

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta



Kinematika strojního obrábění

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

Obsah přednášky

- 1. Kinematika řezání kotoučovými pilami**
- 2. Kinematika řezání pásovými pilami**
- 3. Kinematika řezání rámovými pilami**
- 4. Kinematika válcového frézování**

1. Kinematika řezání kotoučovými pilami

Kotoučová pila pro příčné a podélně řezání dřeva



HOSPODÁŘSKÁ
VÍCEÚČELOVÁ PILA
HVP 60 A - tzv.cirkulárka

Je určena pro potřeby stavebních podniků, skladů palivového dříví, pro běžné použití při zpracování dřeva v domácnostech a na chatách.

Max. průměr kotouče 600 mm

Max. výška řezu na stole 180 mm

Max.průměr řezaného dřeva na kolébce 220 mm

Otáčky vřetene 1700 min⁻¹

Příkon motoru 5,5 kW

<http://www.pilanamarket.cz/stroje-elektronaradi/hospodarska-viceucelova-pila-hvp-60a-cirkularka-5-5-kw/>

Horizontální pila



Horizontální kotoučová pila KP58

Podélné řezání kmenů dvojicí horizontálních pilových kotoučů (průměru 450, 500, 550, nebo 700 mm) pro výrobu přesného hraněného řeziva (hranoly, hraněná prkna) z kulatiny do průměru 600 mm při otáčení kulatiny po řezu (při výrobě hraněných výřezů - maximální výřez 450 x 450 mm), resp. 450 mm bez otáčení kulatiny (při výrobě nehraněných výřezů). Nejčastější využití - výroba stavebního řeziva.

<http://www.strojcad.cz/>

Úhlová pila



Pila DKP6 - využívá poslední nejmodernější konstrukční provedení pravoúhlého řezného mechanismu s dvěma navzájem kolmými pilovými kotouči. Pila řáže podle počítačem řízeného schématu s max. výtěžností.

$P = 2 \times 22 \text{ kW}$

$D_k = 400 \text{ až } 550 \text{ mm}$

$n = 2900 \text{ min}^{-1}$

$v_f = 3 \text{ až } 90 \text{ m.min}^{-1}$

Max. průměr kulatiny 1 m

Max. velikost výřezu 210 x 210 mm

Směnový výkon 1,3 až 2 m³ za hod.

Rozmítací pila



Pila PWR 422 - podélné řezání dřevěných lišt, hranolků, latí z neomítaného nehoblovaného řeziva.

Stroj je kompaktní konstrukce řešené pro středně těžké provoz.

$D_k = 300$ až 400 mm
 $n = 3800 \text{ min}^{-1}$
 $v_f = 4$ až 40 m.min^{-1}
výška řezu min/max $20/250$ mm
šířka vkládaného dílu 870 mm
výkon 2×75 kW



<http://www.tossvitavy.com/pdf/pwr402412422czru.pdf>

Zkracovací pila



Průměr kotouče 400mm
Max. průřez 120x120 mm
Výkon hlavního
elektromotoru 5,5 kW
Minimální krácená délka
dílce na narážku 150mm

Pila PWK 40 je vhodná pro sériovou výrobu – zkracování trámů, fošen a prken.

Výrobě palet, podlážek, oken, hraček apod.

Posun materiálu válečkovými dopravníky.

Řez je čistý, kolmý a řezané polotovary jsou délkově přesné.

Možnost zařezávat materiál na více délkových rozměrů pomocí stavitelných sklopných dorazů.

Vysoká produktivita práce.

<http://www.tossvitavy.com/index.php/drevostroje/zkracovaci-pily>

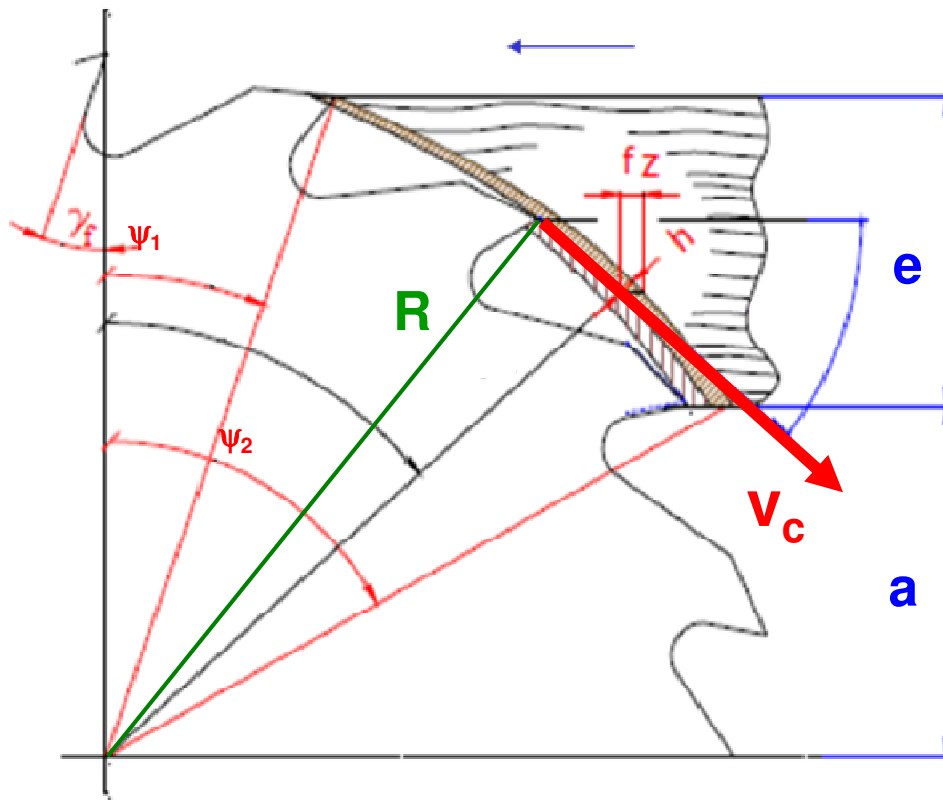
Formátovací pila



Formátovací pila SCM **SI 550 EP CLASS**:

- přesné dělení velkoplošných a laminovaných materiálů
- umožňuje řezání pod úhly 0-60 stupňů,
- podélné dělení dle podélného pravítka s mikroposuvem,
- omítání řeziva a úhlové řezání s naklopenými kotouči 0-45 stupňů.
- silnostěnný profil formátovacího stolu z lehkých slitin vyniká vysokou tuhostí a uložením na ložiskovém valivém vedení a kalených broušených tyčích zaručuje lehký pojezd a přesnost $\pm 0,04$ mm
- elektronický programátor: řízení 2 os – zvedání a naklápění pilového kotouče

Řezná rychlost



$$v_c = \omega \cdot R = \pi \cdot D \cdot n \quad [m \cdot s^{-1}]$$

ω - úhlová rychlost (rad/s),
 R, D - poloměr a průměr kotouče (m),
 n - otáčky pilového kotouče (min^{-1}).

ψ_1 - vstupní úhel pilového kotouče ($^\circ$),
 ψ_2 - výstupní úhel pilového kotouče ($^\circ$),
 e - řezná výška (tloušťka obrobku) (m),
 a - vzdálenost obrobku od osy rotace kotouče (m),
 h - tloušťka třísky (m),
 f_z - posuv na zub (m).

Volba řezné rychlosti

V praxi se používá řezná rychlost v rozsahu $v_c = 40$ až 90 m/s.

Při příčném i podélném řezání jehličnatých i listnatých dřevin $v_c = 40$ až 55 m/s.

Rozmítání řeziva (vícekotoučové rozmítací pily) $v_c = 65$ až 90 m/s.

Formátování aglomerovaných materiálů $v_c = 70$ až 90 m/s.

Výhody zvyšování řezné rychlosti:

Při daných rozměrech a ozubení pilového kotouče lze zvyšováním řezné rychlosti (počtu otáček) volit **větší minutový posuv** při témže posuvu na zub a tedy při téže jakosti řezné spáry zvyšovat produktivitu řezání.

Při větší rychlosti otáčení pilového kotouče se snižují axiální výchylky (amplitudy vibrací) pilového kotouče \Rightarrow **lepší kvalita řezné spáry**.

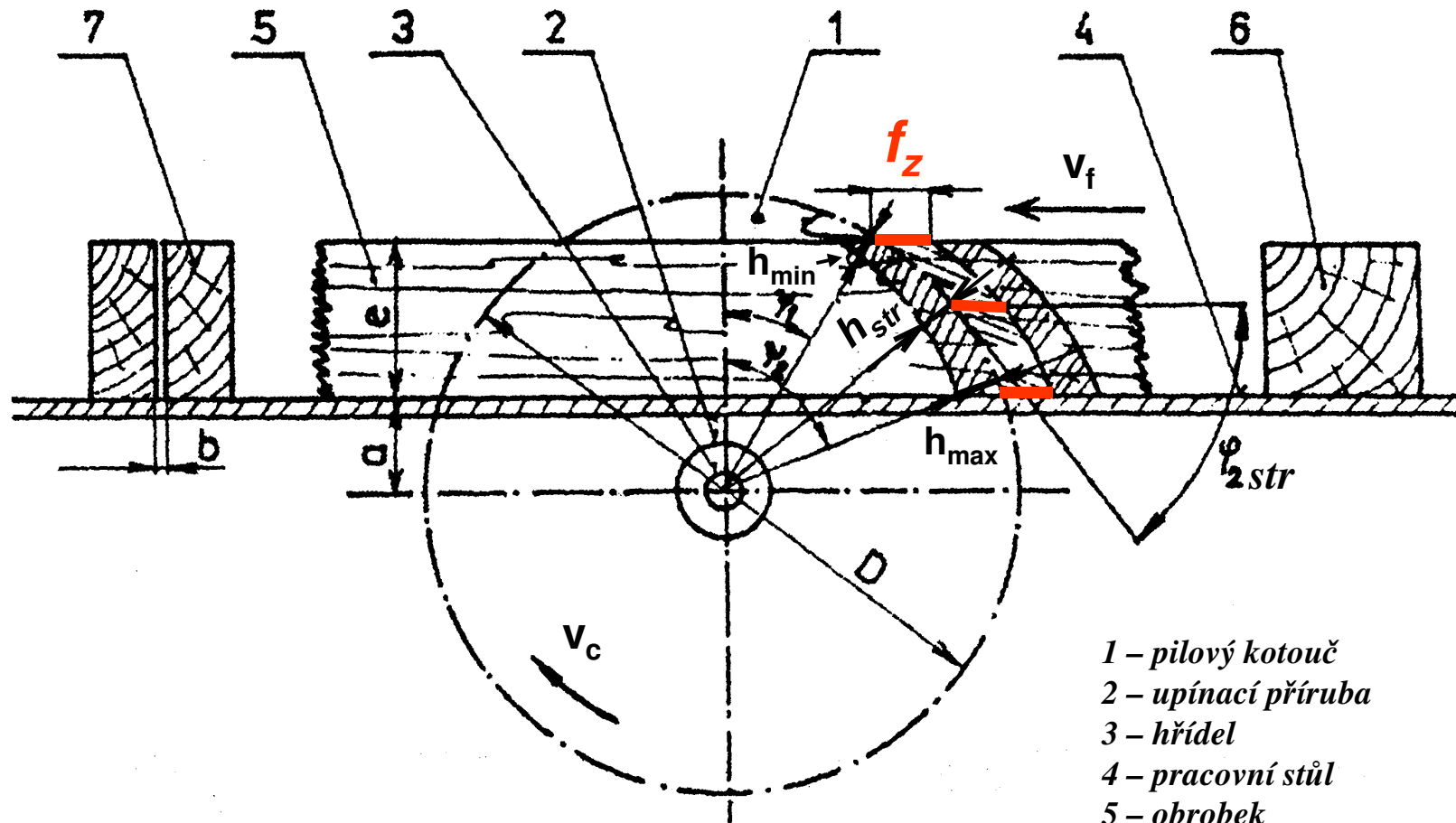
Malým posuvem na zub lze eliminovat chyby v přípravě a upnutí pilového kotouče.

Nevýhody:

Při zvyšování otáček a témže minutovém posuvu - **zuby se rychleji opotřebují** \Rightarrow větší řezná délka třísky odebraná jedním zubem na určitou délku obrobku.

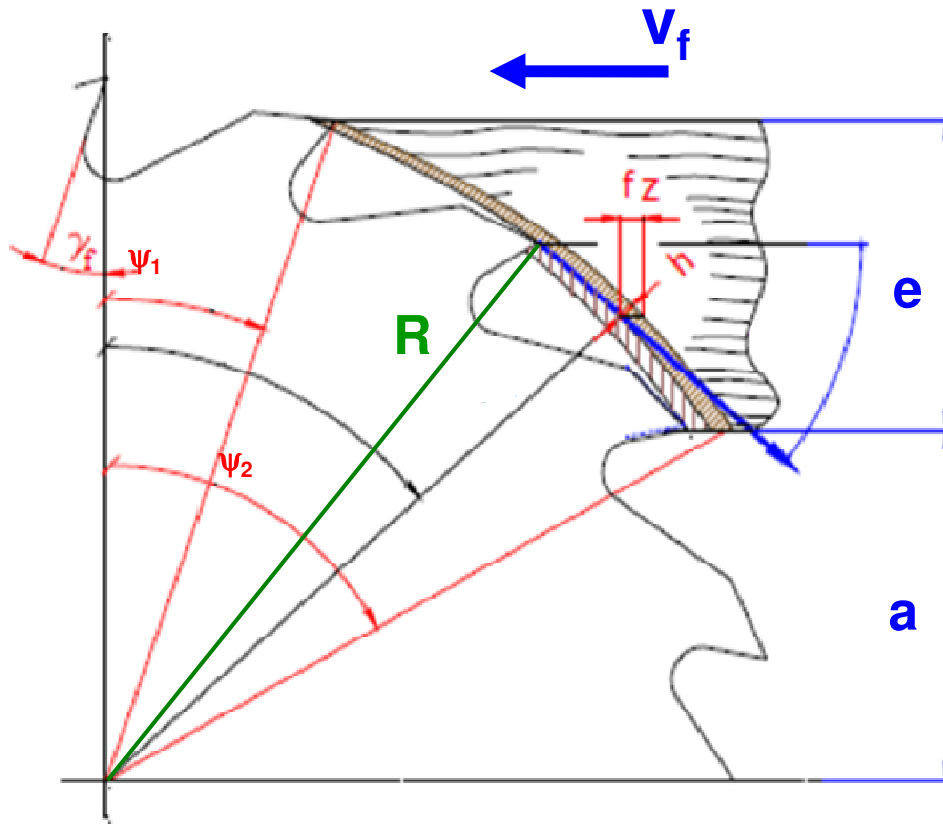
Zvyšuje se hlučnost a prašnost při řezání.

Posuv na zub



- 1 – pilový kotouč
- 2 – upínací příruba
- 3 – hřídel
- 4 – pracovní stůl
- 5 – obrobek
- 6 – obrobek před řezem
- 7 – obrobek po řezu
- h_{str} – střední tloušťka třísky

Podávací rychlost a posuv na zub



ψ_1 - vstupní úhel pilového kotouče ($^\circ$),
 ψ_2 - výstupní úhel pilového kotouče ($^\circ$),
 e - řezná výška (tloušťka obrobku) (m),
 a - vzdálenost obrobku od osy rotace kotouče (m),
 h - tloušťka třísky (m).

Podávací rychlost obrobku:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad [mmin^{-1}]$$

f_z – posuv na zub (m),
 z – počet zubů pilového kotouče,
 $f_z \cdot z$ – minutový posuv obrobku (posuv na 1 otáčku)
 n – otáčky pilového kotouče (min^{-1}).

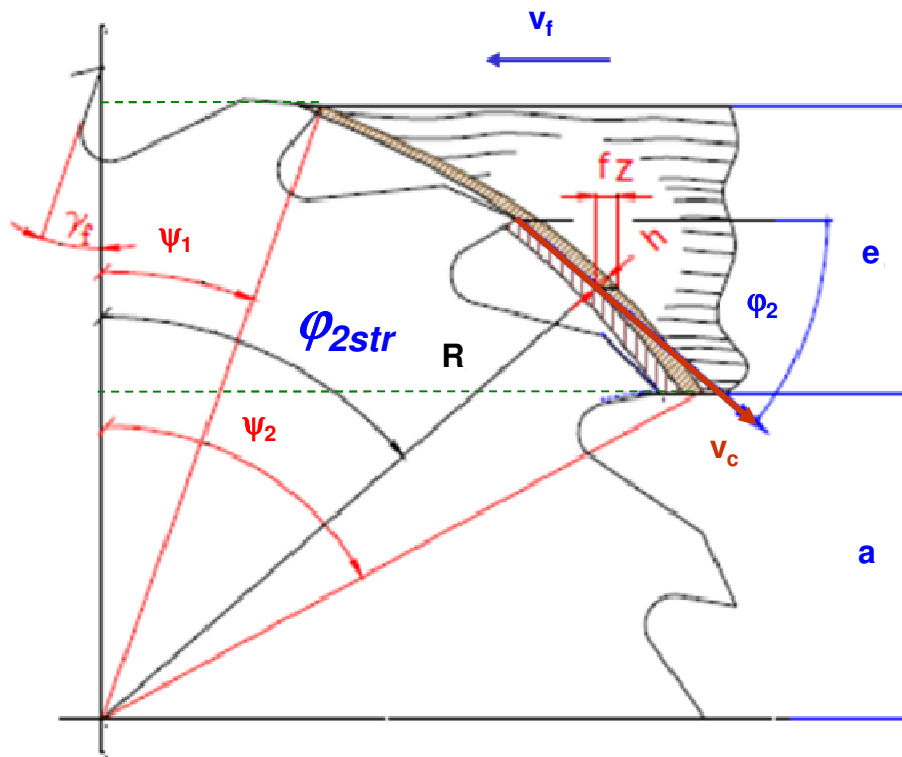
$$v_f = 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n = 3600 \text{ min}^{-1}$$

$$z = 20$$

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} = \frac{12000}{3600 \cdot 20} = 0,17 \text{ mm}$$

Střední úhel přerézávání vláken

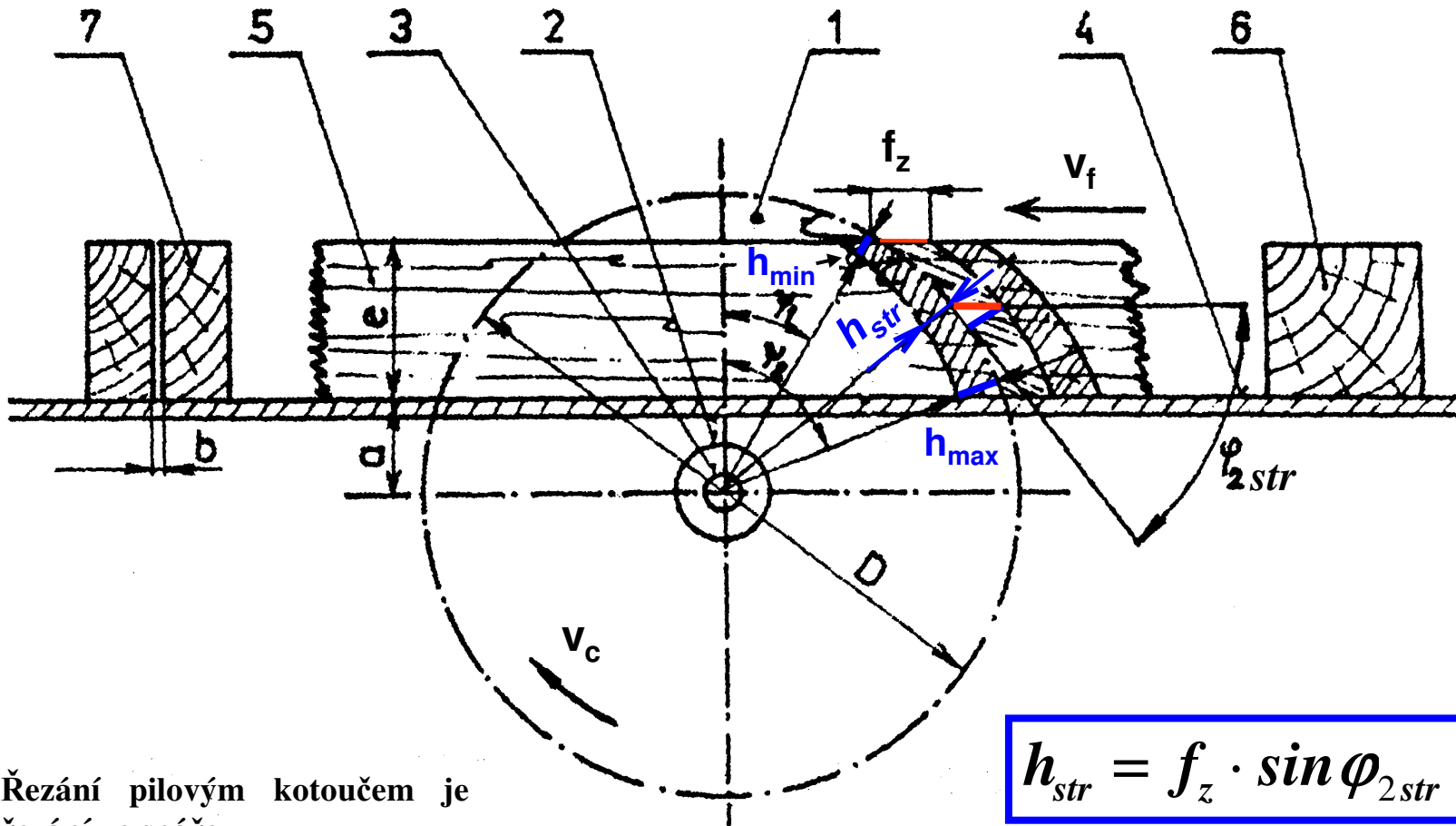


$$\psi_1 = \arccos\left(\frac{a+e}{R}\right)$$

$$\psi_2 = \arccos\left(\frac{a}{R}\right)$$

$$\varphi_{2str} = \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}$$

Střední tloušťka třísky



Řezání pilovým kotoučem je řezání ve spáře.

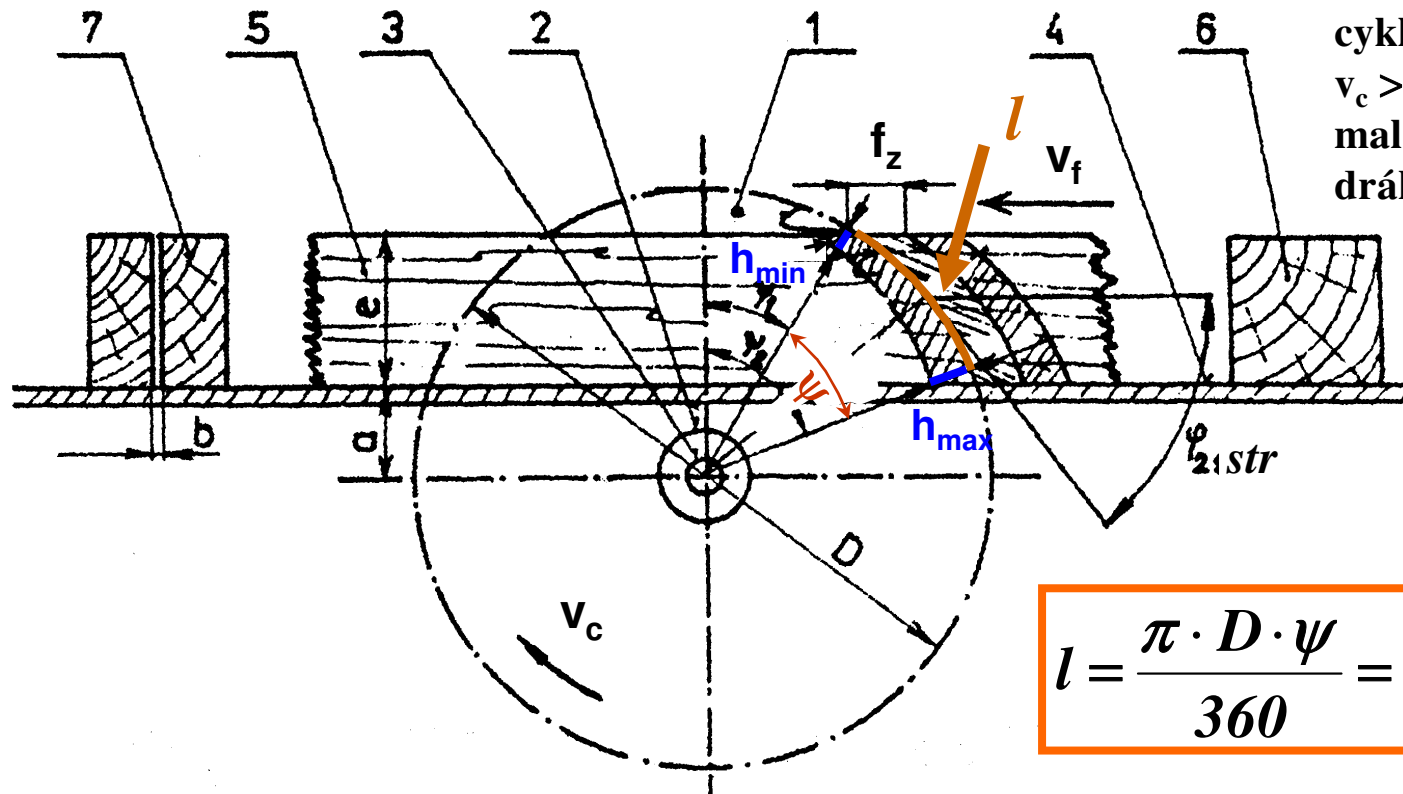
Vznikající tříska má nerovnoměrnou tloušťku \Rightarrow jedná se tedy o složité řezání.

$$h_{str} = f_z \cdot \sin \varphi_{2str}$$

Střední úhel přerézávání vláken

$$\varphi_{2str} = (\psi_1 + \psi_2)/2$$

Délka záběru zubu (délka třísky)



Dráha zubu v obrobku je cykloidní, ovšem při $v_c \gg v_f$ můžeme s velmi malou chybou uvažovat dráhu kruhovou.

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot \psi}{360} = 0,0175 \cdot R \cdot \psi$$

Celková řezná délka zubu pro určitou délku obrobku l_o :

$$L = \frac{l_o}{f_z \cdot z} \cdot l = \frac{l_o}{f_n} \cdot l$$

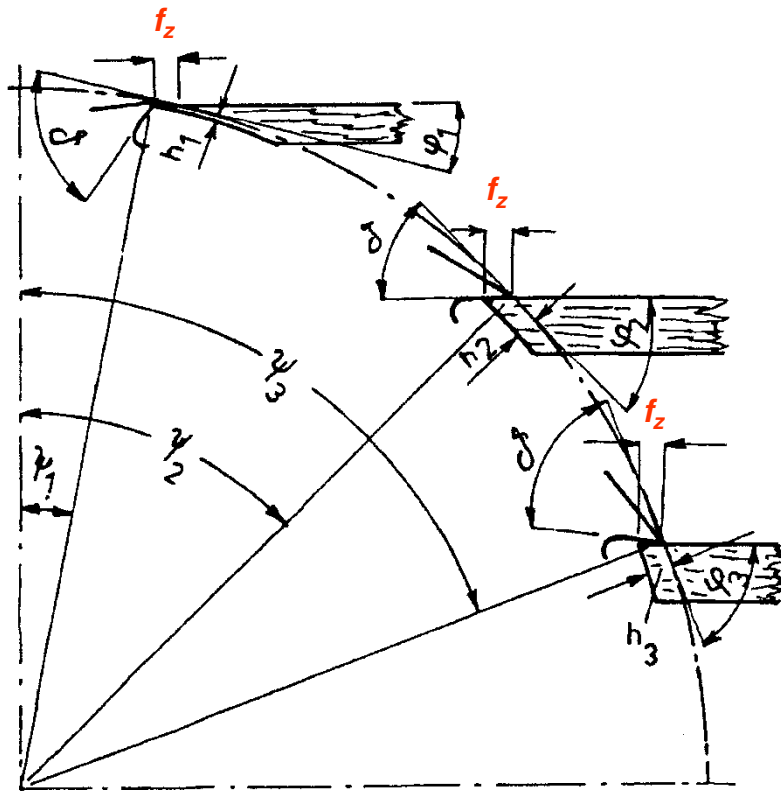
l – délka záběru jednoho zubu (při výpočtu uvažujeme kruhový oblouk)

ψ – úhel záběru ($\psi = \psi_2 - \psi_1$)

l_o – délka obrobku (dílce) (mm)

f_n – posuv na jednu otáčku kotouče (minutový posuv) (mm)

Přesah pilového kotouče nad obrobkem



Při malém přesahu PK se zmenšuje úhel přerézávání vláken a tloušťka třísky, současně se zvětšuje úhel záběru a délka třísky.

Výhoda – útlum axiálních vychylek pilového kotouče (větší část pilového kotouče je kryta obrobkem lepší kvalita řezné spáry – použití zejména u formátovacích pil (výrobce předepisuje přesah cca 3 zubů kotouče nad povrchem kotouče).

Nevýhoda - Při dlouhé dráze zubu v obrobku se ostří zubu rychleji opotřebuje (problém formátovacích pil).

Kontrolní příklad na kinematické prvky



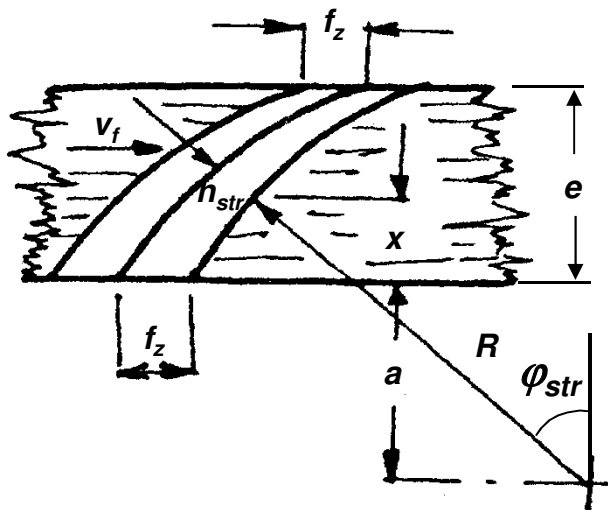
Dáno:

průměr pilového kotouče $D = 350 \text{ mm}$,
počet zubů $z = 28$,
otáčky $n = 2940 \text{ min}^{-1}$,
vychýlení zubu $s_1 = 0,55 \text{ mm}$,
výška zubu $h = 10,5 \text{ mm}$,
podávací rychlost $v_f = 5,6 \text{ m.min}^{-1}$,
nastavení obrobku vůči ose pilového
kotouče $a = 65 \text{ mm}$ a $x = 32,5 \text{ mm}$,
řezná výška $e = 32 \text{ mm}$
délka řeziva $l_0 = 1000 \text{ m}$.

Vypočtěte:

řeznou rychlost v_c
střední úhel přerézávání vláken φ_{str}
posuv na zub f_z
střední tloušťku třísky h_{str}
délku třísky l
řeznou délku zubu L

Hloubka rýhování - teoretický model

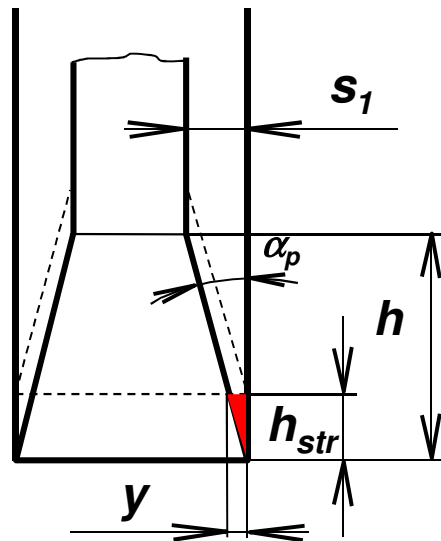


Z pravoúhlých trojúhelníků platí

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{s_1}{h} = \frac{y}{h_{str}}$$

odtud

$$y = \frac{s_1}{h} \cdot h_{str} = \frac{s_1}{h} \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{str}$$



**Teoretická hloubka rýhování povrchu
trapézovým zubem**

$$y = \frac{s_1}{h} \cdot \frac{v_f}{n \cdot z} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{a + x}{R} \right)^2}$$

s využitím

$$\sin \varphi_{str} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{str}}$$

$$\cos^2 \varphi_{str} = \left(\frac{a + x}{R} \right)^2$$

Doporučené posuvy - jehličnany

Tabulka 14.1. Posuvy na břit u_z a jim odpovídající drsnosti povrchu R_{max} při různých úhlech styku φ

Posuv u_z (mm) při zubech		Drsnost R_{\max} (mikrometrů) při úhlu styku φ					
rozve- dených	pécho- vaných	20°	30°	40°	50°	60°	70°
> 1,2	1,5	800—1250					
≥ 1,0	1,3	500—800				800—1 250	
≥ 0,8	1,1	320—500				500—800	
≥ 0,5	0,75	320—500					
≥ 0,3	0,45	200—320				320—500	
≥ 0,2	0,3	200—315				320—500	
		60—100				100—200	
≥ 0,1	0,15	100—200				200—320	
		32—60				60—100	
< 0,1	0,15	60—100				200—320	
		16—32				32—60	

Poznámka: Tam, kde jsou uvedeny hodnoty ve tvaru zlomku, jsou v čitateli údaje pro rozvedené a péchované zuby, ve jmenovateli údaje pro podbroušené (hoblovací) kotouče. Poloměr zaoblení břitu otupením se povoluje nejvýše 60 mikrometrů.

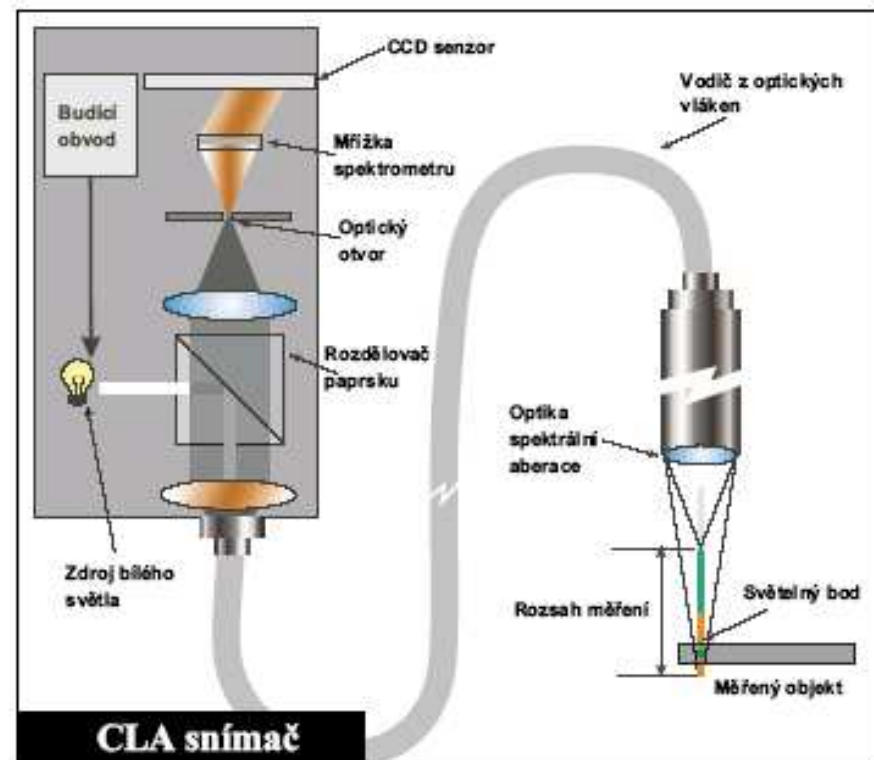
Poznámka: Při řezání tvrdých dřevin se doporučuje posuv nejvýše $f_z = 0,5$ mm, při malém úhlu přerézávání vláken. Při příčném řezání jehličnatého dřeva se doporučuje posuv $f_z = 0,075$ až 0,1 mm, u tvrdého dřeva hodnoty asi poloviční. (podle Prokeš, 1978)

Topografická metoda snímání povrchu řezné spáry

TALYSURF CLI 1000



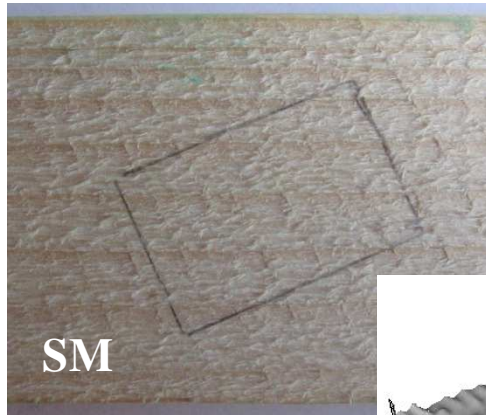
Confokální CLA snímač
(Chromatic Length Aberration)



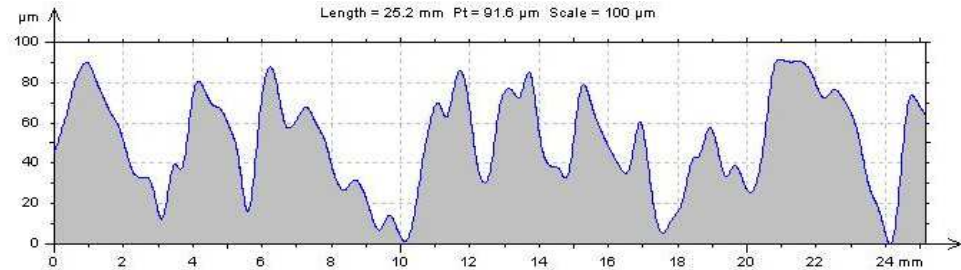
- ❑ **CLA 300** – rozsah v ose Z 300 μm , citlivost 10 nm, frekvence snímače 2000 Hz, krok měření 0,5 μm
- ❑ **CLA 800** – 800 μm , citlivost 30 nm

Experiment - řezání smrku

$P_t = 91,6 \mu\text{m}$

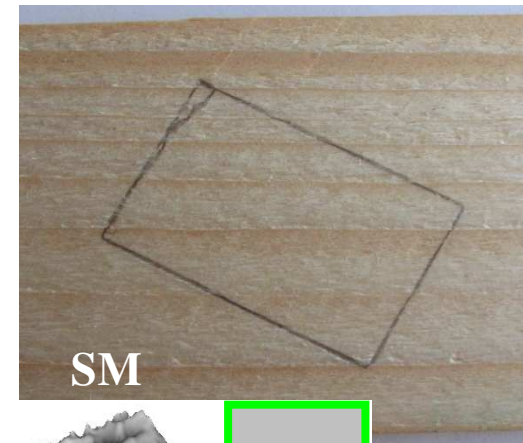
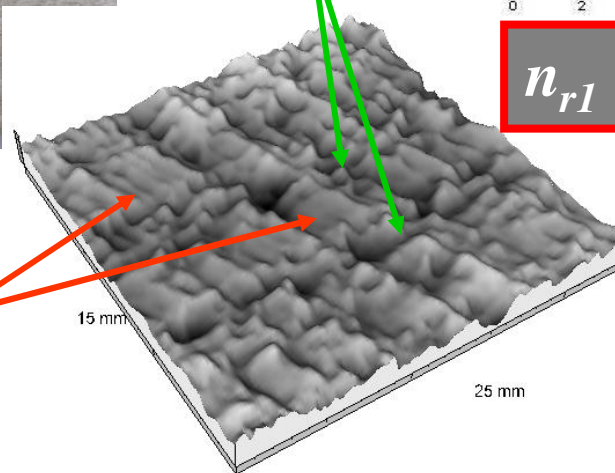


Letokruhy



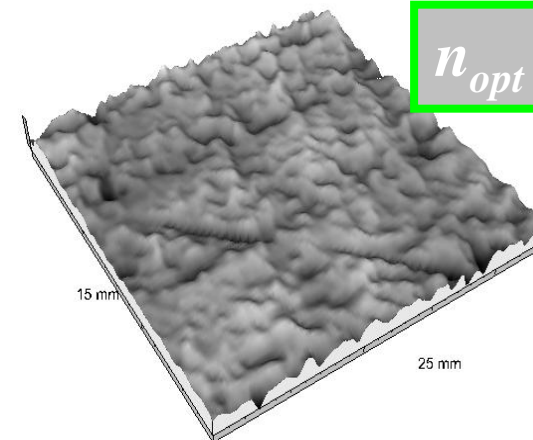
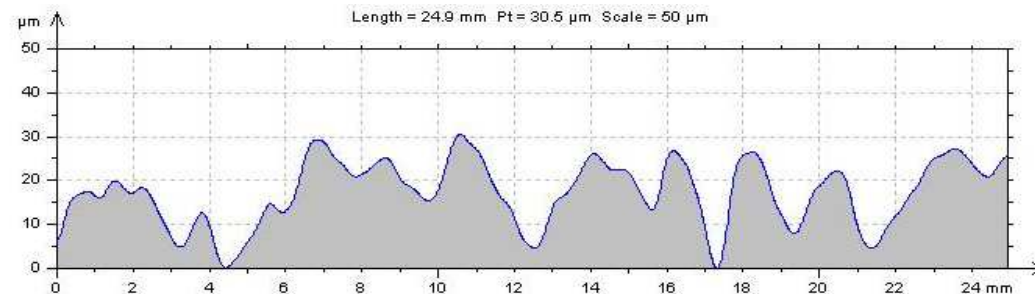
n_{r1}

Stopy po
zubech
kotouče



n_{opt}

$P_t = 30,5 \mu\text{m}$



2. Kinematika řezání pásovými pilami

Truhlářská 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.

Holzcraft® Pásová pila na dřevo HBS 633 S



- S laserovým ukazatelem linie řezu
- Stabilní konstrukce z oceli a šedé litiny
- Tichý a přesný chod díky konstrukci stroje odolné vůči zkroucení
- Setrvačníky z šedé litiny se speciální povrchovou vrstvou na styčných plochách
- Boční kontrolní okénko ke kontrole chodu pilového pásu
- Přední kontrolní okénko pro ukazatel napnutí pilového pásu
- Rychlé upínání pilového listu pomocí výstředníkové páky
- Přesné vedení pilového pásu nahoře a dole
- Rychlé přestavení výšky řezu pomocí otočného knoflíku a ozubené tyče s milimetrovou stupnicí
- Velký hliníkový rovnoběžný doraz s výstředníkovým rychlým upínáním a lupou
- Bezpečnostní spínač pro automatické vypnutí při otevření dveří



Vertikální kmenová pásová pila



Technicko- technologické parametry kmenové pásové pily:

Průměr pásnice –
1400 až 1800 mm

Řezná rychlost

v_c 0 až 40 m·s⁻¹

Podávací rychlost

v_f 0 až 120 m·min⁻¹

Zpětný chod

až 210 m·min⁻¹

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=5UYuMTltBh0&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=ZI-wcB6ITSk>

Horizontální kmenová pásová pila

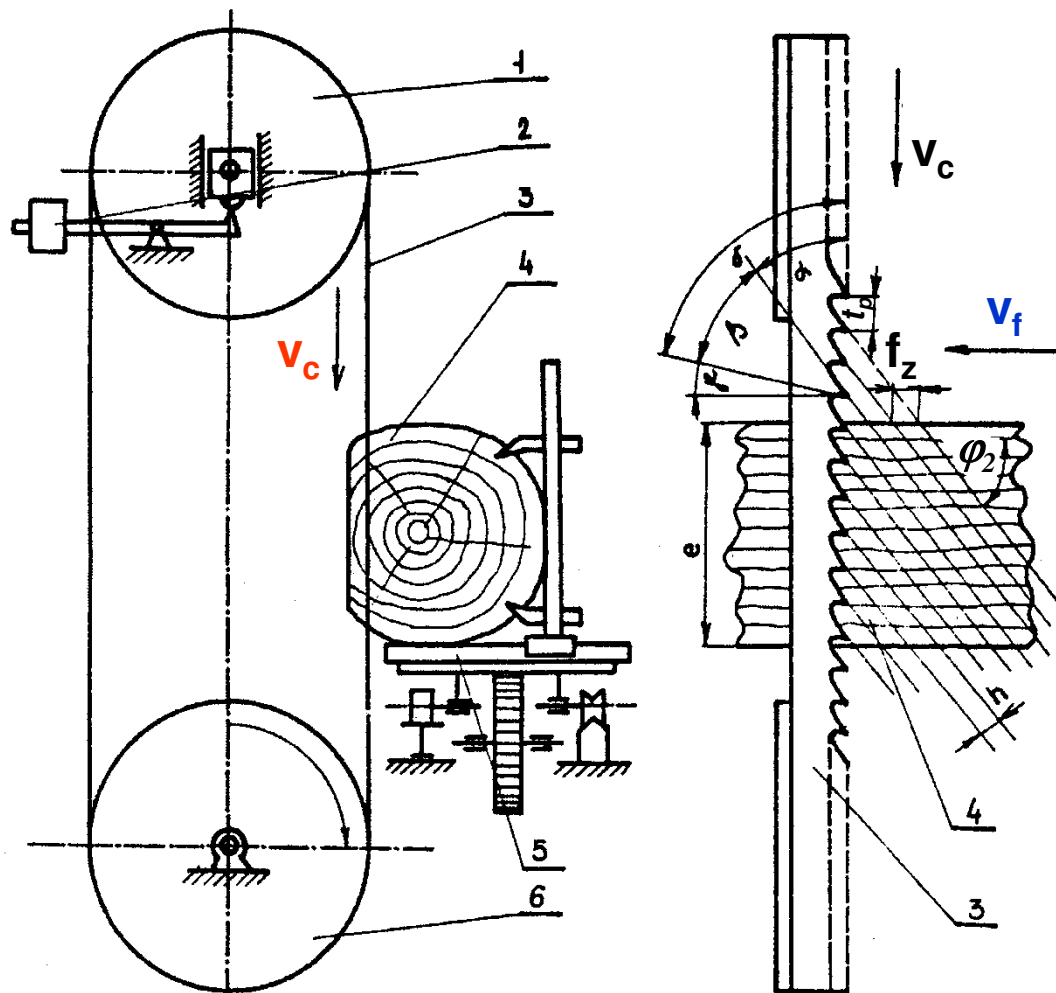


TECHNICKÉ ÚDAJE: KPP 880

A Průměr kmene	až 85 cm (od kořenů)
B Průměr pásových kol	800 mm (910 mm)
C Max. výška jednoho řezu	340 mm
D Max. zdvih pilového pásu	840 mm
E Nejmenší poslední řez	25 mm
F Šířka pilové hlavy	2650 mm
G Výška lůžka kmene od podlahy (stavitelné nohy k vyrovnání tratě)	min. 750 mm
Výkony elektromotorů	15; 18,5; 22 kW
Max. rychlost pilového pásu	až 35 m/s
Rychlost pilové jednotky (plynulá regulace - hydromotor)	až 50 m/min
Hmotnost stroje (dle výbavy a délky řezu 6 až 12 m)	2500 až 3300 kg
Produktivita (v závislosti na druhu pořezu, kulatiny, kvalitě nástrojů, mechanizaci a cel- kové organizaci pracoviště)	8 až 18 m³/8 hod.
Délka pilového pásu	5640, 6650 (6950) mm
Šířka pilového pásu	80, 90, 110 (120) mm
Rozteč zubů	30, 35, 40 mm
Šířka řezné spáry	2 mm

<https://www.youtube.com/watch?v=n6TNKSPvbz4>

Schéma KPP



Při řezání pásovou pilou je mezi dvěma kotouči napnut pilový pás, který se pohybuje konstantní řeznou rychlostí v_c , takže tloušťka třísky h se nemění.

- 1 – horní pásnice
- 2 – napínací mechanismus
- 3 – pilový list
- 4 – výřez
- 5 – podávací vozík
- 6 – spodní pásnice

Řezná a podávací rychlost

Řezná rychlost:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

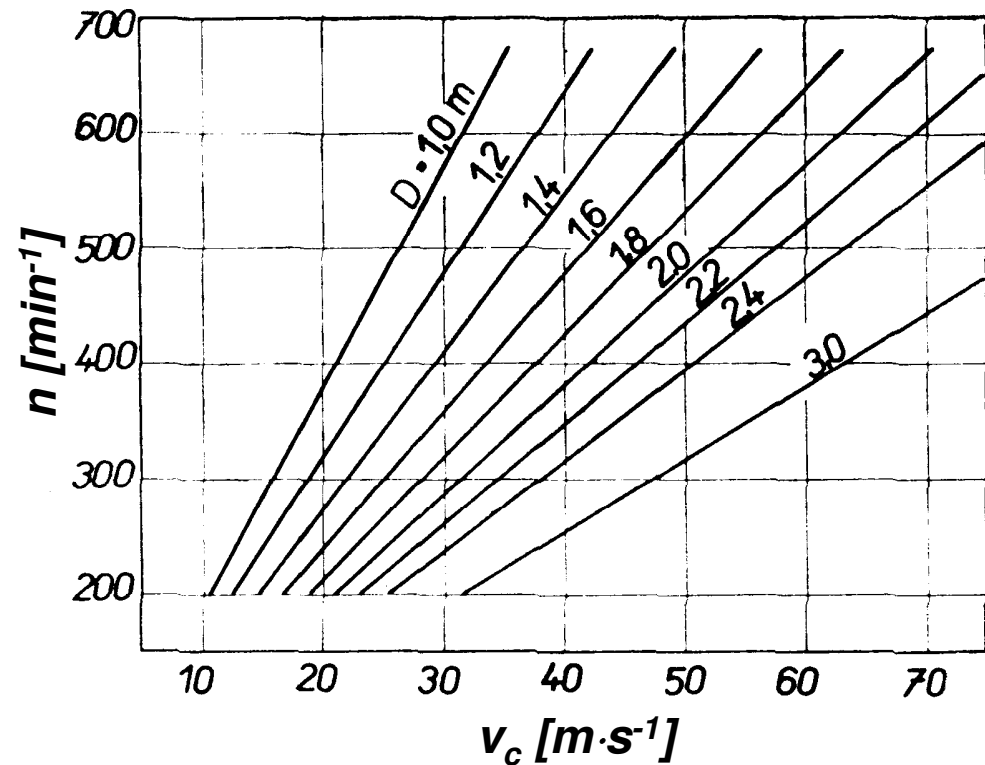
D – průměr hnací pásnice [m]

n – otáčky pásnice za minutu

Podávací rychlost obrobku:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = f_z \cdot n \cdot \frac{\pi D}{t_p} = \frac{f_z}{t_p} \cdot \frac{v_c}{60}$$

Nomogram pro určení řezné rychlosti



$[m \cdot min^{-1}]$

t_p – rozteč zubů

$z = \pi D / t_p$ – počet zubů na jednu otáčku pásnice

Doporučené řezné rychlosti podle Forniuse

Druh dřeva		Řezná rychlost (m.s ⁻¹)	Druh dřeva		Řezná rychlost (m.s ⁻¹)
Abachi	0,35	28—33	Okoume	0,41*)	25
Abura	0,52	25	Padouk	0,79*)	24
Aformosia	0,65*)	20	Guajak	1,2 *)	15
Afzelia	0,70	25	Ramin	0,55*)	26
Aiele	— *)	25	Teak	0,64*)	20
Antiaris	0,43	25—30			
Balsa	0,12*)	40	Borovice	0,47	33
Bongosi	1,03*)	15—18	Bříza	0,58	28—33
Cocobolo	1,0 *)	18	Buk	0,64	30
Dibetou	0,49	25	Cedr	0,45	28
Eben	1,06*)	18	Douglaska	0,50	30
Fuma	0,26	40	Dub	0,63	33
Greenheart	0,93*)	15	Limba	0,52	24
Iroko	0,63*)	17	Modřín	0,54	30
Mahagon	0,61*)	24	Ořešák	0,56	28—33
Makore	0,62*)	25—30	Topol	0,45	40

*) Doporučuje se navařování stelitů.

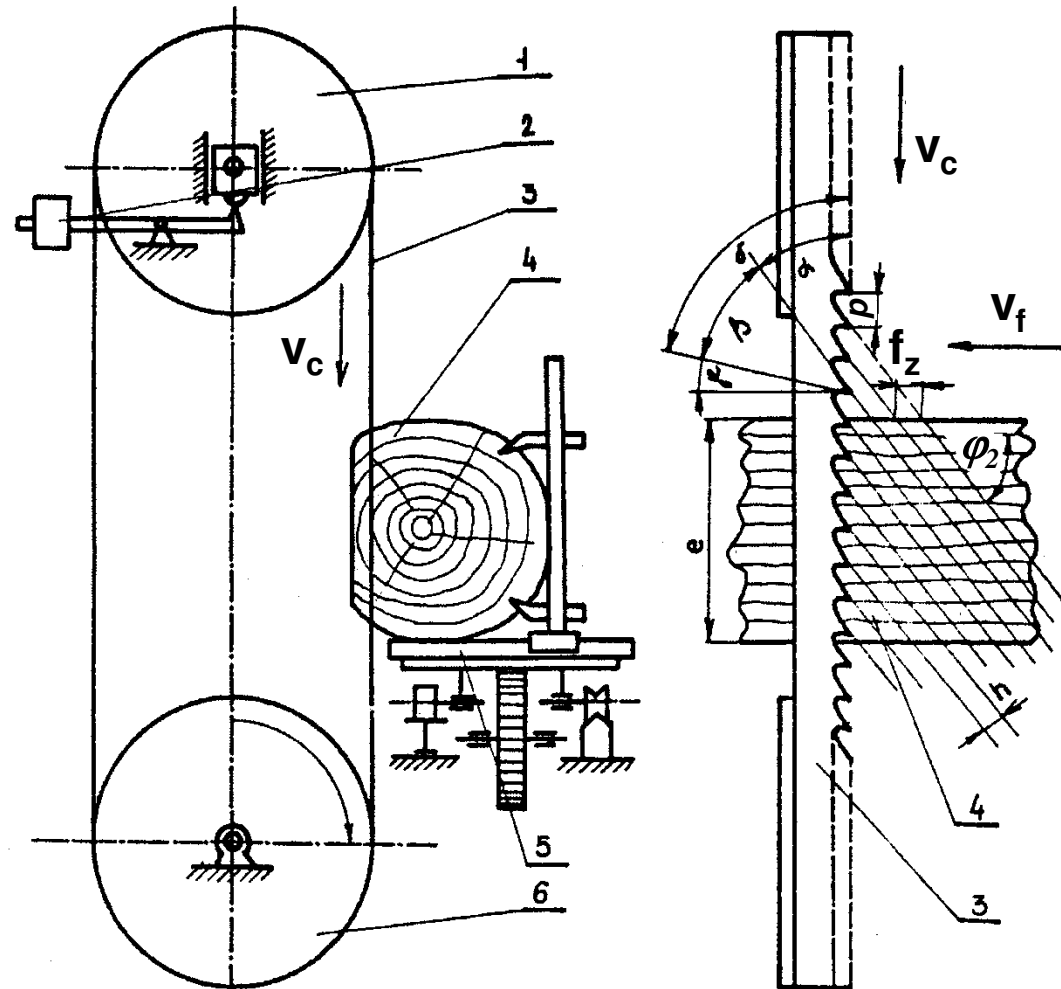
Tloušťka třísky

$$h = f_z \cdot \sin \varphi_2$$

**Platí za předpokladu,
že v_c a v_f jsou
konstantní**

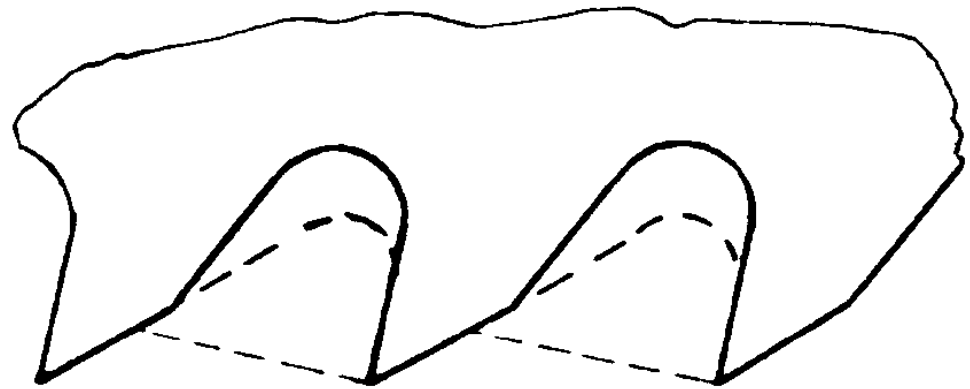
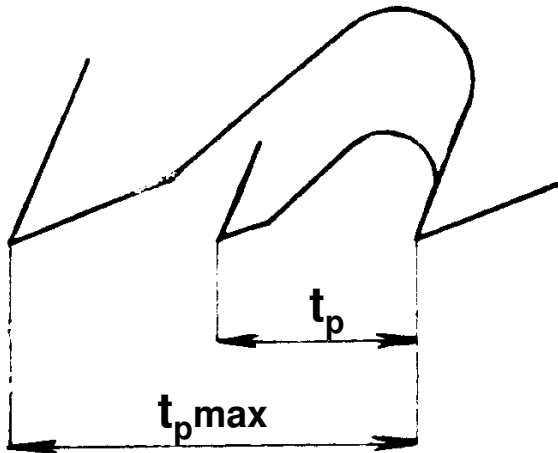
Posuv na zub f_z :

- **Truhlářské pily**
0,1 až 0,5 mm
- **Rozmítací**
0,2 až 0,7 mm
- **Kmenové**
0,2 až 0,7 mm



Vliv velikosti zubové mezery na posuvnou rychlost obrobku

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



Vliv rozteče zubů

Výpočet velikosti zubové mezery

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 (koeficient plochy mezery zubu).

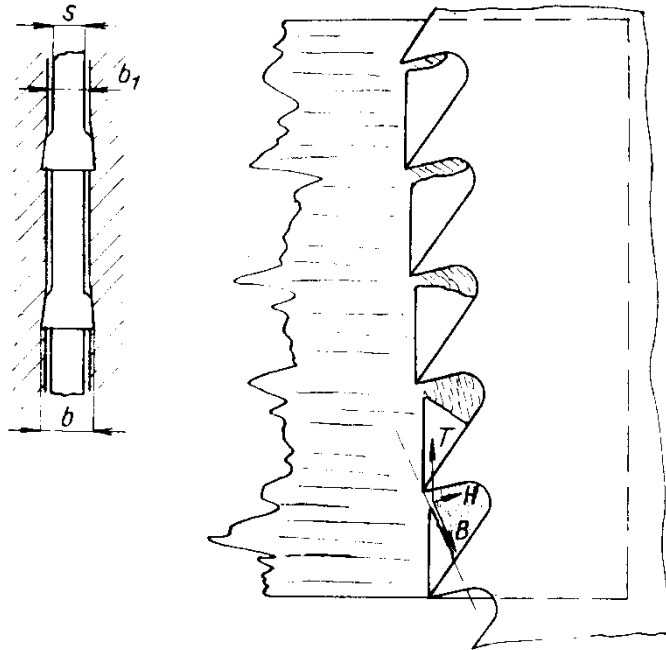
Plocha zubové mezery S_z zjišťovaná z koeficientu plochy zubové mezery k ploše kvadrátu rozteče zubů (podle prof. Beršadského):

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

ϑ ... 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 přechovanými 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

Určení rychlosti posuvu podle velikosti zubové mezeře



Každý zub odřeže pilinu o určitém objemu dřevní hmoty, která se ukládá v zubové mezeře. Je zřejmé, že objem pilin bude 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 (třísky) v zubové mezeře
 pro měkké dřeviny 1,5
 pro tvrdé dřeviny 2,0 až 2,2

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

pro pásové a kotoučové pily

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

pro rámové pily

3. Kinematika řezání rámovými pilami

**Technicko-technologické
parametry RP střední velikosti:**

otáčky klikového mechanismu
 $n = 320 \div 340 \text{ min}^{-1}$

střední řezná rychlost
 $v_{cm} = 6,5 \div 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

rychlost posuvu výřezu
 $v_f = 10 \div 16 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

šířka řezné spáry
 $b = 2,8 \div 3,2 \text{ mm}$

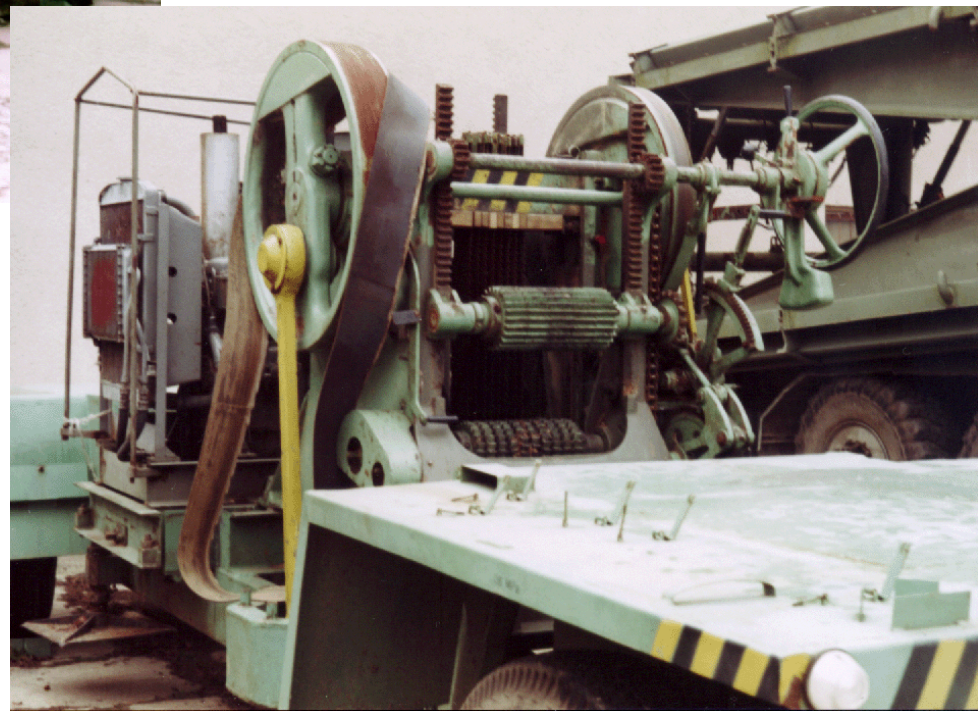


<http://kovo-ida.takeit.cz/produkt/ramova-pila-rh-60-633621>

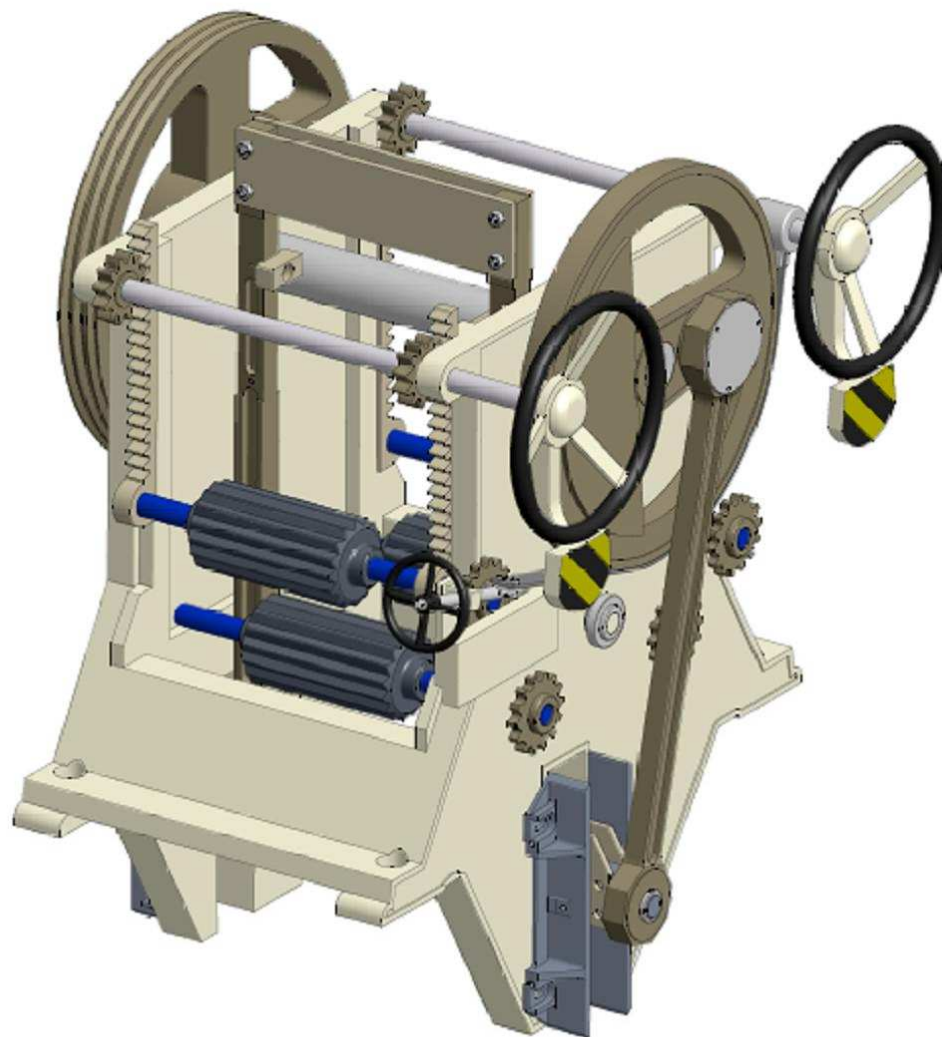
Mobilní rámová pila



Pila DTJA 60 zařazená ve výzbroji ČSLA a AČŘ ve 2. pol. 20 století.

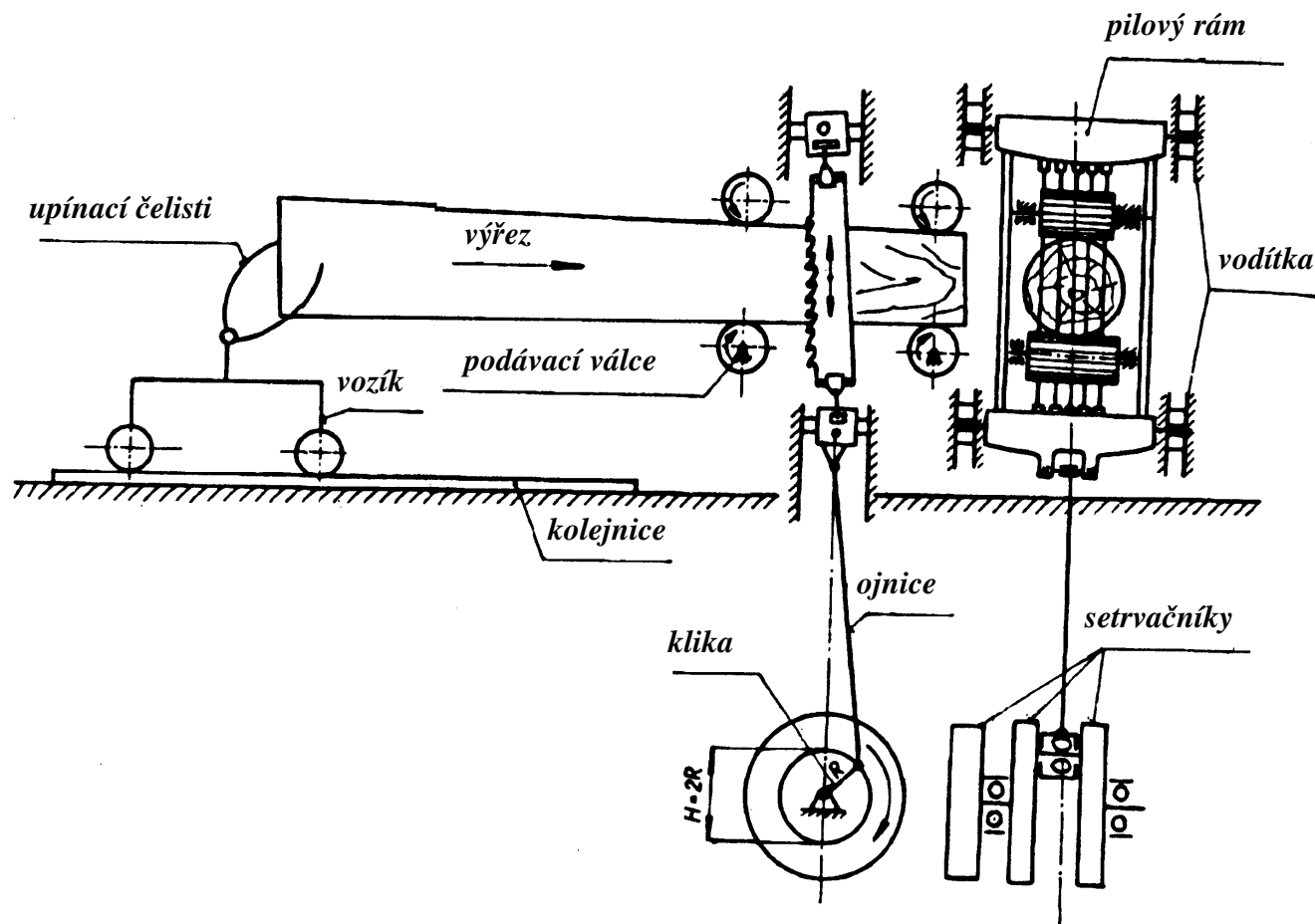


Mobilní rámová pila



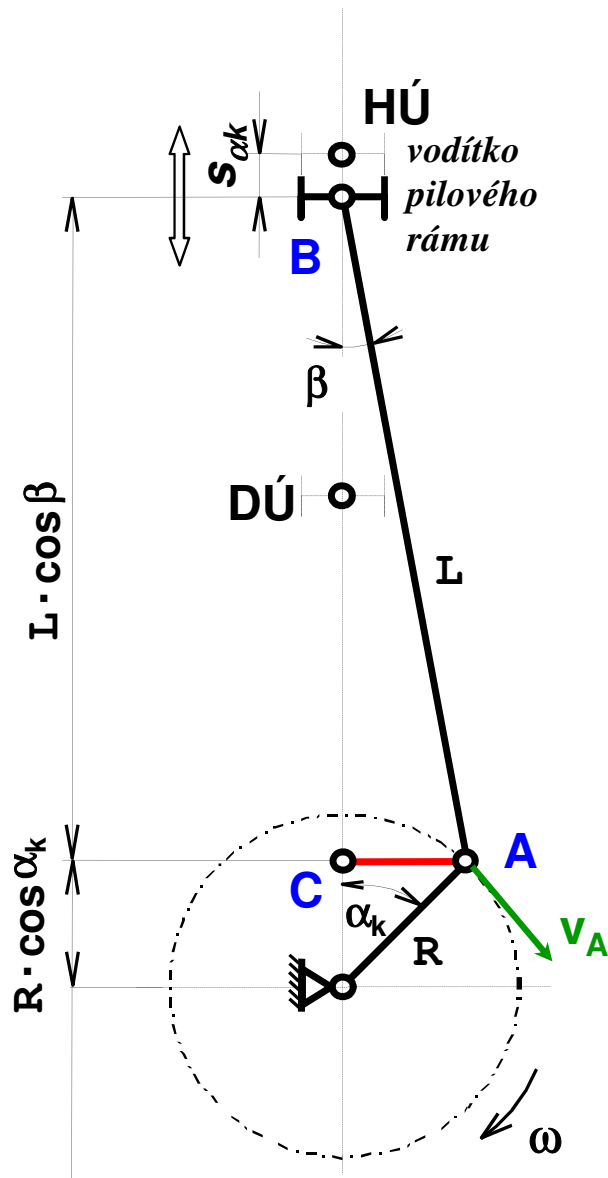
<http://www.youtube.com/watch?v=S6zKSrDEUC4&feature=related>

Technologické schéma rámové pily



Jedno-ojniční
2-etážová pila
se spodním
pohonem

Dráha pilového rámu



Bod **A** rotuje po kruhové dráze rovnoměrnou obvodovou rychlostí

$$v_A = \omega \cdot R = \pi D \cdot n$$

Okamžitá dráha rámu s_{α_k} :

$$s_{\alpha_k} = (R + L) - (R \cdot \cos \alpha_k + L \cdot \cos \beta)$$

Pro úsečku A-C platí:

$$R \cdot \sin \alpha_k = L \cdot \sin \beta$$

Odtud rozměrový součinitel:

$$\lambda = \frac{R}{L} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha_k}$$

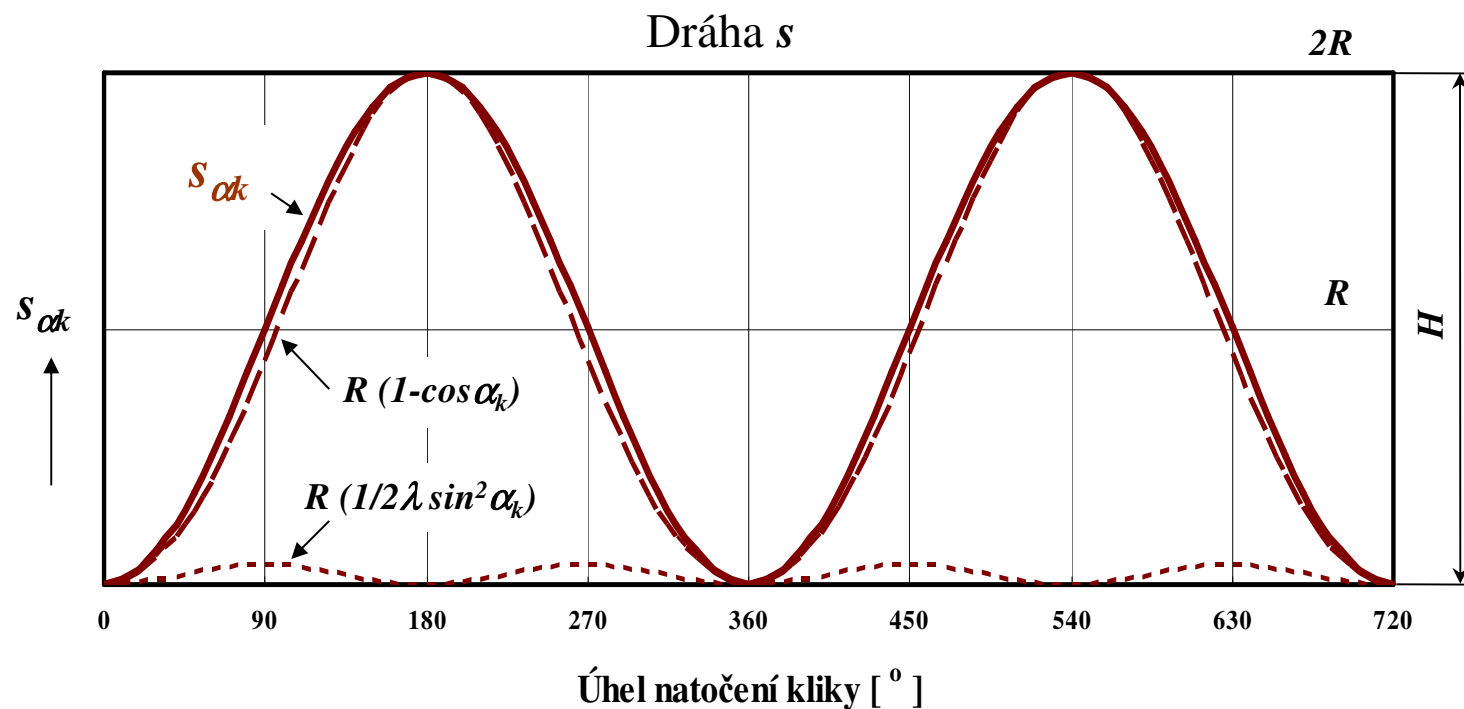
Dráhu rámu lze potom vyjádřit pouze jako funkci úhlu natočení kliky α_k :

$$s_{\alpha_k} = R \cdot \left(1 - \cos \alpha_k + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin^2 \alpha_k \right)$$

Průběh dráhy a zdvih rámu

Harmonický průběh dráhy pilového rámu je ovlivněn zejména kyvem ojnice, který je promítnut ve výrazu R ($1/2\lambda \sin^2 \alpha_k$)

Zdvih rámu: $H = 2R$

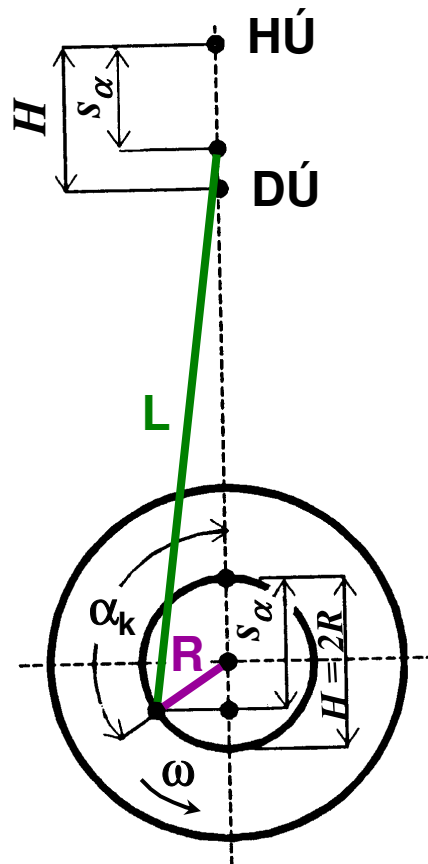


kde

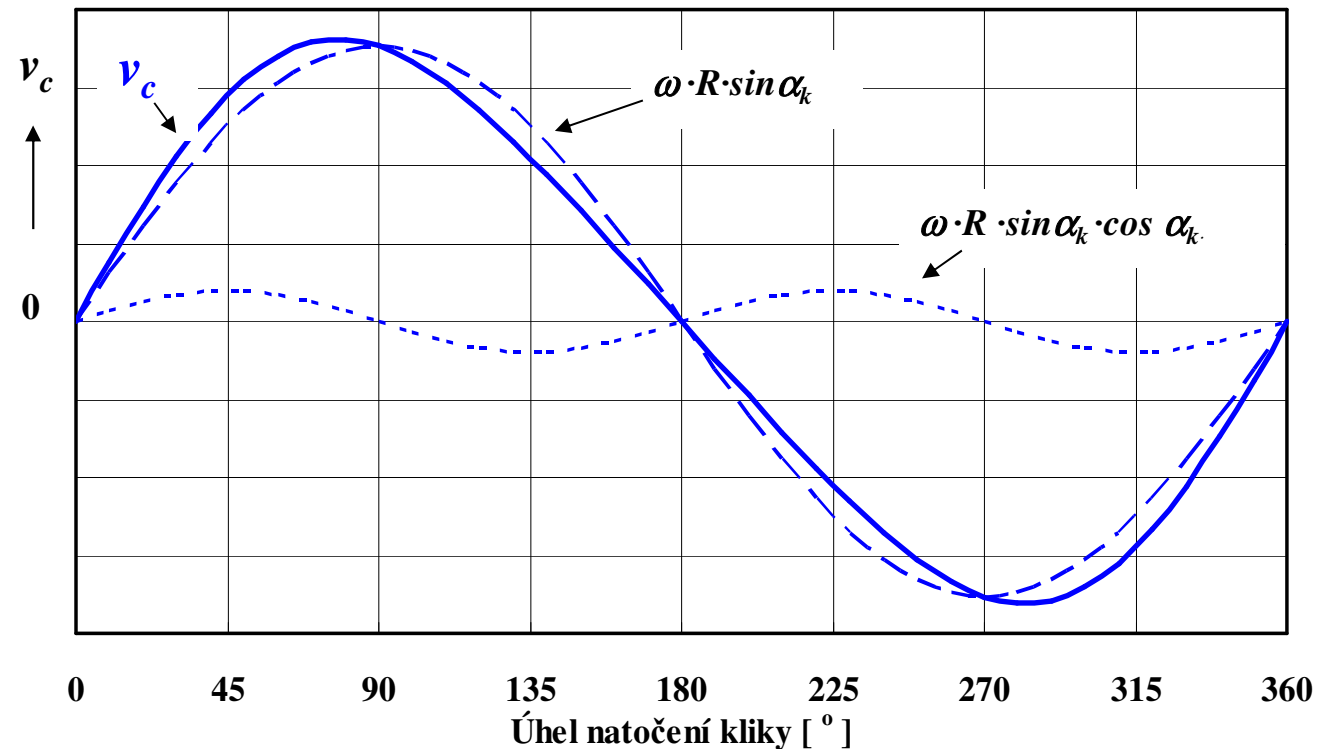
R ... poloměr kliky, L ... délka ojnice

α_k ... úhel natočení kliky, H ... zdvih rámu

Řezná rychlost



Rychlost v_c



Okamžitá řezná rychlost

$$v_c = \omega \cdot R \cdot \left(\sin \alpha_k \pm \frac{R}{L} \cdot \sin \alpha_k \cdot \cos \alpha_k \right)$$

kde

R ... poloměr kliky, L ... délka ojnice
 α_k ... úhel natočení kliky, H ... zdvih rámu
 znaménko + pohyb rámu směrem dolů (řez)

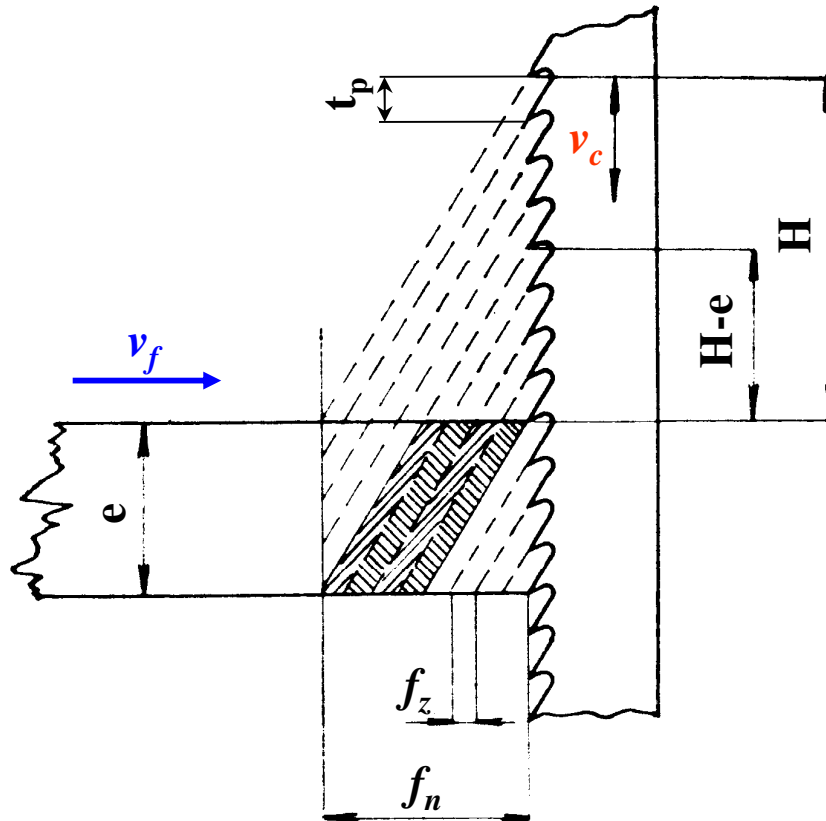
Maximální řezná rychlost

$$v_{c \max} \cong \omega \cdot R = v_A$$

Střední řezná rychlost

$$v_{c \text{ str}} = 2H \cdot n = 2H \cdot \frac{v_{c \max}}{\pi \cdot D} = \frac{2}{\pi} \omega \cdot R \cong 0,637 v_{c \max}$$

Kinematické parametry při posuvu výřezu v rámci pracovního zdvihu



kde t_p ... rozteč zubů (tooth pitch)
 z ... počet zubů připadající na zdvih rámu H

Rychlost posuvu:

$$v_f = f_n \cdot n \quad [m \cdot \min^{-1}]$$

kde $f_n = f_z \cdot z$ (m) ... posuv na otáčku

f_z (mm) ... posuv na zub

$z = H/t_p$... počet zubů připadající na zdvih rámu

Potom:

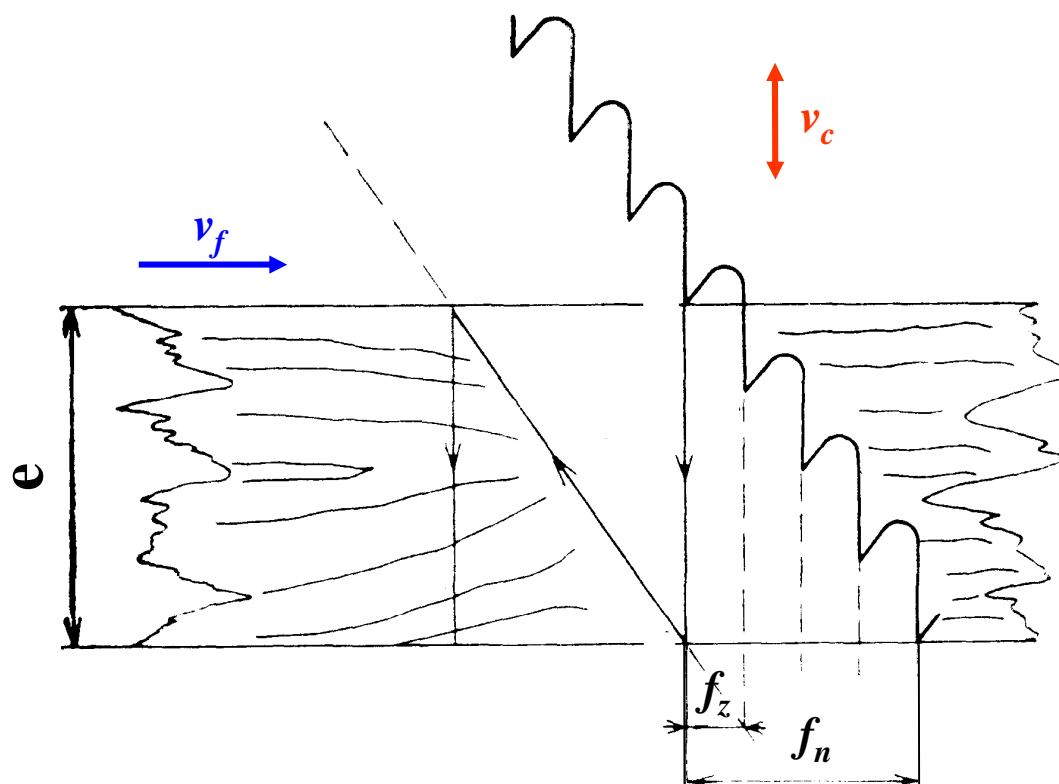
$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \quad [mm \cdot \min^{-1}]$$

Kde posuv na zub:

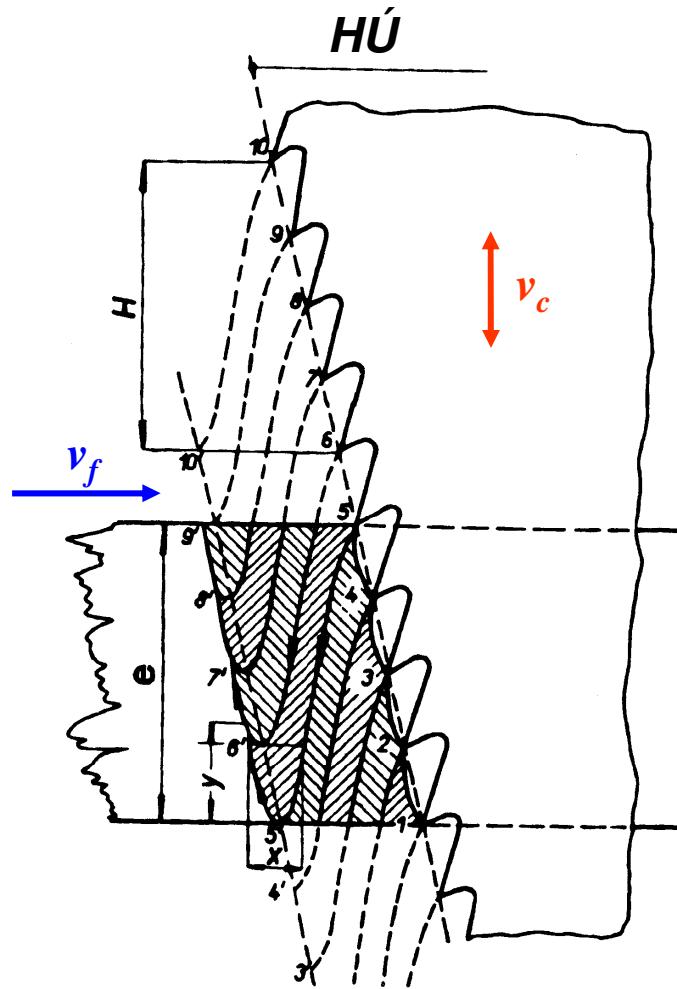
$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} = \frac{v_f \cdot t_p}{n \cdot H} \quad [mm]$$

Posuv výřezu za volného zdvihu s předklonem pilového rámu

**Extrémní předklon rámu
rovnající se posuvu na
otáčku (zdvih)**



Plynulý posuv výřezu při řezání



- Indikovaný pohyb zubů ve dřevě je sinusovka.
- Tloušťka piliny je nerovnoměrná (na začátku řezání je větší než v polovině zdvihu a v dolní úvrati je největší).
- Při návratu rámu z dolní úvrati, zuby trou hřbety o povrch řezné spáry a vtlačují se do ní se zápornou geometrií.
- V důsledku tohoto jevu jednak dochází k intenzivnějšímu otupování ostří zubů na hřbetě zubů a také je obrobek pilovými listy „brzděn“ což se projeví mírným prokluzem na podávacích válcích (z praxe se udává cca 3% ztráty z minutového posuvu obrobku).

4. Kinematika válcového frézování

Frézování rovinnou frézku

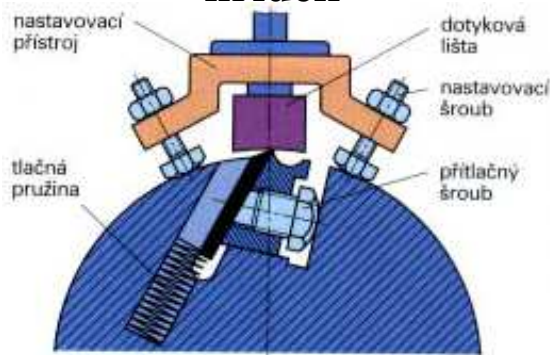
Dosažení hladkého povrchu obrobku přesných rozměrů je dosahováno srovnávkami nebo tloušťkovačkami.

Tvarové plochy jsou obvykle frézovány spodními nebo vrchními frézky, čtyřstrankami apod.).

Srovnávací truhlářská frézka



Nastavení nože v nožové hřídeli



Nastavení zadního stolu



Srovnávací a tloušťkovací frézka



Frézka SC 430 je kombinovaná frézka, která je zástupcem nové výrobní řady kombinovaných frézek.

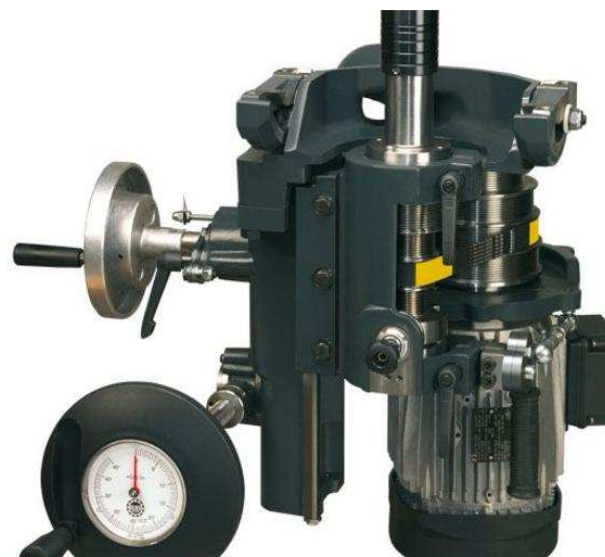
Frézka je určena pro úpravu tloušťky obrobků ze dřeva a materiálů zhotovených na bázi dřeva s cílem dosáhnout požadovaný rozměr obrobku s rovným a kvalitním povrchem.

<http://www.houfek.com/kombinovana-frezka-sc>

Spodní frézka



- pojezd vozíku "X-ROLL"
- náklonná frézovací jednotka 90°–45°,
- otáčky 3500/6500/8000/10.000 ot./min, motor 4 kW
- nástroj max. 230 mm



Čtyřstranná frézka



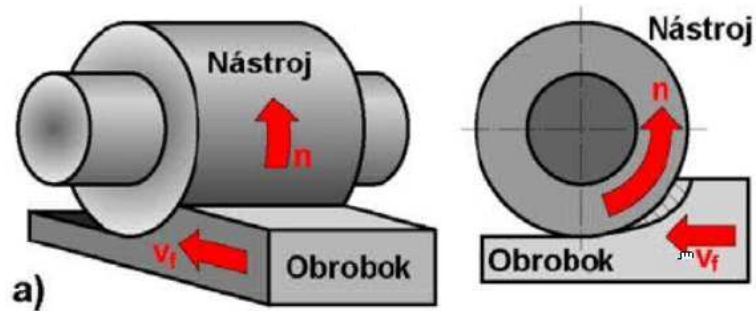
ČTYŘSTRANNÁ FRÉZKA FWP 22 SUPER (TOS Svitavy)

Stroj je určen pro
čtyřstranné tvarové
opravování dílů při výrobě
nábytku, oken a dveří.
Litinový základ stroje
zabezpečuje přesnost
opravování.

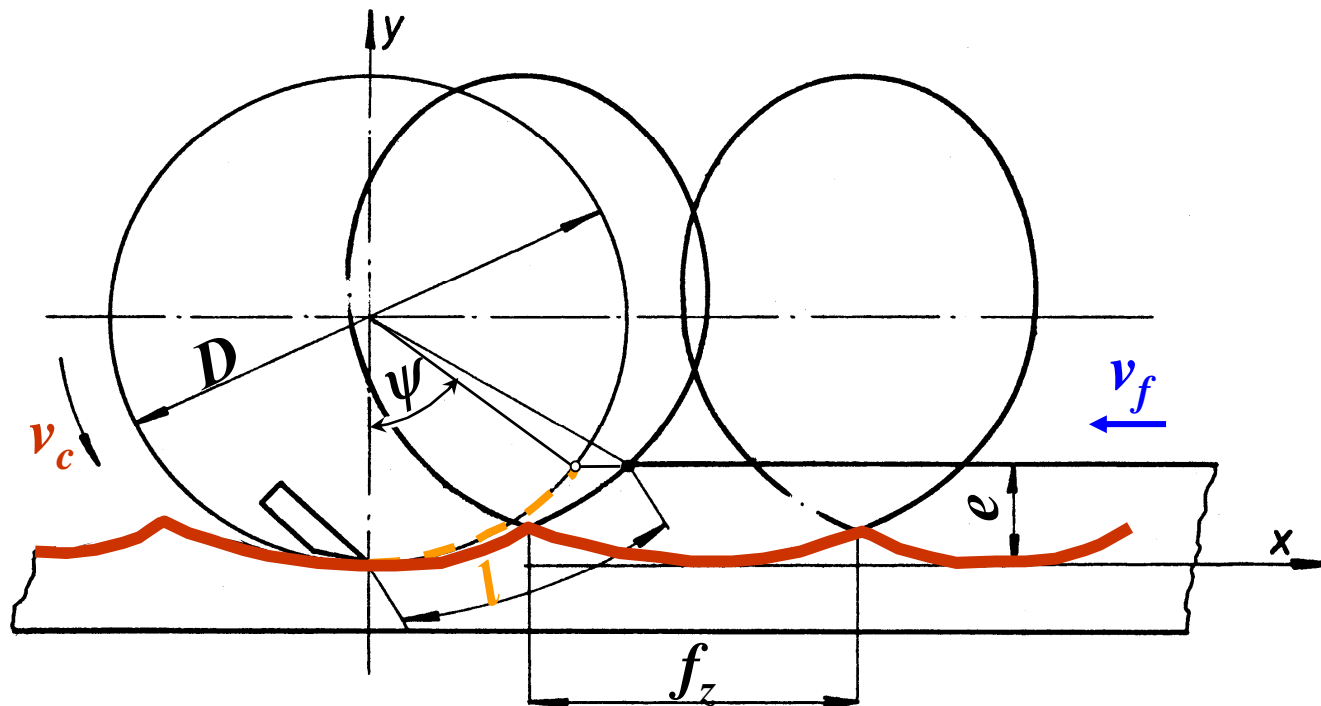


Nesousledné frézování

Obrobek se posouvá proti směru točení frézovací hlavy

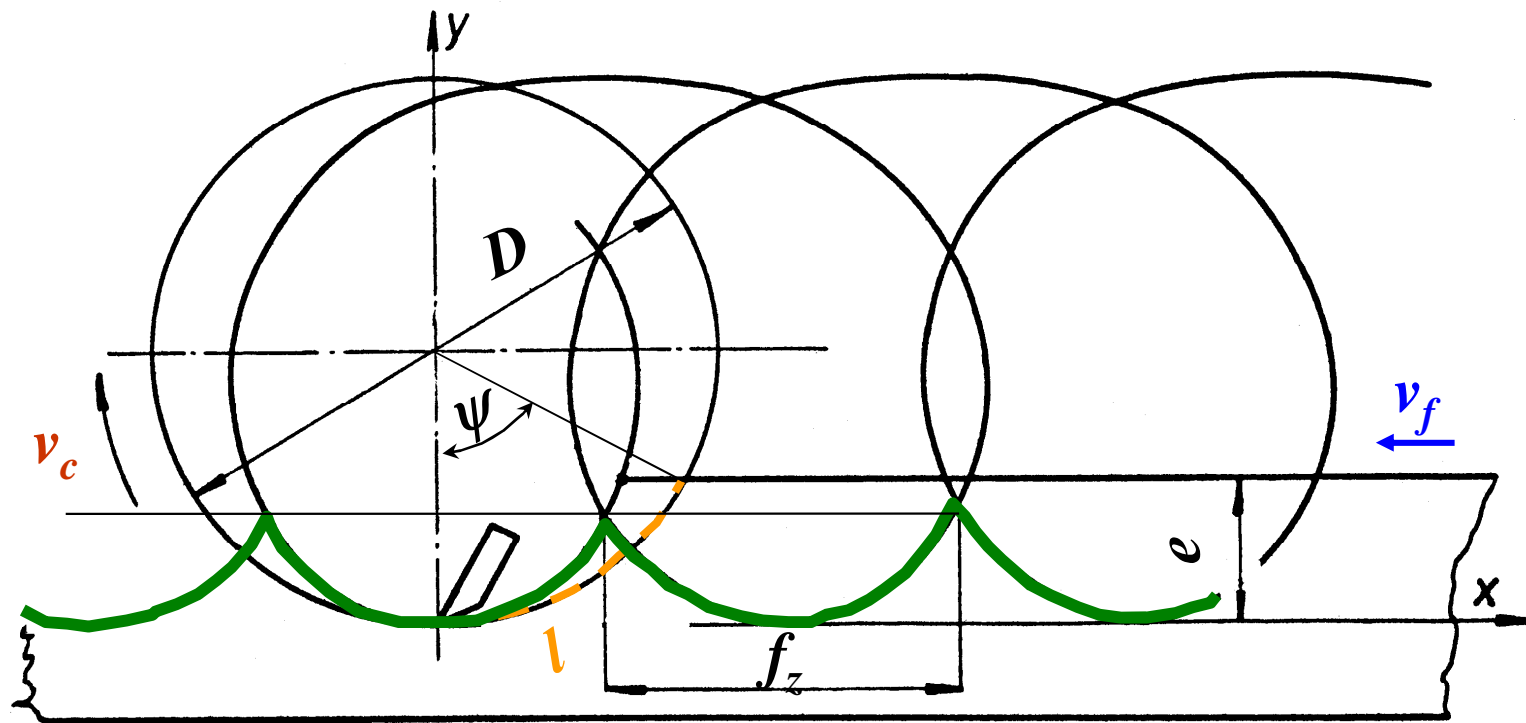
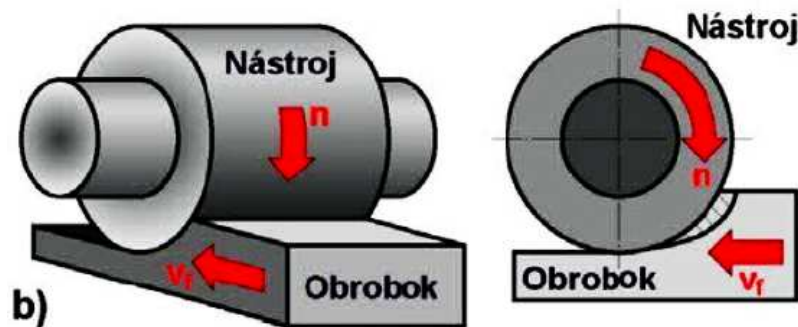


Břit válcové frézy se pohybuje konstantní řeznou rychlostí v_c po kruhové dráze. Při obrábění se rotační pohyb frézy skládá s pohybem obrobku, čímž vzniká cykloida opisovaná nožem frézy. Exaktní modelace délky kontaktu nože se dřevem je zdlouhavá a obtížná a vzhledem k tomu, že řezná rychlost je mnohem větší než rychlost posuvu obrobku, lze tuto trajektorii s malou chybou nahradit kruhovým obloukem.

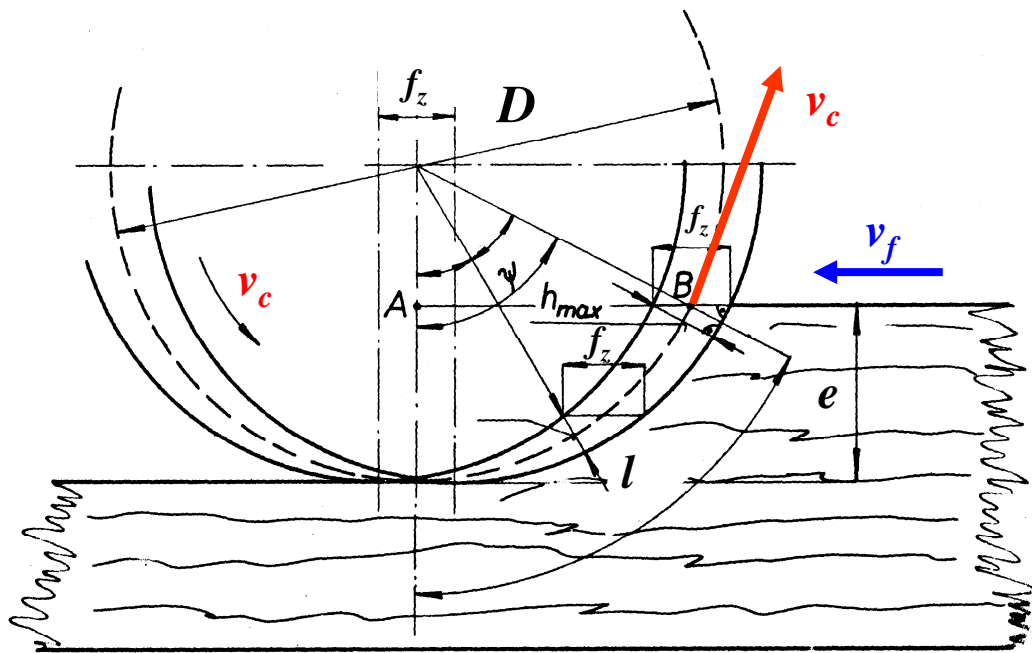


Sousledné frézování

Obrobek se posouvá ve směru točení frézovací hlavy



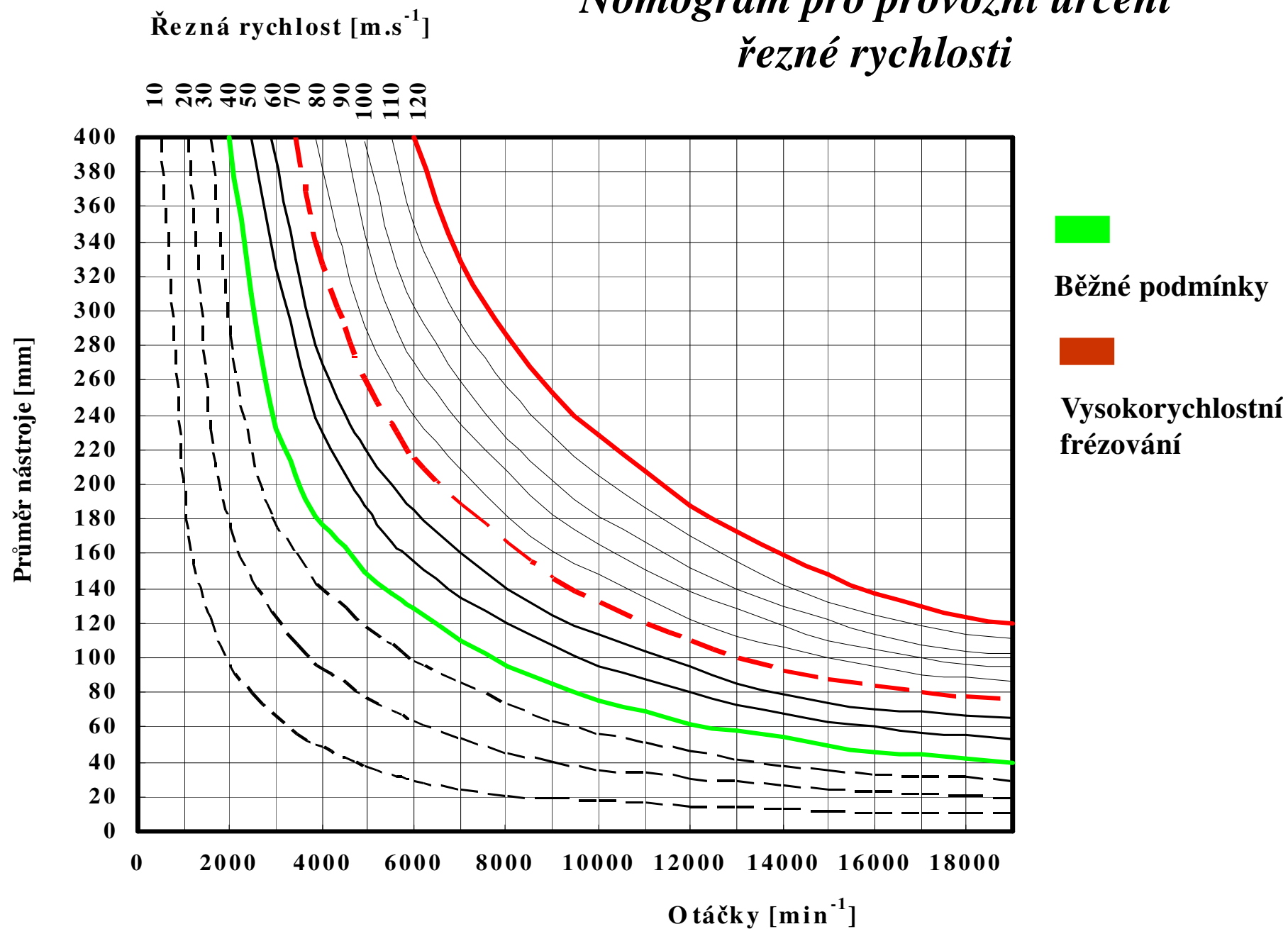
Řezná rychlost



$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \quad [m \cdot s^{-1}]$$

D – oběžný průměr nožů frézy
 n – otáčky

Nomogram pro provozní určení řezné rychlosti

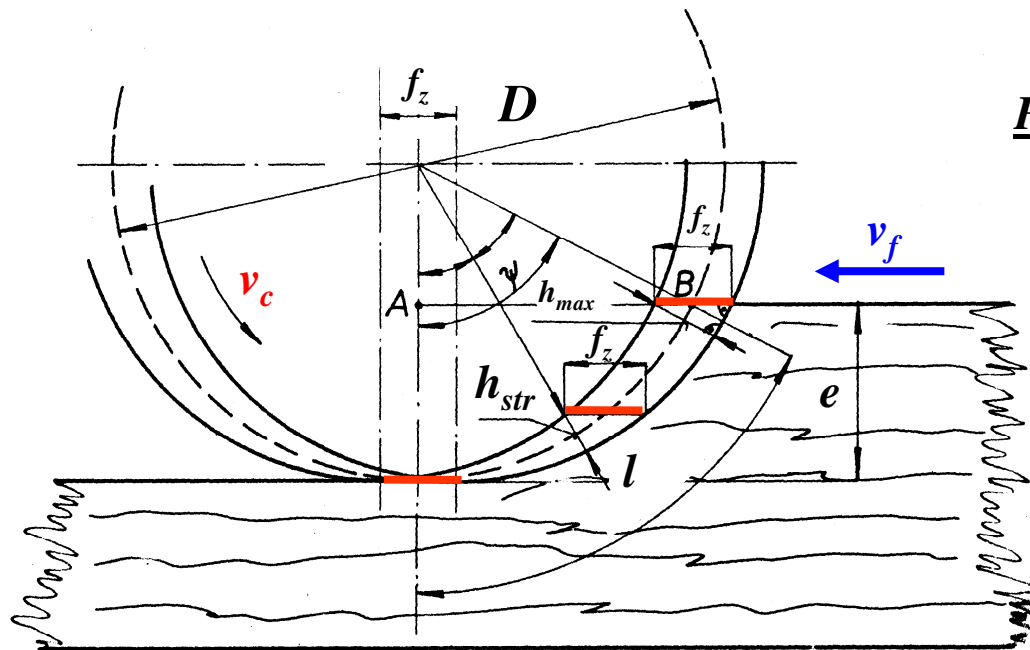


Posuvná rychlost obrobku

Na rychlosti posuvu obrobku při dané řezné rychlosti závisí úběr na břit frézy, tloušťka třísky a zejména kvalita obrobeného povrchu.

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \quad [m \cdot min^{-1}]$$

z – počet nožů frézy
 n – otáčky frézy

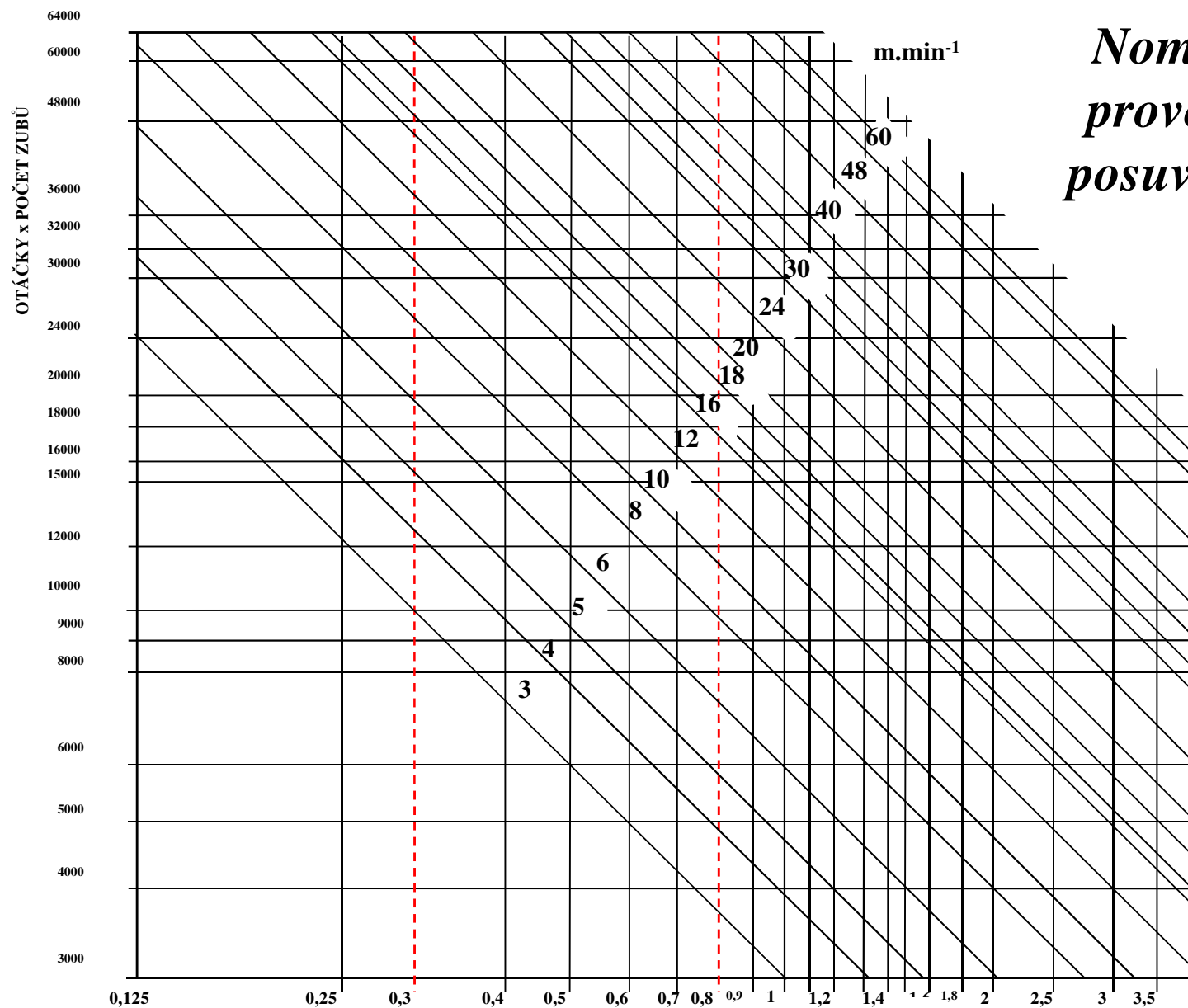


Posuv na břit (zub):

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \quad [mm]$$

Posuv na otáčku (minutový posuv):

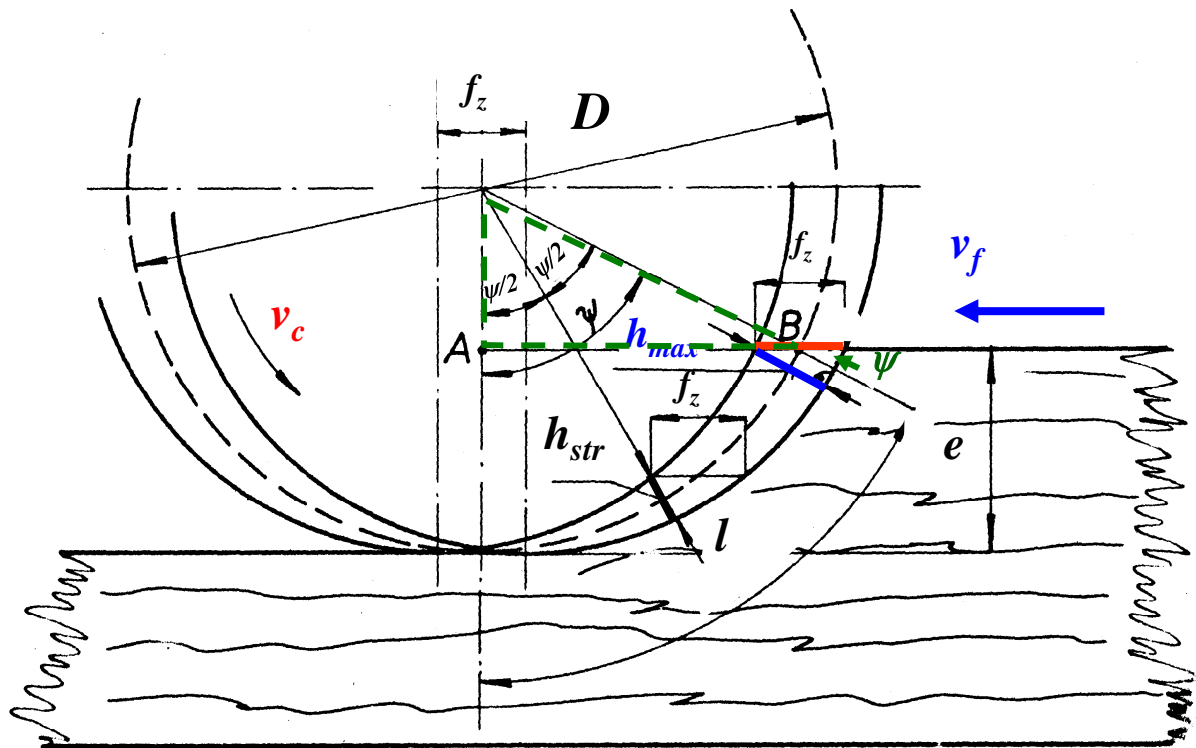
$$f_n = \frac{v_f}{n} = f_z \cdot z \quad [mm]$$



*Nomogram pro
provozní určení
posuvné rychlosti*

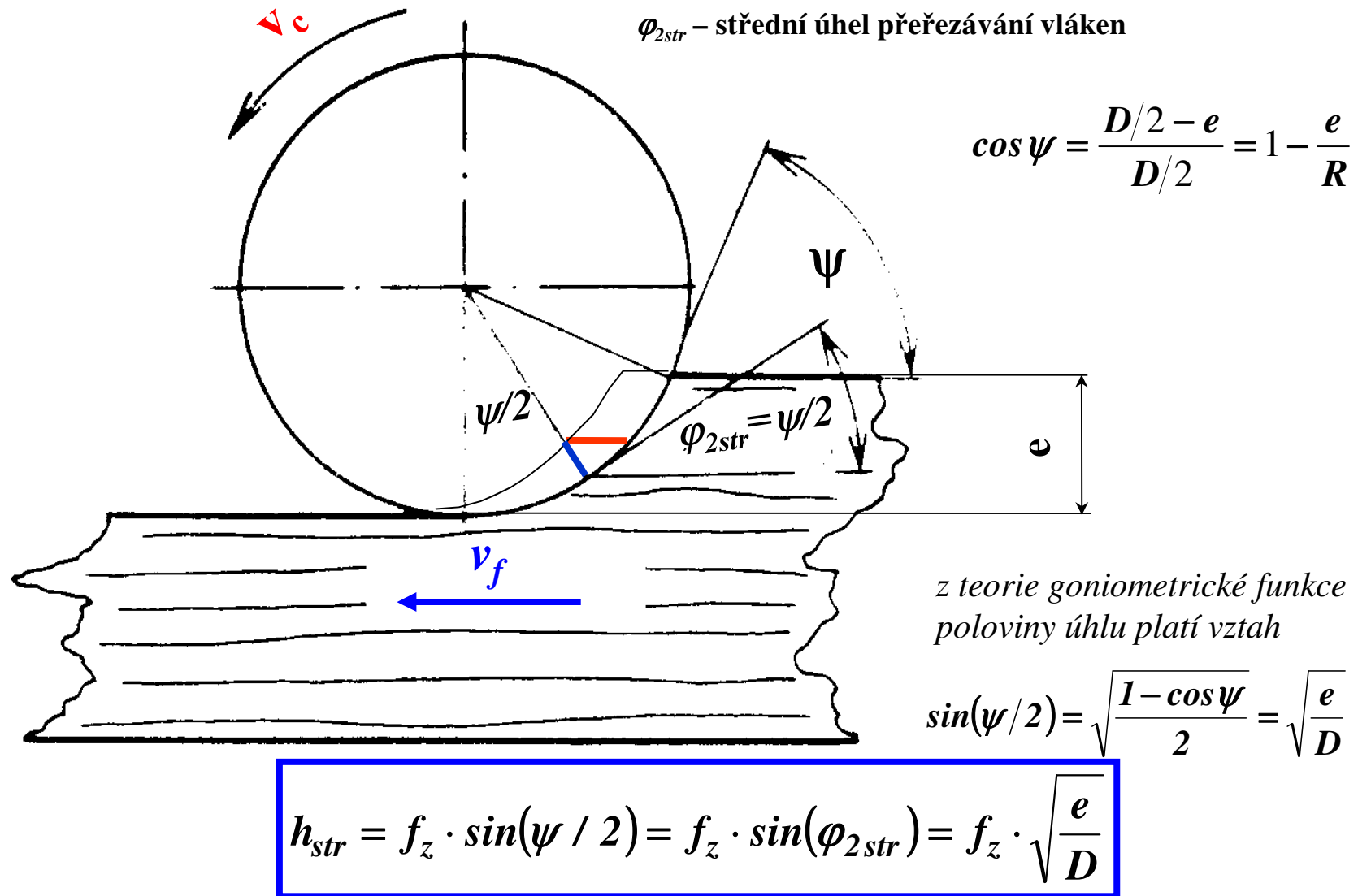


Úhel záběru



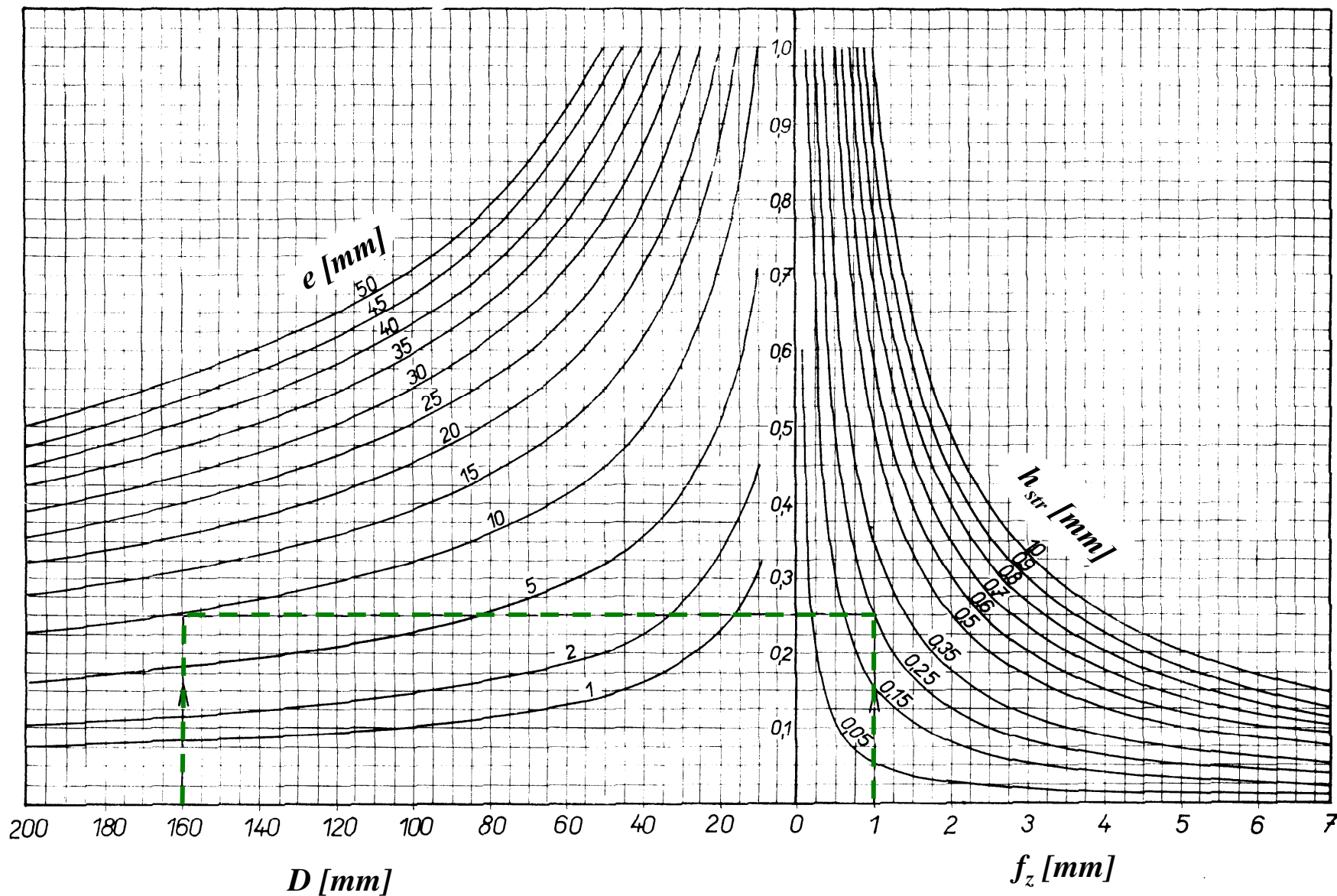
$$\psi = \arccos \psi = \frac{R - e}{R} = 1 - \frac{e}{R}$$

Střední tloušťka třísky

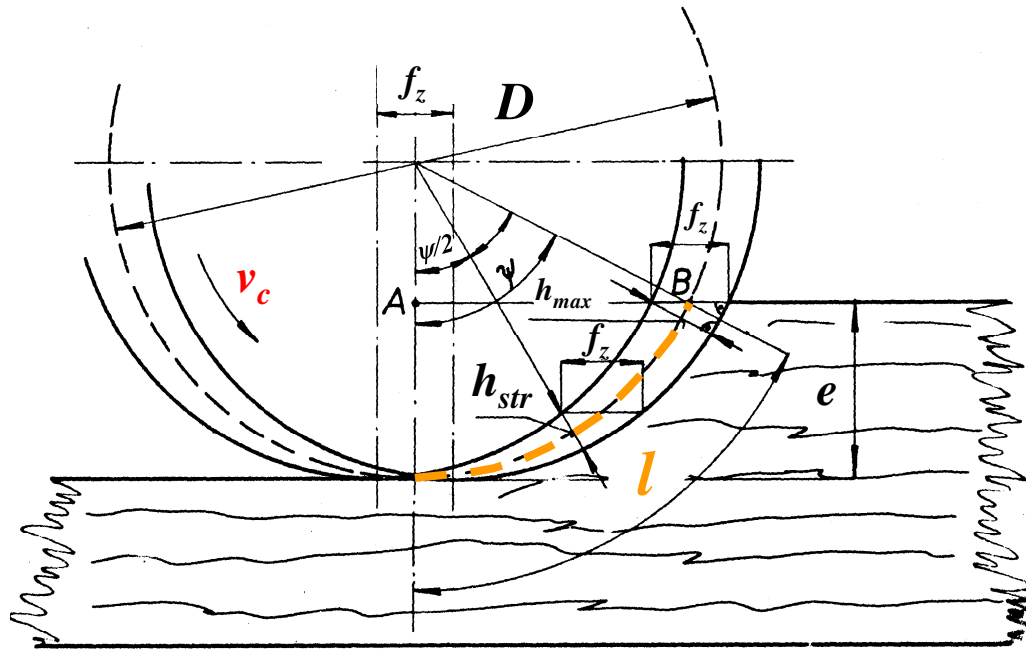


Nomogram pro provozní určení střední tloušťky třísky

$$\sqrt{\frac{e}{D}} \quad (= \sin \varphi_{2\text{str}})$$



Délka třísky

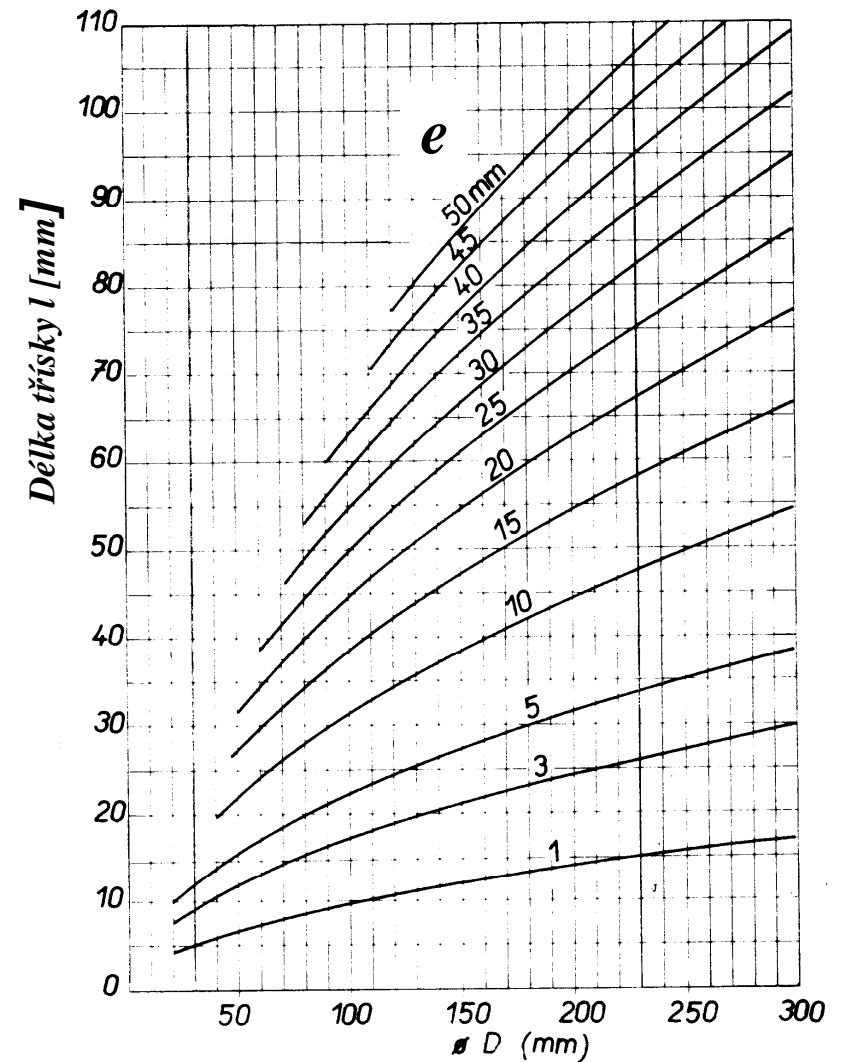


$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot \psi}{360} = 0,0175 \cdot R \cdot \psi \quad [\text{mm}]$$

l – délka záběru jednoho nože během jedné otáčky

ψ – úhel záběru $\cos \psi = 1 - \frac{e}{R}$

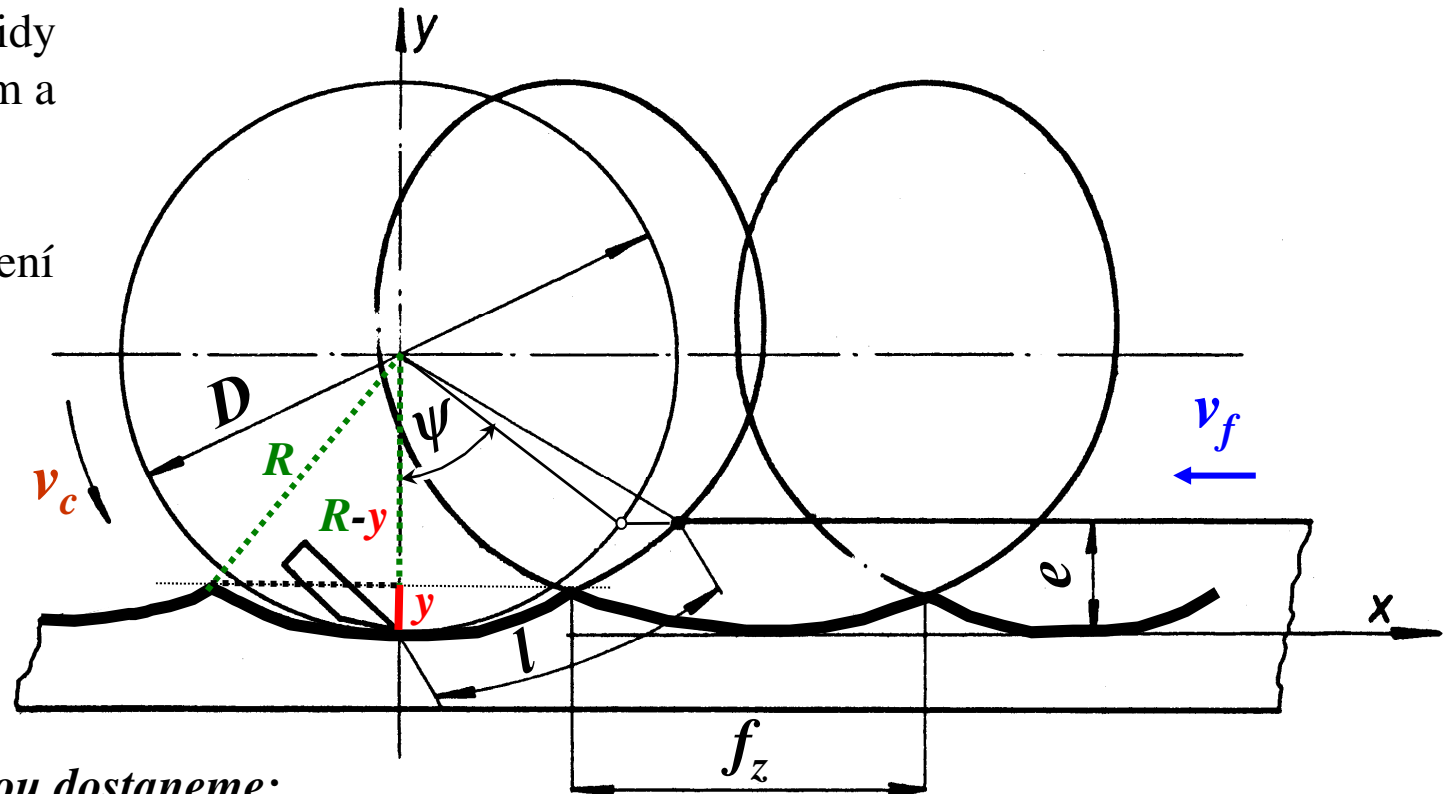
Nomogram pro určení délky třísky:



Hloubka vlnky frézovaného povrchu

Při nahrazení cykloidy kruhovým obloukem a s použitím Pythagorovy věty můžeme pro vyjádření hloubky vlnky y použít vztah:

$$R^2 = (R - y)^2 + \left(\frac{f_z}{2}\right)^2$$



Jednoduchou úpravou dostaneme:

$$2R \cdot y - y^2 = \left(\frac{f_z}{2}\right)^2$$

Člen y^2 můžeme vzhledem k velmi malým hodnotám hloubky vlnky zanedbat.

Potom je možné hloubku vlnky vyjádřit podle známého vztahu:

$$y = \frac{f_z^2}{8R}$$

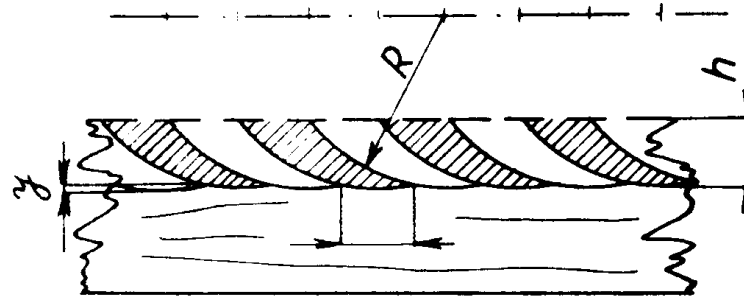
Určení rychlosti posuvu pro dosažení dobré kvality povrchu obrobku

Úpravou rovnice pro hloubku vlnky dostaneme závislost posuvu na zub na kvalitě obrobeného povrchu:

$$y = \frac{f_z^2}{8R}$$



$$f_z = \sqrt{8 \cdot R \cdot y}$$



Odtud pro posuvnou rychlost platí:

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = \sqrt{8 \cdot R \cdot y \cdot n \cdot z}$$

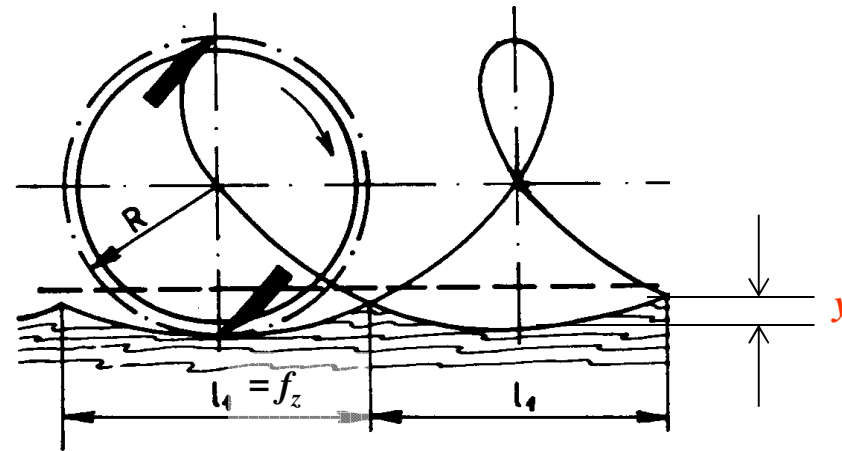
Poznámka: Vztah pro v_f platí v případě, že všechny nože (počet z) jsou přesně nastaveny a řežou na stejném poloměru. Při nestejném nastavení ve skutečnosti řeže menší počet nožů (břitů) se všemi s tím souvisejícími negativními důsledky na kvalitu povrchu (jeho zvlnění).

Maximální posuvná rychlost v závislosti na kvalitě povrchu (*hloubka vlnky y*)

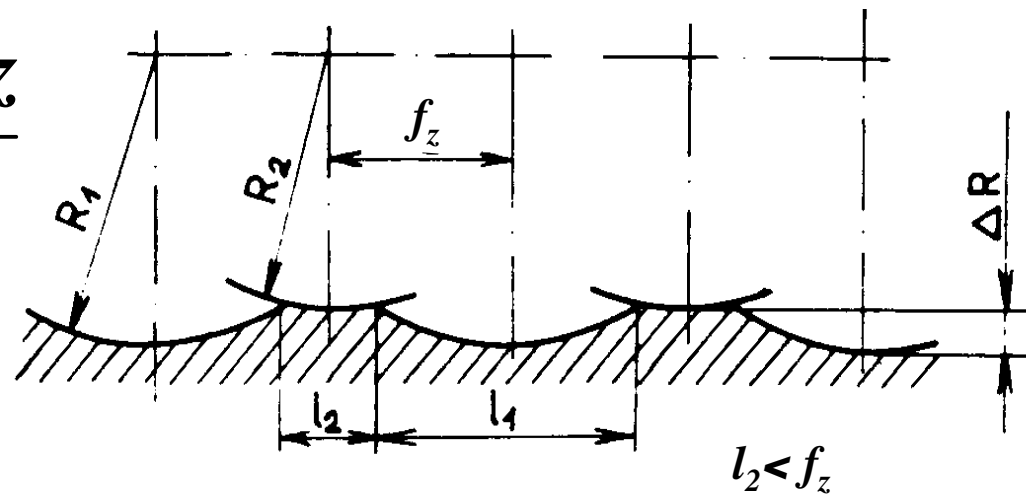
$$y = \frac{f_z^2}{8 \cdot R}$$

$$f_z = \sqrt{8 \cdot R \cdot y}$$

Přesné ustavení nožů



Jeden nůž je mírně „utopený“



$$vf_{max} = \frac{(\sqrt{8 \cdot R \cdot y}) \cdot n \cdot z}{1000}$$

Modelový příklad

Maximální posuv z hlediska kvality povrchu obrobku –
předpokládán je hladký povrch s *hloubkou vlnky $y = 0,005\text{mm}$* :

Absolutně přesné nastavení nožů ve frézovací hlavě:

$$vf_{max} = \frac{(\sqrt{8 \cdot R \cdot y}) \cdot n \cdot z}{1000} = \frac{(\sqrt{8 \cdot 60 \cdot 0,005}) \cdot 8760 \cdot 6}{1000} = 81,4 \text{ m / min}$$

Frézovací hlava řeže pouze jedním nožem:

$$vf_{max} = \frac{(\sqrt{8 \cdot R \cdot y}) \cdot n \cdot z}{1000} = \frac{(\sqrt{8 \cdot 60 \cdot 0,005}) \cdot 8760 \cdot 1}{1000} = 13,6 \text{ m / min}$$

Provedený teoretický rozbor posuvných rychlostí pro modelový příklad ukazuje jeden z možných způsobů stanovení základních parametrů frézování pro experiment.

Kinematická analýza řezného procesu při frézování

Omezující faktory:

- Střední tloušťka třísky musí být > než poloměr otupení břitu

při nesplnění této podmínky by nedošlo k oddělení třísky a způsobilo by to:

pěchování povrchu (pálení)

nadměrné zahřívání břitu

rychlé otupování břitu

povrch obrobku by vykazoval chlupatost

- Požadovaná drsnost povrchu

z kinematického hlediska se jedná o hloubku vlnky „y“

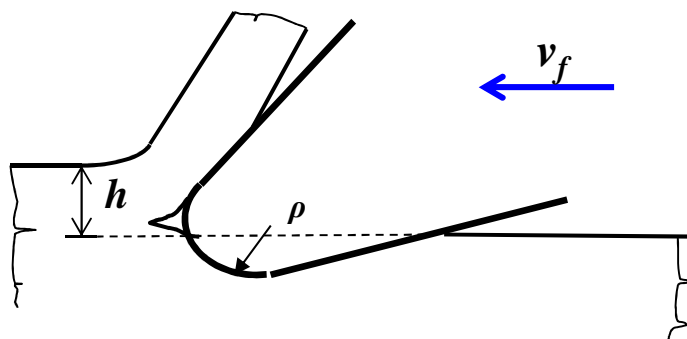
- Omezující energetické faktory

řezný odpor, řezný výkon

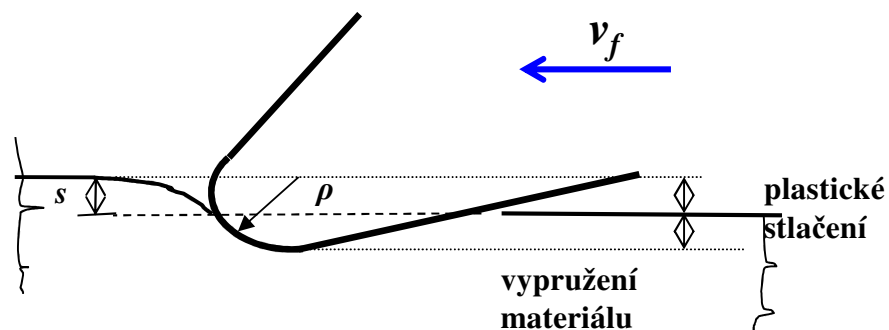
Uvedené omezující faktory jsou zejména závislé na velikosti posuvu.

Vliv velikosti otupení břitu na řezný proces

Tloušťka třísky > poloměr otupení břitu



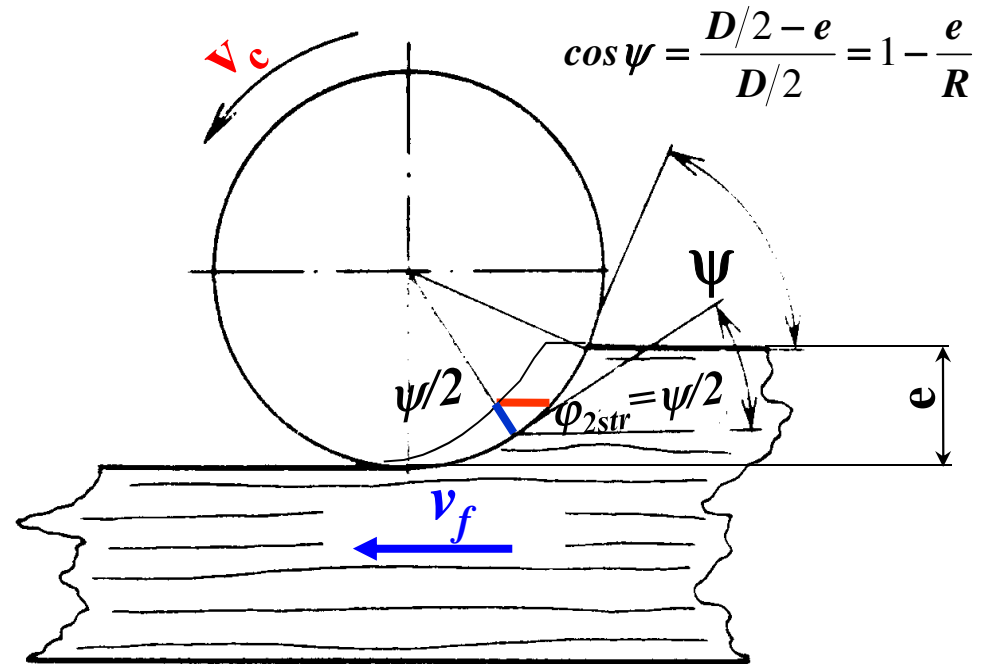
Tloušťka třísky < poloměr otupení břitu



*Minimální posuv na zub v závislosti na naostření nástroje (*otupení ρ*)*

$$h_{str} = f_z \cdot \sin \varphi_{2str}$$

$$\varphi_{2str} = \frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{e}{R} \right)$$



$$f_{z \min} = \frac{h_{str}}{\sin \varphi_{2str}} = \frac{\rho_o}{\sin \left[\frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{e}{R} \right) \right]}$$

ρ_0 ... počáteční poloměr naostření břitu nože frézy

Modelový příklad

Vstupní parametry

Nástroj: průměr nožové hlavy	$D = 120 \text{ mm}$
počet nožů	$z = 6$
řezná rychlost	$v_c = 55 \text{ m.s}^{-1}$
počáteční poloměr ostrí nože	$\rho_o = 0,007 \text{ mm}$
max. poloměr otupení nože	$\rho = 0,035 \text{ mm}$
Materiál: výška frézované vrstvy	$e = 10 \text{ mm}$

Minimální posuv z hlediska otupení nástroje:

Ostrý nástroj:

$$f_{z \min} = \frac{h_{str}}{\sin \varphi_{2str}} = \frac{\rho_o}{\sin \left[\frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{e}{R} \right) \right]} = \frac{0,007}{\sin \left[\frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{10}{60} \right) \right]} = 0,013 \text{ mm}$$

$$v_{f \min} = f_z \cdot n \cdot z = 0,013 \cdot 0,001 \cdot 8760 \cdot 6 = 0,68 \text{ m / min}$$

Tupý nástroj:

$$f_{z \min} = \frac{\rho}{\sin \left[\frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{e}{R} \right) \right]} = \frac{0,035}{\sin \left[\frac{1}{2} \arccos \left(1 - \frac{10}{60} \right) \right]} = 0,064 \text{ mm}$$

$$v_{f \min} = f_z \cdot n \cdot z = 0,064 \cdot 0,001 \cdot 8760 \cdot 6 = 3,36 \text{ m / min}$$

Děkuji za pozornost