



Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka
Departman za proizvodno mašinstvo



ZAŠTITA PRI OBRADI BRUŠENJEM



Vežba 5

Predmet:

Zaštita na radu na mašinama za obradu materijala

Novi Sad, 2024. god.

Asistent
Dr Miloš Knežev

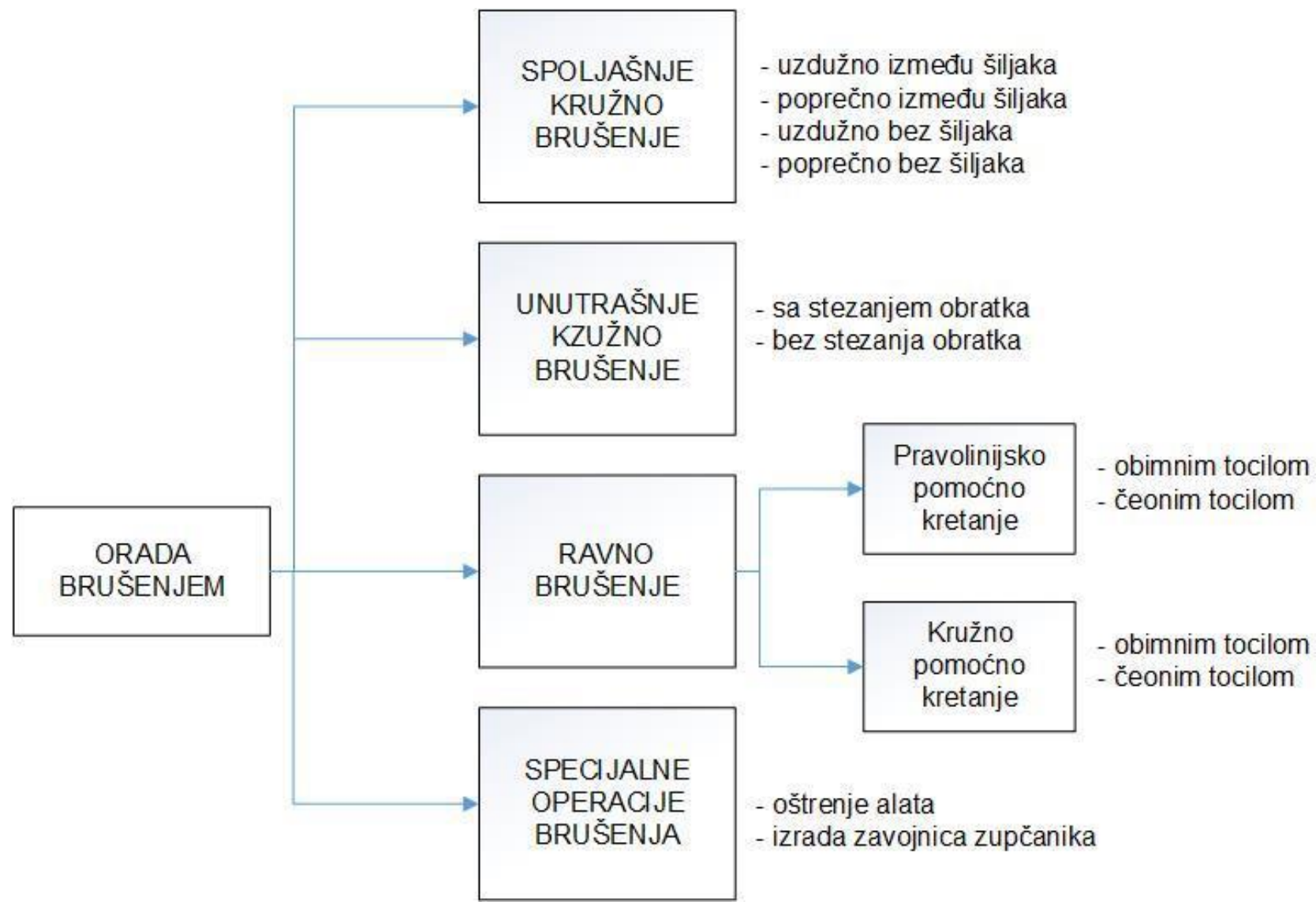
1. Uvod

- Brušenje predstavlja proces obrade metala rezanjem i primenjuje se, uglavnom, pri završnoj obradi. Međutim, proces brušenja se primenjuje i kod nekih operacija grube obrade kao što je sečenje materijala, ravnanje površina posle livenja, zavarivanja i slično.
- Brušenje, za razliku od ostalih načina obrade metala rezanjem, karakteriše relativno velika obimna brzina rezanja i specifičnost prirode materijala alata - točila.
- Kod ostalih postupaka obrade rezanjem brzine su u granicama od 20 - 200 m/min, dok brzina brušenja može biti i do 2000 m/min. Zbog ovako relativno velike vrednosti, obično se brzina brušenja izražava metrima u sekundi, (m/s).

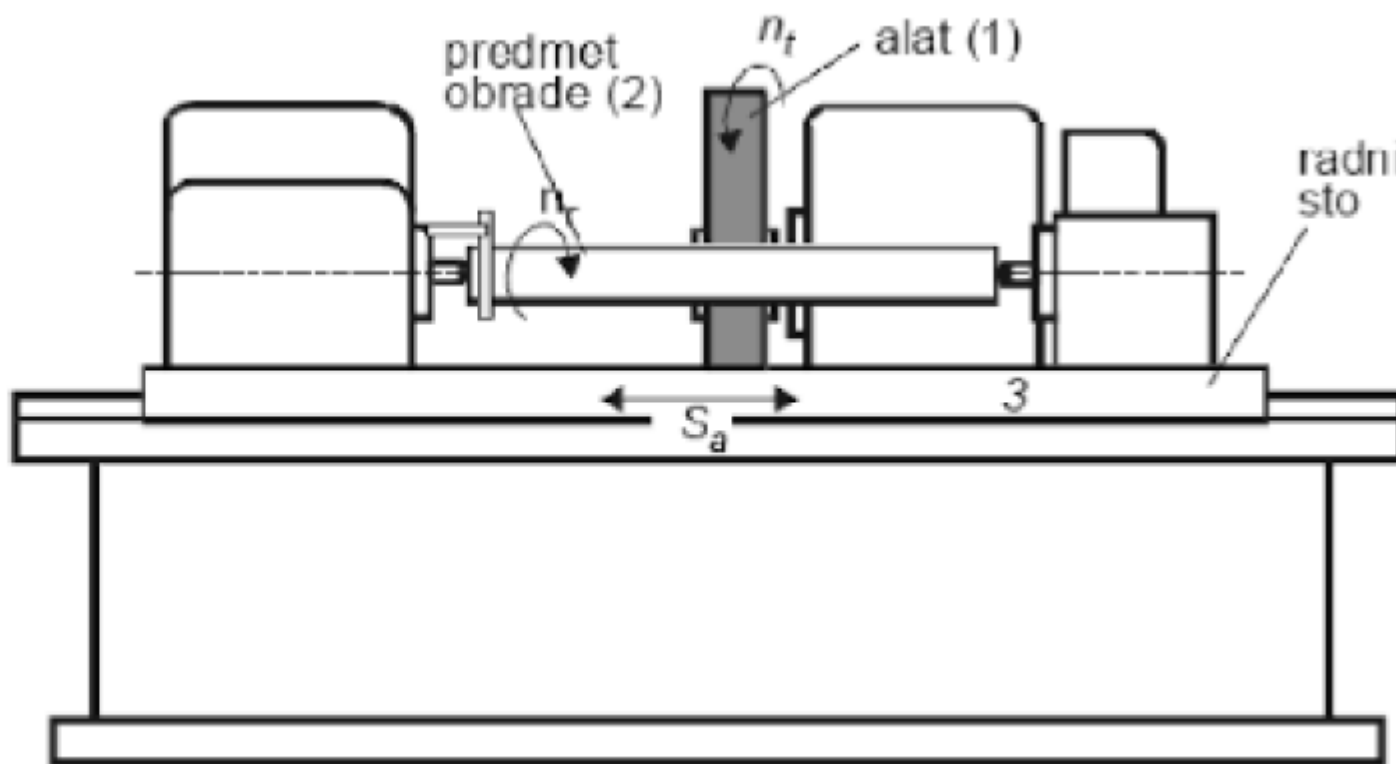
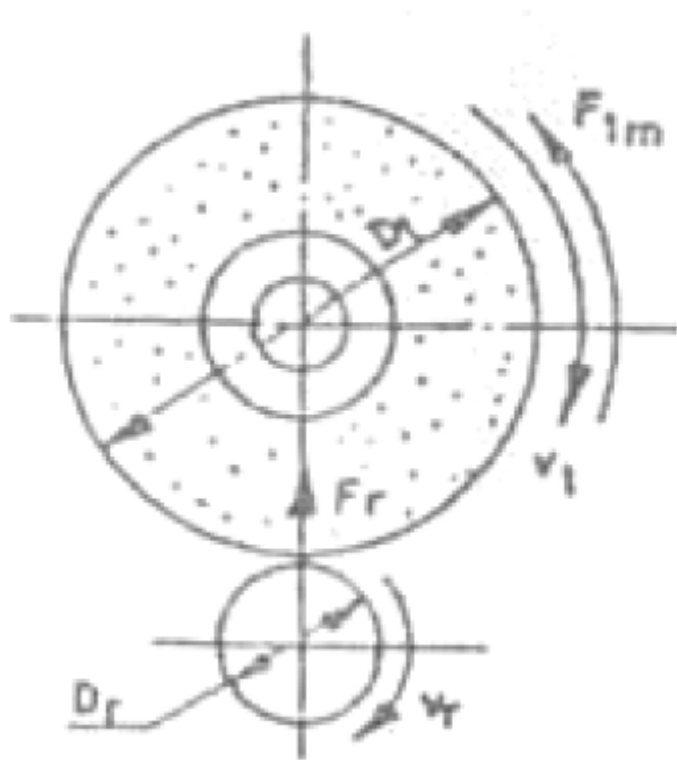
1. Uvod

- Druga bitna razlika obrade brušenjem je specifičnost materijala alata - tocila. Dok su svi rezni alati, uglavnom, izrađeni od homogenih materijala (brzoreznog čelika), dotle je alat za brušenje - tocilo izrađeno od abrazivnih čestica i vezivnog materijala, koji zajedno čine strukturu tocila u većoj ili manjoj meri poroznom.
- Zbog ovih specifičnosti; relativno velike brzine rezanja i nehomogene strukture alata za brušenje-tocila. dolazi do mehaničkih i temperaturnih naprezanja u njegovoj unutrašnjosti, tako da je ono podložno raspadanju.

2. Osnovne operacije pri obradi brušenjem



2. Osnovne operacije pri obradi brušenjem



- alat - tocilo (2) izvodi glavno obrtno kretanje,
- obradak (1) izvodi dva pomoćna kretanja: obrtno i uzdužno - pravolinijsko koje je paralelno osi tocila.

3. Osnovne karakteristike alata za brušenje

- Pri obradi brušenjem koriste se točila čiju strukturu čine dve osnovne komponente:

SREDSTVO ZA BRUŠENJE (abrazivni materijali) i
VEZIVNI MATERIJAL (vezivo).

- SREDSTVA ZA BRUŠENJE - (abrazivni materijali) imaju oblik sitnih zrna koja su tvrda i nepravilnog oblika, a prema načinu dobijanja mogu biti prirodna i veštačka. Prvi korišćeni alati za obradu brušenjem imali su abrazivna zrna od prirodnih materijala kao što su: korund, kvarc i prirodni dijamant.
- VEZIVNI MATERIJAL je drugi važan sastavni element alata za brušenje. Ovaj materijal može biti organskog i neorganskog porekla. Vezivni materijali na bazi prirodne i veštačke smole, gume, kaučuka i dr. ubrajaju se u organska vezivna sredstva, a neorganska vezivna sredstva su od gline, stakla, metala, porcelana ili sličnog keramičkog materijala.

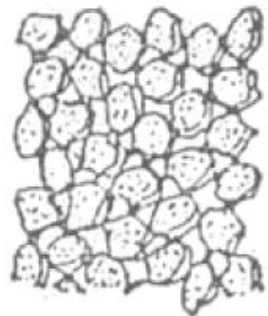
4. Struktura tocila

- **STRUKTURU TOCILA** ili poroznost karakteriše odnos zapremine abrazivnih zrnaca i zapremine šupljina između njih. Odnos ovih zapremina u zavisnosti od strukture tocila može biti od 1 do 9. Tako je na osnovu ovih brojčanih vrednosti izvršeno razvrstavanje tocila na različite poroznosti:

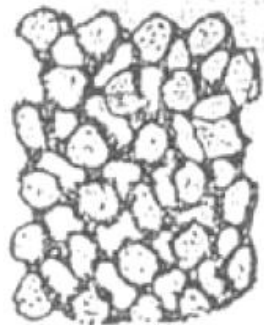
mala poroznost - "zatvorena" - malu poroznost, struktura im je zbijena, što znači da su manje šupljikava

srednja poroznost - "srednja" - nešto veće šupljine od zatvorenih

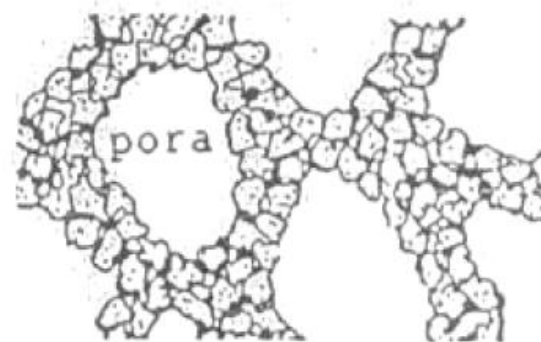
velika poroznost - "otvorena" - velikom poroznošću, kod kojih su šupljine izrazito velike



a) „zatvorena“



b) „srednja“



c) „otvorena“

5. Opasnosti kod brušenja

- Obradu brušenjem prate brojne opasnosti u toku rada, kao što su: buka, prašina, lom i razletanje tocila. Od svih opasnosti za problematiku koja se ovde analizira, najkarakterističnije su one koje prouzrokuju mehaničke povrede. Iz tih razloga ovde će o njima posebno biti reči. Opasnosti od mehaničkih povreda pri obradi brušenjem uglavnom nastaju usled:
 - loma tocila i razletanja njegovih delova,
 - zaglavljivanja obratka i povlačenja ruku radnika u prostor između tocila i štitnika, odnosno radnog oslonca,
 - odbacivanja obratka van zone rezanja zbog naglog povećanja brzine rezanja,
 - nestručnog rukovanja ručnom brusilicom pri promeni broja obrtaja i otpora rezanja,
 - nepravilno obavljanih pomoćnih radnih operacija, kao što su: manipulacija teškim tocilima, rukovanje električnom instalacijom, rad bez propisanih ličnih zaštitnih sredstava i sl.
 - razletanja strugotine (iskri) i raspršivanja sredstva za hlađenje.

Od svih opasnosti koje se događaju pri obradi brušenjem najteže su one koje nastaju lomu i razletanju tocila. Lom i razletanje tocila, uglavnom, prouzrokuju unutrašnja naprezanja. koja su uslovljena centrifugalnom silom, obimnom brzinom tocila, temperaturnim promena, otporima rezanja i neuravnoteženošću tocila.

6. Mere zaštite kod brušenja

- U smislu zaštite radnika koji rukuju brusilicama u procesu rada koriste se različiti zaštitni uređaji. Ovi uređaji se međusobno razlikuju u zavisnosti od vrste brusilica, i to: da li je stabilna ili prenosna brusilica, brusilica za oštrenje alata, brusilica za ravno brušenje, brusilica za unutrašnje ili spoljašnje kružno brušenje, itd.
- Zajedničke karakteristike svih zaštitnih uređaja i mera koje se preduzimaju pri obradi brušenjem sastoje se u:
 - određivanju dozvoljene obimne brzine tocila,
 - izboru i učvršćivanju tocila na pogonsko vratilo,
 - zaštitnom ograđivanju alata - tocila,
 - uklanjanju strugotine i prašine iz zone rezanja,
 - manipulaciji i uskladištenju
 - alata - tocila.

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- Tocilo je nehomogenog sastava i veoma je krto, tako da njegov lom, uglavnom, može nastati usled:
 - prekomernog pritiska ili udara,
 - prevelike obimske brzine,
 - nepravilnog montiranja ,
 - pogrešnog tehnološkog izbora i sl.

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- Za procenu stepena opasnosti, pri eventualnom lomljenju tocila, kao najvažniji faktori, usvajaju se:

centrifugalna sila, i

ugao otvora zaštitnog oklopa.

Centrifugalna sila, koja nastaje u trenutku loma tocila, definisana je izrazom:

$$F_c = \frac{G_l \cdot v_c^2}{g \cdot X_c} \cdot 10^3$$

G_l – težina polomljenog komada, u [daN],

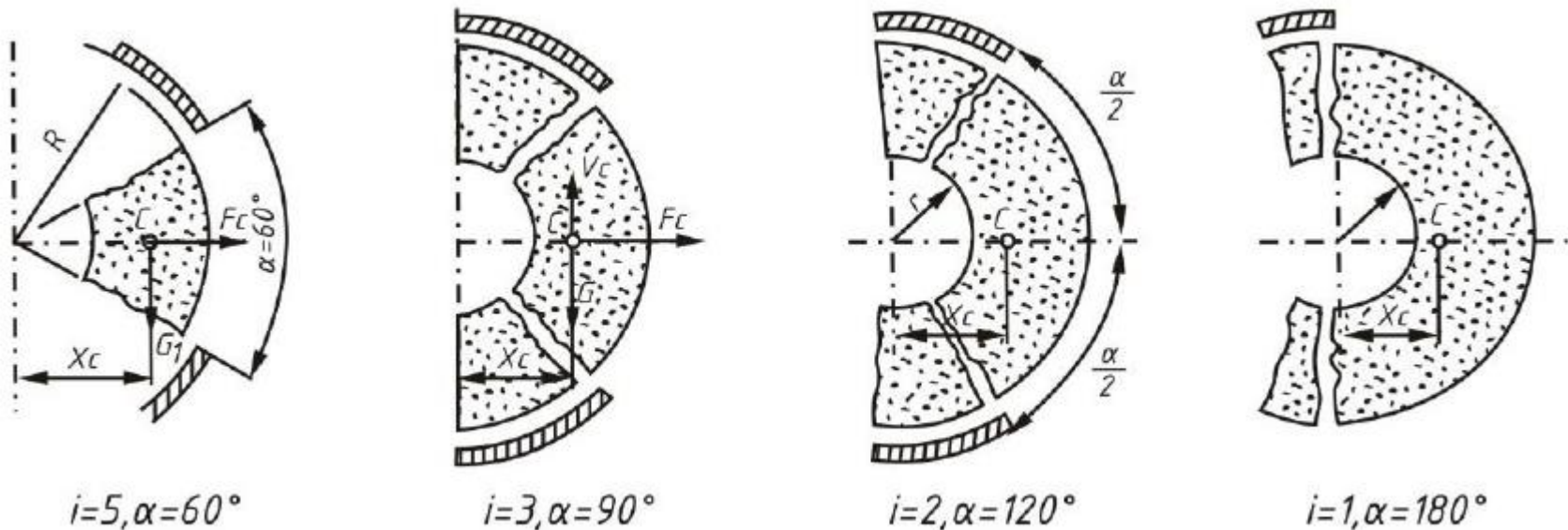
v_c – obimna brzina tocila redukovana u težištu polomljenog komada, u [m/s],

X_c – težište polomljenog komada u odnosu na osu obrtanja, u [mm] i

g – ubrzanje zemljine teže ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- Ukoliko nastupi lom tocila i kada je ugrađen zaštitni oklop, nisu potpuno eliminisane opasnosti za opslužioce. Najveći polomljeni komad tocila, koji može ugroziti radnika, približno je jednak uglu otvora zaštitnog oklopa (60° ; 90° ; 120° ; 180°), jer samo kroz ovaj otvor može proći polomljeni komad.:



7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- Težište odlomljenog komada kolutastog tocila približno se može odrediti na osnovu težišta isečka kružnog prstena.

$$X_c = \frac{2}{3} R \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}} = \frac{4R}{3\pi} = \frac{4 \cdot 62.5}{3\pi} = 26,525 \text{ [mm]}$$

gde su:

R – unutrašnji poluprečnik tocila ($R=D/2$), u [mm],

α – ugao otvora zaštitnog oklopa,

- Težina odlomljenog komada tocila koji prođe kroz otvor zaštitnog oklopa je

$$G_l = \pi \cdot H \cdot \gamma \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\Psi^2 - 1}{k_2} \right) \cdot 10^{-6} \text{ daN}$$

gde su:

H – širina kolutastog tocila, u [mm],

γ – specifična težina tocila, u [daN/dm³] – tabela 1.5

Ψ – odnos spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika tocila, ($\Psi=D/d$)

k_2 – konstanta koja predstavlja broj polomljenih komada tocila i zavisi od ugla otvora zaštitne ograde, gde je $k_2 = 360/\alpha$.

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- Brzina u težištu odlomljenog komada tocila može se odrediti na osnovu poznate obimske brzine u trenutku loma tocila, pomoću izraza:

$$v_c = \frac{X_c}{R} \cdot v_l \text{ [m/s]}$$

gde su:

X_c – težište odlomljenog komada tocila, u [mm],

R – spoljašnji poluprečnik tocila ($R=D/2$), u [mm],

v_l – obimna brzina u trenutku loma tocila, [m/s].

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

Zamenom u izraz za centrifugalnu silu dobija se:

$$F_c = K \cdot H \cdot d \cdot \left(\frac{\psi^3 - 1}{\psi^2 - 1} \right) [daN]$$

$K = k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$ – konstanta

$k_3 = \frac{k_1}{k_2}$ – konstanta zavisna od ugla otvora zaštitnog oklopa tocila (vidi tabelu 1.5)

$k_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}$ - konstanta za određeni ugao zaštitnog oklopa

$k_2 = \frac{360}{\alpha}$ – broj polomljenih komada tocila

$k_4 = \pi \cdot \frac{\gamma}{g}$ – konstanta zavisna od specifične težine tocila (tabela 1.5)

$k_5 = v_l^2 \cdot 10^{-3}$ – konstanta zavisna od obimne brzine u trenutku loma tocila

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

Tabela 1.4. Vrednosti konstanti (k_1, k_2, k_3) u zavisnosti od ugla otvora zaštitnog oklopa oko tocila (α),

KONSTANTA	UGAO OTVORA ZAŠTITNOG OKLOPA (α)			
	60°	90°	120°	180°
$k_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}$	0,637	0,600	0,551	0,424
$k_2 = 360/\alpha$	6	4	3	2
$k_3 = k_1/k_2$	0,106	0,150	0,184	0,212

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

Tabela 1.5. Vrednost konstante (k_4) u zavisnosti od abrazivnog i vezivnog materijala

ABRAZIVNI MATERIJAL	VEZIVNI MATERIJAL	Spec. težina γ [daN /dm ³]	Konstanta $k_4 = \pi \cdot \gamma / g$
Silic. korund	Keramički	2.250	0.72
Korund	Keramički	2.500	0.80
Korund	Smola	2.875	0.92

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- Opasnosti od mehaničkih povreda proističu od pokretnih delova mašina koji su nezaštićeni i dostupni pri opsluživanju, čišćenju, podmazivanju ili neke druge aktivnosti radnika. Sem ovih slučajeva do mehaničkog povređivanja radnika može da dođe i pri razletanju delova materijala i alata. Ovo je najčešće izraženo pri radu na mašinama za obradu metala i drveta rezanjem. Delovi koji se različu imaju relativno veliku kinetičku energiju i mogu da nanesu teže povrede radnicima i drugim licima ako se nađu u zoni njihovog dometa.
- Bezbednost pri opsluživanju mašine i ugroženost opslužilaca su dva različita događaja. Prema verovatnoći nastajanja ovi događaji su suprotni, tako da nastajanje jednog isključuje nastajanje drugog. Na osnovu ove isključivosti može se usvojiti da stepen opasnosti (S_o) i stepen zaštite (S_z) predstavljaju dva različita događaja čiji je zbir jednak jedinici, ($S_o+S_z=1$).
- Na osnovu ovih događaja, za procenu ispravnosti mašine u pogledu bezbednog opsluživanja, može se odrediti stepen opasnosti prema sledećem matematičkom modelu:

$$S_o = 1 - \frac{1}{1 + a^i \cdot 2^k}$$

gde su:

- a – parametar koji izražava osnovno obeležje opasnosti,
- i – intenzitet opasnosti, i
- k – opseg dejstva opasnosti.

Stepen opasnosti (S_o) se, zavisno od navedenih parametara (a, i, k), menja se u granicama od nule do jedan, $S_o = f(0,1)$.

7. Određivanje stepena opasnosti pri lomu tocila

- **Parametar (a)** izražava osnovno obeležje opasnosti, i u ovom slučaju predstavlja odnos između obimne brzine u trenutku loma i dozvoljene brzine tocila, tj. $a = vl / vd \leq 1$.

Boja	Brzina m/s
Plava	50
Žuta	63
Crvena	80
Zelena	100
Plava	125

- **Parametar (i)** definiše intenzitet opasnosti, za navedeni primer, predstavlja odnos zaštićene (A_z) i nezaštićene (A_n) površine oko tocila, tj. $i = A_z / A_n$, ($i = 1$) - za ugao, $\alpha = 180^\circ$, odnosno; ($i = 5$) - za ugao, $\alpha = 60^\circ$.
- **Parametar (k)** definiše opseg opasnosti i zavisen je od veličine centrifugalne sile, tj. $k = f(F_c)$, gde je: $k = (0 - 5)$, za $F_c = (0 - 5000 \text{ daN})$. Konačno stepen zaštite, pri lomu i razletanju tocila, može da se odredi na osnovu napred definisanih parametara (a), (i) (k), za svaki konkretan slučaj, pomoću izraza:

$$S_o = 1 - \frac{1}{1 + a^i \cdot 2^k}$$

8. Primer

- Izračunati stepen opasnosti pri lomu tocila, za sledeće uslove:
 - $v_l=95\%$, 90%, 85% od maksimalne brzine.
 - silicijum korund/keramika; korund/keramika; korund/smola
 - ugao otvora zaštitnog oklopa $\alpha=60^\circ$, $\alpha=90^\circ$, $\alpha=120^\circ$, $\alpha=180^\circ$
 - širina tocila **H=16mm**, H=20mm, H=25mm, H=32mm, H=40mm
 - unutrašnji prečnik tocila **d=32mm**, d=51mm, d=76mm,
 - spoljašnji prečnik tocila **D=125mm**, D=150mm, D=175mm D=200mm, D=250mm.

- Maksimalna obimna brzina tocila:

Boja	Brzina m/s
Plava	50
Žuta	63
Crvena	80
Zelena	100
Plava	125

8. Primer

$$F_c = K \cdot H \cdot d \cdot \left(\frac{\Psi^3 - 1}{\Psi^2 - 1} \right) = 0,197 \cdot 16 \cdot 32 \cdot \left(\frac{3,906^3 - 1}{3,906^2 - 1} \right) = 414 \text{ [daN]}$$

$$K = k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 = 0,106 \cdot 0,92 \cdot 2,025 = 0,197$$

$$k_3 = \frac{k_1}{k_2} = \frac{0,637}{6} = 0,106$$

$$k_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}} = 0,637 - \text{tabela 1.4}$$

$$k_2 = \frac{360}{\alpha} - 6 - \text{tabela 1.4}$$

$$k_4 = \pi \cdot \frac{\gamma}{g} = 0,92 - \text{tabela 1.5}$$

$$k_5 = v_l^2 \cdot 10^{-3} = 2,025$$

$$\Psi = \frac{D}{d} = \frac{125}{32} = 3,906$$

8. Primer

- Težište odlomljenog komada kolutastog tocila približno se može odrediti na osnovu težišta isečka kružnog prstena

$$X_c = \frac{2}{3} R \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}} = \frac{4R}{3\pi} = \frac{4 \cdot 62.5}{3\pi} = 26,525 \text{ mm}$$

- Težina odlomljenog komada tocila koji prođe kroz otvor zaštitnog oklopa je:

$$G_l = \pi \cdot H \cdot \gamma \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\Psi^2 - 1}{k_2} \right) \cdot 10^{-6} = \pi \cdot 16 \cdot 2,875 \cdot 16^2 \cdot \left(\frac{3,906^2 - 1}{6} \right) \cdot 10^{-6} = 0,0169 \text{ daN}$$

- Brzina u težištu odlomljenog komada tocila može se odrediti na osnovu poznate obimske brzine u trenutku loma tocila, pomoću izraza:

$$v_c = \frac{X_c}{R} \cdot v_l = \frac{26,525}{62,5} \cdot 45 = 19,098 \text{ m/s}$$

8. Primer

- **Parametar (a)** izražava osnovno obeležje opasnosti, i u ovom slučaju predstavlja odnos između obimne brzine u trenutku loma i dozvoljene brzine tocila, tj.

$$a = \frac{v_l}{v_d} = \frac{45}{50} = 0,9 \leq 1$$

- **Parametar (i)** definiše intenzitet opasnosti, za navedeni primer, predstavlja odnos zaštićene (A_z) i nezaštićene (A_n) površine oko tocila, tj. $i = A_z / A_n$, ($i = 1$) - za ugao, $\alpha = 180^\circ$, odnosno; ($i = 5$) - za ugao, $\alpha = 60^\circ$.

$$i = \frac{A_z}{A_n} = \frac{300}{60} = 5$$

- **Parametar (k)** definiše opseg opasnosti i zavisn je od veličine centrifugalne sile, tj. $k = f(F_c)$, gde je: $k = (0 - 5)$, za $F_c = (0 - 5000 \text{ daN})$.

$$5000:414 = 100:x$$

$$x = \frac{414 \cdot 100}{5000} = 8,28\%$$

$$k = \frac{8,28 \cdot 5}{100} = 0,414$$

8. Primer

- Konačno stepen zaštite, pri lomu i razletanju tocila, može da se odredi na osnovu napred definisanih parametara (a), (i) (k), za svaki konkretan slučaj, pomoću izraza:

$$S_o = 1 - \frac{1}{1 + a^i \cdot 2^k} = 1 - \frac{1}{1 + 0,9^5 \cdot 2^{0,414}} = 0,55967$$

- Bezbednost pri opsluživanju mašine i ugroženost opslužilaca su dva različita događaja. Prema verovatnoći nastajanja ovi događaji su suprotni, tako da nastajanje jednog isključuje nastajanje drugog. Na osnovu ove isključivosti može se usvojiti da stepen opasnosti (S_o) i stepen zaštite (S_z) predstavljaju dva različita događaja čiji je zbir jednak jedinici, ($S_o + S_z = 1$).
- Stepen opasnosti (S_o) se, zavisno od navedenih parametara (a, i, k), menja se u granicama od nule do jedan, $S_o = f(0,1)$.
- Ako granična vrednost **teži jedinici**, stepen opasnosti **teži nuli**, odnosno; $S_o \rightarrow 0$. **U ovom slučaju stepen opasnosti je minimalan, ($S_o = \min.$) jer je sistem zaštite efikasan.**
- U drugom slučaju, ako granična vrednost **teži nuli**, stepen opasnosti **teži jedinici**, odnosno; $S_o \rightarrow 1$. **U ovom slučaju stepen opasnosti je maksimalan, ($S_o = \max.$) jer je sistem zaštite nefikasan.** Drugim rečima, na mašini ne postoji odgovarajući zaštitni uređaj koji bi sprečio povređivanje radnika.