

Technologie I - 4te

Technologie výroby II - dtv, dt2

Návody do cvičení č. 7

Téma: Technologická příprava výroby - optimalizace řezných podmínek

Okruhy:

- 7.1. Volba polotovaru
- 7.2. Přídavky na opracování
- 7.3. Kritérium minimálních výrobních nákladů
- 7.4. Kritérium minimálního výrobního času
- 7.5. Optimalizace

7.1. Volba polotovaru

Základní vztah pro volbu polotovaru pro rotační součástku:

$$\phi d = 1.05d_{\max} + 2 \quad (\text{mm})$$

Empirický vzorec slouží k základnímu orientačnímu určení průměru polotovaru.

7.2. Přídavky na opracování

Složení operačního přídavku p_{mi} .

Válcová plocha:

$$p_{mi} = K \cdot [2(R_{i-1} + T_{i-1}) + C_{i-1} + \delta_{i-1} + E_i]$$

Rovinná plocha:

$$p_{mi} = K \cdot [R_{i-1} + T_{i-1} + C_{i-1} + \delta_{i-1} + E_i]$$

Význam jednotlivých členů:

K	(-)	koeficient překrytí K=1 pro kusovou a malosériovou výrobu K=0.8 pro velkosériovou a hromadnou výrobu
R_{i-1}	(mm)	maximální mikronerovnost z předchozí operace
T_{i-1}	(mm)	maximální hloubka poškozené vrstvy z předchozí operace
C_{i-1}	(mm)	maximální hodnota trvalé deformace z předchozí operace

$$C_{i-1} = l_{ki-1} \cdot m_{i-1}$$

l_{ki-1} - redukovaná délka obrobku v **(m)** dle **tab.**

m_{i-1} - koeficient závislý na druhu polotovaru, tepelném zpracování, druhu výroby, operaci atd.

Pozn.: Koeficient m pro tyče kruhové válcované za tepla $m=0.5$
(0.5% na 1 m délky)

δ_{i-1}	(mm)	mezioperační tolerance předchozí operace
E_i	(mm)	maximální součtová chyba ustavení obrobku v příčném a podélném směru v dané operaci

$$E_i = a_i \cdot \sqrt[3]{d_i} + b_i \cdot l_{ki}$$

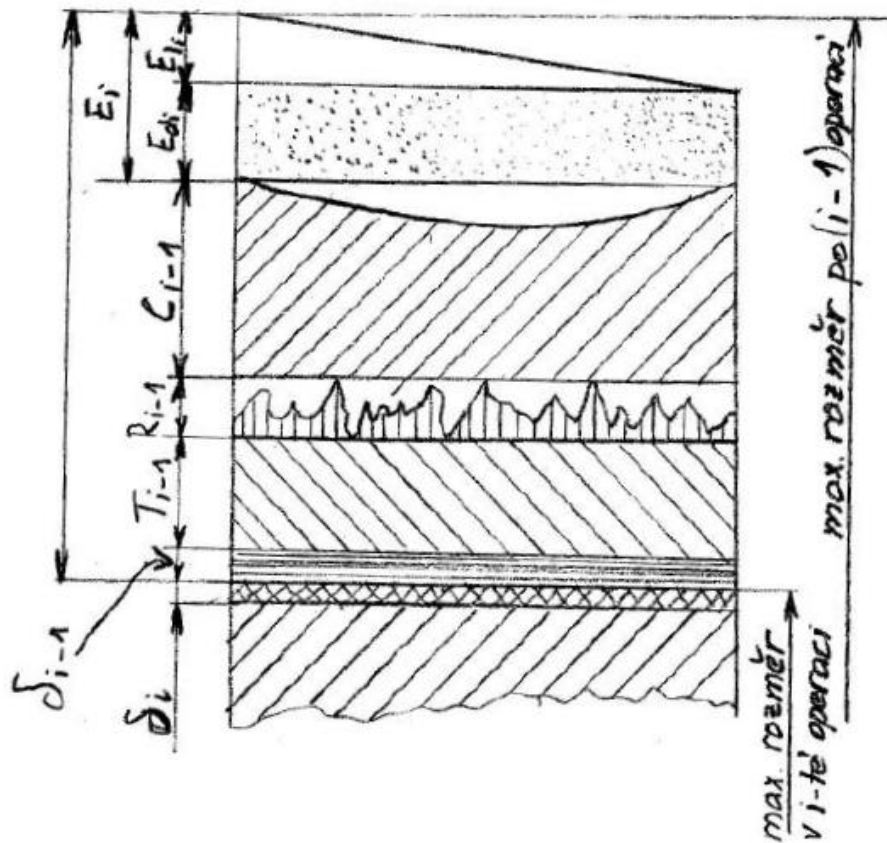
l_{ki} - redukovaná délka obrobku v (m) dle tab.

a_i, b_i , určené druhem a přesností polotovaru, charakterem operace a způsobem upnutí

Pozn.: Při upnutí mezi hroty při operaci broušení se $E_i = 0$

d_i (mm) průměr obrobku

Pozn.: Jednotlivé koeficienty určíme z přiložených tabulek



Př.1 Vypočtete přídavky na obrábění pro zadané plochy a operace hřídelové součástky dle přiloženého výkresu č.1-2006/1 a určete rozměry polotovaru.

Plocha $\Phi 33h6$ (pro operace broušení a soustružení načisto)

Plocha $\Phi 43$ (pro operaci soustružení načisto)

Plocha $\Phi 57$ (pro operaci soustružení načisto, soustružení nahrubo a velikost polotovaru)

Dále uvažujte velkosériový charakter výroby (koeficient $K = 0.8$) a při upnutí mezi hroty u operace broušení se $E_i = 0$.

Pozn.: Ostatní koeficienty určete z přiložených tabulek.

Vypracování:

1. Orientační hodnota pro ϕ polotovaru

$$\phi d = 1.05 d_{\max} + 2 = \dots \text{ mm}$$

2. Plocha $\Phi 33h6$ (operace broušení)

$$C_2 = l_{k_2} \cdot m_2 = \dots \text{ mm}$$

$$E_3 = a_3 \cdot \sqrt[3]{d_3} + b_3 \cdot l_{k_3} = 0 \text{ mm}$$

$$p_{m3} = K \cdot [2(R_2 + T_2) + C_2 + \delta_2 + E_3] = \dots \Rightarrow \dots \text{ mm}$$

$$d_2 = d_3 + p_{m3} = 33 + \dots = \dots \text{ mm}$$

3. Plocha $\Phi 33h6$ (operace soustružení načisto)

$$C_1 = l_{k_1} \cdot m_1 = \dots \text{ mm}$$

$$E_2 = a_2 \cdot \sqrt[3]{d_2} + b_2 \cdot l_{k_2} = \dots \text{ mm}$$

$$p_{m2} = K \cdot [2(R_1 + T_1) + C_1 + \delta_1 + E_2] = \dots \Rightarrow \dots \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 + p_{m2} = \dots + \dots = \dots \text{ mm}$$

4. Plocha $\Phi 57$ (operace soustružení načisto)

$$C_1 = l_{k_1} \cdot m_1 = \dots \cdot \dots = \dots \text{ mm}$$

$$E_2 = a_2 \cdot \sqrt[3]{d_2} + b_2 \cdot l_{k_2} = \dots$$

$$p_{m2} = K \cdot [2(R_1 + T_1) + C_1 + \delta_1 + E_2] = \dots = \dots \Rightarrow \dots$$

$$d_1 = d_2 + p_{m2} = 57 + \dots = \dots \text{ mm}$$

5. Plocha $\Phi 57$ (operace soustružení nahrubo, velikost polotovaru)

$$C_0 = l_{k_0} \cdot m_0 = \dots \cdot \dots = \dots \text{ mm}$$

POZOR!

Při výpočtech je potřeba ve vzorci pro výpočet C (maximální hodnota trvalé deformace z předchozí operace) převádět hodnotu l_k z milimetrů na metry a dosazovat ji převedenou! I když nám potom nesedí jednotky, tak to tak prostě je.

$$C_{i-1} = l_{ki-1} \cdot m_{i-1}$$

$$E_1 = a_1 \cdot \sqrt[3]{d_1} + b_1 \cdot l_{k_1} = \dots \text{ mm}$$

$$p_{m1} = K \cdot [2(R_0 + T_0) + C_0 + \delta_0 + E_1] = \dots \text{ mm}$$

$$d_0 = d_1 + p_{m1} = \dots + \dots = \dots \text{ mm} \Rightarrow \dots \text{ mm (rozměr polotovaru dle ČSN 426510)}$$

7.3. Kriterium minimálních výrobních nákladů:

Trvanlivost břítu nástroje obecně závisí na materiálu obrobku, materiálu nástroje, řezných podmínkách a řezném prostředí. Hodnotu optimální trvanlivosti lze stanovit buď z hlediska maximální výrobnosti (v praxi se příliš nepoužívá), nebo z hlediska minimálních nákladů, kdy se při výpočtu vychází ze vztahu:

$$N_C = N_s + N_v + N_n \text{ [Kč]},$$

kde: N_s [Kč] - náklady na strojní práci,
 N_v [Kč] - náklady na vedlejší práci,
 N_n [Kč] - náklady na nástroj a jeho výměnu.

$$N_C = \frac{L}{v_f} \cdot N_{sm} + t_{AV} \cdot N_{vm} + N_T \cdot \frac{L/v_f}{T} \quad (1)$$

kde: L [mm] dráha nástroje ve směru posuvu,
 v_f [mm min⁻¹] posuvová rychlost,
 N_{sm} [Kč] náklady na minutu strojní práce,
 t_{AV} [min] jednotkový vedlejší čas,
 N_{vm} [Kč] náklady na minutu vedlejší práce (v praxi platí $N_{vm} \cong N_{sm}$),
 N_T [Kč] náklady na nástroj a jeho výměnu, vztažené na jednu trvanlivost.

Hodnotu posuvové rychlosti lze vypočítat podle vztahu:

$$v_f = n \cdot f \text{ [mm min}^{-1}\text{]}, \quad (2)$$

kde: n [min⁻¹] otáčky obrobku,
 f [mm] posuv na otáčku.

Protože řezná rychlost se při podélném soustružení vypočítá podle vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m min}^{-1}\text{]}, \quad (3)$$

platí:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}, \quad (4)$$

kde: D [mm] - průměr obrobku.

Po dosazení Taylorova vztahu $v_c = c_v \cdot T^{-1/m}$ a úpravě platí:

$$n = \frac{1000 \cdot c_v}{\pi \cdot D \cdot T^{1/m}} \text{ [min}^{-1}\text{]}. \quad (5)$$

Dosazením (5) do (2) a poté (2) do (1) a úpravě lze získat vztah:

$$N_C = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot T^{1/m}}{1000 \cdot c_v \cdot f} \cdot N_{sm} + t_{AV} \cdot N_{vm} + N_T \cdot \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot T^{(1/m-1)}}{1000 \cdot c_v \cdot f} \text{ [Kč]}. \quad (6)$$

Náklady na minutu vedlejší práce N_{sm} se stanoví podle vztahu:

$$N_{sm} = \frac{D_s}{60} \text{ [Kč min}^{-1}\text{]}, \quad (7)$$

kde: D_s [Kč h⁻¹] náklady na hodinu strojní práce.

Po dosazení (7) do (6) a úpravě:

$$N_C = k_1 \cdot T^{1/m} \frac{D_s}{60} + t_{AV} \cdot N_{vm} + N_T \cdot k_1 \cdot T^{(1/m-1)} \text{ [Kč]}, \quad (8)$$

$$\text{kde: } k_1 = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot c_v \cdot f}.$$

Po derivaci (provede vyučující na učebně) vztahu (8) podle trvanlivosti T , za předpokladu, že hodnoty t_{AV} a N_{vm} jsou ve vztahu k trvanlivosti konstantní (jejich derivací tedy bude nula) a předpokladu, že tato derivace je rovna nule (hledání maximální hodnoty operačních výrobních nákladů N_C) a následné úpravě se získá vztah pro výpočet optimální trvanlivosti ve tvaru:

$$T_{optN} = \frac{60 \cdot N_T}{D_s} \cdot \tau \cdot (m-1) \text{ [min]}, \quad (9)$$

$$\text{kde: } \tau = \frac{l}{L} \text{ [-]}, \quad (10)$$

kde: N_T [Kč] náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jednu trvanlivost,
 D_s [Kč hod⁻¹] náklady na hodinu strojní práce,
 τ [-] poměr dráhy nástroje ve směru posuvu a délky obráběné plochy,
 m [-] exponent z Taylorova vztahu.

V současné technické praxi dosahuje optimální trvanlivost hodnoty 15 minut.

Př.2 Určete optimální trvanlivost břitu pro kritérium minimálních výrobních nákladů T_{optN} a řeznou rychlost pro tuto trvanlivost $v_{cT_{optN}}$.

Dáno:

Náklady na nástroj a jeho výměnu, vztažené k jedné trvanlivosti $N_T=135$ Kč

Náklady na hodinu strojní práce $D_s = 525$ Kč

Velikost náběhu $l_n = 3$ mm

Velikost přeběhu $l_p = 3$ mm

Délka soustružené součásti $l = 100$ mm

Taylorův vztah: $T \cdot v_c^{4,25} = 4,6242 \cdot 10^8 = c_T$

Vypracování:

$$\tau = \frac{l}{L} = \frac{l}{l_n + l + l_p}$$

$$T_{optN} = \frac{60 \cdot N_T}{D_s} \cdot \tau \cdot (m-1) \quad [\text{min}]$$

$$v_{cT_{optN}} = c_T^{1/m} \cdot T^{-1/m} \quad [m/\text{min}]$$

Trvanlivost je min.

7.4. Kriterium maximální výrobnosti:

Hodnotu optimální trvanlivosti lze stanovit z hlediska maximální výrobnosti (v praxi se příliš nepoužívá), kdy se při výpočtu vychází ze vztahu:

$$t_A = t_{AS} + t_{AV} + t_{AX, c} [\text{min}], \quad (1)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,

t_{AV} [min] - jednotkový vedlejší čas,

$t_{AX, c}$ [min] - celkový čas na výměnu a seřízení nástroje.

Jednotkový strojní čas lze vypočítat podle vztahu (bez uvažování náběhu a přeběhu nástroje):

$$t_{AS} = \frac{q \cdot L}{v_f} = \frac{q \cdot L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (2)$$

kde: v_f [mm min⁻¹] - posuvová rychlost,

q [ks] – počet obrobků.

Ze vztahu pro výpočet řezné rychlosti při podélném soustružení:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3)$$

lze vyjádřit otáčky:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (4)$$

kde: D [mm] - průměr obrobku.

Po dosazení Taylorova vztahu $v_c = c_v \cdot T^{-1/m}$ a úpravě platí:

$$n = \frac{1000 \cdot c_v}{\pi \cdot D \cdot T^{1/m}} [\text{min}^{-1}] \quad (5)$$

Po dosazení (5) do (2) a úpravě:

$$t_{AS} = \frac{q \cdot L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot c_v \cdot T^{-1/m} \cdot f} = \frac{q \cdot L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot c_v \cdot f} \cdot T^{1/m} = k_1 \cdot T^{1/m} [\text{min}], \quad (6)$$

$$\text{kde: } k_1 = \frac{q \cdot L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot c_v \cdot f} \quad (7)$$

Celkový čas na výměnu a seřízení nástroje se vypočítá podle vztahu:

$$t_{AX, c} = z_v \cdot t_{AX} [\text{min}], \quad (8)$$

kde: t_{AX} [min] - čas jedné výměny nástroje,

z_v [-] - počet výměn nástroje pro obrobení q kusů obrobku, vypočítá se podle vztahu:

$$z_v = \frac{t_{AS}}{T} [-] \quad (9)$$

Použitím vztahů (6), (8) a (9) lze po úpravě získat konečný vztah pro výpočet celkového času na výměnu a seřízení nástroje:

$$t_{Ax,c} = z_v \cdot t_{Ax} = \frac{t_{AS}}{T} \cdot t_{Ax} = \frac{k_1 \cdot T^{1/m}}{T} \cdot t_{Ax} = k_1 \cdot T^{(1/m-1)} \cdot t_{Ax} [\text{min}] \quad (10)$$

Dosazením (6) a (10) do (1) se získá konečný obecný vztah pro výpočet operačního času jednotkové práce:

$$t_A = k_1 \cdot T^{1/m} + t_{AV} + k_1 \cdot T^{(1/m-1)} \cdot t_{Ax} [\text{min}] \quad (11)$$

Derivace vztahu (10) podle T (t_{AV} nezávisí na T):

$$\frac{dt_A}{dT} = k_1 \cdot \frac{1}{m} \cdot T^{(1/m-1)} + 0 + k_1 \cdot \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot T^{(1/m-2)} \cdot t_{Ax} \quad (12)$$

Po úpravě vztahu (12), za předpokladu, že jeho hodnota je rovna nule (podmínka extrému funkce znamená, že hodnota její první derivace je nulová):

$$\frac{k_1}{m} \cdot \frac{T^{1/m}}{T} + \frac{k_1}{m_1} \cdot (1-m) \cdot T^{(1/m-2)} \cdot t_{Ax} = 0 \quad (13)$$

Po úpravě (obě strany rovnice jsou násobeny zlomkem $\frac{m \cdot T}{k_1 \cdot T^{1/m}}$):

$$1 + (1-m) \cdot \frac{1}{T} \cdot t_{Ax} = 0 \quad (14)$$

Konečnou úpravou (14) lze získat vztah pro výpočet optimální trvanlivosti z hlediska maximální výrobnosti:

$$T_{optV} = (m-1) \cdot \tau \cdot t_{Ax} [\text{min}] \quad (15)$$

$$\text{kde: } \tau = \frac{l}{L} [-]$$

Př. 3 Určete optimální trvanlivost bříty pro kritérium maximální výrobnost T_{optV} a řeznou rychlost pro tuto trvanlivost $v_{c\ T_{optV}}$.

Dáno:

Čas jednotkové nepravidelné obsluhy $t_{AX} = 9\text{ min}$

Velikost náběhu $l_n = 3\text{ mm}$

Velikost přeběhu $l_p = 3\text{ mm}$

Délka soustružené součásti $l = 100\text{ mm}$

Taylorův vztah $T \cdot v_c^{5,6} = 5,8566 \cdot 10^8 = c_T$

Vypracování:

$$\tau = \frac{l}{L} = \frac{l}{l_n + l + l_p}$$

$$T_{optV} = (m-1) \cdot \tau \cdot t_{AX} \quad [\text{min}]$$

$$v_{c\ T_{optV}} = c_T^{1/m} \cdot T^{-1/m} \quad [m/\text{min}]$$

Trvanlivost je min.

7.5. Optimalizace:

Př.4: Během operace vrtání středového otvoru $\phi 10H11$ šroubovým vrtákem z rychlořezné oceli DIN 338 na konvenčním stroji s plynulou regulací otáček je prováděna operace polohrubovacího soustružení vnějšího průměru ve třech záběrech (dle obrázku č.1) pomocí stranového uběracího nože s VBD TN 35 (ISO P20÷P40). Řezné nástroje jsou charakterizovány těmito řezivostními údaji:

-šroubovýtý vrták $\phi 10$: $v_c = 35 \text{ m/min}$
 $f = 0,12 \text{ mm}$
 $T = 40 \text{ min}$
vrtání s výplachem
prodlužovací čas operace 20%

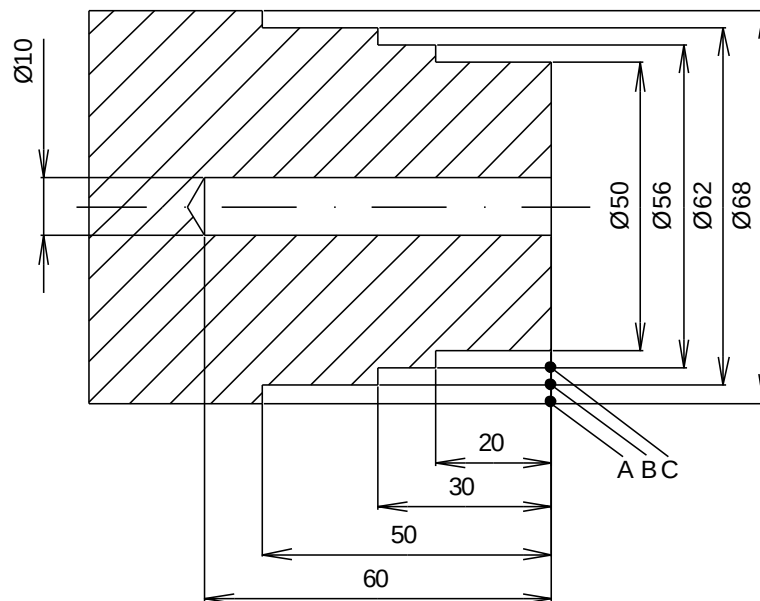
-stranový nůž: VBD jednostranná
4 břity
 $f = 0,3 \text{ mm/ot}$

Řezivostní vztah:
$$v_c = \frac{234}{a_p^{0,11} \cdot f^{0,31} \cdot T^{0,16}}$$

Výrobní dávka zahrnuje 200ks.

Šířka záběru pro úseky A,B,C: $a_{pA} = a_{pB} = a_{pC} = 3 \text{ mm}$

Určete potřebný počet nástrojů pro danou výrobní dávku a všechna výpočtová data.



obr.1 Obráběná součást

Vypracování

a) HSS vrták: $n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$ [ot/min]

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot 1,2 \text{ [min]}$$

Počet obrobených kusů během 1 trvanlivosti:

$$Q_T = \frac{T}{t_{AS}} = \dots \Rightarrow \dots \text{ obrobených kusů}$$

Výrobní dávka je 200ks $\Rightarrow \frac{200}{??} = \dots \Rightarrow \dots$ kusy vrtáků budou nutné pro výrobu celé dávky.

b) Konvenční stroj umožňuje nastavit přibližný počet otáček, pokud má plynulou regulaci. Pokud ne, vybereme nejbližší otáčkový stupeň. Vzhledem ke konstantním otáčkám (pro vrtání) budou zde využity 3 řezné rychlosti pro soustružení:

$$v_{cA} = \frac{\pi \cdot D_A \cdot n}{1000} = \dots \text{ m/min}$$

$$v_{cB} = \frac{\pi \cdot D_B \cdot n}{1000} = \dots \text{ m/min}$$

$$v_{cC} = \frac{\pi \cdot D_C \cdot n}{1000} = \dots \text{ m/min}$$

Z řezivostního vztahu vyjádříme vztah pro trvanlivost nástroje a dále upravíme:

$$v_c = \frac{234}{a_p^{0,11} \cdot f^{0,31} \cdot T^{0,16}} \Rightarrow$$

$$T = \left(\frac{234}{v_c \cdot a_p^{0,11} \cdot f^{0,31}} \right)^{\frac{1}{0,16}} = \dots$$

Dílkům úsekům A, B, C odpovídají časy automatického chodu stroje a trvanlivost:

A:

$$t_{ASA} = \dots \text{ min}$$

$$T_A = \dots \text{ min}$$

B:

$$t_{ASB} = \dots \text{ min}$$

$$T_B = \dots \text{ min}$$

C:

$$t_{ASC} = \dots \text{ min}$$

$$T_C = \dots \text{ min}$$

Pro výslednou trvanlivost platí:

$$\frac{t_{ASA}}{T_A} + \frac{t_{ASB}}{T_B} + \frac{t_{ASC}}{T_C} = \frac{t_{ASA}}{T_V} + \frac{t_{ASB}}{T_V} + \frac{t_{ASC}}{T_V} \Rightarrow T_V = \dots \text{ min}$$

Výrobní čas pro soustružení celé dávky:

$$200 \cdot (\dots + \dots + \dots) = 200 \cdot \dots = \dots \text{ min}$$

Počet obrobků vyrobených jedním břitem stranového nože:

$$Q_T = \frac{T_V}{\sum_{i=1}^3 t_{ASi}} = \dots \text{ ks} \quad (\text{jedním břitem obrobíme } \dots \text{ kusů})$$

Celkový počet břitů pro obrobání celé dávky:

$$n_B = \frac{200}{\dots} = \dots \text{ břitů}$$

VBD obsahuje 4 břity, tzn. bude potřeba celkem:

$$n_{VBD} = \frac{\dots}{4} = \dots \Rightarrow \underline{\dots \text{ ks VBD}} \text{ na obrobání celé dávky}$$

Celkový čas automatického chodu obráběcího stroje je limitován šroubovitým vrtákem (vrtání trvá $\dots$ min), strojní čas obrábění bude:

$$\sum t_{ASi} = 200 \cdot t_{AS1} = 200 \cdot \dots = \dots \text{ min}$$

S přihlédnutím k času dávkovému bude výroba celé dávky trvat přibližně