



Lesnická
a dřevařská
fakulta

2013, Brno
Připravil: V. Novák

Analýza řezného procesu Kotoučová pila Objemová metoda

Mendelova
univerzita
v Brně



NAOB – Nástroje a obrábění



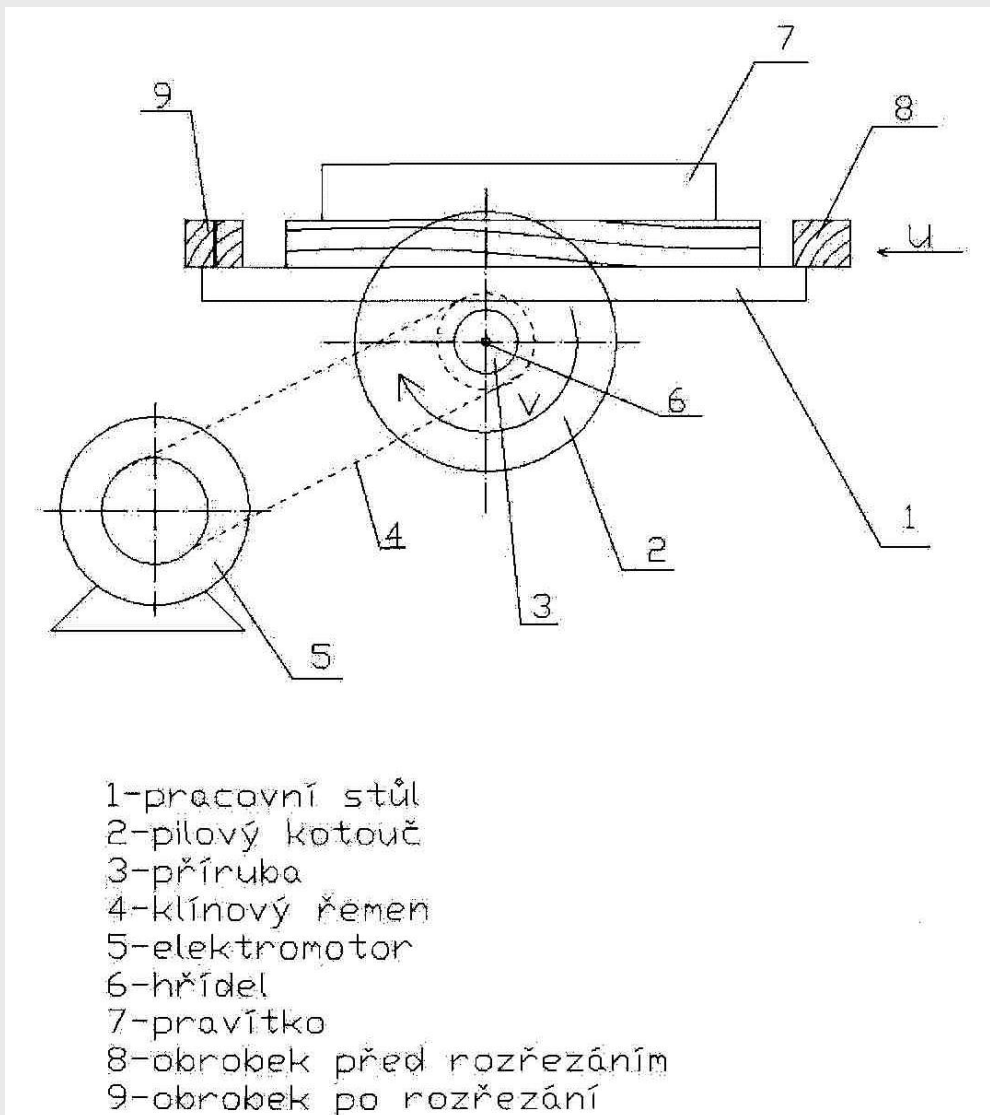
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zadání

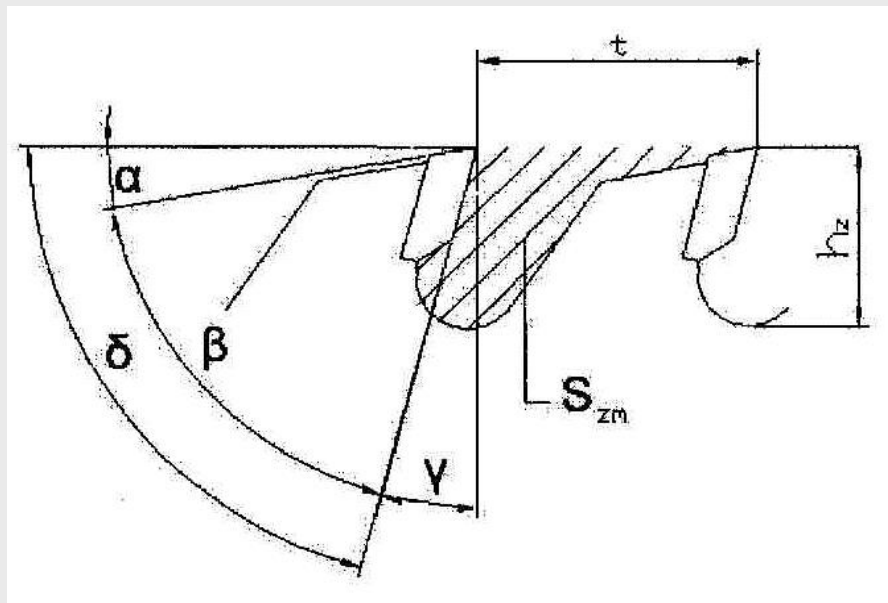
- Proved'te analýzu řezného procesu – kotoučová pila
 1. Nakreslete schéma technologie
 2. Nakreslete zvolený nástroj
 3. Určete model řezání
 4. Určete řezný výkon
 5. Určete posuv pro řezný výkon
 6. Určete posuv z drsnosti
 7. Posuv z hlediska otupení



Schéma stroje



Nástroj



t – rozteč zubu (mm)

h_z – výška zubu (mm)

S_{zm} – plocha zubové mezery (mm^2)

α – úhel hřbetu

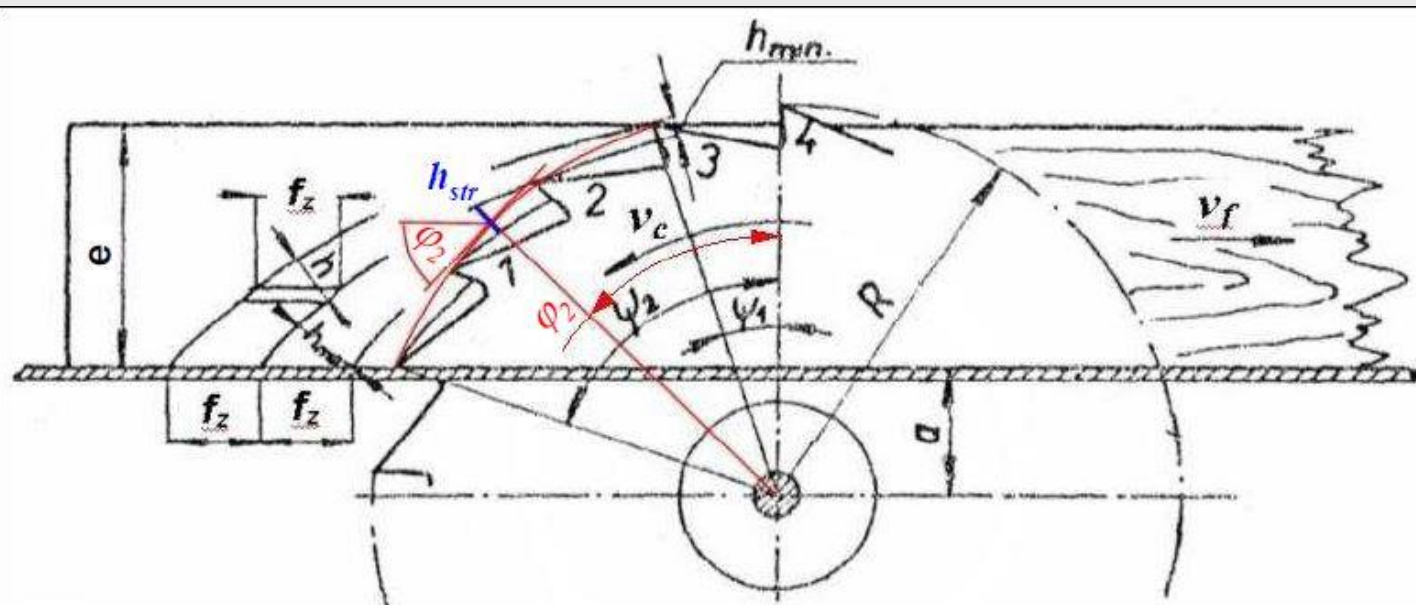
β – úhel břitu

γ – úhel čela

δ – úhel řezný



Model řezání na kotoučové pile



Zuby vlčí s lomeným hřbetem:

vhodné pro měkkou dřevinu

$t_p = 30 \text{ mm}$ – rozteč zubů

$h_z = 0,7t_p \text{ mm}$ – výška zubu

S_z – plocha zubové mezery

s_1 – tl. pilového listu ($s_1 = 2,2 \text{ mm}$)

a_1 – rozpěchování zubu ($a_1 = 0,5 \text{ mm}$)

Při řezání pilovým kotoučem vzniká tříska s nerovnoměrnou tloušťkou třísky a jedná se tedy o složité řezání.



Celkový opravný součinitel

Celkový opravný součinitel k_{co} lze pro jednotlivé procesy řezání zjednodušeně stanovit :

- řezání rámovou pilou $k_{co} = k_d \cdot k_p$
- řezání pásovou pilou $k_{co} = k_d \cdot k_w \cdot k_p \cdot k_\delta$
- řezání kotoučovou pilou $k_{co} = k_d \cdot k_w \cdot k_p \cdot k_\delta \cdot k_v \cdot k_e$
- frézování otevřené $k_{co} = k_d \cdot k_w \cdot k_p \cdot k_\delta \cdot k_v$
- frézování v drážce $k_{co} = k_d \cdot k_w \cdot k_p \cdot k_\delta \cdot k_v \cdot k_e$



Základní měrná řezná práce- kotoučová pila

Jednotková měrná řezná síla F_c^1 a jednotková měrná řezná práce e_c^1 při podélném řezání kotoučovou pilou (borovice, $w = 10$ až 15% , $\varphi_2 = 60^\circ$, $v_c = 40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $D = 600 \text{ mm}$, ostré zuby)

$h_{\text{str}} [\text{mm}]$	$F_c^1 [\text{Nmm}^{-1}]$	$e_c^1 [\text{Jcm}^{-3}]$	$h_{\text{str}} [\text{mm}]$	$F_c^1 [\text{Nmm}^{-1}]$	$e_c^1 [\text{Jcm}^{-3}]$
0,10	9,5	95,0	0,50	23,8	47,5
0,15	12,0	80,0	0,60	26,4	44,0
0,20	14,2	71,0	0,80	31,2	39,0
0,25	16,0	64,0	1,00	36,0	36,0
0,30	18,0	60,0	1,20	40,8	34,0
0,35	19,3	55,0	1,40	44,8	32,0
0,40	21,0	52,5	1,60	48,8	30,5
0,45	22,5	50,0	2,00	56,0	28,0



Zaslané výsledky KOTOUČOVÁ PILA

Jméno	čas	Řezný výkon	Posuv dle P

Analýza řezného procesu

KOTOUČOVÁ PILA

ZADÁNÍ

Dřevina	SM	<u>NÁSTROJ</u>	
Vlhkost	w=30 %	Úhel hřbetu α	$\alpha = 15^\circ$
Výška řezu	e=80 mm	Úhel břitu β	$\beta = 55^\circ$
Čas řezání	T=2 h	Tloušťka pilového kotouče Výška zubu	$S_1 = 2,8 \text{ mm}$ $h_z = 30,5 \text{ mm}$
Posuv	F= 12 mm min^{-1}	Rozvod	a= 0,6 mm
Otáčky	n=3600 min $^{-1}$	Počet zubů	z= 20
Průměr kotouče	D=350 mm	Řezný výkon	P=12 kW

Výpočet řezného výkonu

	ŘEZNÝ VÝKON	
	Pro zvolení správného vztahu pro výpočet měrného řezného odporu je nutné určit tloušťku třísky h_{str} .	
D= 0,35 m n= 3600 min ⁻¹	Řezná rychlost $v = \pi \cdot D \cdot n = \pi \cdot 0,35 \cdot \frac{3600}{60}$	v= 66 ms ⁻¹
n= 3600 min ⁻¹ F= 12 mmin ⁻¹ z= 20	Posuv na zub $f_z = \frac{F}{n \cdot z} = \frac{12 \cdot 1000}{3600 \cdot 20}$	f _z = 0,167 mm
α= 15° β=55°	Úhel řezu $\delta = \alpha + \beta = 15 + 55$	δ=70°

Výpočet řezného výkonu

R= 175 mm	Výška stolu nad osou otáčení kotouče (pokud není zadaná, tak obecně platí) $\bar{a} = \frac{R}{3} = \frac{175}{3}$	$\bar{a} = 58,3mm$
e=80 mm R= 175 mm a'= 58,3 mm	Úhel α_1 $\alpha_1 = \arccos\left(\frac{e + a}{R}\right) = \arccos\left(\frac{80 + 58,3}{175}\right)$	$\alpha_1 = 37,8^\circ$
R= 175 mm a'= 58,3 mm	Úhel α_2 $\alpha_2 = \arccos\left(\frac{a}{R}\right) = \arccos\left(\frac{58,3}{175}\right)$	$\alpha_2 = 70,5^\circ$
	Úhel $\alpha_{stř}$ $\alpha_{stř} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{37,8 + 70,5}{2}$	$\alpha_{stř} = 54,15^\circ$
	Střední úhel přerézávání vláken $\varphi_2 = \alpha_{stř} = 54,15^\circ$	

Výpočet řezného výkonu

$f_z = 0,167 \text{ mm}$ $\varphi_2 = 54,15^\circ$	Střední tloušťka třísky $h_{stř} = 0,167 \cdot \sin 54,15$	$h_{stř} = 0,135 \text{ mm}$
$a = 0,6 \text{ mm}$ $S_1 = 2,8 \text{ mm}$	Šířka řezné spáry $b = S_1 + 2 \cdot a = 2,8 + 2 \cdot 0,6$	$b = 4 \text{ mm}$
	Úhel záběru $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 70,5 - 37,8$	$\alpha = 32,7^\circ$

Výpočet řezného výkonu

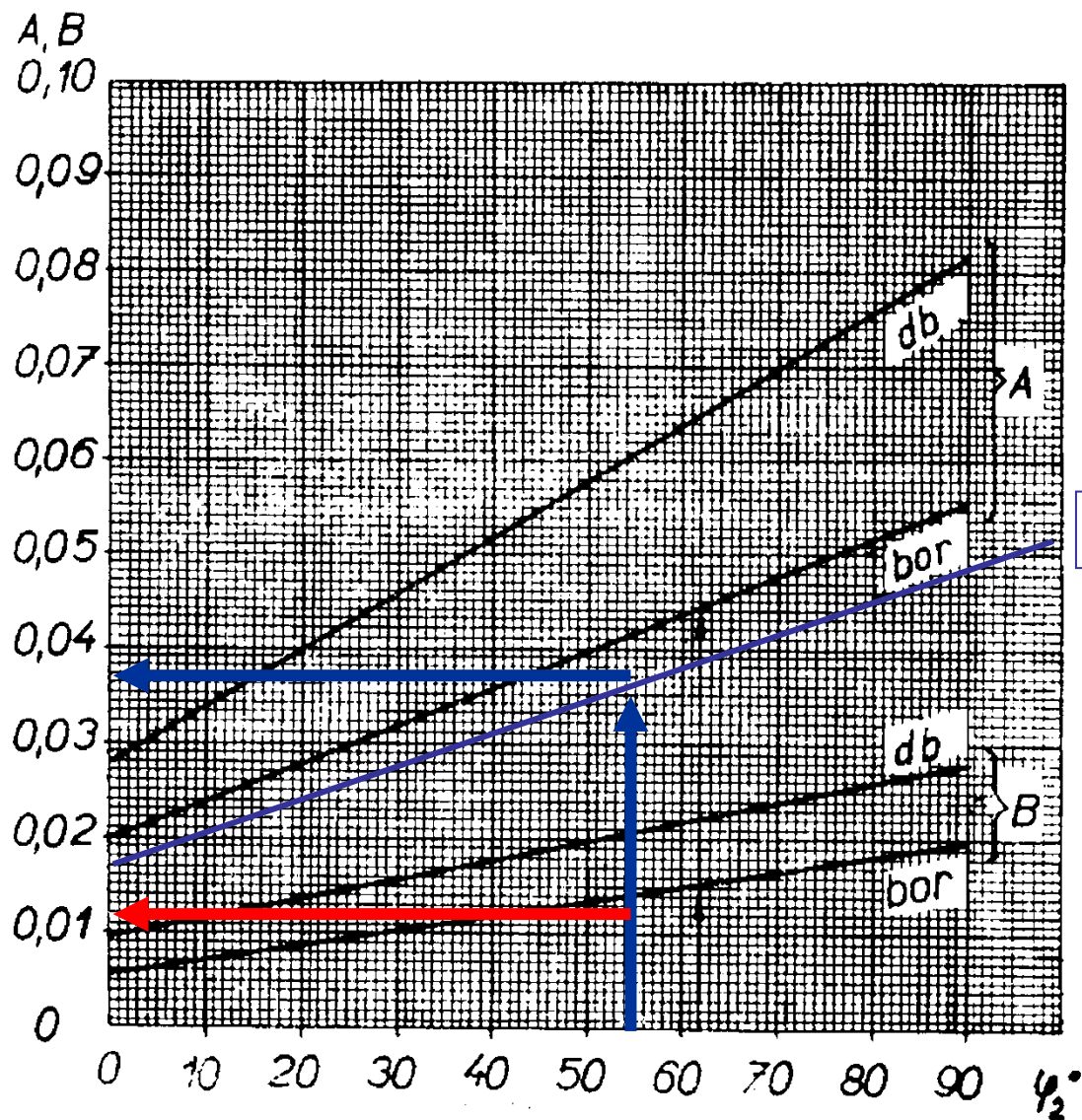
Měrný řezný odpor

$$K = k + \frac{a_{\rho} \cdot p}{h_{\text{stř}} \cdot \frac{b}{S_1}} + \frac{k_t \cdot e}{b}$$

$$K = \text{Nmm}^{-2}$$

Základní měrný řezný odpor

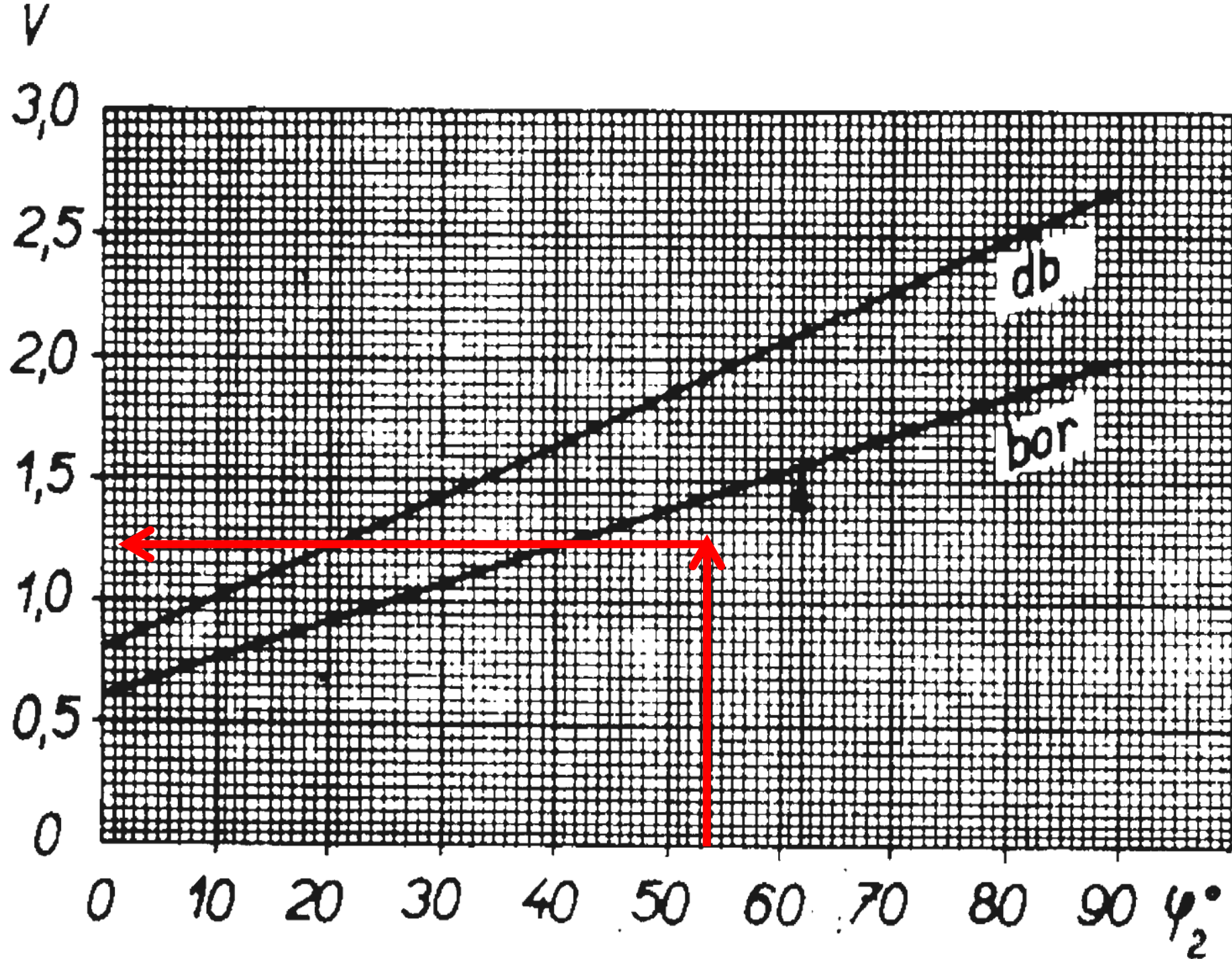
$$k = (A \cdot \delta + B \cdot v - V) \cdot 10$$

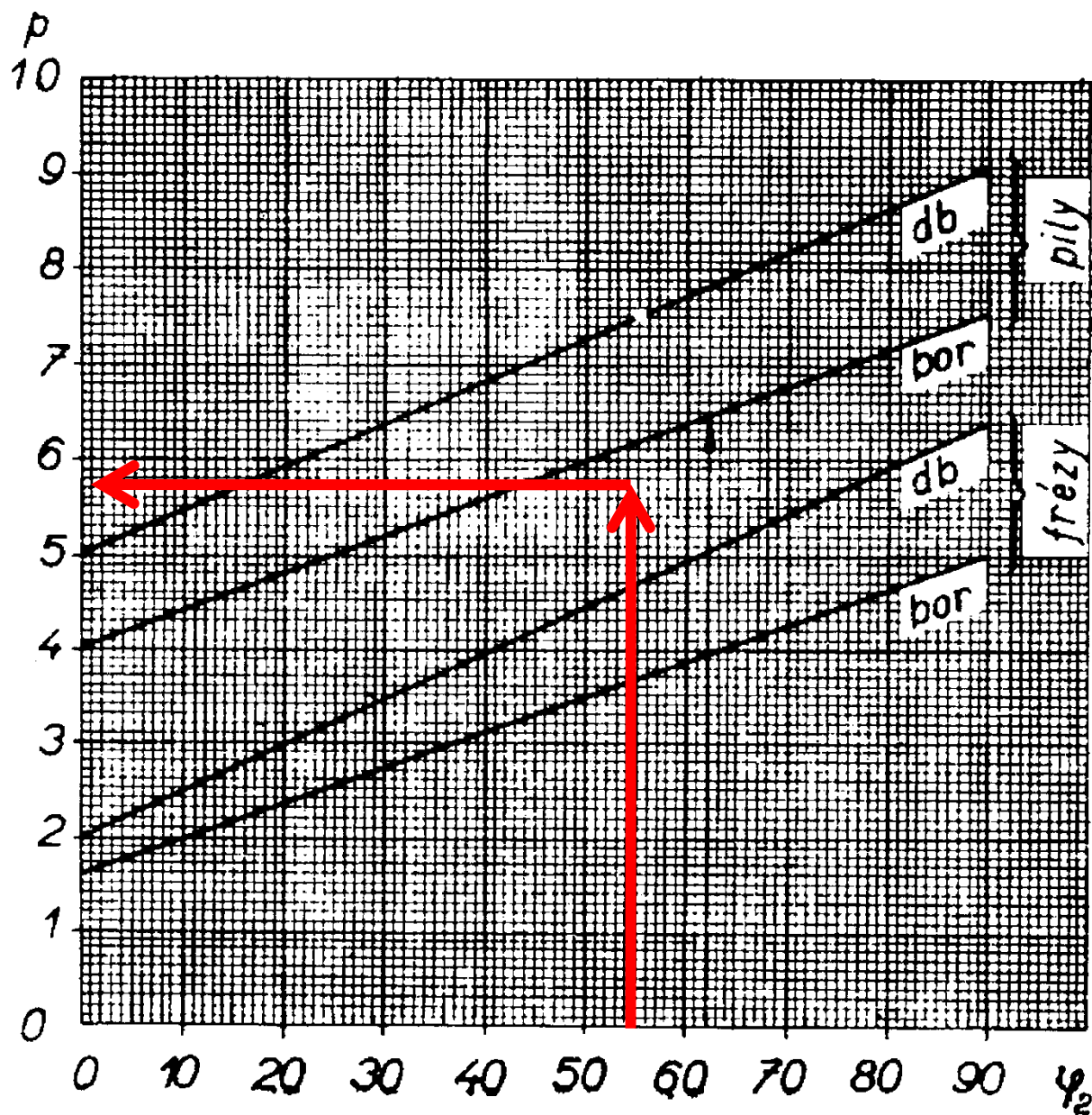


SM



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Výpočet řezného výkonu

$\delta=70^\circ$ $\varphi_2=54,15^\circ$ SM $v=66 \text{ ms}^{-1}$	Základní měrný řezný odpor $k = (A \cdot \delta + B \cdot v - V) \cdot 10$ $k = (0,037 \cdot 66 + 0,012 \cdot 54,15 - 1,6) \cdot 10$	$A = 0,037 \text{ Nmm}^{-2}$ $B = 0,012 \text{ Nmm}^{-2}$ $V = 1,6 \text{ Nmm}^{-2}$ $p = 5,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $k = 14,9 \text{ Nmm}^{-2}$
--	--	---



Výpočet koeficientu otupení

	Koeficient otupení $a_{\rho} = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta\rho}{\rho_o} =$	
	Délka třísky $l = \frac{\pi \cdot D}{360} \cdot \alpha = \frac{\pi \cdot 0,35}{360} \cdot 32,7$	l=0,1 m
l=0,1 m n= 3 600 min ⁻¹ T= 120 min	Délka dráhy břitu - pásová pila $L = l \cdot n \cdot T = 0,1 \cdot 3600 \cdot 120$	L= 43200m
ε= 0,001μm L= 7 126 m	Zvětšení otupení $\Delta\rho = \varepsilon \cdot L = 0,001 \cdot 43200$	Δρ = 43 μm
Δρ = 43 μm ρ _o = 8 μm	$a_{\rho} = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta\rho}{\rho_o} = 1 + \frac{0,2 \cdot 43}{8}$	a _ρ =2,075

Řezný výkon

$k = 14,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $p = 5,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $a_\rho = 2,075$ $b = 4 \text{ mm}$ $h_{\text{stř}} = 0,135 \text{ mm}$ $S_1 = 2,8 \text{ mm}$ $e = 80 \text{ mm}$ $k_t = 0,25 \text{ Nmm}^{-2}$	Měrný řezný odpor $K = k + \frac{a_\rho \cdot p}{h_{\text{stř}} \cdot \frac{b}{S_1}} + \frac{k_t \cdot e}{b}$ $K = 14,9 + \frac{2,075 \cdot 5,9}{0,135 \cdot \frac{4}{2,8}} + \frac{0,25 \cdot 80}{4}$	$K = 63,5 \text{ Nmm}^{-2}$
$K = 63,5 \text{ Nmm}^{-2}$ $b = 4 \text{ mm}$ $e = 80 \text{ mm}$ $F = 12 \text{ mmmin}^{-1}$	Řezný výkon $P = K \cdot b \cdot e \cdot F = 63,5 \cdot 4 \cdot 80 \cdot 12/60$	$P = 4\,064 \text{ W}$

Výpočet posuvu v závislosti na výkonu

P=12 kW

K=63,5Nmm⁻²

f_o= 12 mmin⁻¹

e=80 mm

b= 4 mm

Posuv F_1

$$F_1 = \frac{P}{K \cdot e \cdot b} = \frac{12000}{63,5 \cdot 80 \cdot 4} \cdot 60$$

$$\frac{F_0}{F_1} = \frac{12}{35,4} = 0,34 \notin \langle 0,9 - 1,1 \rangle$$

Pokud ne – tak

$$F_1 \rightarrow f_{z1} \rightarrow h_{stř1} \rightarrow K \rightarrow F_2 \rightarrow ? \frac{F_1}{F_2} \in \langle 0,9 - 1,1 \rangle$$

Pozor na případnou změnu tloušťky třísky – změna výpočtu pro malou třísku

f₁= 35,4 mmin⁻¹

Výpočet posuvu v závislosti na výkonu

$P=12 \text{ kW}$ $F_1=35,4 \text{ mmmin}^{-1}$ $e=80 \text{ mm}$ $b=4 \text{ mm}$ $n= 3600 \text{ min}^{-1}$ $D=0,35 \text{ m}$ $z= 20$ $k =14,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $k_t = 0,25 \text{ Nmm}^{-2}$ $a_p= 2,075$ $p = 5,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $\varphi_2= 54,15^\circ$	<u>Posuv F_2</u> $f_{z1} = \frac{F_1}{n \cdot z} = \frac{35,4 \cdot 1000}{3600 \cdot 20}$ $h_{stř1} = f_z \cdot \sin \varphi_2 = 0,49 \cdot \sin 54,15$ $K = k + \frac{a_p \cdot p}{h_{stř} \cdot \frac{b}{S_1}} + \frac{k_t \cdot e}{b} = \text{zavedeme substituci} . K = C + \frac{D}{h_{stř}}$ $C = k + \frac{k_t \cdot e}{b} = 14,9 + \frac{0,25 \cdot 80}{4}$ $D = \frac{a_p \cdot p}{\frac{b}{S_1}} = \frac{2,075 \cdot 5,9}{\frac{4}{2,8}}$ $K = C + \frac{D}{h_{stř}} = 19,9 + \frac{8,57}{0,4}$ $F_2 = \frac{P}{K \cdot e \cdot b} = \frac{12000}{36,3 \cdot 80 \cdot 4} \cdot 60$ $\frac{F_1}{F_2} = \frac{35,4}{62} = 0,59 \notin \langle 0,9 - 1,1 \rangle \Rightarrow F_2$	$f_{z1}=0,49 \text{ mm}$ $h_{stř1}=0,4 \text{ mm}$ $C=19,9$ $D=8,57$ $K=36,3 \text{ Nmm}^{-2}$ $F_2= 62 \text{ mmmin}^{-1}$
--	---	---

Výpočet posuvu v závislosti na výkonu

P=12 kW $F_2=62 \text{ mmmin}^{-1}$ $e=80 \text{ mm}$ $b=4 \text{ mm}$ $n= 3600 \text{ min}^{-1}$ $D=0,35 \text{ m}$ $z= 20$ $k =14,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $k_t = 0,25 \text{ Nmm}^{-2}$ $a_p= 2,075$ $p = 5,9 \text{ Nmm}^{-2}$ $\varphi_2= 54,15^\circ$	<u>Posuv F_3</u> $f_{z2} = \frac{F_2}{n \cdot z} = \frac{62 \cdot 1000}{3600 \cdot 20}$ $h_{stř1} = f_z \cdot \sin \varphi_2 = 0,86 \cdot \sin 54,15$ $K = k + \frac{a_p \cdot p}{h_{stř} \cdot \frac{b}{S_1}} + \frac{k_t \cdot e}{b} = \text{zavedeme substituci} . K = C + \frac{D}{h_{stř}}$ $C = k + \frac{k_t \cdot e}{b} = 14,9 + \frac{0,25 \cdot 80}{4}$ $D = \frac{a_p \cdot p}{\frac{b}{S_1}} = \frac{2,075 \cdot 5,9}{\frac{4}{2,8}}$ $K = C + \frac{D}{h_{stř}} = 19,9 + \frac{8,57}{0,7}$ $F_2 = \frac{P}{K \cdot e \cdot b} = \frac{12000}{32,14 \cdot 80 \cdot 4} \cdot 60$ $\frac{F_2}{F_3} = \frac{62}{70} = 0,9 \in \langle 0,9 - 1,1 \rangle \Rightarrow F_3$	$f_{z1}=0,86 \text{ mm}$ $h_{stř1}=0,7 \text{ mm}$ $C=19,9$ $D=8,57$ $K=32,14 \text{ Nmm}^{-2}$ $F_3= 70 \text{ mmmin}^{-1}$ $F_p= 70 \text{ mmmin}^{-1}$
---	--	--

Výpočet minimálního posuvu (dle otupení)

	Předpoklad $\rho \leq 2 \cdot h_{stř}$	
$\Delta\rho = 9,9 \text{ } \mu\text{m}$ $\rho_o = 8 \text{ } \mu\text{m}$	Velikost poloměru otupení ρ $\rho = \rho_o + \Delta\rho = 8 + 43$	$\rho = 51 \text{ } \mu\text{m}$ $\rho = 0,051 \text{ mm}$
$e = 300 \text{ mm}$ $n = 3\,600 \text{ min}^{-1}$ $D = m$ $t_z = mm$	Minimální tloušťka třísky $h_{stř} = 2 \cdot \rho = 2 \cdot 0,051$ Minimální posuv na zub $f_{z\min} = \frac{h_{stř}}{\sin \varphi_2} = \frac{0,1}{\sin 54,15}$ Minimální posuv $F_{\min} = \frac{f_{z\min} \cdot n \cdot z}{1000} = \frac{0,123 \cdot 3600 \cdot 20}{1000}$	$h_{stř} = 0,1 \text{ mm}$ $f_{z\min} = 0,123 \text{ mm}$ $f_{\min} = 8,86 \text{ mmmin}^{-1}$

Závěr analýzy řezného procesu

Zadaný posuv	$F_o = 12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Řezný výkon pro zdané parametry	$P = 4\,064 \text{ W}$
Posuv z hlediska řezného výkonu, který je k dispozici ($P = 12 \text{ kW}$)	$F_p = 70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv z hlediska zubové mezery	$F_{Sm} = \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv z hlediska otupení	$F_\rho = 8,86 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Z hlediska výpočtu kapacity zvolené rámové pily a podmínkám řezání je maximální posuv roven Nástroj je zvolen ?	