

OCENA ENERGOCHŁONNOŚCI ROZDRABNIANIA ZIARNA PSZENICY PODDANEGO UPRZEDNIO ZGNIATANIU

Dariusz Dziki

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu zgniatania ziarna pszenicy odmiany Maltanka na energochłonność rozdrabniania przy wykorzystaniu rozdrabniacza bijakowego. Ziarno zgniecione do grubości od 0,5 do 2,0 mm wymagało mniejszych nakładów energii na rozdrabnianie w porównaniu do ziarna niezgniecionego. Przy czym im ziarno było bardziej zgniecione tym energochłonność rozdrabniania była niższa. Zgniatanie ziarna miało także wpływ na skład granulometryczny śruty. Wraz ze zwiększeniem stopnia zgniecenia ziarna zmniejszał się średni wymiar cząstki (od 0,79 do 0,64 mm). Z punktu widzenia energochłonności rozdrabniania najkorzystniejsze było zgniatanie ziarna do grubości 1,0 mm. Przy tym stopniu zgniecenia energochłonność jednostkowa rozdrabniania oraz wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie (przy uwzględnieniu nakładów energii na zgniatanie) były niższe odpowiednio od 16 do 24% i od 31 do 37% w odniesieniu do tych wskaźników otrzymanych dla ziarna niezgniecionego.

Słowa kluczowe: zgniatanie, rozdrabnianie, energochłonność, ziarno, pszenica

Wprowadzenie

Rozdrabnianie należy do podstawowych procesów w przetwórstwie zbóż. Poza sposobem rozdrabniania na wynik tego procesu istotny wpływ mają właściwości mechaniczne ziarna. Zależą one głównie od odmiany, ale także od warunków klimatycznych [Greffeuille i in. 2006]. Na właściwości te w istotny sposób oddziałuje także wilgotność ziarna. Generalnie wraz ze wzrostem wilgotności zwiększa się energochłonność jednostkowa rozdrabniania [Kowalik i in. 2002], szczególnie w odniesieniu do rozdrabniania ziarna przy wykorzystaniu rozdrabniaczy bijakowych [Zawiślak 2006]. Jednak w wypadku zgniatania wzrost wilgotności ziarna powyżej pewnej granicy powoduje spadek nakładów energii na ten proces. Według Romańskiego i Niemca [2001] w odniesieniu do ziarna pszenicy jest to około 16%, podobnie jak dla ziarna żyta [Dziki i in. 2007]. Z kolei Panasiewicz i inni [2003], zgniatając mieszankę ziaren różnych zbóż w równych proporcjach (owies, jęczmień oraz pszenica w przedziale wilgotności ziarna od 10 do 26%) największą energochłonność procesu zaobserwowali przy wilgotności surowca wynoszącej 14%.

Zgniatanie ziarna jest wykorzystywane w przemyśle paszowym, jak i spożywczym. Może mieć na celu zarówno rozdrobnienie materiału, jak i wytworzenie płatków. W porównaniu do rozdrabniania przy wykorzystaniu rozdrabniaczy bijakowych czy śrutowni-

ków walcowych charakteryzuje się mniejszymi nakładami energii [Grochowicz 1996; Warcioch i in. 2006].

Celem pracy było określenie, w jakim stopniu zgniatanie ziarna pszenicy wpływa na proces rozdrabniania przy wykorzystaniu rozdrabniacza bijakowego.

Metodyka badań

Materiał badawczy stanowiło ziarno pszenicy odmiany Maltanka, pochodzące ze zbiorów z roku 2004 z Ośrodka Doradztwa Rolniczego w Końskowoli w województwie lubelskim. Próbkę do badań oczyszczono z zanieczyszczeń ziaren połamanych i pośladu, wykorzystując wialnię laboratoryjną. Następnie ziarno doprowadzono do sześciu poziomów wilgotności - od 10 do 20% (co 2%). Dowilżanie ziarna przeprowadzono przez dodatek do próbek odpowiedniej ilości wody wodociągowej o temperaturze pokojowej. Po dowilżeniu ziarno dokładnie mieszano przez 30 min, wykorzystując mieszadło laboratoryjne wykonane w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie. Dosuszenie ziarna przeprowadzono w temperaturze 30°C, przy wykorzystaniu suszarki laboratoryjnej. Do badań wybrano wspólną i najliczniejszą frakcję o grubości 2,9-3,1 mm. Przed pomiarami próbki leżały przez 24 godziny. Zgniatanie ziarna prowadzono, wykorzystując maszynę wytrzymałościową ZWICK Z020/TN2S. Próbkę ziarna w ilości 10 sztuk ważono i układano w sposób dowolny na dolnej nieruchomej płycie maszyny, a następnie zgniatano płytą górną, przemieszczającą się z prędkością 100 mm·min⁻¹. Ziarno było zgniatane w różnym zakresie; od 2,5 mm do 0,5 mm (co 0,5 mm). Na podstawie uzyskanych charakterystyk wyznaczono energię zgniatania ziarna oraz obliczono energię jednostkową zgniatania.

W dalszej części badań ziarno zgniecione i niezgniecione (próba kontrolna) rozdrabniano wykorzystując rozdrabniacz bijakowy typu POLYMIX-Micro-Hammermill MFC. Dokładną charakterystykę urządzenia wraz ze stanowiskiem badawczym przedstawiono w opracowaniu Laskowskiego i in. [1997]. Rozdrabniacz wyposażono w wymienne sito o wielkości oczek wynoszącej 3,0 mm. Uzyskaną śrutę poddano analizie składu granulometrycznego przy wykorzystaniu odsiewacza Thyr 2 wraz z odpowiednim zestawem sit. Następnie obliczono średni wymiar cząstek. Wyznaczono energochłonność jednostkową rozdrabniania (iloraz energii rozdrabniania do masy rozdrobnionego ziarna) oraz wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie (iloraz energii rozdrabniania do powierzchni cząstek po rozdrobnieniu). Obliczono również wskaźnik rozdrabniania K (stała proporcjonalności) na podstawie teorii rozdrabniania przedstawionej przez Sokołowskiego. Sposób wyznaczenia powyższych wskaźników przedstawiony został przez Dzikiego i in. [2004]. Całkowitą energię na rozdrabnianie ziarna zgniecionego wyznaczono jako sumę energii jednostkowej zgniatania i energii jednostkowej rozdrabniania ziarna.

Badania przeprowadzono w 10 powtórzeniach przy każdej wilgotności ziarna. 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

Wyniki badań energii jednostkowej zgniatania ziarna do założonej odległości między płytami przedstawiono w tab. 1. Przy każdym z założonych poziomów zgniecenia ziarna wzrost wilgotności w przedziale 10-18% powodował zwiększenie nakładów energii niezbędnej do zgniecenia ziarna (E_g). Jedynie przy zgnieceniu ziarna do grubości 2,5 mm nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu wilgotności ziarna na E_g . Natomiast przy wilgotności ziarna wynoszącej 20% obserwowano spadek tego parametru. Zmiany energii jednostkowej zgniatania ziarna w zależności od zakresu zgniecenia (z_g) oraz wilgotności ziarna (w) opisano równaniem:

$$E_g = 3,676z_g^2 - 16,372z_g + 0,153w + 16,191; \quad R^2 = 0,976 \quad (1)$$

Tabela 1. Energia jednostkowa zgniatania pszenicy [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] w zależności od wilgotności i zakresu zgniecenia ziarna

Table 1. Wheat crushing unit energy [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] in relation to grain moisture content and crushing level

Zakres zgniecenia [mm]	Wilgotność ziarna [%]					
	10	12	14	16	18	20
0,5	10,2 ^a	10,0 ^a	11,0 ^{ab}	11,8 ^b	13,6 ^c	12,2 ^b
1,0	4,2 ^a	4,7 ^{ab}	4,8 ^{ab}	5,6 ^{bc}	7,0 ^d	6,0 ^c
1,5	1,1 ^a	1,5 ^{ab}	2,0 ^{bc}	2,7 ^d	2,9 ^d	2,5 ^{cd}
2,0	0,48 ^a	0,87 ^b	1,08 ^{bc}	1,16 ^{bc}	1,30 ^c	0,98 ^{bc}
2,5	0,28 ^a	0,30 ^a	0,26 ^a	0,26 ^a	0,34 ^a	0,24 ^a

Źródło: obliczenia własne autora

* wartości średnie w wierszach, przy których występuje ta sama litera nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

Analizując proces rozdrabniania stwierdzono, że wzrost wilgotności ziarna powodował nieznaczne zmniejszenie średniego wymiaru cząstek (średnio od 0,79 do 0,73 mm). Podobny wpływ na ten parametr miało zgniatanie ziarna. Im ziarno było bardziej zgniecione tym mniejszym średnim wymiarem cząstki charakteryzowała się śruta otrzymana po jego rozdrobnieniu. Parametr ten zmieniał się wraz ze wzrostem stopnia zgniecenia ziarna średnio od 0,79 do 0,64 mm. Zgniatanie ziarna do grubości wynoszącej 2,5 nie miało już istotnego wpływu na skład granulometryczny śruty. Można to tłumaczyć tym, że zgniatanie powoduje liczne pęknięcia bielma. Oddziałuje to na dalszy proces rozdrabniania w ten sposób, że ziarno rozpada się łatwiej na mniejsze cząstki. Zależność między średnim wymiarem cząstki (d) a zakresem zgniecenia ziarna (z_g) opisano równaniem regresji liniowej:

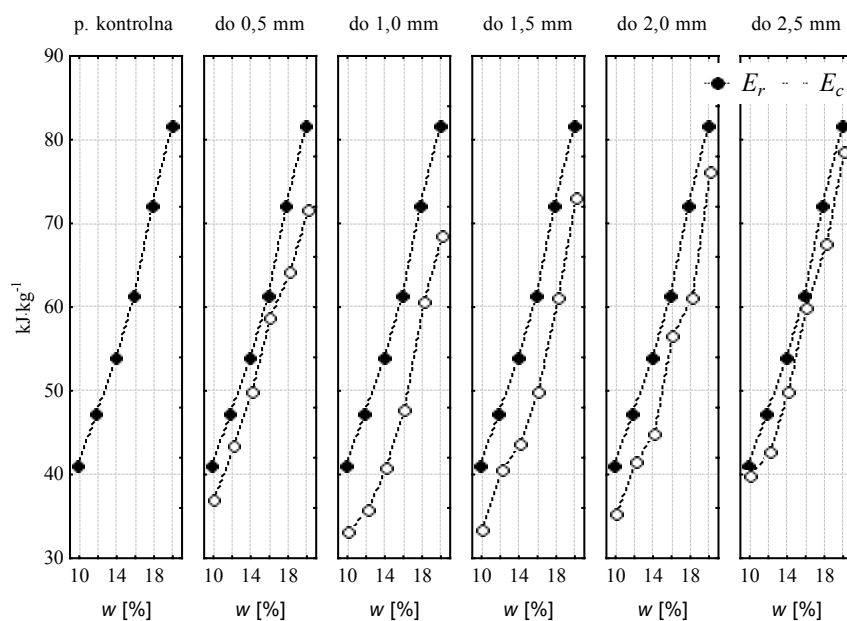
$$d = 0,074z_g + 0,611; \quad R^2 = 0,986 \quad (2)$$

Analizując energochłonności jednostkową rozdrabniania stwierdzono, że parametr ten dla ziarna niezgniecionego zwiększał się wraz ze wzrostem wilgotności od 41 do 81 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zgniatanie ziarna spowodowało zmniejszenie energochłonności jednostkowej rozdrabniania (E_r). Przy czym najmniejsze wartości E_r uzyskano w odniesieniu do ziarna zgniecione-

go do grubości 0,5 mm (średnio od 27 do 59 kJ·kg⁻¹). Wraz ze zmniejszeniem zakresu zgniecenia wartości E_r zwiększały się, a przy zgnieceniu ziarna do grubości 2,5 mm nie stwierdzono istotnych różnic między E_r ziarna zgniecionego i niezgniecionego. Nakłady energii jednostkowej na rozdrabnianie przy wykorzystaniu rozdrabniacza bijakowego opisano równaniem, w którym jako zmienne niezależne przyjęto zakres zgniecenia (z_g) i wilgotność ziarna (w):

$$E_r = 7,22z_g + 3,63w - 17,1; R^2 = 0,953 \quad (3)$$

Po uwzględnieniu nakładów energii na zgniatanie stwierdzono, że najmniejsze nakłady całkowitej energii na rozdrabnianie ziarna (suma energii zgniatania i rozdrabniania) uzyskano w wypadku ziarna zgniecionego do grubości 1,0 mm (rys. 1). Były one niższe w odniesieniu do próby kontrolnej, w zależności od wilgotności ziarna od 16 do 24%.

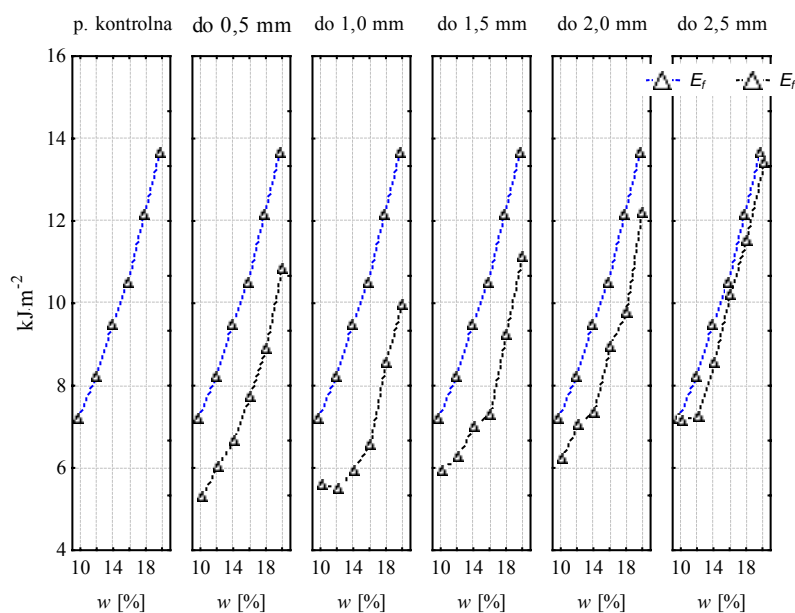


Rys. 1. Wpływ wilgotności (w) na energochłonność jednostkową rozdrabniania ziarna niezgniecionego (E_r) i zgniecionego (E_c) do różnej grubości (uwzględniono nakłady energii na zgniatanie)

Fig. 1. The impact of moisture content (w) on unit energy consumption for grinding of uncrushed grain (E_r) and grain crushed (E_c) to various thickness values (expenditure of energy for crushing was taken into account)

Rozpatrując wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie, który odnosi energię rozdrabniania do powierzchni rozdrobnionego materiału stwierdzono, że zgniatanie ziarna przed rozdrabnianiem w zakresie od 0,5 do 2,0 mm powodowało uzyskiwanie istotnie

niższych wartości tego wskaźnika w porównaniu do ziarna niezgniecionego (próba kontrolna). Najlepsze wykorzystanie energii na rozdrabnianie, a tym samym najniższe wartości tego wskaźnika, przy uwzględnieniu nakładów energii na zgniatanie, uzyskano dla ziarna zgniecionego do grubości 1,0 mm. Wartości tego wskaźnika w zależności od wilgotności ziarna były 21 do 37% niższe od wartości uzyskanych dla próby kontrolnej (rys. 2) i kształtowały się na poziomie od 5,6 do 9,8 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$.



Rys. 2. Wpływ wilgotności (w) na wskaźnik podatności ziarna niezgniecionego (p. kontrolna) i zgniecionego na rozdrabnianie (E_f i E_{fc} – uwzględnia nakłady energii na zgniatanie)

Fig. 2. The impact of moisture content (w) on the index of uncrushed (check test) and crushed grain susceptibility to grinding (E_f i E_{fc} - expenditure of energy for crushing was taken into account)

Podobną tendencję zaobserwowano analizując wskaźnik rozdrabniania K . W odniesieniu do ziarna niezgniecionego kształtował się on na poziomie od 78 do 147 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0.5}$. Dla ziarna zgniecionego w zakresie od 0,5 do 2,0 mm i przy uwzględnieniu nakładów energii na zgniatanie uzyskiwano istotnie niższe wartości tego wskaźnika w porównaniu do ziarna niezgniecionego. Natomiast zgniecenie ziarna do grubości wynoszącej 2,5 mm nie miało przeważnie statystycznie istotnego wpływu na ten parametr (tab. 2)

Tabela 2. Wskaźnik rozdrabniania K [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$] uzyskany dla ziarna o różnej wilgotności podanego zgniataniu i niezgniecionego (p. kontrolna)

Table 2. Grinding index K [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$] obtained for grain of various moisture content, put to crushing and uncrushed (check test)

Zakres zgniecenia [mm]	Wilgotność [%]					
	10	12	14	16	18	20
p. kontrolna	77,7 ^a	88,6 ^a	102,5 ^a	113,3 ^a	131,0 ^a	147,0 ^a
0,5	63,1 ^b	65,1 ^b	72,1 ^b	83,7 ^b	96,3 ^b	116,7 ^b
1,0	60,4 ^c	59,3 ^b	63,9 ^b	70,9 ^c	92,5 ^b	107,5 ^b
1,5	63,8 ^c	67,7 ^b	80,3 ^c	78,5 ^d	99,5 ^{bc}	120,0 ^{ab}
2,0	67,5 ^d	76,2 ^c	85,3 ^{cd}	96,3 ^e	104,9 ^c	131,2 ^a
2,5	77,0 ^a	78,0 ^c	92,0 ^d	110,1 ^a	124,1 ^a	144,7 ^a

Źródło: Obliczenia własne autora

* wartości średnie w kolumnach, przy których występuje ta sama litera nie różnią się istotnie ($\alpha = 0,05$)

Rawa [1987] analizował proces rozdrabniania ziarna pszenicy przy wykorzystaniu rozdrabniacza bijakowego i stwierdził, że po dwukrotnym rozdrabnianiu ziarna uzyskuje się śrutę o podobnym składzie granulometrycznym, a nakłady energii w porównaniu z rozdrabnianiem jednorazowym nieznacznie wzrosły (do 5%). Natomiast badania własne wykazały, że niszczenie struktury ziarna przez wstępne zgniatanie oddziałuje na proces rozdrabniania przy wykorzystaniu rozdrabniacza bijakowego, zmniejszając istotnie energochłonność rozdrabniania i średni wymiar cząstek śruty.

Podsumowanie

Wszystkie z rozpatrywanych wskaźników energochłonności rozdrabniania wykazały, że zgniatanie ziarna w zakresie od 0,5 do 2,0 mm istotnie zmniejsza nakłady energii na rozdrabnianie. Przy czym z punktu widzenia energochłonności rozdrabniania najkorzystniejsze było zgniecenie ziarna do grubości 1,0 mm. Przy tym zakresie zgniotu energochłonność jednostkowa rozdrabniania oraz wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie (przy uwzględnieniu nakładów energii na zgniatanie) były niższe odpowiednio od 16 do 24% i od 31 do 37% w odniesieniu wartości tych wskaźników uzyskanych dla ziarna niezgniecionego. Zaproponowana metoda dwustopniowego rozdrabniania ziarna pszenicy przez zgniatanie, a następnie rozdrabnianie przy wykorzystaniu rozdrabniacza bijakowego może być pomocna w obniżeniu nakładów energii na proces rozdrabniania. W tym celu badania będą kontynuowane dla ziarna różnych gatunków i odmian zbóż oraz przy wykorzystaniu gniotownika.

Bibliografia

- Dziki D., Laskowski J.** 2004. The energy-consuming indexes of wheat kernel grinding process. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture IV. s. 62-69.
- Dziki D., Laskowski J.** 2007. Influence of moisture content on mechanical properties of rye kernels. Acta Agrophysica 9(1). s. 39-48.
- Greffeulle 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. Theor. Appl. Genet. 114. s. 1-12.
- Grochowicz J.** 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL, Warszawa, ISBN 83-09-01656-5.
- Kowalik K., Opielak M.** 2002. Badanie wpływu wilgotności i rodzaju ziarna zbóż na jednostkowe zużycie energii podczas rozdrabniania. Problemy Inżynierii Rolniczej 10(4). s. 51-55.
- Laskowski J., Łysiak G.** 1997. Stanowisko do badań procesu rozdrabniania surowców biologicznych. Post. Tech. Przetw. Spoż. ½. s. 55-58.
- Panasiewicz M., Mazur M., Stadnik M.** 2003. Ocena energetyczna procesu płatkowania ziarniaków w produkcji płatków wieloziarnowych. Acta Agrophysica 82. s. 151-158.
- Rawa T.** 1987. Efektywność dwukrotnego rozdrabniania pszenicy bijakowym zespołem roboczym. Acta Academiae Agricult. Tech. Olstenensis. z. 311. s. 113-120.
- Romański L., Niemiec A.** 2001. Wpływ wilgotności ziarna pszenicy na energię rozdrabniania w gniotowniku modelowym. Acta Agrophysica 46. s. 153-158.
- Wiercioch M., Romański A.** 2006. Energochłonność procesu rozdrabniania pszenicy ozimej o różnej szklistości przy zastosowaniu gniotownika i śrutownika walcowego. Inżynieria Rolnicza 11(86). s. 511-518.
- Zawiślak K.** 2006. Przetwarzanie ziarna kukurydzy na cele paszowe. Rozprawy naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie. z. 304. s. 47.

ASSESSMENT OF ENERGY CONSUMPTION FOR GRINDING OF WHEAT GRAIN PREVIOUSLY PUT TO CRUSHING

Summary. The purpose of the paper was to determine the effect of crushing the *Maltanka* variety wheat grain on energy consumption for grinding with beater shredder. Grain crushed to thickness between 0.5 and 2.0 mm required less energy expenditure for grinding, as compared to uncrushed grain. Whereas, the more grain was crushed, the lower was energy consumption for grinding. Moreover, grain crushing affected ground grains size distribution. The more crushed was the grain, the smaller was average particle size (from 0.79 to 0.64 mm). Grain crushing to the thickness of 1.0 mm was most advantageous from point of view of energy consumption for grinding. At this level of crushing, the values of unit energy consumption for grinding and the index of grain susceptibility to grinding (taking into account energy expenditure for crushing) dropped from 16 to 24% and from 31 to 37%, respectively, as compared to these indexes obtained for uncrushed grain.

Key words: crushing, grinding, energy consumption, grain, wheat

Adres do korespondencji:

Dariusz Dziki; e-mail: dariusz.dziki@ar.lublin.pl
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-280 Lublin