

# PORÓWNANIE WYDAJNOŚCI SKRAWANIA PILARKI SPALINOWEJ I PILARKI ELEKTRYCZNEJ PODOBNEJ MOCY

Streszczenie

*W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem było porównanie wydajności skrawania uzyskiwanej pilarką spalinową z wydajnością osiąganą przez pilarkę elektryczną o porównywalnej mocy. Przesłanką do podjęcia badań było wcześniejsze stwierdzenie dokonane przez autora, że proces skrawania pilarką spalinową jest przerywany a pilarką elektryczną ciągły. W wyniku badań stwierdzono, że pilarka elektryczna osiąga większą wydajność skrawania od pilarki spalinowej.*

**Słowa kluczowe:** pilarka spalinowa, pilarka elektryczna, wydajność skrawania

## Wstęp

Istnieje kilka możliwych rodzajów napędu pił łańcuchowych: spalinowe, elektryczne, hydrauliczne lub pneumatyczne. Najczęściej do napędu pił łańcuchowych wykorzystywany jest jednocylindrowy, dwusuwowy silnik spalinowy. Napęd elektryczny wykorzystywany jest częściej w przemyśle i w piłach dla majsterkowiczów. Napęd hydrauliczny posiada piła zamontowana np. w głowicy harwesterskiej. Mimo znacznego postępu technicznego, pilarka spalinowa nie została wyparta przez wysokowydajne maszyny samojezdne takie jak ścinarki czy harwestery. Szacuje się, że obecnie udział pilarek przenośnych w pozyskaniu drewna w PGL LP wynosi ok. 90%.

Silnik spalinowy, szczególnie jednocylindrowy charakteryzuje się zmienną prędkością ruchu tłoka podczas cyklu pracy. Przyspiesza po zapłonie mieszanki w komorze spalania, by zwolnić podczas cyklu sprężania. Powoduje to niejednostajność prędkości i przyspieszenia kątownego wału korbowego [4]. Przekłada się to na duże wartości przyspieszeń piły łańcuchowej, powodujących wystąpienie dużych sił bezwładności, których wartości niejednokrotnie kilkakrotnie przewyższają wartość czynnych sił skrawania [11]. Ta cecha wyraźnie odróżnia proces skrawania drewna piłą łańcuchową napędzaną silnikiem spalinowym od procesu skrawania taką samą piłą napędzaną silnikiem elektrycznym lub hydraulicznym.

Badacze zajmujący się zagadnieniem skrawania drewna piłami łańcuchowymi przyjmowali założenie, że jeżeli wysokość rzazu jest większa od podziałki piły, to proces skrawania przebiega w sposób ciągły oraz każde ogniwo tnące skrawa ciągle wióry [1, 6, 7, 8].

Reynolds i Soedel [10] stworzyli dynamiczny model układu „operator-pilarka”, przy pomocy, którego analizowali drgania wymuszone pilarki spalinowej wynikające z niewyważenia układu korbowego silnika pilarki. Wykorzystując ten model Górski [5] prowadził badania nad przyczynami zmienności wartości chwilowej siły skrawania podczas pracy pilarką elektryczną.

Górski stwierdził, że wraz ze wzrostem wysokości rzazu pojawiają się zjawiska dynamiczne zakłócające przebieg procesu skrawania. Autor ten stwierdził, że przyczyną nieciągłości skrawania są drgania samowzbudne pilarki. Ustalił również, że przyczyną tych drgań jest niekorzystne położenie głównych osi sztywności układu masowo-sprężysto-tłumiącego, jaki tworzy operator trzymający pilarkę. Częstotliwość tych drgań zawiera się w zakresie częstotliwości

drgań własnych kończyn górnych człowieka. Coerman w stworzonym przez siebie modelu zastąpił człowieka układem mas połączonych za pomocą sprężyn i tłumików. Jest to układ o wielu stopniach swobody i ma wiele częstotliwości drgań własnych [3]. Układ człowiek-maszyna ma złożoną strukturę dynamiczną i jest układem nieliniowym, stochastycznym i niestacjonarnym zawierającym parametry zmieniające się w czasie. Badacze są zgodni [2, 3], że częstotliwość drgań własnych układu operator-maszyna zależna jest od indywidualnych cech fizycznych operatora, pozycji pracy, zmęczenia itp.

Gendek [4] wykazał zgodność częstości zmian oporów skrawania pilarką spalinową z cyklem pracy silnika. Stwierdził, że wynikające z cyklu pracy silnika siły bezwładności piły, powodują chwilową zmianę jej napięcia, a przez to ustawienia zębów tnących względem drewna i zróżnicowanie chwilowych sił skrawania. Maciak [9] w wyniku przeprowadzonych badań stwierdził, że proces skrawania pilarką spalinową w każdym przypadku jest procesem przerywanym. Nieciągłość opisał współczynnikiem czasu zagłębienia ostrzy, który jest stosunkiem sumy rzeczywistych czasów zagłębienia ostrzy w dnie rzazu do całkowitego czasu wykonania określonej powierzchni rzazu. Autor stwierdził, że zależnie od zadanej siły posuwu i prędkości obrotowej silnika udział rzeczywistego czasu skrawania piły napędzanej silnikiem spalinowym wynosi od 12 do 93% całkowitego czasu wykonywania rzazu. W pozostałym czasie ogniwa nie dokonują skrawania. W swoich badaniach autor nie stwierdził występowania przerw w procesie skrawania piłą napędzaną silnikiem elektrycznym. Ogniwa piły łańcuchowej napędzanej silnikiem elektrycznym w ciągu całego czasu wykonywania rzazu dokonują skrawania drewna. Można więc założyć, że wydajność uzyskiwana przez pilarkę spalinową będzie mniejsza niż wydajność pilarki elektrycznej o podobnej mocy. Celem opisanych badań było porównanie wydajności uzyskiwanej pilarką spalinową z wydajnością uzyskiwaną przez pilarkę elektryczną podobnej mocy, w warunkach odpowiadających rzeczywistej przerzynce drewna.

## Metodyka

Badania zostały przeprowadzone na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Rogowie. Próbkę drewna, w formie wyrzynka, umieszczano w specjalnym uchwycie.

W badaniach została wykorzystana pilarka elektryczna firmy STIHL, model E 180C o mocy znamionowej 1,8 kW i napięciu zasilania 230 V oraz pilarka spalinowa Husqvarna 40, moc jej silnika wynosiła 1,9 kW.

W przypadku obu pilarek zastosowane narzędzie tnące, piła

łańcuchowa, posiadała takie same parametry. Dla obu pilarek wykorzystano tę samą prowadnicę.

Narzędziem tnącym w przeprowadzonych badaniach była piła Picco Micro marki STIHL, o podziałce 3/8" i grubości ogniwa prowadzącego 1,3 mm. W obu przypadkach wykorzystano prowadnicę Rollomatic firmy STIHL o długości 35 cm, wyposażoną w końcówkę gwiazdkową. Piła wyposażona była w ogniwa tnące typu dłuto, o kącie nachylenia krawędzi tnącej wynoszącym 65°, zniżenie ogranicznika posuwu wynosiło 0,65 mm. Pomiary przeprowadzane były zawsze dla piły ostrej - promień zaokrąglenia krawędzi tnącej zawierał się w przedziale od 8 do 10 μm. Poziom stępienia krawędzi tnącej był kontrolowany podczas badań, co kilka pomiarów dokonywano odcisnięcia ostrza w płycie ołowianej. Następnie ołowianą płytkę umieszczano na stoliku mikroskopu i dokonywano pomiaru przy użyciu programu komputerowego.

Wszystkie przeprowadzone badania zostały wykonane dla piły napiętej. Przed każdą serią pomiarów ustawiano właściwe wstępne napięcie piły. Właściwe napięcie piły uzyskiwano poprzez umocowanie na pile, w połowie długości prowadnicy, obciążnika o ciężarze 20 N i wyregulowaniu napięcia piły poprzez napinacz. Po uzyskaniu właściwego napięcia (strzałka ugięcia  $f = 5$  mm) pilarkę uruchamiano i utrzymywano, przez pewien czas, pracę silnika na wysokich obrotach. Po rozgrzaniu łańcucha ponownie sprawdzano napięcie łańcucha.

W badaniach wykorzystano drewno sosnowe w formie wyrzynków, o średnicy od 19,5 do 23 cm. Średnica przerynanego wyrzynka była mierzona w miejscu przyłożenia piły, dla każdej próby. Wilgotność badanego drewna wynosiła 43,12% - została określona przy użyciu wago-suszarki WPS 210S, pozwalającej na określenie wilgotności próbki z dokładnością do 0,1%.

Pomiary wykonywano w seriach po dwadzieścia pięć rzadów, wykonano cztery serie pomiarowe, po dwie średnice wyrzynków dla każdego rodzaju pilarki.

W przypadku wystąpienia wartości odstających, próbę odrzucano i powtarzano. Dwie pierwsze próby przeprowadzono dla pilarki spalinowej skrawając wyrzynki o średnicy 19,5 i 23 cm, natomiast dla pilarki elektrycznej pomiary przeprowadzono na wyrzynkach o średnicy 20 i 23 cm. Sęki oraz inne wady drewna, mogące wpłynąć na wyniki pomiarów, omijano. Skrawanie odbywało się zawsze piłą przemieszczającą się równoległe do podłoża. Ruch posuwowy pilarki był pionowy - nie stosowano ruchów wahadłowych. Wszystkie cięcia wykonywał ten sam operator, starając się zachować podobny nacisk na piłę.

Pomiar czasu skrawania odbywał się przy użyciu ręcznego stopera, czas skrawania liczony był od momentu zetknięcia się piły z próbką drewna. Pomiar czasu kończono w momencie przecięcia pełnego przekroju próbki. Dokładność pomiaru czasu skrawania wynosiła 0,01 sekundy.

Na podstawie zgromadzonych danych obliczano powierzchniową wydajność skrawania ze wzoru:

$$W = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot t} \quad [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}],$$

gdzie:

$W$  - powierzchniowa wydajność skrawania [ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$d$  - średnica w miejscu cięcia [cm],

$t$  - czas przeryzki [s].

Uzyskane wyniki zostały zestawione i poddane analizie statystycznej w programie STATISTICA 10. Zgromadzone dane poddano analizie testem t-studenta w celu sprawdzenia istotności różnic między zbiorami danych.

## Wyniki

Przeprowadzone badania, pozwoliły na porównanie osiąganych wydajności skrawania dla pilarek elektrycznej i spalinowej w warunkach rzeczywistych.

Podczas przeprowadzonych pomiarów czasu skrawania pilarką elektryczną wynosiły od 4,99 do 5,41 sekundy dla wyrzynka o średnicy 20 cm, oraz od 7,21 do 7,91 sekundy dla wyrzynka o średnicy 23 cm. Średnie czasy skrawania wyniosły dla pilarki elektrycznej 5,31 sekundy dla średnicy wyrzynka 20 cm, oraz 7,48 sekundy dla średnicy 23 cm.

W przypadku pilarki spalinowej, dla wyrzynka o średnicy 19,5 cm uzyskano czasy skrawania w przedziale od 5,38 do 6,58 sekundy, a dla wyrzynka o średnicy 23 cm uzyskano czasy skrawania od 8,27 do 10,44 sekundy. Średnio przeryzka próbki drewna o średnicy 19,5 cm - dla pilarki spalinowej trwała 6,1 sekundy, natomiast wyrzynka o średnicy 23 cm - 9,46 sekundy.

Po analizie statystycznej istotności różnic między zbiorami utworzono cztery różniące się istotnie zbiory danych: 1 - dla pilarki spalinowej i wyrzynka o średnicy 19,5 cm; 2 - dla pilarki spalinowej i wyrzynka o średnicy 23 cm; 3 - dla pilarki elektrycznej i próbki drewna o średnicy 20 cm; 4 - dla pilarki elektrycznej i wyrzynka o średnicy 23 cm.

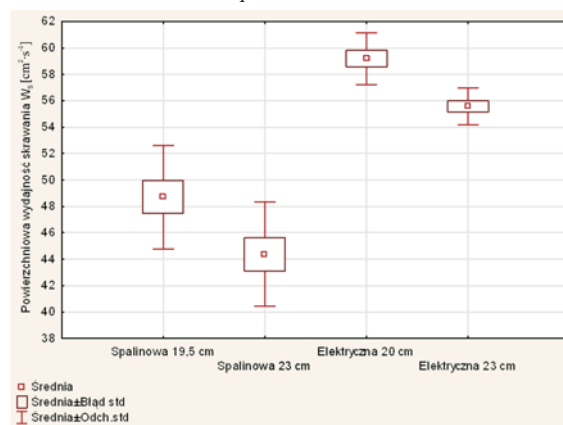
Wartości średnie, błąd i odchylenie standardowe dla tych zbiorów przedstawiono na rys. 1 oraz w tab.

Tabela. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla poszczególnych badanych przypadków

Table. Mean values and standard deviations for each of the examined cases

Zbiór danych	Wartość średnia powierzchniowej wydajności skrawania [ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	Odchylenie standardowe [ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
Spalinowa $\varnothing$ 19,5 cm	48,72	3,93
Spalinowa $\varnothing$ 23 cm	44,37	3,95
Elektryczna $\varnothing$ 20 cm	59,2	1,96
Elektryczna $\varnothing$ 23 cm	55,57	1,37
Spalinowa wszystkie	46,42	2,67
Elektryczna wszystkie	57,14	4,31

Źródło: opracowanie własne / Source: own work



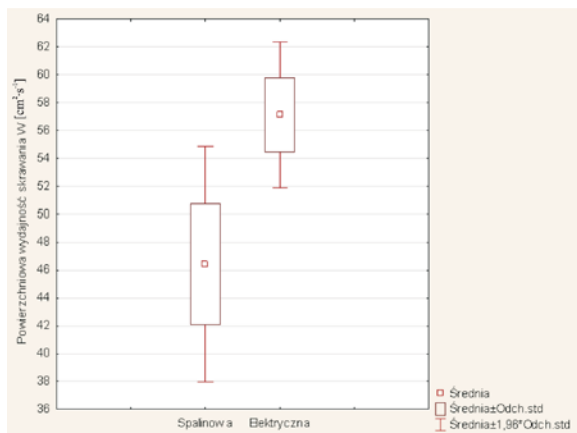
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Średnia powierzchniowa wydajności skrawania uzyskana dla poszczególnych serii pomiarowych

Fig. 1. Average cutting efficiency obtained for each series of measurement

Pilarka elektryczna uzyskała następujące wartości powierzchniowej wydajności skrawania: dla średnicy 20 cm, w przedziale 53,15 - 62,95  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (średnio 59,2  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ), natomiast dla średnicy 23 cm uzyskano wydajność w przedziale od 52,52 do 57,62  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (średnio 55,57  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Pilarka spalinowa uzyskała następujące wydajności skrawania próbki drewna o średnicy 19,5 cm: w przedziale od 43,08 do 55,5  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (średnio 48,72  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ); podczas przerzynki wyrzynka o średnicy 23 cm - od 39,79 do 52,19  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  - średnio 44,37  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . W przypadku obu porównywanych pilarek wzrost średnicy wyrzynka powodował spadek uzyskiwanej wydajności skrawania. Wyniki uzyskane dla pilarki spalinowej charakteryzowały się większym rozrzutem niż wyniki wydajności pilarki elektrycznej. W przypadku pilarki spalinowej wartość odchylenia standardowego powierzchniowej wydajności skrawania wynosiła 3,93 oraz 3,95  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , natomiast elektrycznej 1,96 oraz 1,37  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Na rys. 2 porównano średnie wartości powierzchniowej wydajności skrawania uzyskane dla obu wysokości i rzazu badanymi pilarkami. Średnia powierzchniowa wydajność skrawania uzyskana pilarką elektryczną wynosiła 57,14  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , natomiast średnia wydajność uzyskana w trakcie pomiarów pilarką spalinową wynosiła 46,42%. Wydajność uzyskana pilarką elektryczną była więc o 10,72  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  większa od wydajności uzyskanej pilarką spalinową, co stanowi 23%.

Uzyskane wyniki pozwoliły jednoznacznie stwierdzić, że wydajność skrawania pilarką elektryczną, w warunkach rzeczywistych, jest większa niż pilarką spalinową. Pilarka elektryczna uzyskała większą wydajność dla obu rzazów. Potwierdza to hipotezę, że przerwy w procesie skrawania występujące podczas piłowania pilarką spalinową negatywnie wpływają na uzyskiwaną wydajność skrawania. W przypadku obu pilarek wydajności spadły po zwiększeniu wysokości rzazu. Wynika to zapewne ze stosunkowo małej mocy pilarek



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Porównanie średnich wartości powierzchniowej wydajności skrawania badanych pilarek

Fig. 2. Comparison of mean values of cutting efficiency of the tested saws

wykorzystanych w badaniach. Można przypuszczać, że zwiększenie średnicy wyrzynka skutkuje spadkiem prędkości obrotowej silnika istotnie wpływającym na uzyskiwaną wydajność.

## Wnioski

Przeprowadzone badania i ich analiza pozwoliły na wysunięcie następujących wniosków:

1. Wykorzystanie do napędu piły łańcuchowej silnika elektrycznego umożliwia uzyskanie większych powierzchniowych wydajności skrawania niż uzyskiwane piłą napędzaną silnikiem spalinowym. W przypadku pilarki spalinowej stwierdzono większy rozrzut uzyskanych wartości powierzchniowej wydajności skrawania.
2. Wartość średnia powierzchniowej wydajności skrawania uzyskana pilarką elektryczną wynosiła 57,14  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , natomiast średnia wydajność uzyskana w trakcie pomiarów pilarką spalinową była mniejsza i wynosiła 46,42  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .
3. Wraz ze zwiększaniem średnicy wyrzynka dla obu badanych pilarek spadała wartość uzyskiwanej wydajności skrawania.

## Bibliografia

- [1] Bieńkowski J.: Wpływ stępienia ostrzy tnących na opory skrawania i wydajność skrawania piłą łańcuchową. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1993, 1.
- [2] Cieślowski B.: Procesy drganiowe w diagnostyce maszyn rolniczych. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 2007.
- [3] Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001.
- [4] Gendek A.: Wpływ parametrów sprzęgła na wydajność skrawania drewna pilarką spalinową. Praca doktorska, SGGW, Warszawa, 2005.
- [5] Górski J.: Proces cięcia drewna elektryczną pilarką łańcuchową. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2001.
- [6] Komorowski J.: Wpływ geometrii ostrza żłobikowej piły łańcuchowej na skrawanie drewna sosnowego. Praca doktorska, IBL, 1987.
- [7] Łukomski Ł.: Badania mechaniki procesu piłowania drewna piłami łańcuchowymi różnych typów. Praca doktorska, SGGW, Warszawa, 1977.
- [8] Maciak A.: Wpływ parametrów konstrukcyjnych ogniw tnących piły łańcuchowej żłobikowej na wydajność skrawania drewna. Praca doktorska, SGGW, Warszawa, 2001.
- [9] Maciak A.: Wpływ czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na przebieg procesu i wydajność skrawania drewna pilarką spalinową. Rozprawy Naukowe i Monografie. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2013.
- [10] Reynolds D.D., Soedel W.: Analytical vibration analysis of non-isolated Chain saws. Journal of Sound and Vibration, 1976, 44.
- [11] Więsik J.: Obciążenie sprzęgła przenośnej pilarki spalinowej z piłą łańcuchową napędzaną silnikiem spalinowym. Przegląd Techniki Rolniczej, Ogrodniczej i Leśnej, 2007, 2.

## COMPARISON OF THE CUTTING EFFICIENCY OF PETROL CHAINSAW AND OF ELECTRIC CHAINSAW WITH COMPARABLE POWER

### Summary

The article presents results of comparative study of the cutting efficiency of petrol chainsaw and the cutting efficiency of electric chainsaw with comparable power. The premise of the study was the earlier statement made by the author that the process of cutting with petrol chainsaw is intermittent and the process of cutting with electric chainsaw is continuous. The research revealed that electric saw achieves greater cutting efficiency than petrol chainsaw.

**Key words:** petrol chainsaw, electric chainsaw, cutting efficiency