

PRÓBA OCENY WPŁYWU WILGOTNOŚCI
NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE ZIARNA
PSZENICY OZIMEJ GRANA¹

Tadeusz Lis, Helena Lis, Bogusław Szot, Zbigniew Siarkowski

Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR w Lublinie
 Zakład Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk w Lublinie

Ziarniak pszenicy, z punktu widzenia fizyki, jest ciałem koloidalnym o strukturze kapilarno-porowatej, charakteryzującym się znaczną higroskopijnością. Wilgotność ziarniaka zmieniać się może w wyniku sztucznego suszenia, jak i w procesie naturalnym, polegającym na dążeniu do wyrównania ciśnienia cząstkowego pary wodnej w ziarniaku i w otaczającym powietrzu. Zmiana wilgotności ziarniaka może niewątpliwie wpłynąć na jego wymiary, a także na wielkość charakteryzującą tzw. dorodność, tj. na masę 1000 ziarniaków. Wilgotność determinuje również takie wielkości, jak gęstość usypną i porowatość warstwy. Czynniki te kształtują z kolei w znacznym stopniu właściwości cieplne i mechaniczne ziarna [2,8]. Kompleksowe opracowanie fizycznych charakterystyk ziarna stanowić może podstawę określenia optymalnej technologii suszenia i przechowywania. Celem pracy była próba określenia wpływu wilgotności na strukturę uziarnienia pszenicy ozimej Grana, a także na takie jej właściwości, jak gęstość usypów i porowatość warstwy.

METODYKA I WARUNKI BADAŃ

Do badań wzięto ziarno pszenicy ozimej Grana, ze zbioru 1978 r., uprawianej na glebie II klasy bonitacyjnej przy wysokim poziomie nawożenia. Ziarno to rozdzielono na 2 części; jedną poddano badaniom przy wilgotności około 15% (w stanie powietrznie su-

¹Pracę wykonano w ramach problemu międzyresortowego MR-II pt. Badania właściwości fizycznych i fizykochemicznych gleb i roślin uprawnych, koordynowanego przez Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie.

chym), a drugą - po wysuszeniu w 105°C . W obu przypadkach ziarno rozfrakcjonowano na kolumnie przesiewaczy w otworach szczelinowych, składającej się z sit zaopatrzonych w szczeliny o przedziały wymiarowym 1,4-3,5 mm i dokładności 0,05 mm.

Mając na uwadze dokładność rozdziału ziarna przyjęto, że jednorazowa masa próbki może wynosić 250 g, a czas przesiewania na sitach - 15 minut. Rozfrakcjonowano 108 kg ziarna o wilgotności 15,5% oraz 27 kg ziarna suchego. Zważenie ziarna w poszczególnych klasach grubości ziarniaków umożliwiło określenie struktury uziarnienia w zależności od poziomu wilgotności. Materiał ze wszystkich klas grubości poddano następującym pomiarom:

- długość ziarniaków mierzono na mierniku optycznym [9] z dokładnością do 0,1 mm, stosując 20 powtórzeń,
- masę 1000 ziarniaków określono z dokładnością do 0,01 g stosując 2 powtórzenia (wyniki cechował bardzo mały rozrzut),
- gęstość usypową oznaczono za pomocą typowego gęstościomierza zbożowego, zgodnie ze stosowaną w kraju metodyką pomiaru [5-8], stosując 5 powtórzeń,
- porowatość warstwy ziarna określono za pomocą zmodyfikowanego poromierza ciśnieniowego Loebella [1, 5, 10], o dokładności 0,5% stosując 10 powtórzeń.

W celu porównania identycznym pomiarom poddano ziarno o naturalnym składzie granulometrycznym stosując:

- 50 powtórzeń przy pomiarze długości ziarniaków,
- 4 przy pomiarze masy 1000 ziarniaków,
- 10 przy pomiarze gęstości,
- 20 przy pomiarze porowatości.

WYNIKI BADAŃ

Zupełne wysuszenie ziarna pszenicy (od wilgotności początkowej $w_0 = 15,5\%$) spowodowało zmianę składu granulometrycznego (tab. 1) z charakterystycznym zmniejszeniem udziału frakcji ziarniaków o grubości większej od 2,95 mm oraz zwiększeniem udziału wszystkich frakcji mniejszych od 2,95 mm. Objawiło się to znaczącym przesunięciem wykresu rozkładu poszczególnych klas grubości ziarna suchego w stosunku do wilgotnego (rys. 1).

Zmniejszeniu grubości w największym stopniu uległy ziarniaki najdorodniejsze. Udział masowy ziarniaków o grubości 3,0-3,5 mm

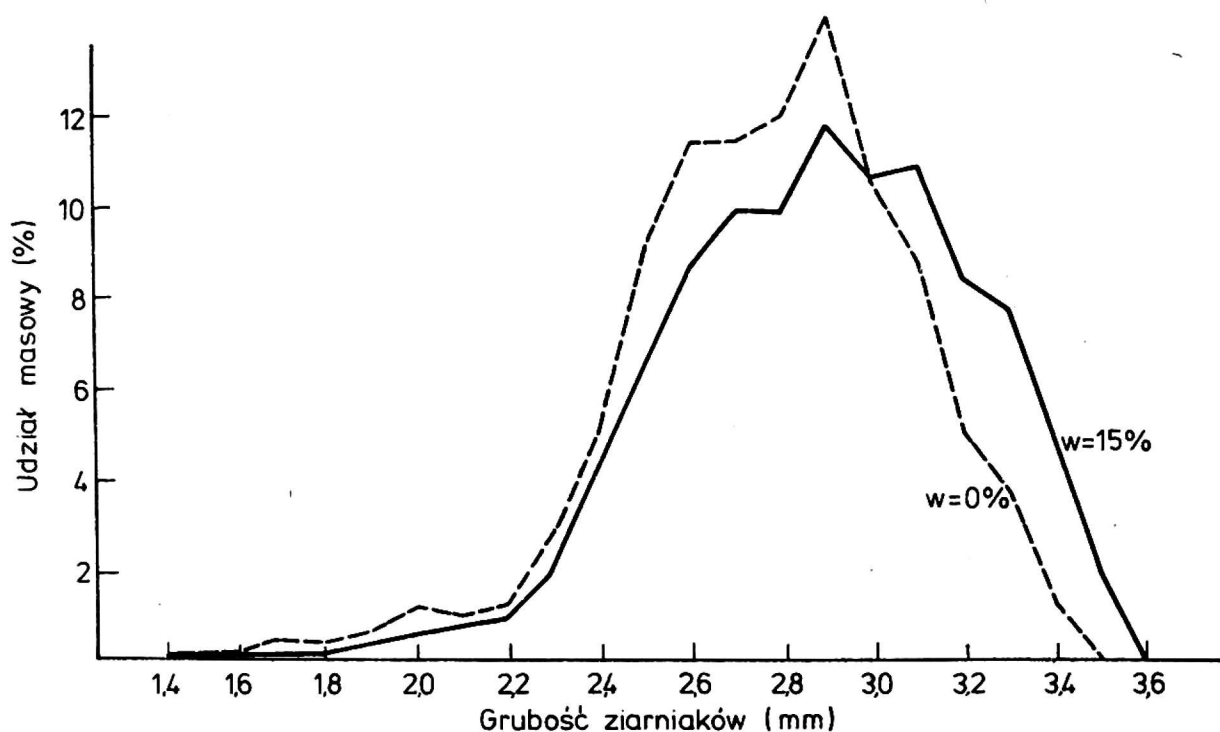
T a b e l a 1

Udziały masowe (g_i) poszczególnych klas grubości ziarniaków pszenicy Grana

Klasa grubości ziarniaków (mm)	Udział masowy $g_i = \frac{m_i}{m}$ (%) dla wilgotności	
	15%	0%
3,5-3,6	0,09	-
3,4-3,5	1,98	0,18
3,3-3,4	4,75	1,30
3,2-3,3	7,74	3,71
3,1-3,2	8,39	5,00
3,0-3,1	10,84	8,71
2,9-3,0	10,62	10,48
2,8-2,9	11,82	14,08
2,7-2,8	9,86	11,97
2,6-2,7	9,85	11,42
2,5-1,6	8,62	11,37
2,4-1,5	6,48	8,97
2,3-2,4	4,15	4,96
2,2-2,3	1,96	2,74
2,1-2,2	0,93	1,26
2,0-2,1	0,72	1,00
1,9-2,0	0,58	1,15
1,8-1,9	0,34	0,67
1,7-1,8	0,13	0,41
1,6-1,7	0,10	0,44
1,5-1,6	0,03	0,11
1,4-1,5	0,01	0,07

zmniejszył się z 34 do 19%. Poprzez wysuszenie wyeliminowaniu uległy ziarniaki o grubości 3,4-3,6 mm, stanowiące ponad 2% ziarna wilgotnego. Zmniejszył się również znacznie udział następujących klas:

- 3,3-3,4 mm - o 3,5%,
- 3,2-3,3 mm - o 4%,
- 3,1-3,2 mm - o 3,4%,
- 3,0-3,1 mm - o 2,1%.



Rys. 1. Wpływ wilgotności (w) na rozkład grubości ziarniaków pszenicy Grana

Udział klasy grubości 2,9–3,0 mm nie zmienił się w wyniku suszenia, natomiast nastąpiło znaczne zwiększenie masowego udziału ziarniaków o grubości 2,4–2,8 mm (w sumie o 11%), a także ziarniaków o grubości 1,6–2,3 mm (o 4,7%). Zarówno w ziarnie wilgotnym, jak i wysuszonym, największe udziały masowe przypadły na klasę grubości 2,8–2,9 mm, która w pierwszym przypadku stanowiła 11,82%, a w drugim 14,8%. Bardzo drobne ziarniaki (tzw. poślad) stanowiły przy wilgotności 15,5% zaledwie 1,2% ogólnej masy, natomiast po zupełnym wysuszeniu ich udział wzrósł do 2,8%.

Wyniki badań poddano analizie w celu weryfikacji hipotezy o możliwości traktowania grubości ziarniaków, jako podstawowej cechy rozdzielczej. Okazało się, że długość ziarniaków pszenicy ozimej Grana jest bardzo silnie skorelowana z grubością (rys. 2), zarówno przy wilgotności 15,5%, jak i po zupełnym wysuszeniu. W pierwszym przypadku współczynnik korelacji miał wartość $r = 0,934$, a w drugim $r = 0,922$, natomiast równania regresji liniowej przyjęły postać

$$l' = 1,161 l + 3,252 \text{ (mm)} \quad (1)$$

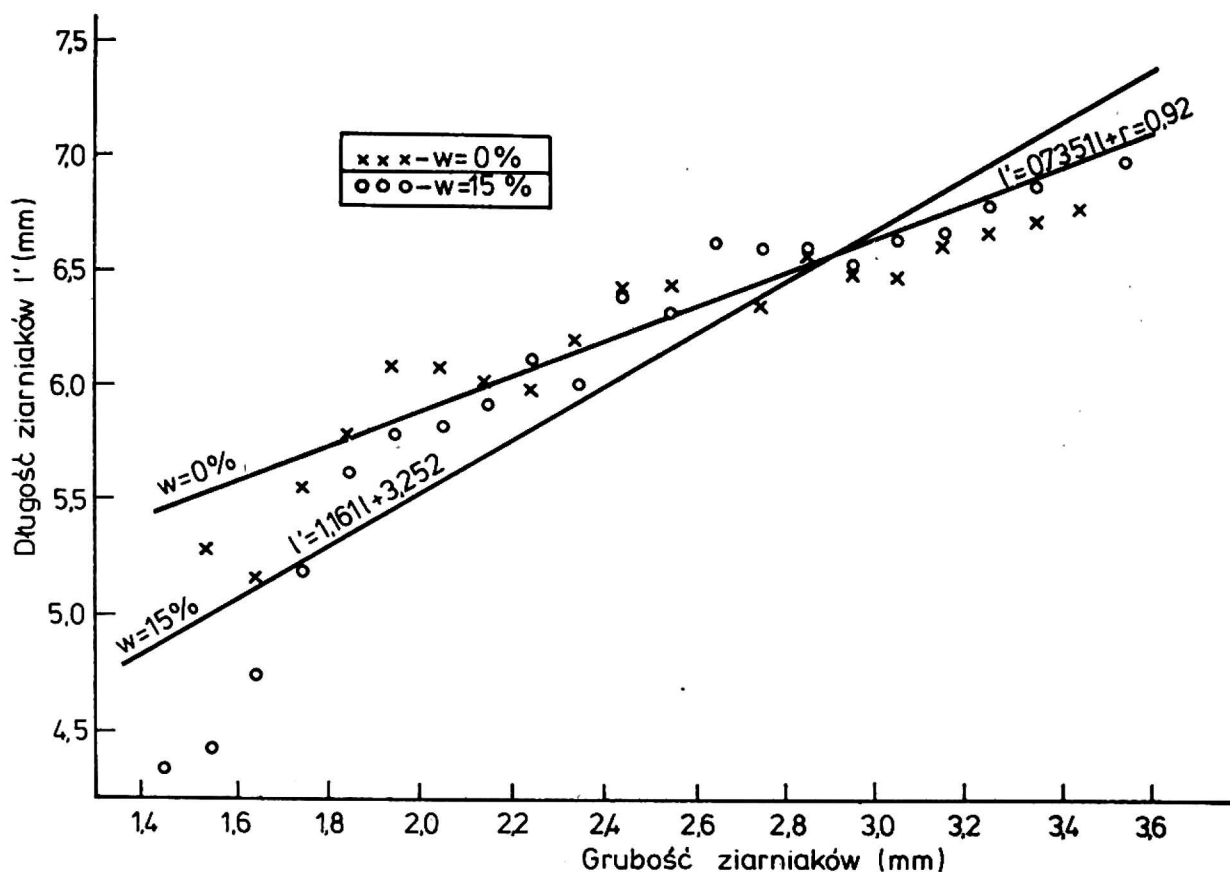
$$l' = 0,735 l + 4,435 \text{ (mm)} \quad (2)$$

gdzie l' – długość ziarniaków (mm), l – grubość ziarniaków (mm).

W tabeli 2 zestawiono średnie wartości uzyskane z pomiarów z wynikami obliczonymi na podstawie równań (1,2). W obu przypadkach

Rozkład długości ziarniaków pszenicy Grana w poszczególnych klasach grubości

Klasa grubości ziarniaków l (mm)	w = 15,5%			w = 0%		
	długość średnia l (mm)	odchylenie standardowe	wartości regre- syjne (r=0,93) l = 1,161l + + 3,252	długość średnia l (mm)	odchylenie standardo- we	wartości regre- syjne (r=0,92) l = 0,735l + + 4,435
3,5	6,97	0,34	7,32	6,80	0,41	6,93
3,4	7,13	0,44	7,20	6,74	0,27	6,86
3,3	6,89	0,41	7,08	6,70	0,39	6,79
3,3	6,80	0,47	6,97	6,64	0,41	6,71
3,2	6,67	0,54	6,85	6,50	0,44	6,64
3,1	6,63	0,37	6,74	6,51	0,44	6,57
3,0	6,54	0,53	6,62	6,59	0,37	6,49
2,9	6,61	0,32	6,50	6,38	0,38	6,42
2,8	6,59	0,36	6,39	6,63	0,43	6,35
2,7	6,62	0,46	6,27	6,46	0,45	6,27
2,6	6,32	0,57	6,13	6,45	0,39	6,20
2,5	6,39	0,58	6,04	6,22	0,28	6,13
2,4	6,01	0,66	5,92	6,00	0,27	6,05
2,3	6,13	0,48	5,81	6,03	0,43	5,98
2,2	5,93	0,52	5,69	6,10	0,33	5,91
2,1	5,83	0,45	5,58	6,11	0,40	5,83
2,0	5,79	0,51	5,46	5,80	0,54	5,76
1,9	5,61	0,43	5,34	5,57	0,42	5,68
1,8	5,19	0,56	5,23	5,19	0,46	5,61
1,7	4,74	0,43	5,11	5,30	0,48	5,54
1,6	4,43	0,76	4,99	-	-	-
1,5	4,33	0,48	4,88	-	-	-
1,4	4,33	0,48	4,88	-	-	-
Ziarno nie frakcjonowane	6,48	0,57	-	6,23	0,40	-



Rys. 2. Długość ziarniaków pszenicy Grana w funkcji ich grubości

uzyskano zadowalającą zbieżność wartości. Średnia długość ziarna niefrakcjonowanego wynosiła przy wilgotności 15,5% - 6,48 mm a po wysuszeniu - 6,23 mm. Wykorzystując równania (1,2) obliczono średnią grubość ziarna o naturalnym składzie granulometrycznym, która dla ziarna wilgotnego miała wartość 2,78 mm, a dla suchego 2,42 mm.

Zależność masy 1000 ziarniaków (m_{1000}) od ich grubości (1) przedstawiają wyniki pomiarów zestawione w tabeli 3 oraz rysunek 3. Dla ziarna o wilgotności 15,5% zależność ta jest wyrażona równaniem o postaci

$$m_{1000} = 29,518 l - 43,050 \text{ (g)} \quad (3)$$

przy współczynniku korelacji $r = 0,997$ a dla ziarna zupełnie wysuszonego równaniem

$$m_{1000} = 26,662 l - 37,474 \text{ (g)} \quad (4)$$

przy współczynniku korelacji $r = 0,992$.

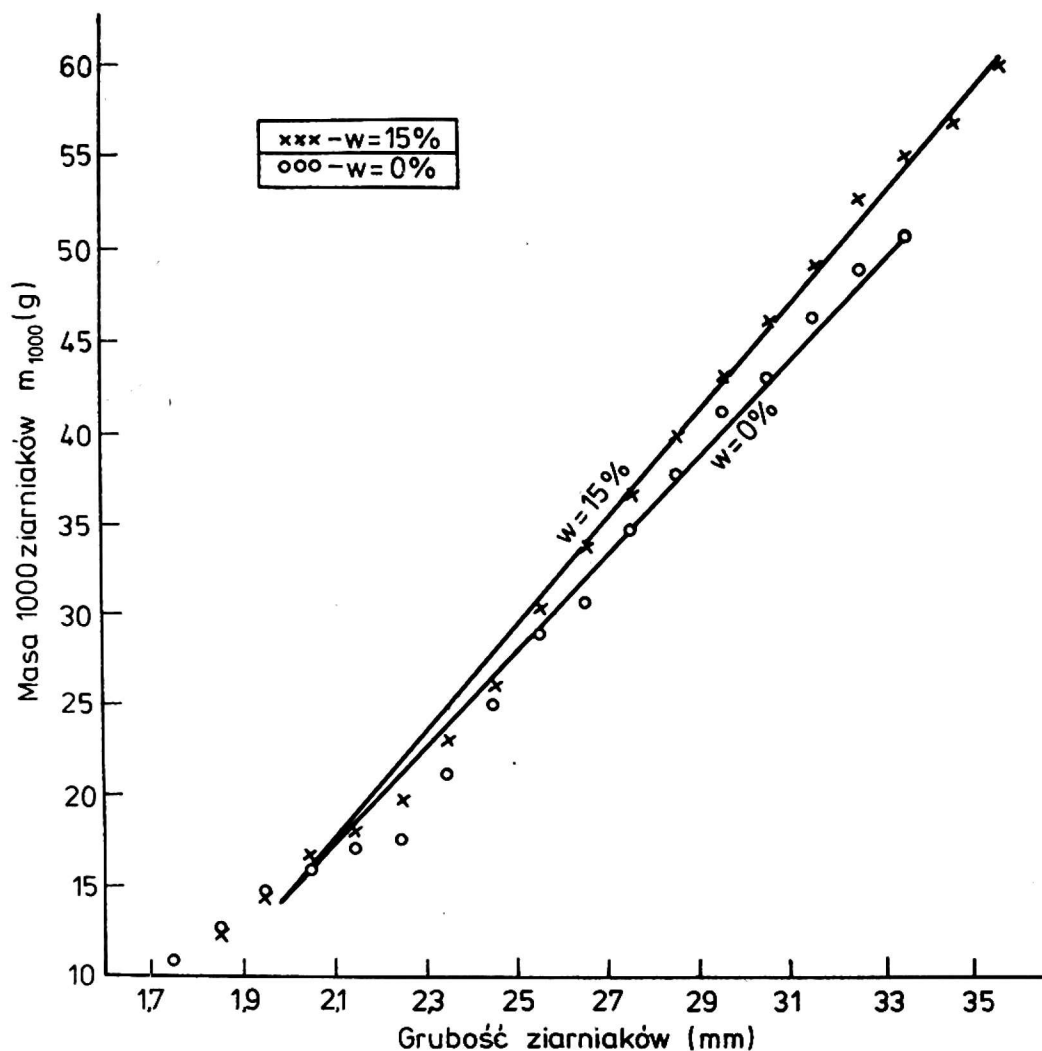
Analiza wartości z pomiarów i wartości regresyjnych wskazuje na ich bardzo dużą zbieżność. Masa 1000 ziarniaków o naturalnym składzie granulometrycznym wynosi 36,7 g przy wilgotności 15,5% oraz 31,3 g - po zupełnym wysuszeniu.

T a b e l a 3

Masa 1000 ziarniaków pszenicy ozimej Grana w zależności od grubości

Klasa grubości ziarniaków 1 (mm)	Masa 1000 ziarniaków (g)			
	w = 15,5%		w = 0%	
	z pomiaru	z równania (3)	z pomiaru	z równania (4)
3,5-3,6	59,8	60,3	-	-
3,4-3,5	56,7	57,3	-	-
3,3-3,4	55,1	54,3	50,6	50,5
3,2-3,3	52,7	51,4	48,9	47,8
3,1-3,2	48,9	48,4	46,4	45,2
3,0-3,1	46,1	45,5	43,0	42,5
2,9-3,0	43,0	42,6	40,9	39,8
2,8-2,9	39,8	39,6	37,6	37,2
2,7-2,8	36,5	36,6	34,6	34,5
2,6-2,7	33,7	33,7	30,6	31,8
2,5-2,6	30,3	30,7	28,8	29,2
2,4-2,5	26,0	27,8	24,9	26,5
2,3-2,4	22,9	24,8	21,1	23,8
2,2-2,3	19,8	21,9	17,5	21,2
2,1-2,2	18,0	18,9	17,0	18,5
2,0-2,1	16,8	16,0	15,9	15,8
1,9-2,0	14,4	13,0	14,7	13,2
1,8-1,9	12,4	10,1	12,6	10,5
1,7-1,8	-	-	10,7	7,8
Ziarno nie frak- cjonowane	36,7	-	31,3	-

Bardzo wysokie wartości współczynników korelacji w równaniach (1-4) świadczą o istotnym skorelowaniu grubości i długości ziarna, jak również grubości i masy 1000 ziarniaków, stanowiącej jak wiadomo miarę ich dorodności. Grubość ziarniaków jest zatem podstawową cechą rozdzielczą, tym bardziej, że jest to jedyny wymiar, co do którego istnieje możliwość dokładnego rozdziału na klasy, na sitach o otworach szczelinowych.



Rys. 3. Masa 1000 ziarniaków pszenicy Grana w funkcji ich grubości

W tabeli 4 zestawiono wyniki pomiarów porowatości warstwy w zależności od grubości ziarniaków dla dwóch poziomów wilgotności (15,5 i 0%). Równanie regresji opracowano, odpowiednio dla 16 i 15 klas grubości ziarniaków, przy wartościach współczynników korelacji $r = -0,962$ oraz $r = -0,910$. Przyjęły one postać:

dla ziarna o wilgotności 15,5%

$$\varepsilon = - 9,862 l + 76,965 (\%) \quad (4)$$

dla ziarna wysuszonego

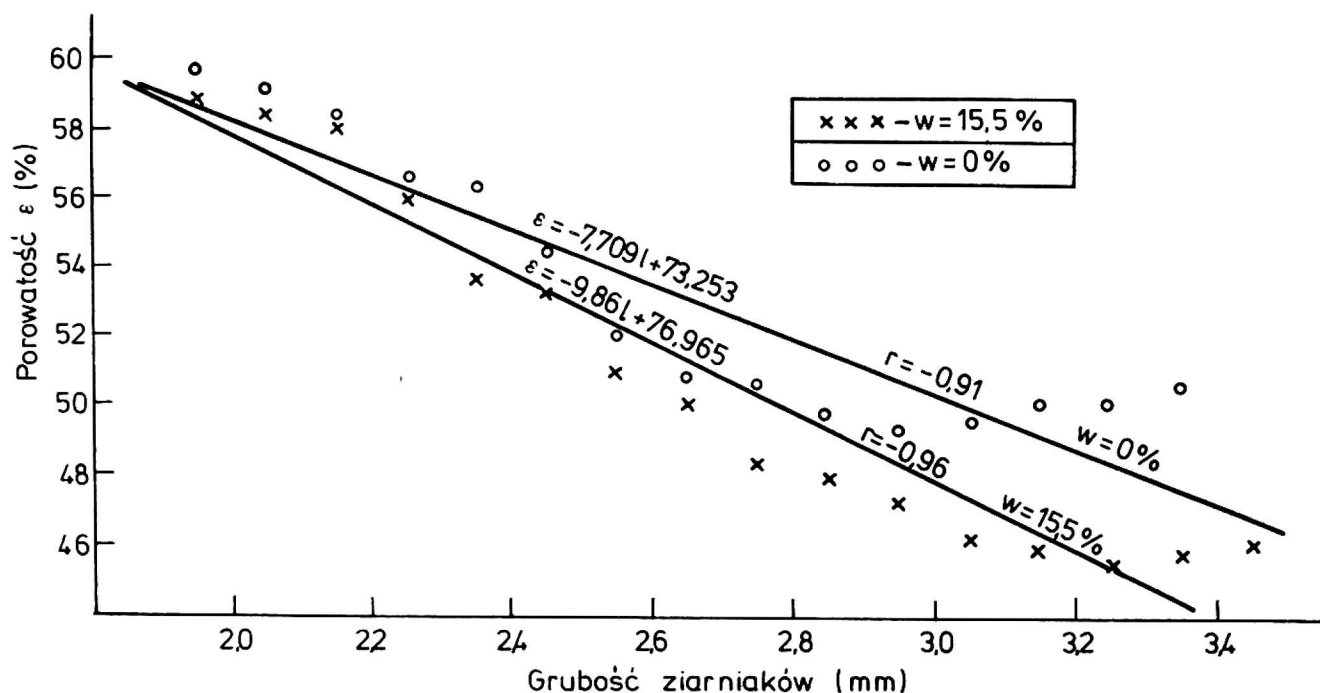
$$\varepsilon = - 7,709 l + 73,253 (\%) \quad (5)$$

Porowatość ziarna o naturalnym składzie granulometrycznym była równa 50,3% - przy wilgotności 15,5% oraz 52,3% w przypadku ziarna zupełnie suchego. Podobne różnice wystąpiły w porowatości poszczególnych klas grubości (rys. 4).

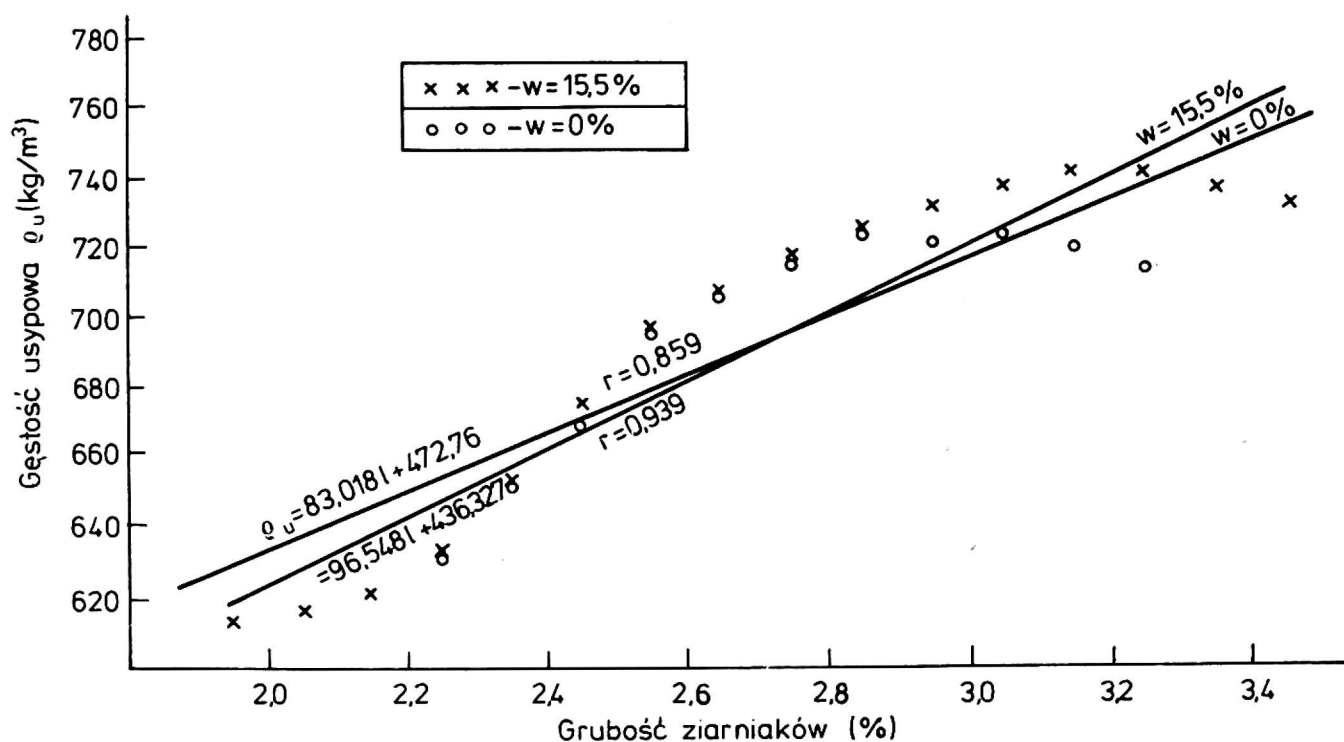
Wyniki badań gęstości usypowej (ρ_u) pszenicy Grana w zależności od grubości ziarniaków (1) dla dwóch poziomów wilgotności

Porowatość warstwy pszenicy Grana w zależności od klasy grubości ziarniaków

Klasa grubości ziarniaków (mm)	w = 15,5%		w = 0%		wartości regresyjne $\epsilon = -0,91$ + 73,253
	porowatość średnia (%)	odchylenie standardowe	porowatość średnia (%)	odchylenie standardowe	
3,4-3,5	46,20	0,26	-	-	47,8
3,3-3,4	45,90	0,39	50,75	0,26	48,6
3,2-3,3	45,70	0,26	50,20	0,24	49,4
3,1-3,2	46,00	0,33	50,15	0,26	50,1
3,0-3,1	46,25	0,35	49,70	0,24	50,9
2,9-3,0	47,35	0,24	49,35	0,34	51,7
2,8-2,9	48,05	0,37	50,70	0,48	52,4
2,7-2,8	48,45	0,44	50,95	0,16	53,2
2,6-2,7	50,05	0,44	52,10	0,21	54,0
2,5-2,6	51,05	0,28	54,40	0,32	54,8
2,4-2,5	53,30	0,48	56,25	0,35	55,6
2,3-2,4	53,70	0,42	56,55	0,37	56,3
2,2-2,3	56,00	0,41	58,40	0,52	57,1
2,1-2,2	58,05	0,28	59,15	0,24	57,8
2,0-2,1	58,40	0,21	59,65	0,34	58,6
1,9-2,0	58,85	0,41			
Ziarno nie frakcjonowane	50,35	0,85	52,30	0,35	



Rys. 4. Porowatość warstwy pszenicy Grana przy dwóch poziomach wilgotności w funkcji grubości ziarniaków



Rys. 5. Gęstość usypowa pszenicy Grana (przy dwóch poziomach wilgotności) w funkcji grubości ziarniaków

zestawione zostały w tabeli 5 oraz przedstawione na rysunku 5. Zwiększenie grubości ziarniaków w zakresie 2,2-3,2 mm spowodowało wzrost gęstości usypowej od 633 do 740 kg/m³ w przypadku wilgotności 15,5% oraz od 631 do 713 kg/m³ przy ziarnie wysuszonym.

Zależność między gęstością usypową, a grubością ziarniaków określona została dla 16 klas grubości przy współczynniku korela-

Gęstość usypowa pszenicy Grana w zależności od klasy grubości ziarniaków

Klasa grubości ziarniaków I (mm)	w = 15,5%		w = 0%		wartości regresyjne $\rho_u = 83,018 I + 472,76$ ($r = 0,859$)
	gęstość usypowa ρ_u (kg/m ³)	odchylenie standardowe	gęstość usypowa ρ_u (kg/m ³)	odchylenie standardowe	
3,4-3,5	730,40	1,67	764,59		
3,3-3,4	736,40	0,87	754,94		
3,2-3,3	740,40	0,89	745,28	1,67	738,4
3,1-3,2	741,04	1,12	735,63	1,09	730,1
3,0-3,1	737,68	0,71	725,97	0,89	721,8
2,9-3,0	730,80	1,79	716,32	1,09	713,5
2,8-2,9	724,80	1,09	706,66	1,41	705,2
2,7-2,8	717,44	1,40	697,01	1,09	696,9
2,6-2,7	707,20	2,09	687,35	1,50	688,6
2,5-2,6	696,80	1,09	677,70	1,79	680,3
2,4-2,5	675,28	1,00	668,04	1,67	672,0
2,3-2,4	652,24	1,04	658,39	0,0	663,7
2,2-2,3	633,20	1,09	648,73	1,79	655,4
2,1-2,2	621,60	1,67	639,08		
2,0-2,1	616,40	0,89	629,42		
1,9-2,0	613,20	1,09	619,77		
Ziarno niefrakcjonowane	741,20	2,28			
			692,0	1,41	

cji (dla ziarna o wilgotności 15,5%) $r = 0,939$, a równanie regresji liniowej przyjęło postać:

$$\rho_u = 96,548 l + 436,327 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (6)$$

Dla ziarna suchego współczynnik korelacji wyniósł $r = 0,859$, a równanie przyjęło postać:

$$\rho_u = 83,018 l + 472,76 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (7)$$

Regresyjne wartości gęstości usypowej obliczone z równań (6-7) zestawione zostały w tabeli 5. Średnia gęstość usypowa ziarna pszenicy Grana o naturalnym składzie granulometrycznym wynosiła 741 kg/m^3 - przy wilgotności $w = 15,5\%$ oraz zaledwie 692 kg/m^3 przy ziarnie zupełnie suchym.

WNIOSKI

1. Wilgotność ziarna wywiera znaczny wpływ na jego skład granulometryczny, wyrażony takimi wielkościami, jak grubość i długość oraz masa 1000 ziarniaków.

2. Wilgotność ziarna wpływa na porowatość warstwy i gęstość usypów.

3. Podstawową cechą rozdzielczą badanej pszenicy jest grubość ziarniaków, skorelowana z długością (współczynnik korelacji $r = 0,93$) z masą 1000 ziarniaków ($r = 0,99$), z porowatością warstwy (r około $-0,93$) oraz z gęstością usypów (r około $0,9$).

4. Zależność między grubością ziarniaków a ich długością, masą 1000 sztuk, porowatością warstwy i gęstością usypów można wyrazić za pomocą odpowiednich równań regresji liniowej, których postać jest zależna od wilgotności ziarna.

LITERATURA

1. Gawlik J.: Zmodyfikowany promierz Loebella oraz jego przydatność do badań powietrznych właściwości gleb. Roczn. Gleb., 28 l, 59-69, 1977.
2. Haman J., Lis H., Lis T., Woytowicz A.: Methodological aspects of measurement of the thermal properties of cereal grain. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 203, 451-458, 1978.
3. Lis H., Haman J., Lis T.: Właściwości cieplne ciał kapilarno-porowatych i metody ich pomiaru. Probl. Agr., 22, 1976.

4. Lis H.: Thermal properties of agricultural products. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 203, 443-450, 1978.
5. Lis T., Szot B., Lis H.: Zależności pomiędzy podstawowymi cechami fizycznymi ziarna pszenicy ozimej Grana. Roczn. Nauk Rol. Ser. C (w druku).
6. Szot B.: Metodyczne aspekty oceny wpływu warunków glebowych na zmienność niektórych cech fizycznych ziarna pszenicy. Roczn. Nauk Rol. Ser. D. 160, 1976.
7. Szot B.: Wstępna ocena wpływu gleby na dorodność ziarna zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk rol., 5, 53-62, 1973.
8. Szot B., Grundas S.: Zagadnienie zmienności niektórych cech fizycznych ziarna zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 202, 219-243, 1978.
9. Szot B., Grundas S.: Zastosowanie zestawu pomiarowego do dokładnego określania podstawowych wymiarów ziarna zbóż. Hod. Roś. Akł. i Nas., 18, 1, 103-112, 1974.
10. Szot B., Woźniak W.: Zastosowanie porometru ciśnieniowego do oznaczania porowatości warstwy ziarna zbóż, Biul. IHAR, 1-2, 45-48, 1974.

T. Lis, G. Lis, B. Szot, Z. Sяrkowski

ПОПЫТКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ВЫБРАННЫЕ
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРЕН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА ГРАНА

Р е з ю м е

В настоящем труде приводятся решения направленные на определение функциональных зависимостей между влажностью и некоторыми физическими свойствами зерна озимой пшеницы сорта Грана, такими как насыпная плотность и порозность слоя зерна. Формулируемые заключения основываются на испытаниях проведенных в 1978 г., в которых проводились следующие измерения: длины зерна, веса 1000 зерен, насыпной плотности и порозности слоя зерна. Была проведена также статистическая оценка распределения отдельных свойств.

На основании проведенных испытаний установлено м.пр. следующее:

- влажность зерна влияет существенным образом на его гранулометрический состав, а также на его порозность и насыпную плотность,

- функциональные зависимости между испытываемыми свойствами можно выразить путем соответствующих уравнений линейной регрессии, окончательная форма которых обусловлена влажностью зерна.

T. Lis, H. Lis, B. Szot, Z. Siarkowski

AN ATTEMPT OF THE MOISTURE EFFECT ON CHOSEN PHYSICAL FEATURES
OF THE WINTER WHEAT GRAIN OF THE GRANA VARIETY

S u m m a r y

In the paper solutions aiming at determination of functional relationships between moisture and some physical features of the

winter wheat grain of the Grana variety, such as pouring density and grain layer porosity. The conclusions drawn were based on the tests carried out in 1978, in which the following measurements were carried out: length, weight of 1000 grains, pouring density and grain layer porosity. Also statistical estimation of the distribution of features tested was carried out.

On the basis of the tests as follows, among other things, has been found:

- humidity of grain affects significantly its granulometric composition as well as its porosity and pouring density,

- functional relationships between the features tested can be expressed by means of appropriate linear regression equations, the final form of which depends on the grain humidity.