# Optimalizace řezných podmínek I. (konvenční optimalizace)

**Příklad č. 1**

Pro soustružení oceli 12050.1, Ø60mm, vypočítejte limitní posuvy při akceptování omezení daných empirickým vztahem (zahrnujícím rádius špičky nože a šířku záběru ostří), požadované drsnosti Ra, limitní síly Fc a dále optimální řezné podmínky $v_{opt}$, $f_{opt}$ a s ohledem na limitní posuvy stanovte doporučené řezné podmínky. Optimální trvanlivost volte vyšší z kritérií maximální výrobnosti, nebo minimálních nákladů (potřebné vztahy odvoďte).

*Poznámky:*

***Zadané hodnoty:***

**$C_f$** = ……... [-] konstanta z empirického vztahu pro výpočet posuvu
**$r_\varepsilon$** = ……... [mm] rádius špičky nástroje
**$a_p$** = ……... [mm] šířka záběru ostří s. nože
**$x_\varepsilon$** = ……... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet posuvu
**$x_a$** = ……... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet posuvu
**$R_a$** = ……. [um] požadovaná střední aritmetická drsnost povrchu
**$F_{clim}$** = ……. [N] limitní velikost řezné síly při soustružení
**$C_{Fc}$** =........... [-] konstanta z empirického v. pro výpočet ř. síly při soustružení
**$x_{Fc}$** = ……... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**$y_{Fc}$** = ……... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**$C_{vc}$** =........... [-] konstanta z empirického v. pro řezivost
**$x_{vc}$** = ……... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**$y_{vc}$** = ……... [-] exponent z empirického vztahu pro pro řezivost
**m** = ……... [-] exponent z taylorova vztahu
**B** = ……... [Kč] cena za jeden břit nástroje
**E**= ……... [Kč/h] celkové náklady na hodinu provozu stroje
**$t_{AX}$**= ……...[min] čas na výměnu nástroje
**l**=..............[mm] délka obráběné plochy
L=.............[mm] celková dráha nástroje včetně nájezdu a přejezdu

***Řešení:***

***Určení limitních posuvů:***

*Limitní posuv daný empirickým vztahem:*

Vztahy pro limitní posuvy, v případě potřeby, sami odvoďte.
Výsledek uveďte ve tvaru: obecný vztah, dosazené hodnoty, výsledná hodnota, včetně jednotek.

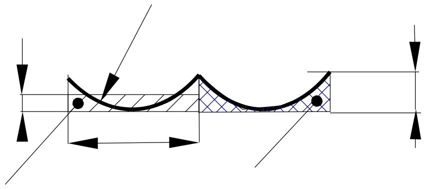
$$f_{1\lim} = C_f \cdot r_\epsilon^{x_\epsilon} \cdot a_p^{x_a}$$

$$f \le f_{1\lim} = \text{..........} [\text{.........}]$$

$$\log f_{1\lim} = \text{...............}$$

Nakreslete (doplňte) náčrt pro výpočet teoretické drsnosti po soustružení nástrojem s kruhovým tvarem špičky a advoďte vztah pro limitní posuv v závislosti na drsnosti povrchu a vypočtěte výslednou hodnotu.

*Limitní posuv daný maximální přípustnou drsností povrchu:*



*Výsledný vztah a hodnota limitního posuvu:*

$f \leq f_{2\lim} = ............................ = ................................ = .................. [.........]$

$\log f_{2\lim} = ..................$

*Limitní posuv daný velikostí limitní síly:*

$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}$

$f \leq f_{3\lim} = ............................ = ................................ = .................. [.........]$

$\log f_{3\lim} = ..................$

***Určení optimální trvanlivosti nástroje:***

*Určení trvanlivosti nástroje pro minimální náklady:*

Vyjádření nákladů na jeden kus:

$$A = \frac{t_{AS} \cdot E}{60} + \frac{B}{Q}$$

kde

A.... přímé náklady na obrobení jednoho kusu
Q.... počet součástí obrobených mezi výměnami nástroje

*Poznámky:*

Nápověda: Přibližný vzorec pro výpočet hloubky kruhové úseče: $Rz=f^2/(8.r_\varepsilon)$ a předpokládejte experimentálně stanovenou závislost pro soustružení Ra=0,26Rz

Vztahy pro optimální trvanlivost nástroje sami odvoďte.
Výsledek uveďte ve tvaru: obecný vztah, dosazené hodnoty, výsledná hodnota, včetně jednotek.

# Optimalizace řezných podmínek I. (konvenční optimalizace)

Nápověda: Vztah vyjádřete v závislosti na trvanlivosti z taylorova vztahu s pomocí vztahu pro výpočet $t_{AS}$ a převodu mezi otáčkami a řeznou rychlostí. Optimum pak leží v extrému funkce.

$T_{opt.I}$ =............................=................................=.................[.........]

*Určení trvanlivosti nástroje pro maximální výrobnost:*

Vyjádření celkového času na obrobení jednoho kusu:

$$tc = t_{AS} + t_{A11} + \frac{t_{AX}}{Q}$$

kde

$t_{A11}$....[min] vedlejší časy

$$T_{opt.II} = .............................. = .................................. = .................. [.........]$$

$$T_{opt} = .................. [.........]$$

***Grafické řešení úlohy:***

Vytvořte graf závislosti řezné rychlosti na na posuvu. Do grafu zaneste závislost odvozenou z výkonu na vřeteni a vztahu pro řezivost a rovněž všechny limitní hodnoty posuvu. V grafu použijte logaritmických souřadnic.

*Odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem z výkonu na vřeteni.*

$$Pef = \frac{v_c \cdot F_c}{60 \cdot 10^3} [kW] \quad =>$$

Nápověda: Vztah vyjádřete ve tvaru vc=konstanta.f^x a zlogaritmujte (je možné pouzít jak přirozený tak dekadický logaritmus.)

výsledný vztah před zlogaritmováním:

.......................................=...........

po zlogaritmování: po dosazení:

.......................................=........... .......................................=...........

*Odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem ze vztahu pro řezivost.*

$$v_c = \frac{C_{vc}}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot f^{y_{vc}} \cdot a_p^{x_{vc}}} [m.min^{-1}] \quad =>$$

Nápověda: Vztah vyjádřete ve tvaru vc=konstanta.f^x a zlogaritmujte (je možné pouzít jak přirozený tak dekadický logaritmus, vždy však stejný typ v celém řešení.)

výsledný vztah před zlogaritmováním:

.......................................=...........

po zlogaritmování: po dosazení:

.......................................=........... .......................................=...........

Nápověda: Do grafu vyneste obě odvozené závislosti a rovněž zlogaritnované hodnoty limitních posuvů. (na nazávislé ose log (f) na závislé log (vc). Tyto závislosti představují hranici polorovin množin možných řešení. Řešením je pravý horní roh hranice množiny možných řešení (vzniklé průnikem jednotlivých omezení).

***grafické řešení:***

*Měřítko:*

*Odečtené hodnoty:*

*Přepočítané hodnoty:*

*Po odlogaritmování:*

***f**$_{opt}$* = ...............................
***v**$_{copt}$* = …...........................

***Analytické řešení úlohy:***

Vypočtěte průsečík dvou omezujících podmínek (pro výkon na vřeteni a řezivost) . Nalezený průsečík srovnejte s určenými limitními hodnotami posuvů. Jako optimální volíme nejmenší z vypočítaných posuvů (limitní a hodnota průsečíku) s odpovídající hodnotou řezné rychlosti.

*Omezení řezivostí nástroje:*

$$v_c = \frac{C_{vc}}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot f^{y_{vc}} \cdot a_p^{x_{vc}}} [m.min^{-1}] \quad =>$$

$v_c$=

*c1=*

*lineární tavr závislosti:*

*Omezení výkonem na vřeteni:*

$$Pef = \frac{v_c \cdot F_c}{60 \cdot 10^3} [kW] \quad =>$$

Nápověda: Omezující podmínky převedeme na tvar vc=c1/f$^y$ a vc=c2/f$^y$ , ty následně na lineární tvar s pomocí logaritmů. Dvě lineární rovnice pak řešíme jako dvě rovnice o dvou neznámých.

$v_c$=

*c2=*

*lineární tvar závislosti:*

*dosazením jedné rovnice (v lineárním tvaru) do druhé:*

$f_{opt'}$ = $v_{copt'}$ =

*Určení optimální hodnoty posuvu:*

$f_{opt}$ = …..................[.........] $v_{copt}$= …..................[.........]

Závěr:

Nápověda: za optimální hodnotu posuvu považujeme nejmenší hodnotu z $f_{opt'}$ $f_{1lim}$, $f_{2lim}$, $f_{3lim}$ . V případě, že touto hodnotou není průsečík fopt´, dopočítáme $v_{copt}$ dle méně strmé omezující podmínky (obvykle omezení řezivostí $vc=c1/f^y$)

Nápověda: Slovní hodnocení doporučující vypočtené optimální řezné podmínky.

**Příklad č. 2**

Vypočítejte optimální řeznou rychlost, otáčky a posuv pro vrtání, dle zadaných hodnot. Pro limitní posuv uvažujte kritérium namáhání vrtáku na krut a výpočet posuvu dle empirického vztahu. Dle vypočtených hodnot zvolte optimální řezné podmínky.

Nápověda: Postupujeme obdobně jako v prvním případě. Rozdílné jsou pouze vztahy pro limitní posuvy a poloha řezné rychlosti.

**D** = …...... [mm] průměr vrtáku
**a** = …..... [-] konstanta z empirického vztahu pro posuv při vrtání
**b** =........... [-] exponent z empirického v. pro posuv při vrtání
**$R_m$** = …...... [MPa] mez pevnosti materiálu vrtáku
**$x_M$** = …...... [-] exponent ze vztahu pro výpočet kroutícího momentu
**k** = …...... [-] koeficient bezpečnosti
**$C_M$** = …...... [-] konstanta z empirického vztahu pro výpočet Mk
**ε** = …..... [-] koeficient vlivu stoupání šroubovice vrtáku
**$y_{Fc}$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**m** = …...... [-] exponent z taylorova vztahu
**T** = …...... [min] trvanlivost vrtáku
**$C_{vc}$** = …....... [-] konstanta ze vztahu pro řezivost
**$P_{ef}$**= …....... [kW] maximální výkon na cvřeteni
**$x_{vc}$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**$y_{vc}$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost

***Řešení:***

***Určení limitních posuvů:***

Vztahy pro limitní posuvy, v případě potřeby, sami odvoďte.
Výsledek uveďte ve tvaru: obecný vztah, dosazené hodnoty, výsledná hodnota, včetně jednotek.

*Limitní posuv daný empirickým vztahem:*

$$f_{1\lim} = a \cdot D^b$$

$$f \leq f_{1\lim} = ..........[.........] \quad \log f_{1\lim} = .........................$$

Odvoďte vztah pro výpočet posuvu v závislosti na ostatních parametrech a vypočtete limitní posuv.

*Limitní posuv daný maximální přípustným namáháním vrtáku na krut:*

$$M_{krit} = W_k \cdot \tau_{mez}$$

*Moment odporu profilu Wk vrtáku na základě redukovaného průřezu $Wk=0,0194D^3$.*

$$\tau_{mez} = \frac{Rm}{\alpha} ; (\alpha = \sqrt{(3)})$$

$$M_{řez} \leq M_{krit}$$

*$M_{krit}$ je potřeba snížit koeficientem bezpečnosti k a zvýšit pozitivním vlivem stoupání šroubovice vrtáku ε => Mkrit= Mkrit * ε/k .*

*Velikost řezného momentu je dána velikostí obou řezných sil (v případě dvoubřitého vrtáku) působících na polovině průměru vrtáku.*

$$M_{řez}=2\cdot\frac{1}{2}\cdot C_{Fz}\cdot D^{x_{Fz}}\cdot f^{y_{Fz}}\cdot\frac{D}{4}=C_M\cdot D^{x_M}\cdot f^{y_{Fz}}$$

$f_{2\lim}=$.............................................

$f\leq f_{2\lim}=$..........[.........]   $\log f_{2\lim}=$..........[.........]

***Grafické řešení úlohy:***

Vytvořte graf závislosti otáček na na posuvu. Do grafu zaneste závislost odvozenou z výkonu na vřeteni a vztahu pro řezivost a rovněž všechny limitní hodnoty posuvu. V grafu použijte logaritmických souřadnic.

*Odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem z řezivosti.*

$$v_c=\frac{C_{vc}\cdot D^{x_{vc}}}{T_{opt}^{\frac{1}{m}}\cdot f^{y_{vc}}}[m.min^{-1}] \quad => \quad v_c=\frac{\Pi\cdot D\cdot n}{10^3}$$

Odvoďte vztah pro výpočet otáček v závislosti na posuvu ve tvaru $n=c1/f^y$, respektive $n=c2/f^y$ z rovnic pro řezivost a výkon na vřeteni.

výsledný vztah před zlogaritmováním:

.......................................=...........

po zlogaritmování:

.......................................=...........

*Odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem ze vztahu pro výkon na vřeteni.*

$$Pef = \frac{v'_c \cdot F_c}{60 \cdot 10^3} [kW] \qquad v'_c = \frac{\Pi \cdot \frac{D}{2} \cdot n}{10^3} \qquad F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} [N] \quad =>$$

Nápověda: Do grafu vyneste obě odvozené závislosti a rovněž zlogaritnované hodnoty limitních posuvů. (na nazávislé ose log (f) na závislé log (n). Tyto závislosti představují hranici polorovin množin možných řešení. Řešením je pravý horní roh hranice množiny možných řešení (vzniklé průnikem jednotlivých omezení).

výsledný vztah před zlogaritmováním:

........................................=...........

po zlogaritmování:

........................................=...........

$\log f1_{\lim} ¿$.............
$\log f2_{\lim} ¿$.............

***grafické řešení:***

*Měřítko:*

*Odečtené hodnoty:*

*Po odlogaritmování:*

$\boldsymbol{f_{opt}}$ = ...............................
$\boldsymbol{n_{opt}}$ = …......................... => $\boldsymbol{v_{copt}}$ = ….................................

***Analytické řešení úlohy:***

Vypočtěte průsečík dvou omezujících podmínek (pro výkon na vřeteni a řezivost) . Nalezený průsečík srovnejte s určenými limitními hodnotami posuvů. Jako optimální volíme nejmenší z vypočítaných posuvů (limitní a hodnota průsečíku) s odpovídající hodnotou řezné rychlosti.

Nápověda: Omezující podmínky převedeme na tvar n=c1/f$^y$ a n=c2/f$^y$ , ty následně na lineární tvar s pomocí logaritmů. Dvě lineární rovnice pak řešíme jako dvě rovnice o dvou neznámých.

*Omezení řezivostí nástroje:*

$$v_c = \frac{C_{vc} \cdot D^{x_{vc}}}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot f^{y_{vc}}} [m.min^{-1}] \quad =>$$

**n** =

**c1**=

*lineární tavr závislosti:*

*Omezení výkonem na vřeteni:*

$$Pef = \frac{v_c \cdot F_c}{60 \cdot 10^3} [kW] \quad =>$$

***n***=

***c2***=

*lineární tvar závislosti:*

*dosazením jedné rovnice (v lineárním tvaru) do druhé:*

$\boldsymbol{f_{opt'}}$ =

$\boldsymbol{n_{opt'}}$ =

*Určení optimální hodnoty posuvu:*

$\boldsymbol{f_{opt}}$ = …..................[.........]

$\boldsymbol{n_{opt}}$= …..................[.........]

$\mathbf{v_{copt}}$= …..................[.........]

Závěr:

Nápověda: za optimální hodnotu posuvu považujeme nejmenší hodnotu z $f_{opt'}$, $f_{1lim}$, $f_{2lim}$, $f_{3lim}$ . V případě, že touto hodnotou není průsečík $n_{opt}$´, dopočítáme $n_{opt}$ dle méně strmé omezující podmínky (obvykle omezení řezivostí $n=c1/f^y$)

**Příklad č. 3**

Pro čelní frézování zadaného materiálu. Určete optimální řezné podmínky (posuv na zub a otáčky frézy). Jako limitní kritéria pro posuv použijte maximální doporučený posuv daný výrobcem nástroje a empirický vztah pro výpočet drsnosti frézované plochy.

***Zadané hodnoty:***

**Pef** =…......... [kW] maximální výkon na vřeteni
**$C_{Rz}$** = …...... [-] konstanta z empirického vztahu pro drsnosti povrchu
**$y_{Rz}$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet drsnosti povrchu
**$R_a$** = ….... [um] požadovaná střední aritmetická drsnost povrchu
**$C_v$** = …..... [-] konstanta ze vztahu pro řezivost při č. frézování
**$C_{Fc}$** =.......... [-] konstanta z empirického v. pro výpočet ř. síly při frézování
**$x_1$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**$x_2$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**$x_3$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**$x_4$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro výpočet ř. síly
**$x_D$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**$x_e$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**$x_a$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**$y_v$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**$x_z$** = …...... [-] exponent z empirického vztahu pro řezivost
**m** = …...... [-] exponent z taylorova vztahu
**D** = …....... [mm] průměr frézy
**z**= …...... [-] počet zubů frézy
**$a_e$**= …......[mm] šířka frézované plochy
**$a_p$**= …......[mm] hloubka frézované plochy

***Řešení:***

***Určení limitních posuvů:***

*Limitní posuv daný maximální doporučenou hodnotou výrobce:*

$$f \leq f_{1\lim} = .......... [.........] \quad \log f_{1\lim} = ..........$$

*Limitní posuv daný maximální přípustným namáháním vrtáku na krut:*

$$R_z = C_{Rz} \cdot f_z^{\,y_{Rz}} [um]$$

*Pro zadaný typ frézování Ra~0,25Rz.*

Vztahy pro limitní posuvy, v případě potřeby, sami odvoďte.
Výsledek uveďte ve tvaru: obecný vztah, dosazené hodnoty, výsledná hodnota, včetně jednotek.

$f \leq f_{2\lim} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots [\ldots\ldots\ldots]$

$\log f_{2\lim} = \ldots\ldots\ldots\ldots$

***Grafické řešení úlohy:***

Vytvořte graf závislosti otáček na na posuvu. Do grafu zaneste závislost odvozenou z výkonu na vřeteni a vztahu pro řezivost a rovněž všechny limitní hodnoty posuvu. V grafu použijte logaritmických souřadnic.

*Odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem z řezivosti.*

$$v_c = \frac{C_v \cdot D^{x_D}}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_a} \cdot fz^{y_v} \cdot z^{x_z}} [m.min^{-1}] \quad => \quad v_c = \frac{\Pi \cdot D \cdot n}{10^3}$$

Odvoďte vztah pro výpočet otáček v závislosti na posuvu ve tvaru n=c1/f$^y$ , respektive n=c2/f$^y$ z rovnic pro řezivost a výkon na vřeteni.

výsledný vztah před zlogaritmováním:

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots$

po zlogaritmování:

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots$

po dosazení:

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots\ldots$

*Odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem ze vztahu pro výkon na vřeteni.*

$Pef = \frac{v_c \cdot F_c}{6 \cdot 10^4} [kW]$ $\quad F_c = C_{Fc} \cdot D^{x1} \cdot z \cdot a_e^{x2} \cdot a_p^{x3} \cdot f_z^{x4}$ =>

výsledný vztah před zlogaritmováním:

.......................................=...........

po zlogaritmování:

.......................................=...........

po dosazení:

.......................................=...........

***grafické řešení:***

*Měřítko:*

*Odečtené hodnoty:*

*Po odlogaritmování:*

***f**opt* = ...............................
***n**opt* = …......................... => ***v**copt* = ….................................

***Analytické řešení úlohy:***

Vypočtěte průsečík dvou omezujících podmínek (pro výkon na vřeteni a řezivost) . Nalezený průsečík srovnejte s určenými limitními hodnotami posuvů. Jako optimální volíme nejmenší z vypočítaných posuvů (limitní a hodnota průsečíku) s odpovídající hodnotou řezné rychlosti.

*Omezení řezivostí nástroje:*

$$v_c = \frac{C_v \cdot D^{x_D}}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot a_e^{x_e} \cdot a_p^{x_a} \cdot fz^{y_v} \cdot z^{x_z}} \left[ m.min^{-1} \right] \quad =>$$

***n*** =

***c1*** =

*lineární tvar závislosti:*

Nápověda: Omezující podmínky převedeme na tvar $n=c1/f^y$ a $n=c2/f^y$ , ty následně na lineární tvar s pomocí logaritmů. Dvě lineární rovnice pak řešíme jako dvě rovnice o dvou neznámých.

*Omezení výkonem na vřeteni:*

$$Pef = \frac{v_c \cdot F_c}{6 \cdot 10^3} [kW] \quad =>$$

***n***=

***c2***=

*lineární tvar závislosti:*

*dosazením jedné rovnice (v lineárním tvaru) do druhé:*

$\boldsymbol{n}_{opt'}$ =

$\boldsymbol{f}_{opt'}$ =

*Určení optimální hodnoty posuvu:*

$\boldsymbol{f}_{opt}$ = …..................[.........]

$\boldsymbol{n}_{opt}$= …..................[.........]
$\mathbf{v}_{copt}$= …..................[.........]

Závěr: