

## WPŁYW WILGOTNOŚCI NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I GEOMETRYCZNE ZIARNA ŻYTA ODMIANY SŁOWIAŃSKIE

Elżbieta Kusińska, Zbigniew Kobus, Rafał Nadulski

*Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** Praca przedstawia wyniki pomiaru właściwości fizycznych ziarna żyta odmiany Słowiańskie w zależności od stopnia nawilżenia. W badaniach stosowano wilgotności od 14 do 24%. Wzrost wilgotności powodował spadek gęstości właściwej, utrząsionej i usypnej, wzrost porowatości i masy tysiąca ziaren, kąta naturalnego usypu oraz zsypu, zwiększenie wszystkich wymiarów geometrycznych (w największym stopniu szerokości ziarna), średnicy zastępczej ziarna, współczynnika sferyczności i zmianę składu granulometrycznego. Wpływ wilgotności na badane parametry opisano równaniami matematycznymi.

**Słowa kluczowe:** ziarno żyta, wilgotność, właściwości fizyczne, parametry geometryczne

### Wprowadzenie

Znajomość podstawowych właściwości fizycznych materiału ziarnistego, tj. gęstość usypowa, gęstość w stanie utrząsionym, kąt naturalnego usypu i zsypu, jest niezbędna do projektowania takich urządzeń, jak: magazyny, komory dozujące, zbiorniki pośrednie, mechaniczne urządzenia transportujące, maszyny pakujące [Kusińska 2001]. Z licznych badań wynika, że właściwości fizyczne ziaren zbóż zależą głównie od zawartości wody [Clower i in. 1973; Horabik 2001].

Do ważnej grupy właściwości fizycznych surowców zbożowych należą cechy geometryczne, określające wymiary i kształt ziarna [Mohsenin 1986, Tylek 1995]. Ich znajomość jest ważna podczas konstruowania wielu urządzeń (np. służących do transportu pneumatycznego, maszyn do sortowania, obłuskiwania oraz rozdrabniania) i doboru parametrów ich pracy [Grochowicz 1994].

### Cel i zakres pracy

W pracy przedstawiono wyniki pomiaru właściwości fizycznych i geometrycznych ziarna żyta ozimego odmiany Słowiańskie w zależności od wilgotności. Do badań wybrano te parametry, których znajomość odgrywa najważniejszą rolę podczas przeprowadzania wielu operacji technologicznych. Zmiany właściwości fizycznych opisano równaniami matematycznymi. Wyniki badań poddano analizie wariancji.

## Metodyka badań

Żyto Słowiańskie ozime pochodziło z uprawy IHAR Strzelce z 2009 roku. Wilgotność początkowa ziarna wynosiła ok. 13%. Oznaczanie tego parametru wykonano metodą suszarkową zgodnie z PN 79/R-69950. Ziarno dowilżano w szklanych słojach o objętości 5 dm<sup>3</sup> dodając stopniowo do ziarna układanego w warstwach za pomocą rozpylacza odpowiednią ilość wody, obliczoną z bilansu wodnego do 6 poziomów wilgotności: 14, 16, 18, 20, 22 oraz 24%. Następnie słoje zamykano szczelnie i zawartość dokładnie mieszano. Materiał przechowywano przez 72 godziny w temperaturze 5°C codziennie mieszając metodą wielokierunkowego obracania słoja. Wilgotność dowilżonego żyta kontrolowano w suszarce zgodnie z PN 79/R-69950. Tak przygotowany surowiec stosowano do oznaczenia następujących właściwości:

- gęstości usypnej zgodnie z PN 73/R-74007,
- gęstość utrzesionej (PN – 65/Z-04003),
- gęstości właściwej,
- porowatości,
- kąta zsypu według PN -65/Z-04004,
- kąta naturalnego usypu zgodnie z PN -65/Z-04005,
- wymiarów, średnicy zastępczej i współczynnika sferyczności ziaren,
- składu frakcyjnego (PN -89/R-64798),
- masy tysiąca ziaren.

Wszystkie cechy badano w dziesięciu powtórzeniach.

W celu pomiaru porowatości naczynie o objętości 1 dm<sup>3</sup> wypełniano po brzegi ziarnem, ostrą linią wyrównywano powierzchnię usuwając nadmiar ziarna, określano metodą wagową masę ziarna i zalewano je wodą z menzurki do całkowitego napełnienia naczynia. Szybko odczytywano objętość zużytej wody, która równa się objętości odstępów i porów między ziarnami. Porowatość obliczono ze wzoru (1):

$$\varepsilon = \frac{V_w}{V_c} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

- $\varepsilon$  – porowatość [%],
- $V_w$  – objętość wody [dm<sup>3</sup>],
- $V_c$  – objętość całkowita (wody i ziaren) [dm<sup>3</sup>].

Objętość ziarna w naczyniu wynosiła:

$$V_z = V_c - V_w \quad (2)$$

gdzie:

- $V_z$  – objętość ziarna [m<sup>3</sup>].

Gęstość właściwą określano ze wzoru:

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z} \quad (3)$$

gdzie:

- $\rho_z$  – gęstość właściwa ziarna [kg·dm<sup>-3</sup>],
- $m_z$  – masa ziarna [kg].

Wymiary (długość  $a$ , szerokość  $b$  i grubość  $c$ ) określano dla 100 losowo wybranych ziarniaków za pomocą suwmiarki z dokładnością 0,01 mm i obliczano średnią arytmetyczną. Średnicę zastępczą  $d_z$  oraz współczynnik sferyczności  $sf$  wyznaczano ze wzorów [Mohsenin 1986]:

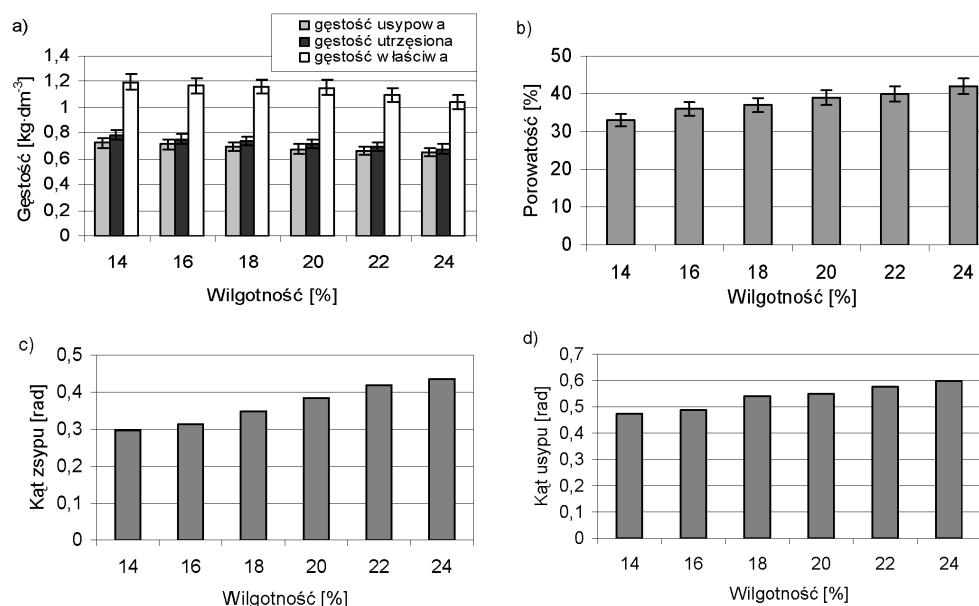
$$d_z = (a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$sf = \frac{(a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}}}{a} \quad (5)$$

Skład frakcyjny określano za pomocą zestawu sit o średnicach otworów 2,0; 2,5; 3,15 i 4,0 mm.

## Wyniki badań

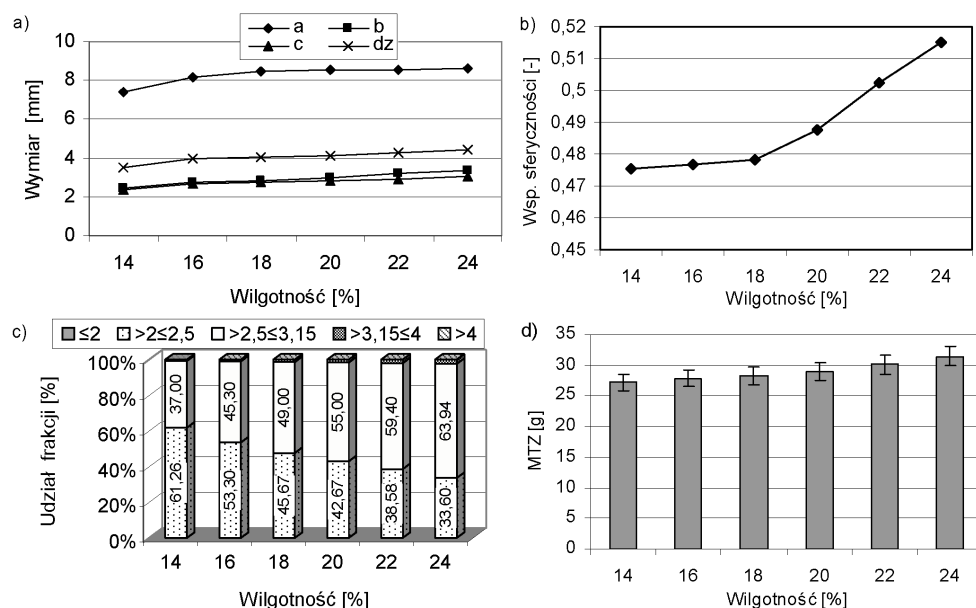
Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 1 i 2. Wzrost wilgotności ziarna żyta od 14 do 24% powodował spadek gęstości: usypowej od 0,725 do 0,648  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , utrzesionej od 0,783 do 0,648  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i właściwej od wartości 1,195 do 1,04  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (rys. 1a). W tych warunkach wzrastały: porowatość masy ziarnowej od 33 do 42% (rys. 1b), kąt zsyphu od 0,297 do 0,436 rad (rys. 1c) i kąt naturalnego usyphu od 0,474 do 0,598 rad (rys. 1d).



Źródło: wyniki badań autorów

Rys. 1. Wpływ wilgotności na: a) gęstość ziarna żyta, b) masę tysiąca ziaren, c) kąt zsyphu, d) kąt usyphu  
 Fig. 1. Impact of humidity on: a) density of rye grains, b) weight of one thousand grains, c) slip angle, d) repose angle

W zadanych warunkach rosły wszystkie wymiary ziarna (rys. 2a): długość o 16,62%, szerokość o 37%, a grubość o 26,35%, co spowodowało wzrost średnicy zastępczej ziarna od 3,51 do 4,46 mm. Największe przyrosty wszystkich wymiarów zaobserwowano podczas zmiany wilgotności od 14 do 18%.



Źródło: wyniki badań autorów

Rys. 2. Wpływ wilgotności na: a) wymiary i średnicę zastępczą, b) współczynnik sferyczności, c) skład frakcyjny, d) porowatość ziarna żyta

Fig. 2. Impact of humidity on: a) dimensions and equivalent diameter, b) spherical coefficient, c) fractional constitution, d) porosity of rye grains

Wzrosty szerokości i grubości ziarna żyta powodowały zwiększenie współczynnika sferyczności (od 0,476 do 0,516), czyli o 8,4% (rys. 2b).

Zwiększenie wymiarów ziarna wpłynęły na zmiany w składzie frakcyjnym (rys. 2c). Żyto o wilgotności 14% zawierało 61,26% ziaren o wielkości  $>2 \div \leq 2,5$  mm i 37% ziaren z przedziału  $>2,5 \div \leq 3,15$  mm. W miarę wzrostu wilgotności zmalał udział frakcji o wielkości  $>2 \div \leq 2,5$  mm do 33,6% na korzyść frakcji o większym wymiarze  $>2,5 \div \leq 3,15$  mm (63,94%). Udział frakcji wymiarowej  $>3,15 \div \leq 4$  mm był nieznaczny i wzrastał od 1,74 do 2,46%. Z kolei frakcje  $\leq 2$  mm oraz  $>4$  mm w ogóle nie wystąpiły. We wszystkich przypadkach stwierdzono ich zerowy udział.

Wzrost wilgotności powodował również zmianę wartości masy tysiąca ziaren (wzrosła od 27,17 do 31,43 g), co ilustruje rys. 2d.

Przedstawione wyniki badań poddano analizie wariancji, która wykazała, że we wszystkich przypadkach wilgotność wpływała na nie istotnie (na poziomie istotności  $\alpha \leq 0,1$ ). Zależności między badanymi właściwościami fizycznymi i geometrycznymi, a wilgotnością przedstawiono w tab. 1. Uzyskane równania cechują się wysokim współczynnikiem determinacji.

Tabela 1. Równania regresji zależności badanych parametrów od zawartości wody  $W$  [%]  
Table 1. Equations of regression of dependence of tested parameters on the content of water  $W$  [%]

Parametr	Jednostka	Równanie	R <sup>2</sup>
Gęstość właściwa	kg·dm <sup>-3</sup>	$\rho = -0,0283W + 1,236$	0,87
Gęstość usypna	kg·dm <sup>-3</sup>	$\rho_u = -0,021W + 0,8$	0,99
Gęstość utrzęsiona	kg·dm <sup>-3</sup>	$\rho_{ut} = -0,0158W + 0,742$	0,997
Porowatość	%	$\varepsilon = 4,7296 \ln W + 32,647$	0,95
Kąt zsypu	rad	$\alpha_z = 0,0299W + 0,262$	0,988
Kąt usypu	rad	$\alpha_u = 0,0255W + 0,449$	0,966
Długość ziarna	mm	$a = 0,6638 \ln W + 7,566$	0,904
Szerokość ziarna	mm	$b = 0,4737 \ln W + 2,414$	0,936
Grubość ziarna	mm	$c = 0,3232 \ln W + 2,411$	0,97
Średnica zastępcza	mm	$d_z = 0,1674W + 3,48$	0,932
Współczynnik sferyczności	-	$sf = 0,0,002W^2 - 0,0056W - 0,479$	0,99
Masa tysiąca ziaren	g	$MTZ = 0,8149W + 26,091$	0,97

Źródło: opracowanie własne autorów

## Wnioski

1. Analiza statystyczna wyników badań wykazała, że wilgotność w sposób istotny wpływa na wszystkie badane parametry żyta ozimego odmiany Słowiańskie.
2. Wzrost wilgotności w przedziale 14-24% powoduje spadek gęstości właściwej żyta od wartości 1,195 do 1,04 kg·m<sup>-3</sup> oraz wartości gęstości pozornych i wzrost porowatości od 33 do 42%.
3. Zwiększenie wilgotności powoduje wzrost wartości kątów zsypu ziarna żyta o 25% i naturalnego usypu o 26,3% oraz masy tysiąca ziaren o 15,7%.
4. Wzrastają wszystkie wymiary geometryczne ziarna (długość o 16,62%, szerokość o 37%, a grubość o 26,35%), średnica zastępcza od 3,51 do 4,46 mm oraz współczynnik sferyczności od 0,476 do 0,516.
5. Z analizy składu frakcyjnego wynika, że w ziarnie o wilgotności 14% najbardziej liczną frakcją stanowią ziarna o szerokości  $>2 \div \leq 2,5$  mm (61,26%), a w życie o wilgotności 24% ziarna o szerokości  $>2,5 \div \leq 3,15$  mm (63,94%).

## Bibliografia

- Clower R.E., Ross I.J., White G.M.** 1973. Properties of compressible granular materials as related to forces bulk storage structures. Trans. ASAE. Nr 16(3). s 476-481.
- Grochowicz J.** 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wydawnictwo AR Lublin. ISBN 83-901612-9-X.
- Horabik J.** 2001. Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania. Acta Agrophysica. Nr 54.
- Kusińska E.** 2001. Wpływ przechowywania na właściwości fizyczne ziarna owsa. Acta Agrophysica. Nr 58. s. 105-114.
- Mohsenin N.N.** 1986. Physical properties of plant and animal materials. Characteristics and mechanical properties. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- Tylek P.** 1995. Pomiar wybranych cech geometrycznych nasion z zastosowaniem komputerowej analizy obrazu. Zeszyty Problemowe PNR. Nr 423. s. 335-341.

*Publikacja powstała w ramach projektu badawczego własnego Nr N N313 013336*

## IMPACT OF HUMIDITY ON PHYSICAL AND GEOMETRICAL PROPERTIES OF SLAVIC VARIETIES OF RYE GRAINS

**Abstract.** The work presents the results of the measurement of physical properties of Slavic varieties of rye grains depending on the degree of humidification. Humidity levels within the range of 14-24% were used for tests. The increase of humidity resulted in a loss of specific density, shaken density and bulk density, an increase of porosity and weight of one thousand grains, natural repose angle and natural slip angle, an increase of all geometrical dimensions (particularly the breadth of grains), the equivalent grain diameter and the spherical coefficient and a change of grain constitution. The impact of humidity on tested parameters was described by means of mathematical equations.

**Key words:** rye grains, humidity, physical properties, geometrical parameters

### Adres do korespondencji:

Elżbieta Kusińska; e-mail: elzbieta.kusinska@up.lublin.pl  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-236 Lublin