

OBRADA STRUGANJEM

- **Dubina rezanja– a [mm]**

I – Slučaj:

$$\delta_1 - \text{tabela } S - 1, \quad \delta_2 - \text{tabela } S - 2, \quad \delta_3 - \text{tabela } BR - 1$$

- Broj prolaza: $i_g = \frac{\delta_1}{2 \cdot a_{gmax}}, \quad i_f = \frac{\delta_2}{2 \cdot a_{fmax}}, \quad a_{gmax} = 5 \div 6 \text{ mm}$
- Stvarna dubina: $a_g = \frac{\delta_1}{2 \cdot i_g}, \quad i, \quad a_f = \frac{\delta_2}{2 \cdot i_f}$

II – Slučaj:

$$\delta_1 = \emptyset D - (\emptyset d + \delta_2 + \delta_3), \quad \delta_2 \rightarrow S - 2, \quad \delta_3 \rightarrow BR - 1$$

- **Određivanje pomka: s [mm/o]**

- Preporučena vrednost: $S - 9 \rightarrow$ gruba obrada; $S - 10 \rightarrow$ fina obrada
- Pomak s obzirom na vitkost strugotine:

$$g = \frac{a}{s}, \quad 5 \leq g \leq 10 - \text{za uzdužno struganje}, \quad 5 \leq g \leq 20 - \text{za poprečno struganje}$$

- Pomak s obzirom na otpornost drške noža: $s \leq \left(\frac{\sigma_{doz}}{C_o \cdot C_k \cdot a^{x_1}} \right)^{1/y_1}$

$$\sigma_{doz} = (22 \div 25) \frac{kN}{cm^2} - \text{nož od BČ}, \quad \sigma_{doz} = (20 \div 22) \frac{kN}{cm^2} - \text{nož od TM ili KP.}$$

$$C_k, x_1, y_1 = f(M.O.) - \text{tabela } S - 13$$

$$C_o = \frac{6 \cdot f + 2,4 \cdot e \cdot f - 0,4}{b^2 \cdot e}, \quad e = \frac{h}{b}, \quad f = \frac{ln}{h}, \quad e, f \approx (1 \div 1,5)$$

- Pomak s obzirom na stabilnost radnog predmeta:

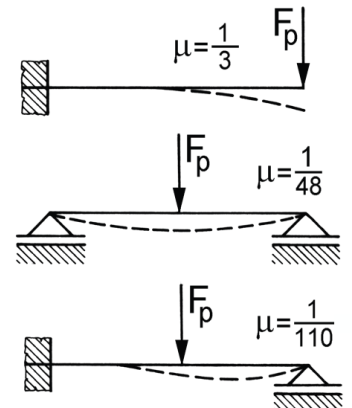
$$s \leq \left(\frac{f_{max} \cdot E \cdot I}{C_k \cdot a^{x_1} \cdot l^3 \cdot \mu} \right)^{1/y_1}$$

$$F_p = C_k \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1} - \text{tabela } S - 14, \quad E - \text{tabela } 0 - 1, \quad \mu - \text{u knjizi } 93 \text{ str.}$$

$$f_{max} = \frac{\delta_2}{2} - C - R_h$$

$$R_h = (40 \div 100) \cdot 10^{-6} m, \quad C = (40 \div 80) \cdot 10^{-6} m$$

$$I = \frac{D^4 \cdot \pi}{64} - \text{za pun presek}; \quad I = \frac{(D^4 - d^4) \cdot \pi}{64} - \text{moment inercije za cevi}$$



- Pomak s obzirom na hrapavost obrađene površine:

$$s \leq \sqrt{32 \cdot R_a \cdot r} \quad \text{ili} \quad s \leq \sqrt{8 \cdot R_h \cdot r}$$

$$r = (0,5 \div 2) mm$$

∇_{N7}

$$\rightarrow R_a = 1,6 \cdot 10^{-6} m$$

∇_{N8}

$$\rightarrow R_a = 3,2 \cdot 10^{-6} m$$

∇_{N9}

$$\rightarrow R_a = 6,3 \cdot 10^{-6} m$$

- **Određivanje broja obrtaja n [o/min]**

- Provera s obzirom na postojanost alata: **Za BČ**

$$V = \frac{C_V}{a^x \cdot s^y} \cdot \xi_x \cdot \xi_m \cdot \xi_T = D \cdot \pi \cdot n \rightarrow n_A = \frac{C_V}{a^x \cdot s^y \cdot D \cdot \pi} \cdot \xi_x \cdot \xi_m \cdot \xi_T$$

$$C_V, x, y = f(M.O.) - \text{Tabela } S - 7, \quad \xi_x \rightarrow S - 5, \quad \xi_m \rightarrow S - 6, \quad \xi_T \rightarrow S - 7$$

– Provera s obzirom na postojanost alata: **Za TM ili KP**

$$V = \frac{C_V}{T^m * a^x * s^y} * \xi_x * \xi_{mrp} * \xi_T = D * \pi * n \rightarrow n_A = \frac{C_V}{T^m * a^x * s^y * D * \pi} * \xi_x * \xi_{mrp} * \xi_T$$

$C_V, m, x, y = f(M.O.)$ – tabela S – 8

$\xi_x \rightarrow S - 5; \quad \xi_{mrp}; \quad \xi_T \rightarrow S - 8$

– Provera s obzirom na snagu mašine:

$$P_m = \frac{P}{\eta} = \frac{F_V * V}{\eta} = \frac{C_k * a^{x_1} * s^{y_1} * D * \pi * n}{\eta} \rightarrow n_M = \frac{P_m * \eta}{C_k * a^{x_1} * s^{y_1} * D * \pi}$$

$F_V = C_k * a^{x_1} * s^{y_1}$ – tabela S – 13

Napomena: Kod višesečnog struga snaga mašine se računa po formuli: $P_m = \frac{\sum P_i}{\eta}$.

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = i * \frac{L}{n * s} \text{ – ukupno vreme obrade}$$

$$t_g' = i * \frac{l}{n * s} \text{ – efektivno vreme obrade}$$

- **Kapacitet mašine:**

$$Q_m = A * V * \rho \left[\frac{kg}{s} \right], \quad A = a * s$$

$$Q_h = \frac{3600}{t_k} \left[\frac{kom}{h} \right], \quad t_k = t_g + \sum t_i$$

OBRADA BUŠENJEM

- **Određivanje broja obrtaja na postojanost alata: T (min); L (m)**

$$V_T = \frac{C_V * D^{x_0} * \mu_0}{T^m * s^{y_0}} = D * \pi * n_T \rightarrow n_T = \frac{C_V * D^{x_0-1} * \mu_0}{T^m * s^{y_0} * \pi}$$

$$V_L = \left(\frac{C_V * D^{x_0-m} * \mu_0}{L^m * s^{y_0-m} * \pi^m} \right)^{\frac{1}{1-m}} = D * \pi * n_L \rightarrow n_L = \left(\frac{C_V * \mu_0}{L^m * s^{y_0-m} * \pi * D^{1-x_0}} \right)^{\frac{1}{1-m}}$$

$C_V, x_0, y_0, m = f(MO)$ – Tab. BU – 2; $\mu_0 = f\left(\frac{L}{D}\right)$ – Tab. BU – 3

- **Broj rupa koji se izvede do zatupljenja alata: T (min); L (m)**

$$K = \frac{T}{t_g'} = \frac{L}{l} \Rightarrow \frac{T}{\frac{l}{n * s}} = \frac{L}{l} \Rightarrow T = \frac{L}{n * s}$$

- **Broj obrtaja s obzirom na snagu mašine:**

$$P_m = \frac{P}{\eta} = \frac{M * \omega}{\eta} = \frac{C_m * D^x * s^y * 2 * \pi * n}{\eta} \rightarrow n_M = \frac{P_m * \eta}{C_m * D^x * s^y * 2 * \pi}$$

$C_m, x, y = f(MO)$ – Tab. BU – 4

Napomena: Kod viševretenih bušilica (**uslov - n; s; – const.**) snaga mašine se računa po formuli: $P_m = \frac{\sum P_i}{\eta}$.

Kod bušilica sa viševretenom glavom (**uslov - n * s = const.**) snaga mašine se računa po formuli: $P_m = \frac{\sum P_i}{\eta}$.

- **Određivanje pomaka**

– Izbor preporučene vrednosti: $s = Tab. Bu - 1$

– Određivanje pomaka s obzirom na otpornost burgije (vrši se za male prečnike burgije ($2 \div 15$) mm):

$$s \leq \left(\frac{\sigma_{doz}}{42 * C_m} \right)^{\frac{1}{y}} * D^{\frac{3-x}{y}},$$

$$\sigma_{doz} = (22 \div 25) \frac{kN}{cm^2} - \text{nož od BČ; } \sigma_{doz} = (20 \div 22) \frac{kN}{cm^2} - \text{pločica od TM ili KP}$$

$$C_m, x, y = f(M. O.) - \text{tabela BU} - 4$$

– Provera pomaka s obzirom na kinematski ledni ugao:

$$s \leq \frac{D * \pi * tg(\alpha - 2)}{\sin \frac{\varphi}{2}}; \quad \varphi = 118^\circ - \text{burgije za čelik; } \varphi = 140^\circ - \text{burgije za mekše materijale}$$

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = \frac{L}{n * s} = \frac{l_1 + 2 * \Delta l + l}{n * s}, \quad l_1 = \frac{1}{3} D; \quad \Delta l = (1 \div 2) mm$$

OBRADA GLODANJEM

- **Brzina rezanja:**

$$V = \frac{C_0}{s_1^y} = D * \pi * n$$

$C_0 = f(T)$ – za obimno glodanje *Tab. G - 4*, za čeono glodanje *Tab. G - 5*

$T = (120 \div 600) \text{ min} - BČ, \quad \omega = (0 \div 45)^\circ$

- **Pomak po zubu**

– Izbor preporučene vrednosti: *Tab. G - 2*

– Provera pomaka s obzirom na otpornost delova mašine:

$$s_1 \leq \left(\frac{39 * E * I * f_{max}}{C_k * l^3} \right)^{\frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_k - 1}} * \frac{2^{\frac{1}{\varepsilon_k - 1}}}{b * \sqrt{aD}}$$

$C_k, \varepsilon_k - Tab. S - 15$

$f_{max} \leq 0,05 \text{ mm}$ – za fino glodanje; $f_{max} \leq 0,2 \text{ mm}$ – za grubo glodanje

– Provera pomaka s obzirom na zadatu hrapavost površine:

$$s_1 = \frac{1}{z} * \sqrt{2,7 * R_h * D}, \quad R_h \leq 40 \mu m - \text{za grubo glodanje; } R_h \leq 6 \mu m - \text{za fino glodanje}$$

– Brzina kretanja stola: $s = s_1 * z * n$

- **Dubina rezanja**

I – Slučaj: $H_p = H + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$

δ_1 - tabela *G - 1*, δ_2 - tabela *G - 1*, δ_3 - tabela *BR - 4*

Broj prolaza: $i_g = \frac{\delta_1}{a_{gmax}}, \quad i_f = \frac{\delta_2}{a_{fmax}}$

Stvarna dubina: $a_g = \delta_{1TAB.}(i_g = 1), \quad a_f = \delta_{2TAB.}(i_f = 1)$

II – Slučaj: $\delta_u = H_p - H, \quad \delta_u = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$

$$\delta_1 = \delta_u - (\delta_2 + \delta_3)$$

$$\delta_2 \text{ i } \delta_3 - \text{iz tabele izvaditi vrednosti, } i_g = \frac{\delta_1}{a_{gmax}} = \frac{\delta_1}{\delta_{1TAB.}} = 1,2,3, \dots (\text{br. prolaza}), \quad a_g = \frac{\delta_1}{i_g}$$

- **Sile rezanja pri glodanju:**

$$F = K * A$$

Za obimno glodanje: $F_{V_m} = \frac{s*b*a}{V} * K_{V_m}$; $k_{V_m} = \frac{C_k}{\varepsilon_k \sqrt{A_m}}$; $A_m = b * h_m$; $h_m = s_1 * \sqrt{\frac{a}{D}}$

Za čeono glodanje: $F_{V_m} = F_{V_{m_1}} * z_z$; $F_{V_{m_1}} = s_1 * a * \cos\varphi_m * k_{V_m}$; $k_{V_m} = C * s_1^{-0,26}$

$$\cos\varphi_m = \frac{\sin\varphi_s + \sin\varphi_i}{\varphi_i + \varphi_s}, \quad \varphi_i = \varphi_s = \varphi \rightarrow \cos\varphi_m = \frac{\sin\varphi}{\varphi}$$

$$z_z = \frac{z * (\varphi_i + \varphi_s)}{2 * \pi}, \quad \varphi_i = \varphi_s = \varphi \rightarrow z_z = \frac{z * \varphi}{\pi}$$

- **Snaga pogonskog elektromotora:**

Za obimno glodanje: $P_m = \frac{1,1 * F_{V_m} * V}{\eta}$

Za čeono glodanje: $P_m = \frac{1,1 * F_{V_{m_1}} * z_z * V}{\eta}$

- **Određivanje broja obrtaja:**

– *S obzirom na postojanost alata:*

$$V = \frac{C_0}{s_1^y} = D * \pi * n \rightarrow n_A = \frac{C_0}{s_1^y * D * \pi}, \quad \text{gde je } C_0 \text{ za obimno } G - 4, \text{ a za čeono } G - 5$$

– *S obzirom na snagu pogonskog elektromotora:*

Za obimno glodanje: $P_m = \frac{1,1 * F_{V_m} * V}{\eta} \rightarrow n_m = \frac{P_m * \eta}{1,1 * F_{V_m} * D * \pi}$

Za čeono glodanje: $P_m = \frac{1,1 * F_{V_{m_1}} * z_z * V}{\eta} \rightarrow n_m = \frac{P_m * \eta}{1,1 * F_{V_{m_1}} * z_z * D * \pi}$

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = i * \frac{L}{s} = i * \frac{L}{s_1 * z * n}; \quad L = l + l_1 + 2 * \Delta l$$

$$t_g' = \frac{l}{s} - \text{efektivno vreme obrade}$$

Obimno glodanje: $l_1 = \sqrt{a * (D - a)}$

Čeono glodanje: $l_1 = \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - B^2})$

OBRADA BRUŠENJEM

➤ **Obrada kružnim brušenjem**

- **Dubina brušenja:** $a \rightarrow$ preporuke TABELA BR - 7
- **Broj obrtaja:**

$$n_t \rightarrow V_t = D_t * \pi * n_t \rightarrow n_t = \frac{V_t}{D_t * \pi}; \quad V_t \rightarrow \text{BR} - 5$$

$$n_p \rightarrow V_p = D_p * \pi * n_p \rightarrow n_p = \frac{V_p}{D_p * \pi}, \quad V_p = \frac{C}{\sqrt{\frac{a * (D_p \pm D_t)}{D_p * D_t}}}, \quad C = f(M.O.) - \text{Tab. BR} - 8$$

Napomena: U formuli V_p znak "+" se koristi za spoljašnje kružno brušenje, a "-" za unutrašnje kružno brušenje.

- **Aksijalni pomak:** $S_a - \text{Tab. BR} - 9$
- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = i * \frac{L * K}{n_p * S_a}, \quad K = (1,2 \div 1,7), \quad L = l + 2 * \Delta l + B, \quad B - \text{širina tocila}$$

➤ **Ravno brušenje – LONČASTIM TOCILOM**

- **Dubina brušenja:** $a \rightarrow$ preporuke TABELA BR – 7
- **Broj obrtaja:**

$$n_t \rightarrow V_t = D_t * \pi * n_t \rightarrow n_t = \frac{V_t}{D_t * \pi}; \quad V_t \rightarrow BR - 5$$

$$V_p = \frac{C}{\sqrt{\frac{a}{D_t}}}, \quad C = f(M.O.) - Tab. BR - 8$$

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = i * \frac{L * K}{V_p}, \quad K = (1,2 \div 1,7), \quad L = l + 2 * \Delta l + D_t$$

➤ **Ravno brušenjem – KOTURASTIM TOCILOM**

- **Dubina brušenja:** $a \rightarrow$ preporuke TABELA BR – 7
- **Broj obrtaja:**

$$n_t \rightarrow V_t = D_t * \pi * n_t \rightarrow n_t = \frac{V_t}{D_t * \pi}; \quad V_t \rightarrow BR - 5; \quad V_p = \frac{C}{\sqrt{\frac{a}{D_t}}}, \quad C = f(M.O.) - Tab. BR - 8$$

- **Bočni pomak tocila:**

$$S_b - Tab. BR - 9$$

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = i * \frac{B_t * K}{n_L * S_b}$$

$$K = (1,2 \div 1,7); \quad B_t = b + 2 * \Delta B + B, \quad B - \text{širina tocila}; \quad b - \text{širina radnog predmeta}$$

$$n_L = \frac{V_p}{L}; \quad L = l + 2 * \Delta l;$$

➤ **Radijalno brušenje**

- **Dubina brušenja:** $a = S_z$
- **Broj obrtaja:**

$$n_t \rightarrow V_t = D_t * \pi * n_t \rightarrow n_t = \frac{V_t}{D_t * \pi}; \quad V_t \rightarrow BR - 5$$

$$n_p \rightarrow V_p = D_p * \pi * n_p \rightarrow n_p = \frac{V_p}{D_p * \pi}, \quad V_p \rightarrow BR - 5$$

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = i * \frac{L * K}{n_p * S_z}, \quad K = (1,2 \div 1,7), \quad L = \frac{\delta}{2} + \Delta l$$

OBRADA PROVLACENJEM

- **Dubina rezanja po 1 zubu - Tab. P – 1**

$$a_g = 0,1 \div 0,25 \text{ mm}/z$$

$$a_f = 0,02 \div 0,1 \text{ mm}/z$$

- **Brzina rezanja**

$$V_r = \text{Tab. P} - 1$$

- **Sile/otpor pri rezanju**

- glavni otpor rezanja za 1 zub

$$F_{V_1} = k_V * A_1 [N]$$

$$k_V - \text{Tab. P} - 2$$

A_1 – površina poprečnog preseka rezućeg sloja

- sila provlačenja

$$F_V = C * k_V * A_1 * z_z [N]$$

$$C = (1,1 \div 1,3), \quad k_V - \text{Tab. P} - 2$$

$z_z = \frac{l}{t}$ – broj zuba u zahvatu = (1 ÷ 8), $z_z = 8$ – ekstremni slučajevi, maksimalno podmazivanje

$$z_{opt} = 4 \quad i \quad z_{max} = 6$$

$$t = (47,43 \div 62,2) * 10^{-3} * \sqrt{l} [m]$$

- **Dužina reznog dela provlakača**

$$L = (z_g + z_f + z_k) * t [m]$$

Zubi za grubu obradu – $z_g = \frac{\delta_g}{a_g}$, $\delta_g = (0,8 \div 0,9) * \delta$

Zubi za finu obradu – $z_f = \frac{\delta_f}{a_f}$, $\delta_f = (0,1 \div 0,2) * \delta$

Zubi za kalibraciju – $z_k = (2 \div 4)$, najčešće se koriste 4 zuba

- **Glavno vreme obrade:**

$$t_g = \frac{L_u}{V_r}$$

$$L_u = (L + 2 * \Delta l + l), \quad \Delta l = (2 \div 3)mm$$