

**Mendelova univerzita v Brně**

*Lesnická a dřevařská fakulta*



**CV1: Analýza řezného procesu  
kmenové pásové pily (KPP)**

*Analytická metoda*

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

# Zadání

## *Analýza řezného procesu:*

1. Nakreslete schéma vertikální kmenové PP
2. Nakreslete zvolený nástroj
3. Určete model řezání
4. Určete řeznou sílu a řezný výkon
5. Určete posuv pro max. řezný výkon pily
6. Určete velikost posuvu podle velikosti zubové mezery
7. Určete minimální posuv (z hlediska otupení)

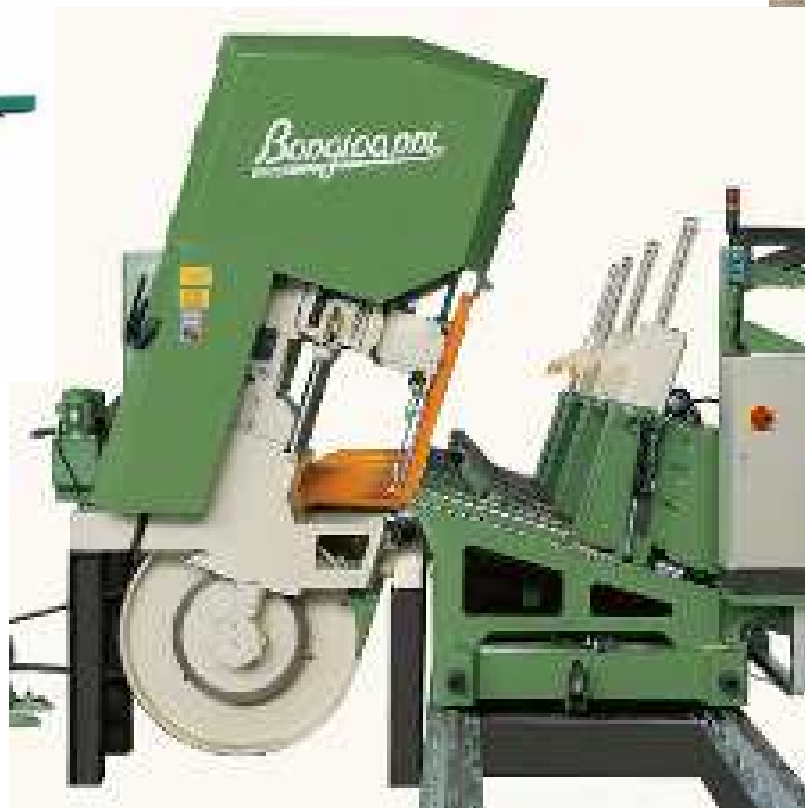
# ***Pásové pily (PP)***



truhlářská

ya.en.alibaba.com

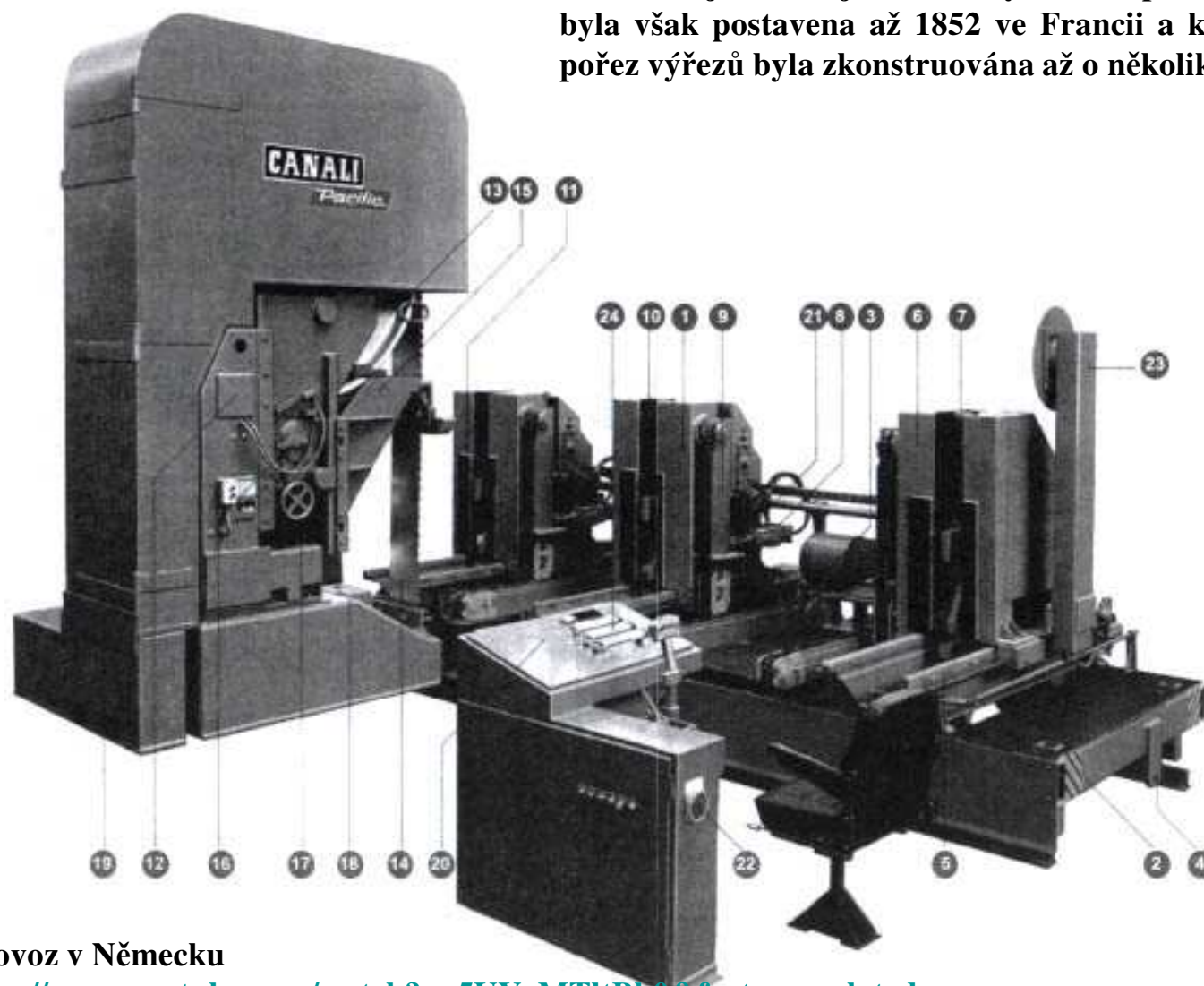
horizontální  
kmenová



vertikální  
kmenová

# Kmenová pásová pila

Pásová pila byla navržena a patentována v roce 1808, byla původně navržena jako stroj truhlářský. První provozuschopná pásová pila byla však postavena až 1852 ve Francii a kmenová pásová pila pro pořez výřezů byla zkonstruována až o několik let později.



## Technicko- technologické parametry kmenové pásové pily:

Průměr pásnice –  
**1400 až 1800 mm**

Řezná rychlost  
 **$v_c$  0 až 40 m·s<sup>-1</sup>**

Podávací rychlost  
 **$v_f$  0 až 120 m·min<sup>-1</sup>**

Zpětný chod  
**až 210 m·min<sup>-1</sup>**

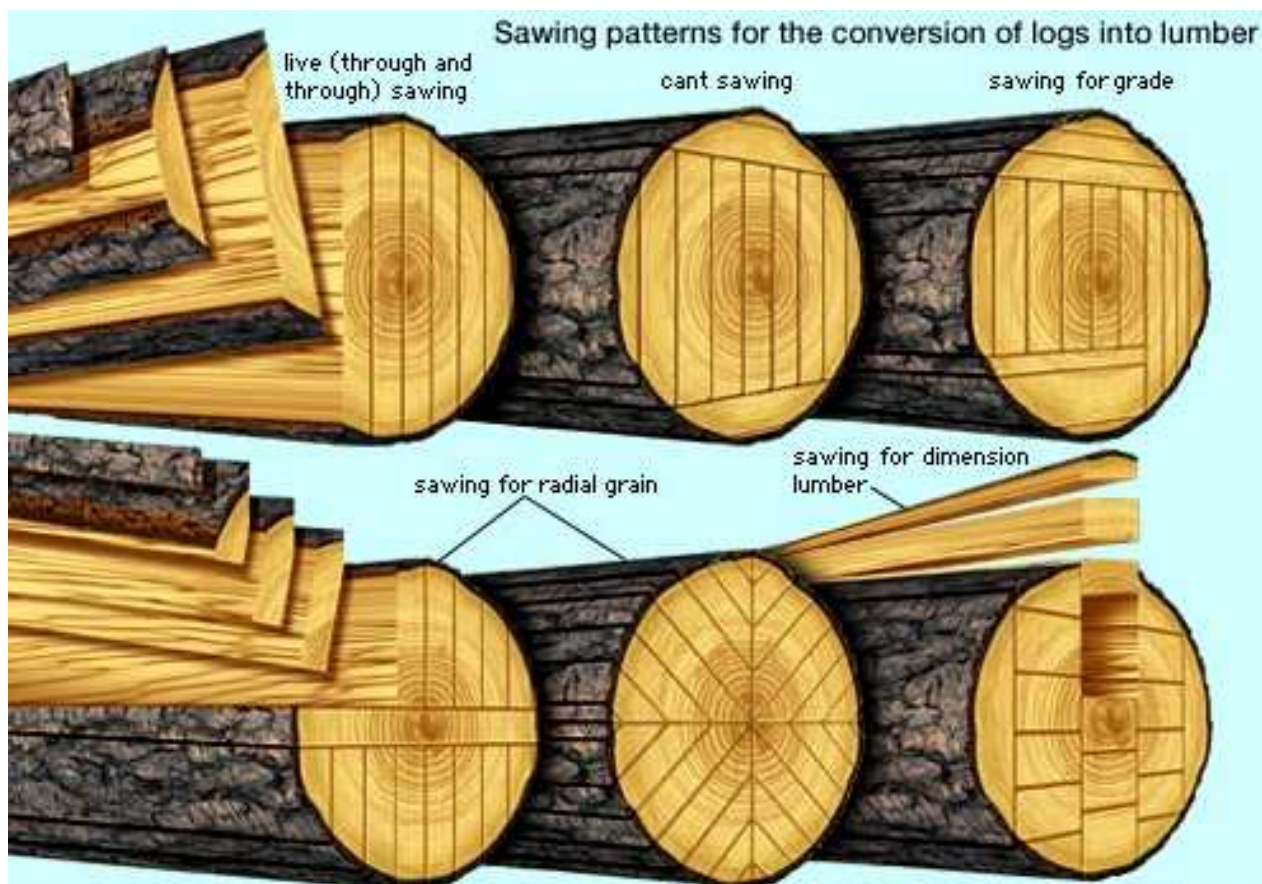
Výška řezu  
**700 až 1200 mm**

Šířka řezné spáry  
 **$b = 2,4 \div 2,8$  mm**

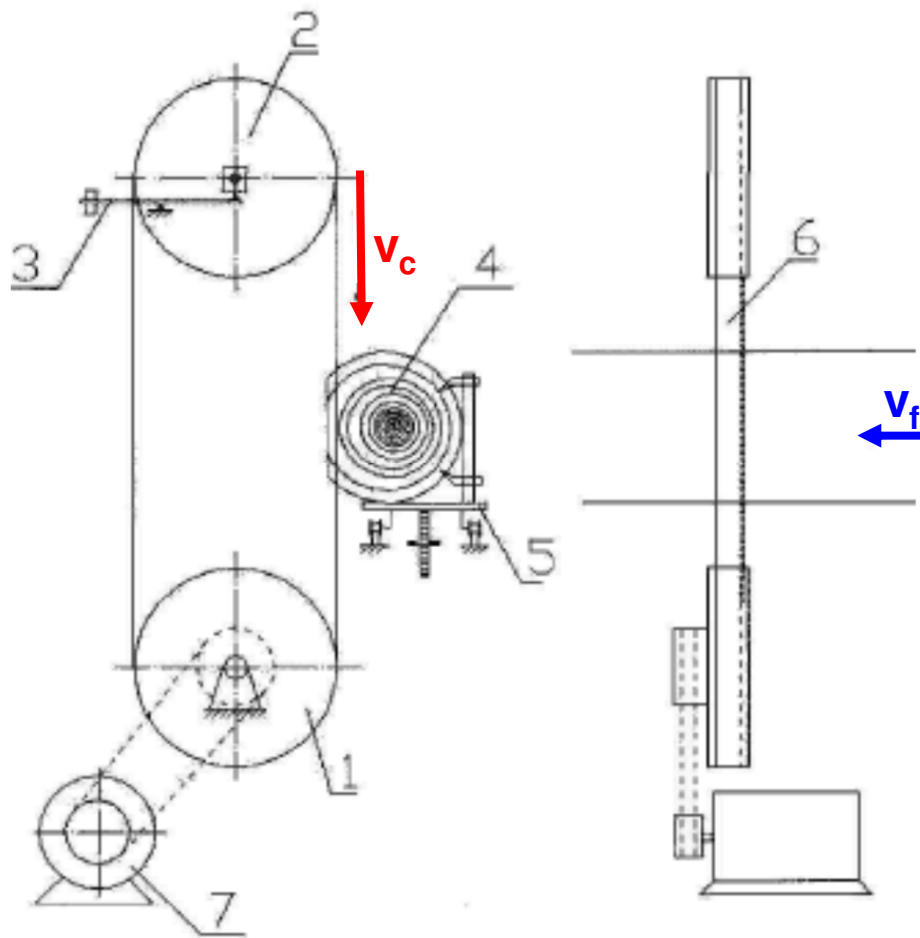
Provoz v Německu

<http://www.youtube.com/watch?v=5UYuMTItBh0&feature=related>

# *Způsoby pořezu*



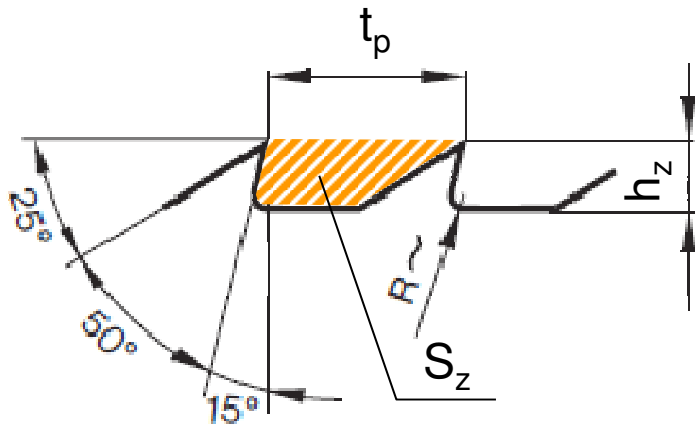
# 1. Schéma pily



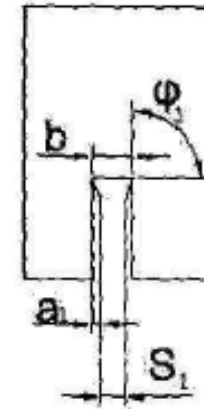
- 1-hnací pásnice
- 2-hnaná a napínací pásnice
- 3-napínací zařízení
- 4-výřez
- 5-podávací zařízení
- 6-pilový pás
- 7-elektromotor

## 2. Charakteristika nástroje

### Pilový pás Pilana 5344 (KV)



Zuby trojúhelníkové nesouměrné  
s prodlouženou zubovou mezerou  
 $t_p = 50$  mm – rozteč zubů  
 $h_z = 14$  mm – výška zubu  
 $S_z$  – plocha zubové mezery  
 $s_1$  – tl. pilového listu ( $s_1 = 1,4$  mm)  
 $a_1$  – rozpěchování zubu ( $a_1 = 0,5$  mm)  
 $\alpha$  – úhel hřbetu  
 $\beta$  – úhel břitu  
 $\gamma$  – úhel čela  
 $\delta$  – úhel řezu



Počáteční poloměr ostří  $\rho_0 = 8\mu\text{m}$

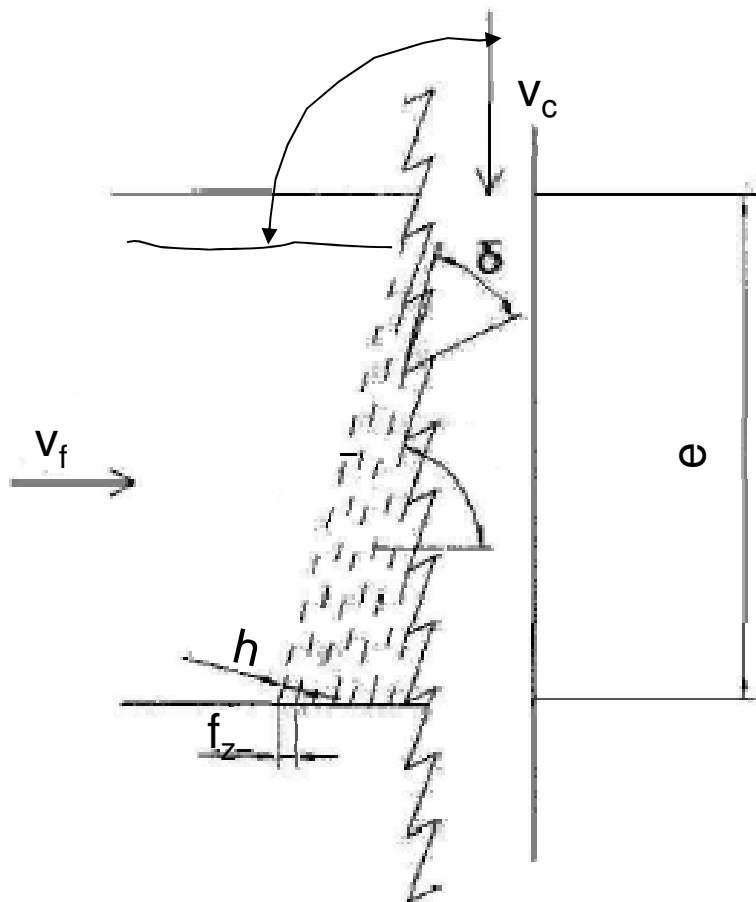


### Materiál pilových pásů

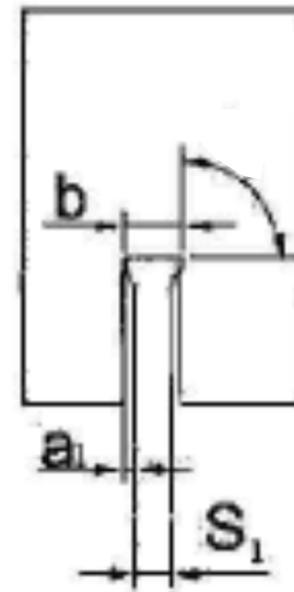
Standard - kalená páska z materiálu 80NiCr11 (DIN 1.2705)

- » materiál speciálně vyvinutý pro výrobu pásových pil
- » tvrdost tohoto materiálu je  $43 \pm 2$  HRC, pevnost v tahu  $1430 \pm 80$  MPa
- » výborné mechanické a tepelné vlastnosti, tvarová stálost a dobré řezné vlastnosti
- » zaoblená zadní hrana - výrazně snižuje možnost vzniku trhlin na hřbetu pásu

### 3. Model řezání



Šířka řezné spáry:



## 4. Výpočet řezné síly a výkonu

### Řezné podmínky, parametry dřeviny a nástroje:

Dřevina	SM	<u>NÁSTROJ</u>	
Vlhkost	$w = 30\%$	Úhel hřbetu $\alpha$	$\alpha = 25^\circ$
Výška řezu	$e = 300 \text{ mm}$	Úhel břitu $\beta$	$\beta = 50^\circ$
Čas řezání	$t = 1,5 \text{ h}$	Tloušťka pilového pásu	$s_1 = 1,4 \text{ mm}$
Posuv	$v_f = 18 \text{ mm min}^{-1}$	Rozpěchování zubu	$a_1 = 0,5 \text{ mm}$
Otáčky	$n = 600 \text{ min}^{-1}$	Rozteč zubů	$t_p = 50 \text{ mm}$
Průměr pásnice	$D = 1000 \text{ mm}$	Max. výkon pily	$P_{\max} = 30 \text{ kW}$

# Řešení

## *A. Výpočet kinematických závislostí*

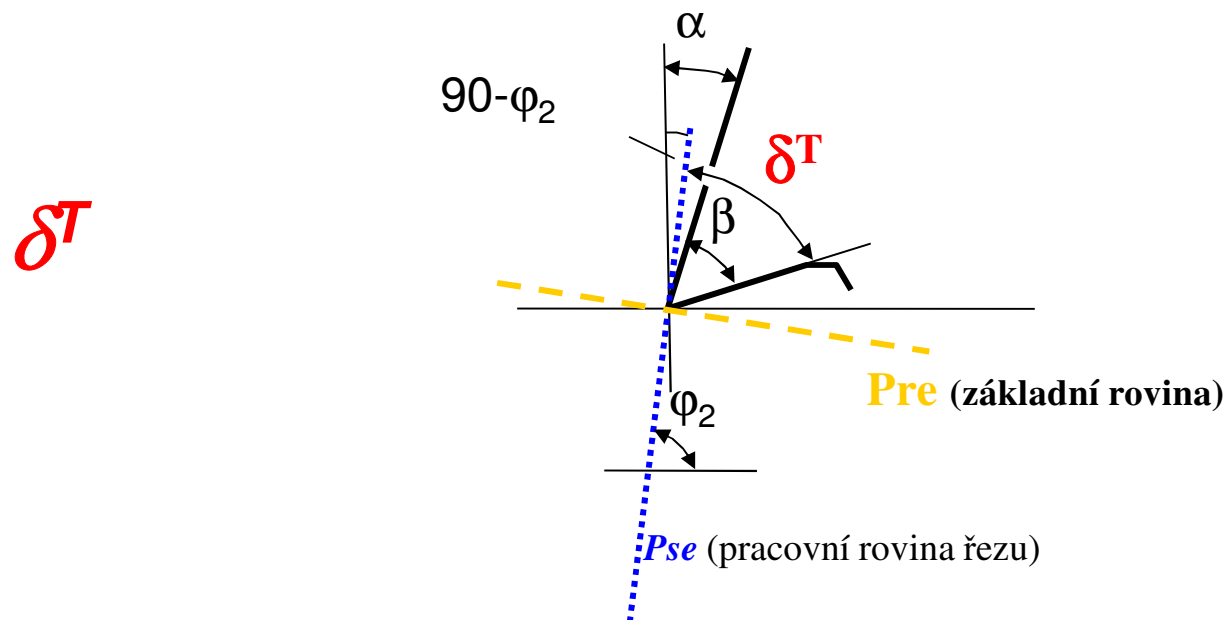
$\mathbf{v}_c$

$\varphi_2$

**$f_z$**

**$h$**

# *Transformace řezného úhlu*



## ***B. Výpočet řezné síly***

**Pro měrný řezný odpor - uzavřené řezání, pilový pás s pěchovanými zuby a makrotřísku  $h > 0,1$  mm platí vztah:**

$k_{>0,1}$  ... základní měrný řezný odpor pro „makrotřísku“  $h > 0,1$  mm

$a_p$  ... koeficient otupení ostří

$p$  ... parametr - jednotková měrná řezná síla vztažená na jednotkovou šířku obrobku ( $b = 1$  mm)

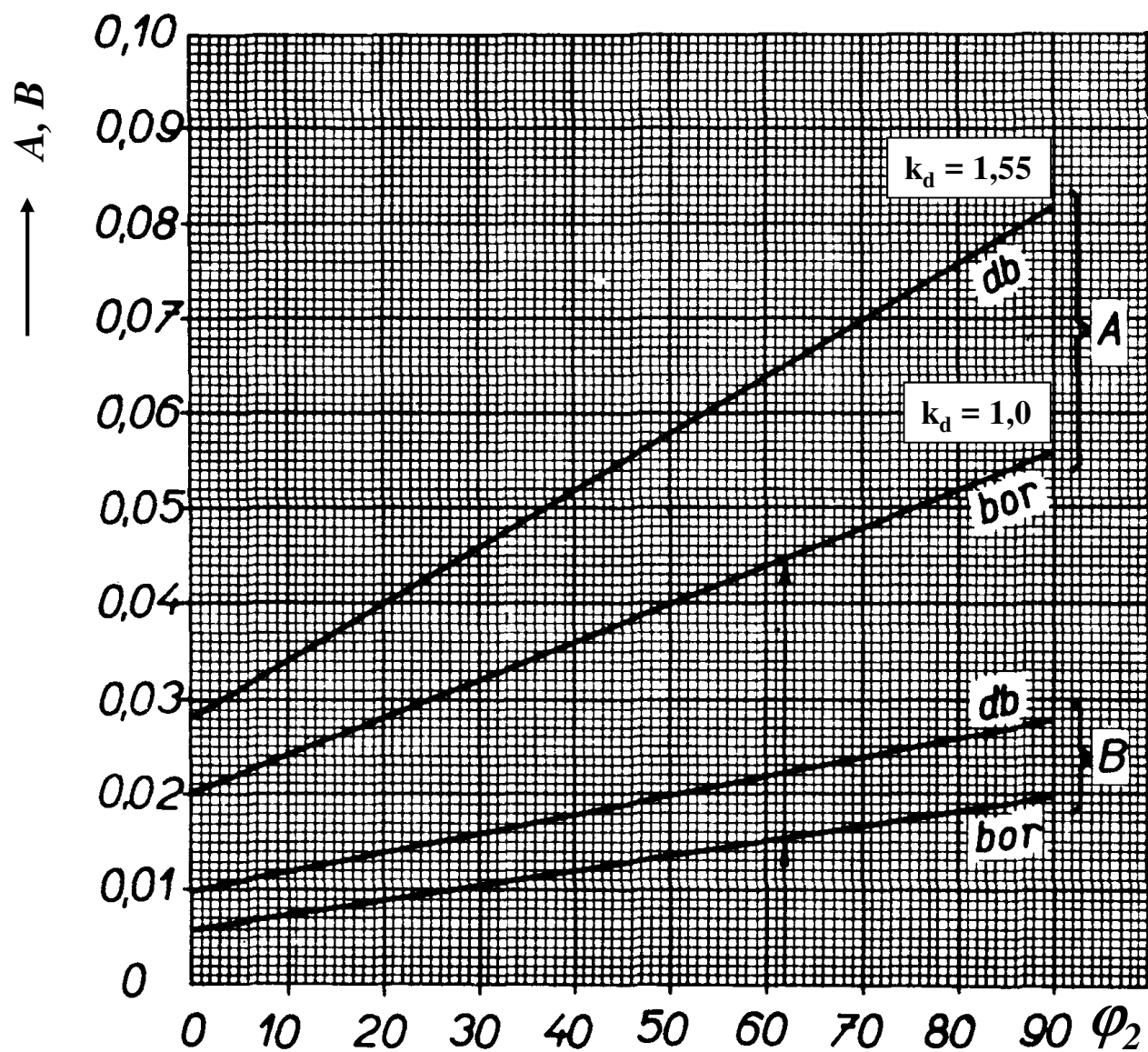
$h_{str}$  ... střední tloušťka třísky

$s_l$  ... tloušťka těla pilového listu, kotouče, pásu

$\xi$  ... jednotkový měrný řezný odpor potřebný k překonání tření bočního ostří (nástroje) v řezné spáře, současně je zde zahrnut způsob úpravy řezné části nástroje (např. zuby rozvedené  $\xi = 0,02$  daN/mm<sup>2</sup>, zuby pěchované, stelitované nebo ze slinutých karbidů  $\xi = 0,015$  daN/mm<sup>2</sup>)

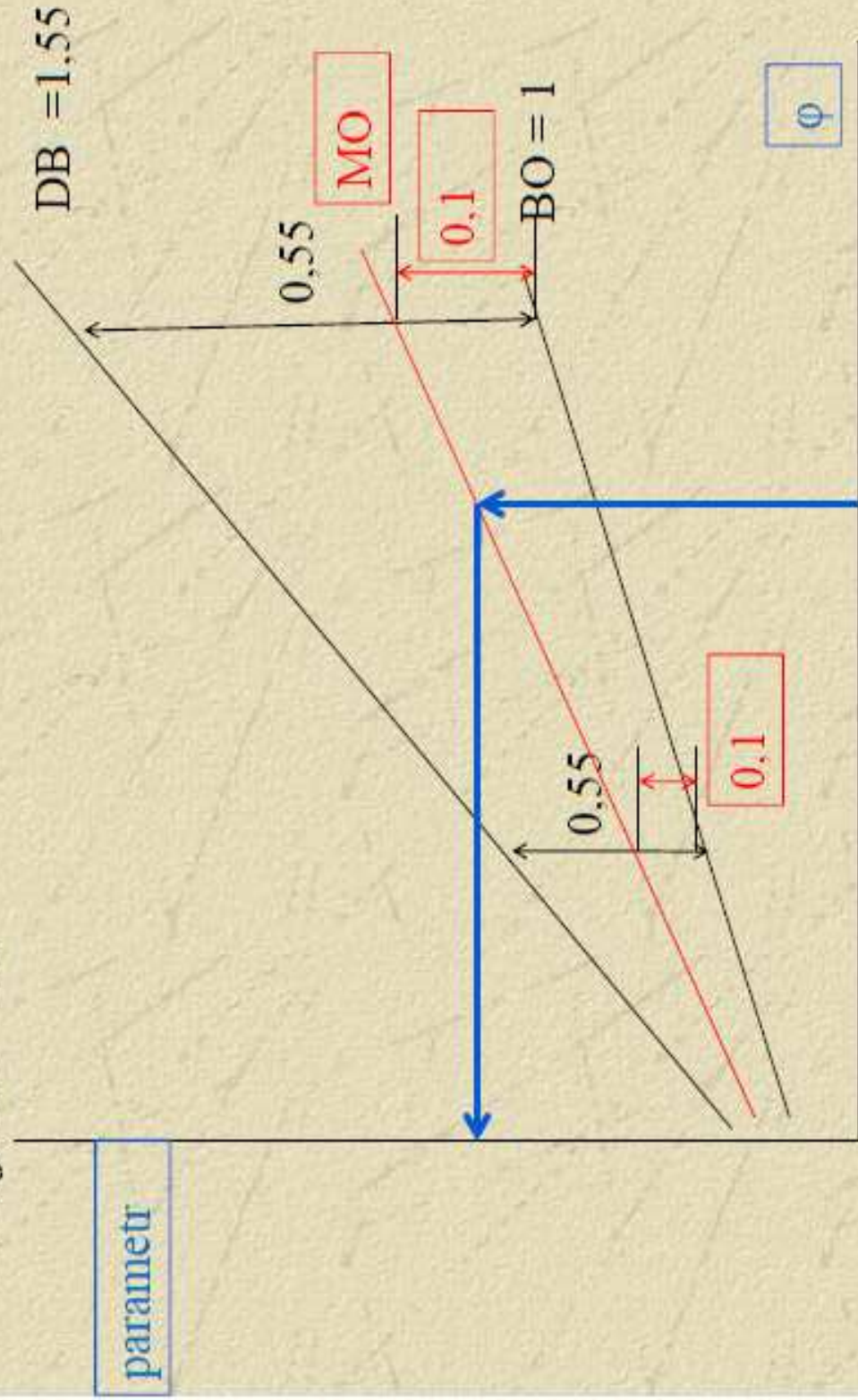
parametry  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $p$  experimentálně stanoveny pro obrábění borovice a dubu

# Určení parametrů $A$ a $B$

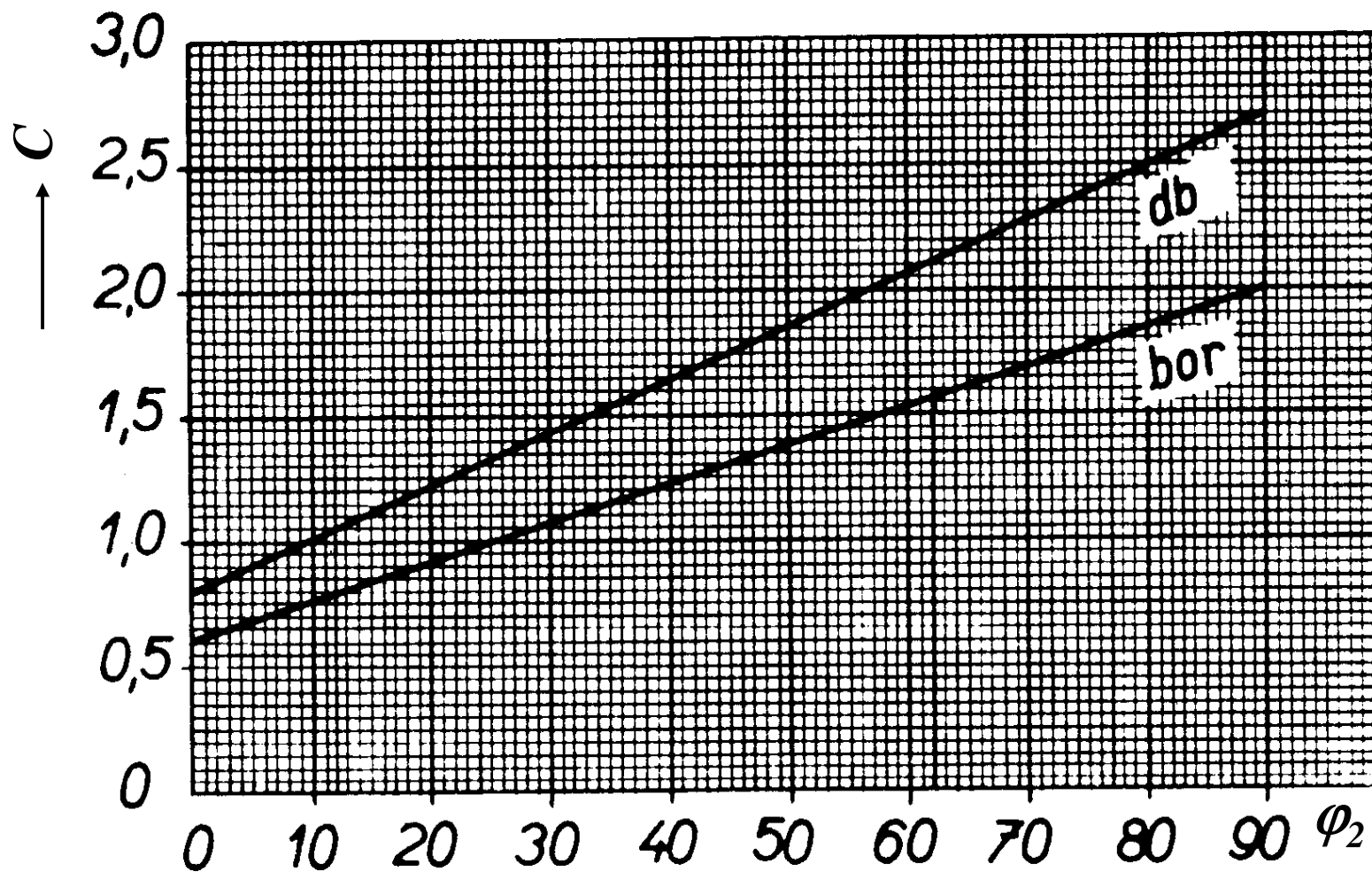


Princip práce s nomogramem pro modřín (MO)

$k_d(\text{MO}) = 1,1$

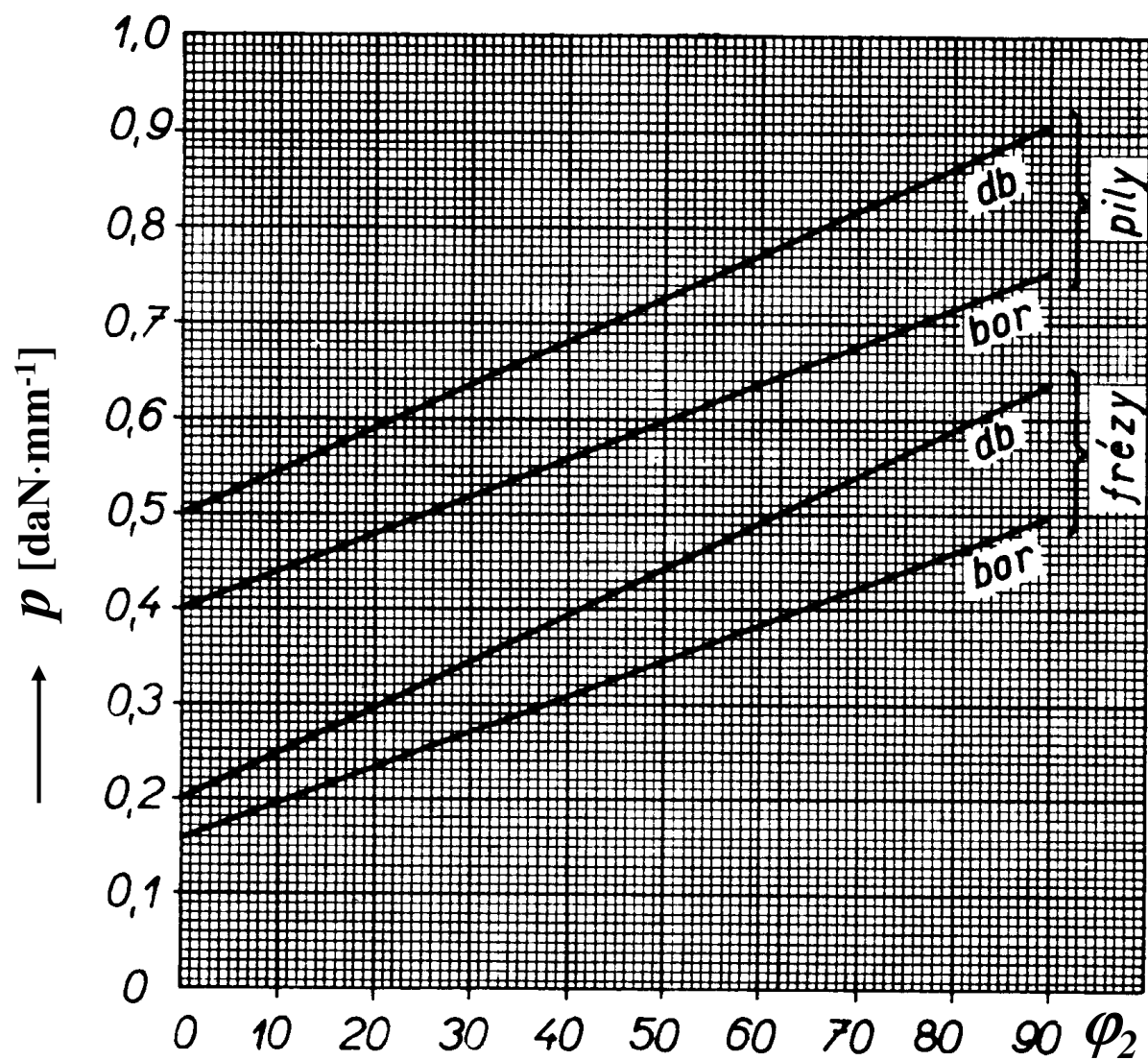


## Určení parametru $C$



Poznámka: Nomogram platí pro tloušťky třísky větší než  $h > 0,1\text{mm}$

# *Určení parametru $p$*



# ***Koeficient otupení ostří***

Dobře nabroušené pilové pásy mají počáteční poloměr ostří  $\rho_0 = 8\mu m$ .

***Řezná délka zubu:***

zvětšení zaoblení ostří  $\Delta\rho$  v závislosti na efektivní délce řezání  $L$  (po době frézování  $t = 2$  h) lze vypočítat podle vztahu

***Koeficient otupení:***

# Koeficient otupení

$$a_{\rho} = 1 + \frac{0,2 \cdot \Delta\rho}{\rho_0}$$

Kde:  $\Delta\rho$  zvětšení zaoblení ostří  
 $\rho_0$  počáteční zaoblení ostří  
 $\Delta\rho = \varepsilon \cdot L$  [μm]  
 Kde:  $\varepsilon$  opotřebení bříty na 1 m délky řezu (tab. 2-4)  
 $L$  celková délka řezu [m]

Opotřebení bříty na 1 m délky řezu  $\varepsilon$  [μm.m<sup>-1</sup>]  
 Uvedené hodnoty  $\varepsilon$  se vztahují k ocelím 85 ChF a ChVG (obdobné naše oceli ČSN 19 432 a 19 712). Při použití jiných ocelí je nutné vynásobit hodnoty  $\varepsilon$ : 2x - uhlíkové oceli  
 0,75 - oceli 9 ChS (ČSN 19 460)  
 0,6 - oceli 12 ChS (ČSN 19 436)  
 0,5 - oceli R 18 (ČSN 19 824)

Hodnoty pro SK plátky jsou závislé na druhu SK plátku a orientačně je možno brát hodnoty jako pro oceli R 18 (tzn. hodnotu v tabulce vynásobit 0,5 až 0,3).

Typ řezného nástroje	Dřevo měkké	Dřevo tvrdé
Listy rámových pil	0,0020	0,0026
Pilové pásy a kotouče	0,0010	0,0013
Frézovací nástroje	0,0008	0,0010
Soustružnické nože	0,0008	0,0010

# *Řezná síla a výkon*

$A = 0,0495$ $B = 0,01755$ $C = 1,78$ $p = 0,68$ $a_p = 1,252$ $h = 0,479 \text{ mm}$ $\xi = 0,015 \text{ daN/mm}^2$  $e = 300 \text{ mm}$ $b = 2,4 \text{ mm}$		$k_{>0,1} =$ $2,543 \text{ daNmm}^{-2}$       $k_c = 62,2 \text{ Nmm}^{-2}$
$v_f = 18 \text{ mmmin}^{-1}$  $v_c = 31,4 \text{ ms}^{-1}$		$F_c = 427,9 \text{ N}$     $P_c = 13,44 \text{ kW}$

# 5. Posuv při max. řezném výkonu pily

## Řezné podmínky, parametry dřeviny a nástroje:

Dřevina	SM	<u>NÁSTROJ</u>	
Vlhkost	w =30%	Úhel hřbetu $\alpha$	$\alpha = 25^\circ$
Výška řezu	e=300 mm	Úhel břitu $\beta$	$\beta = 50^\circ$
Čas řezání	t =1,5 h	Tloušťka pilového pásu	s <sub>1</sub> = 1,4 mm
Posuv	v <sub>f</sub> =18 mmmin <sup>-1</sup>	Rozpěchování zubu	a <sub>1</sub> 0,5mm
Otáčky	n=600 min <sup>-1</sup>	Rozteč zubů	t <sub>p</sub> = 50 mm
Průměr pásnice	D=1000 mm	Max. výkon pily	P <sub>max</sub> = 30 kW

$$P_{c_{\max}} = 30 \text{ kW}$$

$$k_c = 61,92 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$b = 2,4 \text{ mm}$$

$$e = 300 \text{ mm}$$

$$\varphi_2 \text{ pro } v_f = 40,4 \text{ mmin}^{-1}$$

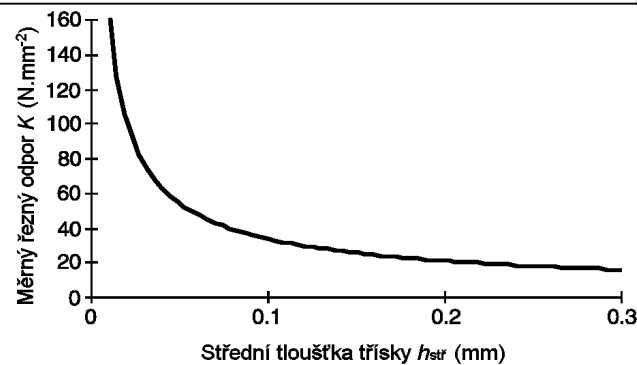
$$\varphi_2 = 88,8^\circ$$

*Posuv na zub*

*S rostoucím posuvem na zub roste tloušťka třísky*

*Experimentálně je dokázáno, že s rostoucí tloušťkou třísky klesá měrný řezný odpor*

*Z tohoto poznatku vyplývá, že v rámci daného výkonu bude možné ještě zvýšit posuv.*



$$v_{f_{\text{new}}} = 40,4 \text{ mmin}^{-1}$$

$$f_z = 1,071 \text{ mm}$$

$$h_{\max} = 1,07 \text{ mm}$$

$$P_{c_{\max}} = 30 \text{ kW}$$

$$v_{f_{\text{new}}} = 40,4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\varphi_2 = 88,8^\circ$$

$$\delta^T = 73,8^\circ$$

$$A = 0,0495$$

$$B = 0,01755$$

$$C = 1,78$$

$$p = 0,68$$

$$a_p = 1,252$$

$$h = 1,07 \text{ mm}$$

$$\xi = 0,015$$

$$\text{daN/mm}^2$$

$$e = 300 \text{ mm}$$

$$b = 2,4 \text{ mm}$$

### ***Pokles řezného odporu***

*Ze vztahu pro řezný výkon, lze vypočítat max. podávací rychlost*

**Poznámka:** Zvyšování posuvné rychlosti je limitováno zmenšováním úhlu hřbetu  $\alpha$ , dochází ke zvýšenému tření břitu o obrobek a zvyšování řezné síly.

**Pro praktické potřeby je stanoven poměr mezi podávací a řeznou rychlostí:**

**Pásové pily  $\lambda = 0,009$  až  $0,03$**

$$\lambda = \frac{v_f}{v_c} = \frac{48,8}{60 \cdot 34,1} = 0,024$$

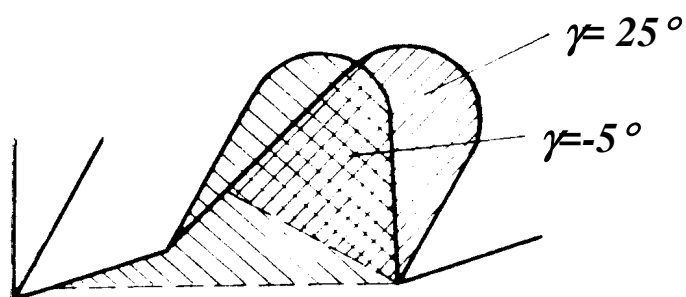
$$k_c = 51,25 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$v_{f_{\max}} = 48,8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

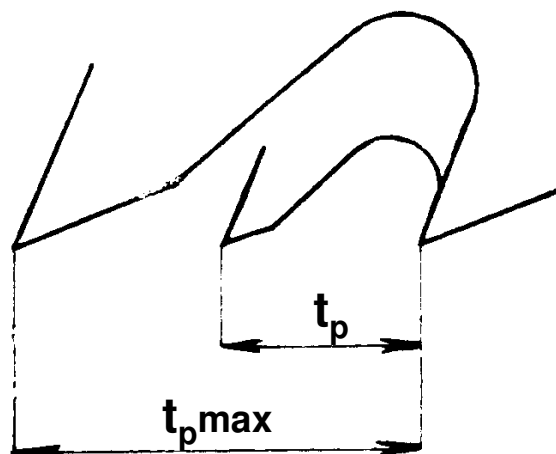
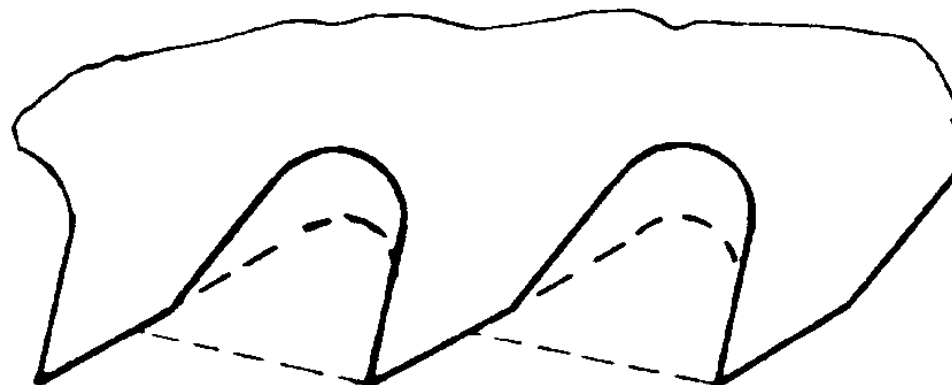
**vyhovuje**

## 6. Určení velikosti posuvu podle velikosti zubové mezery

Plocha zubové mezery je dána geometrickým tvarem nástroje – vliv velikosti úhlu čela je zobrazen na obrázku

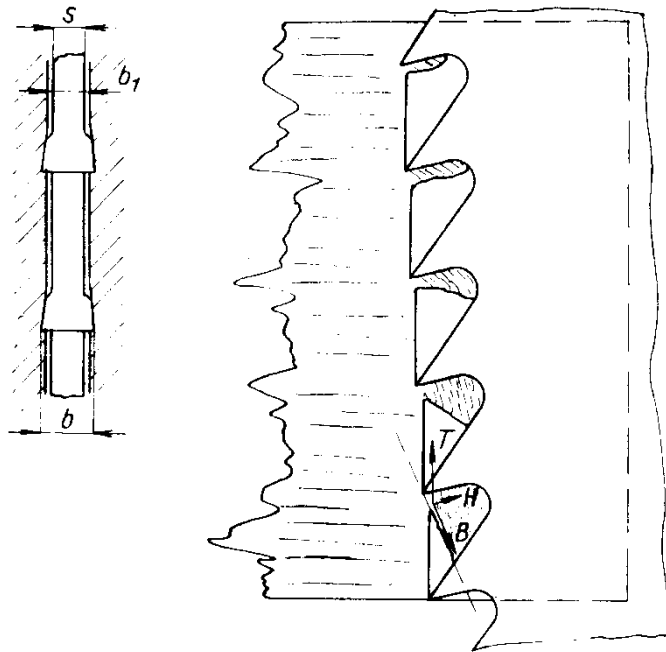


Je známo, že zuby s vlčím ozubením a lomeným hřbetem mají podstatně větší zubovou mezeru než zuby trojúhelníkové



Vliv rozteče zubů

# Stlačování piliny v zubové mezeře



Každý zub odřeže pilinu o určitém objemu dřevní hmoty, která se ukládá v zubové mezeře. Je zřejmé, že objem dřevní hmoty přeměněné v piliny je větší než objem rostlé dřevní hmoty. Praktické řezání probíhá nejčastěji se stlačováním piliny v zubové mezeře, předpokládá se:

$$f_z \cdot e = \frac{S_z}{k_z}$$

$k_z$ ... součinitel stlačení piliny (tríscky) v zubové mezeře  
 pro měkké dřeviny 1,5  
 pro tvrdé dřeviny 2,0 až 2,2

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = \frac{S_z}{k_z \cdot e} \cdot n \cdot \frac{\pi \cdot D}{t_p} = \frac{S_z}{k_z \cdot e} \cdot \frac{v_c}{t_p}$$

**platí pro pásové a kotoučové pily**

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = \frac{S_z}{k_z \cdot e} \cdot n \cdot \frac{H}{t_p}$$

**platí pro rámové pily**

# ***Koeficient plochy***

Plocha zubové mezery je určována z geometrického tvaru řezného nástroje výpočtem (rozklad na jednoduché geometrické obrazce) nebo bývá udávána jako jeden z parametrů konkrétního řezného nástroje, popřípadě jinou metodou pro zjišťování nepravidelných ploch (planimetrickou, ...).

***Plocha zubové mezery  $S_z$  může být také zjištěna z empirických vztahů (např. podle Beršadského):***

**Objem zubové mezery**

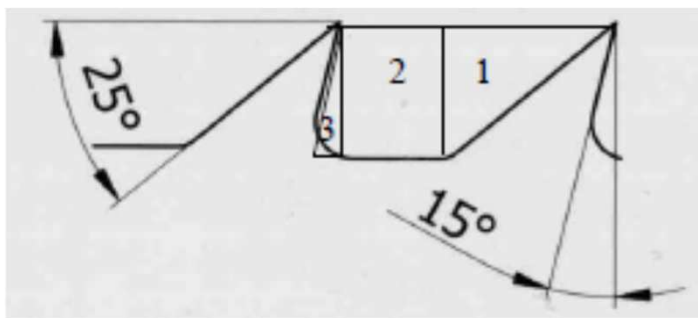
$$V_z = S_z \cdot b$$

$$S_z = \vartheta \cdot t_p^2$$

$\vartheta$ ... koeficient plochy mezery zubu (charakteristika profilu)- viz. tabulka, vyjadřuje jakou částí je uvažovaná plocha mezery  $S_z$  z plochy čtverce nad roztečí  $t_p$

Pilové listy RP s pěchovanými zuby	0,4 – 0,5
Pilové listy RP s rozvedenými zuby	0,5
Pilové kotouče pro podélné řezání	0,25 – 0,35
Pásky rozmítacích pil	0,12 – 0,15
Úzké pilové pásky truhlářských pil	0,25 – 0,3

# Výpočet



**Z geometrie:**

**Z geometrie zubové mezery platí:**

**Z empirického vztahu:**

**Podle Beršadského platí:**

$$S_z = \vartheta \cdot t_p^2 = 0,15 \cdot 50^2 = 375 \text{ mm}^2$$

$\vartheta$ ... koeficient plochy mezery zubu (charakteristika profilu)- viz. tabulka, vyjadřuje jakou částí je uvažovaná plocha mezery  $S_z$  z plochy čtverce nad roztečí  $t_p$  (pro rozmítací pily  $t_p = 0,15$ )

$h_z$  ... výška zubu 14 mm

$t_p$  ... rozteč mezi zuby 50 mm

$k_z$ ... součinitel stlačení piliny (tríska) v zubové mezeře (pro měkké dřeviny 1,5, tvrdé 2,0 až 2,2)

**Max. využitelná rychlost  $v_{f2} = 43,2 \text{ mmin}^{-1}$**

# 7. Určení minimálního posuvu z hlediska otupení

Velikost poloměru otupení  $\rho$  po době řezání  $t = 1,5$  h:

$\rho_0$  ... počáteční poloměr zaoblení ostří nabroušených zubů

Min. tloušťka třísky (předpoklad, že zub bude odřezávat třísku):

$$h_m = 2 \cdot \rho = 2 \cdot 0,019 = 0,038 \text{ mm}$$

Min. posuv na zub:

Min. rychlost posuvu:

### **Závěr analýzy řezného procesu**

<b>Zadaný posuv</b>	<b><math>v_{fo} = 18 \text{ mmin}^{-1}</math></b>
<b>Řezný výkon pro zdané parametry</b>	<b><math>P_c = 13,4 \text{ kW}</math></b>
<b>Posuv z hlediska řezného výkonu, který je k dispozici</b>	<b><math>v_{fmax} = 48,8 \text{ mmin}^{-1}</math></b>
<b>Posuv z hlediska zubové mezery</b>	<b><math>v_{fmax} = 43,2 \text{ mmin}^{-1}</math></b>
<b>Minimální posuv (z hlediska otupení)</b>	<b><math>v_{fmin} = 1,4 \text{ mmin}^{-1}</math></b>

Děkuji za pozornost