

TOMASZ GAWENDA*

Wpływ rozdrabniania surowców skalnych w różnych kruszarkach i stadiach kruszenia na jakość kruszyw mineralnych

Wprowadzenie

Układy technologiczne przeróbki kruszyw mineralnych są determinowane zróżnicowanymi formami występowania surowców mineralnych w złożach. Również złożoność i stopień skomplikowania technologii w danym układzie instalacji uwzględnia rodzaj litologiczny surowca i jego właściwości fizyko mechaniczne, które są w szczególności charakteryzowane wielkością uziarnienia urobku (ziarno maksymalne lub średnie, punkt piaskowy itp.), zwięzłością, urabialnością i twardością, stopniem zanieczyszczenia surowca i rodzajem zanieczyszczeń oraz przede wszystkim wymaganą jakością końcowych produktów pod względem wielkości granulometrycznej, kształtu ziaren i czystości gotowych kruszyw (zawartość pyłów i zanieczyszczeń obcych) (Gawenda 2011a, b).

Przy produkcji kruszyw łamanych ze zwięzłych surowców skalnych oraz żwirowych w szerokim zakresie stosuje się rozdrabnianie jako podstawową operację technologiczną.

Zależnie od wielkości brył surowca (nadawy), rozdrabnianie w przemyśle kruszyw przyjmuje formę kruszenia wstępnego (grubego), średniego oraz drobnego poprzedzonego przesiewaniem, tworząc w ten sposób stadia rozdrabniania (Gawenda 2011a, 2010b; Saramak i in. 2010). Układy wielostadialne są budowane z różnych maszyn rozdrabniających, których dobór może mieć zarówno pozytywny jak i negatywny wpływ na efekt końcowy procesu produkcji kruszyw.

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków;
e-mail: gawenda@agh.edu.pl

Maszyny rozdrabniające posiadają elementy robocze wykonujące określony ruch kinematyczny i oddziaływując na surowiec rozdrabniają go w sposób mechaniczny wykorzystując elementarne działania sił kruszących, takich jak ściskanie (zgniatanie), ścieranie, łamanie czy udar. W kruszarkach takie siły najczęściej nie występują samodzielnie, ale zazwyczaj jedna dominuje nad pozostałymi, np. w kruszarce szczękowej o ruchu prostym szczęki i powierzchniach gładkich szczęk występuje ściskanie, natomiast w kruszarce szczękowej o ruchu złożonym szczęki i powierzchniach karbowanych szczęk dodatkowo pojawia się łamanie i ścieranie (Gawenda 2010b; Zawada 1998). W kruszarkach wirnikowych udarowych jest wyraźna przewaga dominującego działania rozdrabniającego – udaru nad ścieraniem, które pociąga za sobą dużą selektywność rozdrabniania. Rozdrabnianie materiałów jednorodnych petrograficznie następuje wzdłuż powierzchni naturalnych lub nabytych osłabień spójności we wcześniejszych stadiach rozdrabniania, a także rozdrabnianie w pierwszej kolejności ziaren spękanych, zwietrzałych itp. (Gawenda 2010a, 2011c; Naziemiec, Gawenda 2006).

Celem artykułu jest zarysowanie metodyki badań wpływu różnego rodzaju kruszarek znajdujących się w różnych stadiach układów technologicznych na efekty końcowe produktów rozdrabniania. Porównaniu podlegały następujące układy kruszenia (rys. 1):

- trójstadialny wyposażony w kruszarki udarowe,
- dwustadialny wyposażony w kruszarki udarowe,
- dwustadialny wyposażony w kruszarkę szczękową oraz udarową,
- dwustadialny wyposażony w kruszarki szczękowe.

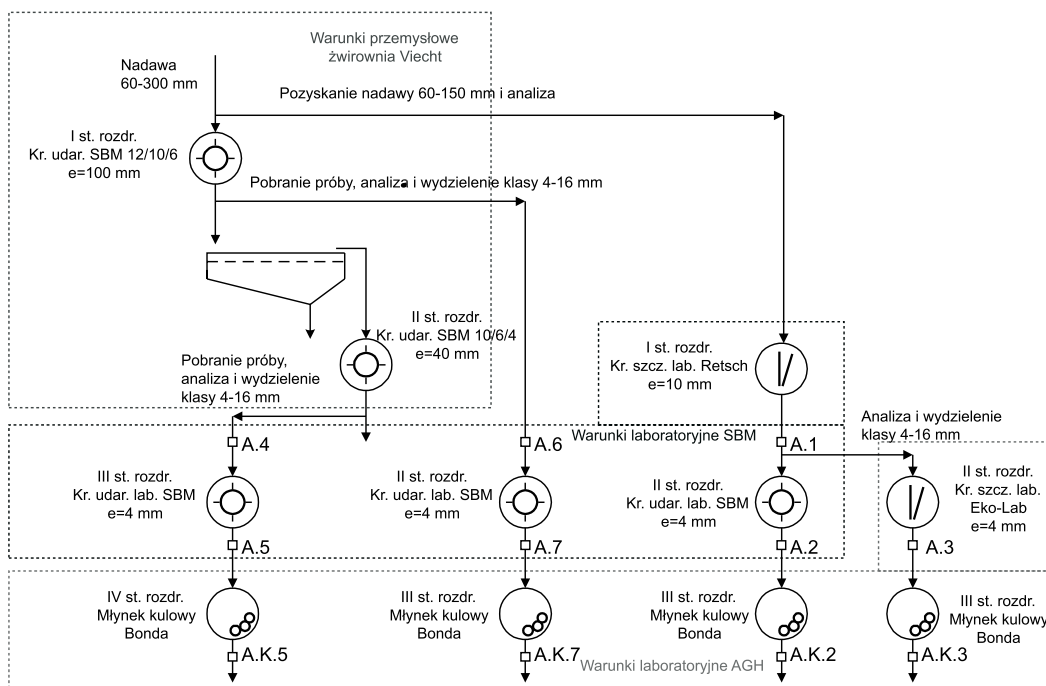
Każdy z wymienionych układów kruszenia został zakończony stadiem mielenia, w którym wykorzystano kulowy młynek Bonda.

Do oceny efektów rozdrabniania po wstępnym i średnich stadiach kruszenia wykorzystano wskaźniki zawartości ziaren nieforemnych (wskaźnik płaskości), udział pyłów <1 mm w produktach, stopnie rozdrobnienia oraz zużycie energii, natomiast do oceny efektów rozdrabniania w ostatnim stadium rozdrabniania zastosowano wskaźnik udziału pyłu <1 mm uzyskanego przy mieleniu kruszywa w młynku Bonda po jego 100 obrotach.

Podjęty program badawczy jest kontynuacją obszerniejszych badań (uwzględnionych w projekcie badawczym MNiSW nr N N524 466139) dotyczących doboru maszyn rozdrabniających i układów technologicznych pod kątem optymalizacji produkcji kruszyw. Warto podkreślić, że problematyka badawcza pokazująca zmiany pewnych właściwości kruszyw wynikających z różnych kombinacji układów technologicznych rozdrabniania i zastosowania kruszarek może być wykorzystywana przy projektowaniu oraz optymalizacji pracy technologicznych układów przeróbki mechanicznej kruszyw.

1. Charakterystyka warunków przeprowadzonych badań

Badania zostały przeprowadzone według planu i schematu zaprezentowanego na rysunku 1. Eksperymenty składały się z trzech części, obejmujących warunki przemysłowego



Rys. 1. Schemat przeprowadzonych badań (opracowanie własne)

Fig. 1. A scheme of investigation programme (own work)

procesu produkcji kruszyw, następnie warunki laboratoryjne w firmie SBM Mineral Processing (kruszenie) w Laakirchen oraz warunki laboratoryjne w AGH w Krakowie (kruszenie i mielenie).

Do badań wykorzystano surowiec z kopalni Viecht znajdującej się w Ohlsdorf (Austria), będącej własnością korporacji Asamer. Pobrane próby żwiru pochodziły bezpośrednio ze złoża jako nadawa do procesu technologicznego produkcji kruszyw oraz z procesu technologicznego po kruszarkach udarowych listwowych, których producentem jest SBM MP. W pierwszym stadium rozdrabniania pracowała kruszarka udarowa listwowa typu 12/10/6 z sześcioma listwami udarowymi i szczelinie wylotowej 100 mm; w drugim stadium rozdrabniania – kruszarka udarowa listwowa typu 10/6/4 z czterema listwami udarowymi i szczelinie wylotowej 40 mm.

Próby do badań laboratoryjnych pochodziły z pierwszego i drugiego stadium rozdrabniania w warunkach przemysłowych i były nadawą do kruszarki laboratoryjnej udarowej listwowej produkcji SBM MP. Dodatkowo pobrano próbę ze złoża, która stanowiła nadawę do kruszarki laboratoryjnej szczękowej, a produkt uzyskany z niej stanowił nadawę do laboratoryjnej kruszarki udarowej (rys. 1).

Wykonano analizy granulometryczne dla poszczególnych materiałów, oznaczono zawartości ziaren nieforemnych, a po wydzieleniu reprezentatywnych prób klasy 4–16 mm przeprowadzono rozdrabnianie w kruszarce udarowej laboratoryjnej produkcji SBM (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Laboratoryjna kruszarka udarowa produkcji SBM MP (fot. T. Gawenda)

Fig. 2. Laboratory SBM MP impact crusher (T. Gawenda)



Rys. 3. Elementy robocze kruszarki (fot. T. Gawenda)

Fig. 3. Working components of the crusher (T. Gawenda)

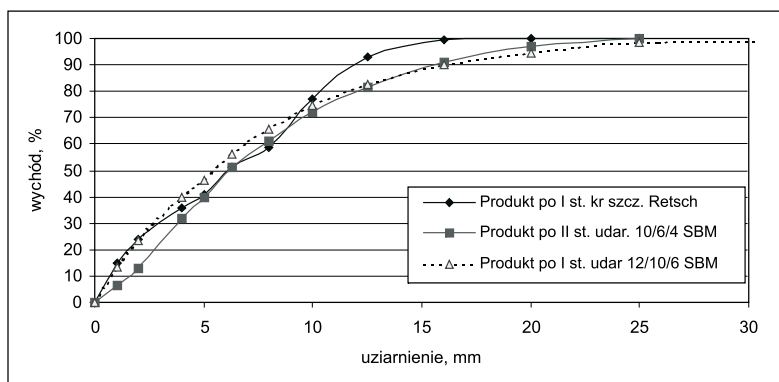
Wykorzystanie takiej unikatowej kruszarki udarowej umożliwiającej rejestrowanie parametrów pracy pozwoliło ocenić wpływ użytych kruszarek we wcześniejszych stadiach kruszenia na efektywność pracy tej kruszarki w ostatnim stadium kruszenia.

Dalsze próby laboratoryjne (zgodnie ze schematem – rys. 1) polegające na mieleniu próbek w młynku kulowym Bonda oraz rozdrobieniu jednej próbki w kruszarce szczękowej były prowadzone w laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej.

2. Analiza wyników rozdrabniania

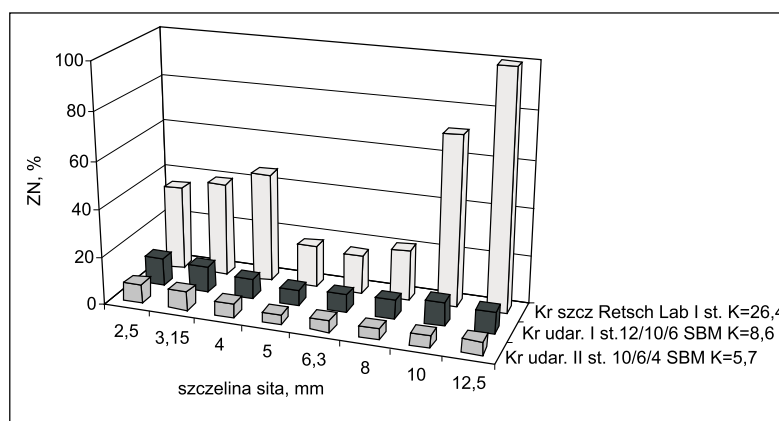
Na wykresach (rys. 4) przedstawiono wyniki analiz granulometrycznych produktów rozdrabniania w kruszarce szczękowej laboratoryjnej i w kruszarkach udarowych przemysłowych. Produkty uzyskane w kruszarkach udarowych odznaczają się podobnym rozkładem wielkości ziaren w przedziale 10–25 mm.

Rysunek 5 przedstawia zależność wskaźnika ziaren nieforemnych od rozmiaru szczeliny sita w uzyskanych produktach dla dwóch kruszarek udarowych pracujących w warunkach przemysłowych (I i II stadium rozdrabniania) i kruszarki szczękowej laboratoryjnej (I stadium rozdrabniania). Obliczono również wskaźniki płaskości K ziaren. Najmniejszą wartość wskaźnika (ok. 6%) zanotowano dla kruszarki udarowej w II stadium rozdrabniania. W pro-



Rys. 4. Krzywe składu ziarnowego produktów rozdrabniania

Fig. 4. Particle size distribution curves of crushing products

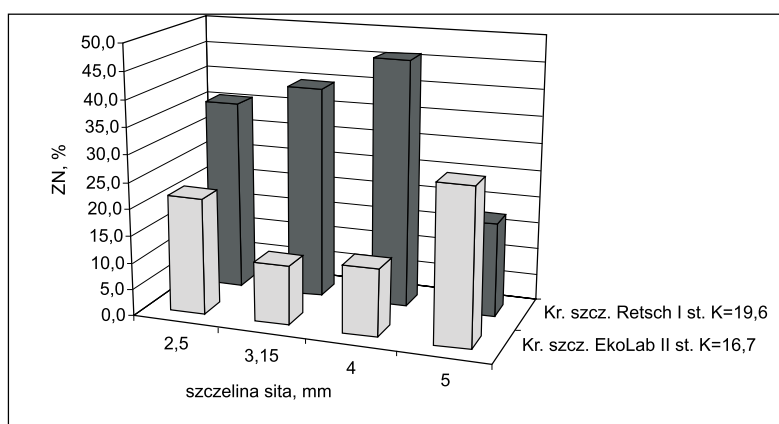


Rys. 5. Zawartość ziaren nieforemnych (ZN) w klasach 5–25 mm uzyskanych produktów dla poszczególnych kruszarek

Fig. 5. The irregular particles contents (ZN) in 5–25 mm size fractions for individual crushers

duktach kruszarki udarowej (SBM 12/10/6) w I stadium rozdrabniania odnotowano wskaźnik płaskości równy 8,6%, który zmalał do wartości 5,7% po kolejnym rozkruszeniu materiału w II stadium w kruszarce udarowej (SBM 10/6/4). Okazuje się, że największą zawartość ziaren nieforemnych ($K = 26,4\%$) uzyskano w I stadium rozdrabniania w kruszarce szczękowej.

Na rysunku 6 porównano procentowe zawartości ziaren nieforemnych w klasach 5–10 mm po kruszarkach laboratoryjnych szczękowych Retsch z I stadium rozdrabniania i Eko-Lab z II stadium rozdrabniania. Z zależności tych wynika, że wartość wskaźnika płaskości zmalała z około 20% do 17% wraz ze wzrostem ilości stadiów rozdrabniania.

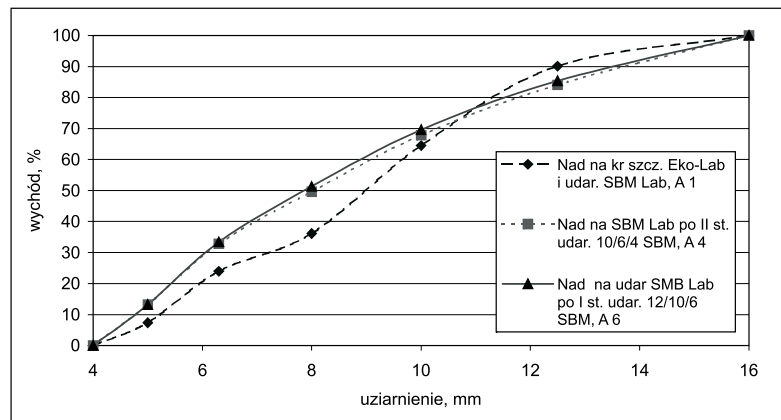


Rys. 6. Zawartość ziaren nieforemnych (ZN) w klasach 5–10 mm uzyskanych produktów dla poszczególnych kruszarek

Fig. 6. The irregular particles contents (ZN) in 5–10 mm size fractions for individual crushers

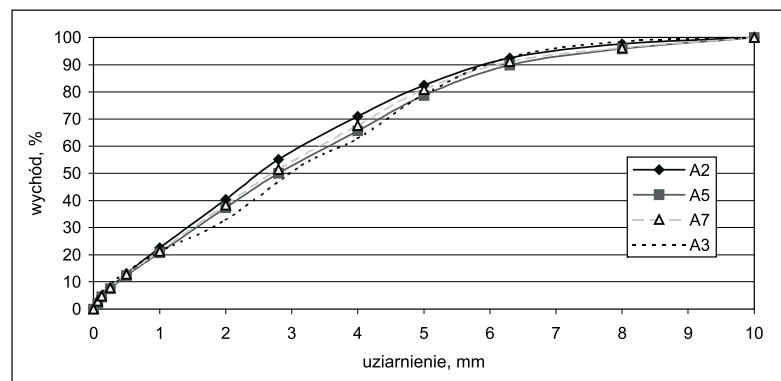
Na rysunku 7 przedstawiono krzywe składu ziarnowego nadawy przygotowanej do rozdrabniania w laboratoryjnej kruszarce udarowej SBM. Można łatwo zauważyć, że uziarnienie prób nadawy pochodzącej z kruszarki szczękowej jest odmienne (większy udział drobnych ziaren) od pozostałych prób.

Na rysunku 8 przedstawiono krzywe składu ziarnowego produktów rozdrabniania uzyskanych w kruszarce udarowej SBM w warunkach laboratoryjnych. Oceniano również produkty ze względu na zawartość ziaren nieforemnych. Podczas wykonywanych testów rozdrabniania w tej kruszarce rejestrowano licznikowo czas rozdrabniania, prędkość obrotową wirnika, wydajność i pobór mocy w celu porównania wpływu oddziaływania kruszarek we wcześniejszych stadiach kruszenia na proces kruszenia w ostatnim stadium kruszenia. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 1. Warto zwrócić uwagę, że rozdrobnienie kruszywa żwirowego w klasie ziarnowej 4–16 mm przy szczelinach wylotowych kruszarek 4 mm i przy wartości stopnia rozdrobnienia około 2 wymagało zużycia energii od 0,88 do 0,93 kWh/Mg. Najmniejsza energia została skonsumowana przez klasę ziarnową wydzieloną po I stadium rozdrabniania w kruszarce udarowej SBM typu 12/10/6.



Rys. 7. Krzywe składu ziarnowego nadaw do kruszarek laboratoryjnych

Fig 7. Particle size distributions of feed for individual crushers



Rys. 8. Krzywe składu ziarnowego produktów rozdrabniania uzyskanych w kruszarce udarowej SBM i szczękowej Eko-Lab (objaśnienia w schemacie na rys. 1)

Fig. 8. Particle size distribution curves for SBM impact crusher and Eko-Lab jaw crusher products (explanations given in Fig. 1)

Wydajność odnotowana dla poszczególnych układów była podobna i wynosiła od 1,22 do 1,24 Mg/h.

W dalszej części badawczej w warunkach laboratoryjnych AGH przygotowano próby materiału do mielenia w młynku kulowym Bonda. Pozbawione próby drobnych pyłów poniżej 1 mm zostały zmielone w młynku po 100 obrotach, a następnie poddano je analizie. Oceniano przyrosty klasy <1 mm na skutek ścierania i udaru kul. Wyniki zaprezentowano w tabeli 2 oraz na wykresie (rys. 9).

Na podstawie analizowanych wyników można stwierdzić zwiększoną podatność na rozdrabnianie na skutek pojawiających się rys, spękań ziaren kruszyw oraz zwiększoną zawartość ziaren nieforemnych w tych produktach, które we wcześniejszych stadiach były

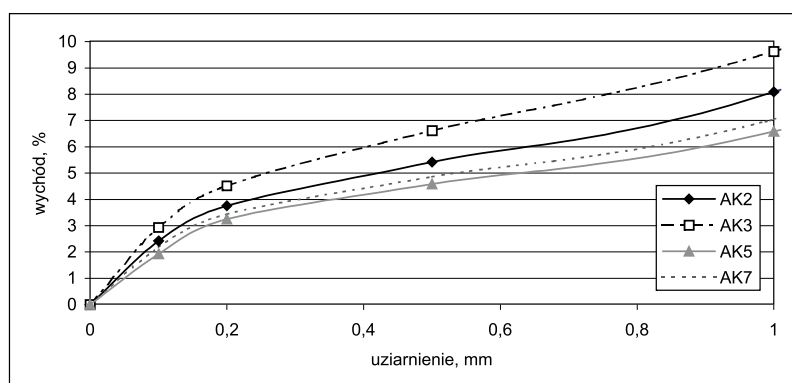
TABELA 1

Zestawienie efektów rozdrabniania dla produktów uzyskanych w kruszarce laboratoryjnej udarowej SBM

TABLE 1

Comminution results for SBM impact laboratory crusher products

Nazwa próby/Parametry	Próba A2, rozdrabniana w kr. szczękowej Retsch I st., udarowej lab. II st.	Próba A5, rozdrabniana w kr. udarowej 12/10/6 I st., kr. udarowej 10/6/4 II st., udarowej lab. III st.	Próba A7, rozdrabniana w kr. udarowej 12/10/6 I st. udarowej lab. II st.
Prędkość wirnika [m/s]	32,99	32,99	32,99
Wydajność [Mg/h]	1,24	1,22	1,22
Pobór mocy netto [kW]	1,14	1,13	1,08
Zużycie energii [kWh/Mg]	0,92	0,93	0,88
Stopień rozdr. S_{80}	2,0	2,2	2,3
Zawartość ZN przed rozdr, K [%]	26,4	5,7	8,6
Zawartość ZN po rozdr, K [%]	5,5	4,3	4,6
Zawartość pyłów <1 mm [%]	24,2	22,4	23,3



Rys. 9. Krzywe składu ziarnowego produktów rozdrabniania uzyskanych po zmieleniu w młynku Bonda po 100 obrotach

Fig. 9. Particle size distribution curves for products of Bond's mill after 100 revolutions

rozdrabniane w kruszarkach szczękowych (tab. 1 i 2). Największym przyrostem klasy drobnej < 1 mm wynoszącym 9,6% w procesie przemiału odznaczało się kruszywo wyprodukowane w samych kruszarkach szczękowych. Z punktu widzenia przygotowania materiału do procesu mielenia w celu uzyskania jak największej ilości ziaren bardzo drobnych (mączek) lub uwolnienia użytecznych minerałów przed wzbogacaniem, taki układ będzie przynosić korzyści. Natomiast układ polegający na odsiewaniu surowca przed wstępnym

TABELA 2

Zestawienie efektów rozdrabniania prób po zmieleniu w młynku kulowym Bonda po 100 obrotach

TABLE 2

Comminution results for grinding process in Bond's mill after 100 revolutions

Nazwa prób	AK5	AK7	AK3	AK2
Zawartość pyłów < 1 mm,%	6,5	7	9,6	8



Rys. 10. Pęknięte ziarna kruszywa granitowego uzyskane w kruszarce szczękowej (fot. M. Lugmayr)

Fig. 10. Cracks of granite particles after crushing in jaw crusher (M. Lugmayr)

stadium kruszenia i pominięciu rozdrabniania w kruszarce udarowej, a jedynie zastosowaniu tylko kruszarek szczękowych będzie przyczyniać produkcji kruszyw o niskiej jakości. Przykładem są ziarna kruszywa granitowego (rys. 10), których pęknięcia są widoczne gołym okiem. Kruzywa te produkowane były w warunkach przemysłowych w kruszarce szczękowej pracującej na końcowym stadium rozdrabniania, co potwierdza niekorzystny wpływ tej kruszarki na cały układ produkcji kruszyw.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań w warunkach laboratoryjnych w firmie SBM MP stwierdzono pewną różnicę zużycia energii dla poszczególnych prób zanotowaną przez testową (laboratoryjną) kruszarkę udarową SBM. Okazuje się, że w układzie trójstadijalnym kruszenie surowca rozdrabnianego wcześniej w dwóch kruszarkach udarowych wymaga zużycia największej ilości energii (tj. 0,93 kWh/Mg) przez kruszarkę testową udarową SBM w porównaniu z układem dwustadijalnym, w którym wcześniej rozdrabniany był materiał tylko w jednej kruszarce udarowej oraz selektywnie odsiewany. Tu zużycie energii było najniższe i wyniosło 0,88 kWh/Mg. Rozdrabnianie materiału w układzie dwustadijalnym z kruszarką szczękową wymaga również wyższego zużycia energii (tj. 0,92 kWh/Mg), podobnie jak w przypadku układu trójstadijalnego.

Badania podatności przemiałowej w młynku kulowym Bonda w laboratorium AGH wykazały, że kruszywa wyprodukowane w kruszarkach szczękowych (układ dwustadialny, wg schematu – rys. 1) posiadają zwiększoną podatność na rozdrabnianie i łatwiej ulegają rozkruszeniu. Przyczyną tego zjawiska jest zwiększona zawartość ziaren nieforemnych w tych kruszywach oraz występujące osłabienia ziaren w postaci mikro- lub makropęknięć na skutek elementarnej siły zgniatającej ziarna pomiędzy szczękami kruszarki (rys. 10). Jak wiadomo, produkcja takich kruszyw gruboziarnistych dla budownictwa czy drogownictwa jest niepożądana, ale stosując tę zasadę rozdrabniania można byłoby spożytkować ją do przygotowania półproduktów do procesu mielenia przy produkcji kruszyw bardzo drobnych (mączek) wykorzystując także inne współtowarzyszące maszyny jak np. wysoko-ciśnieniowe prasy walcowe (HPGR) (Gawenda, Saramak 2010; Naziemiec i in. 2010; Saramak 2011a, 2011b).

Zauważono, że w wyniku wielostadialnego rozdrabniania uzyskuje się mniejszą zawartość ziaren nieforemnych, których minimalny udział świadczy o lepszej jakości kruszyw (układ trójstadialny z kruszarkami udarowymi, według schematu – rys. 1). Najgorszą jakość kruszyw uzyskano w kruszarce szczękowej na I stadium rozdrabniania, zawartość ziaren nieforemnych wyniosła ponad 26%. Wartość ta po rozdrobnieniu w kruszarce udarowej zmalała do około 5%, co świadczy o dużym wpływie elementarnego działania kruszącego, jakim jest udar oraz jego dominacji nad ściskaniem w zakresie drobnego rozdrabniania (układ dwustadialny wyposażony w kruszarkę szczękową oraz udarową, według schematu – rys. 1). Można także zauważyć nieznaczną różnicę w ilości pyłów poniżej 1 mm, która jest efektem obecności ziaren nieforemnych o słabych parametrach wytrzymałościowych.

W celu uzyskania lepszej jakości kruszyw należy dążyć do stosowania wielostadialnych układów (Gawenda 2013). Im więcej stadiów rozdrabniania przechodzi surowiec tym w kolejnych stadiach staje się bardziej odporny na kruszenie, ale też wymaga zwiększenia zużycia energii w celu doprowadzenia do wymaganego uziarnienia. Świadczy o tym fakt, że kruszywa w wyniku wielostadialnego selektywnego rozdrabniania odznaczają się większą wytrzymałością. Najkorzystniejsze są tu kruszarki udarowe. Podobne efekty rozdrabniania uzyskano dla kruszyw z odpadów przywęglowych (Gawenda, Olejnik 2010).

Ponieważ badanym materiałem był żwir składający się z otoczków różnych typów litologicznych, należałoby przyjrzeć się dokładniej innym surowcom o monolitycznym składzie (np. wapień). Dalsze planowane badania będą obejmować problematykę doboru innych maszyn rozdrabniających (np. HPGR), przygotowujących nadawę do procesu mielenia do produkcji kruszyw bardzo drobnoziarnistych (np. mączek wapiennych).

Omawiany zarys metodyki badań dotyczący oceny efektów rozdrabniania surowców skalnych w różnych kruszarkach i stadiach kruszenia pokazuje podstawowe zasady doboru optymalnej pracy układów produkcji kruszyw zarówno dla budownictwa i drogownictwa czy przemysłu cementowo-wapienniczego, a także przygotowania rud do mielenia przed procesem wzbogacania. Efekty pracy optymalizowanych układów technologicznych powinny być rozważane w trzech aspektach, tj. ekonomicznym, ekolo-

gicznym i technologicznym (jakościowym). Zagadnienia te będą tematem kolejnych publikacji.

Artykuł jest wynikiem realizacji projektu badawczego MNiSW nr N N524 466139

LITERATURA

- Gawenda T., 2010a – Kruszarki wirnikowe udarowe w produkcji kruszyw mineralnych. Surowce i Maszyny Budowlane; Racibórz, Wyd. Branżowy Magazyn Przemysłowy, nr 4, s. 66–71.
- Gawenda T., 2010b – Problematyka doboru maszyn kruszących w instalacjach produkcji kruszyw mineralnych. Górnictwo i Geoinżynieria 2010 r. Polski Kongres Górniczy 2010, IX Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego, Kraków, nr 34, z. 4, s. 195–209.
- Gawenda T., 2011a – Identyfikacja modelowych układów technologicznych i ich wskaźników przeróbki mechanicznej kruszyw. Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych (nr POIG.01.03.01-00-001/09), praca realizowana w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, niepublikowane.
- Gawenda T., 2011b – Określenie typowych układów przerobczych budowlanych kruszyw żwirowo-piaskowych i łamanych. Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych (nr POIG.01.03.01-00-001/09), praca realizowana w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, niepublikowane.
- Gawenda T., 2011c – Metodyka doboru i oceny pracy maszyn rozdrabniających w przemyśle kruszyw mineralnych. Kruszywa. Katowice, Wyd. Elamed, s. 61–66.
- Gawenda T., 2013 – Analiza porównawcza mobilnych i stacjonarnych układów kruszyw mineralnych. Śródko-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. Rocznik Ochrony Środowiska t. 15 (w druku), Koszalin.
- Gawenda T., Saramak D., 2010 – Wysokociśnieniowe prasy walcowe w przemyśle wapieniczno-cementowym, Magazyn Autostrady: Budownictwo drogowo-mostowe, Katowice, Wyd. Elamed, nr 11, s. 81–86.
- Gawenda T., Olejnik T., 2008 – Produkcja kruszyw mineralnych z odpadów powęglowych w Kompanii Węglowej S.A. na przykładzie wybranych kopalń. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 24, z. 2/1, s. 27–42.
- Naziemiec Z., Gawenda T., 2006 – Ocena efektów rozdrabniania surowców mineralnych w różnych urządzeniach kruszących. VI Konferencja „Kruszywa Mineralne – surowce – rynek – technologie – jakość”, OWPW Wrocław–Szklarska Poręba, s. 83–94.
- Naziemiec i in. 2010 – Naziemiec Z., Saramak D., Gawenda T., 2010 – Prasy walcowe w przeróbce surowców mineralnych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Górnictwo i Geologia XIII. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s. 199–200.
- Saramak D., 2011a – Technological Issues of High-Pressure Grinding Rolls Operation in Ore Comminution Processes. Archives of Mining Sciences, Wyd. IMG PAN vol. 56, iss. 3.
- Saramak D., 2011b – The influence of chosen ore properties on efficiency of HPGR-based grinding circuits. Gospodarka Surowcami Mineralnymi z. 4, s. 33–44.
- Saramak i in. 2010 – Saramak D., Tumidajski T., Brożek B., Gawenda T., Naziemiec Z., 2010 – Aspekty projektowania układów rozdrabniania w przeróbce surowców mineralnych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 26, z. 4, s. 67–68.
- Zawada J., 1998 – Wstęp do mechaniki procesów kruszenia. Radom, Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji.

WPLYW ROZDRABNIANIA SUROWCÓW SKALNYCH W RÓŻNYCH KRUSZARKACH I STADIACH KRUSZENIA
NA JAKOŚĆ KRUSZYW MINERALNYCH

Słowa kluczowe

Kruszarki, układy wielostadialne, kruszywa mineralne

Streszczenie

Artykuł porusza problematykę optymalnego wykorzystania różnych kruszarek udarowych i szczękowych w różnych stadiach rozdrabniania układów technologicznych w celu uzyskania właściwej jakości kruszyw. We wstępie omówiono występujące w kruszarkach elementarne działania sił kruszących i ich związek z efektami rozdrabniania. Zwrócono uwagę, że celem artykułu jest zarysowanie metodyki badań przy różnych kombinacjach układów technologicznych (rys. 1) oraz rezultatów rozdrabniania (rys. 5–9, tab. 1, 2).

Objaśniono przyjęty plan badań, który składał się z trzech etapów. Pierwsza część badań dotyczyła warunków przemysłowego procesu produkcji kruszyw w austriackiej żwirowni Viecht, czyli pobrania prób z kruszarek udarowych listwowych, ich analizę i przygotowanie do dalszych badań. Druga część obejmowała kruszenie surowca oraz analizy produktów z kruszarki szczękowej oraz unikatowej kruszarki udarowej (laboratoria firmy SBM Mineral Processing w Laakirchen), natomiast trzecia część obejmowała kruszenie w kruszarce szczękowej oraz mielenie w młynku kulowym Bonda (laboratoria AGH w Krakowie). Trójczęściowy plan badań dał możliwość realizacji układów trój- i czerostadialnych (rozd. 2, rys. 1).

Do oceny efektów rozdrabniania w kolejnych stadiach kruszenia wykorzystano wskaźniki zawartości ziaren nieforemnych (wskaźnik płaskości), udział pyłów <1 mm w produktach, stopnie rozdrobnienia oraz zużycie energii, natomiast do oceny efektów rozdrabniania w ostatnim stadium rozdrabniania zastosowano wskaźnik udziału pyłu < 1 mm uzyskanego w mieleniu kruszywa w młynku Bonda przy 100 obrotach (rozd. 3, rys. 5–9, tab. 1, 2).

W podsumowującym rozdziale czwartym zwrócono uwagę na zalety oraz wady stosowania różnych kruszarek w różnych stadiach rozdrabniania. Stwierdzono, że dla produkcji kruszyw żwirowych gruboziarnistych wykorzystywanych w budownictwie czy drogownictwie najkorzystniejsze byłyby układy wielostadialne z kruszarkami udarowymi, ponieważ w nich uzyskuje się ziarna o wysokiej kubiczności i zwiększonej odporności na rozdrabnianie, natomiast kruszarki szczękowe w takim układzie można byłoby spożytkować w celu przygotowywania półproduktów do procesu mielenia przy produkcji kruszyw drobnoziarnistych (mączek).

THE INFLUENCE OF ROCK RAW MATERIALS COMMINUTION IN VARIOUS CRUSHERS AND CRUSHING STAGES
ON THE QUALITY OF MINERAL AGGREGATES

Key words

Crushers, multi-stage crushing circuits, mineral aggregates

Abstract

This article concerns the optimal utilization of various impact and jaw crushers at a variety of crushing stages of technological circuits in order to obtain suitable aggregates quality. The first part of the paper characterizes the basis of crushing forces occurring in the crusher and their relationship with comminution effects. The aim of the paper was to outline the research methodology for different variants of technological circuits (Fig. 1) and comminution effects (Figs 5–9, Tables 1 and 2).

This work also describes the accepted three-stage investigation programme. The first stage of the investigations concerns plant scale aggregates production in the Austrian gravel-pit Viecht namely, collecting samples of slat impact crusher products, sample analysis, and preparation for further investigations. The second stage includes crushing and analyses of product from a jaw crusher and the unique impact crusher (in the laboratory

of SBM Mineral Processing in Laakirchen), while the third part concerns crushing in a jaw crusher and grinding operations in a Bond's mill (AGH University of Science and Technology laboratories). This three-stage investigation programme enabled the realization of three and four-stage crushing circuits' performance analysis (Chapter 2, Fig. 1).

For an assessment of the crushing effects in consecutive comminution stages, it was necessary to determine the following: the indices of irregular particles content (the flatness index), the content of fine particles below 1 mm, the reduction ratio index, and the energy consumption; and for the assessment of crushing effects in the last comminution stage, the content of particles below 1 mm obtained in the Bond's mill at one hundred revolutions (Chapter 3, Figs 5–9, Table 1 and 2).

The summary section draws attention to the advantages and disadvantages of utilizing various crushing devices at different crushing stages. It was stated that for the production of coarse gravel aggregates used in the construction and road building industries multi-stage crushing circuits with impact crushers would be the most advantageous because they produce cubic particles with increased comminution resistance, while jaw crushers in such a circuit could be utilized in the preparation of semi-products for the grinding processes of fine aggregates (flours) production.

