



Beata KŁOJZY-KARCZMARCZYK<sup>1</sup>, Jarosław STASZCZAK<sup>1</sup>

## Zastosowanie mułów węglowych do uszczelnienia składowisk odpadów komunalnych – rozpoznanie możliwości

**Streszczenie:** Wprowadzane nowe przepisy legislacyjne, regulujące w naszym kraju obrót paliwami stałymi, zwracają uwagę na konieczność rozwijania i doskonalenia sposobów i metod zagospodarowania mułów węglowych z węgla kamiennego. Celem pracy było wykazanie, czy parametry filtracyjne (głównie współczynnik filtracji) mułów węglowych są wystarczające do budowy warstw izolujących na składowiskach na etapie ich zamykania i jakie jest zapotrzebowanie na materiał w przypadku takiego postępowania. Analizę przeprowadzono dla składowisk odpadów komunalnych na obszarze województw opolskiego, śląskiego i małopolskiego. Dla mułów węglowych z górnictwa węgla kamiennego wartości współczynnika filtracji mieszczą się w zakresie  $10^{-8}$ – $10^{-11}$  m/s, przy średniej wartości  $3,16 \times 10^{-9}$  m/s. Można wnioskować, że materiał ten spełnia zasadniczo kryteria szczelności dla przepływów poziomych i często też pionowych. Przy zagęszczaniu, wzrastającym obciążeniu czy mieszaniu z popiołami lotnymi ze spalania węgla kamiennego oraz ilościami osiaganymi współczynnik filtracji często obniża swoje wartości. Na podstawie przeprowadzonej analizy można sądzić, że muły węglowe mogą zostać wykorzystane do budowy mineralnych barier izolujących. Na koniec roku 2016 na obszarze województw opolskiego, śląskiego i małopolskiego czynnych było 50 składowisk odpadów komunalnych. Jedynie 36 z nich uzyskało status instalacji regionalnej, blisko 1/3 obiektów znajduje się w zasięgu Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP). Pozostałe składowiska zostaną przeznaczone do zamknięcia. Zakładając konieczność zamknięcia wszystkich czynnych obecnie składowisk odpadów komunalnych, zapotrzebowanie na muły węglowe wynosi ogółem  $1\,779\,000\text{ m}^3$ , co przy przyjętych założeniach daje masę  $2\,704\,080\text{ Mg}$ . Całkowita ilość wytwarzania mułów węglowych jest w Polsce bardzo duża. Tylko dwie podstawowe grupy górnicze wytwarzają rocznie łącznie około  $1\,500\,000\text{ Mg}$  mułów węglowych. Budowa warstw izolujących na składowiskach odpadów obojętnych, niebezpiecznych oraz innych niż niebezpieczne i obojętne jest interesującym rozwiązaniem. Takie zastosowanie jest perspektywiczne, ale nie rozwiąże całościowo problemu związanego z wytwarzaniem i zagospodarowaniem tego materiału odpadowego. Istotne jest poszukiwanie kolejnych rozwiązań.

**Słowa kluczowe:** górnictwo węgla kamiennego, muły węglowe, zagospodarowanie odpadów, warstwy izolujące, składowiska odpadów komunalnych, zamykanie składowisk

<sup>1</sup> Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;  
e-mail: beatakk@min-pan.krakow.pl; jaro@min-pan.krakow.pl

## **The use of coal sludge to isolation municipal landfills – recognition of the possibility**

Abstract: The new legislative provisions, regulating the trade in solid fuels in our country, draw attention to the need to develop and improve methods and methods of managing hard coal sludge. The aim of the work was to show whether filtration parameters (mainly the permeability coefficient) of hard coal sludge are sufficient for construction of insulating layers in landfills at the stage of their closing and what is the demand for material in the case of such a procedure. The analysis was carried out for landfills for municipal waste in the Opolskie, Śląskie and Małopolskie provinces. For hard coal sludge, the permeability coefficient values are in the range of  $10^{-8}$ – $10^{-11}$  m/s, with the average value of  $3.16 \times 10^{-9}$  m/s. It can be concluded that this material generally meets the criteria of tightness for horizontal and often vertical flows. When compaction, increasing load or mixing with fly ash from hard coal combustion and clays, the achieved permeability coefficient often lowers its values. Based on the analysis, it can be assumed that hard coal sludge can be used to build mineral insulating barriers. At the end of 2016, 50 municipal landfills were open in the Opolskie, Śląskie and Małopolskie Provinces. Only 36 of them have obtained the status of a regional installation, close to 1/3 of the municipal landfill are within the Major Groundwater Basin (MGB) range. The remaining storage sites will be designated for closure. Assuming the necessity to close all currently active municipal waste landfills, the demand for hard coal sludge amounts to a total of 1,779,000 m<sup>3</sup> which, given the assumptions, gives a mass of 2,704,080 Mg. The total amount of hard coal sludge production is very high in Poland. Only two basic mining groups annually produce a total of about 1,500,000 Mg of coal sludge. The construction of insulating layers in landfills of inert, hazardous and non-hazardous and inert wastes is an interesting solution. Such an application is prospective, but it will not solve the problem related to the production and management of this waste material as a whole. It is important to look for further solutions.

Keywords: hard coal mining, coal sludge, waste management, insulating layers, municipal waste landfills, closure of landfills

## **Wprowadzenie**

W procesie wydobywania i wzbogacania urobku węglowego powstają znaczne ilości materiału odpadowego, głównie skała płonna oraz muły węglowe. Od wielu lat wielkość wytwarzania tego materiału kształtuje się na poziomie 32–37 mln Mg rocznie ([www.me.gov.pl](http://www.me.gov.pl); Baic i Witkowska-Kita 2011; Kopacz 2015). Generalnie na 1 Mg wydobytego węgla kamiennego przypada średnio 0,3 Mg materiału odpadowego (Gawenda i Olejnik 2008; Kłozzy-Karczmarczyk i in. 2016). Największa część to odpady przerobcze i stanowią one większościowy udział w ogólnej masie odpadów wytwarzanych w kopalniach (Góralczyk i Baic 2009). Kwalifikowane są one do odpadów o kodzie 01 04 12 (Odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopaliny inne niż wymienione w 01 04 07 i 01 04 11) i 01 04 81 (Odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla inne niż wymienione w 01 04 80). Jednak muły węglowe często nie są odpadem, a stanowią produkt uboczny w produkcji węgla kamiennego o znaczeniu energetycznym. Wprowadzane nowe przepisy legislacyjne, regulujące w naszym kraju obrót paliwami stałymi, głównie projekt ustawy o zmianie ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw oraz ustawy o Krajowej Administracji Skarbowej z dnia 19 marca 2018 roku (<http://www.sejm.gov.pl>) zakłada szereg zmian w ustawie z dnia 25 sierpnia 2006 roku o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (Dz.U. z 2018 r. poz. 427). Projekt zakłada między innymi zakaz stosowania w gospodarstwach domowych, jako paliwa, mułów i flotokonzentratów węglowych oraz mieszanek produkowanych z ich wykorzystaniem. Również przyjęte i planowane uchwały sejmików

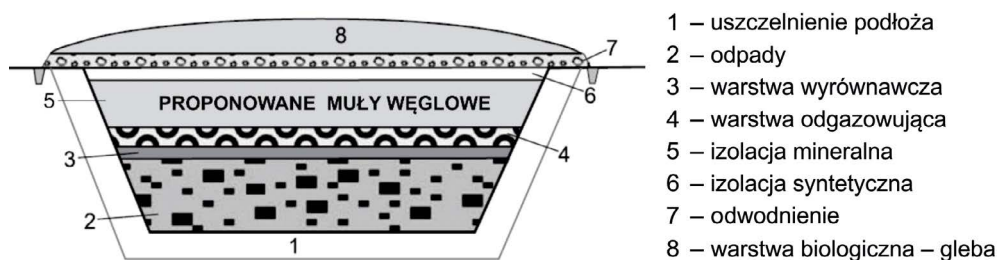
wielu województw wpisują się zdecydowanie w projekt tej ustawy i w walkę z niską emisją w Polsce (Stala-Szlugaj 2018a, 2018b). Istnieje zatem konieczność rozwijania i doskonalenia sposobów i metod zagospodarowania mułów węglowych z węgla kamiennego. Dotyczy to zarówno mułów węglowych z bieżącej produkcji, jak też odpadów zdeponowanych w osadnikach.

Obecnie stosowane jest wiele metod zagospodarowania mułów węglowych. Podstawowe znaczenie ma gospodarcze wykorzystanie tego materiału jako surowca niskoenergetycznego do spalania w elektrowniach (Baic i in. 2010; Baic 2013; Hycnar i in. 2013; Jelonek i in. 2010, 2016). Często stosowanym procesem jest wytwarzanie energetycznego granulatu mułowego, co podnosi jego jakość (Kugiel i Piekło 2012; Feliks 2012; Hycnar i in. 2013). Trwają również zaawansowane prace nad zastosowaniem nowoczesnych technologii i zgazowaniem odpadów, biomasy, mułów i miałów węglowych oraz przekształcaniem tych niskojakościowych paliw w produkty o znacznie większej wartości energetycznej (<https://www.teraz-srodowisko.pl>). Przeprowadzono ponadto wstępne badania mieszania i granulowania mułów węglowych z pyłami węglowymi z węgla brunatnego, co także podnosi walory jakościowe materiału podstawowego (Klojzy-Karczmarczyk i in. 2018; Feliks i in. 2018). Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie mułów węglowych do produkcji mieszanek ekologicznych, które z powodzeniem znajdują zastosowanie jako materiał do rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł (Kugiel i Piekło 2012). Literatura wskazuje także na możliwość zastosowania mułów węglowych do rekultywacji wyrobisk poprzez wypełnienie oraz do budowy warstw izolujących na składowiskach odpadów zarówno komunalnych, jak i przemysłowych (Doniecki i Siedlecka 2006; 2009; Sobik-Szołtysek i in. 2013; Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016; Klojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2017).

Autorzy artykułu postawili sobie pytanie, czy osiągnięte parametry filtracyjne (głównie współczynnik filtracji) mułów węglowych są wystarczające do budowy odpowiednich jakościowo warstw izolujących na składowiskach na etapie ich zamykania w przyszłości. Odrębnym zagadnieniem jest rozpoznanie, czy istnieje zapotrzebowanie na taki sposób postępowania i jaka jest skala możliwości działania. Analizę przeprowadzono na bazie składowisk odpadów komunalnych na obszarze województw opolskiego, śląskiego i małopolskiego. Zadanie zrealizowano z podziałem na obszary będące w zasięgu zbiorników wód podziemnych oraz poza nimi. Województwa te zostały wybrane ze względu na niewielką odległość od miejsc wytwarzania i deponowania mułów węglowych. Odległość najdalszych granic (w linii prostej) od centrum województwa śląskiego (przyjęto miasto Katowice) wynosi dla województwa opolskiego ok. 150 km, a dla województwa małopolskiego około 190 km. Natomiast najdalszy zakątek województwa śląskiego od jego centrum wynosi ok. 90 km. Na obecnym etapie pracy nie prowadzono analizy kosztowej proponowanych rozwiązań.

## 1. Składowiska odpadów komunalnych a konieczność ich uszczelnienia

Składowiska odpadów komunalnych mogą wykazywać i często wykazują negatywne oddziaływanie na środowisko gruntowo-wodne. Proces taki obserwowany jest najczęściej przy braku uszczelnienia naturalnego lub sztucznego w dnie obiektu (m.in. Koda 2009; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2012; d'Obryn i in. 2014; Wysocka 2015; Grygorczuk-Petersons 2017). Najczęściej składowiska stare, budowane wiele lat temu, nie posiadają sztucznego uszczelnienia w dnie, a jedynym zabezpieczeniem są naturalne warstwy podłoża. Ze względu na możliwy i częsty brak ciągłej warstwy izolującej w podłożu składowiska, istnieje potencjalna możliwość migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych. Konieczne jest zatem prawidłowe zabezpieczenie składowiska na etapie jego zamykania i rekultywacji. Ważne jest ułożenie warstw w profilu ponad masę zdeponowanych odpadów komunalnych (rys. 1). Dla zatrzymania infiltracji w głąb składowiska i migracji odcieków najważniejszym elementem jest wprowadzenie uszczelnienia czaszy składowiska lub doszczelnienie istniejącej pokrywy rekultywacyjnej (Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2009; Jamróz 2012).



Rys. 1. Typowy przekrój zrekultywowanego składowiska odpadów komunalnych według Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurka (2009), zmodyfikowany przez autorów artykułu (5 – proponowane muły węglowe)

Fig. 1. Typical cross-section of municipal waste deposit by Kłojzy-Karczmarczyk and Mazurek (2009), modified by the paper's authors (5 – proposed coal sludge)

Ocena własności filtracyjnych materiału, jako bariery izolacyjnej, jest inna w przypadku przepływów poziomych oraz pionowych. Materiał uznany w hydrogeologii za praktycznie nieprzepuszczalny przy przepływach poziomych ( $k \leq 1,0 \times 10^{-8}$  m/s) nie stanowi bariery dla przesiąkania pionowego wód z powierzchni w głąb warstw wodonośnych. Dla gruntów mających stanowić warstwy izolujące dla przesiąkania pionowego wprowadzono własną klasyfikację przepuszczalności (Witczak i Adamczyk 1994), według której grunty izolujące charakteryzują się współczynnikiem filtracji  $k \leq 1,0 \times 10^{-10}$  m/s. Natomiast zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. z 2013 r. poz. 523) wymagany współczynnik filtracji dla naturalnej bariery geologicznej dla wszelkich składowisk budowanych wynosi  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s. W przypadku zamykania składowisk dodatkowe zabezpieczenie przed infiltracją wód opadowych poprzez uszczelnianie jego powierzchni wymagane jest jedynie dla składowisk odpadów

niebezpiecznych. Uszczelnienie powinno być wykonane z 3 warstw: ekranującej, drenażowej i wierzchniej warstwy ziemnej. Warstwa ekranująca (izolująca) powinna być złożona z warstwy mineralnej o wartości współczynnika filtracji  $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$  m/s oraz izolacji syntetycznej.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że szereg składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, a przeznaczonych do zamknięcia, nie posiada naturalnej bariery izolującej w podłożu. Dodatkowo wymywalność zanieczyszczeń z takich odpadów, w tym komunalnych, jest zróżnicowana i znacząca (m.in. Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2003; Szymańska-Pulikowska 2010; Długosz 2012; Fudala-Książek i in. 2016). Z tych powodów autorzy proponują uszczelnianie czaszy składowisk odpadów komunalnych, każdorazowo w przypadku braku dostatecznego zabezpieczenia w podłożu. Szczególnego znaczenia nabiera doszczelnianie składowisk zlokalizowanych w zasięgu głównych zbiorników wód podziemnych. 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 swą uciążliwość dla środowiska. 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 B. Kłojzy-Karczmarczyk (2003), T. Donieckiego i E. Siedleckiej (2006) oraz J. Sobik-Szołtysek ze współautorami (2013). W prezentowanym artykule zaproponowano zastosowanie mułów węglowych do budowy warstwy izolującej, uszczelniającej czaszę składowiska. Materiał odpadowy wprowadzono do profilu warstw kształtowanych na etapie jego zamykania: warstwa 5 – izolacja mineralna (rys. 1).

## 2. Właściwości izolujące mułów węglowych

Odpady wydobywcze są materiałem zróżnicowanym ze względu na skład petrograficzny, właściwości fizykochemiczne, stopień zagęszczenia odpadów i sposób formowania warstw odpadowych czy składowiska. Efektem jest nagromadzenie materiału o zmiennej przepuszczalności dla wody. Współczynnik filtracji odpadów wydobywczych zmienia się w szerokim zakresie od  $10^{-3}$  do  $10^{-11}$  m/s, przy czym zaobserwowano zmniejszanie się wartości współczynnika filtracji dla materiału zdeponowanego na składowiskach z upływem czasu (Doniecki i Siedlecka 2006; 2009; Gwoździewicz i Bukowska 2012; Sobik-Szołtysek i in. 2013; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016). Zasadniczo składowiska 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. Badania przeprowadzone jednak dla samych mułów węglowych wykazują dobre ich właściwości izolacyjne. Wyniki podawane w literaturze wykazują, że wartość współczynnika filtracji podawana dla mułów węglowych może być wystarczająca dla budowania z nich bariery izolującej dla przesiąkania pionowego (tab. 1).

TABELA 1. Współczynnik filtracji mułów węglowych na podstawie danych wybranych literaturowych

TABLE 1. Hydraulic conductivity of coal sludge based on selected literature data

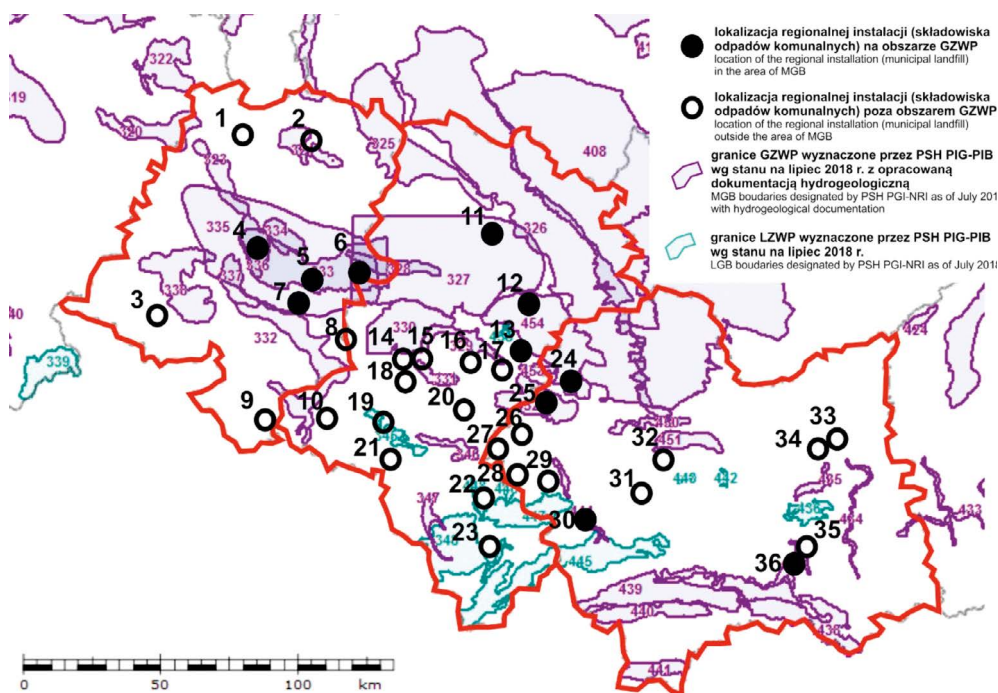
Rodzaj materiału, pochodzenie, źródło danych	Forma mułu węglowego	Współczynnik filtracji k [m/s]	Średni współczynnik filtracji k [m/s]
Muły węglowe (Doniecki i Siedlecka 2006)	muł zagęszczony	$4,60 \times 10^{-9}$ – $3,06 \times 10^{-11}$	$1,20 \times 10^{-9}$
Muły węglowe (Doniecki i Siedlecka 2009)	muł zagęszczony	$9,12 \times 10^{-10}$ – $1,11 \times 10^{-11}$	$3,89 \times 10^{-10}$
Mieszanki sporządzone z mułów węglowych ZG Sobieski (50%) z popiołami, odpadami poflotacyjnymi i ilami nadkładowymi (Sobik-Szołtysek i in. 2013)	mieszanki sporządzone z mułów węglowych	$2,03 \times 10^{-8}$ – $3,00 \times 10^{-10}$	$8,63 \times 10^{-9}$
Muły węglowe z pras filtracyjnych ZG Janina (Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016)	muł węglowy z odwadniania na prasach filtracyjnych	$4,75 \times 10^{-9}$ – $9,40 \times 10^{-10}$	$2,45 \times 10^{-9}$

Dla mułów węglowych z górnictwa węgla kamiennego wartości współczynnika filtracji mieszczą się w zakresie  $10^{-8}$ – $10^{-11}$  m/s, przy średniej wartości  $3,16 \times 10^{-9}$  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 zagęszczaniu, pod wpływem wzrastającego obciążenia czy mieszaniu z popiołami lotnymi ze spalania węgla kamiennego oraz ilami nadkładowymi osiągnąony współczynnik filtracji często pozwala zaklasyfikować analizowany materiał do gruntów średnio izolujących dla przesiąkania pionowego. Zasadniczo przyjmuje on wartość rekomendowaną dla naturalnej bariery geologicznej uszczelniającej podłoże i ściany boczne różnych składowisk odpadów oraz dla warstwy ekranującej w procesie zamykania składowisk, mniejszą od  $1,0 \times 10^{-9}$  m/s. Na podstawie powyższej analizy można sądzić, że muły węglowe mogą zostać wykorzystane do budowy mineralnych barier izolujących. Możliwość doszczelniania obiektów z wykorzystaniem mułów węglowych dotyczy zarówno składowisk odpadów komunalnych, jak też przemysłowych. Ze względu na parametry jakościowe materiału, takie postępowanie może mieć miejsce zwłaszcza w obszarach przemysłowych, komunikacyjnych czy górniczych. Zastosowanie mułów węglowych jest rekomendowane ze względu na niską zawartość siarki całkowitej w materiale (Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2016; Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2018).

### 3. Metodyka i wyniki przeprowadzonej analizy

Przeprowadzono rozpoznanie, potencjalnego zapotrzebowania na materiał konieczny do budowy warstw izolujących czasę składowisk odpadów komunalnych. Analizę wykonano dla składowisk odpadów komunalnych uznanych za instalacje regionalne oraz dla

składowisk odpadów komunalnych (innych niż niebezpieczne i obojętne) uwzględnionych w bazie danych *Bank Danych Lokalnych* (BDL GUS) (<https://bdl.stat.gov.pl>). Regionalne instalacje przeznaczone do składowania odpadów komunalnych (po przetworzeniu) oraz pozostałości z sortowania wytypowano na podstawie planów gospodarki odpadami szczebla wojewódzkiego (WPGO) (WPGO dla województwa małopolskiego; WPGO dla województwa opolskiego; WPGO dla województwa śląskiego). Instalacje te zostały szczegółowo wyznaczone w uchwałach sejmików poszczególnych województw w sprawie wykonania wojewódzkich planów gospodarki odpadami (*Uchwała Nr XXXVI/543/17 Sejmiku Województwa Małopolskiego; Uchwała Nr XXVII/307/2017 Sejmiku Województwa Opolskiego; Uchwała Nr V/37/8/2017 Sejmiku Województwa Śląskiego*). Wyznaczone składowiska o charakterze instalacji regionalnych rozmieszczono na mapie Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) (<http://www.psh.gov.pl>). Mapa obejmuje wszystkie udokumentowane oraz nieudokumentowane główne oraz lokalne zbiorniki wód podziemnych. Zasięg GZWP został wydzielony na podstawie ustalonych jednolitych parametrów jakościowych i ilościowych zbiorników. Należy podkreślić, że obszary ochronne zbiorników wód podziemnych są częścią obszaru zasilania zbiornika wód podziemnych, gdzie stosuje się zakazy, nakazy oraz ograniczenia w użytkowaniu terenu (*Mikołajków i Węglarz 2011*). W prezentowanej pracy instalacje regionalne zlokalizowano na tle granic GZWP a nie granic ich stref ochronnych (rys. 2).



Rys. 2. Składowiska odpadów komunalnych (instalacje regionalne) województwa opolskiego śląskiego i małopolskiego na tle granic GZWP (<http://www.psh.gov.pl>)

Fig. 2. Municipal waste landfills (regional installations) of the Opolskie, Śląskie and Małopolskie Provinces on the background of the limits of the MGB

Do prowadzonej analizy rozmieszczenia instalacji na tle granic GZWP nie włączono instalacji zastępczych, czyli instalacji przewidzianych do zastępczej obsługi regionów.

Łącznie wyznaczono 36 składowisk na obszarze analizowanych województw, uznanych jako regionalne instalacje przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK). W wyniku przeprowadzonej analizy ich lokalizacji stwierdzono, że 11 spośród nich znajduje się w granicach wyznaczonych obszarów GZWP. Największą liczbę składowisk o charakterze regionalnym, zlokalizowanych w zasięgu obszarów GZWP, rozpoznano na obszarze województw opolskiego i małopolskiego. W obu przypadkach zlokalizowano po 4 takie obiekty, natomiast w województwie śląskim w granicach GZWP zlokalizowano 3 obiekty. Liczbę regionalnych instalacji do składowania odpadów komunalnych w poszczególnych województwach z podziałem na umiejscowione w granicach i poza granicami GZWP przedstawiono w tabeli 1. Należy podkreślić, że ze względu na skalę mapy GZWP, lokalizacja niektórych instalacji regionalnych, znajdujących się w strefie granicznej zasięgu zbiorników może być obciążona pewnym błędem.

Zbiorniki wód podziemnych, w granicach których umiejscowione są składowiska regionalne, zlokalizowane są w strukturach geologicznych różnego wieku. Większość składowisk zlokalizowano w ośrodkach szczelinowo-krasowych, jednak kilka obiektów znajduje się w ośrodkach szczelinowo-porowych i porowych. Zagrożenie jakości zasobów GZWP zależy oczywiście od charakteru ośrodka skalnego, w jakim utworzony został zbiornik, oraz charakteru warstw nadkładu. Jednak najważniejszym elementem ochrony zasobów zbiornika przed potencjalnym negatywnym oddziaływaniem składowiska odpadów jest charakterystyka samego obiektu składowania. Najbardziej istotnym elementem zabezpieczenia jest uszczelnienie podłoża, a w przypadku jego braku, uszczelnienie czaszy składowiska na etapie jego zamykania.

Zgodnie z danymi BDL GUS, na koniec roku 2016 na obszarze analizowanych województw czynnych było 50 składowisk odpadów komunalnych. Jedyne 36 z nich uzyskało status instalacji regionalnej (tab. 2). Pozostałe składowiska zostaną przeznaczone do zamknięcia. Łączna powierzchnia czynnych składowisk odpadów na koniec 2016 roku wyniosła 355,8 ha. Szczegółowe zestawienie przedstawiono w tabeli 3. W kolejnych latach składowiska, które nie otrzymały statusu RIPOK-ów będą sukcesywnie zamykane, a tym samym będą wymagały odpowiedniego zabezpieczenia, w tym budowy uszczelnienia czaszy obiektu. Tylko na obszarze województwa opolskiego znajduje się 9 regionalnych składowisk odpadów komunalnych z 21 istniejących składowisk ogółem. Aż 12 składowisk zostanie zatem zamkniętych do 2022 roku (WIOŚ Opole 2017).

Rozpoznane na podstawie literatury parametry filtracyjne (głównie współczynnik filtracji) mułów węglowych są wystarczające do budowy odpowiednich jakościowo warstw izolujących na składowiskach. W dalszej części podjęto próbę szacowania zapotrzebowania na materiał izolujący w procesie zamykania składowisk przy uwzględnieniu wszystkich trzech województw. Założono, że:

- Wszystkie składowiska komunalne eksploatowane obecnie będą wymagały w przyszłości uszczelnienia czaszy na etapie ich zamykania, zarówno składowiska obecnie przeznaczone do zamknięcia, jak też instalacje regionalne.
- Uszczelnieniu podlegać będą składowiska zlokalizowane w zasięgu GZWP oraz poza nimi, choć należy zaznaczyć, że składowiska w zasięgu GZWP wymagają szczegółowego rozpoznania i zabezpieczenia przed możliwością infiltracji.



TABELA 2. Zestawienie regionalnych instalacji do składowania odpadów komunalnych w poszczególnych województwach z uwzględnieniem ich lokalizacji na tle granic GZWP

TABLE 2. List of the regional municipal landfills in individual provinces taking their location within the limits of the MGB into account

Województwo	Ilość regionalnych instalacji/Ilość na obszarze GZWP	[Nr instalacji – zgodnie z rys. 1], Nr GZWP, wiek utworów*, typ ośrodka** (Kleczkowski 1990), status udokumentowania***
Opolskie	9/4	[4] 333, T <sub>2</sub> , s-k, U; 335, T <sub>1</sub> , s-p, U; 336, Cr <sub>3</sub> , s-k, U; [5] 333, T <sub>2</sub> , s-k, U; [6] 333, T <sub>2</sub> , s-k, U; 327 T <sub>1</sub> ,T <sub>2</sub> , s-k, U; [7] 335, T <sub>1</sub> , s-p, U;
Śląskie	14/3	[11] 327 T <sub>1</sub> ,T <sub>2</sub> , s-k, U; [12] 454, T <sub>1</sub> ,T <sub>2</sub> , s-k, U; [13] 454, T <sub>1</sub> ,T <sub>2</sub> , s-k, U;
Małopolskie	13/4	[24] 454, T <sub>1</sub> ,T <sub>2</sub> , s-k, U; [25] 452, T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , s-k, U; [30] 444, Q <sub>D</sub> , p, U; [36] 437, T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , s-k, U;
<b>Polska ogółem</b>	<b>36/11</b>	

Instalacje regionalne do składowania odpadów komunalnych przetworzonych oraz pozostałości po sortowaniu – stan na lipiec 2018 roku wg uchwał poszczególnych sejmików wojewódzkich.

\* Wiek utworów na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów (Dz.U. z 2006 r. Nr 126, poz. 878).

\*\* Typy ośrodka: p – porowy, s-k – szczelinowo-krasowy, s-p – szczelinowo-porowy.

\*\*\* Status udokumentowania GZWP: U – GZWP z opracowaną dokumentacją hydrogeologiczną, N – GZWP bez opracowanej dokumentacji hydrogeologicznej (stan na lipiec 2018 r. (<http://epsh.pgi.gov.pl/epsh>)).

TABELA 3. Zapotrzebowanie na materiał uszczelniający składowiska odpadów komunalnych na etapie ich zamykania (uszczelnienie czaszy)

TABLE 3. Demand for isolating material for municipal waste landfill at the stage of closing (isolating the cap)

Województwo	Łączna powierzchnia czynnych składowisk na koniec 2016 r. (dane BDL GUS)	Liczba czynnych składowisk na koniec 2016 r. (dane BDL GUS)	Łączna objętość warstw uszczelniających V [m <sup>3</sup> ]	Łączna masa mułów węglowych, jako warstw uszczelniających m [Mg]*
Opolskie	117,7 ha	21	588 500	894 520
Śląskie	141,7 ha	21	708 500	1 076 920
Małopolskie	96,4 ha	18	482 000	732 640
<b>Ogółem</b>	<b>355,8 ha</b>	<b>50</b>	<b>1 779 000</b>	<b>2 704 080</b>

\*  $m = V \cdot \rho$ , gdzie  $\rho$  – gęstość objętościowa [Mg/m<sup>3</sup>].

- Jako materiał izolujący (warstwa ekranująca) wybrano muły węglowe z górnictwa węgla kamiennego.
- Miąższość warstwy ekranującej przyjęto jak dla składowisk odpadów niebezpiecznych, czyli 0,5 m (Dz.U. z 2013 r. poz. 523).
- Powierzchnia przeznaczona do przykrycia warstwą ekranującą odpowiada powierzchni poszczególnych składowisk.
- Przeliczenie objętości zapotrzebowania mułów węglowych na masę przeprowadzono z wykorzystaniem wartości gęstości objętościowej wyznaczonej dla mułów z kopalni Janina (Doniecki i Siedlecka 2006). Gęstość objętościowa mułu węglowego zamyka się w przedziale 1,50–1,54 Mg/m<sup>3</sup>. Do obliczeń przyjęto wartość środkową, czyli 1,52 Mg/m<sup>3</sup>.

Wyniki analizy zestawiono w tabeli 3. W celu przykrycia całej powierzchni wszystkich czynnych składowisk odpadów komunalnych (innych niż niebezpieczne i obojętne) na obszarze województwa opolskiego, śląskiego i małopolskiego potrzebne będzie 1 779 000 m<sup>3</sup> mułów węglowych, co przy przyjętych założeniach daje masę 2 704 080 Mg. Warto nadmienić, że całkowita ilość wydobycia mułów węglowych jest bardzo duża. Tylko Zakłady Górnicze TAURON Wydobycie rocznie wytwarzają około 700 000 Mg mułów węglowych, a Polska Grupa Górnicza (PGG) rocznie sprzedaje ilości dochodzące do 800 000 Mg (<https://www.pb.pl>). Z pewnością budowa warstw izolujących na składowiskach odpadów obojętnych, niebezpiecznych oraz innych niż niebezpieczne i obojętne jest interesującym rozwiązaniem. Takie zastosowanie jest perspektywiczne, ale nie rozwiąże całościowo problemu związanego z wytwarzaniem i zagospodarowaniem tego materiału odpadowego.

## Wnioski

Obserwowane często zmiany w otoczeniu składowisk odpadów komunalnych oraz badania wód odciekowych wskazują, że konieczne jest prawidłowe zabezpieczenie wszelkich składowisk na etapie ich zamykania i rekultywacji. Dla zatrzymania infiltracji w głąb składowiska i migracji odcieków najważniejszym elementem jest wprowadzenie uszczelnienia czaszy składowiska lub doszczelnienie istniejącej pokrywy rekultywacyjnej. Zadanie to może zostać zrealizowane z wykorzystaniem gruntów naturalnych czy materiałów syntetycznych, ale lepszym rozwiązaniem jest poszukiwanie materiału odpadowego, którym można je zastąpić.

Znane z literatury wyniki badań wielkości współczynnika filtracji mułów węglowych wskazują na ich dobre właściwości izolujące. Dla mułów węglowych z górnictwa węgla kamiennego wartości współczynnika filtracji mieszczą się w zakresie 10<sup>-8</sup>–10<sup>-11</sup> m/s, przy średniej wartości 3,16 × 10<sup>-9</sup> m/s. Zasadniczo przyjmuje on wartość rekomendowaną dla naturalnej bariery geologicznej uszczelniającej podłoże i ściany boczne różnych składowisk odpadów oraz dla warstwy ekranującej w procesie zamykania składowisk. Warto zaznaczyć, że ilość wyników pozyskanych z literatury jest niewielka. Uwzględniając zatem znaczną zmienność współczynnika filtracji, należy zwiększyć liczbę badań tego parametru dla pozyskania bardziej szczegółowych wyników. Należy podkreślić, że przedstawione w pracy

wyniki analizy stanowią wstępne rozpoznanie możliwości zastosowania mułów węglowych do uszczelniania składowisk odpadów. Do zastosowań praktycznych, obok wartości współczynnika filtracji, wskazane jest uzupełnienie badań mułów węglowych o wartości parametrów fizyko-mechanicznych i chemicznych.

Na koniec roku 2016 na obszarze województw opolskiego, śląskiego i małopolskiego czynnych było 50 składowisk odpadów komunalnych. Jedynie 36 z nich uzyskało status instalacji regionalnej, w tym prawie 1/3 obiektów znajduje się w zasięgu GZWP. Pozostałe składowiska zostaną przeznaczone do zamknięcia. Zakładając konieczność zamknięcia wszystkich czynnych obecnie składowisk odpadów komunalnych, zapotrzebowanie na muły węglowe wynosi ogółem blisko 1 800 000 m<sup>3</sup>, co daje masę około 2 700 000 Mg. Zastosowanie mułów węglowych do uszczelniania składowisk jest ciekawym i perspektywicznym rozwiązaniem. Jednak ze względu na dużą masę odpadów wytwarzanych corocznie nie zlikwiduje całościowo problemu związanego z zagospodarowaniem tego materiału. Pozostaje poszukiwanie kolejnych rozwiązań w procesie zagospodarowania wytwarzanych mułów węglowych.

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

## Literatura

- Baic i in. 2010 – Baic, I., Blaschke, W. i Szafarczyk, J. 2010. Depozyty mułów węglowych źródłem paliwa energetycznego – informacja o projekcie rozwojowym. *Przegląd Górniczy* Nr 1–2, s. 73.
- 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 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.
- d’Obyrn i in. 2014 – d’Obyrn, K., Kłojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2014. An analysis of the impact of a liquidated salt mine and an municipal landfill on the quality of the Malinówka stream water in the former Barycz mining area. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 22, z. 4, s. 113–132.
- Długosz, J. 2012. Charakterystyka składu oraz ilości odcieków ze składowisk odpadów komunalnych – praca przeglądowa. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* t. 14, nr 4; s. 19–30.
- Doniecki, T. i Siedlecka, E. 2006. Odpadowe muły węglowe jako element izolacji mineralnej składowisk odpadów. *Górnictwo i Geoinżynieria* R. 30, z. 3/1, s. 41–46.
- Doniecki, T. i Siedlecka, E. 2009. Zmienność współczynnika filtracji w muł węglowym proponowanym do budowy barier izolacyjnych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* t. 12, nr 3, s. 219–230.
- Dz.U. z 2006 r. Nr 126, poz. 878 – Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 czerwca 2006 r. w sprawie przebiegu granic obszarów dorzeczy i regionów wodnych.
- Dz.U. z 2013 r. poz. 523 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów.
- Dz.U. z 2018 r. poz. 427 – Ustawie z dnia 25 sierpnia 2006 roku o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw.
- Feliks, J. 2012. Badania laboratoryjne granulowania mułów węglowych. *Chemik* t. 66, nr 5, s. 388–395.
- Feliks i in. 2018 – Feliks, J., Kłojzy-Karczmarczyk, B. i Wienczek, M. 2018. Granulowanie mułów węglowych i ich mieszanek celem poprawy właściwości transportowych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 104, s. 173–188.

- Fudala-Książek i in. 2016 – Fudala-Książek, S., Łuczkiwicz, A., Kulbat, E. i Remiszewska-Skwarek, A. 2016. Charakterystyka odcieków powstających na składowiskach odpadów w aspekcie wyboru metody ich oczyszczania. *Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska* t. 18, s. 952–963.
- Gawenda, 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. 1/2.
- Grygorczuk-Petersons, E.H. 2017. Wpływ nieuszczelnionego składowiska odpadów komunalnych na jakość wód podziemnych. *Inżynieria Ekologiczna (Ecological Engineering)* t. 48, s. 61–68.
- Gwoździewicz, M. i Bukowska, M. 2012. Zmiany współczynnika filtracji różnowiekowych odpadów wydobywczych w bryle składowiska „Bogdanka” w świetle badań modelowych oraz in situ. *Prace Nauk. GIG, Górnictwo i Środowisko* t. 1, s. 47–62.
- 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.
- Jamróż, A. 2012. Prawidłowa budowa, eksploatacja i rekultywacja składowisk odpadów komunalnych zgodnie z przepisami prawa polskiego. *Czasopismo Techniczne – Środowisko* R. 109, z. 4, s. 87–100.
- Jelonek i in. 2010 – Jelonek, I., Mirkowski, Z. i Iwanek, P. 2010. Analiza własności fizykochemicznych i petrograficznych mułów węglowych w aspekcie ich wykorzystania jako paliwa na przykładzie wybranego obiektu PKE S.A. *Przegląd Górniczy* 66, 10, s. 156–160.
- Jelonek i in. 2016 – Jelonek, I., Mirkowski, Z. i Jelonek, Z. 2016. Cechy flotokonzentratów oraz mułów węglowych stosowanych w piecach centralnego ogrzewania oraz charakterystyka produktów ubocznych powstałych w wyniku ich spalania. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* Nr 96, s. 91–104.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. 2003. Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych. *Studia Rozprawy Monografie* nr 117, Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- 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. 2017. Propozycje rozszerzenia działań celem zagospodarowania materiałów odpadowych z górnictwa węgla kamiennego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 98, s. 151–165.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2003 – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Czajka, K. 2003. Jakość odcieków a wybór charakterystycznych wskaźników zanieczyszczenia wód wokół składowisk odpadów komunalnych. *Współczesne Problemy Hydrogeologii* t. XI, cz. 2, s. 423–426.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2012 – Klojzy-Karczmarczyk, B., d’Obyrn, K. i Mazurek, J. 2012. Analysis of Long-Term Changes in Water Chemistry of the Malinówka Stream in the Region of Potential Municipal Landfill Impact on Barycz Salt Deposit Post-Mining Sites. *Polish Journal of Environmental Studies*, Wyd. HARD Publishing Company, Olsztyn, Poland, Vol. 21, No 5A, p. 180–185.
- Klojzy-Karczmarczyk i in. 2016 – 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 i in. 2018 – Klojzy-Karczmarczyk, B., Mazurek, J. i Wienczek, M. 2018. Coal sludge and their mixtures as prospective energy resources. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 21, z. 3, s. 137–150.
- Koda, E. 2009. Geośrodowiskowe aspekty rekultywacji składowisk komunalnych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3, 134–151.
- Kopacz, M. 2015. Ocena kosztów gospodarki skalą 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.
- Kugiel, M. i Piekło, R. 2012. Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Haldex S.A. *Górnictwo i Geologia* t. 7, z. 1, s. 133–145.
- Mikołajków, J. i Węglarz, D. 2011. Baza danych GIS Głównych Zbiorników Wód Podziemnych – założenia metodyczne, aktualny stan przygotowania. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* t. 445, s. 413–422.

- Sobik-Szołtysek i in. 2013 – Sobik-Szołtysek, J., Bień, J. 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.
- Stala-Szlugaj, K. 2018a. Uchwały antysmogowe w Polsce a ich oddziaływanie na zużycie węgla kamiennego w gospodarstwach domowych. *Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society* Nr 2, w druku.
- Stala-Szlugaj, K. 2018b. Hard coal demand for households in Poland vs. Anti-smog law. *Archives of Mining Sciences* vol. 63, iss. 3, s. 701–711.
- Szymańska-Pulikowska, A. 2010. Ocena właściwości wód odciekowych z krajowych składowisk odpadów komunalnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* nr 8(2), s. 141–150.
- Uchwała Nr XXXVI/543/17 Sejmiku Województwa Małopolskiego – Uchwała Nr XXXVI/543/17 Sejmiku Województwa Małopolskiego z dnia 29 maja 2017 r. w sprawie zmiany Uchwały Nr XXXIV/510/17 Sejmiku Województwa Małopolskiego z dnia 27 marca 2017 roku w sprawie wykonania „Planu Gospodarki Odpadami Województwa Małopolskiego na lata 2016–2022”.
- Uchwała Nr XXVII/307/2017 Sejmiku Województwa Opolskiego – Uchwała Nr XXVII/307/2017 Sejmiku Województwa Opolskiego z dnia 28 marca 2017 r. w sprawie wykonania „Planu gospodarki odpadami dla województwa opolskiego na lata 2016–2022 z uwzględnieniem lat 2023–2028”.
- Uchwała Nr V/37/8/2017 Sejmiku Województwa Śląskiego – Uchwała Nr V/37/8/2017 Sejmiku Województwa Śląskiego z dnia 24 kwietnia 2017 r. w sprawie wykonania „Planu gospodarki odpadami dla województwa śląskiego na lata 2016–2022”.
- WIOŚ Opole 2017 – Gospodarka odpadami w województwie opolskim w 2016 roku, Wojewódzki Inspektorat Ochrony środowiska w Opolu, lipiec 2017. [Online] <http://www.opole.pios.gov.pl/> [Dostęp: 26.07.2018].
- Witczak, S. i Adamczyk, A. 1994. *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*. Warszawa: Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska t. I.
- WPGO dla województwa małopolskiego – Plan gospodarki odpadami dla województwa małopolskiego na lata 2016–2022. [Online] <https://www.malopolska.pl/> [Dostęp: 26.07.2018].
- WPGO dla województwa opolskiego – Plan gospodarki odpadami dla województwa opolskiego na lata 2016–2022 z uwzględnieniem lat 2023–2028. [Online] <http://bip.opolskie.pl/> [Dostęp: 26.07.2018].
- WPGO dla województwa śląskiego – Plan gospodarki odpadami dla województwa śląskiego na lata 2016–2022. [Online] <https://www.slaskie.pl/> [Dostęp: 26.07.2018].
- Wysocka, M.E. 2015. Wpływ lokalizacji składowisk odpadów na jakość wód podziemnych. *Annual Set The Environment Protection (Rocznik Ochrona Środowiska)* t. 17, s. 1074–1093. [Online] <https://bdl.stat.gov.pl> – Bank Danych Lokalnych (BDL), Główny Urząd Statystyczny (GUS) [Dostęp: 26.07.2018].
- [Online] <https://www.pb.pl> – PGG wycofuje z oferty muły węglowe i flotokoncentraty [Dostęp: 30.07.2018].
- [Online] <http://www.psh.gov.pl> – Mapa głównych zbiorników wód podziemnych na terenie Polski, wykonana przez Państwową Służbę Hydrogeologiczną Państwowego Instytutu Geologicznego–Państwowego Instytutu Badawczego (PSH PIG-PIB) – stan udokumentowania na lipiec 2018 r. [Dostęp: 16.07.2018].
- [Online] <http://www.sejm.gov.pl> – Rządowy projekt ustawy o zmianie ustawy o systemie monitorowania i kontroli jakości paliw oraz ustawy o Krajowej Administracji Skarbowej z dnia 19 marca 2018, druk 2377 [Dostęp: 23.07.2018].
- [Online] <https://www.teraz-srodowisko.pl> – Spółki górnicze pracują nad sposobem zagospodarowania mułów węglowych [Dostęp: 12.08.2018].
- [Online] [www.me.gov.pl](http://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].

