



WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE ZIARNA ZBÓŻ A ENERGOCHŁONNOŚĆ ROZDRABNIANIA

Małgorzata Warechowska

Katedra Podstaw Bezpieczeństwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

* Adres do korespondencji: ul. Heweliusza 10, 10-719 Olsztyn, e-mail: gosiaw@uwm.edu.pl

INFORMACJE O ARTYKULE

Historia artykułu:
Wpłynął: grudzień 2013
Zrecenzowany: luty 2014
Zaakceptowany: marzec 2014

Słowa kluczowe:
ziarna zbóż
rozdrabnianie
właściwości fizyczne
energochłonność

STRESZCZENIE

W pracy określono zależności między wybranymi właściwościami ziarna zbóż, a energochłonnością rozdrabniania. Ziarna pszenicy zwyczajnej, orkiszu i pszenżyta o wilgotności 15% poddano przemalowi wykorzystując rozdrabniacz walcowy. Ustalono relacje między energochłonnością rozdrabniania, a szklistością ziarna, masą tysiąca ziaren, gęstością usypową i zawartością popiołu w ziarnie. Jednostkowa energia rozdrabniania zależała od szklistości, gęstości usypowej ziarna oraz od zawartości popiołu w ziarnie. Ze wzrostem szklistości i gęstości usypowej ziarna zwiększało się zapotrzebowanie na jednostkową energię rozdrabniania. Wskaźnik efektywności rozdrabniania zwiększał się wraz ze wzrostem szklistości, gęstości usypowej oraz masy tysiąca ziaren, a zmniejszał się ze wzrostem zawartości popiołu w ziarnie. Szklistość ziarna wywierała silniejszy wpływ na energochłonność rozdrabniania niż gęstość usypowa i zawartość popiołu.

Wprowadzenie i cel pracy

Pszenica zwyczajna, pszenica orkisz oraz pszenżyto są ważnymi roślinami uprawnymi, które odgrywają znaczącą rolę w wyżywieniu ludności. Pszenica orkisz jest jednym z najstarszych podgatunków pszenicy zwyczajnej. W ostatnich latach obserwuje się znaczne zainteresowanie ziarnem orkiszu ze względu na korzystniejszy skład chemiczny i wyższą wartość odżywczą w porównaniu z ziarnem pszenicy zwyczajnej (Bonafaccia i in., 2000). Z kolei pszenżyto jest potencjalną alternatywą dla pszenicy w przetworzonych produktach mącznych. Podstawowym procesem przetwarzania tych zbóż jest mielenie, którego celem jest początkowo oddzielenie od siebie bielma, owocni i zarodków, a następnie zmniejszenie cząstek bielma do frakcji, która przechodzi przez sito o wymiarach oczek nie większych niż 200 μm (Posner, 2003). Rozdrabnianie jest jednym z najbardziej energochłonnych procesów (McCabe i in., 2004). W przemysłowym procesie przetwarzania około 60-75% całkowitej energii związana jest z procesem rozdrabniania (Danciu i in., 2009). Energia rozdrabniania zbóż jest przedmiotem zainteresowania naukowców. Pujol i in. (2000) oraz Danciu i Danciu (2011) opisali mikro-młyny zaprojektowane do dokładnego pomiaru

zużycia energii mechanicznej podczas mielenia małych ilości pszenicy. Nakłady energetyczne w procesie przemiału zależą od rodzaju zastosowanego młyna, ustawienia młyna oraz od właściwości fizykochemicznych ziarna i stopnia rozdrobnienia (Dziki i Laskowski, 2002; Dziki, 2008; Fang i in., 1998; Greffeuille i in., 2007; Scanlon i Dexter, 1986; Wiercioch i in., 2008). Wiele badań dotyczy wpływu wilgotności ziarna na wielkość nakładów energii potrzebnej do jego rozdrobnienia (Kowalik i in., 2002; Marks i in., 2006; Opielak i Komsta, 2001; Romański i Niemiec, 2000). Wraz ze wzrostem wilgotności ziarna zwiększa się energochłonność rozdrabniania. Na energochłonność rozdrabniania zbóż wpływ ma również twardość ziarna. Pszenice twarde wymagają zużycia większej ilości energii podczas mielenia na mąki niż pszenice miękkie (Dziki i Przypadek-Ochab, 2009; Dziki i in., 2012; Greffeuille i in., 2007; Kilborn i in., 1982). Szklistość ziarna często powiązana jest z twardością. Ziarna o bardziej szklistym bielmie są zazwyczaj bardziej twarde (Glen i Johnson, 1994). Wzrost szklistości ziarna powoduje zwiększenie nakładów energii na rozdrabnianie (Dziki i in., 2012; Laskowski i Różyło, 2003). Według badań Wiercioch i in. (2008) na energochłonność rozdrabniania zbóż wpływ ma również masa ziarniaków. Nakłady energetyczne podczas rozdrabniania ziarna pszenicy są proporcjonalne do masy ziarniaków.

Analiza literatury skłania do stwierdzenia, że najwięcej badań dotyczy wpływu wilgotności i twardości ziarna na energochłonność rozdrabniania. Znacznie mniej prac doświadczalnych dotyczy zależności pracy rozdrabniania od innych właściwości ziarna takich jak: masa tysiąca ziaren, gęstość usypowa, zawartość popiołu w ziarnie oraz szklistość. Dlatego celem pracy było porównanie nakładów energii na rozdrabnianie ziarna pszenicy zwyczajnej, orkisz i pszenżyta oraz określenie wpływu wybranych właściwości ziarna (szklistość, masa tysiąca ziaren, gęstość usypowa oraz zawartość popiołu w ziarnie) na energochłonność rozdrabniania przy wykorzystaniu rozdrabniacza walcowego.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na ziarnie czterech odmian pszenicy zwyczajnej (Bombona, Korweta, Parabola, Radunia), dwóch odmian pszenicy orkisz (Schwabenkorn, Franckenkorn) oraz dwóch odmian pszenżyta (Andrus i Milewo). Próbkę ziarna oczyszczono, a pszenicę orkisz poddano procesowi obłuszczenia na urządzeniu laboratoryjnym LD 180 ST 4 firmy WINTERSTEIGER. Wyznaczono wilgotność ziarna (ICC Standard No. 110/1). Następnie ziarno dowilżano do 15% wilgotności przez dodatek odpowiedniej ilości wody destylowanej. Dowilżanie prowadzono w szczelnie zamkniętych pojemnikach w czasie 48 h. Oznaczono masę tysiąca ziaren (PN EN ISO 520:2011), gęstość ziarna w stanie usypowym (PN EN ISO 7971-3:2010), szklistość ziarna (PN 70/R-74008). Wyznaczono także zawartość popiołu całkowitego w ziarnie (PN-EN ISO 2171:2010). Przemiał ziarna zrealizowano przy wykorzystaniu młyna Quadrumat Junior firmy Brabender wyposażonego w odsiewacz cylindryczny opięty sitem 70GG (PE 236 μm). Jest to czterowalcowy młynek laboratoryjny z systemem aspiracji oraz odsiewaczem bębnowym. Energochłonność procesu przemiału określono przez pomiar ilości energii elektrycznej pobieranej przez młyn podczas pracy. Energię zużywaną na wprowadzenie elementów rozdrabniacza w ruch obliczano jako iloczyn mocy czynnej biegu jałowego i czasu rozdrabniania. Pracę rozdrobnienia

nia danej próbki ziarna określono przy założeniu, że energia całkowita pobierana przez rozdrabniacz równa jest sumie energii rozdrabniania i zużywanej na wprawienie jego elementów w ruch. Jednostkową energię rozdrabniania E_r ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) obliczono ze wzoru:

$$E_r = \frac{E_c - E_s}{m} \quad (1)$$

gdzie:

E_c – energia całkowita potrzebna do pracy rozdrabniacza ($E_c = P_c \cdot t_r$), (kJ)

E_s – energia biegu jałowego ($E_s = P_s \cdot t_r$), (kJ)

P_s – moc czynna pobierana podczas biegu jałowego, (kW)

P_c – moc czynna (całkowita) pobierana przez rozdrabniacz, (kW)

t_r – czas rozdrabniania próbki, (s)

m – masa rozdrabnianej próbki, (kg)

Wyznaczono także wskaźnik efektywności rozdrabniania K' ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Greffeuillea i in., 2007):

$$K' = \frac{E_c - E_s}{m_m} \quad (2)$$

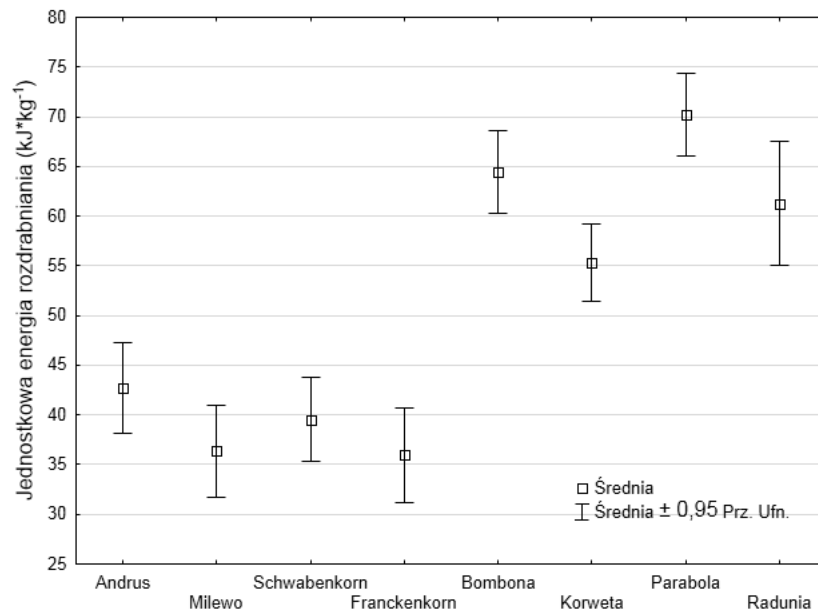
gdzie:

m_m – masa uzyskanej mąki, (kg)

Pomiary przeprowadzono w 6 powtórzeniach dla każdego rodzaju ziarna. Obliczenia wykonano w programie MS Excel® (Microsoft). Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Przeprowadzono analizę wariancji dla średnich wartości poszczególnych cech, celem określenia statystycznie istotnych różnic. Istotność różnic między średnimi określono, wykorzystując test Tukey'a. Obliczono współczynniki korelacji liniowej między mierzonymi cechami. Istotność oceniano na dwóch poziomach ($p < 0,05$) oraz ($p < 0,01$). Wyznaczono także równania regresji liniowej opisujące wpływ badanych cech ziarna na jednostkową energię rozdrabniania. Obliczenia statystyczne przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego STATISTICA® for Windows v. 10 (StatSoft Inc.). Hipotezy statystyczne testowano na poziomie istotności $p = 0,05$.

Wyniki badań i ich analiza

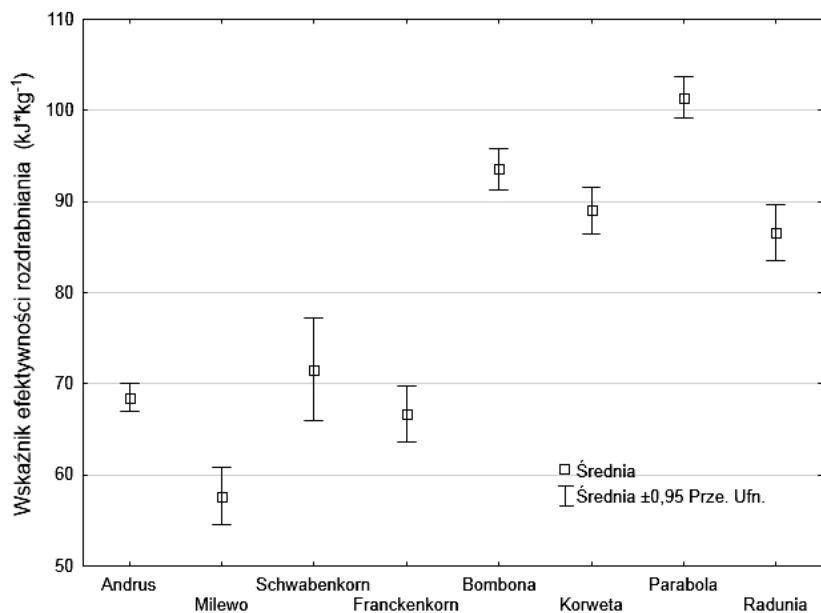
Wartości jednostkowej energii rozdrabniania (E_r) zawierały się od $35,9 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (pszenica orkisz - odmiana Franckenkorn) do $70,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ – (pszenica zwyczajna – odmiana Parabola) (rys. 1). Rozdrobnienie ziarna pszenic zwyczajnych wymagało większej ilości energii niż rozdrobnienie ziarna pszenicy orkisz, czy pszenżyta.



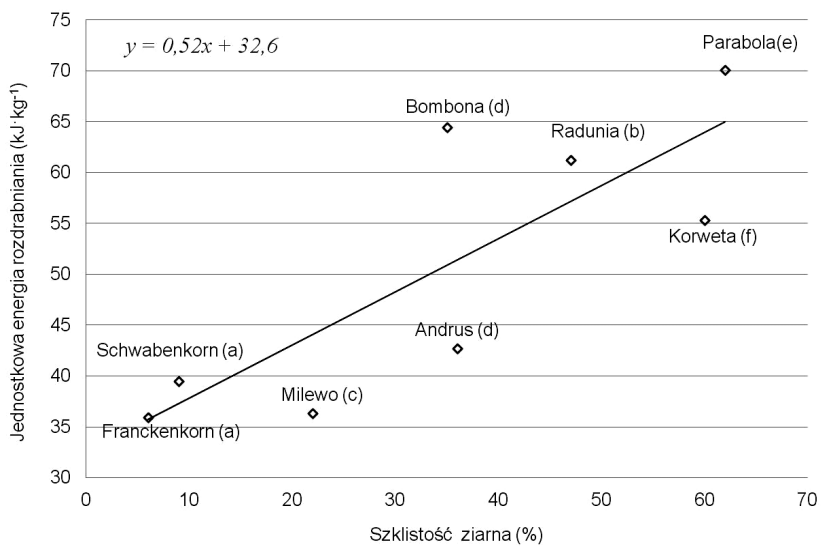
Rysunek 1. Średnie wartości jednostkowej energii rozdrabniania ziarna zbóż ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
 Figure 1. Average values of unit energy of grinding of the cereal grain ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Potwierdzają to badania Cacak-Pietrzak i Gondek (2010), które wykazały, że rozdrobienie ziarna orkiszu wymaga mniej energii niż rozdrobienie ziarna pszenicy zwyczajnej. Wskaźnik efektywności rozdrabniania ziarna K' , odpowiadający energii niezbędnej do uzyskania odpowiedniej ilości mąki przyjmował wartości z przedziału od 57,6 (pszenżyto Milewo) do 101,4 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (pszenica Parabola) (rys. 2). Podobnie jak energia zużyta na rozdrabnianie ziarna, energia potrzebna do uzyskania 1 kg mąki (cząstki mniejsze niż 236 μm) była wyższa w przypadku pszenic zwyczajnych niż pszenicy orkisz czy pszenżyta.

Badane ziarno charakteryzowało się szklistością od 6 do 62%. Zależność pomiędzy szklistością ziarna, a jednostkową energią rozdrabniania miała charakter liniowy (rys. 3).



Rysunek 2. Średnie wartości wskaźnika efektywności rozdrabniania ziarna zbóż
 Figure 2. Average values of the index of grinding efficiency of the cereal grain



Rysunek 3. Zależność jednostkowej energii rozdrabniania od szklistości ziarna (wartości średnie szklistości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie)
 Figure 3. Dependence of the unit energy of grinding on the vitreousness of a grain (average values of vitreousness marked with these letters do not differ statistically significantly)

Współczynnik korelacji liniowej wynosił 0,814 (tabela 1) i przyjmował wartość zbliżoną do uzyskanej przez Dzikiego i in. (2012).

Tabela 1

Wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy badanymi cechami

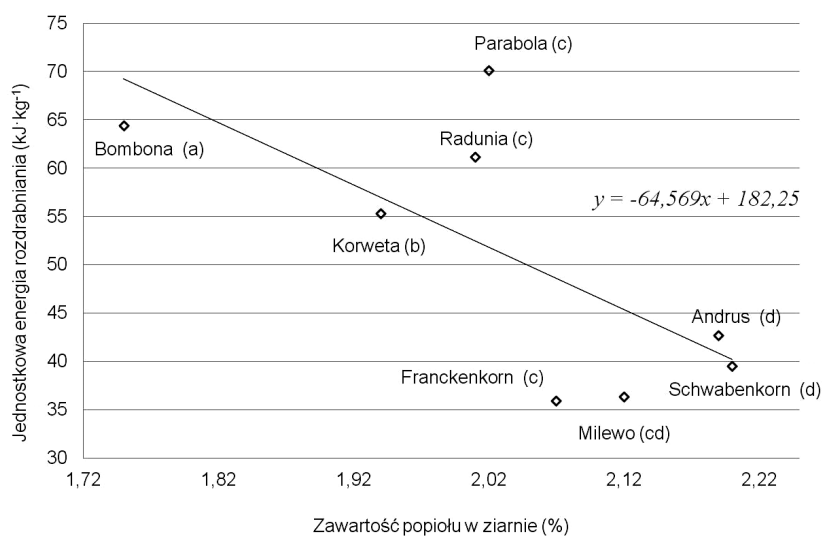
Table 1

Values of linear correlation coefficients between the researched properties

Zmienne	Szklistość	Gęstość usypowa	Masa tysiąca ziaren	Zawartość popiołu w ziarnie
Jednostkowa energia rozdrabniania (E_r)	0,814**	0,750**	0,413	-0,692**
Wskaźnik efektywności rozdrabniania (K')	0,772**	0,740**	0,541*	-0,681**

*- poziom istotności $p < 0.05$; **- poziom istotności $p < 0.01$

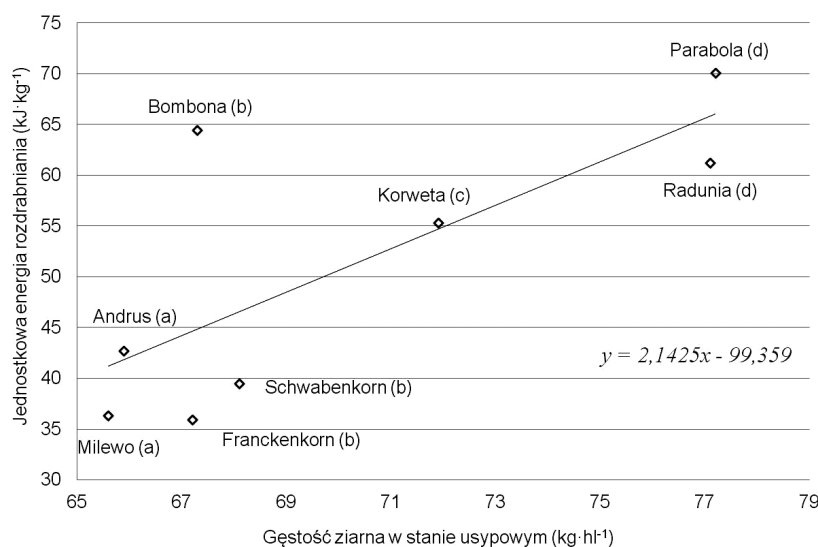
Badaniem zależności pomiędzy szklistością ziarna a energochłonnością rozdrabniania zajmowali się również Laskowski i Różyło (2003). Dowiedli oni, że szklistość ziarna wpływa na energię jednostkową rozdrabniania, a zmiana szklistości z 15 do 85% powodowała wzrost jednostkowej energii rozdrabniania o około 68%. Potwierdza to rezultaty uzyskane przez innych autorów (Dziki i in., 2012; Wiercioch i in., 2008).



Rysunek 4. Zależność jednostkowej energii rozdrabniania od zawartości popiołu w ziarnie (oznaczenia jak w rys. 3)

Figure 4. Dependence of the unit energy of grinding on the ash content in a grain (symbols as in figure 3)

W badaniach własnych różnica w szklistości 6 i 62% powodowała różnicę jednostkowej energii rozdrabniania o około 95%. Wiele badań (Cacak-Pietrzak i in., 2009; Laskowski i Różyło, 2003; Wiercioch i Niemiec, 2006) wskazuje, że przemiał twardego i szklatego ziarna wymaga większych nakładów energetycznych w porównaniu z ziarnem mączystym. Według Cacak – Pietrzak (2009) ziarna szkliste są bardziej wytrzymałe i wymagają większego nakładu energii w celu rozdrobnienia.

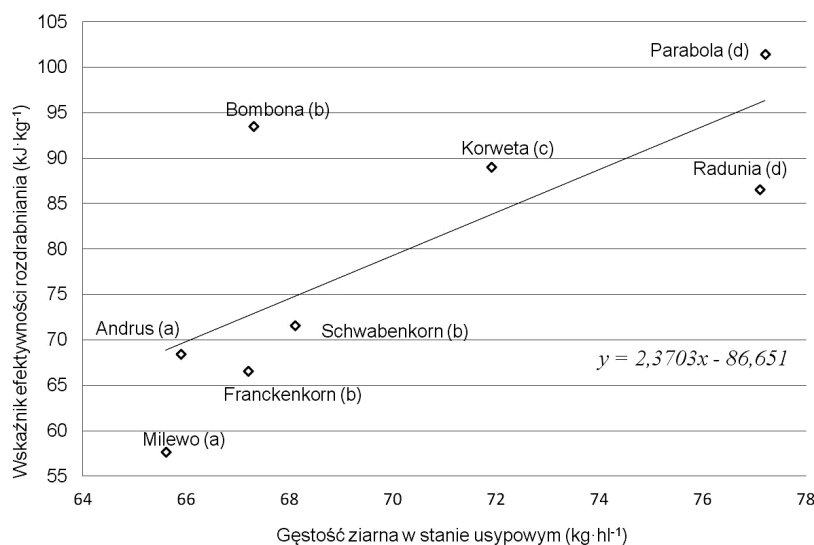


Rysunek 5. Zależność jednostkowej energii rozdrabniania od gęstości usypowej ziarna (oznaczenia jak w rys. 3)

Figure 5. Dependence of the unit energy of grinding on the bulk density of a grain. (symbols as in figure 3)

Powodem tego jest budowa wewnętrzna ziarna, gdyż w ziarnie szklistym ziarna skrobi są głęboko wtopione w matrycę białkową w odróżnieniu od budowy ziarna mączystego, które cechuje się luźną strukturą bielma (ziarna skrobi są od siebie oddzielone) (Edwards, 2010). Zmiany wartości jednostkowej energii rozdrabniania od zawartości popiołu w ziarnie opisano równaniem liniowym: $y = -64,569x + 182,25$, gdzie $r = -0,692$ (rys. 4). Energia rozdrabniania zmniejszała się wraz ze wzrostem zawartości popiołu w ziarnie. Odwrotną zależność między jednostkową energią rozdrabniania pszenicy, a zawartością popiołu w ziarnie wykazał w swoich badaniach Dziki i in. (2012).

W badaniach własnych ziarno zbóż charakteryzowało się gęstością usypową od 65,9 do 77,2 kg·hl⁻¹.

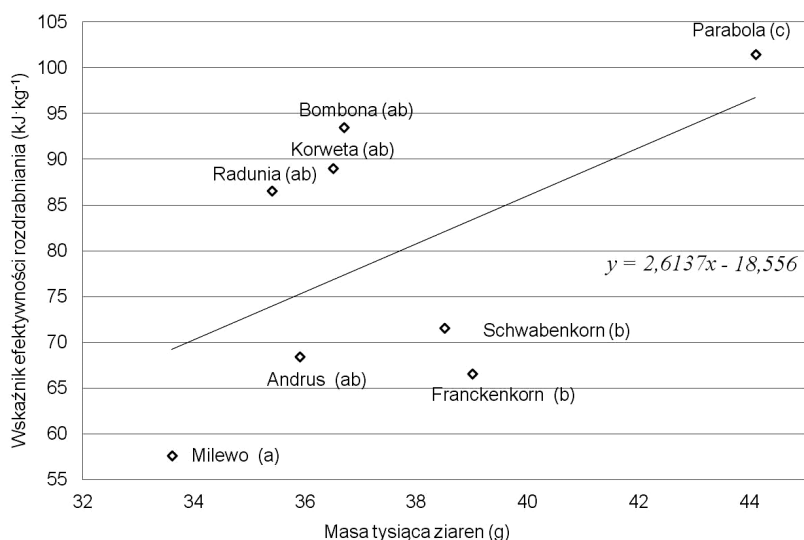


Rysunek 6. Zależność wskaźnika efektywności rozdrabniania od gęstości usypowej ziarna (oznaczenia jak w rys. 3)

Figure 6. Dependence of the index of grinding efficiency on the bulk density of a grain. (symbols as in figure 3)

Zależność pomiędzy gęstością usypową ziarna, a jednostkową energią rozdrabniania miała charakter liniowy (rys. 5). Stwierdzono, że wzrostowi gęstości usypowej ziarna towarzyszył wzrost jednostkowej energii rozdrabniania ($r=0,750$). Wykazano również istotną zależność między gęstością usypową, a wskaźnikiem efektywności rozdrabniania ziarna K (rys. 6). Współczynnik korelacji wynosił $r=0,740$. Nie wykazano istotnej zależności między masą tysiąca ziaren (MTZ), a jednostkową energią rozdrabniania ziarna. W badaniach własnych istotną zależność stwierdzono między MTZ, a wskaźnikiem efektywności rozdrabniania czyli ilością energii potrzebną do uzyskania 1 kg mąki (rys. 7). Zależność ta została opisana równaniem: $y=2,6137x-18,556$; gdzie $r=0,541$. Można sądzić, że na rozdrabnianie dużych ziaren zużywa się więcej energii niż na rozdrabnianie ziaren małych, aby uzyskać taką samą ilość mąki. Wierciuch i in. (2008) wykazali, że wraz ze wzrostem masy ziarniaków rosło zapotrzebowanie energii potrzebnej do rozdrabniania. W badaniach własnych dwukrotne zwiększenie masy ziarniaków przyczyniało się do przyrostu jednostkowego nakładu energii rozdrabniania od 46 do aż 80%, w zależności od poziomu szklistości materiału.

Z analizowanych właściwości ziarna, szklistość jest cechą wywierającą silniejszy wpływ na energochłonność rozdrabniania niż gęstość usypowa i zawartość popiołu. (tabela 1).



Rysunek 7. Zależność wskaźnika efektywności rozdrabniania od masy tysiąca ziaren (oznaczenia jak w rys. 3)

Figure 7. Dependence of the index of grinding efficiency on the thousand grain mass (symbols as in figure 3)

Podsumowanie

1. Jednostkowa energia rozdrabniania zbóż zależy od szklistości, gęstości usypowej ziarna oraz od zawartości popiołu w ziarnie. Ze wzrostem szklistości i gęstości usypowej ziarna zwiększa się jednostkowa energia rozdrabniania.
2. Wskaźnik efektywności rozdrabniania zwiększa się wraz ze wzrostem szklistości, gęstości usypowej oraz masy tysiąca ziaren, a zmniejsza się ze wzrostem zawartości popiołu w ziarnie.
3. Szklistość jest cechą wywierającą silniejszy wpływ na energochłonność rozdrabniania niż gęstość usypowa i zawartość popiołu.

Literatura

- Bonafaccia, G.; Galli, V.; Francisci, R.; Mair, V.; Skrabanja, V.; Kreft, I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry*, 68(4), 437-441.
- Cacak-Pietrzak, G.; Ceglińska, A.; Gondek, E.; Jakubczyk, E. (2009). Wpływ struktury ziarna pszenicy na proces rozdrabniania. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 53-56.
- Cacak-Pietrzak, G.; Gondek, E. (2010). Milling value of spelt wheat and wheat grain. *Acta Agrophysica*, 16 (2), 263-273.
- Danciu, C.; Danciu, I. (2011). Grinding resistance of the wheat grain related to the grinding degree for the first break in the wheat milling. *Bulletin UASVM Agriculture*, 68(2), 235-242.

- Danciu, I.; Danciu, C.; Banu, I.; Vaduva, M.; Mester, M. (2009). Researches regarding the grinding resistance of the wheat grain. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 15(3), 393-395.
- Dziki, D. (2008). The crushing of wheat kernels and its consequence on the grinding process. *Powder Technology*, 185(2), 181-186.
- Dziki, D.; Cacak-Pietrzak, G.; Miś, A.; Jończyk, K.; Gawlik-Dziki, U. (2012). Influence of wheat kernel physical properties on the pulverizing process. *Journal of Food Science and Technology*, DOI 10.1007/s13197-012-0807-8.
- Dziki, D.; Laskowski, J. (2002). Wpływ wielkości ziarna na wybrane właściwości pszenicy. *Inżynieria Rolnicza*, 5(38), 337-344.
- Dziki, D.; Przypiek-Ochab, D. (2009). Evaluation of energy consumption for crushing wheat seed with diversified hardness. *Inżynieria Rolnicza*, 5(114), 61-67.
- Edwards, M. A. (2010). Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield. PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW, 85-87. Pozyskano z: <http://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1232&context=theses>
- Fang, Q.; Haque, E.; Spillman, C.K.; Reddy, P.V.; Steele, J.L. (1998). Energy requirements for size reduction of wheat using a roller mill. *American Society of Agricultural Engineers*, 41(6), 1713-1720.
- Glenn, G.M.; Johnston, R.K. (1994). Water vapor diffusivity in vitreous and mealy wheat endosperm. *Journal of Cereal Science*, 20(3), 275-282.
- Greffeuille, V.; Abecassis, J.; Barouh, N.; Villeneuve, P.; Mabile, F.; Bat, L'Helouac'h, C.; Lullen-Pellerin, V. (2007). Analysis of the milling reduction of bread wheat farina, physical and biochemical characterization. *Journal of Cereal Sciences*, 45(1), 97-105.
- Kilborn, R.H.; Black, H.C.; Dexter, J.E.; Martin, D.G. (1982). Energy consumption during flour milling. Description of two measuring systems and influence of wheat hardness on energy requirements. *Cereal Chemistry*, 59(3), 284-288.
- Kowalik, K.; Opielak, M. (2002). Badanie wpływu wilgotności i rodzaju ziarna zbóż na jednostkowe zużycie energii podczas rozdrabniania. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 10(4), 51-55.
- Laskowski, J.; Różyło, R. (2003). Wpływ zawartości glutenu i szklistości na energochłonność rozdrabniania ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*, 2(3), 589-596.
- Marks, N.; Sobol, Z.; Baran, D. (2006). Wpływ wilgotności na energochłonność procesu rozdrabniania ziarna zbóż. *Inżynieria Rolnicza*, 3(78), 281-288.
- McCabe, W.L.; Smith, J.C.; Harriott, P. (2004). *Unit Operations Of Chemical Engineering*. New York, McGraw-Hill Science Engineering, ISBN 0-07-284823-5.
- Opielak, M.; Komsta, H. (2001). Badanie wpływu wilgotności ziarna pszenicy na wydajność rozdrabniacza żarnowego i stopień rozdrobnienia materiału. *Inżynieria Rolnicza* 9(29), 187-192.
- Posner, E.S. (2003). *Milling/Principles of Milling* w *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. (Second Edition), London, Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich Publishers., ISBN: 978-0-12-227055-0. Pozyskano z: <http://www.sciencedirect.com>
- Pujol, R.; Letang, C.; Lempereur, I.; Chaurand, M.; Mabile, F.; Abecassis, J. (2000). Description of a micromill with instrumentation for measuring grinding characteristics of wheat grain. *Cereal Chemistry*, 77(4), 421-427.
- Romański, L.; Niemiec, A. (2000). Badanie wpływu wilgotności ziarna wybranych gatunków zbóż na energię rozdrabniania w gniotowniku modelowym. *Inżynieria Rolnicza*, 9(20), 255-259.
- Scanlon, M.G.; Dexter, J.E. (1986). Effect of smooth roll grinding conditions on reduction of hard red spring wheat farina. *Cereal Chemistry*, 63(5), 431-435.
- Wiercioch, M.; Niemiec, A. (2006). Energochłonność procesu rozdrabniania pszenicy ozimej o różnej szklistości przy stosowaniu gniotownika i śrutownika walcowego. *Inżynieria Rolnicza*, 11(86), 511-518.
- Wiercioch, M.; Niemiec, A.; Romański, L. (2008). Wpływ wielkości ziarniaków pszenicy na energochłonność ich rozdrabniania. *Inżynieria Rolnicza*, 5(103), 367-372.

SOME PHYSICAL PROPERTIES OF CEREAL GRAIN AND ENERGY CONSUMPTION OF GRINDING

Abstract. The aim of the work was assessing the dependence between some physical properties of cereal grain and energy consumption. Grain of common wheat, spelt and triticale of 15% of moisture was ground using a cylinder mill. Relation between energy consumption and vitreousness, thousand kernel weight, test weight and ash content has been determined. Unit energy consumption depended on vitreousness, test weight and ash content in grain. Unit energy consumption increases with the increase of vitreousness and test weight, and decreases with grain ash content. Vitreousness influenced the consumption of energy more considerably than the test weight and grain ash content.

Key words: cereal grain, grinding, physical properties, specific energy consumption