



BEATA KLOJZY-KARCZMARCZYK*, JANUSZ MAZUREK**, KRZYSZTOF PAW***

Możliwości zagospodarowania kruszyw i odpadów wydobywczych górnictwa węgla kamiennego ZG Janina w procesach rekultywacji wyrobisk odkrywkowych

Wprowadzenie

Węgiel kamienny jest podstawowym surowcem w procesie produkcji energii w Polsce, stanowiącym o bezpieczeństwie energetycznym naszego kraju (m.in. [Dubiński i Turek 2012](#); [Grudziński 2012](#); [Gawlik red. 2013](#); [Szczerbowski 2013](#); [2015](#); [Kaliski i in. 2014](#); [Grudziński i Stala-Szlugaj 2015](#)). Wydobycie węgla kamiennego jest jednak ściśle związane z wytwarzaniem znaczących ilości odpadów wydobywczych. Proces ten stanowi nieodłączny element towarzyszący operacjom technologicznym, związanym z wydobyciem i wzbogacaniem urobku węglowego. Materiał odpadowy powstaje w procesach urabiania górotworu, wydobywania węgla oraz jego przeróbki i uzdatniania, a jego ilość zależy od szeregu czynników związanych z budową geologiczną górotworu, jakością złóż, metodami urabiania pokładów węglowych i technologią wzbogacania urobku (m.in. [Tumidajski i in. 2008](#); [Baic i Witkowska-Kita 2011](#); [Osoba 2011](#); [Galos i Szlugaj 2014](#)). W ostatnich latach znaczenie gospodarcze skał płonnych uległo zmianie i obecnie coraz częściej traktowane są one nie jak odpady, ale jako źródło surowców mineralnych do wykorzystania gospodarczego. Materiały te wykazują cechy charakterystyczne dla kopaliny towarzyszącej ([Galos i Szlugaj 2010](#)).

* Dr inż., ** Mgr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: beatak@min-pan.krakow.pl; e-mail: jan@min-pan.krakow.pl
*** Mgr, TAURON Wydobycie S.A., Jaworzno; e-mail: krzysztof.paw@tauron-wydobycie.pl

Ustawa o odpadach (Ustawa o odpadach 2013), wprowadzając hierarchię postępowania z odpadami, wskazuje w pierwszej kolejności konieczność zapobiegania powstawaniu odpadów, następnie procesy odzysku, a w ostateczności unieszkodliwianie odpadów. Zgodnie z tymi zapisami celowe jest stałe poszukiwanie nowych rozwiązań i doskonalenie istniejących, również w górnictwie węgla kamiennego, które pozwalałyby na coraz szersze gospodarcze wykorzystanie materiału, będącego ubocznym efektem wydobywania węgla. Takie postępowanie pozwala zminimalizować ilość powstających odpadów, jednocześnie zwiększając masę produktu stosowanego w różnych procesach gospodarczych. Odpady wytworzone, powinny natomiast zostać poddane procesom odzysku, a jedynie przy braku innych możliwości zeskładowane. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest wykorzystywanie niektórych rodzajów materiałów (zarówno jako odpad jak też produkt) do utwardzania terenów pod budowę dróg, zbiorników technologicznych, umocnień przeciwpowodziowych oraz do wypełniania rekultywowanych wyrobisk odkrywkowych (Góralczyk i Baic 2009; Szymkiewicz i in. 2009; Ostrenga i Uberman 2010; Baic i Witkowska-Kita 2011; Góralczyk red. 2011; Rosik-Dulewska 2012; Wróbel i in. 2012, 2013; Galos i Szlugaj 2010, 2014; Baic i in. 2015).

W Polsce obowiązuje szereg aktów prawnych odnoszących się w różnym stopniu do możliwości lokowania materiału skalnego, wytworzonego w procesie wydobywania węgla w środowisku, a celem nadrzędnym jest, aby lokowanie skały płonnej na powierzchni nie spowodowało szkody w środowisku. Analiza możliwości wykorzystania odpadów wydobywczych z produkcji węgla kamiennego lub produktów wytwarzanych na bazie skały płonnej (kruszyw) do celów rekultywacyjnych, jest zagadnieniem złożonym zarówno w sferze przepisów odnoszących się do jakości samego materiału, jak też w odniesieniu do potencjalnych zagrożeń możliwością zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego w wyniku jego użycia do wypełniania wyrobisk odkrywkowych. Obserwowane są ponadto zmiany uregulowań prawnych w zakresie gospodarowania odpadami i ochronie środowiska (m.in. Góralczyk i Baic 2009; Baic i Witkowska-Kita 2011; Góralczyk red. 2011; Korban 2011; Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2015; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016). Wypełnianie wyrobisk odkrywkowych odpadami wydobywczymi lub innym materiałem surowcowym na bazie skały płonnej, powinno się odbywać w sposób minimalizujący potencjalne zagrożenie dla środowiska. Zróżnicowane są tu zarówno wymagania przepisów prawnych jak i sposób postępowania przy lokowaniu odpadów i/lub kruszyw, jako produktu w zagłębieniach terenu. Wypełnianie wyrobiska poeksploatacyjnego materiałem obcym stanowi podstawowy etap fazy technicznej procesu rekultywacji w kopalniach górnictwa skalnego (Strzałkowski i Kaźmierczak 2014; Kaźmierczak i Strzałkowski 2015; Czekaj i Sobczyk 2015) i jest objęte odrębnymi uregulowaniami prawnymi (Bednarczyk 2015).

Praca obejmuje rozpoznanie i ocenę możliwości wypełniania odkrywkowych wyrobisk górniczych odpadami wydobywczymi lub innymi materiałami, np. kruszywami produkowanymi na bazie skały płonnej, pochodzącymi z Zakładu Górniczego Janina (TAURON Wydobywanie S.A.), również w przypadku ich lokalizacji w obszarze zawodnionym. Badania objęto kruszywo oraz muły węglowe z odwadniania na prasach filtracyjnych (tzw. placzki filtracyjne). Materiał do badań został pobrany przez próbobiórców kopalnianych. Ocena

odnosi się do aspektów prawnych oraz rozważa wymogi zapobiegania zanieczyszczeniu środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem gleb, wód powierzchniowych i podziemnych. Analizę możliwości potencjalnego oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne przedsięwzięcia, jakim jest rekultywacja wyrobiska odkrywkowego z wykorzystaniem surowców lub odpadów z górnictwa węgla kamiennego, oparto na badaniach zawartości siarki całkowitej oraz zawartości innych pierwiastków w próbkach, a także testach wymywalności zanieczyszczeń metodą statyczną. Wykonano również badania współczynnika filtracji i porowatości mułów węglowych, co pozwoliło na określenie ich przydatności do budowy warstw izolujących.

1. Gospodarka kruszywami i odpadami wydobywczymi

Odpady wydobywcze górnictwa węgla kamiennego to głównie skały płonne usuwane na etapie przygotowania złoża oraz odpady związane z wydobyciem i przeróbką tego surowca, a zaklasyfikowane do grupy 01 (m.in. Baic i Witkowska-Kita 2011; Góralczyk red. 2011; Bojarska i Bzowski 2012). Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie katalogu odpadów (Rozporządzenie MŚ 2014a) odpady powstające w trakcie robót górniczych i przygotowawczych to odpady o kodzie 01 01 02 – *odpady z wydobywania kopalni innych niż rudy metali*, a odpady powstające w trakcie przeróbki mechanicznej węgla to odpady o kodzie 01 04 12 – *odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopalni inne niż wymienione w 010407 i 010411* oraz o kodzie 01 04 81 – *odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla*.

Materiał odpadowy wytwarzany w ZG Janina to skała płonna i muły z bieżącej produkcji oraz odpady zdeponowane w osadnikach. Do odpadów pochodzących z robót górniczych, przygotowawczych, zalicza się te wytwarzane m.in. w trakcie drążenia nowych chodników i szybów. Odnaczają się one dużą zmiennością składu petrograficznego. Udział iłowców, piaskowców, mułowców i przerostów jest zróżnicowany i zależy od prowadzonych robót udostępniających. Skład ziarnowy tego materiału mieści się w przedziale 0–300 mm. Do grupy odpadów przerobczych należą natomiast: gruboziarniste odpady z płuczki w klasie ziarnowej 20–200 mm; średnioziarniste odpady z osadzarek w klasie ziarnowej 2–20 mm oraz drobnoziarniste odpady ze spiral w klasie ziarnowej 0,5–2,0 mm. Zawartość części organicznych w materiale odpadowym waha się w granicach od 42% w przypadku osadzarek do 60% w przypadku spiral, natomiast zawartość części mineralnych waha się odpowiednio od 58 do 40%. Do odpadów przerobczych należą również odpady mułowe. Odpady te pochodzą z pras komorowych i taśmowych. Są to odpady bardzo drobnoziarniste o uziarnieniu poniżej 0,5 mm. Pod względem petrograficznym odznaczają się znaczącym udziałem iłowców oraz węgla.

Generalnie na 1 Mg wydobytego węgla kamiennego przypada średnio 0,3 Mg materiału odpadowego. Roczne wytwarzanie przez Zakład Górniczy Janina kształtuje się na poziomie 1000–1400 tys. Mg (tab. 1). Należy zauważyć, że bez względu na to, jak zaawansowana jest technika i technologia wydobycia, materiał odpadowy zawsze będzie ubocznym produk-

tem działalności wydobywczej na terenie kopalń. Tak olbrzymie ilości odpadów stwarzają poważne problemy logistyczne i finansowe związane z ich unieszkodliwianiem poprzez składowanie i wymuszają podjęcie działań w celu ich produktywnego zagospodarowania. Niezmiernie istotnym zagadnieniem jest zatem poszukiwanie nowych rozwiązań, pozwalających w pierwszej kolejności na minimalizację wytwarzania odpadów poprzez produkcję materiału surowcowego z przeznaczeniem do zagospodarowania w różnych procesach, a w drugiej kolejności zwiększanie znaczenia procesów odzysku wytworzonych odpadów.

Tabela 1. Ilość wytworzonego materiału odpadowego ogółem (odpady wydobywcze oraz kruszywo łącznie) w ZG Janina w latach 2010–2015

Table 1. The amount of waste material produced in total (of the mining waste and aggregates in total) at the Janina Mine in the years 2010–2015

Rok	Materiał odpadowy wytwarzany w poszczególnych latach						razem w latach 2010–2015
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Masa wytworzona [tys. Mg]	1 097	1 184	1 032	1 277	1 255	1 390	7 235

Informacje: TAURON Wydobywanie S.A.

TAURON Wydobywanie S.A. realizuje politykę ograniczania wytwarzania odpadów wydobywczych poprzez zagospodarowanie dużej części produktów ubocznych procesu produkcji węgla i wytwarzania energii. Wyselekcjonowanie odpowiednich frakcji ziarnowych skały płonnej oraz połączenie ich z odpadami energetycznymi pozwala na ich wykorzystanie przy budowie dróg, autostrad czy budowli hydrotechnicznych. Aktualne kierunki wykorzystania kruszyw i odpadów z wydobycia i przeróbki węgla ZG Janina są przedmiotem kilku publikowanych prac (Szymkiewicz i in. 2009; Wróbel i in. 2012, 2013; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016a). Należy podkreślić, że produkcja kruszyw ze skały płonnej, towarzyszącej wydobyciu węgla kamiennego, pozwala na znaczące ograniczenie powstawania odpadów wydobywczych. Takie postępowanie doprowadziło w efekcie do zaprzestania wytwarzania odpadów o kodzie 01 01 02 w latach 2015–2016, przy jednoczesnym zdecydowanym zwiększeniu produkcji kruszyw w I połowie 2016 roku (tab. 2, rys. 1).

Pomimo szerokiej możliwości zagospodarowania kruszyw stosowanych obecnie, istotne jest rozwijanie i poszukiwanie nowych rozwiązań, chociażby związanych z zastosowaniem ich w procesach rekultywacyjnych. Istotne jest ponadto poszukiwanie nowych metod zagospodarowania powstających odpadów. Spośród grup odpadów dopuszczonych do odzysku w procesie rekultywacji, najszerze zastosowanie w rekultywacji wyrobisk odkrywkowych mogą mieć odpady o kodzie 01 01 02 oraz 01 04 12. Aktualne przepisy prawne, określające

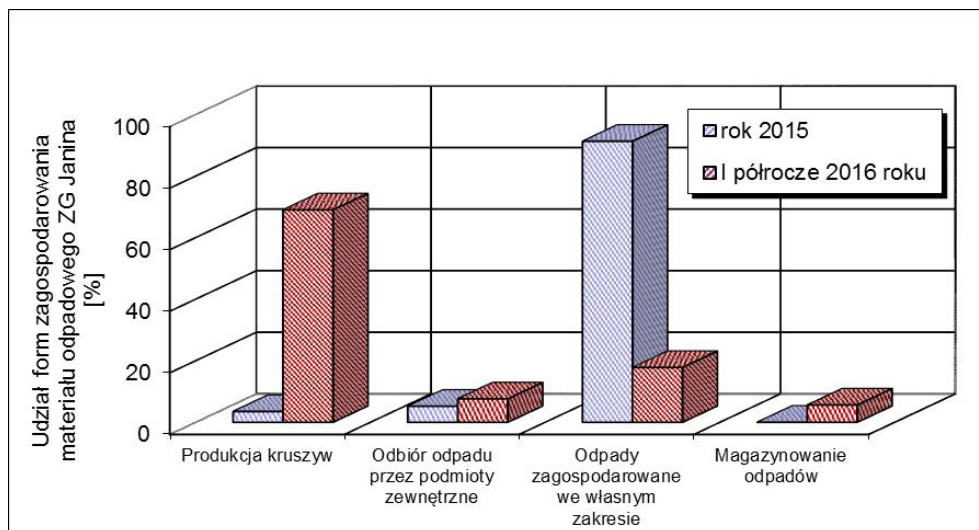
możliwości odzysku odpadów w procesie rekultywacji, to rozporządzenie w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Rozporządzenie MŚ 2015a) oraz rozporządzenie w sprawie procesu odzysku R10 (Rozporządzenie MŚ 2015b). Dla rekultywacji wyrobisk odpadami wydobywczymi podstawowe znaczenie posiada proces odzysku R5. Należy podkreślić, że wypełnianie terenów niekorzystnie przekształconych materiałem obcym lub własnym jest możliwe pod warunkiem, że działanie to nie spowoduje bezpośredniego zagrożenia szkodą w środowisku lub szkody w środowisku.

Tabela 2. Struktura wytwarzanego materiału odpadowego przez ZG Janina w latach 2015–2016

Table 2. The structure of the waste material produced by the Janina Mine in the years 2015–2016

Rodzaj materiału odpadowego	Kod odpadu	Rok 2015		I półrocze 2016 roku	
		tys. Mg	%	tys. Mg	%
Produkcja kruszyw	–	49	3,5	362	69,0
Odbiór odpadu przez podmioty zewnętrzne	01 04 12	72	5,2	40	7,6
Odpady zagospodarowane we własnym zakresie	01 04 12	1 269	91,3	93	17,8
Magazynowanie odpadów	01 04 12	0	0	30	5,6
Razem		1 390	100	525	100

Informacje: TAURON Wydobywie S.A.



Rys. 1. Zagospodarowanie materiału odpadowego wytwarzanego przez ZG Janina w latach 2015–2016

Fig. 1. Management of the waste material produced by the Janina Mine in the years 2015–2016

2. Analiza parametrów filtracyjnych materiału

2.1. Metodyka badań

Badaniami laboratoryjnymi objęto kruszywo o frakcji 0–30 mm (skała płonna) oraz muły węglowe z odwadniania na prasach filtracyjnych (nazywane plackami filtracyjnymi), pochodzące bezpośrednio z produkcji. Parametry filtracyjne materiału określono, opierając się na badaniach współczynnika filtracji próbek oraz ich porowatości.

Badania współczynnika filtracji (k) przeprowadzono metodą zmiennego gradientu (przy zmiennym spadku hydraulicznym) w edometrze średniowymiarowym, przystosowanym do badań próbek o średnicy 10 cm i wysokości początkowej 4,5 cm (laboratorium KHiG AGH). Oznaczenie parametru prowadzono przy średnim gradiencie hydraulicznym $i \sim 20$. Pomiaru współczynnika filtracji dla kruszyw oraz mułów węglowych dokonano po ustabilizowaniu się przepływu, tj. po około trzech dobach od chwili rozpoczęcia badania. W celu pełnego nasączenia próbki i usunięcia z niej powietrza, przepływ wody był skierowany od dołu ku górze. Porowatość próbek (współczynnik porowatości n) oznaczono i obliczono z wykorzystaniem pomiarów na porozymetrze rtęciowym (laboratorium INiG–PIB). Próbka kruszywa została przebadana dwukrotnie z uwagi na zróżnicowaną strukturę.

2.2. Analiza uzyskanych wyników

Ocena właściwości filtracyjnych skał jest inna w przypadku przepływów poziomych oraz pionowych. Skały uznane w hydrogeologii za praktycznie nieprzepuszczalne przy przepływach poziomych, w środowisku wodnym nie stanowią bariery dla przesiąkania pionowego wód z powierzchni terenu w głąb warstw wodonośnych. Dla gruntów mających stanowić bariery izolujące dla przesiąkania pionowego wprowadzono odrębną klasyfikację przepuszczalności (Witczak i Adameczyk 1994), według której grunty izolujące charakteryzują się współczynnikiem filtracji $k \leq 1,0 \cdot 10^{-10}$ m/s. Natomiast zgodnie z rozporządzeniem w sprawie składowisk odpadów (Rozporządzenie MŚ 2013) wymagany współczynnik filtracji dla naturalnej bariery geologicznej dla składowiska wynosi $1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Współczynnik filtracji kruszywa ZG Janina oznaczony został na poziomie $8,5 \cdot 10^{-3}$ m/s (tab. 3). Taka wielkość parametru nie spełnia kryteriów szczelności zarówno przy przepływach poziomych, jak też w przypadku przesiąkania pionowego wód infiltrujących. Zgodnie z klasyfikacją przepuszczalności gruntów jako barier izolujących przy przesiąkaniu pionowym, kruszywa należą do gruntów praktycznie nie izolujących. Natomiast współczynnik filtracji oznaczony dla mułów węglowych z odwadniania na prasach filtracyjnych, przyjmuje zdecydowanie niższe wartości i kształtuje się na poziomie $1,3 \cdot 10^{-9}$ – $9,4 \cdot 10^{-10}$ m/s (tab. 3). Materiał ten spełnia kryteria szczelności dla przepływów poziomych, jednak nie stanowi on w dalszym ciągu bariery izolującej dla przesiąkania pionowego i można go

zaliczyć do gruntów słabo izolujących przy obciążeniu 50 kPa. Osiągany współczynnik filtracji przy wzrastającym obciążeniu do 100 kPa pozwala zaklasyfikować materiał do gruntów średnio izolujących dla przesiąkania pionowego, a ponadto przyjmuje wartość rekomendowaną dla naturalnej bariery geologicznej uszczelniającej podłoże i ściany boczne różnorodnych składowisk odpadów. Analizowane muły węglowe wykazują podatność na zmiany wartości współczynnika filtracji w wyniku wzrostu obciążenia. Przyrost naprężenia normalnego (np. od nadkładu) wpływa zarówno na zmianę porowatości całkowitej, jak i na zmniejszenie się wymiarów porów (tj. spadku porowatości aktywnej). W praktyce, w warunkach naturalnych można przyjąć, że każdy metr miąższości nadkładu zwiększa naprężenie konsolidacyjne o 17–22 kPa, a w przypadku gruntów zawodnionych o 7–12 kPa (wartości naprężeń w ośrodku gruntowym według normy PN-81/B-03020). Można przyjąć, że stosowane obciążenie konsolidacyjne na poziomie 100 kPa odpowiada nadkładowi o miąższości 5–10 metrów w zależności od warunków.

Tabela 3. Współczynnik filtracji oraz współczynnik porowatości kruszyw oraz mułu węglowego ZG Janina

Table 3. Coefficient of permeability and porosity ratio of the aggregates and coal silts at the Janina Mine

Próbka	Badania współczynnika filtracji		Badania współczynnika porowatości		
	obciążenie konsolidacyjne [kPa]	współczynnik filtracji k [m/s]	porowatość otwarta n_o [%]	przestrzeń porowa $>1 \mu\text{m}$ [%]	
Kruszywo 0–30 mm (skała płonna)	50	$8,46 \cdot 10^{-3}$	7,6–9,8*	9–41*	
Muł węglowy z odwadniania na prasach filtracyjnych kod odpadu: 01 04 12	1	50	$1,26 \cdot 10^{-9}$	37,1	13
		100	$9,40 \cdot 10^{-10}$		
	2	50	$4,25 \cdot 10^{-9}$	no	no
		100	$1,36 \cdot 10^{-9}$		
	3	50	$4,75 \cdot 10^{-9}$	no	no
		100	$2,11 \cdot 10^{-9}$		

no – Nie oznaczano.

* Dotyczy fragmentów skalnych kruszywa.

Z danych literaturowych wynika, że odpady górnicze deponowane na składowiskach są materiałem różnorodnym (zróżnicowane właściwości fizykochemiczne, różny stopień zagęszczenia odpadów i sposób formowania składowiska), w związku z tym poszczególne składowiska charakteryzują się bardzo zmiennymi parametrami przepuszczalności. Generalnie składowiska odpadów górnictwa węgla kamiennego na obszarze GZW są dobrze przepuszczalne dla wody i nie stanowią bariery dla przenikania zanieczyszczeń do warstw wodonośnych, w podłoże składowiska. Współczynnik filtracji odpadów górniczych zmie-

nia się w szerokim zakresie od 10^{-3} do 10^{-8} m/s, przy czym zaobserwowano zmniejszanie się wartości współczynnika filtracji odpadów z upływem czasu, w okresie kilkunastu lat składowania na obiektach do tego przeznaczonych (Twardowska i in. 1988; Kłojzy-Karczmarczyk 2003; Gwoździwicz i Bukowska 2012). Wyniki uzyskane w pracy stanowią potwierdzenie informacji podawanych w literaturze.

Oznaczona porowatość otwarta fragmentów skalnych kruszywa ZG Janina z zastosowaniem porozymetru rtęciowego kształtuje się w granicach od 7,6 do 9,8% (współczynnik porowatości n_0) (tab. 3). Natomiast udział porów o średnicach $>1 \mu\text{m}$ jest zróżnicowany i mieści się w szerokich granicach od 9 do 41% całkowitej przestrzeni otwartej. Należy podkreślić, że w przypadku kruszyw, analiza porozymetryczna pozwoliła na określenie porowatości pojedynczych okruchów, a nie całej bryły deponowanego materiału. W rzeczywistości masa zdeponowanych kruszyw czy odpadów górniczych jest ośrodkiem heterogenicznym z silnie przepuszczalnymi kanałami oraz praktycznie nieprzepuszczalnymi okruchami mikroporowatymi. Dane literaturowe pokazują, że porowatość całej bryły składowiska odpadów górniczych jest wysoka i sięga 50% (Twardowska i in. 1988), co znajduje odzwierciedlenie w wielkości współczynnika filtracji. Rozpatrywanie problemu transportu masy w ośrodku porowatym wymaga jednak także uwzględniania zjawiska dyfuzji (m.in. Zuber i Motyka 1994; Motyka 1998). Przebadana próbka mułu węglowego wykazuje wysoką porowatość otwartą na poziomie 37% (tab. 3). O transporcie zanieczyszczeń decydują jednak pory w zakresie kapilarnym i nadkapilarnym ($d > 0,2 \mu\text{m}$). Udział porów o średnicach $> 1 \mu\text{m}$ kształtuje się na poziomie 13% całkowitej przestrzeni otwartej, co pozwala sądzić, że porowatość odpowiedzialna za transport wody i zanieczyszczeń jest niższa niż wyznaczona porowatość otwarta i może kształtować się na poziomie kilku–kilkunastu procent.

3. Analiza parametrów fizykochemicznych materiału

3.1. Metodyka badań

Analizę możliwości potencjalnego oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne przedsięwzięcia, jakim jest rekultywacja wyrobiska odkrywkowego z wykorzystaniem surowców lub odpadów z górnictwa węgla kamiennego, oparto na badaniach zawartości siarki całkowitej oraz innych pierwiastków w próbkach, a także na badaniu wymywalności zanieczyszczeń. Badaniami laboratoryjnymi objęto materiał odpadowy bezpośrednio z produkcji (wydobycia i przerobu materiału skalnego). Kruszywa oraz odpady przeznaczone do wypełniania wyrobisk nie powinny stanowić zagrożenia dla środowiska, a ich bezpieczeństwo można oszacować poprzez dotrzymanie wartości granicznych odpowiednich parametrów (Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2015). Założono, że materiały te powinny spełniać wymagania stawiane dla odpadów wydobywczych określone w rozporządzeniu w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Rozporządzenie

MŚ 2011) oraz rozporządzeniu w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Rozporządzenie MŚ 2002a). Maksymalna zawartość siarki siarczkowej w odpadach wydobywczych uznanych za obojętne może wynosić 0,1% lub 1%, jeżeli wskaźnik potencjału neutralizacji (NPR) jest większy niż 3. Wskaźnik ten, rozumiany jako stosunek potencjału neutralizacji do potencjału kwasowości, oznaczono dla analizowanych prób zgodnie z Polską Normą z roku 2011 (PN-EN 15875). Próbki przebadano zatem na obecność siarki oraz pozostałych składników wytypowanych do określenia charakteru odpadów wydobywczych, ujętych w cytowanych powyżej rozporządzeniach (tj. arsen, kadm, kobalt, chrom, miedź, rtęć, molibden, nikiel, ołów, wanad oraz cynk).

We wstępnym etapie badań analizie poddano jakość losowo wybranych kruszyw oraz mułu węglowego z odwadniania na prasach filtracyjnych. Próby pobrane w trzech przedziałach czasowych poddano zmieszaniu w celu uzyskania próby uśrednionej. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość całkowitą pierwiastków, a także wykonano badania wymywalności zanieczyszczeń z zastosowaniem testów statycznych (tab. 4). W dalszych badaniach, które pozwoliły na uszczegółowienie wniosków, analizie poddano łącznie 16 prób kruszywa ZG Janina pobieranych w ciągu pełnego roku (październik 2014 r.–październik 2015 r.) w całym zakresie ziarnowym (próby surowe bezpośrednio z taśmociągu), przy czym próby pobierano w odstępach 2–3 tygodniowych. Pobrano 15 prób materiału skalnego o masie około 200 kg każda i jedną próbę o masie około 100 kg (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016b). Pobrane próby surowe kruszywa rozsiano na 15 frakcji ziarnowych w zakresie: 0–6, 6–8, 8–10, 10–16, 16–20, 20–25, 25–30, 30–35, 35–40, 40–50, 50–60, 60–80, 80–120, 120–200 mm oraz powyżej 200 mm. Przeprowadzono badania zawartości siarki całkowitej w każdej frakcji wszystkich 16 prób (S_t^d – w suchej masie próbek, s.m.) (tab. 5, rys. 2). Następnie, na bazie pobranych prób kruszywa, wykonano w warunkach laboratoryjnych tzw. próbki wtórne, poprzez połączenie wszystkich frakcji o średnicach ziaren 20–200 mm (>20 mm) oraz 10–200 mm (>10 mm) w odpowiednich udziałach procentowych, wynikających z masy danej frakcji. W efekcie, skutkowało to usunięciem frakcji najdrobniejszych z każdej próby surowej. Dla tak spreparowanych próbek wykonano badania zawartości całkowitej oraz formy wymywalnej związków siarki oraz pozostałych pierwiastków (tab. 6).

Badania wymywalności związków zanieczyszczających prowadzono w każdym przypadku metodą statyczną za pomocą testów 1:10 (materiał : woda dejonizowana), zgodnie z Polską Normą z roku 2006 (PN-EN 12457-4). Uzyskane wyniki porównano z parametrami stawianymi w rozporządzeniach wydanych na podstawie ustawy Prawo wodne (Prawo wodne 2001), a dotyczących klasyfikacji wód podziemnych (Rozporządzenie MŚ 2016), wód powierzchniowych (Rozporządzenie MŚ 2002b), danego typu jakości ścieków (Rozporządzenie MŚ 2014) oraz (po odpowiednim przeliczeniu na wielkość wymywania) porównano je z rozporządzeniem w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowisku (Rozporządzenie MG 2015c). Należy zauważyć, że wyniki wymywalności (wielkość wymywania) zanieczyszczeń uzyskane metodą statyczną nie odzwierciedlają całkowitej ilości danego składnika mogącego ulec uruchomieniu z materiału (kruszywo, odpady) w środo-

wisku, w warunkach naturalnych. Pozwalają one jednak na uzyskanie przybliżonej oceny potencjalnego zagrożenia, jakie stwarza dla środowiska w danym czasie konkretny odpad (Rosik-Dulewska i Karwaczyńska 2008). Na składowiskach odpadów górniczych zachodzą procesy rozkładu siarczków. Jest to proces długotrwały rozciągający się na dziesiątki lat, a prowadzący do uruchamiania siarczanów i stałego ich wprowadzania do środowiska gruntowo-wodnego (m.in. Twardowska i in. 1988; Szczepańska i Krawczyk 1993; Gwoździwicz 2012). W przypadku produktów lub odpadów z sektora wydobywczego, duże znaczenie dla przewidywanego potencjalnego oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne wykazuje zatem zawartość siarki całkowitej, co znalazło odzwierciedlenie w rozporządzeniu, które pozwala zaklasyfikować odpady wydobywcze do odpadów obojętnych. Zaliczenie materiałów odpadowych do obojętnych jest podstawą do wyciągania wniosków o bezpieczeństwie ich deponowania w środowisku gruntowo-wodnym. Dane literaturowe pokazują, że na obszarze GZW udział siarki siarczkowej w ogólnej zawartości siarki wynosi średnio ~60% (Górecki 1985), często osiągając wartości 85–95% siarki całkowitej (Twardowska i in. 1988).

Badania zawartości siarki całkowitej w poszczególnych frakcjach prób surowych prowadzono metodą wysokotemperaturową (Laboratorium ZG Janina). Badanie zawartości całkowitej poszczególnych pierwiastków w próbkach wtórnych oraz ich zawartości w roztworach wodnych wykonano z zastosowaniem metody ICP OES (Laboratorium Hydrogeochemiczne AGH) oraz metody spektrofotometrycznej (Laboratorium IGSMiE PAN).

3.2. Wstępne badania materiału odpadowego

Na wstępnym etapie pracy ilość analizowanych prób została ograniczona do kilku. Można przyjąć, że zawartość siarki całkowitej w próbkach materiału odpadowego, bezpośrednio z produkcji, jest porównywalna z zawartością siarki siarczkowej. Za takim postępowaniem przemawia również fakt, że wymywalność siarczanów z analizowanych prób jest niska (tab. 4). Można stwierdzić, że kruszywa (skała płonna) oraz muły węglowe charakteryzują się zróżnicowaną zawartością siarki całkowitej. Najniższą wartość 0,016% wykazano dla kruszywa z przedziału ziarnowego 30–200 mm. Próbkę kruszywa w zakresie ziaren 0–30 mm charakteryzują się zawartością siarki na poziomie 0,6%. W analizowanych mułach węglowych zawartość siarki jest niższa i wynosi 0,15%. Badania wykazują, że wśród kruszyw oraz wśród mułów węglowych wyróżnia się próby, dla których zawartość siarki całkowitej jest niższa od 1%. Taką wartość graniczną można przyjąć w przypadku analizowanych prób kruszyw ze względu na osiągniętą wysoką wartość wskaźnika potencjału neutralizacji. Dla mułów węglowych, ze względu na niską wartość tego parametru, w tym przypadku jako wartość graniczną siarki należy przyjąć 0,1% (tab. 4).

Analiza całkowitej zawartości poszczególnych pierwiastków w kruszywach oraz mułach węglowych wykazała, że stężenia analizowanych zanieczyszczeń generalnie nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla gleb i gruntów grupy C, a w odniesieniu do grupy B występują jedynie pojedyncze przekroczenia kobaltu, chromu, niklu i wanadu (Rozpo-

Tabela 4. Wyniki badania zawartości całkowitej poszczególnych pierwiastków oraz ich formy wymywalnej w kruszywie oraz mulach z odwadniania na prasach filtracyjnych ZG Janina

Table 4. The total contents of individual elements and their leachable form in the aggregate and silts from dewatering on the filter presses at the Janina Mine

Wskaźniki	Zawartość całkowita [mg/kg s.m.]			Zawartość formy wymywalnej (test 1:10) [mg/dm ³]		
	kruszywo 0–30 mm	kruszywo 30–200 mm	muły węglowe	kruszywo 0–30 mm	kruszywo 30–200 mm	muły węglowe
Arsen (As)	11,7	1,8	15,9	<0,1	<0,1	<0,1
Kadm (Cd)	0,045	0,025	0,085	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Kobalt (Co)	20,6	14,3	10,6	no	no	no
Chrom (Cr)	1171,2	60,0	1482,4	0,0278	0,0368	0,0730
Miedź (Cu)	52,3	23,8	41,3	0,0020	0,0029	0,0043
Rtęć (Hg)	<0,01	0,01	<0,01	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Molibden (Mo)	<0,03	0,07	<0,04	<0,0003	0,0004	0,0026
Nikiel (Ni)	91,9	79,6	59,8	0,0018	0,0014	0,0034
Ołów (Pb)	49,3	17,1	33,9	<0,0001	0,0005	<0,0001
Wanad (V)	691,0	115,7	862,4	no	no	no
Cynk (Zn)	48,1	37,6	79,6	<0,010	<0,010	<0,010
Siarka (S)	6014,4	162,8	1477,6	122,6*	18,7*	74,2*
Chlorki (Cl)	no	no	no	176,3	188,7	452,3
NPR	no	7,20	0,53	–	–	–
pH	–	–	–	7,98	8,22	8,34
PEW [μ S/cm]	–	–	–	3 200	3 800	4 600

no – Nie oznaczano.

* Podano jako siarczany (SO₄²⁻).

Przekroczenie wartości dopuszczalnych (zaznaczono w szarych polach) zgodnie z zapisami odpowiednich rozporządzeń (Rozporządzenie MŚ 2011, 2002a, 2002b, 2014b, 2015c, 2016).

rządzenie MŚ 2002a). Analizy wyciągów wodnych (testy podstawowe 1:10) (tab. 4) wykonane z kruszyw wykazały, że oznaczone wskaźniki w roztworach spełniają wymagania dotyczące wartości granicznych stawianych dla środowiska wodnego (Rozporządzenie MŚ 2002b, 2016) oraz ścieków (Rozporządzenie MŚ 2014b). Szczególnie niska jest wymywalność siarczanów z kruszywa o wielkości ziaren 30–200 mm, która nie przekracza 20 mg/dm³. Wyciągi wodne z mulów węglowych charakteryzują się natomiast podwyższoną zawartością chlorków w odniesieniu do wymagań stawianych dla wód pitnych oraz wód dobrej jakości. W odniesieniu do wymagań stawianych odpadom dopuszczonym do

składowania na składowiskach odpadów obojętnych (Rozporządzenie MŚ 2015c) wielkość wymywania z kruszyw oraz mułów węglowych przekracza generalnie wartości graniczne stawiane dla siarczanów i chlorków.

3.3. Badania zawartości siarki w poszczególnych frakcjach kruszyw

Jednym z podstawowych parametrów charakterystycznych – mogących służyć ocenie przydatności kruszyw do zastosowania jako wypełnienie rekultywowanych wyrobisk odkrywkowych – jest siarka, która uwalniana powoli z siarczków obecnych w odpadach przechodzi do wód w postaci siarczanów i może prowadzić do zanieczyszczenia środowiska. Stąd istotne jest pozyskanie materiału o niskiej zawartości całkowitej siarki. W pracy A. Szymkiewicza i in. (2009) podawane są zróżnicowane zawartości siarki w odpadach wydobywczych ZG Janina, gdzie w zależności od miejsca ich powstawania, zawartość tego pierwiastka waha się od 0,4 do 3%. Zmienność jego zawartości wykazano ponadto w badaniach wstępnych materiału odpadowego, gdzie stwierdzono wyższe zawartości siarki we frakcji drobniejszej kruszywa. Można przyjąć, że materiałem perspektywnym do rekultywacji są odpady wydobywcze lub surowce na bazie skały płonnej (kruszywa), dla których zawartość siarki całkowitej jest niższa od 1%. Określona w ten sposób maksymalna zawartość siarki w odpadach wydobywczych pozwala na zaliczenie ich lub nie do odpadów obojętnych.

Analiza zawartości siarki we wszystkich frakcjach wydzielonych z pobranych 16 prób surowych wykazała wysokie zróżnicowanie tego parametru (tab. 5(A)). Zaznacza się zdecydowana tendencja, polegająca na zmniejszaniu się zawartości siarki ze wzrostem wielkości ziaren (rys. 2a i 2b). Najwyższe zawartości siarki pomierzono we frakcji najdrobniejszej 0–6 mm, gdzie obliczona średnia zawartość siarki sięga blisko 5%. Natomiast powyżej średnicy ziaren 35 mm obliczona średnia zawartość siarki w kolejnych frakcjach przyjmuje wartości niższe od 1% (tab. 5 (A)). Biorąc pod uwagę udział masowy poszczególnych frakcji ziarnowych oraz pomierzoną w nich zawartość siarki można przypuszczać, że kruszywa o średnicy ziaren powyżej 20 mm mogą być materiałem perspektywnym do wypełniania rekultywowanych wyrobisk odkrywkowych. Celowe jest ponadto poszukiwanie niższej granicy ziaren, powyżej której zawartość siarki w próbce będzie niższa od przyjętego 1%.

W tabeli 5(B), zestawiono wyniki szacowania średniej zawartości siarki z zastosowaniem średniej ważonej, w której wagą jest udział masowy frakcji. Taki sposób obliczeń znacznie lepiej odzwierciedla rzeczywistą strukturę ziarnową próby surowej i związaną z tym zmienność zawartości siarki. Obliczenia wykonano wykorzystując oznaczenia zawartości procentowej siarki dla poszczególnych 15 frakcji ziarnowych wydzielonych mechanicznie, z każdej próby surowej (pierwotnej). W tabeli 5(B) zamieszczono wyniki obliczeń zawartości siarki w całym przedziale ziarnowym oraz w przedziale średnicy ziaren 20–200 mm. Wykazano zdecydowane obniżenie zawartości siarki w próbkach po odrzu-

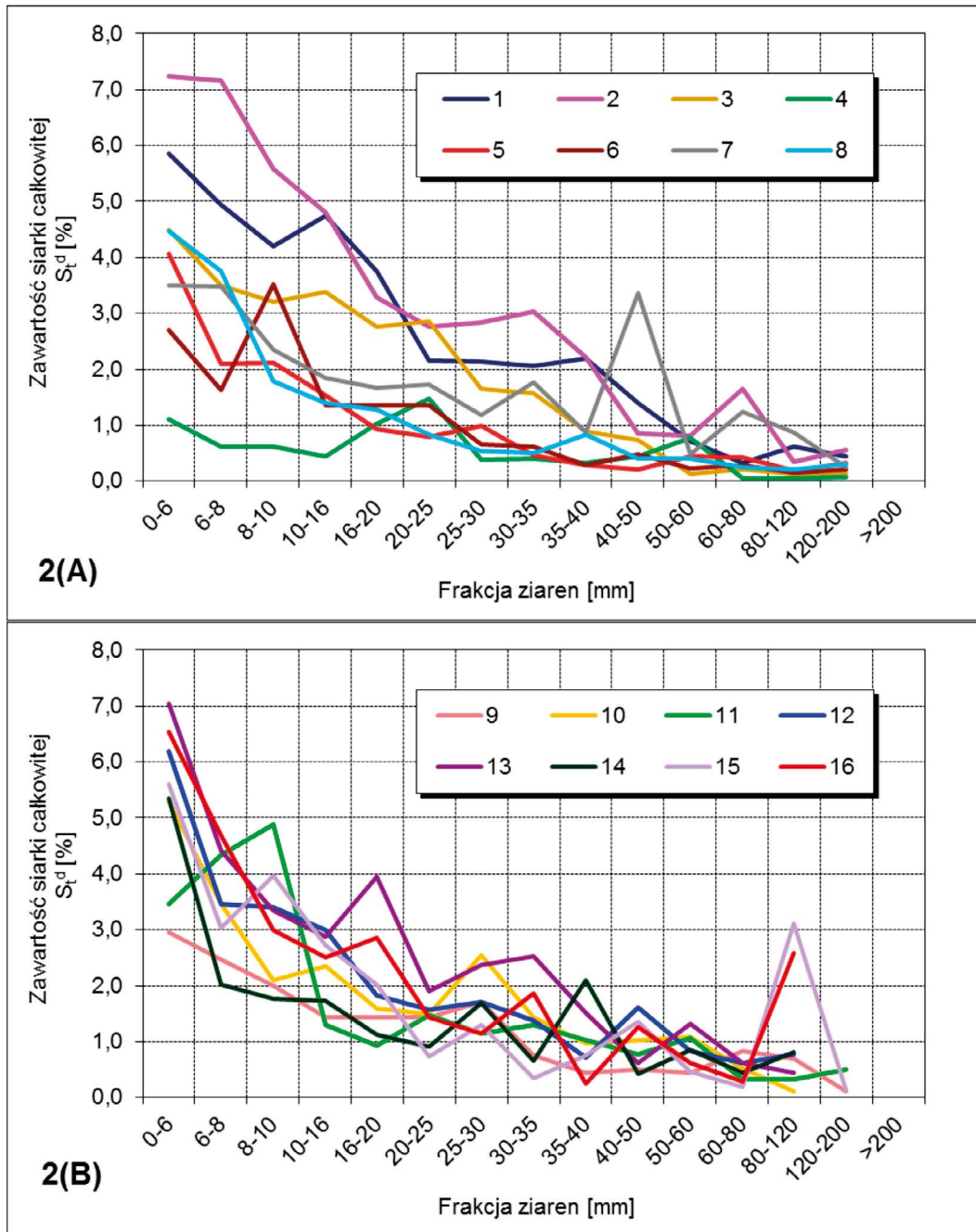
Tabela 5. Badania zawartości siarki w poszczególnych frakcjach prób surowych kruszyw ZG Janina

Table 5. Study of the sulfur content in the individual fractions of primary samples of aggregates at the Janina Mine

(A) Siarka w poszczególnych frakcjach ziarnowych kruszyw					(B) Siarka w poszczególnych próbach kruszyw (wartość obliczona)*		
frakcja ziaren [mm]	udział frakcji w masie próbek [%]	wartość średnia udziału frakcji [%]	przedział zawartości siarki we frakcjach S_t^d [%]	średnia zawartość siarki we frakcjach S_t^d [%]	numer próby surowej (pierwotnej)	całość próby 0–200 mm S_t^d [%]	frakcja 20–200 mm S_t^d [%]
>200	0	–	–	–	Próba 1	2,24	0,88
120–200	0,0–26,9	6,4	0,07–0,55	0,28	Próba 2	3,94	1,42
80–120	3,1–20,5	10,3	0,05–3,11	0,71	Próba 3	1,66	0,57
60–80	4,6–21,8	8,9	0,05–1,65	0,51	Próba 4	0,43	0,28
50–60	3,4–9,4	6,1	0,14–1,31	0,67	Próba 5	1,37	0,38
40–50	3,4–7,3	5,8	0,20–3,37	0,97	Próba 6	1,15	0,43
35–40	1,9–12,2	4,9	0,25–2,22	0,98	Próba 7	1,85	1,25
30–35	2,3–7,2	4,1	0,34–3,03	1,29	Próba 8	1,67	0,45
25–30	3,5–7,6	5,6	0,39–2,83	1,50	Próba 9	1,38	0,72
20–25	3,3–8,1	5,5	0,74–2,85	1,56	Próba 10	2,50	1,14
16–20	1,9–6,9	4,7	0,93–3,94	1,99	Próba 11	1,84	0,85
10–16	0,7–14,8	6,5	0,44–4,81	2,34	Próba 12	3,19	1,06
8–10	0,2–9,1	3,0	0,61–5,59	2,99	Próba 13	3,63	1,14
6–8	0,3–10,2	3,9	0,62–7,16	3,44	Próba 14	2,33	0,92
0–6	13,6–37,4	24,4	1,11–7,23	4,74	Próba 15	2,33	0,88
					Próba 16	2,89	1,17

* Wstępne wyniki w: Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016; Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016b.

ceniu frakcji drobnej, poniżej 20 mm. W całym zakresie ziarnowym zawartość siarki w próbkach pierwotnych mieści się w granicach 0,4–3,9%, przyjmując średnią wartość 2,1%, co dwukrotnie przekracza wartość uznaną za bezpieczną dla środowiska. Po odrzuceniu ziaren poniżej 20 mm obliczona – przy użyciu średniej ważonej – zawartość siarki w próbkach pierwotnych zdecydowanie się zmniejsza do granic 0,4–1,4%, przy średniej zawartości 0,8%, co spełnia generalnie wymagania dla odpadów wydobywczych uznanych za obojętne przy założeniu że są zachowane odpowiednio wysokie wartości NPR.



Rys. 2. Rozkład zawartości siarki całkowitej w poszczególnych frakcjach kruszyw ZG Janina (próbki kruszyw pobierane w skali roku – 2(A): próbki 1–8; 2(B): próbki 9–16)

Fig. 2. Distribution of the total sulfur content in the individual fractions of aggregates at the Janina Mine (the samples of the aggregate collected during a one-year period – 2(A): samples 1–8; 2(B): samples 9–16)

3.4. Badania jakości prób wtórnych

Celem weryfikacji obliczonej zawartości siarki w próbkach kruszywa – po odrzuceniu wyników dla frakcji mniejszej od 20 mm oraz dodatkowo mniejszej od 10 mm – wykonano w warunkach laboratoryjnych tzw. próbki wtórne, poprzez rzeczywiste odrzucenie frakcji poniżej 20 oraz 10 mm i powtórne zmieszanie próbek z zachowaniem udziałów masowych. Dla próbek od 1 do 3 nie wykonano prób wtórnych ze względu na niedostateczną ilość materiału w poszczególnych frakcjach. Przeprowadzono badania zawartości całkowitej oraz formy wymywalnej siarki oraz pozostałych składników (tab. 6) w próbkach. Zawartość całkowita poszczególnych pierwiastków jest zróżnicowana dla próbek wtórnych wytworzonych poprzez połączenie frakcji 10–200 mm i próbek wtórnych o frakcji 20–200 mm. Obserwuje się najczęściej wyższe zawartości poszczególnych pierwiastków w próbkach wtórnych powstałych z połączenia frakcji 10–200 mm.

W świetle uzyskanych wyników oznaczeń wskaźnika potencjału neutralizacji NPR w próbkach wtórnych, uznano że wymagana maksymalna zawartość siarki siarczkowej w próbkach wtórnych może wynosić 1%. Dla próbek wtórnych, powstałych z połączenia ziaren o średnicach 20–200 mm, w większości przypadków wartość NPR jest większa niż 3. Jedynie w pojedynczych przypadkach wartość jest nieco niższa. Należy zauważyć, że wartość średnia wskaźnika potencjału neutralizacji, obliczona dla całej partii analizowanych próbek wtórnych, zarówno w przypadku odrzucenia frakcji poniżej 10 mm jak też 20 mm jest wyższa od 3 i wynosi odpowiednio 4,87 oraz 6,67. W próbkach wtórnych o uziarnieniu 20–200 mm nie obserwuje się przekroczeń przyjętej wartości granicznej dla zawartości siarki całkowitej, poza jednym wyjątkiem dotyczącym próbki 6, gdzie zawartość siarki sięga 1,4%. W przypadku próbek wtórnych powstałych z połączenia frakcji o uziarnieniu w przedziale 10–200 mm w trzech próbkach stwierdzono przekroczenie wartości granicznej dla siarki oraz w jednym przypadku obserwuje się przekroczenie wartości granicznej dla ołowiu (jako wartości graniczne przyjęto standardy pierwiastków określone dla gruntów grupy B, czyli dla Pb – 100 mg/kg). Biorąc pod uwagę wyniki badań laboratoryjnych próbek wtórnych, zaobserwowano w większości przypadków niższe wartości siarki całkowitej, aniżeli wynika to z obliczeń przeprowadzonych z wykorzystaniem wyników badań siarki w poszczególnych frakcjach próbek surowych (tab. 5). Różnice te mogą wynikać z niejednorodności materiału odpadowego przeznaczonego do badań lub zastosowanej innej metodyki badawczej.

Wyniki uzyskane w testach wymywalności zanieczyszczeń wskazują, że badane próbki (po odrzuceniu frakcji drobnych) nie będą wprowadzać ponadnormatywnych ilości analizowanych składników, również siarczanów. W odniesieniu do wytycznych stosowanych do kwalifikowania odpadów do składowania na składowisku odpadów obojętnych wartość graniczna ustalona odpowiednim rozporządzeniem ([Rozporządzenie MG 2015c](#)) wynosi 1000 mg/kg, a uzyskane wielkości wymywania siarczanów w testach wymywalności – po przeliczeniu z uwzględnieniem masy próbki – kształtują się w granicach 258–847 (dla prób wtórnych 20–200 mm) oraz 283–953 (dla prób wtórnych 10–200 mm) mg/kg. Obserwuje się

Tabela 6. Wyniki oznaczeń zawartości całkowitej poszczególnych pierwiastków oraz ich formy wymywalnej w próbach wtórnych wykonanych z kruszyw ZG Janina

Table 6. The results of the total content of individual elements and the results of leaching tests in the secondary samples created from the aggregates from the Janina Mine

Wskaźniki	Zawartość całkowita [mg/kg s.m.] próbki wtórne				Forma wymywalna (test 1:10) [mg/dm ³] próbki wtórne	
	frakcja 10–200 mm (>10 mm)		frakcja 20–200 mm (>20 mm)		frakcja 10–200 mm (>10 mm)	frakcja 20–200 mm (>20 mm)
	przedział zawartości	wartość średnia	przedział zawartości	wartość średnia	przedział zawartości	
Arsen (As)	<0,097–4,203	1,306	<0,076–3,215	1,045	<0,001	<0,001
Kadm (Cd)	<0,025–0,194	0,070	<0,021–0,118	0,041	<0,0003	<0,0003
Kobalt (Co)	3,347–8,577	5,120	3,191–6,779	4,611	<0,0002–0,001	<0,0002–0,0009
Chrom (Cr)	21,41–49,84	32,33	24,63–41,45	31,33	<0,005	<0,005–0,007
Miedź (Cu)	10,97–24,19	16,34	9,34–30,03	17,67	<0,001–0,002	<0,001–0,001
Rtęć (Hg)	<0,0070–0,0324	0,0146	<0,0058–0,0166	0,0076	<0,0001	<0,0001
Molibden (Mo)	0,348–1,113	0,535	0,207–1,544	0,623	<0,0003–0,0341	<0,0003–0,0165
Nikiel (Ni)	21,41–48,13	28,89	18,22–42,04	26,32	<0,001	<0,001–0,002
Ołów (Pb)	14,62–112,90	31,01	0,672–38,24	20,00	<0,0001	<0,0001
Wanad (V)	30,92–70,23	48,05	34,67–60,32	46,72	no	no
Cynk (Zn)	40,7–126,7	79,8	37,6–118,2	66,0	<0,01	<0,01
Siarka (S)	684–13 118	6 583	381–13 833 **	4957	28,3–95,3 *	25,8–84,7 *
Chlorki (Cl)	no	–	no	–	93,9–197,3	82,0–280,6
NPR	1,22–22,86	4,87	1,16–40,00**	6,67	–	–
pH	–	–	–	–	7,71–8,11	7,75–8,12
PEW [μS/cm]	–	–	–	–	940–1990	1100–1880

no – Nie oznaczano.

* Podano jako siarczyn (SO₄²⁻).** Szczegółowe wyniki w: [Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016b](#).

Do obliczeń zawartości średnich przyjęto wartość granicy oznaczalności.

Przekroczenie wartości dopuszczalnych (zaznaczono w szarych polach) zgodnie z zapisami odpowiednich rozporządzeń ([Rozporządzenie MŚ 2011, 2002a, 2002b, 2014b, 2015c, 2016](#)).

jedynie przekroczenia wymywania chlorków od wartości nieznacznych do blisko 2-, 3-krotnych oraz w każdym przypadku przekroczenia stałych związków rozpuszczonych (TDS), również w odniesieniu do kryteriów stawianych w cytowanym powyżej rozporządzeniu, wyliczonych na podstawie oznaczonej przewodności elektrolitycznej właściwej. Należy podkreślić, że w odniesieniu do kryteriów stawianych dla odpadów, które nie stanowią odpadów komunalnych, a dopuszczonych do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne zarówno wielkość wymywania chlorków jak i suma związków rozpuszczonych TDS we wszystkich próbkach wtórnych nie przekraczają granicznych wartości dopuszczalnych.

W odniesieniu do wymagań stawianych dla jakości środowiska wód powierzchniowych oraz podziemnych ([Rozporządzenie MŚ 2002b, 2016](#)) jakość uzyskanych wyciągów wodnych spełnia generalnie przyjęte kryteria dla klas dobrej jakości. Obserwuje się jedynie częste przekroczenia przewodności elektrolitycznej właściwej oraz w dwóch przypadkach nieznaczne przekroczenie zawartości chlorków w próbkach wtórnych.

Podsumowanie i wnioski

Analiza uwarunkowań wykorzystania odpadów i kruszyw pochodzących z górnictwa węglowego do celów rekultywacyjnych, wskazuje na złożoność tematu. Wypełnianie wyrobisk odkrywkowych odpadami wydobywczymi lub materiałem surowcowym na bazie skały płonnej, powinno się odbywać w sposób minimalizujący potencjalne zagrożenie dla środowiska. Szczególnie złożone i zróżnicowane są wymagania przepisów prawnych oraz sposoby postępowania, w zależności od tego czy lokujemy odpady, czy wyprodukowane z nich kruszywa. W przypadku wykorzystania do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych skały płonnej jako kruszywa, z powodzeniem można skorzystać z wymagań prawnych przypisanych dla odpadów wydobywczych oraz z przepisów odnoszących się do jakości środowiska gruntowo-wodnego.

Analizie poddano kruszywa oraz muły węglowe z odwadniania na prasach filtracyjnych i przeprowadzono dla nich badania parametrów filtracyjnych i fizykochemicznych. Wykazano, że muły węglowe charakteryzują się dobrymi właściwościami izolującymi i mogą znaleźć zastosowanie do budowy barier i doszczelniania obiektów, zwłaszcza w obszarach przemysłowych, komunikacyjnych czy górniczych. Uzyskane wyniki badań porowatości stanowią potwierdzenie wyników badań współczynnika filtracji w zakresie właściwości uszczelniających mułów węglowych.

Ze względu na możliwość uruchamiania siarczanów przez dziesiątki lat i stałego wprowadzania ich do środowiska gruntowo-wodnego istotne jest pozyskanie do celów rekultywacji materiału o niskiej całkowitej zawartości siarki. Najlepsze parametry jakościowe w tym zakresie, wykazano dla skały płonnej ZG Janina, na bazie której produkowane są kruszywa, ale poddanej modyfikacji, polegającej na odrzuceniu frakcji drobnych. Na podstawie wykonanych analiz prób pobieranych na przestrzeni 12 miesięcy, potwierdzonych ana-

lizami prób wtórnych powstałych z ponownego połączenia rozsianych frakcji (10–200 mm oraz 20–200 mm) można przypuszczać, że istnieją realne podstawy do uzyskania stabilnego produktu, bezpiecznego dla środowiska (kruszywa do celów rekultywacyjnych, również w obszarach zawodnionych) w ilościach przemysłowych, charakteryzującego się średnią zawartością siarki całkowitej nie przekraczającą 1%, co jest warunkiem wystarczającym w przypadku jednoczesnego występowania korzystnych innych parametrów badanych kruszyw, takich jak m.in.: odpowiednio wysoki wskaźnik potencjału neutralizacji oraz niska zawartość innych zanieczyszczeń stwierdzana w wykonywanych testach wymywalności.

Wnioski przedstawione w pracy opierają się na wynikach badań laboratoryjnych. W celu ich weryfikacji wskazane jest przeprowadzenie analizy statystycznej uzyskanych wyników. Wstępna analiza statystyczna dla wybranych parametrów jakościowych badanych odpadów i kruszyw jest przedmiotem oddzielnych publikacji z udziałem autorów (Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016b). Przeprowadzona analiza wymaga jednak szczegółowych rozważań z wykorzystaniem różnych metod statystycznych, co będzie przedmiotem kolejnej publikacji.

Autorzy składają podziękowania TAURON Wydobywanie S.A. w Jaworznie za udostępnienie danych i umożliwienie realizacji niniejszej pracy.

Publikacja została częściowo zrealizowana w ramach prac statutowych IGSMiE PAN, a badania sfinansowano ze środków TAURON Wydobywanie S.A.

LITERATURA

- Baic i in. 2015 – Baic, I., Blaschke, W. i Sobko, W. 2015. Badania nad odkamienianiem energetycznego węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych. *Annual Set The Environment Protection – Rocznik Ochrona Środowiska* 17, s. 958–972.
- Baic, I. i Witkowska-Kita, B. 2011. Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego – diagnoza stanu aktualnego, ocena innowacyjności i analiza SWOT. *Annual Set The Environment Protection – Rocznik Ochrona Środowiska* 13, s. 1315–1326.
- Bednarczyk, S. 2015. Aktualne uregulowania prawne w zakresie projektowania, dokumentowania i nadzoru procesu rekultywacji w odkrywkowych zakładach górniczych. *Górnictwo Odkrywkowe* 56(3), s. 5–7.
- Bojarska, K. i Bzowski, Z. 2012. Wyniki badań wyciągów wodnych odpadów wydobywczych z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w aspekcie wpływu na środowisko. *Górnictwo i Geologia* 7(2), s. 101–113.
- Czekaj, J. i Sobczyk, W. 2015. Zagospodarowanie terenu pogórniczego na przykładzie wyrobisk po kruszywach w powiecie krakowskim. *Górnictwo Odkrywkowe* 56(3), s. 29–35.
- Dubiński, J. i Turek, M. 2012. Szanse i zagrożenia rozwoju górnictwa węgla kamiennego w Polsce. *Wiadomości Górnicze* 11, s. 626–633.
- Galos, K. i Szlugaj, J. 2010. Skały przywęglowe w górnictwie węgla kamiennego – odpady czy kopaliny towarzyszące? *Górnictwo Odkrywkowe* 51(2), s. 25–31.
- Galos, K. i Szlugaj, J. 2014. Management of hard coal mining and processing wastes in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 30(4), s. 51–61.
- Gawlik, L. red. 2013. *Węgiel dla polskiej energetyki w perspektywie 2050 roku – analizy scenariuszowe*. Górnictwa Izba Przemysłowo-Handlowa. Katowice: Wyd. IGSMiE PAN, 300 s.

- Góralczyk, S. i Baic, I. 2009. Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 12(2/2), s. 145–157.
- Góralczyk, S. red. 2011. *Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego*. Warszawa: IMBiGS, 327 s.
- Górecki, J. 1985. Siarka w Polskich złożach węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 1, s. 111–120.
- Grudziński, Z. 2012. Konkurencyjność paliw w wytwarzaniu energii elektrycznej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 16(4), s. 87–105.
- Grudziński, Z. i Stala-Szlugaj, K. 2015. Wpływ emisji CO₂ na koszty produkcji energii elektrycznej z węgla kamiennego. *Annual Set The Environment Protection – Rocznik Ochrona Środowiska* 17, s. 1389–1402.
- Gwoździwicz, M. i Bukowska, M. 2012. Zmiany współczynnika filtracji różnowiekowych odpadów wydobywczych w bryle składowiska „Bogdanka” w świetle badań modelowych oraz in situ. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* 1, s. 47–62.
- Kaliski i in. 2014 – Kaliski, M. Sikora, A.P. i Szurlej, A. 2014. Węgiel kamienny w polityce energetycznej Polski. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 17(3), s. 7–18.
- Kaźmierczak, U. i Strzałkowski, P. 2015. Zakres prac rekultywacyjnych terenów pogórnicznych surowców skalnych w kierunku innym niż leśny, rolny i wodny. *Górnictwo Odkrywkowe* 56(1), s. 26–35.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. 2003. Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych. *Studia, Rozprawy, Monografie Nr 117*, IGSMiE PAN, 113 s.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2015. Uwarunkowania prawne i środowiskowe rekultywacji wyrobisk odkrywkowych z wykorzystaniem odpadów górnictwa węgla kamiennego lub produktów na bazie skały płonnej. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* 90, s. 67–78.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016a – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J., Staszczak, J., Mucha, J. i Paw, K. 2016. Ocena możliwości rekultywacji odkrywkowych wyrobisk poeksploatacyjnych z wykorzystaniem kruszyw ze skał towarzyszących pokładom węgla kamiennego na przykładzie ZG Janina. *Górnictwo Odkrywkowe* 5, s. 23–33.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016b – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Mucha, J. w druku. Sulfur as a parameter in the suitability assessment of gangue from coal mining for reclamation of opencast excavation, taking into the requirements regarding protection of the soil (w przygotowaniu; dostępne online: e3s-conferences.org).
- Korban, Z. 2011. Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska Nr 5A/W-1 KWK „X”. *Górnictwo i Geologia* 6(1), s. 109–120.
- Motyka, J. 1998. A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland. *Hydrogeology Journal* 6, s. 469–482.
- Osoba, M. 2011. Odkamianie urobku surowego węgla kamiennego. *Górnictwo i Geologia* 6(2), s. 167–179.
- Ostręga, A. i Uberman, R. 2010. Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposoby wyboru, klasyfikacja i przykłady. *Górnictwo i Geoinżynieria* 34(4), s. 445–461.
- PN-81/B-03020. Polska Norma 1981. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 12457-4. Polska Norma 2006. Charakteryzowanie odpadów – Wymywanie – Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów.
- PN-EN 15875. Polska Norma 2011. Charakteryzowanie odpadów – Badanie statyczne w celu określenia potencjału kwasowego i potencjału zobojętnienia odpadów siarczkowych.
- Prawo wodne 2001. Ustawa — Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001r. (tekst jednolity Dz.U. z 2015 r. poz. 469 ze zmianami).
- Rosik-Dulewska, C. 2012. *Podstawy gospodarki odpadami*. Wyd. V, Wydawnictwo Naukowe PWN, 379 s.
- Rosik-Dulewska, C. i Karwaczyńska, U. 2008. Metody ługowania zanieczyszczeń z odpadów mineralnych w aspekcie ich zastosowania w budownictwie hydrotechnicznym. *Rocznik Ochrona Środowiska – Annual Set The Environment Protection* 10, s. 205–219.
- Rozporządzenie MG 2015c. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowisku (Dz.U. z 2015 r. poz. 1277).
- Rozporządzenie MŚ 2002a. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359).

- Rozporządzenie MŚ 2002b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz.U. z 2002 r. Nr 204, poz. 1728).
- Rozporządzenie MŚ 2011. Rozporządzenie z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywanych do odpadów obojętnych (Dz.U. z 2011r. Nr 175, poz. 1048).
- Rozporządzenie MŚ 2013. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. z 2013 r. poz. 523).
- Rozporządzenie MŚ 2014a. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2014 r. poz. 1923).
- Rozporządzenie MŚ 2014b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. z 2014 r. poz. 1800).
- Rozporządzenie MŚ 2015a. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. z 2015 r. poz. 796).
- Rozporządzenie MŚ 2015b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. z 2015 r. poz. 132).
- Rozporządzenie MŚ 2016. Rozporządzenie MŚ z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. z 2016 r. poz. 85).
- Strzałkowski, P. i Kaźmierczak, U. 2014. Zakres prac rolnego i leśnego kierunku rekultywacji w kopalniach górnictwa skalnego. *Mining Science – Mineral Aggregates* 21(1), s.203-213.
- Szczepańska, J. i Krawczyk, J. 1993. Zanieczyszczenia środowiska wodnego siarczanami tworzącymi się na składowiskach odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 9(3).
- Szczerbowski, R. 2013. Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 16(4), s. 35–47.
- Szczerbowski, R. 2015. Polityka energetyczna wybranych krajów europejskich a strategia energetyczna Polski. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 18(3), s. 5–14.
- Szymkiewicz i in. 2009 – Szymkiewicz, A., Fraś, A. i Przysaś, R. 2009. Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywanych w Południowym Koncernie Węglowym SA, *Wiadomości Górnicze* 7–8, s. 435–441.
- Tumidajski i in. 2008 – Tumidajski, T., Gawenda, T., Niedoba, T. i Saramak, D. 2008. Kierunki zmian technologii przeróbki węgla kamiennego w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 24(1/2), s. 245–258.
- Twardowska i in. 1988 – Twardowska, I., Szczepańska, J. i Witczak, S. 1988. Wpływ odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne. Ocena zagrożenia, prognozowanie, zapobieganie. *Prace i Studia* 35, IPIŚ PAN.
- Ustawa o odpadach 2013. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012r. o odpadach (Dz.U. z 2013 r. poz. 21).
- Witczak, S. i Adamczyk, A.F. 1994. *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, I*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 111 s.
- Wróbel i in. 2012 – Wróbel, J., Fraś, A., Pierzchała, T., Przysaś, R., Machnik, A. i Hycnar, J.J. 2012. Konsolidacja działań Południowego Koncernu Węglowego SA. ze spółkami energetycznymi Grupy TAURON w zakresie gospodarowania produktami ubocznymi [W:] *Materiały XXVI Konferencji Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej*, Zakopane, s. 113–127.
- Wróbel i in. 2013 – Wróbel, J., Fraś, A., Przysaś, R. i Hycnar, J.J. 2013. Gospodarka odpadami poprodukcyjnymi w kopalniach Południowego Koncernu Węglowego SA [W:] *Konferencja Naukowo-Techniczna XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej* Kraków 18–22.02.
- Zuber, A. i Motyka, J. 1994. Matrix porosity as the most important parameter of fissured rocks for solute transport at large scales. *Journal of Hydrology* 158, s. 19–46.

**MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA KRUSZYW I ODPADÓW WYDOBYWCZYCH
GÓRNICICTWA WĘGLA KAMIENNEGO ZG JANINA
W PROCESACH REKULTYWACJI WYROBISK ODKRYWKOWYCH**

Słowa kluczowe

rekultywacja, kruszywa, odpady wydobywcze, parametry filtracyjne, parametry fizykochemiczne

Streszczenie

W ostatnich latach znaczenie gospodarcze skał płonnych wydobywanych w procesie produkcji węgla kamiennego uległo zmianie i obecnie coraz częściej traktowane są one nie jako odpady, ale jako źródło surowców mineralnych do wykorzystania gospodarczego. W całym procesie rekultywacyjnym wyrobisk odkrywkowych, związanym z zagospodarowaniem materiału obcego, celem nadrzędnym jest, aby lokowanie skały płonnej na powierzchni nie spowodowało szkody w środowisku. W pracy przedstawiono wyniki rozpoznania i ocenę możliwości wypełniania odkrywkowych wyrobisk górniczych odpadami wydobywczymi lub innymi materiałami, np. kruszywami produkowanymi na bazie skały płonnej, pochodzącymi z ZG Janina (TAURON Wydobycie S.A.). Badaniami objęto kruszywo oraz muły węglowe z odwadniania na prasach filtracyjnych. Ocena odnosi się do aspektów prawnych oraz uwzględnia wymogi zapobiegania zanieczyszczeniu środowiska, ze szczególnym naciskiem na ochronę gleb, wód powierzchniowych i podziemnych. Analizę możliwości potencjalnego oddziaływania na środowisko gruntowo-wodne przedsięwzięcia, jakim jest rekultywacja wyrobiska odkrywkowego z wykorzystaniem surowców lub odpadów z górnictwa węgla kamiennego, oparto na badaniach zawartości siarki całkowitej oraz zawartości innych pierwiastków (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V oraz Zn) w próbkach, a także wymywaniu składników. Przeprowadzono ponadto badania współczynnika filtracji i porowatości, co pozwoliło na określenie przydatności materiału do budowy warstw izolacyjnych. Analizom fizykochemicznym poddano kilkanaście prób skały płonnej, stanowiącej produkt uboczny z procesów wzbogacania węgla kamiennego w ZG Janina. Szczegółowe badania zawartości siarki całkowitej wykonano w 16 próbach surowych rozsianych na 15 frakcji każda. Wykonano ponadto tzw. próbki wtórne, czyli po odrzuceniu frakcji drobnych poniżej 20 mm oraz 10 mm. Dla tak wykonanych próbek przeprowadzono badania zawartości całkowitej wybranych składników oraz oznaczono ich stężenie w formie wymywalnej (statyczny test wymywalności 1:10). W przypadku wykorzystania do rekultywacji wyrobisk skały płonnej jako kruszywa, zastosowano analizę porównawczą do wymagań prawnych odnoszących się do odpadów wydobywczych oraz do jakości środowiska gruntowo-wodnego. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że muły węglowe (placki filtracyjne) charakteryzują się dobrymi właściwościami izolującymi i mogą znaleźć zastosowanie przy doszczelnianiu obiektów, zwłaszcza w obszarach przemysłowych, komunikacyjnych, górniczych. Muły węglowe nie spełniają jednak wymagań jakościowych, głównie ze względu na podwyższone zawartości chlorków, a ponadto są odpadem, co w niektórych przypadkach ogranicza możliwość ich zastosowania. Najlepsze parametry jakościowe wykazano dla skały płonnej ZG Janina (na bazie której produkowane są kruszywa), ale pozbawionej frakcji drobnych. Analizy fizykochemiczne zawartości całkowitej pierwiastków oznaczanych w próbkach wtórnych wykazały, że dla zdecydowanej większości próbek uzyskane wartości mieszczą się w zakresach dopuszczalnych wyznaczonych odpowiednimi rozporządzeniami. Dla zawartości siarki przyjęto jako wartość graniczną

1%. Przeprowadzone badania wymywania zanieczyszczeń wskazują, że badane próbki nie wprowadzają zanieczyszczeń przekraczających wartości dopuszczalnych w odniesieniu do analizowanych metali oraz siarczanów. Obserwuje się jedynie pojedyncze przekroczenia niektórych parametrów. Wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że jest możliwe uzyskanie przydatnego produktu, spełniającego wymagania ochrony środowiska, ale po odrzuceniu drobnych frakcji materiału odpadowego.

POSSIBILITIES OF UTILIZATION OF AGGREGATES AND EXTRACTIVE WASTE FROM HARD COAL MINING AT JANINA MINE IN THE PROCESS OF RECLAMATION OF OPEN-PIT MINES

Key words

reclamation, aggregates, mining waste, filtration parameters, physical and chemical parameters

Abstract

In recent years, the economic importance of gangue mined during coal production has changed and it is currently treated more and more often not as waste but as a source of mineral resources for economic use. The overriding objective throughout the reclamation process of open-pit mines associated with the utilization of external material is to make sure that the placement of waste rock on the surface does not cause damage to the environment. The paper presents results of the diagnosis and evaluation of the possibility of filling open-pit mine workings with mining waste or other materials, for example aggregates produced on the basis of gangue, originating in the Janina Mine mining plant (a subsidiary of TAURON Wydobycie S.A.). The study involved aggregate or coal silts from dewatering on the filter presses. The evaluation refers to the legal aspects and takes the requirements of pollution prevention into account, with a particular emphasis on soil, surface water and groundwater. The analysis of the potential impact on the soil and water environment of the project involving reclamation of the open-pit excavation with the use of minerals or waste from coal mining was carried out based on a study of the total content of sulfur and other elements in the samples pierwiastków (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V and Zn), as well as of the leaching of components. Moreover, an examination of the coefficient of permeability and porosity was conducted, which allowed the suitability of the material for the construction of insulating layers to be determined. The physical and chemical analyses were conducted on a total of over a dozen samples of waste rock, a byproduct of the enrichment of coal in the Janina Mine plant. The specific studies of the total sulfur content were conducted for the 16 primary samples scattered into 15 fractions each. Moreover, the so-called secondary samples were created, meaning that fine fractions of less than 20 mm and less than 10 mm were rejected. The total content of the selected components was examined for such crafted samples and their concentrations were determined in the leachable form (batch test 1:10). In the case of use of waste rock as an aggregate for quarry reclamation, a comparative analysis was applied to the legal requirements assigned to the mining waste and the quality of soil and water environment. Based on the conducted studies, it has been concluded that the coal silts (filter cakes) are characterized by good insulating properties and can be used for waterproofing objects, especially in the industrial, communications and mining areas. However, coal silts do not meet the quality requirements, mainly due to their slightly increased chlorides content, in addition to being a waste, which in some cases limits the possibility of their use.

The best quality parameters were found for the gangue from the Janina Mine (on the basis of which aggregates are manufactured), but deprived of fine fractions. Physical and chemical analyses of the total content of elements in the secondary samples showed that the obtained values are within the allowable ranges determined by appropriate regulations for the vast majority of samples. The limit of 1% was assumed for the sulfur content. The conducted research on the leaching of pollutants indicates that the tested samples do not introduce contaminants exceeding the limit values for the analyzed metals and sulfates. Only single exceedances of the analyzed parameters are observed. The test results allow to conclude that it is possible to obtain a useful product that meets the requirements of environmental protection, but only after the rejection of fine fractions of the waste material.

