

## 6. OSNOVE PRORAČUNA ŠTANCE

### 6.1 Rezna zračnost

#### 6.1.1 Temeljni pojmovi

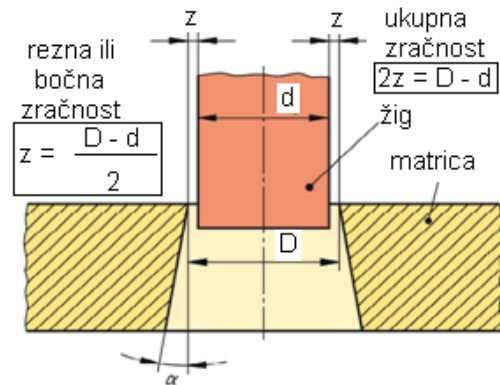
Rezna zračnost je razmak između reznih bridova žiga i matrice, a mjeri se u ravnini okomitoj na ravninu rezanja:

- rezna, bočna ili stranična zračnost:

$$z = \frac{D - d}{2}$$

- ukupna zračnost:

$$2z = D - d$$



D - promjer matrice; d - promjer žiga

SI.1: Prikaz rezne zračnosti

Veličina zračnosti utječe na kvalitetu reza, silu rezanja i trošenje reznih bridova žiga i matrice.

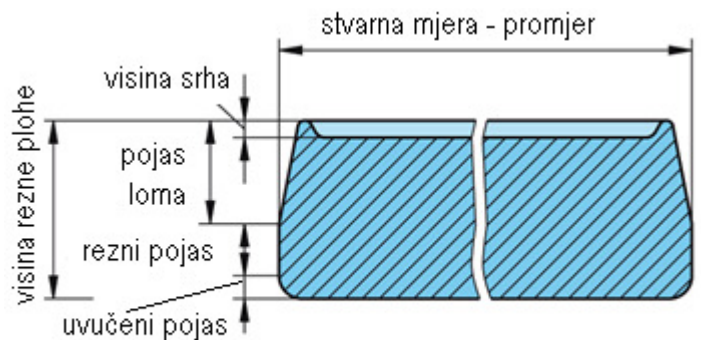
Prvenstveno ovisi o **debljini i čvrstoći materijala**, a zatim o izvedbi štanice i kvaliteti rezne površine.

Mora se **točno odrediti** i vođenjem žigova **jednako rasporediti** po cijeloj reznoj liniji.

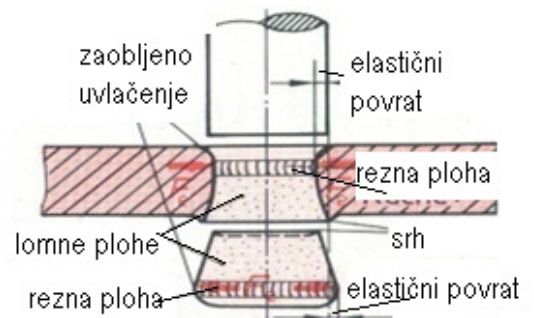
Pod **vijekom trajanja** reznih bridova žiga i matrice podrazumjeva se broj proizvoda između dva oštrenja štanice.

U stručnoj literaturi postoje tabele i formule za **određivanje veličine rezne zračnosti**.

Često puta se uzimaju kao orijentacione, a zatim se **probom provjeravaju** i po potrebi korigiraju:



SI.2: Prikaz rezne plohe i srha



SI.3: Prikaz vanjske i unutarnje rezne površine

a) Izračunavanje prema Oehler-Keiser-u:

$$Z = 0,5 \times c \times s \times \sqrt{0,1 \times \tau_m} \text{ (mm)} - \text{za limove debljine } s \leq 3 \text{ (mm)}$$

$$Z = 0,5 \times (1,5 \times c \times s - 0,015) \times \sqrt{0,1 \times \tau_m} \text{ (mm)} - \text{za limove debljine } s \geq 3 \text{ mm}$$

s (mm) – debljina lima;  $\tau_m$  (N/mm<sup>2</sup>) – čvrstoća na smik;

c = (0,005 – 0,035) - koeficijent kvalitete obrade;

c = 0,005 - koeficijent za glatke rezove; c = 0,035 - koeficijent za hrapave rezove

b) Na temelju iskustva uzima se (2–5) % debljine lima s. Donja vrijednost je za tanje, a gornja za deblje limove.

c) Tablični pregled zračnosti:

Rezna zračnost z pri kutu matrice $\alpha = 0^\circ$				Rezna zračnost z pri kutu matrice $\alpha > 0^\circ$			
Debljina lima s mm	Smična čvrstoća $\tau_m$ u (N/mm <sup>2</sup> )			Debljina lima s mm	Smična čvrstoća $\tau_m$ u (N/mm <sup>2</sup> )		
	do 250	251 - 400	401 - 600		do 250	251 - 400	401 - 600
0,4 - 0,6	0,015	0,02	0,025	0,4 - 0,6	0,01	0,015	0,020
0,7 - 0,8	0,025	0,03	0,04	0,7 - 0,8	0,015	0,02	0,03
0,9 - 1	0,03	0,04	0,05	0,9 - 1	0,02	0,03	0,04
1,5 - 2	0,05	0,06 - 0,08	0,08 - 0,10	1,5 - 2	0,03	0,04 - 0,05	0,05 - 0,07

d) Tablični pregled ukupne zračnosti (ŠTANCE 1, prof. Rebec):

Ukupna zračnost 2z:			
Debljina lima s (mm)	Mjed i meki čelik	Srednje tvrdi čelik	Tvrđi valjani čelik
0,25	0,010	0,015	0,020
0,50	0,025	0,030	0,035
0,75	0,040	0,045	0,050
1,00	0,050	0,060	0,070
1,50	0,075	0,090	0,100
2,00	0,100	0,120	0,140
3,00	0,150	0,180	0,210
5,00	0,250	0,300	0,360

Utjecaj zračnosti na reznu površinu i srh		
Rezna zračnost	Rezna površina	Rezni srh
prevelika	hrapava, kidana	jako nazubljen
premala	sjajna	fin, visok
pravilna	1/3 visine sjajna 2/3 visine zagasita	normalan

6.1.2 Utjecaj zračnosti na kvalitetu reza i položaj srha

Pravilna zračnost daje širi glatki pojas i konusni hrapavi završetak na proizvodu. Premala zračnost daje 2 uža glatka pojasa s gornje i donje strane i hrapavu sredinu, a prevelika sužava glatki i proširuje hrapavi konusni pojas.

**Bez obzira na veličinu zračnosti, rezni srh se uvijek pojavljuje na proizvodu:** visina srha se povećava s debljinom, a smanjuje sa čvrstoćom materijala.

Osim navedenog, veličina srha ovisi i o točnosti obrade (reznna zračnost, točnost preše i alata), a njegov položaj o postupku rezanja (Sl.3.). Za skidanje srha može se primjeniti naknadno pjeskarenje u bubnjevima.



Sl.4: Položaj srha ovisno o postupku rezanja

## 6.2 Mjere žiga i matrice

Mjere žiga i matrice vezane su za mjere proizvoda. Razlika između žiga i matrice je **ukupna rezna zračnost  $2z$** . Ovisno o postupku rezanja vrijedi sljedeće pravilo:

Probijanje: SI.1.	Izrezivanje: SI.2.
Mjera žiga određuje mjeru provrta na proizvodu, a mjera matrice je veća za ukupnu zračnost $2z$ .	Mjera matrice određuje vanjsku mjeru proizvoda, a mjera žiga je manja za ukupnu zračnost $2z$ .
Mjera žiga: $d_{\dot{z}} = d_p$	Mjera matrice: $d_m = d_p$
Mjera matrice: $d_m = d_{\dot{z}} + 2z$	Mjera žiga: $d_{\dot{z}} = d_m - 2z$

$d_p$  – mjera proizvoda

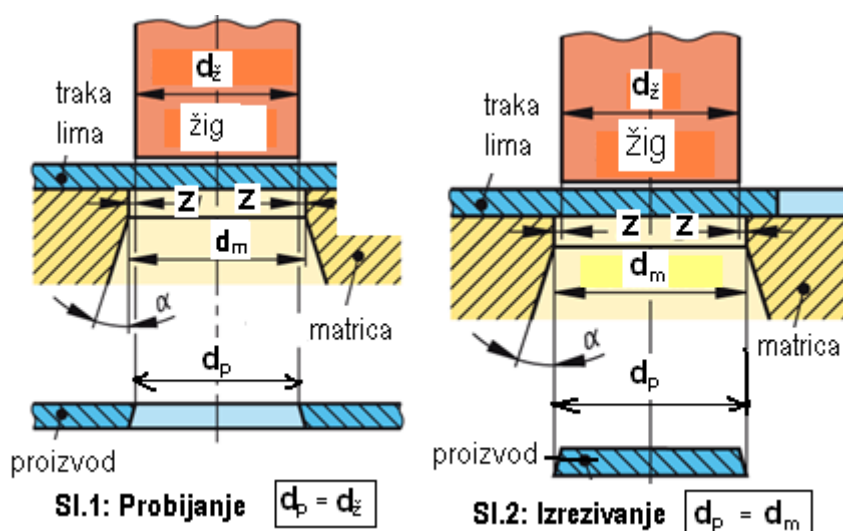
$z$  – rezna zračnost

$2z$  – ukupna zračnost

$d_{\dot{z}}$  – mjera žiga

$d_m$  – mjera matrice

Zbog poteškoća u točnosti izrade, mjere proizvoda su zadane s dopuštenim odstupanjem, odnosno **tolerancijom T** pa razlikujemo:  
 $d_p$  – **zadanu ili nazivnu** mjeru,  
 $d_{pg}$  – **gornju graničnu** mjeru i  $d_{pd}$  – **donju graničnu** mjeru proizvoda



Zbog trošenja u radu, **smanjuje se mjera žiga, a povećava mjera matrice**. Da bi se produžio njihov radni vijek, odnosno da bi stvarna mjera proizvoda ostala što duže unutar tolerantnog područja preporučuje se sljedeće:

<b>Probijanje:</b> za mjeru žiga uzima se gornja granična mjera provrta na proizvodu, umanjena za $0,2T$ : $d_{\dot{z}} = d_{pg} - 0,2T$ $d_m = d_{\dot{z}} + 2z$	<b>Izrezivanje:</b> za mjeru matrice uzima se donja granična vrijednost vanjske mjere na proizvodu, uvećana za $0,2T$ : $d_m = d_{pd} + 0,2T$ $d_{\dot{z}} = d_m - 2z$
--	---

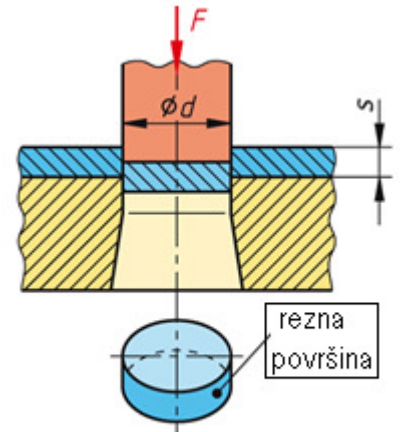
Za **deblje limove** treba uzeti u obzir **elastični povrat materijala** oko  $0,02s$  ( $s$ -deb.lima) ili  $0,5z$  (rez.zračnost).

**Tolerancija izrade žiga i matrice:** Štancanjem se dobiju proizvodi kvalitete točnosti mjera IT9, IT10 i IT11. Kvaliteta točnosti žiga i matrice treba biti strožija za 3 ili 4 klase. Uobičajeno je sljedeće:

Kvaliteta izrade proizvoda	IT9	IT10	IT11
Kvaliteta izrade matrice	IT6	IT7	IT8
Kvaliteta izrade žiga	IT5	IT6	IT7
<b>Tolerancija matrice</b>	<b>H6</b>	<b>H7</b>	<b>H8</b>
<b>Tolerancija žiga</b>	<b>h5</b>	<b>h6</b>	<b>h7</b>

### 6.3 Sila rezanja

Izračunavanje potrebne **sile za rezanje** proizvoda je nužno da bi se utvrdila minimalna veličina preše. Veličina sile rezanja ovisi o veličini **rezne površine A** (mm<sup>2</sup>) i maksimalnoj **smičnoj čvrstoći** materijala  $\tau_m$  (N/mm<sup>2</sup>). Povećava se s nepravilnom reznom zračnošću i zatupljenim reznim bridovima i matrice.



SI.1: Rezna površina

#### Pojmovi i oznake:

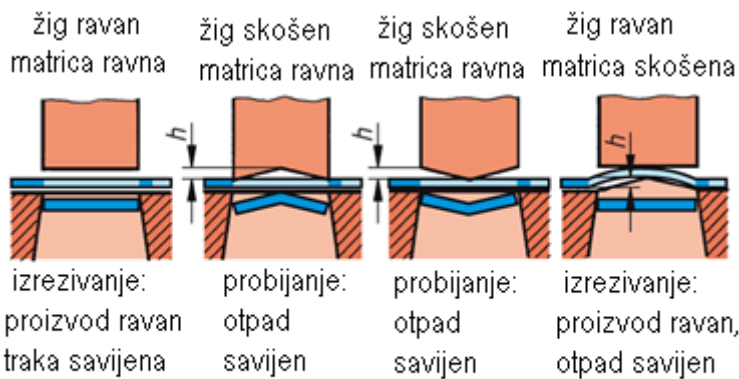
**A** = l x s (mm<sup>2</sup>) – rezna površina; **l** (mm) – dužina reza; **s** (mm) – debljina lima; **F** (N) – sila rezanja;  $\tau_m$  (N/mm<sup>2</sup>) – max. smična čvrstoća;  $\sigma_m$  (N/mm<sup>2</sup>) – max. vlačna čvrstoća;  $\tau_m = 0,8 \times \sigma_m$  (N/mm<sup>2</sup>); **d** (mm) – promjer provrta; **l** = d x  $\pi$  (mm) – dužina reza okruglog prodora

<b>Teorijska sila rezanja:</b> $F_o = A \times \tau_m$ (N) $A = l \times s$ (mm <sup>2</sup> )	<b>Stvarna sila rezanja za izbor preše:</b> uvećana je oko 20% zbog trenja između žiga i matrice, zatupljenja reznih bridova i tolerancije debljine limova: $F = 1,2 \times F_o = 1,2 \times l \times s \times \tau_m$ (N); ( 1kN = 1000 N)
--	--

#### 6.3.1 Smanjenje sile rezanja:

Velike sile rezanja i trzaji pri rezanju debelih limova mogu se ublažiti kosim ili valovitim brušenjem žiga ili matrice. Kod probijanja se skošava žig, a kod izrezivanja matrica. Nadalje, kod višereznih alata sila se ublažava različitim visinama žiga, a za limove deblje od 6 mm moguće je i zagrijavanje lima radi smanjenja smične čvrstoće.

Smična čvrstoća za neke materijale ( Štance I):	$\tau_m$ (N/mm <sup>2</sup> )
meki čelik s 0,1% C	240-300
meki čelik s 0,2% C	320-400
čelik s 0,3% C	360-480
Čelik s 0,4% C	450-560
Čelik s 0,6% C	550-700
olovo	20-30
papir	20-50
klingerit	40-60
koža	7
meka guma	7
tvrdna guma	20-60



SI.2: Skošenje žiga ili matrice radi smanjenja sile rezanja i trzaja u radu



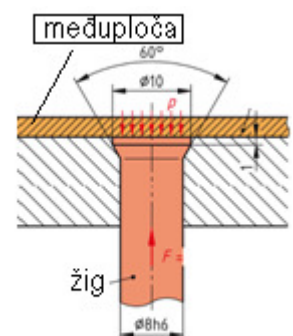
SI.3: Utjecaj skošenja na silu rezanja

#### 6.3.2 Površinski pritisak glave žiga na gornju ploču

Ako površinski pritisak glave žiga na gornju ploču iznosi  $p > 250$  (N/mm<sup>2</sup>) ili ako je promjer žiga manji od trostruke debljine lima, tada je potrebno ugraditi zakaljenu (poboljšanu) **međuploču**. Time se sprečava utiskivanje žiga u ploču i mogući prazan hod u radu.

**F** (N) - sila rezanja žiga; **A** (mm<sup>2</sup>) - površina nalijeganja žiga na ploču;

$p = F/A$  (N/mm<sup>2</sup>) - površinski pritisak

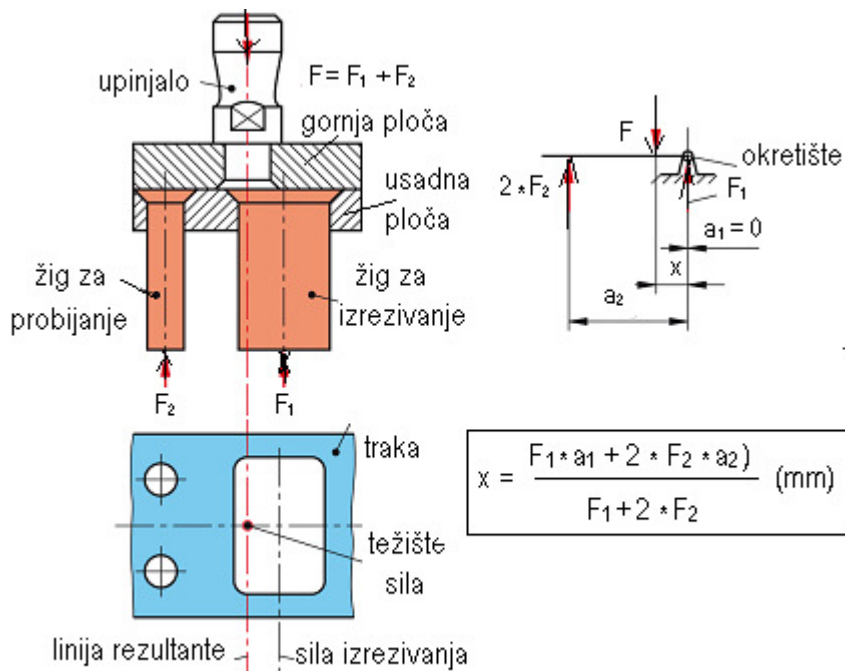


SI.4: Površinski pritisak

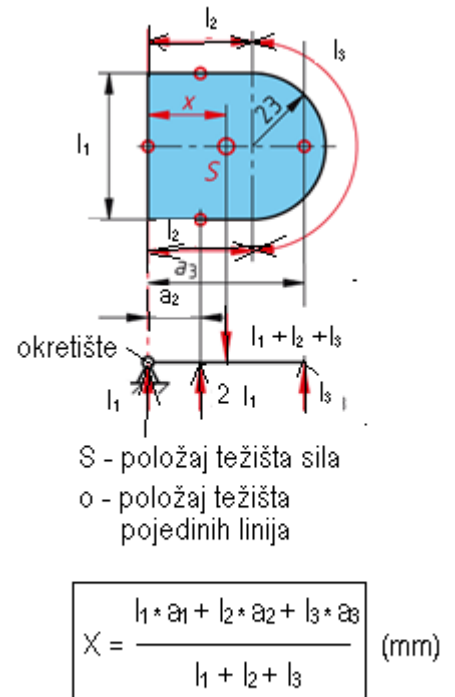
## 6.4 Položaj upinjala

Upinjalo povezuje gornji sklop štanice s pritiskivalom preše. **Odrediti njegov položaj na gornjoj ploči znači odrediti položaj sile rezanja jednorezne štanice ili položaj rezultante sile rezanja višerezne štanice.** Ako upinjalo nije u osi sile rezanja nastupiti će neravnomjerno opterećenje, nepravilno vođenje i savijanje žigova, neravnomjerna zračnost i trošenje.

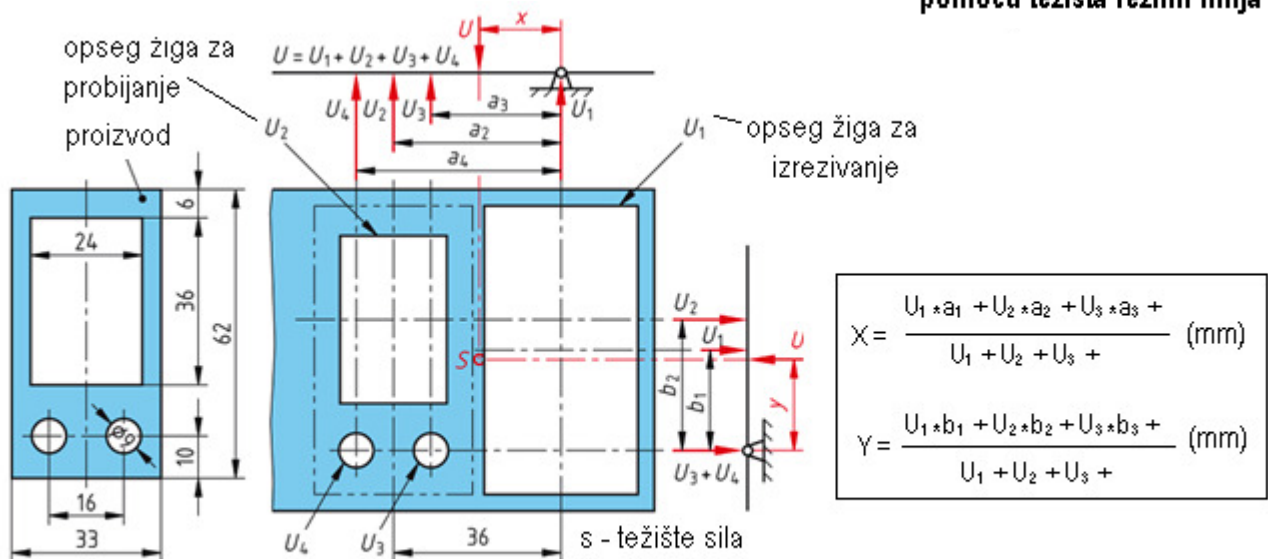
Za određivanje položaja postoje 4 načina. Usadnu ploču sa žigovima promatramo kao polugu i pomoću momentnog pravila određujemo **težište sile rezanja, opsega žigova, površina žigova ili reznih linija.** Odabire se način koji je najprikladniji u konkretnom slučaju.



SI.1: Određivanje položaja pomoću težišta sile



SI.2: Određivanje položaja pomoću težišta reznih linija



SI.4: Određivanje položaja pomoću težišta opsega žigova

**Određivanje položaja pomoću težišta površina:** identičan postupak, uzimaju se površine rezanja svakog žiga i njihove udaljenosti od okretišta.



## 6.5 Racionalno korištenje materijala

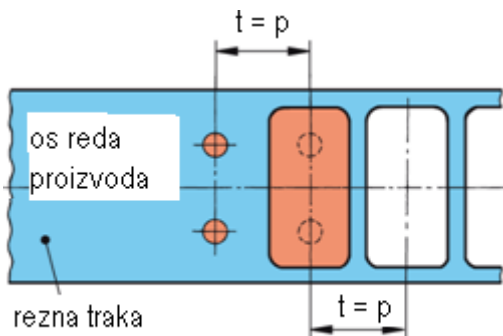
Povoljno iskorištenje materijala trake ovisi o vanjskom obliku proizvoda i njegovu položaju u smjeru pomaka trake. Potrebno je napraviti **plan rezanja**, odnosno pravilno razmjestiti žigove i prodore u matrici kako bi otpad bio što manji. Najbolje rezanje je bez otpada.

**Ušteda materijala je moguća: pravilnim razmještajem žigova, eventualnom rekonstrukcijom proizvoda, korištenjem otpada jednog proizvoda za izradu drugog manjeg proizvoda, promjenom postupka rezanja, odnosno prijelaz na višerezni alat s naizmjenično zaokrenutim položajem proizvoda u traci...**

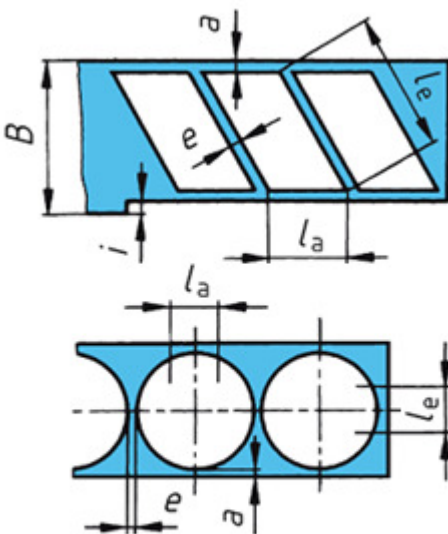
**Stupanj iskoristivosti materijala trake** predočava se formulom  $\eta = z \cdot A / L \cdot B$ , gdje su:  $L$  – dužina rezne trake,  $B$  – širina trake,  $z$  – broj proizvoda iz jedne trake,  $A$  – površina jednog proizvoda.

### 6.5.1 Temeljni pojmovi i oznake ( VDI 3367 )

$L$  – dužina trake;  $B$  – širina trake;  $l_e$  - dužina mosta;  $l_a$  – dužina ruba;  $e$  – širina mosta;  $a$  – širina ruba;  $R$  – broj redova;  $a_R$  – razmak između redova;  $l$  – dužina proizvoda;  $b$  – širina proizvoda;  $p$  – posmak;  $t$  – korak;  $i$  - bočni otpad.



SI.1: Plan rezanja



SI.2: Otpadna rešetka trake za uglate i okrugle proizvode

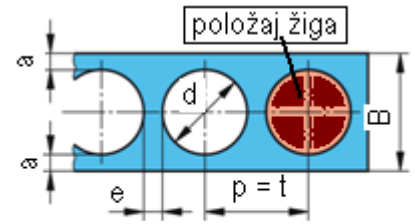
Tablica širine mosta i ruba po VDI 3367

širina trake <b>B</b>	dužina mosta $l_e$ <sup>1)</sup> dužina ruba $l_a$ <sup>1)</sup> u mm	širina mosta <b>e</b> širina ruba <b>a</b>	debljina lima <b>s</b> (mm)						
			0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
do 100 mm	do 10 ili okrugli proizvod $i$ <sup>2)</sup>	<b>e</b> <b>a</b>	0,8 1	0,8 0,9	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1
	11...50	<b>e</b> <b>a</b>	1,6 1,9	0,9 1,0	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3
	51...100	<b>e</b> <b>a</b>	1,8 2,2	1,0 1,2	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5
	preko 100	<b>e</b> <b>a</b>	2,0 2,4	1,2 1,5	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
	otpad bočnog noža $i$		1,5		2,2	3,0	3,5	4,5	
preko 100 mm do 200 mm	do 10 ili okrugli proizvodi	<b>e</b> <b>a</b>	0,9 1,2	1,0 1,1	1,1 1	1,4	1,7	2,0	2,3
	11...50	<b>e</b> <b>a</b>	1,8 2,2	1,0 1,2	1,1 3	1,6	1,9	2,2	2,3
	51...100	<b>e</b> <b>a</b>	2,0 2,4	1,2 1,5	1,1 5	1,8	2,1	2,4	2,7
	preko 100	<b>e</b> <b>a</b>	2,2 2,7	1,4 1,7	1,1 7	2,0	2,3	2,6	2,9
	otpad bočnog noža $i$		1,5		2,5	3,5	4,0	5,0	

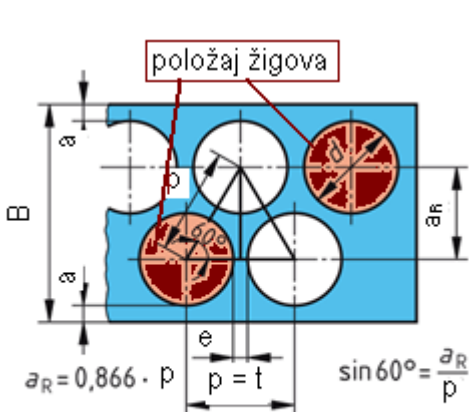
## 6.5.2 Plan rezanja okruglih proizvoda

### - Jednoredno i višeredno izrezivanje (sl.1,2,3):

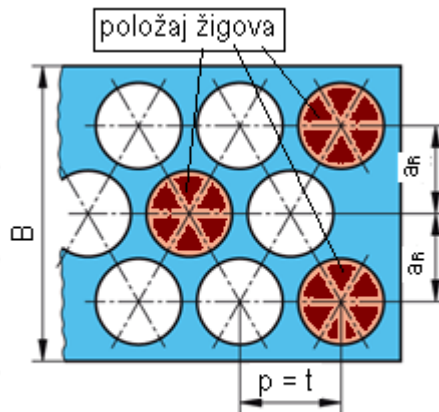
- postiže se različiti stupanj iskorištenja materijala
- pri višerednom izrezivanju više je žigova i reznih prodora u matrici
- paziti da širine mosta i ruba ( $e, a$ ) na dužinama do 10 mm ( $l_e, l_a$ ) budu po tablici VDI 3367.



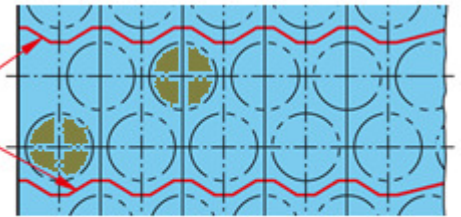
SI.1: Jednoredni razmještaj, stupanj iskoristivosti  $\eta = 62,7\%$



SI.2: Dvoredni razmještaj rezanja, stupanj iskorištenja  $\eta = 69,4\%$



SI.3: Troredni razmještaj, stupanj iskorištenja  $\eta = 72\%$



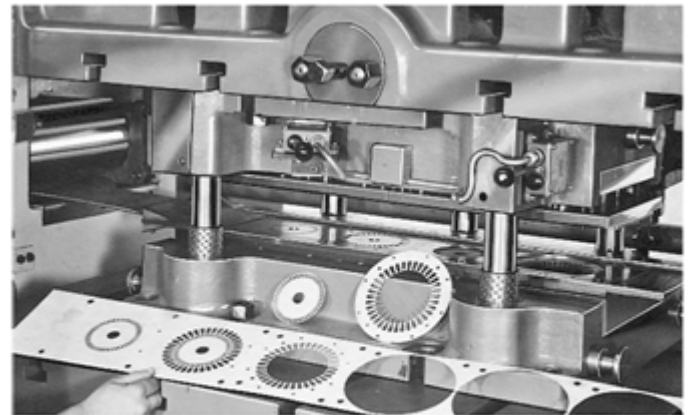
SI.4: Dvoredni cik-cak razmještaj

- **Cik – cak izrezivanje (sl.4.):** Za velike količine okruglih proizvoda iz ploča lima uz prethodno valovito rezanje trake na škarama s posebnim noževima. Obično je dvoredni razmještaj zbog relativno jednostavnijeg alata.

### - Jednoredno izrezivanje s korištenjem otpada većeg proizvoda za izrezivanje manjeg (sl.5.):

Na slici je prikazan složeni alat sa slijednim rezom za istovremenu izradu statorskih i rotorskih limova elektromotora iz iste trake, odnosno koluta trake s automatskim dodavanjem.

Rezanje je jednoredno s iskorištenjem 62,7% materijala, ako se zanemare prodori unutar samih limova.

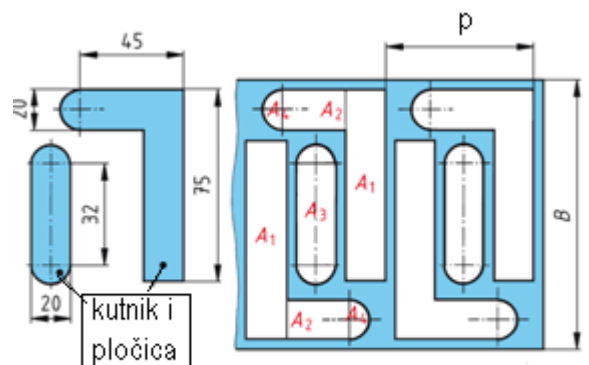


SI.5: Jednoredni razmještaj za izrezivanje rotorskog i statorskog lima elektromotora

## 6.5.3 Plan rezanja uglatih proizvoda

### - Izrezivanje kutnika s korištenjem otpada za izradu manje pločice (sl.6.):

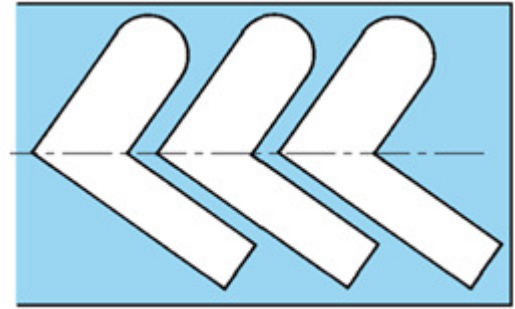
- izrezivanje kutnika i pločice iz lima 2,5 mm debljine u višereznom alatu
- prema zadanim mjerama proizvoda i tablici VDI 3367 izračunati širinu trake i stupanj iskorištenja



SI.6: Rezanje kutnika i pločice

**- Izrezivanje kutnika s kosim razmještajem (sl.1.):**

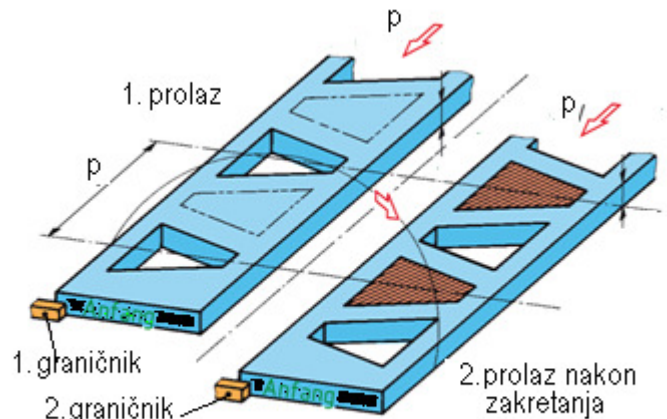
- povoljnije iskorištenje materijala je kosim položajem kutnika u odnosu na posmak trake



**Sl.1: Kosi razmještaj kutnika**

**- Izrezivanje s dva prolaza i okretanjem trake (sl.2.):**

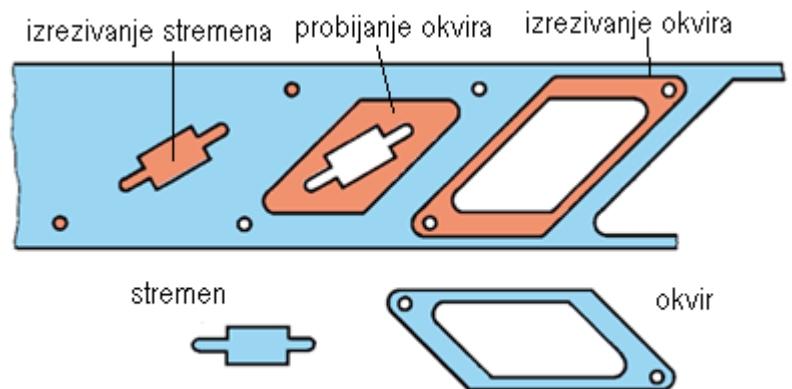
- nakon prvog prolaza i izrezivanja s velikim posmakom trake ostaje dovoljno materijala za drugi prolaz s izrezivanjem nakon okretanja trake
- alat je s dva međusobno pomaknuta graničnika položaja
- okretanjem trake oko uzdužne osi donja strana postaje gornja



**Sl.2: Jednoredni naizmjenično zakrenuti razmještaj**

**- Izrezivanje stremena i okvira (sl.3.):**

- jednoredni slijedni rez s izrezivanjem stremena, probijanjem okvira i izrezivanjem okvira
- ukupna iskorištena površina materijala je zbroj površina vanjskog i unutarnjeg proizvoda



**Sl.3: Izrezivanje stremena i okvira**

**- Određivanje povoljnih mjera pri konstrukciji proizvoda (sl.4.):**

- pri konstrukciji proizvoda mogu se uskladiti oblik i veličina za što bolje iskorištenje materijala trake
- na slici su prikazani dobar i nepovoljan pripremak za iskorištenje materijala trake
- s vrlo malim izmjenama koje ne utječu na funkciju proizvoda moguće su velike uštede materijala



**Sl.4: Prikaz dobrog i nepovoljnog priprema za povoljno iskorištenje materijala trake**