

## OPÓR SWOBODNEGO SKRAWANIA DREWNA GROCHODRZEWU (*ROBINIA PSEUDACACIA* L.) DLA POŁOŻENIA PROSTOPADŁEGO

*Marek Boratyński, Alina Staniszevska, Wiesław Zakrzewski*

Katedra Obrabiarek i Urzędzeń Przemysłowych  
Akademii Rolniczej w Poznaniu

W pracy zamieszczono zależności przedstawiające związek oporu skrawania i grubości wióra dla różnych kątów skrawania drewna grochodrzewu prostopadle do przebiegu włókien drzewnych.

### WSTĘP I CEL PRACY

Deficyt drewna spowodował zainteresowanie się grochodrzewem (*Robinia pseudacacia* L.) [8, 9], który licznie występuje na Węgrzech i w Rumunii, gdzie jest hodowany w zwartych drzewostanach. Obserwuje się również w Bułgarii i Czechosłowacji wzrost wykorzystania tego drewna do celów przemysłowych. W naszym kraju dotychczas drewna tego praktycznie nie wykorzystywano, chociaż kraje bardziej zasobne w ten surowiec stwierdziły możliwości jego użycia do produkcji mebli [1, 9].

Okazało się, że przy hydrotermicznej obróbce drewno to ulega przebarwieniu [8] w zależności od stosowanych parametrów, co wymaga bardzo dokładnej kontroli procesu. Drewno grochodrzewu zawiera dużo związków krystalicznych wapnia [5], wpływających ujemnie na trwałość narzędzi. Dotychczasowe badania skrawalności drewna grochodrzewu prowadzone były dla sposobów obróbki frezowaniem i piłowaniem wzdłużnym na pilarsce tarczowej [5, 9]. W Katedrze Obrabiarek i Urzędzeń Przemysłowych AR w Poznaniu w ramach współpracy z Wysoką Szkołą Lesnicką a Drewnarską w Zwoleniu prowadzono badania oporu skrawania swobodnego grochodrzewu nożem płaskim w warunkach laboratoryjnych [4, 7, 11, 12]. Dotyczyły one jednak kierunku skrawania wzdłuż i w poprzek włókien drzewnych.

Dla uzupełnienia danych literaturowych uznano za celowe skrawać drewno grochodrzewu prostopadle do przebiegu włókien drzewnych przeprowadzając, metodą pomiarów tensometrycznych jednoczesne badania dwóch składowych oporu skrawania, tj. siły skrawania i siły odporu w zależności od grubości wióra i kąta skrawania.

## ZAŁOŻENIA METODYCZNE I OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

## DOBÓR MATERIAŁU BADAWCZEGO, WARUNKÓW SKRAWANIA ORAZ LICZBY PRÓB

Dobór materiału doświadczalnego oraz właściwości drewna grochodrzewu opisano we wcześniejszych pracach [4, 7, 12], których kontynuacją są podjęte badania. Skrawanie przeprowadzono na pięciu próbkach pochodzących z jednego wyrzynka, powtarzając pomiar dziesięciokrotnie. Minimalną liczbę prób obrano na podstawie oszacowania wyników badań wstępnych.

Badania prowadzono dla następujących warunków:

- drewna grochodrzewu,
- skrawania swobodnego,
- kierunku skrawania prostopadłego do przebiegu włókien drzewnych,
- krawędzi tnącej prostopadłej do kierunku ruchu  $\lambda_{se}=0$ ,
- wilgotności bezwzględnej drewna  $w_0=10\%$ ,
- ostrej krawędzi tnącej noża.

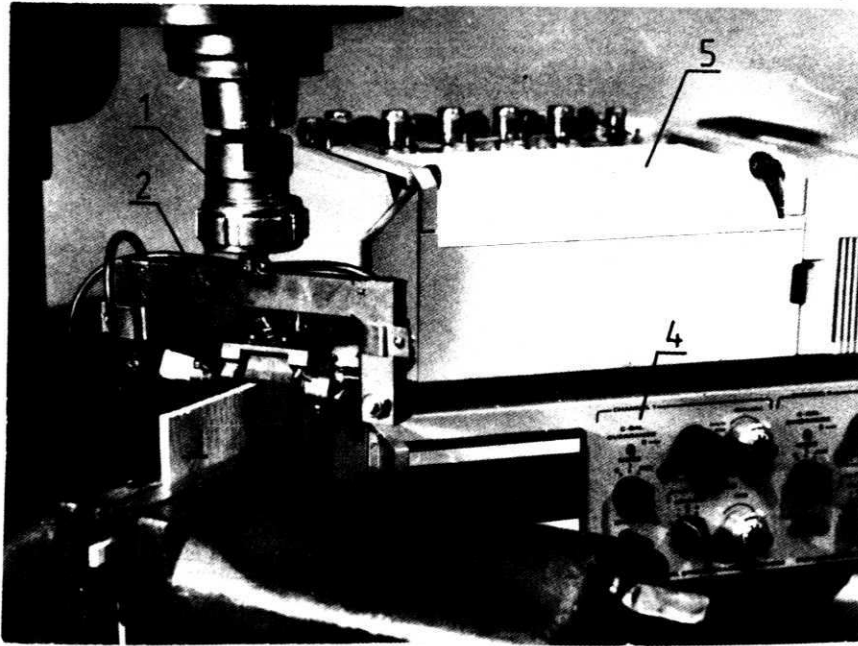
Zastosowano komplet jednakowych noży o kątach ostrza  $\beta=30^\circ;40^\circ;50^\circ$ . Dla porównywalności z wynikami poprzednich badań [4, 7] zamierzano zastosować również kąt ostrza  $\beta=20^\circ$ . Okazało się na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych, że w przypadku skrawania prostopadłego wytrzymałość ostrza o tak małym kącie jest niewystarczająca (nóż łatwo traci sztywność i wyszczerbia się). Zarówno siła skrawania jak i siła oporu wg badań Kivimaa [2] zmniejsza się istotnie wraz ze wzrostem kąta przyłożenia  $\alpha$  od  $0^\circ$  do  $10^\circ$ . W zakresie zmian  $\alpha$  od  $0^\circ$  do  $15^\circ$  spadek wartości tych sił jest nieznaczny. Natomiast powyżej  $15^\circ$  zaczyna się wzrost sił skrawania i oporu. Dla porównywalności wyników z poprzednimi pracami [3, 4, 6, 7] przyjęto wartość kąta przyłożenia  $\alpha=10^\circ$ . Stąd zastosowano trzy kąty skrawania, a mianowicie  $\delta=40^\circ;50^\circ;60^\circ$ .

W trakcie skrawania grubość wióra  $g$  była równa posuwowi na nóż  $A_z$ . Realizując założony cel pracy przyjęto prowadzić pomiary dla grubości wióra porównywalnych z wartościami w innych pracach [3, 4, 6, 7], a jednocześnie w zakresie grubości najczęściej stosowanych w praktyce. Przyjęto zatem stosować następujące grubości wióra: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 mm.

## SPÓSÓB PRZEPROWADZANIA PRZEMIAN OPORU SKRAWANIA

W badaniach zastosowano siłomierz tensometryczny wykonany w Katedrze Obrabiarek i Urządzeń Przemysłowych AR w Poznaniu. Głowicę pomiarową siłomierza zamocowano na wrzecionie pionowym frezarki do metalu FWD-25. W trakcie skrawania głowica siłomierza była nieruchoma, zaś próbka zamocowana w imadle obrabiarki wykonywała ruch roboczy z prędkością 0,05 m/s potrzebny do skrawania wióra. Stanowisko badawcze zilustrowano na rysunku 1.

Na wrzecionie frezarki do metalu (1) zamocowano głowicę pomiarową (2) wyposażoną w czujniki tensometryczne oraz materiał skrawany (3). Jako wzmacniacza sił występujących w procesie skrawania użyto dwukanałowego



Rys. 1 Stanowisko badawcze

Fig. 1. Experimental device

mostka tensometrycznego (4) typu CMT-831. Dla utrwalenia wskazań zastosowano pięciokanałowy rejestrator (5) typu H 327-5. Głowicę (2) wyposażono w dwa czujniki pomiarowe, z których jeden mierzy siłę skrawania  $P_s$ , drugi siłę oporu  $P_o$ . Obydwa czujniki działają niezależnie od siebie. Oś symetrii obu czujników była prostopadła do kierunku ruchu roboczego (kierunek ruchu stołu frezarki) i leżała w płaszczyźnie skrawania. Płaszczyzny czułości czujników obrócone były względem siebie o kąt  $90^\circ$ , co dawało dwa niezależne układy pomiarowe pozwalające na jednoczesny pomiar dwóch sił bez względu na ich zwrot. Zmienność kąta skrawania otrzymywano przez obrót imaka nożowego dookoła osi symetrii czujników pomiarowych. Układ pomiarowy cechowano bezpośrednio na stanowisku badawczym przy użyciu siłomierza pałkowego typu PRL-T1 o zakresie pomiarowym  $0 \div 500$  N.

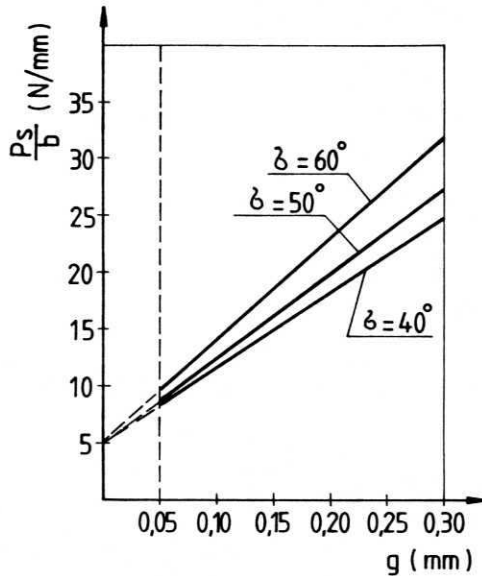
## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

### WPLYW GRUBOŚCI WIÓRA NA OPÓR SKRAWANIA DREWNA GROCHODRZEWU

Jak wiadomo z literatury [4, 6, 7] związek siły skrawania  $P_s/b$  i grubości wióra  $g$  ( $0 \leq g \leq 2$  mm) przebiega – stosując uproszczenie pierwszego stopnia – prostoliniowo.

Ogólnie zależność tę można wyrazić równaniem prostej

$$\frac{P_s}{b} = K \cdot g + p \quad [\text{N/mm}] \quad (1)$$



Rys. 2. Zależność siły skrawania od grubości wióra i kąta skrawania  
 Fig. 2. Dependence of cutting force on chip thickness and cutting angle

gdzie:

$K$  – współczynnik kierunkowy prostej,

$p$  – stała wielkość siły niezależna od grubości wióra.

Przebieg zmienności skrawania dla kątów skrawania  $\delta = 40^\circ \div 60^\circ$  zilustrowano na rysunku 2. Porównując zależność z danymi literaturowymi [4, 7] dla pozostałych położeń skrawania w stosunku do przebiegu włókien drzewnych należy powiedzieć, że największy wzrost siły skrawania ma miejsce przy skrawaniu prostopadłym, najmniejszy przy skrawaniu poprzecznym. Analizując przedstawione na rysunku 2 zależności stwierdzono, że dla wszystkich kątów skrawania proste regresji przecinają oś rzędnych powyżej zera oraz mają charakter rosnący, to znaczy, że współczynniki kierunkowe prostych  $K$  mają zawsze wartości dodatnie.

Na uwagę zasługuje fakt, że dla wszystkich rozważanych kątów skrawania współczynnik korelacji liniowej siły skrawania od grubości wióra był bardzo wysoki  $0,99 < r < 1$  i średnio wynosił  $r_{sr} = 0,994$ . Stosunek współczynnika korelacji do jego średniego błędu dla wszystkich kątów skrawania wynosił średnio  $r_{sr}/m_r = 204$ , co wielokrotnie przekracza liczbę 3 potwierdzając tym samym prostoliniowość badanego związku (10). Z porównania współczynników korelacji dla skrawania poprzecznego [4], gdzie  $r_{sr} = 0,98$  i  $r_{sr}/m_r = 61$  oraz dla skrawania wzdłużnego  $r_{sr} = 0,96$  i  $r_{sr}/m_r = 30$  [4, 7] wynika, że najlepszą prostoliniowość badanego związku  $P_s/b$  od  $g$  wykazuje skrawanie prostopadłe do włókien drzewnych. Wyznaczone dla wybranych kątów skrawania i słuszne dla  $0,30 \geq g \geq 0,05$  równania regresji następującymi zależnościami:

– dla kąta skrawania  $\delta = 60^\circ$

$$\frac{P_s}{b} = (89,36g \mp 3,60) + 5,07 \text{ [N/mm]} \quad (2)$$

– dla  $\delta = 50^\circ$

$$\frac{P_s}{b} = (76,05g \mp 1,67) + 4,63 \text{ [N/mm]} \quad (3)$$

– dla  $\delta = 40^\circ$

$$\frac{P_s}{b} = (63,74g \mp 1,61) + 5,54 \text{ [N/mm]} \quad (4)$$

Z porównania równań regresji wynika różne nachylenie prostych do osi odciętych (rys. 2). Największy współczynnik kierunkowy prostej występuje przy kącie skrawania  $60^\circ$ , zaś najmniejszy przy kącie skrawania  $40^\circ$ . W tym względzie występuje tu podobieństwo do skrawania wzdłużnego [7] i poprzecznego [4]. Dodatnia wartość wyrazu wolnego w równaniach matematycznych świadczy o występowaniu teoretycznej siły skrawania przy grubości wióra  $g = 0$  mm. Średnio dla skrawania prostopadłego i kątów  $\delta = 40^\circ \div 60^\circ$  wartość ta jest zbliżona i przeciętnie wynosi około 5 N/mm. Podobnie jak związek siły skrawania z grubością wióra tak też i zależność siły odporu od grubości wióra można opisać prostą regresji [4, 6, 7]

$$\frac{P_o}{b} = a * g + d \text{ [N/mm]} \quad (5)$$

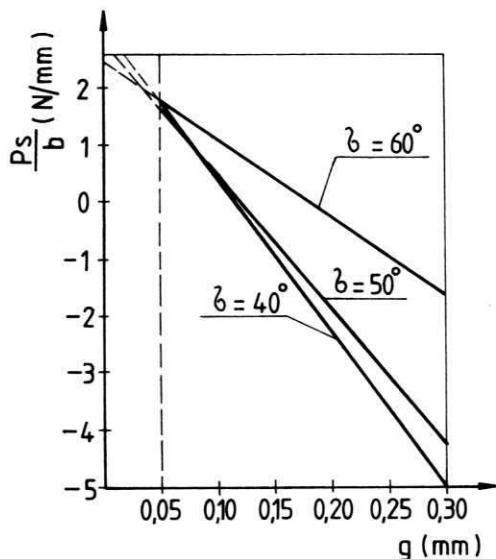
gdzie:

$a$  – współczynnik kierunkowy prostej,

$d$  – stała wielkość niezależna od grubości wióra.

Przebieg zmienności siły odporu od grubości wióra dla kątów skrawania  $\delta = 40^\circ \div 60^\circ$  zilustrowano na rysunku 3.

Jak wynika z rysunku 3 występuje różne nachylenie prostych do osi odciętych. Największe nachylenie jest dla kątów skrawania  $40^\circ$ , najmniejsze dla kąta  $60^\circ$ . Stwierdzono, że wszystkie proste przecinają oś rzędnych powyżej zera oraz mają charakter malejący, to znaczy, że współczynnik kierunkowy prostej  $a$  jest zawsze ujemny. Podobnie jak dla siły skrawania  $P_s/b$  współczynnik korelacji liniowej dla siły odporu  $P_o/b$  był bardzo wysoki  $0,99 < r < 1$  i średnio wynosił  $r_{sr} = -0,995$ . Stosunek współczynnika korelacji do jego średniego błędu dla wszystkich kątów skrawania wynosił średnio  $r_{sr}/m_r = 244$ . Z porównania współczynnika korelacji dla skrawania wzdłużnego [7], gdzie  $r_{sr} = 0,97$ , a iloraz  $|r_{sr}/m_r| = 40$  i poprzecznego  $r_{sr} = -0,93$ , a iloraz  $|r_{sr}/m_r| = 17$  wynika, że najlepszą prostoliniowość badanego związku  $P_o/b$  od  $g$  wykazuje skrawanie prostopadłe do włókien drzewnych.



Rys. 3. Zależność siły odporu od grubości wióra i kąta skrawania  
 Fig. 3. Dependence of resistance force on chip thickness and cutting angle

Wyznaczone dla wybranych kątów skrawania równania regresji opisano następującymi zależnościami:

– dla kąta skrawania  $\delta = 60^\circ$

$$\frac{P_o}{b} = (-13,45g \mp 0,85) + 2,49 \quad [\text{N/mm}] \quad (6)$$

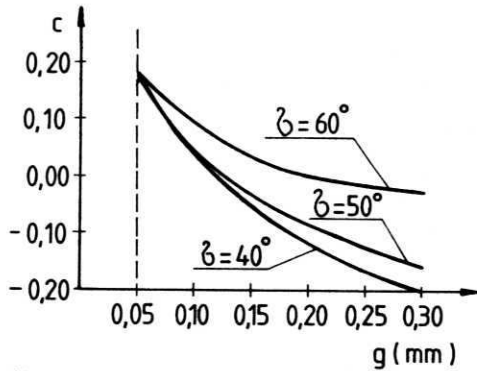
– dla  $\delta = 50^\circ$

$$\frac{P_o}{b} = (-23,39g \mp 0,46) + 2,79 \quad [\text{N/mm}] \quad (7)$$

– dla  $\delta = 40^\circ$

$$\frac{P_o}{b} = (-26,7g \mp 1,23) + 3,11 \quad [\text{N/mm}] \quad (8)$$

Z przebiegu zależności siły odporu  $P_o/b$  od grubości wióra  $g$  wynika, iż przy małej grubości wióra tj. mniejszej od 0,12 mm dla kątów skrawania  $40^\circ$  i  $50^\circ$  oraz mniejszej od 0,20 mm dla kąta skrawania  $60^\circ$ , ostrze skrawające jest odpychane od powierzchni drewna, o czym świadczy dodatnia wartość siły odporu (rys. 3). Przy skrawaniu wióra o większej grubości tj.  $g > 0,12$  mm dla kątów skrawania  $\delta = 40^\circ \div 50^\circ$  oraz  $g > 0,20$  mm dla kąta  $\delta = 60^\circ$ , nóż o ostrej krawędzi tnącej jest dociskany do powierzchni drewna, stąd wartości siły odporu ujemne. Analizując wyniki badań dla skrawania poprzecznego i wzdłu-



Rys. 4. Zależność współczynnika oporu od grubości wióra i kąta skrawania  
 Fig. 4. Dependence of coefficient of resistance on chip thickness and cutting angle

znego [4, 7] stwierdzono wyraźnie większe nachylenie prostych regresji  $P_o/b$  do osi odciętych przy skrawaniu prostokątnym oraz większą tendencję do dociskania noża przez wiór.

Dla rozważanych grubości wióra i kątów skrawania noża ostrego obliczono wartości współczynnika oporu ze wzoru:

$$c = \frac{P_o}{b} \cdot \frac{P_s}{b} \quad (9)$$

gdzie:  $P_o/b$ ,  $P_s/b$  – doświadczalne wartości siły oporu i siły skrawania. Wyniki wpływu grubości wióra na wartość współczynnika oporu, dla przyjętych w badaniach kątów skrawania, zilustrowano na rysunku 4. Związek współczynnika oporu i grubości wióra przebiega według funkcji logarytmicznej typu

$$c = e \lg g + f \quad (10)$$

gdzie:  $e$ ,  $f$  – parametry funkcji aproksymacyjnej zależne od kąta skrawania. Wyznaczone równania regresji można opisać następującymi zależnościami:

– dla kąta skrawania  $\delta = 60^\circ$

$$c = -0,31 \lg g - 0,22 \quad (11)$$

– dla  $\delta = 50^\circ$

$$c = -0,44 \lg g - 0,39 \quad (12)$$

– dla  $\delta = 40^\circ$

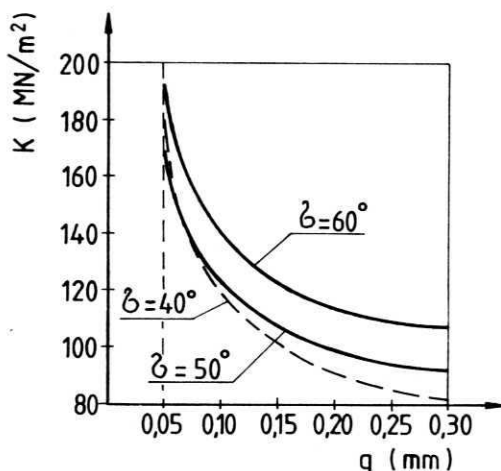
$$c = -0,52 \lg g - 0,48 \quad (13)$$

Przebieg wartości współczynnika oporu od grubości wióra jest uzależniony od przebiegu zależności wartości siły oporu i siły skrawania od grubości wióra. W miarę wzrostu grubości wióra współczynnik oporu maleje (rys. 4). Znak współczynnika oporu uzależniony jest od znaku siły oporu, gdyż znak siły skrawania jest zawsze dodatni. Ujemne wartości współczynnika oporu można zatem wyjaśnić identycznie jak uzasadniono ujemne znaki siły oporu.

## WPLYW GRUBOŚCI WIÓRA NA WŁAŚCIWĄ SIŁĘ SKRAWANIA DREWNA GROCHODRZEWU

Przebieg zależności właściwej siły skrawania od grubości wióra można przedstawić przy użyciu wzoru:

$$k = \frac{P}{b \cdot g} = K + \frac{p}{g} \quad [\text{MN/m}^2] \quad (14)$$



Rys. 5. Zależność właściwej siły skrawania od grubości wióra i kąta skrawania  
Fig. 5. Dependence of specific cutting force on chip thickness and cutting angle

Zależność ta przebiega według hiperboli. Związek właściwej siły skrawania i grubości wióra zilustrowano na rysunku 5 oraz opisano następującymi równaniami:

– dla kąta skrawania  $\delta = 60^\circ$

$$k = 89,36 + \frac{5,07}{g} \quad [\text{MN/m}^2] \quad (15)$$

– dla  $\delta = 50^\circ$

$$k = 76,05 + \frac{4,63}{g} \quad [\text{MN/m}^2] \quad (16)$$

– dla  $\delta = 40^\circ$

$$k = 63,74 + \frac{5,54}{g} \quad [\text{MN/m}^2] \quad (17)$$

Jak widać na rysunku 5 dla większych kątów skrawania wartości właściwej siły skrawania są większe. Przy skrawaniu wiórów o grubości mniejszej od 0,1 mm następuje gwałtowny wzrost właściwej siły skrawania. Przy grubościach od 0,1



do 0,2 mm obserwuje się spadek właściwej siły skrawania, dla grubości 0,2 do 0,3 mm spadek ten przyjmuje charakter prostoliniowy.

Porównując charakter spadku wartości właściwej siły skrawania w miarę wzrostu grubości wióra dla skrawania prostopadłego z poprzecznym [4] i wzdłużnym [7] można zauważyć znaczne podobieństwo. Ponadto określono jaki wpływ na wartość właściwej siły skrawania wywiera odstępstwo od warunków podstawowych wyrażające się zmianą gatunku skrawanego drewna. Otrzymano współczynnik korekcyjny  $c_r$ :

$$c_r = \frac{k_{\text{grochodrzewu}}}{k_{\text{sosny}}} = \frac{123}{53} = 2,3$$

Porównując ten wynik ze współczynnikiem uzyskanym z badań prowadzonych na laborometrze wahadłowym [12] należy stwierdzić, że jest większy o 0,4 od wartości średniej i leży w określonych w pracy granicach tolerancji.

#### WNIOSKI

Dla skrawania prostopadłego drewna grochodrzewu w kierunku prostopadłym do przebiegu włókien drzewnych przy użyciu noża ostrego, na podstawie przeprowadzonych badań i analizy ich wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Charakter zmian składowych oporu skrawania tj. siły skrawania i siły odporu od grubości wióra jest prostoliniowy. Siły odniesione do 1 mm szerokości skrawania dla grubości wióra  $0,05 \leq g \leq 0,3$  mm można opisać równaniami, zależnie od kąta skrawania (wzory 2 ÷ 4 i 6 ÷ 8).

2. Związek współczynnika odporu i grubości wióra dla ostrza ostrego przebiega według funkcji logarytmicznej, zależnie od kąta skrawania (wzory 11 ÷ 13).

3. Zależność właściwej siły skrawania od grubości wióra przebiega według hiperboli. Wyrazić ją można odpowiednim równaniem (wzory 15 ÷ 17).

Praca wpłynęła do Redakcji w maju 1993

#### LITERATURA

1. Achterberg W., Bucher K., Matschey H.: Die Robinie – ein brauchbares Furnierholz. Die Sozialistische Forstwirtschaft, 1972, t. 22, nr 3, s. 90 ÷ 91.
2. Bajkowski J., Stefaniak W.: Podstawowe narzędzia do obróbki drewna. Część 1, Poznań 1975.
3. Bajkowski J., Pasterczyk B., Stefański W.: Wpływ kąta skrawania i grubości wióra na opory skrawania wybranych gatunków drewna kolumbijskiego. Materiały z III Konferencji Naukowej WTD SGGW – AR, Warszawa 1987.
4. Boratyński M., Staniszevska A., Zakrzewski W.: Opór swobodnego skrawania drewna grochodrzewu dla położenia poprzecznego. Folia Forestalia Polonica 1992, seria B, zeszyt 23, s. 31 ÷ 42.

5. Fraiss J.: Optymalizacie Konštrukcie nastroja a režimu pilenia agátového dreva na kotúčovej rozrezávacej pile. Kandidatska dizertačna práca. Vysoká Škola Lesnícka a Drevarská, Zvolen 1981.
6. Loth E.: Badanie oporów płaskiego skrawania wzdłużnego nożem prostym wybranych gatunków drewna. Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Maszyn i Narzędzi SGGW - AR Warszawa 1982.
7. Maćkowiak M.: Opór swobodnego skrawania drewna grochodrzewu dla położenia wzdłużnego. Praca magisterska wykonana w Katedrze Obrabiarek i Urzędzeń Przemysłowych AR w Poznaniu 1992.
8. Molnár Š.: Az Akác Hidrotermikus Kezeléséről. Faipar, 1979, nr 3, s. 91 ÷ 95.
9. Molnár Š., Miklovčík N.: K voprosu o svojstvach drevesiny akacii beloju. Stanki i Instrumenty Derevoob. Proizvodstv, Leningrad 1982, nr 3, s. 110 ÷ 113.
10. Sobolev M.: Statističeskij kontrol' kačestva ramnoj rozpilovki. Lesnaja Promyšlennost'. Moskva 1971.
11. Staniszevska A., Zakrzewski W., Lisičan J.: Porovnanie reznoj sily pri volnom a uzavretom (škárovom) rezani agátového dreva. Zbornik Vedeckých Prác, Zvolen 1990, s. 67 ÷ 81.
12. Staniszevska A., Zakrzewski W.: Właściwa praca i siła swobodnego skrawania drewna grochodrzewu. Folia Forestalia Polonica 1988, seria B, zeszyt 19, s. 5 ÷ 18.

Adresy autorów:

dr inż. Marek Boratyński

dr inż. Alina Staniszevska

dr inż. Wiesław Zakrzewski

Akademia Rolnicza w Poznaniu

Katedra Obrabiarek i Urzędzeń Przemysłowych

ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-637 Poznań

## CUTTING RESISTANCE OF OPEN CUT IN THE PERPENDICULAR POSITION FOR THE BLACK LOCUST (*ROBINIA PSEUDACACIA* L.)

### Summary

Data concerning cutting resistance in the case of slicing of the black locust, published so far, are far from complete. For this reason it seems advisable to investigate this parameter. The results were presented in the form of a dependence of cutting force  $P_s/b$ , thrust force  $P_o/b$  and specific cutting energy on chip thickness  $g$  for chosen cutting angles.

It has been shown that there are following dependences of cutting force and specific cutting on chip thickness in the range of  $0,05 \leq g \leq 0,3$  mm for  $\delta = 60^\circ$

$$\frac{P_s}{b} = (89,36g + 3,60) + 5,07 \quad [\text{N/mm}]$$

$$\frac{P_o}{b} = (-13,45g + 0,85) + 2,49 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k = 89,36 + \frac{5,07}{g} \quad [\text{MN/m}^2]$$

for  $\delta = 50^\circ$

$$\frac{P_s}{b} = (76,05g \mp 1,67) + 4,63 \quad [\text{N/mm}]$$

$$\frac{P_o}{b} = (-23,39g \mp 0,46) + 2,79 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k = 76,05 + \frac{4,63}{g} \quad [\text{MN/m}^2]$$

for  $\delta = 40^\circ$

$$\frac{P_s}{b} = (63,74g \mp 1,61) + 5,54 \quad [\text{N/mm}]$$

$$\frac{P_o}{b} = (-26,70g \mp 1,23) + 3,11 \quad [\text{N/mm}]$$

$$k = 63,74 + \frac{5,54}{g} \quad [\text{MN/m}^2]$$