ACTA SCIENTIARUM POLONORUM *Acta Sci. Pol., Technica Agraria 4(1) 2005, 3-11*

WPŁYW WARUNKÓW SKŁADOWANIA KOLB KUKURYDZY CUKROWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE ZIARNA

Ignacy Niedziółka, Mariusz Szymanek
Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. W pracy przeanalizowano wpływ warunków składowania kolb kukurydzy cukrowej na właściwości mechaniczne ziarna. Badania zasadnicze poprzedzono określeniem charakterystyki materiału roślinnego. Testy cięcia, penetracji i ściskania ziarna przeprowadzono na uniwersalnej maszynie Instron 6022. Umożliwiła ona wyznaczenie wartości sił i energii cięcia, penetracji oraz ściskania ziarna. Pomiary przeprowadzono przy prędkości przemieszczania głowicy 50 mm/min i jej obciążeniu 100 N. Badane kolby składowano przez 48 godzin w chłodni (0–3°C), w pomieszczeniu zamkniętym (18–22°C) oraz w środowisku wodnym. Uzyskane wyniki badań odnoszono do wyników dla próby kontrolnej, którą stanowiły kolby poddane testom bezpośrednio po ich zbiorze. Analiza wyników badań wykazała, że warunki składowania wpłynęły istotnie na zmniejszenie wartości cech mechanicznych ziarna i poboru energii w przypadku cięcia i penetracji oraz na ich wzrost w przypadku ściskania. Jest to szczególnie ważne w procesie odcinania ziarna od rdzeni kolb i jego dalszej obróbce.

Słowa kluczowe: kukurydza cukrowa, kolby, ziarno, składowanie, właściwości mechaniczne

WSTĘP

Kukurydza cukrowa jest rośliną, której produkcja w Polsce, zarówno do bezpośredniego spożycia, jak i na cele przetwórcze systematycznie wzrasta. Obok wzrostu jej podaży oczekuje się od zbieranych kolb spełnienia coraz wyższych wymagań jakościowych. Staje się to możliwe m.in. poprzez ciągłe zastępowanie dotychczasowych odmian nowymi mieszańcami, zapewniającymi wyższą jakość surowca. Jakość kukurydzy charakteryzowana właściwościami fizycznymi i chemicznymi kolb oraz ziarna zależy od wielu czynników, takich jak: stopień dojrzałości, genotyp, odmiana, a także agrotechnika uprawy, poziom nawożenia, przebieg pogody i warunki składowania [Stewart i in. 1997, Felczyński i in. 1999, Waligóra 2002].

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Ignacy Niedziółka, Mariusz Szymanek, Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego Akademii Rolniczej w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin e-mail: ignied@hortus.ar.lublin.pl

Dla zakładów przetwórczych nieodzownym parametrem jakości surowca są głównie wartości fizycznych właściwości kolb i ziarna kukurydzy, gdyż w dużym stopniu odzwierciedlają one bezpośrednią przydatność materiału do przerobu. Wpływają one także na jakość procesu cięcia oraz jego energochłonność i wydajność masową [Watson i Ramstad 1994, Niedziółka i in. 2002].

Zarówno zbiór ręczny, jak i kombajnowy kolb z dużych powierzchni stanowi poważne utrudnienie w zachowaniu właściwej jakości materiału, która zależy nie tylko od fazy dojrzałości, ale także od właściwego przechowywania po zbiorze. Szybkie schłodzenie zebranych kolb powoduje zmniejszenie strat cukru związanych z jego konwersją w skrobię. W zależności od czasu i temperatury przechowywania straty te w ciągu doby mogą wynieść od 5% w temperaturze 0°C do 60% w temperaturze 30°C. Na wielkość strat cukru wpływa okres przechowywania kolb, który powinien być jak najkrótszy i nie przekraczać kilku dni w temperaturze 0°C. Potrzeba pokonywania dużych odległości transportowych do zakładów przetwórczych, często w zmiennych warunkach pogodowych, jak też oczekiwanie na przerób kolb może mieć negatywny wpływ na jakość ziarna i proces jego odcinania [Inglett 1970, Hanna i in. 1988, Warzecha 2003].

Celem podjętych badań było określenie wpływu różnych warunków składowania kolb na wybrane właściwości mechaniczne ziarna.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na kolbach kukurydzy cukrowej odmiany Candle. Jest to odmiana bardzo słodka, charakteryzująca się średniej wielkości kolbami o cylindrycznym kształcie i wysokim plonie oraz bardzo dobrymi właściwościami smakowymi ziarna. Bywa polecana zarówno do bezpośredniej konsumpcji, jak i na potrzeby przetwórcze (konserwy, mrożonki). Kolby zebrane w optymalnej dojrzałości technologicznej (późno-mlecznej), przed poddaniem testom wytrzymałościowym składowano w różnych warunkach obejmujących następujące warianty:

a) wariant I – kolby pochodzące bezpośrednio ze zbioru, traktowane jako próba kontrolna;

b) wariant II – kolby, które po zbiorze składowano w chłodni, w temperaturze 1–3°C;

c) wariant III – kolby składowane w pomieszczeniu, w temperaturze 18–22°C;

d) wariant IV – kolby składowane jak w wariancie III i w środowisku wodnym.

W przypadku wariantów II, III i IV kolby składowano w liściach okrywowych przez okres około 48 godzin. Podstawą badań wybranych właściwości mechanicznych były testy cięcia, penetracji i ściskania w warunkach quasi-statycznych. Testy te przeprowadzano na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Instron 6022, która umożliwiała wyznaczenie w danym teście takich wielkości, jak: siła, energia, moduł sprężystości i deformacja względna. Wielkości te zostały wyznaczone dla liniowej prędkości głowicy 50 $mm \cdot min^{-1}$ i jej obciążenia 100 N.

Cięcie i penetrację wykonywano na 2/3 długości ziarna, natomiast ściskanie na całych ziarnach pochodzących ze środkowej części kolby. Do cięcia ziarna używano noża, którego kąt ostrza wynosił 8°, a kąt pochylenia krawędzi tnącej – 15°. Stanowi on stan-

dardowe wyposażenie obcinarek do ziarna kukurydzy cukrowej. Natomiast do przebicia okrywy owocowo-nasiennej ziarna używano penetrometru o średnicy 2 mm. Testy ściskania ziarna wykonywano między dwoma płytami, z których górną obciążano głowicą pomiarową.

Tabela 1. Charakterystyka fizycznych właściwości kolb i ziarna kukurydzy cukrowej odmiany Candle

Table 1. The characteristics of physical properties of cobs and kernels of sweet corn of Candle variety

Wyszczególnienie Specification	Jedn. miary Measurement units	Wyniki badań – Tests results	
		zakres wyników range of results	wartości średnie mean values
Masa kolby z liśćmi – Mass of cob with the leaves	g	278,1–436,2	352,2
Masa kolby bez liści – Mass of cob without the leaves	g	301,1–399,2	332,1
Masa 1000 ziaren – Mass of the 1000 kernels	g	445,2–451,2	448,7
Udział ziarna w kolbie – Kernel content in a corn cob	%	70,2–75,3	74,3
Wilgotność ziarna – Corn kernels moisture	%	72,1–75,2	74,3
Długość kolby – Length of corn cob	cm	18,4–24,6	19,8
Średnica kolby – Diameter of corn cob	mm	46,8–52,3	49,8
Liczba ziaren w rzędzie – Number of kernels in a row	szt. – pcs	34,5–44,1	36,4
Liczba rzędów ziarna – Number of kernel rows	szt. – pcs	12,2–16,6	14,2
Średnia długość ziarna – Mean of kernel length	mm	4,8–11,6	9,2

Przed przystąpieniem do badań zasadniczych określono podstawową charakterystykę materiału roślinnego (tab. 1). Próby kolb i ziarna kukurydzy ważono na wadze WPE 2000p z dokładnością do ±0,1 g. Każda próba poddawana testom liczyła 5 kolb i była wykonywana w 3 powtórzeniach dla danego wariantu. Wilgotność ziarna oznaczano zgodnie z PN-ISO 6540 [1994] i obliczano z dokładnością do ±0,1% według następującego wzoru:

$$W = \frac{(m_0 - m_1)}{m_o} \cdot 100\,(\%)$$

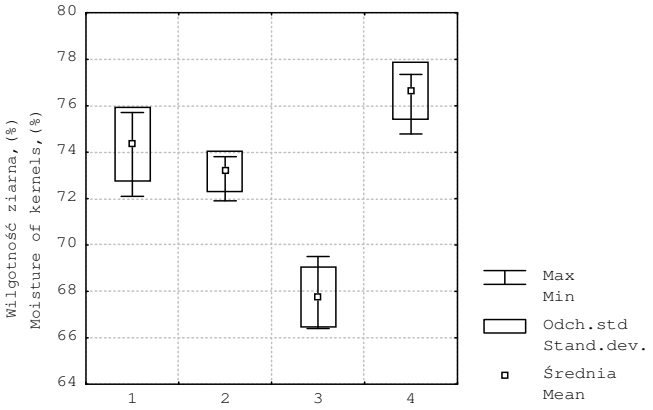
gdzie: m_0 – masa próbki przed suszeniem, g; m_1 – masa próbki po suszeniu, g.

Uzyskane wyniki badań z poszczególnych testów wytrzymałościowych poddano analizie wariancji oraz testowi Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI

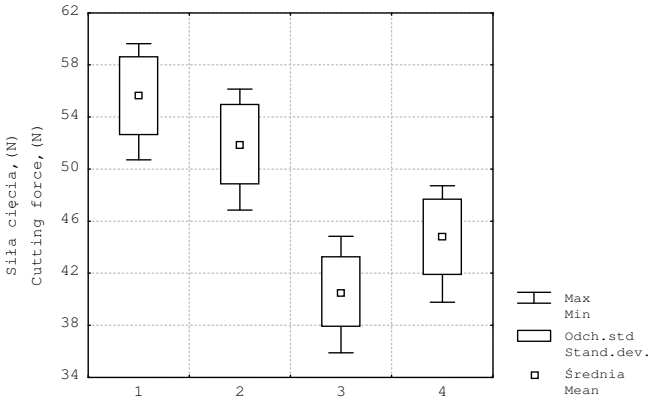
Kolby kukurydzy składowane według wariantu II, III i IV nie wykazywały żadnych objawów, które świadczyłyby o pogorszeniu ich jakości i nieprzydatności do badań. Analiza statystyczna uzyskanych wyników pomiarów wykazała, że warunki składowania kolb po zbiorze w dużej mierze wpływają na zmianę wyznaczanych wielkości. Warunki, w jakich przechowywano kolby wpłynęły istotnie statystycznie na zmianę ich wilgotności. W stosunku do próby kontrolnej (74,7%) wilgotność ziarna zmniejszyła się

dla wariantu II o 1,5% i dla wariantu III o 8,8%, natomiast dla wariantu IV zwiększyła się o 3,1% (rys. 1).

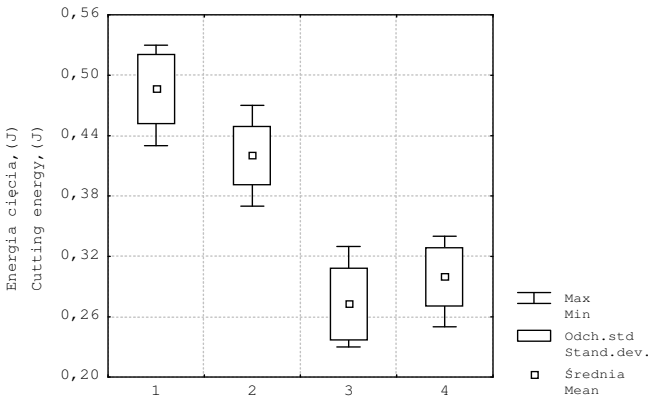


Rys. 1. Wilgotność ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig 1. Moisture of kernels: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV

Z przeprowadzonego testu Tukeya wynika, że różnica wilgotności ziarna między wariantem I i II była statystycznie nieistotna. Z kolei stosunkowo niewielka różnica wilgotności ziarna między wariantem I i III, choć istotna statystycznie, z praktycznego punktu widzenia nie ma znaczenia. Z danych przedstawionych na rysunkach 2 i 3 oraz w tabeli 2 wynika, że zarówno siła, jak i energia cięcia oraz moduł sprężystości i deformacji mają najwyższe wartości dla kolb świeżo zebranych (wariant I).



Rys. 2. Siła cięcia ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig. 2. Cutting force of kernel: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV



Rys. 3. Energia cięcia ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig. 3. Cutting energy of kernel: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV

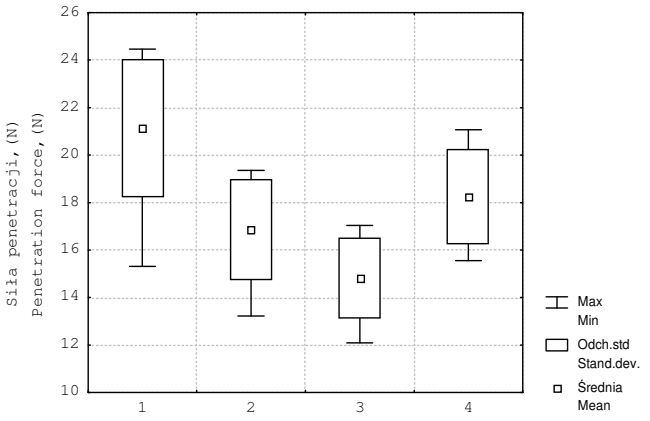
Tabela 2. Wartości modułu sprężystości i deformacji dla testów cięcia, penetracji i ściskania ziarna
Table 2. Values of elasticity modulus and deformation for cutting, penetration and pressing tests of kernel

Wyszczególnienie Specification		Wariant I Variant I	Wariant II Variant II	Wariant III Variant III	Wariant IV Variant IV
Test cięcia – The cutting test					
Moduł sprężystości Modulus of elasticity MPa	min	4,61	9,64	7,57	6,51
	max	8,22	13,34	11,18	10,13
	średnia – mean	6,58	11,43	9,36	8,29
	odch. stand. – stand. dev.	1,25	1,23	1,19	1,53
Deformacja Deformation mm	min	15,98	16,08	15,29	16,48
	max	17,45	17,58	16,76	17,49
	średnia – mean	16,70	16,81	16,02	17,19
	odch. stand. – stand. dev.	0,49	0,51	0,53	0,27
Test penetracji – The penetration test					
Moduł sprężystości Modulus of elasticity MPa	min	4,58	8,68	6,76	5,41
	max	8,24	10,61	8,39	6,97
	średnia – mean	5,96	9,50	7,47	6,16
	odch. stand. – stand. dev.	1,39	0,77	0,67	0,57
Deformacja Deformation mm	min	5,21	3,24	2,56	4,25
	max	7,64	5,94	4,24	5,67
	średnia – mean	6,35	4,76	3,44	4,96
	odch. stand. – stand. dev.	1,04	0,99	0,68	0,53
Test ściskania – The pressing test					
Moduł sprężystości Modulus of elasticity MPa	min	3,62	5,06	3,45	5,21
	max	6,23	6,97	4,83	8,47
	średnia – mean	4,83	5,96	4,07	6,59
	odch. stand. – stand. dev.	1,11	0,78	0,60	1,36
Deformacja Deformation mm	min	6,54	6,08	5,21	6,49
	max	11,36	7,22	7,12	12,56
	średnia – mean	8,81	7,23	6,12	9,13
	odch. stand. – stand. dev.	20,2	0,97	0,84	2,56

Dla kolb z chłodni (wariant II) średnia wartość siły cięcia ziarna wynosiła 51 N, energii cięcia – 0,42 J, modułu sprężystości – 11 MPa i deformacji – 17 mm. Natomiast dla kolb składowanych w temperaturze 18–22°C (wariant III) średnia wartość siły cięcia ziarna wynosiła 41 N, energii cięcia – 0,27 J, modułu sprężystości – 9 MPa i deformacji – 16 mm. Z kolei dla kolb nawilżanych (wariant IV) średnia wartość siły cięcia ziarna wynosiła 45 N, energii cięcia – 0,30 J, modułu sprężystości – 8 MPa i deformacji – 17 mm. W stosunku do kolb świeżo zebranych (wariant I) nastąpiło zmniejszenie siły i energii cięcia odpowiednio o 9,9 i 12% dla wariantu II, o 27 i 44% dla wariantu III i o 20 i 37% dla wariantu IV.

Średnie wartości modułu sprężystości wzrosły o 42% dla wariantu II, o 30% dla wariantu III i o 20% dla wariantu IV, w porównaniu z wartościami modułu dla kolb świeżo zebranych. Natomiast deformacja zwiększyła się dla wariantu II o 1% i dla wariantu IV o 3%, a zmniejszyła się dla wariantu III o 4%. Test Tukeya wykazał, że różnice dla siły, energii, modułu sprężystości i deformacji są nieistotne statystycznie pomiędzy kolbami świeżo zebranymi (wariant I) i pochodzącymi z chłodni (wariant II).

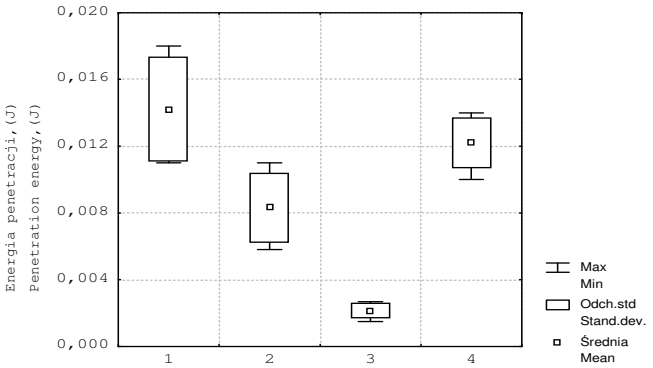
W teście penetracji ziarna, podobnie jak w teście cięcia, zanotowano spadek wartości siły i energii (rys. 4 i 5). Średnia siła penetracji ziarna wynosiła 21 N dla kolb z wariantu I, 17 N dla wariantu II, 14 N dla wariantu III oraz 18 N dla wariantu IV. Natomiast energia penetracji ziarna wahała się od 0,014 J (wariant I) do 0,002 J (wariant III). W stosunku do wariantu I stwierdzono zmniejszenie wartości siły (o ok. 20%) i energii penetracji o ok. 44% dla wariantu II oraz odpowiednio o 30 i 80% dla wariantu III i o 14 i 15% dla wariantu IV.



Rys. 4. Siła penetracji ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig. 4. Penetration force of kernel: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV

Wartości modułu sprężystości w teście penetracji ziarna wzrosły o 37% dla kolb z chłodni (II), o 20% dla kolb składowanych w temperaturze 18–22°C (III) i o 3% dla kolb nawilżanych (IV), w stosunku do wartości modułu dla kolb świeżo zebranych (I). Natomiast dla deformacji odnotowano zmniejszenie wartości o 25% (dla wariantu II),

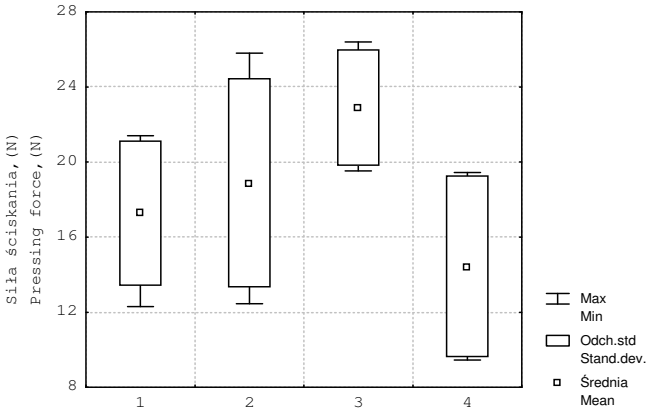
o 46% (dla wariantu III) i o 22% (dla wariantu IV). Na podstawie testu Tukeya różnice między kolbami świeżo zebranymi (I) i nawilżanymi (IV) oceniane wg badanych wielkości okazały się nieistotne.



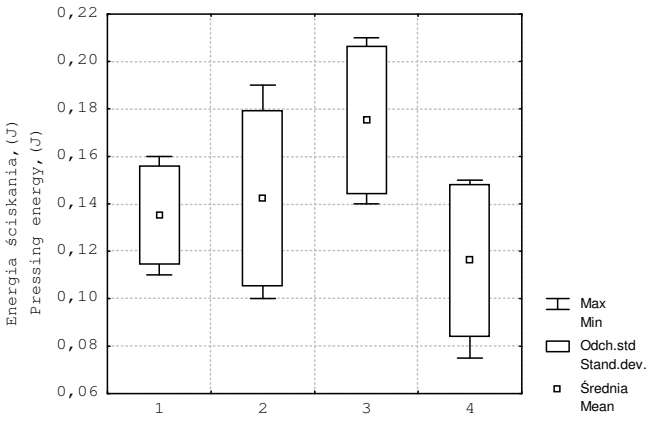
Rys. 5. Energia penetracji ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig. 5. Penetration energy of kernel: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV

Przebieg wartości siły i energii ściskania ziarna dla poszczególnych wariantów badań przyjmował inny charakter, niż wartości uzyskanych w przypadku testów cięcia i penetracji (rys. 6 i 7).

Odmiennie niż przy cięciu i penetracji ziarna nastąpiło zwiększenie wartości siły ściskania o około 10% (dla kolb z wariantu II) i 21% (dla kolb z wariantu III), tylko dla wariantu IV (kolby nawilżane) nastąpiło zmniejszenie siły o około 17%, w stosunku do kolb świeżo zebranych (wariant I). Podobnie wartości energii ściskania ziarna wzrosły o około 5% (wariant II) i 30% (wariant III), natomiast dla kolb z wariantu IV nastąpiło zmniejszenie energii o około 19%.



Rys. 6. Siła ściskania ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig. 6. Pressing force of kernel: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV



Rys. 7. Energia ściskania ziarna: 1 – wariant I, 2 – wariant II, 3 – wariant III, 4 – wariant IV
Fig. 7. Pressing energy of kernel: 1 – variant I, 2 – variant II, 3 – variant III, 4 – variant IV

Wartości modułu sprężystości były wyższe o 19% dla kolb z chłodni (II) i o 27% dla kolb nawilżanych (IV), natomiast niższe o 16% dla kolb składowanych w temperaturze 18–22°C (III), w stosunku do modułu dla kolb świeżo zebranych. Z kolei wartości deformacji były wyższe o 35% dla kolb nawilżanych oraz niższe o 18% dla kolb z chłodni i o około 31% dla kolb składowanych w temperaturze 18–20°C, w porównaniu z deformacją dla kolb świeżo zebranych. Test Tukeya wykazał, że dla testów cięcia, penetracji i ściskania ziarna różnice wartości siły, energii, modułu sprężystości oraz deformacji są nieistotne w przypadku kolb świeżo zebranych i składowanych w chłodni.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wybranych właściwości mechanicznych ziarna kukurydzy cukrowej pozwoliły stwierdzić, że:

1. Warunki przechowywania kolb kukurydzy cukrowej po zbiorze, w przypadku badanych wariantów, miały znaczny wpływ na zmianę właściwości mechanicznych ziarna. Zanotowany spadek siły od 10% (test cięcia) do 20% (test penetracji) oraz energii od 12% (test cięcia) do 44% (test penetracji) może przynosić wymierne korzyści związane ze zmniejszaniem energochłonności procesu mechanicznego odcinania ziarna od rdzeni kolb.

2. Najbardziej korzystne okazało się przechowywanie kolb w chłodni (0–3°C), ponieważ nie wpłynęło ono istotnie na zmianę wartości wyznaczanych wielkości pomiarowych podczas testów cięcia, penetracji i ściskania ziarna. Składowanie kolb w takich warunkach może mieć praktyczne znaczenie przy uprawie kukurydzy cukrowej w rejonach odległych od zakładów przetwórczych.

3. Różnice w uzyskanych wartościach pomiarowych były następstwem zmian wilgotności ziarna, która wpływała bezpośrednio na wytrzymałość okrywy owocowo-nasiennej

w przypadku cięcia, penetracji i ściskania. Jakkolwiek uzyskane wartości modułu sprężystości i deformacji w poszczególnych testach nie potwierdziły tego jednoznacznie.

4. Podczas składowania kolb kukurydzy cukrowej według badanych wariantów nie obserwowano widocznych zmian jakościowych ziarna, które obniżałyby częściowo lub całkowicie jego przydatność konsumpcyjną.

PIŚMIENNICTWO

Felczyński K., Bąkowski J., Michalik H., 1999. Czynniki wpływające na jakość plonu i wartość odżywczą kukurydzy cukrowej. Ogrodnictwo 3, 18–21.

Hanna H.Y., Story R.N., Adams A.J., 1988. Effects of sweet corn production practices on yield and other characteristics. HortScience 23(5), 824.

Inglett G.E., 1970. Corn: Culture, Processing, Products.

Niedziółka I., Szymanek M., Rybczyński R., 2002. Energochłonność procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej. Inż. Roln. 6, 347–351.

PN-ISO 6540, 1994. Kukurydza – oznaczenie wilgotności (rozdrobnionego i całego ziarna).

Stewart B., Chevis P., Pereira C., 1997. Peroxidase isoforms of corn kernels and corn on the cob: Preparation and characteristics. Lebensm. Wiss. Technol. 30, 192–201.

Waligóra H., 2002. Nowe odmiany kukurydzy cukrowej. Kukurydza rośliną przyszłości. Poradnik dla producentów, 80–82.

Warzecha R., 2003. Kukurydza cukrowa. Agro Serwis 15 (272), 14–15.

Watson S.A., Ramstad P.E., 1994. Corn: Chemistry and Technology. Am. Assoc. Cer. Chem., Inc. Chap. 14, 431–446.

INFLUENCE OF STORAGE CONDITIONS OF SWEET CORN COBS ON MECHANICAL PROPERTIES OF KERNEL

Abstract. The paper presents the investigations of influence of sweet corn cobs storage conditions on mechanical properties of kernel. The main research was preceded by the determination of the plant materials characteristics. The tests of kernel separation, penetration and pressing were made on the universal machine Instron 6022. It made it possible to determine the values of the separation, penetration and pressing forces and energy. The measurements were taken for the cutting heads movement speed 50 $mm \cdot min^{-1}$ and its loading 100 N. The tested cobs were stored for 48 hours in a coolhouse (0–3ºC), in a closed room (18–22ºC) and in water environment. The obtained tests results were compared with the control group, i.e. for the cobs tested immediately after harvesting. The analysis of the results showed that storage conditions had a significant influence on value loss in the kernel's mechanical properties and on the energy consumption in the case of separation and penetration and on their rise in the case of pressing. This is especially important in the process of kernel separation from a cob core and in its further processing.

Key words: sweet corn, cobs, kernel, storage, mechanical properties

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.11.2004