

*Ignacy Niedziółka, Mariusz Szymanek
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Akademia Rolnicza w Lublinie*

WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW PRACY OBCINARKI NA PROCES CIĘCIA ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ

Streszczenie

Badania wpływu wybranych parametrów pracy obcinarki na proces cięcia ziarna kukurydzy cukrowej określano na stanowisku badawczym. Pomiar prowadzono przy prędkości obrotowej głowicy nożowej w zakresie 1600 do 2560 obr·min⁻¹ i zmiennej średnicy rozstawu noży tnących w granicach 25 do 35 mm. Prędkość podajnika kolb była stała i wynosiła 0,31 m·s⁻¹. Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań wykazała, że zmiana prędkości obrotowej głowicy tnącej oraz średnicy rozstawu noży wpłynęły istotnie na wzrost jakości procesu odcinania ziarna oraz zmniejszenie współczynnika nierównomierności cięcia.

Słowa kluczowe: kukurydza cukrowa, kolby, ziarno, parametry pracy obcinarki, jakość cięcia ziarna

Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się w Polsce dynamiczny wzrost powierzchni uprawy kukurydzy cukrowej, z czego około 60% surowca przeznacza się na cele przetwórcze [Waligóra 2005]. Wzrost zainteresowania tym produktem sprawia, że jest on w coraz większym stopniu wytwarzany przez rodzime zakłady przetwórcze. Najczęściej stosowaną metodą oddzielania ziarna od rdzeni kolb jest jego mechaniczne odcinanie. Do wymagań jakościowych należy zaliczyć uzyskanie wysokiej równomierności i długości odcinanego ziarna [USDA 1999]. Duża zmienność długości ziarna jest czynnikiem wpływającym na jego straty masowe, odżywcze i pokarmowe. Jest ona zależna zarówno od cech odmianowych, właściwości geometrycznych i fizycznych kolb, stopnia dojrzałości, a także od parametrów techniczno-eksploatacyjnych obcinarek ziarna [Niedziółka, Szymanek 2001].

W technologii produkcji ziarna kukurydzy cukrowej na cele przetwórcze (konserwy) udział ziarna odpadowego stanowi 20-30% [Feibert, Shock 1996], stąd też zagadnienie to może mieć duże znaczenie w jego przerobie. W związku z tym celem pracy było określenie wpływu wybranych parametrów pracy obcinarki na proces cięcia ziarna kukurydzy cukrowej w aspekcie jakości uzyskiwanego surowca.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na kolbach odmiany Golda wyhodowanej w IHAR w Radzikowie k/Warszawy przeznaczonych na potrzeby przetwórstwa. Do badań pobierano kolby w stadium dojrzałości późno-mlecznej o regularnej budowie i cechach określonych normą [PN-R-75377: 1996]. Wilgotność ziarna określano metodą suszarkowo-wagową wg normy [PN-ISO 6540: 1994]. Ziarno odcinano od rdzenia kolby na przemysłowej maszynie obcinającej dla zmiennych prędkości obrotowych głowicy nożowej w zakresie od 1600 do 2560 obr·min⁻¹, co 480 obrotów i zmiennej średnicy rozstawu noży tnących w zakresie od 25 do 35 mm, co 5 mm. Prędkość podajnika kolb była stała i wynosiła 0,31 m·s⁻¹.

Zmianę prędkości obrotowej głowicy nożowej obcinarki uzyskiwano za pomocą przetwornika częstotliwości prądu elektrycznego. Pomiary dla każdej kombinacji zmiennych niezależnych przeprowadzono na próbie liczącej 100 kolb. Z masy odciętego ziarna pobierano losowo próbę liczącą 500 ziaren w 3 powtórzeniach. Na podstawie tej próbki dokonano podziału ziarna na frakcje w zależności od jego długości. Pomiar długości przeprowadzono suwmiarką z dokładnością do ±0,1 mm. Zmierzone ziarna podzielono na trzy klasy długości dla następujących przedziałów:

- klasa I – ziarno o długości powyżej 9 mm.
- klasa II – ziarno o długości od 5 do 9 mm,
- klasa III – ziarno o długości poniżej 5 mm.

Za kryterium jakości pracy obcinarki przyjęto udziały ilościowe frakcji ziarna, średnią długość odciętego ziarna i współczynnik nierównomierności cięcia działły ilościowe poszczególnych frakcji f_i określono według wzoru:

$$f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- n_i – liczebność i -tego przedziału,
- n – liczba przedziałów,
- i – numer przedziału,

a średnią długość ziarna według wzoru:

$$l_{sr} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i f_i}{100} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

gdzie:

- l_i – średnia długość ziarna i -tego przedziału [mm],
- l_{sr} – średnia (ważona) długość ziarna [mm].

Na podstawie uzyskanych pomiarów obliczono współczynnik nierównomierności cięcia według następującej zależności:

$$K = \frac{s}{l_{sr}} \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (l_i - l_{sr})^2 \frac{f_i}{100}} \quad (4)$$

gdzie:

- s – odchylenie standardowe [mm].

Otrzymane wyniki badań opracowano metodami analizy statystycznej dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ za pomocą programu statystycznego Statistica i arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

Wyniki badań i ich analiza

Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała, że prędkość głowicy nożowej i rozstaw noży wpływały statystycznie istotnie na średnie wartości średniej długości odcinanego ziarna l_i w klasie I, II i III (tab. 1), jak i na średni udział ilościowy frakcji ziarna f_i (tab. 2) oraz na średnią długość ziarna l_{sr} (tab. 3).

Zmiana prędkości obrotowej głowicy nożowej w przedziale 1600 do 2560 obr·min⁻¹ powodowała wzrost f_i w klasie I o około 8,4% oraz spadek w klasie II o około 1,9% i w klasie III o około 6,5%. Z kolei zmiana średnicy rozstawu noży (S) w zakresie od 35 do 25 mm wpływała na wzrost f_i w klasie I o około 20,8% oraz spadek w klasie II o około 10,0% i w klasie III o około 10,7% (tab. 4).

Tabela 1. Analiza wariancji czynników wpływających na średnią długość ziarna w klasach

Table 1. Analysis of variance of factors having an effect on average grain length in the classes

Wyszczególnienie	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	Test F	Poziom p
Klasa I					
Prędkość głowicy (n_o)	27,09	2	13,54	107,1	0,0001
Rozstaw noży (S)	0,49	2	0,24	1,9	0,0145
Interakcja (Sn_o)	4,95	4	1,24	9,8	0,0001
Klasa II					
Prędkość głowicy (n_o)	16,34	2	8,17	5,9	0,0029
Rozstaw noży (S)	10,49	2	5,24	3,8	0,0230
Interakcja (Sn_o)	16,07	4	4,02	2,9	0,0211
Klasa III					
Prędkość głowicy (n_o)	5,25	2	2,63	6,8	0,0013
Rozstaw noży (S)	7,49	2	3,75	9,6	0,0001
Interakcja (Sn_o)	12,05	4	3,01	7,7	0,0001

Tabela 2. Analiza wariancji czynników wpływających na średni udział ilościowy frakcji ziarna f_i w klasach

Table 2. Analysis of variance of factors having an effect on average percentage of grain fraction f_i in the classes

Wyszczególnienie	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	Test F	Poziom p
Klasa I					
Prędkość głowicy (n_o)	23222,7	2	11611,4	42,05	0,0001
Rozstaw noży (S)	32415,6	2	16207,8	58,70	0,0001
Interakcja (Sn_o)	13556,6	4	3389,1	12,27	0,0001
Klasa II					
Prędkość głowicy (n_o)	6801,3	2	3400,1	12,64	0,0004
Rozstaw noży (S)	26565,5	2	13282,4	49,38	0,0001
Interakcja (Sn_o)	8116,9	4	2029,7	7,54	0,0009
Klasa III					
Prędkość głowicy (n_o)	13298,3	2	6649,1	52,04	0,0001
Rozstaw noży (S)	1075,6	2	537,8	4,21	0,0316
Interakcja (Sn_o)	3008,6	4	752,1	5,89	0,0033

Tabela 3. Analiza wariancji czynników wpływających na średnią długość ziarna w klasach

Table 3. Analysis of variance of factors having an effect on average length of the seed in the classes

Wyszczególnienie	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	Test F	Poziom p
Prędkość głowicy (n_o)	0,27	2	0,13	17,43	0,0006
Rozstaw noży (S)	3,50	2	0,13	26,84	0,0001
Interakcja (Sn_o)	0,33	4	0,13	2,55	0,0075

Tabela 4. Podział średniej długości ziarna w klasie l_i , udziału ilościowego f_i i średniej długości ziarna dla wszystkich klas l_{sr} na grupy jednorodne

Table 4. Classification of average grain length in class l_i , percentage f_i and average grain length for all classes l_{sr} into homogeneous groups

Poziom*	Klasa I		Klasa II		Klasa III		l_{sr} [mm]
	l_i [mm]	f_i [%]	l_i [mm]	f_i [%]	l_i [mm]	f_i [%]	
n_{o1}	9,1	13,6	6,2	68,5	3,2	17,9	6,0
n_{o2}	9,4	19,1	6,2	67,5	3,3	13,4	6,4
n_{o3}	9,6	22,0	6,4	66,6	3,2	11,4	6,7
S_1	9,5	9,5	6,9	72,4	3,3	18,1	6,5
S_2	9,3	24,2	7,0	63,8	4,2	12,0	7,2
S_3	9,6	30,2	7,0	62,4	3,3	7,4	7,5
S_1n_{o1}	9,2	6,8	4,7	71,9	3,2	21,3	4,8
S_1n_{o2}	9,2	9,8	6,4	71,2	3,1	19,0	6,0
S_1n_{o3}	9,3	18,2	6,8	68,2	3,5	13,6	6,6
S_2n_{o1}	9,6	13,2	6,3	70,1	3,8	17,3	6,3
S_2n_{o2}	9,5	22,6	6,7	60,1	3,0	16,7	6,7
S_2n_{o3}	9,4	33,2	7,5	56,7	3,3	10,1	7,7
S_3n_{o1}	9,8	19,8	6,9	66,0	3,8	14,2	7,0
S_3n_{o2}	9,4	24,5	8,2	63,1	7,1	12,4	8,2
S_3n_{o3}	9,7	30,2	7,5	61,2	3,5	8,6	8,4
NIR dla l_i między kolumnami = 4,3; a między wierszami = 1,4;							
NIR dla f_i między kolumnami = 6,7; a między wierszami = 2,1;							
NIR dla l_{sr} = 1,3							

* n_{o1} - n_{o2} (1600-2560 obr·min⁻¹), S_1 - S_3 (35-25 mm)

Z kolei dla kombinacji S i n_o w przedziale od S_1n_{o1} do S_3n_{o3} zanotowano zwiększenie f_i w klasie I o około 23,4% oraz zmniejszenie w klasie II o około 10,7% i w klasie III o około 12,7%. Szczególnie zauważalny jest tu wpływ prędkości głowicy nożowej (n_o) przy stałych wartościach (S). Dla zmian w klasie I od S_1n_{o1}

do S_1n_{o3} nastąpił wzrost o około 11,4%, od S_2n_{o1} do S_2n_{o3} o około 20,0% i od S_3n_{o1} do S_3n_{o3} o około 10,4%. W klasie II uzyskano z kolei spadek dla poszczególnych kombinacji odpowiednio o 3,7; 13,4 i 4,8%, a w klasie III o 7,7; 7,2 i 5,6%. Dla zmian rozstawu noży (S) przy stałych n_o – od $n_{o1}S_1$ do $n_{o1}S_3$ oraz od $n_{o2}S_1$ do $n_{o2}S_3$ i od $n_{o3}S_1$ do $n_{o3}S_3$ uzyskano odpowiednio: wzrost w klasie I o około 13,0; 14,7 i 12,0% oraz spadek w klasie II o około 5,9; 8,1 i 7,0% i w klasie III o około 7,1; 6,6 i 5,0%.

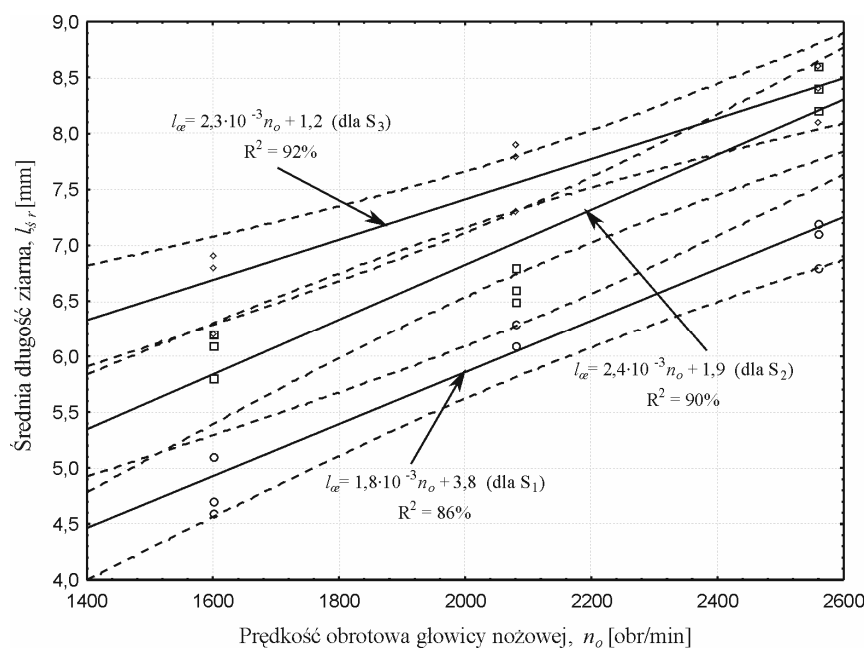
Wzrost prędkości obrotowej głowicy nożowej i rozstawu noży wpływał także na średnią długość ziarna l_{sr} , która kształtowała się w zakresie od 4,8 do 8,4 mm. Zmiana prędkości od n_{o1} do n_{o3} powodowała jej wzrost o około 12%, a zmiana rozstawu noży od S_1 do S_3 o około 15%. Z kolei dla interakcji od S_1n_{o1} do S_3n_{o3} wzrost l_{sr} ten wyniósł około 75%.

Wzrost średniej długości ziarna l_{sr} i średniego udziału ilościowego f_i w następstwie zmian zmiennych niezależnych wpływał na odcinanie ziarna bliżej rdzenia kolby, a tym samym na obniżenie jego strat.

Na rysunku 1 przedstawiono w postaci prostych regresji zmiany średniej długości ziarna l_{sr} w zależności od zmian prędkości obrotowej głowicy nożowej n_o przy stałych wartościach średnicy rozstawu noży S . Wysokie współczynniki korelacji ($R^2 = 86, 90$ i 92%) dla prędkości n_o oraz S_1 ; S_2 i S_3 wskazują na istnienie wysokiej współzależności między tymi zmiennymi.

W celu ilościowej oceny wpływu średniej długości ziarna l_{sr} na wartość współczynnika nierównomierności cięcia K przeprowadzono analizę regresji (tab. 5) oraz analizę wariancji w regresji (tab. 6). Z analiz tych wynika, że zarówno współczynnik regresji jak i wyraz wolny są istotne statystycznie.

Z zamieszczonej na rysunku 2 zależności współczynnika nierównomierności cięcia od średniej długości ziarna wynika, że zwiększenie średniej długości ziarna od 4,8 do 8,4 mm powoduje zmniejszenie współczynnika nierównomierności długości cięcia ziarna o około 40%. Zależność ta została przedstawiona za pomocą funkcji kwadratowej. Wysoka wartość współczynnika determinacji $R^2 = 0,98$ świadczy o dobrym dopasowaniu prostej do wartości empirycznych.



Rys. 1. Zależność wpływu prędkości obrotowej głowicy nożowej na średnią długość odcinanego ziarna

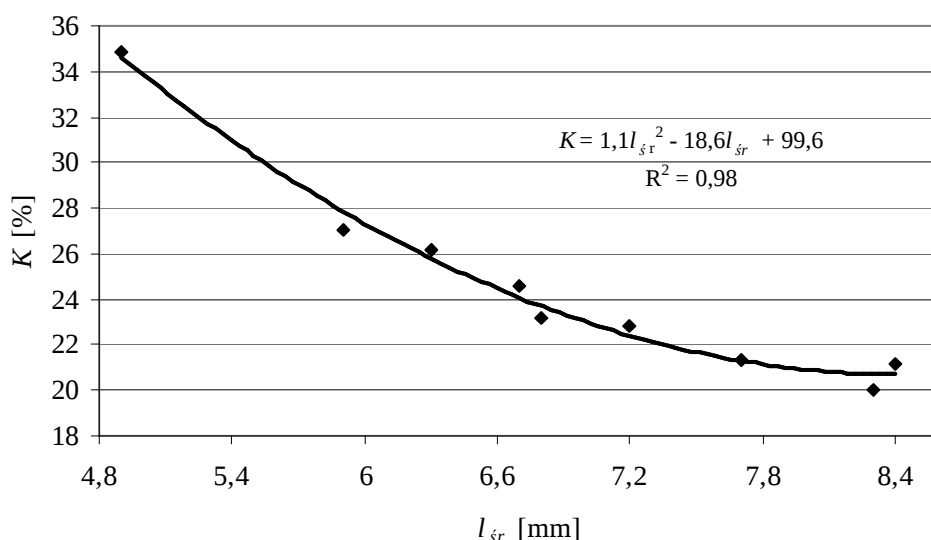
Fig. 1. Dependence of effect of rotational speed of the cutter head on average length of the grain cut

Tabela 5. Wyniki analizy regresji dla współczynnika nierównomierności cięcia K
Table 5. Results of regression analysis for coefficient of unevenness of cutting K

Regresja liniowa	Współczynnik regresji	Błąd standardowy	Statystyka testowa t	Poziom p
Wyraz wolny	99,6	3,36	12,84	0,0001
l_{sr}	1,1	0,49	-6,03	0,0005

Tabela 6. Analiza wariancji dla regresji współczynnika nierównomierności cięcia K
Table 6. Analysis of variance for regression of coefficient of unevenness of cutting K

Źródło zmienności	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	Stosunek wariancji F	Poziom p
Regresja	53,22	1	53,22	36,46	0,0005
Reszta	10,21	7	1,46		
Razem	63,43				



Rys. 2. Zależność współczynnika nierównomierności cięcia K od średniej długości ziarna

Fig. 2. Dependence of coefficient of unevenness of cutting K from average grain length

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz uzyskanych wyników badań i analizy statystycznej sformułowano następujące wnioski:

1. Na poprawę jakości odcinania ziarna kukurydzy cukrowej od rdzeni kolb duży wpływ ma odpowiedni dobór parametrów pracy obcinarki.
2. Średnia długość odcinanego ziarna, jak i jego liczebność była istotnie zależna od prędkości głowicy nożowej i średnicy rozstawu noży.
3. Najbardziej korzystne wartości średniej długości ziarna (8,4 mm) i udziału frakcji klasy I (54,8%) uzyskano dla prędkości głowicy nożowej (2560 obr·min⁻¹) oraz rozstawu noży (25 mm).
4. Wzrost długości odcinanego ziarna wpłynął także na zmniejszenie współczynnika nierównomierności jego cięcia o około 40%.

Bibliografia

Feibert E., Shock F. Supersweet corn and sweet corn variety evaluations. Malheur Experiment Station, Oregon State University Ontario, Oregon 1996.

Niedziółka I., Szymanek M. Wstępne badania właściwości fizycznych ziarna kukurydzy cukrowej. Inż. Rol., 13(33), 318-322, 2001.

PN-R-75377:1996. Kukurydza cukrowa.

PN-ISO 6540: 1994. Kukurydza – oznaczenie wilgotności rozdrobnionego i całego ziarna.

USDA. United Standards for Grades of Canned Whole Kernel Corn Effective. December, 8, 1999.

Waligóra H. Kukurydza jadalna – znaczenie gospodarcze i rola w żywieniu człowieka. Kukurydza, 1(25), 75-78, 2005.

THE INFLUENCE OF CHOSEN WORKING PARAMETERS OF CUTTER ON PROCESS OF CUTTING SWEET CORN KERNEL

Summary

The investigations of influence of chosen parameters of cutter work on process of cut of sweet corn kernels were defined on investigative stand. The measurements were led near rotational speed of knife head in range 1600 to 2560 obr·min⁻¹ and the variable of diameter of span knives cutting in interval 25 to 35 mm. The speed of feeder of cobs was solid and carried out 0,31 m·s⁻¹. Statistical analysis of got results of investigations shew that they had influenced the change of rotational speed of cutter head as well as diameter span knives on growth of quality of process indeed the parting the grain as well as decrease the coefficient of inequality of cut.

Key words: sweet corn, cobs, kernel, working parameters of cutter, quality of kernels cutting