

## OCENA ENERGOCHŁONNOŚCI ROZDRABNIANIA ZIARNA PSZENICY ZRÓŻNICOWANEGO POD WZGLĘDEM TWARDOŚCI

Dariusz Dziki, Dorota Przypek-Ochab

*Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu twardości ziarna na proces udarowego rozdrabniania. Materiał badawczy stanowiło ziarno siedmiu odmian pszenicy zwyczajnej o twardości wyrażonej indeksem HI w zakresie od 18 do 78. Stwierdzono, że twardość ziarna miała istotny wpływ zarówno na skład granulometryczny śruty jak i na energochłonność procesu rozdrabniania. Wraz ze wzrostem twardości ziarna zwiększał się średni wymiar cząstek śruty ( $r=0,961$ ), energochłonność jednostkowa rozdrabniania ( $r=0,954$ ) i wskaźnik Sokołowskiego ( $r=0,969$ ). Zmniejszał się natomiast wskaźnik efektywności rozdrabniania ( $r=-0,962$ ).

**Słowa kluczowe:** twardość, pszenica, rozdrabnianie, energochłonność

### Wstęp

Rozdrabnianie jest podstawowym procesem w wielu gałęziach przemysłu spożywczego. Stopień rozdrobnienia decyduje o przebiegu dalszych etapów przetwórczych. Wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia zwiększają się nakłady energii na dekohezję cząstek, przy czym nie jest to zależność liniowa i najczęściej opisuje się ją równaniem wykładniczym [Laskowski i in. 2005]. Dlatego należy dążyć do optymalnej wielkości cząstek wymaganej do prowadzenia danego procesu technologicznego. Zarówno nadmierne rozdrobnienie, jak i niedostateczna dekohezja materiału negatywnie wpływa na jakość finalnych produktów.

Skład granulometryczny rozdrobnionych cząstek zależy między innymi od twardości ziarna. Podczas przemiału ziarna odmian pszenicy o miękkim bielmie otrzymuje się więcej drobnych cząstek w zakresie wymiarowym cząstek mąki [Greffeuille i in. 2007]. Z kolei z ziarna odmian pszenicy o twardym bielmie, a w szczególności odmian pszenicy durum, uzyskuje się w tych samych warunkach mniejszy stopień rozdrobnienia bielma. Związane jest to z większą adhezją między ziarnami skrobi a matrycą białkową u odmian pszenicy twardej, a tym samym ze sposobem rozpadu bielma podczas dekohezji [Beecher i in. 2002, Osborne i in. 2007].

Analizując dane literaturowe można stwierdzić, że wyniki badań dotyczące powiązań twardości ziarna z energochłonnością rozdrabniania nie są jednoznaczne. Kilborn i in. [1982] wykazali, że energochłonność procesu przemiału pszenicy zawiera się od  $46 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  dla odmian pszenicy miękkiej do  $124 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  dla odmian pszenicy durum. Natomiast według Romańskiego [2004] twardość ziarna nie ma istotnego wpływu na energochłonność procesu zgniatania. Znacznie mniej jest opracowań dotyczących badania udarowej dekohe-

zji ziarna pszenicy o zróżnicowanej twardości. Dlatego też w niniejszej pracy podjęto tę tematykę.

## **Cel i zakres pracy**

Celem pracy była analiza procesu rozdrabniania udarowego ziarna pszenicy o zróżnicowanej twardości. Określono skład granulometryczny śruty i wyznaczono wskaźniki energochłonności charakteryzujące ten proces

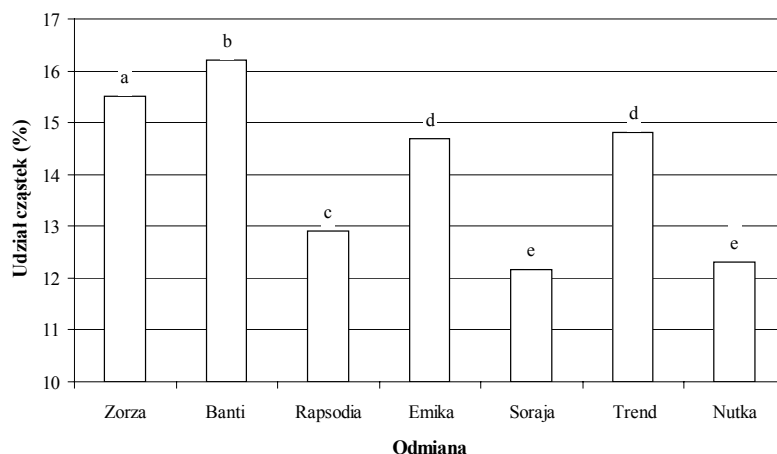
## **Materiał i metody badań**

Materiał badawczy stanowiło siedem odmian pszenicy zwyczajnej (Zorza, Banti, Rap-sodia, Emika, Soraja, Nutka, Trend) o uprzednio określonej twardości [Dziki 2008], wyrażonej niemianowanym wskaźnikiem (HI) zawierającym się w przedziale od 18 do 78. Wilgotność próbek wynosiła 12% ( $\pm 0,2\%$ ). Ziarno rozdrabniano, wykorzystując rozdrabniacz bijakowy typu POLYMIX-Micro-Hammermill MFC. Urządzenie współpracowało z komputerowym układem rejestracji mocy prądu. Dokładną charakterystykę stanowiska pomiarowego przedstawiono w opracowaniu Laskowskiego i Łysiaka [1997]. Rozdrabniacz wyposażono w wymienne sito o wielkości oczek wynoszącej 3,0 mm. Badania przeprowadzono w 10 powtórzeniach. Uzyskaną śrutę poddano analizie składu granulometrycznego przy wykorzystaniu odsiewacza Thyr 2 wyposażonego w odpowiedni zestaw sit. Następnie obliczono średni wymiar cząstek. Wyznaczono energochłonność jednostkową rozdrabniania (iloraz energii rozdrabniania do masy rozdrobnionego ziarna) oraz wskaźnik efektywności rozdrabniania (iloraz pola powierzchni cząstek po rozdrobnieniu do energii rozdrabniania). Obliczono również wskaźnik rozdrabniania (stała proporcjonalności), bazując na teorii rozdrabniania przedstawionej przez Sokołowskiego [1996]. Sposób wyznaczenia powyższych wskaźników przedstawiony został przez Dzikiego [2008].

Dla uzyskanych wartości obliczono wartości średnie oraz przeprowadzono analizę wariancji i analizę regresji. Istotność różnic między średnimi określono, wykorzystując test Tukey'a. Przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

## **Wyniki badań i ich analiza**

Analizując skład granulometryczny śruty stwierdzono, że istotne różnice między odmianami o różnej twardości wystąpiły we frakcji cząstek najdrobniejszych, o wielkości poniżej 200  $\mu\text{m}$  (rys. 1). Największym udziałem tych cząstek charakteryzowało się rozdrobnione ziarno pszenicy odmiany Zorza i Banti (odpowiednio 15,5% i 16,2%). Odmiany te charakteryzowały się ponadto najmniejszą twardością (HI=18,8 i 28,5). Najniższy udział tej frakcji, wynoszący średnio 12,2%, uzyskano po rozdrobnieniu ziarna o najwyższej i pośredniej twardości (Soraja i Nutka, HI równe odpowiednio 62,8 i 78,7). Pomimo, że z ziarna najtwardszego uzyskano najniższy udział cząstek najdrobniejszych, a z ziarna miękkiego udział tych cząstek był najwyższy, nie stwierdzono istotnej zależności liniowej ( $\alpha=0,05$ ) między twardością ziarna a udziałem tych cząstek.



Rys. 1. Udział cząstek śruty o wielkości <200 μm uzyskany po rozdrobnieniu ziarna pszenicy, wartości oznaczone różnymi literami są istotnie różne ( $\alpha=0,05$ )

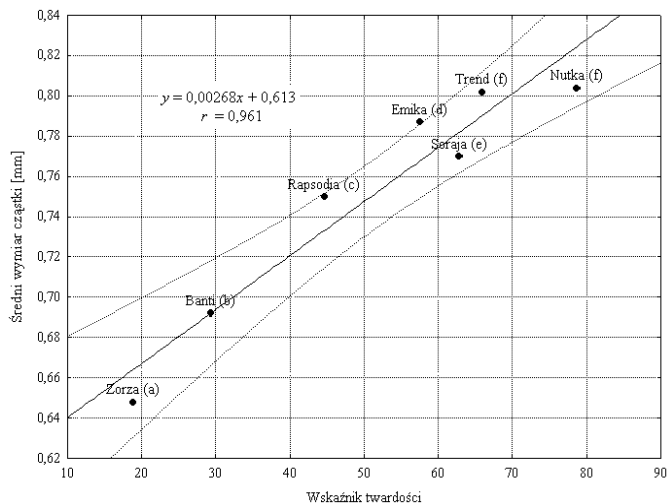
Fig. 1. Share of crush particles sized <200 μm obtained after having crushed wheat seed, values marked with different letters are significantly different ( $\alpha=0,05$ )

Średni wymiar cząstek śruty zawierał się od 0,65 mm (odmiana Zorza) do 0,80 mm (odmiany Trend i Nutka). Stwierdzono istotną i dodatnią zależność liniową między wskaźnikiem twardości ziarna a średnim wymiarem cząstek śruty. Zależność tę opisano równaniem regresji. Współczynnik korelacji wyniósł 0,961 (rys. 2).

Stwierdzono istotną zależność liniową między twardością ziarna a energochłonnością jednostkową rozdrabniania ( $r=0,954$ ). Najniższą wartość tego parametru uzyskano, rozdrabniając ziarno pszenicy odmiany Zorza ( $35,3 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), zaś najwyższą w przypadku odmiany Nutka ( $53,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Otrzymaną zależność opisano równaniem regresji (rys. 3). Stwierdzono ponadto dodatnią i istotną korelację między średnim wymiarem cząstek śruty a energochłonnością jednostkową rozdrabniania ( $r=0,91$ ). Zaznaczyć należy, że zależność ta jest prawdziwa w odniesieniu do ziarna wielu odmian rozdrabnianych w tych samych warunkach. Wówczas odmiana, która wymaga wyższych nakładów na rozdrabnianie charakteryzuje się również mniejszym stopniem rozdrobnienia. Podobną zależność otrzymał Dziki [2008], badając inne gatunki i odmiany zbóż.

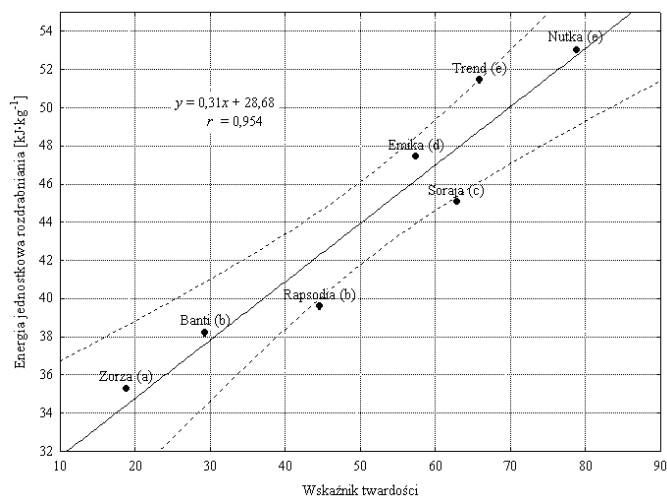
Poza twardością na energochłonność dekohezji udarowej wpływa wprost proporcjonalnie zawartość białka [Różyło i in. 2003] oraz szklistość ziarna pszenicy [Laskowski i Różyło 2003]. Ponadto szklistość pszenicy powoduje wzrost energochłonności zgniatania ziarna [Romański 2004].

Wskaźnik efektywności rozdrabniania zawierał się w zakresie od  $0,11 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  (odmiany Nutka i Trend) do  $0,20 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$  (odmiana Zorza). Stwierdzono, że wraz ze wzrostem twardości ziarna wartości tego wskaźnika zmniejszały się ( $r=-0,962$ ) - rys. 4.



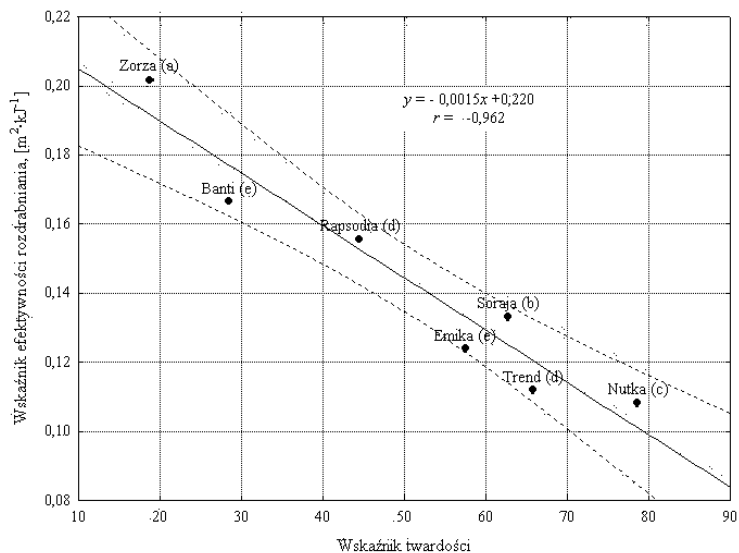
Rys. 2. Zależność między wskaźnikiem twardości ziarna a średnim wymiarem cząstek śruty, symbole literowe podane w nawiasach oznaczają istotność różnic między średnimi ( $\alpha=0,05$ )

Fig. 2. Relationship between the seed hardness index and the average size of crush particles, letter symbols given in brackets indicate the significance of differences between averages ( $\alpha=0,05$ )



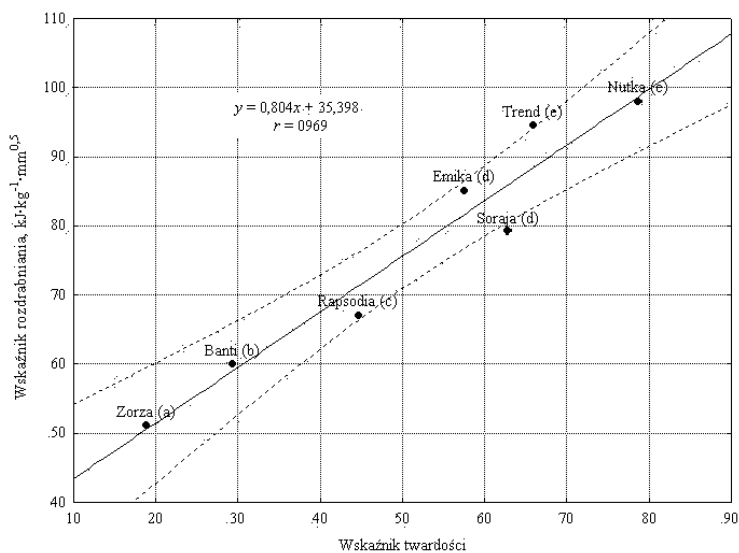
Rys. 3. Zależność między wskaźnikiem twardości ziarna a energochłonnością jednostkową rozdrabniania, symbole literowe podane w nawiasach oznaczają istotność różnic między średnimi ( $\alpha=0,05$ )

Fig. 3. Relationship between seed hardness index and unit energy consumption of crushing process, letter symbols given in brackets indicate the significance of differences between averages ( $\alpha=0,05$ )



Rys. 4. Zależność między twardością ziarna a wskaźnikiem efektywności rozdrabniania, symbole literowe podane w nawiasach oznaczają istotność różnic między średnimi ( $\alpha=0,05$ )

Fig. 4. Relationship between seed hardness and crushing process efficiency index, letter symbols given in brackets indicate the significance of differences between averages ( $\alpha=0,05$ )



Rys. 5. Zależność między twardością ziarna a wskaźnikiem rozdrabniania, symbole literowe podane w nawiasach oznaczają istotność różnic między średnimi ( $\alpha=0,05$ )

Fig. 5. Relationship between seed hardness and crushing index, letter symbols given in brackets indicate the significance of differences between averages ( $\alpha=0,05$ )

Rozpatrując wskaźnik rozdrabniania Sokołowskiego stwierdzono, że zwiększał się on wraz ze wzrostem twardości ziarna. Współczynnik korelacji dla uzyskanej zależności wyniósł 0,969 (rys. 5). Podobnie jak w przypadku energochłonności jednostkowej rozdrabniania najniższą wartość tego wskaźnika uzyskano poddając dekohezji ziarno odmiany Zorza ( $51,2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$ ), zaś prawie dwukrotnie wyższą w odniesieniu do ziarna odmiany Nutka ( $98,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$ ).

### Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że twardość ziarna istotnie oddziałuje na proces udarowego rozdrabniania. Z ziarna o twardym bielmie uzyskuje się śrutę charakteryzującą się mniejszym stopniem rozdrobnienia, przy czym największe różnice obserwowane są we frakcji cząstek najdrobniejszych ( $< 200 \mu\text{m}$ ). Wszystkie z wyznaczonych wskaźników energochłonności wykazały, że wzrost twardości ziarna powoduje zwiększenie nakładów energii na rozdrabnianie. Uzyskane zależności miały charakter liniowy. Największe zmiany zaobserwowano w przypadku wskaźnika efektywności rozdrabniania (spadek o 82% w porównaniu do ziarna o największej i najmniejszej twardości) oraz wskaźnika rozdrabniania Sokołowskiego (wzrost o 92%).

### Bibliografia

- Beecher, B. A., Bettge, E., Smidansky E., Giroux M.J.** 2002. Expression of wild type pin B sequence in transgenic wheat complements a hard phenotype. *Theoretical and Applied Genetics* Vol. 105. s. 870-877.
- Dziki D.** 2008. Analiza wpływu wstępnego zgniatania ziarna zbóż na rozdrabnianie udarowe. *Rozprawy naukowe AR w Lublinie* z. 326. ISSN 0860-4355.
- Greffeuille V., Abecassis J., Barouh N., Villeneuve P., Mabilie 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* Vol.45. s. 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* Vol. 59. s. 284-288.
- Laskowski J., Łysiak G., Skonecki S.** 2005. Mechanical properties of granular agro-materials and food powders for industrial practice. Part II. Material properties for grinding and agglomeration. *Institute of Agrophysics PAS, Lublin*. s. 29-30.
- Laskowski J., Łysiak G.** 1997. Stanowisko do badań procesu rozdrabniania surowców biologicznych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* Nr. 1/2. s. 55-58.
- Laskowski J., Różyło R.** 2003. Wpływ zawartości glutenu i szklistości na energochłonność rozdrabniania ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica* Vo. 2. Nr. 3. s. 589-596.
- Osborne B.G., Henry R.J., Southan M.D.** 2007. Assessment of commercial milling potential of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. *Journal of Cereal Sciences* Vol. 45. s. 122-127.
- Romański L.** 2004. Analiza i modelowanie procesu zgniatania ziarna pszenicy. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Rozprawy CCXX*, 496. s. 72.

- Różyło R., Laskowski J., Grundas S.** 2003. Badania zależności indeksu twardości i energochłonności rozdrabniania od zawartości białka w pszenicy. *Acta Agrophysica* Vol. 2. Nr. 1. s. 173-178.
- Sokołowski M.** 1996. Energy consumed in comminution- A New idea of a general law of comminution – New tests stand and testing results. *Recents progress en genie des procedes* Vol. 10. nr. 45 s. 221-226.

## **EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION FOR CRUSHING WHEAT SEED WITH DIVERSIFIED HARDNESS**

**Abstract.** The purpose of the work was to determine the influence of the grain hardness on the process of impact crushing. The research material comprised of seeds of seven bread wheat varieties with hardness expressed by HI index ranging from 18 to 78. It was found that seed hardness had a substantial impact both on the crush size distribution and the consumption of energy in the crushing process. The increasing seed hardness was followed by the increase in average size of crush particles ( $r=0.961$ ), unit energy consumption of crushing process ( $r=0.954$ ) and Sokolovski index ( $r=0.969$ ). Whereas, crushing efficiency index was decreasing.

**Key words:** hardness, wheat, crushing, energy consumption

**Adres do korespondencji:**

Dariusz Dziki; e-mail: [dariusz.dziki@up.lublin.pl](mailto:dariusz.dziki@up.lublin.pl)  
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-280 Lublin