

MOŻLIWOŚCI IDENTYFIKACJI WSKAŹNIKÓW TECHNOLOGICZNYCH PROCESÓW ROZDRABNIANIA W UKŁADACH PRODUKCJI KRUSZYW MINERALNYCH

POSSIBILITIES OF IDENTIFICATION OF TECHNOLOGICAL INDICES IN MINERAL AGGREGATES PRODUCTION SYSTEMS

Tomasz Gawenda - AGH w Krakowie, Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców

W artykule omówiono wpływ najważniejszych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych kruszarek na przebieg procesu rozdrabniania. Przedstawiono możliwości wyznaczania oraz oceny pracy układów technologicznych procesu rozdrabniania za pomocą różnych wskaźników technologicznych. Na podstawie analizy wybranych wskaźników efektywności energetycznej porównano przykładowe układy stacjonarne i mobilne produkujące różne kruszywa mineralne.

Słowa kluczowe: rozdrabnianie, kruszywa mineralne, wskaźniki technologiczne

The article discusses the impact of main structural and operational parameters of crushers on the crushing process run. There were presented the possibilities of determination and circuits performance evaluation by means of various technological indices. Based on the analysis of selected indices of energy effectiveness, there were compared exemplary fixed and mobile circuits for mineral aggregates production.

Key words: comminution, mineral aggregates, technological indices

Wstęp

Układy technologiczne przeróbki kruszyw mineralnych są determinowane zróżnicowanymi formami występowania surowców mineralnych w złożach. Również złożoność i stopień zaawansowania 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 i rodzajem zanieczyszczeń oraz przede wszystkim wymaganą jakością końcowych produktów pod względem wielkości granulometrycznej, kształtu ziaren i czystości gotowych kruszyw [2].

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. Układy wielostadialne są budowane z różnych maszyn rozdrabniających, których dobór może mieć zarówno pozytywny jak i negatywny wpływ na efekt końcowy procesu produkcji kruszyw [4].

Parametry technologiczne pracy kruszarek

Odpowiednio dobrane maszyny rozdrabniające wraz z ich parametrami eksploatacyjnymi w różnych układach technologicznych przeróbki surowców mineralnych pozwalają

osiągnąć produkty o odpowiednich udziałach poszczególnych klas ziarnowych i kształtach ziaren. Cechy konstrukcyjno-eksploatacyjne maszyn mają także wpływ na wydajność, zużycie elementów roboczych oraz energii elektrycznej. W badaniach wpływu typów maszyn rozdrabniających na skład ziarnowy został ustalony ich bezpośredni związek i dzięki temu jest możliwe wyprodukowanie kruszyw o określonej jakości [8].

Maszyny rozdrabniające posiadają elementy robocze wykonujące określony ruch kinematyczny i oddziałujący 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. 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 splekanych, zwietrzałych itp.

Fundamentalną cechą materiałów uziarnionych jest ich losowy charakter polegający na tym, że składy ziarnowe, petrograficzne i mineralogiczne są w złożu (a także w nadawach do procesów rozdrabniania) w szerokich granicach zmienne w sposób nieprzewidywalny. Na tę losowość nakłada się masowy

i także losowy przebieg procesu rozdrabniania, którego efekty są także losowe, chociaż w pewnym sensie determinowane parametrami pracy urządzeń rozdrabniających. Na procesy kruszenia wpływają wielkości wejściowe, zakłócające oraz wyjściowe (tab. 1).

Tab. 1. Charakterystyka wielkości determinujących efektywność procesu kruszenia
Tab. 1. Characteristic of parameters influencing the crushing process effectiveness

Wielkości wejściowe regulujące	Wielkości zakłócające	Wielkości wyjściowe
<ul style="list-style-type: none"> • natężenie przepływu surowca (nadawy), • wymiar szczeliny wylotowej lub rusztu kruszarki • prędkość obrotowa elementów roboczych kruszarki • ilość elementów roboczych kruszarki • kształt elementów roboczych • siła nacisku elementów roboczych kruszarki 	<ul style="list-style-type: none"> • skład ziarnowy nadawy • twardość surowca • wilgotność surowca • stan techniczny elementów roboczych 	<ul style="list-style-type: none"> • skład ziarnowy produktu kruszenia • wydajność kruszarki • energia jednostkowa pobierana przez silnik kruszarki

Przebieg procesu kruszenia, tzn. pękanie i przemieszczanie się materiału zależy głównie (poza właściwościami surowca – wielkości zakłócające) od konstrukcji maszyny i sposobu działania, w której występują skomplikowane zjawiska towarzyszące kruszeniu, a więc od ukształtowania przestrzeni roboczej i organów roboczych (np. powierzchni roboczych płyt kruszących, kształtu stożków, młotków, bijaków, położenia płyt odbojowych itd.), a następnie od cech kinematycznych maszyny.

Prawidłowo dobrana moc silnika wraz z optymalnym kształtem elementów roboczych do rozdrabnianych surowców skalnych umożliwi osiągnięcie wysokiej sprawności maszyny i uzyskania najlepszego wskaźnika faktycznego zużycia energii do mocy znamionowej.

Gabaryty kruszarek mają niewątpliwie duży wpływ na proces kruszenia, gdyż w dużych maszynach pękają bryły o znacznych wymiarach, a oddziaływania między tymi ziarnami nie mają wielkiego wpływu na siły i energię kruszenia [8]. W kruszarkach średnich i małych, a zwłaszcza w prasach walcowych wysokociśnieniowych, oddziaływania między

mniejzymi ziarnami kruszonymi mają znaczny wpływ na te wielkości, głównie w dolnych strefach przestrzeni roboczej, gdzie zachodzi zagęszczenie ośrodka [6,7].

Należy pamiętać, że nieodpowiednio dobrane parametry urządzenia mają wpływ na jego eksploatację np. zużycie energii

albo elementów roboczych, które w efekcie wpływają na jakość produktów. Tabela 2 przedstawia wpływ najważniejszych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych na efekty pracy kruszarek.

Ocena efektywności pracy układów technologicznych rozdrabniania

Wskaźniki technologiczne i eksploatacyjne oceny wyników rozdrabniania można podzielić na trzy grupy:

- wskaźniki określające zmiany najważniejszych właściwości materiału w procesach rozdrabniania (stopnie rozdrobnienia, stosunek maksymalnego ziarna produktu do wielkości szczeliny wylotowej),
- wskaźniki oceny jakości produktu rozdrabniania (uziarnienie produktu, wychód klasy ziarnowej, zawartość ziaren nieforemnych),
- wskaźniki charakteryzujące procesy pod względem wydajności, sprawności urządzenia, zużycia energii lub elementów roboczych maszyn.

Tab. 2. Wpływ najważniejszych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych na efekty pracy kruszarek
Tab. 2. Influence of main structural and operational parameters on the work effectiveness of crushers

Parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne	Efekty
Szczelina wylotowa	Zwiększenie powoduje: zwiększenie przepustowości (wydajności), zmniejszenie stopnia rozdrobnienia, wzrost grubszego uziarnienia produktu
Ruch złożony szczęki w stosunku do ruchu prostego	Wzrost zawartości ziaren nieforemnych tylko w drobnych klasach, wzrost udziału ziaren w grubych klasach, zwiększona wydajność, zwiększone zużycie szczęk
Szczęki o profilu rowkowanym w stosunku do szczęk gładkich	Wzrost zawartości ziaren foremnych, mniejsze zużycie energii, zwiększenie udziału klas drobnych, wzrost stopnia rozdrobnienia
Prędkość obrotowa wirnika	Zwiększenie powoduje: wzrost udziału drobniejszego uziarnienia produktu, zwiększenie stopnia rozdrobnienia, zwiększenie zużycia elementów roboczych, zwiększenie zużycia energii
Liczba płyt odbojowych i listew udarowych	Zwiększenie liczby powoduje: wzrost udziału drobniejszego uziarnienia, wzrost wydajności, zwiększenie stopnia rozdrobnienia, wzrost zużycia elementów roboczych, zwiększenie zużycia energii
Ciśnienie robocze walców	Zwiększenie powoduje wytworzenie większego ciśnienia międzyziarnowego co prowadzi do zwiększenia destrukcji ziaren, wzrostu udziału ziaren drobnych i wydajności, wzrostu zużycia elementów roboczych, zwiększenia zużycia energii

Ocena układów technologicznych rozdrabniania surowców mineralnych może odbywać się za pomocą analizy jakości efektów końcowych produktów, jak wielkość i kształt uziarnienia, a także wskaźników (technologicznych, energetycznych, ekonomicznych) charakteryzujących pracę urządzeń w danym układzie, które mogą być również zależne od siebie. Energochłonność procesu rozdrabniania zależy od właściwości fizyko-mechanicznych surowca oraz wydajności maszyn, która zależna jest od parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych urządzeń. Przy określaniu wydajności maszyny należy brać pod uwagę stopień rozdrobnienia uzyskany przy danym przerobie, a przy energochłonności ilość zużytej energii pozwalającą doprowadzić określoną jednostkę masy materiału do pożądanego uziarnienia w określonym czasie. Za pomocą takich wskaźników można oceniać lub porównywać ze sobą układy technologiczne rozdrabniania, ale przy wyborze właściwych urządzeń należy kierować się jeszcze kolejnym, bardzo ważnym wskaźnikiem, jakim jest żywotność elementów roboczych (koszty eksploatacyjne) [1, 2].

Proponowaną metodykę identyfikacji podstawowych wskaźników pracy dla wybranych układów technologicznych zaprezentowano w tabeli 3. Do celów porównawczych maszyn powinno się również odnotować parametry techniczno-konstrukcyjne maszyn, jak wielkość komory roboczej i szczeliny wylotowej, prędkość wirujących elementów roboczych, moc silnika.

Tab. 3. Możliwości wyznaczania podstawowych wskaźników pracy układów technologicznych rozdrabniania [3]
Tab. 3. Possibilities of determination of basic work indices for technological crushing circuits [3]

Wskaźniki	Zakres czynności do wyznaczenia wskaźników
Stopień rozdrobnienia S	Analizy sitowe nadawy i produktów, odczyt z krzywych składu ziarnowego
Wychód klasy γ , [%]	Analizy sitowe nadawy i produktów, odczyt z krzywych składu ziarnowego
Zawartość ziaren nieforemnych K , [%]	Analizy sitowe nadawy i produktów, analizy zawartości ziaren w produktach za pomocą sit szczelinowych lub suwmiarki Schultza
Wielkość ziarna do szczeliny wylotowej d/e	Analizy sitowe produktów, pomiar szczeliny wylotowej
Zużycie energii E , [kWh/Mg] lub oleju napędowego ON, [l/100 Mg] na 1 tonę przerobu	Odczyt z liczników rejestrujących pomiary
Wskaźnik jednostkowego zużycia energii (MJ) potrzebnej na rozdrobnienie 1 tony surowca przy jednokrotnym pomniejszeniu nadawy, W_p , [MJ/Mg]	Odczyt z liczników rejestrujących pomiary, analizy sitowe nadawy i produktów, odczyt z krzywych składu ziarnowego i wyznaczenie stopnia rozdrobnienia
Ścieralność (zużycie) elementów roboczych, Z , [g/Mg]	Odnotowanie masy ubytku elementów roboczych przy określonym przerobie
Koszt zużycia elementów roboczych K_z , [zł/Mg]	Odnotowanie kosztów zużycia elementów roboczych przy określonym przerobie
Wydajność (praktyczna) W_p , [Mg/h]	Odczyt z liczników rejestrujących pomiary
Wskaźnik ciężaru (masy) urządzeń przypadający na jednostkę wydajności, M	Odczyt z DTR urządzenia i odczyt wydajności

Analizy produktów rozdrabniania są podstawą do wyznaczania niektórych wskaźników pracy układów technologicznych, dzięki którym istnieje możliwość weryfikacji poprawności i zasadności działania maszyn w węzłach technologicznych przeróbki surowców mineralnych. W praktyce bardzo często wykorzystuje się takie metody informacji, także przy projektowaniu instalacji lub eksploatacji maszyn. Charakterystyki granulometryczne są bardzo pożytecznym elementem wyko-

rzystywanym i przydatnym w przypadku:

- obliczania stopni rozdrobnienia,
- obliczania wielkości zawrotów technologicznych,
- określania maksymalnej wielkości ziarna produktów rozdrabniania,
- ilościowo-jakościowego planowania, prognozowania uziarnienia produktów (obliczania wychodów poszczególnych klas ziarnowych),
- wyznaczania niektórych wskaźników zużycia energii w odniesieniu do stopnia rozdrobnienia,
- weryfikacji lub prawidłowego doboru kruszarki do właściwości materiału (wielkości uziarnienia i parametrów wytrzymałościowych),
- projektowania instalacji przeróbczej (doboru pozostałych urządzeń) i określenia ilości stadiów rozdrabniania.

Porównanie efektywności energetycznej wybranych układów produkujących różne kruszywa mineralne

W ocenie poprawności funkcjonowania instalacji przeróbczej oraz porównywania jej z innymi służą wskaźniki techniczno-technologiczne i ekonomiczne. Należy tu zaznaczyć, że uzyskane wyniki wpływające na interpretację analityczną porównywanych układów są w głównej mierze uzależnione od rzetelności odczytywania czy zbierania danych w zakładach przeróbczych i mogą być obciążone pewnymi błędami.

W tabeli 4 zestawiono wskaźniki z dziewięciu wybranych układów mobilnych i stacjonarnych produkujących różne kruszywa mineralne [1]. Dla układów mobilnych obliczono wskaźniki zużycia oleju napędowego, a dla stacjonarnych zużycie energii elektrycznej na tonę rozdrabnianego surowca. Zużycie paliwa w układach mobilnych wynosi od 0,14 do 0,25 l/Mg rozdrabnianego surowca, natomiast zużycie energii elektrycznej w stacjonarnych układach wynosi od 1,47 do 3,42

kWh/Mg w zależności od rodzaju rozdrabnianego surowca oraz kruszarki. Ponieważ układy rozdrabniają surowce o różnych zakresach wielkości uziarnienia oraz również produkują zróżnicowane produkty, dlatego do oceny efektywności takich układów zestawiono maksymalne stopnie rozdrobnienia. Instalacje mobilne to układy jednostadialne, a więc stopnie rozdrobnienia nie są wysokie i wahają się od 3,2 do 9,5. W przeciwieństwie do układów stacjonarnych dwu- i trójstadialnych stopnie rozdrobnienia mają większe wartości i wynoszą od 11,1 do 60. Stopień rozdrobnienia jest uzależniony od wielkości uziarnienia nadawy i uzyskiwanych produktów, właściwości fizyko-mechanicznych surowca i parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych maszyny. W przypadku tych branych pod uwagę urządzeń determinującymi parametrami są szczelina wylotowa i prędkość obrotowa wirnika. Również rodzaj układu decyduje o wielkości stopnia rozdrobnienia, a więc w układach zamkniętych (z zawrotem materiału) uzyskano większe stopnie rozdrobnienia niż w układach otwartych.

Dla celów porównawczych omawianych układów technologicznych zużycie paliwa oraz energii elektrycznej wyrażono za pomocą wskaźnika energetycznego w dżulach na tonę rozdrobnionego surowca. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono dla każdego układu kolejny wskaźnik jako iloraz zużycia energii i maksymalnego stopnia rozdrobnienia. Jest to więc wskaźnik mówiący o tym, jakie jest zapotrzebowanie energetyczne (MJ) na rozdrobnienie 1 tony surowca przy jednokrotnym pomniejszeniu tej nadawy. Im wartość wskaźnika jest mniejsza tym układ jest bardziej energooszczędny.

Analizując omawiane układy pod kątem energochłonności można łatwo zauważyć, że korzystniej jest stosować wielostadialne układy rozdrabniania i klasyfikacji. Wskaźnik jednostkowego zużycia energii potrzebnej na jednokrotne pomniejszenie nadawy o wartości 0,09 MJ/Mg odnotowano dla układu stacjonarnego dwustadialnego składającego się z dwóch kruszarek udarowych produkującego kruszywa dolomitowe. Instalacja tych maszyn tworzy układ zamknięty (z zawrotem materiału).

Tab. 4. Zestawienie wskaźników technologicznych układów mobilnych i stacjonarnych produkcji kruszyw [1]

Tab. 4. Technological indices of mobile and fixed circuits of aggregate production [1]

Układ	Zużycie paliwa na tonę, l/Mg	Koszt zużycia paliwa, zł/Mg	Zużycie energii elektrycznej, kWh/Mg	Koszt zużycia energii elektrycznej, zł/Mg	Stopień rozdrobnienia, S_{max}	Zużycie energii (E) na tonę, MJ/Mg	Wskaźnik*) $W_j = E/S_{max}$, MJ/Mg
Mobilny Remax, zamknięty	kruszywa wapienne, kr. udarowa listwowa RHS12/13 oraz przesiewacz						
	0,14	0,81	(1,48)	-	9,5	5,32	0,56
Mobilny otwarty	kruszywa wapienne, kr. szczękowa MC 120 Kleemann oraz przesiewacz						
	0,14	0,81	(1,48)	-	7	5,32	0,76
Mobilny otwarty	kruszywa dolomitowe, kr. szczękowa Terex Pegson Premiertrak 1100x650 oraz przesiewacz						
	0,25	1,47	(2,64)	-	5,8	9,50	1,64
Mobilny otwarty	kruszywa krzemionkowe, kr. szczękowa Extec C12 oraz przesiewacz						
	0,22	1,28	(2,32)	-	5,4	8,36	1,55
Mobilny otwarty	kruszywa kwarcytowe, kr. szczękowa LT110 oraz przesiewacz						
	0,20	1,16	(2,11)	-	3,2	7,60	2,38
Stacjonarny 3-stad. zamknięty	kruszywa kwarcytowe, kr. szczękowa C110, stożkowe HP400 i HP4 oraz przesiewacze						
	-	-	3,42	1,22	11,1	12,3	1,11
Stacjonarny 2-stad. zamknięty	kruszywa dolomitowe, kr. udarowe młotkowe, stożkowe HP5 oraz przesiewacze						
	-	-	1,89	0,68	60,0	6,8	0,11
Stacjonarny 2-stad. otwarty	kruszywa dolomitowe, kr. udarowe młotkowe, stożkowe HP5 oraz przesiewacze						
	-	-	1,47	0,52	40,0	5,3	0,13
Stacjonarny 2-stad. zamknięty	kruszywa dolomitowe, kr. udarowe młotkowe, udarowe listwowe NP oraz przesiewacze						
	-	-	1,47	0,52	60,0	5,3	0,09

Uwagi do tabeli 4:

Wartości podane w nawiasach dotyczą teoretycznego zużycia energii urządzeń zasilanych olejem napędowym po przeliczeniu kaloryczności paliwa (3,6 MJ=1 kWh). Przyjęty i oszacowany koszt zużycia energii elektrycznej wynosi 0,36 zł/Mg.

*) - Wskaźnik jednostkowego zużycia energii W_j (MJ) potrzebnej na rozdrobnienie 1 tony surowca przy jednokrotnym pomniejszeniu nadawy

Warto zauważyć, że spośród rozpatrywanych układów najkorzystniejsze okazały się układy z zawrotami zarówno stacjonarne jak i mobilne. Ciekawostką jest porównanie dwóch układów mobilnych produkujących kruszywa wapienne. Oba układy mają ten sam wskaźnik zużycia paliwa 0,14 l/Mg. Układ zamknięty z kruszarką udarową listwową SBM (tab. 4) rozdrabnia wapień karboński (wytrzymałość na ściskanie dochodzi do 150 MP), a więc twardszy niż w przypadku wapienia jurajskiego (wytrzymałość na ściskanie poniżej 90 MPa) rozdrabnianego w układzie otwartym z kruszarką szczękową Kleemann. Pomimo, że układ z zawrotem rozdrabnia twardszy surowiec, to stopień rozdrobnienia jest większy, a więc odnotowuje się mniejszy wskaźnik zapotrzebowania energetycznego o 0,20 MJ/Mg.

Podobne zależności występują dla układów otwartego i zamkniętego produkujących te same kruszywa dolomitowe (tab. 4) składających się z tych samych maszyn. Wskaźnik zużycia energetycznego dla układu zamkniętego wyniósł 0,11 MJ/Mg dla otwartego 0,13 MJ/Mg, poza tym zastosowanie zamkniętych układów kruszenia daje możliwości lepszego jakościowo uzyskania produktu w sposób kontrolowany, co stwierdzono w pracy [5].

Również układy rozdrabniające bardzo twarde kwarcyty w tym samym zakładzie przerobczym, wskazują jako korzystniejszy układ stacjonarny pod względem zapotrzebowania energetycznego, gdyż wskaźnik ten wynosi 1,11 MJ/Mg i jest mniejszy w porównaniu z układem mobilnym aż o 1,27 MJ/Mg (tab. 4).

Porównując trzy rodzaje stosowanych kruszarek, takich jak udarowe, szczękowe i stożkowe należy podkreślić, że najmniejszym jednostkowym zużyciem energii charakteryzują się kruszarki udarowe.

Podsumowanie

Do oceny procesów technologicznych rozdrabniania w układach produkujących kruszywa mineralne służą wskaźniki technologiczno-eksploatacyjne, które określają zmiany najważniejszych właściwości surowca i produktów oraz charakteryzują procesy pod względem wydajności, sprawności, zużycia energii i elementów roboczych maszyn.

Analizując procesy produkcji kruszyw mineralnych w wybranych układach mobilnych i stacjonarnych należy podkreślić, że najkorzystniej jest stosować wielostadialne układy rozdrabniania i klasyfikacji zwłaszcza z zawrotami materiału ze względu na niższą energochłonność. Również wykorzystywanie układów z zawrotem pozwala kontrolować przebieg procesu rozdrabniania poprzez dokruszanie produktu nadsitowego, a to w efekcie prowadzi do uzyskania lepszej jakości kruszyw (pożądane uziarnienie, mniejsza zawartość ziaren nieforemnych, mniejsza podatność na rozdrabnianie). Najmniejszym jednostkowym zużyciem energii charakteryzują się kruszarki udarowe w stosunku do kruszarek szczękowych i stożkowych.

Jednostki mobilne zazwyczaj zabudowywane są pojedynczymi kruszarkami tworzące układy jednostadialne otwarte. Są najczęściej stosowane w zakładach o małych przerobach lub współpracują z większymi zakładami stacjonarnymi. Ich zwiększone zapotrzebowanie energetyczne rekompensowane jest ich uniwersalnością, łatwym dopasowaniem się do zmiennych warunków eksploatacyjno-produkcyjnych, co znacznie usprawnia organizację produkcji.

Układy wielostadialne zabudowywane są w instalacjach stacjonarnych, w których jednostkowe zużycie energetyczne jest najmniejsze. Jeśli stosowane są w zakładach o dużych wydajnościach, to wymagają one jednak zabudowy stosunkowo większej liczby urządzeń, czasami równolegle instalowanych, a więc także większych kosztów inwestycyjnych. Zaletą takich układów jest brak przestojów produkcyjnych w przypadku awarii jednego urządzenia.

Praca została wykonana w ramach projektu pt. „Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych (nr POIG.01.03.01-00-001/09)” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach PO Innowacyjna Gospodarka.

Literatura

- [1] Gawenda T., *Analiza porównawcza mobilnych i stacjonarnych układów technologicznych przesiewania i kruszenia*. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Rocznik Ochrona Środowiska Koszalin, tom 15. Rok 2013a (Annual Set of Enviroment Protection, Volume 15. Year 2013a)
- [2] Gawenda T., *Wpływ rozdrabniania surowców skalnych w różnych kruszarkach i stadiach kruszenia na jakość kruszyw mineralnych*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi Polska Akademia Nauk. Komitet Gospodarki Surowcami Mineralnymi; ISSN 0860-0953 Tom 29, zeszyt 1, Kraków 2013b
- [3] Gawenda T., *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, 2011 rok
- [4] Gawenda T., *Problematyka doboru maszyn kruszących w instalacjach produkcji kruszyw mineralnych*, *Górnictwo i Geoinżynieria*, Polski Kongres Górnicy 2010, IX Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego: 34 z. 4 s. 195–209. Kraków, 2010

- [5] Naziemiec Z., Gawenda T., *Badanie procesu kruszenia z zamkniętym obiegiem*. Kruszywa mineralne: surowce – rynek – technologie – jakość, Szklarska Poręba, 18–20 kwietnia 2007 r. Wrocław Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej; nr 119. Seria: Konferencje; nr 48, s. 107–116 Wrocław 2007
- [6] Saramak D., Tumidajski T., Brożek B., Gawenda T., Naziemiec Z., *Aspekty projektowania układów rozdrabniania w przeróbce surowców mineralnych*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Wydawnictwo IGSMiE PAN; t. 26 z. 4 s. 59–69. Kraków, 2010
- [7] Saramak D., *Technological issues of high-pressure grinding rolls operation in ore comminution processes*, Archives of Mining Sciences, vol. 56 (3), pp. 517-526, 2011
- [8] Zawada J., *Wstęp do mechaniki procesów kruszenia*. Radom 1998



fol. A. Grześkowiak

Wydobycie kopalni Chwałków – przygotowanie do strzelania