

## Wpływ napięcia wstępnego na szybkość stępienia się ogniwi piły łańcuchowej oraz wydajność skrawania

The influence of initial tension on blunting of chain saw blades and cutting efficiency

Adam Maciak\*, Magda Kubuśka

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Zakład Mechanizacji Leśnictwa, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa

\*Tel. + 48 22 5934519, e-mail: adam\_maciak@sggw.pl

**Abstract.** The initial tension of the chainsaw is a decisive factor in making the operator's work more efficient and at the same time it is a parameter that the operator can adjust and thus affect significantly. This article presents the results of research aimed at determining the impact of the initial chain tension on the blunting of the blade and the cutting efficiency. Two tree species, pine and oak, were examined in our research, which enabled us to also compare the effect of the wood hardness on blade blunting. The wood tested in this study was fresh wood. The measurements were carried out with two different degrees of chain tension: tensioned and loose. We found that both, tension and wood hardness, significantly affect the rate of blunting of the saw blades. The dulling occurs more intensively when working with a loose chain and sawing wood with greater hardness. In the case of too small tension on the saw chain, blunting may occur even more than twice as fast compared to working with a properly tensioned saw. The initial tension and tree species also affect the cutting efficiency with too small an initial tension reducing cutting efficiency.

**Keywords:** petrol chainsaw, saw chain, saw tension, dulling of blades, cutting efficiency

**Słowa kluczowe:** pilarka spalinowa, piła łańcuchowa, napięcie piły, stępienie ostrzy, wydajność piłowania

### 1. Wstęp

W Polsce pozyskanie drewna wykonuje się za pomocą przenośnych pilarek spalinowych lub harwesterów. W obu przypadkach narzędziem tnącym jest piła łańcuchowa z ogniwami żłobikowymi. Szacuje się, że w Polsce ok. 90% drewna pozyskuje się pilarkami spalinowymi, a pozostałą część harwesterami (Kusiak et al. 2012; Wójcik 2014). Udział maszyn wielooperacyjnych w pozyskaniu z każdym rokiem wzrasta.

Nowe rozwiązania techniczne poprawiają bezpieczeństwo pracy, ergonomię oraz zwiększają wydajność pracy pilarką (Gendek, Oktabiński 2012). Pomimo rozwoju konstrukcji pił łańcuchowych podczas ich użytkowania zachodzą zjawiska zmniejszające ich wydajność pracy. Głównym z nich jest tępienie się ogniwi tnących podczas skrawania drewna. Jest to zjawisko ściśle związane z procesem skrawania. Nawet najnowsze rozwiązania w geometrii ogniwi tnących nie są w stanie wyeliminować tego zjawiska.

Współcześnie produkowane pilarki różnych firm mają zbliżoną konstrukcję oraz walory użytkowe. Największy udział w rynku pilarek w Polsce mają średniej wielkości

pilarki firmy Husqvarna oraz Stihl (Murawski 1995; Wójcik 2007; Maciak 2011), pilarki innych firm spotykane są rzadziej i mają niewielki udział w pozyskaniu drewna w Lasach Państwowych. Pilarkami średniej wielkości według Więsika (2002) są pilarki o objętości skokowej silnika od 40,1 do 60 cm<sup>3</sup>.

Szerokie rozpowszechnienie pilarek spalinowych w leśnictwie powoduje, że od dawna prowadzono badania efektywności ich pracy. Analizą pracy piły łańcuchowej szeroko zajmował się Więsik. Opracował on graf modelu relacyjnego procesu skrawania drewna umożliwiającą analizę wpływu podstawowych czynników na wydajność i energochłonność procesu skrawania drewna (Więsik 1994). Graf ten był podstawą do modeli matematycznych stworzonych przez innych autorów (Górski 1996; Maciak 2001).

Oprócz takich parametrów jak konstrukcja piły i geometria ostrzy (Maciak 2000; Maciak, Gendek 2007) oraz siła posuwu (Maciak 2004) na uzyskiwane efekty skrawania duży wpływ ma napięcie wstępne piły. Jest to parametr zależny od operatora pilarki. Zmiana napięcia wstępnego piły łańcuchowej powoduje zmianę oporów przemieszczania się piły po

Wpłynęło: 23.05.2018 r., zrecenzowano: 13.07.2018 r., zaakceptowano: 24.08.2018 r.

przewodnicy. Zmianie ulega również swoboda wychylania się ogniwi piły podczas pracy.

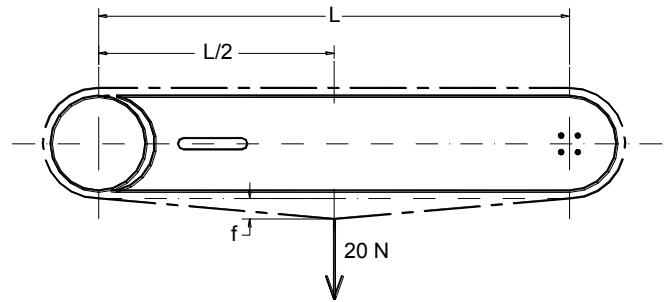
Botwin i Botwin (1979) stwierdzili, iż luźno napięta piła łańcuchowa powoduje spadek wydajności skrawania. Natomiast zbyt duże napięcie wywołuje duże straty energetyczne w wyniku tarcia oraz jest przyczyną szybszego zużycia układu tnącego. Górski (1996) stwierdził, że wydajność piłowania nienapiętą piłą jest o 50% mniejsza od wydajności piłowania piłą napiętą prawidłowo. Badania Trzeciaka (2003) potwierdziły, że zbyt mocne napięcie piły powoduje spadek wydajności skrawania. To i in. (1971) podczas analizy zdjęć piłowania drewna wykonanych kamerą do zdjęć szybkich zauważyli, że wraz ze wzrostem napięcia wstępnego maleje kąt odchylenia ogniwi podczas skrawania. Maciak (2013) stwierdził, że spadek napięcia wstępnego piły zwiększa swobodę wychylania się ogniwi tnących w płaszczyźnie rzazu. Zmniejsza to wartość współczynnika czasu zagłębienia ostrzy, czyli stosunku rzeczywistego czasu, kiedy ostrza skrawają, do całkowitego czasu skrawania. Jest to przyczyną pogorszenia się sprawności pilarki i spadku uzyskiwanej wydajności skrawania. W trakcie pracy piły napięcie może ulegać dynamicznym zmianom. Powodem tego zjawiska jest niejednostajność prędkości i przyspieszenia kąowego wału korbowego, szczególnie zauważalna w przypadku silników jednocylindrowych (Gendek 2006). Przekłada się to na duże wartości przyspieszeń piły łańcuchowej, powodujących wystąpienie dużych sił bezwładności. Wartości sił bezwładności niejednokrotnie kilkakrotnie przewyższają wartość czynnych sił skrawania (Więsik 2007). Oprócz wymienionych czynników duży wpływ na uzyskiwane efekty skrawania ma geometria ogniwa tnącego. Wśród parametrów geometrycznych istotny wpływ na efekty skrawania ma kąt nachylenia krawędzi tnącej (Komorowski 1987; Stempki, Grodecki 1998), zniżenie i kształt ogranicznika posuwu (Górski 1996) oraz stępienie ostrzy piły (Bieńkowski 1993; Górski 1996).

Celem badań było ustalenie wpływu wielkości napięcia wstępnego piły na szybkość tępienia się ostrzy piły łańcuchowej żłobikowej, posiadającej ogniwa typu dłuto. Podczas badań określono też wpływ napięcia wstępnego na spadek wydajności skrawania. Badania wykonano dla drewna miękkiego i twardego.

## 2. Materiał i metody

Do badań użyto drewna sosnowego oraz dębowego w postaci wyrzynków o długości 120 cm. Wyrzynki sosnowe miały średnicę od 32 do 40 cm, dębowe od 32 do 38 cm. Średnia wilgotność bezwzględna wyrzynków sosnowych, określona przy użyciu wagosuszarki WPS 210S, wynosiła 74%, natomiast dębowych 77%. Twardość badanego drewna, określona metodą Brinella na powierzchni czołowej, wynosiła 14 MPa dla sosny i 45 MPa dla dębu. Na przekroju wyrzynka wykonywano 12 pomiarów twardości w losowo wybranych miejscach. Podane wyżej wartości twardości są wartościami średnimi dla całego przekroju poprzecznego wyrzynka.

Badania przeprowadzono dla dwóch stanów napięcia piły: napiętej i luźnej. Przyjęto, że piła jest napięta, gdy po zawieszeniu w środku długości przewodnicy ciężaru 20 N, jej strzałka ugięcia (ryc. 1) wynosiła  $f=5\text{mm}$ , a luźna, gdy wartość  $f=8\text{mm}$ . W podobny sposób określano napięcie w trakcie pomiarów wykonywanych przez innych badaczy (Bieńkowski 1993; Górski 1996; Gendek 2005).



Rycina 1. Sposób pomiaru napięcia piły łańcuchowej  
Figure 1. The method of measuring the tension of the chainsaw

Do badań użyto pilarki spalinowej marki Husqvarna 257. Jej objętość skokowa wynosiła  $57\text{ cm}^3$  a moc 4,1 kW. Podczas pomiarów wyposażona była w przewodnicę marki Oregon oznaczoną numerem katalogowym 5089141-56 o długości 15 cali, z rowkiem o szerokości 1,5 mm. Przewodnica posiadała na końcu kółko gwiazdkowe.

Piła użyta do badań miała następujące parametry:

- ogniwo tnące typu dłuto,
- podziałka piły łańcuchowej: 3/8",
- kąt nachylenia poziomych krawędzi tnących:  $65^\circ$ ,
- zniżenie ogranicznika: 0,5 mm,
- liczba ogniwi tnących: 28 szt.

W badaniach wykorzystano dwie jednakowe piły łańcuchowe oraz przewodnicę. Każda piła współpracowała z przypisaną do niej przewodnicą. Każdym zestawem piłowano inny gatunek drewna. Zarówno piły łańcuchowe, jak i przewodnice, były nowe. Piły te przed pomiarami umieszczono na 6 godzin w kąpieli olejowej. Następnie przy pomocy każdego zestawu 'piła – przewodnica' wykonano 50 rzązów wyrzynka sosnowego. Miało to na celu wzajemne dotarcie piły łańcuchowej i przewodnicy. Ponadto pozwoliło uniknąć w trakcie właściwych badań zmniejszania się napięcia piły w trakcie pracy. Zjawisko to spowodowane jest rozciąganiem się fabrycznie nowej piły w początkowym okresie jej użytkowania. Następnie obie piły zostały naostrzone. Aby zachować powtarzalność geometrii ostrzy, ostrzenie wykonywano na specjalnej szlifierce. Piły były ostrzone również po każdej serii pomiarowej.

Podczas pomiarów drewno było umieszczone na koziołku na wysokości 60 cm. Aby uniemożliwić jego przemieszczanie w trakcie cięcia, było przymocowane do koziołka taśmą mocującą. W trakcie badań cięcia dokonywał ten sam doświadczony operator. Każda seria pomiarowa liczyła 35 rzązów.

Dla każdego badanego przypadku (napięcie piły – gatunek drewna) wykonano po trzy powtórzenia serii pomiarowej.

Podczas opisywanych badań mierzono następujące parametry:

- powierzchnię rzazu,
- czas skrawania,
- promień zaokrąglenia ostrzy piły.

Po naostrzeniu piły pobrano odciski ze wszystkich 28 ogniw tnących. Odciski wykonywano w ołowianych płytach. Odciski pobierano również po naostrzeniu na początku każdej serii pomiarowej, oraz co 5 rzałów w trakcie wykonywania pomiarów. Odciski wykonywano w środku długości poziomej krawędzi tnącej ogniw piły. Na każdej płytce odcisnięto kilkakrotnie badaną krawędź. Umożliwiło to podczas analiz mikroskopowych wybór odcisku o najlepszej jakości (najbardziej wyraźnego). Stanowisko do pomiaru stępienia ostrzy składało się z mikroskopu Nikon ALPHAPHOT-2 wyposażonego w oświetlacz halogenowy OH 1 do obserwacji w świetle odbitym. Obraz z mikroskopu przekazywany był do komputera za pomocą kamery cyfrowej. W celu dokonania pomiaru płytkę z wykonanym odciskiem krawędzi tnącej umieszczano na stoliku mikroskopu. Wykorzystując 400-krotne powiększenie, zapisywano uzyskany obraz na dysku komputera. Następnie przy pomocy programu MultiScan Base v.18.03 wykonywano pomiar promienia zaokrąglenia krawędzi tnącej (ryc. 2).

Powierzchnię rzazu wyznaczano na podstawie dwu wzajemnie prostopadłych średnic, które mierzono średnicomierzem z dokładnością do 1 cm. Do obliczeń powierzchni rzazu przyjmowano wartość średnią z dwóch pomiarów. Obliczeń dokonywano wykorzystując wzór na pole powierzchni koła. Czas skrawania mierzono od momentu zetknięcia się piły łańcuchowej z drewnem do momentu zakończenia skrawania. Czas ten mierzono za pomocą stopera firmy Casio o dokładności 0,01 s.

Powierzchniową wydajność skrawania  $W$  [cm<sup>2</sup>/s] obliczono, wykorzystując następującą zależność:

$$W = \frac{A}{t} \quad (1)$$

gdzie:

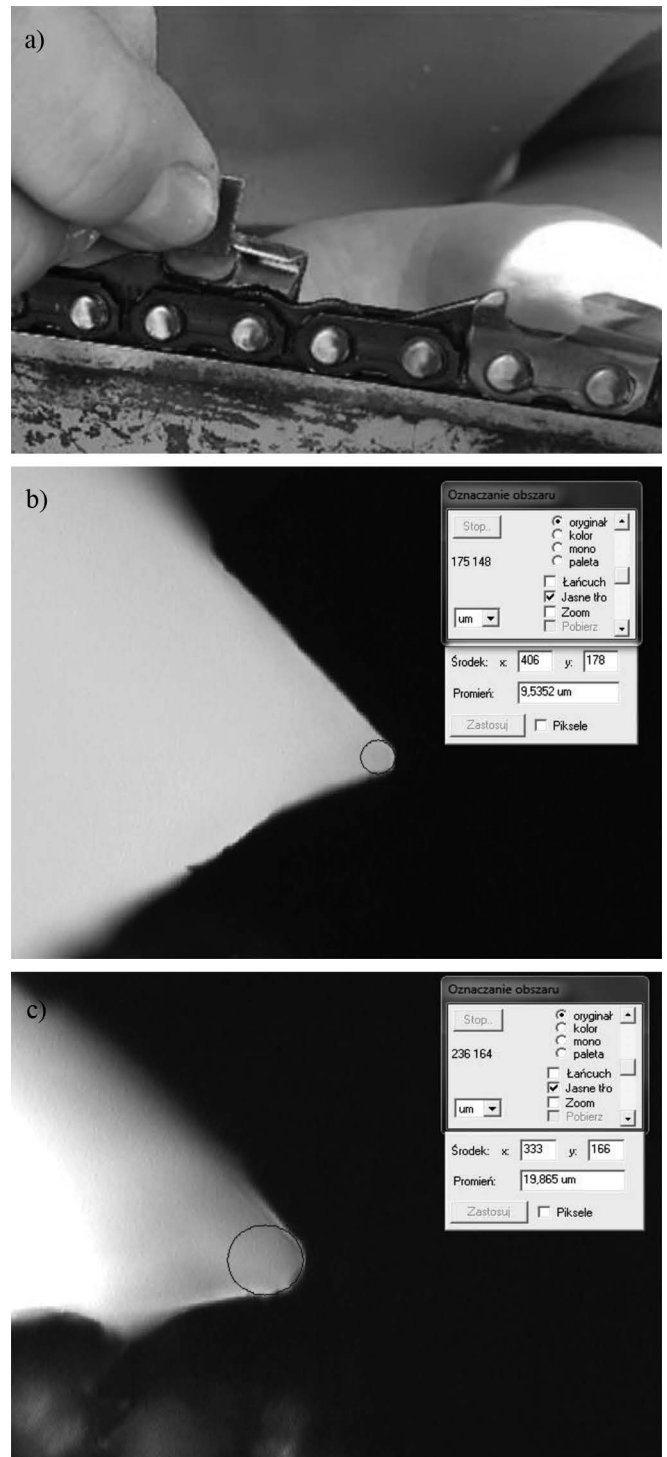
$A$  – powierzchnia rzazu [cm<sup>2</sup>],

$t$  – czas piłowania [s].

Zależności pomiędzy powierzchnią wykonanego rzazu a promieniem zaokrąglenia ostrzy oraz wydajnością skrawania analizowano, wyznaczając równania regresji liniowej oraz analizując wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona. Analizowano również istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami uzyskanymi dla różnych przypadków. W tym celu po sprawdzeniu normalności rozkładu wykonywano test istotności różnic między średnimi. Wykorzystywano test  $t$ . Przyjęto poziom istotności testu  $\alpha=0,05$ . We wnioskowaniu statystycznym sprawdzano dwie hipotezy:

$$H_0: \mu_A = \mu_B;$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_B;$$



**Rycina 2. Pomiar promienia zaokrąglenia ostrza: a) Sposób pobierania odcisku b) Piła ostra  $r=9,53$  mm, c) Piła tępą  $r=19,86$  mm**  
Figure 2. Measuring the radius of the blade rounding: a) The method of downloading the imprint, b) Saw sharp  $r=9,53$ mm, c) Blunt saw  $r=19,86$  mm

Hipotezę zerową była hipoteza o braku istotnych różnic pomiędzy średnimi.

Jeżeli obliczona wartość prawdopodobieństwa testowego  $p$  była mniejsza od wartości 0,05 odrzucano hipotezę zerową

czyli przyjmowano, że różnice pomiędzy średnimi są istotne statystycznie. Wszystkie analizy statystyczne wykonywano w programie Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011).

### 3. Wyniki

W tabeli 1 zaprezentowano statystyczne wyniki uzyskane dla wszystkich badanych przypadków.

W przypadku skrawania sosny piłą napiętą średni promień zaokrąglenia krawędzi tnącej wzrósł o 5,98  $\mu\text{m}$ , od 8,33  $\mu\text{m}$  po naostrzeniu do 14,31  $\mu\text{m}$  po wykonaniu 35 rzazów. Większy przyrost promienia nastąpił w przypadku piły luźnej, od wartości 8,42  $\mu\text{m}$  po naostrzeniu do 17,21  $\mu\text{m}$  po wykonaniu 35 rzazów, czyli różnica wynosiła 8,79  $\mu\text{m}$ . W przypadku skrawania drewna dębu piłą napiętą przyrost promienia zaokrąglenia wynosił 9,44  $\mu\text{m}$  (od wartości 8,62  $\mu\text{m}$  do 18,06  $\mu\text{m}$ ). Był

więc większy niż przy skrawaniu drewna sosny piłą o takim samym napięciu wstępnym, mimo że w przypadku dębu powierzchnia wykonanego rzazu była mniejsza o 4922  $\text{cm}^2$  (wynikała ona z nieco mniejszej średnicy wyrzynków dębowych). W przypadku skrawania drewna dębowego piłą luźną uzyskano największy (uzyskany w opisywanych badaniach) wzrost promienia zaokrąglenia wynoszący 12,28  $\mu\text{m}$ , od wartości 9,06  $\mu\text{m}$  po naostrzeniu do 21,34  $\mu\text{m}$  po wykonaniu 35 rzazów.

Analizując wartość odchylenia standardowego, można zauważyć, że jego wartość po naostrzeniu wynosiła od 0,29 do 0,37  $\mu\text{m}$ . Wraz z wykonaną powierzchnią rzazu zwiększało się zróżnicowanie stępienia poszczególnych ogni. Rozrzut promienia zaokrąglenia krawędzi tnącej zależał od napięcia wstępnego oraz gatunku skrawanego drewna. W przypadku piłowania sosny piłą napiętą po wykonaniu 35 rzazów war-

**Tabela 1. Średnie wartości promienia krawędzi tnącej ostrza uzyskane w poszczególnych przypadkach**

Table 1. Average values of the radius of the cutting edge of the blade obtained in individual cases

Powierzchnia rzazu Surface of kerf [ $\text{cm}^2$ ]	Średni promień zaokrąglenia krawędzi tnących The average radius of rounding of cutting edges [ $\mu\text{m}$ ]	Odchylenie standardowe promieni zaokrąglenia krawędzi tnących Standard deviation of radius of rounding of the cutting edges [ $\mu\text{m}$ ]	Powierzchnia rzazu Surface of kerf [ $\text{cm}^2$ ]	Średni promień zaokrąglenia krawędzi tnących The average radius of rounding of cutting edges [ $\mu\text{m}$ ]	Odchylenie standardowe promieni zaokrąglenia krawędzi tnących Standard deviation of radius of rounding of the cutting edges [ $\mu\text{m}$ ]
<b>Sosna, piła napięta</b> Pine, tense saw			<b>Sosna, piła luźna</b> Pine, loose saw		
0	8,33	0,32	0	8,42	0,29
5087	9,31	0,42	5065	9,86	0,47
10174	10,27	0,56	10171	9,96	0,48
15260	10,99	0,64	15156	11,86	0,81
20347	11,99	0,79	20242	13,35	1,09
25434	12,67	0,96	23307	14,67	1,18
30521	13,17	1,09	30372	16,07	1,28
35608	14,31	1,15	35438	17,21	1,49
<b>Dąb, piła napięta</b> Oak, tense saw			<b>Dąb, piła luźna</b> Oak, loose saw		
0	8,62	0,37	0	9,06	0,34
4273	9,33	0,77	4273	10,18	0,85
8671	10,42	1,03	9045	11,39	1,46
13069	12,05	1,32	13843	13,37	1,52
17342	13,23	1,39	18367	15,77	1,56
21614	15,22	1,68	22916	16,84	1,79
26150	17,17	1,71	27829	18,87	2,15
30686	18,06	1,72	32636	21,34	2,08

tość odchylenia standardowego promieni zaokrąglenia poszczególnych ogniwi piły wynosiła 1,15  $\mu\text{m}$ , natomiast dla piły luźnej odchylenie standardowe było większe o 0,34  $\mu\text{m}$  i wynosiło 1,49  $\mu\text{m}$ . W przypadku gatunku twardego – dębu, wartość odchylenia standardowego promieni ogniwi piły napiętej po wykonaniu 35 rzazów wynosiła 1,72  $\mu\text{m}$ , natomiast piły luźnej 2,08  $\mu\text{m}$ . Różnica wyniosła 0,36  $\mu\text{m}$ .

Na rycinie 3 przedstawiono wpływ wykonanej powierzchni rzazu na promień zaokrąglenia krawędzi tnących we wszystkich badanych przypadkach.

Zależności pomiędzy promieniem zaokrąglenia ostrza  $r$  a powierzchnią rzazu  $A$  można przedstawić przy pomocy następujących równań regresji:

- drewno sosnowe, piła napięta:  
 $r_{Son} = 0,00016A + 8,4926, \quad r=0,94,$
- drewno sosnowe, piła luźna:  
 $r_{Sol} = 0,00026A + 8,2985, \quad r=0,96,$
- drewno dębowe, piła napięta:  
 $r_{Dbl} = 0,00031A + 8,0982, \quad r=0,93,$
- drewno dębowe, piła luźna:  
 $r_{Dbn} = 0,00038A + 8,3532, \quad r=0,94.$

Uzyskane wartości współczynników korelacji świadczą o silnej zależności promienia zaokrąglenia krawędzi tnącej od powierzchni wykonanego rzazu.

Analizując rycinę 3 można zauważyć, że zarówno w przypadku skrawania drewna dębu, jak i sosny wolniej tępiła się piła napięta. Na podstawie uzyskanych równań regresji można obliczyć, że po wykonaniu 30 000  $\text{cm}^2$  rzazu średni promień zaokrąglenia ostrzy piły napiętej skrawającej drewno sosny wzrósł o 4,8  $\mu\text{m}$  (od 8,5 do 13,3  $\mu\text{m}$ ), podczas gdy piły luźnej – o 7,8  $\mu\text{m}$  (od 8,3  $\mu\text{m}$  do 16,1  $\mu\text{m}$ ). Promień zaokrąglenia ostrzy piły luźnej wzrósł o 63% więcej niż piły napiętej. W przypadku skrawania drewna dębu piłą napiętą średni promień stępienia ostrzy wzrósł o 9,3  $\mu\text{m}$  (od 8,1  $\mu\text{m}$  do 17,4  $\mu\text{m}$ ), natomiast gdy skrawano dąb piłą luźną promień wzrósł o 11,4  $\mu\text{m}$  (od 8,4 do 19,8  $\mu\text{m}$ ). Dla każdego badanego gatunku stwierdzono szybsze tępienie ostrzy w przypadku

piły luźnej. Zarówno w przypadku piły napiętej, jak i luźnej, zaobserwowano szybsze tępienie się piły podczas skrawania drewna dębu. Jest to dość oczywiste i wynika z większej twardości i gęstości drewna dębu w porównaniu z drewnem sosny.

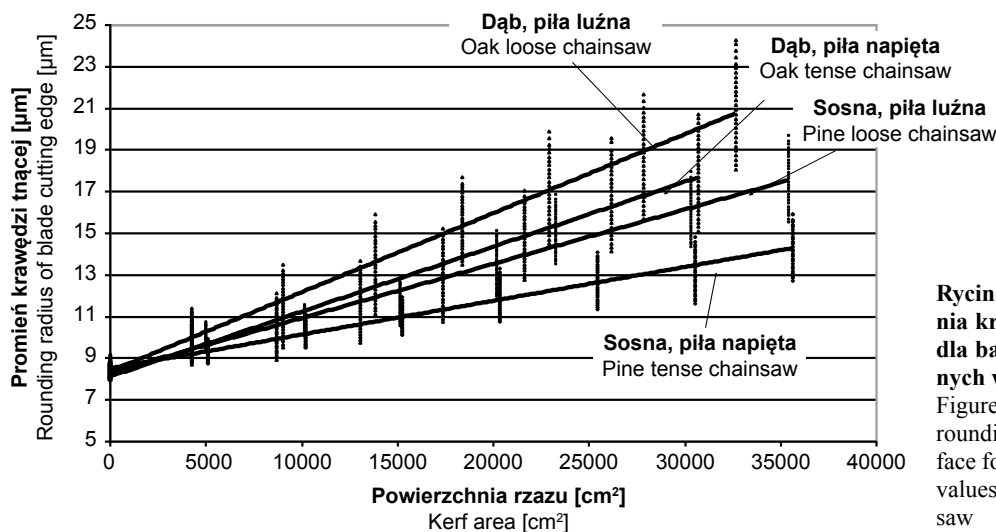
Wpływ powierzchni wykonanego rzazu na wydajność skrawania przedstawia rycina 4.

Zależności pomiędzy wydajnością skrawania  $W$  a powierzchnią wykonanego rzazu  $A$  dla różnych gatunków drewna można przedstawić za pomocą następujących równań regresji:

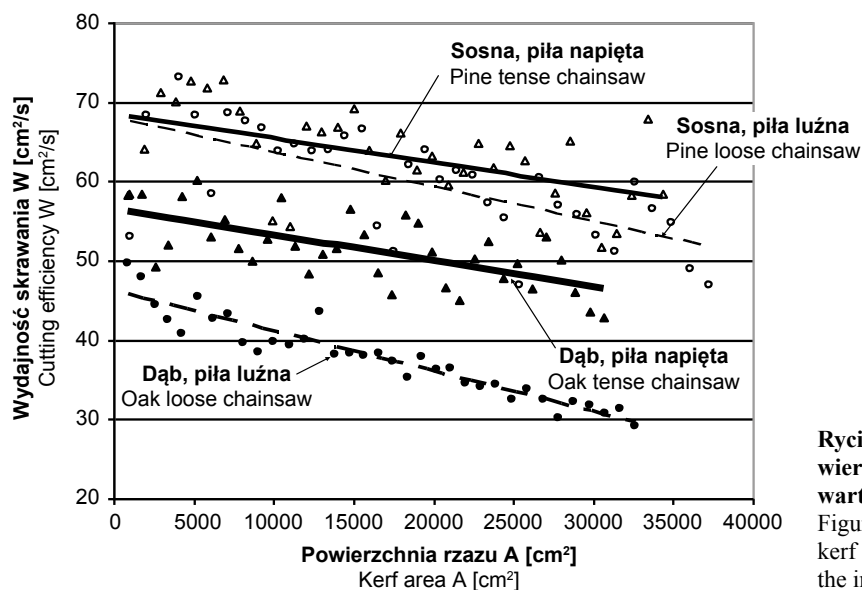
- drewno sosnowe, piła napięta:  
 $W_{Son} = -0,0003A + 68,512, \quad r = 0,5302,$
- drewno sosnowe, piła luźna:  
 $W_{Sol} = -0,0004A + 68,108, \quad r = 0,6878,$
- drewno dębowe, piła luźna:  
 $W_{Dbl} = -0,0003A + 56,514, \quad r = 0,6535,$
- drewno dębowe, piła napięta:  
 $W_{Dbn} = -0,0005A + 46,139, \quad r = 0,9477.$

Analizując rycinę 4 można zauważyć, że większą wydajność uzyskano skrawając drewno sosny. W przypadku drewna sosny różnica pomiędzy wydajnością uzyskiwaną piłą napiętą oraz piłą luźną na początku była nieistotna. W trakcie stępienia się szybciej zmniejszała się wydajność uzyskiwana piłą luźną. W przypadku drewna dębu od początku procesu skrawania istotnie mniejszą wydajność uzyskiwano, skrawając piłą luźną. W tym przypadku najsilniejsza korelacja pomiędzy uzyskiwaną wydajnością a powierzchnią wykonanego rzazu zachodzi dla drewna dębowego skrawanego piłą napiętą.

Na rycinie 5 przedstawiono średnie wartości wydajności skrawania dla poszczególnych badanych przypadków uzyskanych w całym okresie stępienia piły. Analiza statystyczna wykazała, że różnice pomiędzy wszystkimi średnimi są istotne. Średnia wartość powierzchniowej wydajności skrawania uzyskana piłą napiętą podczas skrawania sosny wyniosła 63,1  $\text{cm}^2/\text{s}$ , a w przypadku dębu – 51,4  $\text{cm}^2/\text{s}$ . Podczas skrawania piłą luźną uzyskano średnią wydajność wynoszącą

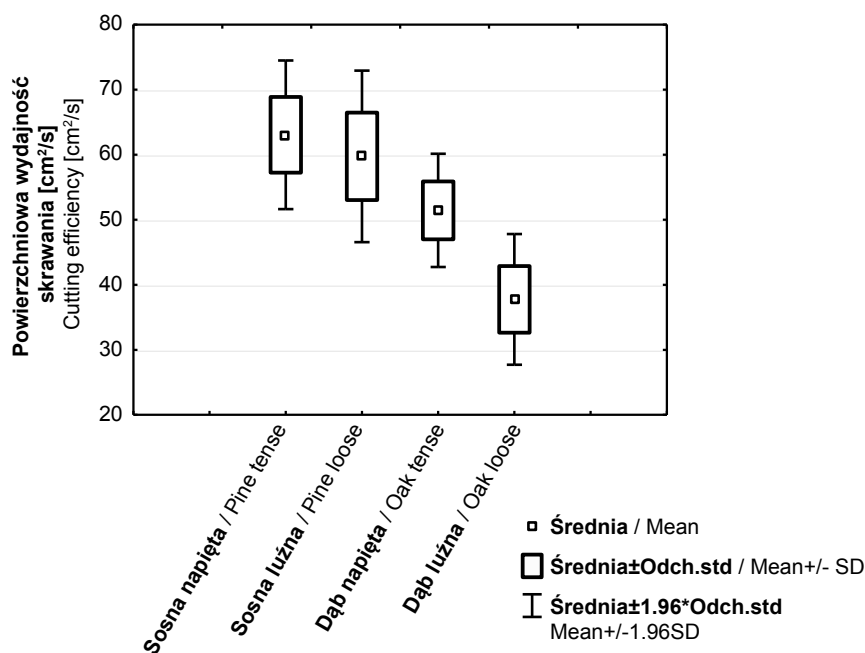


**Rycina 3. Zależność promienia zaokrąglenia krawędzi tnącej od powierzchni rzazu dla badanych gatunków drewna oraz różnych wartości napięcia wstępnej piły**  
Figure 3. The dependence of the radius of the rounding of the cutting edge on the kerf surface for the tested wood species and different values of the initial tension pre-tension of the saw



Rycina 4. Zależność wydajności skrawania od powierzchni rzazu dla różnych gatunków drewna oraz wartości napięcia wstępnej piły

Figure 4. The dependence of the cutting efficiency on the kerf surface for different types of wood and the value of the initial tension of the saw



Rycina 5. Porównanie średnich wartości powierzchniowej wydajności skrawania uzyskanej w całym okresie badań

Figure 5. Comparison of the average of cutting efficiency obtained in the whole research period

cię 59,8  $\text{cm}^2/\text{s}$  dla sosny oraz 37,8  $\text{cm}^2/\text{s}$  dla dębu. Różnica w wartości średniej wydajności skrawania pomiędzy piłą napiętą a luźną dla sosny wynosiła 3,3  $\text{cm}^2/\text{s}$ , w przypadku dębu różnica ta wynosiła aż 13,6  $\text{cm}^2/\text{s}$ .

#### 4. Dyskusja

W trakcie badań czynnikiem, który nie był mierzony, a może istotnie wpływać na efekty skrawania, była siła posuwu. Wynika to z faktu, że w trakcie opisywanych pomiarów operator pracował pilarką, która nie była umieszczona na specjalnym stanowisku badawczym, jak to miało miejsce w innych badaniach (Bieńkowski 1993; Górski 2001; Gendek 2005; Maciak 2013). W efekcie tego nie można było

osiągnąć dokładnej powtarzalności wartości siły posuwu i położenia prowadnicy względem obrabianego drewna. Pozwoliło to jednak zbliżyć warunki eksperymentu do warunków rzeczywistej pracy. Zamocowanie pilarki na stanowisku badawczym zmienia warunki pracy piły i przebieg procesu skrawania. Według literatury układ 'operator – pilarka' jest układem masowo-sprężysto-tłumiącym o wielu stopniach swobody i wielu częstotliwościach drgań własnych (Engel 2001). Częstotliwość tych drgań zawiera się w zakresie częstotliwości drgań własnych kończyn górnych człowieka. Od wartości tego parametru zależy przebieg i ciągłość procesu skrawania drewna. Układ 'człowiek – maszyna' ma złożoną strukturę dynamiczną i jest układem nieliniowym, stochastycznym i niestacjonarnym, zawierającym parametry zmie-

nijące się w czasie. Badacze są zgodni, że częstotliwość drgań własnych układu ‘operator – maszyna’ jest zależna od indywidualnych cech fizycznych operatora, pozycji pracy, zmęczenia itp. (Engel 2001; Cieślukowski 2007). Zamocowanie pilarki na stanowisku laboratoryjnym spowodowało, że uzyskane wyniki trudno byłoby odnieść do warunków rzeczywistych.

Wzrost promienia zaokrąglenia krawędzi tnącej następuje szybciej dla piły luźnej. Wraz ze wzrostem wykonanej powierzchni rzazu następuje również zwiększenie różnic w promieniu zaokrąglenia krawędzi tnącej poszczególnych ogniw piły. Na wzrost zmienności wpływa również zmniejszenie napięcia piły. Piła nienapięta tępi się szybciej niż piła napięta zgodnie z instrukcją. Ponadto w przypadku piły luźnej występują większe różnice stępienia poszczególnych ogniw niż w przypadku piły napiętej. Analiza statystyczna wykazała, że we wszystkich przypadkach powierzchnia rzazu istotnie wpływa na stępienie ostrzy.

We wszystkich przypadkach zmianę promienia zaokrąglenia w funkcji powierzchni rzazu można opisać równaniem prostej.

Według literatury (Gawlik 1988) typowy przebieg zużycia się powierzchni trących, w warunkach tarcia suchego, przedstawia krzywa Lorenz’a. Przebieg ten składa się z trzech typowych okresów: zużycia wstępnego, zużycia normalnego, zużycia końcowego. W pierwszym okresie następuje docieranie się współpracujących powierzchni. W przypadku skrawania następuje wyrównanie mikro-nierówności powierzchni ostrza. Wielkość zużycia zależy głównie od stopnia gładkościowego wykończenia powierzchni ostrza oraz w pewnym stopniu od jego geometrii. Drugi okres charakteryzuje się stałą intensywnością zużycia, zależną od warunków współpracy. Okres ten trwa tak długo, aż ulegną zmianie ustalone przy końcu pierwszego okresu warunki tej współpracy. W trzecim okresie następuje bardziej gwałtowny wzrost intensywności zużycia, prowadzący do całkowitej utraty przez ostrze możliwości skrawania. Dzieje się to na skutek osiągnięcia przez parametry zużycia określonych wielkości i zmiany dzięki temu dotychczasowych, ustalonych warunków współpracy. Na podstawie charakteru zmiany promienia krawędzi tnącej można stwierdzić, że we wszystkich badanych przypadkach piły znajdowały się w pierwszym i drugim okresie zużycia krawędzi tnącej, charakteryzującym się stałą intensywnością zużycia.

We wszystkich badanych przypadkach wydajność skrawania sosny była większa od wydajności uzyskiwanej podczas skrawania dębu. Wynika to z większych oporów skrawania drewna dębu w stosunku do drewna sosny (Orlicz 1988). Zarówno w przypadku, dębu jak i sosny większe wartości powierzchniowej wydajności skrawania uzyskiwano piłą napiętą. Jest to zgodne z ustaleniami innych badaczy, np. Górski (1996) stwierdził, że wydajność piłowania piłą nienapiętą jest 50% mniejsza od wydajności piłowania piłą napiętą prawidłowo. Maciak (2013) odnotował, że przyczyną tego jest większa możliwość wychyleń ogniw piły luźnej w płaszczyźnie rzazu.

## 5. Wnioski

1. Napięcie wstępne piły ma istotny wpływ na szybkość tępienia się ostrza oraz na uzyskiwaną powierzchniową wydajność skrawania.

2. Skrawanie drewna piłą napiętą powoduje wolniejsze tępienie się ostrzy oraz pozwala na uzyskanie większej powierzchniowej wydajności skrawania.

3. Podczas piłowania drewna dębowego następuje szybsze tępienie ostrzy niż podczas piłowania drewna sosny.

4. Przyrost promienia zaokrąglenia krawędzi tnących piły zależy od stopnia napięcia piły oraz gatunku drewna. Najmniejszy wzrost zaobserwowano w trakcie piłowania drewna sosny piłą napiętą, zaś największy podczas przerzynki drewna dębu piłą luźną.

5. Należy zalecać operatorom pilarek kontrolę napięcia piły w trakcie pracy, co pozwoli zwiększyć wydajność pracy oraz zmniejszy szybkość procesu tępienia się ostrzy piły.

## Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

## Podziękowania i źródła finansowania

Badania zostały wykonane w ramach badań własnych Katedry Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie. Pomiary wykonano w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Rogowie oraz w laboratorium Katedry Maszyn Rolniczych i Leśnych Wydziału Inżynierii Produkcji SGGW.

Autorzy dziękują Recenzentom za cenne uwagi, które zostały wykorzystane podczas przygotowywania ostatecznej wersji artykułu.

## Literatura

- Bieńkowski J. 1993. Wpływ stępienia ostrzy tnących na opory i wydajność skrawania piłą łańcuchową. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 12: 17–20.
- Botwin J. Botwin M. 1979. Maszynoznawstwo Leśne. PWRiL, Warszawa. ISBN 83-09-00164-9.
- Cieślukowski B. 2007. Procesy drganiowe w diagnostyce maszyn rolniczych. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 150 s. ISBN 83-917053-5-8.
- Engel Z. 2001. Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 490 s. ISBN 83-01-13537-9.
- Gawlik J. 1988. Prognozowanie stanu zużycia ostrzy narzędzi w procesie skrawania. *Politechnika Krakowska, Monografia* 66, Kraków, 197 s.
- Gendek A. 2005. Wpływ parametrów sprzęgła na wydajność skrawania drewna pilarką spalinową. Praca doktorska. Wydział Inżynierii Produkcji, SGGW, Warszawa.
- Gendek A. 2006. Wpływ parametrów silnika pilarki spalinowej na wydajność skrawania drewna. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza i Leśna* 6: 23–25.
- Gendek A. Oktabiński P. 2012. Engine power losses on resistance of chain saw motion over the guide. *Annals of Warsaw University*

- of Life Sciences – SGGW Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)* 60: 111–117.
- Górski J. 1996. Analiza wpływu podstawowych czynników na wydajność i energochłonność procesu skrawania drewna piłą łańcuchową żłobikową. Praca doktorska. Wydział Technologii Drewna, SGGW, Warszawa.
- Górski J. 2001. Proces cięcia drewna elektryczną pilarką łańcuchową. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 114 s. ISBN 83-7244-205-3.
- Komorowski J. 1987. Wpływ geometrii ostrza żłobikowego piły łańcuchowej na skrawanie drewna sosnowego. Praca doktorska. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Kusiak W., Moliński K., Walkowiak R. 2012. Model zużycia paliwa przy pozyskaniu drewna sosnowego. *Sylwan* 3: 218–224.
- Maciak A. 2000. Forces acting on cutter of saw chain during wood cutting. *Annals of Warsaw Agricultural University* 36: 15–20.
- Maciak A. 2001. Wpływ parametrów konstrukcyjnych ogniwn tnących piły łańcuchowej żłobikowej na wydajność skrawania drewna. Praca doktorska. Wydział Inżynierii Produkcji, SGGW, Warszawa.
- Maciak A. 2004. Influence of inclination angle of horizontal cutting edge of the chain saw link on cutting effects. *Annals of Warsaw Agricultural University* 45: 47–51.
- Maciak A. 2011. Analiza rynku łańcuchowych pilarek spalinowych w Polsce. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna* 5: 2–4.
- Maciak A. 2013. Wpływ czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na przebieg procesu i wydajność skrawania drewna pilarką spalinową. Rozprawy Naukowe i Monografie. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 122 s. ISBN 978-83-7583-421-5.
- Maciak, A. Gendek A. 2007. Effect of cutting with the chain saws with two pairs of cutting links per section. *Annals of Warsaw Agricultural University* 50: 59–63.
- Murawski P. 1995. Rynek pilarek spalinowych spalinowych Polsce – analiza podstawowych parametrów. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 12: 24–25.
- Orlicz T. 1988. Obróbka drewna narzędziami tnącymi. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 504 s. ISBN 83-00-02116-7.
- Stat Soft. Inc. 2011. Statistica 10. www.Statsoft.com.
- Stempski W., Grodecki J. 1998. Wpływ kąta zaostrenia ogniwn tnących na wydajność skrawania i trwałość pił łańcuchowych. *Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk. Prace Komisji Nauk Rolniczych i Leśnych* 86: 73–82.
- To T., Doi O., Yokoyama M. 1967. Cutting Behaviors of Saw Chain (Part 1). Kitami Institute of Technology Repository, Kitami Institute of Technology.
- Trzeciak P. 2003. Wpływ napięcia i intensywności smarowania piły na wydajność skrawania drewna pilarką. Praca magisterska. Wydział Leśny, SGGW, Warszawa.
- Więsik J. 1994. Model symulacyjny procesu skrawania drewna piłą łańcuchową. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 10: 17–19.
- Więsik J. (red). 2002. Pilarki przenośne budowa i eksploatacja. Wydawnictwo Fundacja Rozwój SGGW, 236 s. ISBN 83-7274-041-0.
- Więsik J. 2007. Obciążenie sprzęgła przenośnej pilarki spalinowej z piłą łańcuchową napędzaną silnikiem spalinowym. *Przegląd Techniki Rolniczej, Ogrodniczej i Leśnej* 2: 16–19.
- Wójcik K. 2007. Analiza parametrów technicznych i eksploatacyjnych pilarek spalinowych oferowanych na rynku europejskim. *Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna* 2: 5–8.
- Wójcik K. 2014. Effect of kerf execution correctness during felling with internal combustion chain saw on direction of tree fall. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)* 64: 89–96.

## Wkład autorów

A.M. – koncepcja i pomysł badań, przegląd literatury, opracowanie metodyki badań, wykonanie pomiarów na stanowisku do skrawania, opracowanie statystyczne, dyskusja i opracowanie wniosków, opracowanie tekstu artykułu; M.K. – przegląd literatury, wykonanie pomiarów na stanowisku do skrawania, pomiary mikroskopowe promienia zaokrąglenia ostrzy, zestawienie danych i opracowanie wyników.