

Jan Palarski, Franciszek Plewa*, Piotr Pierzyna**

WPŁYW DODATKÓW MODYFIKUJĄCYCH NA PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI ZAWIESIN Z POPIOŁÓW LOTNYCH Z ELEKTROWNI „X”

1. Wstęp

Węgiel kamienny będzie wykorzystywany w Polsce jako podstawowe paliwo energetyczne jeszcze przez długi okres. Spalanie węgla w energetyce powoduje powstawanie dużej ilości odpadów. Wykorzystanie tych odpadów w górnictwie stało się w ostatnich latach powszechne, a w niektórych technologiach górniczych, takich jak doszczelnianie zrobów zawałowych 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 wytwarzania nowych materiałów opartych na ich bazie, a co za tym idzie – możliwości ich szerszego wykorzystania w górnictwie podziemnym, np. do budowy barier izolacyjnych w składowiskach odpadów, w technologiach związanych z likwidacją wyrobisk poziomych i pionowych. Takie nowe spektrum wykorzystania odpadów wiąże się z zastosowaniem różnych dodatków zarówno naturalnych, jak i syntetycznych. W niniejszym artykule przedstawiono ocenę wpływu wybranych dodatków naturalnych na podstawowe własności fizyczne oraz filtracyjne mieszanin popiołowo-wodnych opartych na odpadach z Elektrowni „X”.

2. Metodyka i zakres badań

Badaniami wpływu dodatków modyfikujących na właściwości mieszanin popiołowo-wodnych objęto następujące podstawowe parametry:

- czas wiązania,
- nośność,

* Instytut Geotechnologii, Geofizyki Górniczej i Ekologii Terenów Przemysłowych, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

- wytrzymałość na ściskanie,
- rozmakalność,
- współczynnik filtracji.

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

3. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Materiał bazowy stanowił popiół po pólsuchym odsiarczeniu spalin z Elektrowni „X”. Jako dodatki modyfikujące wykorzystano następujące materiały:

- glinę pobraną w Zakładzie Ceramiki Budowlanej „Jopek” w Sierakowicach,
- łupek ilasty pobrany ze składowiska odpadów górniczych KWK „Sośnica”,
- cement (CEM I 42,5).

Udział dodatków modyfikujących – gliny i łupka ilastego – w mieszaninach popioło-wodnych wynosił 30%. Dodatki te przed wykonaniem mieszanin rozdrobniono do frakcji < 1 mm, natomiast ilość dodanego spoiwa mineralnego w postaci cementu wynosiła 5 i 10%.

Skład oraz oznaczenia poszczególnych mieszanin kompozytowych przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Skład oraz oznaczenie poszczególnych mieszanin kompozytowych

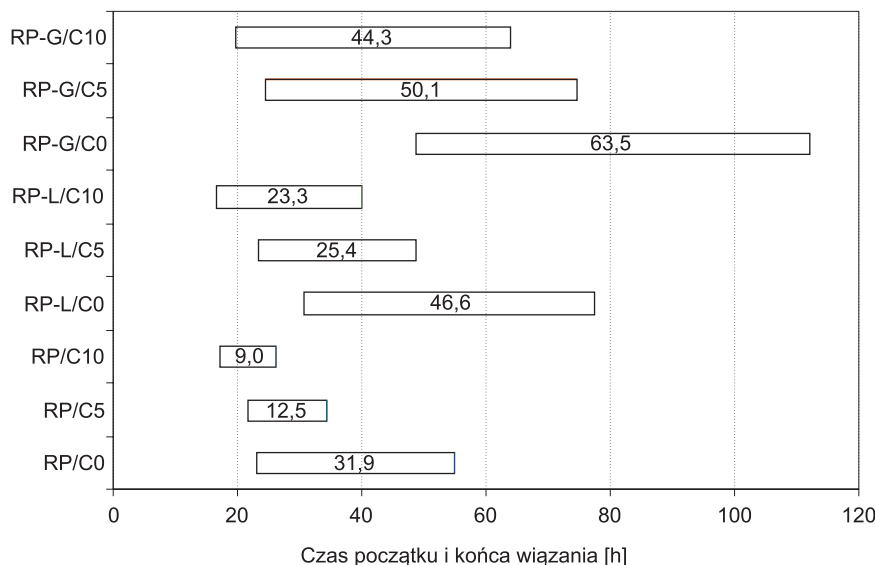
Oznaczenie	Udział masowy poszczególnych składników mieszaniny			
	Popiół	Glina	Łupek ilasty	CEM I
	[%]			
RP/C5	95	–	–	5
RP/C10	90	–	–	10
RP-L/C0	70	–	30	–
RP-L/C5	65	–	30	5
RP-L/C10	60	–	30	10
RP-G/C0	70	30	–	–
RP-G/C5	65	30	–	5
RP-G/C10	60	30	–	10

Mieszaniny 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) [2].

4. Analiza wyników badań laboratoryjnych

4.1. Czas wiązania

Wyniki badań czasu wiązania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Czas początku i końca wiązania badanych mieszanin

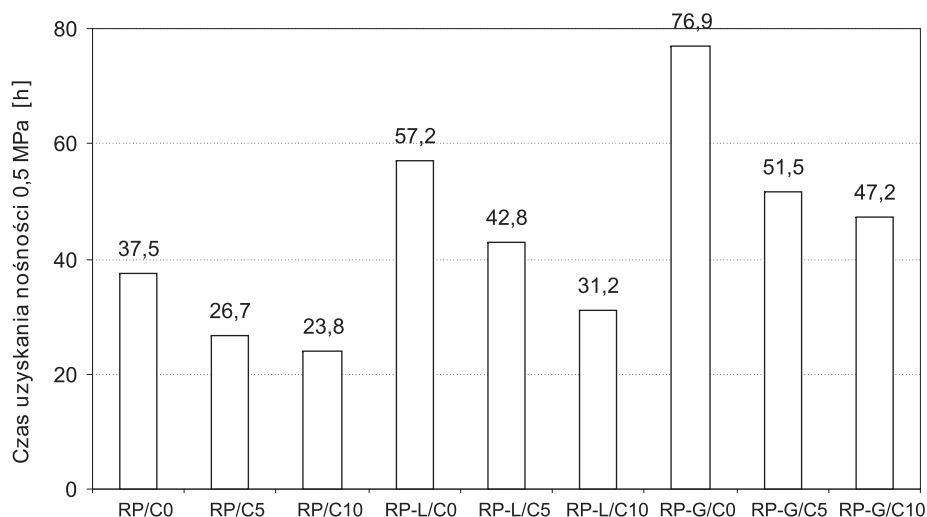
Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem wiązania w przedziale od 9 h dla mieszaniny nr 5 (90% popiołu i 10% cementu) do 63,5 h dla mieszaniny nr 2 (70% popiołu i 30% gliny). Proces wiązania najszybciej przebiega w grupie mieszanin popiołowo-wodnych w granicach od 9 h do 31,9 h, natomiast najwolniej w grupie mieszanin popiołowo-glinowo-wodnych – w przedziale 44,3÷63,5 h. Czasy wiązania grupy popiołowo-łowo-wodnej były pośrednie i wahały się od 23,3 h do 46,6 h. Składniki modyfikujące w postaci gliny i łupka ilastego dodane do mieszaniny wydłużają proces wiązania, zaś – zgodnie z oczekiwaniami – dodatek cementu powoduje jego skrócenie.

Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej powoduje wydłużenie czasu wiązania o około 50%, zaś gliny o około 100%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje skrócenie czasu omawianej wielkości o około 60% dla mieszaniny popiołowo-wodnej, o około 40% dla mieszaniny popiołowo-łowo-wodnej oraz o około 20% dla mieszaniny popiołowo-glinowo-wodnej. Dodatek cementu w ilości 10% powoduje skrócenie czasu wiązania o około 70% dla mieszaniny popiołowo-wodnej, o około 50% dla mieszaniny popiołowo-łowo-wodnej oraz o około 30% dla mieszaniny popiołowo-glinowo-wodnej. Biorąc pod uwagę powyższą analizę, można stwierdzić, że dodatek 10% cementu w badanej mieszaninie nie wpływa znacząco na skrócenie jej czasu wiązania w porównaniu z czasem wiązania mieszaniny z 5-procentowym dodatkiem cementu. Zawartość 10% cementu powoduje

zmianę omawianego parametru o około 10% w odniesieniu do wartości uzyskanych dla 5% tego dodatku mineralnego.

4.2. Nośność

Wyniki badań zmienności nośności w czasie przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Czas uzyskania nośności 0,5 MPa badanych mieszanin

Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem uzyskania nośności 0,5 MPa w przedziale od 23,8 h dla mieszaniny nr 5 (90% popiołu i 10% cementu) do 76,9 h dla mieszaniny nr 2 (70% popiołu i 30% gliny). Najszybciej nośność uzyskiwały mieszaniny z grupy popiołowo-wodnej – w granicach od 23,8 h do 37,5 h, natomiast najwolniej w grupie mieszanin popiołowo-glinowo-wodnych – w przedziale 47,2÷76,9 h. Grupa popiołowo-łowo-wodna charakteryzowała się pośrednimi czasami uzyskania nośności 0,5 MPa, które wahały się od 31,1 h do 57,2 h.

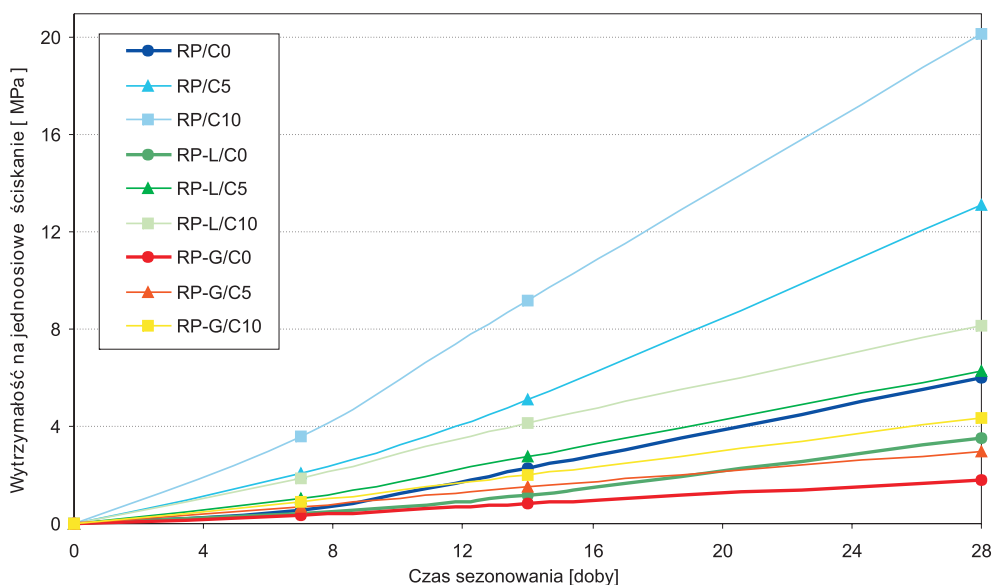
Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej powoduje wydłużenie czasu osiągnięcia nośności 0,5 MPa o około 50%, zaś gliny o około 100%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje skrócenie czasu osiągnięcia „normowej” nośności o około 30%, a 10% cementu o około 40%.

4.3. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie

Wyniki badań zmienności wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie przedstawiono na rysunku 3.

Badane mieszaniny charakteryzowały się wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie w przedziale od 20,2 MPa dla mieszaniny nr 5 (90% popiołu i 10% cementu) do 1,8 MPa dla mieszaniny nr 2 (70% popiołu i 30% gliny). Najwyższe wytrzymałości na ściskanie osiągnęła grupa mieszanin popiołowo-wodnych, w granicach od 6,0 MPa do 20,2 MPa. Natomiast naj-

mniejsze wytrzymałości na ściskanie wykazała grupa mieszanin popiołowo-glinowo-wodnych, od 1,8 MPa do 4,3 MPa. Grupa popiołowo-iłowo-wodnej charakteryzowała się pośrednimi wartościami omawianego parametru, w granicach 3,5÷8,2 MPa.



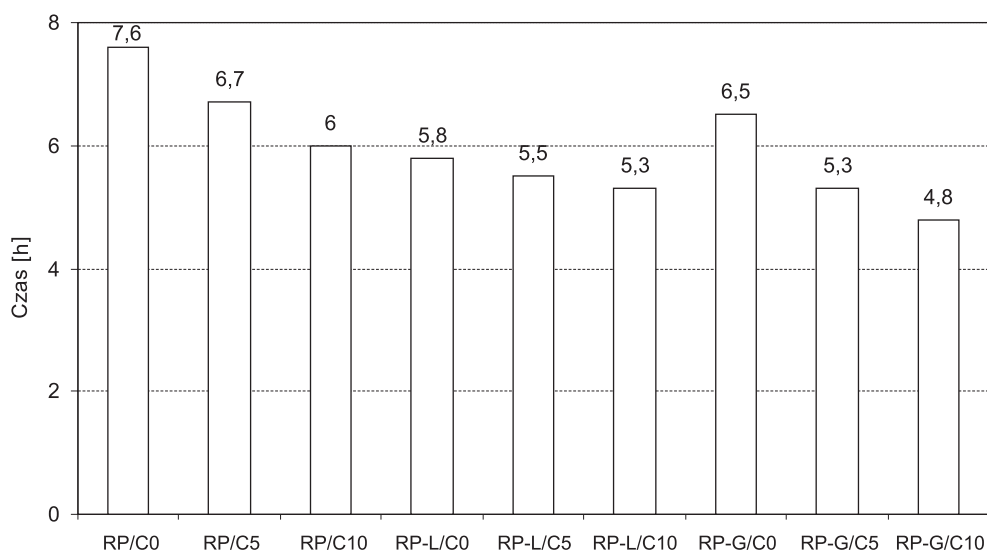
Rys. 3. Zmienność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie badanych mieszanin

Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej wywołuje spadek wytrzymałości na ściskanie o około 40%, zaś gliny o około 70%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie o około 1,2 razy dla mieszaniny popiołowo-wodnej, o około 0,8 razy dla mieszaniny popiołowo-iłowo-wodnej oraz o około 0,7 razy dla mieszaniny popiołowo-glinowo-wodnej. Dodatek cementu w ilości 10% powoduje wzrost omawianego parametru o około 2,4 razy dla mieszaniny popiołowo-wodnej, o około 1,4 razy dla mieszanin popiołowo-iłowo-wodnej oraz popiołowo-glinowo-wodnej. Reasumując można stwierdzić, że dodatek 10% cementu w badanej mieszaninie powoduje znaczący – bo około 100-procentowy – wzrost wytrzymałości na ściskanie tej mieszaniny w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie mieszaniny z 5-procentowym dodatkiem cementu.

4.4. Rozmakalność

Wyniki badań rozmakalności przedstawiono na rysunku 4.

Badane mieszaniny charakteryzowały się rozmakalnością w granicach od 4,8% dla mieszaniny nr 9 (60% popiołu, 30% gliny i 10% cementu) do 7,6% dla mieszaniny nr 1 (100% popiołu). Najwyższą rozmakalnością charakteryzowała się grupa mieszanin popiołowo-wodnych – w granicach od 5,3% do 7,6%, a najmniejszą grupa mieszanin popiołowo-glinowo-wodnych od 4,8% do 5,8%. Grupa popiołowo-iłowo-wodnej charakteryzowała się pośrednimi wartościami omawianego parametru w granicach 5,4÷6,7 MPa.



Rys. 4. Rozmakalność badanych mieszanin

Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej wywołuje zmniejszenie rozmakalności o około 9%, zaś gliny o około 18%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje spadek omawianej wielkości o około 14% dla mieszaniny popiołowo-wodnej i o około 9÷10% dla mieszanin popiołowo-iłowo-wodnej oraz popiołowo-glinowo-wodnej. Dodatek cementu w ilości 10% powoduje zmniejszenie rozmakalności o około 30% dla mieszaniny popiołowo-wodnej i o około 17÷19% dla mieszanin popiołowo-iłowo-wodnej oraz popiołowo-glinowo-wodnej. Mając na uwadze powyższe rozważania, można stwierdzić, że dodatek 10% cementu w badanej mieszaninie powoduje znaczące – bo około 100-procentowe – zmniejszenie rozmakalności w porównaniu z rozmakalnością badanych mieszanin z 5-procentowym dodatkiem cementu.

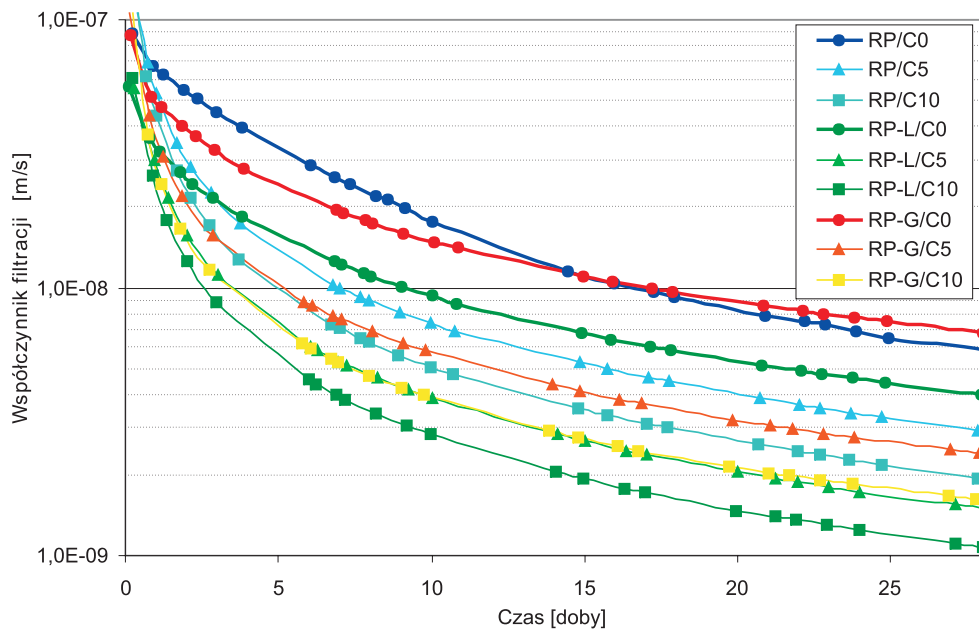
4.5. Współczynnik filtracji

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

Na podstawie przeprowadzonych badań po 28 dniach sezonowania uzyskano następujące wartości współczynnika filtracji:

- dla grupy mieszanin popiołowo-wodnych:
 - mieszanina nr 1 (bez dodatku cementu) – $5,8E-09$ m/s,
 - mieszanina nr 4 (z dodatkiem 5% cementu) – $2,9E-09$ m/s,
 - mieszanina nr 5 (z dodatkiem 10% cementu) – $1,9E-09$ m/s;
- dla grupy mieszanin popiołowo-glinowo-wodnych:
 - mieszanina nr 2 (bez dodatku cementu) – $6,8E-09$ m/s,
 - mieszanina nr 8 (z dodatkiem 5% cementu) – $2,4E-09$ m/s,
 - mieszanina nr 9 (z dodatkiem 10% cementu) – $1,6E-09$ m/s;

- dla grupy mieszanin popiołowo-iłowo-wodnych:
- mieszanina nr 3 (bez dodatku cementu) – $4,0E-09$ m/s,
 - mieszanina nr 6 (z dodatkiem 5% cementu) – $1,5E-09$ m/s,
 - mieszanina nr 7 (z dodatkiem 10% cementu) – $1,1E-09$ m/s.



Rys. 5. Zmienność współczynnika filtracji w czasie badanych mieszanin

Badane mieszaniny charakteryzowały się po 28 dniach sezonowania współczynnikiem filtracji w granicach od $6,8E-09$ m/s dla mieszaniny nr 2 (70% popiołu, 30% gliny) do $1,1E-09$ m/s dla mieszaniny nr 7 (60% popiołu, 30% łupka ilastego i 10% cementu).

Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej wywołuje zmniejszenie współczynnika filtracji o około 0,2 rzędu wielkości, zaś gliny – nieznaczny wzrost o około 0,1 rzędu.

Natomiast dodatek 5% cementu powoduje zmniejszenie omawianej wielkości dla odpowiednich mieszanin o około $0,3 \div 0,4$ rzędu wielkości, a 10-procentowy jego udział – o około $0,4 \div 0,5$ rzędu wielkości. Dodatek 10% cementu odpowiedniej mieszaniny nie powoduje znaczącego spadku wartości współczynnika filtracji. Zawartość 10% cementu powoduje zmianę omawianego parametru o około 0,1 rzędu w odniesieniu do wartości uzyskanych dla 5% tego dodatku mineralnego dla odpowiednich mieszanin.

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

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań dotyczących wpływu dodatków modyfikujących na podstawowe własności popiołów lotnych można sformułować następujące wnioski:

1. Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem wiązania w przedziale od 9 h do 63,5 h. Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej powoduje wydłużenie czasu wiązania o około 50%, zaś dodatek gliny – o około 100%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje skrócenie czasu wiązania dla odpowiednich mieszanin o około 20÷60%. Dodatek 10% cementu nie wpływa znacząco na skrócenie ich czasu wiązania w porównaniu z 5-procentowym jego udziałem.
2. Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem uzyskania nośności 0,5 MPa w przedziale od 23,8 h do 76,9 h. Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej powoduje wydłużenie czasu osiągnięcia nośności 0,5 MPa o około 50%, zaś gliny – o około 100%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje skrócenie czasu osiągnięcia „normowej” nośności o około 30%, a dodatek 10% cementu – o około 40%.
3. Badane mieszaniny charakteryzowały się po 28 dniach sezonowania wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie w przedziale od 1,8 MPa do 20,2 MPa. Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej wywołuje spadek wytrzymałości na ściskanie o około 40%, zaś dodatek gliny – o około 70%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie dla odpowiednich mieszanin w granicach około 0,7÷1,2 razy, a dodatek 10% cementu, w przedziale około 1,4÷2,4 razy. Dodatek 10% cementu w badanej mieszaninie powoduje znaczący – bo około 100% – wzrost wytrzymałości na ściskanie mieszaniny, w porównaniu z wytrzymałością na ściskanie mieszaniny z 5-procentowym dodatkiem cementu.
4. Badane mieszaniny charakteryzowały się rozmakalnością w granicach od 4,8% do 7,6%. Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej wywołuje zmniejszenie rozmakalności o około 9%, zaś dodatek gliny – o około 18%. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje spadek omawianej wielkości dla odpowiednich mieszanin w granicach około 9÷14%, a dodatek 10% cementu o około 17÷30%. Dodatek 10% cementu w badanej mieszaninie powoduje znaczące – bo około 100% – zmniejszenie rozmakalności mieszaniny, w porównaniu z rozmakalnością mieszaniny z 5-procentowym dodatkiem cementu.
5. Badane mieszaniny charakteryzowały się po 28 dniach sezonowania współczynnikiem filtracji w granicach od $6,8E-09$ m/s do $1,1E-09$ m/s. Dodatek łupka ilastego do mieszaniny popiołowo-wodnej wywołuje zmniejszenie współczynnika filtracji o około 0,2 rzędu wielkości, zaś dodatek gliny – nieznaczny wzrost o około 0,1 rzędu. Natomiast dodatek 5% cementu powoduje zmniejszenie omawianej wielkości dla odpowiednich mieszanin o około 0,3÷0,4 rzędu wielkości, a 10% jego udziału – o około 0,4÷0,5 rzędu wielkości. Dodatek 10% cementu w mieszaninie nie powoduje znaczącego spadku wartości współczynnika filtracji w porównaniu ze współczynnikiem filtracji dla mieszaniny z 5-procentowym dodatkiem cementu.
6. Tendencja spadkowa odnotowanych odczytów świadczy o tym, iż badane mieszaniny po dłuższym czasie sezonowania mogą uzyskać wartość współczynnika filtracji poniżej $1,0E-09$ m/s, a więc osiągnąć minimalną jego wartość wymaganą od materiałów stosowanych jako bariery izolacyjne.

LITERATURA

- [1] *Babczyński W.*: Modelowanie warstwy izolacyjnej wykonanej z popiołów lotnych wokół podziemnego składowiska odpadów. IV Konferencja „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju”, Gliwice 2000
- [2] *Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś T.*: Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Kraków, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1997
- [3] *Palarski J., Plewa F., Babczyński W.*: Modelowanie migracji zanieczyszczeń z podziemnych składowisk odpadów. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2002
- [4] *Plewa F., Mysłek Z.*: Wpływ dodatków modyfikujących na wodoprzepuszczalność mieszanin popiołowo-wodnych. Gliwice, ZN Pol. Śl., nr 258, 2003
- [5] *Rogoż M. i in.*: Poradnik hydrogeologa w kopalni węgla kamiennego. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1986
- [6] *Szczepańska J. i in.*: Własności filtracyjne popiołów elektrowniowych w aspekcie prognozowania ich wpływu na środowisko wodne. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, nr 2, 1996