

WPLYW CECH GEOMETRYCZNYCH ZIARNA PSZENICY
NA WLAŚCIWOŚCI MECHANICZNE
I PODATNOŚĆ NA ROZDRABNIANIE

Dariusz Dziki, Janusz Laskowski

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: e-mail: uldar@faunus.ar.lublin.pl

Streszczenie. Badano wpływ cech geometrycznych ziarna na właściwości mechaniczne i podatność na rozdrabnianie pszenicy. Stwierdzono, że ze wzrostem grubości ziarna zwiększały się wartości siły i pracy zgniatania ziarna do progu zgniecenia ($r = 0,98$ i $0,99$). Wykazano ujemną korelację między współczynnikiem kształtu K_3 , a pracą jednostkową zgniatania ziarna do progu wytrzymałości doraźnej ($r = -0,95$). Zmiany średniego wymiaru cząstki mlewa opisano równaniem regresji w funkcji energii jednostkowej rozdrabniania i grubości ziarna ($R^2 = 0,861$).

Słowa kluczowe: pszenica, właściwości geometryczne, mechaniczne, rozdrabnianie

WSTĘP

Znajomość właściwości fizycznych surowców roślinnych stanowi podstawę do odpowiedniego z nimi postępowania podczas przetwarzania. Cechy geometryczne ziarna mają szczególnie istotne znaczenie nie tylko w takich procesach, jak sortowanie i obłuskiwanie, ale również rozdrabnianie. W odniesieniu do właściwości geometrycznych, różnice pomiędzy poszczególnymi ziarniakami nie dotyczą tylko podstawowych wymiarów liniowych ziarna, takich jak: grubość, szerokość, czy długość, ale również sferyczności. Dziki i Laskowski [2] wykazali, że wraz ze wzrostem wielkości ziarniaków pszenicy zwiększa się ich sferyczność. Przy tym należy podkreślić, że nawet w obrębie tej samej odmiany zboża występuje duża zmienności właściwości fizycznych ziarniaków. Ponadto ziarno o różnej grubości i sferyczności wykazuje różnice w składzie chemicznym. Spowodowane jest to najprawdopodobniej innym okresem dojrzewania poszcze-

gólnych ziaren w kłosie. Powoduje to, że ziarna drobne nie są należycie wypełnione bielmem podczas końcowego okresu dojrzewania (mają w porównaniu do ziaren dużych mniej skrobi, a więcej białka i substancji mineralnych) [5].

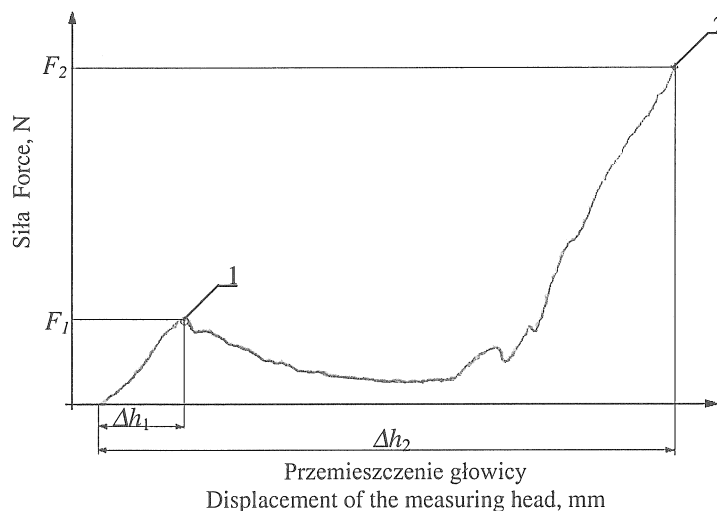
Istotne jest określenie w jakim stopniu różnice wymiarowe oddziałują na inne cechy ziarna oraz na proces przetwórczy. Stąd też w ostatnich latach prowadzonych jest szereg prac związanych z oceną właściwości geometrycznych ziarna [9,10,11]. Jednak niewiele z nich powiązanych jest z procesem rozdrabniania. Dlatego też celem niniejszej pracy było określenie wpływu cech geometrycznych ziarna pszenicy na właściwości mechaniczne oraz podatność na rozdrabnianie.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły cztery odmiany pszenicy zwyczajnej: jedna formy jarej (Banti) i trzy ozimej (Izolda, Juma oraz Maltanka). Zboże pochodziło z Lubelskiej Centrali Nasiennej ze zbiorów z roku 1998. Dla ziarna określono wilgotność (według PN-86/A-74011) i skład granulometryczny, wykorzystując sortownik Stineckera-Vogla. Następnie ziarno każdej odmiany podzielono według grubości na pięć frakcji: 2,0-2,5; 2,5-2,7; 2,7-2,9; 2,9-3,1 i 3,1-3,5 mm. W dalszej części badań próbki dowlżono do wilgotności 14% i przed pomiarami leżakowano w szczelnie zamkniętych pojemnikach w temperaturze pokojowej. Dla tak przygotowanych ziarniaków określono cechy geometryczne (długość, szerokość, grubość) przy wykorzystaniu suwmiarki z dokładnością do 0,1 mm. Wyznaczono także współczynniki sferyczności K_1 i K_2 , wyrażające iloraz grubości i szerokości ziarna do jego długości [6]. Określono również współczynnik K_3 jako iloraz grubości ziarna do jego szerokości. Następnie pojedyncze ziarniaki każdej frakcji, po wcześniejszym zważeniu, układano na dolnej nieruchomej płycie maszyny wytrzymałościowej Instron 4302 i zgniatano płytą górną do odległości między nimi równej 0,5 mm. Prędkość przesuwu płyty górnej wynosiła $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Zastosowano głowicę obciążającą o zakresie pomiarowym 0-1kN. Na podstawie uzyskanych krzywych zgniatania określono próg wytrzymałości doraźnej oraz próg zgniecenia, dla których wyznaczono siłę F_1 i F_2 , odkształcenie Δh_1 i Δh_2 (rys. 1) oraz obliczono pracę i pracę jednostkową zgniatania ziarna. Pomiary wykonano w 30 powtórzeniach dla każdej klasy ziarnowej. Wyznaczono także indeks twardości ziarna SKCS [4].

Proces rozdrabniania prowadzono wykorzystując młewnik laboratoryjny typu SK z układem pomiarowym do rejestracji zmian poboru mocy podczas rozdrabniania [1]. Po rozdrobnieniu określono skład granulometryczny młewa,

wykorzystując sortownik Thyr 2 oraz obliczono średni wymiar cząstki produktów rozdrabniania [6] i wyciąg mąki. Za mąkę przyjęto cząstki o wielkości poniżej 200 μm . Wyznaczono również wskaźniki energochłonności rozdrabniania, takie jak: energochłonność jednostkową [1], wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie [8] oraz wskaźnik efektywności rozdrabniania jako iloraz energii rozdrabniania do ilości otrzymanej mąki.



Rys. 1. Przykładowa krzywa zgniatania ziarna pszenicy. 1 – próg wytrzymałość doraźnej, 2 – próg zgniecenia
Fig. 1. Example of a wheat compression curve. 1 – point of rapture, 2 – point of collapse

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Przeprowadzono jednozmienną analizę wariancji oraz określono istotność różnic między średnimi wykorzystując test Tukey'a. Wyznaczono także współczynniki korelacji między analizowanymi cechami oraz równania regresji wielokrotnej. Wszystkie analizy wykonano przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Średnie wartości poszczególnych cech badanych frakcji, które nie różnią się istotnie między sobą oznaczono w tabeli 1 tymi samymi literami.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że cechy geometryczne ziarna wpływają na jego właściwości mechaniczne określone na podstawie testu jednoosiowego ściskania (tab. 1). Największy wpływ stwierdzono w odniesieniu do siły i pracy deformacji ziarna do progu zgniecenia (F_2 i L_2). Dla wszystkich odmian pszenicy wraz ze wzrostem grubości ziarna zwiększały się wartości siły (średnio od

294 do 513 N) i pracy (średnio od 147 do 273 mJ). Współczynniki korelacji między grubością ziarna a siłą i pracą deformacji ziarna do progu zgniecenia, obliczone na podstawie wartości średnich ze wszystkich odmian, wyniosły odpowiednio 0,98 i 0,99.

Tabela 1. Cechy mechaniczne poszczególnych frakcji pszenicy
Table 1. Mechanical properties of each wheat fractions

Odmiana Cultivar	Frakcja Fraction (mm)	Δh_1 (mm)	F_1 (N)	F_2 (N)	L_1 (mJ)	L_2 (mJ)	L_{j1} (mJ·g ⁻¹)	L_{j2} (mJ·g ⁻¹)	t_{SKCS}
Banti	2,0-2,5	0,55 ^{ab}	50 ^a	222 ^a	18 ^a	117 ^a	700 ^a	4,4 ^a	32 ^a
	2,5-2,7	0,58 ^a	56 ^{ab}	407 ^b	22 ^a	189 ^b	700 ^a	5,8 ^b	30 ^{ab}
	2,7-2,9	0,45 ^b	63 ^{bc}	464 ^c	19 ^a	231 ^c	507 ^a	6,0 ^b	27 ^b
	2,9-3,1	0,46 ^b	66 ^{bc}	468 ^c	23 ^a	238 ^c	574 ^a	5,8 ^b	29 ^{ab}
	3,1-3,5	0,51 ^{ab}	70 ^c	547 ^d	25 ^a	277 ^d	555 ^a	5,8 ^b	28 ^b
Izolda	2,0-2,5	0,42 ^a	73 ^{ab}	265 ^a	19 ^a	161 ^a	559 ^{ab}	4,4 ^{ab}	65 ^a
	2,5-2,7	0,42 ^a	78 ^{ab}	325 ^b	20 ^a	200 ^b	507 ^{ab}	4,9 ^a	66 ^a
	2,7-2,9	0,45 ^a	87 ^a	320 ^b	25 ^{ab}	182 ^{ab}	586 ^{ab}	4,3 ^{bc}	64 ^a
	2,9-3,1	0,55 ^b	89 ^a	339 ^b	31 ^b	212 ^b	642 ^a	4,3 ^{bc}	65 ^a
	3,1-3,5	0,50 ^{ab}	64 ^b	334 ^b	21 ^a	191 ^{ab}	429 ^b	3,9 ^c	64 ^a
Juma	2,0-2,5	0,38 ^{ab}	66 ^a	363 ^a	14 ^a	158 ^a	481 ^a	5,3 ^a	74 ^a
	2,5-2,7	0,39 ^{ab}	78 ^b	474 ^b	18 ^{ab}	226 ^b	550 ^a	6,7 ^{bc}	74 ^a
	2,7-2,9	0,38 ^{ab}	77 ^{ab}	548 ^c	17 ^{ab}	261 ^c	482 ^a	6,9 ^b	72 ^a
	2,9-3,1	0,43 ^a	77 ^{ab}	541 ^c	21 ^b	270 ^{cd}	490 ^a	6,1 ^c	73 ^a
	3,1-3,5	0,32 ^b	75 ^{ab}	564 ^c	14 ^a	300 ^d	291 ^b	6,4 ^{bc}	72 ^a
Maltanka	2,0-2,5	0,37 ^a	58 ^a	327 ^a	14 ^a	151 ^a	529 ^{ab}	5,6 ^a	77 ^a
	2,5-2,7	0,43 ^{ab}	68 ^a	352 ^a	20 ^a	172 ^a	715 ^b	6,0 ^a	72 ^{ab}
	2,7-2,9	0,49 ^b	70 ^a	466 ^b	22 ^a	226 ^b	672 ^b	6,3 ^a	73 ^{ab}
	2,9-3,1	0,49 ^b	71 ^a	547 ^c	22 ^a	279 ^b	521 ^{ab}	6,5 ^a	71 ^b
	3,1-3,5	0,38 ^a	68 ^a	608 ^c	16 ^a	322 ^b	336 ^a	6,5 ^a	72 ^{ab}

Wartości oznaczone różnymi literami różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

The values designated by the different letters are significantly different ($\alpha = 0,05$)

Nie stwierdzono jednoznacznego wpływu grubości ziarna na odkształcenie do progu wytrzymałości doraźnej (Δh_1). Dla odmian Izolda Juma i Maltanka największe wartości tego odkształcenia uzyskano dla frakcji ziarna o grubości 2,9-3,1 mm. Natomiast wartości uzyskane dla ziarna najdrobniejszego i o największej grubości nie różniły się istotnie. Nie wystąpiły również jednoznaczne zależności między grubością ziarna a takimi cechami, jak: siła, praca i praca jednostkowa deformacji ziarna do progu wytrzymałości doraźnej (F_1 , L_1 , L_{j1}) oraz praca jednostkowa deformacji ziarna do progu zgniecenia (L_{j2}). W odniesieniu do pracy zgniatania

ziarna do progu zgniecenia (L_2) dla odmian Izolda i Juma najwyższe wartości tego parametru otrzymano dla frakcji ziarna o grubości 2,9-3,1 mm. Natomiast dla dwóch pozostałych odmian nie wystąpiły istotne różnice pomiędzy średnimi uzyskanymi dla poszczególnych frakcji (tab. 1).

Stwierdzono ujemną korelację ($r = -0,95$) między wskaźnikiem kształtu K_3 , wyrażającym iloraz grubości ziarna do jego szerokości, a pracą jednostkową zgniatania ziarna do progu wytrzymałości doraźnej.

Zmiany siły obciążającej ziarno dla progu wytrzymałości doraźnej (F_1) opisano równaniem uwzględniającym grubość ziarna (a) i współczynnik kształtu K_3 :

$$F_1 = 20,91 \cdot a - 295,74 \cdot K_3 + 283,23; \quad R^2 = 0,674 \quad (1)$$

Stwierdzono, że wraz ze wzrostem grubości ziarna zmniejszał się nieznacznie wskaźnik twardości SKCS (średnio od 62 do 59). Jednak istotne różnice wystąpiły jedynie u ziarna odmian Banti i Mlatanka (tab. 1). Dużo większy wpływ na wartość tego wskaźnika miał czynnik odmianowy. Najwyższą twardością charakteryzowało się ziarno odmiany Juma i Maltanka (średnio 73), najniższą zaś próbka pszenicy Banti (średnio 29).

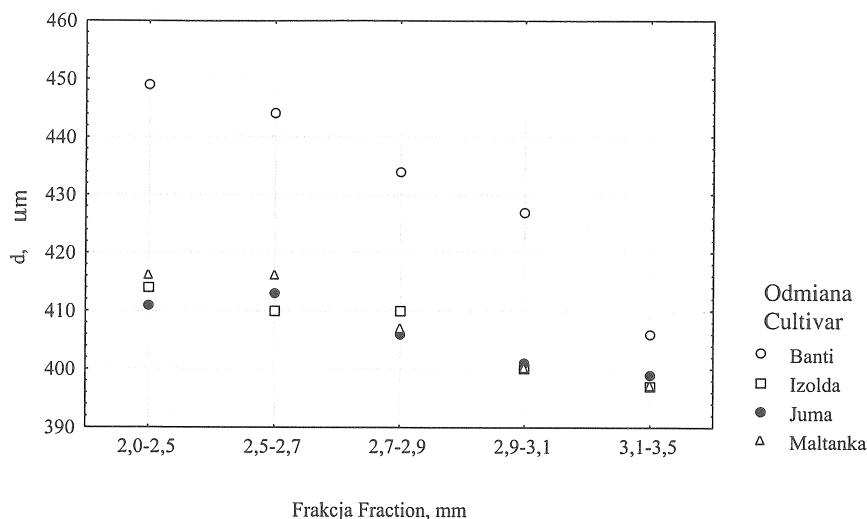
Tabela 2. Współczynniki korelacji między cechami geometrycznymi ziarna pszenicy a wskaźnikiem podatności na rozdrabnianie

Table 2. Coefficients of correlation between geometrical properties of wheat kernel and grinding ability index

Odmiana Cultivar	Cecha Feature					
	grubość thickness	szerokość width	długość length	K_1	K_2	K_3
Banti	-0,95	-0,95	-0,91	-0,95	-0,95	-0,02 ⁿ
Izolda	-0,95	-0,89	-0,73 ⁿ	-0,88	-0,93	-0,44 ⁿ
Juma	-0,98	-0,99	-0,98	-0,95	-0,97	-0,34 ⁿ
Maltanka	-0,30 ⁿ	-0,27 ⁿ	-0,66 ⁿ	0,17 ⁿ	-0,25 ⁿ	-0,19 ⁿ

n – nie istotne not significant.

Na podstawie wyników uzyskanych podczas rozdrabniania pszenicy na młyniku walcowym stwierdzono, że w przypadku wszystkich badanych odmian wraz ze wzrostem grubości ziarna zmniejszał się średni wymiar cząstki mlewa (rys. 2). Największe zmiany wystąpiły w odniesieniu do pszenicy odmiany Banti (spadek średniego wymiaru cząstki mlewa średnio od 449 do 406 μm). Różnice w średnim wymiarze cząstki mlewa mogą wynikać z innych właściwości mechanicznych ziarniaków drobnych i dużych. Różnice te mogą być również spowodowane różną strefą rozdrabniania dla ziarna o innej wielkości. W młyniku walcowym wielkość ziarna ma wpływ na długość strefy rozdrabniania [7].



Rys. 2. Średni wymiar cząstki młwa (d) poszczególnych frakcji ziarna pszenicy
 Fig. 2. Average particle size (d) of the individual wheat kernel fractions

Nie stwierdzono istotnego wpływu cech geometrycznych ziarna na energochłonność jednostkową rozdrabniania. Można przypuszczać, że efekt ten jest spowodowany przejściem młwa przez cztery kolejne pasaże w wykorzystanym do badań młwniku. Natomiast inne badania własne [3] wykazały, że po pierwszym pasażu śrutującym ziarno o grubości 2,0-2,5 mm charakteryzuje się istotnie niższą jednostkową energią rozdrabniania w odniesieniu do frakcji 3,1-3,5 mm.

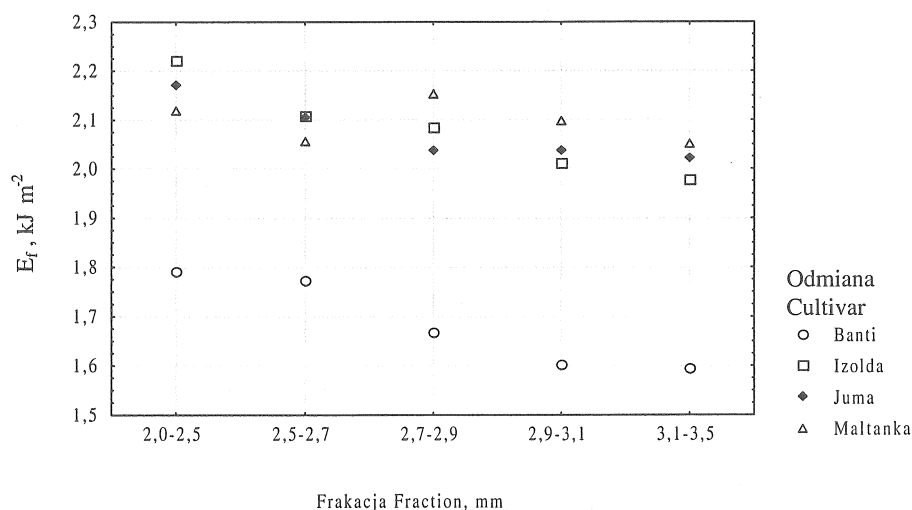
Na energochłonność jednostkową rozdrabniania miał wpływ czynnik odmianowy. Najmniejszą energochłonnością jednostkową rozdrabniania charakteryzowało się ziarno pszenicy odmiany Banti (średnio $17,9 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dla pozostałych odmian różnice między średnimi wartościami nie były istotnie różne, a wartość tej cechy wyniosła średnio $23,6 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wystąpiła ponadto silna korelacja między twardością ziarna, a energochłonnością jednostkową rozdrabniania ($r = 0,964$).

Zmiany średniego wymiaru cząstki młwa (d) opisano równaniem w zależności od energii jednostkowej rozdrabniania (E) i grubości ziarna (a):

$$d = -5,095 \cdot E - 30,71 \cdot a; \quad R^2 = 0,861 \quad (2)$$

Dla trzech spośród czterech badanych odmian pszenicy stwierdzono istotne i ujemne współczynniki korelacji liniowej między większością określanych cech geometrycznych, a wskaźnikiem podatności ziarna na rozdrabnianie (tab. 2). Największe zmiany wystąpiły w odniesieniu do ziarna odmiany Banti – spadek

wskaźnika od 1,8 do 1,6 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (rys. 3). Natomiast nie stwierdzono istotnych zależności między cechami geometrycznymi ziarna pszenicy odmiany Maltanka, a wskaźnikiem podatności ziarna na rozdrabnianie.



Rys. 3. Wskaźnik podatności na rozdrabnianie (E_g) poszczególnych frakcji ziarna pszenicy
Fig. 3. Grinding ability index (E_g) of wheat kernel fractions

Nie wykazano istotnego wpływu cech geometrycznych ziarna na wskaźnik efektywności rozdrabniania. Natomiast na wskaźnik ten miał wpływ czynnik odmianowy. Największe wartości uzyskano dla ziarna odmiany Juma (średnio 288 kJ na kg mąki), a najmniejsze dla pszenicy Banti (średnio 239 kJ na kg mąki).

WNIOSKI

1. Dla badanych odmian pszenicy wraz ze wzrostem grubości ziarna zwiększały się wartości siły i pracy zgniatania ziarna do progu zgniecenia ($r = 0,98$ i $0,98$).
2. W odniesieniu do trzech spośród czterech badanych odmian pszenicy największe wartości odkształcenia ziarna do progu wytrzymałości doraźnej stwierdzono dla frakcji ziarna o grubości 2,9-3,1 mm.
3. Wykazano ujemną korelację między wskaźnikiem kształtu K_3 , wyrażającym iloraz grubości ziarna do jego szerokości, a pracą jednostkową zgniatania ziarna do progu wytrzymałości doraźnej ($r = -0,95$).
4. Stwierdzono, że średni wymiar cząstki mlewa istotnie zależy od grubości ziarna i energochłonności jednostkowej rozdrabniania.

PIŚMIENNICTWO

1. **Dziki D., Laskowski J.:** Układ pomiarowy do maszyn rozdrabniających z komputerową rejestracją danych. IV Krajowa Konferencja. Komputerowe wspomaganie badań naukowych. Świeradów Zdrój, Materiały konferencyjne, 59-60, 1997.
2. **Dziki D., Laskowski J.:** Wpływ wielkości ziarna na wybrane właściwości pszenicy. Inżynieria Rolnicza, tom I, 5 (38), 219-225, 2002.
3. **Dziki D., Laskowski J.:** Influence of kernel size on wheat milling properties. 15th International Congress of Chemical and Process Engineering. 25-29 August 2002 Praha, Czech Republic Conference, paper CHISA, 2002.
4. **Fourre N., Abacassis J., Bard M., Willm C.:** Evaluation de la dureté des blés: analyse globale ou grain par grain. Industries des Céréales, 106, 21-27, 1998.
5. **Gaines C.S.:** Texture (hardness and softness) variation among individual soft and hard wheat kernels. Cereal Chemistry, 63, 479-484, 1986.
6. **Grochowicz J.:** Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL, Warszawa, 1996.
7. **Hague E.:** Application of size reduction theory to roller mill design and operation. Cereal Foods World, 40 (1), 30-35, 1991.
8. **Kiryłuk J., Kawka A., Klockiewicz-Kamińska E., Aniola J.:** Charakterystyka wybranych odmian jęczmienia jako surowca do produkcji kasz i innych produktów spożywczych. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 3, 29-30, 1998.
9. **Majewska K., Gudaczewski W., Fornal Ł.:** Cechy geometryczne ziarna pszenicy a jego jakość technologiczna. Przegląd Zbożowo-Młynarski, 7, 26-27, 1997.
10. **Mieszkalski L.:** Metoda tworzenia modelu bryły ziarna zbóż. Problemy Inżynierii Rolniczej, 1(31), 29-36, 2001.
11. **Mieszkalski L.:** Metoda wyznaczania płaszczyzny w otoczeniu punktu powłoki modelowej bryły ziarna zbóż. Problemy Inżynierii Rolniczej, 3(31), 29-36, 2001.

INFLUENCE OF WHEAT KERNEL GEOMETRICAL PROPERTIES
ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND GRINDING ABILITY

Dariusz Dziki, Janusz Laskowski

Department of Machine Operation in Food Industry, University of Agriculture
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: uldar@faunus.ar.lublin.pl

Abstract. The influence of geometrical properties on wheat mechanical properties and grinding ability was investigated. The results showed that as the kernel thickness increased the force and deformation for the point of collapse also increased ($r = 0.98$ and 0.99). A negative correlation between the shape coefficient K_3 and specific work up to the rupture point ($r = -0.95$) was found. Changes in the average particle size of the grinding stock were described by a regression equation in the function of a specific grinding energy and kernel thickness ($R^2 = 0.861$).

Key words: what, geometrical, mechanical properties, grinding