

Tomasz DONIECKI, Ewa SIEDLECKA

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: tdoniecki@is.pcz.czest.pl

Zmienność współczynnika filtracji w mule węglowym proponowanym do budowy barier izolacyjnych

Zagrożenie zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego w wyniku działalności gospodarczej spowodowało, że coraz częściej w nowoczesnych projektach środowiskowych wykorzystuje się bariery izolacyjne. W większości przypadków bariery izolacyjne stosowane są na terenach, na których lokalizuje się składowiska odpadów. Najkorzystniejszymi właściwościami izolacyjnymi charakteryzują się skały ilaste; są to materiały najczęściej stosowane do budowy barier izolacyjnych. W tym celu można również wykorzystywać odpady mineralne, w których część składników stanowią minerały ilaste. Takimi odpadami są muly węglowe powstające w procesach wzbogacania węgla kamiennych. W artykule przedstawiono charakterystykę mulów węglowych pochodzących z KWK Janina. Badaniami objęto muly pochodzące z przeróbki węgla kamiennego w latach 2005-2007. Część mulów węglowych wytworzonych w tych latach podlegała depozycji na tzw. mulowiskach. Określono zmienność współczynnika filtracji w zależności od rodzaju cieczy stosowanej do badania. Wykazano, że muly węglowe charakteryzują się niewielkimi zmianami w zakresie parametrów filtracyjnych bez względu na zmiany składu stosowanych roztworów filtrujących. We wszystkich przypadkach uzyskany współczynnik filtracji jest niższy niż wymagany literą prawa, to jest $k < 10^{-9}$ m/s. Współczynnik filtracji uzyskany podczas przepływu wody dejonizowanej przez zagęszczony przy wilgotności optymalnej mul węglowy wynosi $1,11 \cdot 10^{-11}$ m/s. W przypadku filtracji przez mul węglowy roztworów wzrasta prędkość filtracji. Największy wzrost prędkości obserwuje się dla roztworu 1N kwasu solnego.

Słowa kluczowe: bariera izolacyjna, współczynnik filtracji, ochrona wód podziemnych, mul węglowy

Wprowadzenie

Wykorzystanie surowców ilastych do budowy barier izolacyjnych na terenach zagrożonych migracją zanieczyszczeń do wód podziemnych i gruntów stało się obecnie powszechną praktyką wynikającą zarówno z obowiązującego systemu prawnego w kraju, jak również z przyczyn ekonomicznych - skały ilaste są jednym z najtańszych i najbardziej skutecznych surowców izolacyjnych. Skuteczność działania surowców ilastych opiera się na dwóch istotnych właściwościach składników tworzących skały ilaste - minerałów ilastych. Wysoki stopień drobnoziarnistości minerałów ilastych umożliwia uzyskanie niskich wartości porowatości efektywnej skał. Możliwe staje się w tym przypadku ograniczenie strumienia przepływu fazy ciekłej. Niewielkie rozmiary oraz specyficzna budowa pakietowa jest przyczyną wysokiego stopnia rozwinięcia powierzchni minerałów ilastych. W efekcie minerały te charakteryzują się reaktywnością w stosunku do zanieczysz-



czeń migrujących wraz z fazą ciekłą. Podczas kontaktu minerałów ilastych z zanieczyszczeniem obecnym w roztworze następuje zjawisko sorpcji, ograniczające możliwość migracji zanieczyszczeń.

Najistotniejszym parametrem decydującym o możliwości zastosowania surowca do budowy bariery izolacyjnej jest współczynnik filtracji. Im niższa wartość tego parametru, tym w większym stopniu następuje ograniczenie przepływu roztworów, a tym samym zwiększa się zabezpieczenie środowiska wodno-gruntowego przed migracją zanieczyszczeń. Właściwości filtracyjne gruntów ilastych zależą od wielu czynników. Podstawowym czynnikiem ograniczającym prędkość filtracji cieczy w gruntach jest stopień zagęszczenia gruntu. Najniższą wartością prędkości filtracji charakteryzuje się grunt, który wcześniej podlegał konsolidacji przy wilgotności zwanej wilgotnością optymalną. Wiadomo, że zagęszczanie gruntu ilastego przy wilgotności optymalnej w_{opt} lub w zakresie od w_{opt} do $w_{opt}+3\%$ skutkuje maksymalnym stopniem zbliżenia się do siebie poszczególnych ziarn mineralnych, wchodzących w skład gruntu [1]. Strumień przepływu uzależniony jest wówczas jedynie od rodzaju cieczy filtrującej i jej właściwości. W tym przypadku prędkość filtracji zależy od składu i właściwości cieczy filtrującej. Bezpośrednia interakcja grunt ilasty-ciecz infiltrująca wynika z właściwości fazy powierzchniowej i efektu występowania tzw. elektrycznej warstwy podwójnej (ewp). Określenie to związane jest z obecnością na powierzchni ciała stałego znajdującego się w roztworze warstwy ładunku elektrycznego (warstwy adsorpcyjnej), która jest neutralizowana bezpośrednio przy powierzchni ciała po stronie roztworu wodnego (warstwa dyfuzyjna). Istnieje wiele różnych modeli opisujących elektryczną warstwę podwójną [2]. Budowa ewp ciał zależy od mechanizmu formowania się elektrycznej warstwy podwójnej. Przyczyny pojawiania się ładunków elektrycznych na powierzchni ciał stałych w wodzie są różne. Dla metali powstawanie ładunków ma związek z gromadzeniem się elektronów przy granicy fazowej od strony metalu. W przypadku soli generowanie ładunków związane jest z przechodzeniem do roztworów jonów [3]. Istnieje zależność, według której im więcej jonów jednego rodzaju przejdzie do roztworu, tym większy powstanie ładunek powierzchniowy danego ciała. W przypadku wprowadzenia dodatkowych jonów do roztworu ładunek elektryczny również może się zmieniać. Wynikiem jest wzrost lub spadek prędkości przepływu cieczy w gruncie ilastym, wynikający ze zmian w szerokości podwójnej warstwy elektrycznej. Dla wody zmineralizowanej przepuszczalność hydrauliczna zmienia się w szerokim zakresie. Większa prędkość filtracji obserwowana jest w przypadku roztworów zawierających dwu- i trójwartościowe kationy. Roztwory zawierające jednowartościowe kationy oraz woda dejonizowana filtrują poprzez grunty wolniej, co wynika z występowania szerokiej ewp. Na prędkość przepływu cieczy w gruncie silny wpływ ma również pH. Wzrost pH powyżej 12 albo jego spadek poniżej 3 powodują wzrost przepuszczalności hydraulicznej [4].

Zasady doboru surowców do wykonywania barier izolacyjnych są w chwili obecnej określone stosunkowo dobrze. W Polsce jedynym parametrem, który określony jest w ramach prawnych jest współczynnik filtracji. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wy-



magań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów [5] na terenach, gdzie brak jest naturalnej bariery geologicznej spełniającej określone wymagania, należy zastosować barierę izolacyjną wykonaną z materiału, który posiada współczynnik filtracji $k < 10^{-9}$ m/s, a miąższość wykonanego zabezpieczenia nie może być mniejsza niż 1 m. Inne właściwości decydujące o możliwości zastosowania danego surowca do budowy bariery mają charakter wskazówek lub zaleceń i przez różnych autorów określone są w zmiennym zakresie. W tabeli 1 przedstawiono parametry określające przydatność ilów jako surowców do budowy barier izolacyjnych.

Tabela 1

Parametry określające przydatność ilów jako surowców do budowy barier [6]
(1- Instytut Techniki Budowlanej, 2 - Environmental Protection Agency, 3 - LAGA,
4 - R. Rowe i inni)

Parametr	Jednostka	1	2	3	4
Granica płynności	%	>30	<90	-	-
Wskaźnik plastyczności	%	>20	>10	-	>7
Zawartość frakcji ilastej	%	≥20	>10	≥20	min. 15÷20
Minerały ilaste	%	-	-	>10	-
Max średnica ziaren	mm	40	75	20	
Współczynnik filtracji	m/s	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$	$\leq 5 \cdot 10^{-10}$	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$

Należy zwrócić uwagę na jeszcze jeden z aspektów istotnych w przypadku doboru surowców stosowanych do budowy barier izolacyjnych, tj. skład mineralny. Uważa się, że najlepsze surowce mineralne to takie, które zawierają w większych ilościach minerały z grupy smektytów. Minerały te posiadają największą pojemność wymiany kationów, która szacowana jest na poziomie 80÷150 mval/100 g [7]. Najmniej korzystnymi parametrami pojemności sorpcyjnej charakteryzują się minerały z grupy kaolinitu, dla których pojemność wymiany kationów (CEC) wynosi 3÷15 mval/100 g. Minerały z grupy illitu charakteryzuje pośrednia wartość CEC. Jednakże minerały z grupy smektytów w wyniku interakcji ze związkami chemicznymi zawartymi w odciekach łatwiej ulegają degradacji i w większym zakresie [8]. W efekcie bariera izolacyjna, w której znajdują się w większych ilościach minerały smektytowe, może ulegać destrukcji. Pomimo ograniczonych zdolności sorpcyjnych korzystniejsze wydaje się stosowanie surowców zawierających minerały z grupy kaolinitu lub illitu. W mułach węglowych pochodzących z KWK Janina w składzie mineralnym stwierdzono w przeważającej części kaolinit, illit oraz śladowe ilości smektytów [9]. Ilość kaolinitu wraz z illitem wynosi około 50%. Z tego względu wykorzystanie mułu węglowego do budowy bariery izolacyjnej również wydaje się wskazane.

Proces filtracji w gruntach przedstawia się nieco odmiennie w przypadku filtracji poziomej i pionowej. Występujące w przypadku filtracji pionowej duże gradienty hydrauliczne wymuszają przepływ o dużo większym nasileniu niż w przypadku przepływu poziomego. Stąd między innymi wynika nieco inna klasyfikacja właściwości filtracyjnych gruntów dla przepływu poziomego i pionowego. W przy-



padku barier izolacyjnych istotniejsze znaczenie ma filtracja pionowa, ponieważ duże gradienty ciśnień powodują nasilenie zjawiska migracji zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Wyróżnia się w sumie pięć klas przepuszczalności pionowej i odpowiadających im utworów izolujących [10]. Zgodnie z powyższą klasyfikacją grunty, które cechują się współczynnikiem filtracji $k > 10^{-6}$ m/s, klasyfikowane są jako nieizolujące i cechujące się bardzo dobrą klasą przepuszczalności pionowej. Za grunty praktycznie nieprzepuszczalne i jednocześnie bardzo dobrze izolujące uważa się takie, w których współczynnik filtracji wynosi $k < 10^{-12}$ m/s.

Grunty, w których współczynnik filtracji zawiera się między wyżej wymienionymi skrajnymi wartościami, przynależą do trzech pozostałych grup.

Dotychczas w literaturze można znaleźć szereg informacji dotyczących przepływu różnego rodzaju cieczy w gruntach ilastych [11, 12]. Grunty te charakteryzuje stosunkowo niewielka obecność materii organicznej. W przypadku większości skał ilastych zawartość materii organicznej najczęściej nie przekracza kilku procent. Jednocześnie materia organiczna występująca w skałach ilastych ma charakter materii organicznej nieodpornej na czynniki zwietrzeniowe. Wynika to z faktu, że stanowią ją przeważnie części roślin (korzenie, łodygi, liście) naturalnie występujących na terenach, gdzie w górotworze zlokalizowane są skały ilaste. Nie określano dotychczas warunków przepływu roztworów w gruntach ilastych mających podwyższoną zawartość materii organicznej, w szczególności materii względnie trwałej na warunki zwietrzeniowe. Przykładem materiału zawierającego materię organiczną, która cechuje się trwałością na czynniki wietrzeniowe, są muły węglowe zawierające w swym składzie węgiel kamienny. Ze względu na skład granulometryczny mułów węglowych, pozwalający na uzyskanie współczynnika filtracji $k < 10^{-9}$ m/s, muł węglowy proponowano do budowy barier izolacyjnych jako substytut skał ilastych [13]. Dotychczas nie weryfikowano współczynnika filtracji mułu węglowego o różnym stopniu zagęszczenia. Nie przeprowadzono również takiej weryfikacji w stosunku do filtracji różnego rodzaju roztworów przez zagęszczony muł węglowy. Badania w tym zakresie uściślają możliwości zastosowania mułów węglowych do budowy barier izolacyjnych. Znajomość zmian współczynnika filtracji wynikających ze zmian stopnia zagęszczenia mułu węglowego pozwoli określić zakres akceptowalnej wilgotności mułu w trakcie jego zagęszczania. Jednocześnie zmiany warunków filtracji związane ze składem roztworu filtrującego mogą wskazać na ograniczenia w zastosowaniu mułu jako materiału do budowy bariery izolacyjnej.

Celem niniejszej pracy było określenie zmian współczynnika filtracji mułu węglowego w zależności od stopnia zagęszczenia mułu oraz obserwacja zmian współczynnika filtracji w zależności od składu chemicznego zastosowanego roztworu filtrującego. Badania zweryfikowały możliwość zastosowania mułu węglowego jako materiału do budowy bariery izolacyjnej na terenie składowisk odpadów. Jednocześnie wskazano zakresy wilgotności mułu w trakcie jego zagęszczania gwarantujące najwyższy stopień zagęszczenia i powiązany z nim najniższy współczynnik filtracji.



1. Materiały i metody badań

Do badań wykorzystano muły węglowe pochodzące z zakładu wzbogacania węgla KWK Janina w Libiążu. Próbkę badanych materiałów pobierane były w latach 2005-2007 bezpośrednio z pras odwadniających stosowanych w zakładzie. Ilość pobranych próbek wynosiła ok. 250 kg. Próby zostały poddane procesowi naturalnego schnięcia, a następnie zostały uśrednione metodą kwartową.

Badania objęły analizę granulometryczną, wyznaczenie podstawowych parametrów związanych z właściwościami mechanicznymi oraz badania właściwości filtracyjnych. Analiza granulometryczna została wykonana standardową metodą sitową na mokro; wydzielona klasa ziarnowa $<0,2$ mm została następnie przygotowana do badań składu ziarnowego z wykorzystaniem metod laserowych. Przygotowanie próbek objęło 24 h retencję badanego materiału w roztworze 0,1% pirosiarczanu sodu w celu peptyzacji agregatów. Oznaczenie wykonano na laserowym analizatorze uziarnienia LAU-10; jako ciecz nośną zastosowano 0,1% roztwór pirosiarczanu sodu. Dla określenia właściwości mechanicznych wykonano oznaczenia granicy plastyczności i granicy płynności, a na podstawie otrzymanych wyników wyliczono wskaźnik plastyczności. Właściwości mechaniczne oznaczano zgodnie z normą PN-86/B-02480 określającą metody badań próbek gruntów [14]. W celu określenia wilgotności optymalnej wykonano badania zmian stopnia zagęszczania surowca ze zmiennymi zawartościami wody. Badanie prowadzono zgodnie z normą PN-86/B-02480 określającą metody badań próbek gruntów [14]. Na podstawie zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności sporządzono wykres, z którego odczytano wartość wilgotności optymalnej. Współczynnik filtracji został wyznaczony przy wykorzystaniu metody oznaczania przepływu cieczy ze zmiennym spadkiem hydraulicznym. Metoda ta jest zalecana do badań gruntów drobnoziarnistych zgodnie z wytycznymi Instytutu Techniki Budowlanej [15]. Spadki hydrauliczne stosowane w czasie badań wynosiły minimum 30. W celu określenia zmian współczynnika filtracji mułu badania prowadzono wstępnie na próbkach zagęszczanych przy zmiennych wartościach wilgotności. Jako cieczy filtrującej użyto wody dejonizowanej. Drugi etap badań prowadzony był na próbkach zagęszczonych przy wartościach w zakresie od w_{opt} do $w_{opt}+3\%$ od wcześniej wyznaczonej wartości wilgotności optymalnej. W trakcie badań jako roztwory filtrujące stosowano różnego rodzaju ciecze: wodę dejonizowaną, odciek pochodzący ze składowiska odpadów komunalnych w Sobuczynie k. Częstochowy oraz roztwory: NaCl, $Ca(NO_3)_2$ i HCl. Zastosowano cztery różne stężenia roztworów NaCl i $Ca(NO_3)_2$: 0,01N, 0,1N, 1N i 5N, a w przypadku HCl trzy różne stężenia: 0,1N, 1N i 5N. Zastosowany w badaniach odciek pochodzący ze składowiska odpadów w Sobuczynie charakteryzował się następującymi parametrami: pH = 8,5; ChZT = $4700 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, zawartość chlorków $3250 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Szczegółowego składu chemicznego odcieku nie uzyskano. Wartości współczynnika filtracji (k) zostały następnie przeliczone do zredukowanego współczynnika filtracji w odniesieniu do temperatury wody 10°C (k_{10}).

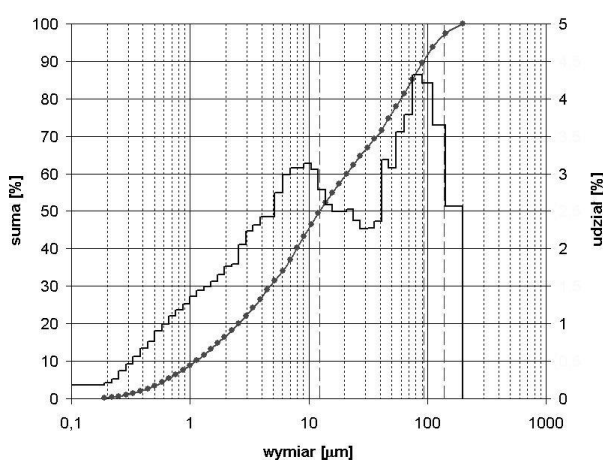


2. Wyniki badań

Muł pobierany bezpośrednio z pras filtracyjnych charakteryzuje się wilgotnością w zakresie 34÷38%. Wilgotność higroskopijna wynosi średnio 4,8%.

Wykonana analiza granulometryczna wykazała, że w próbkach dominują ziarna o wielkości poniżej 0,2 mm. Stanowią ponad 95% ziaren, a ilość ziaren o rozmiarach powyżej 0,2 mm oscyluje w granicach 4÷5%. Skład ziarnowy frakcji <0,2 mm jako wynik analizy granulometrycznej uzyskanej w oparciu o badania na laserowym analizatorze uziarnienia LAU 10 przedstawiono na rysunku 1. Ziarna o rozmiarach poniżej 0,01 mm stanowią około 50%. Zawartość frakcji ilastej (<0,002 mm) wynosi 15÷18% mułu.

Uzyskane wyniki właściwości mechanicznych zestawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Skład ziarnowy frakcji <0,2 mm mułu węglowego pochodzącego z zakładu przerobczego KWK Janina w Libiążu

Tabela 2

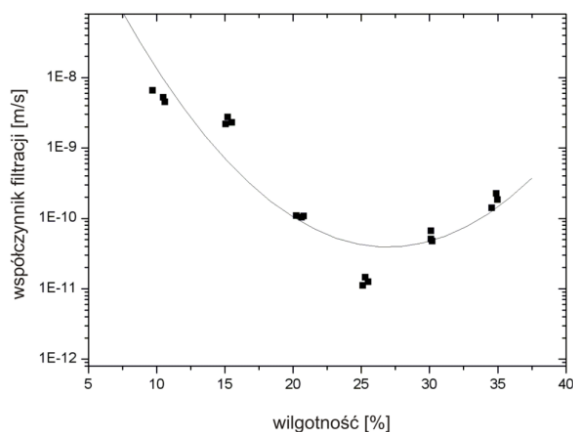
Właściwości mechaniczne mułu węglowego stosowanego do badań

Parametr	Uzyskane wartości średnie wraz z odchyleniem standardowym
Granica plastyczności, %	27,0 ±1,1
Granica płynności, %	50,4 ±2,3
Wskaźnik plastyczności, %	23,4 ±1,2
Wilgotność optymalna, %	25,8 ±0,5
Maksymalna gęstość szkieletu ziarnowego, g/cm ³	1,22 ±0,1

Granica płynności mułu węglowego wynosiła średnio 50,4% przy wartości 27,0% uzyskanej dla granicy plastyczności. Wyliczony wskaźnik plastyczności wynosił 23,4%. Wilgotność, przy której osiągnięto najwyższy stopień zagęszczenia gruntu, równa była 25,8%, a uzyskana maksymalna gęstość szkieletu ziarnowego w tych warunkach wynosiła 1,22 g/cm³.



Współczynnik filtracji wyznaczony na mułe zagęszczanym przy różnej wilgotności i przy wykorzystaniu jako filtratu wody dejonizowanej zmieniał się w zakresie od $3,44 \cdot 10^{-9}$ do $1,11 \cdot 10^{-11}$ m/s. Wraz ze wzrostem wilgotności próbki w czasie procesu zagęszczania obserwowany jest spadek prędkości filtracji. Najniższą prędkość filtracji uzyskano dla gruntu zagęszczanego przy wilgotności 26,5%. Następnie obserwuje się wzrost współczynnika filtracji. Zmiany współczynnika filtracji przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zmiany współczynnika filtracji w zależności od wilgotności zagęszczanego mułu węglowego z KWK Janina

Tabela 3

Zestawienie badań współczynnika filtracji dla próbek mułu węglowego przy wykorzystaniu różnego rodzaju cieczy filtrujących (w kolumnie pH cieczy: 1 - pomiar przed filtracją, 2 - pomiar po filtracji)

Roztwór	pH cieczy		Wilgotność gruntu w trakcie zagęszczania, %	Współczynnik filtracji m/s
	1	2		
Woda dejonizowana	6,9	6,8	27,9	$1,11 \cdot 10^{-11}$
Odciek ze składowiska	8,5	8,4	29,9	$2,73 \cdot 10^{-11}$
0,01N NaCl	7,4	7,5	29,3	$1,23 \cdot 10^{-10}$
0,1N NaCl	7,3	7,3		$1,54 \cdot 10^{-10}$
1N NaCl	7,4	7,3		$3,21 \cdot 10^{-10}$
5N NaCl	7,4	7,4		$3,15 \cdot 10^{-10}$
0,01N Ca(NO ₃) ₂	5,7	5,8		28,9
0,1N Ca(NO ₃) ₂	5,5	5,7	$3,14 \cdot 10^{-10}$	
1N Ca(NO ₃) ₂	5,7	5,7	$6,45 \cdot 10^{-10}$	
5N Ca(NO ₃) ₂	5,6	5,7	$4,26 \cdot 10^{-10}$	
0,1N HCl	2,6	2,8	29,2	$7,04 \cdot 10^{-10}$
1N HCl	2,2	2,3		$9,12 \cdot 10^{-10}$
5N HCl	1,9	2,1		$9,01 \cdot 10^{-10}$

Wyniki uzyskane w trakcie badań współczynnika filtracji z wykorzystaniem jako cieczy filtrującej różnego rodzaju roztworów przedstawiono w tabeli 3. W trakcie prowadzenia badań wszystkie próbki mułu węglowego spełniały założenie za-



gęszczenia materiału przy wilgotności nieodbiegającej od poziomu 3% dla wcześniej wyznaczonej wartości wilgotności optymalnej ($w_{opt}+3\%$).

3. Omówienie wyników badań

Przeprowadzone badania wskazują, że muły węglowe należą do grupy surowców o charakterze drobnoziarnistym. W przypadku materiałów mineralnych stosowanych do celów izolacyjnych istotne znaczenie ma zawartość frakcji ilastej. Klasa ziarnowa o rozmiarach poniżej 0,002 mm zmienia się w granicach 15÷18% wag. mułu, a więc praktycznie na poziomie zalecanym przez różnych badaczy [1, 6] definiujących zawartość frakcji ilastej na poziomie 10÷20%. Zawartość frakcji ilastej nie jest jedynym kryterium decydującym o możliwości zastosowania danego rodzaju surowca do celów izolacyjnych. Proponowany wskaźnik minimalnej zawartości 30% ziarn o rozmiarach poniżej 0,074 mm ma bardziej uniwersalny charakter, ponieważ grunty spełniające to kryterium zawierają około 15÷20% frakcji ilastej [16]. Należy pamiętać, że przedstawiane przez różnych autorów wartości kryterialne są tylko zaleceniem, zaś grunt i tworzona z niego bariera izolacyjna muszą spełniać wymagania przepisów, jeśli takie istnieją [17], a w stosunku do naszego kraju jednym określonym przepisami parametrem jest współczynnik filtracji. Porównując skład ziarnowy mułów poddanych badaniu z mułami badanymi w 2003 roku [9, 18], zawartość frakcji ilastej była wyższa o około 3% w mułach powstałych w latach wcześniejszych. Jednak dla mułu pochodzącego z produkcji w latach 2003 i 2007 zawartość klasy ziarnowej $<0,074$ mm jest bardzo zbliżona. Różnice wynoszą około 5%.

Zmienność prędkości filtracji obserwowana wraz ze zmianami wilgotności w czasie procesu zagęszczania jest zgodna z danymi pochodzącymi z dotychczasowych badań w zakresie filtracji cieczy w gruntach ilastych. Najniższa wartość współczynnika filtracji, przy wykorzystaniu wody dejonizowanej jako filtratu, uzyskana została dla mułu zagęszczanego przy wilgotności 26,5%, a niewiele wyższy wynik uzyskano dla mułu zagęszczonego przy wilgotności 30%. Nie przeprowadzono badań gruntu charakteryzującego się wilgotnością w czasie procesu zagęszczenia na poziomie odpowiadającym wilgotności optymalnej, to jest 27,8%, jednakże zachowana została zasada zagęszczenia materiału przy zakresie wilgotnościowym od w_{opt} do $w_{opt}+3\%$. Zgodnie z danymi literaturowymi, zagęszczenie materiału przy takim zakresie wilgotności gwarantuje najmniejszy strumień przepływu przez ośrodek gruntowy [1].

W środowisku roztwory filtrujące mają bardziej złożony skład niż woda dejonizowana. W składzie roztworów stwierdza się różnego rodzaju związki chemiczne, które mogą mieć charakter zarówno związków rozpuszczonych, jak i zawiesin koloidalnych i właściwych. Prędkość filtracji wzrasta wraz ze wzrostem ilości rozpuszczonych związków aż do pewnej granicy. Obecność zawiesin w roztworze powoduje spadek prędkości procesu filtracji, wynikający ze zjawiska kolmatacji. Podobna sytuacja może zachodzić w przypadku koagulacji roztworów koloidalnych; w tym wypadku w celu zaistnienia zjawiska koagulacji w środowisku niezbędne są w roztworze związki powodujące zjawisko koagulacji lub konieczna jest



zmiana parametrów środowiska, np. pH lub Eh. Największą prędkość filtracji posiadają roztwory, w których ilość rozpuszczonych substancji jest ograniczona.

Odcieki powstające na terenach składowisk odpadów komunalnych charakteryzują się zmiennymi właściwościami, szczególnie w zakresie składu chemicznego i pH. Wymienione parametry mają duży wpływ na prędkość filtracji w gruntach, a więc również w barierach izolacyjnych. W początkowej fazie funkcjonowania składowiska pH odcieków kształtuje się w zakresie 3÷5. Z czasem następuje zmiana składu chemicznego odcieku, a jego pH wzrasta. W badaniach stosowano odciek ze składowiska, w którym znajdują się odpady ustabilizowane. Właściwości odcieku wczesnego etapu składowania symulowano w badaniach z wykorzystaniem roztworu HCl.

Badania przeprowadzone przy użyciu różnego rodzaju roztworów na próbkach mułu zagęszczonych przy wilgotności zbliżonej do w_{opt} wskazują, że prędkość filtracji nie zmienia się w szerokim zakresie. Roztwory zawierające jedno- i dwuwartościowe kationy charakteryzują się zbliżoną prędkością przepływu przez muł. Niewielki wzrost prędkości obserwowany dla jonu dwuwartościowego Ca^{2+} w stosunku do roztworu zawierającego jon Na^+ wskazuje, że zjawisko to nie odgrywa dużej roli w przypadku użytych stężeń. Użycie jako cieczy filtrującej roztworu HCl spowodowało wzrost prędkości filtracji o jeden rząd wielkości. W tym przypadku zaznacza się dodatkowy wpływ pH roztworu. Dla badanej próbki mułu użycie roztworu o pH poniżej 3 nie spowodowało znaczącego wzrostu prędkości filtracji i zaznaczyło się poprzez wzrost prędkości filtracji o jeden rząd wielkości. Zupełnie odmienna sytuacja występuje w przypadku filtracji odcieku ze składowiska odpadów komunalnych. Wyższa wartość pH, wynosząca 8,5, powoduje, że prędkość filtracji spada do poziomu porównywalnego z czystą wodą dejonizowaną.

Analizując właściwości filtracyjne mułu węglowego z KWK Janina, można zauważyć, że muły charakteryzują się słabą i bardzo słabą klasą przepuszczalności pionowej i jednocześnie są to grunty średnio i dobrze izolujące [10]. Istotny jest fakt, że bez względu na stosowany w trakcie badań roztwór filtrujący muł węglowy może zostać zaklasyfikowany do wspomnianej klasy przepuszczalności, co wskazuje na skuteczność w ochronie środowiska gruntowo-wodnego w każdej fazie działalności składowiska.

Parametry mechaniczne mułu węglowego spełniają wszystkie kryteria, które są zalecane dla surowców do budowy barier izolacyjnych. Porównując wymagania dla materiałów stosowanych do budowy barier izolacyjnych przedstawione w tabeli 1 z uzyskanymi wynikami zawartymi w tabeli 2, można zauważyć, że wszystkie parametry mieszczą się zalecanych granicach. Odnotowano nieznaczny, kilkuprocentowy wzrost granic plastyczności i płynności w stosunku do mułów, które poddawano badaniom w latach 2003-2004 [9]. W efekcie wskaźnik plastyczności uległ również zwiększeniu; powoduje to wzrost zakresu wilgotnościowego mułu, co podczas budowy bariery izolacyjnej pozwala na możliwy dłuższy czas zagęszczenia materiału bez zmian jego urabialności. Istotna wydaje się zawartość wody w mułach po zakończeniu procesu odwadniania w zakładzie przerobczym węgla. Wilgotność ta kształtuje się w zakresie 34÷38%, podczas gdy wyznaczona wilgotność optymalna wynosi około 28%. Niewielka, kilkuprocentowa różnica pozwala



na łatwe i technicznie możliwe doprowadzenie mułu węglowego do odpowiedniego, wymaganego poziomu wilgotności podczas zagęszczania na terenie składowiska czy też innej budowli inżynierskiej. Ma to istotne znaczenie, ponieważ podczas stosowania różnego rodzaju gruntów do budowy barier izolacyjnych niezbędne są czynności związane z doprowadzeniem wbudowywanego gruntu do odpowiedniej wilgotności. Często w związku z koniecznością uzyskania właściwego poziomu wilgotności ponoszone są dodatkowe nakłady finansowe. W przypadku mułu węglowego można uniknąć wydatkowania środków na ten cel.

Dodatkowym aspektem podnoszącym walory użytkowania mułu węglowego do celów budowy barier izolacyjnych jest możliwość zagospodarowania części odpadów generowanych podczas przeróbki węgla kamiennego. Pomimo wzrostu zainteresowania wykorzystaniem mułów węglowych w procesach odzysku energii, w sposób regularny część mułów węglowych, niespełniających parametrów energetycznych, jest deponowana na składowiskach przykopalnianych i centralnych. Wykorzystanie mułu węglowego do budowy barier izolacyjnych umożliwi usunięcie części odpadów oraz pozwoli na czynną ochronę kopalni ilastych standardowo stosowanych do budowy barier izolacyjnych.

Wnioski

1. Muł węglowy z KWK Janina charakteryzuje się zbliżonymi właściwościami filtracyjnymi w stosunku do gruntów ilastych (iłów, glin) pospolicie stosowanych do budowy barier izolacyjnych.
2. Współczynnik filtracji uzyskany podczas przepływu wody dejonizowanej przez zagęszczony przy w_{opt} muł węglowy wynosi $1,11 \cdot 10^{-11}$ m/s. Wynik wskazuje, że w przypadku zastosowania mułu węglowego jako surowca do budowy bariery izolacyjnej i po zagęszczeniu go w odpowiednim zakresie wilgotnościowym możliwe jest uzyskanie parametrów filtracyjnych odpowiadających wymaganiom stawianym surowcom stosowanym do tego celu.
3. W przypadku filtracji przez muł węglowy roztworów wzrasta prędkość filtracji. Największy wzrost prędkości obserwuje się dla roztworu 1N kwasu solnego. Uzyskane wyniki pokazują, że wpływ składu chemicznego oraz pH roztworów na filtrację poprzez barierę wykonaną z mułu węglowego jest stosunkowo niewielki. Prędkość filtracji odcieków poprzez barierę izolacyjną będzie zbliżona bez względu na etap funkcjonowania składowiska, skład odcieku oraz jego właściwości.
4. Analizując właściwości filtracyjne oraz skład mineralny i właściwości mechaniczne mułu węglowego z KWK Janina, można stwierdzić, że surowiec ten całkowicie spełnia wymagania, jakie obowiązują dla materiałów wykorzystywanych do budowy barier izolacyjnych.

Praca sfinansowana ze środków BS401/302/08 Politechniki Częstochowskiej realizowana w ramach tematu: Ochrona i remediacja gruntów i wód podziemnych na terenach objętych antropopresją.



Literatura

- [1] Garbulewski K., Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2001.
- [2] Dutkiewicz E.T., Fizykochemia powierzchni, WNT, Warszawa 1998.
- [3] Laskowski J., Chemia fizyczna procesach mechanicznej przeróbki kopalin, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1969.
- [4] Jo H.Y., Katasumi T., Benson C.H., Edil T.B., Hydraulic conductivity and swelling of non-prehydrated GCLs permeated with single-species salt solutions, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 2001, ASCE 127(7), 557-567.
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów, DzU 2003, Nr 61, poz. 549.
- [6] Gawriuczenkow I., Iły poznańskie jako izolacyjne bariery geologiczne składowisk odpadów komunalnych, Przegląd Geologiczny 2005, 53, 8, 691-694.
- [7] Grabowska-Olszewska B., Gruntoznawstwo, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1977.
- [8] Choma-Moryl K., Badania wybranych gruntów spoistych z terenu Dolnego Śląska jako uszczelnień składowisk odpadów komunalnych, Acta Universitatis Wartsilaviensis, Nr 2599, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2004.
- [9] Doniecki T., Wykorzystanie drobnoziarnistych odpadów mineralnych do wykonywania barier izolacyjnych, Praca doktorska niepublikowana, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2007.
- [10] Marciniak M., Przybyłek J., Herzig J., Szczepańska J., Laboratoryjne i terenowe oznaczanie współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych, Wydawnictwo Sorus, Poznań 1998.
- [11] Lo I.M.C., Liljestrand H., Laboratory sorption and hydraulic conductivity tests: evaluation of modified clay-materials, Waste Management and Research 1996, 14, 297-310.
- [12] Matmon D., Gridin, V., Bear J., Frydman S., Schechter I., Non-aqueous-phase-liquid breakthrough during evaporative drying of clay barriers, Journal of Contaminant Hydrology 2001, 50, 243-260.
- [13] Doniecki T., Siedlecka E., Odpadowe muły węglowe jako element izolacji mineralnej składowisk odpadów, Górnictwo i Geoinżynieria 2006, 30, 3/1, 41-46.
- [14] PN-86/B-02480. Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów.
- [15] Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów, Instrukcja nr 339/1996, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1996.
- [16] Benson C.H., Zhai H., Wang X., Estimating hydraulic conductivity of compacted clay liners, Journal of Geotechnical Engineering 1994, 120(2), 366-387.
- [17] Majer E., Metodyka doboru gruntu w ramach projektowania mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów, Geologos 2007, 11.
- [18] Doniecki T., Zabezpieczenie środowiska wodno-gruntowego przy wykorzystaniu odpadowego mułu węglowego, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna Woda-ścieki i odpady w środowisku, Zielona Góra 2005.

Variability of Filtration Coefficient in Coal Sludge as a Material to Insulating Barriers Building

The threat of environmental ground-water pollution as a result of economic activity has caused the increase of use the insulating barriers in the modern environmental projects. In most cases, insulating barriers are used in the landfill areas location. The best insulating properties have the clay rocks - the most commonly used materials in the construction of insulating barriers. The clay minerals are also the constituent of the mineral wastes, such as the coal sludge from hard coal enrichment, which can be used to form the barriers. This ar-



ticle presents the characteristics of coal sludge from a coal mine Janina (South Poland). The mud formed in the years 2005-2007 as a waste product of coal processing was used in examination. Some coal sludge produced in recent years was disposed on the mud clarifier. The variability of the filtration coefficient, depending on the type of fluid used for testing, was examined. It has been shown that the changes of coal sludge filtration parameters are low regardless of changes in the composition of filtering solutions. In all cases, the filtration coefficient is lower than the level required by letter of the law. The coefficient of permeability obtained during distilled water filtration by a compact coal sludge w_{opt} is equal $1.11 \cdot 10^{-11}$ m/s. In the case of solutions filtration through the coal sludge the speed of filtration increases. The largest increase of filtration speed is observed for the 1N hydrochloric acid solution.

Keywords: insulation barriers, permeability coefficient, groundwater protection, coal sludge

