takođe, opada  $\xi_{ot}$ );
- Stanja reznih ivica alata (ukoliko su rezne ivice manje oštre, tada presekač mora dublje da prodre u materijal da bi došlo do razdvajanja istog).

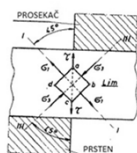
Veličina zazora bitno utiče na kvalitet prosečenog komada (jezgra).

- a.) normalan zazor
- b.) manji od normalnog (nekvalitetno jezgro zgnječen materijal)

## NAPONSKI ODNOSI

- Mehanika procesa prosecanja/probijanja, a posebno analiza naponskih odnosa je vrlo važna za postavljanje optimalnih uslova deformisanja odnosno određivanja:
  - Izboru neophodnog zazora između presekača i prstena za prosecanje,
  - Određivanja sile deformisanja – prosecanja;
  - Kvaliteta prosečene površine;
  - Tačnosti obratka;
  - Veka trajanja alata.

- U teoretskim razmatranjima, polazilo se od toga da proces prosecanja/probijanja, prema klasifikaciji naponskih odnosa, spada u čisto smicanje, što znači da u ravni prosecanja nema normalnih napona ( $\sigma=0$ ).
- Novija istraživanja pokazuju da ova postavka nije tačna i da se u ravni prosecanja pored tangencijalnih ( $\tau$ ) javljaju i normalni naponi ( $\sigma$ ).
- U elementu napregnutog tela „abcd“ javljaju se normalni naponi  $\sigma_1$  (istezanje) =  $-\sigma_3$  (pritisk) i  $\sigma_2=0$  u glavnim pravcima I-I i III-III.
- U ravni odsecanja koja sa glavnim pravcima zaklapa ugao od  $45^\circ$ , vladaju najveći tangencijalni naponi.




---

---

---

---

---

---

---

---

- Zbog koncentracije napona, veću deformaciju trpe vlakna bliža reznim ivicama.
- Zato ugao zakretanja  $d\phi$  ima najveće vrednosti u slojevima materijala neposredno uz rezne ivice, a najmanje u sredini.
- Sa pojavom plastične deformacije menja se oblik obratka što uslovljava pojavu dodatnih napona.
- Usled dodatnih napona dolazi do:
  - povećanja specifičnog deformacionog otpora;
  - promene osnovnih napona (jer se sabiraju dodatni sa osnovnim naponima, stvarajući radne napone);
  - promene šeme naponskog stanja glavnih napona izazvanih spoljnim silama.

---

---

---

---

---

---

---

---

- Kod prosecanja/probijanja materijal u zoni prosecanja teži ka smanjenju dimenzija.
- Usled toga nastaju dodatni naponi, koji povećavaju osnovne napone i njihovim sabiranjem sa dodatnim naponima, nastaju stvarni naponi.
- To znači da će naponi pritiska po apsolutnoj vrednosti biti manji od osnovnih, a naponi istezanja veći.
- Zbog uprošćavanja problema, smatra se da je linija razdvajanja AB ujedno i trajektorija najvećih tangencijalnih napona.

---

---

---

---

---

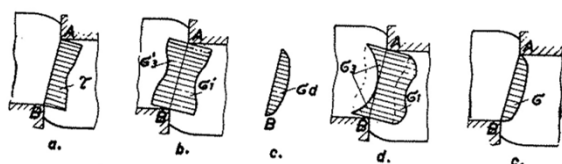
---

---

---

● Naponsko stanje materijala u fazi razdvajanja se može predstaviti šemom.

- A. Tangencijalni naponi
- B. Glavni normalni naponi
- C. Dodatni naponi
- D. Stvarni naponi
- E. Normalni naponi u ravni sa najvećim tangencijalnim naponima




---

---

---

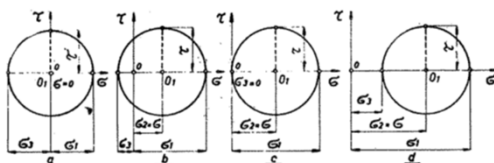
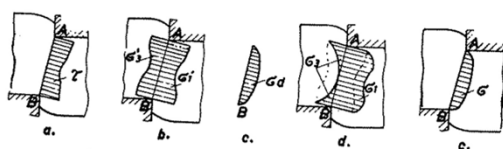
---

---

---

---

---




---

---

---

---

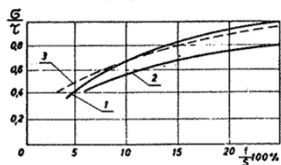
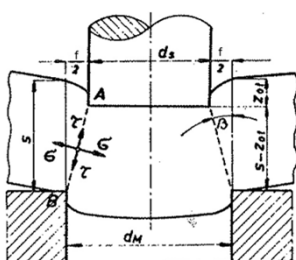
---

---

---

---

● Rezultati ispitivanja zavisnosti odnosa  $\sigma/\tau$  od veličine zavora  $f$ , prikazani su na dijagramu.



1. Č.1220
2. Č.1530
3. Mesing

---

---

---

---

---

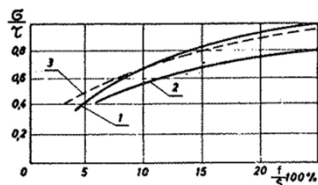
---

---

---



- Iz navedenog dijagrama se vidi da je kod normalnog zazora prosecanja/probijanja od oko 7%, odnos  $\sigma/\tau \approx 0,5$ , što znači da se naponsko stanje nalazi između čistog smicanja i svestranog istezanja.

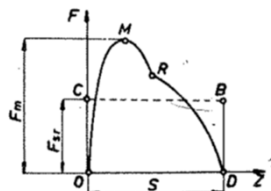


## DEFORMACIONA SILA PROSECANJA I PROBIJANJA

- Razmatranje naponskog stanja tokom prosecanja/probijanja pokazalo je da se radi o složenim naponskim odnosima, što podrazumeva složenu metodologiju postupka određivanja deformacione sile.
- U proračunima koji se koriste u tehničkoj praksi od presudnog značaja za određivanje sile prosecanja/probijanja je maksimalna vrednost napona smicanja ili čvrstoća smicanja  $\tau_m$ .

- Napon smicanja kod prosecanja/probijanja nije konstantna veličina, nego se menja u zavisnosti od relativne dubine prodiranja presekača ( $\epsilon \approx \frac{z}{s}$ ) po određenim zakonitostima, u zavisnosti od vrste materijala i temperature deformisanja.
- Kod prosecanja/probijanja u hladnom stanju može se uočiti da sa porastom tvrdoće materijala raste i najveća vrednost napona smicanja ( $\tau_m$ ), dok relativna dubina prosecanja ( $\epsilon_{ot}$ ) opada.
- Prosecanjem na povišenoj temperaturi za određeni materijal čvrstoća smicanja opada, a relativna dubina prosecanja raste sa povećanjem temperature.

- Zavisnost sile prosecanja od apsolutne dubine prodiranja presekača ima sličan tok kao i kod odsecanja na makazama.
- Deo krive OM predstavlja prvu fazu prosecanja, a MR drugu.
- Sila ne pada trenutno na nultu vrednost, jer je potrebno uložiti izvestan deo sile za savladavanje otpora trenja za protiskivanje jezgra, tako da deo RD odgovara trećoj fazi.



- Sila prosecanja/probijanja zavisi od oblika rezne ivice alata, pa za alate sa paralelnim reznim ivicama, sila se određuje po obrascu:

•  $F = L \times s \times \tau_m$  [N]

• Gde je:

- $L$  [mm] - opseg dela koji se preseca/probija ili opseg platine,
- $s$  [mm] - debljina materijala,
- $\tau_m$  [ $\frac{N}{mm^2}$ ] – čvrstoća smicanja.

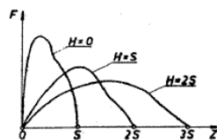
- Proračunata sila prosecanja se zbog:
  - neravnomernosti debljine materijala,
  - tupljenja reznih ivica alata,
- povećava za 30%, tako da je stvarna sila na osnovu koje se određuje mašina (presa) glasi:

•  $F_m = 1,3F = 1,3 \times L \times s \times \tau_m$  [N];

- Sila prosecanja/probijanja je proporcionalna veličinama  $L$ ,  $s$  i  $\tau_m$ .
- Zbog toga, pri prosecanju/probijanju, može doći do prekomernog porasta sile koju smanjujemo određenim poboljšanjima.

- Da bi se izbegao ili bar donekle ublažio ovaj porast, na raspolaganju su nam tri načina:

- 1. alati sa zakošenim reznim ivicama (za delove manje komplikovanih kontura; na prstenu za prosecanje/probojcu-jezgro se krivi i ono je otpadak);

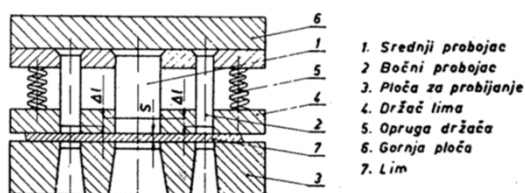


Sa povećanjem vrednosti zakošenja H, opada maksimum sile, ali raste hod presekača/probijaja.

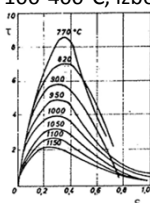
IZVEDBE ALATA SA ZAKOŠENIM REZNIM IVICAMA	OBRAZAC ZA SILU
	Priravnak: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Krup: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Priravnak: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Krup: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Priravnak: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Krup: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Priravnak: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Krup: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Priravnak: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$
	Krup: $F = 2s \times T_m \times \left( \frac{1}{\sin H} + \frac{1}{\cos H} \right) \times \frac{1}{2}$

- Veličina zakošenja H i ugao  $\varphi$  se biraju u zavisnosti od debljine materijala u granicama:
  - za  $s \leq 3\text{mm}$   $H \leq 2s$  i  $\varphi \leq 5^\circ$
  - za  $s \geq 3\text{mm}$   $H = s$  i  $\varphi \leq 8^\circ$
- Veća zakošenja nisu preporučljiva jer usled velikih deformacija dolazi do krivljenja obratka pa je nakon prosecanja potrebno komade ravnati.
- Sila prosecanja/probijanja kod alata sa zakošenim reznim ivicama se može izračunati po obrascu:
  - $F \approx k \times L \times s \times T_m$  [N]; k - korektivni koeficijent
- Zakošenje reznih ivica alata nije preporučljivo izvoditi kod prosecanja komplikovanih oblika.

- 2. alati sa različitom dužinom presekača/probojaca
- Ukoliko se koristi višesečni alat za istovremeno prosecanje/probijanje nekoliko delova (otvora) tada se presekač/probojci izvedu sa različitim dužinama (smanjuje se rezultantna sila i trošenje alata, a povećava se stabilnost presekača i otpornost na izvijanje).

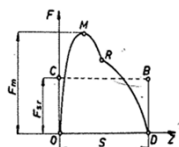


- 3. prosecanje pri povišenim temperaturama.
- Koristi se činjenica da sa povećanjem temperature materijala opada čvrstoća smicanja.
- Izračunavanje sile prosecanja/probijanja je isto kao i kod obrade u hladnom stanju, samo se za  $\tau_m$  uzima vrednost za odgovarajuću temperaturu.
- Prema dosadašnjem iskustvu, najpovoljnije temperature za prosecanje čelika su u području od 700-900°C, dok se interval od 100-400°C, izbegava zbog pojave krtosti čelika.



## DEFORMACIONI RAD PROSECANJA I PROBIJANJA

- Da bi se odredio deformacioni rad koji se javlja tokom prosecanja i probijanja, potrebno je poznavati deformacionu silu koja zavisi od apsolutne dubine prodiranja:
- $dW = Fdz$  odnosno  $W = \int_0^s Fdz$ ;
- Vrednost ovog integrala predstavlja površinu ograničenu krivom OMRD i apscisom  $z=s$ .



- Ako se srednja vrednost sile u intervalu od  $z=0$  do  $z=s$  označi sa  $F_{sr}$ , onda se prethodno definisana površina može zameniti površinom pravougaonika OCBD, pa je deformacioni rad:

$$W = \int_0^s Fdz = F_{sr} \times s$$

- Ako se uvede faktor razmere  $\chi$  kao odnos srednje i maksimalne vrednosti sile:

$$\chi = \frac{F_{sr}}{F_m} \text{ tj. } F_{sr} = \chi \times F_m,$$

Onda se može napisati izraz u sledećem obliku:

$$W = \chi \times F_{sr} \times s \text{ [Nmm]} \text{ ili } W = \frac{F_m s}{1000} \text{ [Nm]}$$

- Faktor  $x$  je proporcionalan relativnoj dubini prosecanja, opada sa porastom debljine i porastom čvrstoće materijala.
- Rad prosecanja/probijanja kod alata sa zakošenim reznim ivicama može se odrediti po obrascu:
- $W = x_1 \frac{F_m(s+H)}{1000}$  [Nm]
- gde je:
  - $F_m$ -maksimalna sila prosecanja,
  - $H$ -visina zakošenja,
  - $s$ -debljina materijala obratka,
  - $x_1 = \frac{F_{sr}}{F_m}$  - faktor koji za meke Č.  $H=s$ ,  $x_1=0,5-0,6$   
 $H=2s$ ,  $x_1=0,7-0,8$

---

---

---

---

---

---

---

---

## IZBOR MAŠINE

- Prosecanje probijanje i ostale operacije razdvajanja materijala rade na presama (različite vrste presa).
- Sila i rad prese se preko mehanizma prenosi na pritiskivač, a sa njega na radni predmet.
- Po prvom kriterijumu za izbor prese za prosecanje/probijanje mora biti ispunjen uslov da je:
- $F_m \leq F_g$  [N], gde su  $F_m$  – maksimalna sila probijanja/prosecanja;  $F_g$ -granična sila pritiskivača prese.  $F_g=1,3F_m$

---

---

---

---

---

---

---

---

- Između prosekača/probojca prečnika  $d_s$  i prstena za prosecanje/probijanje prečnika  $d_n$  treba predvideti određeni zazor.
- Zazor je od bitnog značaja u procesu prosecanja / probijanja jer utiče:
  - na kvalitet prosečenog/probijenog komada
  - na sam tok procesa
  - na naponsko-deformacione odnose
  - utrošak energije
  - trajnost alata.
- Zazor nema stalnu vrednost, već zavisi od stanja istrošenosti alata i vremenom se povećava.

---

---

---

---

---

---

---

---

## METODE RACIONALNOG KORIŠĆENJA MATERIJALA

- Prosecanjem i probijanjem dobijaju se obratci iz priprema materijala koji su najčešće u obliku traka.
- Širina trake (B) treba da je veća od širine obratka u cilju obezbeđenja kvaliteta i čistoće obratka.
- Dodatak po širini iznosi veličinu ruba (b), a razmak između kontura dva susedna obratka predstavlja most, takođe širine (b).

---

---

---

---

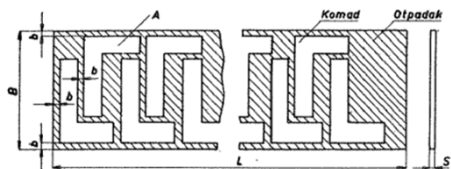
---

---

---

---

- Širine ruba i mosta (b) zavise od debljine lima (s) i širine trake (B) koja se prerađuje (po pravilu rastu sa porastom ovih veličina), kao i od čvrstoće materijala obratka i složenosti konstrukcije radnog alata.
- Rub i most treba da budu što manji, jer njihovim povećanjem raste i otpadak.




---

---

---

---

---

---

---

---

- Masa svih komada-obradaka jedne serije označena sa  $m_n$  izračunava se kao:
- $m_n = n \rho V = n \rho s A$  [kg]; n-br. komada
- Masa traka potrebnih za izradu dotične serije označena sa  $m_t$  (masa ukupnog potrebnog materijala) može se izračunati:
- $m_t = y \rho s A_t = y \rho s B L$  [kg]; y-br. traka
- $P_a$  je masa otpadka:
- $m_o = m_t - m_n = \rho s (y B L - n A)$  [kg]
- Procentualni otpadak ( $\Delta$ ) služi kao kriterijum po kome se ocenjuje ekonomičnost iskorišćenja materijala:

---

---

---

---

---

---

---

---

•  $\Delta = \frac{m_o}{m_t} \times 100\% = z \frac{A}{A_t} 100 = z \frac{A}{LB} 100\%.$

• Smernice za pravilan raspored:

SKICA PREDMETA	R A S P O R E D	ŠIRINA TRAKE B	POŠNAK TRAKE x	BROJ KODA- DA U TRACI z
		$B = c + 2b$	$x = m + n + 2b$	$z = \frac{L}{x} - 2$
		$B = c + 2b$	$x = m + n + 2b$	$z = \frac{L - B}{x} - 2$
		$B = c + 2b$	$x = m + n + 2b$	$z = \frac{L}{x} - 2$

		$B = c + n + 3b$	$x = m + b$	$z = \frac{L - B}{x} - 2$
		$B = c + n + 3b$	$x = m + b$	$z = \frac{L - B}{x} - 2$
		Proizvoljni oblik se pretvara u poznatu geometrijsku figuru. U ovom slučaju je to ugaonik (kao u tabeli br.21 pod rednim brojem 3).		