

## Weronika KRUSZELNICKA, Ola MADEJ, Andrzej TOMPOROWSKI, Izabela PIASECKA

e-mail: olamadej17@gmail.com

Zakład Systemów Technicznych i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

# Badanie wielowalcowego rozdrabniania minerałów

## Wstęp

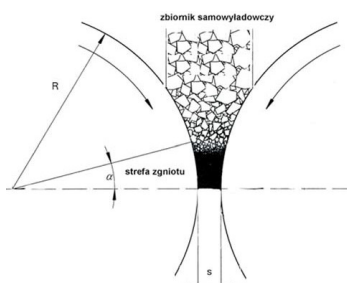
Procesy rozdrabniania należą do najczęściej wykorzystywanych procesów przeróbki różnego rodzaju materiałów. Rozdrabnianie znalazło zastosowanie szczególnie w technologiach związanych z szeroką pojętą inżynierią mineralną, m.in. w procesach przetwarzania rud miedzi, platyny, węgla, złota, czy żelaza [Gawenda, 2009; Nazimiec i Saramak, 2012].

Do rozdrabniania minerałów jako tworzyw kruchych najczęściej używane są kruszarki. Ze względu na wysoką energochłonność stosowanych dotąd urządzeń trwają badania nad wprowadzaniem innowacyjnych konstrukcji przynoszących korzyści ekonomiczne, ekologiczne oraz technologiczne. Z uwagi na niską energochłonność zaczęto wprowadzać do przemysłu mineralnego wysokociśnieniowe prasy walcowe [Niemiec i in., 2005; Gawenda, 2009; Brożek i Nazimiec, 2012; Sitkowska i in., 2015].

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu materiału rozdrabnianego (minerału serpentynitu) na parametry użytkowe procesu rozdrabniania: moc, prędkość obrotową oraz stopień rozdrobnienia w młynie 6-walcowym.

## Rozdrabnianie za pomocą pras walcowych

W prasach walcowych zespół roboczy stanowią dwa walce, które wykonując ruch przeciwbieżny, powodują zagarnianie materiału w szczelinę pomiędzy pracującymi powierzchniami (Rys. 1). Powierzchnie walców mogą być gładkie, rowkowane lub zębate [Gawenda, 2009; Brożek i Nazimiec, 2012].



Rys. 1. Idea rozdrabniania w prasie walcowej [Brożek i in., 2012]

Na materiał znajdujący się pomiędzy przeciwnie obracającymi się walcami oddziałuje wiele sił: siły ściskające, ścinające a także zgniatające. Zgniatanie materiału występuje, gdy współpracujące walce (gładkie lub rowkowane) osiągają tę samą prędkość obrotową. Dla walców zębatych o jednakowej prędkości obrotowej rozdrobnienie materiału następuje przez rozłupywanie. Charakterystyczne dla tego typu konstrukcji jest zastosowanie zamkniętego obiegu materiału [Gawenda, 2009; Brożek i Nazimiec, 2012].

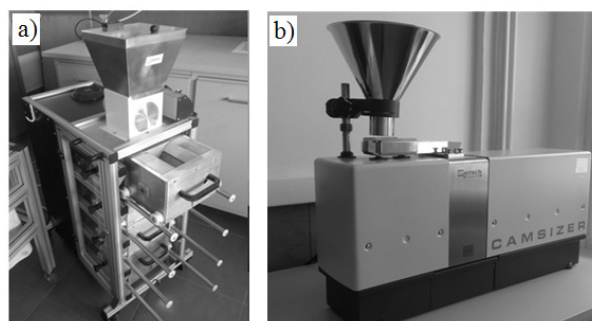
Na proces rozdrabniania w prasach walcowych mają wpływ m.in. parametry urządzenia, właściwości materiału rozdrabnianego oraz technologia zastosowana w układzie (sposób regulacji szczeliny pomiędzy walcami, struktura powierzchni roboczej współpracujących walców). Wykorzystanie wysokociśnieniowych pras walcowych może obniżyć nawet do 50% zużycie energii na potrzeby rozdrabniania [Gawenda, 2009; Brożek i Nazimiec, 2012].

## Badania doświadczalne

**Materiał.** Badaniu poddano minerał występujący w postaci skały o nazwie serpentynit, który jest wykorzystywany jako kruszywo drogowe i budowlane.

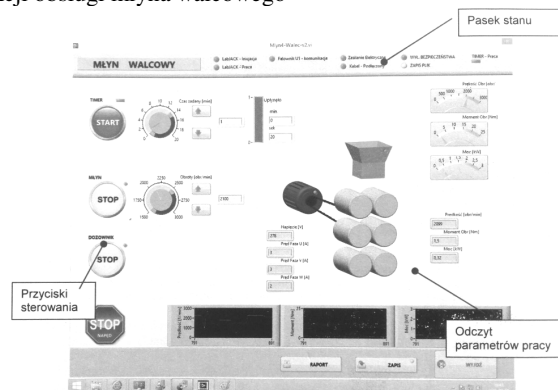
**Aparatura.** Badania przeprowadzono w młynie sześciowalcowym znajdującym się w *Laboratorium Badań Rozdrabniania UTP* w Bydgoszczy.

Młyn sześciowalcowy (Rys. 2a), na którym przeprowadzono badania, przeznaczony jest głównie do przemiału zboża na mąkę. Wyposażony jest w sześć walców o średnicy 100 mm każdy. Wydajność przemiału wynosi 30 kg/h, a moc silnika 1,5 kW. Różny stopień granulacji uzyskuje się przez regulację szczelin oraz wysuwane komory robocze. Sterowanie pracą młyna odbywa się za pośrednictwem komputera i dedykowanego oprogramowania lub ręcznie z panelu sterowania w młynie.



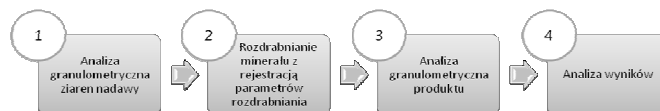
Rys. 2. Aparatura badawcza: a) młyn 6-walcowy, b) CAMSIZER

Rys. 3 przedstawia widok ekranu oprogramowania sterującego i rejestrującego parametry pracy rozdrabniacza na podstawie instrukcji obsługi młyna walcowego



Rys. 3. Panel sterująco-odczytowy

**Plan badań** przedstawiono na rys. 4. W trakcie badań rejestrowano: zmiany mocy pobieranej, zmiany momentu obrotowego, prędkość obrotową walców, zmiany natężenia i napięcia prądu. Rozdrabnianie materiału odbywało się przy nastawionej stałej prędkości obrotowej 2000 obr/min.



Rys. 4. Przebieg badań procesu rozdrabniania

**Analiza granulometryczna** cząstek nadawy i produktu była prowadzona na urządzeniu CAMSIZER (Rys. 2b), które jest kompaktowym instrumentem laboratoryjnym umożliwiającym jednoczesny

pomiar wielkości oraz kształtu cząsteczek granulatu. Czas pomiaru był bardzo krótki (2÷3 min.), a pomiar cechowała duża dokładność i powtarzalność.

Średnie wielkości ziaren nadawy i produktu wyznaczano ze wzoru

$$D_{sr} = \sum D_i x_i \quad (1)$$

gdzie:

$D_{sr}$  – średnia wielkość cząstki,

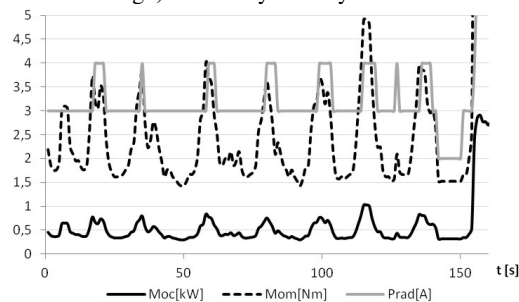
$D_i$  – średnia wielkość cząstki  $i$ -tej frakcji,

$x_i$  – ułamek masowy  $i$ -tej frakcji.

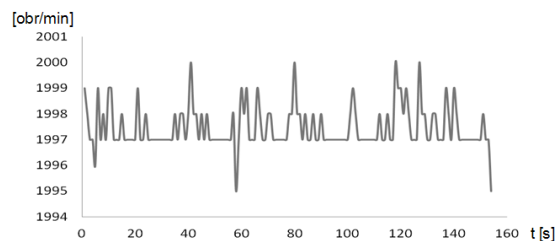
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono stopień rozdrobnienia materiału, a także wydajność procesu.

## Wyniki i analiza

Podczas rozdrabniania próbki materiału rejestrowano chwilowe wartości następujących parametrów pracy rozdrabniacza: prędkość obrotową, pobieraną moc, moment obrotowy, napięcie i natężenie prądu. Rys. 5 i 6 przedstawiają przebiegi zmian w czasie wybranych parametrów. Materiał do rozdrabniania podawano w zmiennych ilościach. Obecność większej ilości materiału rozdrabnianego w przestrzeni międzywalcowej objawiała się charakterystycznymi pikami (gwałtowny spadek prędkości obrotowej, wzrost mocy i momentu obrotowego) widocznymi na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Wykres zmian mocy, momentu obrotowego oraz natężenia prądu w czasie mielenia



Rys. 6. Wykres zmian prędkości obrotowej w czasie mielenia

Pomiar wielkości cząstek nadawy wykazał, że największą częstością występowania charakteryzowały się cząstki z przedziału wielkości: (1,4÷1,7) mm, a całkowity przedział wielkości cząstek wynosił od 0 do 6,7 mm (Rys. 7). 55,8 % objętościowego udziału stanowiły cząstki o wielkości poniżej 1,4 mm. Średnia wielkość cząstek  $D_{sr}$  wyniosła 4,64 mm.

Na podstawie pomiaru wielkości cząstek materiału po rozdrobnieniu stwierdzono, że największą częstością występowania charakteryzowały się cząstki z przedziału 0,355÷0,425 mm, a całkowity przedział wielkości cząstek wynosił 0÷2,36 mm (Rys. 8). 53,5 % objętościowego udziału stanowiły cząstki o wielkości poniżej 0,425 mm. Średnia wielkość cząstek produktu  $d_{sr}$  wynosiła 1,62 mm.

Uzyskano zatem stopień rozdrobnienia

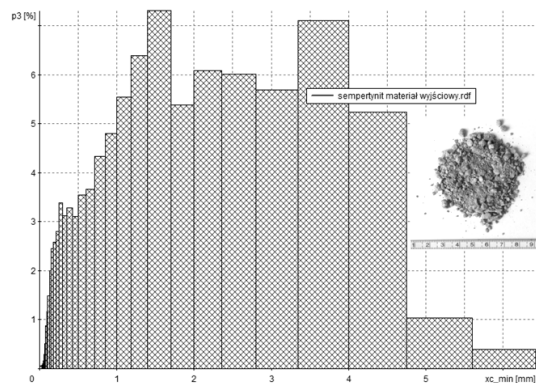
$$i = \frac{D_{sr}}{d_{sr}} = \frac{4,64 [\text{mm}]}{1,62 [\text{mm}]} = 2,85 \quad (2)$$

W czasie  $t = 170$  s rozdrobniono materiał o masie  $m = 156,53$  g, stąd wydajność rozdrabniania wyniosła

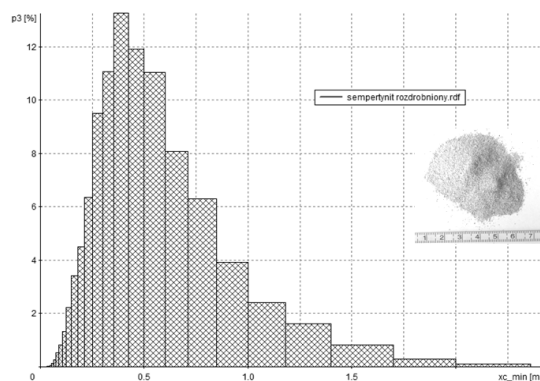
$$Q = \frac{m}{t} = \frac{156,53 [\text{g}]}{170 [\text{s}]} = 0,92 [\text{g} / \text{s}] = 3,312 [\text{kg} / \text{h}] \quad (3)$$

## Wnioski

Wielowalcowe rozdrabnianie jest innowacyjną metodą rozdrabniania minerałów ograniczającą energochłonność procesu. Walcowe prasy ciśnieniowe znalazły zastosowanie m.in. w produkcji kruszyw drobnych takich jak wypełniacze czy sorbenty.



Rys. 7. Udziały procentowe frakcji nadawy



Rys. 8. Udziały procentowe frakcji produktu

Wyniki badań wskazują, że zużycie energii i zapotrzebowanie na moc wzrastają wraz ze zwiększaniem się ilości wsadu doprowadzanego do komory rozdrabniania. Zaobserwowano maksymalny spadek prędkości obrotowej od nastawionej prędkości 2000 obr/min do 1995 obr/min podczas rozdrabniania surowca.

Moc zastosowanego młyna jest istotna, ponieważ większe frakcje nadawy powodują jego zatrzymywanie. Do zapewnienia efektywności procesu przy rozdrabnianiu minerałów na skalę przemysłową należy odpowiednio dobrać moc rozdrabniacza.

Wyniki analizy granulometrycznej wskazują, że po rozdrobnieniu uzyskano produkt o cząstkach zbliżonej wielkości. Średni wymiar cząstek zmniejszył się ok. 3 razy.

## LITERATURA

- Brożek M., Naziemiec, Z., (2012). Analiza mechaniki procesu rozdrabniania surowców mineralnych w kruszarkach i wysokociśnieniowych prasach walcowych. *Gospodarka surowcami mineralnymi*. 28(3), 139-153
- Gawenda T., (2009). Główne aspekty rozdrabniania twardych surowców mineralnych w wysokociśnieniowych prasach walcowych. *Górn. Geoinż.*, 33(4), 89-100
- Naziemiec Z., Saramak D., (2012). Analiza energochłonności rozdrabniania kruszyw mineralnych. *Pr. Nauk. Inst. Gór. Pol. Wrocławskiej. Studia i Materiały*. 134(41), 209-220
- Niemiec A., Romański L., Stopa R., (2005). Energochłonność jedno i dwuetapowego rozdrabniania ziarna w gniotowniku. *Inż. Roln.*, 9(11), 333-340
- Sitkowska J., Duda J., Duczkowska-Kądziel, A., Wasilewski M., (2015). *Optymalizacja procesu przemiału cementu na przykładzie cementowni Odra S.A.* [w:] Mat. XVIII Konf.: Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji. t.1, 752-763. Wyd. Polskiego Tow. Zarz. Prod., Opole