

## CECHY MORFOMETRYCZNE ZIARNIAKÓW ŻYTA PRZECHOWYWANEGO W SILOSIE\*

*Tomasz Guz, Zbigniew Kobus, Elżbieta Kusińska, Rafał Nadulski*  
*Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** Praca przedstawia metodykę i wyniki oceny zmian cech geometrycznych ziarna żyta odmiany Słowiańskie po przechowywaniu w warunkach symulowanego laboratoryjnie obciążenia. Naciski o wartościach 35, 52 oraz 70 kPa były wywoływane w specjalnych cylindrach symulujących warunki przechowywania w silosie. Celem pracy było ustalenie przebiegu zmian cech geometrycznych nasion w zmiennych warunkach ich przechowywania (wilgotności: 14, 16, 18 20, 22 i 24% i temperaturze: 6°C oraz 20°C). Pomiary cech geometrycznych przeprowadzono z użyciem systemu SVISTMET. Wyniki badań wskazują, że zmiany wielkości ziaren (statystycznie nieistotne) występują tylko w skrajnych warunkach przechowywania (20°C, 52 i 70 kPa) w warunkach wysokiej ich wilgotności (ponad 20%), która była głównym czynnikiem tych zmian. Kształt ziaren, wyrażony zdefiniowanym współczynnikiem, ulegał zmianom tylko w warunkach podwyższonej wilgotności (20–24%) i nacisku (70 kPa), co związane jest ze zwiększoną plastycznością ziaren.

**Słowa kluczowe:** żyto, silos, przechowywanie, morfometria, analiza obrazu

### Wprowadzenie

Aktywne wietrzenie polega na wielokrotnej wymianie atmosfery zawartej w przestrzeniach międzyziarnowych na powietrze, które zmniejsza aktywność fizjologiczną ziarna [Kusińska 2008]. Ruchowi powietrza w silosach towarzyszy opór przepływu przez warstwę materiału ziarnistego, którego wyznaczenie było przedmiotem licznych badań [Molenda 2005; Kusińska, Kizun 2006]. Elewatory, w których przechowuje się ziarno i nasiona, mają coraz większe wymiary, stąd problem jest ciągle aktualny [Sacilik 2004; Kusińska 2006]. Duża wysokość napełniania zbiorników oraz długi czas przechowywania ziaren powoduje wzrost oporów przepływu związanych ze zwiększaniem gęstości materiału przy jego niewielkiej porowatości [Łukaszuk 2005]. Czynnikiem kształtującymi opory przepływu są: gęstość, wilgotność, porowatość, kształt i wielkość ziarna oraz współczynnik tarcia

---

\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego własnego Nr N N313 013336

wewnętrzne ziarna [Laskowski 2001]. Na wielkość oporów przepływu ziarna przez usypane warstwy wpływa stosunek objętości ziarniaków do ich powierzchni [Molenda 2005].

Każde ziarno charakteryzuje się parametrami, takimi jak: długość, szerokość oraz grubość. Wielkości te zmieniają się wraz ze zmianą wilgotności. Zmiany kształtu ziaren są ważnym czynnikiem kształtującym jego jakość [Frączek, Wróbel 2009], jak i warunki w procesie jego przewietrzania w silosie [Horabik 2002].

W wielu przypadkach obiektywna ocena zmian cech zewnętrznych surowców, w tym uszkodzeń, jest trudna [Szwedziak, Biłos 2008]. W chwili obecnej wykorzystanie systemów automatycznej oceny obrazów uzyskanych z kamer cyfrowych daje możliwość oceny złożonych procesów, które cechuje ekspresja barwna [Szwedziak, Krótkiewicz 2006]. Przykładem takiego wykorzystania współczesnych systemów analizy obrazu może być sortowanie pomidorów [Jahns i in. 2001] oraz obserwacja zmian na powierzchni owoców cytrusowych przy wykorzystaniu układów termowizyjnych [Fito i in. 2004]. Podstawowym zastosowaniem systemów analizy obrazu jest, w odniesieniu do ziaren zbóż, ocena morfometryczna surowca w procesach oraz szczegółowa charakterystyka różnych odmian ziarna [Zapotoczny 2011]. Zastosowanie nowych urządzeń pomiarowych (systemy komputerowej analizy obrazu) pozwala obliczyć jeszcze bardziej złożone parametry obiektów biologicznych oparte na pomiarze pola powierzchni, długości linii brzegowych czy też średnic zastępczych [Guz 2009]. Pozwala to na dokładniejszy opis zmian, którym ulegają surowce w wielu procesach, w tym podczas przechowywania w silosach o dużej objętości [Guz i in. 2011], gdzie istotnie zmienia się porowatość, gdyż przestrzenie międzyziarnowe decydująco wpływają na opór przepływu powietrza [Szwed 2003].

## **Cel i zakres pracy**

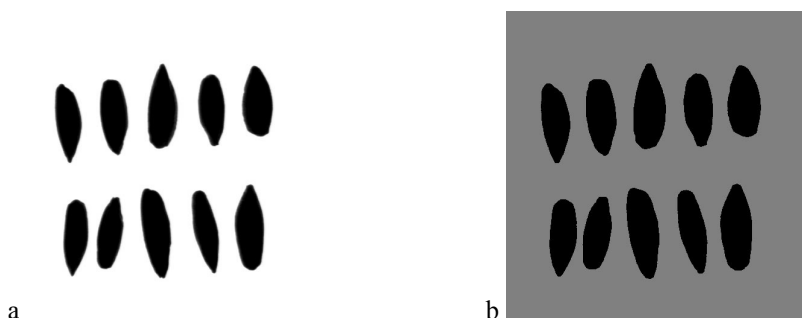
Celem pracy była ocena zmian wielkości i kształtu ziarna żyta poddanego obciążeniom spotykanym w silosie. Zakres pracy obejmował przechowywanie ziarna oraz badania morfometryczne odkształceń trwałych.

## **Metodyka badań**

Ziarna żyta ozimego Słowiańskie o wilgotności 14% dowilżono do 5 wartości wilgotności: 16, 18, 20, 22, 24%, mieszając je po dowilżeniu i przechowując przez 48h w chłodziarce w temp. 6°C. Dowilżone ziarno za pomocą dozownika stożkowego zasypywano do pojemników cylindrycznych o objętości 2 dm<sup>3</sup>, a następnie utrzymywano w stanie naprężenia wywołanego mechanizmem napinającym. Pojemniki te wywierały naciski: 35, 52 oraz 70 kPa, co odpowiada naciskom zboża w silosie o wysokości od kilku do kilkunastu metrów. Zboże było zasypywane również do pojemników niepoddanych obciążeniom. Przechowywanie ziaren trwało aż do ustania relaksacji naprężeń masy ziarna. Z pojemników pobierano 3 próbki nasion o objętości ok. 30 cm<sup>3</sup>, które mieszano.

Z tak przygotowanej próbki pobierano losowo 100 ziaren, które układano na stoliku przedmiotowym, podświetlonym białym światłem, uwydatniającym sylwetkę ziarna.

W celu osiągnięcia większej precyzji pomiaru zawężono pole pomiarowe wykonując 10 pomiarów po 10 ziaren w każdym. Fotografije cyfrowe wykonywano kamerą pracującą z programem SVISTMET (rys. 1).



Rys. 1. Obrazy nasion: a – obraz pierwotny, b – obraz binarny z zaznaczoną linią brzegową  
 Fig. 1. Images of grains: a - primary image, b - binary image with a marked border line

Z obrazu nasion (a) wyodrębniono (metodą progowania i filtracji) obraz binarny, który służył do wykonania pomiarów (b). Oznaczano następujące cechy geometryczne ziarna: długość, szerokość, pole powierzchni rzutu poziomego, współczynniki kształtu  $K_1$  i  $K_2$ :

$$K_1 = \frac{L}{S} \quad (1)$$

oraz

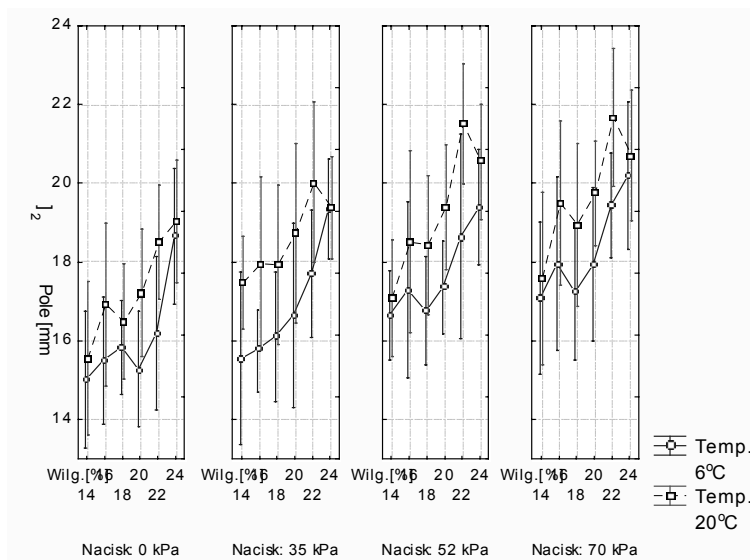
$$K_2 = \frac{4A}{PR} \quad (2)$$

gdzie:

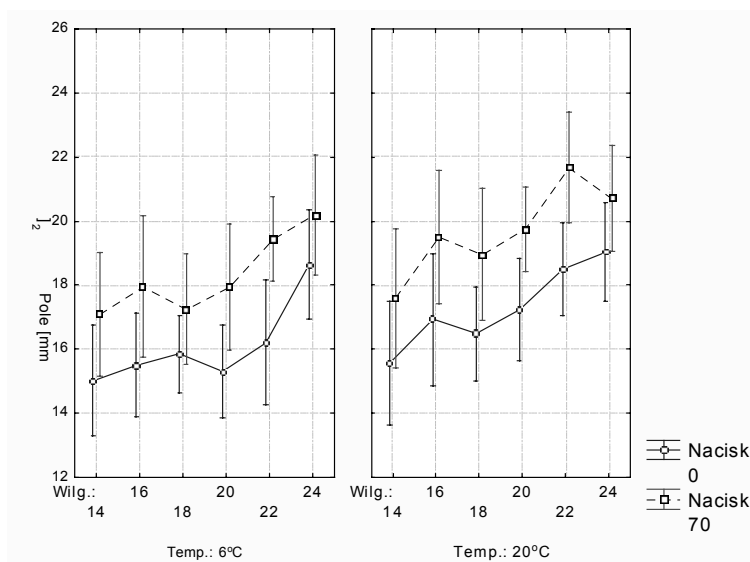
- $L$  – długość ziarna [mm],
- $S$  – szerokość ziarna [mm],
- $A$  – pole powierzchni ziarna (rzutowe) [mm<sup>2</sup>],
- $P$  – długość linii brzegowej [mm],
- $R$  – promień koła o polu równoważnym polu  $A$  [mm].

## Wyniki

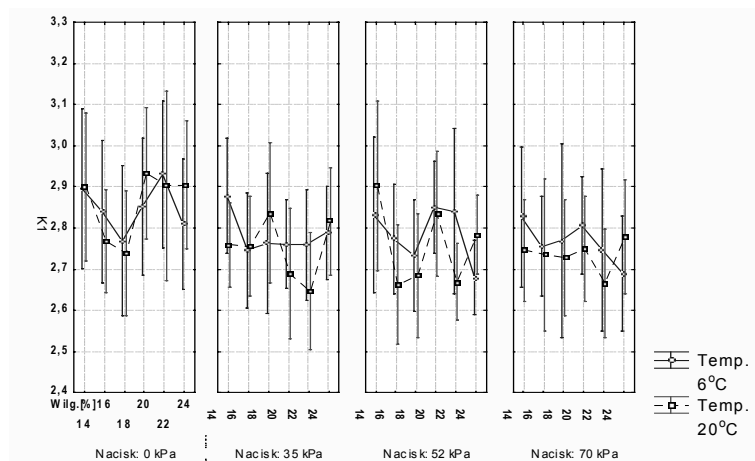
Zmiany pola powierzchni rzutowej od nacisku były nieistotnie wyższe przy nacisku maksymalnym (70 kPa) w całym zakresie wilgotności, z wyjątkiem stanu ziaren dowilżonych do 20% i przechowywanych w temperaturze 6°C oraz 20°C. Jest to zdarzenie incydentalne. W odniesieniu do pozostałych badanych czynników ziarno nie zmieniało swoich cech geometrycznych w istotnym zakresie. Na uwagę zasługuje fakt zarejestrowania wyższych wartości pola powierzchni w temp. 20°C (rys. 2). Wzrost wartości pola powierzchni następował po osiągnięciu 20% wilgotności (rys. 3). Zmiany pola powierzchni pod wpływem obciążenia były dynamiczne w zakresie wilgotności 18–22% (rys. 3).



Rys. 2. Rzutowe pole powierzchni ziaren żyta w zależności od wilgotności i temperatury przechowywania  
 Fig. 2. Projected surface area of rye grains in relation to moisture and temperature of storing

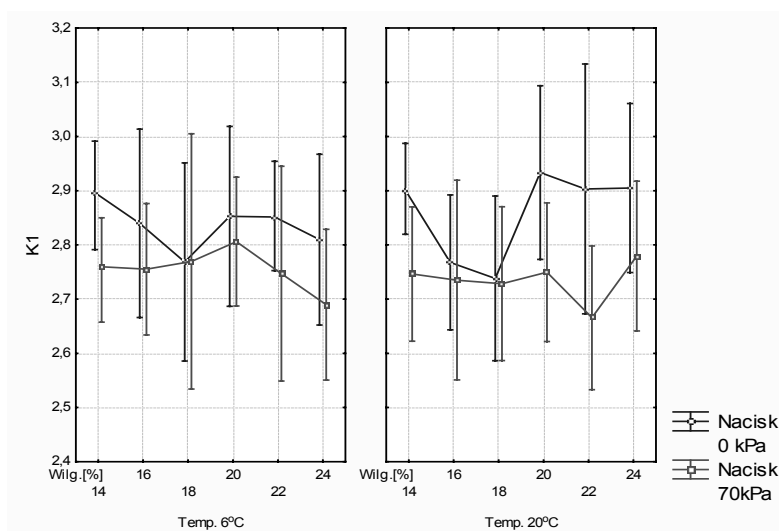


Rys. 3. Rzutowe pole powierzchni ziaren żyta w zależności od wilgotności i nacisku  
 Fig. 3. Projected surface area of rye grains in relation to moisture and pressure



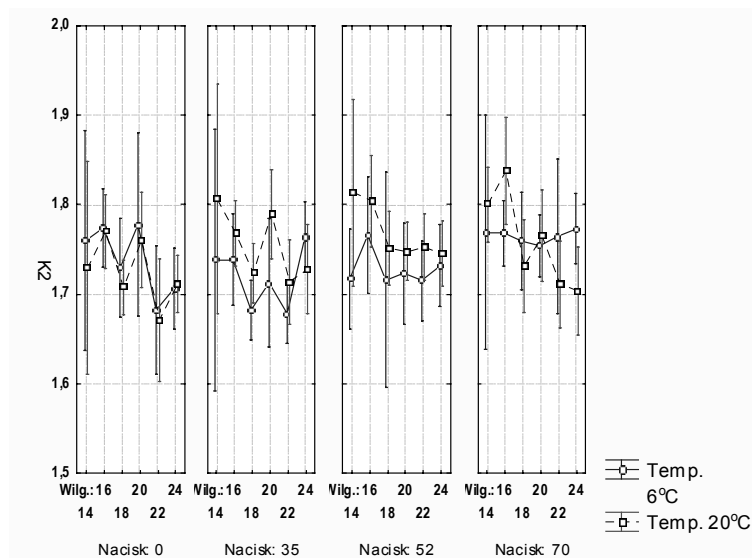
Rys. 4. Zmiany współczynnika  $K_1$  w zależności od wilgotności i temperatury przechowywania ziarna

Fig. 4. Changes of  $K_1$  coefficient in relation to moisture and temperature of storing grain

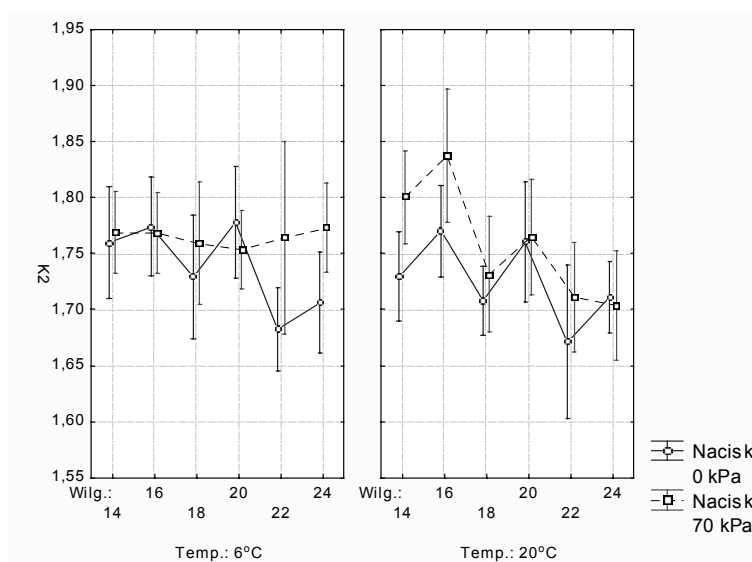


Rys. 5. Zmiany współczynnika  $K_1$  w zależności od wilgotności nacisków przechowywanego ziarna

Fig. 5. Changes of  $K_1$  coefficient in relation to moisture and pressures of the grain stored



Rys. 6. Zmiany współczynnika  $K_2$  w zależności od wilgotności i temperatury przechowywania ziarna  
 Fig. 6. Changes of  $K_2$  coefficient in relation to moisture and temperature of storing grain



Rys. 7. Zmiany współczynnika  $K_2$  w zależności od temperatury i nacisków przechowywanego ziarna  
 Fig. 7. Changes of  $K_2$  coefficient in relation to temperature and pressures of the grain stored

Współczynnik kształtu ziaren żyta  $K_1$  utrzymywał stabilne wartości w większości stanów nawilżania. Tylko pod naciskiem 52 oraz 70 kPa w warunkach wilgotności powyżej 20% następował spadek wartości  $K_1$ , co należy powiązać ze wzrostem plastyczności ziaren w tych warunkach. Zmiany były nieistotne ze względu na duże rozrzuty wartości otrzymanych z pomiaru nasion biorących udział w pomiarach (rys. 4). Średnie wartości  $K_1$  zmieniły się od 2,63 do 2,9, przy czym ziarna o niskiej wilgotności przyjmowały wyższe wartości współczynnika  $K_1$  (wydłużenie nasion). Temperatura oraz naciski były czynnikami, które nieistotnie wpływały na przebieg zmian współczynnika  $K_1$  w trakcie eksperymentu z nasionami żyta.

Ilustracją zmian wartości współczynnika  $K_2$  dla ziaren żyta są rysunki 6 oraz 7. Współczynnik ten przyjmował wartości w zakresie 1,67-1,83. Na podstawie analizy przebiegów zmian  $K_2$  (rys. 6) zauważa się, że o zmianach tego współczynnika (długości linii brzegowej) decydują skrajne wartości czynników analizowanych w eksperymencie. Dynamiczny spadek  $K_2$  zarejestrowano przy dużym nacisku (70 kPa) oraz wilgotności powyżej 20% i temp. 20°C. W pozostałych przypadkach zmiany wartości tego współczynnika nie obserwowano lub też zmiany są nieistotne. Przy braku nacisku (rys. 6) przebiegi średnich wartości niezależnie od temperatury są niemal identyczne.

Nacisk nie wpływa istotnie na zmiany  $K_2$  w czasie eksperymentu (rys. 7). Przebiegi zmian wartości średnich są podobne niemal w całym zakresie w temperaturze 20°C. Krzywe zmian  $K_2$  wywołanych naciskiem odbiegają w końcowym przedziale (powyżej 20% wilgotności) badanego zakresu dowilżanego ziarna tylko przy temperaturze 6°C.

W pomiarach cech geometrycznych uwzględniono tylko te zmiany, które powodują uszkodzenia trwałe i są wynikiem relaksacji naprężeń. Dlatego trudno jest stwierdzić, jaki jest rzeczywisty obraz zmian kształtu ziaren podczas obciążenia ich w silosie. W przypadku możliwości ich zarejestrowania przypuszczać należy, że kształt przebiegów krzywych tych zmian mógłby być całkowicie zmieniony.

## Wnioski

1. Wartości pola powierzchni w badanym przedziale temperatur i nacisków zwiększały się nieistotnie. Czynnikiem, który powodował istotne zmiany pola powierzchni, była wilgotność. Prawidłowość ta dotyczy jedynie skrajnych wartości w przedziale wilgotności 14–24%.
2. Tylko w warunkach podwyższonej wilgotności (20-24%) i nacisku (70 kPa) zmieniły się wartości współczynnika kształtu  $K_1$ , co związane jest ze zwiększoną plastycznością ziaren w tych warunkach.
3. Długość linii brzegowej wyrażona spadkiem wartości  $K_2$  wykazuje wzrost jedynie w skrajnych warunkach eksperymentu, gdy naciski osiągają wartości powyżej 50 kPa, a wilgotność powyżej 20%.

## Bibliografia

- Fito P.J., Ortol, M.D., De los Reyes R., Fito P., De los Reyes E.** (2004): Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography. *Journal of Food Engineering*, 61, 287-290.
- Frączek J., Wróbel M.** (2009): Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. *Inżynieria Rolnicza*, 6(115), 87-94.
- Guz T., Kobus Z., Kusińska E., Nadulski R., Oszczak Z.** (2011): Changes of geometric characteristics of stored barley in accordance to simulated loads subsisting in silo. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. OL PAN*, 11, 61-68.
- Guz T.** (2009): The use of image analysis to estimate harvest ripeness of apples. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. OL PAN*, 9, 61-68.
- Horabik J., Molenda M.** (2002): Właściwości fizyczne sypkich materiałów spożywczych. *Zarys katalogu. Acta Agrophysica*, 74.
- Jahns G., Møller Nielsen H., Paul W.** (2001): Measuring image analysis attributes and modelling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31, 17-29.
- Kusińska E.** (2006): Horizontal pressure on the wall of a model silo in relation to the moisture content of oats. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 6A, 115-122.
- Kusińska E., Kizun V.** (2006): Wpływ zagęszczenia ziarna owsa i prędkości przepływu powietrza na opór hydrauliczny. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 403-410.
- Kusińska E.** (2008): Hydraulic resistance of air flow through wheat grain in bulk. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.*, 8, 121-127.
- Laskowski J., Skonecki S.** (2001): Pomiar współczynnika tarcia wewnętrznego pszenicy o różnej wilgotności i stopniu rozdrobnienia. *Acta Agrophysica*, 46, 95-104.
- Łukaszuk J.** (2005): Wstępna ocena wpływu sposobu formowania złoża ziarna pszenicy na opór przepływu powietrza. *Acta Agrophysica*, 6(3), 709-714.
- Molenda M., Łukaszuk J., Horabik J.** (2005): Airflow resistance of wheat as affected by grain density and moisture content. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 8(4), 14.
- Sacilik K.** (2004): Resistance of bulk poppy seeds to airflow. *Biosystems Engineering*, 89(4), 435-443.
- Szwed G., Łukaszuk J.** (2003): Ocena oporu przepływu powietrza przez warstwę nasion rzepaku. *Acta Agrophysica*, 2(3), 645-650.
- Szwedziak K., Krótkiewicz M.** (2006): Stanowisko do komputerowej analizy jakości produktów rolno-spożywczych. *Inżynieria Rolnicza*, 13(88), 429-435.
- Szwedziak K., Bilos Ł.** (2008): Ocena mieszaniny niejednorodnej z biomasa za pomocą komputerowej akwizycji obrazu. *Inżynieria Rolnicza*, 6(104), 195-201.
- Waszkiewicz C.** (1986): Badania nad wyznaczeniem oporów przepływu powietrza przez warstwę materiału ziarnistego. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 77-C-1, 207-215.
- Zapotoczny P.** (2009): Dyskryminacja odmian ziarna pszenicy na podstawie cech geometrycznych. *Inżynieria Rolnicza*, 5(114), 319-328.
- Zapotoczny P.** (2011): Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks. Part I. Single kernel texture. *Journal of Cereal Science*, 54, 60-68.



## **MORPHOMETRIC FEATURES OF RYE CARYOPSES STORED IN A SILO**

**Abstract.** The work presents methodology and evaluation of changes of geometric features of rye grain of Slavic variety after storing in the conditions of load simulated in a laboratory. Pressures of 35, 52 and 70 kPa value were incurred in special cylinders which simulated conditions of storing in a silo. The purpose of the work was to determine the course of changes within geometric features of grains in variable conditions of storing (humidity: 14, 16, 18, 20, 22 and 24% and temperature: 6°C and 20°C). Measurements of geometric features were taken with the use of SVISTMET system. The results of the research prove that changes in the grain size (statistically insignificant) occur only in extreme storing conditions (20°C, 52 and 70 kPa) in the conditions of their high moisture (over 20%), which constituted the main factor of these changes. Grain shape, expressed with a defined coefficient, was subject to changes only in the conditions of raised moisture (20–24%) and pressure (70kPa) which is connected with increased elasticity of grains.

**Key words:** rye, silo, storing, morphometry, image analysis

**Adres do korespondencji:**

Tomasz Guz: e-mail: [tomek.guz@up.lublin.pl](mailto:tomek.guz@up.lublin.pl)  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-236 Lublin