



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

10. 7. 2018, Brno

Připravil:

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

Pilové listy

konstrukce a parametry obrábění

Předmět: Nástroje a procesy obrábění

**Mendelova
univerzita
v Brně**



Obsah přednášky

Úvod

1. Konstrukce
2. Kinematika pohybu PL
3. Dynamika řezání RP



Historie

Nástroj - pilový list se používá u rámové pily, která se řadí k nejstaršímu dřevoobráběcímu stroji (první zmínka o RP 1230 – Villarde Hommencourt.

Na obrázku je návrh Leonarda Vincia Francesca di Giorgio Martinize z roku 1840.

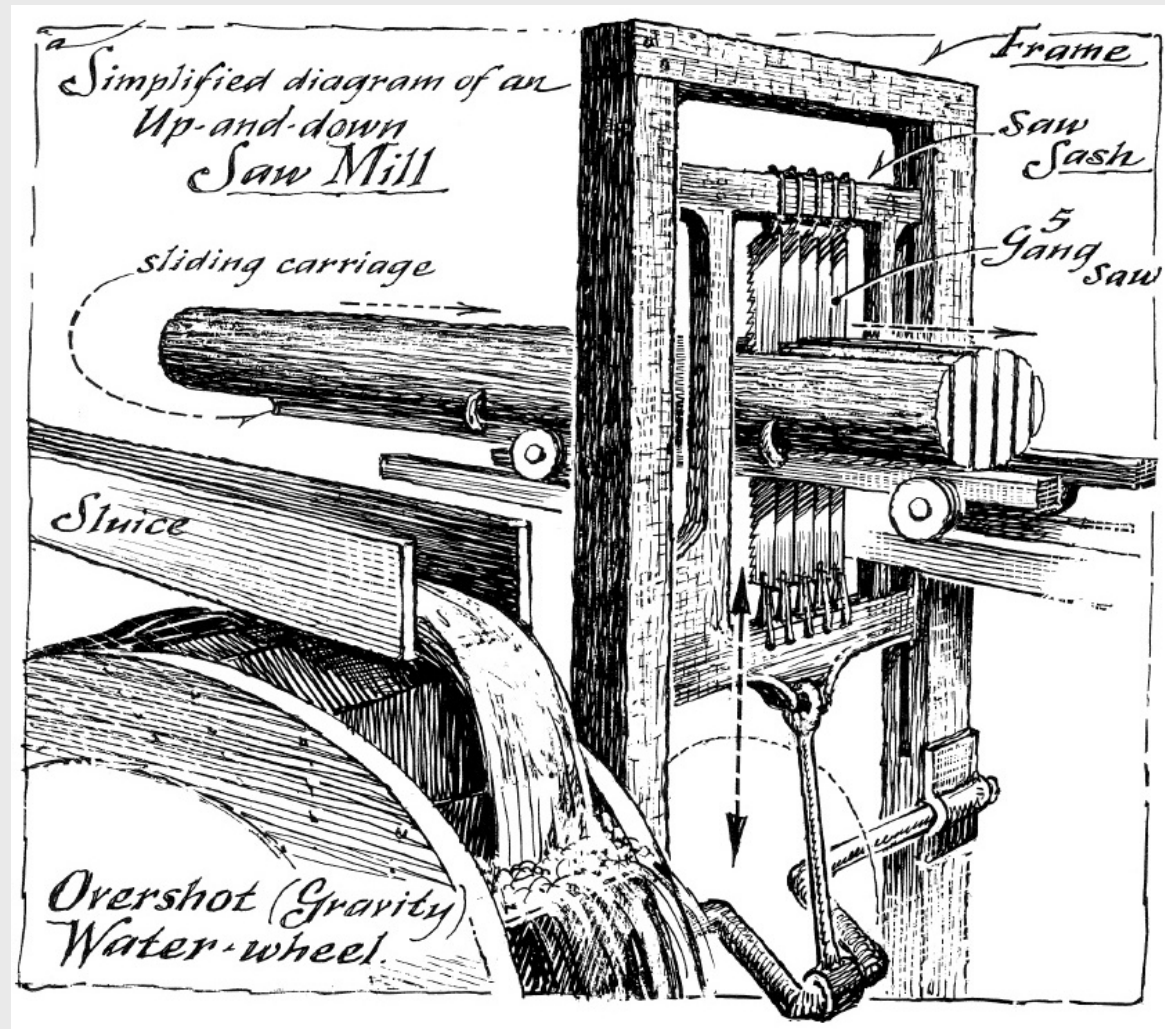
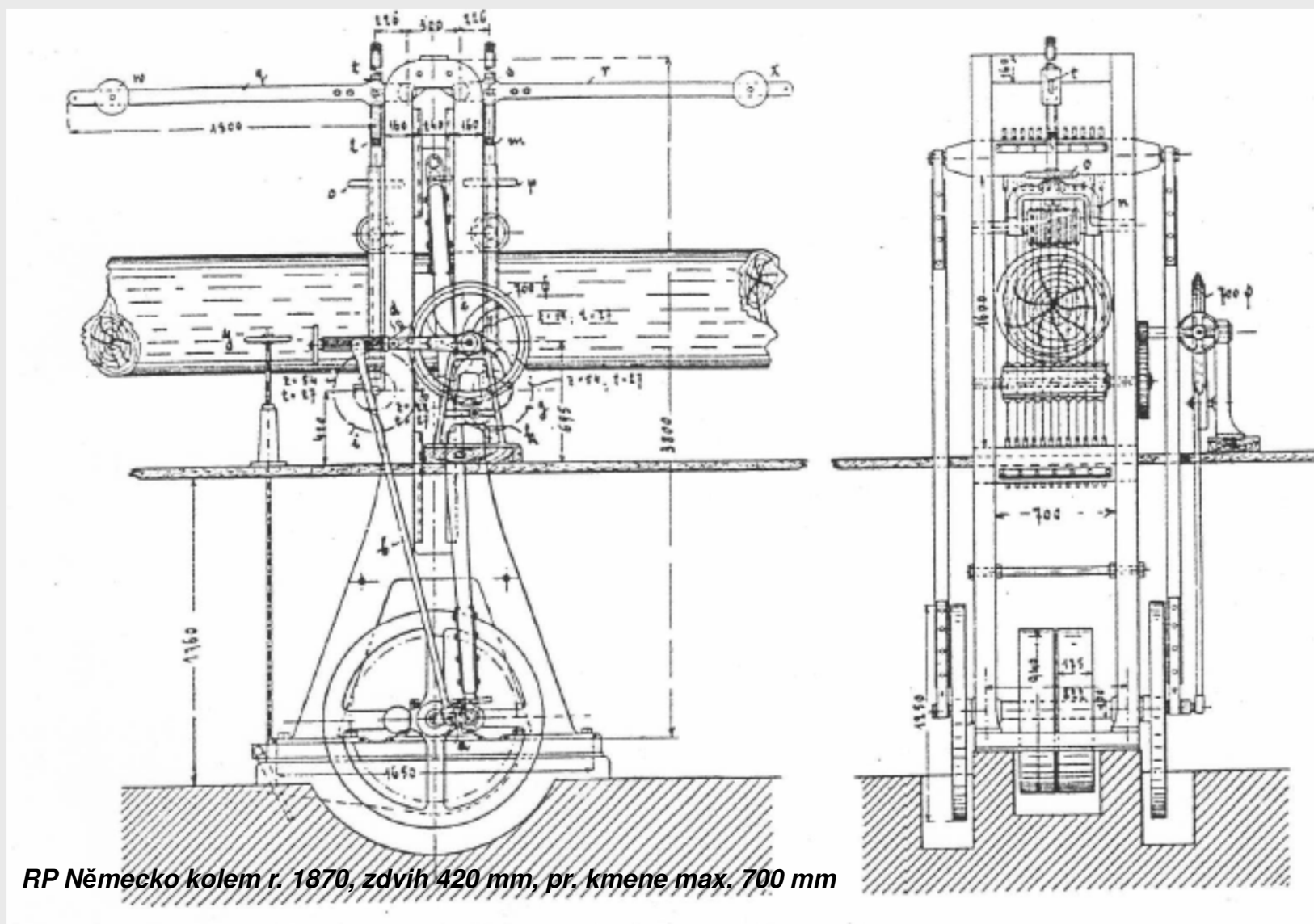
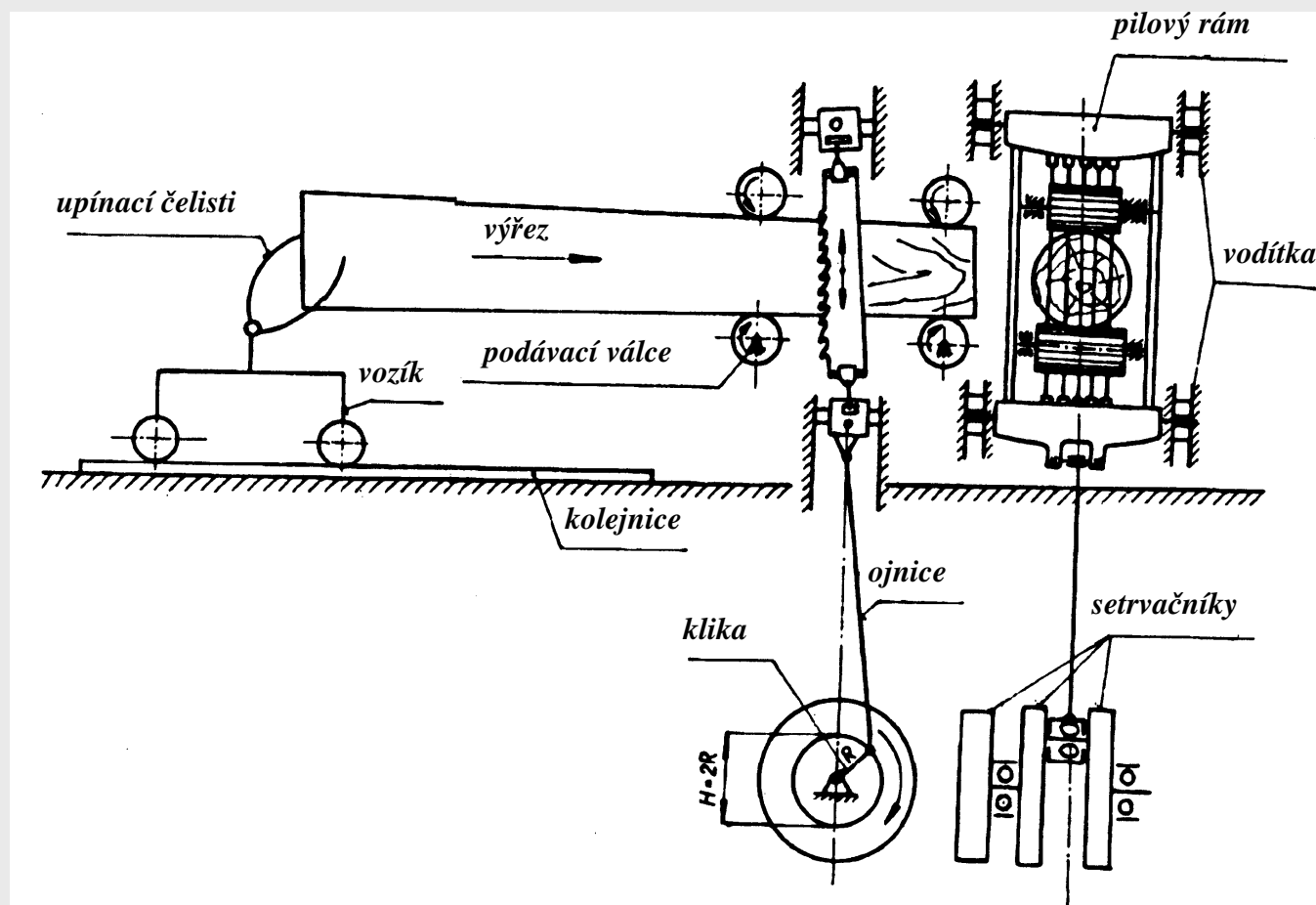


Schéma historické rámové pily z roku 1870



Technologické schéma rámové pily



Jedno-ojniční
2-etážová pila
se spodním
pohonem

Technicko-technologické parametry současné RP střední velikosti:



- Rámová pila RH 60 (Binter Dřevařské stroje) je určena pro střední provozy na zpracování pilařských jehličnatých i listnatých výřezů klasickou technologií pořezu.
- Je litinové konstrukce, rozměrově upravena pro instalaci na základ.
- Stroj je vybaven plynule měnitelnou hydraulickým podávacím mechanismem s hydraulickým přítlakem horních válců, elektricky přestavitelným rámem pro výměnu pilových listů a hydraulicky odlehčovanou rychlobrzdou.
- Napínání pilových listů je prováděno klasickým excentrickým závěsem na olištované nebo příčně děrované pilové listy. Rámová pila RH 60 má pevnou řemenici, startuje se přímozáběrem z horní úvrati bez přesouvání řemenu.

Hlavní parametry

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

příkon stroje $P = 50 \text{ kW}$

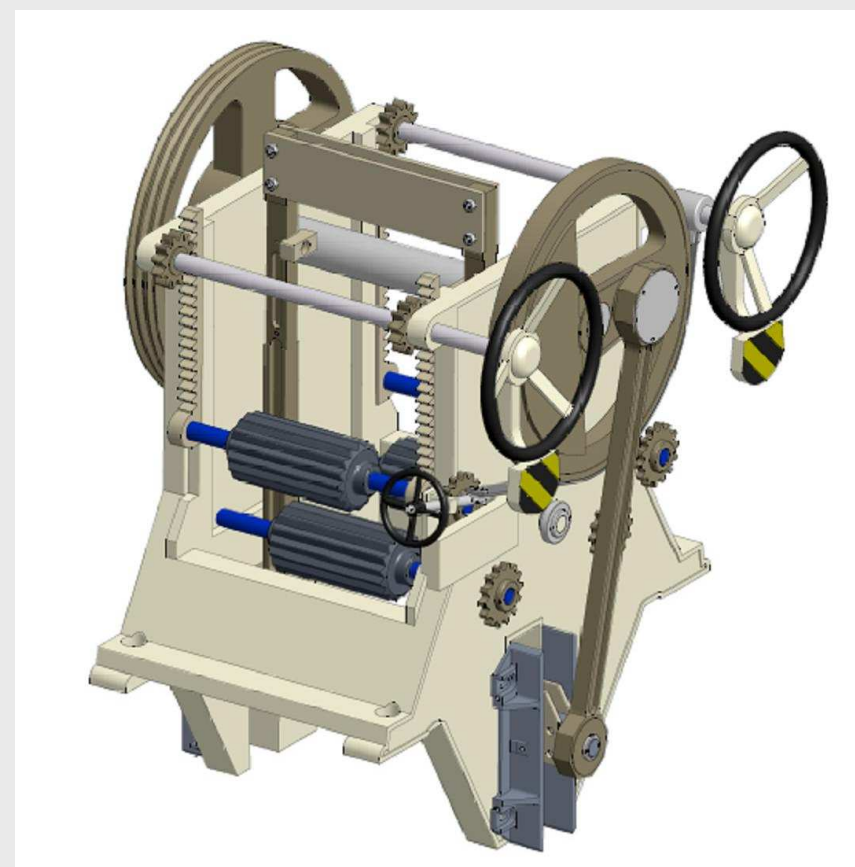
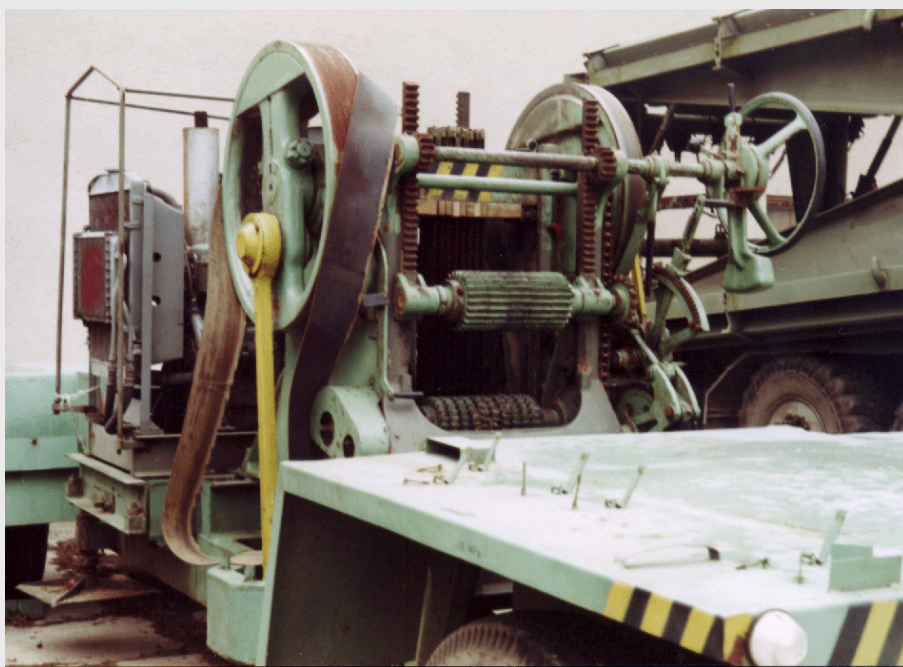
střední řezná rychlost
 $v_{cm} = 6,5 \div 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

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

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



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



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

Moderní pilnice s rámovou pilou fy Esterer



Das Esterer WD Vollgatter LSH ist für das fortschrittliche mittlere Sägewerk konstruiert.

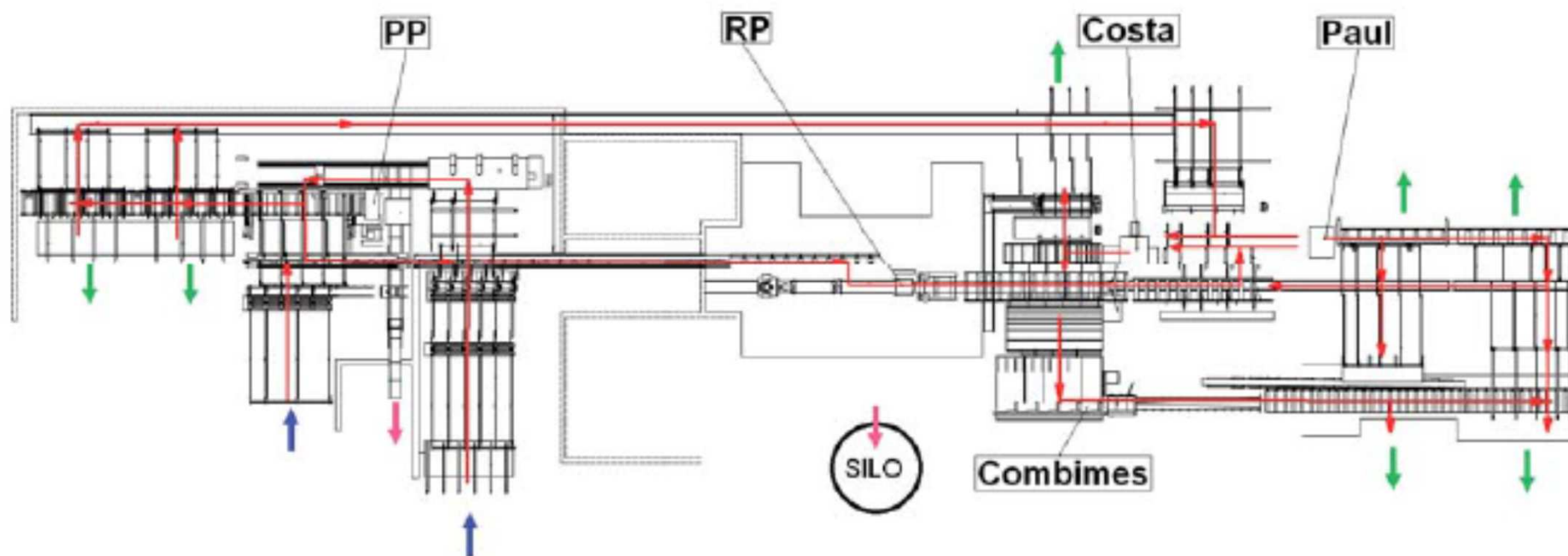
Die Maschine verfügt über eine hervorragende technische Ausstattung. Das sehr gute Preis-Leistungs-Verhältnis ist das Ergebnis einer ausgereiften Gatterkonzeption.

Die Kombination aus stufenlos regelbarem Stetigvorschub und automatischer Überhangverstellung mit oberer Rahmenschwungung ermöglicht äußerst günstige Einschnittverhältnisse ohne Rückschnitt.

Das Auswerfen von Sägespänen nach oben wird weitgehend verhindert. Der Einschnitt von starkem Holz ist wesentlich erleichtert.



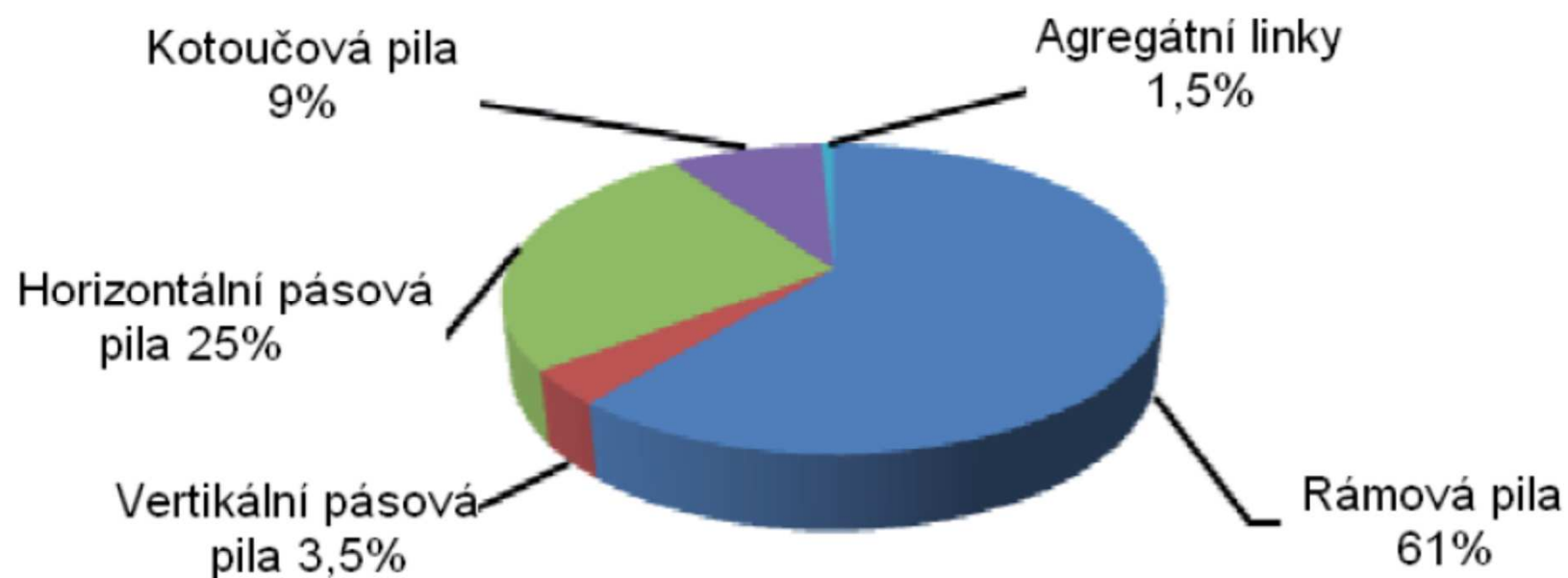
Příklad uspořádání pilnice firmy Pila Luby



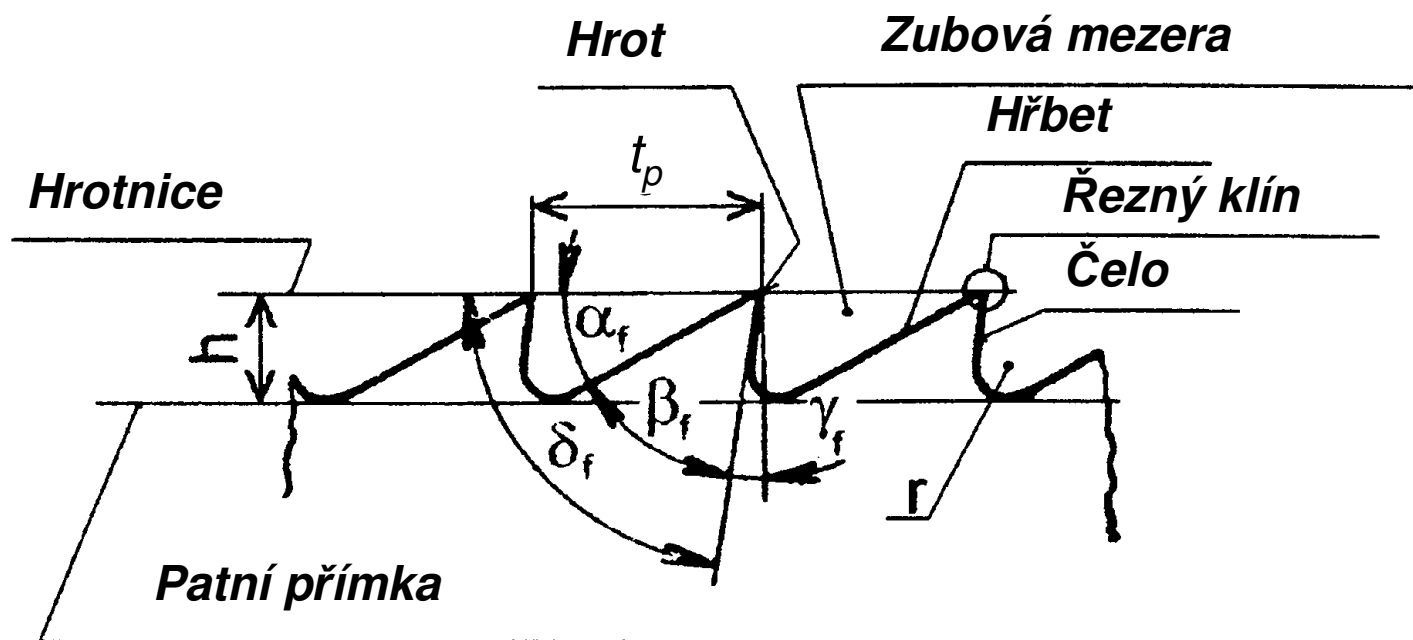
Moderní pořezová linka Holz-Schiller skýtá spoustu technologických možností a variant toku materiálu. Vstupní kulatinu je možné pořezat na pásové pile (PP) – vstup materiálu modrá šipka vpravo, nebo rámovou pilou (RP) – vstup modrá šipka vlevo. Boční řezivo a prizmy jsou posílány pomocí soustavy několika dopravníků (směr červené šipky) na omítací a rozmítací kotoučovou pilu Costa a Paul, nebo optimalizační omítací systém Combimes.

Zdroj: M. Zeman –DDP, Praha 2012.

Procentuální zastoupení hlavních pořezových strojů na území ČR (Bomba 2009)

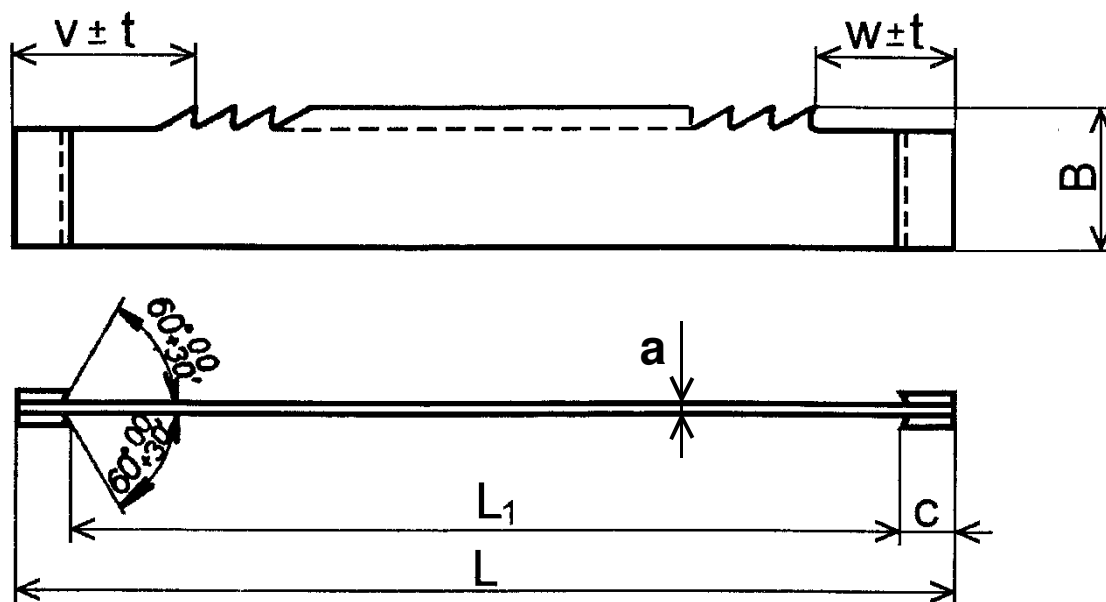


1 Konstrukce



t_p – rozteč mezi zuby
 h – výška zubu

Základní rozměry pilového listu



Délka

$$L = D_{max} + H + 300 \quad [\text{mm}]$$

kde: D_{max} – průměr výřezu,
 H – zdvih pilového rámu

Tloušťka

empiricky

$$a = (0,1 \div 0,12) \sqrt{D_{max}} \quad [\text{mm}]$$

ČSN 225360

1,8 mm pro $L = 1050$ mm,
2 mm pro $L = 1100$ až 1250 mm,
2,2 mm pro $L = 1300$ až 1600 mm
2,4 mm pro $L > 1600$ mm

Šířka

B – závisí na délce a tloušťce
(nejčastěji používaná -160
nebo 180 mm)

Pata pilového listu - w

Hlava pilového listu - v

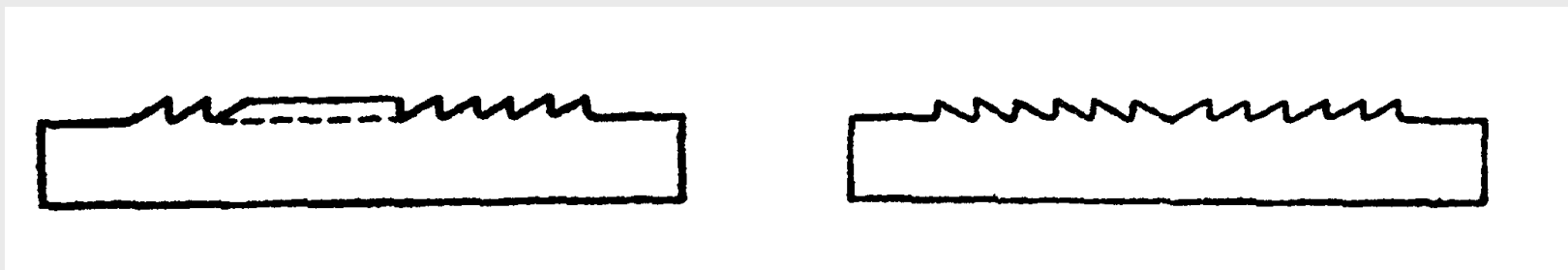
Šířka konce závěsu - c

Volná délka mezi závěsy - L_1

Rozdělení pilových listů

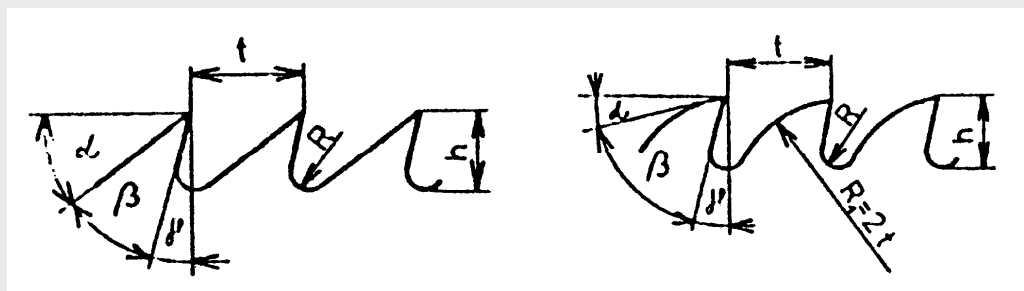
Podle možnosti řezání:

- jednosměrné
- obousměrné (pro vodorovné RP)



Podle tvaru zubů:

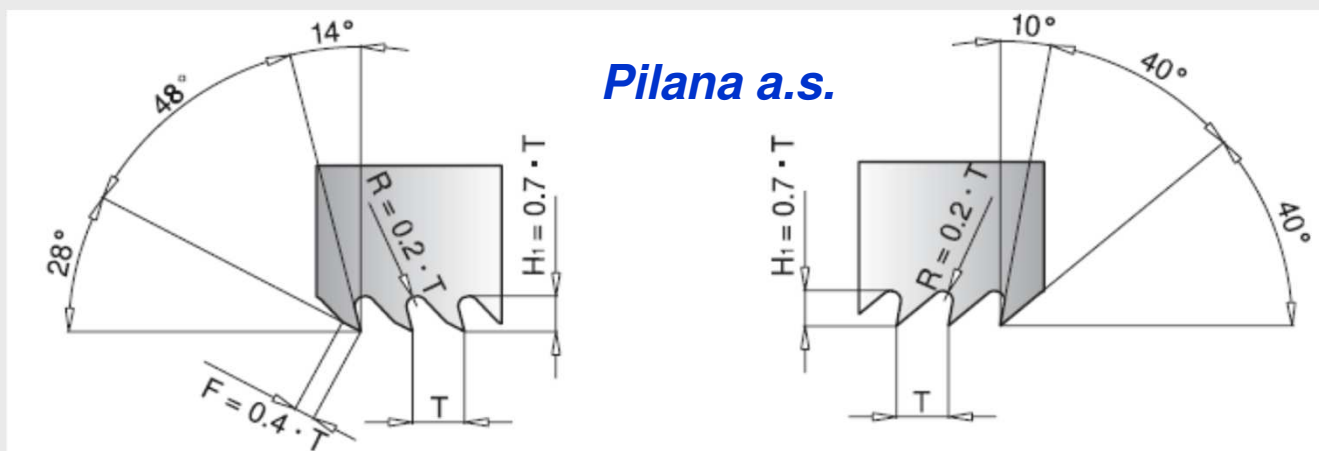
- s trojúhelníkovými zuby
- s vlčími zuby (oblý nebo lomený hřbet)



Geometrie zubů pilových listů

Vlčí zub s lomeným hřbetem – KV

Trojúhelníkový zub - NV

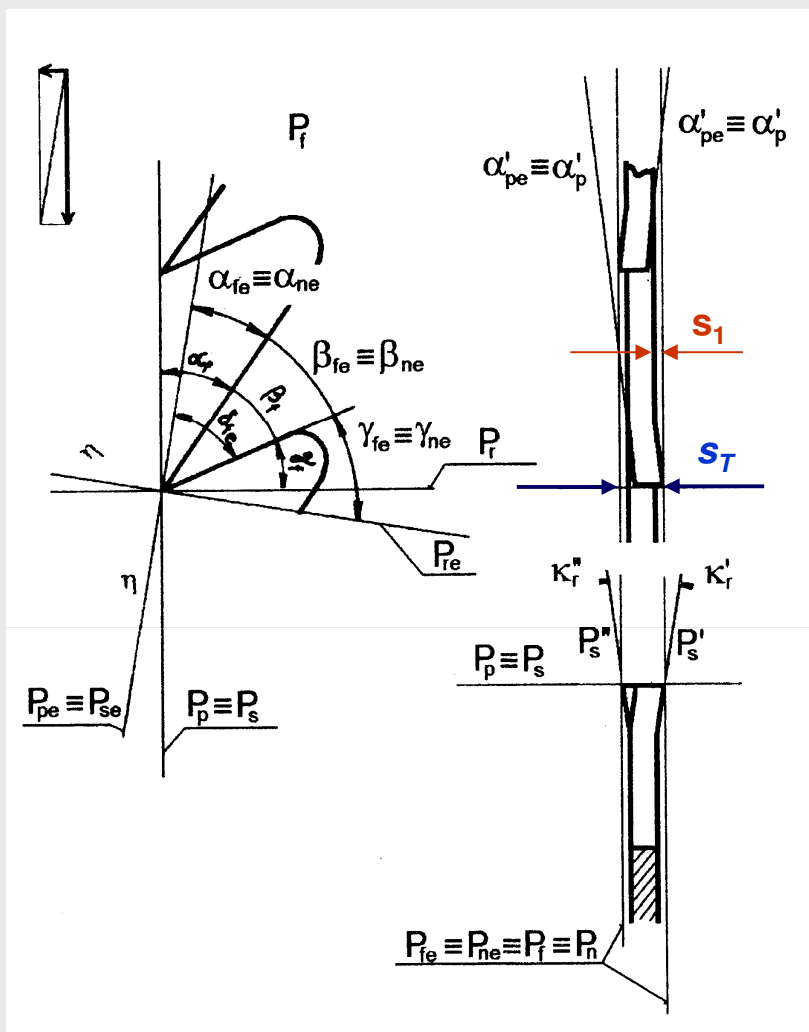


$t_z = 18, 22, 26$
a 32 mm

$h_z = 12,5; 15;$
18 ; 22 mm

Typ dřeva				
	zmrzlé, velmi tvrdé	tvrdé	tvrdé s nízkou hustotou, měkké	měkké
Úhel čela	8 - 12°	10 - 14°	14 - 16°	14 - 19°
Hloubka zubu	0,4 - 0,5 násobek rozteče zubu	0,5 násobek rozteče zubu	0,6 - 0,7 násobek rozteče zubu	0,7 násobek rozteče zubu
Vhodná tloušťka listu	2,4 mm	2,2 - 2,4 mm	2,0 - 2,2 mm	1,8 - 2,2 mm
Rozvod zubů	1/4 násobek tloušťky listu	1/4 - 1/3 násobek tloušťky listu	1/3 - 1/2 násobek tloušťky listu	1/2 násobek tloušťky listu

Šířka řezné spáry a transformace úhlů

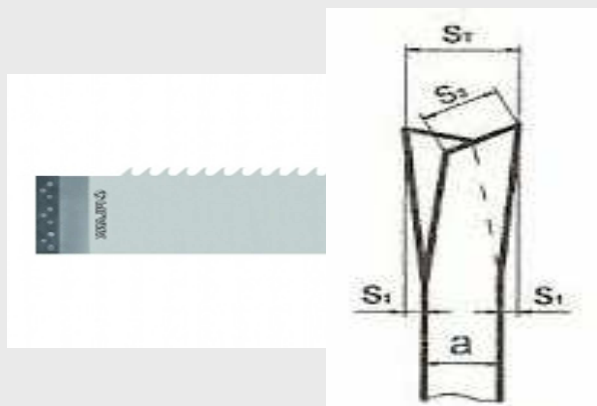


Rozvedené i přechované zuby pilového listu o tloušťce „ a “ vytváří při práci řeznou mezeru (prořez) $b_d = s_T = a + 2 \cdot s_1$, která je širší než tloušťka „ a “, aby se pilový list v řezné spáře pohyboval volně a nezádíral se.

Zuby mají nejčastěji úhel nastavení hlavní řezné hrany $\kappa_r = 90^\circ$.

Při řezání dochází k transformaci pracovních úhlů v důsledku natočení základní roviny P_{re} o úhel η .

Materiál pilových listů



Materiál 16 270 – rozváděné zuby

(C 0,65 až 0,75%, Cr – 0,25 až 0,45%

Si – 0,2 až 0,4%, Mn – 0,3 až 0,6%

Ni – 1,85 až 2,15%)

Zušlechtěno na tvrdost 48±2 HRC

Ocel je dodávána jako pásková, která byla válcována za studena.

Materiál 19 615 - pěchované zuby

(C 0,5 až 0,6%, Cr – 0,3 až 0,5%

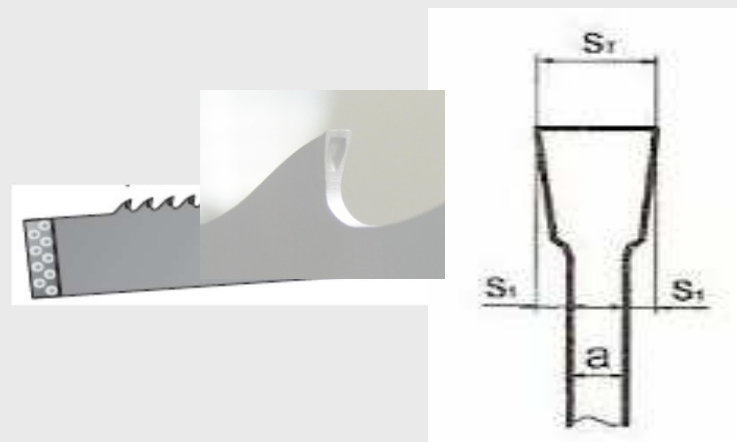
Si – 0,2 až 0,4%, Mn – 0,3 až 0,6%

Ni – 1,3 až 2,2%, S=max 0,01%, P = max 0,02%)

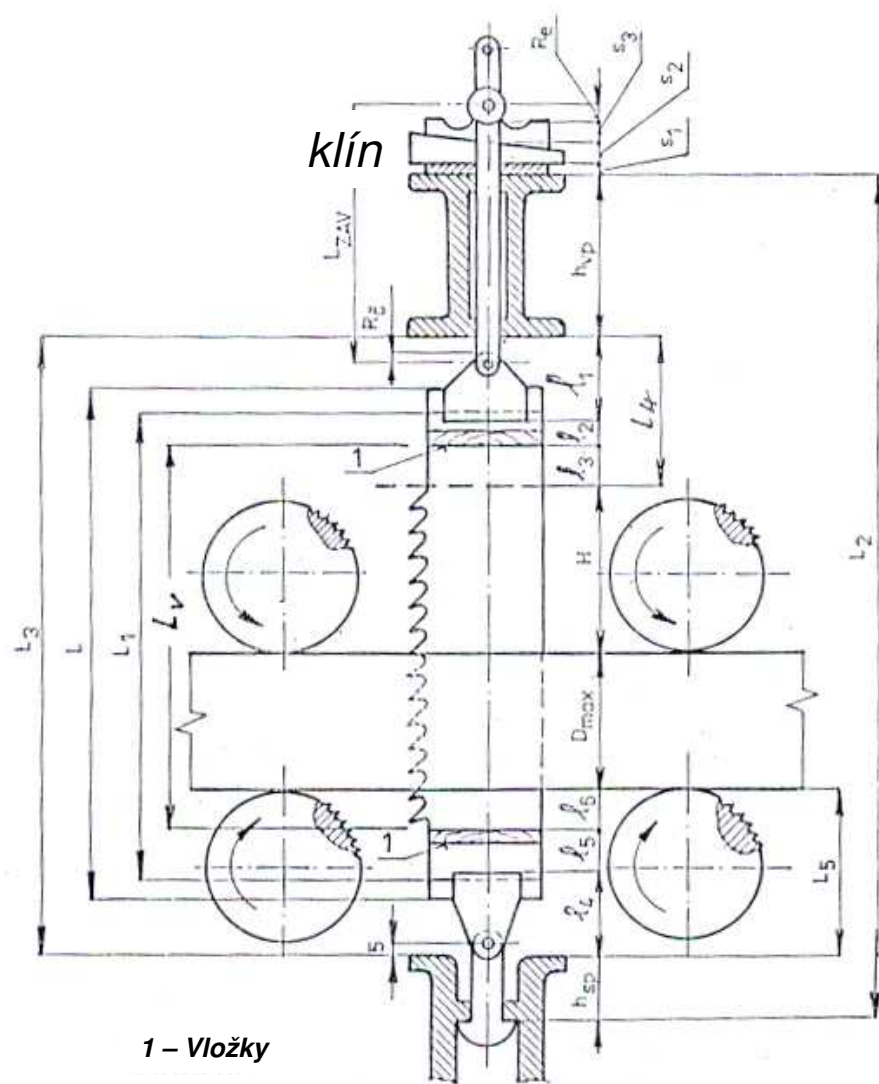
Tvrdost po zušlechtění 44±2 HRC

Ocel je dodávána jako pásková, která byla válcována za studena.

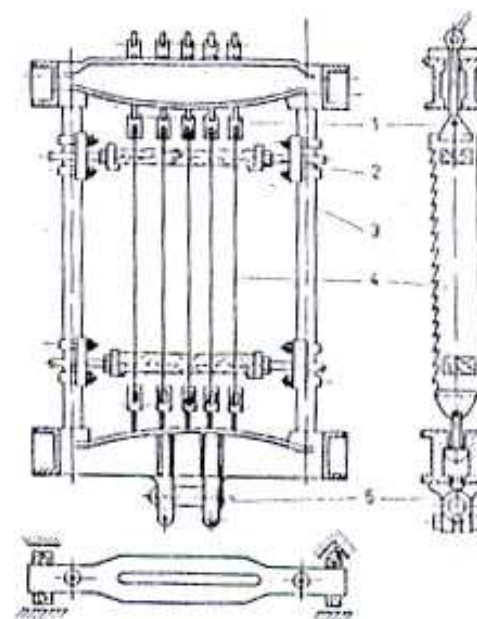
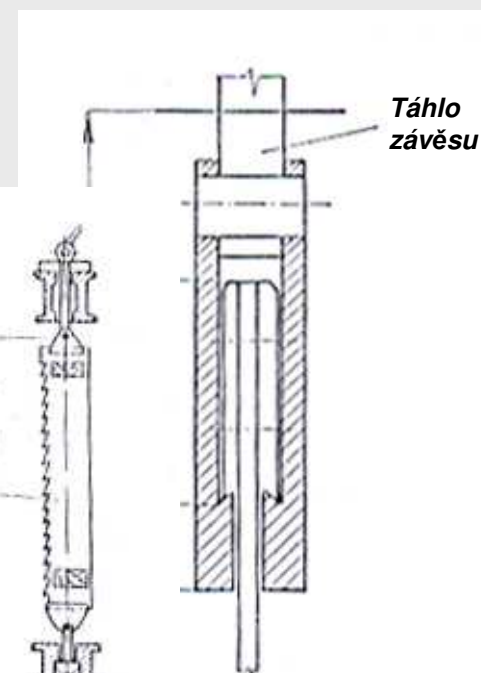
Přibližně odpovídá oceli 75Cr1 podle DIN 1.2003 (výrobce Pilana)



Poznámka: Struktura materiálu PL je tvořena velmi jemnou strukturou s rovnoměrnými globulárními útvary karbidů. Z metalografických výbrusů bylo zjištěno, že při pěchování zubů může docházet k tvorbě velmi malých trhlinek. Tomu se obvykle předchází popouštěním materiálu PL tak aby tvrdost byla v rozsahu 44 ÷ 46 HRC. Při tvrdších materiálech se pěchování provádí na materiálu vyžíhaném na měkko a potom se PL zušlechťuje na požadovanou tvrdost.

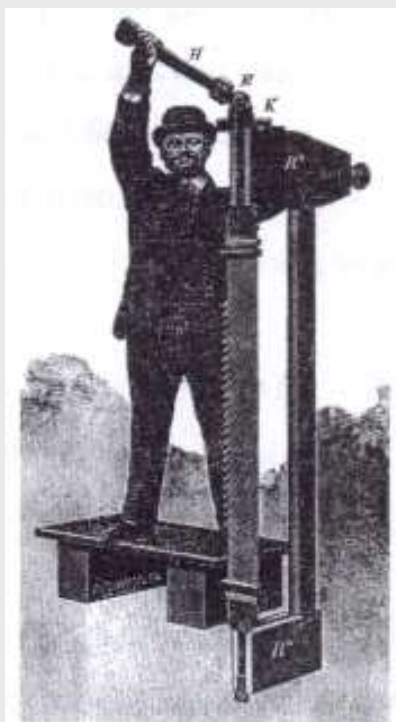


Upnutí PL pomocí klínů a excentrů



Síly v pilových listech RP

V pilových listech (PL) rámových pil (RP) se při provozu vyskytují poměrně značně vysoká napětí, proto je nutné pro správný chod a řezání znát napět'ové poměry v listech



Na výsledné napětí v PL mají hlavní vliv tyto síly:

- *Napínací síla PL, vytvořená upínacím mechanismem (klín-excentr, šroub, pružné klíny nebo hydraulické upínání)*
- *Řezná a posuvná síla působící na zuby PL*
- *Setrvačná síla, která vzniká při prudké změně pohybu v horní a dolní úvrati klikového mechanismu*
- *Síly vyvolané změnou teploty PL při řezání*

Vliv napínací síly na pilový list

Velikost napínacích sil se obvykle volí tak, aby napětí v PL po upnutí do pilového rámu nepřekračovalo 120 MPa (podle Thunella nebo Fencla, Javorek 2006)

V praxi se obvykle měří prodloužení PL po upnutí a mělo by se pohybovat do 1 mm na metr délky listu (1,0 ‰) a napětí při upnutí dosahuje až 250 MPa.

Výpočet napínací síly je poměrně jednoduchý z prosté podmínky namáhání PL v tahu

Napínací síla:

$$F_n = \sigma_t \cdot a \cdot B_l$$

kde σ_t ... tahové napětí (80 až 120 MPa)
 a ... tloušťka listu
 B_l ... šířka listu měřená ke dnu zubů

$$F_n = \sigma_t \cdot a \cdot B_l = 120 \cdot 2 \cdot 160 = 38400 \text{ N}$$

Prodloužení PL:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{L}$$

$$L^* - L = \Delta l = \frac{\sigma_t}{E} \cdot L$$

$$\Delta l = \frac{\sigma_t}{E} \cdot L$$

Poznámka:

Podle Kollmanna by prodloužení pilového listu vlivem napínací síly mělo být 0,7 až 1,3 ‰.

Účinek sil vyvolaných změnou teploty pilových listů

- Změna teploty (zejména její růst) výrazně ovlivňuje napěťové poměry v PL
- Teplota roste v důsledku tření PL v řezné spáře, přičemž nejvýrazněji roste při malých rozvodech zubů (0,5 až 0,6 mm)
- Ohřátí listu ovšem není rovnoměrné, logicky se ohřívá nejvíce ta část listu, která je v přímém kontaktu se dřevem
- Při běžném provozu se listy zahřívají na teplotu 50 až max. 90 °C

Pilový list dilatuje podle známého vztahu z fyziky:

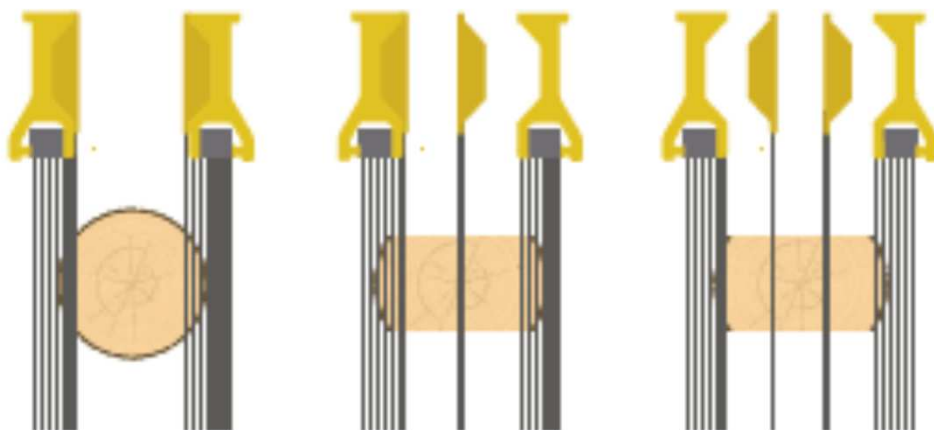
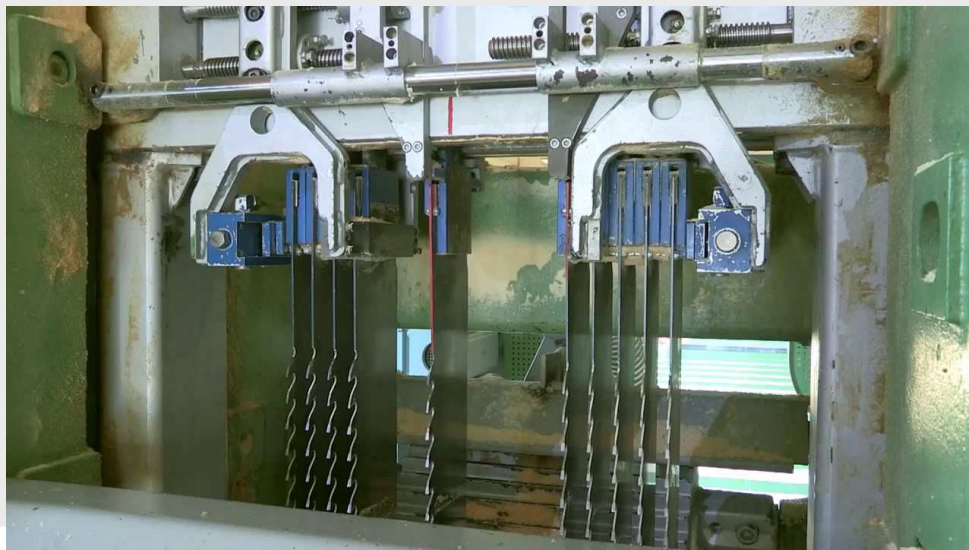
$$L_T = L + L \cdot \alpha_{20} \cdot (T_2 - T_1)$$

kde

- L_T ... délka listu po tepelné dilataci
- L ... původní délka listu
- α_{20} ... součinitel tepelné roztažnosti (pro ocel $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$)
- $T_2 - T_1$... rozdíl teplot

- List, který se z 20° C zahřeje na extrémní teplotu 100° C se na délce 1000 mm prodlouží skoro o 0,9 mm. Je zřejmé, že takto ohřátý list téměř ztratí účinek předpnutí napínací silou, kde se kalkuluje s prodloužením listu cca 1mm. V praxi se obvykle přistupuje na vyšší prodloužení pilového listu po upnutí 0,28 až 0,31 mm na 230 mm délky PL (podle Javorek 2006)

Šířkové přestavování závěsů – Esterer WD Vario SV4



1- piece flexible

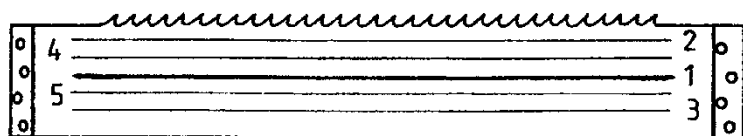
2-pieces flexible

3-pieces flexible

- Zvýšení užité hodnoty rámové pily přináší šířkové přestavování závěsu.
- Pomocí servomotoru a kuličkovému šroubu lze podobně jako u číslicově řízených obráběcích strojů přestavovat dvě až čtyři samostatné skupiny pil.
- Odpadá tím nutnost převěšování listů při změně pořezu, jednotlivé skupiny lze přestavit za chodu.
- Ve spojení s technikou stelitování nástrojů, www.iseli-swiss.com, která zabezpečí dostatečnou trvanlivost ostří, je možno dosáhnout významných časových úspor a nasadit rámovou pilu i v oblasti výroby stavebního řeziva.

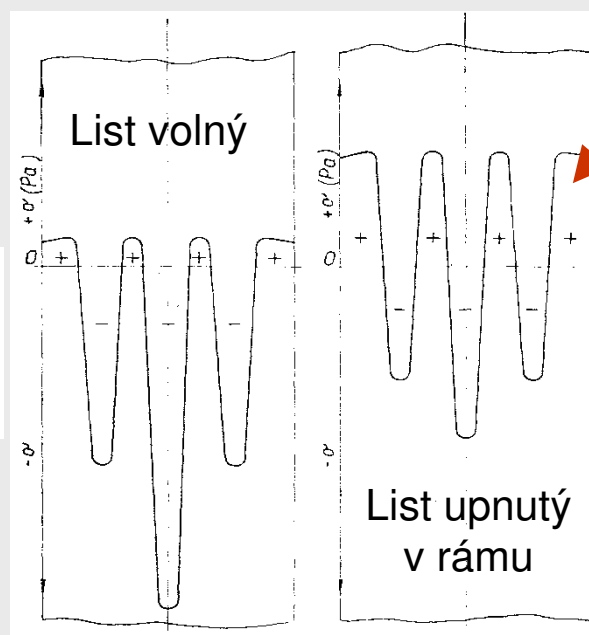
Stabilita pilových listů

PL nestačí jen správně upnout do rámu, ale je nutné v těle PL upravit rozložení napětí tak, aby při upnutí byla max. napnutá řezná část se zuby. Toho se docílí **úpravou vnitřního pnutí - válcováním listu.**



U neupraveného listu rámové pily je při napínání namáhána především střední část listu, přičemž okraje nedosáhnou žádané tuhosti – proto se zejména střední část pilového listu prodlužuje symetrickým válcováním v několika stopách (listy o šířce do 140 mm – pouze 3 stopy – střední stopa se umísťuje do středu šířky listu – další stopy ve vzdálenosti 20 až 30 mm).

Rozložení napětí po válcování

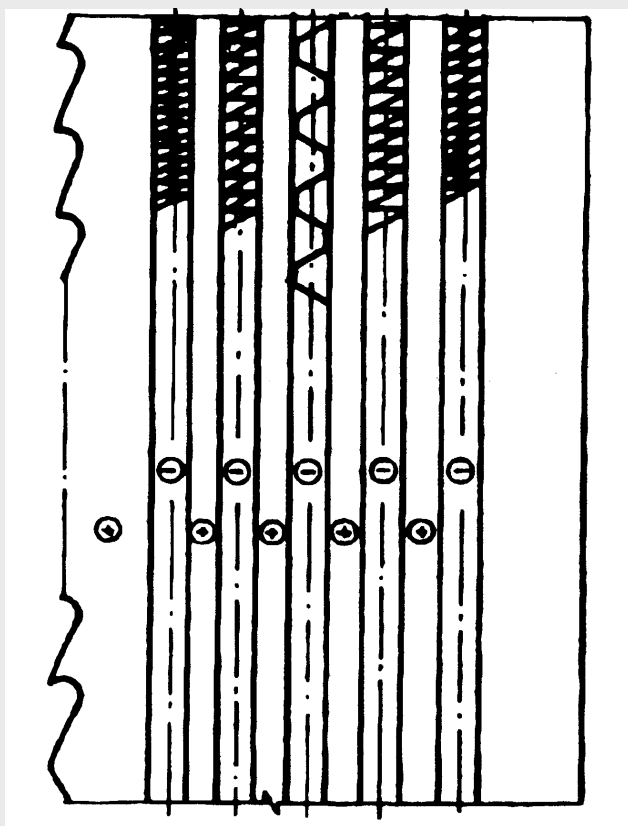


Tahové napětí je vyšší než odpovídá napínací síle

Tlakem válečku válcovacího stroje (může dosahovat až 20 kN) se list plasticky deformuje v oblasti válcované stopy.

Protože válcovaná stopa je pevně spojená s okolním materiálem – brání tento materiál jejím dalšímu prodlužování a vzniká zde tahové napětí. V zubové a hřbetní oblasti listu tímto vznikne tahové napětí až 100 MPa, které se sčítá s napětím vzniklým v důsledku upnutí listu a tím se zvyšuje tuhost listu.

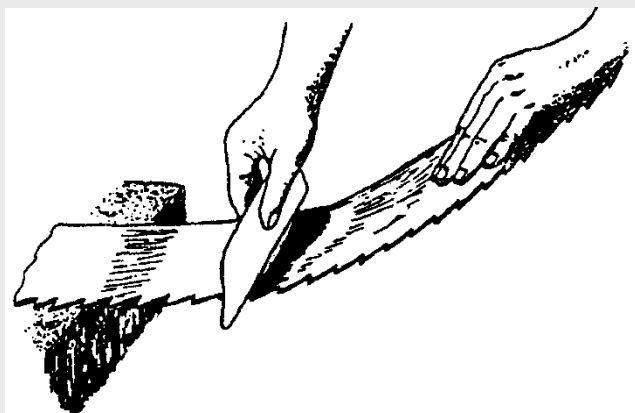
Účinek válcování v těle PL



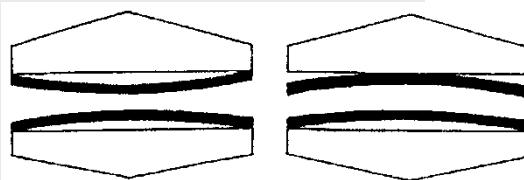
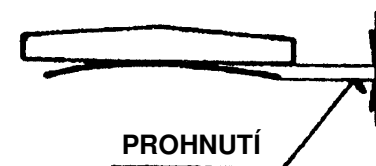
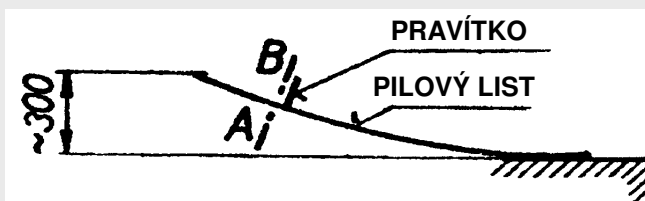
- Plastické deformace těla listu po válcování je možné přirovnat k účinku různě stlačených pružin, které „okolní materiál listu natahují (unášejí jej) a způsobují kladná tahová napětí $\oplus$, která jsou největší v řezné a zádové části listu.
- Tímto opatřením se zabraňuje podřezávání vedoucí k různé tloušťce řeziva, odstraňuje se vlnitost řeziva, zlepšuje se kvalita povrchu, PL jsou méně tepelně namáhané atd.

Kontrola správného rozložení napětí

Kritériem je vznik světelné mezery při
přiložení pravítka k definované
prohnutému pilovému listu



SPRÁVNĚ



ŠPATNĚ



Nedostatečná tuhost listu

Speciální pilové listy pro strojní rámové pily J – Typ (fa Pilana a.s.)

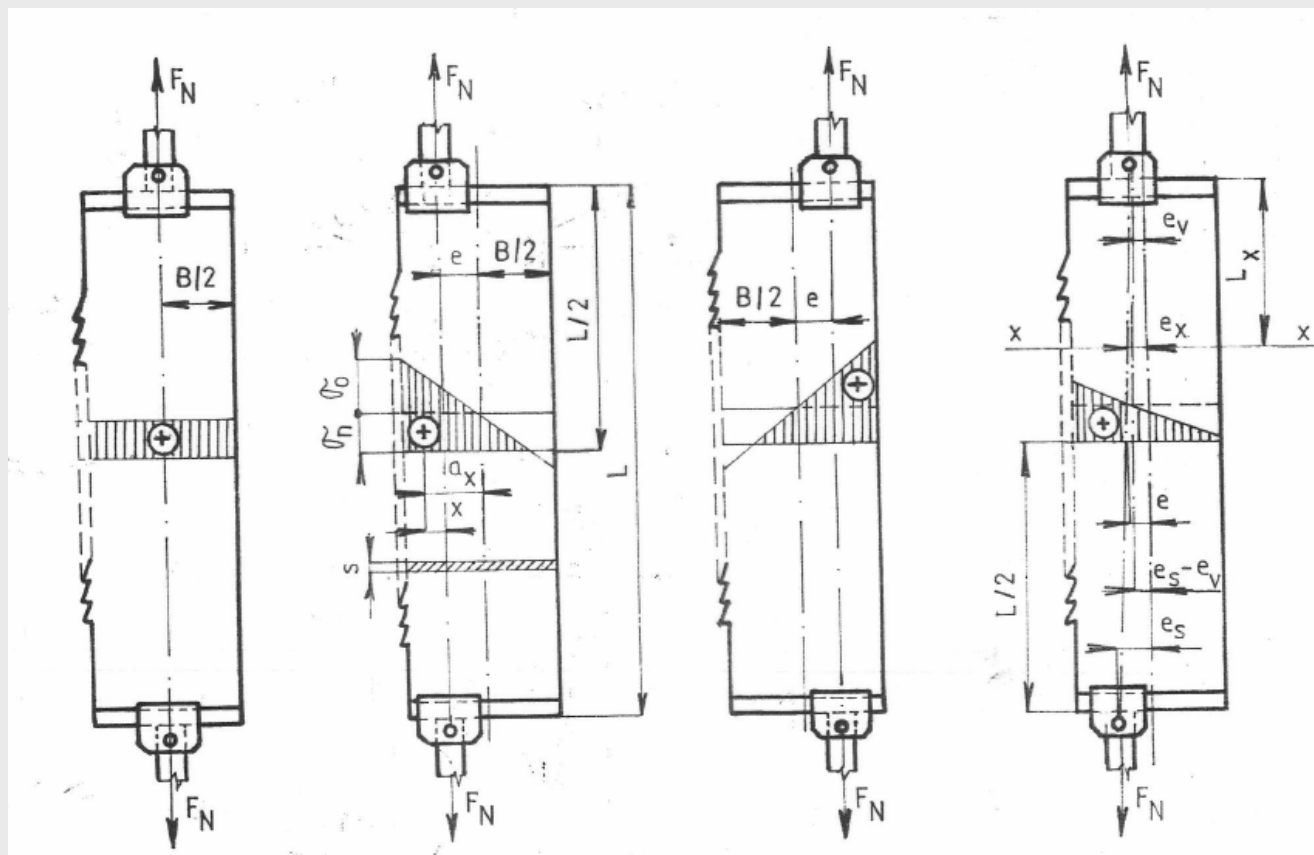


Charakteristika: Tyto pilové listy mají na zádové straně speciální prolis, který spolehlivě eliminuje nežádoucí pnutí v listech. Toto řešení je patentově chráněno a registrováno u Úřadu průmyslového vlastnictví v ČR i SR.

Při používání pilového listu J–Typ získává uživatel tyto výhody:

- **pily jsou bezúdržbové ve smyslu nutnosti opravování pnutí, stačí jen srovnat boule**
- **cena stejná jako za běžný list RP**
- **vzhledem k nepřítomnosti válcovacích stop není materiál nikde narušen a plošně zeslaben – nehrozí tak prasknutí do válcovací stopy**
- **je možno brousit v podstatě na všech typech běžných brusek**
- **je možné je upínat do všech stávajících závěsů**
- **jsou dodávány v libovolné délce od 1000 až do 1600 mm, v šířkách a tloušťkách jako běžné listy RP**
- **lišťování běžnými i atypickými lištami, děrování pro ESTERER závěsy**
- **ve tvrdochromovaném provedení, se stelitovanými zuby**

Vliv uložení v závěsu na rozložení napětí v PL



$$\tilde{\sigma}_{N\epsilon} = \frac{F_{N\epsilon}}{S \cdot B} [\text{MPa}]$$

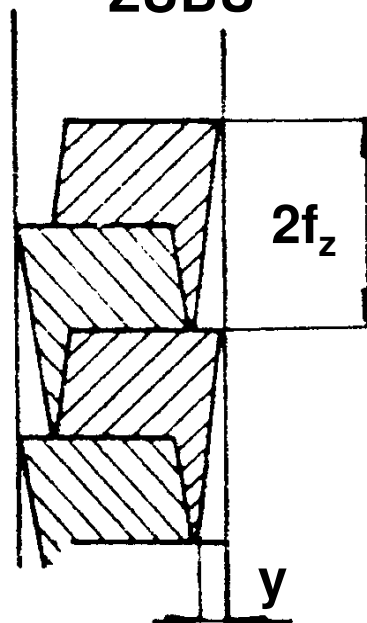
$$[60 - 70 \text{ MPa}] \approx 2,50 \text{ MPa}$$

Napínací síla

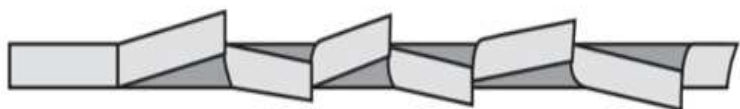
$$F_{N\epsilon} = \tilde{\sigma}_{N\epsilon} \cdot S \cdot B [\text{N}]$$

Úprava vychýlení zubů

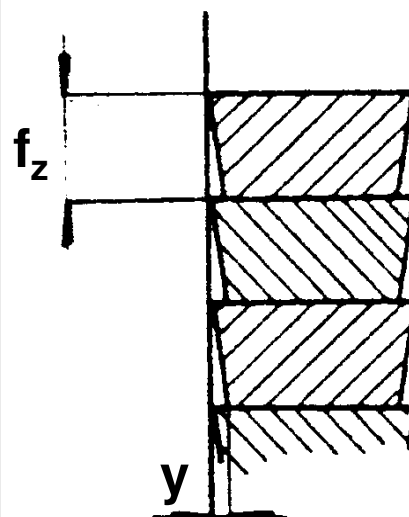
ROZVOD ZUBŮ



- A. Rozvod zubů se provádí rozváděcí pákou, kleštěmi nebo rozváděcím automatem.
- B. Zuby jsou více namáhány na ohyb - nestejná linie boční řezné hrany - kmitání listu.
- C. Horší drsnost obrobené plochy.
- D. Rozvod zubů na jednu stranu nesmí být větší než polovina tloušťky listu (přípustné odchylky nejvýše $\pm 0,05 \text{ mm}$).



PĚCHOVÁNÍ ZUBŮ



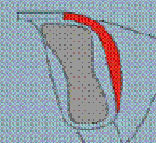
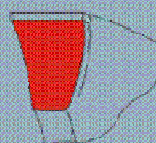
- A. Pěchování se realizuje plastickou deformací zubů – pomocí pěchovaček.
- B. Rovnoměrné namáhání zubů, zpevnění zubů plastickou deformací, zlepšení odolnosti proti opotřebení a lepší stabilita nástroje.
- C. Poloviční posuv na zub, při stejném posuvu – lepší kvalita obrobené plochy (menší y), snížení spotřeby energie o 3 až 10%.
- D. Při ostření se provádí egalizace (sjednocení) zubů do správného tvaru a linie - dodržení velké přesnosti – odebrání menší vrstvy materiálu – lepší kvalita obrobené plochy.

tvar zubu:

po napěchování

po egalizaci

po přebroušení



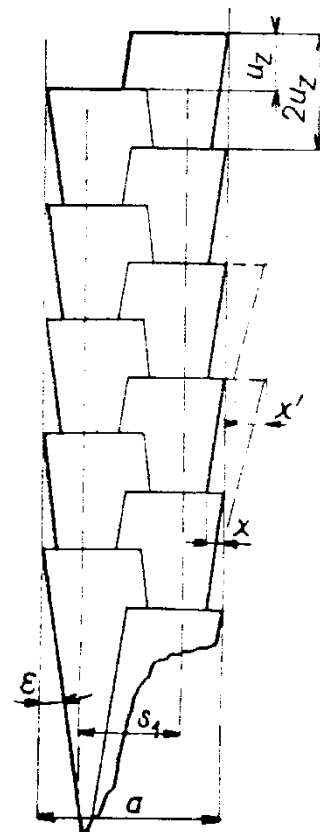
Velikost rozvodu

závisí na:

druhu dřeva (pro měkké, vláknité dřevo je nutný větší rozvod)
vlhkosti dřeva (vlhké dřevo při témže rozvodu více svírá nástroj)
stavu dřeva (při řezání zmrzlého dřeva je nutno volit menší rozvod)

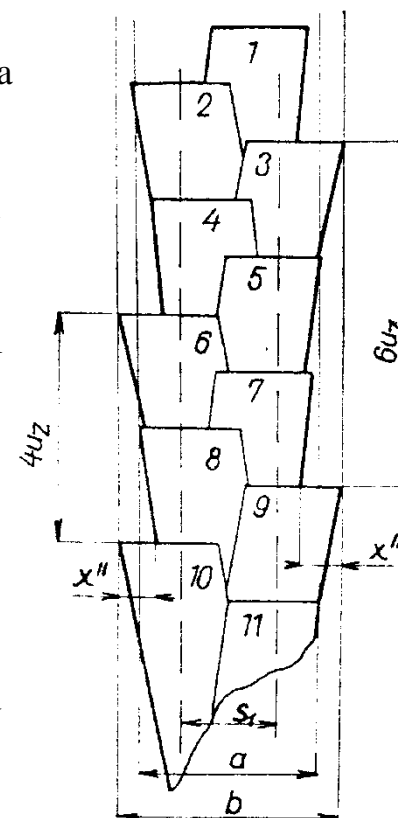
Měkké dřevo		Tvrdé dřevo	
vlhkost do 25 % nebo dřevo zmrzlé	vlhkost nad 25 %	vlhkost do 25 %	vlhkost nad 25 %
0,55–0,65	0,65–0,75	0,45–0,50	0,55–0,60

Správný rozvod zubů



přesnosti upnutí a rovinnosti nástroje (u větších vychylek je nutno volit větší rozvod)
směru řezání (při příčném - menší rozvod než při podélném)
rozměrech nástroje (u širokých pásů nebo u kotoučů velkých průměrů je nutné volit větší rozvod)

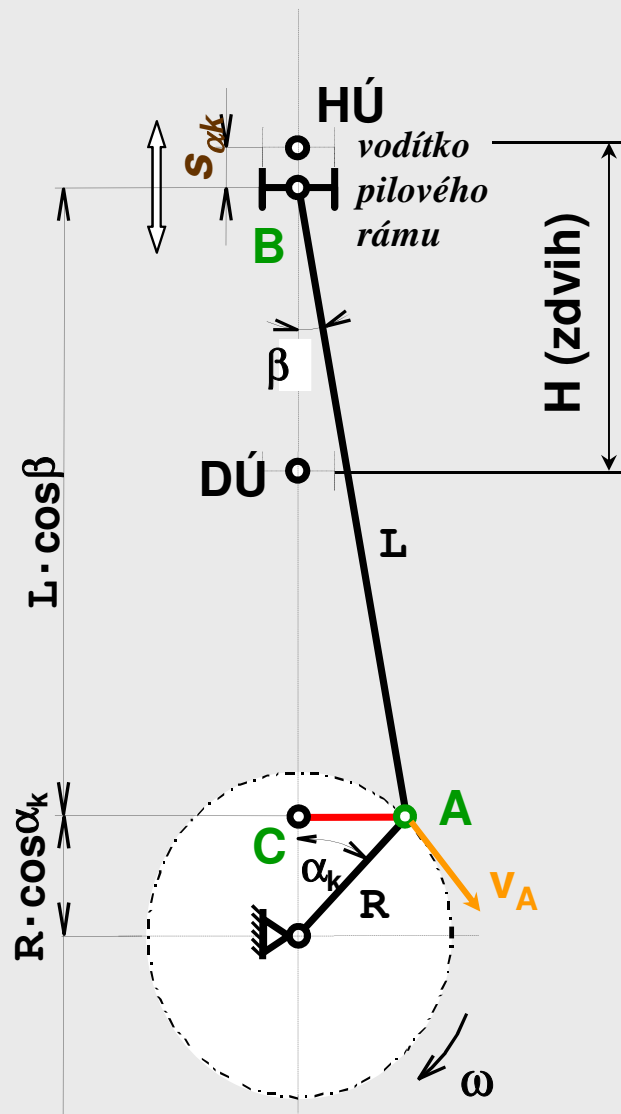
Chybný rozvod zubů



x — teoretická maximální drsnost povrchu; x' — teoretická maximální drsnost při dvojnásobném rozvodu; u_z — posuv na zub; s_1 — tloušťka listu; a — teoretická šířka řezné spáry

x'' — maximální teoretická drsnost vlivem chybného rozvádění; a — teoretická šířka řezné spáry při správném rozvodu; b — teoretická šířka řezné spáry při chybném rozvodu; s_1 — tloušťka listu

2 Kinematika pohybu pilových listů



Ojniční čep na klice (bod **A**) rotuje po kruhové dráze rovnoměrnou obvodovou rychlostí

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

Okamžitá dráha rámu $s_{\alpha k}$:

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

Pro úsečku A-C platí:

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

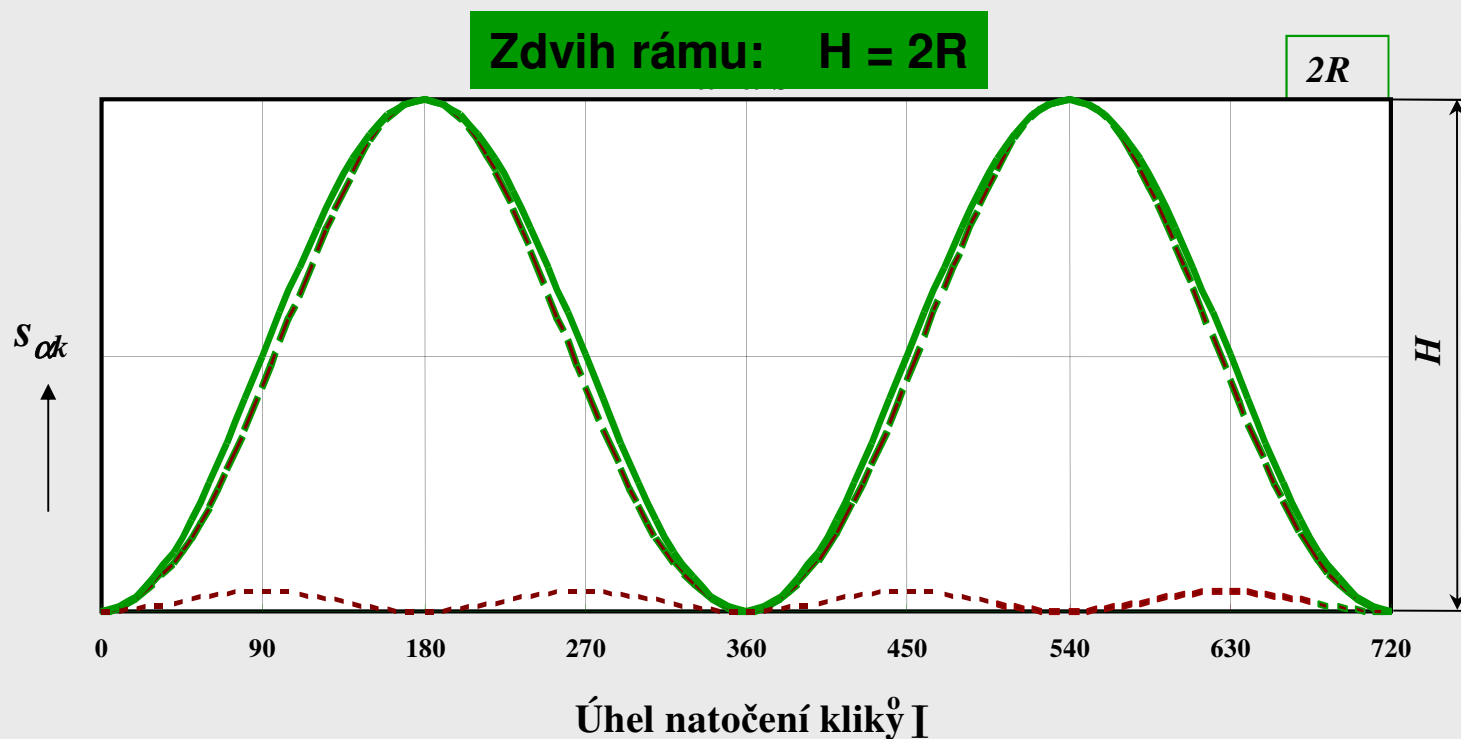
Odtud rozměrový součinitel:

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

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

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

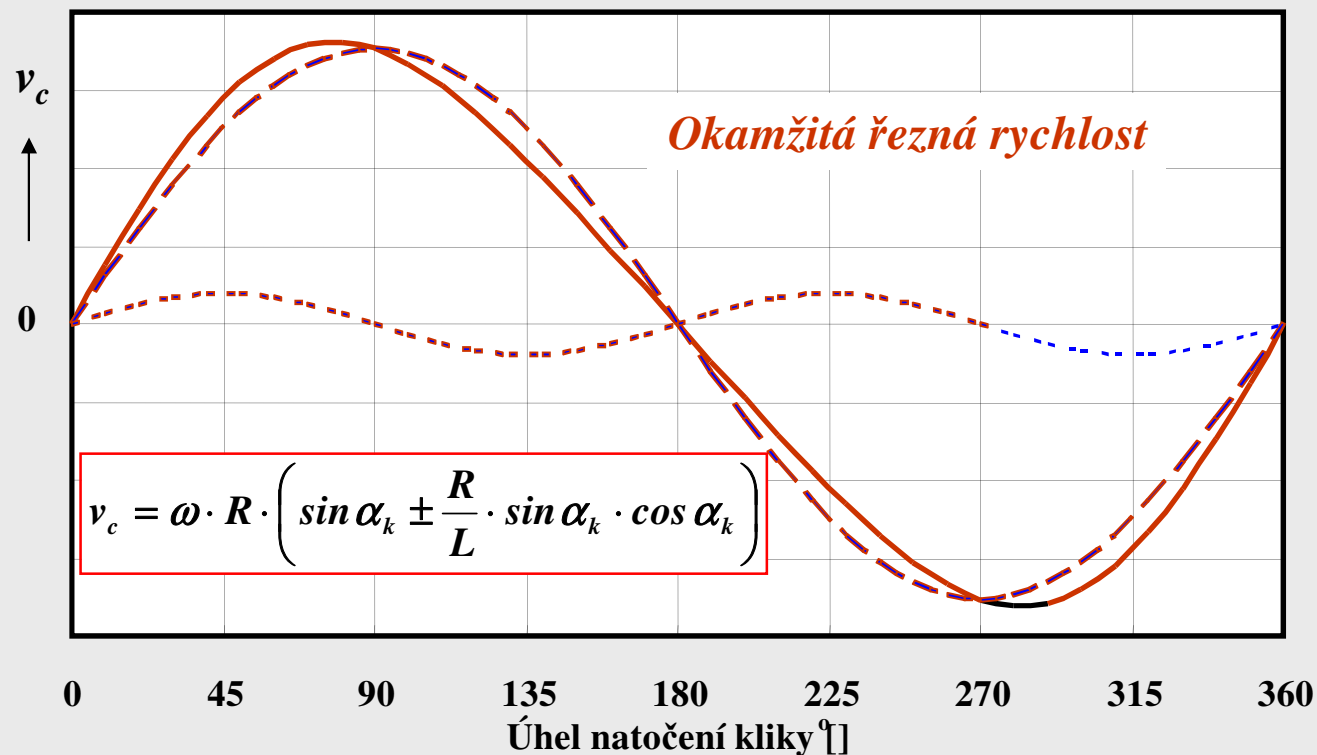
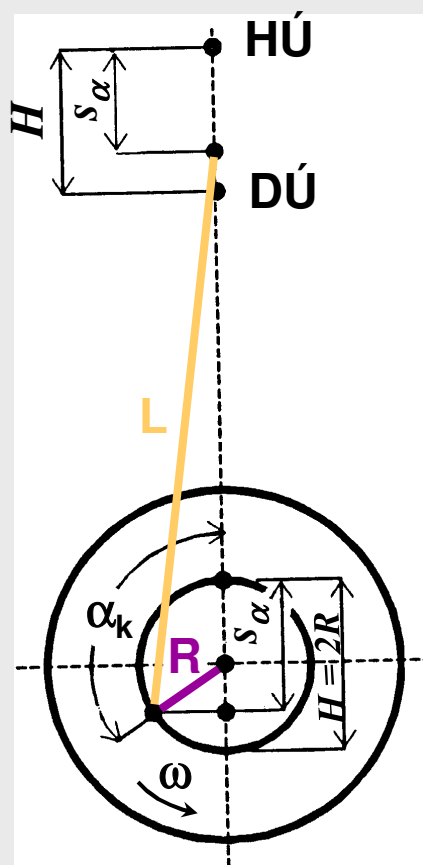
*Harmonický průběh dráhy pilového rámu je ovlivněn zejména kyvem
ojnice, který je promítnut ve výrazu $R (1/2 \lambda \sin 2 \alpha_k)$*



kde

R ... poloměr kliky, L ... délka ojnice
 α_k ... úhel natočení kliky, H ... zdvih rámu

Řezná rychlost



Maximální řezná rychlost

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

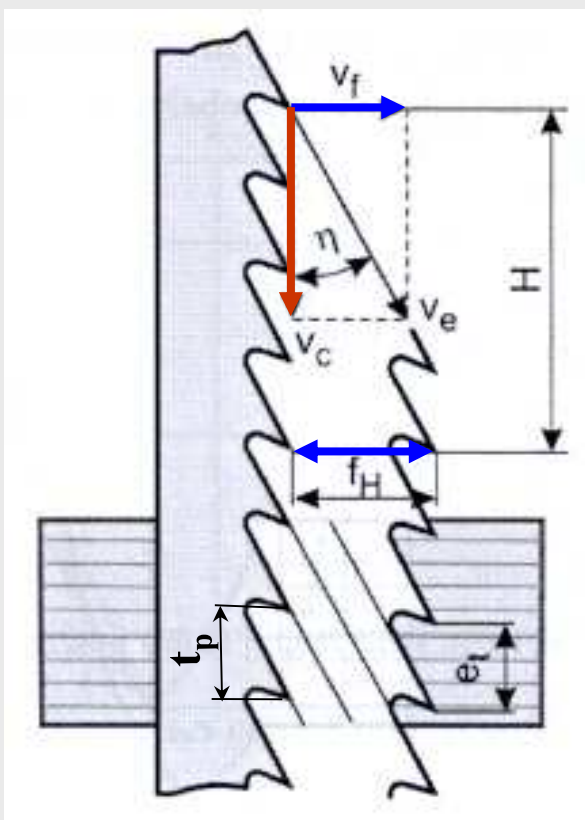
Střední řezná rychlost

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

kde

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

Kinematické parametry při posuvu výřezu během pracovního zdvihu



kde

t_p ... rozteč zubů (tooth pitch)
 e_t ... výška výstupků na dně
 řezné spáry
 H ... zdvih rámu

- Pilové listy spolu s rámem jsou ve vertikálním směru.
- Dráha zubu je totožná s vektorem výsledné řezné rychlosti v_e .
- Na konci řezu v DÚ zůstanou na dně řezné spáry drobné výstupky, které jsou při zpětném pohybu listu odebírány (zaškrabávány) hřbety zubů, což se negativně promítá na ztrátě výkonu, zvětšeném opotřebení zubů a špatné kvalitě řezné spáry.
- K odstranění těchto vlivů je nastaven úhel předstihu na podávacím mechanismu pily o 20 až 30 před polohou klikového hřídele, současně jsou pilové listy v rámu nastaveny s mírným předklonem $p = 1$ až 3mm.

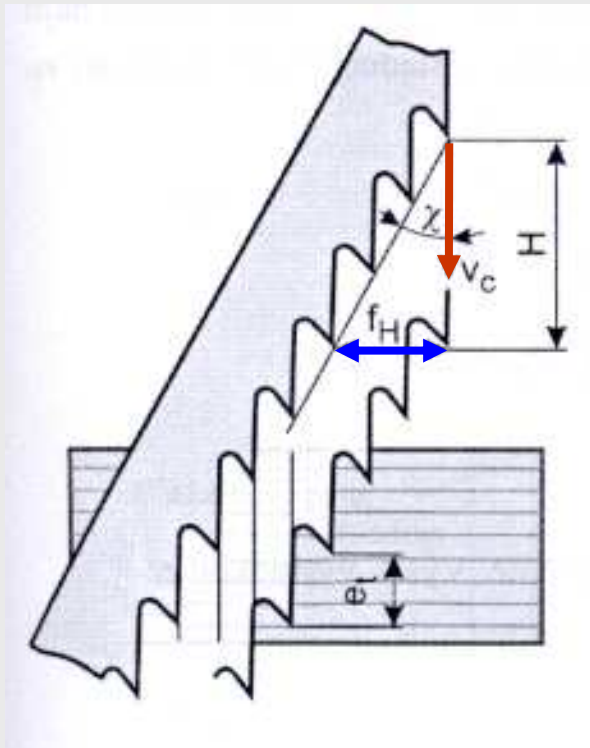
Úhel výslednice řezné rychlosti η

$$\eta = \arctg \frac{v_f}{v_c}$$

Posuv na zdvih (posuv na otáčku)

$$f_H = f_n = H \cdot \tg \eta \quad [mm]$$

Kinematické parametry při posuvu výřezu během volného zdvihu



- Pilové listy spolu s rámem mají předklon p s úhlem χ .
- Dráha zubu je přímková, úhel předklonu je stálý a je jím definována tloušťka třísky.
- Během řezu je podávací rychlost nulová.
- Dno řezné spáry je stupňovité s výškou výstupků e_t .
- K odstranění zaškrabávání výstupků na dně řezné spáry hřbety zubů je nastaven úhel předstihu na podávacím mechanismu pily o 20 až 30° před polohou klikového hřídele.

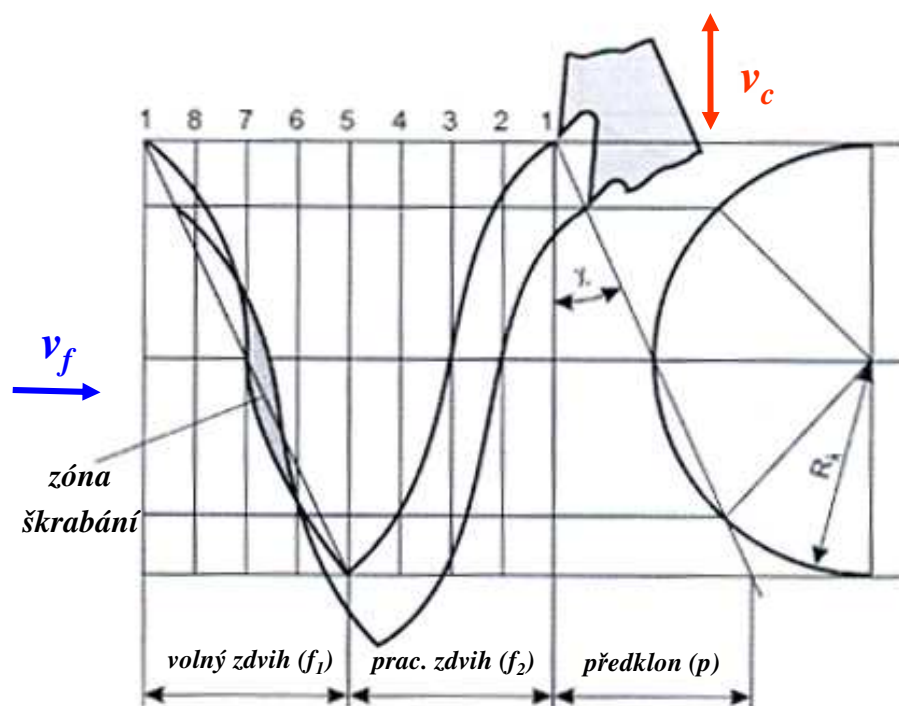
Posuv na zdvih (posuv na otáčku)

$$f_H = p = f_n = H \cdot \operatorname{tg} \chi \quad [mm]$$

kde
 e_t ... výška výstupků na dně
 řezné spáry
 H ... zdvih rámu
 χ ... úhel předklonu

kde $p = f_H$... předklon pilového rámu

Kinematické parametry při plynulém posuvu



kde p ... předklon pilového rámu

kde e_t ... výška výstupků na dně
řezné spáry
 H ... zdvih rámu
 χ ... úhel předklonu

- Posuvná rychlost v_f je stálá (konstantní) a řezná rychlost je proměnlivá, proto tloušťka třísky se neustále mění.
- Dráhy zubů jsou skloněné, křivkové čáry ve tvaru sinusoidy.
- Pro zmenšení škrabání na dně řezné spáry při volném zdvihu se pilový rám s listy nastavuje s předklonem.

Posuv na dvojzdvih

$$f_n = f_1 + f_2 \quad f_1 = f_2 \quad [mm]$$

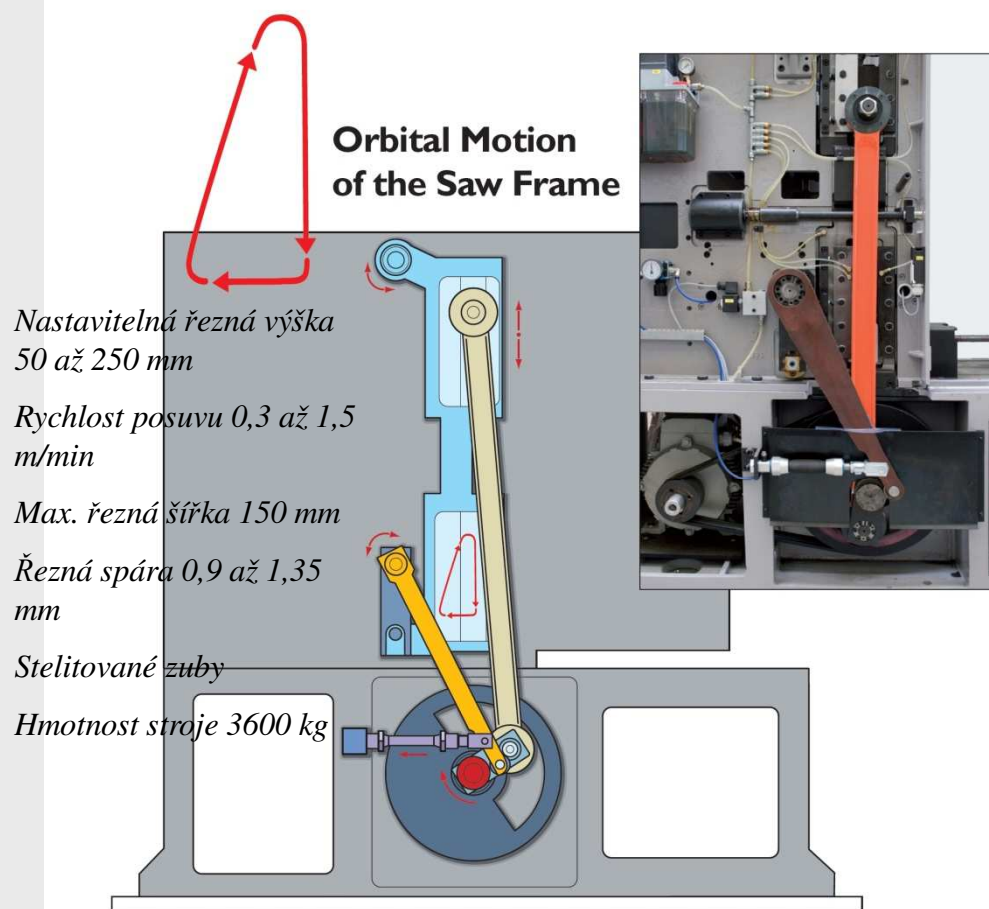
Posuv na volný zdvih

$$f_H = f_1 = H \cdot \operatorname{tg} \chi \quad [mm]$$

Posuv na otáčku

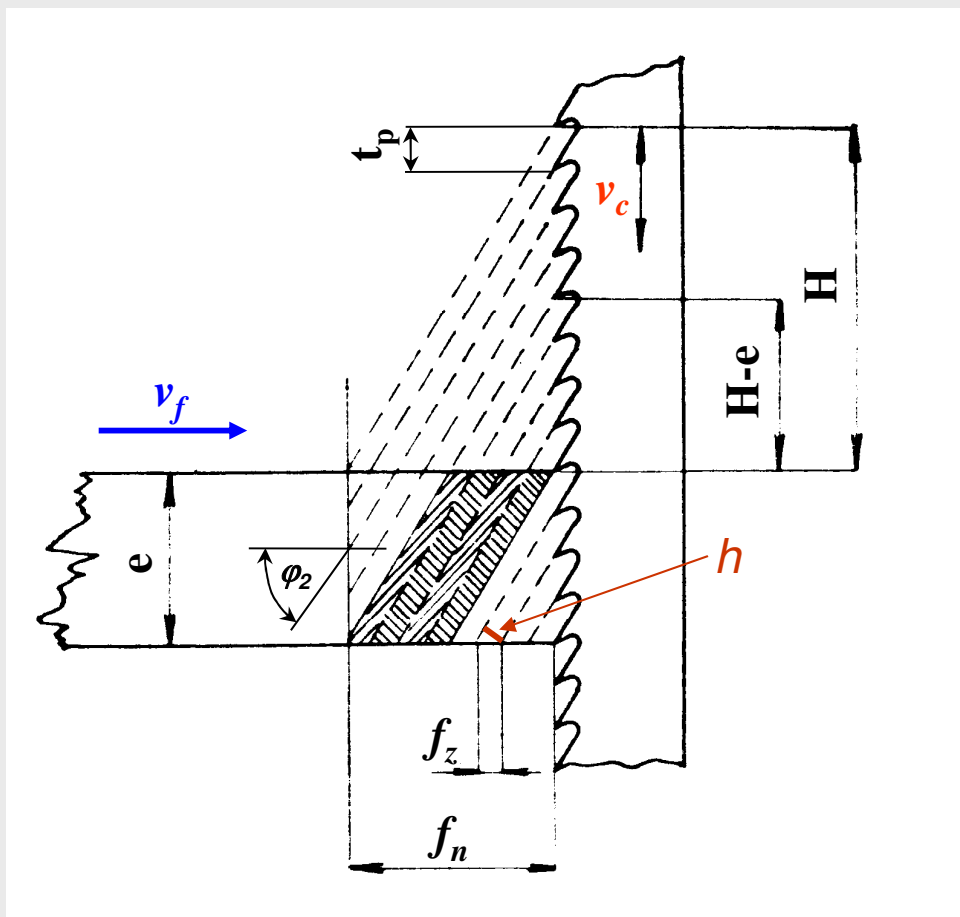
$$f_n = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg} \chi \quad [mm]$$

RP s orbitálním pohybem pilového rámu



http://www.neva.cz/framesaw_orbit_cz_description.htm

Rychlost posuvu a posuv na zub



kde
 t_p ... rozteč zubů (tooth pitch)
 z ... počet zubů připadající na zdvih rámu H
 φ_2 ... úhel přerézávání vláken

Rychlost posuvu (feed velocity):

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

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

f_z (mm) ... posuv na zub

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

Potom:

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

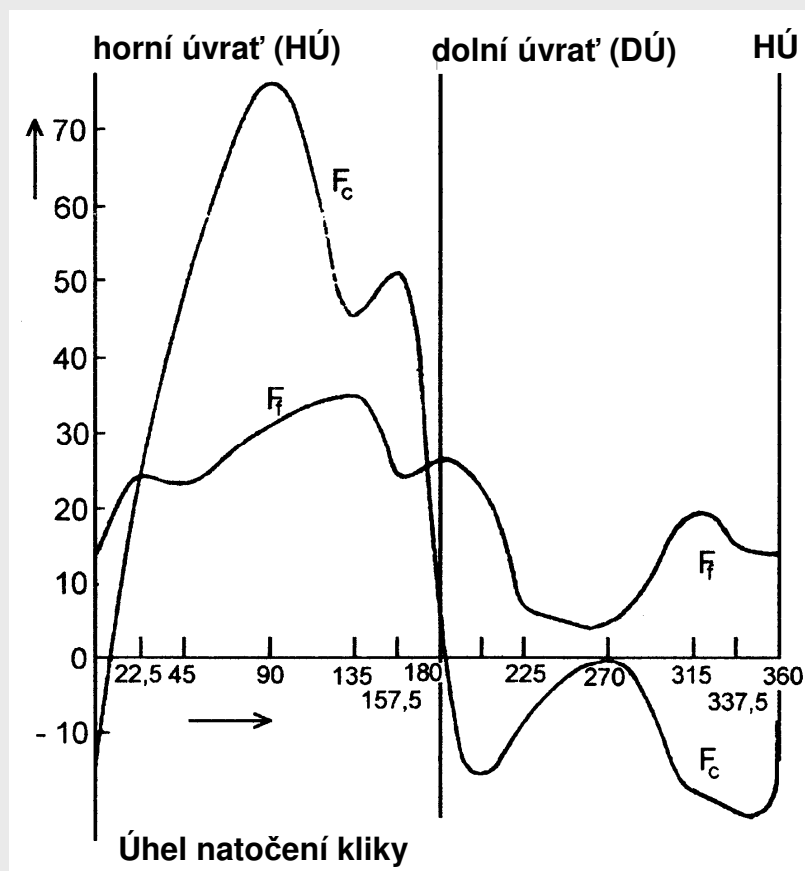
Kde posuv na zub:

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

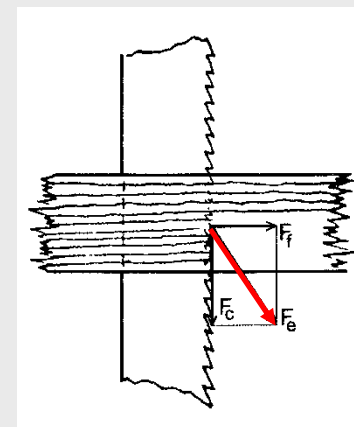
Tloušťka třísky (přechované, stelitované zuby):

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

Účinek řezné a podávací síly



➤ Poměrná změna řezné a podávací síly v závislosti na pootočení kliky RP (podle Thunella, Javorek 2006), řezání smrku s přerušovaným posuvem

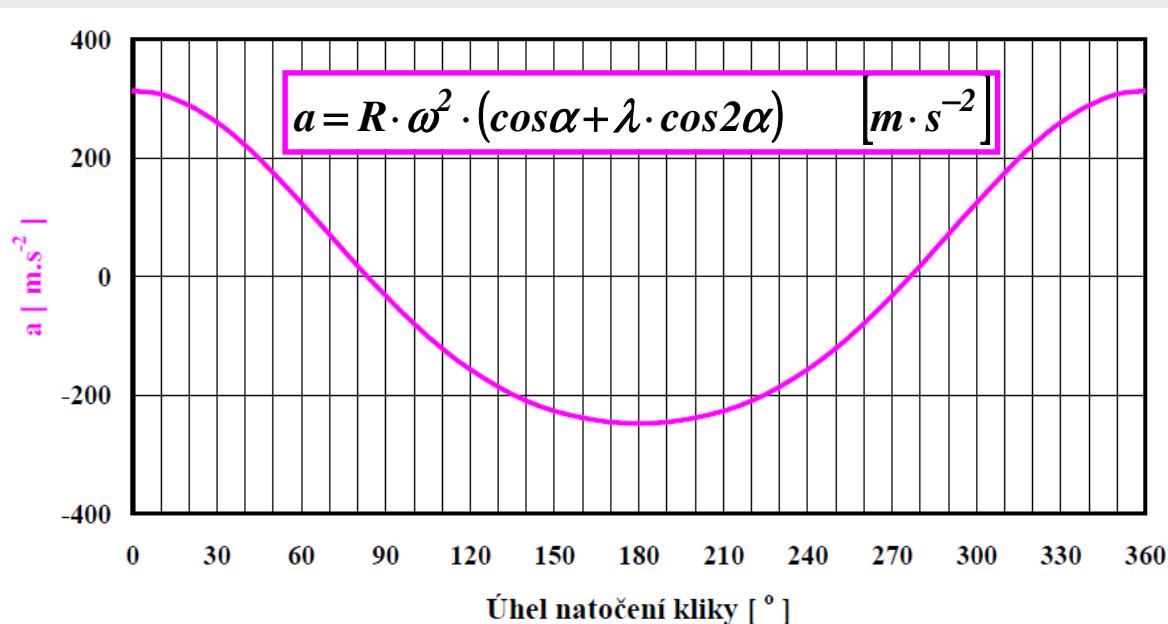


➤ Výsledná síla F_e může absolutně dosahovat velikosti 1100 N na 1 pilový list, z čehož vyplývá poměrně vysoké napětí a zatížení pilového listu

Pro rozměry PL $B = 160 \text{ mm}$, $a = 2 \text{ mm}$, $h_z = 15 \text{ mm}$ a materiál listu 19615, při minimální pevnosti 1200 MPa, můžeme očekávat, že tato síla vyvolá v průřezu listu napětí

$$\sigma_t = \frac{F_e}{a \cdot B_1} = \frac{F_e}{a \cdot (B - h_z)} = \frac{1100}{2 \cdot (140 - 15)} = 4,4 \text{ MPa}$$

Účinek setrvačných sil



Příklad průběhu zrychlení (zpoždění) pilového rámu pro RP:

- $H = 500 \text{ mm}$
- L ... délka ojnice 2145 mm
- $\lambda = R/L = 0,1166$
- otáčky kliky $n = 320 \text{ min}^{-1}$
- hmotnost rámu $m_r = 47 \text{ kg}$ (předpokládáme, že v DÚ nebo HÚ napíná list pohybující se $\frac{3}{4}$ hmotnost rámu)
- hmotnost ojnice $m_o = 22 \text{ kg}$
- max. hodnota zrychlení $a_{\max} = 313 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$$F_s = m_{r3/4} \cdot a_{\max} = 35 \cdot 313 = 10955 \text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{F_s}{a \cdot B_1} = \frac{F_s}{a \cdot (B - h_z)} = \frac{10955}{2 \cdot (140 - 15)} = 43,8 \text{ MPa}$$

Zásady používání PL

1. Používat dobře naostřené a dostatečně napnuté listy (geometrie řezné hrany – $\gamma_f = 14^\circ \pm 2^\circ$, $\beta_f = 48^\circ \pm 2^\circ$, $t_p = 26$ mm, $h = 0,7t_p = 18,2$ mm).
2. Napínat na prodloužení listu (0,28 až 0,31 mm/230 mm délky listu).
3. Používat vhodné závěsy (samosvorné, neotlačené).
4. Používat vhodné mezipilové vložky (tvrdé dřevo, pertinax) pravidelně kontrolovat jejich tloušťku).
5. Používat doporučené řezné rychlosti $v_c = 6,5$ až $7,5$ m/s a posuvné rychlosti $v_f = 10$ až 16 m/min a bezdůvodně je nepřekračovat.

Přesnost řezání na rámové pile

1. Hlavní řezné hrany PL musí být kolmé k ploše PL.
2. Nepoužívat PL s namodralými zuby, s velkými „jehlami“ (otřepy na ostří po broušení), ostrými dny zubů, s velkými odchylkami výšky zubů, rozvod musí být symetrický.
3. Vložky mezi PL musí být hladce opracované s rovnoběžnými plochami. Na každé vložce musí být označení tl. řeziva, rozměry vložek $d=130 \pm 5$ mm, $v=(40 \div 50) \pm 2$ mm a odchylka tloušťky ± 2 mm.
4. Symetricky uložené pilové listy musí mít stejnou šířku a tloušťku. Diference šířky PL v jedné sestavě by měla být max do 40 mm.
5. Při řezání prizem musí být krajní PL zvláště stabilní (šířka nemá být menší než 120 mm a tl. do 4 mm).
6. Sestava PL v rámu se musí vystředit ke středu rámu s max. dovolenou úchylkou ± 3 mm.
7. Pro zvýšení tuhosti PL se horní vložky umísťují tak, aby v DÚ rámu byly cca 80 až 100 mm nad povrchem výřezu. Spodní vložky se umísťují tak, aby v HÚ rámu byly min. 50 mm vzdálené od horního povrchu podávacích válců.
8. Plochy PL musí být nastaveny kolmo k ose podávacích válců, odklon rovnoběžnosti ploch PL přes šířku nesmí převýšit 0,2 až 0,3 mm, přes délku PL (měřeno na zdvih rámu) také do 0,2 mm.
9. Nerovnoběžnost podávacích válců by neměla být vyšší než 0,5 mm.
10. Nerovnoběžnost ploch vedení pilového rámu by neměla být větší než 0,3 mm.

Při nedodržení těchto zásad se zhoršuje řezání a na řezivu se může objevit křivost, šavovitost, vlnitost, zářezy, různá tloušťka a drsný povrch.

3 Dynamika řezání RP



<http://www.pilawolf.cz/fotogalerie/>

Způsoby pořezu

Nejčastěji smrk, borovice, modřín s průchodem kulatiny do 70 cm. Řezání je prováděno stelitovanými pilovými listy nebo listy s SK plátky. Na RP je prováděno pouze řezání prizmy či pořez na ostro.

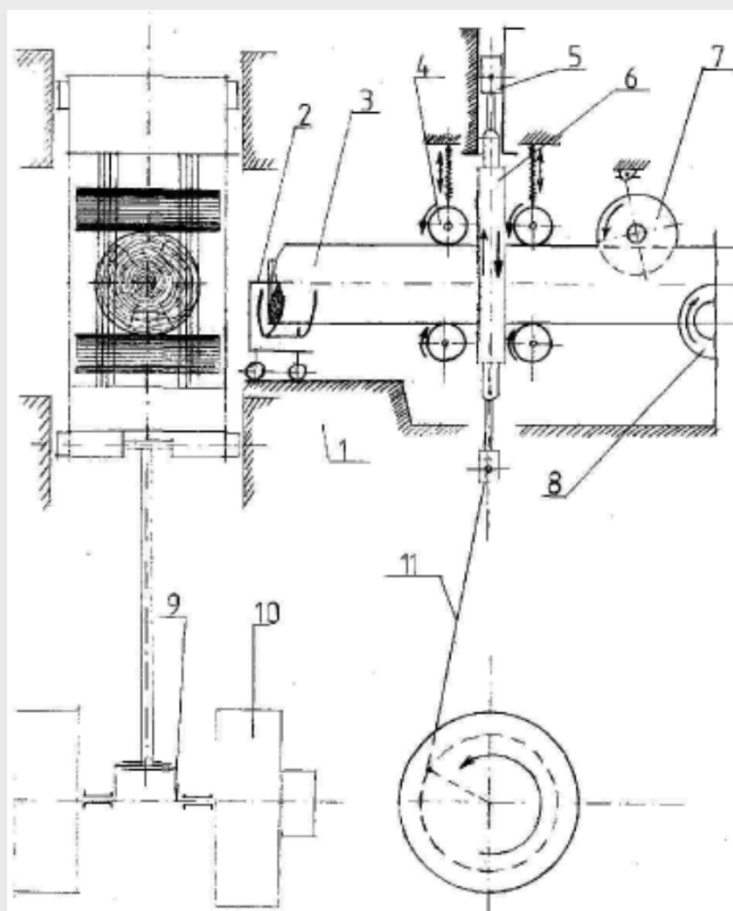
Další zpracování prizmy je prováděno na rozmítací pile, kde řezná výška může být až $e = 250$ mm. Pro čistý a hladký řez jsou i zde používány kotoučové pily s SK plátky.

Zpracování bočního řeziva desek je prováděno na omítací pile, kde je prováděno omítání desek na přesné šířky a to převážně na šířky 80, 100, 120 a 140 mm.

<http://www.youtube.com/watch?v=IFBgoK34ASc>

3.1 Schéma technologie

RAMOVÁ PILA - PLYNULÝ POSUV



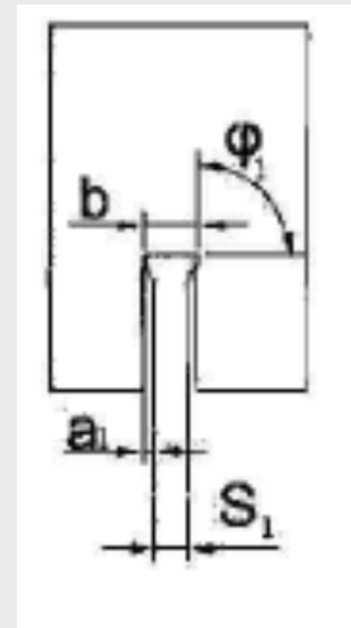
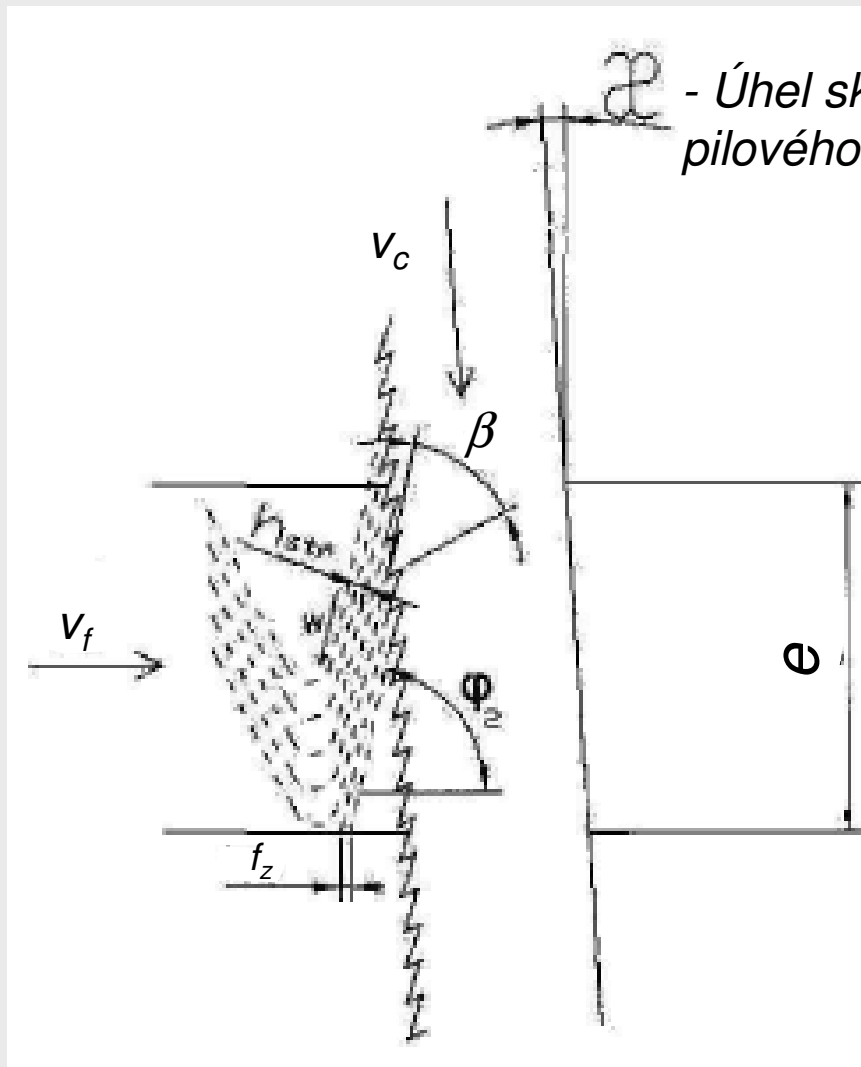
- LÉGENDA K OBRÁZKU
- 1 ZÁKLAD
 - 2 PODÁVACÍ VOZÍK
 - 3 VÝŘEZ
 - 4 PODÁVACÍ VÁLCE
 - 5 VODÍTKA RÁMU
 - 6 PILOVÉ LISTY
 - 7 VÝKLYVNÝ ODDALOVAČ KRAJIN
 - 8 VODÍCÍ KOLEČKA
 - 9 KLIKOVÝ HŘÍDEL
 - 10 SETRYAČNÍKY

GKT 60

<http://www.youtube.com/watch?v=TCDNaflsqUU>

Zadání - řezné podmínky, parametry dřeviny a nástroje

ZADÁNÍ			
Dřevina	SM	<u>NÁSTROJ</u>	
Vlhkost	$w = 30\%$	Úhel hřbetu α	$\alpha = 28^\circ$
Průměr kulatiny	$d = 350 \text{ mm}$	Úhel břitu β	$\beta = 48^\circ$
Čas řezání	$t = 1,5 \text{ h}$	Výška zubu	$h_z = 21 \text{ mm}$
Posuv na zub	$f_z = 0,7 \text{ mm}$	Pěchvání zubů	$a_1 = 0,5 \text{ mm}$
Otáčky	$n = 330 \text{ min}^{-1}$	Rozteč zubů	$t_p = 30 \text{ mm}$
Zdvih	$H = 700 \text{ mm}$	Řezný výkon	$P_{max} = 32 \text{ kW}$
Předklon pilového listu	$\chi = 10^\circ$	Tloušťka řeziva	$h_1 = 50 \text{ mm}$



Šířka řezné spáry:

$$b = s_1 + 2a_1 = 2,2 + 2 \cdot 0,5 = 3,2 \text{ mm}$$

$\phi_1 = 90^\circ$
 $\phi_2 = 0-90^\circ$
 $\phi_3 = 90^\circ$

> podélně příčné řezání

ORBIT

<http://www.youtube.com/watch?v=nSf-JL8EDvg>

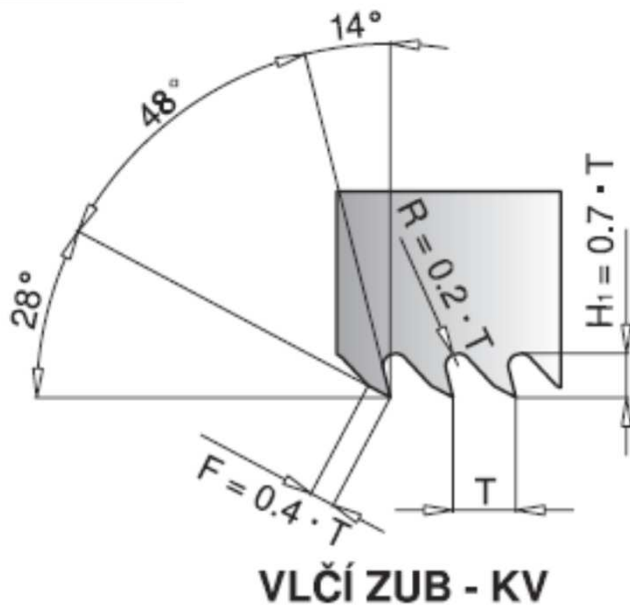
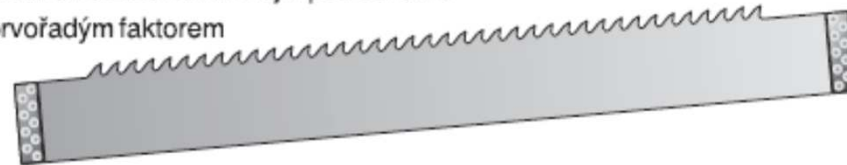
nástroje

STANDARNÍ LISTY PRO PĚCHOVÁNÍ A ROZVÁDĚNÍ ZUBŮ

Klasické listy z materiálu 75Cr1, bez povrchové a tvarové úpravy. Vhodné pro rozvádění (materiál tvrdosti 48 HRc) a pēchování (materiál 44 HRc) zubů. Pevnost v tahu je zaručena až k 1780 MPa. Nejlevnější typ, ovšem podává nejmenší výkony.

Vhodné použití:

- » řezání neodkorněného suchého dřeva
- » řezání dřeva z těžební oblasti s vysokým výskytem kovu v dřevině (nevzniká taková škoda při poškození)
- » při kombinacích s výkonnejšími typy je vhodné nasazovat na krajní pozice rámu
- » pro provozy pro které není výtěž řezání prvořadým faktorem



Zuby vlčí s lomeným hřbetem:

vhodné pro měkkou dřevinu

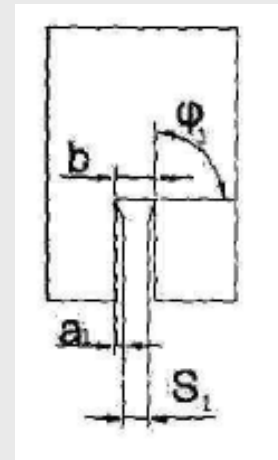
$t_p = 30 \text{ mm}$ – rozteč zubů

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

S_z – plocha zubové mezery

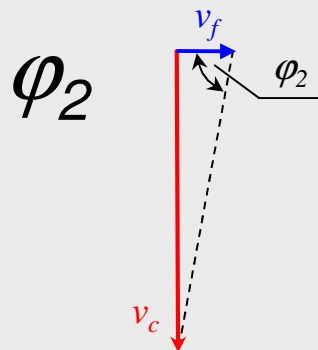
s_1 – tl. pilového listu ($s_1 = 2,2 \text{ mm}$)

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



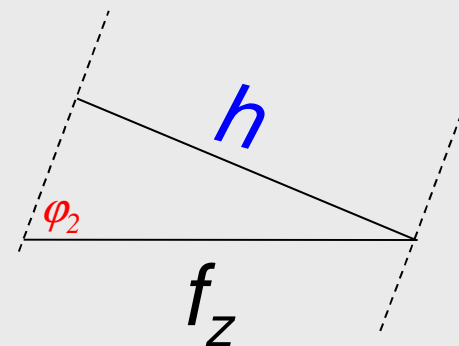
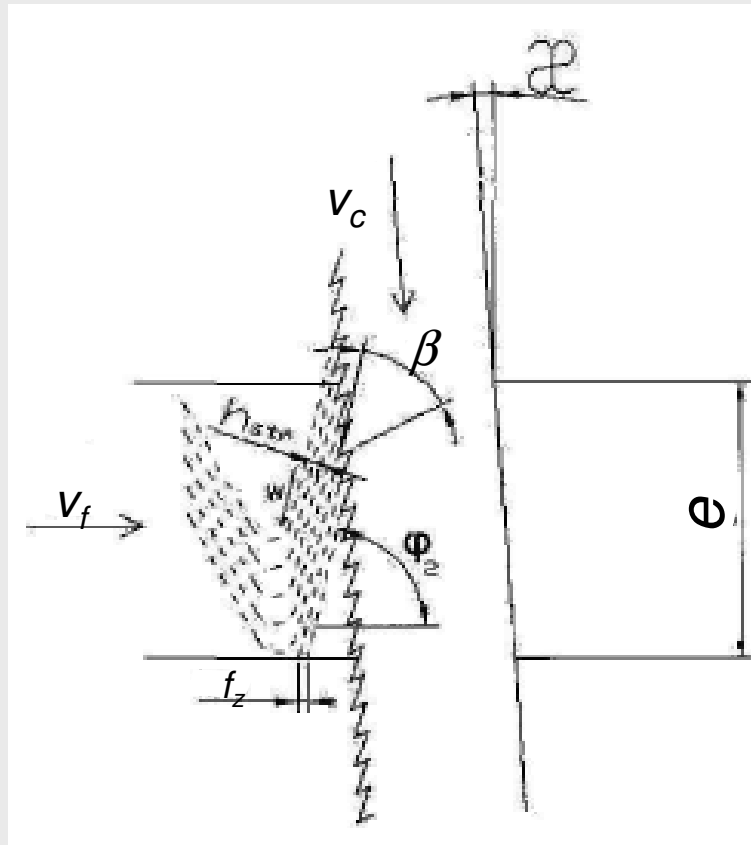
Výpočet kinematických závislostí

$H = 700 \text{ mm}$ $n = 330 \text{ min}^{-1}$	Řezná rychlost $v_{cstr} = 2H \cdot n = 2 \cdot 0,7 \cdot 330 / 60 = 7,7 \text{ m / s}$	$v_{cstr} = 7,7 \text{ m/s}$
$v_{cstr} = 7,7 \text{ m/s}$	Rychlost posuvu výřezu $v_f = f_z \cdot n \cdot z = f_z \cdot n \cdot \frac{H}{t_p} = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot 330 \cdot \frac{700}{30} = 5,4 \text{ m / min}$	$v_f = 5,4 \text{ m/min}$



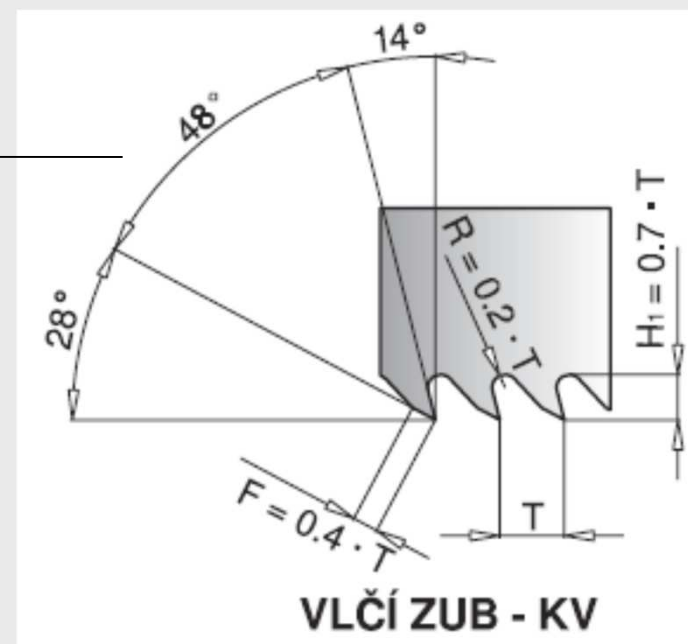
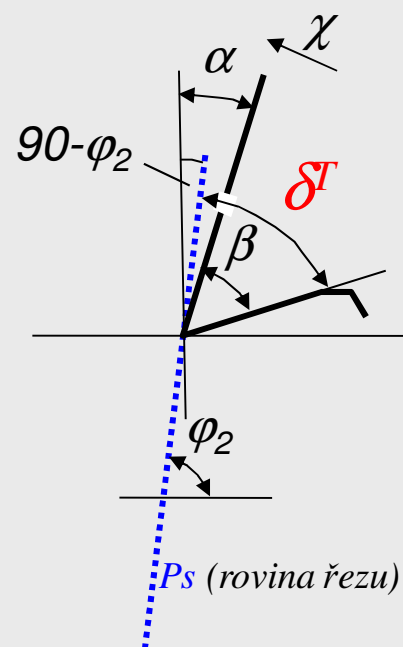
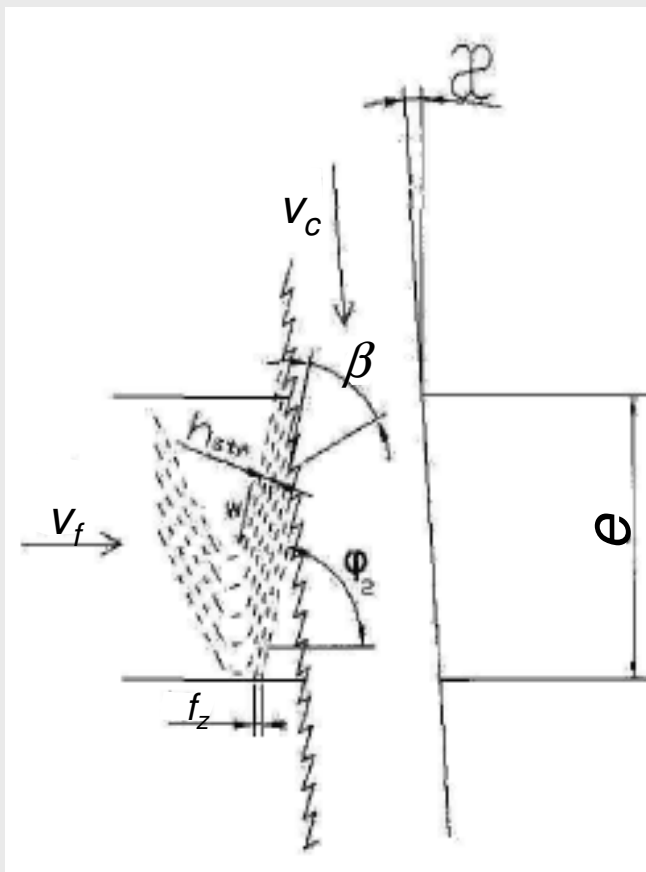
$v_{cstr} = 7,7 \text{ m/s}$ $v_f = 5,4 \text{ m/min}$	Úhel přerézávání vláken φ_2 $\varphi_2 = \arctg\left(\frac{v_c}{v_f}\right) = \arctg\left(\frac{7,7}{5,4/60}\right)$	$\varphi_2 = 89,3^\circ$
---	---	--------------------------

Tloušťka třísky



$$h = f_z \cdot \sin \varphi_2 = 0,7 \cdot \sin 89,3 = 0,699 \text{ mm}$$

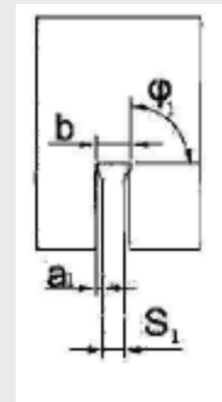
Transformace řezného úhlu δ^T



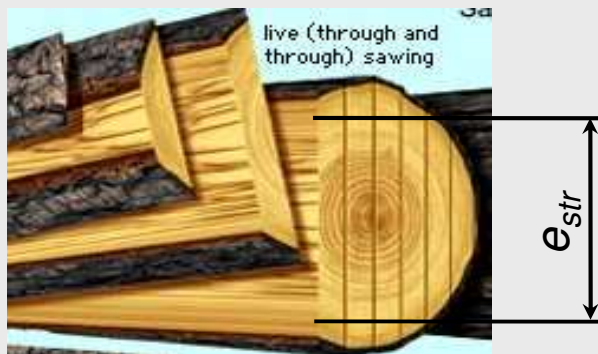
$$\delta^T = \alpha + \beta - \chi - (90 - \phi_2) = 28 + 48 - 10 - (90 - 89,3) = 65,3^\circ$$

Šířka řezné spáry

$$b = s_1 + 2a_1 = 2,2 + 20,5 = 3,2 \text{ mm}$$



Střední tloušťka řezu



$$e_{str} = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 350 = 280 \text{ mm}$$

Výpočet řezné síly

Pro měrný řezný odpor - uzavřené řezání platí vztah:

$$k_c = \frac{(1,1 \div 1,2) \cdot k_{\varphi_2}^l \cdot k_d \cdot k_w \cdot k_v \cdot k_\rho \cdot k_T}{h^\mu} + \frac{\xi \cdot e}{b}$$

k_d ... vliv dřeviny

k_w ... vliv vlhkosti

k_v ... vliv řezné rychlosti

k_ρ ... vliv otupení ostří

k_T ... vliv teploty

μ ... součinitel zohledňující vliv tloušťky třísky h v závislosti na modelu řezání a úhlu φ_2

$(1,1 \div 1,2)$... konstanta zahrnující vliv zvýšeného tření nástroje v řezné spáře

ξ ... 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 $\xi = 0,2$ N/mm², zuby pěchované, stelitované nebo ze slinutých karbidů $\xi = 0,15$ N/mm²)

Jednotkový měrný řezný odpor $k^1_{\varphi 2\delta}$

$\varphi_1=90^0$ $\varphi_2= 0^0$ $\varphi_3= 0^0$	Hodnoty $k^1_{\varphi\delta}$ [Nmm⁻²] BOROVICE <i>Model řezání: podélně - čelní</i>										⊥ $\varphi_1=90^0$ $\varphi_2=90^0$ $\varphi_3=90^0$
Úhel	Úhel řezu δ [°]										
φ_2 [°]	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
0	5,0	6,5	8,5	10,5	13,0	16,5	18,5	22,0	26,0	30,0	
5	5,5	7,0	8,5	11,5	13,5	17,0	19,5	23,0	27,0	31,0	
10	6,2	8,0	10,0	12,5	15,0	18,2	21,5	24,5	28,5	32,5	
15	7,0	9,0	11,5	13,5	16,2	19,5	22,5	26,0	30,0	34,0	
20	8,0	10,0	12,5	15,0	17,5	21,0	24,0	28,0	31,5	36,0	
25	9,0	11,5	13,5	16,0	19,0	22,5	26,0	30,0	33,0	38,0	
30	10,5	12,5	15,0	17,5	21,0	24,0	28,0	31,5	36,0	40,0	
35	11,5	13,5	16,0	19,0	22,0	26,0	29,5	33,0	37,5	41,5	
40	12,0	14,0	17,5	20,0	23,5	28,5	31,0	35,0	39,0	43,0	
45	13,0	15,8	18,0	21,5	24,5	30,0	32,5	36,5	40,8	45,0	
50	14,0	16,5	19,5	22,5	26,0	31,5	33,5	38,0	42,0	46,5	
55	14,5	17,0	20,8	23,5	27,0	32,5	35,0	39,0	43,5	48,0	
60	15,5	18,0	21,2	24,5	28,0	33,5	36,2	41,0	44,5	49,0	
65	16,0	19,0	22,0	25,5	29,0	34,2	37,5	42,0	46,0	50,0	
70	16,2	19,5	22,5	26,5	30,0	34,2	38,5	42,5	46,5	51,0	
75	16,5	20,0	23,0	26,8	30,5	35,0	38,8	43,5	47,5	52,0	
80	17,0	20,5	23,5	27,0	31,0	35,5	39,6	44,0	45,0	52,5	
90	17,5	21,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0	44,5	48,5	53,0	

Opravný součinitel vlivu dřeviny k_d

Vliv dřeviny je chápán zejména jako vliv hustoty dřeva a platí, že s rostoucí hustotou velikost měrného řezného odporu k_c roste. „Jednotkovou dřevinou“ je v tomto případě borovice ($k_d = 1$).

Dřevina	k_d	Dřevina	k_d
Borovice	1,00	Modřín	1,10
Lípa	0,80	Bříza	1,25
Smrk	0,90	Buk	1,40
Osika	0,95	Dub	1,55
Jedle	0,95	Habr	1,60
Olše	1,05	Jasan	1,75

Opravný součinitel vlivu vlhkosti dřeva k_w

Obecně lze říci, že s rostoucí vlhkostí dřeva klesá u otevřeného řezání hodnota opravného součinitele k_w a tedy i řezného odporu, protože stříhová pevnost dřeva klesá s obsahem vody ve dřevě.

Vlhkostní stav dřeva	vlhkost	Součinitel k_w	
		volné řezání	řezání ve spáře
Velmi suché dřevo	5 - 8	1,10	0,90
Suché	10-15	1,00	1,00
Na vzduchu vyschnuté	20-30 30%	0,95	1,05
Čerstvě poražené	50-70	0,90	1,10
Plavené	nad 70	0,80	1,12

Opravný součinitel vlivu řezné rychlosti k_v

Z teoretického hlediska nelze vliv řezné rychlosti v_c zanedbat.

Po oddělení třísky od materiálu je nutné třísku uvést z klidu do pohybu, což je závislé na:

- hmotnosti třísky,*
- čtverci rychlosti,*
- geometrii nástroje.*

Řezná rychlost:

$$v_c = 7,7 \text{ ms}^{-1}$$

$v_c \text{ [ms}^{-1}\text{]}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
k_v	1,00	1,02	1,04	1,07	1,10	1,15	1,20	1,25	1,35	1,40	1,45	1,50

Opravný součinitel vlivu otupení ostří k_p

	Součinitel k_p							
Čas řezání	Řezání				Frézování	Soustruže ní a vrtání	Dlabání řetězovou dlabačkou	
$t[h^{-1}]$	rámová pila	pásová pila	kotoučová - podélně	kotoučová - příčně			při osovém posuvu	při bočním posuvu
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1,17	1,20	1,20	1,10	1,20	1,20	1,24	1,30
2	1,32	1,40	1,50	1,15	1,30	1,30	1,40	1,50
3	1,42	1,60	1,80	1,20	1,42	1,35	1,55	1,73
4	1,50	1,80	2,20	1,30	1,50	1,40	1,65	1,88
5	-	2,00	2,50	1,40	1,57	1,45	1,78	2,00
6	-	2,20	2,80	1,50	1,60	1,50	1,86	2,10

Poznámka: V tabulce se jedná o orientační hodnoty k_p (podle L'ubčenka), protože otupení podle doby řezání není příliš přesné, neboť nezohledňuje faktory mající vliv na intenzitu otupování (obráběná dřevina, materiál a geometrie nástroje, řezné podmínky).

$$k_p = 1,24$$

Opravný součinitel vlivu teploty dřeva k_T

S rostoucí teplotou klesá stříhová pevnost dřeva, a proto klesá i měrný řezný odpor K . Toho se využívá v některých technologických procesech (krájení a loupání dýh, ohýbání, apod.).

Opravný součinitel vlivu teploty k_T (podle Manžose)

Teplota T [°C]	10	20	30	40	50	60
Součinitel k_T	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7

Opravný součinitel μ

- zohledňující vliv tloušťky třísky h v závislosti na modelu řezání a úhlu φ_2

Úhel φ_2	Hodnoty μ pro modely řezání		
	$\parallel \perp$	$\parallel - \#$	$\# \perp$
0	$\parallel = 0,55$	$\parallel = 0,55$	$\# = 0,50$
10	0,47	0,54	0,46
20	0,44	0,54	0,43
30	0,42	0,53	0,40
40	0,39	0,53	0,38
50	0,37	0,52	0,36
60	0,36	0,515	0,35
70	0,35	0,51	0,35
80	0,34	0,505	0,34
89,3 90	$\perp = 0,33$ 0,331	$\# = 0,50$	$\perp = 0,33$

Střední řezná síla

SM $\delta^T = 65,3^\circ$ $\varphi_2 = 89,3^\circ$ $v_c = 7,7 \text{ ms}^{-1}$ $v_f = 5,4 \text{ mmin}^{-1}$ $w = 30\%$ $t = 1,5 \text{ h}$ $h = 0,699 \text{ mm}$ $e_{\text{str}} = 280 \text{ mm}$ $b = 3,2 \text{ mm}$	<u>Měrný řezný odpor</u> $k_c = \frac{(1,15) \cdot k_{\varphi\delta}^1 \cdot k_d \cdot k_w \cdot k_v \cdot k_\rho \cdot k_T}{h^\mu} + \frac{\xi \cdot e}{b}$ $k_c = \frac{(1,15) \cdot 32 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,24 \cdot 1,0}{0,699^{0,331}} + \frac{0,15 \cdot 280}{3,2} = 61,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$	$k_{I\varphi\delta} = 32 \text{ Nmm}^{-2}$ $k_d = 0,9$ $k_w = 1,05$ $k_v = 1,0$ $k_\rho = 1,24$ $\mu = 0,331$ $\xi = 0,15$ $k_c = 52,5 \text{ Nmm}^{-2}$
---	---	--

Střední řezná síla pro jeden pilový list:

$$F_{c \text{ str}} = k_c \cdot b \cdot e \cdot \frac{v_f}{v_{c \text{ str}}} = 61,7 \cdot 10^6 \cdot 0,0032 \cdot 0,28 \cdot \frac{5,4}{60 \cdot 7,7} = 646,2 \text{ N}$$

Střední řezná síla a řezný výkon pro RP

Počet pilových listů pro pořez na ostro při tloušťce řeziva (fošny) $h_1 = 50$ mm

$$i = \frac{d}{h_1 + b} - 1 = \frac{350}{50 + 3,2} - 1 = 6$$

Střední řezná síla pro RP

$$F_{cstr} = k_c \cdot b \cdot e \cdot i \cdot \frac{v_f}{v_{cstr}} = 61,7 \cdot 10^6 \cdot 0,0032 \cdot 0,28 \cdot 6 \cdot \frac{5,4}{60 \cdot 7,7} = 3877 \text{ N}$$

Řezný výkon

$$P_c = k_c \cdot b \cdot e_{str} \cdot i \cdot v_f = 61,7 \cdot 3,2 \cdot 280 \cdot 6 \cdot \frac{5,4}{60} = 29853 \text{ W}$$

$$P_{c_{max}} = 32 \text{ kW}$$

$$k_c = 61,7 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$b = 3,2 \text{ mm}$$

$$e_{str} = 280 \text{ mm}$$

Maximální rychlost posuvu:

$$v_{f_{max}} = \frac{P_{c_{max}}}{k_c \cdot b \cdot e_{str} \cdot i} = \frac{32000}{61,7 \cdot 3,2 \cdot 280 \cdot 6} \cdot 60 = 5,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_{f_{new}} = 5,8 \text{ mmin}^{-1}$$

Max. posuv na zub:

$$f_{z_{max}} = \frac{v_{f_{max}}}{n \cdot z} = \frac{v_{f_{max}}}{n \cdot \frac{H}{t_p}} = \frac{5,8}{330 \cdot \frac{700}{30}} = 0,00075 \text{ m} = 0,75 \text{ mm}$$

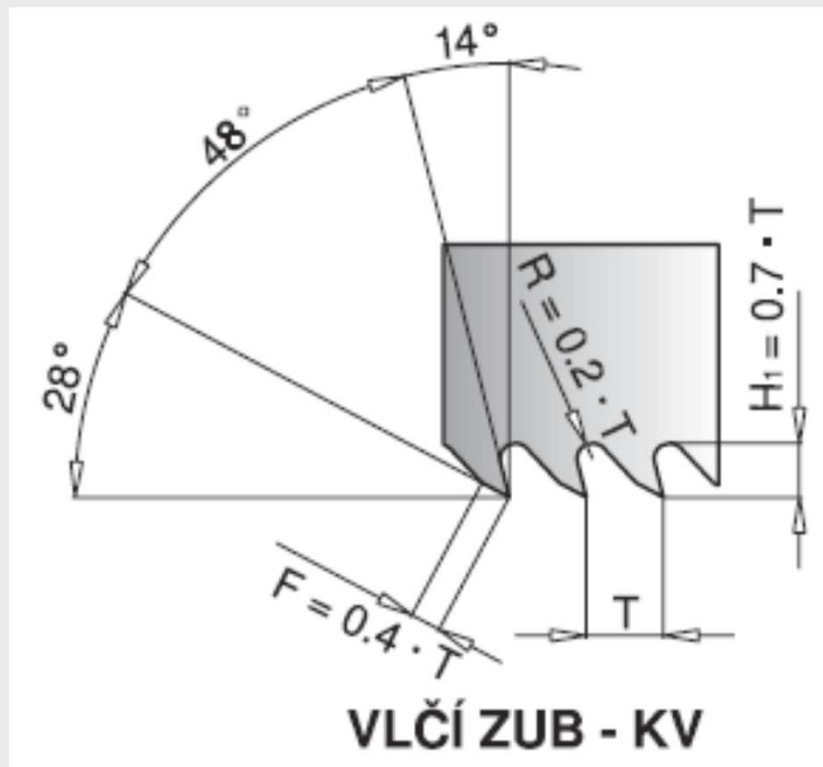
$$f_{z_{max}} = 0,75 \text{ mm}$$

Povolený poměr pracovního a maximálního posuvu:

$$\frac{v_f}{v_{v_{max}}} = \frac{5,4}{5,8} = 0,93 \in \langle 0,9 - 1,1 \rangle$$

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

Určení velikosti posuvu podle velikosti zubové mezery



*Plocha zubové mezery (přibližný výpočet) –
je možné použít pouze pro trojúhelníkové
nesouměrné zuby*

$$S_z = \frac{h_z \cdot t_p}{2} = \frac{21 \cdot 30}{2} = 315 \text{ mm}^2$$

Plocha mezery z empirických vztahů

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, ...).

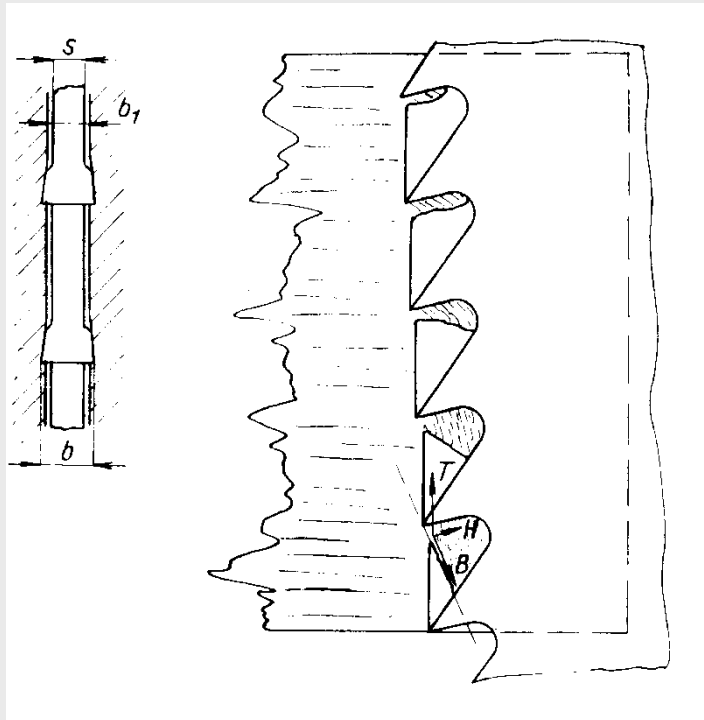
Plocha zubové mezery S_z může být také zjištěna z empirických vztahů (např. podle Beršadského):

$$S_z = \vartheta \cdot t_p^2 = 0,4 \cdot 30^2 = 360 \text{ mm}^2$$

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
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

Rychlost posuvu



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

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = \frac{S_z}{k_z \cdot e_{\max}} \cdot n \cdot \frac{H}{t_p} = \frac{360}{1,5 \cdot 350} \cdot 330 \cdot \frac{700}{30} = 5280 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 5,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Z hlediska zaplnění zubové mezery je možné použít posuvnou rychlost až $v_f = 5,3 \text{ m/min}$.
Z hlediska výkonu pro řezání tato hodnota vyhovuje.

Děkuji za pozornost

