

VISOKA POSLOVNO-TEHNIČKA ŠKOLA
STRUKOVNIH STUDIJA U UŽICU

OBRADA DEFORMISANJEM

Prof. dr Predrag M. Drobniak 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).

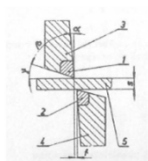
- Rad odsecanja na makazama sa pravim nagnutim noževima je istovetan radu odsecanja na makazama sa pravim paralelnim noževima:

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

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

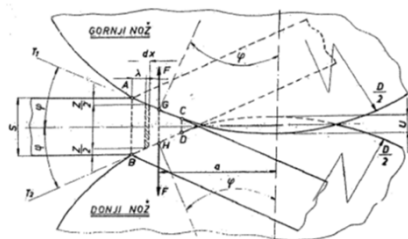
- Geometrija noža sa uglovima:

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



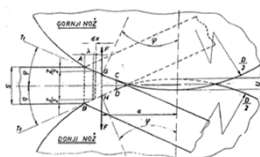
ODSECANJE KRUŽNIM NOŽEVIMA

- 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.



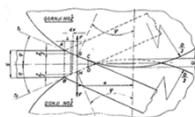
- U toku odsecanja kružnim noževima kontakt između materijala i noževa ostvaruje se po lukovima AC i BD, gde su tačke C i D izabrane proizvoljno.
- Uz pretpostavku da je dužina dodirnih lukova mala u odnosu na poluprečnik noževa....

- ... radi jednostavnije analize vršimo aproksimaciju pravih AC i BD tangentama T_1 i T_2 povučenih 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:



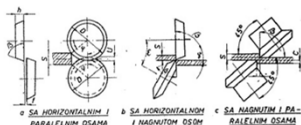
- $dF = \tau s dx$
- gde je:
- τ - napon smicanja
- s - debljina materijala.
- Relativna dubina odsecanja na tom mestu je:
- $\epsilon = \frac{z}{s}$; gde je $\frac{z}{2} = x \tan \varphi$
- φ - polovina ugla izmedju tangenti T_1 i T_2 .
- Pa je ukupna sila odsecanja:
- $F = \frac{s^2}{2 \tan \varphi}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

- 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 φ .
- 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:

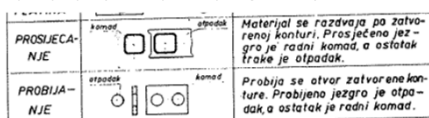
- Sa jednom horizontalnom i drugom nagnutom osovinom i primenjuje se za odsecanje materijala manjih debljina.
- Sa obe nagnute i međusobno paralelne osovine.

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

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

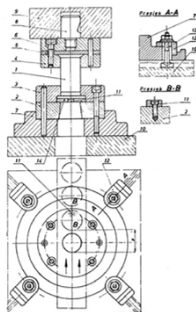
PROSECANJE I PROBIJANJE

- 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.



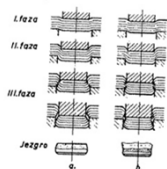
- Alat za prosecanje ili probijanje radi na istom principu kao i makaze, s tim što se u ovom slučaju materijal razdvaja po zatvorenoj konturi, prema geometriji obratka.

- 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.



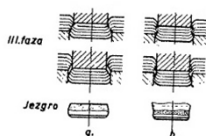
- Pri daljem prodiranju prosekača ili probijača u materijal (II faza), nastaju prekoračenjem granice gnječenja znatnije plastične deformacije. U ovoj fazi materijal se savija i utiskuje u otvor prstena za prosecanje, tako da se sila koju prenosi prosekač na materijal koncentriše na granični prstenasti 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 (ξ_{ot}), u materijal obratka zavisi od:

- Vrste materijala (sa povećanjem tvrdoće opada vrednost ξ_{ot});
- Debljine materijala (sa povećanjem debljine, takođe, opada ξ_{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).

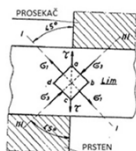
Veličina zazora bitno utiče na kvalitet prosečenog komada (jezgra).

- 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 (τ) javljaju i normalni naponi (σ).
 - U elementu napregnutog tela „abcd“ javljaju se normalni naponi σ_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° , vladaju najveći tangencijalni naponi.

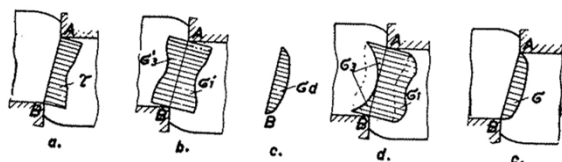


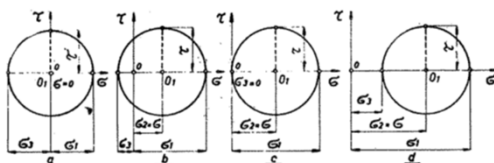
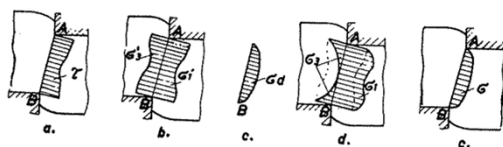
- Zbog koncentracije napona, veću deformaciju trpe vlakna bliža reznim ivicama.
- Zato ugao zakretanja $d\phi$ ima najveće vrednosti u slojevima materijala neposredno uz rezne ivice, a najmanje u sredini.
- Sa pojavom plastične deformacije menja se oblik obratka što uslovljava pojavu dodatnih napona.
- 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.

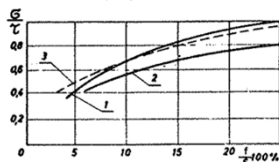
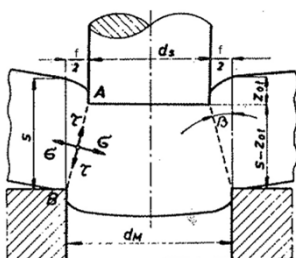
● Naponsko stanje materijala u fazi razdvajanja se može predstaviti šemom.

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



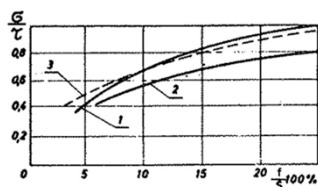


● Rezultati ispitivanja zavisnosti odnosa σ/τ od veličine zavora f , prikazani su na dijagramu.



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.

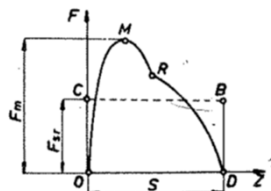


DEFORMACIONA SILA PROSECANJA I PROBIJANJA

- 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 τ_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 (τ_m), dok relativna dubina prosecanja (ϵ_{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/obim dela koji se preseca/probija ili opseg platine,
- s [mm] - debljina materijala,
- τ_m [$\frac{N}{mm^2}$] – čvrstoća smicanja.

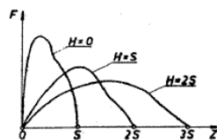
- Proračunata sila prosecanja se zbog:
 - neravnomernosti debljine materijala,
 - tupljenja reznih ivica alata,
- povećava za 30%, tako da je stvarna sila na osnovu koje se određuje mašina (presa) glasi:

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

- Sila prosecanja/probijanja je proporcionalna veličinama L , s i τ_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/probijanja.

IZVEDBE ALATA SA ZAKOŠENIM REZNIM IVICAMA	OBRAZAC ZA SILU
	Proravnost: $F = 2S + T_n \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Krup: $F = 2S \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Proravnost: $F = 2S + T_n \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Krup: $F = 2S \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Proravnost: $F = 2S + T_n \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Krup: $F = 2S \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Proravnost: $F = 2S + T_n \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Krup: $F = 2S \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Proravnost: $F = 2S + T_n \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$
	Krup: $F = 2S \cdot \sin(180^\circ - 2H) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{S}$

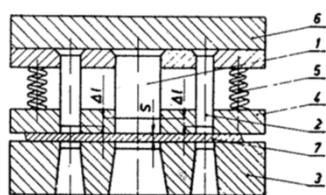
- Veličina zakošenja H i ugao φ se biraju u zavisnosti od debljine materijala u granicama:

- 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:
 - $F \approx k \cdot L \cdot s \cdot \tau_m$ [N]; k - korektivni koeficijent
- Zakošenje reznih ivica alata nije preporučljivo izvoditi kod prosecanja komplikovanih oblika.

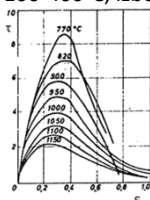
- 2. alati sa različitom dužinom presekača/probojaca

- Ukoliko se koristi višesečni alat za istovremeno prosecanje/probijanje nekoliko delova (otvora) tada se presekač/probojca izvode sa različitim dužinama (smanjuje se rezultanta sila i trošenje alata, a povećava se stabilnost presekača i otpornost na izvijanje).



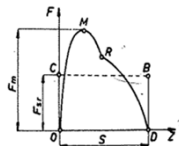
1. Srednji probijac
2. Bočni probijac
3. Ploča za probijanje
4. Držač lima
5. Opruga držača
6. Gornja ploča
7. Lim

- 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 τ_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 x kao odnos srednje i maksimalne vrednosti sile:

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

Onda se može napisati izraz u sledećem obliku:

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

- 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:
- $W = x_1 \frac{F_m(s+H)}{1000} \text{ [Nm]}$
- 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

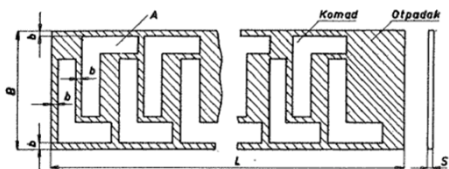
- Prosecanje probijanje i ostale operacije razdvajanja materijala rade na presama (različite vrste presa).
- Sila i rad prese se preko mehanizma prenosi na pritiskivač, a sa njega na radni predmet.
- Po prvom kriterijumu za izbor prese za prosecanje/probijanje mora biti ispunjen uslov da je:
- $F_m \leq F_g \text{ [N]}$, 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 (Δ) 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 KODI- DA U TRACI z
		$B+c+2b$	$x+m+n+2b$	$z = \frac{L-B}{x}-2$
		$B+c+2b$	$x+m+n+2b$	$z = \frac{L-B}{x}-2$
		$B+c+2b$	$x+m+n+2b$	$z = \frac{L-B}{x}-2$

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