



Ekologiczne aspekty związane z efektami wysokociśnieniowego rozdrabniania w prasach walcowych

Daniel Saramak, Tadeusz Tumidajski, Tomasz Gawenda
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Zdzisław Naziemiec
Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Kraków

1. Wstęp

Procesy rozdrabniania są podstawą przeróbki mechanicznej surowców mineralnych. Są one zarazem najbardziej energochłonnymi operacjami przemysłowymi w górnictwie i jednymi z najbardziej energochłonnych procesów w ogóle. Według różnych szacunków pochłaniają one ok. 3% światowego zużycia energii elektrycznej. Poprawa efektywności pracy procesów rozdrabniania surowców mineralnych jest bardzo ważnym zagadnieniem przede wszystkim z technologicznego punktu widzenia, uwzględniającego przygotowanie produktu o odpowiednim uziarnieniu i kształcie (produkcja kruszyw) lub z uzyskanie odpowiedniego stopnia odsłonięcia składnika użytecznego pozwalającego na przeprowadzenie operacji wzbogacania z odpowiednio wysoką skutecznością (przeróbka rud). Równie istotne są aspekty ekonomiczne, związane z energochłonnością i kosztocłonnością procesów przerobczych oraz ekologiczne, dotyczące racjonalnej gospodarki zasobami oraz minimalizacją negatywnego oddziaływania skutków działalności górniczej na środowisko naturalne.

Postępująca eksploatacja złóż powoduje, że wydobywane są rudy z coraz mniejszą zawartością składnika użytecznego, coraz drobniej okruszcowane. Należy zatem zintensyfikować procesy kruszenia i miele-

nia surowców tak, aby zapewnić odpowiedni poziom odzysku składnika użytecznego z kopaliny, co z kolei skutkuje zwiększeniem energochłonności tych procesów. Z drugiej strony kładzie się coraz większy nacisk na redukcję emisji dwutlenku węgla, który jest jednym z kluczowych czynników zwiększających efekt cieplarniany, a który to związek jest głównym produktem ubocznym w procesach wytwarzania energii.

Proces rozdrabniania rud jest wieloetapowy a w skład technologicznego układu przeróbki mechanicznej wchodzi operacje kruszenia grubego, kruszenia drobnego oraz mielenia i domielania. Środowiska ekspertów zgodnie podkreślają, że w celu poprawienia jakości produktów rozdrabniania należy brać pod uwagę pracę wszystkich etapów kruszenia i mielenia w układzie i optymalizować pracę układu jako całości, nie zaś pracę pojedynczych urządzeń. Dobór odpowiednich urządzeń rozdrabniających na poszczególnych stadiach rozdrabniania oraz ich konfiguracja wraz z odpowiadającymi im strumieniami wielkości przepływów materiału, zawrotami i obejściami determinuje zasadniczo jakość produktów rozdrabniania oraz wydajność i energochłonność pracy układów technologicznych rozdrabniania surowców mineralnych [3, 4, 6, 7, 10, 12, 17, 18]. Aspektem, którego nie należy pomijać w tym zagadnieniu są właściwości materiału, na których zmianę technolog nie ma wpływu a które decydują o przebiegu procesów kruszenia i mielenia. Można zatem stwierdzić, że parametry fizykomechaniczne nadawy, takie jak skład litologiczny, abrazywność, podatność na rozdrabnianie, wilgotność, skład ziarnowy nadawy, wstępnie determinują jakość produktów rozdrabniania oraz wydajność technologicznych układów rozdrabniania surowców. Proces technologiczny powinien być dobrany do właściwości materiału, aby zapewnić osiągnięcie maksymalnych efektów z punktu widzenia technologii, ekonomii oraz ekologii.

Biorąc pod uwagę powyższe względy, celem głównym artykułu jest analiza skutków środowiskowych wynikających z aplikacji wysokociśnieniowych pras walcowych (HPGR) w przemysłowych układach technologicznych rozdrabniania surowców mineralnych. Technologia wysokociśnieniowego rozdrabniania jest aktualnie jedną z najefektywniejszych metod kruszenia drobnego surowców zarówno z punktu widzenia jakości otrzymywanych produktów jak i efektów środowiskowych związanych z niższą uciążliwością dla środowiska naturalnego [5, 15].

2. Technologia wysokociśnieniowego rozdrabniania surowców

Analiza problematyki zawartej w artykule poprzedzona została przyjętymi trzema założeniami ogólnymi, które stanowią punkt wyjścia do dalszych badań oraz porządkują zagadnienie:

- rozważany jest wielostadialny proces rozdrabniania, którego efektywność pracy jest determinowana konfiguracją poszczególnych maszyn, zmierzającą do obniżenia energochłonności całego układu,
- warianty i konfiguracje układów technologicznych decydują o ich przeznaczeniu do wzbogacania danego typu surowca (np. rudy, węgiel, surowce skalne, mączki wapienne),
- oprócz parametrów technicznych urządzenia pod uwagę brane są właściwości fizykomechaniczne materiału.

Przemysłowe aplikacje wysokociśnieniowych pras walcowych w układach przeróbki mechanicznej surowców mineralnych stosowane są od lat 90-tych ubiegłego stulecia. Na początku wykorzystanie pras ograniczało się głównie do przemysłu cementowego i produkcji kruszyw drobnoziarnistych, co związane było z krótką żywotnością okładzin roboczych walców. W miarę rozwoju badań i znaczą poprawą parametrów wytrzymałościowych okładzin walców wysokociśnieniowe prasy walcowe znalazły szerokie zastosowanie w przeróbce rud żelaza, rud metali podstawowych i szlachetnych. Zasada działania prasy walcowej jest analogiczna do pracy kruszarek dwu walcowych. Materiał jest zasypywany od góry i w wyniku przejścia pomiędzy dwoma obracającymi się przeciwnie walcami następuje jego dezintegracja skutkująca zmniejszeniem uziarnienia. Walce są dociskane do siebie hydraulicznie, co umożliwia uzyskanie dużych sił nacisku na warstwę materiału w prasie i powoduje powstawanie mikropęknięć w pojedynczych ziarnach. W wyniku tego struktura ziaren jest naruszona i operacje rozdrabniania w kolejnych etapach procesu technologicznego są bardziej efektywne.

Wysokociśnieniowe prasy walcowe znalazły zastosowanie w układach technologicznych przeróbki mechanicznej rud jako alternatywa dla młynów półsamomięjących SAG. Układy oparte na HPGR zużywają niemal 25% mniej energii w porównaniu z analogicznymi ukła-

dami z młynami SAG [13]. Spośród głównych zalet pras walcowych należy wymienić [8, 9, 15]:

- niskie jednostkowe zużycie energii elektrycznej na jednostkę przerobianego surowca (0,8–3 kWh/Mg wg różnych źródeł),
- aktywacja mechaniczna materiału poprzez powstawanie mikropęknięć w materiale obniżających jego podatność na rozdrabnianie w dalszych procesach mielenia i domielania,
- zwiększenie zawartości składnika użytecznego w produktach otrzymywanych na etapie wzbogacania flotacyjnego rud,
- poprawa wskaźników uzysku procesu technologicznego,
- mała emisja wibracji i hałasu,
- niski stopień zapylenia oraz wydzielania ciepła.

Reasumując, zastosowanie pras walcowych generuje wymierne korzyści technologiczne związane z uzyskiwaniem odpowiedniego rozdrobnienia produktów i poprawą efektywności odzysku składnika użytecznego z rudy oraz równie istotne korzyści ekologiczne związane z mniejszą konsumpcją energii, racjonalną gospodarką surowcem poprzez jego efektywniejsze wykorzystanie oraz stosunkowo niską uciążliwość procesu dla środowiska. Zaprezentowane w niniejszym artykule badania dotyczą analizy i oceny skutków ekologicznych zastosowania prasy walcowej w technologicznym układzie rozdrabniania rud. Przedmiotem analizy jest trójstadialny układ rozdrabniania z kruszarką, prasą walcową oraz młynem bębnowym, którego efektywność pracy jest determinowana efektywnością pracy prasy walcowej.

3. Program badań

Program badawczy obejmował testy rozdrabniania polskich rud miedzi w laboratoryjnej prasie walcowej, przeprowadzone w Norwegian University of Science and Technology w Trondheim. Badania miały na celu wyznaczenie regresyjnego modelu pracy prasy walcowej oraz efektywne sterowanie pracą całego układu poprzez dobór wartości zmiennych sterowalnych prasy walcowej.

W pierwszej części badań podjęto próbę efektywnego sterowania składem ziarnowym produktów rozdrabniania poprzez odpowiedni dobór wartości ciśnienia operacyjnego prasy, podstawowej zmiennej sterującej

urządzenia. Wcześniejsze badania wykazały [16], że jest możliwa aproksymacja składu ziarnowego produktów rozdrabniania prasy walcowej za pomocą odpowiednich dystrybuant teoretycznych, których parametry są uzależnione od ciśnienia operacyjnego. Wykorzystano teoretyczną dystrybuantę trójparametrowego rozkładu cenzurowanego Weibulla, daną wzorem [18] (1):

$$\theta(d) = 100 - 100 \cdot \exp \left[-c \left(\frac{d}{d_{\max} - d} \right)^n \right] \quad (1)$$

gdzie:

c , n , d_{\max} – parametry.

Testy rozdrabniania rudy miedzi w prasie walcowej przeprowadzono dla różnych wartości nacisku właściwego (F_{sp}) zdefiniowanego następująco [8,15]:

$$F_{Sp} \left[\frac{N}{mm^2} \right] = \frac{F_{tot}}{D \cdot l \cdot 1000} \quad (2)$$

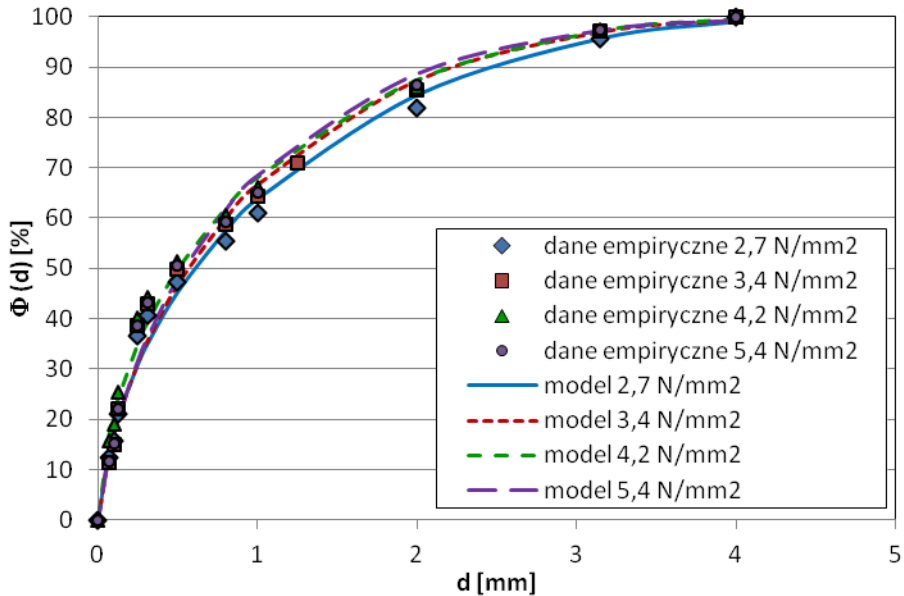
gdzie:

D – średnica rolki [mm],

l – długość robocza rolki [mm],

F_{tot} – całkowity nacisk wywierany przez rolki na warstwę materiału [kN].

W doświadczeniach przyjęto następujące wartości ciśnienia operacyjnego: 2,7 N/mm², 3,4 N/mm², 4,2 N/mm² oraz 5,4 N/mm². Wszystkie testy wykonano w laboratoryjnej prasie walcowej o średnicy roboczej walców 200 mm i szerokości 100 mm. Osobno odbierano produkt centralny (*centre product*) oraz produkt boczny (*edge product*). Do dalszych analiz wykorzystywano tylko produkt centralny, natomiast mniej reprezentatywny produkt boczny wykorzystywano tylko przy wyznaczeniu wydajności urządzenia. Charakterystykę produktów rozdrabniania mierzoną uzyskanymi stopniami rozdrobnienia przedstawia tab. 1, a empiryczne punkty wraz z modelami aproksymacyjnymi przedstawione są na rys 1. Parametry modeli aproksymacyjnych wyznaczonych według wzoru (1) wraz z błędami dopasowania przedstawione są w tab. 2.



Rys. 1. Empiryczne krzywe składu ziarnowego oraz modele dla produktów rozdrabniania w prasie walcowej

Fig. 1. Empirical particle size distribution curves and models for HPGR crushing products

Tabela 1. Stopnie rozdrobnienia (S_x) produktów rozdrabniania w prasie walcowej

Table 1. Reduction ratios (S_x) of HPGR crushing products

Parametr	Ciśnienie robocze [N/mm ²]			
	2,7	3,4	4,2	5,4
S_{10}	1,9	1,7	2,4	1,8
S_{50}	5,5	6,6	7,2	6,8
S_{80}	3,3	3,6	3,6	3,7
S_{90}	2,6	2,9	2,9	3,0

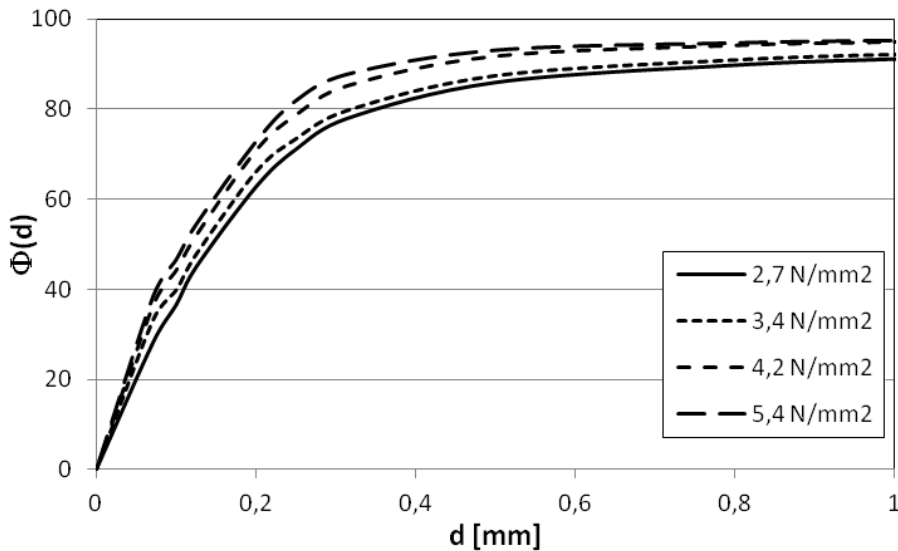
Tabela 2. Parametry modeli regresyjnych produktów rozdrabniania w prasie walcowej**Table 2.** Parameters of regressive models for HPGR crushing products

Parametr	Ciśnienie robocze [N/mm ²]			
	2,7	3,4	4,2	5,4
n	0,66	0,71	0,63	0,74
c	2,94	3,69	2,91	4,62
d_{max} [mm]	6,0	6,5	5,4	7,5
s_r [%]	3,47	3,99	2,87	3,98

Analizując wyniki można zauważyć, że efektywność rozdrabniania przy trzech najwyższych wartościach F_{sp} jest porównywalna (tab.1, rys. 1). Można stąd wnioskować, że odpowiednie rozdrobnienie osiągnięto już przy drugiej wartości ciśnienia roboczego w prasie walcowej. Dalsze zwiększanie ciśnienia nie powodowało znaczących przyrostów udziałów klas najdrobniejszych co można zinterpretować jako osiągnięcie rozdrobnienia do poziomu struktur pojedynczych ziaren, bądź powstawanie tzw. flejków, czyli konglomeratów materiału złożonych z drobniejszych ziaren. Z praktycznego punktu widzenia można byłoby więc przyjąć, że stosowanie wyższych wartości ciśnienia w prasie walcowej dla tego materiału jest nieuzasadnione technologicznie i ekonomicznie (zwiększone zużycie energii).

W analizie wyników należy także wziąć pod uwagę zjawisko powstawania mikropęknięć w produktach rozdrabniania w prasach walcowych, o czym była mowa w punkcie 2. Dzięki temu zjawisku w kolejnych etapach rozdrabniania w technologicznym procesie przeróbczym, czyli podczas operacji mielenia, następuje znacznie szybsza dezintegracja spękanych ziaren. Aby zbadać, czy zjawisko to zaszło w powyższych eksperymentach produkty rozdrabniania w prasie walcowej poddano mieleniu w młynie kulowym przez 2 minuty. Wyniki rozdrabniania przedstawia rys. 2.

Na rysunku widać, że produkty rozdrabniania w prasie przy dwóch najwyższych ciśnieniach rozdrobniły się najintensywniej podczas krótkiego procesu mielenia, co wskazuje na zwiększoną liczbę mikropęknięć i spękań powstałych w poprzednim etapie rozdrabniania. Efektywność mielenia produktów rozdrabniania przy wyższych ciśnieniach jest zatem większa, obserwowany jest też szybszy przyrost klas drobnych, które można kierować do flotacji wstępnej.



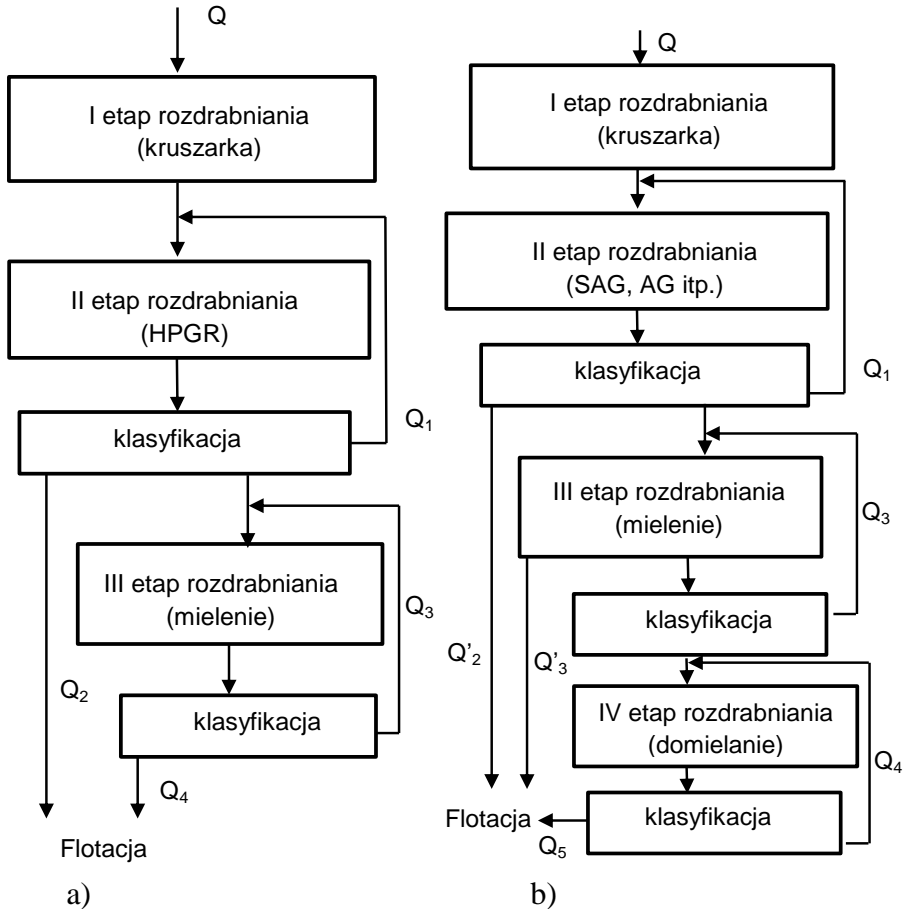
Rys. 2. Krzywe składu ziarnowego produktów mielenia

Fig. 2. Particle size distribution curves of grinding products

4. Optymalizacja pracy układu rozdrabniania

Jak już zostało to wspomniane w punkcie 1, optymalizacja powinna dotyczyć pracy układu rozdrabniania jako całości a nie skupiać się na pojedynczych urządzeniach układu. W tym celu w dalszej analizie został wykorzystany trój etapowy układ rozdrabniania analogiczny do funkcjonujących technologicznych układów przeróbki mechanicznej rud metali podstawowych. W analizowanym układzie technologicznym (rys. 3a) na drugim etapie kruszenia została przewidziana wysokociśnieniowa prasa walcowa, podczas gdy z prawej przedstawiony został układ z konwencjonalnym urządzeniem na II-gim etapie. Aplikacja HPGR pozwala na zredukowanie operacji mielenia do jednego stadium (etapu), podczas gdy dla młynów prętowych, SAG lub AG występują dwa stadia mielenia (rys. 3b).

W oparciu o wyniki badań przedstawionych w punkcie 3. przeanalizowane zostały główne korzyści wynikające z zastosowania prasy walcowej w technologicznym układzie przeróbki mechanicznej. Układem odniesienia był schemat na rys. 3a.



Rys. 3. Przykładowy trój- i czteroetapowy układ rozdrabniania

Fig. 3. An exemplary three and four-stage crushing circuit

Zastosowanie pras walcowych pozwala na odciążenie etapu mielenia i skierowanie części materiału do operacji flotacji wstępnej (strumień Q_2). Wyniki badań pokazują, że ta część materiału – produktu prasy walcowej – osiąga uziarnienie 0,02–0,07, co dla analizowanego typu rudy jest wystarczające, aby skierować go bezpośrednio do wzbogacania [1, 2, 11]. Można więc odciążyć układ mielenia czego efektem będzie niższa energochłonność procesu, skutkująca także mniejszą emisją ciepła i CO_2 do atmosfery:

$$P_I = E_{SP1} \cdot Q + E_{SP2} \cdot (Q + Q_1) + E_{SP3} \cdot (Q - Q_2 + Q_3) \quad (3)$$

gdzie:

P_I – całkowite zużycie energii przez układ rozdrabniania, [kWh/Mg]

E_{SP1} – energochłonność I-go etapu rozdrabniania, [kWh/Mg]

E_{SP2} – energochłonność II-go etapu rozdrabniania (HPGR), [kWh/Mg]

E_{SP3} – energochłonność III-go etapu rozdrabniania (mielenie), [kWh/Mg]

Q – wydajność układu, [Mg/h]

Q_1 – zawrót na II-gim etapie rozdrabniania, [Mg/h]

Q_2 – produkt II etapu rozdrabniania stanowiący nadawę do flotacji, [Mg/h]

Q_3 – zawrót na III-cim etapie rozdrabniania, [Mg/h]

Q_4 – produkt III-go etapu rozdrabniania (rys.3a), [Mg/h]

W przypadku, gdy w II-gim etapie rozdrabniania pracowałyby konwencjonalne urządzenie rozdrabniające (młyn bębnowy, młyn SAG lub AG), będą występować dwa stadia mielenia, a energochłonność takiego układu można skalkulować następująco:

$$P_{II} = E_{SP1} \cdot Q + E_{SP2} \cdot (Q + Q_1) + E_{SP3} \cdot (Q - Q'_2 - Q'_3 + Q_3) + E_{SP4} \cdot (Q - Q'_2 - Q'_3 + Q_4) \quad (4)$$

gdzie:

P_{II} – całkowite zużycie energii przez układ, [kWh]

E_{SP4} – energochłonność IV-go etapu rozdrabniania (domielanie), [kWh/Mg]

Q'_2 – produkt II etapu kruszenia stanowiący nadawę do flotacji, [Mg/h]

Q'_3 – produkt III etapu rozdrabniania stanowiący nadawę do flotacji, [Mg/h]

Q_4 – zawrót na IV-tym etapie rozdrabniania, [Mg/h]

Q_5 – produkt IV-go etapu rozdrabniania (rys.3b), [Mg/h]

Liczne przykłady pokazują, że strumienie Q'_2 i Q'_3 są mniejsze niż w przypadku zastosowania wysokociśnieniowej prasy walcowej:

$$Q'_2 + Q'_3 < Q_2 \quad (5)$$

można zatem zapisać:

$$Q'_2 + Q'_3 = \frac{Q_2}{p} \quad (6)$$

gdzie $p > 1$

Całkowity zysk energetyczny (Z) po modernizacji układu można ostatecznie wyrazić jako:

$$Z = P_{II} - P_I = E_{SP3} \cdot \left(Q_2 - \frac{Q_2}{p} \right) + E_{SP4} \cdot \left(Q_2 - \frac{Q_2}{p} + Q_4 \right) \quad (7)$$

Przy zastosowaniu konwencjonalnych urządzeń rozdrabniających (młynów) w drugim etapie, najdrobniejsze frakcje produktu kruszenia są z reguły zbyt grube aby skierować je bezpośrednio do operacji flotacji. Kieruje się je zatem do młyna domielającego, w efekcie czego strumień Q'_2 stanowi niewielki udział. Ponadto liczne badania wykazują [9,10,14], że wskaźnik energochłonności pracy prasy walcowej E_{SP2} będzie niższy od wskaźnika pracy konwencjonalnych młynów na drugim stadium rozdrabniania. Zysk wyrażony wzorem (7) będzie zatem odpowiednio większy. Sposób przygotowania materiału w prasie walcowej do trzeciego etapu w znaczącym stopniu wpływa na zużycie energii mielenia. Powstałe mikropęknięcia oraz naruszenie struktur pojedynczych ziaren powodują, że materiał będzie się łatwiej mielił, a jego część można kierować do stadium domielania lub bezpośrednio do flotacji. W celu optymalizacji pracy wielostadialnego układu technologicznego rozdrabniania rud jako całości należy brać pod uwagę sposób przygotowania nadawy do każdego stadium rozdrabniania, warunki pracy maszyn rozdrabniających (relacje między właściwościami nadawy a parametrami konstrukcyjno-eksploatacyjnymi maszyny) oraz właściwości (parametry) uzyskiwanych produktów.

5. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie prasy walcowej w technologicznych układach przeróbki mechanicznej rud może przynieść wymierne efekty technologiczne, ekonomiczne i ekologiczne. Poprzez intensywniejszy proces dezintegracji ziaren uzyskuje się większe udziały ziaren drobnych, które mogą być

wyprowadzone z układu rozdrabniania bezpośrednio do flotacji wstępnej. Dzięki temu w etapie mielenia zużywa się mniej energii elektrycznej, co przynosi korzyści dla środowiska naturalnego. Mikropęknięcia powodują większe odsłonięcie minerałów użytecznych, podnosząc tym samym uzysk flotacyjny i zmniejszając ich ilość na składowiskach odpadów po-produkcyjnych.

Aby zmaksymalizować efekt należy dokonać pewnej modyfikacji układu technologicznego polegającej na uwzględnieniu dodatkowych urządzeń klasyfikujących, które pomogą w wydzieleniu strumienia materiału Q_2 oraz umożliwią wcześniejszy odbiór drobnego produktu z młyna. W efekcie uzyskuje się także lepsze wykorzystanie surowca, co jest istotne w kompleksowym podejściu do gospodarki surowcami naturalnymi.

*Artykuł jest wynikiem projektu badawczego NN 524 466 139
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego finansowanego ze środków
finansowych na lata 2010–2013.*

Literatura

1. **Brożek, M., Młynarczykowska A.:** *Analysis of kinetics models of batch flotation.* Physicochemical Problems of Mineral Processing. Vol. 41, 51–65 (2007).
2. **Brożek M., Młynarczykowska A.:** *Probability of detachment of particle determined according to the stochastic model of flotation kinetics.* Physicochemical Problems of Mineral Processing. Vol. 44, 23–34 (2010).
3. **Gawenda T.:** *Analiza porównawcza mobilnych i stacjonarnych układów technologicznych przesiewania i kruszenia.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 15 (2013).
4. **Gawenda T., Saramak D., Tumidajski T.:** *Modele regresyjne rozdrabniania surowców skalnych w kruszarce szczękowej.* ZN Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej. Nr 22, seria Inżynieria Środowiska, 659–670 (2005).
5. **Gawenda T.:** *Główne aspekty rozdrabniania twardych surowców mineralnych w wysokociśnieniowych prasach walcowych,* Górnictwo i Geoinżynieria Wyd. AGH. Zeszyt 4, 89–100 (2009).
6. **Gawenda T.:** *Wpływ rozdrabniania surowców skalnych w różnych kruszarkach i stadiach kruszenia na jakość kruszyw mineralnych.* Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management. Tom 29, zeszyt 1 (2013).

7. **Gawenda T., Naziemiec Z., Walerak A.:** *Badania wybranych właściwości kruszyw z odpadów ceramicznych oraz betonu wytworzonego z ich udziałem* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 15. (2013).
8. **Morley C.:** *HPGR in hard rock applications*. Mining Magazine. September, 118–127 (2003).
9. **Morrell S., Lim W., Shi F., Tondo L.:** *Modelling of the HPGR crusher. Comminution Practices* (ed. Kawatra K.S.). Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc. (SME), Chapter 17, 117–126 (1997).
10. **Napier-Munn T.J., Morrell S., Morrison R.D., Kojovic T.:** *Mineral comminution circuits – their operation and optimization*. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, Monograph vol. 2, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 1996.
11. **Potulska A.:** *Wpływ drobnego mielenia na flotację krajowych rud miedzi (praca doktorska)*. Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wrocław, 2008.
12. **Saramak D., Tumidajski T., Brożek M., Gawenda T., Naziemiec Z.:** *Aspects of comminution flowsheets design in processing of mineral raw materials*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management. Tom 26, zeszyt 4, 59–69 (2010).
13. **Saramak D.:** *Analiza efektywności pracy technologicznych układów rozdrabniania surowców z wysokociśnieniowymi prasami walcowymi*. Górnictwo i Geologia: kwartalnik. Tom 6 zeszyt 2, 189–200 (2011).
14. **Saramak D.:** *Optimizing the performance of high-pressure grinding roll based ore enrichment circuits*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management. Tom 28 zeszyt 4, 87–99 (2012).
15. **Saramak D.:** *Technologia HPGR*. Magazyn Kruszywa. Nr 2, 66–69 (2011).
16. **Saramak D.:** *Mathematical models of particle size distribution in simulation analysis of High-pressure grinding rolls operation*. Physicochemical Problems of Mineral Processing. Vol. 49(1), 495–512 (2013).
17. **Tumidajski T.:** *Heurystyczne modele procesów rozdrabniania jako podstawa symulacyjnej optymalizacji ich przebiegu* Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management. Tom 28, zeszyt 3, 127–137 (2012).
18. **Tumidajski T., Kasińska-Pilut E, Gawenda T., Naziemiec Z., Pilut R.:** *Badania energochłonności procesu mielenia oraz podatności na rozdrabnianie składników litologicznych polskich rud miedzi*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management. Tom 26, zeszyt 1, 61–72 (2010).
19. **Tumidajski T., Saramak D.:** *Metody i modele statystyki matematycznej w przeróbce surowców mineralnych*. Wydawnictwo AGH. Kraków, 2009.

Environmental Aspects Connected with Effects of High-pressure Comminution in Roller Presses

Abstract

The aim of the paper is an analysis of work effects of HPGR-based technological circuits in industrial mineral processing operations. High-pressure grinding rolls technology is currently one of the most effective methods of raw materials comminution both from the scope of the crushing products quality as well as the environmental effects associated with a lower environmental nuisance.

In the first part of investigations the effective control of the particle size distribution of crushing products through the proper selection of operating pressure in the press. In the next stage the HPGR products were ground in a ball mill. The results showed that the grinding efficiency at higher values of operating pressure is greater, it was also observed a rapid increase in yield of the fine particle fractions, which can be directed to initial flotation operations.

In the next stage, a methodological assumptions for optimization of a multi-stage comminution circuit were presented. In order to optimize the work effects of circuit the feed preparation manner for each stage of crushing should be taken into consideration. Another aspects which should not be missed are the crushing and grinding devices operating conditions (the relationship between the feed properties and the construction and operating parameters of the device) and characteristics of obtained products.