

JAROSŁAW PSZKIT, JERZY WIĘSIK

## Badania oporów przy okrzesywaniu drzew sosnowych nożami biernymi

Исследования сопротивлений при очистке сосновых деревьев  
пассивными ножами

Studies of the resistances at debranching pine trees with passive knives

### 1. WSTĘP

Współczesne maszyny do odcinania gałęzi wyposaża się niemal powszechnie w zespoły noży biernych, których zasada działania polega na bezwiórowym oddzielaniu gałęzi od pnia, co następuje podczas względnego przemieszczania się noży i drzewa. Mimo bardzo różnorodnej konstrukcji zespołów nożowych w każdym z nich charakterystycznymi parametrami są: siła docisku noża do pnia i geometria ostrza noża, na którą składają się promień zaokrąglenia, kąt przyłożenia i kąt zaostrenia. Przy doborze wartości tych parametrów należy mieć na uwadze uzyskanie dobrej jakości okrzesej strzały przy jak najmniejszym zużyciu energii.

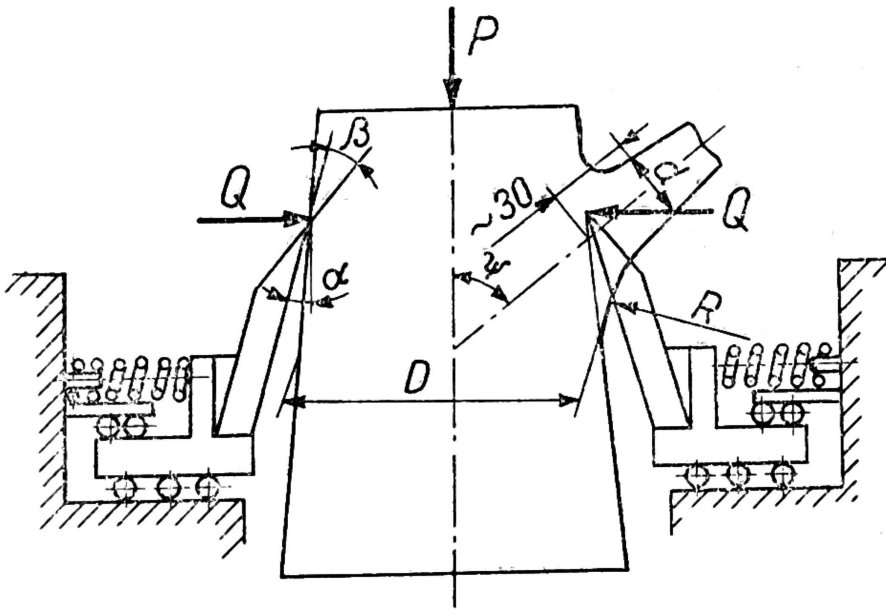
Z dotychczasowych publikacji wynika, że parametrem decydującym o wartościach oporów jest kąt skrawania noża, będący sumą kątów przyłożenia i zaostrenia (1, 2, 3, 6). Istotne znaczenie mają także właściwości techniczne drewna i forma połączenia gałęzi ze strzałą drzewa. Te ostatnie czynniki są zróżnicowane warunkami klimatyczno-przyrodniczymi. Na podstawie dotychczas opublikowanych wyników badań można dokonać wyboru wartości kąta skrawania dla minimalizacji oporów odcinania gałęzi. Publikacje te nie zawierają natomiast żadnych sugestii doboru wartości kąta przyłożenia i siły docisku noża do pnia drzewa.

Podjęta przez autorów praca miała na celu wyjaśnienie wpływu geometrii noża i wstępnej siły docisku na wartości oporów przy okrzesywaniu drzew sosnowych. Przeprowadzane jednocześnie obserwacje jakości okrzesywania stanowią temat oddzielnego opracowania (4).

### 2. METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanym urządzeniu, wyposażonym w dwa noże, dociskane do pnia drzewa z przeciwległych

stron za pomocą sprężyn śrubowych (ryc. 1). Taki sposób docisku noży, pozostawiający pewną swobodę zmiany ich położenia względem pnia, odwzorowuje w miarę dobrze rzeczywiste warunki mocowania noży w urządzeniach okrzesujących.



Ryc. 1. Schemat urządzenia okrzesującego

Każdy z noży jest fragmentem cylindra o promieniu wewnętrznym 105 mm, szerokości 100 mm i grubości 10 mm. Siłę docisku noży regulowano zmieniając napięcie sprężyn, kąt przyłożenia — przez wymianę podkładek znajdujących się między nożem i obsadą, a kąt zaostrenia — przez wymianę noży. Wartości parametrów zmiennych założono następujące: kąt przyłożenia  $\alpha = 0,3^\circ$  i  $6^\circ$ , kąt zaostrenia  $\beta = 30^\circ$  i  $45^\circ$  oraz siłę docisku  $Q = 568, 919$  i  $1620$  N.

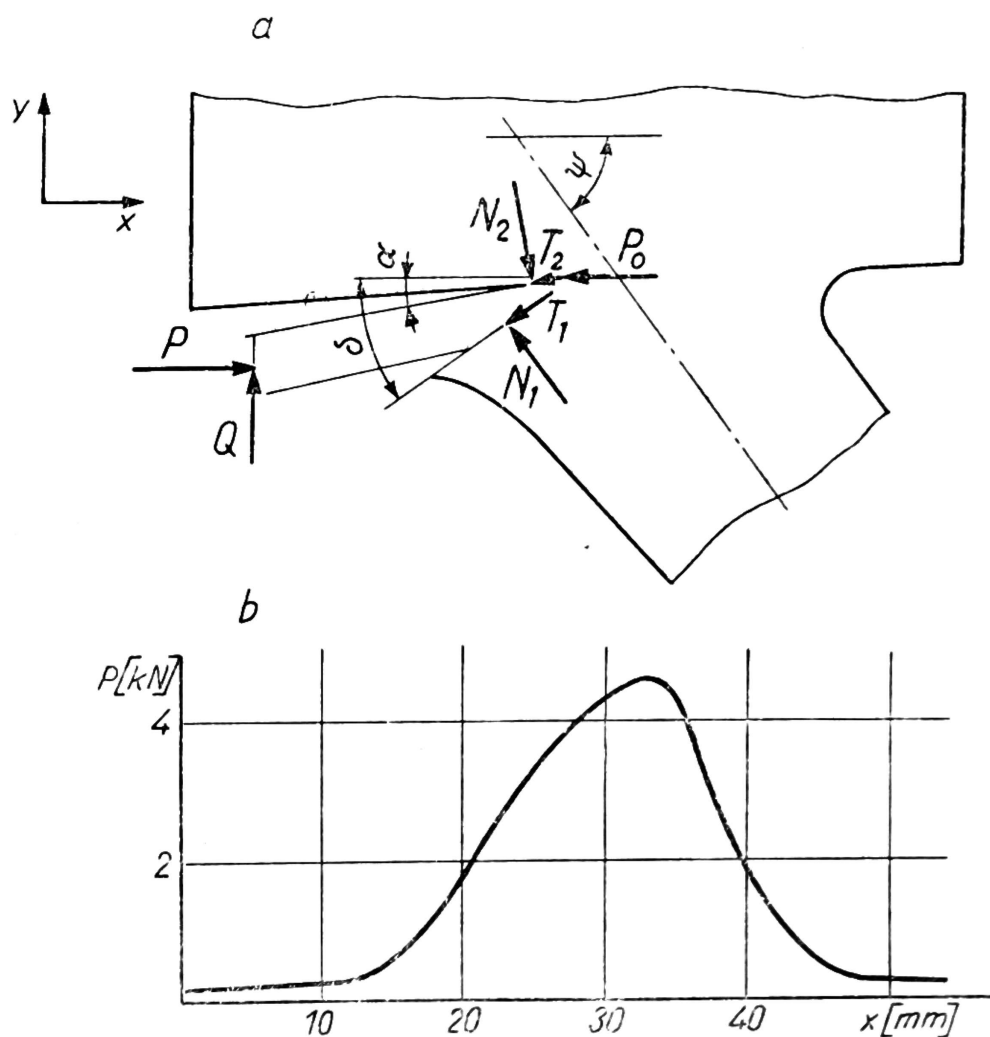
Okrzesywano wyrzynki pozyskane ze świeżo ściętych drzew sosnowych w nadl. Rogów. W każdym z wyrzynków pozostawiano do odcięcia w urządzeniu tylko jedną gałąź, pozostałe usuwano równo z powierzchnią pnia, tak aby nie powodowały oporów przy przesuwaniu wyrzynka przez urządzenie okrzesujące. Charakterystyczne parametry wybranych wyrzynków były następujące: średnica wyrzynka, mierzona poniżej gałęzi  $D = 60 \dots 180$  mm, średnica odcinanych gałęzi, mierzona jak na rycinie 1,  $d = 5 \dots 55$  mm, kąt wyrastania gałęzi względem osi strzały  $\psi = 30 \dots 100^\circ$ , promień połączenia gałęzi z pniem, od strony wchodzenia noża,  $R = 25 \dots 200$  mm.

Urządzenie okrzesujące ustawiono na maszynie wytrzymałościowej, zapewniającej posuw wyrzynka względem noży z prędkością 2 mm/s i odczyt wartości siły z dokładnością 100 N. Wykonano łącznie 266 pomiarów, przy czym w większości przypadków odczytywano tylko maksymalną wartość oporów i położenie noża odpowiadające tej wartości. W 65 przypadkach zarejestrowano zmianę wartości oporów w funkcji drogi noża, co pozwoliło na ustalenie charakteru tych zmian.

Istotność wpływu poszczególnych parametrów zbadano statystycznie, porównując zależności oporów od średnicy gałęzi przedstawione w postaci funkcji kwadratowych, przy poziomie istotności 0,05.

### 3. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Analiza zmiany oporów okrzesywania w funkcji drogi noża wykazała, iż maksymalna wartość występuje po przejściu noża przez środek gałęzi. Przykładowy przebieg zmian przedstawiono na ryc. 2. Poziome części krzywej (początkowa i końcowa) ilustrują wartości sił tarcia noży o powierzchnię wyrzynka. Część wznosząca krzywej jest na ogół bardziej łagodna w porównaniu z częścią opadającą. Obserwacje zachowania się gałęzi podczas okrzesywania pozwalają stwierdzić, iż drugiej fazie cięcia towarzyszy szybkie naginanie gałęzi w kierunku pnia drzewa, z tego wynikają i bardziej intensywne zmiany oporów.



Ryc. 2. Układ sił działających na nóż tnący (a) i przebieg zmian oporów w zależności od drogi noża (b)

Z porównania równań regresji oporów dla założonych wartości siły docisku noży wynika, iż nie ma ona istotnego wpływu na kształtowanie się oporów okrzesywania. Można to wytłumaczyć niewielkim udziałem sił tarcia, spowodowanych siłą  $Q$  w całkowitych oporach odcinania gałęzi.

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ zarówno kąta zaostrenia noża, jak i kąta przyłożenia. Odpowiednie równania regresji zestawiono w tab. 1. Należy zauważyć, że w przeprowadzonych badaniach zmianie wartości kątów przyłożenia i zaostrenia towarzyszyła odpowiednia zmiana wartości kąta skrawania. Ustawienie powierzchni natarcia noża względem gałęzi decyduje zatem o wartościach oporów okrzysywania. Gdyby zmiana kąta przyłożenia nie powodowała jednoczesnej zmiany kąta skrawania, jego wpływ na opory okrzysywania byłby nieistotny.

Tabela 1

Zależność  $P_{\max}$  od średnicy gałęzi  $d$

Nr równania	Kąty noża stop.		Równania regresji wartości maksymalnych oporów cięcia $P_{\max}$ (N), $d$ (mm)	Współczynnik korelacji $r$
	$\alpha$	$\beta$		
1	0	30	$P_{\max} = 5,469 d^2 + 115,2 d + 755$	0,86
2	3	30	$P_{\max} = 3,503 d^2 + 115,1 d + 334$	0,94
3	0	45	$P_{\max} = 5,196 d^2 + 138,1 d + 650$	0,93
4	3	45	$P_{\max} = 5,649 d^2 + 202,2 d + 316$	0,94
5	6	45	$P_{\max} = 6,798 d^2 + 189,1 d + 133$	0,95

Określone podczas przeprowadzonych badań wartości oporów okrzysywania drzew sosnowych wykazują dość istotne różnice w porównaniu z ustaleniami innych autorów. W tab. 2 przedstawiono wartości oporów obliczone z równań regresji zawartych w tab. 1 oraz zależności podanych w pracach (1, 3, 6) dla odpowiednich parametrów ostrza noża i średnicy gałęzi.

Z przytoczonych w tab. 2 wartości oporów wynika, iż różnice w skrajnych przypadkach sięgają 50%. Przyczyny są różne. W przypadku D i t r i c h a i N e s t e r o v e j są spowodowane nieco odmienną metodyką badań, natomiast w przypadku Z a c h a r e n k o v a (6) przyjęciem wątpliwej hipotezy przebiegu zjawisk towarzyszących procesowi cięcia.

Przeprowadzone badania dają podstawę do stwierdzenia, że przyjęcie w celu uproszczenia konstrukcji urządzenia okrzysującego kąta przyłożenia noża  $\alpha = 0$  nie spowoduje zmian oporów, jeśli nie ulegnie zmianie kąt skrawania. Stwarza to możliwość wzmocnienia ostrza noża przez wprowadzenie większego kąta zaostrenia.

#### 4. PRÓBA UOGÓLNIENIA WYNIKÓW BADAŃ

Pomimo szeregu prób brak jest dotychczas matematycznego opisu oporów odcinania gałęzi, ujmującego wpływ zarówno parametrów ostrza jak i budowy oraz właściwości technicznych drewna, który odpowiadałby w dostatecznym stopniu badaniom eksperymentalnym. Przeprowadzone przez nas badania także nie dają możliwości podjęcia takiej próby, po-

zwalają jednak zwrócić uwagę na istotę zjawiska i ukierunkować następne prace.

Rozważmy skutek działania na nóż sił czynnych P i Q, przedstawio-

Tabela 2

**Opory okrzesywania wg badań własnych i innych autorów**

Kąt skrawania (stop.)	Kąt przyłożenia (stop.)	Średnica gałęzi (mm)	Max. opory okrzesywania w kN według			
			Nesterenki	Ditricha Nesterovej	Zacharenkova	badań własnych
30	0	30	6,0	7,0	3,6	6,1
30	0	40	7,0	7,4	8,4	10,1
30	0	50	9,0	9,0	15,4	15,2
33	3	30	—	—	4,0	6,9
33	3	40	—	—	9,4	10,5
33	3	50	—	—	17,9	14,8
45	0	30	—	7,2	6,2	9,5
45	0	40	—	10,9	13,6	13,9
45	0	50	—	15,8	23,9	20,6

nych na ryc. 2. Jeśli siła P przekroczy określoną wartość, następuje wciskanie się noża w drewno, któremu towarzyszą następujące zjawiska:

— przecinanie włókien drewna przez ostrze noża, co powoduje wystąpienie oporu  $P_0$ ,

— odkształcanie drewna przez płaszczyznę natarcia, co powoduje wystąpienie sił normalnej  $N_1$  i stycznej  $T_1$ ,

— odkształcanie drewna przez powierzchnię przyłożenia, co powoduje wystąpienie sił normalnej  $N_2$  i stycznej  $T_2$ .

Jeśli odkształcenia włókien drewna powodowane przez płaszczyznę przyłożenia można uważać za odkształcenia sprężyste, to powodowane przez płaszczyznę natarcia mają charakter trwałe. Głębokość tych odkształceń zależy od geometrii ostrza, średnicy i kąta nachylenia gałęzi, a także położenia noża. Podczas cięcia daje się wyraźnie zauważyć, że po przejściu ostrza przez środek gałęzi następuje w coraz mniejszym stopniu zgniatanie włókien, w większym zaś naginanie całej gałęzi na strzałę drzewa.

Wszyscy badacze są zgodni, że decydującymi o wartościach oporów odcinania gałęzi są zjawiska powodowane przez powierzchnię natarcia noża. W celu ustalenia wartości i charakteru zmian nacisków jednostkowych na powierzchni natarcia rozpatrzmy układ sił działających na nóż okrzesyjący (ryc. 2).

Z układu tego wynika, że całkowite opory odcinania gałęzi są równe

$$P = P_0 + Q \cdot \eta + N_1 \cdot \xi \quad (1)$$

gdzie

$$\eta = \frac{\mu_2 - \operatorname{tg}\alpha}{1 + \mu_2 \operatorname{tg}\alpha}$$

$$\xi = (\eta + \mu_1)\cos\delta + (1 - \eta \cdot \mu_1)\sin\delta$$

$\mu_1$  i  $\mu_2$  — współczynniki tarcia drewna o powierzchnię natarcia i przyłożenia noża.

Opór przecinania włókien drewna przez ostrze noża  $P_o$  zależy od szerokości cięcia, promienia zaokrąglenia ostrza i właściwości technicznych drewna, mianowicie

$$P_o = k_o \cdot r \cdot b \text{ [N]} \quad (2)$$

gdzie

$b$  — szerokość cięcia w m,

$k_o$  — jednostkowy opór cięcia w Pa (dla sosny  $k_o \approx 8,2$  MPa (2)),

$r$  — promień zaokrąglenia ostrza w m.

Jeśli założymy równomierny rozkład nacisków na powierzchni natarcia, wypadkowa siła normalna  $N_1$  będzie równa

$$N_1 = q_1 \cdot S_1 \text{ (N)} \quad (3)$$

gdzie

$q_1$  — jednostkowy nacisk na powierzchnię natarcia noża w Pa,

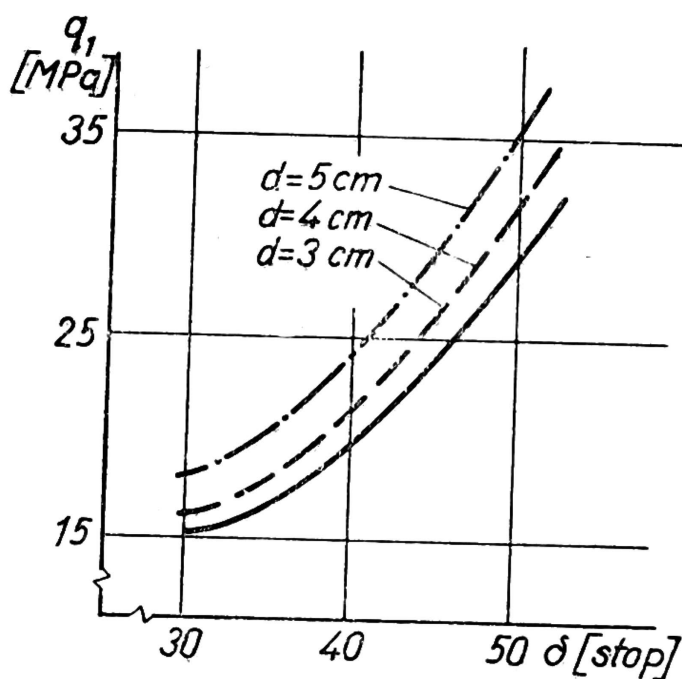
$S_1$  — powierzchnia natarcia noża będąca w kontakcie z drewnem w m<sup>2</sup>.

Korzystając z przeprowadzonych badań eksperymentalnych można wyznaczyć wartość jednostkowych nacisków  $q_1$  w zależności od kąta skrawania i średnicy gałęzi. Wprowadzając zależność 3 do równania 1 wyznaczamy

$$q_1 = \frac{P - P_o - Q \cdot \eta}{\xi \cdot S_1} \text{ (Pa)} \quad (4)$$

Zależność 4 przedstawiono na ryc. 3 przy założeniu  $\mu_1 = 0,3$ ,  $\mu_2 = 0,2$ ,  $k_o = 8,2$  MPa,  $r = 0,0002$  m. Z przebiegu zależności wynika, że zmiana nacisków jest spowodowana głównie zmianą kąta skrawania, w mniejszym zaś stopniu zmianą średnicy gałęzi. Fizyczne wyjaśnienie wpływu tych czynników wymaga jednak bardziej szczegółowych badań właściwości technicznych drewna, wielkości i charakteru odkształceń drewna, charakteru rozkładu nacisków jednostkowych, a także wartości i zmian współczynników tarcia. Škirja (5) podaje, że wartość współczynnika tarcia drewna o stal w zależności od nacisku może ulegać zmianie od 0,2 do 0,5. W przeprowadzonych w opracowaniu obliczeniach założyliśmy stałe wartości współczynników tarcia. Zgodnie jednak z sugestią Nesterenk i (3) współczynniki tarcia dla powierzchni natarcia

i przyłożenia noża mają różne wartości, a jest to spowodowane różnym kątem pochylenia włókien drewna względem powierzchni trących.



Ryc. 3. Zależność nacisków jednostkowych na powierzchni natarcia noża od kąta skrawania  $\delta$  i średnicy gałęzi  $d$

## 5. WNIOSKI

1. Badania wykazały, że zależność oporów okrzesywania od średnicy gałęzi można przedstawić w postaci funkcji kwadratowej. Współczynnik korelacji dla założonych w badaniach warunków zawierał się w granicach od 0,86 do 0,95.

2. Na wartość oporów okrzesywania decydujący wpływ ma kąt skrawania: im jego wartość jest większa, tym większe są wartości oporów, przy czym intensywność tego wpływu jest tym większa, im większy kąt skrawania.

3. Kąt przyłożenia noża nie ma istotnego wpływu na zmianę wartości oporów, jeśli nie powoduje jednoczesnej zmiany kąta skrawania.

4. Zmiana wstępnego docisku noży do pnia w granicach od 0,5 do 1,5 kN nie ma istotnego wpływu na kształtowanie się wartości oporów okrzesywania. Dobór wartości tego parametru warunkuje jakość okrzesywania.

5. Analiza zjawisk występujących przy odcinaniu gałęzi nożami biernymi wskazuje na decydujące znaczenie nacisków jednostkowych działających na powierzchnię natarcia noża. Zwiększają się one wraz z kątem skrawania, ale także — choć w mniejszym stopniu — ze średnicą gałęzi.

## LITERATURA

1. Ditrich V.I., Nesterova I.B.: Opredelenie usilija srezanija sučev. Les. Prom. 1976 nr 2.
2. Krylcov V.D.: Analitičeskoe opredelenie energosilovych parametrov nožovogo besstružečnogo rezanija drevesiny. Trudy CNIIME 1971 nr 120.
3. Nesterenko V.G.: K voprosu o prirode sil otžima i zatjagivaniya pri rezanii drevesiny. Les. Ž. 1971 nr 3.
4. Nurek T.: Wpływ siły docisku noży na jakość okrzesywania drzew sosnowych. Maszynopis. Biblioteka SGGW-AR. 1983.
5. Škirja T.M.: Soversenstvovanie i dinamika drovokolnych stankov. W.S. Lvov 1977.
6. Zacharenkov F.J.: Analitičeskij sposob rasčeta maksimalnogo soprotivlenija rezanija pri silovom metode obrezki sučjev. Les. Ž. 1963 nr 3.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 2 sierpnia 1984 r.

### Краткое содержание

Проектирование машин для обрезки сучьев, оснащенных пассивными ножами, требует предварительного определения оптимальных, с точки зрения сопротивления, углов ножей и силы их прижатия к стволу дерева. С этой целью исследования сопротивления при очистке сучьев проводились на специальном приспособлении (рис. 1), в котором очищающие ножи прижимались к стволу при помощи винтовых пружин с определенной характеристикой. В исследованиях принято как изменчивые параметры угол заточки ножей  $\beta = 30$  и  $45^\circ$ , угол приложения  $\alpha = 0, 3$  и  $6^\circ$ , сила прижатия  $Q = 568, 919$  и  $1620$  N. Очищались отрезки заготовленные из свежесрубленных сосновых деревьев, диаметр которых  $D = 60...180$  мм, диаметр ветвей  $d = 5...55$  мм, угол наклона ветвей  $\psi = 30...100^\circ$ . Констатировано, что существенное влияние на изменение сопротивления имеет угол срезки  $\delta = \alpha + \beta$ . Сила прижатия ножей в исследуемых границах не имеет существенного влияния на изменение сопротивления. Самые маленькие величины сопротивления наблюдались при  $\delta = 30^\circ$ . Влияние диаметра срезаемых ветвей на величину сопротивления имеет вид квадратной функции (табл. 1). Коэффициент корреляции для этой функции заключается в границах 0,86—0,95. Сравнение полученных величин сопротивления во время авторских исследований с величинами сопротивления представленными другими авторами даны в таблице 2. Разницы доходят до 50%. Анализ системы сил действующих на режущий нож (рис. 2) показывает, что о величине сопротивления при очистке от сучьев решающее значение имеет единичное прижатие на площади действия ножа. Их величины зависят от угла срезки, и в меньшей степени, от диаметра ветвей, что представлено на рис. 3.

### Summary

The design of debranching machines with passive knives for cutting off branches needs foregoing determination of optimum, from the point of view of resistances,



angles of knives and power of their pressure to the tree stem. To this end, studies of debranching resistances were carried out with the aid of a special device (fig. 1), in which debranching knives were pressed to the stem with helical springs of determined characteristic. The changing parameters were as follows: angle of knife sharpening  $\beta = 30$  and  $45^\circ$ , angle of applying  $\alpha = 0.3$  and  $6^\circ$ , pressure power  $Q = 568, 919$  and  $1620$  N. Bolts of fresh cut pine trees were used for debranching. Their diameter was  $D = 60 \dots 180$  mm, diameter of branches  $d = 5 \dots 15$  mm, angle of branch inclination  $\psi = 30 \dots 100^\circ$ . It was stated that the angle of cutting  $\delta = \alpha + \beta$  had significant influence on the changes of resistances. The pressure power had no significant influence on the change of resistances, in studied interval. The least resistance values took place at  $\delta = 30^\circ$ . The influence of the diameter of cut off branches on the value of resistances had form of square function (table 1). The correlation coefficient for this function is contained within 0.86 and 0.95. A comparison of resistance values obtained during own studies with those by other authors is shown in table 2. The differences reach up to 50%. An analysis of the system of forces acting on the cutting knife (fig. 2) shows that the values of debranching resistances are decided by unit pressures on the surface of knife application. Their values are depending on the cutting angle and, to a less degree, on the branch diameter, what is shown in fig. 3.