



Beata KŁOJZY-KARCZMARCZYK*, Janusz MAZUREK**

Propozycje rozszerzenia działań celem zagospodarowania materiałów odpadowych z górnictwa węgla kamiennego

Streszczenie: W procesie wydobywania i wzbogacania urobku węglowego powstają znaczne ilości materiałów odpadowych, głównie skała płonna oraz muły węglowe, uznawane za odpad lub surowiec. Podstawowe kierunki zagospodarowania skały płonnej oraz odpadów wydobywczych to produkcja kruszyw, produkcja pełnowartościowych produktów energetycznych oraz roboty likwidacyjne w kopalniach węgla kamiennego i podsadzanie wyrobisk. W pracy przedstawiono propozycję poszerzenia tych działań dla lepszego wykorzystania materiałów odpadowych. Rozpoznano możliwość wykorzystania kruszyw lub odpadów do wypełniania wyrobisk odkrywkowych, również na obszarach będących w zasięgu zbiorników wód podziemnych, możliwość budowy warstw izolujących z materiału odpadowego (muły węglowe) oraz wytwarzanie mieszanek mułów węglowych z osadami ściekowymi celem produkcji materiałów o dobrych właściwościach energetycznych. Analizę przeprowadzono na podstawie badań własnych i danych literaturowych, dotyczących szeregu wybranych parametrów materiałów odpadowych. Wykonano i przedstawiono wstępne badania wielkości ciepła spalania oraz wartości opałowej mułów węglowych w połączeniu z innym materiałem odpadowym, jakim są osady ściekowe. Zaproponowane sposoby i działania wpisują się w dotychczasowe kierunki zagospodarowania, jednak pozwalają na rozszerzenie zakresu stosowania zarówno odpadów wydobywczych, jak i produktów wytwarzanych na bazie skały płonnej czy mułów węglowych. Jednak ze względu na częsty brak stabilnego składu tych materiałów, każdorazowo przed próbą ich zastosowania należy dokonać oceny ich aktualnych właściwości. Wnioskuje się, że istotne jest kontynuowanie badań celem promowania wykorzystania gospodarczego już istniejących metod oraz poszukiwania nowych rozwiązań dla zagospodarowania odpadów wydobywczych.

Słowa kluczowe: skała płonna, muły węglowe, odpady wydobywcze, osady ściekowe, rekultywacja wyrobisk, bariery izolacyjne, wartość opałowa

* Dr inż., ** Mgr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków;
e-mail: beatakk@min-pan.krakow.pl; jan@min-pan.krakow.pl

Proposals to extend actions to the management of waste rock from hard coal mining

Abstract: In the process of extraction and enrichment of coal waste, considerable quantities of waste material are produced, mainly the gangue and coal sludge, considered as waste or raw material. The main directions of the management development of the waste rock are the production of aggregates, the production of energy products and the liquidation works in hard coal mines and the filling of excavations. The paper proposes the extension of these activities to the use of waste material. The possibility of using aggregates or extractive waste to fill open-pit excavations has been proposed, also in areas within the reach of groundwater and the possibility of building insulation layers of waste material and the production of mixtures of hard coal sludge and sewage sludge to produce material with good energy properties. The analysis was based on the author's own research and literature data related to selected parameters of waste material. This paper presents our own preliminary studies on the amount of combustion heat and the calorific value of coal sludge combined with other wastes such as sewage sludge. The proposed methods and actions are part of the current directions of development, but they allow the extension of the scope of use of both extractive waste and products produced on the basis of gangue or coal sludge. Due to the frequent lack of the stable composition of these materials, their current properties should be assessed each time before attempting to use them. The fact that it is important to continue research to promote existing economic use and to seek new activities or methods has been concluded.

Keywords: gangue, hard coal sludge, extractive waste, sewage sludge, reclamation of excavations, insulation layer, calorific value

Wprowadzenie

W procesie wydobywania i wzbogacania urobku węglowego powstają znaczne ilości materiałów odpadowych. Są to przede wszystkim skały płonne, usuwane na etapie przygotowania złoża i wydobywania urobku, oraz muły węglowe związane z przeróbką, wzbogacaniem i oczyszczaniem węgla, które jako odpady zaklasyfikowane są do grupy 01 (m.in. [Góralczyk red. 2011](#); [Bojarska i Bzowski 2012](#)). W zależności od przyjętego sposobu postępowania ten sam materiał odpadowy może być zarówno produktem jak też odpadem, przy czym coraz częściej skały płonne traktowane są nie jako odpady, ale jako źródło surowców mineralnych do wykorzystania gospodarczego. Od wielu lat wielkość wytwarzania skał płonnych, jako mas skalnych i/lub odpadów wydobywczych, kształtuje się na poziomie 32–37 mln Mg rocznie ([www.me.gov.pl](#); [Baic i Witkowska-Kita 2011](#); [Kopacz 2015](#)).

Niezagospodarowany, uboczny materiał odpadowy z wydobywania i przeróbki węgla kamiennego, gromadzony jest w różnych miejscach. Odpady deponowane od wielu lat na składowiskach skały płonnej, obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych lub w osadnikach wód dołowych, niekorzystnie kształtują krajobraz oraz stwarzają zagrożenie dla środowiska gruntowo-wodnego. Potencjalne negatywne oddziaływanie na środowisko oraz koszty środowiskowe (m.in. [Piontek 1999](#); [Bednorz 2011](#); [Grudziński 2013](#); [Grudziński i Stala-Szlugaj 2016](#)) skłaniają do poszukiwania kolejnych sposobów zagospodarowania powstających odpadów lub do poszukiwania nowych metod zapobiegania ich powstawaniu. Szereg przeprowadzonych badań i analiz pozwoliło na wdrożenie różnych procesów zagospodarowywania niektórych rodzajów odpadów oraz surowców, produkowanych na bazie skały płonnej. Obecnie głównymi kierunkami zagospodarowania skały płonnej oraz odpadów wydobywczych jest produkcja kruszyw, produkcja pełnowartościowych produktów

energetycznych oraz roboty likwidacyjne w kopalniach węgla kamiennego i podszadanie wyrobisk (m.in. Góralczyk i Baic 2009; Baic, Witkowska-Kita 2011; Góralczyk red. 2011; Kugiel i Piekło 2012; Wróbel i in. 2012). Kruszywa wytwarzane na bazie skały płonnej, również te produkowane w procesie odzysku odpadów, stosowane są obecnie do utwardzania terenów pod budowę dróg, autostrad, a także jako materiał w budowie zbiorników technologicznych czy umocnień przeciwpowodziowych. Znajdują one także zastosowanie do niwelacji terenu czy w procesie rekultywacji technicznej obszarów zdegradowanych (m.in. Gawęda i Olejnik 2008; Góralczyk i Baic 2009; Szymkiewicz i in. 2009; Baic i Witkowska-Kita 2011; Kugiel i Piekło 2012; Wróbel i in. 2013; Galos i Szlugaj 2014; Gruchot 2014).

Szereg podmiotów gospodarczych związanych z górnictwem węgla kamiennego stale dąży do rozszerzenia skali zagospodarowania skał płonnych lub odzysku odpadów. Analiza możliwości wykorzystania odpadów wydobywczych z produkcji węgla kamiennego lub produktów wytwarzanych na bazie skały płonnej, jest zagadnieniem złożonym zarówno w sferze przepisów odnoszących się do jakości środowiska gruntowo-wodnego, jak i w zakresie uwarunkowań lokalizacyjnych (m.in. Góralczyk i Baic 2009; Baic, Witkowska-Kita 2011; Góralczyk red. 2011; Korban 2011; Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2015). W pracy przedstawiono propozycję nowych rozwiązań i poszerzenia kierunków działań dla wykorzystania odpadów wydobywczych. Analizie poddano rozpoznanie możliwości wykorzystania kruszyw lub odpadów do wypełniania wyrobisk odkrywkowych, również na obszarach będących w zasięgu zbiorników wód podziemnych, możliwości budowy warstw izolujących z materiału odpadowego oraz wytwarzania mieszanek mułów węglowych z osadami ściekowymi celem produkcji materiału o dobrych właściwościach energetycznych. Analizę przeprowadzono opierając się na badaniach własnych oraz danych literaturowych dotyczących szeregu wybranych parametrów materiału odpadowego. W obszarze właściwości energetycznych mułów węglowych przeprowadzono badania laboratoryjne wielkości ciepła spalania oraz wartości opałowej mułów węglowych w połączeniu z innym materiałem odpadowym, jakim są osady ściekowe.

1. Wykorzystanie kruszyw lub odpadów do wypełniania wyrobisk odkrywkowych

Zagospodarowanie wyrobisk odkrywkowych po zakończeniu eksploatacji złoża jest problemem ciągle aktualnym, a zastosowanie surowców obcych lub różnego rodzaju odpadów do wypełniania wyrobisk jest możliwe dla wszystkich podstawowych kierunków rekultywacji. Zakłady górnicze posiadające przewidziane w przyszłości do rekultywacji, poeksploatacyjne wyrobiska odkrywkowe, mogą stanowić poważną grupę odbiorców kruszyw lub odpadów wytwarzanych w sektorze górnictwa węgla kamiennego. Istotnym zagadnieniem jest wytypowanie poszczególnych grup czy rodzajów odpadów możliwych do zastosowania bez szkody dla środowiska gruntowo-wodnego. Wynika stąd konieczność dotrzymania przez odpady czy kruszywa określonych parametrów granicznych co do zawartości niektórych zanieczyszczeń, na poziomie gwarantującym, że lokowanie ich w wyrobiskach nie spowoduje zanieczyszczenia. Zasadnicze znaczenie dla możliwości wykorzystania odpadów

wydobywczym do rekultywacji wyrobisk odkrywkowych posiadają również lokalne warunki hydrogeologiczne w miejscu ich lokowania (Klojzy-Karczmarczyk i Staszczak 2017). Jednym z podstawowych parametrów warunkujących możliwość zastosowania odpadów wydobywczym i produkowanych z nich kruszyw do rekultywacji jest zawartość siarki całkowitej i podatność materiału na wymywanie siarczanów oraz w mniejszym stopniu zawartość metali ciężkich. Zaklasyfikowanie materiałów odpadowych do obojętnych ze względu na siarkę, ułatwia podjęcie wniosku o bezpieczeństwie ich deponowania w środowisku (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016b). Należy podkreślić, że wymywanie siarczanów z odpadów wydobywczym trwa przez wiele lat, zwiększając swą intensywność z biegiem czasu w wyniku procesów wietrzenia fizycznego i chemicznego.

Analiza wyników wcześniejszych badań własnych autorów i danych literaturowych zamieszczonych w tabeli 1 wskazuje na znaczną zmienność siarki całkowitej w badanych odpadach i kruszywach, jak również znaczną zmienność udziału formy wymywanej (siarczanów) zarówno w materiale świeżym jak i w odpadach sezonowanych (składowanych) od wielu lat. Zebrane wyniki badań (tab. 1) podzielono umownie na dwie grupy: odpady świeże i względnie świeże (z bezpośredniej produkcji) oraz grupę odpadów składowanych od lat, w różnym stopniu zwietrzałych (Skarżyńska 1997). Podawana zawartość siarki całkowitej kształtuje się w bardzo szerokich granicach w obydwu grupach, przyjmując wartości od około 120 do nawet 95 000 mg/kg. Wielkość wymywania siarczanów w odpadach świeżych jest generalnie niska, jednak w odpadach sezonowanych (zwietrzałych) wymywanie siarczanów zdecydowanie wzrasta nawet do około 40 000 mg/kg, choć w tej grupie znajdują się również odpady o niskich wartościach wymywania na poziomie kilku mg/kg. Oprócz zanieczyszczenia siarką i siarczanami, istnieje szereg doniesień o podwyższonej zawartości niektórych metali w odpadach wydobywczym i różnej ich podatności na wymywanie w środowisku wodnym. Znaczna aktywność procesów prowadzących do utleniania siarczków obecnych w odpadach i wymywania siarczanów do wód podziemnych w warunkach składowania na powierzchni, wskazuje na konieczność dwojakiego podejścia do planowania rekultywacji wyrobisk odkrywkowych z udziałem odpadów wydobywczym. Istotne jest zakwalifikowanie materiału odpadowego do grupy odpadów wydobywczym obojętnych (zawartość siarki <1% przy współczynniku neutralizacji >3) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2011 roku (Dz.U. z 2011, Nr 175, poz. 1048). W przypadku, kiedy rekultywowane tereny znajdują się w zasięgu stref zasilania zbiorników wód podziemnych, dla zwiększenia bezpieczeństwa środowiskowego, należy zbadać, w jakim stopniu materiał wykorzystywany do rekultywacji będzie podatny na wymywanie zanieczyszczeń, w tym siarczanów, co wiąże się niewątpliwie z jakością materiału oraz ze sposobem prowadzonej rekultywacji. W takim przypadku proponuje się dodatkowo porównanie wyników testów wymywalności do kryteriów rozporządzenia Ministra Gospodarki (Dz.U. z 2015, poz. 1277), odnoszących się do składowania odpadów na składowiskach odpadów obojętnych (Klojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2015). Na terenach niewodonośnych można przyjąć łagodniejsze kryterium, jak dla odpadów dopuszczonych do lokowania na składowiskach odpadów innych niż obojętne i niebezpieczne. W tym miejscu należy podkreślić, że obecność związków siarki jest parametrem głównym, ale nie można pomijać obecności innych pierwiastków, których zawartość nie

TABELA 1. Badania zawartości siarki całkowitej w materiale odpadowym oraz wymywanie siarczanów na podstawie wybranych dotychczasowych badań

TABLE 1. Studies of total sulfur content in the waste rock and the leaching of sulfate based on literature data

Lp.	Rodzaj materiału, pochodzenie, źródło danych	Siarka całkowita [mg/kg]	Siarczany (wymywanie) [mg/kg] ²⁾
Wartości dopuszczalne		10000 (1%) ⁴⁾	1000 ⁵⁾
Odpady z produkcji i kruszywa (świeże)			
1.	Odpady wydobywcze z kopalni Bogdanka – dane z lat 1996–2012 (Bzowski i Dawidowski 2013)	120–3760 x = 1400 (0,14%)	–
2.	Odpady poflotacyjne GZW (Lutyński i Szpyrka 2010)	9700–39 800 x = 18200 (1,82%)	–
3.	Odpady z procesu wzbogacania węgla – ciecze ciężkie, osadzarki, flotacja (Dziok i in. 2015)	1200–10600 x = 3000 (0,3%)	–
4.	Kruszywo 0–200 mm (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016c)	162,8–39400 x = 19453 (1,95%)	187–1226 x = 706
5.	Kruszywo 16–200 mm (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016a; Mucha i in. 2016)	x = 7900–9300 (0,79–0,93%)	–
6.	Kruszywo 25–200 mm (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016a; Mucha i in. 2016)	x = 6100–7800 (0,61–0,78%)	–
7.	Muły węglowe (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016c)	1477,6 (0,15%)	742
Odpady składowane (sezonowane)			
8.	Odpady górnicze ze składowiska Smolnica (Klojzy-Karczmarczyk 2003)	11240 ¹⁾ (1,12%)	1094
9.	Odpady wydobywcze ze zwałowiska KWK „X” (Korban 2011)	–	3910
10.	Odpady wydobywcze kopalń GZW (Bojarska i Bzowski 2012)	–	<100–527 x = 137
11.	Odpady wydobywcze kopalni Siersza ³⁾ (Kicińska i Kosa 2016)	–	2430
12.	Odpady górnicze z hałdy nieczynnej kopalni Siersza (Klojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2014)	847–95028 x = 30100 (3,01%)	3–42520 x = 14424
13.	Muły węglowe zdeponowane w osadnikach (Góralczyk i Baic 2009)	4500–9900 x = 7100 (0,71)	–
14.	Osad pobrany na wlocie rury dolotowej do osadnika wód dołowych (Gruchot i in. 2015)	–	501,2

x Wartość uśredniona.

¹⁾ Podane wartości uzyskano poprzez przeliczenie na zawartość siarki.

²⁾ Wartości uzyskano poprzez przeliczenie wyników oznaczeń analitycznych w wyciągu wodnym 1:10 w mg/dm³ na uwalnianą ilość składnika zanieczyszczającego w odniesieniu do suchej masy próbki i podano w mg/kg masy próbki, przy stosunku masy próbki do objętości wody 1:10 (1 kg/10 dm³).

³⁾ Uwzględniono udział [%] formy wymywanej w zawartości całkowitej pierwiastka.

⁴⁾ Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz.U. z 2011, Nr 175, poz. 1048).

⁵⁾ Według rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. z 2015, poz. 1277).

powinna przekraczać standardów jakości gleby lub ziemi dla grupy B zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2011 r. (Dz.U. z 2011, Nr 175, poz. 1048).

Z danych prezentowanych w tabeli 1 wynika, że w większości przypadków badane odpady nie powinny być lokowane w miejscach, gdzie konieczne jest zapewnienie warunków bezpieczeństwa jak dla stref zasilania zbiorników wód podziemnych, ale mogą być z powodzeniem lokowane w procesie rekultywacji technicznej wyrobisk odkrywkowych zlokalizowanych poza strefami zasilania. Nasuwa się jednak pytanie, czy jest możliwe uzyskanie materiału odpadowego bezpiecznego dla środowiska nawet w obszarach zawodnionych, poprzez jego modyfikację. Przeprowadzone wcześniej badania z udziałem autorów wskazują, że realne jest uzyskanie materiału o zawartości siarki poniżej 1% poprzez odrzucenie najdrobniejszych frakcji ziaren o średnicach mniejszych niż 20, a nawet 16 mm (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016a, b, c; Mucha i in. 2016). Można wnioskować, że takie postępowanie sprzyja niewątpliwie dotrzymaniu bezpiecznych zawartości zanieczyszczeń w materiale rekultywacyjnym.

2. Możliwości budowy barier izolujących z materiału odpadowego

Naturalne bariery izolujące najczęściej budowane są z surowców mineralnych o charakterze glin i ilów, charakteryzujących się wymaganym, odpowiednio niskim współczynnikiem filtracji. Istotnym zagadnieniem jest jednak poszukiwanie materiału odpadowego, który z powodzeniem zastąpi surowce naturalne i jednocześnie odpad ten zostanie poddany procesowi odzysku, zmniejszając tym samym uciążliwość dla środowiska. Budowy barier izolacyjnych często wymagają procesy zamykania składowisk, głównie komunalnych (Klojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2009), ale też i przemysłowych. W literaturze można znaleźć wyniki badań, potwierdzające przydatność odpadów przemysłowych do budowy barier izolujących (popioły ze spalania paliw stałych, muły węglowe z procesów wzbogacania węgla kamiennych oraz odpady poflotacyjne z procesów wzbogacania rud Zn i Pb) co opisują m.in. prace Klojzy-Karczmarczyk 2003; Donieckiego i Siedleckiej 2006 oraz Sobik-Szołtysek ze współautorami 2013. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. z 2013, poz. 523) wymagany współczynnik filtracji dla naturalnej bariery geologicznej dla składowiska wynosi $1,0 \times 10^{-9}$ m/s. Ponadto, dla gruntów mających stanowić bariery izolujące dla przesiąkania pionowego, wprowadzona jest odrębna klasyfikacja przepuszczalności, według której grunty izolujące charakteryzują się współczynnikiem filtracji $k \leq 1,0 \times 10^{-10}$ m/s.

W pracy przeprowadzono analizę przydatności mułów węglowych lub skały płonnej do budowy warstw izolujących lub drenażowych (Klojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2009), a wyniki wcześniejszych badań własnych autorów i inne dane literaturowe zestawiono w tabeli 2. Z przeprowadzonej analizy wynika, że odpady górnicze deponowane na składowiskach, są materiałem zróżnicowanym ze względu na skład petrograficzny, właściwości fizykochemiczne, stopień zagęszczenia odpadów i sposób formowania składowiska, co skutkuje tym, że poszczególne składowiska charakteryzują się bardzo zmiennymi parametrami przepuszczalności (wielkość współczynnika filtracji). Generalnie, składowiska

TABELA 2. Współczynnik filtracji oraz współczynnik porowatości materiału odpadowego górnictwa węgla kamiennego na podstawie wybranych dotychczasowych badań

TABLE 2. Hydraulic conductivity and porosity of the waste rock from hard coal mining based on literature data

Lp..	Rodzaj materiału, pochodzenie, źródło danych	Współczynnik filtracji k [m/s]	Porowatość całkowita n lub efektywna n_e [%]
Skały płonne, odpady wydobywcze			
1.	Odpady górnicze ze składowiska Smolnica (Klojzy-Karczmarczyk 2003)	$5,31 \times 10^{-5}$ – $1,62 \times 10^{-5}$	n = 36
2.	Odpady wydobywcze na składowisku Bogdanka (badania terenowe) (Gwoździewicz i Bukowska 2012)	„świeże”: $8,2 \times 10^{-2}$ – $9,1 \times 10^{-3}$ jednoroczne: $8,5 \times 10^{-3}$ – $1,3 \times 10^{-5}$ 8–10-letnie: $5,0 \times 10^{-5}$ – $3,1 \times 10^{-7}$ 15–17-letnie: $4,2 \times 10^{-6}$ – $3,9 \times 10^{-8}$	–
3.	Odpady powęglowe (Gruchot 2014)	$1,63 \times 10^{-3}$ – $1,85 \times 10^{-3}$	–
4.	Przepalane odpady powęglowe (Zawisza i Malec 2016)	$4,15 \times 10^{-5}$	–
5.	Kruszywo 0–30 mm (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016c)	$8,46 \times 10^{-3}$	$n_o = 7,6$ – $9,8$ $n > 1 \mu\text{m} = 9$ – 41
Muły węglowe			
6.	Muły węglowe (Doniecki i Siedlecka 2006)	$4,60 \times 10^{-9}$ – $3,06 \times 10^{-11}$	n = 33–40 $n_e = 11,71$ – $20,98$
7.	Mieszanki sporządzone z mułów węglowych ZG Sobieski (50%) z popiołami, odpadami poflotacyjnymi i ilami nadkładowymi (Sobik-Szołtysek i in. 2013)	$2,03 \times 10^{-8}$ – $3,00 \times 10^{-10}$	–
8.	Muł węglowy (Klatka i in. 2016)	$4,95 \times 10^{-5}$	n = 60,6
9.	Muły węglowe z pras filtracyjnych ZG Janina (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016c)	$4,75 \times 10^{-9}$ – $9,40 \times 10^{-10}$	$n_o = 37,1$ $n > 1 \mu\text{m} = 13$

odpadów górnictwa węgla kamiennego na obszarze GZW są dobrze przepuszczalne dla wody i nie stanowią bariery dla przenikania zanieczyszczeń do warstw wodonośnych, w podłożu składowiska. Współczynnik filtracji odpadów górniczych zmienia się w szerokim zakresie od 10^{-3} do 10^{-8} m/s, przy czym zaobserwowano zmniejszanie się wartości współczynnika filtracji odpadów z upływem czasu (Gwoździewicz i Bukowska 2012; Sobik-Szołtysek i in. 2013).

Powszechnie znane jest stosowanie do budowy warstw izolujących mieszanek popiołów lotnych i skały płonnej, gdzie współczynniki filtracji takich mieszanek, dzięki zastosowaniu popiołów, zostają obniżone do średnich wartości na poziomie $2,2 \times 10^{-8}$ – $4,4 \times 10^{-9}$ m/s w zależności od zastosowanego rodzaju popiołu lotnego (Klojzy-Karczmarczyk 2003). W pracy przeanalizowano możliwości stosowania do budowy barier izolujących kolejnego rodzaju odpadu wydobywczego, jakim są muły węglowe. Dla tego rodzaju od-

padu wartości współczynnika filtracji są zdecydowanie niższe niż dla skały płonnej, a jego wielkości mieszczą się w zakresie 10^{-5} – 10^{-11} m/s. Można wnioskować, że materiał ten spełnia generalnie kryteria szczelności dla przepływów poziomych, jednak nie stanowi on w każdym przypadku bariery izolującej dla przesiąkania pionowego i można go zaliczyć do gruntów słabo izolujących. Jednak przy wzrastającym obciążeniu, osiągnięty współczynnik filtracji często pozwala zaklasyfikować analizowany materiał do gruntów średnio izolujących dla przesiąkania pionowego, a ponadto przyjmuje wartość rekomendowaną dla naturalnej bariery geologicznej uszczelniającej podłoże i ściany boczne różnych składowisk odpadów, mniejszą od $1,0 \times 10^{-9}$ m/s. Dane literaturowe podają, że również zadowalające wyniki badań współczynnika filtracji uzyskano poprzez przygotowanie mieszanek na bazie mułów węglowych uzupełnionych popiołami lotnymi ze spalania węgla kamiennego oraz ilami nadkładowymi (Sobik-Szołtysek i in. 2013).

3. Właściwości energetyczne mieszanek mułów węglowych i osadów ściekowych

3.1. Dyskusja problemu

Według U. Lorenz i U. Ozga-Blaschke (2005), stan nauki i techniki pozwala na efektywne wykorzystywanie w energetyce mułów, jako pełnowartościowego surowca energetycznego. Jeżeli parametry jakościowe mułów odpowiadają wymaganiom jakościowym, jakie stawia producent kotłów, a także przyjmowany reżim technologiczny ich spalania, uważa się, że produkty te posiadają wartość użytkową. O wartości użytkowej nie decydują zatem zapisy norm, ale potencjalny odbiorca produktów (Lorenz i Ozga-Blaschke 2005). W praktyce, muły węglowe spalane w kotłach fluidalnych charakteryzują się w większości wartościami opałowymi powyżej 8 MJ/kg (Hycnar i in. 2013). W literaturze istnieje szereg danych podających parametry energetyczne mułów węglowych (wartość opałowa, ciepło spalania), a baza informacji pokazująca skalę problemu, potrzebę zagospodarowania i wskazująca energetyczne wykorzystanie mułów węglowych jest znacząca (m.in. Sobko i in. 2011; Baic i Blaschke 2012; Baic i in. 2012a, b; Baic 2013). Na podstawie wybranych informacji można sądzić, że wartość opałowa mułów węglowych mieści się w granicach od 9 do kilkunastu MJ/kg (Hycnar i in. 2005; Lutyński i Szpyrka 2010; 2011; Hycnar i in. 2013). Stosowanych jest jednocześnie szereg działań (m.in. obniżenie wilgotności, granulowanie, klasyfikacja ziarnowa), które wpływają na podwyższenie energetycznej efektywności spalania mułów węglowych, gdzie wartość opałowa sięga nawet 25 MJ/kg (Hycnar i in. 2013).

Odrębnym problemem jest zagospodarowanie osadów ściekowych. Problematyka jest wciąż aktualna i stale wymaga doskonalenia i poszukiwania nowych metod czy kierunków, zwłaszcza ze względu na wprowadzony zakaz ich składowania od roku 2016, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. z 2015, poz. 1277). Obserwuje się rozwój termicznych metod zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych w Polsce (Pająk 2014; Bień 2012).

Według T. Pająka (2014) istotna jest szeroka analiza termicznego przekształcania osadów ściekowych w monospalarniach lub poprzez suszenie i współspalanie w instalacjach przemysłowych (cementowniach czy spalarniach odpadów komunalnych). Na podstawie badań przeprowadzonych przez A. Skawińską i I. Kuklis (2014) wartość opałowa (w stanie suchym) osadów ściekowych kształtuje się w przedziale 10,7–16,6 MJ/kg.

3.2. Zakres i metodyka badań

Dla potrzeb niniejszej pracy autorzy wykonali wstępne badania dotyczące określenia wielkości ciepła spalania oraz wartości opałowej mieszanek mułów węglowych i osadów ściekowych. Rozwój takiego sposobu zagospodarowania i jego sensowność wymaga oczywiście dalszych badań i analiz. Z definicji poszczególnych parametrów wynika, że wartość ciepła spalania wykazuje wielkości wyższe od wartości opałowej, a różnica jest tym wyższa im więcej ciepła można uzyskać dodatkowo ze skraplania pary wodnej zawartej w odpadach (m.in. Skawińska i Kuklis 2014; Budzyń i Tora 2014).

Przedmiotem badań prezentowanych w pracy i analizy są (tab. 3):

- Zagęszczone muły węglowe ZG Janina (podgrupa odpadów 01 04) po odwadnianiu na prasach filtracyjnych (próbki pobrane w roku 2014 – muł węglowy 1 oraz w roku 2017 – muł węglowy 2). Zastosowanie pras filtracyjnych powoduje, że uzyskane muły węglowe stają się bardziej jednorodne, uzyskując formę sprasowanych placków filtracyjnych.
- Ustabilizowane osady z oczyszczania ścieków komunalnych w Oczyszczalni Ścieków Płaszów (kod odpadu 19 08 05) (próbka pobrana w roku 2017). Osad powstały w wyniku zagęszczenia grawitacyjnego i mechanicznego oraz stabilizacji biochemicznej w komorach fermentacyjnych jest odwadniany i zagęszczany za pomocą wysokosprawnych wirówek odśrodkowych zainstalowanych w oczyszczalni.
- Mieszanki odpadów w proporcjach: 50% muły węglowe oraz 50% ustabilizowane osady ściekowe. Próbkę te zostały zmieszane w udziałach wagowych w stanie roboczym, bez prowadzenia procesu suszenia w laboratorium.

Zakres przeprowadzonych prac dla pięciu przygotowanych prób obejmuje oznaczenie zawartości wilgoci przemijającej, oznaczenie zawartości wilgoci analitycznej przy użyciu analizatora ELTRA TGA Thermostep, oznaczenie zawartości wodoru przy użyciu analizatora automatycznego ELTRA CHS 580, oznaczenie ciepła spalania przy użyciu kalorymetru izoparabolicznego LECO AC 350 oraz obliczenie wartości opałowej. Pierwszym etapem badań było określenie zawartości wilgoci przemijającej W^{ex} , poprzez określenie ubytku masy, który towarzyszy doprowadzeniu do stanu powietrzno-suchego. Następnie, w celu otrzymania próbek o uziarnieniu $<0,2$ mm, zostały one rozdrobnione w młynku nożowym. Tak otrzymane próbki analityczne posłużyły do wykonania kolejnych analiz: oznaczenie zawartości wilgoci w stanie analitycznym W^a i obliczenie zawartości wilgoci w stanie roboczym W^r , oznaczenie zawartości wodoru oraz oznaczenie ciepła spalania w stanie analitycznym. Na podstawie otrzymanych wyników analiz obliczono wartość opałową badanych próbek, która wyrażona została w stanach: analitycznym (powietrzno-suchym) (a), suchym (d)

i roboczym (r). Wartość opałowa paliwa Q_i , zgodnie z definicją, różni się od ciepła spalania Q_s ilością energii potrzebnej do odparowania w temperaturze 25°C wody pochodzącej z wilgoci i wody utworzonej ze spalania wodoru zawartego w paliwie. Wartość opałowa ze stanu analitycznego została przeliczona na stan suchy i na stan roboczy po uwzględnieniu wilgotności próbek.

3.3. Wyniki analiz badań własnych

Wyniki przeprowadzonych analiz oraz obliczeń zebrano w tabeli 3. Zawartość wilgoci jest istotnym wskaźnikiem jakości paliwa i ma wpływ na zagadnienia technologiczne procesu spalania. Dla badanych próbek wysuszonych osadów ściekowych (w stanie analitycznym) oznaczona zawartość wilgoci wynosi blisko 15% wag. Muły węglowe wykazują znacząco niższą wartość wilgotności na poziomie 5,4–5,6%. Wilgotność w stanie roboczym jest zdecydowanie wyższa i w dużej mierze zależy od stosowanego procesu technologicznego obróbki odpadów. Dla mułów węglowych kształtuje się ona w zakresie od 6% (dla odpadów pobranych w roku 2014, zatem długo sezonowanych w warunkach laboratoryjnych) do 19% dla odpadów z bezpośredniej produkcji. Wilgotność osadów ściekowych w stanie roboczym jest bardzo wysoka i sięga 92% wag. Tak wysokie wartości na poziomie od 6,2 do 78,9% podaje także praca A. Skawińskiej i I. Kuklis (2014).

Nadrzędnymi parametrami określającym przydatność materiałów odpadowych do celów energetycznych są ciepło spalania i wartość opałowa. Ciepło spalania mułów węglowych w stanie analitycznym mieści się w granicach 8,2–10,7 MJ/kg, natomiast ich wartość

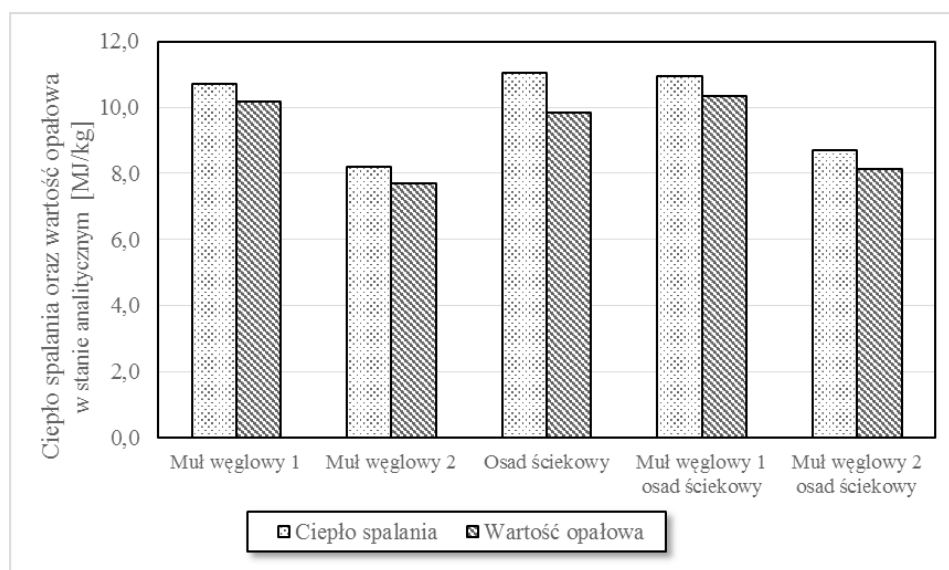
TABELA 3. Zestawienie próbek mułów węglowych i osadów ściekowych oraz wyników analiz i obliczeń (badania własne)

TABLE 3. Summary of samples of coal sludge and sewage sludge and results and calculation (own research)

Próbki odpadów oraz ich mieszanin	Wilgotność próbek [%]			Zawartość wodoru H_a [%]	Ciepło spalania Q_s^a [MJ/kg]	Wartość opałowa [MJ/kg]		
	W^r	W^{ex}	W^a			Q_i^a	Q_i^d	Q_i^r
Muł węglowy 1	6,0	0,5	5,6	1,90	10,72	10,17	10,92	10,10
Muł węglowy 2	19,0	14,3	5,4	1,73	8,20	7,69	8,27	6,24
Osad ściekowy	92,2	90,8	14,8	3,86	11,03	9,83	11,96	-
Muł węglowy 1 (50%) + osad ściekowy (50%)	27,5	22,3	6,7	1,93	10,94	10,35	11,27	7,50
Muł węglowy 2 (50%) + osad ściekowy (50%)	40,9	35,1	8,9	1,69	8,71	8,12	9,15	4,41

Badania wykonano na Wydziale Energetyki i Paliw AGH.

opałowa wynosi 7,7–10,2 MJ/kg. Dla ustabilizowanych osadów ściekowych obserwowano nieco wyższe wartości tych parametrów, wynoszące dla ciepła spalania 11,3 MJ/kg, a wartości opałowej 9,8 MJ/kg. Mieszanki mułów węglowych oraz osadów ściekowych wykazują wartości pośrednie, sięgając w przypadku ciepła spalania 8,7–10,9 MJ/kg, natomiast w przypadku wartości opałowej 8,1–10,3 MJ/kg (w stanie analitycznym). W analizowanym przypadku muły węglowe mogą znaleźć zastosowanie w procesach energetycznych. Można sądzić ponadto, że dodatek ustabilizowanych osadów ściekowych podnosi nieco parametry energetyczne mułów węglowych (rys. 1).



Rys. 1. Wartość opałowa i ciepło spalania odpadów i ich mieszanin (badania własne)

Fig. 1. Calorific value and heat of combustion of the waste and their mixtures (own research)

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz wnioskuje się, że istotne jest kontynuowanie badań celem promowania wykorzystania gospodarczego metodami już istniejącymi oraz poszukiwanie nowych działań czy metod. Główne kierunki zagospodarowania skały płonnej czy mułów węglowych (zarówno jako surowców, jak i odpadów wydobywczych) to produkcja kruszyw, produkcja pełnowartościowych produktów energetycznych oraz roboty likwidacyjne w kopalniach węgla kamiennego i podsadzanie wyrobisk. W pracy przedstawiono propozycję poszerzenia działań dla lepszego wykorzystania materiału odpadowego. Analizę przeprowadzono opierając się na badaniach własnych oraz danych literaturowych dotyczących szeregu wybranych parametrów.

Zaproponowano trzy sposoby gospodarczego wykorzystania skał płonnych czy mułów węglowych uznawanych w praktyce za odpady lub surowiec:

1. **Wykorzystanie kruszyw lub odpadów do wypełniania wyrobisk odkrywkowych.** Zastosowanie surowców obcych lub różnego rodzaju odpadów do wypełniania wyrobisk jest możliwe dla wszystkich podstawowych kierunków rekultywacji. W większości przypadków badane odpady nie powinny być jednak lokowane w miejscach, gdzie konieczne jest zapewnienie warunków bezpieczeństwa dla stref zasilania zbiorników wód podziemnych, ale mogą być z powodzeniem lokowane w procesie rekultywacji technicznej wyrobisk odkrywkowych zlokalizowanych poza takimi strefami. W pracy zaproponowano jednak możliwość uzyskania materiału modyfikowanego o zawartości siarki poniżej 1% poprzez odrzucenie najdrobniejszych frakcji ziaren. Taki materiał może zostać przeznaczony do wypełniania wyrobisk, spełniając jednocześnie wymogi bezpieczeństwa dla środowiska pod kątem siarki, również w obszarach wrażliwych.
2. **Możliwości budowy barier izolujących z wykorzystaniem mułów węglowych.** Generalnie składowiska odpadów górnictwa węgla kamiennego są dobrze przepuszczalne dla wody i nie stanowią bariery dla przenikania zanieczyszczeń do warstw wodonośnych, w podłoże składowiska. Znacząco niższe wartości współczynnika filtracji wykazują jednak muły węglowe, gdzie przy wzrastającym obciążeniu, osiągany współczynnik filtracji często pozwala zaklasyfikować analizowany materiał do gruntów średnio izolujących dla przesiąkania pionowego. Na podstawie analizy można sądzić, że muły węglowe mogą zostać wykorzystane do budowy mineralnych barier izolujących, natomiast skała płonna może znaleźć zastosowanie w budowie warstw drenażowych, oczywiście po spełnieniu wymagań jakościowych. Właściwości filtracyjne mieszanek różnych odpadów czy materiałów są odrębnym zagadnieniem.
3. **Wykorzystanie właściwości energetycznych mieszanek mułów węglowych i osadów ściekowych.** Analizę oparto na badaniach własnych. Są to wstępne badania określenia wielkości ciepła spalania oraz wartości opałowej mieszanek mułów węglowych i osadów ściekowych. Rozwój takiego sposobu zagospodarowania odpadów wymaga oczywiście dalszych badań i analiz w zakresie współspalania osadów ściekowych z mułami węglowymi. Niemniej jednak, przeprowadzone w pracy badania wykazały, że w analizowanym przypadku, muły węglowe mogą znaleźć zastosowanie w procesach energetycznych. Można sądzić ponadto, że dodatek ustabilizowanych osadów ściekowych podnosi nieco parametry energetyczne mułów węglowych.

W pracy przedstawiono propozycje nowych działań w kierunku zagospodarowania materiału odpadowego górnictwa węgla kamiennego. Sposoby te wpisują się w dotychczasowe kierunki zagospodarowania, jednak pozwalają na rozszerzenie zakresu stosowania zarówno odpadów wydobywczych jak i produktów wytwarzanych na bazie skały płonnej czy mułów węglowych. Należy podkreślić, że ze względu na częsty brak stabilnego składu tych materiałów, każdorazowo przed próbą ich zastosowania należy dokonać oceny przydatności, uwzględniając aktualne ich właściwości. Oddzielnym zagadnieniem jest aspekt ekonomiczny stosowania wyróżnionych rozwiązań (m.in. koszt transportu oraz przygotowania odpadów), co należy każdorazowo rozpatrywać przed przystąpieniem do konkretnych działań.

Praca została wykonana w ramach prac statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

Literatura

- Baic i in. 2012a – Baic, I., Sobko, W. i Łukowska, M. 2012. Inwentaryzacja szacunkowa i in-situ depozytów mułów węglowych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 3, s. 221–229.
- Baic i in. 2012b – Baic, I., Lutyński, A. i Lutyński, M. 2012. Potencjał energetyczny zdeponowanych mułów węglowych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 3, s. 259–271.
- Baic, I. 2013. Analiza parametrów chemicznych, fizycznych i energetycznych depozytów mułów węglowych zinwentaryzowanych na terenie województwa śląskiego. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 15, s. 1511–1524.
- Baic, I. i Blaschke, W. 2012. Problematyka depozytów mułów węglowych w Polsce. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15, z. 3, s. 211–219.
- Baic, I. i Witkowska-Kita, B. 2011. Technologie zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. diagnoza stanu aktualnego, ocena innowacyjności i analiza SWOT. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 13, s. 1315–1326.
- Bednorz, J. 2011. Społeczno-ekologiczne skutki eksploatacji węgla kamiennego w Polsce. *Górnictwo i Geologia* t. 6(4), s. 5–17.
- Bień, J.D. 2012 – Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* t. 15(4), s. 439–449.
- 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.
- Budzyń, S. i Tora, B. 2014. Energetyczne i materiałowe wykorzystanie odpadów – wybrane technologie opracowane we współpracy Wydziału Energetyki i Paliw oraz Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, s. 9–24.
- Bzowski, Z. i Dawidowski, A. 2013. Monitoring właściwości fizykochemicznych odpadów wydobywczych pochodzących z kopalni węgla kamiennego LW „Bogdanka”. *Zeszyty Naukowe nr 149 Uniwersytetu Zielonogórskiego. Inżynieria środowiska* nr 29, s. 87–96.
- Doniecki, T. i Siedlecka, E. 2006. Odpadowe muły węglowe jako element izolacji mineralnej składowisk odpadów. *Górnictwo i Geoinżynieria* Rok 30, z. 3/1, s. 41–46.
- Dz.U. z 2011, Nr 175, poz. 1048. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych.
- Dz.U. z 2013, poz. 523. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów.
- Dz.U. z 2015, poz. 1277. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach.
- Dziok i in. 2015 – Dziok, T., Strugała, A., Rozwadowski, A., Macherzyński, M. i Ziomber, S. 2015. Rtęć w odpadach z procesu wzbogacania węgla kamiennych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 31, z. 1, s. 107–122.
- Galos, K. i Sługaj, J. 2014. Management of hard coal mining and processing wastes in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 30, z. 4, s. 51–61.
- Gawęda, T. i Olejnik, T. 2008. Produkcja kruszyw mineralnych z odpadów powęglowych w Kompanii Węglowej S.A. na przykładzie wybranych kopalń. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 2/1, s. 28–29.
- Góralczyk, S. red. 2011. *Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego*. IMBiGS Warszawa, 327 s.
- Góralczyk, S. i Baic, I. 2009. Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 12, z. 2/2, s. 145–157.
- Gruchot, A. 2014. Wykorzystanie kompozytów z odpadów powęglowych i popiołu lotnego do budowy wałów przeciwpowodziowych. *Przegląd Górniczy* nr 7, s. 158–164.
- Gruchot i in. 2015 – Gruchot, A., Zając, E. i Zarzycki, J. 2015. Analiza możliwości zagospodarowania osadów z wód dołowych kopalni węgla kamiennego. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 17, s. 998–1016.

- Grudziński, Z. 2013. Koszty środowiskowe wynikające z użytkowania węgla kamiennego w energetyce zawodowej. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 15, s. 2249–2266.
- Grudziński, Z. i Stala-Szulaj, K. 2016. Koszty środowiskowe a użytkowanie węgla kamiennego w obiektach o mocy do 50 MW. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 18, s. 579–596.
- 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.
- Hycnar i in. 2005 – Hycnar, J.J., Foltyn, R., Olkusi, T. i Blaschke, S.A. 2005. Kierunki energetycznego wykorzystania drobnopiekowych odpadów z wydobycia i wzbogacania węgla kamiennego. *Mat. VII Ogólnopolskiej Konf. Nauk. Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska*, Koszalin, s. 639–650.
- Hycnar i in. 2013 – Hycnar, J.J., Fraś, A., Przysaś, R. i Foltyn, R. 2013. Stan i perspektywy podwyższenia jakości mułów węglowych dla energetyki. *Mat. XXVII Konf. z cyklu Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej*, s. 61–74.
- Kicińska, A. i Kosa, B. 2016. Ocena testu wymywalności wybranych metali z odpadów wydobywczych węgla kamiennego zlikwidowanej kopalni „Siersza” w Trzebini (Polska S). *Ochrona środowiska i zasobów naturalnych* Vol. 27, nr 2(68), s. 32–37.
- Klatka i in. 2016 – Klatka, S., Malec, M., Ryzek, M., Kruk, E. i Zajac, E. 2016. Ocena zdolności retencyjnych wybranych odpadów przemysłowych. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* 15(4), s. 53–60.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2009. Wybrane aspekty zabezpieczenia środowiska gruntowo-wodnego w procesie zamykania składowisk odpadów komunalnych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, Hydrogeologia* z. IX/1, s. 247–252.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2014. Badania zawartości rtęci i siarki w odpadach z obszaru nieczynnej hałdy odpadów górnictwa węgla kamiennego. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 17, z. 4, s. 289–302.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. i Staszczak, J. 2017 (w druku). Czynne wyrobiska odkrywkowe surowców węglanych na tle granic GZWP w aspekcie możliwości ich rekultywacji przez wypełnianie odpadami. *Przegląd Geologiczny*.
- 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* Nr 5, s. 23–33.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016b – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Mucha, J. 2016. 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. *E3S Web of Conferences* 10, 00036. [Online] Dostępne w: e3s-conferences.org [Dostęp: 1.07.2017].
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016c – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Paw, K. 2016. Możliwości zagospodarowania kruszyw i odpadów wydobywczych górnictwa węgla kamiennego ZG Janina w procesach rekultywacji wyrobisk odkrywkowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 32, z. 3, s. 111–134.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. 2003. Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych. *Studia, Rozprawy, Monografie* nr 117, IGSMiE PAN, s. 113.
- 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 Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* Nr 90, s. 67–78.
- Kopacz, M. 2015. Ocena kosztów gospodarki skałą płonną w funkcji zmiennego poziomu współczynnika uzysku węgla netto na przykładzie kopalni węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 31, z. 3, s. 121–144.
- Korban, Z. 2011. Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska Nr 5A/W-1 KWK „X”. *Górnictwo i Geologia* nr 6(1), s. 109–120.
- Kugiel, M. i Piekło, R. 2012. Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Haldex S.A. *Górnictwo i Geologia* t. 7, z. 1, s. 133–145.
- Lorenz, U. i Ozga-Blaschke, U. 2005. Muły węgla kamiennego – produkt energetyczny czy odpad. *Mat. VII Ogólnopolskiej Konf. Nauk. Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska*, Koszalin, s. 681–682.
- Lutyński, A. i Szpyrka, J. 2010. Zagospodarowanie drobnopiekowych odpadów ze wzbogacania węgla kamiennego. *Górnictwo i Geoinżynieria* Rok 34, z. 4/1, s. 155–164.

- Lutyński, A. i Szpyrka, J. 2011. Analiza jakości mułów węgla kamiennego zdeponowanych w osadnikach naziemnych. *Górnictwo i Geologia* t. 6(2), s. 121–129.
- Mucha i in. 2016 – Mucha, J., Kłojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2016. Methodology of statistical study of the chemical composition of by-products of coal mining to assess their suitability as materials for reclamation. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 32, z. 4, s. 73–90.
- Pająk, T. 2014. Termiczne przekształcanie osadów ściekowych wobec wyzwań roku 2016. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* t. 17(3), s. 363–376.
- Piontek, B., 1999. Koszty środowiskowe w rachunku kosztów funkcjonowania kopalni węgla kamiennego. *Rocznik Ochrona Środowiska* t. 1, s. 157–204.
- Skarżyńska, K.M. 1997. *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej*. Kraków: Wyd. Akademii Rolniczej.
- Skawińska, A. i Kuklis, I. 2014. Ocena przydatności energetycznej komunalnych osadów ściekowych w oparciu o analizę parametrów fizykochemicznych. *Przegląd Górniczy* nr 12, s. 74–77.
- Sobik-Szołtysek i in. 2013 – Sobik-Szołtysek, J., Bień, J.B. i Milczarek, M. 2013. Analiza współczynnika filtracji w aspekcie możliwości stosowania alternatywnych materiałów do budowy barier izolacyjnych na składowiskach odpadów. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 15, s. 1393–1410.
- Sobko i in. 2011 – Sobko, W., Baic, I. i Blaschke, W. 2011. Depozyty mułów węglowych – inwentaryzacja i identyfikacja ilościowa. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)* t. 13, s. 1405–1413.
- Szymkiewicz i in. 2009 – Szymkiewicz, A., Fraś, A. i Przysaś, R. 2009. Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Południowym Koncernie Węglowym S.A. *Wiadomości Górnicze*, s. 435–441.
- Wróbel i in. 2013 – Wróbel, J., Fraś, A., Przysaś, R. i Hycnar, J.J. 2013. Gospodarka odpadami poprodukcyjnymi w kopalniach Południowego Koncernu Węglowego SA. *Konferencja Naukowo-Techniczna XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej*, Kraków 18–22.02.
- 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. *Materiały XXVI Konferencji Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej*, Zakopane, s. 113–127.
- [Online] Dostępne w: www.me.gov.pl – *Informacja o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego w 2014 r. wraz z oceną realizacji Programu działalności górnictwa węgla kamiennego w Polsce w latach 2007–2015* [Dostęp: 30.07.2017].
- Zawisza, E. i Malec, P. 2016. Wodoprzepuszczalność przepalonych odpadów powęglowych oraz ich mieszanek z popiołem lotnym. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus* t. 15 (3), s. 187–194.

