

## METODYCZNE ASPEKTY PROCESU CIĘCIA ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ

*I. Niedziółka<sup>1</sup>, M. Szymanek<sup>1</sup>, R. Rybczyński<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Akademia Rolnicza, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin  
ignied@hortus.ar.lublin.pl

<sup>2</sup>Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
rryb@demeter.ipan.lublin.pl

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono niektóre metodyczne aspekty procesu pozyskiwania ziarna kukurydzy cukrowej. Badania obejmowały zagadnienia dotyczące zależności między kształtem noży tnących a wielkością siły i energii cięcia oraz wpływu parametrów pracy obcinarki na ilość odcinanej masy ziarna. Badania prowadzono na kolbach kukurydzy, których ziarno posiadało wilgotność 73,2 %. Testy ścinania ziarna przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 6022, stosując noże o różnych kątach ostrza oraz pochylenia krawędzi tnącej. Badania wpływu prędkości podawania kolb oraz prędkości kątowej głowicy tnącej na ilość oddzielanej masy ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej realizowano na stanowisku badawczym, wyposażonym w obcinarkę do ziarna. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że kąt ostrza noża i prędkość głowicy tnącej mają decydujący wpływ na wartość siły i energii cięcia, a także na masę ziarna pozyskiwaną w trakcie odcinania.

Słowa kluczowe: kukurydza cukrowa, kolby, ziarno, proces cięcia, właściwości mechaniczne.

### WSTĘP

Ziarno kukurydzy cukrowej jest surowcem o wysokiej wartości odżywczej i smakowej. Może być spożywane zarówno w stanie świeżym, jak i przetworzonym. Wysoka wilgotność ziarna kukurydzy cukrowej w czasie zbioru, sięgająca 72-76 %, stanowi poważny problem podczas jego oddzielania od rdzeni kolb. Również niejednorodność struktury oraz zróżnicowanie kształtu i przekroju poprzecznego ziarniaków powodują, że proces cięcia jest złożony. Wynika to

zarówno z nieciągłej budowy komórkowej, jak i wielofazowej struktury, której każdy składnik (ziarno, rdzeń oraz cała kolba) reaguje odmiennie na obciążenia mechaniczne [2,3,7,8].

Nieprawidłowo wykonany proces odcinania ziarna od rdzenia może pociągać za sobą powstawanie znacznych strat, dochodzących do 20-30%. Aby zminimalizować powstawanie tak wysokich strat należałoby odcinać ziarniaki odpowiednio głęboko. Ziarniaki odcinane zbyt płytko zmniejszają wprawdzie zapotrzebowanie energii niezbędnej do ich odcięcia z jednej strony, jednak z drugiej strony nie odcięta część ziarna wraz z cennym zarodkiem zwiększa straty ilościowe i jakościowe. Ponadto, zbyt głębokie odcinanie jest także niekorzystne, gdyż ziarniaki oddzielane są razem ze zdrewniałą szypułką, a proces cięcia w tych warunkach powoduje wzrost zapotrzebowania na energię [1,5,9].

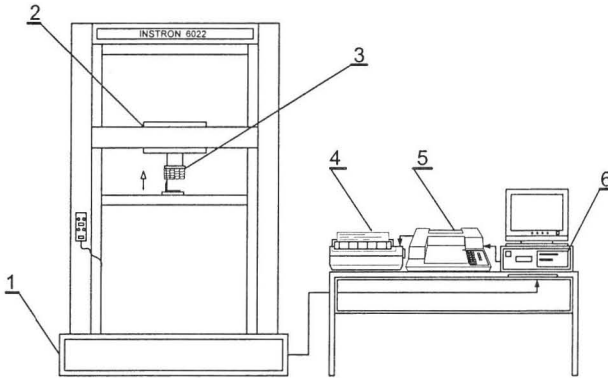
Normy stawiane wobec ziarna kukurydzy cukrowej przeznaczonej dla przetwórstwa [6], obejmują zarówno zagadnienia jakości ziarna, ich kształtu oraz wielkości, a także stopnia dojrzałości ziarniaków decydującego o walorach użytkowych [4,6,10]. Normy te dotyczą również samego procesu cięcia, a właściwie jego skutków. W tym przypadku zwraca się uwagę na równą powierzchnię odcinania, mały udział ziarniaków naderwanych oraz niewielki ubytek masy i składników pokarmowych. Wymagania stawiane wobec procesu cięcia związane są nie tylko z cechami morfologicznymi kolb, ale również ze względu na dużą wilgotność ziarna podczas zbioru, proces ten wymaga odpowiedniego doboru parametrów pracy urządzeń odcinających, wśród których prędkości podajnika kolb i głowicy tnącej oraz geometria ostrzy noży odcinających mają decydujące znaczenie.

W związku z tym celem badań było określenie wpływu geometrii noża na wartość siły i energii cięcia ziarniaków oraz znalezienie zależności między prędkością podawania kolb i głowicy tnącej a ilością masy odcinanego ziarna kukurydzy cukrowej.

## MATERIAŁ I METODY

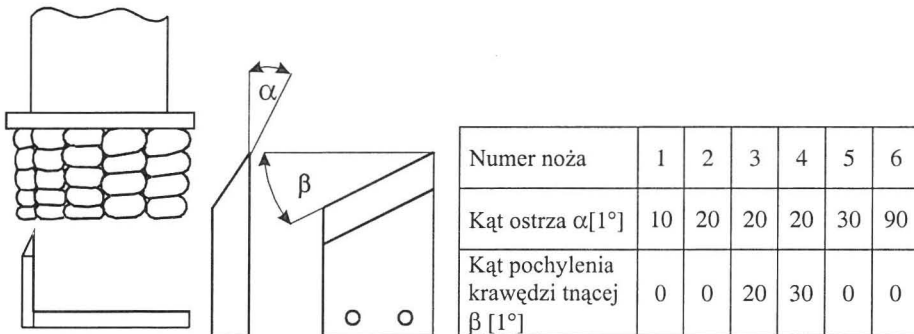
Badania prowadzono na kolbach kukurydzy cukrowej odmiany Helena, uprawianej w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie. Po odeskulkowaniu kolb kukurydzy z liści określano ich cechy geometryczne oraz masę. Do testów ścinania wybrano kolby o prostym kształcie i wyrównanych rzędach ziarniaków. W testach tych wykorzystano próbki w kształcie walca, pochodzące z podziału kolby na trzy części (tj. dolną, środkową i górną). Próbki mocowano tak, aby kierunek przemieszczania się noża był równoległy do osi podłużnej rdzenia, a nóż odcinał tylko jeden rząd ziarniaków. Testy cięcia przeprowadzono dla ziarna kukurydzy o wilgotności 73,2%.

W celu scharakteryzowania procesu odcinania ziarna kukurydzy przeprowadzono quasi-statyczne testy ścinania na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 6022 (Rys. 1) przy prędkości przesuwu głowicy pomiarowej równej  $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Strefa odcinania ziarniaków od rdzeni kolb znajdowała się przy ich podstawie. Do cięcia ziarna użyto sześciu noży o czterech różnych kątach ostrza i trzech kątach pochylenia krawędzi tnącej (Rys. 2).



**Rys. 1.** Schemat stanowiska laboratoryjnego: 1 – maszyna wytrzymałościowa Instron 6022, 2 – głowica pomiarowa, 3 – fragment kolby kukurydzy, 4 – drukarka, 5 – ploter, 6 – komputer.

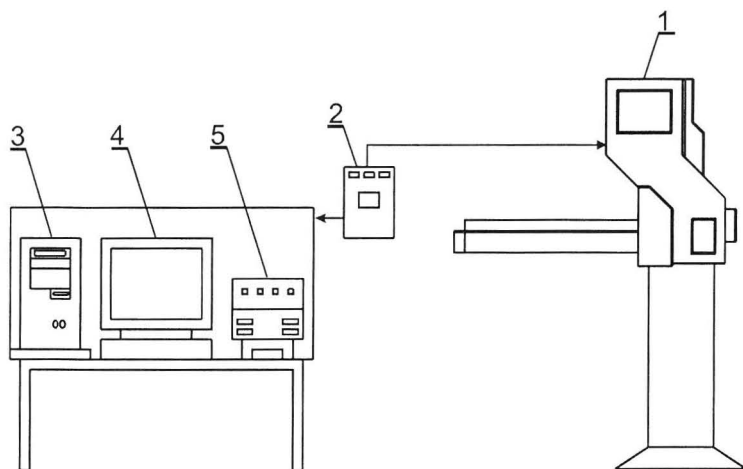
**Fig. 1.** The laboratory measuring set: 1 – universal Instron machine 6022, 2 – load cell, 3 – part of corn-cob, 4 – printer, 5 – plotter, 6 – computer.



**Rys. 2.** Schemat ustawienia noża tnącego oraz badane kąty noży:  $\alpha$  – kąt ostrza noża,  $\beta$  – kąt pochylenia krawędzi tnącej.

**Fig. 2.** The cutting knife positioning and studied angles of knives:  $\alpha$  - angle of keenness,  $\beta$  - inclination of wedge angle.

Badanie wpływu prędkości podawania kolb oraz prędkości obrotowej głowicy tnącej na masę odcinanego ziarna kukurydzy cukrowej przeprowadzono na stanowisku badawczym (Rys. 3), w skład którego wchodziła obcinarka ziarna kukurydzy oraz przetwornica częstotliwości prądu zmiennego z rejestratorem poboru mocy i energii elektrycznej. Podajnik kolb napędzany był silnikiem elektrycznym trójfazowym o mocy 0,65 kW, a głowica tnąca otrzymywała napęd od silnika trójfazowego o mocy 1,1 kW. Zakres prędkości podajnika kolb zmieniano w przedziale  $0,31-0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , prędkość kątową głowicy tnącej regulowano w zakresie od  $100,86 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $235,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .



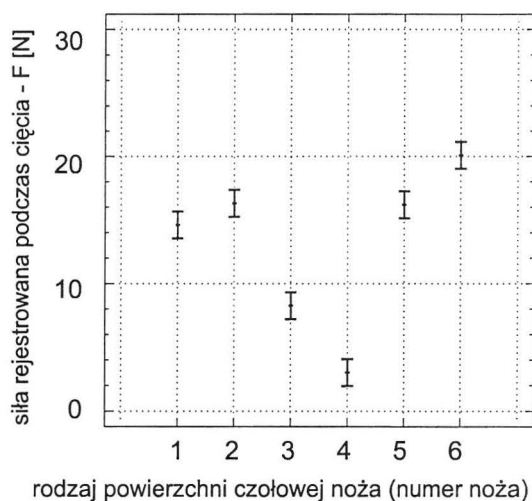
**Rys. 3.** Schemat stanowiska badawczego obcinarki: 1 – obcinarka ziaren kukurydzy, 2 – przetwornica częstotliwości, 3 – rejestrator mocy i energii elektrycznej, 4 – monitor, 5 – komputer

**Fig. 3.** The laboratory set equipped with cutter: 1 – corn kernel cutter, 2 – frequency converter, 3 – electric power and energy recorder, 4 – monitor, 5 – computer

W czasie badań odkoszulkowane kolby transportowane były podajnikiem do głowicy obrotowej z nożami tnącymi. Próby kolb kukurydzy cukrowej podawane procesowi odcinania ziarna od rdzeni liczyły po 5 sztuk. Pomiary wykonywano w trzech powtórzeniach dla każdej kombinacji prędkości podawania kolb i prędkości obrotowej głowicy tnącej. Na podstawie uzyskanych wyników badań otrzymano charakterystyki siły i energii cięcia oraz masy ziarna odcinanej od kolb kukurydzy cukrowej. Wyniki poddano analizie wariancji przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ .

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wartości siły potrzebnej do odcinania ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej przy użyciu badanych noży przedstawiono na Rys. 4. Najwyższą wartość siły odnotowano dla noża (6) o kącie ostrza  $90^{\circ}$  i kącie pochylenia krawędzi tnącej  $0^{\circ}$ . Średnia wartość siły dla tego noża wyniosła 20,1 N. Niższe istotnie statystycznie wartości siły cięcia zarejestrowano dla noży (1, 2 i 5), odpowiednio o kątach ostrza:  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  i  $30^{\circ}$  oraz kącie pochylenia krawędzi tnącej  $0^{\circ}$ . Średnie wartości dla tych noży wahały się od 14,6 N do 16,3 N, lecz wartości te nie różniły się istotnie przy 5% poziomie istotności. Najniższe wartości siły cięcia rejestrowano podczas użycia noży (3) o kącie ostrza  $20^{\circ}$  i kącie pochylenia krawędzi tnącej  $20^{\circ}$  i wyniosły 8,3 N oraz noża (4) o kącie pochylenia krawędzi tnącej  $30^{\circ}$ , dla którego wyniosły 3,0 N. W obu przypadkach wartości te różniły się istotnie statystycznie przy zastosowanym poziomie istotności.

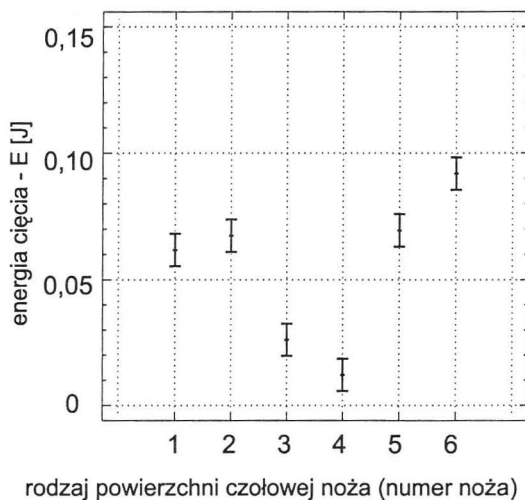


**Rys. 4.** Wartości siły cięcia ziarna kukurydzy cukrowej w zależności od kształtu noży tnących (1-6 – rodzaj i numery noży wymienione na Rys. 2).

**Fig. 4.** The values of grain sugar maize cutting force in relation to the shape of cutting knives (1-6 – type of knives listed on Fig. 2).

Wartość energii cięcia ziarna kukurydzy cukrowej w zależności od geometrii badanych noży tnących przedstawiono na Rys. 5. Uzyskane wartości energii cięcia wahały się od 0,01 J dla noża o kącie ostrza  $20^{\circ}$  i kącie pochylenia krawędzi tnącej  $30^{\circ}$  do 0,09 J dla noża o kącie ostrza  $90^{\circ}$  i kącie pochylenia krawędzi tnącej  $0^{\circ}$ . Dla

pozostałych noży wartości energii cięcia ziarna kukurydzy cukrowej zawierały się w przedziale 0,03 - 0,07 J.

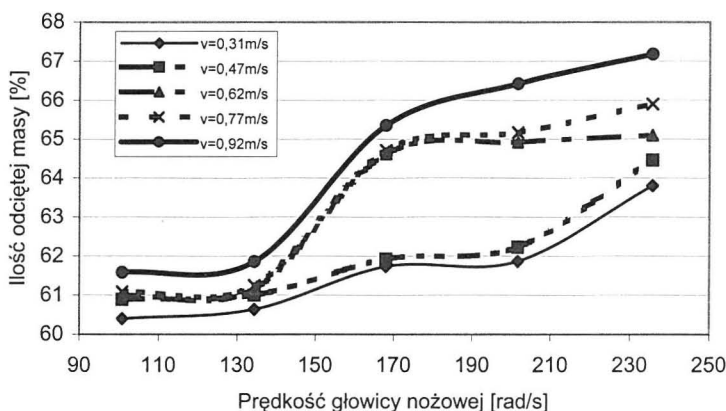


**Rys. 5.** Wartości energii cięcia ziarna kukurydzy cukrowej w zależności od kształtu noży tnących (1-6 – rodzaj i numery noży wymienione na Rys. 2).

**Fig. 5.** The values of grain sugar maize cutting energy in relation to the shape of cutting knives (1-6 – type of knives listed on Fig. 2).

Jak wynika z przeprowadzonych badań wartości siły i energii cięcia ziarna kukurydzy zmieniały się w szerokim zakresie dla poszczególnych typów noży. Zaobserwowano podobne zależności i wpływ geometrii noża na wartość energii cięcia. Dla noży o kącie pochylenia krawędzi tnącej  $0^{\circ}$  otrzymano wyższe wartości energii cięcia, w porównaniu z nożami o kątach pochylenia  $20^{\circ}$  i  $30^{\circ}$ . Natomiast kąt ostrza noży tnących miał mniejszy wpływ na wartość energii cięcia. W porównaniu z nożami o kątach ostrza  $20^{\circ}$  i  $30^{\circ}$ , niższe wartości badanych parametrów uzyskano dla noża o kącie ostrza  $10^{\circ}$ , jednak wartość ta podobnie jak w przypadku siły tnącej nie różniła się przy poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Najwyższe wartości siły i energii cięcia odnotowano dla noża o kącie ostrza  $90^{\circ}$ , czyli noża o płaskiej powierzchni czołowej. Uzyskane wyniki potwierdzają, że modyfikacja ostrza noża w obu płaszczyznach pozwala uzyskać najmniejsze wartości zarówno siły cięcia jak i energii rejestrowanej podczas odcinania ziarna od kolb kukurydzy.

W procesie odcinania ziarna kukurydzy cukrowej od rdzeni kolb zaobserwowano wpływ prędkości podajnika i głowicy z nożami tnącymi na uzyskaną masę. Na Rys. 6 przedstawiono zależności między prędkością podajnika kolb i głowicy nożowej, a ilością odciętej masy ziarna. Przy niższych prędkościach kątowych głowicy nożowej, wynoszących  $100,8-134,4 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , wpływ prędkości podawania kolb na ilość odcinanej masy ziarna był niewielki. W tych warunkach ilość odciętego ziarna stanowiła od 60,4 do 61,9% masy kolb. Natomiast przy wyższych prędkościach głowicy, tj.  $134,4-201,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i prędkościach podawania kolb  $0,31-0,47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , ilość odcinanej masy ziarna wzrosła o około 1%. Z chwilą zwiększenia prędkości głowicy do  $235,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ , przy tej samej prędkości podawania kolb, stwierdzono dalszy wzrost odcinanej masy o blisko 2%.



**Rys. 6.** Wpływ prędkości liniowej podajnika kolb i kątowej głowicy z nożami na masę odciętego ziarna kukurydzy cukrowej ( $0,31-0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – prędkość podajnika kolb).

**Fig. 6.** The influence of the corn-cob conveyor rate and rotary speed of cutting head on the yield of cut-off corn ( $0,31-0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – corn-cob conveyor rate).

Stosowanie wyższych prędkości podawania kolb, tj.  $0,62-0,77 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i prędkości kątowej głowicy w przedziale  $134,4-168,0 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  spowodowało dalszy przyrost odcinanej masy ziarna. W porównaniu do niższych prędkości podawania i odcinania ziarna oddzielana masa zwiększyła się o ponad 3%. Największy przyrost odciętej masy, dochodzący do 6% uzyskiwano dla prędkości podawania kolb  $0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i prędkości kątowej głowicy tnącej –  $235,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Z przeprowadzonych badań nad procesem odcinania ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej wynika, że wyższe parametry pracy obcinarki, czyli większa prędkość obrotowa głowicy oraz prędkość podawania kolb wpływają na wzrost

oddzielanej masy ziarna nawet do 7%. Zależność tę można tłumaczyć większym odkształceniem plastycznym ziarniaków o wysokiej wilgotności, które przy niskich prędkościach podawania kolb oraz głowicy tnącej ulegają większemu zginaniu w trakcie ścinania. Ścinanie zgiętego ziarna powoduje płytsze cięcie po stronie przeciwnej do krawędzi natarcia noża, a tym samym utratę części materiału roślinnego. Przy wyższych prędkościach podawania kolb, a w szczególności większej prędkości obrotowej głowicy proces odcinania ziarna od ich rdzeni jest dokładniejszy. Duży wpływ na ilość odcinanej masy ziarna ma także kształt kolb kukurydzy oraz jego regularność. W przypadku kształtu zbliżonego do walca można uzyskać najwyższe wartości odciętej masy, a proces cięcia staje się bardziej jednorodny.

### WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły zaobserwować, że:

1. Na przebieg procesu cięcia wpływają zarówno parametry geometryczne noży tnących, jak też parametry pracy obcinarki. Parametry te wpływają na wartość siły i energii cięcia ziarna oraz na ilość odcinanej masy ziarna od rdzeni kolb kukurydzy.
2. Wartość siły i energii cięcia ziarna kukurydzy cukrowej zależy od kąta ostrza noża, a w szczególności od kąta pochylenia krawędzi tnącej noża. Najmniejsze wartości siły i energii cięcia uzyskano podczas ścinania nożem o kącie ostrza równym  $20^{\circ}$  i kącie pochylenia krawędzi tnącej równym  $30^{\circ}$ .
3. Prędkość obrotowa głowicy w większym stopniu wpływa na ilość odcinanej masy ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej niż prędkość podawania kolb. Zmiana prędkości podawania kolb od  $0,31$  do  $0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  powoduje przyrost odcinanej masy ziarna w granicach 1-3 %, natomiast zmiana prędkości kątowej głowicy od  $100,8 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  do  $235,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  powoduje przyrost tej masy od 3% do 6%.

### PIŚMIENNICTWO

1. **Figiel A., Frontczak J.:** Opory cięcia ziarna kukurydzy. Inżynieria Rolnicza, 2(22), 49-55, 2001.
2. **Gieroba J., Dreszer K., Niedziółka I.:** Proces mechanicznego oddzielania ziarna od kolb kukurydzy. Post. Nauk Roln., 1, 89-101, 1994.
3. **Kumider J.:** Poszukiwanie wyróżników fizykomechanicznych dojrzałości przetwórczej kukurydzy cukrowej. Przemysł Spożywczy, 7, 247-249, 1995.
4. **Niedziółka I., Szymanek M.:** Wstępne badania właściwości fizycznych ziarna kukurydzy cukrowej. Inżynieria Rolnicza, 13(33), 318-322, 2001.



5. **Niedziółka I., Szymanek M., Rybczyński R.:** Energochłonność procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej. *Inżynieria Rolnicza*, 6(39), 347-352, 2002.
6. Polska Norma PN-R-75377.: Kukurydza cukrowa. Wyd. PKN, Warszawa, 1996.
7. **Robertson G.H., Lazar M.E., Pao F., Hudson J.:** Identification and measurement of the resistance to abscission of intact or unit kernels of sweet corn. *J. Food Sci.*, 44(4), 982-987, 1979.
8. **Waligóra H.:** Aktualny stan produkcji i wykorzystania kukurydzy cukrowej w Polsce. *Kukurydza*, 2(18), 49-50, 2001.
9. **Wong A.D., Juvik J.A., Breeden D.C., Swiader J.M.:** Shrunken sweet corn yield and the chemical components of quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119(4), 747-755, 1994.
10. **Wong A.D., Swiader J.M., Juvik J.A.:** Nitrogen and sulfur fertilization influences aromatic flavour components in shrunken2 sweet corn kernels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(5), 771-777, 1995.

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF CUTTING PROCESS OF THE SWEET CORN KERNEL

*I. Niedziółka<sup>1</sup>, M. Szymanek<sup>1</sup>, R. Rybczyński<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Department of Agricultural Machinery, University of Agriculture, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin  
ignied@hortus.ar.lublin.pl

<sup>2</sup>Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
rryb@demeter.ipan.lublin.pl

**Abstract.** In this paper some methodological aspects of the cut off process of sweet corn kernel were presented. The study concerned on the relationship between shapes of knives and the value of force and energy required for cutting of the kernels, as well as on the influence of cutter settings on the yield of corn obtained at processing. During the study, the moisture content of kernels was 7.2 %. The shearing test of kernels was performed with the Instron machine 6022 using the knives of different angle of keenness and wedge angle inclination. The study over the influence of the corn-cob conveyor rate and rotary speed of cutting head on the yield of cut-off corn were recorded using the special laboratory set equipped with the cutter. The results of study presented herein, showed that both angles of knife and rotary speed of cutting head had significant influence on the energy and cutting force, as well as on the yield of cut-off sweet corn.

**Key words:** sweet corn, corn-cob, kernel, cutting process, mechanical properties.