

*składowiska odpadów kopalnianych,  
rekultywacja, klasyfikator pulsacyjny*

Piotr MATUSIAK, Daniel KOWOL<sup>1</sup>

## **ZASTOSOWANIE OSADZARKOWEGO PROCESU WZBOGACANIA DO ODZYSKU SUROWCA ZE SKŁADOWISKA ODPADÓW GÓRNICZYCH**

Składowiska odpadów kopalnianych stanowią źródło materiałów użytecznych. Znajdująca się w nich substancja organiczna może jednak w znaczący sposób ograniczać możliwość ich pozyskania i powtórnego wykorzystania. W procesie rekultywacji stosowane są zatem metody wzbogacania, które umożliwiają otrzymanie kruszywa alternatywnego oraz energetycznego koncentratu węglowego o wysokich parametrach jakościowych.

W artykule przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań możliwości zastosowania grawitacyjnego procesu wzbogacania do odzysku materiałów użytecznych z hałd. Zaprezentowano również wyniki przemysłowych badań, weryfikujących rozdział materiału odpadowego w klasyfikatorze pulsacyjnym.

### 1. WSTĘP

Efekt ubocznym, silnie związanym z prowadzeniem eksploatacji kopalni użytkowych, jest zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Powoduje ono zagrożenia wynikające z lokowania na hałdach (składowiskach) odpadów. Tylko na terenie Śląska, na hałdach zalega ponad 100 mln Mg odpadów kopalnianych. Są to gromadzone latami odpady przerobcze i wydobywcze, powstałe podczas eksploatacji i wzbogacania węgla kamiennego (Korban 2011). W wyniku niskiej skuteczności procesów wzboga-

<sup>1</sup> Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 44-101 Gliwice, ul. Pszczyńska 37  
patusiak@komag.eu, dkowol@komag.eu

cania, szczególnie do połowy XX w., na składowiska trafiało wraz ze skałą płoną, stosunkowo dużo węgla.

W warunkach braku odpowiedniego zagęszczenia materiału na składowiskach, węgiel może ulegać samozapłonowi, a w konsekwencji powstaje zagrożenie zanieczyszczenia atmosfery gazami (CO, CO<sub>2</sub>) oraz niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych chlorkami i siarczkami, wymywanymi ze składowisk (Góralczyk i in. 2009; Kowol i in. 2016; Matusiak i in. 2016).

Rekultywacja składowisk odpadów kopalnianych prowadzona jest w celu odzysku i zagospodarowania terenów, które w wyniku ww. zagrożeń wydawały się być stracone dla środowiska i niemożliwe do innego użytkowania (Kozioł & Kawalec 2008).

Składowiska kopalniane (hałdy) traktowane są także coraz częściej jako wtórne złoża materiałów użytecznych. Zawarty w nich węgiel może jednak ograniczać ich bezpośrednie wykorzystywanie. Zastosowanie metod, które umożliwiają wydzielanie z nich ziaren organicznych, pozwala na produkcję tzw. kruszywa wtórnego oraz dodatkowo energetycznego koncentratu węglowego (Kowol i in. 2015; Matusiak i in. 2016).

W zależności od jakości kruszywa wtórnego może być ono wykorzystane do:

- mieszanek do tworzenia betonu,
- budowy nasypów,
- budowania warstw mrozoodpornych, odsączających,
- zasypki obiektów inżynierskich,
- makroniwelacji terenów,
- rekultywacji terenów,
- budowy wałów przeciwpowodziowych,
- utwardzania nawierzchni gruntowych,
- zimowego utrzymania dróg (Galos & Szlugaj 2012; Góralczyk i in. 2009; Kozioł i in. 2015).

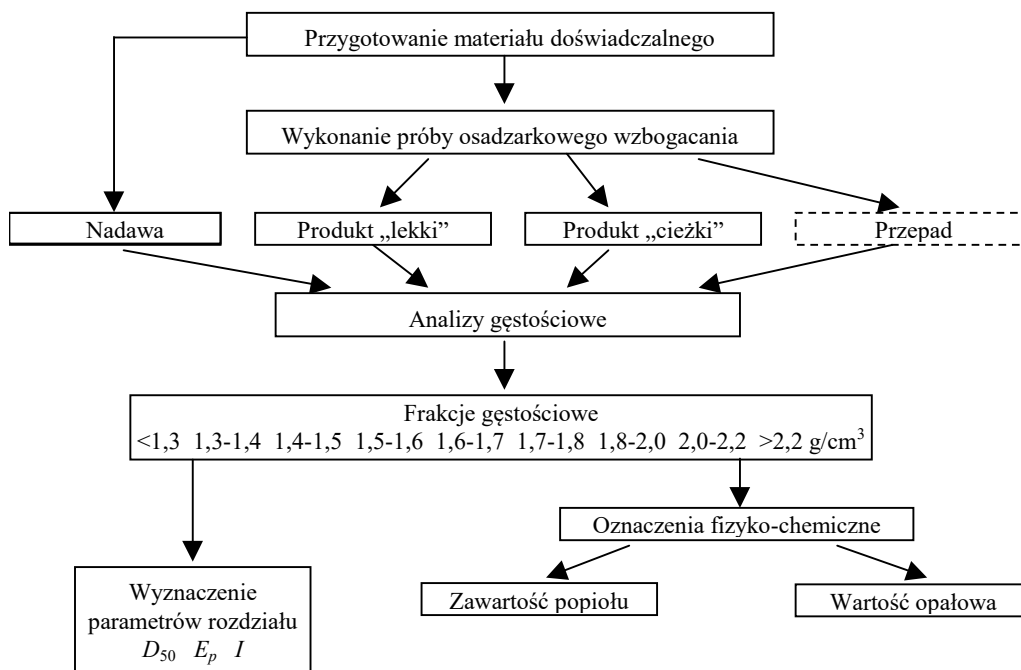
Produkcja kruszyw wtórnych wpisuje się zatem w podstawowe cele gospodarki odpadami, które polegają na minimalizacji wielkości odpadów, minimalizacji ich wpływu na środowisko i odzysku zgodnym z zasadami ochrony środowiska (Kozioł & Kawalec 2008; Machniak & Kozioł 2014). W niniejszym artykule, w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych i przemysłowych, przedstawiono metodę pozyskiwania produktów użytecznych ze składowisk kopalnianych za pomocą procesu grawitacyjnego wzbogacania w pulsującym ośrodku wodnym (Kowol i in. 2015, 2016; Matusiak i in. 2016).

## 2. BADANIA LABORATORYJNE PROCESU WZBOGACANIA ODPADÓW

### 2.1. METODA BADAŃ

W celu sprawdzenia możliwości zastosowania osadzarkowego procesu wzbogacania do rozdziału odpadów kopalnianych i odzysku z nich materiałów użytecznych wykonano badania laboratoryjne na stanowisku doświadczalnym w ITG KOMAG (Kowol i in. 2015). Badano próbki materiału odpadowego w klasie ziarnowej 4-30 mm, pobrane ze składowiska odpadów kopalnianych w Przechlebiu. Algorytm metody badań laboratoryjnych przedstawiono na rysunku 1. Podczas próby technologicznej pobrany materiał podlegał rozdziałowi na dwa produkty: „lekki” (węgiel) i „ciężki” (kruszywo) oraz produkt uboczny – przepad drobnych ziaren przez sito.

Rozdział materiału surowego na produkty w osadzarce realizowano w pojedynczej komorze roboczej z pochylonym, w kierunku przepływu materiału, poliuretanowym sitem szczelinowym o wielkości szczeliny 2,5 mm.



Rys. 1. Algorytm przeprowadzonych badań laboratoryjnych  
Fig. 1. Algorithm of laboratory tests

Następnie nadawę oraz główne produkty wzbogacania poddano analizie w cieczach ciężkich o gęstości 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0 i 2,2 g/cm<sup>3</sup>. Określono składy gęstościowe i wyznaczono wartości podstawowych parametrów, charakteryzujących proces rozdziału oraz jego skuteczność (gęstość rozdziału, rozproszenie prawdopodobne,

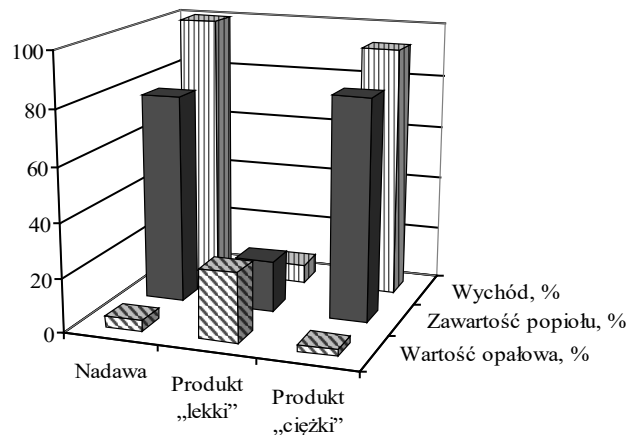
imperfekcja). Dodatkowo w celu określenia parametrów jakościowych nadawy i produktów wzbogacania dla poszczególnych frakcji gęstościowych wykonano oznaczenia zawartości popiołu i wartości opałowej.

## 2.2. WYNIKI BADAŃ

Nadawa przeznaczona do wzbogacania charakteryzowała się zawartością popiołu równą 77,46% oraz wartością opałową 4,13 MJ/kg. Udział ziaren frakcji o gęstości  $>1,8 \text{ g/cm}^3$  wynosił 88,67%, frakcji o gęstości  $<1,5 \text{ g/cm}^3$  – 5,63%, a ziaren pośrednich ( $1,5\text{--}1,8 \text{ g/cm}^3$ ) – 5,70%.

Tab. 1. Parametry nadawy i produktów wzbogacania  
(składowisko odpadów pokopalnianych w Przechlebiu) – badania laboratoryjne  
Tab. 1. Parameters of feed and beneficiation products  
(mine waste dump site in Przechlebie) – laboratory tests

Gęstość frakcji [ $\text{g/cm}^3$ ]	Nadawa wychód frakcji [%]	Produkt „lekki” wychód frakcji [%]	Produkt „ciężki” wychód frakcji [%]
$<1,5$	5,63	76,30	0,38
1,5–1,8	5,70	16,84	4,87
$>1,8$	88,67	6,86	94,75
suma	100,00	100,00	100,00
wychód produktu	100,00	6,92	93,08
zawartość popiołu	77,46	18,82	81,89
wartość opałowa [ $\text{MJ/kg}$ ]	4,13	25,68	2,52



Rys. 2. Parametry nadawy i produktów wzbogacania  
(składowisko odpadów pokopalnianych w Przechlebiu) – badania laboratoryjne  
Fig. 2. Parameters of feed and beneficiation products  
(mine waste dump site in Przechlebie) – laboratory tests

W wyniku procesu wzbogacania materiału w osadzarce laboratoryjnej uzyskano produkt „lekki” o średniej zawartości popiołu 18,82% i wartości opałowej 25,68 MJ/kg oraz wychodzie 6,92%.

Produkt „ciężki”, o wychodzie 93,08%, charakteryzował się bardzo małym udziałem ziaren węglowych – 0,4%. Konsekwencją tego była wysoka zawartość popiołu wynosząca 81,89 % oraz niska wartość opałowa 2,52 MJ/kg.

Parametry nadawy i produktów osadzarkowego wzbogacania w warunkach laboratoryjnych zestawiono w tabeli 1 i graficznie przedstawiono na rysunku 2.

Wychód odprowadzanych drobnych ziaren przez szczeliny sit (produkt przepadu) wyniósł 3,3%, a zawartość popiołu w nim była równa 87,1%.

Wykazano, że proces wzbogacania materiału w osadzarce laboratoryjnej był realizowany ze skutecznością, charakteryzowaną przez imperfekcję  $I = 0,153$  oraz rozproszenie prawdopodobne  $E_p = 0,081 \text{ g/cm}^3$ , przy gęstości rozdziału  $d_{50} = 1,533 \text{ g/cm}^3$ .

### 3. KLASYFIKATOR PULSACYJNY K-102

Doświadczenia Instytutu Techniki Górniczej w konstruowaniu osadzarek pulsacyjnych do wzbogacania węgla kamiennego umożliwiły opracowanie i udoskonalenie maszyny do rozdziału i oczyszczania kruszywa – klasyfikatora pulsacyjnego.

Podstawą procesu rozdziału materiału w klasyfikatora pulsacyjnym jest jego rozwarstwienie w pulsacyjnym ośrodku wodnym, na pokładzie sitowym, według gęstości i rozmiaru ziaren.

Dotychczasowe wdrożenia klasyfikatora pulsacyjnego w kopalniach kruszyw potwierdziły jego zalety, do których zaliczyć można wysoką skuteczność rozdziału wzbogacanego (oczyszczanego) materiału

Urządzenie jest wykorzystywane do wydzielania z kruszywa zanieczyszczeń w postaci korzonków roślinnych, drewna, węgla kamiennego oraz ziaren kredowych i węglanowych (Kowol & Matusiak 2015; Matusiak & Kowol 2013).

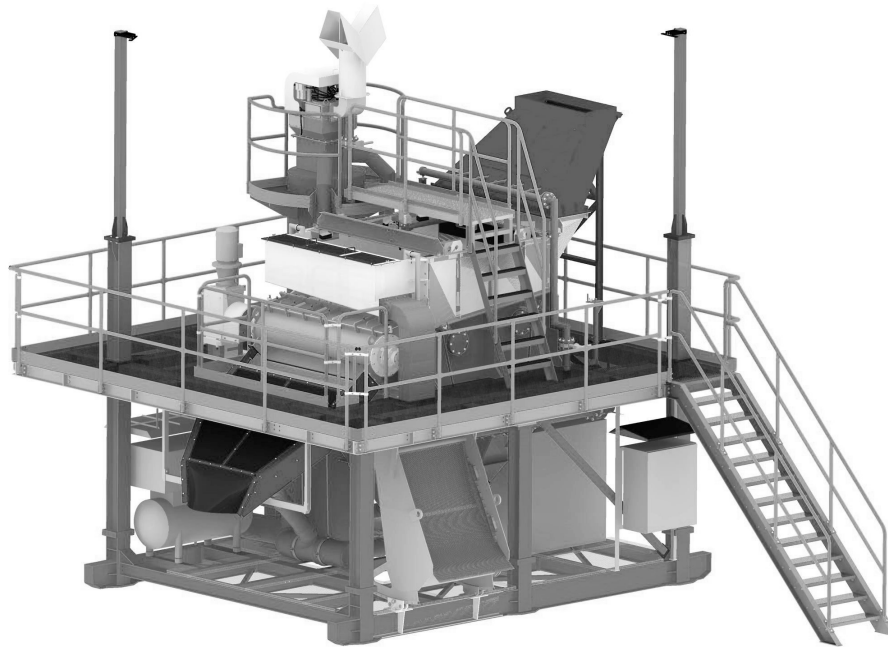
Opracowano typoszereg klasyfikatorów pulsacyjnych, pozwalający na dobór odpowiedniego urządzenia do oczekiwanej wydajności. Podstawowe parametry klasyfikatorów typu KOMAG zestawiono w tabeli 2.

Prowadzone prace badawcze i modernizacyjne umożliwiały rozwój urządzenia i rozszerzanie zakresu jego zastosowania (Matusiak i in. 2012; Matusiak & Kowol 2012; Kowol & Matusiak 2014; Kowol i in. 2012, 2013).

Nowym kierunkiem, wynikającym z zapotrzebowania rynku, jest zastosowanie klasyfikatorów pulsacyjnych do przetwarzania odpadów z hałd kopalnianych. Zmodernizowane urządzenie – klasyfikator K-102, pokazano na rysunku 3.

Tab. 2. Podstawowe parametry techniczne klasyfikatorów typu KOMAG  
 Tab. 2. Main technical parameters of KOMAG jigs

Typ klasyfikatora		K-60	K-80	K-100 (K-101)	K-102	K-150	K-200
wydajność nominalna	[Mg/h]	60	80	100	100	150	200
całkowita powierzchnia robocza	[m <sup>2</sup> ]	ok. 2,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0	ok. 4,0
zapotrzebowanie mocy	[kW]	22,5	30,5	30,5	42	42	42
zapotrzebowanie wody	[m <sup>3</sup> /h]	120–140	140–170	150–200	150–250	250–300	300–320
ciśnienie wody	[MPa]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
masa klasyfikatora z konstrukcją mobilną	[kg]	ok. 15 000	ok. 18 000	ok. 19 000	ok. 25 500	ok. 21 500	ok. 21 900
masa klasyfikatora bez konstrukcji mobilnej	[kg]	ok. 7500	ok. 9150	ok. 9950	ok. 11 500	ok. 12 600	ok. 13 000



Rys. 3. Klasyfikator pulsacyjny K-102 do wzbogacania odpadów z hałd kopalnianych na mobilnej konstrukcji

Fig. 3. K-102 pulsating classifier for beneficiation of wastes from mine heaps on a mobile structure

Klasyfikator pulsacyjny K-102 wyposażono w nowoczesny system sterowania typu KOMAG, który umożliwia dobór parametrów pracy urządzenia do wymagań parametrów ilościowo-jakościowych produktów rozdziału.

#### 4. BADANIA PRZEMYSŁOWE WERYFIKUJĄCE PROCES WZBOGACANIA

##### 4.1. METODA BADAŃ

Badania weryfikujące skuteczność przemysłowego wzbogacania z zastosowaniem klasyfikatora pulsacyjnego K-102 przeprowadzono na składowisku odpadów pokopalnianych w Przechlebiu (Kowol i in. 2016; Matusiak i in. 2016).

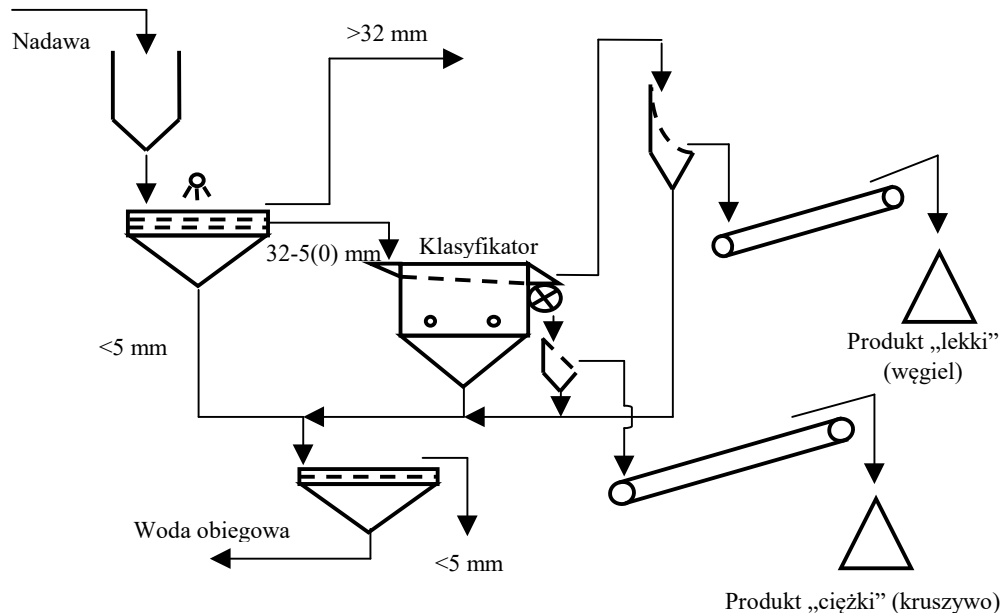


Rys. 4. Klasyfikator pulsacyjny K-102 zabudowany w instalacji do rekultywacji składowiska pokopalnianego

Fig. 4. K-102 pulsating classifier in the installation for reclamation of mine waste dump

Materiał surowy (nadawę), o uziarnieniu 5(0)-32 mm, pobierano z wylotu dwupołkowego przesiewacza, zabudowanego przed klasyfikatorem. Produkt „lekki” pozyskiwano po jego wstępnym odwodnieniu, na wylocie sita łukowego, natomiast produkt „ciężki” na wysypie z obrotowego odbieralnika klasyfikatora. Nie analizowano ubocznego produktu rozdziału – przepadu drobnych ziaren przez sita.

Schemat technologiczny węzła wzbogacania odpadów kopalnianych pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat technologiczny węzła wzbogacania odpadów kopalnianych na składowisku w Przechlebiu  
 Fig. 5. Technological layout of the node of beneficiation of mine wastes on a dump site in Przechlebie

Pobrane próby, po odmuleniu (usunięciu ziaren  $<0,5$  mm), poddawano analizom gęstościowym w cieczach ciężkich o gęstości 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8 i  $2,0 \text{ g/cm}^3$ . Wyznaczono wartości parametrów charakteryzujących proces rozdziału oraz jego skuteczność: gęstość rozdziału  $d_{50}$ , rozproszenie prawdopodobne  $E_p$  i imperfekcję  $I$ . Dodatkowo, w celu określenia parametrów jakościowych nadawy i produktów wzbogacania, wykonano oznaczenia zawartości popiołu i wartości opałowej.

#### 4.2. WYNIKI BADAŃ

Nadawa przeznaczona do wzbogacania charakteryzowała się zawartością popiołu 77,91% oraz wartością opałową 4,44 MJ/kg. Udział ziaren frakcji o gęstości  $>1,8 \text{ g/cm}^3$  wyniósł 90,53%, frakcji o gęstości  $<1,5 \text{ g/cm}^3$  – 5,25%, a ziaren pośrednich ( $1,5$ – $1,8 \text{ g/cm}^3$ ) – 4,22%. W efekcie rozdziału materiału w klasyfikаторze pulsacyjnym uzyskano produkt „lekki” o średniej zawartości popiołu 19,96% i wartości opałowej 26,16 MJ/kg oraz wychodzie 7,66%. Produkt „ciężki”, o wychodzie równym 92,34%, charakteryzował się śladową zawartością ziaren węglowych ( $<1,5 \text{ g/cm}^3$ ) – 0,15%,

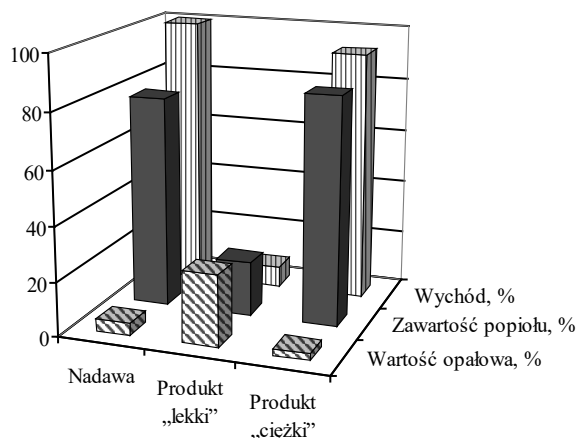


czego efektem była wysoka zawartość popiołu – 83,61% oraz niska wartość opałowa 2,45 MJ/kg.

Parametry nadawy i produktów osadzarkowego wzbogacania w warunkach przemysłowych zestawiono w tabeli 3 i graficznie przedstawiono na rysunku 6.

Tab. 3. Parametry nadawy i produktów wzbogacania  
(składowisko odpadów pokopalnianych w Przechlebiu) – badania przemysłowe  
Tab. 3. Parameters of feed and beneficiation products  
(mine waste dump site in Przechlebie) – industrial tests

Gęstość frakcji [g/cm <sup>3</sup> ]	Nadawa	Produkt „lekki”	Produkt „ciężki”
	wychód frakcji [%]		
<1,5	5,25	66,69	0,15
1,5-1,8	4,22	25,71	2,44
>1,8	90,53	7,60	97,41
suma	100,00	100,00	100,00
wychód produktu [%]	100,00	7,66	92,34
zawartość popiołu [%]	77,91	19,96	83,61
wartość opałowa [MJ/kg]	4,44	26,16	2,45



Rys. 6. Parametry nadawy i produktów wzbogacania  
(składowisko odpadów pokopalnianych w Przechlebiu) – badania przemysłowe  
Fig. 6. Parameters of feed and beneficiation products  
(mine waste dump site in Przechlebie) – industrial tests

Parametry dwuproduktowego wzbogacania odpadów kopalnianych wykazały wysoką skuteczność procesu – współczynnik imperfekcji wynosił  $I = 0,124$ , natomiast

rozproszenie prawdopodobne było równe  $E_p = 0,081 \text{ g/cm}^3$ , przy gęstości rozdziału wynoszącej  $d_{50} = 1,651 \text{ g/cm}^3$ .

## 5. PODSUMOWANIE

Składowiska odpadów kopalnianych (hałdy) powodują degradację środowiska naturalnego i mogą stwarzać zagrożenia: pożary, wydzielanie gazów do atmosfery oraz zanieczyszczenie wód. Rekultywacja pozwala na odzyskanie i nowe zagospodarowanie terenu oraz wyeliminowanie ww. zagrożeń.

Badania przeprowadzone w ITG KOMAG wykazały możliwość zastosowania procesu wzbogacania grawitacyjnego w pulsującym ośrodku wodnym do rozdziału odpadów kopalnianych, w wyniku którego pozyskiwane są dwa pełnowartościowe produkty.

Produkt o wysokiej gęstości i śladowych ilościach substancji organicznych może stanowić kruszywo alternatywne o szerokich możliwościach zastosowania. Drugi produkt, o wysokiej kaloryczności i niskiej zawartości popiołu, to energetyczny koncentrat węglowy.

Otrzymanie odpowiednich parametrów ilościowo-jakościowych produktów jest możliwe przez zastosowanie klasyfikatora pulsacyjnego K-102 – urządzenia sprawdzonego w procesach wzbogacania (oczyszczania) kruszyw. Składowiska odpadowe kopalniane mogą zatem stanowić źródło materiałów użytecznych.

## LITERATURA

- GALOS K., SZLUGAJ J., 2012, *Odpady z górnictwa i przeróbki węgla kamiennego, jako materiały do produkcji kruszyw mineralnych*, Cuprum nr 4 (65), 79–93.
- GÓRALCZYK S., MAZELA A., STANKIEWICZ J., FILIPCZYK M., 2009, *Przywęglowa skala płona – odpad czy surowiec?*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 125, Konferencje nr 35, 95–103.
- KORBAN Z., 2011, *Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK „X”*, Górnictwo i Geologia, t. 6, 109–120.
- KOWOL D. i in., 2012, *Optymalizacja parametrów procesowych oczyszczania nadaw żwirowych w klasyfikatorze pulsacyjnym w zależności od typu zanieczyszczeń i udziału ziaren piaskowych*, ITG KOMAG Gliwice, niepubl.
- KOWOL D. i in., 2013, *Dostosowanie parametrów technologiczno-konstrukcyjnych klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania trudnowzbogacalnych nadaw żwirowo-piaskowych*, ITG KOMAG Gliwice, niepubl.
- KOWOL D. i in., 2015, *Możliwości zastosowania klasyfikatora pulsacyjnego do rekultywacji terenu*, ITG KOMAG Gliwice, niepubl.
- KOWOL D. i in., 2016, *Analiza skuteczności grawitacyjnego rozdziału odpadów kopalnianych w warunkach przemysłowych*, ITG KOMAG Gliwice, niepubl.
- KOWOL D., MATUSIAK P., 2014, *Zastosowania klasyfikatora pulsacyjnego typu KOMAG do oczyszczania trudnowzbogacalnych surowców mineralnych*, Mining Science – Mineral Aggregates vol. 21(1), 99–108.

- KOWOL D., MATUSIAK P., 2015, *Badania skuteczności osadzarkowego oczyszczania kruszywa z zia-  
ren węglanowych*, Mining Science – Mineral Aggregates vol. 22(1), 83–92.
- KOZIOŁ W. i in., 2015, *Kruszywa w budownictwie. Część 2. Kruszywa alternatywne*, Nowoczesne  
Budownictwo Inżynieryjne, Wrzesień–Październik, 35–38.
- KOZIOŁ W., KAWALEC P., 2008, *Kruszywa alternatywne w budownictwie*, Nowoczesne Budownictwo  
Inżynieryjne, Lipiec–Sierpień nr 4, 34–37.
- MACHNIAK Ł., KOZIOŁ W., 2014, *Kruszywa alternatywne – baza zasobowa i kierunki wykorzystania  
w budownictwie*, Kruszywa nr 4, 28–33.
- MATUSIAK P. i in., 2012, *Nowe rozwiązania klasyfikatora pulsacyjnego do oczyszczania surowców  
mineralnych*, Maszyny Górnicze, nr 4, 49–53.
- MATUSIAK P. i in., 2016, *Nowe wdrożenia wzbogacalników pulsacyjnych typu KOMAG, KOMEKO  
2016, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineral-  
nych*, Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność, ITG KOMAG, Gliwice.
- MATUSIAK P., KOWOL D., 2012, *Klasyfikator pulsacyjny jako sprawdzone urządzenie do oczyszcza-  
nia surowców mineralnych*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 134, Studia i Materiały nr 41,  
191–199.
- MATUSIAK P., KOWOL D., 2013, *Możliwości poprawy jakości kruszywa poprzez zastosowanie klasyfi-  
katora pulsacyjnego typu KOMAG*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 136, Studia i Mate-  
riały nr 43, 109–118.

#### APPLICATION OF THE JIG BENEFICIATION OPERATION FOR MINERALS RECOVERY FROM MINING WASTE DEPOSITS

Mine waste dump sites can be the source of useful materials. However, organic substance, which is in these dump sites, can significantly limit the possibility of obtaining and re-using these materials.

Thus, beneficiation methods that enable obtaining the aggregate and steam coal concentrate of high quality are used during reclamation process.

The results of laboratory tests of possibilities of use of gravitational beneficiation to recover the useful materials from heaps are given. The results of industrial tests, verifying the separation of waste materials in pulsating classifier, are also given.

Keywords: *mining landfill, reclamation, pulse classifier*