

ACTA AGROPHYSICA

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE  
ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ  
W ASPEKCIE JEGO MECHANICZNEGO  
ODCINANIA

Mariusz Szymanek, Ignacy Niedziółka  
Bohdan Dobrzański jr

**107**

Instytut Agrofizyki  
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
w Lublinie

Rozprawy i Monografie  
2004(4)

### **Komitet Redakcyjny**

Redaktor Naczelny  
prof. dr hab. Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN

Zastępca Redaktora Naczelnego  
prof. dr hab. Józef Horabik

Sekretarz Redakcji  
Wanda Woźniak

### **Rada Redakcyjna**

Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN - przewodniczący

Ryszard Dębicki	Jerzy Lipiec
Bohdan Dobrzański, jr	Piotr P. Lewicki
Danuta Drozd	Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN
Franciszek Dubert	Edward Niedźwiecki
Tadeusz Filipek	Viliam Novák, Słowacja
Józef Fornal	Josef Pecen, Czechy
Jan Gliński, czł. rzecz. PAN	Tadeusz Przybysz
Grzegorz Józefaciuk	Stanisław Radwan, czł. koresp. PAU
Eugeniusz Kamiński	Jan Sielewiesiuk
Andrzej Kędziora	Witold Stępniewski
Tadeusz Kęsik	Zbigniew Slipek
Krystyna Konstankiewicz	Bogusław Szot
Janusz Laskowski	

### **Opiniował do druku**

prof. dr hab. Józef Kowalczyk

### **Adres redakcji**

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201  
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: [editor@demeter.ipan.lublin.pl](mailto:editor@demeter.ipan.lublin.pl)  
<http://www.ipan.lublin.pl>

Publikacja indeksowana przez  
Polish Scientific Journals Contents – Life Sci. w sieci Internet  
pod adresem <http://www.psjc.icm.edu.pl>

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 3 P06R 101 25  
finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2003-2004

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2004

ISSN 1234-4125

Wydanie I. Nakład 200 egz. Ark. wyd. 6,7  
Skład komputerowy: Mariusz Szymanek, Wanda Woźniak  
Druk: Drukarnia *ALF-GRAF*, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	5
2. STRUKTURA, SKŁAD CHEMICZNY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE KUKURYDZY CUKROWEJ .....	6
3. ANALIZA STANU BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ .....	9
4. METODY ODDZIELANIA ZIARNA OD RDZENI KOLB KUKURYDZY CUKROWEJ .....	18
5. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH I CHEMICZNYCH KOLB I ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ .....	27
6. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA W WARUNKACH QUASI-STATYCZNYCH .....	31
6.1. Test cięcia ziarna .....	34
6.2. Test penetracji ziarna .....	39
6.3. Test ściskania ziarna .....	42
7. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA W WARUNKACH DYNAMICZNYCH .....	45
8. PROCES MECHANICZNEGO ODCINANIA ZIARNA OD RDZENI KOLB .....	48
8.1. Energochłonność procesu cięcia ziarna .....	50
8.2. Wydajność procesu odcinania ziarna .....	57
8.3. Stopień odcięcia masy ziarna .....	60
8.4. Frakcje ziarna .....	63
8.5. Jakość cięcia ziarna .....	64
9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI .....	66
10. PIŚMIENNICTWO .....	69
11. STRESZCZENIE .....	74
12. SUMMARY .....	75

## 1. WSTĘP

Kukurydza cukrowa jest najnowszą wyhodowaną odmianą tego gatunku [112]. Ma geny recesywne, które opóźniają proces przekształcania się cukrów w skrobię [61]. Obecnie stanowi niewielki procent powierzchni uprawianej w naszym kraju (około 3000 ha) [119]. Sprawia to, że często określana jest mianem warzywa, mimo iż należy do rodziny zbóż [118]. Roślina ta staje się jednak coraz bardziej popularna ze względu na walory smakowe i odżywcze ziarna [95,118].

W naszym kraju kukurydza nie ma jeszcze większego znaczenia gospodarczego, ale sytuacja ta systematycznie zmienia się [1]. Wzrasta jej popularność wśród konsumentów, a spożycie wynosi obecnie 0,5 kg na osobę. Dla porównania, w Stanach Zjednoczonych i Europie Zachodniej roczne spożycie wynosi 10-15 kg na osobę [80]. Największe znaczenie gospodarcze kukurydza cukrowa ma w Stanach Zjednoczonych, Francji i Włoszech oraz w Japonii, Australii i na Węgrzech. Stany Zjednoczone i Kanada produkują na potrzeby przetwórstwa około 75% światowej ilości.

Wzrastająca popularność kukurydzy cukrowej w Polsce powoduje, że coraz mniej ziarna importuje się z zagranicy a coraz więcej krajowych zakładów przetwórczych zajmuje się odcinaniem ziarna od rdzeni kolb. Systematycznie wzrasta też powierzchnia upraw tej rośliny. Mimo to popularność uprawy i konsumpcji kukurydzy cukrowej w Polsce jest ciągle za mała. Jedną z przyczyn jest jej sezonowość. Okres użytkowania jako rośliny warzywej jest krótki i zwykle nie przekracza 3 tygodni [116]. Kukurydza cukrowa w Polsce jest rośliną stosunkowo nową, a wzrost jej spożycia uwarunkowany jest nie tylko względami psychologicznymi, ale również znajomością zasad uprawy i wykorzystania [117]. W Europie powierzchnia uprawy kukurydzy cukrowej znacznie wzrosła w ostatnich 10 latach. Uprawa w tych warunkach klimatycznych charakteryzuje się mniejszym plonem, zmiennością kształtu kolb oraz nierównomierną dojrzałością [21].

Ziarno kukurydzy cukrowej pozyskiwane jest na potrzeby konsumpcyjne człowieka w fazie, gdy jest jeszcze niedojrzałe [71]. W odróżnieniu od dojrzałości fizjologicznej takie ziarno charakteryzuje się dużą zawartością wody (powyżej 70%) i nie ma wyodrębnionej tzw. „naturalnej granicy oddzielania”. Miękkie ziarna ściśle przylegają do siebie, jak i do rdzenia kolby. Dynamiczne przemiany chemiczne i fizyczne zachodzące w ziarnie wpływają zarówno na jakość surowca, jak i na proces jego odcinania. Wszystko to powoduje, że klasyczne metody stosowane do omłotu kukurydzy w fazie dojrzałości pełnej nie są przydatne do bezpośredniego oddzielania ziarna kukurydzy cukrowej [52].

Pozyskiwanie ziarna kukurydzy cukrowej na cele przetwórcze poprzez jego odcinanie związane jest z powstawaniem dużych strat ilościowych (masowych) i jakościowych (składników odżywczych i pokarmowych). Do wymagań dotyczących jakości

odcinanego ziarna należy m.in.: gładka powierzchnia cięcia, równa długość odcinanego ziarna, brak uszkodzeń mechanicznych, niewielki ubytek masy oraz składników pokarmowych (zwłaszcza cukrów) oraz brak fragmentów rdzenia.

W zależności od odmiany ziarno odcinane jest od rdzenia kolby tylko w 35-55% [34]. Przyczyny tego stanu wynikają zarówno z właściwości morfologicznych i mechanicznych samej rośliny – kolby jak z parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych maszyn odcinających.

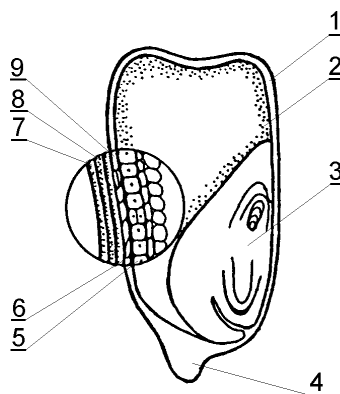
Znajomość właściwości mechanicznych ziarna kukurydzy cukrowej może być cenną informacją zarówno dla hodowców i konstruktorów, jak też dla zakładów przetwórczych. Jest to o tyle ważne, że do upraw polskich wprowadzane są ciągle nowe zagraniczne odmiany mieszańcowe [119]. Właściwości te świadczą nie tylko o przydatności technologicznej ziarna, ale również o wytrzymałości na oddziaływanie maszyn. Zmienność tych właściwości zależna jest od wielu czynników, które nie zawsze dają się określić bezwzględными wartościami.

Wzrastające zainteresowanie tym surowcem hodowców, plantatorów, konsumentów oraz zakładów przetwórczych sprawia, że roślina ta jest obiektem godnym dalszych badań. Ocena wpływu podstawowych właściwości mechanicznych kolb i ziarna na parametry procesu jego mechanicznego odcinania od rdzenia może być istotną wskazówką przy optymalizacji tego procesu, której głównymi kryteriami są jakość surowca oraz energochłonność cięcia. Z tych względów podjęto badania wymienionych zależności i ich wpływu na jakość surowca [76].

## 2. STRUKTURA, SKŁAD CHEMICZNY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE KUKURYDZY CUKROWEJ

Kolby kukurydzy cukrowej będące surowcem dla przetwórstwa muszą odznaczać się jak najwyższą jakością ziarna [54]. Wynika ona nie tylko z właściwości chemicznych i sensorycznych, ale także mechanicznych ziarna. Dlatego też jednocześnie rozpatrywanie tych właściwości wydaje się być jak najbardziej wskazane. Kukurydza cukrowa jest prawdopodobnie mutantem kukurydzy pastewnej [80]. Znaczące różnice związane są raczej z genetyką niż samą strukturą ziarna [120]. Jak podkreślają Salunkhe i Kadam [98] struktura ziarna jest w dużym stopniu uzależniona od modyfikacji genetycznej i dojrzałości.

Ziarno kukurydzy cukrowej składa się z szypułki, okrywy owocowo-nasiennej, zarodka i bielma (rys. 1). Szypułka jest twardą i włóknistą pozostałością tkanki łączącej ziarno z rdzeniem [107]. Podczas odcinania część szypułki pozostaje na ziarnie, co wpływa negatywnie na jego wartość odżywczą [98]. Kształt ziarna opisywany jest jako spłaszczony i klinowaty, o znacznie szerszym wierzchołku niż miejscu osadzenia na rdzeniu.



**Rys. 1.** Schemat przekroju podłużnego ziarna kukurydzy cukrowej: 1 – okrywa owocowo-nasienna, 2 – bielmo, 3 – zarodek, 4 – szypułka, 5 – warstwa aleuronowa, 6 – komórki rurkowate, 7 – owocnia zewnętrzna, 8 – owocnia wewnętrzna, 9 – komórki krzyżowe [98]

**Fig. 1.** Schematic of longitudinal cross section of a sweet corn kernel: 1 – pericarp, 2 – endosperm, 3 – germ, 4 – pedicel, 5 – aleurone layer, 6 – tube cells, 7 – epicarp, 8 – mesocarp, 9 – cross cells [98]

Ziarno osadzone jest głęboko na skróconym pędzie (osadce) tworzącym kolbę i okryte jest cienką okrywą owocowo-nasienną [80,111]. Okrywa ta jest częścią składową tkanki okrywowej i kształtuje zewnętrzną warstwę ziarna. Grubość tej warstwy wyznacza jej delikatność. Cecha ta jest istotna przy określeniu jakości ziarna na cele przetwórcze. W porównaniu z innymi odmianami kukurydza cukrowa charakteryzuje się najmniejszą grubością okrywy owocowo-nasiennej, wynoszącą średnio 25-30  $\mu\text{m}$  [51]. Okrywa ta składa się z jednej warstwy naowocni, w której zagłębieniach znajdują się komórki owocni środkowej. Ponadto składa się z jednej lub dwóch warstw komórek krzyżowych i z jednej lub większej liczby rurkowatych komórek, przylegających do okrywy. Zarodek, skośnie ułożony u podstawy ziarna, jest duży i stanowi około 15% objętości lub 11,5-14% masy ziarna [22]. Wielkość ta jest jednak uzależniona od odmiany i może stanowić 5% masy całego ziarna [86]. Z kolei bielmo jest największą częścią ziarna. W nim zgromadzone są cukry, skrobia i rozpuszczalne w wodzie polisacharydy. W fazie dojrzałości konsumpcyjnej konsystencja ziarniaków jest miękka, delikatna, śmietankowa i o słodkim aromatycznym smaku [80,99].

Okrywa owocowo-nasienna ma kolor od jasnożółtego do pomarańczowego, często także o fioletowym nalocie i z połyskiem. W genotypie kukurydzy cukrowej, oprócz genu *su* (sugary), warunkującego słodkość i delikatność ziarna, odkryto inne geny odpowiedzialne za zwiększenie tej słodkości oraz walorów smakowych

i użytkowych – *se* (sugary enhancement) i gen *sh2* (shrunken 2) [14]. Kombinacje genetyczne genotypów *su* i *sh2* przyczyniły się do uzyskania odmian bardzo słodkich [100]. Kukurydza cukrowa w stanie dojrzałości pełnej ma ziarniaki pomarszczone, wypełnione niemal całkowicie szklistym bielmem, przeważnie białe lub żółte. Substancją zapasową bielma są amylodekstryny, nadające jej słodki smak. Ziarniak ma kształt kulisty, owalny, klinowaty lub kanciasty, gładką lub pomarszczoną powierzchnię i barwę białą, żółtą, czerwoną, względnie brunatną. Otoczony jest okrywą powstałą ze zrośnięcia owocni i łupiny nasiennej, pod którą znajduje się warstwa komórek aleuronowych, bielmo oraz zarodek [22]. Kolba kukurydzy cukrowej przechodzi od okresu pyłkowania do zbioru wiele przemian fizycznych i chemicznych, które w dużym stopniu wpływają na smak i jakość ziarna [62]. Szczególnie zmiany cukrów wpływają na jego smak [110,125].

W zależności od zawartości cukrów wyróżnia się trzy typy odmian kukurydzy cukrowej: odmiany normalnie słodkie, typu *su* (sugary), zawierające 4-6%, o podwyższonej zawartości cukru, typu *se* (sugary enhancement) – 6-8% oraz bardzo słodkie, typu *sh2* (shrunken 2) – 8-12% [119]. Oprócz dużej ilości cukrów, w świeżej masie ziarna znajduje się 2,1-4,5% białka, 3-20% skrobi, 1,1-2,7% tłuszczów, 0,9-1,9% błonnika, 9-12 mg witaminy C, niewielkie ilości witamin A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, PP oraz składniki mineralne, takie jak: sód, potas, magnez, wapń, fosfor, żelazo, selen, miedź, nikiel i chrom [35,66,106]. Skład chemiczny ziarna jest zależny od warunków pogodowych, dojrzałości i sposobu przechowywania [98]. Według danych USDA [48] jego wartość odżywcza wynika z zawartości wody (72,7%) i całkowitego udziału części stałych (27,3%). W skład części stałych wchodzi: węglowodany (81%), proteiny (13%), lipidy (3,5%) i inne (2,5%). Skrobia jest dominującym składnikiem węglowodanów.

Kukurydza cukrowa wykazuje najwyższą wartość odżywczą w fazie dojrzałości mlecznej. Wraz ze stopniem dojrzałości, przy przechodzeniu do okresu dojrzałości woskowej zawartość cukrów maleje, natomiast skrobi wzrasta [72, 105,123]. W 100 g ziarna znajduje się około 3,03 g sacharozy, 0,34 g glukozy i 0,31 g fruktozy. Zawartość sacharozy wzrasta, a cukrów redukujących maleje wraz z osiągnięciem przez ziarno optymalnej dojrzałości [67]. Zawartość protein w ziarnie maleje od zewnątrz do środka ziarna [108]. Udział protein, wolnych kwasów aminowych, rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w wodzie węglowodanów wzrasta do okresu dojrzałości woskowej, a następnie stopniowo maleje [9]. Ilość poszczególnych składników u różnych odmian i w różnych okresach dojrzałości jest zmienna. W porównaniu z innymi zbożami kukurydza cukrowa jest względnie bogata w olej. Około 90% oleju zgromadzona jest w zarodku [69].

Kukurydza cukrowa jest bardziej smaczna niż inne gatunki, dzięki wysokiej zawartości rozpuszczalnych w wodzie polisacharydów. Składnik ten nadaje ziarnu delikatny i śmietankowy charakter. Do najważniejszych składników wpływających na jakość smakową ziarna należą słodkość, tekstura i smak [127].

Słodkość zależy od zawartości cukru, natomiast tekstura od wielu czynników, takich jak: delikatność okrywy owocowo-nasiennej, wilgotność, poziom rozpuszczalnych w wodzie polisacharydów. Smak z kolei jest często kojarzony z zawartością DMS (dwumetylowy siarczek) [89,123,126].

Spadek jakości ziarna związany z utratą smaku i zapachu po zbiorze stanowi problem dla przemysłu przetwórczego. Zanikanie smaku w ziarnie surowym czy mrożonym powodowane jest aktywnością enzymów [24,113]. Świeże ziarno charakteryzuje się niewielkim lub w ogóle brakiem zapachu. Wade [115] podaje, że ścięte ziarno ma trzy charakterystyczne aromaty. Dwa z nich są podobne do aromatu świeżych zielonych warzyw, a trzeci określa jako metanolowy. Wraz z dojrzałością kukurydzy poziom DMS w ziarnie maleje [7], co stanowi poważny problem dla przetwórstwa, ze względu na znaczny spadek smaku przetworzonych produktów [123,127].

Jakość konsumpcyjna świeżej kukurydzy cukrowej zależy w znacznym stopniu od poziomu cukrów i rozpuszczalnych węglowodanów w ziarnie [33]. Jakość ziarna kukurydzy cukrowej może być oznaczona na wiele sposobów. Podstawowym wyróżnikiem ziarna na potrzeby przetwórstwa jest jego wilgotność oraz twardość i smak [77]. Jednym z najważniejszych czynników decydujących o jakości ziarna przeznaczonego dla przetwórstwa jest stosowanie odmian charakteryzujących się wyrównanym okresem dojrzałości. Wpływa to nie tylko na plon odciętego ziarna, ale także na jego walory smakowe. Inne czynniki jakości to kolor, słodkość, delikatność okrywy owocowo-nasiennej [78]. Wraz z dojrzewaniem okrywa ta staje się coraz bardziej twarda [18]. Jakość kukurydzy cukrowej jest skorelowana z zawartością cukrów [72]. Przemiana cukrów w skrobię związana jest także ze spadkiem wilgotności ziarna [29].

### 3. ANALIZA STANU BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ

Nowoczesne technologie zbioru i oddzielania ziarna od rdzeni kolb wymagają posiadania wiedzy o właściwościach mechanicznych kolb i ziarna kukurydzy cukrowej, mających wpływ na optymalizację tych procesów i ograniczanie powstających strat ilościowych i jakościowych [58]. Ziarno jest materiałem o właściwościach lepko-sprężystych, którego wytrzymałość zdeterminowana jest przede wszystkim wpływem czasu, wilgotności i jego budowy anatomicznej [79]. Ustalenie standardowych właściwości mechanicznych jest zagadnieniem złożonym i trudnym, gdyż wymaga zachowania jednolitych warunków badań przy oznaczaniu cech mechanicznych [39]. W badaniach właściwości mechanicznych używa się zazwyczaj maszyn wytrzymałościowych, które umożliwiają zadawanie różnych programów odkształceń. Najczęściej wyniki testu uzyskuje się w postaci zależności naprężenie-odkształcenie [57].



Jednym z ważnych czynników koniecznych do właściwego projektowania maszyn i urządzeń stosowanych w przetwórstwie rolno-spożywczym jest znajomość zależności, opisujących reakcję ciała poddanego obróbce na różne, co do formy i intensywności, oddziaływania zewnętrzne. W wielu maszynach stosowanych w przetwórstwie spożywczym podstawową funkcją elementów roboczych są oddziaływania mechaniczne. Dlatego bardzo ważna jest znajomość własności materiału (surowca, półproduktu), od których zależy wybór charakteru i natężenia tych oddziaływań (własności mechaniczne) [88].

Wielka różnorodność materiałów biologicznych, ich zmienność, anizotropowość, metamorficzność, a czasem niejednorodna budowa powodują fiasko wielu uznanych i sprawdzonych w innych warunkach metod badawczych, aparatury, a także koncepcji teoretycznych [44]. Zbiór własności mechanicznych nie jest uporządkowany i według różnych autorów może liczyć od kilku do ponad dwustu cech. Brytyjski Komitet Normalizacyjny opublikował w 1975 roku normę BS 5168, która zawiera ponad 250 haseł (Słownik terminów reologicznych), z czego prawie połowę stanowią zdefiniowane i dające się mierzyć wskaźniki. Amerykańskie Towarzystwo Badań i Materiałów opublikowało zestaw 187 terminów dotyczących badań własności mechanicznych [27].

Własności fizyczne, a w szczególności własności mechaniczne materiałów biologicznych produkowanych przez rolnictwo są od dawna przedmiotem zainteresowania nauki. Rosnący poziom mechanizacji prac w rolnictwie i przetwórstwie żywności wymagał tego rodzaju wiedzy, niezbędnej konstruktorom tworzącym coraz to bardziej agresywnie działające maszyny i urządzenia, powodujące straty wynikłe z uszkodzeń mechanicznych, sięgające niejednokrotnie kilkudziesięciu procent produkowanego plonu lub materiału wchodzącego do procesu produkcyjnego [46].

Znajomość wszelkich własności mechanicznych materiałów biologicznych jest niezbędna do projektowania procesów technologicznych. Różnorodność badanych własności mechanicznych jest przyporządkowana różnym rodzajom materiałów roślinnych oraz dużej liczbie celów, którym mają służyć uzyskane wyniki. Inne własności i metody ich badań interesują konstruktorów zespołów młóących, inne konstruktorów maszyn czyszczących i sortujących, inne mają znaczenie dla suszarnictwa czy przemysłu przetwórczego [20].

Podobne zależności obserwowane są w badaniach własności mechanicznych ziarna kukurydzy cukrowej, które wyznaczone są pod kątem potrzeb konstruktorów maszyn, urządzeń rolniczych i przetwórczych. W procesach cięcia na przykład obiekt biologiczny zostaje rozdzielony pod wpływem naprężeń tnących, wywołanych przez narzędzie. W pracy maszyn rolniczych mechaniczne własności materiałów roślinnych mają istotne znaczenie. Własności mechaniczne opisują zachowanie się materiałów pod wpływem różnych oddziaływań sił, tj.: ściskania, rozciągania, ścinania, uderzenia. Inne własności, tj.: masa, objętość, tekstura, są ważne dla charakterystyk

opisowych danego produktu [131]. Właściwości mechaniczne takie jak wytrzymałość na ściskanie, uderzenie i ścinanie są ważnymi i w wielu przypadkach niezbędnymi danymi w badaniu strat ziarna zbóż [59], wytrzymałości na pęknięcia w czasie zbioru oraz innych zabiegów [4]. Opór cięcia i siła wiązania są ważnymi właściwościami mechanicznymi w określaniu natury procesów cięcia i zapotrzebowania na energię [5,74].

Właściwości wytrzymałościowe, które opisują zachowanie się materiałów biologicznych w warunkach obciążeń, zależą w głównej mierze od wielkości i kształtu ziarna oraz od jego wewnętrznej struktury i oddziaływań czynników zewnętrznych, tj. wilgotności i temperatury [39]. Szczególnie istotnym czynnikiem kształtującym cechy mechaniczne nasion i ziaren jest ich wilgotność [38,41]. Wilgotność jest podstawowym czynnikiem wpływającym na zmiany wytrzymałości mechanicznej okrywy nasiennej [25]. Ponadto wilgotność jest podstawowym czynnikiem decydującym o charakterze deformacji, jakiej podlegają nasiona pod wpływem obciążeń [26]. Właściwości mechaniczne w wielu pracach badawczych określane są za pomocą testów ściskania w warunkach quasi-statycznych. W testach tych prędkość elementu obciążającego zwykle nie przekracza  $0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jednak w wielu przypadkach mamy do czynienia z obciążeniami dynamicznymi i dużymi prędkościami deformacji [10,11]. Moduł Younga (moduł elastyczności) jest jedną z podstawowych właściwości mechanicznych ziarna. Wyraża zależność pomiędzy naprężeniem i odkształceniem obciążanego ciała. Wartość jego zależy od składu chemicznego i struktury mechanicznej ziarna oraz prędkości deformacji i stopnia obciążenia [65].

Ważną cechą jakościową ziarna kukurydzy cukrowej jest delikatność (miętkość) związana z grubością okrywy owocowo-nasiennej, fazą dojrzałości i genotypem [32]. Grubość okrywy owocowo-nasiennej maleje wraz z dojrzałością. Zmianie tej jednak towarzyszy wzrost twardości [97]. W badaniach Ito i Brewbakera [51] grubość okrywy owocowo-nasiennej w zależności od odmiany wahała się od 36 do 124  $\mu\text{m}$ . Odmiany bardzo słodkie mają cieńszą okrywę owocowo-nasienną niż odmiany normalnie słodkie [50].

Burton [19] wykorzystywał w swoich badaniach testy penetracji do określenia zmian twardości okrywy owocowo-nasiennej w różnym stadium dojrzałości ziarna kukurydzy cukrowej. Jako element obciążający stosował szklany penetrometr walcowy o średnicy 0,5 mm. Pomiar twardości przeprowadzał na okrywie owocowo-nasiennej oddzielonej od ziarna, która była rozciągnięta na szklanej rurce. Stwierdził, że siła przebicia wzrasta wraz ze wzrostem dojrzałości ziarna, co jest wynikiem wzrostu twardości okrywy. Autor ten podaje także, że występuje dość wyraźne zróżnicowanie twardości okrywy ziarna, pochodzącego z różnych części kolby. Ziarno z wierzchołkowej i dolnej części jest bardziej miękkie niż ze środkowej części. Spowodowane to jest najprawdopodobniej zmiennością dojrzewania. Zróżni-

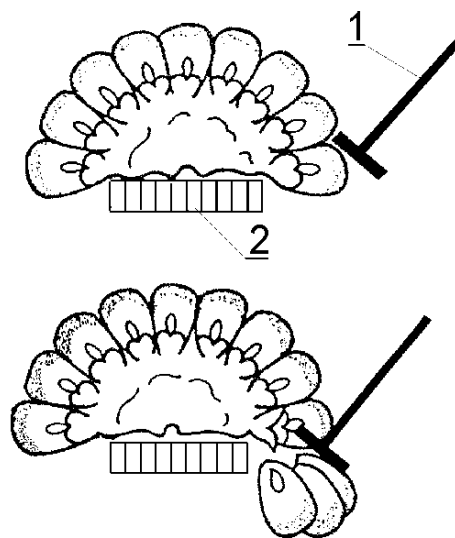
cowanie wyników występowało także na długości ziarna, co jest związane z szybszym spadkiem wilgotności w górnej części niż przy jego podstawie.

Z kolei przedmiotem badań Zoerb'a [131] były pojedyncze, całe i przecięte ziarna kukurydzy pastewnej. Ziarno zostało poddane testom ściskania przy różnych poziomach wilgotności (15,4-23%) i sposobach ułożenia (płasko i na boku) oraz przy zmiennych prędkościach ściskania ( $0,0018-0,018 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Testy były realizowane na specjalnym urządzeniu, składającym się między innymi z przetwornika siły i oscyloskopu, na którym rejestrowano wartości sił. W czasie tego testu określono także energię deformacji i moduł sprężystości dla różnych warunków. Stwierdzono, że największy wpływ na zmianę właściwości mechanicznych ma wilgotność. Wszystkie właściwości wytrzymałościowe maleją wraz ze wzrostem wilgotności. Dla wyższej wilgotności, niezależnie od tego czy badania były prowadzone w warunkach statycznych, czy dynamicznych, zanotowano wyższe wartości energii ściskania. Przy dużej wilgotności występuje z kolei niewielka elastyczność ziarna. Siła wymagana do deformacji ziarna do granicy plastyczności maleje wraz ze wzrostem wilgotności. Oprócz wilgotności, siła ta zależna była istotnie także od sposobu ułożenia ziarna [132].

Robertson i Lazar [91] w swoich badaniach określali siłę wiązania ziarna kukurydzy cukrowej z rdzeniem. Badaniom poddali kolby kukurydzy cukrowej pięciu odmian: Gulden Happiness, Golden Jubilee, Stylepak, Vanguard i Ilini Xtra Sweet. Wilgotność badanego ziarna wahała się od 70,7 do 72,3%. Na rysunku 2 przedstawiono sposób oddzielania ziarna. Dla potrzeb badań, w celu ułatwienia odrywania ziarna, kolby były wzdłużnie rozpołowione. Taką kolbą ręcznie wywierano nacisk na płaską płytę o wymiarach 12x30 mm połączoną z przetwornikiem siły. W celu uniknięcia przebiccia lub pęknięcia ziarna płytę pokryto pianką poliuretanową, a jej ostre krawędzie zaokrąglono. Aby zachować w miarę stały współczynnik tarcia, płytę po każdej próbie osuszano. Nacisk wywierano pod kątem  $45^\circ$  do chwili oderwania się ziaren. Szerokość płyty umożliwiała oderwanie trzech ziaren. Na podstawie badań stwierdzono, że osadka, która stanowi fizjologiczne połączenie ziarna z rdzeniem, jest głównym źródłem oporu. Siła odrywania ziarna w zależności od odmiany i wilgotności wahała się od 2,6 do 3 N.

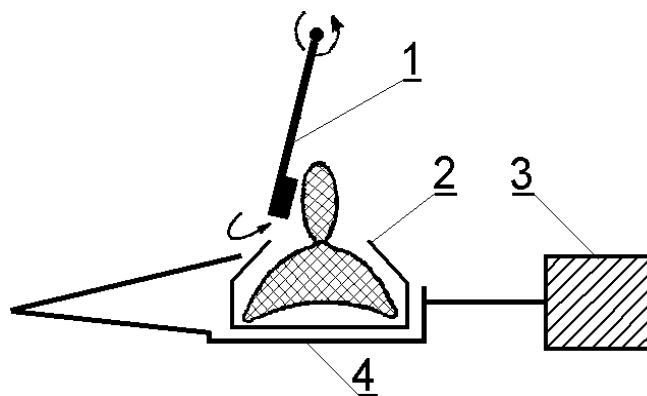
Takie badania wykonano także dla kolb poddanych 5-minutowemu blanszowaniu w parze wodnej o temperaturze  $100^\circ\text{C}$ . Wykazały one średnio 20% spadek siły odrywania w stosunku do poprzednich badań. Ponadto autor ten stwierdził, że blanszowanie powoduje zmianę konsystencji miąższu ziarna, co w późniejszych etapach obróbki ziarna (zwłaszcza płukania) przekłada się na redukcję wycieku soku.

W kolejnym teście badania realizowano dla pojedynczego rzędu ziaren pozostawionego na rozpołowionej wzdłużnie kolbie zamocowanej w uchwycie. Siłę przykładano do jednego ziarna pod kątem  $90^\circ$  do osi, z prędkością  $250 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , na wysokości  $2/3$  od podstawy ziarna (rys. 3).



**Rys. 2.** Sposób oddzielania ziarna od rdzenia kolby kukurydzy cukrowej: 1 – płyta oporowa przetwornika siły, 2 – podstawa [91]

**Fig. 2.** Schematic of sweet corn kernel detach method: 1 – support plate of force transducer, 2 – base [91]



**Rys. 3.** Schemat oddzielania ziarna od rdzenia kolby: 1– element uderzający, 2 – uchwyt, 3 – czujnik siły, 4 – ramię czujnika [90]

**Fig. 3.** Schematic of sweet corn kernel detach: 1– impact body, 2 – holder, 3 – force sensor, 4 – arm of sensor [90]

Przetwornik mierzył siłę odrywania ziarna, która wynosiła od 1,3 do 5 N i siłę tarcia między sąsiednimi ziarnami, która wynosiła od 2,3 do 4 N. Badania te odniesiono do ziaren poddanych blanszowaniu. Podobnie jak w poprzednich badaniach wartości siły uległy znacznym zmniejszeniom wraz z wydłużeniem czasu blanszowania. W przypadku 1 minuty nastąpiło zmniejszenie o 6%, a dla 5 minut nawet o 22%. Autor nie stwierdził znacznego wpływu wilgotności na wartości siły odrywania. Zauważył jednak, że wartość siły zależy od odmiany, a zwłaszcza od zgrubienia okrywy owocowo-nasiennej w dolnej części. Dla odmian, w których odnotowano duże siły zgrubienia to wynosiło 0,032 mm, podczas gdy dla innych, o mniejszych siłach odrywania, wielkość ta wynosiła 0,024 mm.

W kolejnym niezależnym badaniu określono stopień oddzielenia ziarna na laboratoryjnym urządzeniu, które składało się z przenośnika taśmowego o szerokości 15 cm, do którego zespół ludzi przykładał rozpołowione kolby. Przenośnik ten był ciągle suszony, aby utrzymać stały współczynnik tarcia. Oddzielanie realizowano do uzyskania 6-10 kg ziarna. Masę tę odniesiono do całkowitej masy ziarna, na którą składała się masa ziarna oddzielonego i masa pozostawiona na kolbach. Masę tę zważono po zeszkrobaniu jej z kolby. Stopień oddzielania dla trzech badanych odmian wynosił od 89,8 do 92,3%. Zauważono, że różnice te wynikają nie tylko z różnic odmianowych, ale także są zależne od fazy dojrzałości, czyli od spadku wilgotności. Mniejsza wilgotność ziarna wpływa na łatwość oddzielania oraz na ilość oddzielanej masy. W badanym zakresie wilgotności (od 70,2 do 73,2%) zaobserwowano wzrost oddzielanej masy o około 30%. Jakkolwiek autorzy stwierdzają, że fakt ten może być tłumaczony raczej wzrostem twardości okrywy owocowo-nasiennej niż dojrzałością ziarna [45].

Przedmiotem innego badania były kolby kukurydzy cukrowej dwóch odmian: W6786 su1 i IL731 su1 o wilgotności 77,9 i 76,3%. Jego celem było porównanie właściwości sensorycznych (aromat, smak, tekstura), które decydują o wartości odżywczej ziarna. Bezpośrednio po zbiorze badano twardość okrywy owocowo-nasiennej i jędrność bielma ziarna przy użyciu metalowego penetrometru walcowego o średnicy 2,38 mm. Badania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Instron dla prędkości głowicy obciążającej 5 i 50 cm·min<sup>-1</sup> i obciążenia 20 N. Po wykonaniu tych pomiarów kolby poddano blanszowaniu. Oddzielone od kolby ziarna (30 g) poddano testowi ściskania dla prędkości 20 cm·min<sup>-1</sup> i obciążenia 200 N. Stwierdzono, że twardość okrywy owocowo-nasiennej i jędrność bielma świeżych ziaren jest słabo skorelowana z właściwościami sensorycznymi gotowanych ziaren. Jędrność gotowanych ziaren nie była skorelowana z twardością okrywy owocowo-nasiennej i jędrnością bielma świeżych ziaren. Autorzy sugerują, że właściwości tekstury (kruchość, delikatność, soczystość) nie powinny być szacowane na świeżym, ale blanszowanym materiale [8].

W innych badaniach określano jakość ziarna czternastu odmian w dwóch terminach dojrzałości. Pierwsze badania przeprowadzono w 18., a drugie w 22. dniu po kwitnieniu. Jakość ziarna oceniano na podstawie testów penetrometrycznych. Obejmowały one pomiar twardości (przebiecia okrywy owocowo-nasiennej) i jędrności bielma (wniknięcie w głąb ziarna). Badania przeprowadzono na maszynie Instron, przy prędkości głowicy obciążającej  $50 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Do badań stosowano penetrometr metalowy o średnicy 2 mm. Wytrzymałość okrywy owocowo-nasiennej wahała się od 63 do  $110 \text{ g}\cdot\text{mm}^{-2}$  po 18 dniach i od 77 do  $138 \text{ g}\cdot\text{mm}^{-2}$  po 22. dniach. Z kolei jędrność bielma wynosiła od 39 do  $59 \text{ g}\cdot\text{mm}^{-2}$  po 18. dniach i od 40 do  $78 \text{ g}\cdot\text{mm}^{-2}$  po 22. dniach. Wilgotność w 18. dniu wynosiła dla badanych odmian od 73,4 do 77,6 %, a po 22. dniach od 67,1 do 74,4 %. Zauważono także, że masa ziarna w 18. dniu wynosiła od 42 do 49 g, a po 22 dniach od 83 do 172 g. Wzrostowi twardości i jędrności towarzyszył jednak spadek zawartości cukrów od 379 do  $151 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  po 18. i od 348 do  $110 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  po 22. dniach i wzrost suchej masy od 17 do  $193 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  po 18. dniach i od 163 do  $476 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  po 22. dniach [6].

Testy penetrometryczne do określania jędrności stosowali Sprague i Dudley [103]. Stwierdzili, że wartość określająca jędrność ziarna jest w dużym stopniu zależna od rodzaju przyrządu i metody badań. Badania przeprowadzali w dwojaki sposób. Pierwszy sposób polegał na przebijaniu ziarna za pomocą przyrządu, składającego się z metalowej tuby, w której umieszczony był tłok z iglicą i manometru. Siłę przebiecia okrywy owocowo-nasiennej określali poprzez pomiar ciśnienia. Urządzenie to pozwala określać soczystość ziarna na kolbie na polu. Z kolei w drugim sposobie pomiar jędrności przeprowadzali na tenderometrze, który jest inną wersją powyższego urządzenia. W metodzie tej ziarno umieszczali na specjalnej dziurkowanej płycie. Siłę przebiecia określali także przy pomocy manometru. Na podstawie przeprowadzonych badań określili w zależności od deformacji względnej stopnie twardości. Dla deformacji względnej okrywy owocowo-nasiennej powyżej 7% przyjęli oznaczenie – bardzo twarde, od 6 do 7% – twarde, od 5 do 6% – średnio delikatne i od 4 do 5% – delikatne. Przyjmując te kryteria, autorzy stwierdzili, że większość ziarna zbieranego na potrzeby przetwórstwa o wilgotności 70-72% była twarda, co nie jest zbyt pożądane [70].

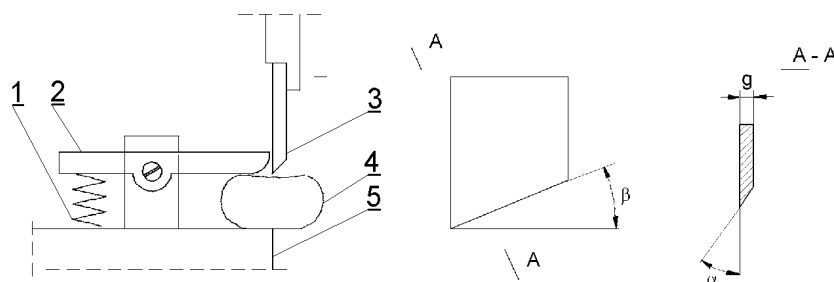
Jindal i inni [53] badali wytrzymałość ziarna kukurydzy pastewnej penetrometrem o średnicy 6,3 mm, poruszającym się z prędkością  $0,5 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Wartości modułu Younga dla przedziału wilgotności od 8,3 do 20,25% wynosiły od 82,7 do 554,7 MPa. Natomiast Burton [19] podaje, że głównym wyróżnikiem w ocenie przydatności ziarna jest jego dojrzałość, która wyznacza stosunek twardości do soczystości ziarna. Z kolei na podstawie przeprowadzonych analiz włókna zauważa on, że ciężar właściwy ma bezpośredni związek z rozróżnianiem ziarna „starego” i „młodego” oraz twardego i soczystego.

Badaniami wytrzymałości okrywy owocowo-nasiennej ziarniaków kukurydzy pastewnej zajmowali się Mosz i Frontczak [75]. Pojedyncze ziarna o wilgotności około 10% poddawali testowi penetrometrycznemu. Zakres wartości sił wynosił od 69,8 do 124,4 N. Frontczak [40] w swoich badaniach określał wytrzymałość okrywy owocowo-nasiennej, bielma i zarodka kukurydzy pastewnej za pomocą wartości naprężeń maksymalnych modułu sprężystości podłużnej. Wielkości te zmieniały się wraz ze wzrostem wilgotności ziarna. Z kolei Hanzelik [47] określał właściwości mechaniczne ziarna kukurydzy pastewnej o różnej wielkości i wilgotności poprzez ściskanie pomiędzy dwiema płytami. Wytrzymałość na ściskanie spadała wraz ze spadkiem wilgotności i wielkości ziarna.

Określanie jakości ziarna na podstawie badań wytrzymałościowych zajmowali się Kramer [60]. Badaniom poddano 5 odmian kukurydzy cukrowej w trzech terminach zbioru. Badania przeprowadzono na ziarnie świeżym i na ziarnie, które przez pewien czas było przechowywane w stanie zamrożonym. Siłę przebicia penetrometrem okrywy owocowo-nasiennej określano na ziarnie pochodzącym ze środkowej części kolby. Na podstawie przeprowadzonych testów przebijania przy prędkości  $0,15 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  i średnicy penetrometru 1,6 mm otrzymano siły dla świeżych ziaren z pierwszego zbioru od 220 do 332 N oraz od 242 do 358 N z drugiego i od 275 do 353 N z trzeciego terminu zbioru. Natomiast dla ziarna odmrożonego uzyskano odpowiednio wartości od 193 do 336 N dla pierwszego, od 189 do 329 N dla drugiego i od 224 do 352 N dla trzeciego. Stwierdzono, że okrywa owocowo-nasienna jest jedyną strukturą ziarna, która wyznacza twardość i wartość siły przebicia penetrometrem. Autorzy sugerują, że może to być przydatne przy obiektywnej ocenie czy ziarno jest świeże, czy mrożone. Ziarno pochodzące z pierwszego terminu zbioru charakteryzowało się cieńszą okrywą owocową i było bardziej miękkie niż ziarno pochodzące z późniejszego zbioru. To, że dojrzewaniu ziarna towarzyszy wzrost twardości okrywy wynika z polimeryzacji węglowodanów. W następstwie tego następuje duży ubytek wody i kurczenie się okrywy.

Za pomocą tenderometru badano twardość ziarna kukurydzy cukrowej odciętego na mechanicznej obcinarce. Badania realizowano na 6. odmianach w 5. terminach. Zauważono, że wraz ze wzrostem dojrzałości wzrasta twardość ziarna. Jednak stopień twardości w poszczególnych fazach dojrzałości jest różny dla różnych odmian. Stwierdzono także, że na twardość mają wpływ również warunki pogodowe [63]. Jednym ze sposobów rozdrabniania ziarna jest jego przecinanie. Stopień rozdrabniania zależy od prędkości elementów roboczych, zróżnicowania wymiarów ziarniaków, prędkości podawania surowca [101]. W swoich badaniach Figiel i Frontczak [37] wyznaczyli wpływ wilgotności i geometrii ostrza na opór i pracę przecinania ziarna kukurydzy o wilgotności 14-30%. Użyli maszyny wytrzymałościowej Instron 5566 z nożem o grubości 1,75 mm i różnej geometrii, tj. o kącie

pochylenia krawędzi tnącej  $0-45^\circ$  i kącie ostrza  $10-90^\circ$  (rys. 4). Prędkość przemieszczania się noża wynosiła  $1,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .



**Rys. 4.** Schemat cięcia ziarna kukurydzy: 1 – sprężyna, 2 – płyta dociskowa, 3 – nóż, 4 – ziarno, 5 – podstawa [37]

**Fig. 4.** Schematic of kernel cutting: 1 – spring, 2 – clamp plate, 3 knife, 4 – kernel, 5 – base [37]

Stwierdzili oni, że zarówno zmiany wilgotności jak i geometrii noża tnącego wpływają istotnie na proces przecinania ziarna. Wzrost wilgotności ziarna od 10 do 30% powoduje zmniejszenie siły przecinania od 50 do 10 N. Najmniejsze opory przecinania uzyskali dla noża o pochyleniu krawędzi tnącej  $30^\circ$ . Z kolei najmniejszą pracę zanotowali dla noża o pochyleniu krawędzi  $40^\circ$  [37].

Energochłonność i opory występujące podczas przecinania ziarna zależą nie tylko od prędkości elementu tnącego, ale także od położenia ziarna względem płaszczyzny cięcia [2]. Wiadomo, że wpływ na jednostkowe opory cięcia wywiera także grubość ostrza [133]. Wraz ze wzrostem grubości ostrza jednostkowe opory cięcia wzrastają. Ostrze noża ulega szybkiemu stępieniu. Przy procesie cięcia roślin łądżowych często stosuje się noże o ostrzach, na których są nacięte ząbki zwiększające opory cięcia i niewymagające systematycznego ostrzenia [81].

W wielu procesach cięcia zmniejszenie oporów realizuje się poprzez zwiększenie do pewnej granicy prędkości wnikania ostrza noża w materiał biologiczny. Tłumaczy się to tym, że w masie roślinnej, przedstawiającej sprężysto-plastyczne ciało, prędkość przenoszenia się naprężeń w głąb warstwy jest niewielka i gdy nóż uderza z dużą prędkością, to naprężenia w materiale koncentrują się w pobliżu ostrza. W rezultacie zmniejsza się grubość zgniatanej ostrzem masy, a wówczas zmniejszają się również opory cięcia [85]. Prędkość noża ma istotny wpływ także na energię cięcia i jednostkowe opory [134]. Jednostkowa energia cięcia jest mniejsza przy prędkości wnikania ostrza noża w roślinę około  $2,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Także naprężenia maksymalne i średnie przy ścinaniu są mniejsze przy prędkości  $2,5-3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



#### 4. METODY ODDZIELANIA ZIARNA OD RDZENI KOLB KUKURYDZY CUKROWEJ

Do oddzielania ziarna kukurydzy cukrowej od rdzeni kolb stosowane są dwie metody, jedna polega na jego odcinaniu, druga na odrywaniu. Proces odcinania, realizowany przy użyciu klasycznych maszyn, opisany jest w wielu pracach [56,64,96]. W pierwszej metodzie odbywa się on poprzez odcinanie ziarna powyżej rdzenia za pomocą noży przemieszczających się wzdłuż obracającej się kolby [31]. W jego wyniku część zarodka oraz część ziarna pozostaje na rdzeniu. Prędkość obrotowa kolby i przesuw wzdłużny noży uzyskiwany jest od silnika elektrycznego. Wadą tej metody jest brak możliwości uzyskania dużych wydajności. Każda kolba musi być starannie zamocowywana w uchwycie i dokładnie ustawiana w stosunku do zespołu noży. Dlatego też urządzenia te nie znalazły szerszego zastosowania w skali przemysłowej.

Inna konstrukcja zapewniała zwiększenie wydajności procesu odcinania. W maszynie tej zastosowano zespół głowic nożowych i układ kopiujący, pozwalający na lepsze dostosowanie się do zmiany średnicy kolby i zapewniający głębsze i bardziej skuteczne odcinanie ziarna. W metodzie tej kolba przemieszcza się wzdłużnie przez obracającą się głowicę nożową. W wyniku obracania się głowicy nożowej z prędkością  $1200 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  na noże zamocowane z pewnym luzem w gnieździe oddziałuje siła odśrodkowa, która ułatwia ich rozchylenie się i dostosowywanie się do średnicy kolby. Wielkość tego rozchylenia ograniczana jest przez układ kopiujący, który składa się z dwóch rolek połączonych dźwigniami z głowicą nożową. Zwiększaniu średnicy kolby towarzyszy zmiana rozchylenia rolek i zmiany położenia noży względem kolby. W maszynie tej zastosowano podwójny zespół głowic nożowych. Pierwsza głowica umożliwia odcinanie ziarna od rdzeni, a druga powoduje zeszkrobywanie pozostałych na rdzeniu części ziaren [69].

W rozwiązaniu Felstehausen'a [36] zastosowano odmienny sposób wprowadzania kolb do zespołu tnącego, który ma także inną budowę. W odróżnieniu od poprzednich rozwiązań maszyna ta nie wymaga kierowania kolb do zespołu tnącego wierzchołkiem, a dowolnym końcem. Ponadto zastosowano w niej odmienny układ noży oraz układ kopiujący, dzięki tej zmianie proces jest bardziej skuteczny i wydajniejszy.

Wiele maszyn zaprojektowano w celu oddzielania niedojrzałego ziarna od rdzeni kolb kukurydzy. Część z tych maszyn doskonalono z myślą zastosowania w przemyśle, dla którego ziarno pozyskiwano na cele konsumpcyjne, bądź w rolnictwie, gdzie ziarno przeznaczano na cele nasienne lub paszowe. Wiele jednak z tych maszyn charakteryzowało się małą skutecznością oraz znacznym uszkodzeniem ziaren. Maszyny te nie były wystarczająco wszechstronne do

użycia w przypadku kolb o zmiennych kształtach i niezbyt dokładnie oddzielały wszystkie ziarna od rdzenia. Stosowane w nich noże nie w pełni dopasowywały się do kształtu kolby. Powodowało to, że jedne ziarna były cięte za wysoko, przez co znaczna ich część pozostawała na rdzeniu, a niektóre w ogóle nie były odcinane. Noże o zakrzywionych ostrzach i dociskane sprężynami do kolby nie rozwiązywały w pełni problemu. Ponadto proces odcinania był pracochłonny i często niebezpieczny dla operatorów [31]. Niedogodności te wymuszały konieczność poszukiwania innych sposobów, zwiększających skuteczność oddzielania, jak i ograniczających straty masowe ziarna [56,71].

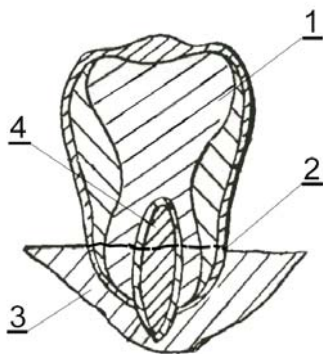
Proces oddzielania ziarna od rdzeni kolb w praktyce odbywa się poprzez odcinanie, dlatego też analiza ta dotyczy w głównej mierze tego procesu. Metody umożliwiające oddzielanie ziarna bez jego cięcia powodują z jednej strony zmniejszenie strat, a z drugiej zwiększenie wydajności [122]. W metodach polegających na odrywaniu ziarna od rdzeni wyróżnia się: oddzielanie ziarna w klasycznych urządzeniach stosowanych do omlotu kukurydzy na ziarno oraz za pomocą specjalnych urządzeń. W przypadku pierwszego sposobu ziarno poddawane jest powierzchniowemu i szybkiemu mrożeniu za pomocą czynnika chłodniczego [23]. Zabieg taki zapewnia zwiększenie i wyrównanie twardości ziarna oraz zwiększenie odległości między ziarnami, co pozwala na jego wyłuskiwanie w tradycyjny sposób [121]. Natomiast w drugim przypadku urządzenie umożliwia oddzielanie ziarna od rdzeni kolb za pomocą szeregu taśm poruszających się na przemian [94]. Przed procesem odrywania ziaren od rdzenia kolby są one wzdłużnie rozpoławiane.

Metoda polegająca na oddzielaniu ziarna zamrożonego w klasycznych maszynach młócących związana jest z dużymi nakładami energetycznymi i finansowymi [24]. Nakłady energetyczne ponoszone są na proces mrożenia, odmrażania i płukania. Zwiększone zapotrzebowanie na energię wynika także z wymiany ciepła z kolbą [82]. Z kolei nakłady finansowe związane są z samym procesem mrożenia, zużycia dużych ilości czynnika chłodzącego i wody niezbędnej do płukania. Ponadto występuje ryzyko zanieczyszczenia ziarna środkiem chłodzącym [130]. Oddzielanie ziarna metodą opisaną przez Robertson'a i Farkasa [94] charakteryzuje duży nakład energii, związany głównie z rozpoławianiem kolb. Wada ta powoduje, że powyższa metoda nie znajduje szerszego zastosowania w praktyce, mimo iż ogranicza straty do minimum. W metodzie tej ziarna oddzielane są w całości. Nie ma przeciętych powierzchni, a więc i wypływu soku. Brak ubytku zarodka, miąższu i soku ziarna powoduje poprawę jego wartości odżywczych. W metodzie tej, w porównaniu z metodą oddzielania ziarna poprzez cięcie, następuje redukcja płynnych składników o około 80% i wzrost wydajności masowej ziarna o 20%. Jak podaje Robertson i Farkas [94] metoda ta może być z powodzeniem stosowana do oddzielania ziarna charakteryzującego się różną dojrzałością, siłą wiązania z rdzeniem oraz długością

i szerokością ziaren. Tym sposobem mogą być one oddzielane od rdzenia w warunkach polowych.

Kukurydza cukrowa jest surowcem, który charakteryzuje się dużym udziałem części niepodlegających przetworzeniu [68]. Części te, na które składają się liście okrywowe, rdzenie i osadki, stanowią 50–60% masy kolby [12,128]. Ziarno stanowiące około 70% odkoszulkowanej kolby jest odcinane tylko w 60-70%. Pozostała na rdzeniu część ziarna nie jest z reguły wykorzystana [15,17,94].

W przemyśle odzysk ziarna wynosi zwykle nie więcej niż 40%. Straty powstają nie tylko podczas odcinania, ale także w następstwie dalszej obróbki ziarna (płukanie, blanszowanie) w czasie jego kontaktu z wodą [90]. Fakt ten po części wynika z niedoskonałości zespołów roboczych, jak i samej natury osadzenia ziarna na rdzeniu. Z rysunku 5 wynika, że dolna część ziarna jest umieszczona w rdzeniu poniżej granicy maksymalnego oddziaływania noży.



**Rys. 5.** Schemat osadzenia ziarna w rdzeniu kolby: 1 – bielmo ziarna, 2 – miejsce odcinania ziarna, 3 – rdzeń kolby, 4 – zarodek ziarna [121]

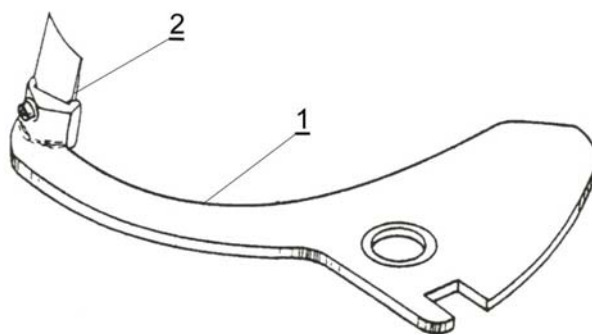
**Fig. 5.** Schematic of kernel location in the cob core: 1 – endosperm, 2 – place of cut surface, 3 – cob core, 4 – germ [121]

Sprawia to, że nie jest możliwe odcięcie części znajdującej się w nim bez ingerencji w twardy rdzeń [91]. Odcinanie ziarna wraz z rdzeniem prowadzi z jednej strony do szybszego zużywania się noży, a z drugiej do niepotrzebnego odcinania zdrewniałych frakcji rdzenia. Frakcje te, niekiedy mocno przylegające do ziarna są trudne do usunięcia [36,71,98]. Z reguły, więc odcinana jest tylko górna część ziarna (około 20-30%). Pozostała część wraz z częścią wartościowego zarodka pozostaje na rdzeniu. Powoduje to zarówno zmniejszenie ilości odcinanej masy ziarna, jak i wartości odżywczej ziarna oraz właściwości smakowych. Ponadto jak podaje Dougherty [28] ziarno oddzielone na granicy rdzenia ma z reguły odkryte bielmo, które jest podatne na wypłukiwanie podczas procesu blanszowania i płukania. Natomiast ziarna odcięte poniżej granicy rdzenia

zawierają niepożądaną zdrewniałą osadkę. Takie ziarno ponadto nie nadaje się do przechowywania w świeżym stanie. Okres przechowywania ogranicza także duża zawartość oleju, głównie w zarodku. Może on być przyczyną powstawania zjełczałego ziarna podczas wydłużonego okresu jego przerobu. Jakkolwiek szczególnie podatne na to zjawisko jest ziarno znajdujące się na kolbie [48]. Niewątpliwie bezpośrednie oddziaływanie noży tnących na ziarno może budzić zastrzeżenia od strony sanitarnej [122]. Mimo licznych wad tej metody w porównaniu z innymi metodami, charakteryzuje się ona stosunkowo niewielkimi nakładami energetycznymi i zapewnia uzyskanie dużych wydajności, sięgających średnio do 160 kolb na minutę, co w skali przemysłowej jest istotną zaletą [91].

Podejmowane są także próby zastosowania innych metod, które powodowałyby oddzielenie całego ziarna, a tym samym ograniczały straty. Jakkolwiek całe ziarno wraz z twardą szypułką, wymaga dodatkowych zabiegów usuwających ją. W celu zwiększenia skuteczności odcinania stosowane są różne zabiegi, które dotyczą zmian w samej maszynie, jak poprawy cech morfologicznych kolb oraz warunków pracy. Zalicza się do nich:

1. Połączenie zabiegu odcinania ziarna z zabiegiem skrobania. Rozwiązanie to jest stosowane w maszynach zaprojektowanych przez Kerr'a [55] i Ralph'a [87] oraz Kessler'a i Harry'ego [56]. Są one wyposażone w podwójne głowice nożowe. Jedna odcina ziarno, natomiast druga o odmiennych nożach zeszkrobuje pozostałe części z kolby. Taka postać ziarna jest przeznaczana na tzw. *style carem*.



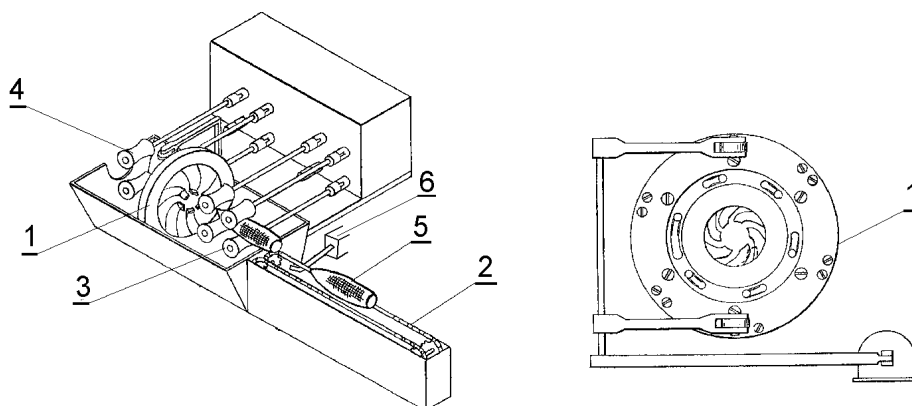
**Rys. 6.** Schemat noża odcinającego ziarno od rdzenia kolby: 1 – część mocująca, 2 – ostrze [71]

**Fig. 6.** Scheme of the knife for cutting-off the kernel from the cob: 1 – fasten part, 2 – edge [71]

2. Stosowanie różnej geometrii noży i układów kopiujących, zapewniających lepsze dopasowywanie się do nierówności kolby. Ralph [87] podaje, że skuteczność odcinania zależy w dużej mierze od czułości układu kopiującego i mechanizmu rozchylania noży. Natomiast Maruska [71] zwraca uwagę na fakt, że równomierność ustawienia noży, jak i geometria ostrza wpływa

w znaczący sposób na ilość i jakość odcinanego ziarna. Zmienność kształtu kolby oraz kontakt noża z twardym rdzeniem przyspiesza jego tępienie, które pogarsza odcinanie ziarna. Ostrzenie powoduje z jednej strony skracanie czynnej długości ostrza, a z drugiej nie pozwala uzyskać jego pierwotnej geometrii ostrza, tak istotnej dla procesu odcinania. W proponowanym przez siebie rozwiązaniu ostrze noży są wymienne i mają mniej skomplikowaną geometrię oraz są cieńsze i bardziej elastyczne (rys. 6). Pozwala to na łatwiejszą ich wymianę i odtworzenie pierwotnej geometrii, której zmiana ma istotny wpływ na cięcie.

Felstehausen [36] uważa, że powyższa modyfikacja noży nie stanowi rozwiązania problemu, gdyż i tak się one szybko tępią, a dodatkowo dochodzi dość często do odłupywania lub pęknięć ostrzy. W następstwie tego dochodzi zarówno do uszkodzania kolby, jak i tępienia noży. Autor dodaje także, że rodzaj noża ma zasadniczy wpływ zarówno na jakość odcinania, jak i na powstające opory cięcia. Fakt ten wynika głównie z nieregularności kształtu kolby. Jej stożkowatość powoduje, że nóż odcina nie tylko ziarno, ale także fragmenty twardszego rdzenia. Wszystko to przekłada się na szybsze tępienie noży i pogorszenie jakości cięcia.



**Rys. 7.** Schemat obcinarki ziarna kukurydzy cukrowej: 1 – głowica nożowa, 2 – podajnik kolb, 3 – rolki układu kopiującego, 4 – rolki układu prowadzenia rdzenia kolb, 5 – kolba, 6 – czujnik siły [96]

**Fig. 7.** The kernel cutter of sweet corn: 1 – cutter head, 2 – cob feeder, 3 – rollers of the copying set, 4 – rollers of the cob feeder, 5 – cob, 6 – force sensor [96]

Kessler i Harry [56] zwracają uwagę, że na precyzję odcinania ziarna i na ilość powstających strat zasadniczy wpływ ma także zestaw rolek transportujących kolby do głowicy nożowej i kopiujących, odpowiedzialnych za właściwe ustawianie w niej noży. Oddziaływanie siły odśrodkowej na noże podczas obrotu głowicy nożowej

zmienia ich pożądaną rozstaw. Następstwem tego jest spływanie głębokości odcinania ziarna. W przedstawionej przez autora modyfikacji układ rolek transportujących i kopiujących jest sterowany silnikiem hydraulicznym. Dzięki temu uzyskano precyzyjne odzwierciedlanie powierzchni kolby przez rolki kopiujące, a przez to lepsze dopasowanie się noży do odcinanej powierzchni. Wpływa to na lepszą skuteczność odcinania ziarna.

W przedstawionym przez Ross'a [96] rozwiązaniu (rys. 7) przemieszczanie się kolb do głowicy nożowej sterowane jest przez czujnik siły. Umożliwia on wstrzymywanie przemieszczania się kolb w przypadku, gdy poprzednia kolba znajduje się jeszcze w głowicy. Zapobiega to zakleszczaniu się kolby w głowicy nożowej i zapewnia skuteczniejsze odcinanie.

3. Blanszowanie kolb przed cięciem i płukaniem. Zabieg ten zmniejsza straty o 50%. Ponadto powoduje zwiększenie sżywności ziarna, a przez to lepsze odcinanie od rdzeni [104]. Blanszowanie na skutek tzw. osadzania skrobi zmniejsza straty płynne ziarna poprzez wypłukiwanie [102]. Na ilość powstających strat płynnych ma wpływ także kolejność stosowania zabiegów płukania i blanszowania przy przetwórstwie ziarna [28]. Zabieg blanszowania przed cięciem i płukaniem w stosunku do blanszowania po cięciu i płukaniu zmniejsza straty o 10-21% [15].
4. Dobór odpowiednich odmian charakteryzujących się cylindrycznym kształtem kolb i wyrównanym ziarnem [119] oraz wprowadzanie odmian modyfikowanych genetycznie [99,129]. Takimi odmianami są odmiany bezłuskowe, które pozwalają na łatwiejsze i głębsze odcinanie ziarna [42].
5. Opóźnianie terminu zbioru kukurydzy. Wiąże to się ze spadkiem wilgotności ziarna i sprzyja łatwiejszemu jego odcinaniu oraz zmniejszeniu ubytków wewnętrznych części ziarna [73].
6. Stosowanie wody w procesie odcinania ziarna. Oddziaływanie strumienia wody na głowicę nożową zmniejsza opory pracy zarówno samych noży, jak i całego procesu odcinania, powodowane dostawaniem się części ziarna do ruchomych elementów roboczych maszyny [114].

Mechaniczne oddzielanie ziarna od rdzeni kolb poprzez cięcie prowadzi do powstawania strat masowych i wartości odżywczych ziarna podczas cięcia, jak i dalszych zabiegach płukania oraz sortowania. W swoich badaniach Robertson i Lazar [92] stosowali różne kombinacje oddzielania i obróbki ziarna. Wyróżnili następujące warianty badawcze:

1. odcinanie ziarna:
  - a) metodą konwencjonalną (cięcie, płukanie, blanszowanie),
  - b) modyfikowaną metodą konwencjonalną (blanszowanie, cięcie, płukanie),
2. odrywanie całych ziaren:

- a) poprzez wiercenie kolby, rozpoławianie wzdłużne kolby, oddziaływanie powierzchni trącej, płukanie, blanszowanie,
- b) metodą modyfikowaną A (wiercenie, blanszowanie, rozpoławianie, oddzielenie, płukanie),
- c) metodą modyfikowaną B (blanszowanie, wiercenie, rozpoławianie, oddzielenie, płukanie).

Metody modyfikowane charakteryzowały się mniejszymi stratami wycieków płynnych o 81-84% podczas płukania w stosunku do metod konwencjonalnych. Także w procesie blanszowania uzyskano mniejsze straty o 48-75%. Wydajność masowa ziarna dla poszczególnych sekwencji jego obróbki była o 20-30% wyższa dla metod oddzielających całe ziarno (2a, b, c). Wydajność zmodyfikowanej metody konwencjonalnej 1b była niższa o 4% od konwencjonalnej 1a. Autorzy sugerują, że mogło to być spowodowane zmniejszoną prędkością odcinania, wynikającą ze zwiększonej twardości ziaren poddanych blanszowaniu. Dla poszczególnych sekwencji masa 100 g ziaren wynosiła: 1a-8,8 g, 1b-7,4 g, 2a-10,4 g, 2b-9,5 g i 2c-9,5 g.

Dokonano klasyfikacji ziarna poddanego cięciu: a) cięcie powyżej zarodka, b) cięcie przez zarodek, oraz odrywaniu, c) całe ziarno pozbawione osadki, d) całe ziarno zawierające szypułkę i e) całe ziarno zawierające szypułkę i osadkę. Wilgotność badanego ziarna wynosiła odpowiednio: 66,0; 68,3; 70,4; 71,0 i 71,6%. Przyjmując ziarno e) jako 100%, otrzymano następujące ilości masowe: a) 33%, b) 66%, c) 97%, d) 98%. Udział włókna wynosił: a) 0,58%, b) 0,66%, c) 0,76%, d) 0,78%, e) 1,1% i azotu: a) 0,64%, b) 0,64%, c) 0,62%, d) 0,56%, e) 0,52%. Im więcej biologicznego materiału związane jest z ziarnem, tym większa jest jego masa i udział włókna. Większy udział włókna w ziarnie może świadczyć o jego większym znaczeniu zdrowotnym [69].

Ziarno o wilgotności 69,7% odcięte w sposób konwencjonalny stanowiło 67% masy, a na kolbie pozostało 33% masy o wilgotności 79,7%. Na podstawie badań porównawczych [90], stwierdzono, że oddzielanie ziarna w całości w stosunku do jego odcinania przyczynia się do redukcji jego strat o 80% przy płukaniu i o 50% przy blanszowaniu. Zauważalny jest także wzrost wydajności masowej o 20%.

Na proces oddzielania ziarna znaczny wpływ ma twardość okrywy owocowonasionnej, która wzrasta wraz ze wzrostem dojrzałości ziarna. Wzrost twardości wymaga użycia większych sił do oddzielenia ziarna od rdzenia kolby. Skuteczność oddzielania wynika także ze struktury wiążącej ziarno z rdzeniem. Struktura jest różna u różnych odmian [60]. Galinat [43] w swoich badaniach stwierdził, że blanszowanie rozpołowionych kolb wpływa na siłę potrzebną do oddzielenia ziaren (o wilgotności 74-76%) od rdzeni. Jej wartość była zależna od czasu blanszowania kolb i zmniejszyła się o 24% przy 30 s, o 33,2% przy 60 s, o 49,1% przy 120 s i o 50,2% przy 180 s.

Czynniki, które osłabiają siły wiązania ziarna z rdzeniem wynikają ze zmian fizykochemicznych, które powodują twardnienie okrywy owocowej i zmianę

konsystencji miąższu na bardziej galaretowatą skrobię oraz osłabienia aktywności enzymów [16]. Dougherty [28] badał kolby powszechnie stosowane w przetwórstwie oraz eksperymentalnie odmiany bezłuskowe, których wilgotność ziarna wynosiła 70-74%. Stosował on następujące metody oddzielania:

- a) odcinanie obcinarką firmy FMC-model 1T 152 normalne cięcie przy rdzeniu,
- b) odcinanie głębokie,
- c) oddzielanie poprzez zastosowanie wydrążania rdzenia,
- d) odrywanie ziarna od rozpołowionych wzdłużnie kolb poprzez tarcie.

Ziarno było poddawane: płukaniu, blanszowaniu i mrożeniu. Wyniki badań przedstawia tabela 1.

**Tabela 1.** Straty ziarna (%), [28]

**Table 1.** Losses of kernel (%), [28]

Zabieg – Treatment	Cięcie normalne Regular cutting	Cięcie głębokie Deeper cutting	Drażenie kolb Cob hollowing	Ocieranie ziarna Kernel friction
Wstępny Preliminary	38	46	46	41
Płukanie – Washing	36	47	50	43
Blanszowanie Blanching	35	44	47	43
Mrożenie – Freezing	32	40	43	39

W tabeli 2 przedstawiono procent ziaren odciętych, całych i fragmentów kolb w ziarnach oddzielonych powyższymi metodami. Głębokość cięcia musi być dokładnie ustalona. W praktyce jest to niemożliwe. Jeżeli cięcie jest za płytkie, to znaczna część ziarna pozostaje na rdzeniu, a podczas kolejnych operacji a zwłaszcza płukania i czyszczenia, traci się dużo skrobi jak i zarodka. Jeżeli cięcie jest za głębokie to wraz z niepożądanymi fragmentami rdzenia kolby, dochodzi też do wyciągania całych ziaren.

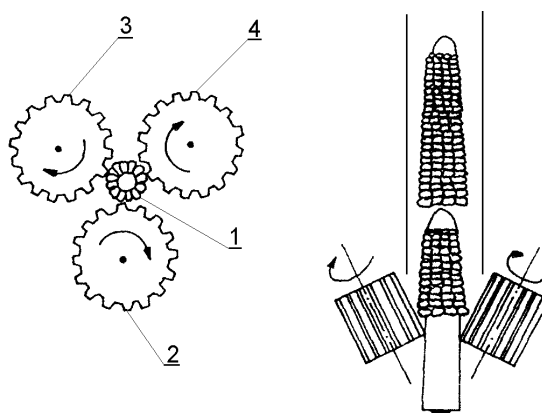
**Tabela 2.** Udział frakcji ziarna kukurydzy dla różnych metod obcinania (%), [28]

**Table 2.** Participation of corn kernel for different cut-off method (%), [28]

Metoda obcinania ziarna Kernel cutting method	Ziarno – Kernel				Części rdzenia Parts of cob
	Nacięte Dent	Całe Whole	Z osadką With seat	Uszkodzone Damaged	
Cięcie normalne Regular cutting	80	12	0	3	6
Cięcie głębokie Deeper cutting	41	37	13	4	4
Drażenie kolb Cob hollowing	22	59	23	1	2
Ocieranie ziarna	0	95	3	1	1



Felczyński i in. [35] zwracają uwagę, że zawartość cukrów w ziarnie pochodzącym z dolnej połowy jest wyższa niż z górnej. Zaobserwowali oni również wyższe zawartości cukrów w ziarnie ściętym głęboko z kolby lub wyłuskany w całości niż ściętym płytko. Dlatego też w procesie technologicznym zaleca się ścinać ziarno możliwie głęboko. Na przedstawionym urządzeniu do odziarniania (rys. 8) badano wpływ prędkości na jakość oddzielanych ziaren.



**Rys. 8.** Schemat stanowiska do rotacyjnego oddzielania ziarna od rdzeni kolb: 1 – kolba kukurydzy, 2 – rolki o średniej prędkości obrotowej, 3 – rolki o wyższej prędkości obrotowej, 4 – rolki o niższej prędkości obrotowej [3]

**Fig. 8.** Schematic of stand for rotational detaching corn from the cob: 1– cob, 2 – medium speed rollers, 3 – high speed rollers, 4 – low speed rollers [3]

Siła powodująca odrywanie ziarna działała stycznie, a odziarnianie rozpoczynało się od jednego końca i spiralnie przesuwało się do następnego. Urządzenie składa się z trzech obracających się w tym samym kierunku, ale z różnymi prędkościami rolek o średnicy 9 cm i długości 10 cm, pochylonych pod kątem 0,35 rad. Powierzchnia rolek była pokryta karbowaną gumą o karbach 1 cm i wysokości 0,5 cm. Zastosowano 4 prędkości obrotowe rolek: 900, 1000, 1100 i 1200 obr·min<sup>-1</sup>. Podczas testów użyto kukurydzę o wilgotności 16, 18, 20, 22 i 24%. Autorzy stwierdzili, że wzrost prędkości rolek powoduje wzrost sprawności oddzielania ziarna, zmniejszenie nakładów energetycznych i zwiększenie wydajności. Ziarno o wilgotności powyżej 20% trudniej się oddzielało, zwłaszcza przy małych prędkościach (mniej niż 700 obr·min<sup>-1</sup>). Przy wyższej wilgotności odziarnianie ziarna o wilgotności (powyżej 20%) proces oddzielania był znacznie powolniejszy niż przy suchej kukurydzy.

Oddzielenie ziarna od rdzeni wymaga przyłożenia pewnej siły, która zależy od metody i musi być tak dobrana, aby powodowała jak najmniejsze uszkodzenia ziarna. Siła ta jest dużo mniejsza, gdy jest przyłożona stycznie do ziarna, niż gdy jest przyłożona promieniowo. Mniejsza siła powoduje mniejsze uszkodzenia ziarna [5]. W kolejnych badaniach [93] 44 kolby kukurydzy cukrowej podzielono na dwie części A i B. Średnia średnica kolb wynosiła 4,41 cm. Kolby z części A, które ważyły 4,17 kg zostały poddane wzdłużnemu wydrążeniu otworów o średnicy 4,75 mm. Masa ich zmniejszyła się do 4,15 kg. Pozostałe 22 kolby rozpołowiono za pomocą kłina. Masa ich wynosiła 4,08 kg. Siłę o wartości 2,45-4,90 N przyłożono ręcznie do każdego ziarna. Rozpoczęto od ziaren skrajnych, które oddzielano w całości. Masa 100 ziaren wynosiła 40,4 g. Część B o masie 4,18 kg była próbą kontrolną. Ziarno z tych kolb odcięto za pomocą maszyny. Tylko górna część ziarna była oddzielona od rdzenia kolby. Masa 100 ziaren wynosiła 32,6 g. Następnie próbę ziaren (2,6 kg) z części A poddano płukaniu w 25 l zimnej wody i w takiej samej ilości wody blanszowano je. Autorzy stwierdzili, że w wodzie po płukaniu i blanszowaniu ziarna odciętego w stosunku do ziarna oddzielonego w całości było o 70% więcej wartościowych składników odżywczych i pokarmowych.

Straty ziarna powstające podczas procesu odcinania, jak i duży udział niewykorzystywanych frakcji kolby (liście, rdzenie, osadki) sprawiają, że w krajach o dużej powierzchni uprawy kukurydzy cukrowej (USA, Francja) łączy się procesy zbioru kolb i odcinania ziarna [30]. Ziarno odcięte stanowi około 25-30% masy całej kolby, rdzeń kolby oraz liście około 70%. Dlatego też, aby nie przewozić z pola do odległych niekiedy zakładów przetwórczych zbędnej masy kolb (70-75%), stosuje się kombajny do jednoczesnego zbioru i odziarniania [49,124].

##### 5. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH I CHEMICZNYCH KOLB I ZIARNA KUKURYDZY CUKROWEJ

Materiałem wyjściowym do badań były kolby kukurydzy cukrowej jednej odmiany normalnie słodkiej (Jubilee) i dwóch super słodkich (Helena, Candle). Kolby kukurydzy cukrowej odmiany Jubilee i Helena pochodziły z plantacji Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin (IHAR) w Radzikowie k. Warszawy, a odmiana Candle z prywatnego gospodarstwa rolnego z Zajezerza k. Dębłina. Plantacje kukurydzy cukrowej prowadzone były zgodnie z zasadami poprawnej agrotechniki uprawy. O wyborze poszczególnych odmian zdecydował duży ich udział w strukturze zasiewów na potrzeby przetwórstwa owocowo-warzywnego, wysoka wartość technologiczna, a także obecność w rejestrze nowych odmian. Dobór odmian do badań konsultowano także z IHAR. Odmiany te, oprócz stosunkowo wysokiej wartości technologicznej, charakteryzowały się dużymi, równymi i cylindrycznymi kolbami oraz równymi rzędami ziaren.

Kolby przeznaczone do badań uzyskano w wyniku ręcznego zbioru w okresie dojrzałości przetwórczej (dojrzałość późno-mleczna). W stadium tej dojrzałości ziarno zawiera najwięcej składników pokarmowych, jest błyszczące, a ponadto charakteryzuje się ułatwionym oddzielaniem od rdzenia kolby [13,84,116]. Ze względu na duże odległości plantacji od miejsca badań zebrane kolby przechowywano w liściach okrywowych i workach, w chłodni o stałej wilgotności i temperaturze. Do badań wybierano po odkoszulkowaniu kolby zdrowe, o charakterystycznych dla danej odmiany wymiarach i kształtach. Zwracano także uwagę na to, aby ich powierzchnie nie były zaatakowane przez szkodniki i choroby oraz cechowały je wysoki stopień zaziarnienia i prostoliniowość. Kształt kolb i jakość ziarna kukurydzy cukrowej mogą mieć istotny wpływ na wyniki badań, dlatego też wybrano kolby o zbliżonych dla danych odmian charakterystycznych wymiarach.

Ze względu na fakt, że badania prowadzono na różnych stanowiskach pomiarowych, przygotowywane próbki kolb dostosowywano do ich wymogów. Niezbędną liczbę pomiarów  $N$  określono na podstawie wstępnej liczby pomiarów  $n$  według zależności podanej przez Telejkę [109]:

$$N \geq \frac{t_{n,\alpha}^2 \cdot S_x^2}{\delta^2} \quad (1)$$

gdzie:

- $t_{n,\alpha}$  – wartość krytyczna rozkładu  $t$  Studenta, odczytana dla  $n$  pomiarów i poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ ,
- $S_x$  – odchylenie standardowe,
- $\delta$  – wymagana dokładność.

Dla każdej odmiany określono właściwości:

- fizyczne, tj. wilgotność względną, długość i masę kolby bez liści, średnicę kolby, liczbę rzędów ziaren i ziaren w rzędzie, wydajność biologiczną, masę 1000 ziaren, średnią długość ziarna w kolbie oraz gęstość usypową w stanie spoczynku, przy zbliżonym poziomie wilgotności wynoszącym około 72%,
- chemiczne, tj.: całkowitą zawartość cukrów, zawartość sacharozy, cukrów redukujących i skrobi.

Wydajność biologiczną określono według wzoru:

$$W_b = \frac{m_k - m_r}{m_k} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

gdzie:

- $m_k$  – masa kolby bez liści okrywowych (g),

$m_r$  – masa rdzenia (g).

Masę kolby i oddzielone ręcznie od rdzenia kolby ziarno ważono na wadze WPE 2000p. Wydajność biologiczną określano w podobny sposób jak udział ziarna w masie kolby. Różnica polegała jedynie na odcięciu od ziarna twardej, włóknistej szypułki, która ze względu na niską wartość odżywczą nie powinna być brana pod uwagę przy określaniu strat masowych ziarna. Udział ziarna w masie kolby danej odmiany określono na podstawie średniej wartości uzyskanej z pomiarów 30 kolb.

Wilgotność względną ziarna określono metodą wagowo-suszarkową zgodnie z PN-ISO 6540 [83]. Próbkę wilgotnego ziarna (100 g) odważano na wadze analitycznej WPE 2000p, a następnie suszono w suszarce typu K, w temperaturze 130°C, aż do osiągnięcia stałej masy. Pomiar wilgotności przeprowadzono w 3 powtórzeniach. Wilgotność określano według następującego wzoru:

$$W = \frac{m_o - m_1}{m_o} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3)$$

gdzie:

$m_o$  – masa ziarna przed suszeniem (g),

$m_1$  – masa ziarna po suszeniu (g).

Gęstość usypową ziarna określono zgodnie z normą PN-73/R-74007 przez swobodne nasypywanie ziarna z leja zasypowego z wysokości 100 mm do naczynia pomiarowego o objętości 0,5 dm<sup>3</sup>. Po wypełnieniu naczynia i zgarnięciu nadmiaru materiału całość ważono na wadze WPE 2000p. Pomiar wykonano w 3 powtórzeniach.

Gęstość usypową ziarna obliczano ze wzoru:

$$\rho = \frac{m_z - m_n}{V_n} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (4)$$

gdzie:

$m_z$  – masa naczynia pomiarowego wraz z masą ziarna (kg),

$m_n$  – masa naczynia pomiarowego (kg),

$V_n$  – objętość naczynia pomiarowego (m<sup>3</sup>).

Określenie masy 1000 ziaren wykonano zgodnie z PN-68/R-74017. Wybrane losowo 1000 ziaren ważono na wadze WPE 2000p. Pomiar masy 1000 ziaren przeprowadzono w 3 powtórzeniach. Pozostałe wymiary tj.: długość i średnicę kolb określono przymiarem liniowym i suwmiarką. Średnicę kolby mierzono w połowie jej długości, natomiast masę kolby określano przy użyciu wagi WPE 2000p. Wielkości te dla danej odmiany określono na podstawie średniej wartości uzyskanej

z pomiarów 30 kolb. Pomiar zawartości wszystkich cukrów wykonywano metodą DNS, po wcześniejszej hydrolizie kwasowej zgodnie z PN-EN ISO 10520:2002. Cukry redukujące oznaczono przed hydrolizą metodą DNS. Zawartość skrobi określano poprzez różnicę między zawartością wszystkich cukrów a zawartością cukrów rozpuszczalnych w alkoholu etylowym (40% vol/vol) według PN-EN ISO 10520:2002. Zawartość sacharozy określano poprzez różnicę między zawartością cukrów rozpuszczalnych w alkoholu etylowym a zawartością cukrów redukujących.

Podczas oznaczania zawartości cukrów redukujących metodą DNS do próbki dodano 0,5 cm<sup>3</sup> badanego roztworu i 1,5 cm<sup>3</sup> kwasu 3-5-dwunitrosalicylowego (DNS), a następnie gotowano przez 5 minut we wrzącej łaźni wodnej. Po ostudzeniu dodano 6 cm<sup>3</sup> wody destylowanej do ogólnej objętości 8 cm<sup>3</sup> i odczytano ekstynkcję próbki wobec próby odczynnikowej, przy długości fali  $\lambda = 550$  nm. Wyniki pomiaru ekstynkcji odniesiono do krzywej wzorcowej. Oznaczanie zawartości cukrów i skrobi przeprowadzono w odniesieniu do suchej masy ziarna. W celu określenia rozkładu zawartości cukrów w ziarnie, dokonano jego podziału na trzy części: 1 – dolna, 2 – środkowa, 3 – górna. Pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach na 100 gramowych próbkach.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że zarówno właściwości fizyczne (tab. 3), jak i chemiczne (tab. 4) są istotnie zróżnicowane. Względnie wysoka wydajność biologiczna badanych odmian jest cechą odmianową kukurydzy cukrowej uprawianej na potrzeby przetwórcze.

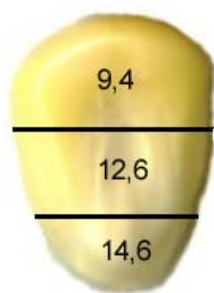
**Tabela 3.** Właściwości fizyczne kolb i ziarna kukurydzy cukrowej  
**Table 3.** Physical properties of cob and kernel of sweet corn

Właściwości fizyczne Physical properties	Odmiana – Variety					
	Jubilee		Candle		Helena	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Masa kolby – Cob mass, (g)	321,5	320,5	326,2	332,1	347,3	363,6
Długość kolby – Cob length, (cm)	19,5	21,4	21,3	19,8	22,5	21,7
Średnica kolby – Cob diameter, (cm)	4,7	5,4	4,7	4,9	4,8	4,7
Wydajność biologiczna, (%)	70,1	70,5	69,8	71,0	67,4	69,8
Gęstość usyp. – Bulk dens. (kg·m <sup>-3</sup> )	648,7	617,2	657,4	612,2	601,2	575,5
Wilgotność – Moisture, (%)	73,5	72,4	73,5	76,4	74,8	76,7
Średnia liczba ziaren w rzędzie Approx. number of kernel in row	29,6	28,4	38,4	36,4	39,5	36,2
Średnia liczba rzędów Number of row	15,2	15,3	12,6	14,2	16,8	14,5

**Tabela 4.** Właściwości chemiczne ziarna ( $\text{g}\cdot 100 \text{ g s.m}^{-1}$ )  
**Table 4.** Chemical properties of kernel ( $\text{g } 100 \text{ g d.m}^{-1}$ )

Właściwości chemiczne Chemical properties	Odmiana – Variety		
	Jubilee	Candle	Helena
Cukry redukujące – Sugar contents	10,7	13,6	9,4
Sacharoza – Saccharose	15,6	3,8	8,0
Skrobia – Starch	6,9	10,3	14,6

Dolna część ziarna (rys. 9), która w procesie przetwórczym zwykle nie jest odcinana od rdzenia kolby, charakteryzuje się stosunkowo największą zawartością cukrów.



**Rys. 9.** Zawartość cukrów w ziarnie ( $\text{g}\cdot 100 \text{ g s.m}^{-1}$ )

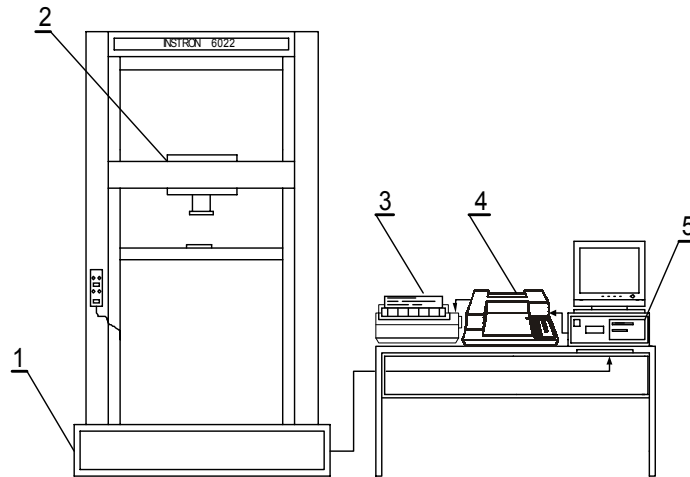
**Fig. 9.** Sugary content in kernel ( $\text{g}100 \text{ g d.m}^{-1}$ )

## 6. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA W WARUNKACH QUASI-STATYCZNYCH

Na rysunku 10 przedstawiono schemat stanowiska pomiarowego, składającego się z maszyny wytrzymałościowej Instron 6022 i aparatury sterująco-pomiarowej. W tabeli 5 przedstawiono ogólną charakterystykę warunków pracy maszyny oraz rodzaj użytego elementu obciążającego i zakres pomiarowy.

**Tabela 5.** Parametry pracy maszyny wytrzymałościowej  
**Table 5.** The parameters of universal testing machine

Rodzaj Testu Test type	Dopuszczalne obciążenie Load capacity (N)	element obciążający loading tool	Prędkość przesuwu głowicy Velocity rate of head, ( $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Zakres przemieszczenia displacement range (mm)
Cięcie – Shearing	200	Nóż –Knife	50	20
Penetracja Penetration	100	Penetrometr Plunger	50	10
Ściskanie Compression	100	Płytką – Plate	50	3



**Rys. 10.** Schemat stanowiska laboratoryjnego: 1 – maszyna wytrzymałościowa Instron 6022, 2 – głowica pomiarowa, 3 – drukarka, 4 – ploter, 5 – komputer

**Fig. 10.** Schematic of laboratory stand: 1 – universal testing machine Instron 6022, 2 – measuring head, 3 – printer, 4 – plotter, 5 – computer

W celu określenia zmienności rozkładu obserwowanych właściwości mechanicznych w ziarnie kukurydzy cukrowej badania przeprowadzono w czterech pozycjach pomiarowych na długości kolby (rys. 11) oraz w trzech na długości ziarna (rys. 12). Podział materiału badawczego na pozycje pomiarowe wynikał z przyjętej metodyki badań. Ustalenie standardowych właściwości mechanicznych materiałów, metodami stosowanymi w mechanice materiałów konstrukcyjnych, wymaga zapewnienia jednolitego materiału badawczego i dokładnego określenia wymiarów próbek.

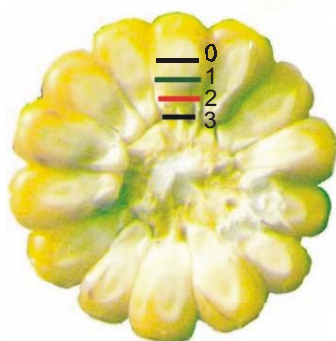


**Rys. 11.** Podział kolby na pozycje pomiarowe

**Fig. 11.** Cob partition on measuring position

Istotne zróżnicowanie wytrzymałości na ściskanie ziarna badanych odmian wykazano rejestrując siłę do momentu uszkodzenia okrywy. Ze względu na budowę morfologiczną kolb i ziarna zdecydowano się podzielić kolbę i ziarno na pozycje

pomiarowe. Przy takim podziale różniły się one wtedy kształtem i strukturą wewnętrzną. Umożliwiło to, zbadanie (w obszarze całej długości kolby i ziarna) rozkładu zmienności badanych wielkości. W procesie mechanicznego odcinania ziarna od kolb właściwości mechaniczne decydują o jakości odciętego ziarna i wielkości nakładów energetycznych.



**Rys. 12.** Pozycje pomiarowe w testach penetracji i ciecienia ziarna. 1, 2, 3 – głębokość pracy narzędzia g (mm) – odległość od środka ziarna (0) do osi kolby  
**Fig. 12.** Measuring positions at penetration and shearing test. 1, 2, 3 – movement deepness of tool g (mm) – distance from the middle spot of kernel (0) to the cob axis

Ocenę ziarna kukurydzy cukrowej, jak i określenie jego właściwości mechanicznych przeprowadzano za pomocą testów wytrzymałościowych na maszynie wytrzymałościowej Instron 6022. Umożliwiło to uzyskanie dużej dokładności pomiarów i zdejmowanie charakterystyk siła-odkształcenie.

Na podstawie przeprowadzanych testów określano wielkości dotyczące:

- siły odpowiadającej granicy wytrzymałości mechanicznej tkanki,
- przemieszczenia (deformacji) odpowiadającej tej sile,
- modułu sprężystości wyznaczonego w zakresie deformacji sprężystej z krzywej siła-odkształcenie poniżej granicy proporcjonalności (płynności biologicznej),
- energii deformacji.

W zależności od wykonywanego testu stosowano odpowiednie elementy obciążające (nóż, penetrometr, tarcze) wraz ze specjalnym oprzyrządowaniem. Ponieważ sposób mocowania i ułożenia próbki miał duży wpływ na wielkość wyników, dlatego też zwracano uwagę, aby kierunek przemieszczania się elementu obciążającego oraz miejsce jego przyłożenia w badanych próbkach były jednakowe. W pomiarach właściwości mechanicznych stosowano również standardowe procedury opracowane przez producenta maszyny wytrzymałościowej Instron. Pomiary przeprowadzano w 30 powtórzeniach.

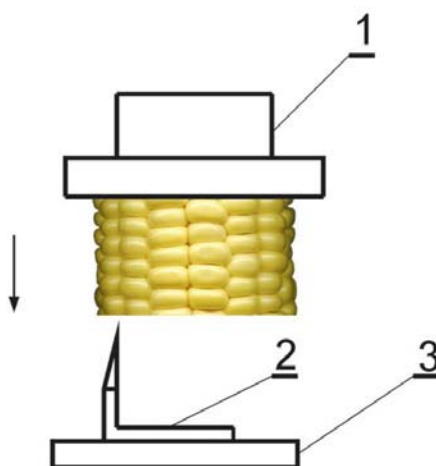
Wyniki analizy statystycznej dla testów cięcia, penetracji i ściskania ziarna w warunkach quasi-statycznych przedstawiono dla odmiany Helena badanej w roku 2002 oraz dla prędkości przesuwu głowicy pomiarowej  $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  i jej obciążenia 200 N w przypadku testu cięcia oraz 100 N w testach penetracji i ściskania. Cięcie



i penetrację ziarna na jego długości oraz ściskanie przeprowadzono dla ziarna pochodzącego ze środkowej części kolby (pozycja pomiarowa 2). W celu stwierdzenia istotności różnic między średnimi wartościami pomiarów a pozycją pomiarową przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji oraz test Tukey'a dla  $\alpha = 0,05$ . Z kolei stopień, w jakim zmienne są ze sobą powiązane określano analizą regresji.

### 6.1. Test cięcia ziarna

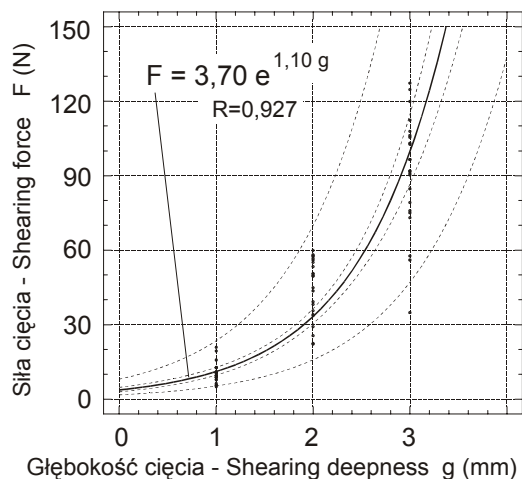
Do cięcia ziarna wykorzystywano nóż pochodzący z maszyny do odcinania ziarna. Na rysunku 13 przedstawiono sposób mocowania i odcinania ziarna.



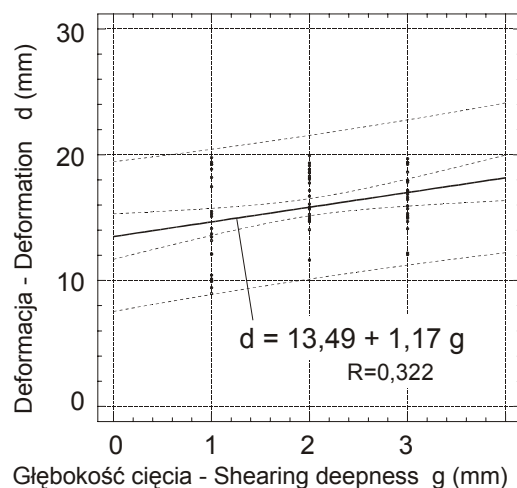
**Rys. 13.** Sposób odcinania ziarna kukurydzy: 1 – głowica pomiarowa, 2 – nóż, 3 – podstawa  
**Fig. 13.** The kernel cut-off method of the sweet corn: 1 – head measuring, 2 – knife, 3 – base

Do ruchomej głowicy obciążającej mocowano odcinki kolb w ten sposób, aby podczas odcinania ziarna nóż był usytuowany równoległe do osi rdzenia. Pomiaru prowadzono do momentu przesuwu głowicy obciążającej o zadaną wielkość. W czasie takiego przesuwu odcinano od 2 do 3 ziaren. Przebieg wielkości sił i odkształceń był rejestrowany i zapisywany w pamięci komputera.

Testy wielokrotnych porównań metodą Tukey'a wykazały, że średnie wartości siły cięcia są istotnie zróżnicowane na długości ziarna. Wynosiły odpowiednio: w pozycji pomiarowej 1-12,36 N, w 2-42,84 N i w 3-92,47 N (rys. 14). Wpływ miejsca odcinania ziarna (pozycji pomiarowej) na przebieg siły cięcia opisuje silnie dodatnia zależność wykładnicza.

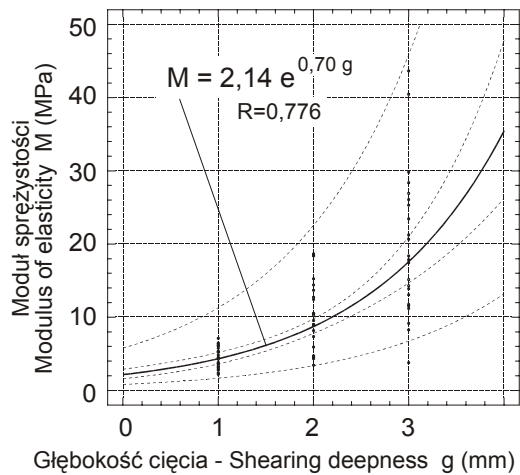


**Rys. 14.** Siła cięcia dla różnych głębokości pracy noża (wg. rys. 12)  
**Fig. 14.** The shearing force for different deepness of cutting tool (according to fig. 12)



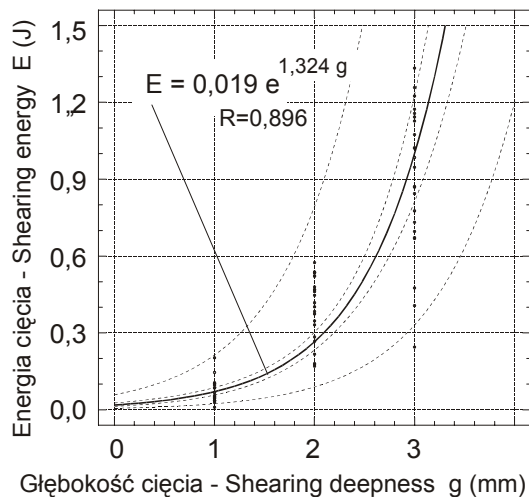
**Rys. 15.** Deformacja dla różnych głębokości pracy noża (wg. rys. 12)  
**Fig. 15.** Deformation for different deepness of cutting tool (according to fig. 12)

Średnie wartości deformacji względnej (rys. 15) zawierały się w przedziale od 13,23 do 19,31 mm. Test Tukey'a wykazał, że między średnimi wartościami występuje znaczne zróżnicowanie. Przebieg zmian wartości deformacji w funkcji pozycji pomiarowej został wyrażony funkcją liniową. Z kolei moduł sprężystości wyrażony został zależnością wykładniczą. Średnie wartości modułu sprężystości zawierały się w zakresie od 4,45 do 19,62 MPa (rys. 16).



**Rys. 16.** Przebieg modułu sprężystości dla różnych głębokości pracy noża (wg. rys. 12)  
**Fig. 16.** Modulus of elasticity for different deepness of cutting tool (according to fig. 12)

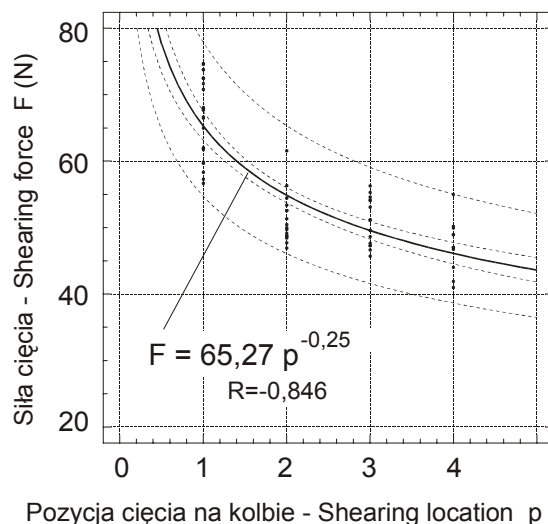
Analiza wariancji oraz test Tukey'a przeprowadzone dla energii cięcia wykazały, że podobnie jak dla siły, deformacji i modułu sprężystości, wartości jej są istotnie zróżnicowane w poszczególnych pozycjach pomiarowych. Średnie jej wartości zawierały się od 0,17 J w górnej części ziarna (pozycja pomiarowa 2) do 0,91 J w dolnej części ziarna (pozycja pomiarowa 1) (rys. 17).



**Rys. 17.** Przebieg energii cięcia dla różnych głębokości pracy noża (wg. rys. 12)  
**Fig. 17.** Cut energy for different deepness of cutting tool (according to fig. 12)

Wyniki analizy wariancji, jak i testu Tukey'a dla średnich wartości siły, deformacji względnej, modułu sprężystości i energii cięcia ziarna odcinanego w różnych miejscach (pozycjach pomiarowych) na długości kolby, wykazały, że wartości siły i energii cięcia w środkowej części kolby, oznaczonej jako pozycja pomiarowa 2 i 3 nie są zróżnicowane statystycznie. Znaczące różnice są zauważalne z kolei pomiędzy skrajnymi częściami kolby. Szczególnie wysokimi wartościami charakteryzuje się ziarno pochodzące z dolnej części kolby (pozycja pomiarowa 1).

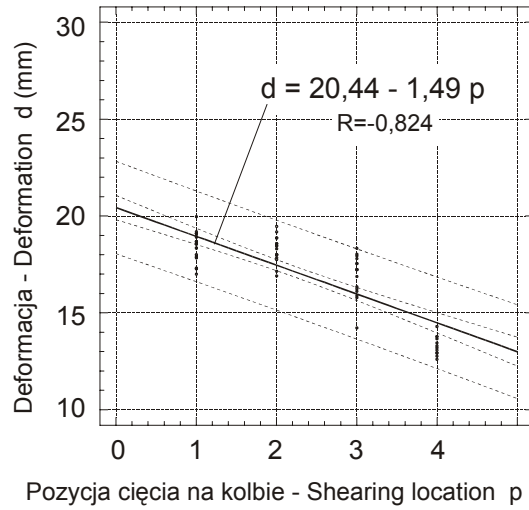
Średnie wartości badanych wielkości zawierały się od 46,82 N (pozycja pomiarowa 4) do 74,31 N (pozycja pomiarowa 1) dla siły cięcia (rys. 18), od 13,23 do 19,31 mm dla deformacji względnej (rys. 19), od 4,25 do 6,04 MPa dla modułu sprężystości (rys. 20) i od 0,44 do 0,60 J dla energii cięcia (rys. 21).



**Rys. 18.** Siła ścinania ziarna w różnych miejscach kolby (wg. rys. 11)

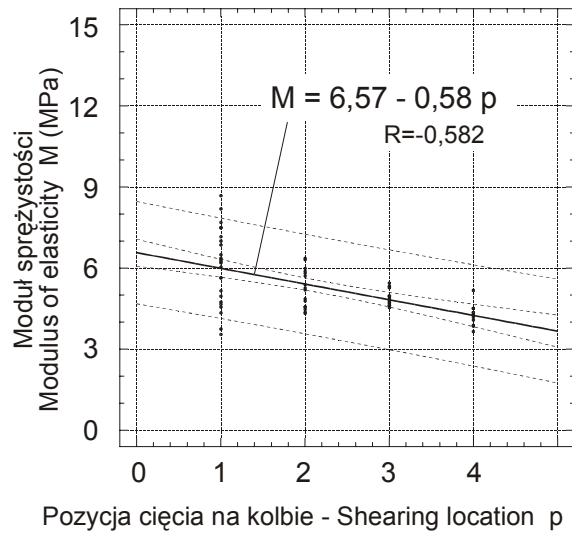
**Fig. 18.** Shearing force of kernels in different place of cob (according to fig. 11)

Wysokie współczynniki korelacji dla rozważanych wartości wskazują na istnienie silnej zależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi. Analiza wariancji wykazała, że badane odmiany są istotnie zróżnicowane pod względem średnich wartości siły cięcia ziarna. Zarejestrowane w testach cięcia średnie wartości siły cięcia wynosiły dla odmiany Helena – 42,84 N, dla Candle – 38,72 N i Jubilee – 31,21 N.



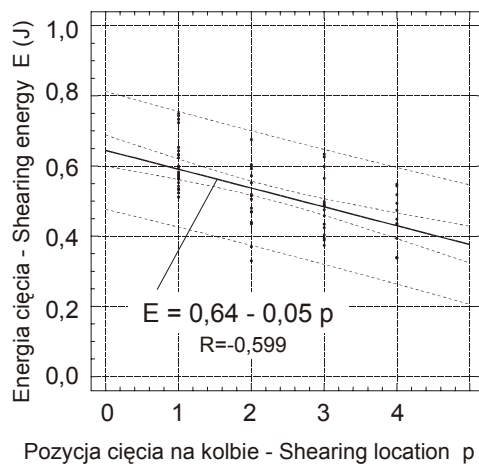
**Rys. 19.** Deformacja ziarna podczas cięcia w różnych miejscach kolby (wg. rys. 11)

**Fig. 19.** Deformation of kernel at cutting in different place of cob (according to fig. 11)



**Rys. 20.** Moduł sprężystości ziarna w różnych miejscach kolby (wg. rys. 11)

**Fig. 20.** Modulus of elasticity of kernel in different place of cob (according to fig. 11)

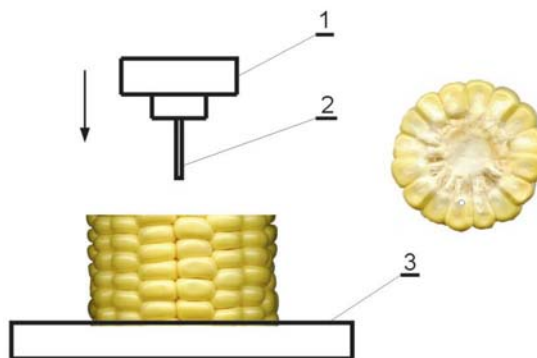


**Rys. 21.** Energia ścinania ziarna w różnych miejscach kolby (wg. rys. 11)

**Fig. 21.** The energy of kernels shearing in different place of cob (according to fig. 11)

## 6.2. Test penetracji ziarna

Test penetrometryczny przeprowadzono na ziarnie znajdującym się na kolbie, przy użyciu stalowego, walcowego penetrometra o średnicy 2 mm.



**Rys. 22.** Stanowisko do pomiarów wytrzymałości okrywy nasiennej: 1– głowica pomiarowa, 2 – penetrometr, 3 – podstawa

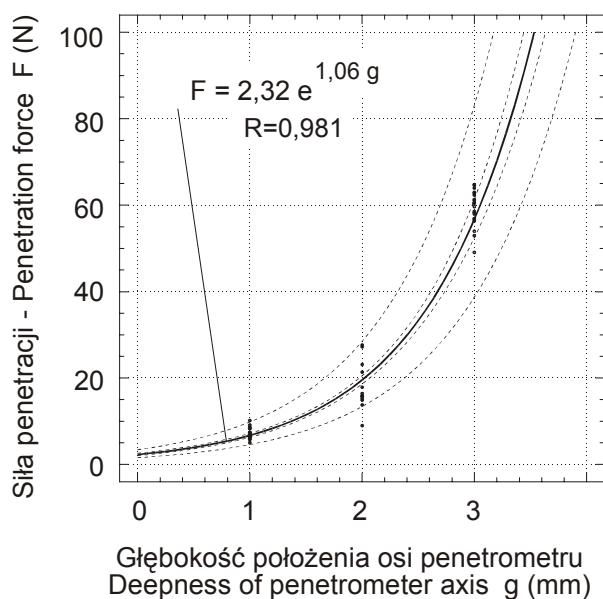
**Fig. 22.** The measuring set for the study of the seed coat strength: 1–measuring head, 2 – penetrometer, 3 – base plate

W tej części badań testy penetracji ziarna przeprowadzono w czterech pozycjach pomiarowych na długości kolby oraz dla jednej pozycji pomiarowej na długości ziarna, oznaczonej numerem 2 (przy podstawie ziarna). Analiza wa-

riancji uzyskanych wyników w testach penetracji okrywy owocowo-nasiennej, wykazała istotne zróżnicowanie pomiędzy średnimi wartościami siły, deformacji względnej, modułu sprężystości i energii penetracji w poszczególnych pozycjach pomiarowych na długości ziarna.

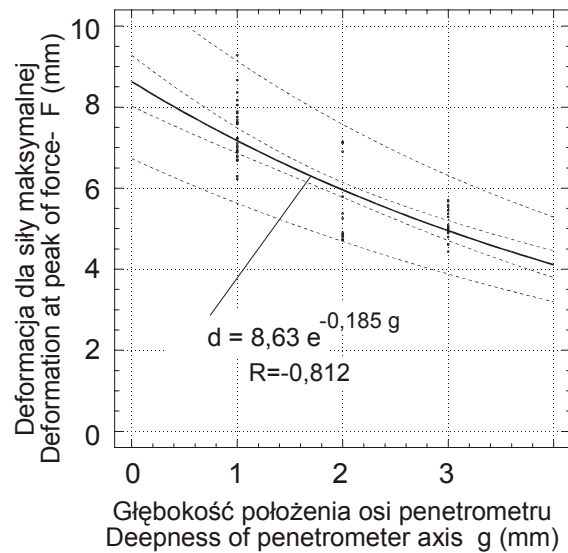
Średnie wartości dla poszczególnych głębokości cięcia zawierały się w zakresie od 7,21 (głębokość 1) do 54,87 N (głębokość 2) dla siły penetracji (rys. 23), od 5,1 do 7,6 mm dla deformacji (rys. 24), od 4,6 do 23,4 MPa dla modułu sprężystości (rys. 25) oraz od 0,021 do 0,066 J dla energii penetracji (rys. 26).

Z kolei średnie wartości uzyskane w testach penetracji ziarna w badanych pozycjach pomiarowych na długości kolby kształtowały się od 28,61 N (pozycja pomiarowa 4) do 62,62 N (pozycja pomiarowa 1) dla siły cięcia i od 0,036 do 0,061 J dla energii penetracji. Średnie wartości siły przebiccia okrywy owocowo-nasiennej zarejestrowane w testach penetracji wykazały istotne różnice pomiędzy badanymi odmianami i wynosiły: dla odmiany Helena – 42,84 N, dla odmiany Jubilee – 32,21 N i dla odmiany Candle – 38,72 N. Porównania dokonano dla penetracji ziarna w pozycji pomiarowej 2 (przy podstawie) i pozycji pomiarowej 2 na kolbie (część środkowa).

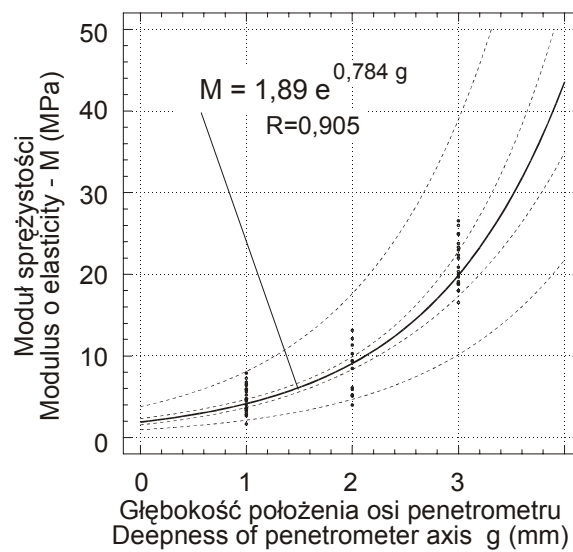


**Rys. 23.** Siła penetracji dla różnych głębokości położenia osi penetrometru (wg. rys. 12)

**Fig. 23.** Penetration force at different deepness of plunger axis (according to fig. 12)

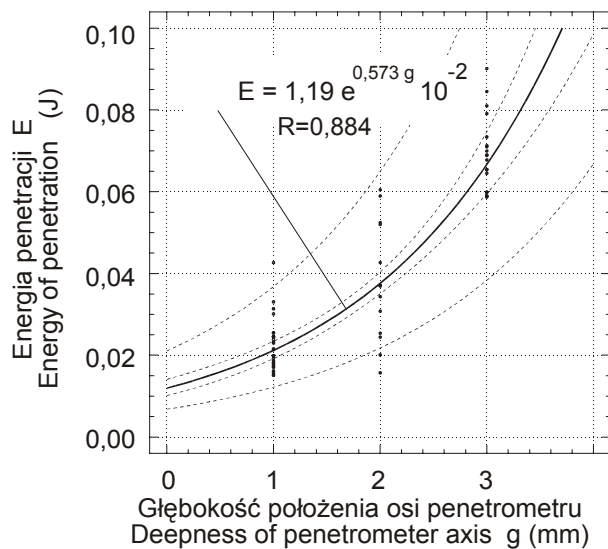


**Rys. 24.** Deformacji dla różnych głębokości położenia osi penetrometru (wg. rys. 12)  
**Fig. 24.** Deformation at different deepness of plunger axis (according to fig. 12)



**Rys. 25.** Moduł sprężystości dla różnych głębokości położenia osi penetrometru (wg. rys. 12)  
**Fig. 25.** Modulus of elasticity at different deepness of plunger axis (according to fig. 12)

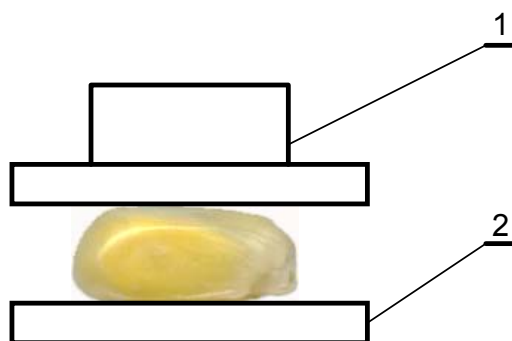




**Rys. 26.** Energia penetracji dla różnych głębokości położenia osi penetrometru (wg. rys. 12)  
**Fig. 26.** Penetration energy at different deepness of plunger axis (according to fig. 12)

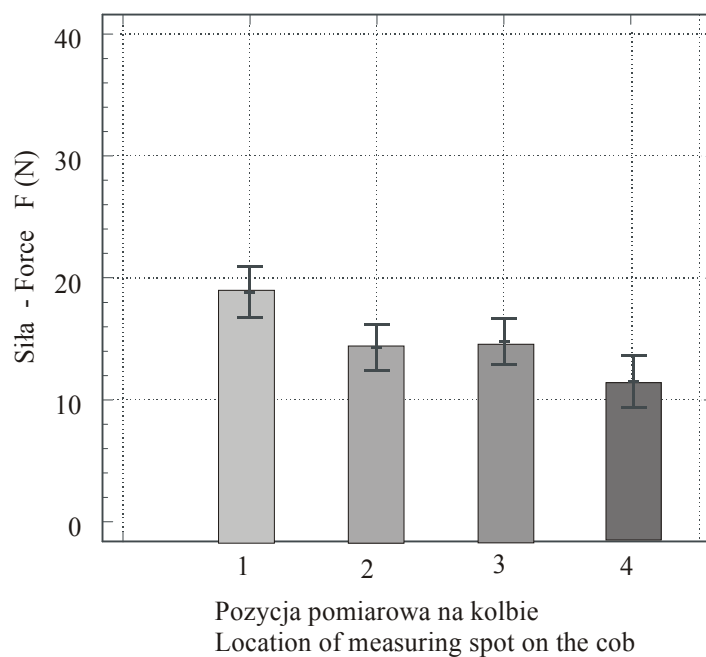
### 6.3. Test ściskania ziarna

Ściskanie ziaren prowadzono między dwiema stalowymi tarczami, z których górna była ruchoma. Pojedyncze ziarno umieszczano na dolnej nieruchomej tarczy, a następnie ściskano je za pomocą górnej tarczy (rys. 27). Pomiar prowadzono do momentu zniszczenia (pęknięcia) ziarna.



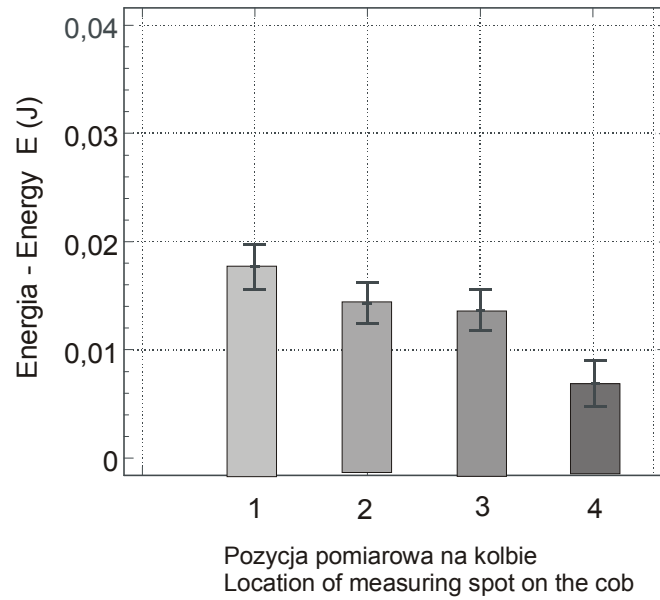
**Rys. 27.** Ściskanie ziarna pomiędzy równoległymi płytkami: 1 – głowica pomiarowa, 2 – podstawa  
**Fig. 27.** Compression of the kernel between parallel plates : 1 – measuring head, 2 – base plate

Analiza wariancji uzyskanych wyników pomiarowych w testach ściskania, wykazała, że podobnie jak w testach cięcia i penetracji, ziarna pochodzące ze środkowej części kolby (pozycja pomiarowa 2 i 3) nie są zróżnicowane statystycznie. Średnie wartości siły ściskania zawierały się w przedziale od 12,72 N (pozycja pomiarowa 4) do 18,56 N (pozycja pomiarowa 1) (rys. 28), a energii ściskania od 0,0082 do 0,0181 J (rys. 29).

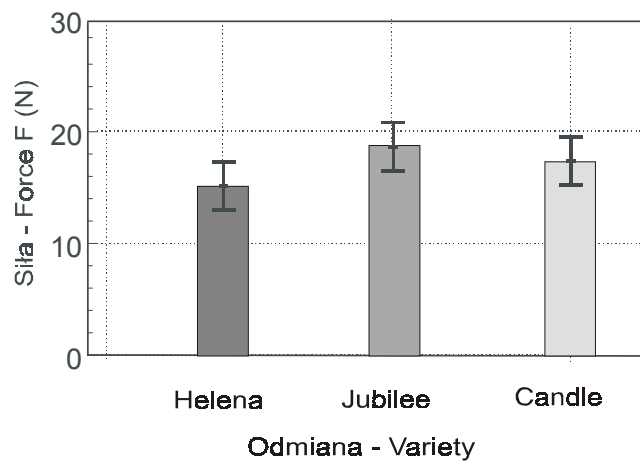


**Rys. 28.** Siła podczas ściskania nasion w pozycjach pomiarowych na kolbie (pozycje wg rys. 12)  
**Fig. 28.** Force at compression of kernels in different measuring positions (according to fig. 12)

Istotne zróżnicowanie wykazywała także siła ściskania przy porównywaniu badanych odmian. Średnie wartości siły potrzebnej do pęknięcia okrywy owocowo – nasiennej ziarna podczas testów ściskania dla badanych odmian wynosiły: Helena – 15,92 N, Jubilee – 18,62 N, Candle – 14,12 N (rys. 30).



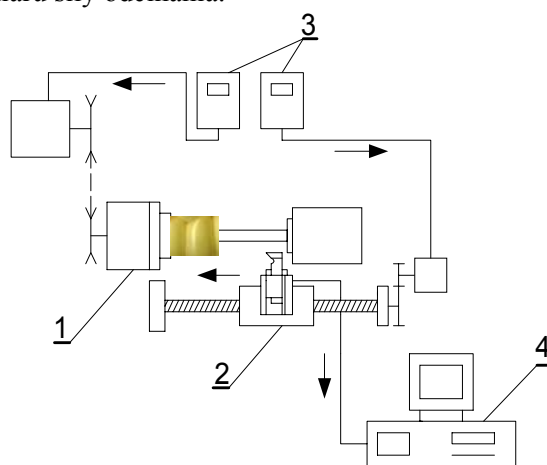
**Rys. 29.** Energia ściskania w różnych pozycji pomiarowych (pozycje wg rys. 12)  
**Fig. 29.** Press energy in different measuring positions (according to fig. 12)



**Rys. 30.** Siła ściskania dla badanych odmian kukurydzy cukrowej  
**Fig. 30.** Force at compression for studied varieties of sweet corn

## 7. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA W WARUNKACH DYNAMICZNYCH

Stanowisko do badania siły odcinania ziarna w warunkach dynamicznych ilustruje (rys. 31). Odcinanie ziarna od rdzeni następowało w wyniku obracania się kolby i przemieszczania osiowego noża. Siła cięcia wywierana na nóż była przenoszona na czujnik i rejestrowana w głowicy pomiarowej. W tabeli 6 przedstawiono ogólną charakterystykę danych technicznych i warunków pracy urządzenia do pomiaru siły odcinania.



**Rys. 31.** Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – głowica mocująca, 2 – nóż z czujnikiem siły, 3 – przetworniki częstotliwości, 4 – komputer

**Fig. 31.** Schematic of stand measuring: 1 – head fasten, 2 – knife with force sensor, 3 – transducer of frequency, 4 – computer

**Tabela 6.** Charakterystyka warunków pracy stanowiska pomiarowego

**Table 6.** Characteristics of stand measuring conditions

Parametry pracy – Working parameters	Wartość – Value
Geometria noża – The shape of cutting tool:	
Kąt ostrza – Tool wedge angle ( $1^\circ$ ),	8
Kąt pochylenia krawędzi tnącej – Nose angle ( $1^\circ$ )	15
Prędkość kątowna – Angular rate ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ )	130,9; 161,3; 194,7; 226,1
Prędkość przesuwu noża – Velocity of cutting tool ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,005; 0,010; 0,015
Miejsce odcinania – Cutting position (no)	Przy podstawie – At the base (2)
Część kolby – Cob part (no)	Część środkowa – Middle Part (2)

W celu uzyskania jednakowych próbek do badań brano jedynie wycinki pochodzące ze środkowej części kolb. Próbki o długości 10 cm mocowano na stanowisku badawczym i wprawiano w ruch obrotowy. Po ustabilizowaniu się warunków pracy włączano przesuw noża. Siła odcinania przekazywana z noża na czujnik była rejestrowana w głowicy pomiarowej i zapisywana w programie komputerowym. Koniec pomiaru i rejestracji przerywano po przebyciu przez nóż całej długości próbki. Pomiar przeprowadzano w 3 powtórzeniach.

W celu zbadania statystycznej istotności wpływu zmiennych niezależnych, tj. prędkości kątowej głowicy  $\omega_g$ , prędkości liniowej noża  $v_n$  i odmiany na zmienną zależną (siłę cięcia  $F$ ) przeprowadzono trzyczynnikową analizę wariancji. Wyniki tej analizy wykazały, że wszystkie zmienne niezależne i ich interakcje wpływały istotnie na wartość siły cięcia. Zasadniczy wpływ wywierała jednak prędkość kątowa głowicy (ok. 50% całkowitej zmienności siły cięcia).

Zależność pomiędzy siłą cięcia  $F$  a analizowanymi czynnikami: prędkością kątową głowicy  $\omega_g$  i prędkością liniową noża  $v_n$ , opisano równaniem:

$$F = b_1 \omega_g + b_2 v_n + a \quad (\text{N}) \quad (5)$$

gdzie:

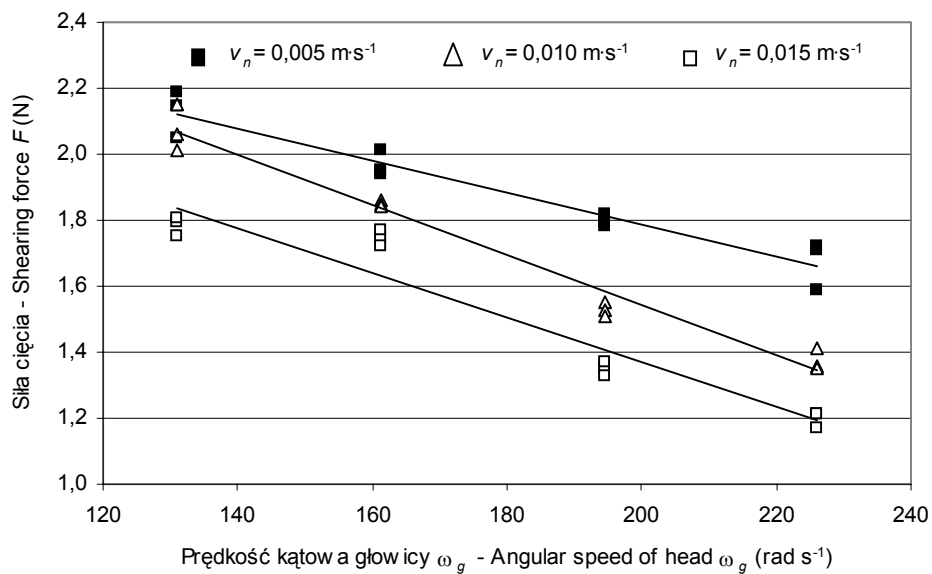
$b_1, b_2$  – współczynniki regresji,  
 $a$  – wyraz wolny.

W tabeli 7 zamieszczono równania regresji dla zmian siły cięcia  $F$  w funkcji prędkości kątowej głowicy  $\omega_g$  dla stałych prędkości liniowych noża  $v_n$ . Z kolei na rysunku 32 zilustrowano przebieg krzywych regresji. Zależności te zostały przedstawione na przykładzie odmiany Helena badanej w roku 2003.

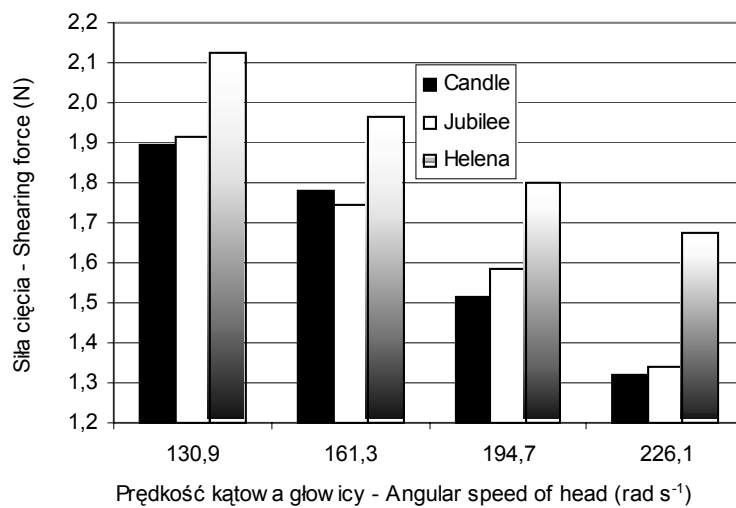
**Tabela 7.** Równania regresji dla zmian  $F = f(\omega_g)$ ,  $v_n = \text{const}$

**Table 7.** Regression equation for change of  $F = f(\omega_g)$ ,  $v_n = \text{const}$

$v_n$ (m·s <sup>-1</sup> )	Równanie – Equation	R <sup>2</sup>	Poziom – level (p)
0,005	$F = -48 \cdot 10^{-4} \omega_g + 2,74$	0,93	0,00001
0,010	$F = -76 \cdot 10^{-4} \omega_g + 3,12$	0,97	0,00001
0,015	$F = -38 \cdot 10^{-4} \omega_g + 2,73$	0,91	0,00001



**Rys. 32.** Zależność siły cięcia  $F$  od prędkości głowicy  $\omega_g$  i prędkości liniowej noża  $v_n$   
**Fig. 32.** The dependency of the shearing force  $F$  from rotary speed  $\omega_g$  and linear speed of knife  $v_n$



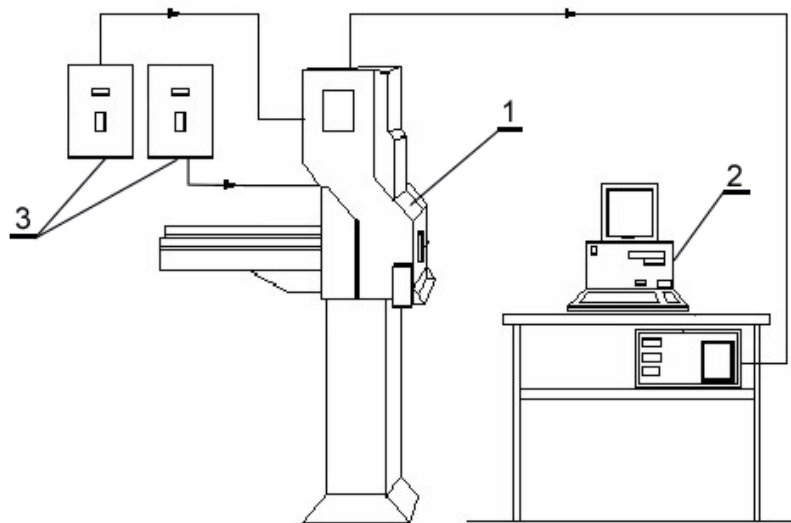
**Rys. 33.** Zmiany siły cięcia dla badanych odmian  
**Fig. 33.** The changes of the shearing force in different measuring varieties

Zmiana prędkości głowicy nożowej w zakresie od 130,9 do 226,1  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  powoduje zmniejszenie siły cięcia o około 22% przy  $v_n = 0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , o około 34% przy  $v_n = 0,010 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz o około 33% przy  $v_n = 0,015 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Najwyższą wartość (2,19 N) zanotowano przy  $\omega_g = 130,9 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_n = 0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a najniższą (1,17 N) przy  $\omega_g = 226,1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_n = 0,015 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Odpowiadało to zmniejszeniu siły cięcia o około 46%.

Zmiana prędkości kątowej głowicy nożowej  $\omega_g$  w zakresie od 130,9 do 226,1  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $v_n = 0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) powodowała spadek siły cięcia od około 22% (Helena) do około 31% (Candle), (rys. 33). Z kolei w całym zakresie prędkości podajnika kolb od 0,005 do 0,015  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  uzyskano spadek od 49 (Jubilee) do 42% (Helena).

## 8. PROCES MECHANICZNEGO ODCINANIA ZIARNA OD RDZENI KOLB

Ze względu na konieczność dokładnego ustawienia noży oraz zachowania właściwej geometrii ostrzy, mających istotny wpływ na ilość i jakość odcinanego ziarna, do badań użyto nowych noży i dokonano prawidłowego ich ustawienia. Stanowisko do badania procesu oddzielania ziarna od rdzeni kolb przedstawiono na rysunku 34.



**Rys. 34.** Schemat stanowiska badawczego obcinarki: 1 – obcinarka ziarna kukurydzy, 2 – układ pomiaru mocy i energii elektrycznej, 3 – przetworniki częstotliwości

**Fig. 34.** The measuring stand for cutting of corn kernels: 1 – corn cutter, 2 – system of measuring of power and electrical energy, 3 – frequency transducer

Kolby kukurydzy cukrowej kierowane były podajnikiem do głowicy obcinającej. W korpusie głowicy znajdowały się dwa zestawy rolek podających kolby do noży obcinających. Po odcięciu ziaren rdzeń kolby wyrzucany był przez zestaw dwóch rolek poza głowicę. Odcięte ziarna wypadały dołem pod korpusem głowicy. Rozstaw rolek transportowych ustawiał się samoczynnie w zależności od średnicy kolby. Rolki te sterowały rozstawem noży obcinających w głowicy.

Regulacja prędkości kątowej głowicy nożowej i podajnika kolb, a więc i wydajności odbywała się za pomocą dwóch silników elektrycznych sterowanych przetwornikami częstotliwości. Pomiar mocy i energii elektrycznej pobieranej przez obcinarkę rejestrowano w pamięci komputera. W tabeli 8 przedstawiono dane techniczne i warunki badań na obcinarce. Pomiar przeprowadzono w 3 powtórzeniach na próbie liczącej 5 kolb.

**Tabela 8.** Charakterystyka warunków pracy obcinarki  
**Table 8.** Characteristics of corn cutter conditions function

Parametry pracy – Working parameters	Wartość – Value
Geometria noża – The shape of cutting tool:	
Kąt ostrza – Tool wedge angle ( $1^\circ$ ),	8
Kąt pochylenia krawędzi tnącej – Nose angle ( $1^\circ$ )	15
Zakres regulacji noży – Setting range of cutting tool (mm)	20-60
Prędkość kątowa – Angular rate ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ )	167,5; 201,0; 234,6; 268,1;301,2
Prędkość podajnika kolb – Velocity of feeder rate ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,31; 0,51; 0,71; 0,92

Na stanowisku tym określono jakość i energochłonność procesu odcinania, która została scharakteryzowana za pomocą następujących wskaźników jakościowych (kwalitatywnych) i ilościowych (kwantytatywnych):

- jednostkowy pobór mocy ( $\text{kW}/\text{kolbę}$ ),
- jednostkowe zużycie energii ( $\text{kJ}/\text{kolbę}$ ),
- wydajność odcinania ( $\text{kolb}\cdot\text{min}^{-1}$ ),
- udział odciętej masy ziarna (%),
- udział frakcji odciętego ziarna (%),
- udział ziarna gorszej jakości (%).

Istotność wpływu zmiennych niezależnych na zmienną zależną w tej części badań określano przy użyciu czteroczynnikowej analizy wariancji.

### 8.1. Metoda pomiaru energochłonności procesu cięcia

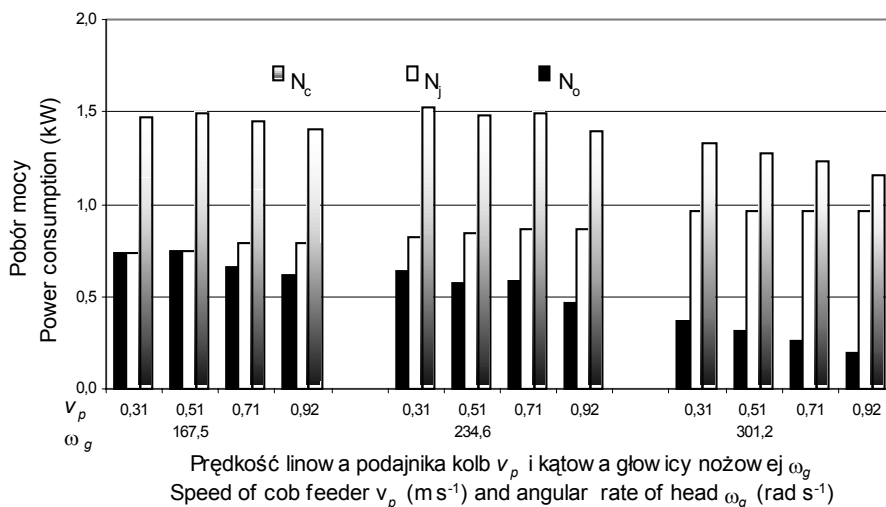


Energochłonność procesu odcinania ziarna mierzono przez podłączenie obcinarki do układu pomiarowego, przedstawionego na rysunku 34. W układzie tym wykorzystano przetwornik mocy, czasu i energii elektrycznej typu Lumel PP83, współpracujący z komputerem. Pomiary poboru mocy realizowano po osiągnięciu przez maszynę stabilnej prędkości. Przetwornik przetwarzał i opracowywał dane pomiarowe obejmujące:

- moc całkowitą procesu cięcia,  $N_c$  (kW),
- moc biegu jałowego,  $N_j$  (kW),
- moc procesu cięcia,  $N_o$  (kW),
- energię całkowitą procesu cięcia,  $E_c$  (kWh),
- energię biegu jałowego,  $E_j$  (kWh),
- energię procesu cięcia,  $E_o$  (kWh),
- czas procesu cięcia,  $t$  (s).

Na rysunku 35 przedstawiono na przykładzie odmiany Helena badanej w 2002 roku przebieg zmian poboru mocy przez obcinarkę podczas:

- biegu jałowego,  $N_j$ ,
- procesu odcinania,  $N_o$ ,
- oraz całkowity pobór mocy,  $N_c$ .



**Rys. 35.** Zmiany poboru mocy przez obcinarkę w czasie biegu jałowego i obciążenia

**Fig. 35.** The changes of power consumption in neutral and burden corn cutter function

Zmiana prędkości kątowej głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i podajnika kół od 0,31 do 0,92  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  powodowała wzrost poboru mocy w czasie biegu jałowego o około 33%. Najniższy pobór był przy  $\omega_g = 167,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (0,73 kW), a najwyższy przy  $\omega_g = 301,2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (0,97 kW). Podczas

obciążenia maszyny (proces odcinania) zanotowano natomiast odwrotny skutek. Zmiana prędkości wpływała na spadek całkowitego poboru mocy (o około 18%). Zmiany wahały się w zakresie od 1,23 kW ( $\omega_g = 301,2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) do 1,49 kW ( $\omega_g = 234,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Zmniejszanie się  $N_c$  wraz ze wzrostem prędkości roboczych wynikało ze spadku  $N_o$  o około 74%. Najwyższą wartość (0,74 kW/kolbę) zanotowano przy  $\omega_g = 167,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a najniższą (0,19 kW/kolbę) dla  $\omega_g = 301,2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Spowodowane to było z jednej strony krótszym czasem trwania procesu odcinania (większa prędkość podawania kolb), a z drugiej mniejszymi oporami cięcia (większa prędkość głowicy nożowej).

W czasie przeprowadzania statystycznej analizy wyników dotyczącej poboru mocy brano pod uwagę  $N_o$  (kW/kolbę). Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że wszystkie badane zmienne niezależne (prędkość obrotowa głowicy nożowej, prędkość liniowa podajnika kolb oraz odmiana i rok badań) mają statystycznie istotny wpływ (na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ) na zmienną zależną (jednostkową moc odcinania). Analiza ta wykazała również, że w każdym roku badań odmiana wpływała decydująco na jednostkową moc odcinania.

Zależność pomiędzy  $N_o$  a analizowanymi czynnikami:  $\omega_g$  i  $v_p$  opisano równaniem:

$$N_o = b_1 \omega_g^2 + b_2 v_p^2 + a \quad (\text{kW/kolbę}) \quad (6)$$

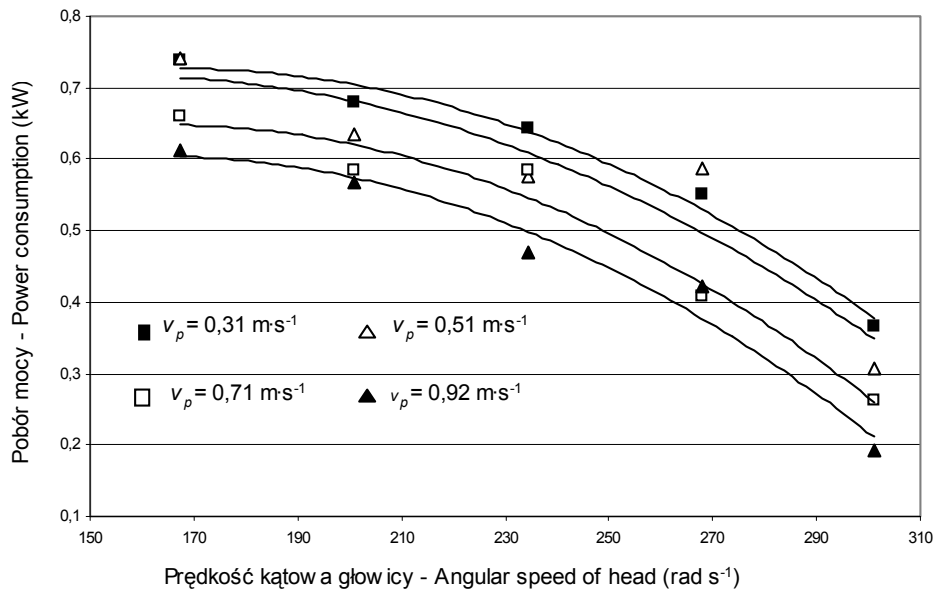
gdzie:

$b_1, b_2$  – współczynniki regresji,  
 $a$  – wyraz wolny.

W tabeli 9 zamieszczono równania regresji dla zmian  $N_o$  w funkcji  $\omega_g$  przy stałym  $v_p$ . Rysunek 36 ilustruje przebieg krzywych regresji.

**Tabela 9.** Równania regresji dla zmian  $N_o = f(\omega_g)$ ,  $v_p = const$   
**Table 9.** Regression equation for change of  $N_o = f(\omega_g)$ ,  $v_p = const$

$v_p \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	Równanie – Equation	$R^2$	$p$
0,31	$N_o = -2\cdot 10^{-5} \omega_g^2 + 5,4\cdot 10^{-3} \omega_g + 0,51$	0,93	0,00001
0,51	$N_o = -10^{-5} \omega_g^2 + 3,2\cdot 10^{-3} \omega_g + 0,67$	0,96	0,00001
0,71	$N_o = -10^{-5} \omega_g^2 + 3,9\cdot 10^{-3} \omega_g + 0,64$	0,92	0,00001
0,92	$N_o = -10^{-5} \omega_g^2 + 3,8\cdot 10^{-3} \omega_g + 0,56$	0,95	0,00001

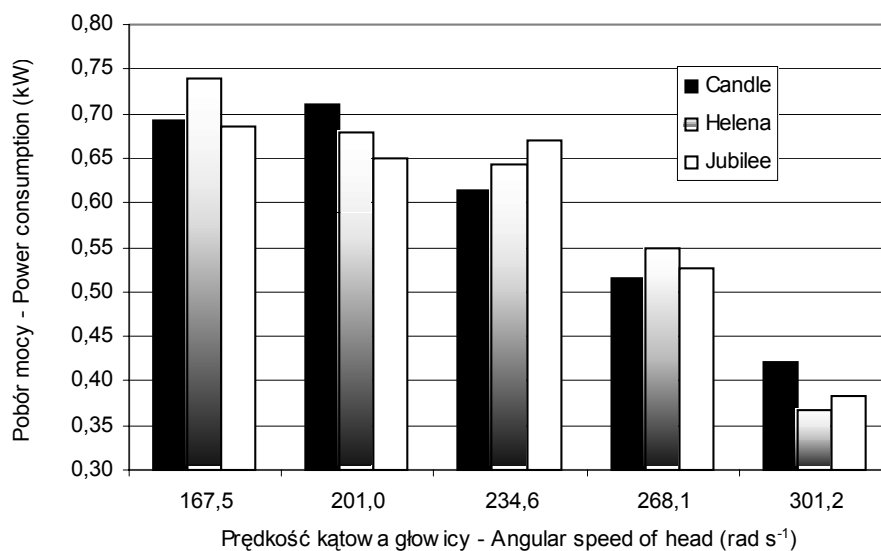


**Rys. 36.** Zależność mocy  $N_o$  od prędkości głowicy  $\omega_g$  i podajnika  $v_p$   
**Fig. 36.** The dependency of power  $N_o$  from head speed  $\omega_g$  and feeder  $v_p$

Analiza regresji i wariacji wykazała, że wszystkie parametry modelu są istotne na poziomie  $\alpha = 0,05$ . Wysokie wartości współczynnika determinacji (od 0,92 do 0,96) świadczą o dobrym dopasowaniu modelu. Zależność  $N_o$  od  $\omega_g$  opisana została za pomocą funkcji kwadratowych. Zmiana prędkości głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2 rad·s<sup>-1</sup> powoduje zmniejszenie jednostkowego poboru mocy o około 55% przy  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>, o około 58% przy  $v_p = 0,51$  m·s<sup>-1</sup>, o około 62% przy  $v_p = 0,71$  m·s<sup>-1</sup> i o około 68% przy  $v_p = 0,92$  m·s<sup>-1</sup>. Najwyższą wartość (0,74 kW/kolbę) zanotowano przy  $\omega_g = 167,5$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>, a najniższą (0,19 kW/kolbę) przy  $\omega_g = 301,2$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,92$  m·s<sup>-1</sup>. Odpowiadało to zmniejszeniu jednostkowej mocy odcinania o około 74%.

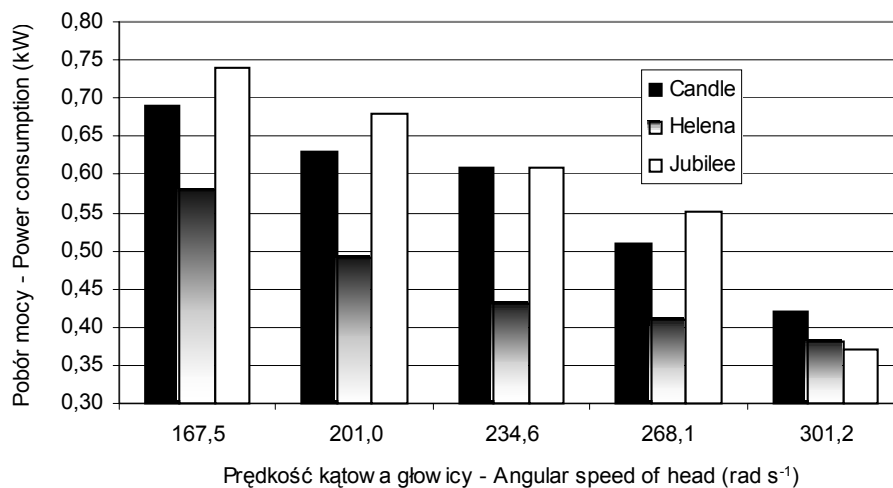
Na rysunkach 37 i 38 zamieszczono zmiany jednostkowego poboru mocy w funkcji prędkości kątowej głowicy nożowej dla badanych odmian. Zmiany te przedstawiono dla stałej prędkości liniowej podajnika kolb  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>. Na podstawie diagramów można stwierdzić, że występuje znaczne zróżnicowanie wartości  $N_o$  zarówno pomiędzy odmianami, jak i w ramach danej odmiany. Zmiana  $\omega_g$  w zakresie od 167,5 do 301,2 rad·s<sup>-1</sup> ( $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>) powoduje spadek  $N_o$  dla roku 2002 od około 50% (Jubilee) do około 34% (Helena), a dla roku 2003 od około 51% (Helena) do około 40% (Jubilee). Z kolei w całym zakresie

prędkości podajnika kołb od  $0,31$  do  $0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  uzyskano spadek w roku 2002 od około 74% (Helena) do około 50% (Candle), a w roku 2003 od około 74% (Jubilee) do około 55% (Candle).



**Rys. 37.** Zmiany mocy  $N_o$  dla badanych odmian w roku 2002

**Fig. 37.** The changes of power  $N_o$  for measuring varieties in year 2002

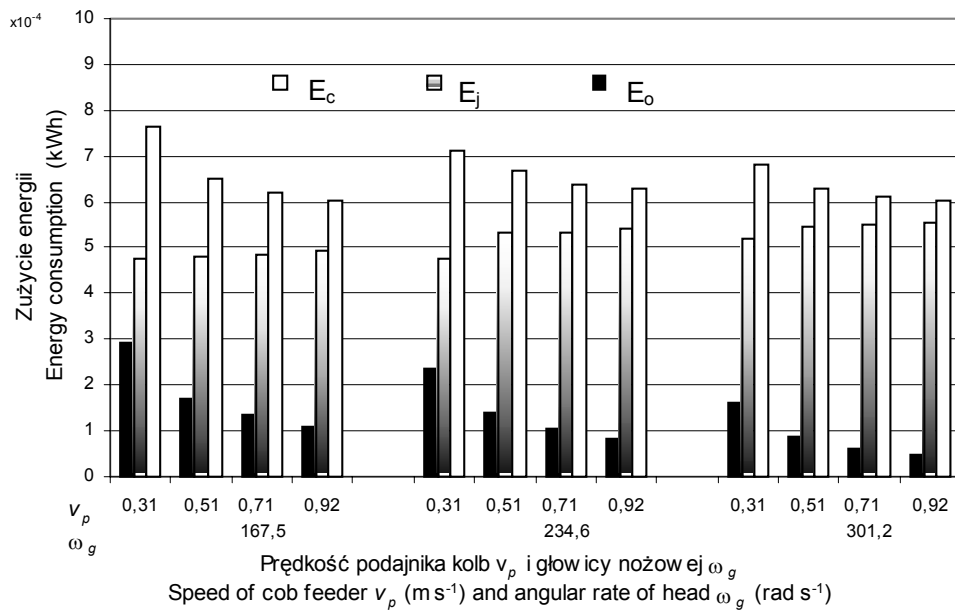


**Rys. 38.** Zmiany mocy  $N_o$  dla badanych odmian w roku 2003

**Fig. 38.** The changes of power  $N_o$  for measuring varieties in year 2003

Na rysunku 39 przedstawiono przebieg zmian zużycia energii elektrycznej przez obcinarkę podczas:

- biegu jałowego,  $E_j$ ,
- procesu odcinania,  $E_o$ ,
- całkowitego zużycia energii elektrycznej,  $E_c$ .



**Rys. 39.** Rozkład zużycia energii elektrycznej przez obcinarkę

**Fig. 39.** Distribution of energy consumption by corn cutter

Zmiana prędkości kątowej głowicy nożowej  $\omega_g$  w przedziale od 167,5 do 301,2 rad·s<sup>-1</sup> i podajnika kolb  $v_p$  od 0,31 do 0,92 m·s<sup>-1</sup> powodowała wzrost zużycia energii elektrycznej podczas biegu jałowego  $E_j$  w zakresie od 4,74 do 5,56·10<sup>-4</sup> kWh o około 17%. Najniższe zużycie wystąpiło przy  $\omega_g = 167,5$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>, a najwyższe przy  $\omega_g = 301,2$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,92$  m·s<sup>-1</sup>. Podczas obciążenia maszyny (proces odcinania) zanotowano natomiast, że wraz ze zmianą prędkości roboczej maszyny  $E_c$  zmniejszyła się o około 21%. Zmiany wahały się w zakresie od 7,66·10<sup>-4</sup> kWh ( $\omega_g = 167,5$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>) do 6,02·10<sup>-4</sup> kWh ( $\omega_g = 301,2$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,92$  m·s<sup>-1</sup>).

Spadek całkowitego zużycia energii elektrycznej  $E_c$  wraz ze wzrostem prędkości roboczych wynikał ze spadku jednostkowej energii zużywanej na proces odcinania  $E_o$  (ok. 84%). Najwyższą wartość (2,92·10<sup>-4</sup> kWh/kolbę) zanotowano przy  $\omega_g = 167,5$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>, a najniższą (0,46·10<sup>-4</sup> kWh/kolbę)

przy  $\omega_g = 301,2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Spowodowane to było z jednej strony krótszym czasem trwania procesu odcinania (większa prędkość podawania kolb), a z drugiej – mniejszymi oporami cięcia (większa prędkość głowicy nożowej).

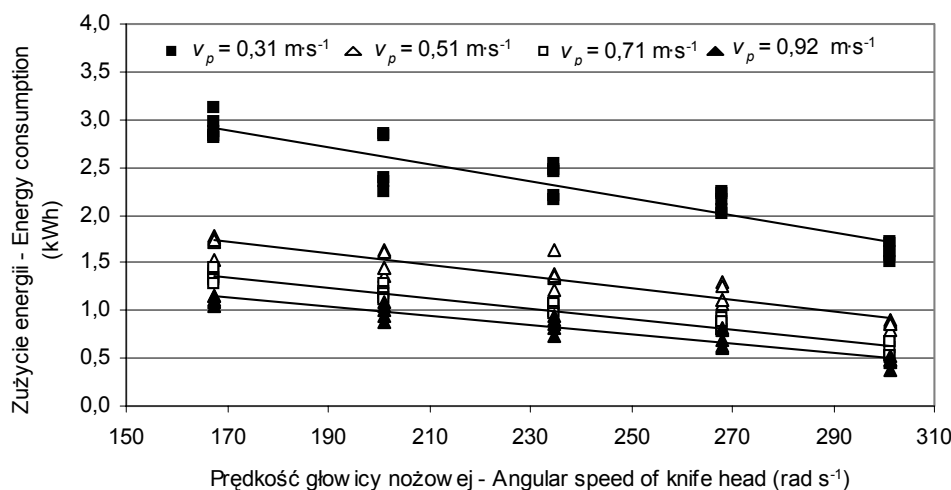
Wyniki analizy wariancji dla zmiennej zależnej  $E_o$ , wykazały istotność w tym zmiennych niezależnych ( $\omega_g$ ,  $v_p$ , odmiana i roku) oraz ich interakcji. Największy wpływ wywierała interakcja odmiana – rok (ok. 35% całkowitej zmienności energii jednostkowej). Zależność pomiędzy  $E_o$  a analizowanymi czynnikami:  $\omega_g$  i  $v_p$  opisano równaniem:

$$E_o = b_1 \omega_g + b_2 v_p + a \quad (\text{kWh/kolbę}) \quad (7)$$

gdzie:

$b_1, b_2$  – współczynniki regresji,  
 $a$  – wyraz wolny.

Zmiana prędkości głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  (rys. 40) powoduje zmniejszenie jednostkowej energii  $E_o$  o około 44% przy  $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , o około 50% przy  $v_p = 0,51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , o około 56% przy  $v_p = 0,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i o około 60% przy  $v_p = 0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Najwyższą wartość ( $2,92 \cdot 10^{-4} \text{ kWh/kolbę}$ ) zanotowano przy  $\omega_g = 167,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a najniższą ( $0,46 \cdot 10^{-4} \text{ kWh/kolbę}$ ) przy  $\omega_g = 301,2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Odpowiadało to zmniejszeniu jednostkowej energii odcinania o około 84%.



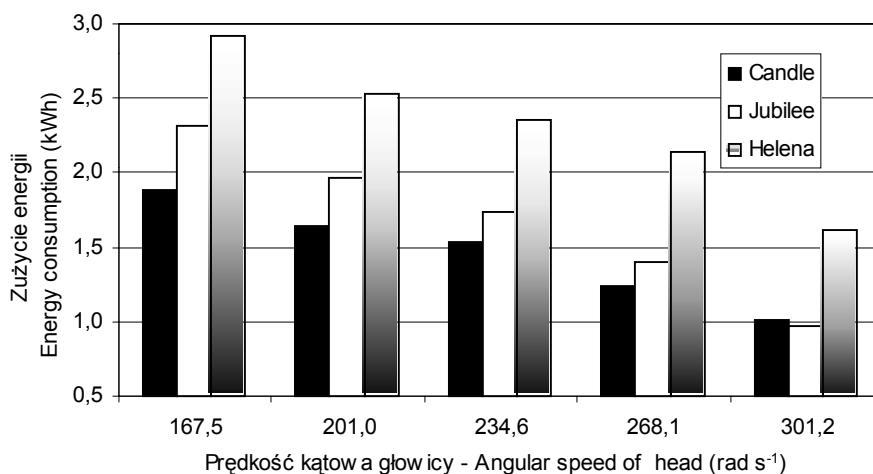
**Rys. 40.** Zależność energii  $E_o$  od prędkości głowicy  $\omega_g$  i podajnika  $v_p$   
**Fig. 40.** The dependency energy  $E_o$  from head speed  $\omega_g$  and feeder  $v_p$

W tabeli 10 zamieszczono równania regresji dla zmian jednostkowej energii odcinania  $E_o$  w funkcji prędkości kątowej głowicy nożowej  $\omega_g$  dla stałej prędkości liniowej podajnika kołb  $v_p$ . W zależności od odmiany i roku badań zmiana  $\omega_g$  w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  dla stałej  $v_p$  ( $0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) powodowała spadek  $E_o$  od około 58% (Jubilee) do około 44% (Helena) w roku 2002 (rys. 41) i od około 56% (Helena) do około 47% (Candle) w roku 2003 (rys. 42). Z kolei w całym zakresie prędkości podajnika kołb od 0,31 do 0,92  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  zmniejszenie kształtowało się na poziomie od około 81% (Candle) do około 93% (Jubilee) w roku 2002 i od około 60% (Candle) do około 92% (Helena) w roku 2003.

**Tabela 10.** Równania regresji dla zmian  $E_o = f(\omega_g)$ ,  $v_p = \text{const}$

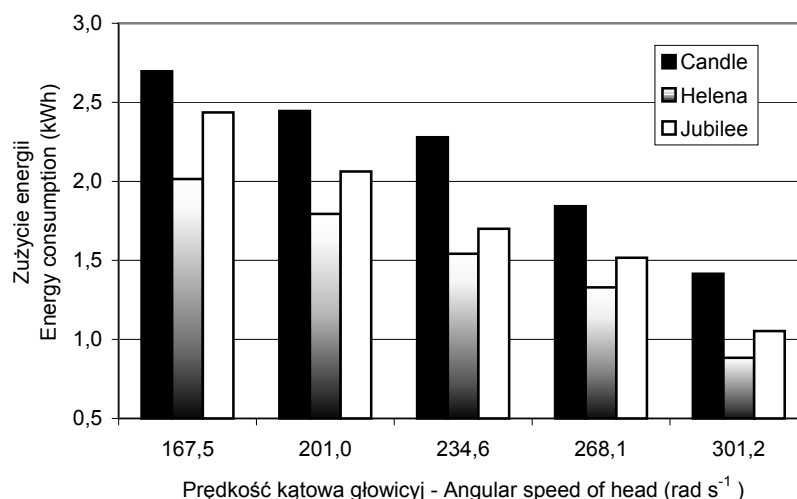
**Table 10.** Regression equation for change of  $E_o = f(\omega_g)$ ,  $v_p = \text{const}$

$v_p$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Równanie – Equation	$R^2$	$p$
0,31	$E_o = -0,009\omega_g + 4,41$	0,85	0,00001
0,51	$E_o = -0,006\omega_g + 2,72$	0,87	0,00001
0,71	$E_o = -0,005\omega_g + 2,28$	0,94	0,00001
0,92	$E_o = -0,0048\omega_g + 1,94$	0,90	0,00001



**Rys. 41.** Zmiany energii  $E_o$  dla badanych odmian w roku 2002

**Fig. 41.** The changes of energy  $E_o$  for measuring varieties in year 2002



Rys. 42. Zmiany energii  $E_o$  dla badanych odmian w roku 2003

Fig. 42. The changes of energy  $E_o$  for measuring varieties in year 2003

## 8.2. Wydajność procesu odcinania ziarna

Wyniki analizy wariancji wykazały, że wszystkie analizowane zmienne niezależne: prędkość kątowna głowicy nożowej  $\omega_g$  (rad·s<sup>-1</sup>), prędkość liniowa podajnika kolb  $v_p$  (m·s<sup>-1</sup>), odmiana i rok wpływają istotnie na zmienną niezależną wydajność jednostkowa  $Q$  (kolb/min). W celu określenia ilościowej oceny wpływu prędkości kątownej głowicy nożowej i podajnika kolb na jednostkową wydajność procesu cięcia przeprowadzono analizę regresji. Przebieg zmian  $Q$  w zależności od  $\omega_g$  i  $v_p$  opisano równaniem:

$$Q = b_1\omega_g + b_2 v_p + a \quad (\text{kolb}\cdot\text{min}^{-1}) \quad (8)$$

gdzie:

$b_1, b_2$  – współczynniki regresji,

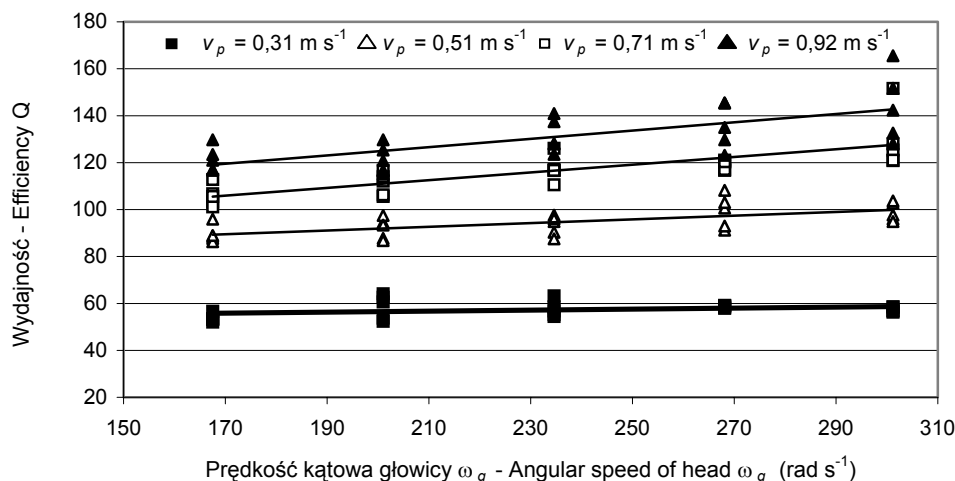
$a$  – wyraz wolny.

Na rysunku 43 zilustrowano przebieg krzywych regresji. Zależność  $Q$  od  $\omega_g$  opisano funkcjami liniowymi. Zmiana prędkości głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2 rad·s<sup>-1</sup> powodowała zwiększenie  $Q$  o około 44% przy  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>, o około 11% przy  $v_p = 0,51$  m·s<sup>-1</sup>, o około 22% przy  $v_p = 0,71$  m·s<sup>-1</sup> i o około 88% przy  $v_p = 0,71$  m·s<sup>-1</sup>. Najwyższą wartość (164,21 kolb·min<sup>-1</sup>) zanotowano przy  $\omega_g = 301,2$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,92$  m·s<sup>-1</sup>, a najniższą (53,73 kolb·min<sup>-1</sup>) dla  $\omega_g = 167,5$  rad·s<sup>-1</sup> i  $v_p = 0,31$  m·s<sup>-1</sup>. Odpowiadało to zwiększeniu jednostkowej wydajności odcinania o ok. 67%. W tabeli 11 zamieszczono równania regresji tej zależności.

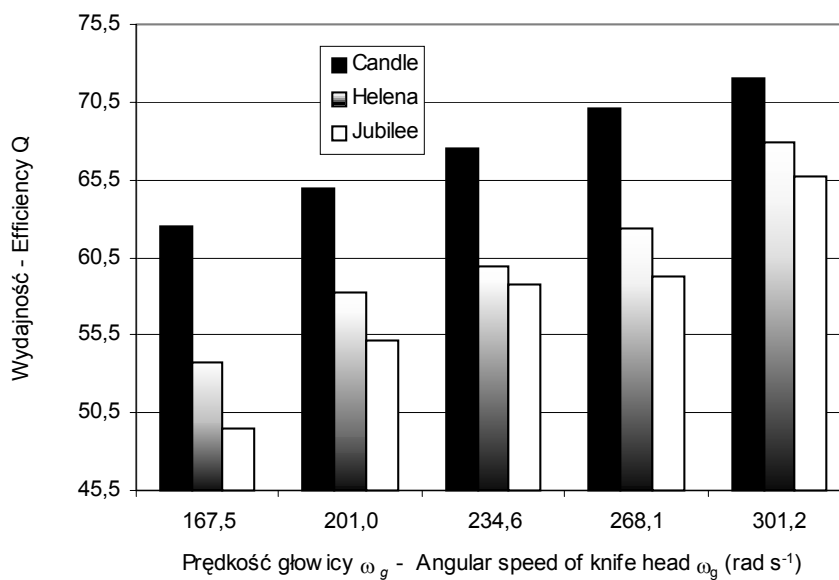


**Tabela 11.** Równania regresji dla zmian  $Q = f(\omega_g)$ ,  $v_p = const$ **Table 11.** Regression equation for change of  $Q = f(\omega_g)$ ,  $v_p = const$ 

$v_p$ (m·s <sup>-1</sup> )	Równanie – Equation	R <sup>2</sup>	$p$
0,31	$Q = 0,17\omega_g + 90,1$	0,48	0,00001
0,51	$Q = 0,16\omega_g + 77,9$	0,60	0,00001
0,71	$Q = 0,07\omega_g + 76,1$	0,41	0,00001
0,92	$Q = 0,02\omega_g + 52,1$	0,28	0,00001

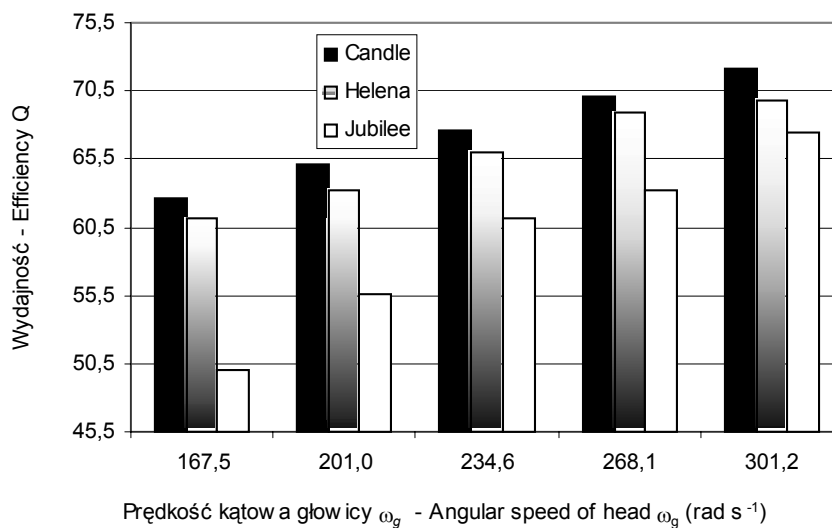
**Rys. 43.** Zależność wydajności  $Q$  (kolb/min) od prędkości głowicy  $\omega_g$ **Fig. 43.** The dependency efficiency  $Q$  (cob/min) from head speed  $\omega_g$ 

Na rysunkach 44 i 45 zamieszczono zmiany jednostkowej wydajności cięcia w funkcji prędkości kątowych głowicy nożowej dla badanych odmian, przy stałej  $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na podstawie wykresów można stwierdzić, że występuje znaczne zróżnicowanie w wartościach  $Q$  zarówno pomiędzy odmianami, jak i w ramach danej odmiany. Zmiana  $\omega_g$  w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) powodowała zwiększenie  $Q$  dla roku 2002 od około 15% (Candle) do około 32% (Jubilee), a dla roku 2003 od około 13% (Candle) do około 34% (Jubilee). Z kolei w całym zakresie prędkości podajnika kolb (0,31-0,92  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) uzyskano wzrost w roku 2002 od około 166% (Helena) do około 298% (Candle), a w roku 2003 od około 250% (Helena) do około 312% (Jubilee).



Rys. 44. Zmiany wydajności  $Q$  dla badanych odmian w roku 2002

Fig. 44. The changes of efficiency  $Q$  for measuring varieties in year 2002



Rys. 45. Zmiany wydajności  $Q$  dla badanych odmian w roku 2003

Fig. 45. The changes of efficiency  $Q$  for measuring varieties in year 2003

### 8.3. Metoda pomiaru stopnia odcięcia masy ziarna

Stopień odcięcia masy ziarna  $S_o$  określano dwuetapowo. W pierwszym etapie obliczono udział odciętej masy ziarna od rdzenia kolby  $M_{od}$  według wzoru:

$$M_{od} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad (9)$$

gdzie:

$m_1$  – masa kolby przed procesem odcinania (g),

$m_2$  – masa kolby po odcięciu ziarna (g),

a w drugim etapie odniesiono wielkość ze wzoru (9) do wydajności biologicznej ziarna:

$$S_{od} = \frac{M_{od}}{W_b} \cdot 100 \quad (\%) \quad (10)$$

Taki tok obliczeń wynikał z trudności zebrania całego odciętego ziarna, (które w części było rozrzucone po elementach maszyny) oraz ze względu na ubytki soków i stałych frakcji, jak też z trudności ustalenia, jaka część masy ziarna pozostawała na rdzeniu. Masa badanego materiału była ważona na wadze WPE 2000p.

Analiza wariancji wykazała, że prędkość kątowna głowicy nożowej  $\omega_g$  jest głównym czynnikiem wpływającym na stopień odcięcia masy ziarna  $S_o$  (ok. 65% całkowitej zmienności). Przebieg zmian  $S_o$  w zależności od  $\omega_g$  i  $v_p$  opisano równaniem:

$$S_o = b_1 \omega_g + b_2 v_p + a \quad (\%) \quad (11)$$

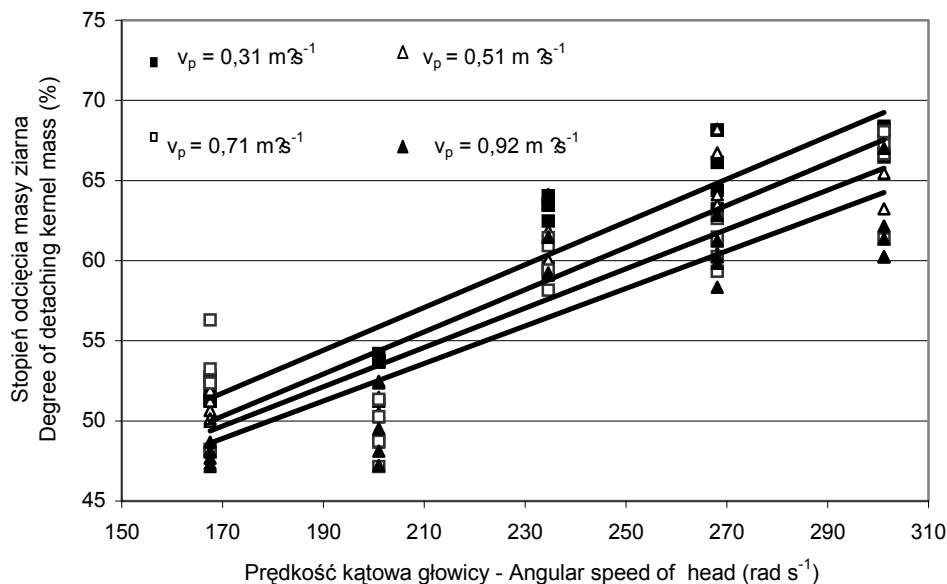
gdzie:

$b_1, b_2$  – współczynniki regresji,

$a$  – wyraz wolny.

Zmiana  $\omega_g$  w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  powodowała zwiększenie  $S_o$  o około 45% (rys. 46). Najwyższą wartość (68,38%) zanotowano przy  $\omega_g = 301,2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a najniższą (47,16%) przy  $\omega_g = 167,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Wysokie wartości współczynnika determinacji (od 0,73 do 0,90) świadczą o dobrym dopasowaniu modelu (tab. 12).



**Rys. 46.** Zmiany stopnia odjęcia masy ziarna  $S_o$  w funkcji prędkości głowicy  $\omega_g$

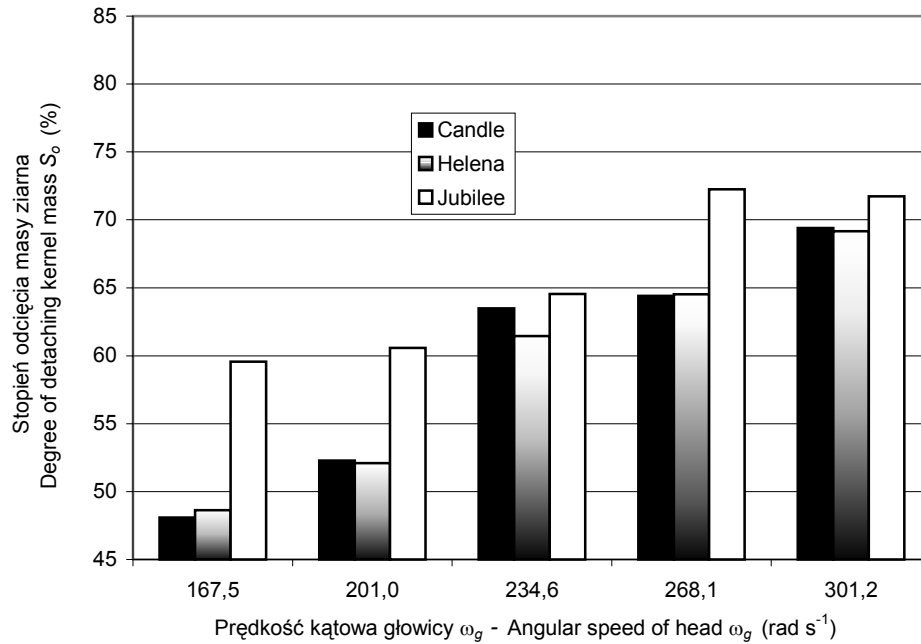
**Fig. 46.** The changes of degree mass kernel detaching  $S_o$  in function from head speed  $\omega_g$

**Tabela 12.** Równania regresji dla zmian  $S_o = f(\omega_g)$ ,  $v_p = const$

**Table 12.** Regression equation for change of  $S_o = f(\omega_g)$ ,  $v_p = const$

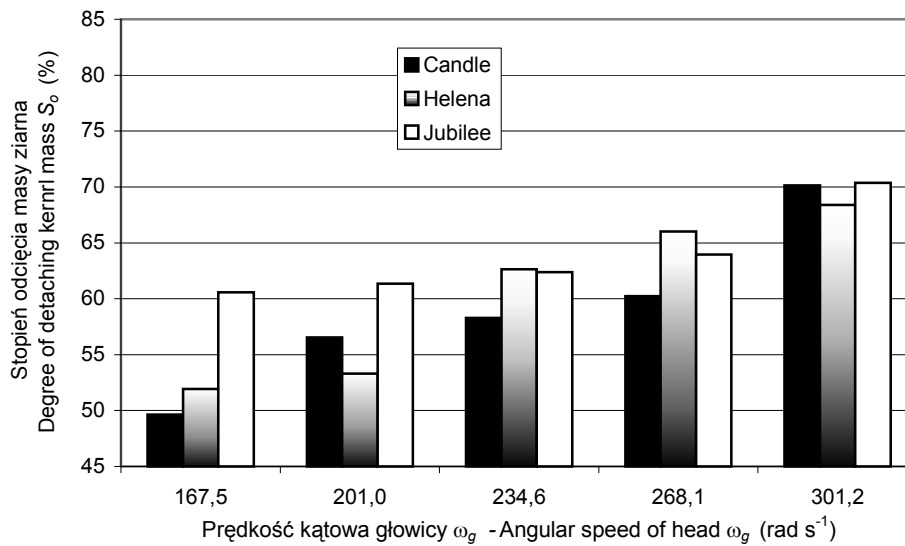
$v_p$ (m·s <sup>-1</sup> )	Równanie – Equation	R <sup>2</sup>	$p$
0,31	$S_o = 0,14\omega_g + 28,46$	0,90	0,00001
0,51	$S_o = 0,14\omega_g + 26,62$	0,82	0,00001
0,71	$S_o = 0,13\omega_g + 27,43$	0,76	0,00001
0,92	$S_o = 0,12\omega_g + 30,11$	0,73	0,00001

Zmiana prędkości kątowej głowicy nożowej  $\omega_g$  w zakresie od 167,5 do 301,2 rad·s<sup>-1</sup> i stałej prędkości podajnika kołb  $v_p$  (0,31 m·s<sup>-1</sup>) w zależności od odmiany i roku badań, powodowała zwiększenie stopnia odjęcia masy ziarna  $S_o$  od około 30% (Jubilee) do około 45% (Helena) w roku 2002 (rys. 47) i od około 23% (Jubilee) do około 58% (Candle) w roku 2003 (rys. 48). Zwiększanie prędkości podajnika kołb powyżej 0,31 m·s<sup>-1</sup> nie wpływało na zwiększenie  $S_o$ .



**Rys. 47.** Zmiany stopnia odcięcia masy ziarna  $S_o$  dla badanych odmian w roku 2002

**Fig. 47.** The changes of degree mass kernel detaching  $S_o$  for measuring varieties in year 2002



**Rys. 48.** Zmiany stopnia odcięcia masy ziarna  $S_o$  dla badanych odmian w roku 2003

**Fig. 48.** The changes of degree mass kernel detaching  $S_o$  for measuring varieties in year 2003

#### 8.4. Metoda pomiaru udziału poszczególnych frakcji ziarna

Podziału ziarna na frakcje dokonano po pomiarze jego długości. Pomiar przeprowadzono przy użyciu suwmiarki na próbie liczącej 500 ziaren. Wynik końcowy stanowiła średnia z 3 powtórzeń. Ze względu na brak danych literaturowych oraz norm branżowych, dotyczących podziału odciętego ziarna na klasy wymiarowe, przyjęto następujące przedziały:

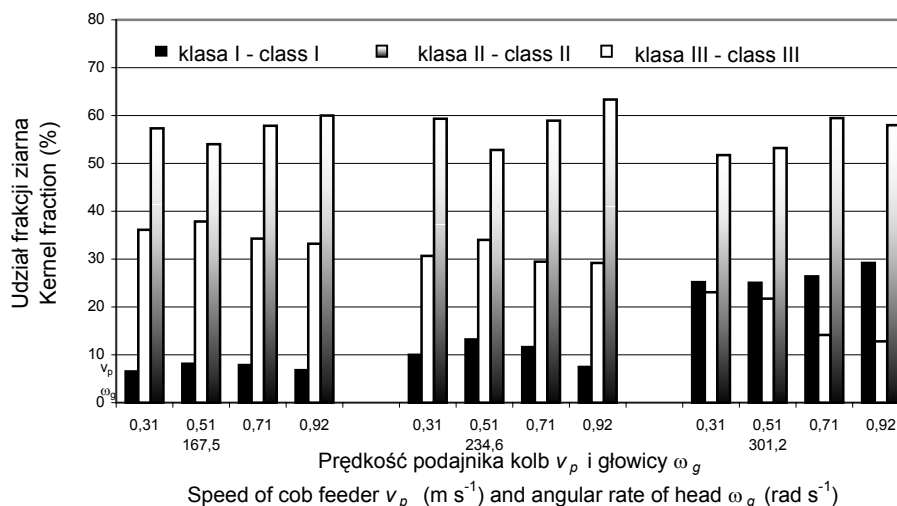
- klasa I – ziarno o długości powyżej 8 mm,
- klasa II – ziarno o długości od 4 do 8 mm,
- klasa III – ziarno o długości poniżej 4 mm.

Udziały ilościowe poszczególnych frakcji określono według wzoru:

$$f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^3 n_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (12)$$

gdzie:  $n_i$  – liczebność  $i$ -tego przedziału.

Zmiana prędkości głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i podajnika kolb od 0,31 do 0,92  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  wpływała na zmiany udziału frakcji ziarna w klasach (rys. 49). W klasie I zwiększył się on o około 347%, a w klasie III zmniejszył się o około 65%.



Rys. 49. Udział frakcji ziarna w klasach

Fig. 49. The part of kernel fraction in classes

W zależności od odmiany i roku badań udział frakcji ziarna zwiększał się od około 114% (Jubilee, 2002 r.) do około 560% (Candle, 2002 r.) w klasie I i zmniejszał się w przedziale od około 65% (Helena, 2002 r.) do około 34% (Candle, 2002 r.) w klasie III. W klasie II, której udział zawierał się w przedziale od około 40% (Candle, 2003 r.,  $\omega_g = 234,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) do około 71% (Candle, 2002 r.,  $\omega_g = 234,6 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i  $v_p = 0,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) nie stwierdzono wyraźnych tendencji spadkowych czy wzrostowych.

Wyniki analizy wariancji dla zmiennej zależnej (udział frakcji ziarna w klasie I  $f_I$ ) wykazały, że największy wpływ ma prędkość głowicy nożowej  $\omega_g$  (ok. 50% ogólnej zmienności udziału ziarna w klasie I  $f_I$ ) i rok (ok. 34%). Z kolei dla zmiennej zależnej – udział ziarna w klasie II  $f_{II}$ , – rok (ok. 71%), a dla zmiennej zależnej – udział ziarna w klasie III  $f_{III}$ , – prędkość głowicy nożowej (ok. 58%), są głównym czynnikiem wpływającym na zmienną zależną. Reasumując można stwierdzić, że na podstawie przeprowadzonych analiz wariancji prędkość kątowa głowicy nożowej ma największy wpływ na udział ziarna w klasie I i III.

### 8.5. Metoda pomiaru jakości cięcia

Na podstawie przekroju ziarna analizowano jego powierzchnię odcięcia, zwracając uwagę na jej gładkość i ubytek masy. Za wskaźnik jakości cięcia przyjęto stan przekroju odciętego ziarna (rys. 50). Jakość cięcia była uznana za dobrą, gdy przekrój był gładki i nie było ubytków masy. Każdy inny przekrój kwalifikował ziarno jako gorszej jakości. Udział takiego ziarna obliczono według wzoru:

$$U_{zg} = \frac{n_{zg} - n_{zd}}{n_{zg}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (13)$$

gdzie:

$n_{zd}$  – liczebność ziarna dobrego (szt.),

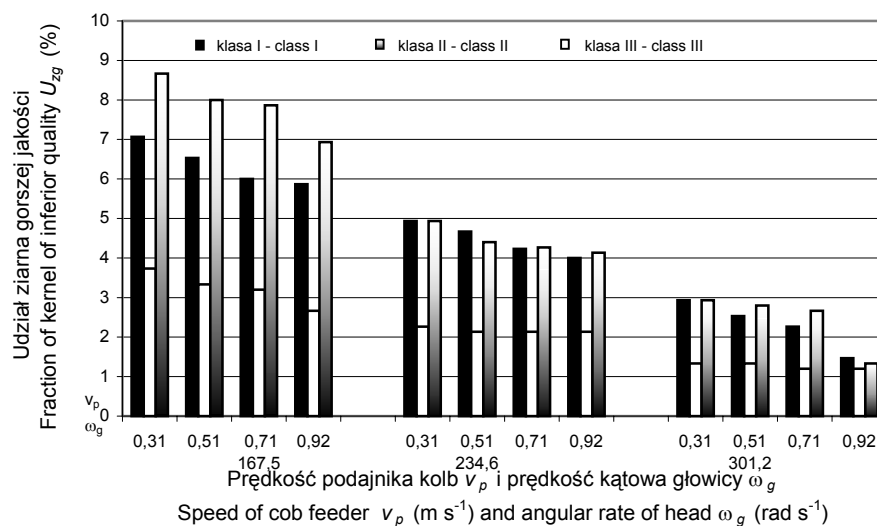
$n_{zg}$  – liczebność ziarna gorszej jakości (szt.).

Zmiana prędkości głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i podajnika kołb w zakresie od 0,31 do 0,92  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  wpływała na zmniejszenie udziału ziarna gorszej jakości  $U_{zg}$  w klasach (rys. 51). W klasie I zmniejszył się o około 82%, w klasie II o około 86% i w klasie III o około 71%. W zależności od odmiany i roku badań  $U_{zg}$  zmniejszał się w zakresie od około 81% (Helena, 2003 r.) do około 71% (Candle, 2003 r.) w klasie I, od około 88% (Helena, 2003 r.) do około 69% (Candle, 2003 r.) w klasie II oraz od około 71% (Helena, 2002 r.) do około 38% (Jubilee, 2003 r.) w klasie III.



**Rys. 50.** Stan powierzchni odciętego ziarna  
**Fig. 50.** The surface of detached kernel

Wyniki analizy wariancji wykazały, że odmiana wpływa w zasadniczy sposób na  $U_{zg}$  w klasie III (ok. 70% całkowitej zmienności  $U_{zg}$ ). Zarówno wpływ głowicy nożowej, jak i podajnika kolb okazał się nieistotny. Natomiast w klasie I i II głównym czynnikiem wpływającym na zmniejszanie się udziału ziarna gorszej jakości była prędkość kątowna głowicy nożowej (ok. 66% i 68% całkowitej zmienności  $U_{zg}$ ).



**Rys. 51.** Udział ziarna gorszej jakości  $U_{zg}$  w klasach  
**Fig. 51.** Fraction of inferior quality kernel  $U_{zg}$  in classes



## 9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Postawione problemy badawcze zostały zweryfikowane na drodze eksperymentu oraz metodami statystycznymi, w których wykorzystano opracowane metodyki i stanowiska badawcze. Weryfikację tych problemów oparto na analizie:

a) w badaniach quasi-statycznych:

- wartości siły cięcia w trzech miejscach na długości ziarna, oznaczonych jako: pozycja pomiarowa 1 (2/3 od podstawy), pozycja pomiarowa 2 (przy podstawie) i pozycja pomiarowa 3 (przy rdzeniu kolby), w zależności od odmiany kukurydzy,

- wartości siły cięcia, penetracji i ściskania ziarna pochodzącego z czterech miejsc na długości kolby, oznaczonych jako: pozycja pomiarowa 1 (dolna), pozycja pomiarowa 2 i 3 (środkowa) i pozycja pomiarowa 4 (górną), w zależności od odmiany kukurydzy,

- prędkości głowicy obciążającej w zakresie od 0,002 do 0,3  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

b) w badaniach dynamicznych:

- wartości siły cięcia w pozycji 2 na długości ziarna i pozycji pomiarowej 2 na długości kolby,

- prędkości obrotowej próbki w zakresie od 130,9 do 194,7  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i prędkości przesuwu noża od 0,005 do 0,015  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

c) w badaniach na obcinarce:

- energochłonności procesu odcinania w pozycji pomiarowej 2 na długości ziarna i w pozycji pomiarowej 1, 2, 3, 4 na długości kolby oraz jakości otrzymanego surowca (udział ziarna gorszej jakości, ilość odciętej masy ziarna),

- prędkości kątowej głowicy nożowej w zakresie od 167,5 do 301,2  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  i prędkości liniowej podajnika kolb od 0,31 do 0,92  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Doświadczenia przeprowadzone w warunkach quasi-statycznych wykazały, że badane zmienne wpływają w istotny sposób na zmiany wartości właściwości mechanicznych ziarna, tj. siłę cięcia, penetracji i ściskania oraz na moduł sprężystości i deformację względną. Zmiany wartości właściwości mechanicznych wpływały także na zmiany energii cięcia, penetracji i ściskania.

W badaniach dynamicznych dokonywano pomiaru siły odcinania przy różnych prędkościach. Pomiary wykazały, że stosowane różne kombinacje prędkości próbki i noża mogą stanowić kryterium oceny zmian siły cięcia, która wpływa na jakość energetyczną procesu odcinania ziarna. Uzyskane wyniki pomiarów wykazują duże zróżnicowanie, co do charakteru ich działania, jak i wartości. Właściwości wytrzymałościowe osiągały najwyższe wartości w przypadku ziarna osadzonego w dolnej części, a najniższe – ziarna z części wierzchołkowej kolby. Można to tłumaczyć dużym zróżnicowaniem stopnia dojrzałości ziarna oraz jego wielkości. Ziarno

w dolnej części kolby, w odróżnieniu do pozostałych, wykazuje dużą nieregularność zarówno w kształcie, jak i w osadzeniu na kolbie. Jest to szczególnie niekorzystne w czasie procesu jego odcinania na obcinarce. Wpływa to negatywnie na jakość odcinanego surowca (stan powierzchni po odcięciu) oraz na jakość procesu cięcia (zużycie energii).

Podobna zależność występowała na długości ziarna. W dolnej części charakteryzowało się ono większą twardością niż w górnej, co wynikało z obecności części włóknistych, jak i twardych, włóknistych części rdzenia (łuski). Ziarno w dolnej części odznacza się mniejszym przekrojem poprzecznym, co także rzutuje na jego zwiększoną twardość. Spostrzeżenia te są szczególnie znaczące w kontekście mechanicznego odcinania ziarna w warunkach przemysłowych.

Z uwagi na ograniczenia konstrukcyjne zespołu kopiująco-odcinającego maszyny, jak i na zmienność cech morfologicznych kolb i ziarna, tak aby faktyczne miejsce jego cięcia znacznie nie odbiegało od wielkości nastawionej (zakładanej), proces odcinania ziarna w badaniach na obcinarce prowadzono tylko na częściach środkowych kolby o walcowym kształcie; czyli w pozycji pomiarowej nr 2. Uzyskane dane potwierdzają te spostrzeżenia, a ponadto pozwalają w praktyce poprawić jakość otrzymanego surowca oraz zmniejszyć energochłonność procesu cięcia poprzez zwiększanie prędkości roboczych obcinarki. Wyższe parametry pracy, czyli większa prędkość obrotowa głowicy nożowej oraz prędkość podawania kolb wpływają na wzrost oddzielanej masy ziarna. Zależność tę można tłumaczyć większym odkształceniem plastycznym ziarniaków o wysokiej wilgotności, które przy niskich prędkościach podawania kolb oraz głowicy nożowej ulegają większemu odkształceniu w trakcie ścinania. Ścinanie takiego 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 katowej głowicy proces odcinania ziarna od ich rdzeni jest dokładniejszy.

Duży wpływ na ilość odcinanej masy ziarna mają cechy morfologiczne kolb. Przeprowadzone dwuletnie badania na trzech odmianach wskazują na istnienie stosunkowo dużego zróżnicowania zarówno w obrębie danej odmiany, jak i pomiędzy nimi. Zróżnicowanie to było widoczne już na etapie przeprowadzania badań fizycznych i chemicznych. Cecha ta, choć niekorzystna dla przebiegu samego procesu cięcia, może stanowić kryterium doboru odmian na potrzeby przetwórcze. Badania chemiczne, które ze względu na jakość surowca nie powinny być rozpatrywane w przypadku ziarna kukurydzy w oderwaniu od właściwości fizycznych, wykazały zróżnicowanie zawartości cukrów na długości ziarna. Cukry (zwłaszcza sacharoza) wpływają na charakterystyczny smak ziarna. Ograniczenie strat masowych pociąga za sobą także wzrost ilości cukrów, a tym samym jakości smakowej ziarna.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych i stanowiskowych oraz uzyskanych wyników pomiarów i analiz statystycznych można sformułować następujące wnioski:

1. Wyniki badań właściwości mechanicznych ziarna kukurydzy cukrowej wskazują na istnienie dużej zależności między analizowanymi parametrami a miejscem położenia i odcinania ziarniaków od rdzenia kolby.

2. Wyniki badań eksperymentalnych wykazały, że wartości siły i energii cięcia oraz penetracji są najwyższe w przypadku ziarna znajdującego się w dolnej części kolby i maleją ku wierzchołkowej części kolby.

3. Wszystkie badane właściwości wytrzymałościowe ziarna kukurydzy cukrowej istotnie zależą od ich cech odmianowych. Ponadto zarejestrowane w testach cięcia i penetracji wartości siły i energii zwiększają się z przesuwaniem strefy odcinania ziarna w kierunku rdzenia kolby.

4. Wzrost prędkości oddziaływania noża na badany materiał zarówno w warunkach quasi-statycznych, jak i dynamicznych, wpływa istotnie na spadek wartości wszystkich badanych czynników. Zależność ta wynika ze zmniejszania się oporów cięcia wraz ze wzrostem prędkości oddziaływania noża na badany materiał.

5. Ilość i jakość odcinanego ziarna zależą w głównej mierze od prędkości odcinania, a także innych czynników, m.in. prędkości podawania kolb, odmiany, miejsca położenia ziarna na kolbie i strefy odcinania.

6. Prawidłowy przebieg procesu odcinania (gładka powierzchnia cięcia) zapewnia możliwe minimalne opory cięcia. Odstępstwa powodują dużą deformację powierzchni (zgniecenia i rozerwania) oraz wzrost oporów cięcia.

7. Wzrost prędkości kątowej głowicy nożowej i podajnika kolb wpływa na obniżenie jednostkowej energii odcinania średnio o 76% (z 92 do 40%) i udziału ziarna gorszej jakości o około 70% (z 81 do 66%) oraz na zwiększenie stopnia odcięcia masy ziarna o około 40% (z 23 do 58%).

8. Duży wpływ na ilość odcinanej masy ziarna ma kształt kolb kukurydzy oraz ich regularność. W przypadku kształtu zbliżonego do walca (odmiana Candle) uzyskano najwyższe wartości odciętej masy, a jakość procesu cięcia ziarna była najlepsza.

9. Odcinanie ziarna jak najbliżej rdzenia pociąga za sobą nie tylko wzrost uzyskanej masy, ale także zawartości cukrów, których jest w tej części stosunkowo najwięcej.

10. Otrzymane modele matematyczne stwarzają możliwość wyjaśnienia wpływu badanych zmiennych na przebieg procesu odcinania ziarna od rdzenia kolb i mogą stanowić podstawę jego optymalizacji, której kryteriami są zużycie energii i jakość surowca.

11. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce, ponieważ przeprowadzony eksperyment wyjaśnił, że możliwe jest zwiększenie skuteczności odcinania ziarna przez zmianę parametrów eksploatacyjnych obcinarki.

12. Celowe jest podjęcie kompleksowych badań właściwości wytrzymałościowych ziarna kukurydzy cukrowej różnych odmian, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na jakość otrzymanego surowca.

#### 10. PIŚMIENNICTWO

1. **Adameczyk J., Czajczyński J., Królikowski Z.:** Wartość użytkowa nowych mieszańców kukurydzy cukrowej wyhodowanych w ZDHAR Smolice. Ogólnopolska konferencja: Możliwości zwiększenia produkcji i wykorzystania kukurydzy cukrowej w Polsce. AR Poznań, 1995.
2. **Ajayi O.A., Clarke B.:** High velocity shearing of maize kernels. *J. Agric. Engng Res.*, 42, 1525-1529, 1989.
3. **Al-Jalit M.F., Marley S.J., Chowdhury M.H.:** Laboratory studies of a low damage corn shelling machine. *Transaction of the ASAE*, vol. 23, no.2, 278-283, 1980.
4. **Anazodo U.G., Norris E.R.:** Effects of genetic and cultural practices on the mechanical properties of corn cobs. *J. Agric. Engng Res.*, 26, 97-107, 1981.
5. **Anazodo U.G., Wall G.L., Norris E.R.:** Corn physical and mechanical properties as related to combine cylinder performance. *Canadian Agric. Engng.*, vol. 23(1), 23-30, 1981.
6. **Azanza F., Avri Bar-Zur, Juvik J.A.:** Variation in sweet corn kernel characteristics associated with stand establishment and eating quality. *Euphytica*, 87, 7-18, 1996.
7. **Azanza F., Juvik J.A., Klein B.P.:** Relationship between sensory quality attributes and kernel chemical compositions of fresh-frozen sweet corn. *J. Food Quality*, 17, 159-172, 1994.
8. **Azanza F., Klein B.P., Juvik J.A.:** Sensory characterization of sweet corn lines differing in physical and chemical composition. *J. of Food Science*, vol. 61, 1, 253-257, 1996.
9. **Azanza F., Tadmor Y., Klein B.P.:** QTL influencing chemical and sensory characteristics of eating quality in sweet corn. *Genome*, 39, 40-50, 1996.
10. **Bajema R., Hyde G.M., Baritelle A.L.:** Temperature and strain rate effects on the dynamic failure properties of potato tuber tissue. *Transaction of the ASAE*, 41(3), 733-740, 1998.
11. **Bajema R., Hyde G.M., Peterson K.:** Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. *Transaction of the ASAE*, 41(3), 747-754, 1998.
12. **Barnes H.:** Growers are sweet on new corn picker. *Citrus and Vegetable Magazine*, 61(6), 40-41, 1997.
13. **Bletscher H.U.:** Hat Zuckermais Anbauchancen? *Mais*, 2, 41-43, 1985.
14. **Bonte D., Juvik J.:** Characterization on sugary-1 (su-1) sugary enhancer (se) kernels in segregating sweet corn populations. *Journal of the American Society for Hort. Science*, 115, 153-157, 1990.
15. **Boyes S., Chevis P.:** Peroxidase Isoforms of Corn Kernels and Corn on the Cob: Preparation and Characteristics. *Lebensm.-Wiss. u. -Technol.*, 30, 192-201, 1997.
16. **Boyes S., Chevis P., Holden J., Perera C.:** Microwave and water blanching of corn kernels: control of uniformity of heating during microwave blanching. *J. Food Processing and Preservation*, 21(6), 461-484, 1997.
17. **Brecht J.K.:** Fresh cut sweet corn kernels. *Citrus and Veget. Magazine*, 63(7), 36-37, 1998.
18. **Brewbaker J.K., Larish L.B., Zan G.H.:** Pericarp thickness of the indigenous in American races of maize. *Maydica* 41, 105-111, 1996.
19. **Burton L.V.:** The measurement of maturity of country gentelman corn. *Canner* 54, 27-29, 1982.

20. **Bzowska-Bakalarz M.:** Właściwości mechaniczne korzeni buraków cukrowych. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. AR Lublin, 1994.
21. **Cartea M.E., Malvar R.A.:** Identification of field corn populations to improve sweet corn for Atlantic European Conditions. *Crop Science*, 36, 1506-1512, 1996.
22. **Ceglarek F.:** Szczegółowa uprawa roślin rolniczych - morfologia i biologia roślin. Wyd. Akad. Podl., Siedlce, 2002.
23. **Camacho C., Alfonso B.:** Suitability study for super sweet corn on the ears hybrids under refrigerated conditions, evaluating chemicals, microbiological and sensorials characteristics. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 51(2), 180-186, 2001.
24. **Collins J.K., Biles C.L.:** Flavour qualities of frozen sweet corn are effected by genotype and blanching. *J. of the Science of Food and Agriculture*, 72(4), 425-429, 1996.
25. **Dobrzański B. jr.:** Właściwości mechaniczne powierzchniowej struktury roślinnej tkanki okrywającej. XI Szkoła „Fizyka z elementami agrofizyki“, Właściwości mechaniczne dyskretnych ośrodków rolniczych, Wyd. Nauk. FRNA Lublin, 2, 87-108, 1999.
26. **Dobrzański B. jr, Szot B.:** Strength of pea seed cover. *Int. Agrophysics*, 11, 4, 301-306, 1997.
27. **Dobrzycki J.:** Baza danych właściwości mechanicznych żywności. *Przemysł Spożywczy*, 3, 1991.
28. **Dougherty R. H.:** Reduction of liquid waste loads in sweet corn processing by changing sequences of unit operations. *J. Food Sci.*, 41:343, 1976, 1993.
29. **Douglass S.K., Juvik J.A.:** Sweet corn seedling emergence and variation in kernel carbohydrate reserves. *Depart. of Hort., University of Illinois, Urbana*, 433-443, 1993.
30. **Dow P.W., Byron N.Y.:** Corn harvesting. USA Patent 5176573, 1993.
31. **Eaton W.:** Automated corn cutter. USA Patent, 4753159, 1988.
32. **Ejudge E. and sohns.:** The Almanac of Canning, Freezing, Preserving Industries. vol. 2, 714, 1993.
33. **Evensen K.B., Boyer C.D.:** Carbohydrate and Sensory Quality of Fresh and Stored Sweet Corn. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.*, 111(5), 734-738, 1986.
34. **Feibert E., Shock F.:** Supersweet corn and sweet corn variety evaluations, Malheur Experiment Station, Oregon State University Ontario, Oregon, 1996.
35. **Felczyński K., Bąkowski J., Michalik H.:** Czynniki wpływające na jakość plonu i wartość odżywcza kukurydzy cukrowej. *Ogrodnictwo*, 3, 18-22, 1999.
36. **Felstehausen F.E.:** Corn cutter and system. USA Patent, 5041057, 1991.
37. **Figiel A., Frontczak J.:** Opory cięcia ziarna kukurydzy. *Inż. Roln.*, 2(22), 49-55, 2001.
38. **Figiel A., Frontczak J.:** Wpływ wilgotności na opory i pracę przecinania ziaren i nasion wybranych roślin, Referaty i doniesienia, II Zjazd Naukowy, PTA Lublin- Dąbrowica, 151-152, 2000.
39. **Frontczak J.:** Zmienność cech mechanicznych wybranych mieszańców kukurydzy. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, z.156, s.7-20, 1985.
40. **Frontczak J.:** Metody określania i analiza cech fizycznych ziarna kukurydzy. *Zesz. Nauk., Rozprawy*, 61. Wyd. AR Wrocław, 1987.
41. **Frontczak J.:** Test result interpretation methods comparison at determination of corn grain strenght in respect to grain moisture content. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 389, 49-58, 1991.
42. **Galinat W.C.:** The development of glumeless sweet corn. *Seed World*, 26, 4-7, 1965.
43. **Galinat W.C.:** The couple and its role in the origin and evolution role. *Agricultural Experiment Stadion. University of Mass., Amherst*, 1970.
44. **Gołacki K.:** Agrofizyka-przygoda, hobby, wyzwanie. *Biul. Inf. PTA*, 15, 2000.
45. **Gorbatov A.V.:** Strukturalno-mechanicheskie charakteristiki piscevych produktov. *Legkaja i piscevaja promyslennost, Moskwa*, 1982.
46. **Haman J., Konstankiewicz K.:** Procesy zniszczenia w komórkowym ośrodku roślinnym. *Acta Agrophysica*, 24, 67-87, 1999.
47. **Hanzelik F.:** Niektóre wysledky studia pevnostnych vlasnosti zrin kukurica, *Acta Technol. Agric. Zb. Vys. Sk. Rol. Hosp., Nitra*. 20, 159-166, 1980.

48. **Hardenburg R.E., Watada A.E.:** The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. U.S. Dept. Agric., Handbook 66, 1986.
49. **Higgins W. D.:** Self-contained mobile system and method for selectively processing fresh corn. USA Patent 6428834, 2002.
50. **Ito G.M., Brewbaker J.L.** Genetic advance through mass selection for tenderness in sweet corn. J. Am. Soc. Hort. Sci., 106(4), 496-499, 1991.
51. **Ito G.M., Brewbaker J.L.:** Genetic analysis of pericarp thickness in progenies of eight corn hybrids. J. Am. Soc. Hort. Sci., 116(6), 1072-1077, 1991.
52. **Jamieson P.D., Gillespie R.N.:** Predicting sweet corn maturity for factory processing in Canterbury, Proceedings of the 9<sup>th</sup> Australian Agronomy Conference, Wagga wagga, 1998.
53. **Jindal V.K., Herum F.L. Mensah J.K.:** Effect of repeated freezing – thawing cycles on the mechanical strength of corn kernels. Transaction of the ASAE, vol.21, no. 2, 367-374, 1978.
54. **Jumagulow G.:** Sacharnaja kukuruza. Kukuruza i sorgo, 3, 19-21, 1999.
55. **Kerr C.E.:** Green corn cutter machine. USA Patent 2787273, 1957.
56. **Kessler Jr., Harry T.:** Machine for cutting kernels from ears of corn. USA Patent 5830060, 1998.
57. **Konstankiewicz K.:** Metody emisji akustycznej w badaniach procesu tkanek roślinnych. Acta Agrophysica, 24, 87-93, 1999.
58. **Kowalczuk J.:** Wybrane zagadnienia optymalizacji procesów technologicznych produkcji roślinnej. Cz. I i III. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 402, 51-72, 1991.
59. **Kowalczuk J.:** Pattern of seed losses and seed damage during soybean harvest with grain combine harvesters. Int. Agrophysics, 13(1), 103-107, 1999.
60. **Kramer A.:** Histological and histochemical studies sweet corn pericarp as influenced by maturity and processing. J. Food Sci., 36(7), 1064, 1971.
61. **Królikowski Z.:** Kukurydza cukrowa, problemy hodowli i nasiennictwa. AR Poznań, 1995.
62. **Kulvadee T., Chowladda T.:** Effect of harvesting period on yield and quality of canned whole kernel sweet corn. Food, 27(4), 248-254, 1997.
63. **Kuminder J.:** Poszukiwanie wyróżników fizykochemicznych dojrzałości przetwórczej kukurydzy cukrowej. Przemysł Spożywczy, 7, 247-249, 1995.
64. **Kunjara B., Ikeda Y.:** Development of an automatic baby corn separating system for canned baby corn production. ASAE Publication, 1, 160-167, 1995.
65. **Kustermann M., Kutzbach H.D.:** Young's modulus dependent on deformation velocity. Transaction of the ASAE, vol.25, no.2, 178-183, 1982.
66. **Lee Y.C., McCoon M.:** Lipoxygenase and off –flavor development in some frozen foods. Korean J. Food Sci. Technol., 13, 53, 1981.
67. **Liu-Peng, Hu-ChangHao, Dong-ShuTing, Wang-KongJun.:** The comparison of sugar components in the developing grains of sweet corn and normal corn. Agricultural Science in China, 2:3, 258-264, 2003.
68. **Love J.M.:** The U.S. processing sweet corn industry. Vegetables and Specialties – Situation and Outlook, 251, 20-22, 1990.
69. **Lush R.W.** Prepared food product with sweet corn and method of preparing same. USA Patent, 541263, 1993.
70. **Marr Ch. W., Tisserat N.:** Sweet corn. Horticulture & Landscaping, 11, 1-8, 1995.
71. **Maruska G.F.:** Method and apparatus for renewing cutting edges in corn processing equipment. USA Patent 4802495, 1989.
72. **Mas Y.:** World vegetables; Principles, Production and Nutrie Values – Sweet corn, Publishing Company Inc., 1983.
73. **Michalsky F.:** Zuckermäis – ein Gemüse mit Zukunft? Mais, 2, 40-43, 1986.
74. **Mohsenin N.N.:** Instrumentation and measurement for environmental sciences, American Society of Agricultural Engineers, 1991.

75. **Mosz J., Frontczak J.:** Możliwości wyznaczania twardości ziarna kukurydzy przy zastosowaniu mikrotwardościomierza Vickersa. *Rocz. Nauk Roln.* 77, 53-59, 1986.
76. **Niedziółka I., Szymanek M., Rybczyński R.:** Energochłonność procesu cięcia ziarna kukurydzy cukrowej. *Inż. Rol.*, 6(39), 347-352, 2002.
77. **Nowosielow S.:** Ispolzovanie kukuruzy w piscevoj promyslennosti. *Piscevaja promyslennost*, 12, 64-65, 2002.
78. **Olsen J.K., Giles J.K., Jordan R.A.:** Post-harvest carbohydrate changes and sensory quality of three sweet corn cultivars. *Scientia Horticulturae*, 44 (3/4), 179-189, 1990.
79. **Ordas A. Revilla P., Malvar R.A., Cartea M.E.:** Development of sweet corn hybrids adapted to the environmental conditions of the northwest of Spain. *Maydica*, 39, 171-175, 1994.
80. **Orłowski M.:** Polowa uprawa warzyw. *Kukurydza cukrowa*, 383-386, 2000.
81. **Pawlicki T.:** Badania empiryczne procesu cięcia źdźbeł nożycowym zespołem tnącym. *Prace PIMR Poznań*, 2, 8-11, 1996.
82. **Philpot P.G.:** Private communications from A.H. Philpot & Sons. Rayleigh, England, 1978.
83. **PN-ISO 6540.:** Kukurydza – Oznaczenie wilgotności rozdrobnionego i całego ziarna, 1994.
84. **PN-R-75377.:** Kukurydza cukrowa, 1996.
85. **Prasad J., Gupta C.P.:** Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting. *J. Agric. Engng Res.*, 20, 79-87, 1974.
86. **Puangnak W.:** Effect of hybrid, maturity and kernel structure on lipid content, composition and aroma development in sweet corn, M.S. thesis, University of Maryland, College Park, 1998.
87. **Ralph C.:** Corn cutting machine, USA Patent, 2767716, 1956.
88. **Ratajczak W.:** Badania wytrzymałości na ściskanie owoców i warzyw. VI Sympozjum im. Prof. Cz. Kanafojskiego, Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych, Tom II, 20-21, 1994.
89. **Reyes F.G., Varseveld G.W.:** Sugar composition and flavor quality of high sugar (shrunken) and normal sweet corn. *J. Food Sci.*, 47, 753-755, 1982.
90. **Robertson G.H., Lazar M.E.:** Identifications and measurement of the resistances to abscission of intact or unit kernels of sweet corn. *J. Food Sci.*, 44, 982-986, 1979.
91. **Robertson G.H., Lazar M.E.:** Unit Operations for generation of intact or unit kernels of sweet corn. *J. Food Sci.*, 42, 5, 1977.
92. **Robertson G.H., Lazar M.E.:** Yield, influent reduction and organoleptic incentives for intact or unit – kernel sweet corn. *Food Technol.*, 31(8), 58, 1977.
93. **Robertson G.H., Belley G.H.:** Method of removing corn from the cob. USA Patent 4107340, 1978.
94. **Robertson G.H., Farkas D.F.:** Apparatus for removing corn from cob. USA Patent 4318415, 1982.
95. **Rodrigue N., Guillet M.:** Comparing information obtained from ranking and descriptive tests of four sweet corn products. *Posthar. Biol. and Tech.*, 18(3), 259-266, 2001.
96. **Ross E.E.:** Corn cutting machine. USA Patent 3455307, 1969.
97. **Rubatzky V.E., Yamaguchi M.:** Sweet corn, *Zea mays L.* World Vegetables: Principles, Production, and Nutrive Values. Intern. Thomson Publ., 235-252, 1997.
98. **Salunkhe D.K., Kadam S.S.:** Handbook of vegetable Science and Technology; Production, Composition, Storage and Processing. Marcel Dekker, Inc., 1998.
99. **Satyanarayana E., Shanthi P., Kumar R.S.:** Genetic variability studies for morphological, qualitative parameters in sweet corn. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 28, 1, 41-44, 2003.
100. **Simonne E., Simonne A., Boozer R.:** Yield, ear characteristics, and consumer acceptance of selected white sweet corn varieties in the southeastern United States. *Hort. Technology*, 289-293, 1999.
101. **Singh F., Finner F.:** A centrifugal impacter for damage susceptibility evaluation of shelled corn. *Transaction of the ASAE*, 23(4), 1958-1863, 1983.
102. **Sonderquist M.R.** 1975. Characterization of fruit and vegetables processing waste waters. *Water Resources Research Inst.*, Oregon State University, Corvallis, Or. WPRI-28.
103. **Sprague G.F., Dudley G.F.:** Corn kernel properties. *Amer. Soc. Agron.*, Madison, vol. 73, 321-325, 1988.

104. **Straub R.J., Koegel R.G., Kim J.Y.:** Quantifying dewatering characteristics of agricultural wastes and materials. *Amer. Soc. Agric. Engng* vol.85, no.4, 4036-4042, 1993.
105. **Suk S.L., Sang H.Y.:** Sugars, soluble solids and flavor of sweet, super sweet and waxy corns during grain filling. *Korean Journal of Crop Science*, 44(3), 267-272, 1999.
106. **Swulińska-Katulska A.:** Wykorzystanie kukurydzy cukrowej w żywieniu człowieka. *Kukurydza*. Wyd. spec., *Kukurydza cukrowa*, 23-24, 1996.
107. **Szpaar D., Dregiew D.:** Kukuruza. *Uczebno-praktyczeskoje rukovodstvo po vyraszczyvanii kukuruzy*. Minsk, 1999.
108. **Tadmor Y., Tracy W.F., Yousef G.G., Juvik J.A.:** Low phytic acid1-1 does not affect sugar metabolism in sugary 1 kernels. *Maydica*, 46, 1, 11-19, 2001.
109. **Telejko T.:** Wstęp do metod opracowywania wyników pomiarów z przykładami. AGH Kraków, 1999.
110. **Tkaczew R.J.:** Konservirovanie sacharnoj kukurydzy. *Izd. Piszcz. Prom.*, Moskwa, 1966.
111. **Tracy W.F., Galinat W.C.:** Thickness and cell laser number of the pericarp of sweet corn and some of its relatives, *Hort Science*, vol. 22(4), 645-647, 1987.
112. **Tracy W.F.:** Sweet corn – Speciality types of maize. Department of Agronomy, University of Wisconsin, CRC Press, Boca Raton, 147-187, 1994.
113. **Valasco P.J., Lim M.H.:** Enzymes responsible for off-flavor and off-aroma in blanched and frozen vegetables. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 11, 118-122, 1989.
114. **Yaicha S.:** FMC Corn Cutter Model 3AR. Using instructions.
115. **Wade J.H.:** Characterization of aroma components of corn. Ph. D. thesis, University of Georgia, Athens, 1981.
116. **Waligóra H., Dubas A., Swulińska-Katulska A.:** *Kukurydza cukrowa*. Wyd. Multum Poznań, 1998.
117. **Waligóra H.:** *Kukurydza cukrowa i możliwości jej uprawy w Polsce*. *Wiś Jutra*, 6(47), 2002.
118. **Waligóra H.:** *Kukurydza – roślina przyszłości. Poradnik dla producentów*, 2001.
119. **Warzecha R.:** Słodki smak kukurydzy. *Owoce Warzywa Kwiaty*, 6, 20-21, 2003.
120. **Watson S. A.:** Corn chemistry and technology; Sweet corn, The AVI Publishing, Inc., 1994.
121. **Webster R.C.:** Method of treating corn. USA Patent 3070447, 1962.
122. **Weckel K.G., Rambo R.S, Veloso H., Van Elbe J.H.:** Vegetable canning process wastes. Research Div., College of Agriculture & Life Science, Univ. of Wisconsin, Research Report, 38, 42, 1999.
123. **Wiley R.C.** Sweet corn aroma: studies of its chemical components and influence of fruits and vegetables. In evaluation of quality of fruits and vegetables, 349-366, AVI, 1985.
124. **Wolf I., Alper Y.:** Development of a harvester for fresh-market sweet corn, *Hassadeh Quarterly*, 1, 1, 32-34, 1990.
125. **Wong A.D.:** A study of kernel composition affecting the quality of shrunken2 sweet corn. *Dissertation Abstracts International*, 55(1) 10 Order no. DA9416451, 1994.
126. **Wong A.D., Juvik J.A.:** Shrunken2 sweet corn yield and the chemical components of quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119, 747-755, 1994
127. **Wong A.D., Swiader J.M.:** Nitrogen and Sulfur Fertilization Influences Aromatic Flavor Components in Shrunken 2 Sweet Corn Kernels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(5), 771-777, 1995.
128. **World Bank.:** Pollution and Abatement: Fruit and Vegetable Processing. Draft Technical Background Document. Environment Department. Washington, D.C., 1998.
129. **Wyatt J.E., Mullins J.A.:** Production of sweet corn from transplants. *Hort Science*, 26(4), 345-351, 1991.
130. **Zhu S., Mount J.R.:** Sugar and soluble solids changes in refrigerated sweet corn (*Zea mays L.*). *J. Food Sci.*, 5792, 454-457, 1992.
131. **Zoerb G.C.:** Instrumentation and Measurement Techniques for Determining Physical Properties of Farm Products. *Transaction of the ASAE*, vol.10, no.1, 100-102, 1967.
132. **Zoerb G.C., Hall C.W.:** Some mechanical and rheological properties of grains. *J. of Agric. Engng Res.*, 5, 1, 83-92, 1966.
133. **Żuk D.:** Proces cięcia źdźbeł zbóż. *Mechanika*, Wyd. Politech., Warszawa, z. 95, 1986.
134. **Żuk D.:** Wpływ prędkości noża na proces cięcia źdźbeł pszenicy. *Inż. Roln.*, 5, 55-60, 1998.



## 11. STRESZCZENIE

Kukurydza jest jedną z ważniejszych upraw roślin zbożowych na świecie i jej ziarno używane jest do produkcji płatków śniadaniowych, prażonej kukurydzy zwanej „popcorn” oraz w postaci mąki do wypieku chleba, a także, kukurydza cukrowa uprawiana jest i sprzedawana jako warzywo. Słodkie kolby kukurydzy o cylindrycznym kształcie mają długość od 20 do 25 cm. Wewnątrz łusek znajdują się równoległe rzędy złoto-żółtych nasion z delikatnymi nitkami biegnącymi wzdłuż nasion ku wierzchołkowi kolby. Nasiona o słodkim i mlecznym miąższu mają delikatną skórkę. Zbiór kolb kukurydzy cukrowej rozpoczyna się, gdy nasiona osiągają wilgotność 70-75%. Dla celów przetwórczych nasiona pozyskiwane są w procesie ich odcinania od kolb kukurydzy.

W prezentowanej monografii zostały przedstawione niektóre metodyczne aspekty procesu odcinania ziarna kukurydzy cukrowej. Badania skoncentrowano na właściwościach fizycznych nasion, które istotne są z punktu widzenia ich odcinania, jak również nad wpływem ustawień parametrów pracy obcinarki na wydajność procesu odcinania ziarna kukurydzy.

Cele badań eksperymentalnych przedstawionych w niniejszym opracowaniu obejmowały:

- określenie wybranych właściwości fizycznych kolb kukurydzy cukrowej, a w szczególności mechanicznych ziarna badanych odmian,
- badanie wpływu parametrów pracy obcinarki na jakość procesu cięcia,
- ocena przydatności odmian i strat podczas procesu obcinania ziarna.

Badania mechanicznych właściwości ziarna były wykonane w warunkach quasi-statycznych i dynamicznych. Testy cięcia, penetracji i ściskania nasion wykonano wykorzystując maszynę wytrzymałościową Instron i rejestrowano siłę, energię, moduł sprężystości oraz deformację względną. Siłę tnącą i energię niezbędną do odcięcia ziarna rejestrowano do momentu osiągnięcia maksymalnej wartości siły. Odcinanie ziarna od kolb w warunkach dynamicznych było realizowane na stanowisku badawczym wyposażonym w obcinarkę. Badania nad wpływem prędkości cięcia, podajnika kolb kukurydzy i prędkości obrotowej głowicy na wydajność ziarna kukurydzy prowadzono podczas procesu odcinania ziarna. Określony został pobór energii, stopień odcięcia ziarna, udział ziarna o różnej wielkości i jakość ziarna uzyskanego w procesie cięcia. Mechaniczne właściwości ziarna określone w wybranych testach udowodniły wysoką zależność granicznych parametrów i położenia nasion na proces cięcia. Wyniki badań wykazały, że prędkość głowicy tnącej miała istotny wpływ na wartość energii i siły, jak również na wydajność odcinania kukurydzy cukrowej. Wzrost prędkości obrotowej głowicy tnącej i podajnika kolb powodował spadek jednostkowej energii procesu średnio o 76% (w zakresie od 92 do 40% oraz udziału ziarna gorszej jakości o około 70% (od 81 do 66%). Z drugiej strony,

wzrost parametrów pracy obcinarki powodował wzrost masy odciętego ziarna kukurydzy o około 40% (od 23 do 58%). Zaobserwowano dodatni wpływ głębokości cięcia (w kierunku osi kolby), który wywoływał wzrost zapotrzebowania energii cięcia. Odcinanie ziarna możliwie blisko w kierunku rdzenia powoduje nie tylko wzrost masy, ale z drugiej strony, wzrost zawartości cukru w odciętej masie z powodu odcinania części ziarna o wysokiej zawartości cukru. Wyniki otrzymane podczas eksperymentów pokazały, że sprawność odcinania procesu może być zwiększona poprzez zmiany parametrów obcinarki i uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce. Matematyczne modele pozwalają wyjaśnić wpływ badanych czynników w procesie odcinania ziarna od rdzeni kolb i mogą być podstawą jego optymalizacji którego kryteriami pozostają zużycie energii i jakość surowca.

Słowa kluczowe: Kukurydza cukrowa, kolba kukurydzy, proces cięcia, fizyczne właściwości, pobór energii, jakość ziarna, wydajność cięcia

## 12. SUMMARY

Corn, also called maize, is one of the world's major cereal crops and, we are used as flour to make bread, to produce breakfast cereal, to make popcorn and, of course, sweet corn is grown and sold as a vegetable. Sweet corn cobs are long (20-25 cm) and cylindrical in shape. Inside the husks are parallel rows of golden-yellow seeds with soft threads running from the seeds to the top of the cob. The kernels have soft skins and are sweet and milky inside. For optimum quality, harvest of standard sugary cultivars begins when kernels reach 70-75% moisture. For preservation the sweet corn is cut-off from the cob.

In this monograph some methodological aspects of the cut-off process of sweet corn kernel was presented. The study concerned on the physical properties of seeds related to the cutting process, as well as, the influence of cutter settings on the yield of corn obtained at processing.

The objectives of the experimental research presented herein were:

- determination of selected physical proprieties of corn cobs and especially the mechanical properties of grain for studied varieties,
- study of the influence of the edge-cutter working parameters on the quality of the cutting off process,
- evaluation of studied varieties of sweet corn to cut-off process according in to the applicability of the grain losses.

The study of mechanical proprieties of grain were performed at quasi-static and dynamic condition. The shearing, penetration and compression tests of kernels were performed with the Instron testing machine, that allows to determined the force, energy, modulus of elasticity and relative deformation. The shearing force and energy necessary

to cut-off the kernels were collected up to the pick of force. The cutting-off of the kernels from the cores of cobs was performed using the special laboratory set equipped with the edge-cutter. The study over the conveyor speed and rotary rate of cutting head on the yield of corn and quality of kernels, obtained at cutting-off process allows to determine the energy-input, grade of grain, size distribution, and fractions in bulk. The mechanical properties of grain collected in selected tests prove the high dependency of boundary parameters and seed location in the cob on the cut-off process. The results presented herein, showed that the cutting head velocity had significant influence on the energy and shearing force, as well as, on the yield of sweet corn. The rotary rate of cutting head, as well as, the speed increase of the cob's feeder, involves the decrease of unitary energy of the cut-off process from 92 to 40%, as well as, participation of inferior quality grain from 81 to 66%. On the other hand, the increase of working parameter of edge-cutter involves the increase of bulk of corn from 23 to 58%. The positive influence of cutting deepness to the cob axis causes the increase of shearing force, being the most important factor influences the energy-input require at the kernel's cut-off process. The cutting-off process realised as close as possible to the core involves not only the increase of bulk. On the other hand, the sugar contents in the kernels of increases additionally because of cutting the parts of kernel of high sweetness. The results obtained during all experiments showed that the efficiency of cutting-off process should be enhanced by some modification of edge-cutter parameters, that it can be practically used. The mathematical models create the scope of explaining of the effect of investigated variable on the run of the cutting off process of grain from cores of cobs and can underlie his optimisation whose criteria are the consumption of energy and the quality of the raw material.

**Keywords:** sweet corn, corn-cob, kernel, cutting process, physical properties, cut-off energy-input, grain quality, efficiency of cutting

## Adresy autorów:

Mariusz Szymanek  
Ignacy Niedziółka  
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego AR  
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin  
tel. (0-81) 4456123, fax (0-81) 5329463  
e-mail: [szymgm@wp.pl](mailto:szymgm@wp.pl)  
[ignied@hortus.ar.lublin.pl](mailto:ignied@hortus.ar.lublin.pl)

Bohdan Dobrzański jr  
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
tel. (0-81) 7445061, fax (0-81) 7445067  
e-mail: [bdob@demeter.ipan.lublin.pl](mailto:bdob@demeter.ipan.lublin.pl)