

WPLYW CZYNNIKÓW TECHNICZNYCH NA ROZDRABNIANIE ZIARNA KUKURYDZY ZBIERANEJ NA KISZONKĘ

*Aleksander Lisowski¹, Jacek Klonowski¹, Michał Sypuła¹
Dariusz Jaszczak²*

¹ Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych,

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² SIPMA SA, Lublin

Wstęp

Uzyskanie wysokiej jakości paszy w postaci kiszonki zależy od prawidłowego przebiegu fermentacji. Za jeden z podstawowych czynników decydujący o jakości zakonserwowanej paszy uważa się dokładność pocięcia łądyg kukurydzy przed jej kiszeniem [STIEGER 1980; MICHALSKI 1997]. W przypadku krótszej sieczki większa powierzchnia roślin jest wystawiona na działanie bakterii i zachodzi lepsza fermentacja. Podczas zbioru kukurydzy konieczne jest także rozdrobnienie lub uszkodzenie prawie wszystkich ziaren, gdyż tylko w ten sposób można osiągnąć optymalne ich trawienie przez przeżuwacze [SCHUKKING 1979; MICHALSKI 1980; DUBAS 1981; ROSZKOWSKI 1987; UPPENKAMP 1989; SĘK, PRZYBYŁ 1997]. Rozdrobnienie ziaren kukurydzy zależy od zawartości suchej masy i struktury roślin oraz od czynników technicznych zespołu rozdrabniającego i podająco-zgniatającego. W celu zintensyfikowania rozdrabniania ziaren w bębnowych zespołach rozdrabniających, oprócz zmiany parametrów technicznych tych zespołów, stosuje się dodatkowo bębny rozcierające. W toporowych zespołach rozdrabniających jednym z najczęściej stosowanych sposobów zmiany długości cięcia roślin i jednocześnie rozdrobnienia ziaren kukurydzy jest zmiana prędkości zasilania materiału przez zespół walców podająco-zgniatających oraz zmiana liczby noży w zespole toporowym i prędkości obrotowej tarczy nożowej. W dnie obudowy zespołu rozdrabniającego są stosowane także wymienne płytki, o powierzchni w kształcie różnych karbów, których zadaniem jest rozcieranie ziaren. W dostępnej literaturze rezultaty badań z tego zakresu są podawane fragmentarycznie, a ponadto prezentowane wyniki często znacznie różnią się między sobą [MECHANIZACJA PRODUKCJI KUKURYDZY 1981; SĘK i in. 1996]. Celem badań było wyjaśnienie wpływu parametrów technicznych zespołów roboczych sieczkarni z toporowym zespołem rozdrabniającym na przebieg i efekt rozdrabniania ziaren kukurydzy.

Materiał i metody

Zaplanowano badania stacjonarne w celu wyeliminowania wpływu czynników ubocznych, jakie występują podczas badań polowych. Badania rozdrabniania ziarna kukurydzy zbieranej na kiszonkę przeprowadzono na stanowisku składającym się z siewkarni przyczepianej, wyposażonej w toporowy zespół rozdrabniającego, napędzanej wałem odbioru mocy ciągnika Ursus 1234 o mocy silnika 85 kW. Do podawania próbek materiału o masie 10, 15 i 20 kg zastosowano przenośnik taśmowy, którego prędkość wynosiła $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Całe rośliny kukurydzy (liście, łodygi, kolby, ich okrywy i ziarna) o wilgotności 67, 57 i 44% były układane na odcinku 4 m przenośnika. Rośliny zbierano w początku dojrzałości pełnej i w zależności od potrzeb poduszano je w warunkach naturalnych. W podstawowej konfiguracji parametrów stosowano 5 i 10 noży, prędkość obrotową wału odbioru mocy (WOM) ciągnika 540 i 1000 obr. na minutę oraz różne przełożenie między wałem napędowym WOM a wałem napędzanym tarczy nożowej, co w efekcie dawało 5 różnych prędkości obrotowych tej tarczy. W dniu zespołu rozdrabniającego wymieniano płytkę z listwami cepowymi i prętami, instalowano elementy krawędziowe na końcach ramion nożowych w postaci płytki gładkiej, stałe listwy cepowe z lewostronnym skosem karbów i składane listwy cepowe z prawostronnym skosem karbów, a wzdłuż noży mocowano listwy prowadzące gładkie i karbowane. Szczelinę roboczą między dnem a elementami krawędziowymi ustawiano na wymiar 8 i 5 mm (wejście i wyjście) oraz 8 i 2 mm.

Noże toporowe były przykręcone do tarczy w taki sposób, że tworzyły z jej płaszczyzną kąt 25° , a końce wewnętrzne były odchyłone od promienia o kąt 12° przeciwie do kierunku ruchu. Płaszczyzna noża od strony gardzieli była odsadzona na szerokości 18 mm, a z przeciwnej strony zaostzona na szerokości 24,8 mm pod kątami 25° i 12° . Szczelina między stalnicą a krawędzią ostrza noża wynosiła 0,2 mm.

Do analizy efektów rozdrabniania zastosowano klasyfikator sitowy napędzany silnikiem elektrycznym przez układ mechanizmu korbowego. Losowo pobraną próbkę siewki o masie 100,0 g przesiewano przez sita o wymiarze oczek 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 mm w czasie 4 minut. Dobór wielkości oczek sit i czas przesiewania określono na podstawie wstępnych pomiarów. Masę mieszaniny (ziaren i pociętych roślin) znajdującą się na każdym sicie ważono przy użyciu wagi analitycznej z dokładnością 0,1 g, a następnie z każdego sita wybrano i zważono ziarna całe i rozdrobnione (przecięte, rozgniecione, rozerwane). Za kryterium oceny pracy siewkarni przyjęto współczynnik rozdrobnienia ziaren. Otrzymane wyniki badań opracowano metodami analizy statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statgraphics.

Badania przeprowadzono w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie.

Wyniki i dyskusja

Wieloczynnikowa analiza wariancji wykazała, że kształt elementu krawędziowego, liczba zastosowanych noży, szczelina robocza, prędkość obrotowa tarczy nożowej oraz wilgotność roślin statystycznie istotnie wpływały na zróżnicowanie wskaźnika rozdrabniania ziaren kukurydzy (tab. 1). Natomiast typ płytki den-

nej, kształt listew prowadzących i strumień masy kukurydzy okazały się nieistotnymi czynnikami. Dalsza, szczegółowa analiza wykazała, że różnice między wartościami wskaźnika rozdrobnienia ziaren dla krawędzi z listwami cepowymi o lewostronnym (k_2) i prawostronnym (k_3) skosie karbów oraz dla wilgotności $w_2 = 57\%$ i $w_3 = 67\%$ okazały się nieistotne (tab. 2). Podobnie, dla par kontrastów prędkości obrotowych tarczy nożowej $n_2 = 540 \text{ obr. min}^{-1}$ i $n_3 = 645 \text{ obr. min}^{-1}$ oraz $n_4 = 838 \text{ obr. min}^{-1}$ i $n_5 = 1000 \text{ obr. min}^{-1}$ nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między wartościami wskaźnika rozdrobnienia ziaren. Wszystkie te niezróznicowane pary wartości połączono w grupy jednorodne i w toku dalszej analizy zmniejszono liczbę poziomów zmiennych, przyjmując średnią arytmetyczną dla tych wielkości.

Tabela 1; Table 1

Analiza wariancji czynników wpływających na wskaźnik rozdrobnienia ziaren kukurydzy

Variance analysis of factors influencing on corn chopping index

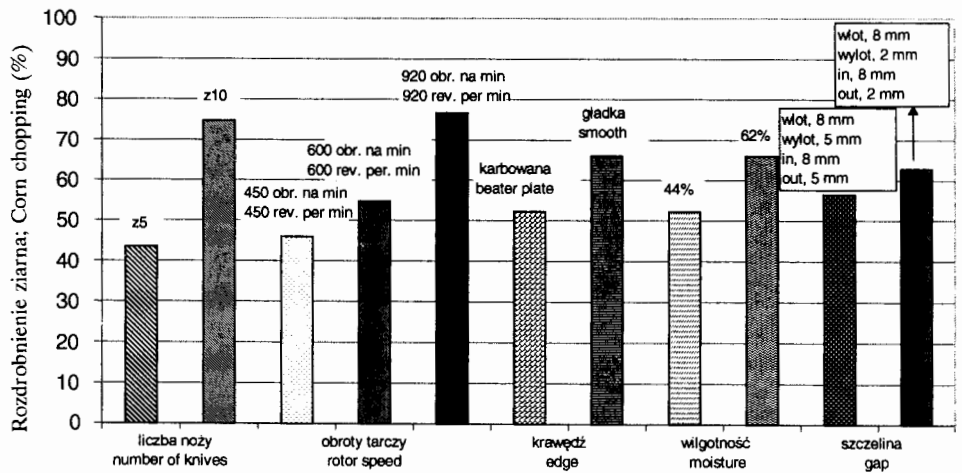
Wyszczególnienie Specification	Stopnie swobody Degrees of freedom	Test F	Poziom istotności Significance level
Dno; Bottom (d)	1	0,09	0,761
Krawędź; Edge (k)	2	17,84	0,000
Szczelina; Gap (s)	1	29,38	0,000
Prowadnica; Guide bar (r)	2	2,00	0,141
Liczba noży; Number of knives (z)	1	103,21	0,000
Wilgotność; Moisture (w)	2	8,93	0,003
Obroty tarczy; Rotor speed (n)	4	16,44	0,000
Masa; Weight (m)	2	0,18	0,829

Tabela 2; Table 2

Podział wskaźnika rozdrobnienia ziaren kukurydzy na grupy jednorodne
Distribution of a corn chopping index on homogeneous groups

Poziom Level	Liczebność Count	Średnia Mean	Kontrast Contrast	Różnica Difference	Limit +/- Limits +/-
k_1	40	68,2	k_1-k_2	15,2*	4,6
k_2	23	53,0	k_1-k_3	14,5*	3,6
k_3	60	53,8	k_2-k_3	-0,8	4,3
w_1	9	48,1	w_1-w_2	-14,3*	7,2
w_2	18	62,3	w_1-w_3	-16,4*	6,2
w_3	76	64,5	w_2-w_3	-2,2	4,5
n_1	34	44,1	n_1-n_2	-3,3	6,8
n_2	2	47,4	n_1-n_3	-9,8*	4,1
n_3	28	53,8	n_1-n_4	-26,7*	5,8
n_4	12	70,8	n_1-n_5	-31,5*	4,4
n_5	27	75,6	n_2-n_3	-6,5	6,9
			n_2-n_4	-23,5*	8,1
			n_2-n_5	-28,2*	7,1
			n_3-n_4	-17,0*	5,9
			n_3-n_5	-21,7*	4,5
			n_4-n_5	-4,7	6,1

* - różnica statystycznie istotna; statistically significant difference
k, w, n - objaśnienia jak w tabeli 1; explanations see Table 1



Rys. 1. Wskaźniki rozdrobnienia ziarna dla czynników statystycznie istotnych
 Fig. 1. Corn chopping index for significance statistical factors

Najbardziej efektywnym sposobem poprawienia rozdrobnienia ziaren kukurydzy jest zainstalowanie większej liczby noży na tarczy zespołu rozdrabniającego (rys. 1). Podczas pracy siewkarni z pięcioma nożami uzyskiwano $43,4 \pm 6,8\%$ skuteczność rozdrabniania, a z dziesięcioma nożami – $74,7 \pm 4,5\%$. Osiągnięto zatem zwiększenie współczynnika rozdrabniania ziaren o 31,3%. Zwiększanie liczby noży w siewkarniach dokładnego cięcia z toporowym zespołem rozdrabniającym jest ograniczone względami konstrukcyjnymi, gdyż wiąże się to ze zwiększeniem średnicy tarczy nożowej, która wpływa na wzrost mas wirujących, sił bezwładności i zapotrzebowanie na moc. Przy podobnym, około dwukrotnym przyroście prędkości obrotowej tarczy nożowej (z 450 do 920 obr.·min⁻¹) wartość współczynnika rozdrobnienia zwiększyła się o 30,7%. Ponieważ walce podająco-zgniatające są napędzane przez silniki hydrauliczne, a pompa zębata wewnętrznego układu hydraulicznego uzyskuje bezpośredni napęd od wału, na którym jest osadzona tarcza nożowa zespołu rozdrabniającego, przeto zachowany jest stosunek prędkości obwodowych tarczy nożowej oraz walców i teoretyczna długość cięcia się nie zmienia. Zwiększony efekt rozdrabniania ziaren jest osiągnięty w wyniku rozcierającego działania elementów krawędziowych, które naciskają na materiał znajdujący się w szczelinie między dnem obudowy zespołu rozdrabniającego a powierzchnią obwodową tych elementów. Zastosowanie zróżnicowanego kierunku pochylenia karbów na listwach krawędziowych wynikało z potrzeby sprawdzenia, czy ich działanie w odniesieniu do karbów pochylnych na listwach cepowych płytki dennej da odmienny efekt. Podczas cięcia poszczególne porcje odciętego materiału są odrzucane od tarczy, co prowadzi do nierównomiernego rozkładu siewki na dnie obudowy zespołu rozdrabniającego. Założono, że zastosowanie listew z pochylnymi karbami spowoduje lepsze rozprowadzenie i wyrównanie warstwy materiału oraz poprawi rozdrabnianie ziarna. Okazało się, że ziarno w większości przypadków przedostawało się do rowków listew karbowanych i stamtąd w wyniku siły odśrodkowej było wyrzucane do kanału wylotowego. Znacznie bardziej skuteczne okazały się proste, gładkie krawędzie, które współpracując z płytką

denną z listwami cepowymi lub prętami, ustawionymi prostopadle do kierunku ruchu elementu krawędziowego, lepiej rozrywały i rozcierały ziarna. Zmniejszenie szczeliny roboczej na wylocie płytki dennej, z 5 do 2 mm, pozwoliło na zwiększenie rozdrabniania ziarna o 6,4% (rys. 1). Koncepcja kątowej regulacji płytki dennej została przyjęta z rozwiązania stosowanego w zespołach młócących. Okazała się ona skuteczna i wymaga dalszego doskonalenia technicznego.

Badania potwierdziły, że rozdrabnianie ziarna o większej wilgotności jest łatwiejsze. Przy średniej wilgotności roślin wynoszącej 44% (mierzonej po rozdrobnieniu) współczynnik rozdrabniania ziaren wynosił $52,2 \pm 7,5\%$. Zwiększenie wilgotności do około 62% spowodowało zwiększenie tego współczynnika do $66 \pm 3,8\%$. Badania przeprowadzone przy wilgotności 57 i 67% wykazały, że skuteczność rozdrabniania jest podobna. Nawet połączenie tych dwóch grup wyników daje mniejsze rozrzuty ($\pm 3,8\%$) niż eksperymenty wykonane podczas rozdrabniania przy wilgotności 44%.

Spśród wszystkich rozpatrywanych układów pracy siewczarni z toporowym zespołem rozdrabniającym najlepszy okazał się kombinacją, w której zastosowano płytkę denną z prętami ustawionymi prostopadle do kierunku ruchu tarczy nożowej, krawędź z listwą cepową, gładką listwę prowadzącą mocowaną wzdłuż noży, szczelinę roboczą na wlocie 8 mm i na wylocie 2 mm, 10 noży i $1000 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ tarczy nożowej. Podczas cięcia kukurydzy o wilgotności 44 i 67% efektywność rozdrabniania ziaren wynosiła odpowiednio 90–95 i 98–100%.

Wnioski

1. Poprawę efektywności rozdrabniania ziaren kukurydzy można uzyskać przez prawidłowy dobór parametrów technicznych toporowego zespołu rozdrabniającego.
2. Rodzaj elementów krawędziowych instalowanych na końcach noży, wielkość szczeliny roboczej między płytką denną a powierzchnią obwodową elementów krawędziowych, liczba noży i prędkość obrotowa tarczy nożowej są czynnikami istotnie wpływającymi na efektywność rozdrabniania ziaren kukurydzy.
3. Kierunek i kształt karbów płytki dennej, typ listwy prowadzącej mocowanej do noży i natężenie strumienia masy kukurydzy wprowadzanej do siewczarni nie różnicowały wskaźnika rozdrabniania.
4. Podczas cięcia kukurydzy o wilgotności 44 i 67%, przy prawidłowo dobranych parametrach technicznych zespołu rozdrabniającego, wskaźnik rozdrabniania ziaren wynosił odpowiednio 90–95 i 98–100%.

Literatura

DUBAS A. 1981. *Kukurydza w gospodarstwie wielkoobszarowym*. PWRiL, Warszawa: 113 ss.

MECHANIZACJA PRODUKCJI KUKURYDZY 1981. Praca zbiorowa. PWRiL, Warszawa: 202 ss.

MICHALSKI T. 1980. *Wpływ obsady roślin, wczesności odmian oraz terminu zbioru na plony i wartość pastewną kukurydzy kiszonkowej*. Roczniki AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe 104: 81 ss.

MICHALSKI T. 1997. *Wartość pastewna plonów kukurydzy w zależności od sposobów i terminów zbioru*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 450: 133–162.

ROSZKOWSKI A. 1987. *Możliwości obniżenia nakładów materiałowo-energetycznych w sieczkarniach zbierających*. Maszyny i Ciągniki Rolnicze 2: 5–7.

SCHUKKING S. 1979. *Maize for silage*. Maize – technical monograph. Ciba-Geigy Ltd. Basle: 82–89.

SĘK T., PRZYBYŁ J. 1997. *Stan wyposażenia polskiego rolnictwa w sprzęt techniczny do produkcji kukurydzy*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 450: 117–131.

SĘK T., PRZYBYŁ J., KOWALIK I. 1996. *Porównanie jakości pracy sieczkarni zbierającej podczas opóźnionego zbioru kukurydzy na kiszonkę*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 444: 155–161.

STIEGER W. 1980. *Środki agrotechniczne zmierzające do ulepszenia jakości kiszonki kukurydzianej*. Mat. z konf. SITR, Poznań – KWS Einbeck: 29 ss.

UPPENKAMP N. 1989. *Lohnunternehmer ernten Qualitätsfutter*. Lohunternehmen 11: 542–543.

Słowa kluczowe: rozdrabnianie ziarna kukurydzy, parametry techniczne sieczkarni zbierającej

Streszczenie

Celem badań było wyjaśnienie wpływu parametrów technicznych zespołów roboczych sieczkarni z toporowym zespołem rozdrabniającym na przebieg i efekt rozdrabniania ziaren kukurydzy. Przeprowadzone badania stacjonarne wykazały, że rodzaj elementów krawędziowych instalowanych na końcach noży, wielkość szczeliny roboczej między płytką denną a powierzchnią obwodową elementów krawędziowych, liczba noży i prędkość obrotowa tarczy nożowej są czynnikami istotnie wpływającymi na efektywność rozdrabniania ziaren kukurydzy. Natomiast kierunek i kształt karbów płytki dennej, typ listwy prowadzącej mocowanej do noży i natężenie strumienia masy kukurydzy wprowadzanej do sieczkarni nie różnicowały wskaźnika rozdrabniania. Spośród wszystkich rozpatrywanych układów pracy sieczkarni najlepszy okazał się wariant z kombinacją, w której zastosowano płytkę denną z prętami, krawędź z listwą cepową, gładką listwę prowadzącą, szczelinę roboczą na wlocie 8 mm i na wylocie 2 mm, 10 noży i 1000 obr. \cdot min⁻¹ tarczy nożowej. Podczas cięcia kukurydzy o wilgotności 44 i 67% efektywność rozdrabniania ziaren wynosiła odpowiednio 90–95 i 98–100%.

INFLUENCE OF TECHNICAL FACTORS ON CHOPPING CORN HARVESTED FOR SILAGE

Aleksander Lisowski¹, Jacek Klonowski¹, Michał Sypuła¹, Dariusz Jaszczak²

¹ Department of Agricultural and Forest Machinery,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

² SIPMA SA, Lublin

Key words: corn chopping, forage harvester technical parameters

Summary

The investigations aimed at the explanation of the effect of working unit technical parameters of forage harvester equipped with a chopping unit on the course and effects of maize grain chopping. The performed stationary experiments showed that chopping efficiency was significantly influenced by the type of edge elements installed on the knives, working clearance between bottom plate and circumferential surface of edge elements and by the number of knives and speed of the rotor. However, it was found that the value of chopping index was not affected by the direction and shape of bottom plate notches, the type of knife guiding plate or intensity of maize stream fed to the harvester. Among all the considered forage harvester configurations, the best results were found for the combination including the bottom plate with bars, the smooth guiding plate, the working clearance of 8 mm at the inlet and 2 mm at the outlet, 10 knives, and rotor speed of 1000·min⁻¹. The maize chopping efficiency at the moisture content of 44 and 67% amounted to 90–95 and 98–100%, respectively.

Dr hab. inż. Aleksander **Lisowski**
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA
e-mail: lisowski@alpha.sggw.waw.pl