



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

#### HIPOTEZA:

U uvjetima kada nema vanjskih ograničenja (to je jedna od pretpostavki ortogonalnog rezanja), smična ravnina će se postaviti tako da ukupno utrošena energija u sustavu bude minimalna.

FSB, Proizvodno inženjstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Zanemarujući trenje na stražnjoj površini alata (pretpostavka ortogonalnog rezanja), ukupna energija utrošena u sustavu je suma energije utrošene smičnoj zoni,  $E_{sh}$ , i energije utrošene na prednjoj površini alata  $E_{\gamma}$ .

$$E = E_{sh} + E_{\gamma}$$

Koristeći mogućnost da se energija izrazi pomoću rada dobije se:

$$W = W_{sh} + W_{\gamma}$$

$$W = F_{sh} \cdot v_{sh} \cdot t + F_{\gamma} \cdot v_{\gamma} \cdot t$$

FSB, Proizvodno inženjstvo, OS



## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Deriviranjem rada po vremenu dobije se pojednostavljena jednačba, odnosno promatranje se svodi na analizu utroška snage:

$$\frac{dW_{sh}}{dt} = F_{sh} \cdot v_{sh}$$

$$\frac{dW_{\gamma}}{dt} = F_{\gamma} \cdot v_{\gamma}$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW_{sh}}{dt} + \frac{dW_{\gamma}}{dt} = F_{sh} \cdot v_{sh} + F_{\gamma} \cdot v_{\gamma}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Sila u ravnini smicanja,  $F_{sh}$ , može se prikazati kao umnožak specifične sile,  $k_{sh}$ , i presjeka odvojene čestice u ravnini smicanja,  $A_{sh}$ :

$$F_{sh} = k_{sh} \cdot A_{sh} = k_{sh} \cdot b \cdot a_p \cdot \frac{1}{\sin \phi}$$

$$v_{sh} = v_c \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)} \quad \left( \text{za } \gamma = 0^\circ \Rightarrow v_{sh} = v_c \cdot \frac{1}{\cos \phi} \right)$$

$$\frac{dW_{sh}}{dt} = k_{sh} \cdot b \cdot a_p \cdot \frac{1}{\sin \phi} \cdot v_c \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)} = k_{sh} \cdot b \cdot a_p \cdot v_c \cdot \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Uz:  $k_{sh} \cdot b \cdot a_p \cdot v_c = K_1$  ( $k_{sh}$ ,  $b$ ,  $a_p$  i  $v_c$  su konstante)

Dobije se:  $\frac{dW_{sh}}{dt} = K_1 \cdot \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)}$

Drugi dio izraza, tj:  $\frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)}$  predstavlja relativno smicanje  $\gamma_c$

Ovaj dio utroška energije daje najmanji iznos pri poznatom uvjetu, tj pri:

$$\phi = \frac{\pi}{2} + \frac{\gamma}{2}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS

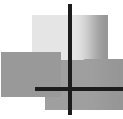
## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Drugi dio energije koja se troši u procesu rezanja je energija potrebna za savladavanje otpora na prednjoj površini alata,  $W_\gamma$ . Analogno objašnjenju za silu smicanja, sila na prednjoj površini alata,  $F_\gamma$ , može se prikazati kao produkt specifične sile na prednjoj površini,  $k_\gamma$ , i površine dodira čestice i prednje površine alata,  $A_\gamma$ .

$$F_\gamma = k_\gamma \cdot A_\gamma = k_\gamma \cdot b \cdot L$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Obzirom da svojstva materijala obratka, kao ni naprezanja kojima je čestica izložena na prednjoj površini alata i u ravnini smicanja, nisu jednaka, specifična sila na prednjoj površini alata,  $k_\gamma$ , je manja od specifične sile u ravnini smicanja,  $k_{sh}$ . Prema eksperimentalnim istraživanjima može se uzeti da je  $k_\gamma \approx 0,6 \cdot k_{sh}$ . Površina dodira odvojene čestice i prednje površine alata jednaka je umnošku širine obrade  $b$  i duljine dodira na prednjoj površini alata,  $L$ .

$$v_\gamma = v_c \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (\text{za } \gamma = 0^\circ \quad v_\gamma = v_c \cdot \operatorname{tg} \phi)$$

$$A_\gamma = bL$$

$$k_\gamma \approx 0,6k_{sh}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Uvrštavanjem prethodnih izraza u izraz za energiju utrošenu na prednjoj površini alata, dobije se jednačba koja predstavlja udio snage koji se troši na prednjoj površini alata:

$$\frac{dW_\gamma}{dt} = k_\gamma \cdot b \cdot L \cdot v_c \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Uz pretpostavku da su specifična sila, širina obrade, duljina dodira na prednjoj površini alata i brzina rezanja konstantne veličine, može se usvojiti:

$$k_\gamma \cdot b \cdot L \cdot v_c = K_2$$

Jednadžba za utrošak energije na prednjoj površini alata može se napisati pojednostavljeno

$$\frac{dW_\gamma}{dt} = K_2 \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}; \quad (\text{za } \gamma = 0^\circ \Rightarrow \frac{dW_\gamma}{dt} = K_2 \cdot \operatorname{tg} \phi)$$

FSB, Proizvodno inženjstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Ako se zbog analize utjecaja duljine dodira na prednjoj površini alata,  $L$ , isti izostavi iz konstante  $K_2$ , dobije se sljedeća jednadžba:

$$\frac{dW_\gamma}{dt} = K_2' \cdot L \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}; \quad (\text{za } \gamma = 0^\circ \Rightarrow \frac{dW_\gamma}{dt} = K_2' \cdot L \cdot \operatorname{tg} \phi)$$

Udio energije koji se troši na prednjoj površini alata proporcionalan je konstanti  $K_2'$ , duljini dodira na prednjoj površini alata,  $L$ , i tangensu kuta  $\phi$ .

FSB, Proizvodno inženjstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Uz ekperimentalni podatak da je  $k_\gamma \approx 0.6 \cdot k_{sh}$ , te povezujući izraze za konstante  $K_1$  i  $K_2$ , dobije se:

$$K_1 = k_{sh} \cdot b \cdot a_p \cdot v_c \quad K_2 = k_\gamma \cdot b \cdot L \cdot v_c$$

$$K_2 = 0.6 \cdot K_1 \cdot \frac{L}{a_p}$$

Za slučaj kada je  $a_p=1$ , dobije se:  $K_2 = 0.6K_1 \cdot L$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Jednadžba ukupnog utroška energije:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW_{sh}}{dt} + \frac{dW_\gamma}{dt} = F_{sh} \cdot v_{sh} + F_\gamma \cdot v_\gamma$$

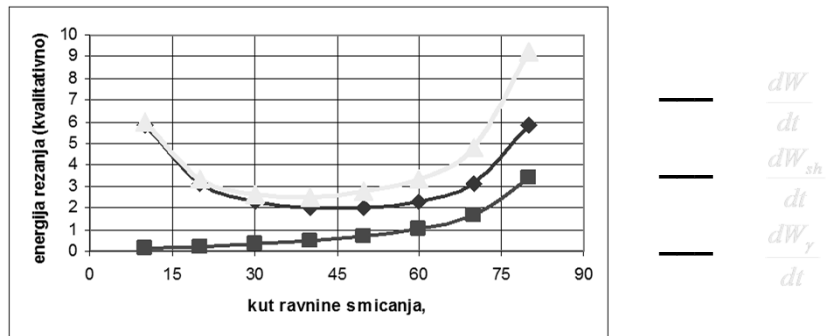
može se sada pisati kao:

$$\frac{dW}{dt} = K_1 \cdot \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)} + 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Predavanja

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije



Ovisnost utroška energije o kutu ravnine smicanja,  $\phi$ , za  $\gamma=0^\circ$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Predavanja

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Donja krivulja predstavlja udio energije potrošen na prednjoj površini alata, srednja krivulja predstavlja udio energije utrošen u ravnini smicanja, a gornja krivulja je suma prethodne dvije. Prema gornjoj krivulji, optimalna vrijednost kuta ravnine smicanja, odnosno kuta kod kojeg je ukupni utrošak energije najmanji (za  $\gamma=0$ ), nalazi se u području između  $30$  i  $45^\circ$ .

Točna vrijednost kuta ravnine smicanja pri kojem se ostvari najmanji utrošak energije može se odrediti analitički, deriviranjem izraza za ukupno utrošenu energiju.

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

$$\frac{dW}{dt} = K_1 \cdot \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)} + 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

$$\frac{dW}{d\phi} = -K_1 \cdot \frac{[\cos \phi \cdot \cos(\phi - \gamma) - \sin \phi \cdot \sin(\phi - \gamma)] \cdot \cos \gamma}{\sin^2 \phi \cdot \cos^2(\phi - \gamma)} +$$
$$+ 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{\cos \phi \cos(\phi - \gamma) + \sin \phi \sin(\phi - \gamma)}{\cos^2(\phi - \gamma)}$$

$$\frac{dW}{d\phi} = -K_1 \cos \gamma \cdot \frac{\cos(2\phi - \gamma)}{\sin^2 \phi \cdot \cos^2(\phi - \gamma)} + 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos^2(\phi - \gamma)}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

---

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Izjednačavanjem prve derivacije s nulom, dobije se:

$$\frac{dW}{d\phi} = 0 \Rightarrow K_1 \cos \gamma \cdot \frac{\cos(2\phi - \gamma)}{\sin^2 \phi \cdot \cos^2(\phi - \gamma)} = 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos^2(\phi - \gamma)}$$

$$\cos(2\phi - \gamma) = 0.6 \cdot L \cdot \sin^2 \phi$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

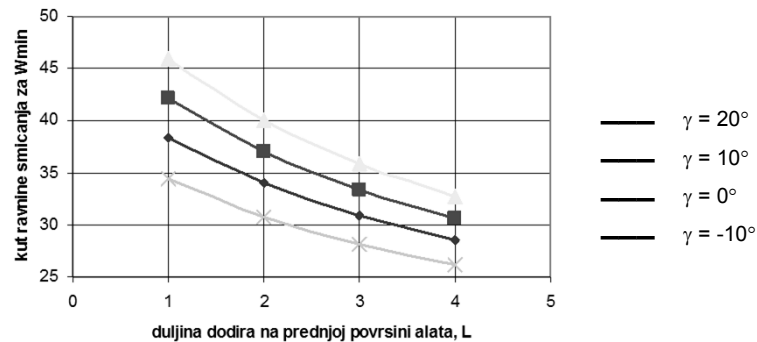
Prethodni izraz nije jednostavno fizikalno interpretirati, jer je dobivenu trigonometrijsku ovisnost teško predočiti. Tablica i slika prikazuju neka rješenja za različite vrijednosti kuta  $\gamma$ , i različite duljine dodira na prednjoj površini alata,  $L$ , kako bi se vidio njihov utjecaj na vrijednost kuta ravnine smicanja kod kojeg se ostvari najmanji utrošak energije,

	L=1	L=2	L=3	L=4
$\gamma = 0^\circ$	$\phi = 38,33$	$\phi = 34,0$	$\phi = 30,85$	$\phi = 28,47$
$\gamma = 10^\circ$	$\phi = 42,16$	$\phi = 37,07$	$\phi = 33,44$	$\phi = 30,67$
$\gamma = 20^\circ$	$\phi = 45,96$	$\phi = 40,08$	$\phi = 35,89$	$\phi = 32,73$
$\gamma = -10^\circ$	$\phi = 34,46$	$\phi = 30,82$	$\phi = 28,17$	$\phi = 26,13$

FSB, Proizvodno inženjstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Predavanja

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije



Ovisnost kuta  $\phi$  kod kojeg se dobije najmanji utrošak energije o kutu prednje površine alata i duljini dodira na prednjoj površini alata,  $L$

FSB, Proizvodno inženjstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Predavanja

#### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Jednostavnije razmatranje utroška energije dobije se kad se promatra slučaj u kojem kut prednje površine alata iznosi  $0^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ .

$$\frac{dW}{dt} = K_1 \cdot \frac{1}{\sin \phi \cdot \cos \phi} + 0.6K_1 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \phi$$

$$\frac{dW/dt}{d\phi} = -K_1 \cdot \frac{\cos^2 \phi - \sin^2 \phi}{\sin^2 \phi \cdot \cos^2 \phi} + 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{1}{\cos^2 \phi}$$

$$\frac{dW/dt}{d\phi} = 0 \Rightarrow K_1 \cdot \frac{\cos^2 \phi - \sin^2 \phi}{\sin^2 \phi \cdot \cos^2 \phi} = 0.6K_1 \cdot L \cdot \frac{1}{\cos^2 \phi}$$

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Predavanja

#### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

$$\sin^2 \phi + 0.6 \cdot L \cdot \sin^2 \phi = \cos^2 \phi$$

$$\operatorname{tg}^2 \phi = \frac{1}{1+0.6L} \Rightarrow \phi = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{0.6 \cdot L + 1}}$$

Obzirom da je nazivnik u gornjem izrazu uvijek veći od brojnika (vrijednost brojnika je 1), kut  $\phi$  je manji od  $45^\circ$ . Izuzetak bi bio za  $L=0$ , tj. kada ne bi bilo dodira čestice s prednjom površinom alata.

**Pojave na prednjoj površini alata značajno utječu na položaj, tj. kut ravnine smicanja.**

FSB, Proizvodno inenjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Kut smične ravnine – teorija minimalne energije

Utjecaj zbivanja na prednjoj površini alata može se izraziti i kvantitativno. Zanimljivo je da s porastom kuta prednje površine alata raste i relativna promjena kuta ravnine smicanja uslijed utroška energije na prednjoj površini alata. Izrečena tvrdnja vrijedi samo ako se pretpostavi ista duljina dodira (za  $L=1$  relativna promjena kuta ravnine smicanja se kreće u rasponu od 14% kod  $\gamma=-10^\circ$ , pa do 17% kod  $\gamma=20^\circ$ ), a to se u stvarnosti ne može očekivati. Povećanjem kuta prednje površine alata sa sigurnošću se može očekivati

smanjenje duljine dodira, a time, prema jednadžbi  $\phi = \arctg \sqrt{\frac{1}{0,6 \cdot L + 1}}$

i veći kut ravnine smicanja. Stoga treba pažljivo isčitavati dobivene izraze imajući u vidu interakcije pojedinih veličina.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

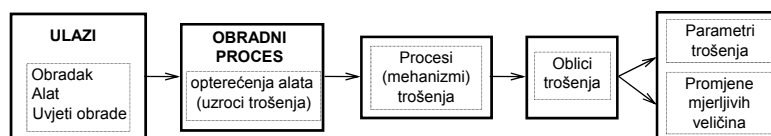
## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### KRATKA REKAPITULACIJA TROŠENJA OŠTRICE ALATA

#### UZROČNO-POSLEDIČNI LANAC TROŠENJA ALATA

Uzroci trošenja su opterećenja kojima je alat izložen tijekom obrade. U osnovi su mehaničke ili fizikalno-kemijske prirode, a najčešće se spominju slijedeća:

- mehanička
- toplinska
- kemijska

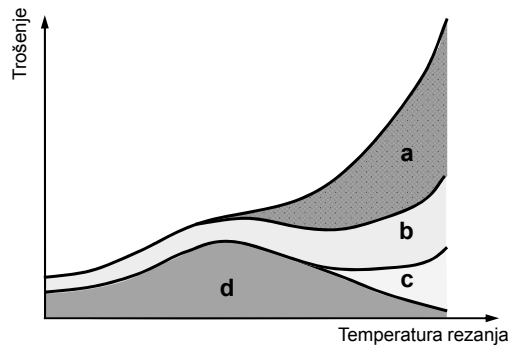


Shematski prikaz uzročno-posljedičnog lanca trošenja alata

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Zastupljenost mehanizama trošenja



- a – difuzija
- b – mehaničko trošenje (abrazija)
- c – oksidacija
- d – naljepak na p.p.a. (BUE)

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Taylor

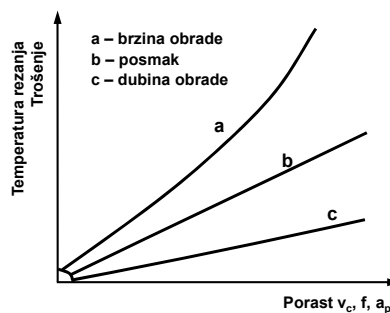
Postojanost oštice reznoga alata izražena kroz vrijeme:

Skraćeni oblik Taylor-ove jednadžbe:

$$v_c \cdot T^m = C_T$$

Prošireni oblik

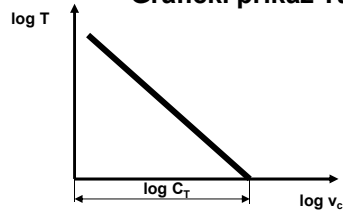
$$v_c = C_T \cdot a_p^x \cdot f^y \cdot T^z$$



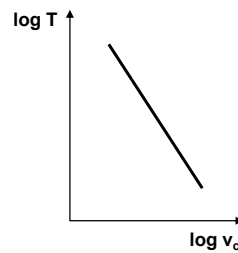
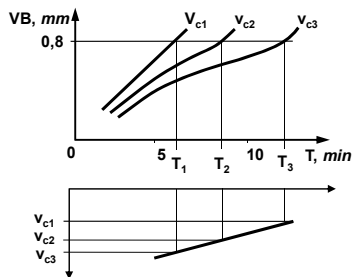
FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Grafički prikaz Taylor-ove jednadžbe



Fizikalni smisao konstante  $C_T$  je da predstavlja brzinu pri kojoj bi postojanost alata iznosila 1 min, odnosno 1 vremensku jedinicu.



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštice reznoga alata

Postoje tri mogućnosti definiranja postojanosti oštice alata:

1. **Postojanost definirana vremenom** koje alat može provesti u obradi prije nego dođe do istrošenja koje je definirano kao dozvoljena istrošenost alata (kriterijsko trošenje)
2. **Postojanost definirana duljinom puta u smjeru glavnog gibanja**. Ovakav način definiranja postojanosti ima prioritet kod postupka provlačenja, dok kod drugih postupaka obrade odvajanjem uglavnom nije u primjeni.
3. **Postojanost definirana duljinom puta u smjeru posmičnog gibanja**. Ovakav način definiranja postojanosti ima prioritet kod postupka bušenja (posebno kod bušnih slika), a može naći primjenu i kod većine drugih postupaka obrade odvajanjem (sve više u primjeni).

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštrice reznoga alata

Postojanost oštrice reznoga alata izražena kroz vrijeme:

$$v_c \cdot T^m = C_T$$

$$v_c = C_T \cdot a_p^x \cdot f^y \cdot T^z$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštrice reznoga alata

Postojanost oštrice reznoga alata izražena kroz duljinu prijeđenoga puta u smjeru glavnoga gibanja

$$L_v = v_c \cdot T \quad T = \frac{L_v}{v_c}$$

$$v_c \cdot \left( \frac{L_v}{v_c} \right)^m = C_T$$

$$v_c^{1-m} \cdot L_v^m = C_T \quad \Rightarrow v_c \cdot L_v^{\frac{m}{1-m}} = C_T^{\frac{1}{1-m}}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštice reznoga alata

$$C_T \frac{1}{1-m} = C_{L_v}$$

Usvajanjem:  $\frac{m}{1-m} = m_v$

slijedi:

$$v_c \cdot L_v^{m_v} = C_{L_v}$$

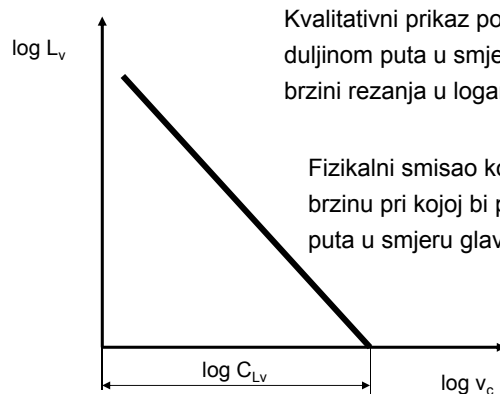
Imajući na umu da se srednja vrijednost eksponenta  $m$  za TM kreće oko 0.25, eksponent  $m_v$  ima vrijednost 0.33, a konstanta  $C_{L_v}$  iznosi  $C_T^{1.333}$ .

Slijedeći slide daje kvalitativni prikaz jednadžbe u logaritamskim koordinatama.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštice reznoga alata



Kvalitativni prikaz postojanosti oštice alata izražene duljinom puta u smjeru glavnog gibanja u ovisnosti o brzini rezanja u logaritamskim koordinatama

Fizikalni smisao konstante  $C_{L_v}$  je da predstavlja brzinu pri kojoj bi postojanost alata iznosila 1 m puta u smjeru glavnog gibanja.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Postojanost oštrice reznoga alata

Postojanost oštrice reznoga alata izražena kroz duljinu prijedenaoga puta u smjeru posmičnoga gibanja

$$L_f = v_f \cdot T \Rightarrow T = \frac{L_f}{v_f}$$

$$v_f = f \cdot \pi, \quad n = \frac{v_c}{D \cdot \pi}$$

$$T = L_f \cdot \frac{D \cdot \pi}{v_c \cdot f}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Postojanost oštrice reznoga alata

$$v_c \cdot \left( L_f \cdot \frac{D \cdot \pi}{v_c \cdot f} \right)^m = C_T$$

$$v_c^{1-m} \cdot L_f^m = C_T \cdot \left( \frac{f}{D \cdot \pi} \right)^m$$

$$C_T^{\frac{1}{1-m}} \cdot \left( \frac{f}{D \cdot \pi} \right)^{\frac{m}{1-m}} = C_{L_f} \quad \text{Usvajanjem: } \frac{m}{1-m} = m_f$$

Dobije se:  $v_c \cdot L_f^{m_f} = C_{L_f}$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštrice reznoga alata

Imajući na umu da se srednja vrijednost eksponenta  $m$  za TM kreće oko 0.25, eksponent  $m_f$  ima istu vrijednost kao i  $m_v$ , odnosno, 0.33, a konstanta  $C_{Lf}$  se računa kao:

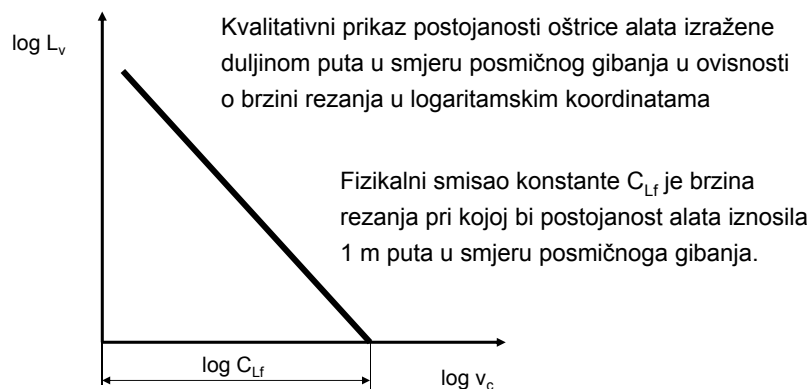
$$C_{Lf} = C_T^{1.33} \cdot \left( \frac{f}{D \cdot \pi} \right)^{0.33}$$

Obzirom da je u području najčešće korištenih posmaka i promjera obratka (ili alata) vrijednost izraza  $\frac{f}{D \cdot \pi}$  vrlo mala, to je konstanta  $C_{Lf}$  značajno manja od konstante  $C_{Lv}$ , što je i očekivano.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Postojanost oštrice reznoga alata



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Teorijska hrapavost obrađene površine

**Hrapavost obrađene površine** – jedan od faktora za ocjenu  
***kvalitete površine i***  
***integriteta površine***

Integritet površine se odnosi na promjene na površini koje su posljedica obrade, te utjecaj tih promjena na svojstva površine i njeno djelovanje u primjeni. To znači da se pod pojmom integriteta površine “krije” puno više od hrapavosti površine, teksture i geometrije.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Teorijska hrapavost obrađene površine

**Pri analizi integriteta površine uzimaju se u obzir slijedeći faktori:**

1. Temperature koje se generiraju pri obradi:
  - a) Metalurške promjene-mikrostruktura, rekristalizacija, itd.
  - b) Zaostala naprezanja i napukline
  - c) Interkristalinična korozija
  - d) Razugljičavanje
  - e) Uključci
2. Plastična deformacija - očvršćivanje
3. Srh

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADÉ ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

#### Hrapavost obrađene površine:

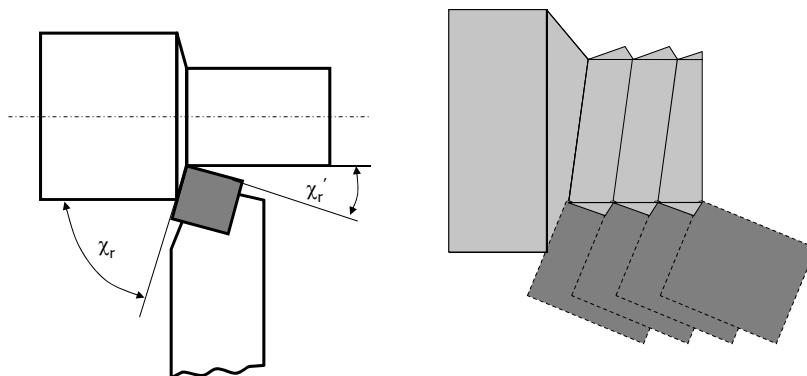
- Teorijska hrapavost obrađene površine kod obrade noževima:
  - Obrada alatom pri  $r_\epsilon=0$
  - Obrada alatom pri  $r_\epsilon>0$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADÉ ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

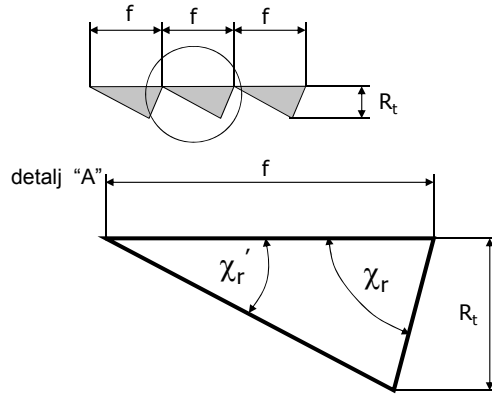
#### Teorijska hrapavost obrađene površine kod obrade alatom pri $r_\epsilon=0$



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

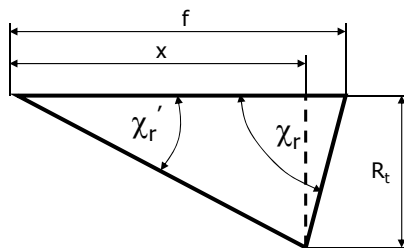
### Teorijska hrapavost obrađene površine



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine



$$f = R_t \operatorname{ctg} \chi_r' + R_t \operatorname{ctg} \chi_r$$

$$R_t = \frac{f}{\operatorname{ctg} \chi_r + \operatorname{ctg} \chi_r'}$$

$$f = x + (f - x)$$

$$f = \frac{R_t}{\operatorname{tg} \chi_r'} + \frac{R_t}{\operatorname{tg} \chi_r}$$

$$R_t = \frac{f}{\left( \frac{1}{\operatorname{tg} \chi_r} + \frac{1}{\operatorname{tg} \chi_r'} \right)}$$

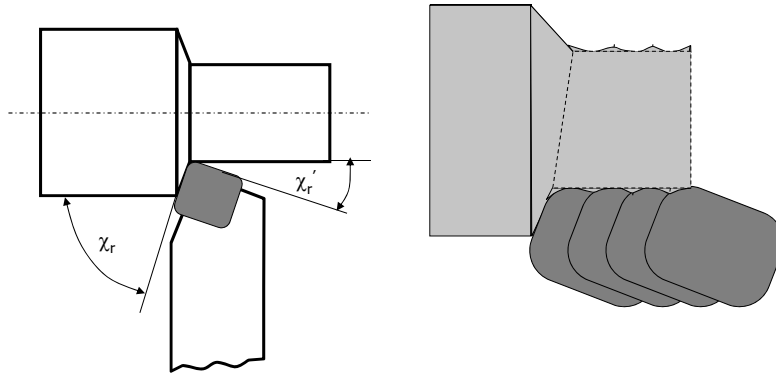
$$R_t = f \frac{\operatorname{tg} \chi_r \operatorname{tg} \chi_r'}{\operatorname{tg} \chi_r + \operatorname{tg} \chi_r'}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

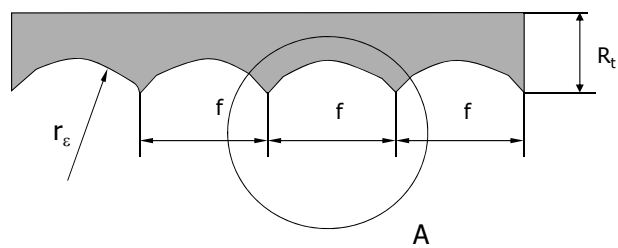
Teorijska hrapavost obrađene površine kod obrade alatom pri  $r_\epsilon > 0$



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

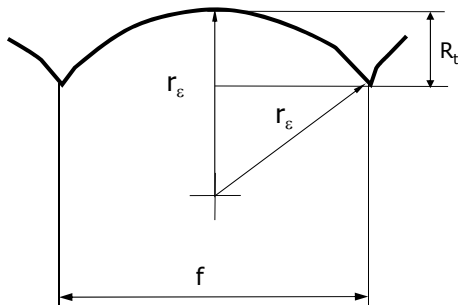
### Teorijska hrapavost obrađene površine



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine



$$R_t = r_\epsilon - x$$

$$R_t = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2}$$

$$R_t^2 - 2R_t r_\epsilon + r_\epsilon^2 = r_\epsilon^2 - \frac{f^2}{4}$$

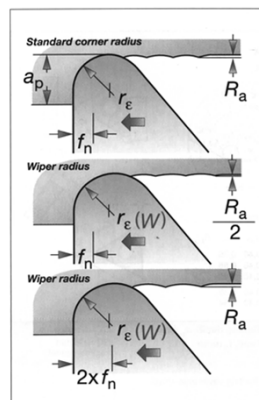
$$R_t \approx \frac{f^2}{8r_\epsilon}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

**Wiper** - geometrija zaobljenja vrha alata



Odnos hrapavosti i polumjera vrha alata kod "klasičnih alata"

**Wiper** - geometrija omogućuje

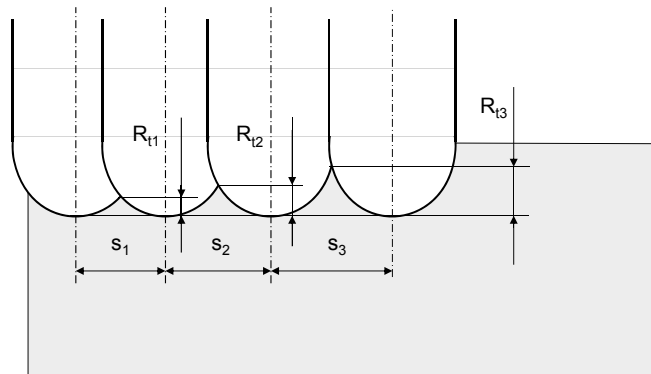
jednaki posmak = dvostruko manja hrapavost

jednaka hrapavost = dvostruko veći posmak

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

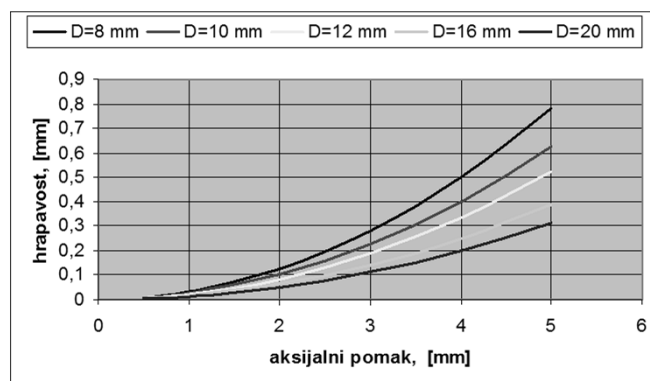


FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

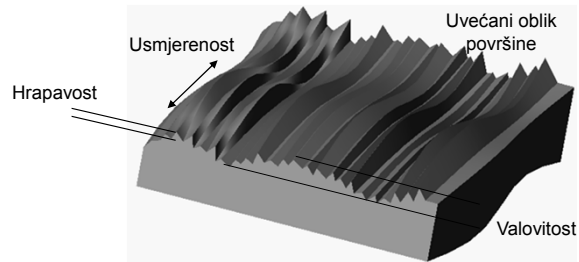
$$R_t \approx \frac{s^2}{8R}$$



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

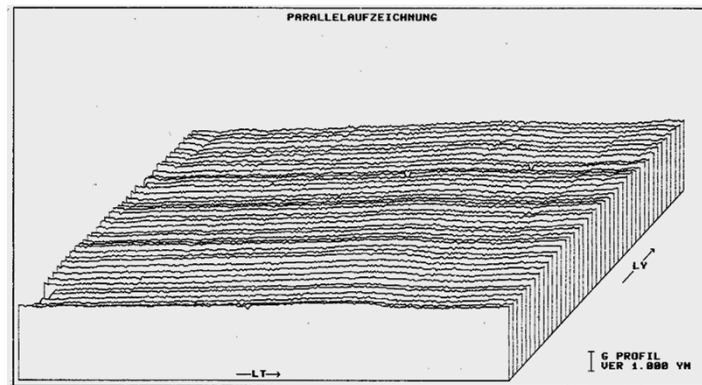
### Hrapavost obrađene površine



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Hrapavost obrađene površine



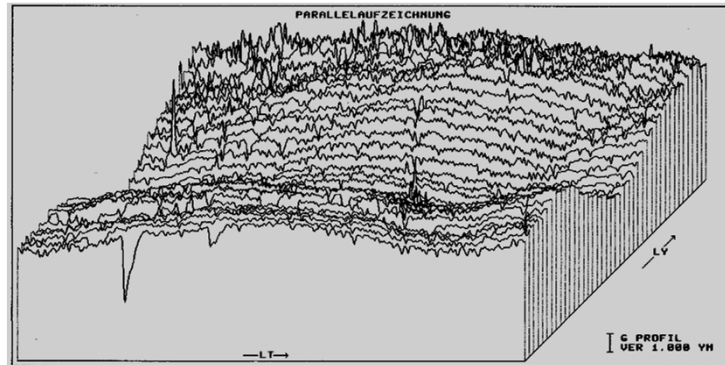
Topografija brušene površine

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Hrapavost obrađene površine



Topografija glodane površine

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Teorijska hrapavost obrađene površine

Hrapavost, R, $\mu\text{m}$	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2
Najuža tolerancija	100	60	35	20	14	10	7	5	3
Blanjanje	•	•	•	•	•				
Piljenje	•	•							
Glodanje	•	•	•	•	•	•			
Tokarenje	•	•	•	•	•	•	•		
Razvrtanje			•	•	•	•	•		
Bušenje	•	•	•	•	•				
Brušenje			•	•	•	•	•	•	•
Lepanje					•	•	•	•	•
Elektroerozija	•	•	•	•	•	•			

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Optimizacija brzine rezanja

#### OPTIMIZACIJA BRZINE REZANJA

U dosadašnjim razmatranjima se pokazalo da je brzina rezanja,  $v_c$ , najutjecajniji parametar u procesu obrade odvajanjem. Njen utjecaj je od velikog značaja kod sva tri sudionika procesa obrade odvajanjem. Spada među najutjecajnije veličine kod formiranja odvojene čestice, kod trošenja oštrice alata i kod kvalitete obrađene površine. Stoga je logično da se pojednostavljeni oblik optimizacije procesa obrade odvajanjem provodi kroz optimiranje brzine rezanja.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Optimizacija brzine rezanja

U primjeni su najčešće dva kriterija optimizacije:

- a) Najveća produktivnost i
- b) Najmanja cijena obrade  
(često se navodi kao najveća ekonomičnost)

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

U oba slučaja optimizacije, polazi se od pojednostavljenog Taylor-ovog izraza koji pokazuje ovisnost postojanosti oštrice reznoga alata,  $T$ , o brzini rezanja,  $v_c$ .

$$v_c \cdot T^m = C_T$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### OPTIMIZACIJA BRZINE REZANJA

- Cilj: najveća proizvodnost  
Kriterij: najkraće vrijeme obrade 1 komada

$$v_{cp} = ? \quad T_p = ?$$

- Cilj: najveća ekonomičnost  
Kriterij: najniža cijena obrade 1 komada

$$v_{ce} = ? \quad T_{ek} = ?$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

#### Optimizacija brzine rezanja s ciljem postizanja najveće produktivnosti

U ovom slučaju optimizacije traži se brzina rezanja koja će omogućiti obradu najvećeg broja komada u jedinici vremena, odnosno brzina rezanja kojom se ostvaruje najkraće vrijeme obrade jednog komada. Dobivanje izraza za određivanje optimalne brzine rezanja za najveću produktivnost,  $v_{cp}$ , a zbog veće jednostavnosti i bolje preglednosti postupka, prikazat će se za slučaj kad se kao kriterij postavi najmanje vrijeme obrade jednog komada,  $t_1$ .

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

Modeli za određivanje vremena obrade jednog komada mogu biti različite složenosti, a u ovom primjeru polazi se od pretpostavke da se vrijeme obrade jednog komada sastoji od tri komponente:

$$t_1 = t_n + t_t + t_a$$

- $t_n$  - vrijeme koje je neovisno o brzini rezanja, (vrijeme pripreme stroja, komada, stezanja, i sl.);
- $t_t$  - vrijeme obrade (glavno strojno vrijeme);
- $t_a$  - vrijeme potrebno za jednokratnu zamjenu i podešavanje alata svedeno na jedan obradak.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$t_a = \frac{T_A}{n_k} \quad n_k = \frac{T}{t_t}$$

$T_A$  - vrijeme potrebno za jednokratnu zamjenu i podešavanje alata

$n_k$  - broj komada koji se može obraditi za trajanja postojanosti oštrice alata (kod alata koji se oštire to je broj komada koji se može obraditi između dva oštrenja, a kod alata s mehanički izmjenjivim pločicama broj komada koji se može obraditi jednom oštricom), a dobije se kao omjer postojanosti i glavnog strojnog vremena.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$t_a = \frac{T_A}{n_k} = \frac{T_A}{\frac{T}{t_t}} = \frac{T_A \cdot L_v \cdot v_c^{-1}}{T}$$

$$t_a = \frac{T_A \cdot L_v \cdot v_c^{-1}}{\left(\frac{C_T}{v_c}\right)^{\frac{1}{m}}}$$

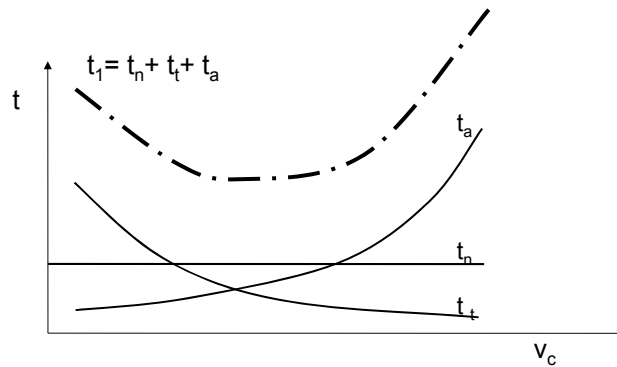
$$t_a = T_A \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$t_1 = t_n + L_v \cdot v_c^{-1} + T_A \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1}$$



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

Grafički prikaz potvrđuje postojanje optimalne brzine rezanja. Analitički se može utvrditi iznos optimalne brzine rezanja, odnosno brzine pri kojoj se postiže najkraće vrijeme obrade jednoga komada (najveća proizvodnost).

$$t_1 = t_n + L_v \cdot v_c^{-1} + T_A \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1}$$

$$\frac{dt_1}{dv_c} = -1 \cdot L_v \cdot v_c^{-2} + \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot T_A \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-2}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$\frac{dt_1}{dv_c} = 0 \Rightarrow \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot T_A \cdot L_v \cdot C_T \cdot \frac{1}{m} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-2} = L_v \cdot v_c^{-2}$$

$$v_{cp} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m} - 1\right)^m \cdot T_A^m}$$

Iz izraza za  $v_{cp}$  se vidi slijedeće:

ako  $T_A \uparrow \Rightarrow v_{cp} \downarrow$ , odnosno

ako  $T_A \downarrow \Rightarrow v_{cp} \uparrow$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$v_{cp} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m} - 1\right)^m \cdot T_A^m}$$

Komentar:

$C_T$  – što je  $C_T$  ?

$$\left(\frac{1}{m} - 1\right)^m - \approx 1.3$$

Zaključno:

Brzina rezanja kojom se ostvaruje najveća produktivnost je funkcija konstante  $C_T$ , eksponenta  $m$  i vremena  $T_A$ . Uz pretpostavku da su  $C_T$  i  $m$  za određenu situaciju konstantni,  $v_{cp}$  je funkcija vremena  $T_A$  i najčešće se kreće u rasponu  $(0,39 \div 0,75)T_A$ .

$$T_A^m$$

-  $\approx 1$  za  $T_A=1$  min

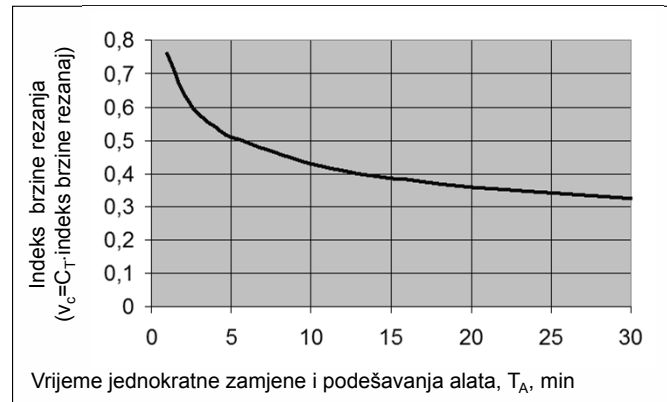
2 za  $T_A=16$  min

2,34 za  $T_A=30$  min

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja



FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

Ako se u početni oblik pojednostavljene Taylor-ove jednadžbe uvrsti jednadžba za  $v_{cp}$ , dobije se izraz za računanje postojanosti oštrice alata pri kojoj se ostvaruje najveća produktivnost, odnosno optimalne postojanosti oštrice alata za ostvarenje najveće produktivnosti,  $T_p$ .

$$v_{cp} \cdot T_p^m = C_T \Rightarrow T_p = \left( \frac{C_T}{v_{cp}} \right)^{1/m} = \left[ \frac{C_T}{\left( \frac{1}{m} - 1 \right)^m \cdot T_A^m} \right]^{1/m}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, POO





## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Optimizacija brzine rezanja

Sređivanjem, dobije se krajnji oblik izraza za računanje  $T_p$ ,

$$T_p = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot T_A$$

Optimalna postojanost oštrice alata,  $T_p$ , kada je kriterij optimizacije najveća produktivnost ovisna je o eksponentu vijeka trajanja,  $m$ , i vremenu potrebnom za jednokratnu zamjenu i podešavanje alata,  $T_A$ . Uz pretpostavku da je  $m=0.25$ , a vrijeme potrebno za zamjenu i podešavanje  $T_A=2$  min, dobije se optimalna postojanost od 10 min. Kod strojeva koji omogućuju vrlo brzu zamjenu i podešavanje alata, optimalna postojanost oštrice alata može biti svega nekoliko minuta.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Optimizacija brzine rezanja

#### Optimizacija brzine rezanja s ciljem postizanja najniže cijene obrade jednog obratka

U ovom slučaju optimizacije traži se brzina rezanja koja će omogućiti najnižu cijenu obrade jednog komada, odnosno kako se često navodi, brzina rezanja kojom se ostvaruje najveća ekonomičnost obrade. Dobivanje izraza za određivanje optimalne brzine rezanja za najveću ekonomičnost,  $v_{ce}$ , prikazat će se polazeći od izraza za računanje cijene obrade jednog komada,  $c_1$ .

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Optimizacija brzine rezanja

Kao i kod modela za određivanje vremena obrade jednog komada, i modeli za određivanje cijene obrade jednog komada mogu biti različite složenosti, a u ovom primjeru polazi se od pretpostavke da se cijena obrade jednog komada sastoji od tri komponente: cijene koja je neovisno o brzini rezanja,  $c_n$ , (plaće pomoćnog osoblja i sl.), cijene obrade,  $c_o$ , i cijene alata svedene na jedan obradak,  $c_a$ .

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

---

### Optimizacija brzine rezanja

$$c_1 = c_n + c_o + c_a$$

$c_n$  - cijena neovisna o brzini rezanja (plaće pomoćnog osoblja i sl.)

$c_o$  - cijena obrade

$c_a$  - cijena alata svedena na 1 obradak

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$c_n = konst.$$

$$c_o = (P + R) \cdot (t_t + t_a)$$

$P$  - plaće djelatnika na promatranom radnom mjestu  
 $R$  - režijski troškovi na promatranom radnom mjestu

$$c_o = (P + R) \cdot (L_v \cdot v_c^{-1} + T_A \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1})$$

Umjesto  $(P+R)$  može se koristiti pojam troškovi radnoga mjesta,  $T_{RM}$ .

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$c_a = \frac{C_A}{n_a} \quad \text{udio cijene alata u obradi jednog obratka}$$

$C_A$  - nabavna cijena alata

$n_a$  - broj komada koji se može obraditi jednim alatom, a dobije se kao produkt broja oštrenja,  $n_o$ , i broja komada koji se može obraditi između dva oštrenja alata,  $n_k$ , ili kao produkt broja oštrica,  $n_o$ , i broja komada koji se može obraditi jednom oštricom,  $n_k$ .

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$n_a = n_o \cdot n_k = n_o \cdot \frac{T}{t_f} = n_o \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot L_v^{-1} \cdot v_c^{\frac{1}{m}+1}$$

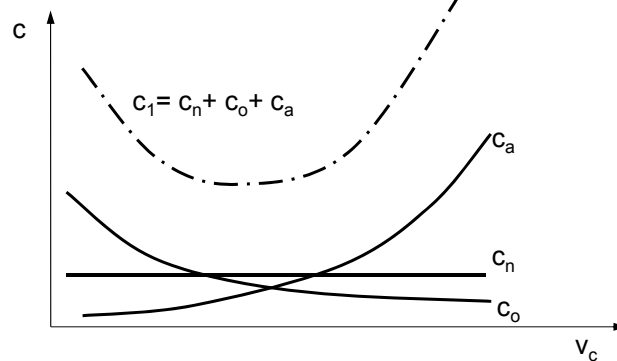
$$c_a = \frac{C_A}{n_a} = \frac{C_A}{n_o \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot L_v^{-1} \cdot v_c^{\frac{1}{m}+1}} = \frac{C_A}{n_o} \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$c_1 = c_n + (P+R) \cdot (L_v \cdot v_c^{-1} + T_A \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1}) + \frac{C_A}{n_o} \cdot L_v \cdot C_T^{\frac{1}{m}} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-1}$$



FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$\frac{dc_1}{dv_c} = -(P+R) \cdot L_v \cdot v_c^{-2} + \left(\frac{1}{m}-1\right) \cdot \left[ (P+R) \cdot T_A + \frac{C_A}{n_o} \right] \cdot L_v \cdot C_T \cdot \frac{1}{m} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-2}$$

$$\frac{dc_1}{dv_c} = 0 \Rightarrow \left(\frac{1}{m}-1\right) \cdot \left[ (P+R) \cdot T_A + \frac{C_A}{n_o} \right] \cdot L_v \cdot C_T \cdot \frac{1}{m} \cdot v_c^{\frac{1}{m}-2} = (P+R) \cdot L_v \cdot v_c^{-2}$$

$$v_{ce} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot \left[ T_A + \frac{C_A}{(P+R) \cdot n_o} \right]^m}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$v_{ce} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot \left[ T_A + \frac{C_A}{(P+R) \cdot n_o} \right]^m} \quad v_{cp} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot T_A^m}$$

Zaključno:

Izraz za računanje brzine rezanja,  $v_{ce}$ , kojom se ostvaruje najniža cijena obrade ima složeniji oblik od izraza za računanje brzine  $v_{cp}$ . Pored faktora koji utječu na brzinu  $v_{cp}$ , na brzinu  $v_{ce}$ , utječu još i sljedeći parametri:

- $C_A$  – nabavna cijena;
- $P+R$  – troškovi plaća i režijski troškovi radnog mjesta ( $T_{RM}$ )
- $n_o$  – broj oštrenja ili broj oštrica

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$v_{cp} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot \left[T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}\right]^m} \quad v_{ce} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot T_A^m}$$

Usporedbom izraza za  $v_{cp}$  i  $v_{ce}$ , lako je zaključiti da je uvijek  $v_{cp} > v_{ce}$ . Kolika je razlika tih dviju brzina ovisi o vrijednosti dijela izraz u nazivniku, tj. o iznosu  $\frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}$ .

Ako je omjer  $\frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}$  mali, razlika  $v_{cp}$  i  $v_{ce}$  je manja, i obrnuto, ako je

omjer  $\frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}$  veći, razlika između  $v_{cp}$  i  $v_{ce}$  je veća.

Prethodno upućuje na veliko značenje odnosa cijene alata i cijene rada.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$v_{cp} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot \left[T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}\right]^m} \quad v_{ce} = \frac{C_T}{\left(\frac{1}{m}-1\right)^m \cdot T_A^m}$$

#### Komentar:

Ako se koriste isti alatni strojevi i isti rezni alati, sredina gdje su troškovi radnog mjesta veći omogućuje (zahtijeva) veću brzinu  $v_{ce}$ , odnosno manja je razlika između  $v_{cp}$  i  $v_{ce}$ .

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$v_{ce} \cdot T_e^m = C_T \Rightarrow T_e = \left( \frac{C_T}{v_{ce}} \right)^{1/m} = \left\{ \frac{C_T}{\left( \frac{1}{m} - 1 \right)^m \cdot \left[ T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o} \right]^m} \right\}^{1/m}$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$T_{ek} = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot \left[ T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o} \right]$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

$$T_{ek} = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot \left[ T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o} \right] \quad T_p = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot T_A$$

Kao i kod brzine rezanja, usporedbom izraza za  $T_p$  i  $T_{ek}$ , lako je zaključiti da je uvijek  $T_p < T_{ek}$ . Kolika je razlika tih dviju brzina ovisi o vrijednosti dijela izraz u nazivniku, tj. o iznosu  $\frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}$ .

Ako je omjer  $\frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}$  mali razlika  $T_p$  i  $T_{ek}$  je manja, i obrnuto, ako je

omjer  $\frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o}$  veći, razlika između  $T_p$  i  $T_{ek}$  je veća.

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja

Kriteriji optimizacije

- Kriterij: najniža cijena obrade

$$v_{op} = \frac{C_T}{\left( \frac{1}{m} - 1 \right)^m \cdot T_A^m} \quad T_p = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot T_A$$

- Kriterij: najniža cijena obrade

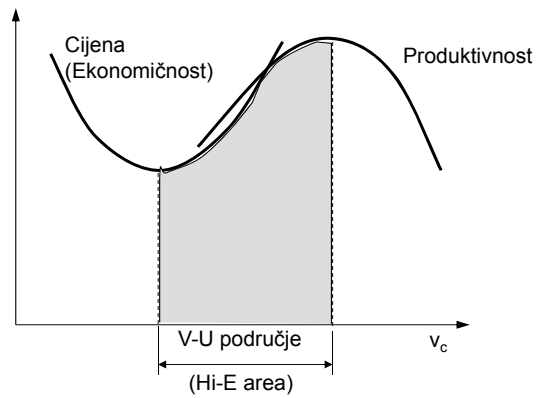
$$v_{oc} = \frac{C_T}{\left( \frac{1}{m} - 1 \right)^m \cdot \left( T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o} \right)^m} \quad T_{ek} = \left( \frac{1}{m} - 1 \right) \cdot \left( T_A + \frac{C_A}{T_{RM} \cdot n_o} \right)$$

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS



## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

### Optimizacija brzine rezanja



FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS

## POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

FSB, Proizvodno inženjerstvo, OS