

WPŁYW WILGOTNOŚCI NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE
I PARAMETRY PROCESU ROZDRABNIANIA
ZIARNA PSZENICY ODMIANY MUSZELKA

Adam Zdybel, Sławomir Gawłowski, Janusz Laskowski

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin
e-mail: adam.zdybel@up.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności pszenicy na właściwości fizyczne ziarna i energochłonność procesu rozdrabniania. Badaniom poddano odmianę pszenicy ozimej Muszelka. Przed doświadczeniem określono wilgotność, a następnie ziarno doprowadzono do pięciu poziomów wilgotności: 8, 10, 12, 14 i 16%. Wyznaczono maksymalną siłę cięcia ziarna i pracę cięcia oraz parametry procesu rozdrabniania. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotne różnice w wartości badanych parametrów dla poszczególnych poziomów wilgotności. Istotnie statystycznie powiązania badanych cech z wilgotnością ziarna opisano równaniami regresji.

Słowa kluczowe: ziarno, pszenica, wilgotność, rozdrabnianie

WYKAZ OZNACZEŃ

F_t – siła tnąca (N),
 W_t – praca cięcia (mJ),
 W_{jt} – jednostkowa praca cięcia ($\text{mJ}\cdot\text{g}^{-1}$),
 E_{roz} – energia na rozdrabnianie próbki ziarna (J),
 E_r – jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$),
 m_r – masa rozdrabnianej próbki (g),
 E_f – wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$),
 S_n – nowowytworzona powierzchnia powstała podczas rozdrabniania (m^2),
 d_m – średni wymiar cząstki (mm),
 h_i – średnia wartość przedziału klasowego (mm),
 P_i – ilość cząstek zatrzymanych na danym sicie (%),
 n – liczba zastosowanych sit,
 ρ – gęstość materiału ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
 w_z – wilgotność ziarna (%).

WPROWADZENIE

Rozdrabnianie jest jednym z głównych procesów stosowanych w przemyśle spożywczym, a w szczególności w przetwórstwie zbóż. Jak potwierdzają badania wielu autorów, rozdrabnianie surowców pochodzenia biologicznego wymaga znacznych nakładów energii, które mogą stanowić nawet 30-70% energii wykorzystywanej w całym procesie przygotowania paszy (Grochowicz 1996, Laskowski i in. 1998 i 2001, Zawisłak 2006). Na proces rozdrabniania mają wpływ właściwości fizyczne ziarna, które zależą w głównej mierze od odmiany, warunków klimatycznych i wilgotności (Greffeuille i in. 2006). Wilgotność jest również czynnikiem, który istotnie wpływa na energochłonność procesu rozdrabniania ziarna. Wzrost zawartości wody powoduje zwiększenie plastyczności, a w konsekwencji również energochłonności (Dziki i Laskowski 2004). Zmiana wilgotności ziarniaka powoduje także szereg zmian jego cech takich jak współczynniki tarcia wewnętrznego i zewnętrznego, twardość, moduł sprężystości itp. Dlatego też istotne jest dążenie do ustalenia odpowiedniego poziomu wilgotności w aspekcie energochłonności rozdrabniania, jak również jakości uzyskanych produktów (Górniak i Majdak 2005, Marks i in. 2006, Szot 1983, Szot i Grundas 1978).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu wilgotności ziarna na wybrane właściwości mechaniczne oraz parametry procesu rozdrabniania pszenicy odmiany Muszelka.

METODYKA BADAŃ

Ziarno pszenicy pochodziło z firmy „Danko” Hodowla Roślin Sp. z o.o.. Badanym czynnikiem było 5 poziomów wilgotności od 8 do 16% co 2%. Dla próbek oznaczono wstępnie skład granulometryczny ziarna przy zastosowaniu sortownika Steineckera-Vogla; próbki podzielono na frakcje wymiarowe, badania przeprowadzono dla najliczniejszej frakcji 2,5-2,7 mm. Następnie oznaczono wilgotność ziarna zgodnie z Polską Normą (PN-91/A-74010).

Wyznaczono siłę, pracę i pracę jednostkową cięcia. Pomiary przeprowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S wykorzystując głowicę pomiarową 0,5 kN o klasie dokładności 0,5. Pojedyncze ziarna pszenicy, po uprzednim zważeniu z dokładnością 10^{-4} g, umieszczano w otworze środkowym płytek farinotomu Sadkiewicza (Sadkiewicz i Sadkiewicz 1998) i cięto przy pomocy poruszającej się ze stałą prędkością $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ głowicy pomiarowej. Ścinanie ziarna następowało między dwoma otworami o średnicy 4,5 mm. Podczas pomiaru rejestrowano zmiany siły obciążającej w funkcji przemieszczenia głowicy. Pomiar przeprowadzono w 20 powtórzeniach do momentu całkowitego przecięcia ziarna (Dziki i Laskowski 2006).

Proces rozdrabniania przeprowadzono na rozdrabniaczu bijakowym Polymix-Micro-Hammermill MFC. Stanowisko badawcze podłączono do źródła zasilania poprzez układ do pomiaru mocy czynnej prądu jednofazowego. Zmiany poboru mocy rejestrowano przy pomocy zestawu pomiarowego, w skład którego wchodziły: przetwornik mocy czynnej prądu jednofazowego przetwarzający moc czynną na sygnał stałonapięciowy oraz karta pomiarowa firmy Advantech PCL-818L, współpracująca z komputerem wyposażonym w oprogramowanie odczytujące sygnał z przetwornika. Częstotliwość próbkowania wynosiła 100 Hz. Podawanie surowca do rozdrabniacza odbywało się grawitacyjnie. Bijaki pracowały z prędkością obwodową $94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Stosowano sito o wielkości oczek 2 mm. Pomiaru wykonano w 5 powtórzeniach dla każdej próbki.

Jednostkowe nakłady energii rozdrabniania E_r ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$) wyznaczono ze wzoru:

$$E_r = \frac{E_{roz}}{m_r} \quad (1)$$

Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$) wyznaczono jako iloraz energii pobranej podczas rozdrabniania i nowej powierzchni powstałej na skutek rozdrobnienia (Posner 1991):

$$E_f = \frac{E_{roz}}{S_n} \quad (2)$$

gdzie nowo wytworzona powierzchnia S_n powstała podczas rozdrabniania w (m^2) wyznaczona została ze wzoru:

$$S_n = \frac{6m_r}{\rho d_m} \quad (3)$$

gdzie ρ jest gęstością materiału ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Do dalszych obliczeń przyjęto $\rho = 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Kiryluk i in. 1998).

Przeprowadzona analiza składu granulometrycznego mlewa zgodnie z Polską Normą (PN-89/R-64798) pozwoliła określić średni wymiar cząstki według wzoru (Branland i in. 1997):

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i P_i}{100} \quad (4)$$

WYNIKI BADAŃ

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, uzyskując wyniki dające podstawę do wnioskowania,

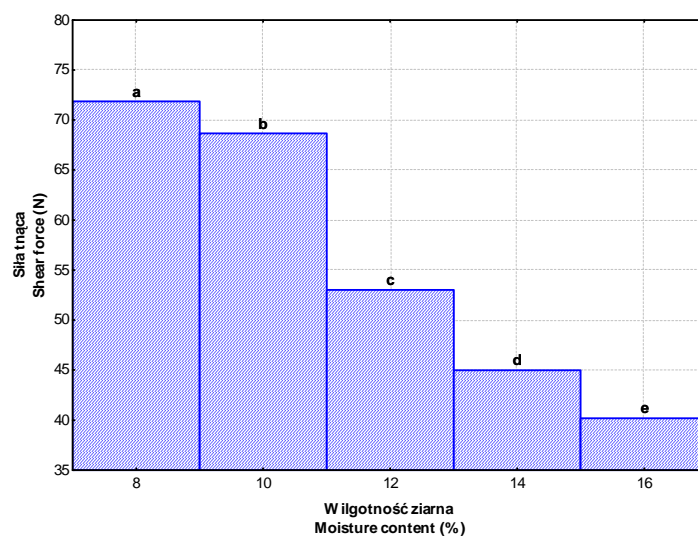
czy czynnik główny, tj. wilgotność, ma istotny wpływ na badane właściwości fizyczne i parametry procesu rozdrabniania ziarna pszenicy odmiany Muszelka. Szczegółowych porównań dokonano w oparciu o test Tukey'a na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wybór cech objaśniających w analizie regresji odbywał się metodą krokową wsteczną. W tabelach od 1 do 6 przedstawiono szczegółowe wyniki analizy wariancji, natomiast w tabeli 7 zestawiono równania regresji.

Wykorzystując analizę wariancji wykazano istotność różnic siły tnącej (F_t) pomiędzy poszczególnymi poziomami wilgotności (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie wyników analizy wariancji dla siły tnącej F_t

Table 1. Results of variance analysis for shear force F_t

Składniki analizy wariancji Element of variance analysis	SS·10 ³	df	MS·10 ³	F	p
Wyraz wolny – Intercept	310,8	1	310,8	29823	0,000
Wilgotność – Moisture content	15,85	4	3,962	380,2	0,000
Błąd standardowy – Standard error	0,990	95	0,010		



Rys. 1. Siła tnąca F_t dla poszczególnych wilgotności ziarna

Fig. 1. Shear force F_t for each moisture content

Uzyskane zależności pomiędzy siłą tnącą a wilgotnością ziarna przedstawiono na rysunku 1. Średnie wartości siły, które istotnie różnią się między sobą oznaczono na rysunku różnymi literami. Analiza wyników badań siły tnącej wykazała,

że wartość tej cechy zmniejszała się wraz ze wzrostem wilgotności ziarna (średnio od 71,88 N przy wilgotności 8% do 40,20 N przy 16%). Wyniki analizy regresji przedstawiono w tabeli 7. Uzyskano wysoką wartość współczynnika determinacji – 0,90.

Wyniki badań pracy cięcia ziarna pszenicy (W_t) wykazują, że brak jest istotnych różnic w wartości tego parametru przy poszczególnych wilgotnościach (tab. 2).

Tabela 2. Zestawienie wyników analizy wariancji dla pracy cięcia W_t

Table 2. Results of variance analysis for shear energy absorption W_t

Składniki analizy wariancji Element of variance analysis	SS·10 ²	df	MS·10 ²	F	p
Wyraz wolny – Intercept	254,5	1	254,5	3435,9	0,000
Wilgotność – Moisture content	0,486	4	0,121	1,640	0,171
Błąd standardowy Standard error	7,036	95	7,41		

Analizując wartości jednostkowej pracy cięcia (W_{jt}) stwierdzono, że brak jest istotnych różnic w wartości tego parametru dla poszczególnych poziomów wilgotności (tab. 3).

Tabela 3. Zestawienie wyników analizy wariancji dla jednostkowej pracy cięcia W_{jt}

Table 3. Results of variance analysis for specific shear energy absorption W_{jt}

Składniki analizy wariancji Element of variance analysis	SS·10 ⁵	df	MS·10 ⁵	F	p
Wyraz wolny – Intercept	128,9	1	128,9	1153,1	0,000
Wilgotność – Moisture content	0,229	4	0,057	0,512	0,727
Błąd standardowy Standard error	10,62	95	0,112		

Uzyskane zależności pomiędzy jednostkowymi nakładami energii na rozdrabnianie i wskaźnikiem podatności ziarna na rozdrabnianie oraz średnim wymiarem cząstki a wilgotnością ziarna przedstawiono na rysunkach 2-4.

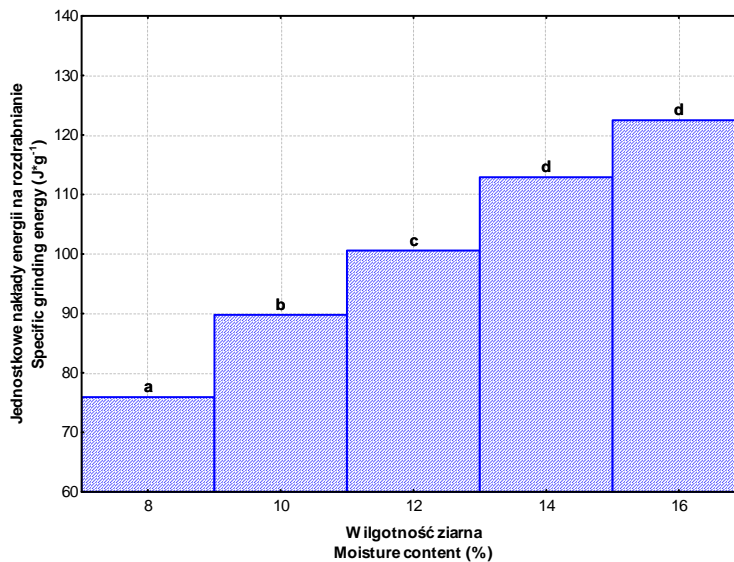
Przeprowadzona analiza wariancji wyników badań jednostkowych nakładów energii na rozdrabnianie ziarna (E_r) pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic pomiędzy stosowanymi poziomami wilgotności (tab. 4).

Wartości badanej cechy zawierały się w przedziale od 75,94 do 122,49 J·g⁻¹. Przeprowadzona analiza wyników badań pozwoliła zauważyć, że wraz ze wzrostem wilgotności ziarna zwiększały się jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie. Uzyskane zależności regresyjne zestawiono w tabeli 7. Wykres zależności jednostkowych nakładów energii od wilgotności przedstawiono na rysunku 2. Średnie wartości badanego parametru, które różnią się istotnie między sobą oznaczono na rysunku różnymi literami.

Tabela 4. Zestawienie wyników analizy wariancji dla jednostkowych nakładów energii na rozdrabnianie E_r .

Table 4. Results of variance analysis for specific grinding energy E_r .

Składniki analizy wariancji Element of variance analysis	SS·10 ³	df	MS·10 ³	F	p
Wyraz wolny - Intercept	302,1	1	302,1	494,6	0,000
Wilgotność - Moisture content	6,586	4	1,646	2,696	0,042
Błąd standardowy Standard error	27,48	45	0,611		



Rys. 2. Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r dla poszczególnych wilgotności ziarna
Fig. 2. Specific grinding energy E_r for each moisture content

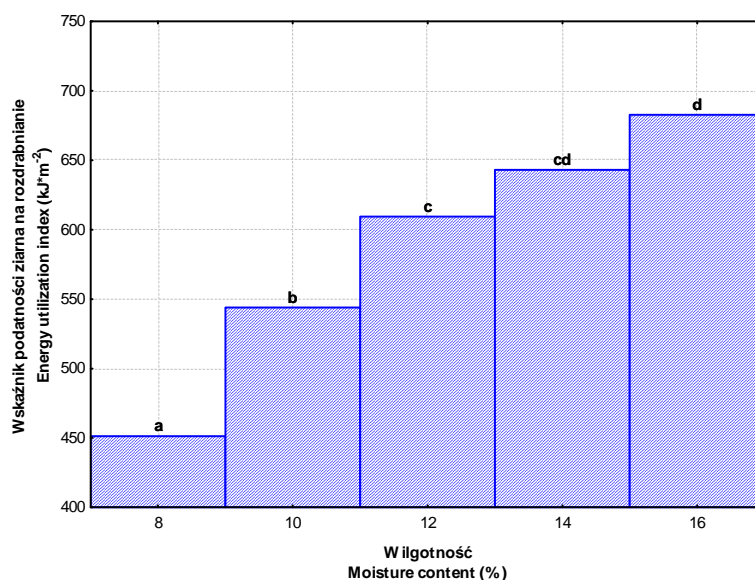
Analiza wariancji wykonana dla wskaźnika podatności ziarna na rozdrabnianie (E_f) pozwoliła na stwierdzenie istotnych różnic w wartości badanego parametru przy różnych poziomach wilgotności (tab. 5).

Tabela 5. Zestawienie wyników analizy wariancji dla wskaźnika podatności ziarna na rozdrabnianie E_f
Table 5. Results of variance analysis for energy utilisation index E_f

Składniki analizy wariancji Element of variance analysis	SS·10 ⁵	df	MS·10 ⁵	F·10 ¹	p
Wyraz wolny – Intercept	85,88	1	85,88	741,6	0,000
Wilgotność – Moisture content	1,655	4	0,414	3,572	0,000
Błąd standardowy Standard error	0,232	20	0,012		

Najwyższe wartości tej cechy otrzymano przy największej zawartości wody - średnio 682,7 kJ·m⁻², najniższe zaś dla ziarna najsuchszego - 451,2 kJ·m⁻². Na rysunku 3 przedstawiono otrzymane zależności pomiędzy wskaźnikiem podatności ziarna na rozdrabnianie a wilgotnością. Średnie wartości badanego wskaźnika, które istotnie różnią się między sobą oznaczono na rysunku różnymi literami.

Uzyskane wyniki analizy regresji zestawiono w tabeli 7.



Rys. 3. Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f dla poszczególnych wilgotności ziarna

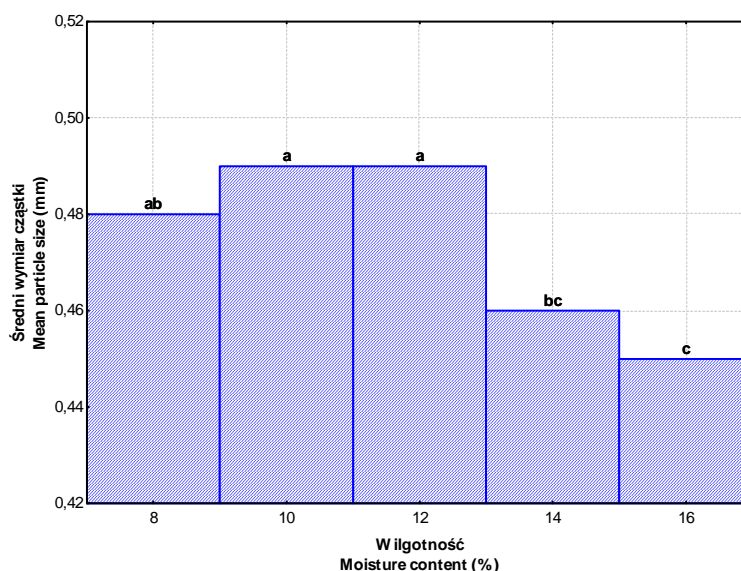
Fig. 3. Energy utilisation index E_f for each moisture content

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotne różnice wartości średniego wymiaru cząstki d_m dla poszczególnych poziomów wilgotności (tab. 6).

Tabela 6. Zestawienie wyników analizy wariancji dla średniego wymiaru cząstki d_m
Table 6. Results of variance analysis for mean particle size d_m

Składniki analizy wariancji Element of variance analysis	SS·10 ⁻¹	df	MS·10 ⁻¹	F	p
Wyraz wolny – Intercept	56,17	1	56,17	22468	0,000
Wilgotność – Moisture content	0,066	4	0,017	6,600	0,001
Błąd standardowy – Standard error	0,050	20	0,003		

Analiza wyników badań średniego wymiaru cząstki d_m wykazała, że początkowo wraz ze wzrostem wilgotności ziarna rośnie wartość parametru. Dalsze zwiększanie zawartości wody w ziarnie powoduje spadek średniego wymiaru cząstki. Najniższą wartość d_m zanotowano przy wilgotności ziarna wynoszącej 16% (średnio 0,45 mm), natomiast najwyższą przy zawartości wody 10 i 12% (średnio 0,49 mm). Zależność średniego wymiaru cząstki d_m od wilgotności przedstawiono w postaci równania regresji (tab. 7), jak i w formie graficznej na rysunku 4. Średnie wartości, które istotnie różnią się między sobą oznaczono na rysunku różnymi literami.



Rys. 4. Średni wymiar cząstki d_m dla poszczególnych wilgotności ziarna
Fig. 4. Mean particle size d_m for each moisture content

Tabela 7. Zestawienie równań regresji i wartości współczynnika determinacji określających zależności pomiędzy właściwościami fizycznymi i parametrami procesu rozdrabniania pszenicy a wilgotnością

Table 7. Equations and determination coefficients expressing the relationships between physical properties and some grinding features of wheat and moisture content

Badana (oznaczana) cecha Determined characteristic	Równanie – Equation	R^2
Siła tnąca F_t (N) Shear force F_t (N)	$F_t = -4,353 w_z + 107,9$	0,90
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie ziarna E_r ($J \cdot g^{-1}$) Specific grinding energy E_r ($J \cdot g^{-1}$)	$E_r = 0,233 w_z^2 + 65,35$	0,88
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f ($J \cdot m^{-2}$) Energy utilisation index E_f ($J \cdot m^{-2}$)	$E_f = 28,11 w_z + 248,8$	0,84
Średni wymiar cząstki d_m (mm) Mean particle size d_m (mm)	$d_m = -0,020 \cdot 10^{-2} w_z^2 + 0,504$	0,63

WNIOSKI

Analiza uzyskanych wyników badań pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wzrost zawartości wody w całym badanym przedziale od 8 do 16% spowodował spadek wartości siły tnącej o ponad 44% dla ziarna pszenicy Muszelka
2. Nie stwierdzono istotnego wpływu wilgotności na wartość pracy cięcia oraz jednostkowej pracy cięcia.
3. Wzrost wilgotności od 8 do 16% wpływa na zwiększenie jednostkowych nakładów energii na rozdrabnianie o ok. 38%.
4. Wartość wskaźnika podatności ziarna na rozdrabnianie wzrasta wraz ze wzrostem zawartości wody w ziarnie. Dla badanej odmiany pszenicy stwierdzono niespełna 34-procentowy wzrost wartości parametru w badanym zakresie wilgotności.
5. Wykazano istotne różnice pomiędzy średnim wymiarem cząstki przy różnych poziomach wilgotności. Stwierdzono ponad 8-procentowy spadek wartości badanego parametru w przedziale wilgotności od 12 do 16%.

PIŚMIENNICTWO

- Branland G., Feli I., Leblanc A., Koenig J., Bodet C., Mariot D., Mahaut B., 1997. La dureté des blés sélectionnés en France évolution et conséquences. *Industries des Céréales*, Nr 101, 5-10.
- Dziki D., Laskowski J., 2004. Wpływ warunków kondycjonowania na energochłonność rozdrabniania ziarna jęczmienia i kukurydzy. *MOTROL*, Tom 6/2004, 88-95.
- Dziki D., Laskowski J., 2006. Ocena właściwości wytrzymałościowych ziarna pszenicy na podstawie testu cięcia. *Inżynieria Rolnicza*, 12 (87), 127-135.
- Górniak W., Majdak H., 2005. Wpływ wilgotności ziarna pszenicy na jego gęstość w stanie zsypanym. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 12/2005, 21-23.
- Greffeuille V., Abecassis J., Rosset M., Qury F.-X., Faye A., L'Helgouac'h C. Bar, Lullien-Pellerin V., 2006. Grain characterization and milling behaviour on near-isogenic lines differing by hardness. *Theoretical and Applied Genetics*, 114, 1-12.
- Grochowicz J., 1996. *Technologia produkcji mieszanek paszowych*. PWRiL, Warszawa, ISBN 83-09-01656-5.
- Kiryłuk J., Kawka A., Klockiewicz-Kamińska E., Anioła J., 1998. Charakterystyka wybranych odmian jęczmienia jako surowca do produkcji kasz i innych produktów spożywczych. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 3, 29-30.
- Laskowski J., Łojewska H., Łysiak G., 2001. Zastosowanie równania Walkera do oceny energochłonności rozdrabniania ziarna zbóż w rozdrabniaczu bijakowym. *Inżynieria Rolnicza*, 2 (22), 179-185.
- Laskowski J., Łysiak G., Melcion J. P., 1998. Cereal grains resistance analysis in the aspect of energy utilization in process of disintegration. *Int. Agrophysics*, 12(3), 205-208.
- Marks N., Sobol Z., Baran D. 2006. Wpływ wilgotności na energochłonność procesu rozdrabniania ziarna zbóż. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 281-288.
- PN-89/R-64798. Pasze. Oznaczanie rozdrobnienia.
- PN-91/A-74010. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności (rutynowa metoda odwoławcza).
- Posner E. S., 1991. Wheat and flour ash as a measurement of millability. *Cereal Food World*, 36(8), 626-629.
- Sadkiewicz K., Sadkiewicz J., 1998. *Urządzenia pomiarowo-badawcze dla przetwórstwa zbożowo-mącznego*. Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz.
- Szot B., 1983. Czynniki kształtujące odporność ziarna pszenicy na obciążenie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 258, 437-448.
- Szot B., Grundas S., 1978. Zagadnienia zmienności niektórych cech fizycznych ziarna zbóż. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 202, 219-243.
- Zawiślak K., 2006. Przetwarzanie ziarna kukurydzy na cele paszowe. *Rozprawy naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie*, 304, 47.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON PHYSICAL PROPERTIES
AND SOME GRINDING FEATURES OF WHEAT VARIETY MUSZELKA

Adam Zdybel, Sławomir Gawłowski, Janusz Laskowski

Department of Equipment Operation and Maintenance in the Food Industry,
University of Life Sciences
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin
e-mail: adam.zdybel@up.lublin.pl

Abstract. The paper presents the results of a study on the influence of wheat moisture on some physical properties and grinding energy consumption. Winter wheat cultivar Muszelka was used in the research. Prior to the experiments, moisture of wheat was determined. The kernels were then tempered to achieve five distinct water levels i.e. 8, 10, 12, 14 and 16%. The maximum shear force and shear energy absorption as well as some parameters of grinding were determined. Analysis of the experiment results showed significant dependencies between moisture and physical properties as well as grinding features. Significant differences between analysed parameters at different moisture levels were confirmed. Some relevant relations were described by means of regression equations.

Keywords: grain, wheat, moisture content, grinding process