

## **OCENA PROCESU ROZDRABNIANIA ZIARNA JĘCZMIENIA ROZDRABNIACZAMI BIJAKOWYMI**

Stanisław Piotr Kwiatkowski<sup>1</sup>, Kazimierz Zawisłak<sup>2</sup>,  
Paweł Sobczak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ekoplon S.A.

<sup>2</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono porównanie procesu rozdrabniania ziarna jęczmienia przeprowadzonego przy użyciu dwóch typów rozdrabniaczy z pionowym wirnikiem. W badaniach zastosowano sита o otworach cylindrycznych o średnicy 3 mm i grubości sита 2,5 mm. Odległość pomiędzy bijakiem i sitem wynosiła w obu przypadkach 25 mm. Stwierdzono, że rodzaj użytego rozdrabniacza kształtuje rozkłady granulometryczne uzyskanej śruty jęczmiennej. Zastosowanie progów łamiących zwiększa udział frakcji drobnej (poniżej 1 mm), co powoduje również wzrost energochłonności procesu.

**Słowa kluczowe:** rozdrabnianie, energochłonność, rozkład granulometryczny, efektywność energetyczna

### **WSTĘP**

W różnych dziedzinach przemysłu rolno-spożywczego m.in. w młynarstwie, przetwórstwie pasz i przy wytwarzaniu olejów roślinnych, ważnym i wysoce energochłonnym procesem jest przygotowanie materiałów roślinnych do dalszej obróbki, czyli rozdrabnianie [Laskowski i in. 2000, Kowalik i Opielak 2002, Korpysz 2007, Rydzak i Andrejko 2011, Kania i in. 2012].

Z uwagi na cel, jakiemu służy rozdrabnianie oraz różnorodność cech mechanicznych i właściwości fizycznych materiałów poddawanych tej obróbce, spotykamy się z różnymi rozwiązaniami technicznymi urządzeń [Dziki 2008].

Analizując działanie poszczególnych urządzeń, możemy wyróżnić cztery podstawowe sposoby rozdrabniania, tj.:

– rozbijanie przez zderzenie cząstki z dużą prędkością względną z elementem rozdrabniacza (np. rozdrabniacze bijakowe),

– zgniatanie – jako efekt ściskania cząstek dwiema powierzchniami obracającymi się z jednakową prędkością obwodową (np. gniotownik),

– łupanie i kruszenie powstaje w wyniku działania na cząstkę dwóch powierzchni, które przemieszczają się względem siebie z różną prędkością obwodową (np. mlewniki walcowe, krumblery),

– rozcieranie prowadzone za pomocą dwóch powierzchni, z których jedna jest nieruchoma (np. kruszarki materiałów zbrylonych).

Modyfikacje konstrukcyjne roboczych zespołów rozdrabniaczy stosowane w technologii rozdrabniania surowców ziarnistych (syplikach) znacznie rozszerzają zakres czynników istotnych w tych operacjach. Niezależnie jednak od typu maszyny, czynniki te można podzielić na:

– mechaniczno-konstrukcyjne (np. rodzaj zespołu roboczego, parametry kinematyczne, wielkość szczeliny roboczej – mielącej, sposób wprowadzania surowca i odbioru rozdrobnionego produktu),

– technologiczno-eksploatacyjne (stopień zużycia elementów roboczych, wykorzystywanie różnego rodzaju czynników zmiennych, jak regulacja intensywności podawania czy wymiana części w zespole roboczym, np. sit, zależnie od organizacji rozdrabniania), wynikające z fizycznych właściwości surowców (skład chemiczny, struktura surowca, rozkład granulometryczny surowca, wilgotność, właściwości wytrzymałościowe, tzw. podatność na rozdrabnianie itd.) [Anderson 1994; Campbell i Webb 2001; Campbell i in. 2001; Dziki i Laskowski 2004, 2010, Kania i Andrejko 2011].

Znanych jest wiele prac teoretycznych opisujących proces rozdrabniania, jak: Rittingera, Kicka, Rebintera, Bonda, Mielnikowa, Bracha, Dmitrewskiego, Flizikowskiego i innych [Grochowicz 1996, Kiryluk 2001, Korpysz i in. 2007].

W teorii powierzchniowej Rittinger przyjął założenie, iż praca  $L_r$ , niezbędna do rozdrobnienia ciała jest wprost proporcjonalna do wielkości przyrostu powierzchni powstałej w wyniku rozdrobnienia, co można ogólnie zapisać:

$$L_r = k_j \Delta S$$

gdzie:

$k_j$  – współczynnik proporcjonalności (tj. praca potrzebna do wytworzenia jednostki nowej powierzchni),

$\Delta S$  – przyrost powierzchni w wyniku rozdrobnienia.

Zgodnie z teorią Rittingera nakład pracy potrzebnej do rozdrobnienia bryły o określonym ciężarze  $G$  na cząstki o określonej średnicy określa wzór:

$$L_r = k_m G \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) \text{ [kJ]}$$

gdzie:

$k_m$  – współczynnik (liczba Rittingera) wyznaczany doświadczalnie, charakteryzujący dany materiał,  $\text{m}^2$ ,

$G$  – początkowy ciężar rozdrabnianego ciała, kN,

$d_1, d_2$  – średnice cząstek przed rozdrobnieniem i po rozdrobnieniu, m.

Wzór Rittingera może być stosowany do obliczania nakładu pracy w procesach rozdrabniania klasyfikowanego jako drobne.

Zgodnie z prawem Kicka, praca potrzebna do rozdrobnienia jest proporcjonalna do stopnia zmniejszenia objętości (lub masy) rozdrabnianych cząstek. Wartość tej pracy wynika z zależności między naprężeniami i odkształceniami, jakie występują przy ścisnieniu danej cząstki. Kick przyjął założenie, że bryła zachowuje się zgodnie z prawem Hooka aż do granicy wytrzymałości, tj.:

$$L_r = \frac{\delta_{\max}^2}{2E} (V_1 - V_2) \quad [\text{kJ}]$$

gdzie:

- $\delta_{\max}$  – granica wytrzymałości materiału, kN/m<sup>2</sup>,
- $V_1, V_2$  – objętość materiału przed rozdrobnieniem i po rozdrobnieniu, m<sup>3</sup>,
- $E$  – moduł sprężystości Younga, kPa.

Z porównania tych teorii wynika, że według Rittingera niezbędna energia potrzebna do rozbicia sześcianu o przekątnej  $d$  wykazuje zmienność typu  $d^2$ , podczas gdy zgodnie z prawem Kicka zależność ta zmienia się według zasady  $d^3$ . Natomiast według Bonda ilość energii niezbędnej dla rozdrobnienia leży w zakresie między  $d^2$  i  $d^3$ , a praktycznie można przyjąć wartość środkową.

Jęczmień jako popularny surowiec paszowy stosowany jest w wielu mieszankach. Szacuje się, że ilość rozdrabnianego jęczmienia w Polsce wynosi ok. 2 mln ton rocznie. Badając literaturę można znaleźć prace, w których koncentrowano się nad wpływem m.in. składu chemicznego, właściwości fizycznych na proces rozdrabniania i wykorzystaniem jęczmienia w mieszankach paszowych [Siljander-Rasi i in. 2000, Dehghan-Banadaky i in. 2007, Baik i Ullrich 2008, Sullivan i in. 2010, Adapa i in. 2011, Emami i in. 2012].

Celem prezentowanych badań było porównanie pracy dwóch typów rozdrabniaczy z pionowym wirnikiem pod względem energochłonności procesu.

Zakres badań obejmował oznaczenie i ocenę rozkładu granulometrycznego otrzymanego produktu i energochłonności procesu.

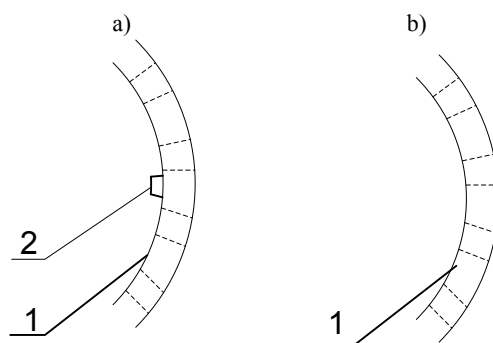
## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w wytwórni pasz z wykorzystaniem dwóch rozdrabniaczy zainstalowanych w liniach technologicznych.

W rozdrabniaczach zastosowano sита o otworach cylindrycznych o średnicy 3 mm i grubości sита 2,5 mm, odległość pomiędzy bijakami a sitem wynosiła w obu przypadkach 25 mm.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem jęczmienia paszowego o wilgotności magazynowej 13,2%. Do badań przygotowano po 10 trzytonowych prób dla każdego rozdrabniacza. W trakcie procesu rozdrabniania rejestrowano pobór mocy i wydajność dla każdej rozdrabnianej próby oraz pobierano materiał do oznaczenia stopnia rozdrobnienia. Otrzymane wyniki poddano obróbce statystycznej.

W wykorzystanych urządzeniach główna różnica w konstrukcji polegała na tym, że w rozdrabniaczu nr 1 były zastosowane progi w komorze rozdrabniania. Konstrukcje bijaków i sit były identyczne.



Rys. 1. Różnice w konstrukcji sita rozdrabniacza: a) sito z progami, b) sito bez progów: 1 – sito, 2 – progi  
 Fig. 1. Differences in the disintegrator screen construction: a) screen with bars, b) screen without bars: 1 – screen, 2 – bar

Moc zainstalowanych silników w obu rozdrabniaczach była jednakowa. Pobór mocy rejestrowano automatycznie przy wykorzystaniu systemu monitorującego w sterowni.

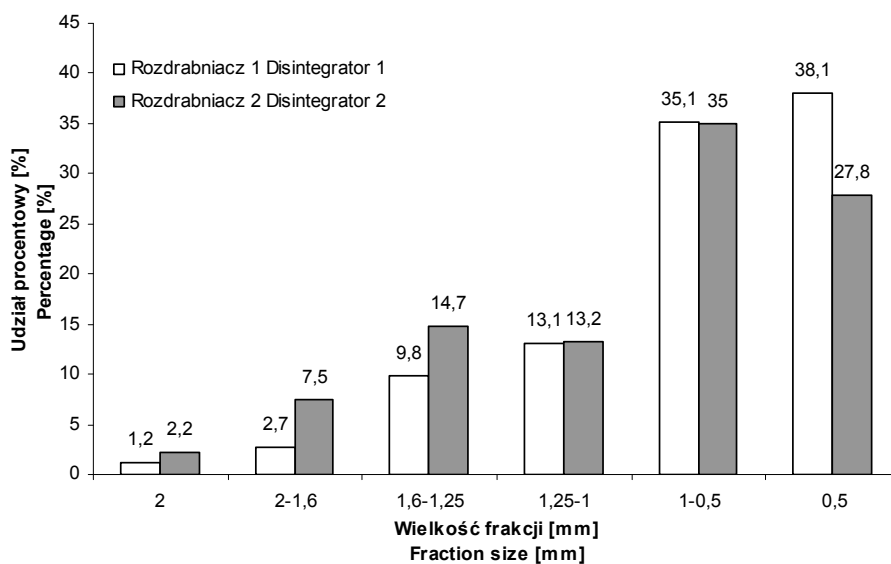
## WYNIKI I DYSKUSJA

Analizując skład granulometryczny śruty jęczmiennej otrzymanej w procesie rozdrabniania badanymi rozdrabniaczami, można stwierdzić różnice poszczególnych frakcji. Znacznie więcej frakcji pylistej, tj. poniżej 0,5 mm, uzyskano, prowadząc proces na rozdrabniaczu 1. Porównywalna ilość frakcji dla wybranych rozdrabniaczy wystąpiła dla frakcji 0,5–1 mm oraz frakcji 1–1,25 mm. Natomiast dla frakcji większych od 1,25 mm występują istotne różnice. Procentowo większy udział frakcji powyżej 2 mm jest skutkiem użycia rozdrabniacza nr 2 (rys. 2–4).

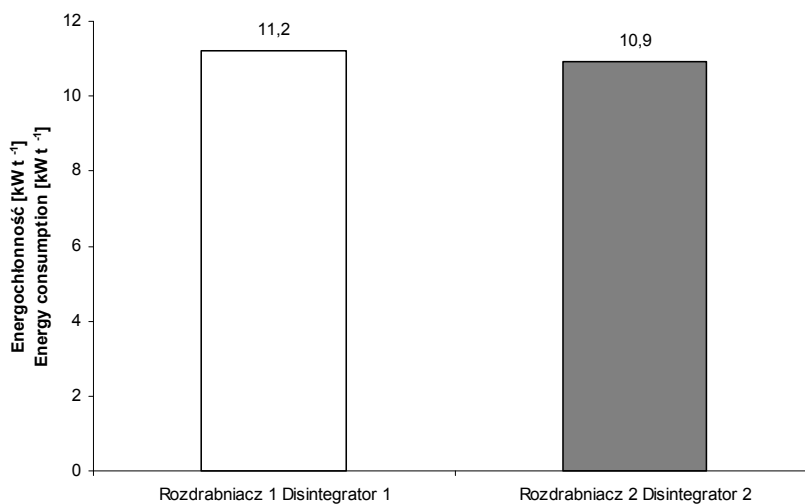
Porównując energochłonność procesu rozdrabniania pomiędzy analizowanymi rozdrabniaczami, nie zaobserwowano istotnych różnic, natomiast istotny jest wzrost wydajności procesu rozdrabniania w rozdrabniaczu nr 1.

Na rys. 4 przedstawiono wyniki analizy sitowej dla frakcji powyżej 1 mm, szczególnie istotnej dla procesu granulowania, gdyż zwiększona ilość frakcji pylistej negatywnie wpływa na proces granulowania powodując m.in. zalepianie matrycy. Z przedstawionych danych widać, że przy zastosowaniu jednakowych parametrów, ilość frakcji powyżej 1 mm jest większa dla rozdrabniacza nr 2. W procesie granulowania przyjmuje się, że surowce w mieszankach poddawanych obróbce baro-termicznej powinny być tak rozdrobnione, aby ich wymiar oscylował wokół 1,6 mm. Zbyt małe rozdrobnienie surowców w mieszance powoduje zwiększenie zużycia energii, ponieważ w procesie granulowania rolki i matryca działają jako rozdrabniacz, a otrzymany granulak charakte-

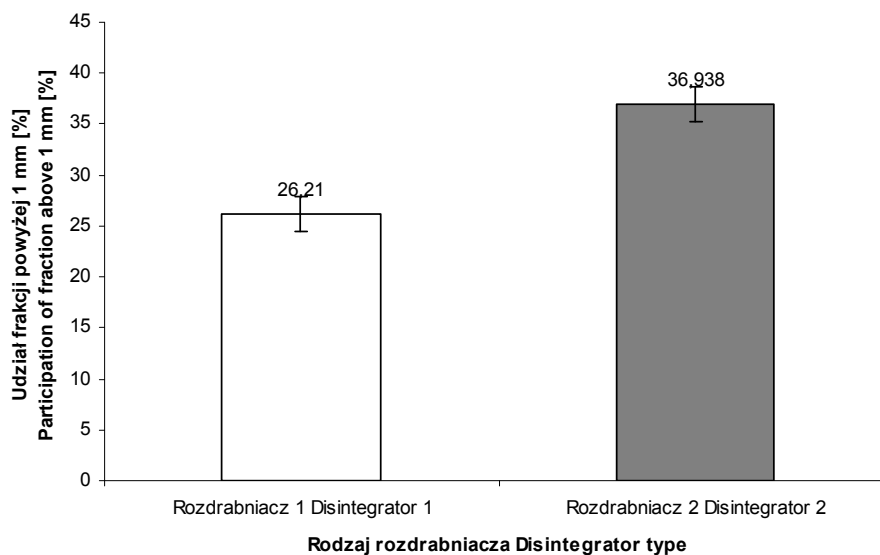
ryzuje się gorszymi parametrami jakościowymi. Przy zbyt małym rozdrobieniu nie wykorzystuje się również efektu skleikowania skrobi w procesie kondycjonowania.



Rys. 2. Analiza sitowa śruty jęczmiennej uzyskanej w procesie rozdrabniania  
Fig. 2. Analysis of screen size distribution of barley grits



Rys. 3. Energochłonność procesu rozdrabniania  
Fig. 3. Energy consumption of grinding process



Rys. 4. Udział procentowy frakcji powyżej 1 mm  
 Fig. 4. Participation of fraction above 1 mm

Zbyt duże rozdrobnienie surowców nie jest jednak wskazane, ponieważ cząstki pyliste w zetknięciu z parą czynią mieszkankę mazistą, co utrudnia jej przetłaczanie przez matrycę. Z technologicznego punktu widzenia najbardziej optymalnym rozdrobnieniem surowców byłoby takie, aby 80% młewa znajdowało się w przedziale 0,25–2,0 mm.

## WNIOSKI

Po przeprowadzeniu badań sformułowano następujące wnioski:

1. Rodzaj użytego rozdrabniacza ma wpływ na rozkład granulometryczny śruty jęczmiennej. Zastosowanie progów łamiących zwiększa udział frakcji drobnej (poniżej 1 mm).
2. Zastosowanie progów w rozdrabniaczu wpływa na zwiększenie wydajności procesu rozdrabniania, jednak otrzymany produkt charakteryzuje się gorszymi parametrami wymaganymi do procesu aglomeracji ciśnieniowej.

## PIŚMIENNICTWO

Adapa P., Tabil L., Schoenau G., 2011. Grinding performance and physical properties of non-treated and steam exploded barley, canola, oat and wheat straw. *Biomass and Bioenergy*. 1, 35, 549–561.

- Anderson S., 1994. Large rotor high-speed hammermills: beyond screen size. *Feed Management*, 45, 20–22.
- Baik B-K., Ullrich S.E., 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *J. Cereal Sci.*, 2, 48, 233–242.
- Campbell, G.M., Bunn, P.J., Webb, C., Hook, S.C.W., 2001. On predicting roller milling performance. II. The breakage function. *Powder Technol.*, 115, 243–255.
- Campbell G.M., Webb C., 2001. On predicting roller milling performance. I. The breakage equation. *Powder Technol.*, 115, 234–242.
- Dehghan-Banadaky M., Corbett, R., Oba, M., 2007. Effects of barley grain processing on productivity of cattle. *Animal Feed Sci. Technol.*, 1–2, 137, 1–24
- Dziki D., 2008. The crushing of wheat kernels and its consequence on the grinding process. *Powder Technol.*, 185, 2, 181–186.
- Dziki D., Laskowski J., 2004. The energy-consuming indexes of wheat kernel grinding process. *Teka Kom. Mot. i Energ. Rol.*, PAN Oddział w Lublinie, IV, 62–70.
- Dziki D., Laskowski J., 2010. Study to analyze the influence of sprouting of the wheat grain on the grinding process. *J. Food Eng.*, 96, 4, 562–567.
- Emami S., Perera A., Meda V., Tyler R.T., 2012. Effect of microwave treatment on starch digestibility and physico-chemical properties of three barley types. *Food Bioproc. Technol.*, 6, 5, 2266–2274.
- Grochowicz J., 1996. *Technologia produkcji mieszanek paszowych*. PWRiL Warszawa.
- Kania M., Andrejko D., 2011. Wpływ różnych sposobów przygotowania ziarna pszenicy do przemiału na wilgotność mąki. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria*, 10(1–2), 15–21.
- Kania M., Andrejko D., Samborski A., Rydzak L., 2012. Wpływ ogrzewania ziarna pszenicy promieniami podczerwonymi na właściwości fizyczne produktów przemiału. *Inżynieria Przem. Spoż.* 1, 19–21.
- Kiryłuk J., 2001. Uwarunkowania racjonalnej gospodarki energią w zakładach młynarskich. *Rozpr. Nauk.*, 316. Roczn. AR w Poznaniu. Poznań.
- Korpysz K., Roszkowski H., Wojdalski J., 2007. Energetyczne aspekty procesu gniecenia ziarna jęczmienia. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. Wyższa Szkoła Menedżerska. Warszawa, 1, 39–42 (ISSN 0867-793X).
- Kowalik K., Opielak M., 2002. Badanie procesu rozdrabniania ziarna zbóż o różnej wilgotności. *Inżynieria Roln.*, 4(37), 149–154.
- Laskowski J., Lysiak G., Dziki D., 2000. Wpływ wilgotności i gatunku ziarna zbóż na skład granulometryczny produktu jego rozdrabniania. *Inżynieria Roln.*, 4(15), 27–34.
- Rydzak L., Andrejko D., 2011. Effect of vacuum impregnation and infrared radiation treatment on energy requirements in wheat grain milling. *Teka Kom. Mot. i Energ. Rol.*, PAN Oddział w Lublinie, 11c, 291–299.
- Siljander-Rasi H., Karhunen J., Alaviuhkola T., Näsi M., Tuppi K., 2000. Effects of different grinding methods and particle size of barley and wheat on pig performance and digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1, 83, 1–16.
- Sullivan P.O., Flaherty J., Brunton N., Gee V.L., Arendt E., Gallagher E., 2010. Chemical composition and microstructure of milled barley fractions. *Europ. Food Res. Technol.*, 4, 320, 579–595.

**ASSESSMENT OF BARLEY GRINDING PROCESS BY HAMMER MILLS**

**Abstract.** The paper presents a comparison of the grinding process of barley grain by using two types of vertical rotor hammer mills. The screens of holes with a diameter of 3 mm and a thickness of 2.5 mm sieve was used. The distance between the impact device and the wire in both cases was 25 mm. Analyzing the results obtained it can be concluded that the type of mill used to influence the size distribution of barley meal. The use of breaking thresholds increases the proportion of the fine fraction (less than 1 mm), which results in an increase of energy consumption of the process.

**Key words:** grinding, energy consumption, size distribution, energy efficiency

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.12.2012