

WODOPRZEPUSZCZALNOŚĆ PRZEPALONYCH ODPADÓW POWĘGLOWYCH ORAZ ICH MIESZANEK Z POPIOŁEM LOTNYM

Eugeniusz Zawisza, Paulina Malec

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy podano wyniki badań wodoprzepuszczalności odpadów powęglowych przepalonych oraz ich mieszanek z popiołem lotnym. Materiały do badań stanowiły odpady powęglowe przepalone pochodzące ze składowiska KWK Gliwice, popiół lotny z Elektrowni Skawina S.A. oraz mieszanki odpadów powęglowych z popiołem, w których zawartość popiołu wynosiła 10, 20 i 30% (wagowo). Charakterystykę podstawowych właściwości geotechnicznych badanych materiałów opracowano na podstawie wyników badań przeprowadzonych według procedur standardowych. Badania wodoprzepuszczalności odpadów powęglowych i ich mieszanek z popiołem lotnym wykonano w aparacie średniowymiarowym. Analizę wyników badań przeprowadzono w aspekcie możliwości wykorzystania przedmiotowych materiałów odpadowych do celów budownictwa ziemnego.

Słowa kluczowe: odpady przemysłowe, odpady powęglowe, popioły lotne, właściwości geotechniczne, wodoprzepuszczalność

WPROWADZENIE

Powstawanie odpadów towarzyszy każdej działalności gospodarczej, głównie w wyniku przetwarzania różnego rodzaju surowców. Różnorodność tych odpadów jest bardzo duża, co wpływa na możliwości ich zagospodarowania. Odpady mogą powodować i często powodują zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego oraz zakłócanie działalności gospodarczej. Związane jest to z tzw. barierą odpadową. Bariera ta pojawia się z powodu nadmiaru odpadów już nagromadzonych i dalszego zwiększania ich ilości. Odpady, które są wytwarzane w ilościach przekraczających możliwości ich zagospodarowania, nazywa się odpadami masowymi. Są to głównie produkty uboczne procesów

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. inż. Eugeniusz Zawisza, prof. UR, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: kiwig@ur.krakow.pl, mgr inż. Paulina Malec – absolwentka UR w Krakowie.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2016

pozyskania i przeróbki kopalin i surowców mineralnych, pochodzących z przemysłu górniczego, energetycznego i hutniczego [Sztaba 1996].

W Polsce istnieje duże zapotrzebowanie na tanie materiały do budowy nasypów ziemnych, w tym hydrotechnicznych. Odpady przemysłowe, w tym powęglowe i poenergetyczne, mogą zostać wykorzystane do tego celu. Jednak z powodu uciążliwości związanych z badaniem takich materiałów są one często odrzucane bez jakichkolwiek prób ich wykorzystania. Zastosowanie odpadów przemysłowych do celów budownictwa ziemnego jest związane z koniecznością znajomości ich właściwości geotechnicznych. Właściwości odpadów z produkcji i spalania węgla są zróżnicowane; wynikają one głównie z technologii wydobywania, okresu składowania, różnej podatności na procesy wietrzenia oraz dezintegracji mechanicznej. Dlatego każdorazowo należy określić parametry fizyczne i mechaniczne (charakteryzujące głównie uziarnienie, zagęszczalność, wytrzymałość na ścinanie i wodoprzepuszczalność) danego rodzaju odpadów przed zastosowaniem ich do celów budowlanych [Skarżyńska 1997, Zawisza 2001, Zydroń 2007].

Budownictwo ziemne daje bardzo duże możliwości wykorzystania odpadów przemysłowych. Przez ostatnie lata w różnych krajach Europy, w tym również w Polsce, prowadzono badania, które pozwoliły na duże zużycie odpadów przy budowie nasypów drogowych i kolejowych, obwałowań rzecznych, grobli i zapór. Wypełniano również odpadami zapadliska terenowe oraz różnego typu wyrobiska ko kopalniach odkrywkowych. Na mniejszą skalę można wykorzystać odpady przemysłowe jako surowiec do produkcji cementu, cegły lub kruszyw lekkich [Karbownik i Chaber 1996, Galos i Uliasz-Bocheńczyk 2005, Filipiak 2010]. Efektywne zagospodarowanie odpadów przemysłowych stanowi coraz bardziej istotny problem w zakresie ekonomiki, bezpieczeństwa i przede wszystkim ochrony środowiska [Kuzio i Labryga 1996, Maciak 1999]. Istnieją więc zasadnicze powody do prowadzenia dalszych badań, by upowszechnić wykorzystanie odpadów znanymi już sposobami, a także poszukać nowych metod ich zagospodarowania [Skarżyńska 1997].

CEL I METODY BADAŃ

Celem badań było określenie wodoprzepuszczalności przepalonych odpadów powęglowych z Kopalni Węgla Kamiennego Gliwice oraz ich mieszanek z dodatkiem 10, 20 i 30% popiołów z Elektrowni Skawina.

Podstawowe właściwości geotechniczne badanych materiałów oznaczono metodami standardowymi. Skład granulometryczny oznaczono metodą łączoną, to jest sitową „na mokro” i areometryczną dla cząstek mniejszych od 0,063 mm. Gęstość właściwą szkieletu oznaczano dla cząstek mniejszych od 0,063 mm metodą kolby miarowej w wodzie destylowanej. Maksymalną gęstość objętościową szkieletu i wilgotność optymalną odpadów powęglowych i ich mieszanek z popiołami lotnymi oznaczono w średniowymiarowym aparacie Proctora w cylindrze o objętości 9,8 dm³, przy standardowej energii zagęszczania $E_z = 0,59 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$. Wartości parametrów fizycznych popiołów lotnych podano na podstawie badań Madej [2013].

Badania wodoprzepuszczalności odpadów powęglowych i mieszanek z popiołem przeprowadzono w aparacie średniowymiarowym (ryc. 1). Aparat składa się z meta-

lowego cylindra o średnicy wewnętrznej i wysokości 36 cm, dolnego i górnego filtra, zaworów do doprowadzania i odprowadzania wody, rurek piezometrycznych, przelewu ruchomego. Wymiary cylindra spełniają wymogi badań filtracji gruntów gruboziarnistych: średnica wewnętrzna powinna być większa lub równa 5-krotnej średnicy maksymalnego ziarna ($d_w \geq d_{max}$; $d_{max} = 10,0$ mm), długość drogi filtracji powinna być większa lub równa średnicy wewnętrznej cylindra ($L \geq d_w$, $L = d_w$). Próbki do badań formowano przy wilgotności bliskiej optymalnej dla danego materiału przez zagęszczanie warstwami po 6 cm każda, do wysokości 36 cm, uzyskując wskaźnik zagęszczenia $I_s = 0,95$. Na próbki przykładano filtr górny i obciążenie o wartości 20 kPa, przy którym prowadzono filtrację wody przez próbki przy stałym spadku hydraulicznym, w dwóch kierunkach: z dołu do góry (w celu usunięcia powietrza), a następnie z góry na dół, do ustalenia przepływu filtracyjnego. Uzyskane przy obydwu kierunkach przepływu wody przez próbkę wartości współczynnika filtracji uśredniono (k_f), a następnie przeliczono do umownej temperatury 10°C (k_{10}).



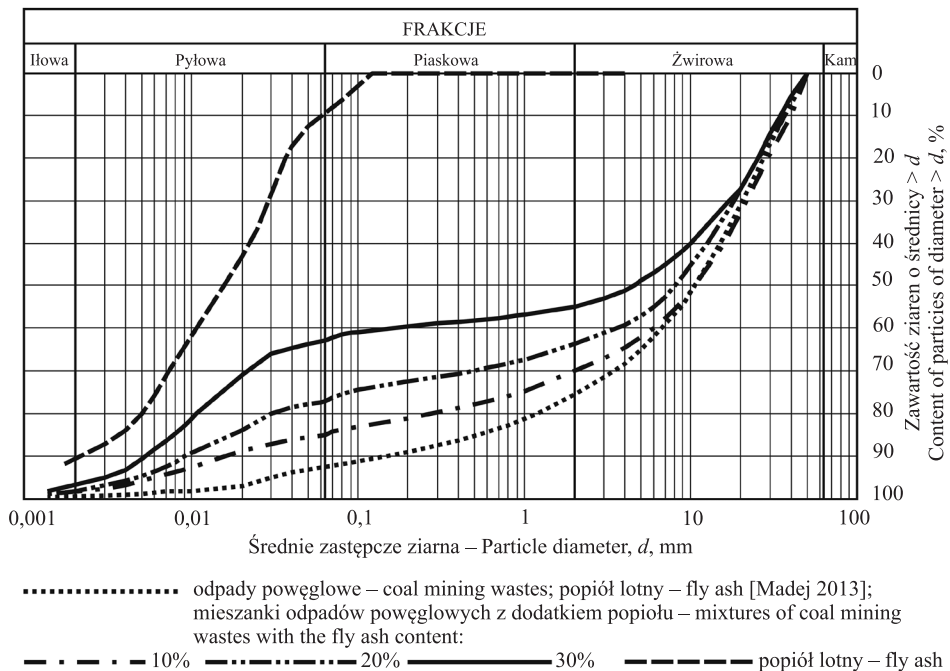
Ryc. 1. Aparaty średniowymiarowe do badań współczynnika filtracji (fot. A. Owskiński)

Fig. 1. Medium size apparatus for filtration coefficient tests (photo A. Owskiński)

Wartość współczynnika filtracji popiołu lotnego podano w oparciu o wyniki badań Furtak [2009], wykonanych na popiołach z elektrowni Skawina na próbkach o wilgotności optymalnej i wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,95$.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Analiza składu granulometrycznego wykazała, że przepalony odpad powęglowy pod względem geotechnicznym [PN-EN ISO 14688-2:2006] odpowiada żwirom wielofrakcyjnym, natomiast popiół lotny pyłom kilkufrakcyjnym (ryc. 2). Mieszanki przepalonych odpadów powęglowych z 10, 20 i 30% dodatkiem popiołu lotnego zostały zakwalifikowane jako żwiry pylaste wielofrakcyjne. Przepalony odpad powęglowy osiągnął największą wartość maksymalnej objętości objętościowej szkieletu – $1,80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (tab. 1, ryc. 3), natomiast popiół lotny – najmniejszą – $1,13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [Madej 2013]. Mieszanki odpadów powęglowych z popiołem lotnym wykazywały malejące wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu od $1,78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ do $1,61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ wraz ze wzrostem dodatku popiołu od 10 do 30%. Przepalony odpad powęglowy wykazał najmniejszą wartość wilgotności optymalnej – 16,5%, natomiast popiół lotny największą – ponad 34%. Mieszanki przepalonych odpadów powęglowych z popiołem lotnym wykazywały zwiększanie się wilgotności optymalnej od 17,2% do 20% wraz ze wzrostem zawartości popiołu od 10 do 30%. Przepalony odpad powęglowy charakteryzuje się największą gęstością właściwą szkieletu, która wynosiła $2,83 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, natomiast popiół lotny najmniejszą – $2,20 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ($d < 0,063 \text{ mm}$). W mieszankach gęstość ta nieznacznie malała od $2,46$ do $2,33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ($d < 0,063 \text{ mm}$) wraz ze wzrostem zawartości popiołu od 10 do 30%.



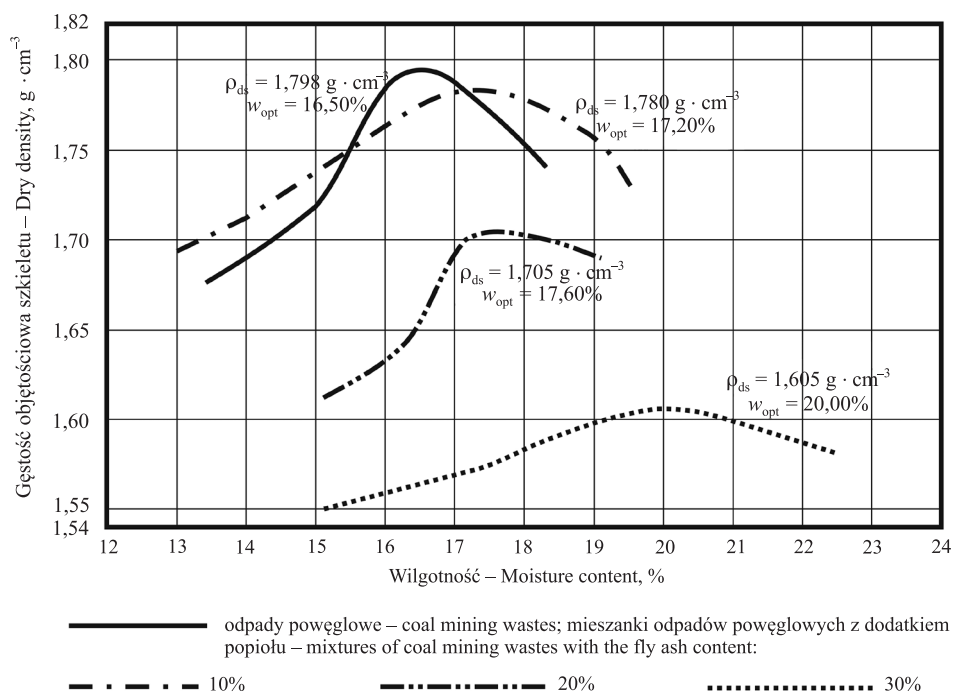
Ryc. 2. Wykresy uziarnienia badanych materiałów

Fig. 2. Grain size distribution curves of the tested materials

Tabela 1. Wartości podstawowych parametrów geotechnicznych badanych materiałów
 Table 1. Basic geotechnical parameter values of the tested materials

Parametr – Parameter	Odpady powęglowe Coal mining wastes	Popiół lotny* Fly ash*	Mieszanki odpadów powęglowych z dodatkiem popiołu lotnego Mixtures of coal mining wastes with fly ash additive		
			10%	20%	30%
Gęstość właściwa szkieletu Density of solid particles, $g \cdot cm^{-3}$	2,83	2,20	2,46	2,36	2,33
Wilgotność optymalna Optimum moisture content, %	16,50	34,30	17,20	17,60	20,00
Maksymalna gęstość objętościowa Maximum dry density, $g \cdot cm^{-3}$	1,795	1,13	1,78	1,78	1,605

* Madej 2013



Ryc. 3. Krzywe zagęszczalności badanych materiałów
 Fig. 3. Compactibility curves of the tested materials

Przedstawiona powyżej charakterystyka geotechniczna badanych materiałów wykazuje, że zarówno nieprzeżalone odpady powęglowe, jak i ich mieszanki z popiołami lotnymi odznaczają się korzystnym uziarnieniem, zapewniającym dobrą zagęszczalność.

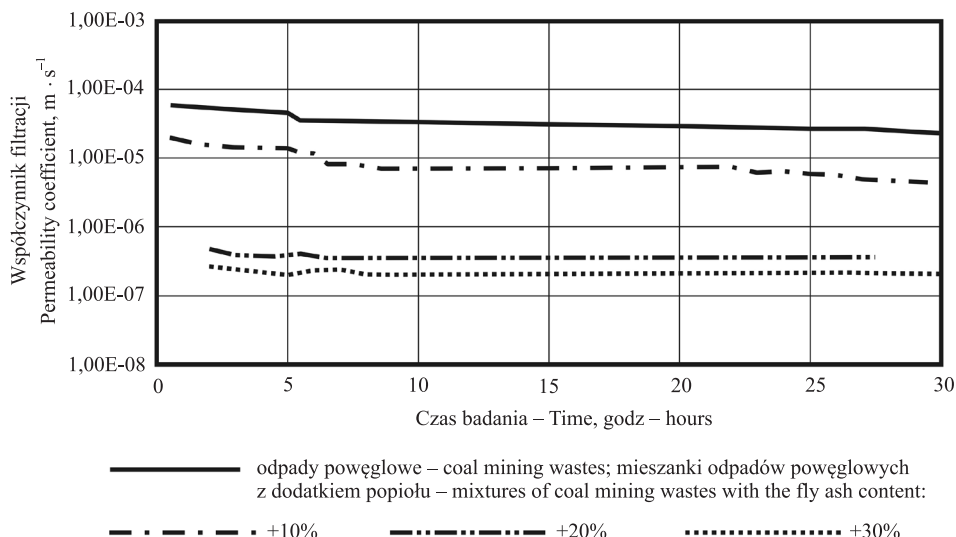
Wartość współczynnika filtracji popiołu lotnego wynosiła $7,54 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [Furtak 2009] (tab. 2), co według klasyfikacji Pazdry i Kozerskiego [1990] odpowiada gruntom bardzo słabo przepuszczalnym. Współczynnik filtracji przepalonych odpadów powęglowych wyniósł $4,15 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada gruntom średnio przepuszczalnym.

Tabela 2. Wartości współczynnika filtracji badanych materiałów
Table 2. Values of the filtration coefficient of the tested materials

Material – Material	Współczynnik filtracji Permeability coefficient $k_{10}, \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	
Odpady powęglowe przepalone – Burnt coal mining wastes	$4,15 \cdot 10^{-5}$	
Popioły lotne – Fly ashes*	$7,54 \cdot 10^{-8}$	
Odpady powęglowe przepalone z procentowym dodatkiem popiołu lotnego – Burnt coal mining wastes with a given percentage of fly ash additive	10%	$9,44 \cdot 10^{-6}$
	20%	$3,71 \cdot 10^{-7}$
	30%	$2,18 \cdot 10^{-7}$

* Furtak 2009

Współczynnik filtracji mieszanki przepalonych odpadów powęglowych z 10% dodatkiem popiołu lotnego wyniósł $9,44 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada gruntom średnio przepuszczalnym (tab. 2, ryc. 4). Współczynnik filtracji mieszanki przepalonych odpadów powęglowych z 20% dodatkiem popiołu lotnego wyniósł $3,71 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada gruntom słabo przepuszczalnym. Z kolei współczynnik filtracji mieszanki przepalonych odpadów powęglowych z 30% dodatkiem popiołu lotnego wyniósł $2,18 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada również gruntom słabo przepuszczalnym.



Ryc. 4. Wykresy zależności współczynnika filtracji badanych materiałów od czasu filtracji
Fig. 4. Permeability coefficient of the tested materials versus filtration time

Analizując wyniki badań wodoprzepuszczalności poszczególnych materiałów (tab. 2), można stwierdzić, że najmniejszą wartość współczynnika filtracji wykazują popioły lotne, natomiast największą przepalone odpady powęglowe. Wraz ze wzrostem dodatku popiołu lotnego do odpadów powęglowych następowało zmniejszanie się wartości współczynnika filtracji od rzędu 10^{-5} do $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zmniejszenie to było duże przy dodatku 10 i 20% popiołu, odpowiednio o jeden i dwa rzędy wielkości, oraz znacznie mniejsze (1,7-krotne) przy dalszym zwiększaniu dodatku popiołu do 30%. Można więc stwierdzić, że aby uzyskać pożądaną efekt uszczelnienia wystarczy zastosować mieszankę odpadów powęglowych z 20% dodatkiem popiołu lotnego.

Dodatek popiołu lotnego do odpadów powęglowych spowodował ich uszczelnienie wskutek zwiększenia zawartości frakcji drobnych (pyłowej z iłową o około 30% przy 30% dodatku popiołu) i w konsekwencji duże zmniejszenie wodoprzepuszczalności.

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań oraz ich analiza pozwoliły na wyprowadzenie następujących wniosków:

1. Przepalone odpady powęglowe oraz mieszanki odpadów powęglowych z popiołami lotnymi stanowią materiały gruboziarniste o uziarnieniu odpowiadającym żwirom i żwirom pylastym wielofrakcyjnym.
2. Współczynnik filtracji zmniejszał się wraz ze wzrostem procentowego dodatku popiołu lotnego do odpadów powęglowych. Współczynnik filtracji odpadów powęglowych był rzędu $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast w wypadku mieszanek okazał się znacznie mniejszy – rzędu $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (mieszanka odpadów powęglowych z 10% dodatkiem popiołu lotnego) i $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (mieszanka odpadów powęglowych z 30% dodatkiem popiołu). Spowodowane to zostało przez zwiększenie zawartości frakcji pyłowej i iłowej, które wypełniają wolne przestrzenie między grubszymi frakcjami.
3. Wartość współczynnika filtracji mieszanki odpadów powęglowych z 20% dodatkiem popiołu lotnego była zbliżona do wartości tego współczynnika z 30% dodatkiem popiołu i wynosiła ok. $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Oznacza to, że dodatek 20% popiołu jest wystarczający do uzyskania znacznego uszczelnienia odpadów powęglowych.
4. Przeprowadzone badania wykazały korzystne parametry geotechniczne badanych przepalonych odpadów powęglowych oraz ich mieszanek z popiołami lotnymi. Materiały takie wykorzystać można jako antropogeniczne grunty budowlane do formowania zarówno nasypów drogowych – stosując przepalone odpady powęglowe lub ich mieszanki z 10% dodatkiem popiołu, jak również nasypów hydrotechnicznych – stosując mieszanki odpadów powęglowych z 20 lub 30% dodatkiem popiołu.

PIŚMIENNICTWO

- Filipiak, J. (2010). Popiół lotny w budownictwie. Badania wytrzymałościowe gruntów stabilizowanych mieszanką popiołowo-cementową. *Rocz. Ochrona Środowiska*, 13, 1043–1054.
- Furtak, A. (2009). Wpływ zagęszczenia na wodoprzepuszczalność odpadów poenergetycznych. Praca magisterska. Zakład Mechaniki Gruntów i Budownictwa Ziemi AR w Krakowie, maszynopis.

- Galos, K., Uliasz-Bocheńczyk, A. (2005). Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce. *Gosp. Surow. Mineral.*, 21, 1, 23–42.
- Karbownik, A., Chaber, M. (1996). Problemy gospodarki odpadami w górnictwie węgla kamiennego. *Mat. II Konf. „Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych. Zagospodarowanie odpadów masowych”*. Inst. Podst. Inż. Środ. PAN, Zabrze, Sekcja Wykorzystania Surowców Mineralnych Komitetu Górnictwa PAN, Kraków, Agencja Gospodarki Odpadami „AGOS” SA, Katowice, Wisła, 68–85.
- Kuzio, B., Labryga, B. (1996). Analiza stanu gospodarki odpadami z energetyki. *Mat. Konf. „Energetyka a ochrona Środowiska”*. Ustroń Jaszowiec, 122–133.
- Maciak, F. (1999). *Ochrona i rekultywacja Środowiska*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Madej, A. (2013). *Analiza przydatności popiołów lotnych do wykonywania barier przeciwfiltracyjnych*. Praca magisterska. Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki UR w Krakowie, maszynopis.
- Pazdro, Z., Kozerski, B. (1990). *Hydrologia ogólna*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Skarżyńska, K.M. (1997). *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej*. Wydawnictwo UR, Kraków.
- Sztaba, K. (1996). Podstawowe problemy zagospodarowania odpadów masowych. *Mat. II Konf. „Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych. Zagospodarowanie odpadów masowych”*. Inst. Podst. Inż. Środ. PAN, Zabrze, Sekcja Wykorzystania Surowców Mineralnych Komitetu Górnictwa PAN, Kraków, Agencja Gospodarki Odpadami „AGOS” SA, Katowice, Wisła, 7–19.
- Zawisza, E. (2001). Geotechniczne i środowiskowe aspekty uszczelniania grubookruchowych odpadów powęglowych popiołami lotnymi. *Zesz. Nauk. AR Krak.*, Rozprawy 280, Kraków.
- Zydroń, T. (2007). *Badania parametrów zagęszczalności przepalonych odpadów powęglowych z kopalni „Wesoła”*. *Przegl. Nauk. Inżyn. Kształt. Środ.*, SGGW, Warszawa, XVI, 1(35), 34–42.

WATER PERMEABILITY OF BURNT COAL MINING WASTES AND THEIR MIXTURES WITH FLY ASH

Abstract. The paper presents results of water permeability tests of burnt coal mining wastes and their mixtures with fly ash. The test materials were: coal mining wastes from the landfill of the coal mine KWK Gliwice, fly ash from the Skawina Power Plant SA and mixtures of the coal mining wastes with the ash in which the ash content was 10, 20 and 30% (by weight). The basic geotechnical characteristics of the tested materials were determined basing on the results of the tests carried out according to standard procedures. The tests of water permeability of coal mining wastes and their mixtures with fly ash were carried out in a medium size apparatus. Analysis of the results of tests was carried out in the aspect of usability of the tested waste materials for earth structures.

Keywords: industrial wastes, coal mining wastes, fly ashes, geotechnical properties, water permeability

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.09.2016

Do cytowań – For citation: Zawisza, E., Malec, P. (2016). *Wodoprzepuszczalność przepalonych odpadów powęglowych oraz ich mieszanek z popiołem lotnym*. *Acta. Sci. Pol., Formatio Circumietus*, 15(3), 187–194.