

Franciszek PLEWA*, Piotr PIERZYNA**, Piotr PIONTEK***

Wykorzystanie materiałów kompozytowych wytworzonych na bazie wybranych odpadów energetycznych do wykonywania barier izolacyjnych w składowiskach odpadów

STRESZCZENIE. Ilość powstających odpadów energetycznych skłania do poszukiwania nowych możliwości ich wykorzystywania np. do budowy barier izolacyjnych w składowiskach odpadów. Podstawowym warunkiem, jaki musi spełniać materiał stanowiący barierę izolacyjną, jest warunek szczelności. Szczelność scharakteryzowana jest poprzez współczynnik filtracji, którego wartość nie może przekraczać $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. W przypadku składowisk podziemnych materiał izolacyjny, oprócz wymaganej i ściśle określonej granicznej wartości współczynnika filtracji, powinien charakteryzować się odpowiednimi właściwościami mechanicznymi dobranymi do warunków panujących w górotworze. W niniejszym artykule przedstawiono możliwość wykorzystania odpadów energetycznych do budowy barier izolacyjnych poprzez ocenę wpływu dodatku cementu na właściwości mechaniczne oraz filtracyjne mieszanin popiołowo-wodnych.

SŁOWA KLUCZOWE: zagospodarowanie odpadów energetycznych w górnictwie, właściwości mechaniczne i filtracyjne materiałów kompozytowych, UPS, bariery izolacyjne

* Prof. dr hab. inż. — Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: Franciszek.Plewa@polsl.pl;

** Dr inż. — Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: Piotr.Pierzyna@polsl.pl;

*** Inż. — Firma NADIR Sp. z o.o., Rybnik.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Wiesław BLASCHKE

Wprowadzenie

Wykorzystanie odpadów energetycznych przez górnictwo podziemne stanowi alternatywę dla ich powierzchniowego składowania, co jest korzystne głównie z punktu widzenia ochrony środowiska przyrodniczego. Stało się ono tak powszechne, że w niektórych technologiach górniczych takich jak: doszczelnianie zrobów zawałowych, likwidacja zbędnych wyrobisk, czy też wykonywanie pasów podsadzkowych wręcz nieodzowne. Najczęściej popioły lotne wykorzystywane są w górnictwie w postaci mieszanin popiołowo-wodnych. Ilość powstających odpadów energetycznych skłania do poszukiwania nowych możliwości ich wykorzystywania, w tym również wytwarzanie nowych materiałów opartych na ich bazie, a co za tym idzie możliwości ich szerszego zastosowania np. do budowy barier izolacyjnych w składowiskach odpadów. Podstawowym warunkiem, jaki musi spełniać materiał stanowiący barierę izolacyjną, jest warunek szczelności. Szczelność scharakteryzowana jest poprzez współczynnik filtracji. Naturalne i antropogeniczne bariery ochronne powinny charakteryzować się wartościami współczynnika filtracji $k < 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}^1$. W przypadku składowisk podziemnych materiał izolacyjny, oprócz wymaganej i ściśle określonej granicznej wartości współczynnika filtracji, powinien charakteryzować się odpowiednimi właściwościami mechanicznymi dobranymi do warunków panujących w górotworze². W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania odpadów energetycznych do budowy barier izolacyjnych poprzez ocenę wpływu dodatku cementu na własności mechaniczne oraz filtracyjne mieszanin popiołowo-wodnych.

Metodyka i zakres badań

Badaniami właściwości mieszanin popiołowo-wodnych objęto następujące podstawowe parametry:

- ✧ czas wiązania,
- ✧ nośność,
- ✧ wytrzymałość na ściskanie,
- ✧ rozmakalność,
- ✧ współczynnik filtracji.

Badania te przeprowadzono zgodnie z normą PN-G-11011:1998. Celem odwzorowania warunków klimatycznych panujących na dole kopalń, próbki badanych materiałów sezonowane były w komorze klimatyzacyjnej w temperaturze 25°C przy wilgotności wynoszącej 90—95%.

¹ Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. nr 61, poz. 549 z dnia 24 marca 2003 r.).

² Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie podziemnych składowisk odpadów (Dz.U. nr 110, poz. 935 z dnia 16 czerwca 2005 r.).

Charakterystyka materiałów użytych do badań

Badaniami objęto następujące popioły lotne:

- ❖ po pól suchym odsiarczaniu spalin z El. X,
- ❖ z kotłów fluidalnych z El. Y.

Jako dodatek modyfikujący zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5 w ilości 5 i 10%.

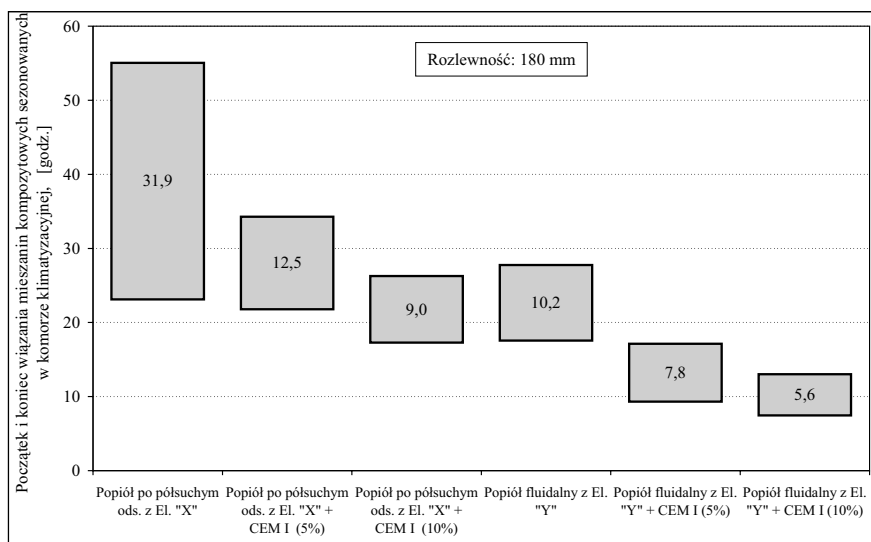
Mieszanki użyte do badań charakteryzowały się rozlewnością równą 180 mm, która odpowiada mieszaninom transportowalnym hydraulicznie, stosowanym do doszczelniania zrobów zawałowych, przy jednoczesnym wydzieleniu minimalnej ilości wody dodatkowej (nadosadowej).

Wyniki badań laboratoryjnych popiołów

Wyniki badań czasów wiązania

Wyniki badań czasu wiązania materiałów kompozytowych przedstawiono na rysunku 1.

Z przedstawionych zależności wynika, że proces wiązania szybciej przebiega w grupie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego niż na bazie popiołu po pól suchym



Rys. 1. Czas początku i końca wiązania mieszanin kompozytowych o rozlewności 180 mm sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej

Fig. 1. Solidifying time of composite slurries with spill radius 180 mm cured in climatic chamber

odsiarczaniu spalin. Badane mieszanki charakteryzowały się czasem wiązania w przedziale od 5,6 godz. dla mieszanki sporządzonej na bazie popiołu z kotłów fluidalnych z dodatkiem 10% cementu do 31,9 godz. dla mieszanki sporządzonej na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin bez dodatku cementu.

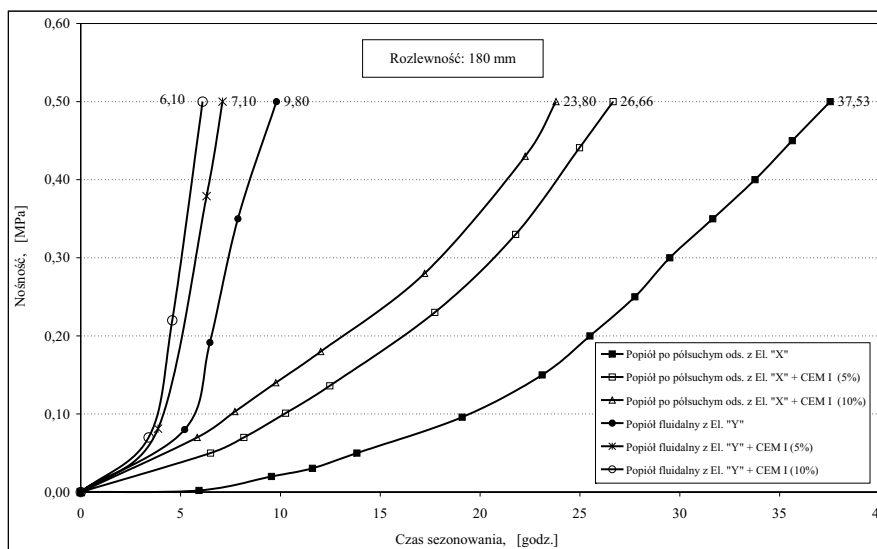
Dodatek 5% cementu powoduje skrócenie czasu omawianej wielkości o około 25% dla mieszanki sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około 60% dla mieszanki sporządzonej na bazie popiołu półsuchego. Natomiast dodatek cementu w ilości 10% powoduje skrócenie czasu wiązania o około 50% dla mieszanki sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około 70% dla mieszanki sporządzonej na bazie popiołu półsuchego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że dodatek cementu w większym stopniu wpływa na zmianę omawianego parametru w hydromieszaniu z popiołu po półsuchym odsiarczaniu z El. X niż z popiołu fluidalnego z El. Y.

Wyniki badań nośności

Wyniki badań nośności materiałów kompozytowych przedstawiono na rysunku 2.

Z przedstawionych zależności wynika, że proces uzyskania „normowej” nośności szybciej przebiega w grupie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego niż na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin. Badane mieszanki charakteryzowały się czasem uzyskania nośności 0,5 MPa w przedziale od 6,1 godz. dla mieszanki sporządzonej na bazie



Rys. 2. Zmiany nośności w czasie mieszanin kompozytowych o rozlewności 180 mm sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej

Fig. 2. Load capacity change in time of composite slurries with spill radius of 180 mm cured in climatic chamber

popiołu z kotłów fluidalnych z dodatkiem 10% cementu do 37,5 godz. dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin bez dodatku cementu.

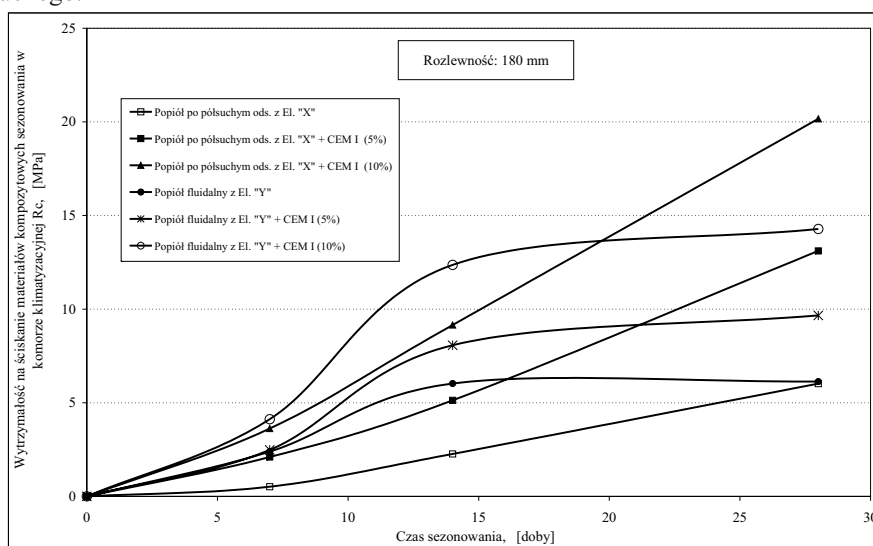
Dodatek 5% cementu powoduje jednakowe dla obydwu rodzajów popiołów skrócenie czasu uzyskania omawianej wielkości o około 30%, a 10% cementu o około 40%.

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie materiałów kompozytowych przedstawiono na rysunku 3.

Z przedstawionych zależności wynika, że wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach sezonowania jest wyższa w grupie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin z El. X niż na bazie popiołu fluidalnego z El. Y. Badane mieszaniny charakteryzowały się wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach sezonowania w przedziale od 6,0 MPa dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin do 20,2 MPa dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin z dodatkiem 10% cementu.

Dodatek 5% cementu powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie o około 70% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około 120% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu półsuchego. Natomiast dodatek cementu w ilości 10% powoduje wzrost omawianej wielkości o około 130% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około 240% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu półsuchego.



Rys. 3. Zmienność wytrzymałości na ściskanie w czasie mieszanin kompozytowych o rozlewności 180 mm sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej

Fig. 3. Change of compressive strength in time of composite slurries with spill radius 180 mm cured in climatic chamber

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że dodatek cementu w znacznie większym stopniu (2-krotnie) wpływa na zmianę omawianego parametru w materiałach sporządzonych na bazie popiołu po póluchym odsiarczaniu z El. X niż z popiołu fluidalnego z El. Y.

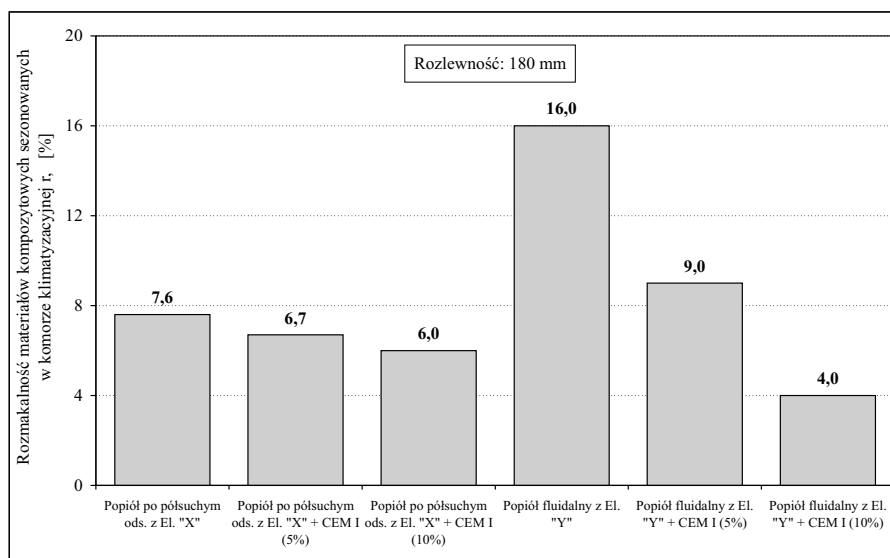
Wyniki badań rozmakalności

Wyniki badań rozmakalności materiałów kompozytowych przedstawiono na rysunku 4.

Z przedstawionych zależności wynika, że rozmakalność jest wyższa w grupie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego z El. Y niż na bazie popiołu po póluchym odsiarczaniu spalin z El. X. Badane mieszaniny charakteryzowały się rozmakalnością w przedziale od 4,0% do 16%.

Dodatek 5% cementu powoduje zmniejszenie rozmakalności o około 40% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około 14% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu póluchego w stosunku do odpowiednich mieszanin bez jego dodatku. Natomiast dodatek cementu w ilości 10% powoduje zmniejszenie omawianej wielkości o około 80% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około 30% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu póluchego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że dodatek cementu w znacznie większym stopniu (2,2—2,5 raza) wpływa na zmianę omawianego parametru w materiałach sporządzonych na bazie z popiołu fluidalnego z El. Y niż popiołu po póluchym odsiarczaniu z El. X.



Rys. 4. Zależność zmian rozmakalności mieszanin kompozytowych o rozlewności 180 mm sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej

Fig. 4. Soak resistance of composite slurries with spill radius 180 mm cured in climatic chamber

Wyniki badań współczynników filtracji

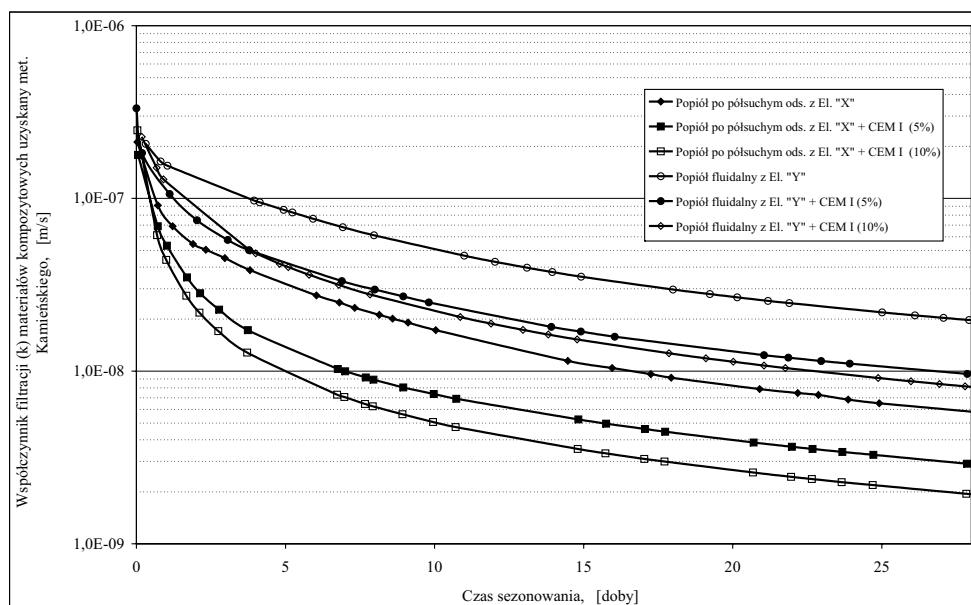
Wyniki badań zmienności współczynnika filtracji w czasie dla materiałów kompozytowych przedstawiono na rysunku 5.

Wartości współczynników filtracji po 28 dniach sezonowania są następujące:

- a) dla grupy mieszanin sporządzonych z popiołów po pól suchym odsiarczaniu spalin z El. X:
- ◇ mieszanina bez dodatku cementu — $5,8E-09$ m/s,
 - ◇ mieszanina z dodatkiem 5% cementu — $2,9E-09$ m/s,
 - ◇ mieszanina z dodatkiem 10% cementu — $1,9E-09$ m/s;
- b) dla grupy mieszanin sporządzonych z popiołów fluidalnych z El. Y:
- ◇ mieszanina bez dodatku cementu — $2,0E-08$ m/s,
 - ◇ mieszanina z dodatkiem 5% cementu — $9,6E-09$ m/s,
 - ◇ mieszanina z dodatkiem 10% cementu — $8,2E-09$ m/s.

Wartości współczynników filtracji są wyższe w grupie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego z El. Y niż na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin z El. X. Badane mieszaniny osiągnęły wartość współczynnika filtracji po 28 dniach sezonowania w przedziale od $2,0E-08$ m/s dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego bez dodatku cementu do $1,9E-09$ m/s dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin z dodatkiem 10% cementu.

Dodatek 5% cementu powoduje zmniejszenie wartości współczynnika filtracji o około 0,24 rzędu wielkości dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego oraz o około



Rys. 5. Zależność zmian wartości współczynników filtracji w czasie mieszanin kompozytowych o rozległości 180 mm

Fig. 5. Change of permeability factor in time of composite slurries with spill radius 180 mm

0,29 rzędu wielkości dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu pól suchego. Natomiast dodatek cementu w ilości 10% powoduje odpowiednie zmniejszenie omawianej wielkości o około 0,36 i o około 0,39 rzędu.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że dodatek cementu nie wpływa znacząco na zmianę wartości współczynnika filtracji materiałów kompozytowych sporządzonych na bazie obu rodzajów popiołów lotnych.

Tendencja spadkowa odnotowanych wartości świadczy o tym, iż badane mieszaniny po dłuższym czasie sezonowania mogą osiągnąć wartość współczynnika filtracji poniżej 10^{-9} m/s.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem wiązania w przedziale od 5,6 godz. dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu z kotłów fluidalnych z dodatkiem 10% cementu do 31,9 godz. dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin bez dodatku cementu. Dodatek 5% cementu powoduje skrócenie czasu wiązania o około 25—60%, a 10% o około 50—70%. Dodatek cementu w większym stopniu wpływa na zmianę omawianego parametru w hydromieszaniu z popiołu po pól suchym odsiarczaniu z El. X niż z popiołu fluidalnego z El. Y.
2. Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem uzyskania nośności 0,5 MPa w przedziale od 6,1 godz. dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu z kotłów fluidalnych z dodatkiem 10% cementu do 37,5 godz. dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin bez dodatku cementu. Dodatek 5% cementu powoduje jednakowe dla obydwu rodzajów popiołów skrócenie czasu uzyskania nośności o około 30%, a dodatek 10% cementu zmniejsza jej wartość o około 40%.
3. Badane mieszaniny charakteryzowały się wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach sezonowania w przedziale od 6,0 MPa dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin do 20,2 MPa dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin z dodatkiem 10% cementu. Dodatek 5% cementu powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie o około 70—120%, a 10% o około 130—240%. Dodatek cementu w znacznie większym stopniu (2-krotnie) wpływa na zmianę omawianego parametru w materiałach sporządzonych na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu z El. X niż z popiołu fluidalnego z El. Y.
4. Badane mieszaniny charakteryzowały się rozmałalnością w przedziale od 4,0% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego z dodatkiem 10% cementu do 16% dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego bez dodatku cementu. Dodatek 5% cementu powoduje zmniejszenie rozmałalności o około 14—40%, a 10% o około 30—80%. Dodatek cementu w znacznie większym stopniu (2,2—2,5 raza)

- wpływa na zmianę wartości rozmakalności w materiałach sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego z El. Y niż popiołu po pól suchym odsiarczaniu z El. X.
5. Badane mieszaniny osiągnęły wartość współczynnika filtracji po 28 dniach sezonowania w przedziale od $2,0E-08$ m/s dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu fluidalnego bez dodatku cementu do $1,9E-09$ m/s dla mieszaniny sporządzonej na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu spalin z dodatkiem 10% cementu. Dodatek 5% cementu powoduje zmniejszenie wartości współczynnika filtracji o około 0,24—0,29 rzędu wielkości, a 10% o około 0,36—0,39 rzędu wielkości. Dodatek cementu nie wpływa znacząco na zmianę wartości współczynnika filtracji materiałów kompozytowych sporządzonych na bazie obu rodzajów popiołów lotnych.
 6. Tendencja spadkowa badanych wartości współczynnika filtracji świadczy o tym, iż badane mieszaniny po dłuższym czasie sezonowania mogą uzyskać jego wartość poniżej $1,0E-09$ m/s, a więc osiągnąć graniczną jego wartość wymaganą od materiałów stosowanych do budowy barier izolacyjnych.

Artykuł powstał w ramach projektu pt. „Opracowanie zasad i środków tworzenia sztucznych barier dla podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych w kopalniach likwidowanych” finansowanego z środków otrzymanych z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] BABCZYŃSKI W., 2000 — Modelowanie warstwy izolacyjnej wykonanej z popiołów lotnych wokół podziemnego składowiska odpadów. Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju. Konferencja IV, Gliwice.
- [2] MAZURKIEWICZ M., PIOTROWSKI Z., TAJDUŚ T., 1997 — Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków.
- [3] PALARSKI J., PLEWA F., BABCZYŃSKI W., 2002 — Modelowanie migracji zanieczyszczeń z poziomych składowisk odpadów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.
- [4] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 — Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wyd. Politechniki Śląskiej. Gliwice.
- [5] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2003 — Wpływ dodatków modyfikujących na wodoprzepuszczalność mieszanin popiołowo-wodnych. ZN Pol. Śląska, nr 258. Gliwice.
- [6] PLEWA F., PIERZYNA P., 2004 — Wykorzystanie odpadów górniczych do wytwarzania barier izolacyjnych. IX Konferencja Naukowo-Techniczna pt. „Działania proekologiczne samorządów terytorialnych oraz zakładów przemysłowych subregionu zachodniego województwa śląskiego po wstąpieniu do Unii Europejskiej”, Wyd. SiTG, 20.10.2004, Jastrzębie Zdrój, s. 305—309.
- [7] PLEWA F., PIERZYNA P., 2004 — Wpływ wybranych dodatków naturalnych na własności mechaniczne i filtracyjne popiołów lotnych z Elektrowni Rybnik. XI Międzynarodowe Sympozjum pt. Geotechnika 2004. Zeszyt specjalny WGiG Politechniki Śląskiej, 19—22.10.2004, Gliwice-Ustroń.
- [8] Polska Norma PN-G-11011. Materiały do podsadzki zestalonej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania.

- [9] ROGOŹ M. i in., 1986 — Poradnik hydrogeologa w kopalni węgla kamiennego. Wydawnictwo Śląsk. Katowice.
- [10] SZCZEPAŃSKA J. i in., 1996 — Własności filtracyjne popiołów elektrownianych w aspekcie prognozowania ich wpływu na środowisko wodne. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, nr 2.

Franciszek PLEWA, Piotr PIERZYNA, Piotr PIONTEK

The use of composite materials based on selected energetic waste as insulating barriers for waste depositories

Abstract

The amount of energetic waste that is produced in power plants encourages for seeking new methods of its use e.g. as insulating barrier in waste depositories. The main condition for the material to be used as insulating barrier is its low permeability. Permeability is characterized by permeability factor which must be below $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. In case of underground waste depositories, the material used as insulating barrier apart from low permeability factor must be also characterized by proper mechanical properties matching the surrounding rock mass. Estimation of cement addition for the mechanical properties and permeability of water /fly-ash slurries used as possible insulating barrier is presented in the article.

KEY WORDS: energetic waste management in mining, mechanical and permeability properties of composite materials, coal combustion products, insulation barriers