



## ANALÝZA VEĽKOSTI REZNÉHO ODPORU A RÝCHLOSTI POHYBU NÁSTROJA PRI BEZTRIESKOVOM REZANÍ

Ján Marko

### Abstract

*The work analyzes the influence of forces on a knife at chipless cutting of wood and the assessment of the resulting force which affects of knife. To decrease the energetic demand of chipless cutting experiments to optimize the geometry of the knives were carried out. The tests were carried out on a special stand and 24 knives of various thickness and different geometry were tested. The evaluation of measured values was carried out to determine the optimal geometry of a tool.*

**Key words:** cutting tool, chipless cutting, knife

### 1 ÚVOD

Vo vedeckotechnickej literatúre sa uvádzajú rôzne definície termínu beztrieskového rezania. Pri beztrieskovom delení dreveniny klinovým nožom v smere, ktorý nie je totožný so smerom vlákien dreva, vznikajú značné rezné sily. Preto sa tento proces niekedy nazýva silovým rezaním.

Nástroj – klinový nôž je schopný vykonávať delenie pozdĺž vlákien (štiepanie) i naprieč (sekanie nožom). Priečne rezanie dreva nožom je založené na schopnosti dreva deformovať sa. Drevo preukazuje pomerne malý odpor deformovania pri vtlačaní klina doň. Na uskutočnenie procesu delenia dreva je potrebné, aby na rezný klin pôsobila sila  $F$  v smere vektora rýchlosti  $v$ .

Na rozdiel od iných spôsobov rezania prebieha delenie dreva v rovine a nie v priestore bez vzniku triesok. Odpadá vynášanie triesok, čo značne zjednodušuje konštrukciu rezného klina a znižuje energetickú náročnosť na rezanie. Rezný klin vykonáva len jeden postupný pohyb po najkratšej trajektórii v smere rezania, preto je i jedna z hlavných výhod beztrieskového rezania – vysoká odolnosť voči opotrebeniu rezných klinov. Monolitná konštrukcia (klin- nôž vytvorený spolu s telesom) rezného mechanizmu v spojení s jednoduchou dráhou pohybu uľahčuje konštrukciu celého ústrojenstva a umožňuje použiť vysoké rýchlosti rezania. Neprítomnosť hluku a dreveného prachu zlepšuje hygienické podmienky práce.

Uvedené výhody beztrieskového spôsobu rezania dreva ho zaraďujú ako celkom perspektívny pre použitie i v lesníckej prevádzke, vyhovujúce požiadavkám bezodpadových technológií.

## 2 MATERIÁL A METÓDY

Pre správny návrh nožového mechanizmu musí konštruktér poznať energetické a silové pomery procesu beztrieskového rezania. Na zistenie požadovaných veličín bolo zostrojené stendové zariadenie, kde sa sleduje proces rezania vzoriek drevín v laboratórnych podmienkach, vykonáva sa meranie rezných síl, rýchlosť a zrýchlenie (spomalenie) nástroja v reze.

Na rezanie sa používali ploché nože hrúbky  $t = 1 \div 8 \text{ mm}$  odstupňovane po 1 mm so symetrickým uhlom rezného klina  $\beta = 25^\circ \div 60^\circ$  odstupňovanie po  $5^\circ$ . Materiál nožov je z nástrojovej ocele STN 41 9733, rýchlosť rezania bola  $50 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Na laboratórne skúšky bol vybraný materiál z našich najdôležitejších hospodárskych drevín, ktorými sú smrek (sm) a buk (bk), ale aj dub (db), hrab (hb) a borovica (bo). Fyzikálne vlastnosti vzoriek drevín (vlhkosť a hustota) boli zistené podľa noriem STN 49 0103 a STN 49 0108.

Úloha spočívala v stanovení optimálnej geometrie nástroja. Za rovnakých rezných podmienok sa určila veličina reznej sily  $F$ , resp. mernej reznej sily  $F_m$ . Rezná sila  $F$  (N) je maximálna hodnota reznej sily v priebehu rezania vzorky, ktorou musel rezný nástroj pôsobiť na drevo, aby prekonal rezný odpor vzorky daného priečného prierezu. Merná rezná sila  $F_m$  ( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) je daná podielom reznej sily  $F$  a šírky prerezávanej vzorky, čiže dĺžky styku reznej hrany noža so vzorkou.

## 3 VÝSLEDKY

Výsledky laboratórnych meraní boli spracované, vyhodnotený bol vplyv uhla rezného klina a vplyv hrúbky noža na veľkosť mernej reznej sily i zrýchlenie (spomalenie) nástroja v reze.

### 3.1 Vplyv uhla rezného klina na veľkosť mernej reznej sily

Na spracovanie závislosti merných rezných síl  $F_m$  od uhla rezného klina (uhla ostria)  $\beta$  pre dreviny bk, db, hb, sm a bo (pre jednotlivé hrúbky nožov) bola vybraná regresná funkcia tvaru  $Y = AX^B$ , (pričom  $Y = F_m$ ;  $X = \beta$ ) na aproximovanie nameraných hodnôt (tab. 1). Je tu zjavná tendencia poklesu merných rezných síl so zväčšovaním sa uhla rezného klina. Najmarkantnejší pokles mernej reznej sily pre (pre všetky uvedené dreviny) je u noža hrúbky  $t = 3 \text{ mm}$ , čiže sa javí ako optimálna.

Zo skúšaných tvrdých drevín (bk, db, hb) bol najväčší pokles mernej reznej sily so zväčšujúcim sa uhlom rezného klina u hraba, ktorý má i najväčšiu hustotu.

V prípade dreviny sm merná rezná sila so zväčšujúcim sa uhlom rezného klina narastá, jedine s nožom hrúbky 3 mm namerané výsledky poukazujú na pokles mernej reznej sily so vzrastajúcim uhlom rezného klina. Nôž o hrúbke 3 mm je zároveň najcitlivejší na uhol rezného klina, najmenej citlivý je nôž o hrúbke 2 mm – nameraná bola pomerne malá merná rezná sila ( $F_m = 143 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) pre všetky uhly rezného klina. Z regresných analýz pre drevinu bo vychádza nôž hrúbky 3 mm ako hraničný, pri nožoch tenších merné rezné sily narastajú so zväčšujúcim sa uhlom ostria a so zväčšujúcou sa hrúbkou noža klesajú.

Celková tendencia pre skúšané nože v mäkkých drevinách (sm, bo) je mierne stúpajúca – merné rezné sily narastajú so zväčšujúcim sa uhlom ostria.

Tab. 1 Regresné funkcie pre uhly ostria  $\beta = 25 - 65^\circ$ ; jednotlivé drevisy a rôzne hrúbky nožov

Hrúbka noža t (mm)	Drevina		
	bk	db	hb
1	$F_m = e^{4,93172} \cdot \beta^{0,118119}$	$F_m = e^{5,21772} \cdot \beta^{0,015898}$	$F_m = e^{6,16299} \cdot \beta^{-0,199687}$
2	$F_m = e^{5,81025} \cdot \beta^{-0,0660883}$	$F_m = e^{5,84768} \cdot \beta^{0,10301}$	$F_m = e^{5,72063} \cdot \beta^{-0,0268446}$
3	$F_m = e^{6,47834} \cdot \beta^{0,182733}$	$F_m = e^{6,52863} \cdot \beta^{0,23}$	$F_m = e^{6,3434} \cdot \beta^{0,146229}$
4	$F_m = e^{5,53042} \cdot \beta^{0,104321}$	$F_m = e^{5,73112} \cdot \beta^{0,0259646}$	$F_m = e^{6,2206} \cdot \beta^{0,0367723}$
	sm	bo	
1	$F_m = e^{3,54051} \cdot \beta^{0,371302}$	$F_m = e^{4,59623} \cdot \beta^{0,0465163}$	
2	$F_m = e^{4,95229} \cdot \beta^{1,600297 \cdot 10^{-3}}$	$F_m = e^{4,77131} \cdot \beta^{0,0558834}$	
3	$F_m = e^{6,09132} \cdot \beta^{-0,215333}$	$F_m = e^{5,77525} \cdot \beta^{0,145377}$	
4	$F_m = e^{5,2063} \cdot \beta^{0,0235163}$	$F_m = e^{5,92905} \cdot \beta^{-0,131165}$	

bk – buk db – dub hb – hrab sm – smrek bo - borovica

### 3. 2 Vplyv hrúbky noža na veľkosť mernej reznej sily

Závislosť mernej reznej sily  $F_m$  na hrúbke noža  $t$  pri konštantnom uhle rezného klina  $\beta = 30^\circ$  pre všetky skúšobné drevisy je uvedená v tab. 2. Z regresných analýz vidno, že vo všetkých prípadoch merná rezná sila narastá so zväčšujúcou sa hrúbkou noža. Závislosť je multiplikatívna (parabolická), môžeme ju vyjadriť vzťahom:

$$Y = AX^B$$

$$\text{kde: } \begin{aligned} Y &= F_m \\ X &= t \end{aligned}$$

Najväčšia merná rezná sila sa dosiahla u hraba nožom o hrúbke  $t = 8$  mm ( $F_m = 509,876$  N.mm<sup>-1</sup>), ďalej nasleduje bk a db. Pri hrúbke nožov od 1 do 4 mm merná rezná sila stúpa prudko, nad hrúbkou 4 mm je nárast miernejší. Hrúbka 4 mm je hraničná. Z nameraných veličín tiež vyplýva, že s nárastom hrúbky noža a nezväčšuje len merná rezná sila, ale dochádza aj k väčšiemu rozptylu jej hodnôt. Väčšie hrúbky nožov sú citlivejšie na prípadné nerovnorodosti v štruktúre drevisy.

Tab. 2: Regresné funkcie pre hrúbky noža  $t = 1 - 3$  mm, drevisy bk, db, hb, sm, bo, uhol ostria  $\beta = 30^\circ$ 

Drevina	Regresná funkcia
bk	$F_m = e^{5,36159} \cdot t^{0,36767}$
db	$F_m = e^{5,27444} \cdot t^{0,357995}$
hb	$F_m = e^{5,40319} \cdot t^{0,405757}$
sm	$F_m = e^{4,32016} \cdot t^{0,371727}$
bo	$F_m = e^{4,74776} \cdot t^{0,385571}$

Pre mäkké drevisy sm a bo z regresných analýz vyplýva v podstate to isté, čo pre drevisy tvrdé (bk, db, hb), len hodnoty merných rezných síl sú podstatne nižšie. Sú charakteristické značným rozptylom hodnôt aj pri tenkých nožoch.

### 3.3 Spomalenie nástroja v reze

Z nameraných hodnôt vyplýva, že spomalenie noža v reze je priamoúmerné s mernými reznými silami – nie sú výrazné odchýlky.

## ZÁVER

Z analýzy základných parametrov s cieľom definovať ich vplyv na hlavné ukazovatele beztrieskového rezania – reznú silu, pevnosť rezného mechanizmu a kvalitu povrchu obrobenej plochy – na základe vlastných poznatkov a podľa dostupných literárnych prameňov možno dospieť k takýmto záverom:

1. Výskumu u nás i v zahraničí sa podrobili hlavne ploché doskovité nože s hladkou priamočiарou reznou hranou. Takýto tvar noža je najrozšírenejší pre jednoduché konštrukčné prevedenie a ostrenie rezného klina.
2. Skúšobný materiál pre výskum bol vybraný z našich najdôležitejších hospodárskych drevín buk a smrek, ale aj pre dub, hrab a borovicu.
3. Z geometrických parametrov sú skúmané hlavne symetrické profily rezných častí noža, pričom optimálna veľkosť uhla rezného klina  $\beta = 30 - 40^\circ$  vo všeobecnosti, ako uvádzajú Kočegarov, Meňšikov (1972) a iní autori. Pri tvrdých drevinách (bk, db, hb) je na základe experimentu možné konštatovať, že so zväčšujúcim sa uhlom rezného klina klesá merná rezná sila. Zo skúšaných tvrdých drevín sa najväčší pokles mernej reznej sily so zväčšujúcim sa uhlom rezného klina prejavil u hrabu, ktorý má i najväčšiu hustotu. Pre mäkké dreviny je celková tendencia skúšaných nožov mierne stúpajúca – merné rezné sily narastajú so zväčšujúcim sa uhlom rezného klina. Zistené výsledky je možné využiť pri optimalizácii geometrie rezného klina nástroja – najvhodnejšia geometria je pri minimálnej mernej reznej sile.
4. Je zaužívané, že hrúbka noža má hlavný vplyv na reznú silu a na tuhosť noža. Z regresných analýz pri tvrdých drevinách (bk, db, hb) vidno, že k nárastu mernej reznej sily dochádza v závislosti na hrúbke, závislosť je multiplikatívna, môžeme ju vyjadriť vzťahom:  $Y = AX^B$ . Merná rezná sila pri hrúbke nožov od 1 do 4 mm stúpa prudko a nad hrúbku 4 mm je nárast miernejší. Z vypočítaných závislostí vyplýva tiež, že s nárastom hrúbky noža sa nezväčšuje len merná rezná sila, ale zväčšuje sa aj rozptyl nameraných hodnôt väčšie hrúbky sú citlivejšie na nerovnorodosti v štruktúre dreva. Pre mäkké dreviny sm a bo vyplývajú z regresných analýz podobné závislosti, len hodnoty meraných rezných síl sú cca o  $100 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$  nižšie. Sú charakteristické značným rozptylom hodnôt aj pri tenkých nožoch na rozdiel od tvrdých drevín, u ktorých bol rozptyl badateľne menší.

## LITERATÚRA

1. Berg H., Bäckström P. O., Gustavsson R., Hägglund B. (1975): Systems analyses of cleaning of young stands. Forskningsstiftelsen of cleaning of young stands. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stockholm, Rep. N°1 E. 79 p.
2. Jandel R., Mikleš, M., Koreň J. (1979): Teória viacúčelových strojov so zistením základných parametrov. [Výskumná správa.] Zvolen, Lesnícka fakulta VŠLD. 130 s.
3. Kočegarov V. G., Meňšikov V. N. (1972): O nekotorych voprosach besstružečnogo rezanija drevisiny ploskimi a klinovymi nožami. Trudy CNIIME, sb. 123, Chimki, 161-168.
4. Marko J. (1995): Výskum adaptérov pre mechanizáciu výchovných ťažieb, In: AFF XXXVII, Zvolen, tu, 255-262.