

Ignacy Niedziółka, Mariusz Szymanek *

ANALIZA OPORÓW CIĘCIA ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań oporów cięcia ziarna kukurydzy cukrowej podczas procesu jego oddzielania od rdzeni kolb. Pomiary wielkości sił cięcia zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym. Analizowano wpływ prędkości głowicy obrotowej oraz prędkości przesuwu noża na badane parametry oporów cięcia ziarna. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najniższe opory cięcia występowały przy prędkości głowicy wynoszącej $194,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz przesuwu noża tnącego – $0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Średnia wartość sił cięcia ziarna w tym przypadku wynosiła ok. $1,13 \text{ N}$. Natomiast znacznie wyższe opory cięcia odnotowano przy prędkości głowicy wynoszącej $130,9 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz przesuwu noża tnącego – $0,015 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Średnia wartość sił cięcia ziarna w tym przypadku wzrosła o ponad 60% i wynosiła ok. $1,85 \text{ N}$.

Słowa kluczowe: kukurydza cukrowa, kolby, ziarno, opory cięcia

WSTĘP

Kukurydza cukrowa odznacza się wielkim bogactwem różnych form użytkowych, wynikających z dużej wartości odżywczej, wysokich walorów smakowych oraz możliwości szerokiego wykorzystania spożywczego. Może być przeznaczana zarówno do bezpośredniej konsumpcji, jak i dla przemysłu przetwórczego [1, 5, 9, 11]. Kolby kukurydzy cukrowej zbierane dla przetwórstwa poddawane są obróbce mechanicznej, polegającej na odcinaniu ziarniaków od rdzeni. Ich złożona budowa oraz niska zawartość suchej masy powodują, że w czasie zbioru są bardzo wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne. Ponadto kolby kukurydzy różnią się między sobą kształtem, wielkością i twardością ziaren, szczególnie w skrajnych częściach. Dlatego też proces ich obróbki mechanicznej stanowi poważny problem dla stosowanych technologii przetwórstwa [4, 8, 10].

Oddzielanie ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej odbywa się przy użyciu specjalnych maszyn, tzw. obcinarek. W celu otrzymania surowca wysokiej jakości maszyny te powinny być tak wyregulowane, aby wszystkie ziarna były odcinane jak najbliżej rdzenia kolby. Do wymagań dotyczących jakości oddzielanego ziarna należy zali-

* Dr hab. inż. Ignacy Niedziółka, prof. AR, mgr inż. Mariusz Szymanek Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego Akademii Rolniczej w Lublinie

czyć m.in.: gładką powierzchnię i równą długość odciętych ziaren, brak uszkodzeń mechanicznych oraz niskie straty masy i składników pokarmowych. Wymagania te zależą od cech morfologicznych kolb, wielkości i wytrzymałości mechanicznej ziarniaków, a także od parametrów procesu cięcia, tj. geometrii noży, prędkości obrotowej głowicy z nożami oraz prędkości podawania kolb [2, 7]. Ważnym problemem jest także energochłonność procesu odcinania ziarna kukurydzy od rdzeni kolb, wynikająca z oporów jego cięcia. Zależą one zarówno od wilgotności ziarna, jak też od prędkości obrotowej głowicy nożowej oraz prędkości jej zasilania [3, 6].

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem badań było określenie oporów procesu odcinania ziarniaków od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej. W związku z tym przeprowadzono pomiary wielkości sił w zależności od prędkości obrotowej głowicy oraz prędkości przesuwu noża podczas oddzielania ziarna od kolb. Przed rozpoczęciem pomiarów oznaczano cechy morfologiczne kolb odmiany Golda, obejmujące ich masę, długość i średnicę oraz liczbę rzędów z ziarniakami i ziaren w rzędzie. Określano także wilgotność ziarna kukurydzy przy użyciu metody suszarkowo-wagowej zgodnie z PN-90/A-75101.03. Charakterystykę badanych kolb przedstawiono w tabeli 1.

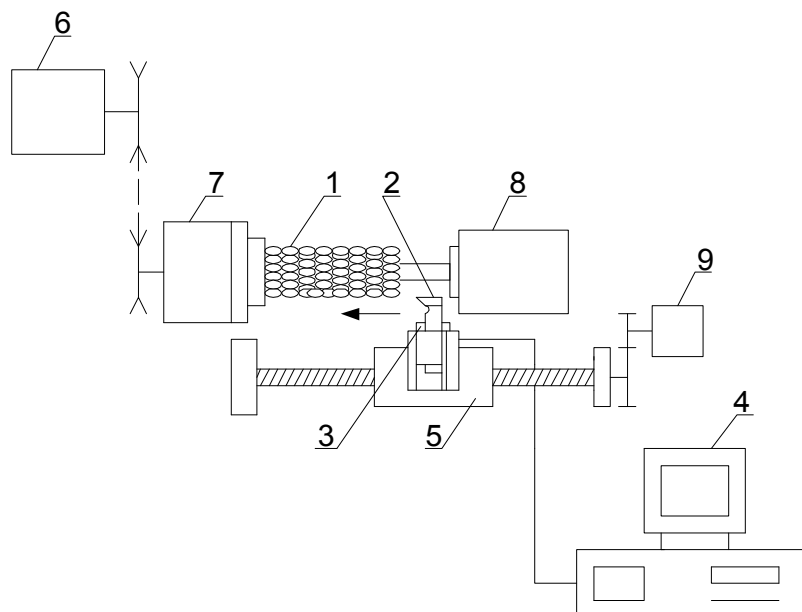
Tabela 1. Charakterystyka badanych cech kukurydzy cukrowej odmiany Golda

Table 1. The characteristics of the tested features of the sweet corn variety Golda

Badana cecha	Jedn. miary	Numer próby			Średnia
		1	2	3	
Masa kolby z liśćmi	g	407,6	410,4	390,6	402,9
Masa kolby bez liści	g	336,0	340,8	324,6	333,8
Udział liści w kolbie	%	17,6	16,9	16,8	17,1
Długość kolby	cm	20,4	21,2	20,6	20,7
Średnica kolby	cm	5,08	5,06	5,02	5,05
Liczba rzędów ziaren	szt.	16-20	16-18	14-18	16,6
Liczba ziaren w rzędzie	szt.	35-41	33-42	35-40	37,7
Wilgotność ziarna	%	72,1	71,6	72,9	72,2

Pomiary wielkości sił procesu oddzielania ziarna od rdzeni kolb kukurydzy przeprowadzono na stanowisku badawczym (rys. 1). W jego skład wchodziło urządzenie do odcinania ziaren kukurydzy, czujnik siły oraz komputer ze specjalnym oprogramowaniem. W czasie badań odkoszulkowaną kolbę mocowano w głowicy obrotowej i dodatkowej podporze. Głowica napędzana była silnikiem elektrycznym o mocy 1,1 kW. Zakres jej prędkości obrotowej zmieniał się w granicach $131 \div 195 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast nóż tnący umieszczono w uchwycie mocującym, napędzanym silnikiem elektrycznym o mocy 0,65 kW. Jego prędkość przesuwu zmieniano w przedziale $0,005 \div 0,015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Podczas cięcia ziarna koniec noża oddziaływał na czujnik sił, których wartości rejestrowane były w pamięci komputera. Dla każdej kombinacji prędkości obrotowej głowicy i przesuwu noża wykonywano pomiary w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ oraz opracowano graficznie.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – kolba kukurydzy, 2 – nóż tnący, 3 – czujnik siły, 4 – komputer z oprogramowaniem, 5 – uchwyt noża, 6 – silnik elektryczny, 7 – głowica obrotowa, 8 – podpora, 9 – silnik elektryczny

Fig. 1. Diagram of the test stand: 1 – corn cob, 2 – cutting knife, 3 – sensor of power, 4 – computer with the software, 5 – handle's knife, 6 – electric motor, 7 – rotational head, 8 – support, 9 – electric motor

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki pomiarów wielkości sił podczas odcinania ziarna od rdzeni kolb kukurydzy poddano 2-czynnikowej analizie wariancji i przedstawiono w tabeli 2. Ich wartości zależały zarówno od prędkości obrotowej głowicy, jak też od prędkości przesuwu noża tnącego i mieściły się w granicach $1,13 \div 1,85$ N. Średnia wielkość oporów cięcia zawierała się w granicach $1,67 \div 1,85$ N dla prędkości głowicy wynoszącej $130,9 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $1,13 \div 1,58$ N dla prędkości głowicy $194,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. W przypadku niższych prędkości głowicy uzyskana różnica wartości sił wynosiła $0,18$ N, natomiast dla wyższych prędkości głowicy różnica ta była 2,5-krotnie większa i wynosiła około $0,45$ N. Spowodowane to było występowaniem mniejszych oporów cięcia ziarna przy wysokiej prędkości obrotowej głowicy i małej prędkości przesuwu noża. Natomiast przy większych prędkościach

przesuwu noża tnącego odnotowano znaczny wzrost oporów cięcia. Wynikały one z głębszego odcinania twardszej okrywy owocowej ziarniaków kukurydzy.

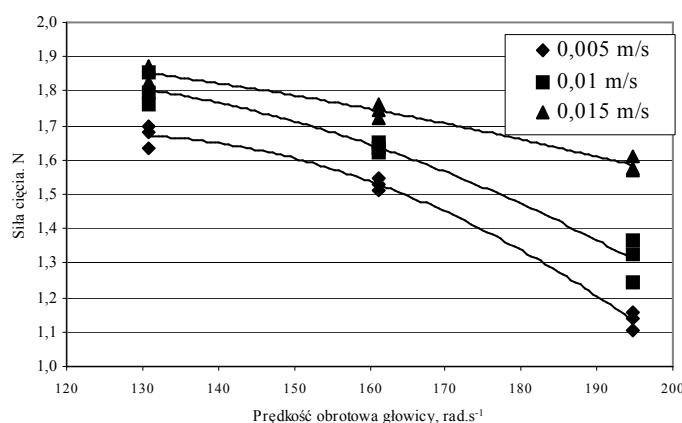
Tabela 2. Wyniki analizy wariancji badanych parametrów procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej

Table 2. The results of variance analysis of the tested parameters of the cutting process of sweet corn grain

Wyszczególnienie			Prędkość przesuwu noża, m s^{-1}		
			0,005	0,010	0,015
Prędkość obrotowa głowicy, rad s^{-1}	130,9	Xśr	1,670	1,804	1,852
		S	0,277	0,038	0,020
		W	0,00035	0,00062	0,00017
	161,3	Xśr	1,528	1,635	1,743
		S	0,013	0,010	0,011
		W	0,00009	0,00005	0,00013
	194,7	Xśr	1,133	1,311	1,584
		S	0,021	0,049	0,013
		W	0,00030	0,00140	0,00017

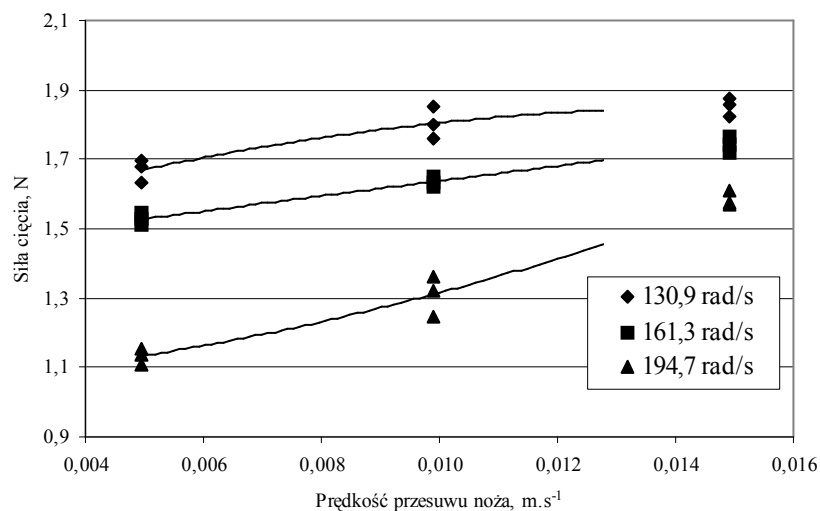
Xśr - średnia wartość sił cięcia, S - odchylenie standardowe, W - współczynnik zmienności

Wielkości sił cięcia ziarna kukurydzy cukrowej w funkcji prędkości obrotowej głowicy oraz prędkości przesuwu noża przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Ilustrują one duże zróżnicowanie wielkości oporów występujących podczas cięcia ziarna kukurydzy. Wielkość sił cięcia ziarna malała ze wzrostem prędkości obrotowej głowicy, natomiast rosła w przypadku zwiększania prędkości przesuwu noża tnącego. Na tej podstawie stwierdzono, że najbardziej korzystne parametry pracy urządzenia do odcinania ziarna kukurydzy cukrowej uzyskano przy prędkości głowicy ok. 195 rad s^{-1} i przesuwu noża do $0,014 \text{ m s}^{-1}$.



Rys. 2. Zależność siły cięcia ziarna kukurydzy cukrowej od prędkości obrotowej głowicy

Fig. 2. The dependence of the sweet corn grain cutting force on the rotational head's velocity



Rys. 3. Zależność siły cięcia ziarna kukurydzy cukrowej od prędkości przesuwu noża

Fig. 3. The dependence of the sweet corn grain cutting force on the moving knife's velocity

Uzyskane wyniki pomiarów sił występujących podczas cięcia ziarna kukurydzy cukrowej poddano analizie regresji krzywoliniowej z dwoma zmiennymi niezależnymi. Dzięki tej metodzie otrzymano równania regresji oraz współczynniki determinacji. Ich wartości przedstawiono w tabeli 3. W przypadku prędkości obrotowej głowicy występowała korelacja ujemna, natomiast dla prędkości przesuwu noża stwierdzono korelację dodatnią.

Tabela 3. Równania regresji krzywoliniowej dla badanych parametrów procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej

Table 3. The equations of curvilinear regression for the tested parameters of the cutting process of sweet corn grain

Badany parametr	Wartość pomiaru	Postać równania regresji	Współczynnik R^2
Prędkość obrotowa głowicy, rad s^{-1}	130,9	$Y = -7 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0136x + 1,1459$	0,969
	161,3	$Y = -2 \cdot 10^{-5}x^2 + 0,0018x + 1,9352$	0,971
	194,7	$Y = -10^{-4}x^2 + 0,0281x - 0,0879$	0,991
Prędkość przesuwu noża, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0,005	$Y = 1751,4x^2 + 53,153x + 1,449$	0,870
	0,010	$Y = 22,718x^2 + 22,097x + 1,4188$	0,975
	0,015	$Y = 1871,5x^2 + 8,1871x + 1,0465$	0,969

Reasumując najniższe wartości oporów cięcia ziarna kukurydzy występowały podczas stosowania prędkości obrotowej głowicy w przedziale $160\div 195\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz prędkości przesuwu noża od $0,005$ do $0,010\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zawierały się one w granicach $1,13\div 1,64\text{ N}$. W czasie tych pomiarów stwierdzono także niższą przepustowość badanego urządzenia, przy wysokiej jakości odcinanego ziarna kukurydzy. Natomiast wyższe wartości sił cięcia odnotowano podczas stosowania prędkości głowicy z kolbą od 130 do $165\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz prędkości przesuwu noża od $0,010$ do $0,015\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mieściły się one w przedziale $1,64\div 1,85\text{ N}$. W czasie tych pomiarów stwierdzono wzrost przepustowości badanego urządzenia oraz pogorszenie jakości odcinanego ziarna. Związane to było z większym skokiem noża i rozrywaniem okrywy owocowej ziarna.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych dotyczących procesu odcinania ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej sformułowano następujące wnioski:

1. Średnia wartość sił cięcia ziarna kukurydzy cukrowej w większym stopniu zależała od prędkości przesuwu noża, a w mniejszym od prędkości obrotowej głowicy z kolbą kukurydzy. Najniższe wartości sił odnotowano przy prędkości przesuwu noża wynoszącej $0,005\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, natomiast znacznie wyższe przy prędkości przesuwu noża $0,015\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dla tej samej prędkości obrotowej głowicy wynoszącej $194,7\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.
2. Na przepustowość urządzenia odcinającego ziarno od kolb kukurydzy również większy wpływ wywierała prędkość przesuwu noża, a mniejszy prędkość obrotowa głowicy z kolbą. Jednak ze wzrostem przepustowości występowało pogorszenie jakości odcinanego ziarna od rdzeni, szczególnie podczas stosowania wyższej prędkości przesuwu noża, wynoszącej $0,015\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i niższej prędkości obrotowej głowicy, tj. $130,9\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.
3. W celu otrzymania ziarna wysokiej jakości urządzenia podające i tnące powinny być tak wyregulowane, aby wszystkie ziarna były odcinane jak najbliżej rdzenia kolby, ale bez cięcia łusek, których obecność pogarsza jakość produktu. Należy także zwracać uwagę, aby noże były dobrze naostrzone i nie powodowały rozrywania ziaren podczas ich cięcia. Również kolby kukurydzy ze względu na różną wielkość i zmienny kształt powinny być podawane cienkim końcem w kierunku noży, gdyż wtedy prawidłowo i równo odcinane są ziarna.

PIŚMIENNICTWO

1. **Felczyński K.** 1994: Plant and soil covers in direct-seeded and transplanted sweet corn. Acta Horticult., 371, 317-321.
2. **Figiel A., Frontczak J.**, 2001: Opory cięcia ziarna kukurydzy. Inż. Rol., 2(22), 49-55.
3. **Gieroba J., Dreszer K., Niedziółka I.**, 1994: Proces mechanicznego oddzielania ziarna od kolb kukurydzy. Post. Nauk Rol., 1, 89-101.
4. **Marr Ch., W., Tisserat N.**: Sweet corn. Hort. and Lands., 11, 1-8.

5. **Niedziółka I., Szymanek M.**, 2003: Przemysłowe i energetyczne wykorzystanie ziarna kukurydzy. *Motor. i Energ. Rol.*, t. V, 119-125.
6. **Niedziółka I., Szymanek M., Rybczyński R.**, 2002: Energochłonność procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej. *Inż. Rol.*, 6(39), 347-352.
7. **Niedziółka I., Szymanek M., Rybczyński R.**, 2003: Metodyczne aspekty procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej. *Acta Agrophysica*, cz. II, 83, 131-139.
8. **Robertson G.H., Lazar M.E., Pao F., Hudson J.**, 1979: Resistance to abscission of sweet corn kernels. *J. Food Sci.*, 44(4), 982-987.
9. **Waligóra H., Dubas A., Swulińska-Katulska A.**, 1998: Kukurydza cukrowa. Wyd. Multum, Poznań.
10. **Waligóra H.**, 2001: Produkcja i wykorzystanie kukurydzy cukrowej. *Wiś Jutra*, 6(35), 9-11.
11. **Watson S.A., Ramstad P.E.**, 1994: Corn - chemistry and technology. Am. Assoc. of Cereal Chem., Inc. St. Paul, Minnesota.

AN ANALYSIS OF THE CUTTING RESISTANCE OF SWEET CORN GRAIN

Summary. The work presents results of tests on the cutting resistance values of sweet corn grain during the process of its separation from cobs. Measurements of the cutting forces values were taken on a testing stand. An influence of the rotational head's velocity and the moving knife's velocity on the tested parameters of the grain cutting resistance was analyzed. The obtained results showed that the lowest cutting resistance values occurred at the head's velocity of 194.7 rad s^{-1} and the moving knife's velocity of 0.005 m s^{-1} . In this case the mean grain cutting forces value was about 1.13 N. Significantly higher cutting resistance values were recorded at the head's velocity of $130,9 \text{ rad s}^{-1}$ and the moving knife's velocity of 0.015 m s^{-1} . In this case the mean grain cutting forces value grew more than 60% and was about 1.85 N.

Keywords: sweet corn, cobs, grain, cutting resistance