ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: GÓRNICTWO z. 250 Nr kol. 1517

Franciszek PLEWA, Piotr PIERZYNA, Wojciech RADZIKOWSKI
Politechnika Śląska, Gliwice
Politechnika Częstochowska, Częstochowa

BADANIE WPŁYWU DODAWANIA ODPADÓW DENNEGO I POŚREDNIEGO Z KOTŁA FLUIDALNEGO NA WŁASNOŚCI MIGRACYJNE MIESZANIN POPIOŁOWO-WODNYCH

Streszczenie. Każdemu procesowi spalania węgla, również w kotłach fluidalnych, towarzyszy powstawanie odpadów w postaci popiołów i żużli. W kotłach fluidalnych szczególnie dużo, w porównaniu z kotłami tradycyjnymi, powstaje odpadów paleniskowych – odpad denny i pośredni. Jedną z metod utylizacji tego odpadu jest wykorzystanie go jako składnika mieszanin popiołowo-wodnych w technologiach górniczych. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zastosowania odpadów dennego i pośredniego z kotła fluidalnego jako składnika mieszanin popiołowo-wodnych na ich własności migracyjne.

RESEARCH ON INFLUENCE OF BOTTOM AND MEDIUM ASH FROM FLUIDAL VESSEL ADDITION ON THE MIGRATION PROPERTIES OF FLY ASH – WATER SLURRIES

Summary. Each process of coal combustion, even in fluidal vessel is associated with emission of waste in the form of fly ashes and slugs. In a fluidal vessel, in contrary to a traditional one, become into existence large amounts of bottom and medium combustion residues. This waste might be, between others, utilised as a component of slurries used within mining technologies. The paper presents results of laboratory tests of the influence of bottom and medium ash addition in fly ash – water slurries on their migration properties.

1. Wstęp

W procesie spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach powstają znaczne ilości popiołów lotnych i żużli oraz związki siarki wydzielane w spalinach. Istotna poprawa w zakresie emisji związków siarki może nastąpić przez spalanie mniej zasiarczonego węgla

w paleniskach tradycyjnych oraz redukując ich emisję poprzez stosowanie różnego rodzaju metod odsiarczania spalin. Innym sposobem redukcji emisji szkodliwych substancji do środowiska naturalnego jest możliwość spalania gorszych jakościowo węgli w kotłach fluidalnych. Technologia ta jest stosunkowo nowa i nie jest jeszcze powszechnie stosowana, lecz jej wielkie zalety powodują, że coraz częściej pojawia się ona w Polsce. Jak każdemu spalaniu węgla towarzyszy powstawanie wielkiej ilości odpadów w postaci popiołów i żużli paleniskowych. Ze względu na spalanie gorszych jakościowo węgli powstaje w nich około 20-80% więcej odpadów niż w kotłach tradycyjnych, szczególnie odpadów paleniskowych. W związku z tym zaczyna narastać problem ich utylizacji. Za jedną z najbardziej efektywnych metod ich utylizacji należy uznać możliwość wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych, wśród których dominującą rolę wiedzie doszczelnianie zrobów zawałowych. Jakość doszczelnienia zrobów zawałowych oraz ilość możliwych do ulokowania odpadów wiąże się z własnościami migracyjnymi mieszaniny zatłaczanej do gruzowiska zawałowego.

W artykule zostaną przedstawione wyniki badań laboratoryjnych wpływu dodawania odpadów z kotłów fluidalnych do mieszaniny popiołowo-wodnej na ich własności migracyjne.

2. Kotły fluidalne

Spalanie węgla w kotłach fluidalnych następuje w tzw. warstwie fluidalnej z dodatkiem sorbentu (CaO) o odpowiedniej granulacji. Proces spalania węgla w kotłach fluidalnych zwany jest fluidyzacją. Jest to tworzenie się zawiesiny drobnych cząsteczek węgla w przepływającym od dołu strumieniu powietrza. Dobranie wymiarów cząsteczek węgla i prędkości strumienia powietrza powoduje, że jego cząsteczki wprowadzane w ruch turbulentny tworzą fazę fluidalną, wykazującą własności zbliżone do cieczy. Cząsteczki węgla są wówczas doskonale wymieszane z powietrzem, a ich duża powierzchnia styku powoduje zwiększenie intensywności spalania. Taka intensywność spalania pozwala na zmniejszenie wymiarów komory paleniskowej oraz na obniżenie temperatury spalania w porównaniu do kotłów tradycyjnych do ok. 850°C, co w efekcie zmniejsza ilość szkodliwych NO_x, SO_x, CO_x, HCl oraz metali ciężkich dla środowiska naturalnego. Umożliwia także spalanie węgli niskokalorycznych mocno zapopielonych i zasiarczonych.

W wyniku takiego procesu spalania w kotłach fluidalnych powstają następujące rodzaje odpadów:

- popioły (odpad pośredni) i żużle (odpad denny) ze złoża fluidalnego,
- popioły z odpylania strumienia gazów wylotowych.

3. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Do badań własności migracyjnych użyto mieszanin sporządzonych na bazie następujących materiałów:

- odpadu dennego z Elektrowni „Jaworzno",
- odpadu pośredniego z Elektrowni „Jaworzno",
- popiołu po półsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska".

Własności fizyczne ww. materiałów przedstawiono w tab. 3.1, zaś ich składy granulometryczne w tab. 3.2 i 3.3 oraz na wykresie – rys. 3.1.

Tabela 3.1

Własności fizyczne materiałów użytych do badań

Wyszczególnienie	**j.m.**	**Wyniki analizy**		
		odpad denny	**odpad pośredni**	**popiół po półsuchym odsiarczaniu**
Konsystencja	-	stała, piaszczysta	stała, pylasta	stała, pylasta
Barwa	-	piaskowa	szara	jasnoszara
Gęstość właściwa	g/cm^3	2,70	2,44	2,02
Gęstość nasypowa	g/m^3	1,50	1,16	0,99
Straty prażenia	%	0,03	0,34	6,33

Tabela 3.2

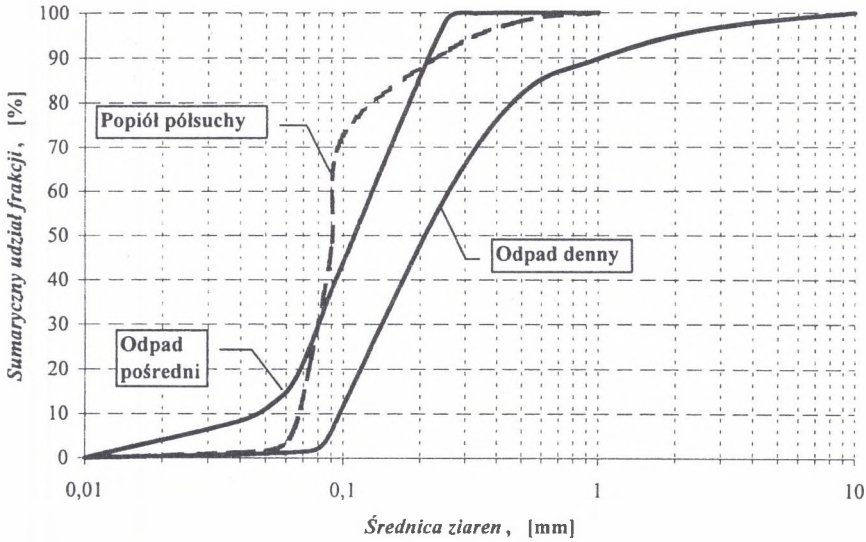
Wyniki analizy składu ziarnowego odpadu dennego z Elektrowni „Jaworzno"

Klasa ziarnowa [mm]	Udział frakcji [%]	Sumaryczny udział frakcji [%]
> 4	2,3	100,0
4-2	2,9	97,8
2-1	5,1	94,9
1-0,50	7,9	89,8
0,50-0,25	23,6	82,0
0,25-0,100	46,7	58,4
0,100-0,090	5,8	11,7
0,09-0,075	4,3	5,9
< 0,075	1,6	1,6
Suma	100,0	-

Tabela 3.3

Wyniki analizy składu ziarnowego odpadu pośredniego z Elektrowni „Jaworzno" i popiołu po półsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska"

	Popiół po półsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska"		Odpad pośredni z Elektrowni „Jaworzno"	
Klasa ziarnowa [mm]	Udział frakcji [%]	Sumaryczny udział frakcji [%]	Udział frakcji [%]	Sumaryczny udział frakcji [%]
> 0,50	0,1	100,0	1,9	100
0,50-0,25	2,1	99,9	6,9	98,1
0,25-0,100	53,8	97,9	18,5	91,2
0,100-0,090	8,3	44,1	25,7	72,7
0,090-0,075	10,2	35,8	24,7	47,0
0,075-0,065	8,0	25,6	15,4	22,3
0,065-0,056	4,4	17,7	4,6	6,9
0,056-0,040	4,9	13,3	1,0	2,3
< 0,040	8,4	8,4	1,3	1,3
Suma	100,0	-	100	-



Rys. 3.1. Wyniki analizy składu ziarnowego odpadów dennego i pośredniego z kotła fluidalnego z Elektrowni „Jaworzno" oraz popiołu po półsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska"

Fig. 3.1. Grain-size distribution of botton and medium residve from fluidal ressel in „Jaworzno" power plant and fly ash from semi-dry desulphurisation processsss in „Łaziska" power plant

Z przeprowadzonej analizy granulometrycznej wynika, że w odpadzie dennym dominuje frakcja 0,25-0,1 mm, stanowiąc ok. 46% masy tego odpadu, zaś w przedziale 1-0,25 mm zawarte jest dalszych ok. 30% jego masy. Można zatem stwierdzić, że ok. 80% masy odpadu dennego znajduje się w przedziale 1-0,1 mm. W odpadzie pośrednim, podobnie jak w dennym, dominuje frakcja 0,25-0,1 mm stanowiąc ok. 53% tego odpadu. Dalszych ok. 25% masy odpadu pośredniego zawartych jest w klasie ziarnowej 0,1-0,065 mm. Mając to na uwadze ok. 80% masy odpadu pośredniego zawartych jest w przedziale 0,25-0,065 mm. W popiole po półsuchym odsiarczaniu spalin frakcją dominującą jest 0,1-0,075 stanowiąc ok. 50% jego masy. Dodatkowo można zauważyć, podobnie jak w przypadku odpadu pośredniego, że ok. 84% masy popiołu stanowi frakcja 0,25-0,065 mm.

4. Badanie możliwości stopnia wypełnienia gruzowiska skalnego mieszaninami popiołowo-wodnymi z udziałem odpadów dennego i pośredniego z Elektrowni „Jaworzno" dla modelu pionowego

Badanie własności migracyjnych polegało na określeniu stopnia wypełnienia oraz zasięgu rozpływu mieszaniny w zamodelowanym gruzowisku zawałowym.

Przygotowanie modelu pionowego gruzowiska zawałowego polegało na wypełnieniu prostopadłościanu o następujących wymiarach:

- wysokość: 1100 mm,
- szerokość: 500 mm,
- głębokość: 150 mm,

rozkruszoną skałą płonną. Budowa stanowiska umożliwiała bezpośrednią obserwację oraz makroskopową ocenę stopnia wypełnienia gruzowiska zawałowego przez mieszaniny (ściany boczne wykonane były z plexiglasu). Badania wypełnienia przeprowadzane były dla różnej porowatości gruzowiska skalnego.

Porowatość gruzowiska zawałowego wynosiła 40%, 46%, 55% i uzyskiwana była przez zmianę uziarnienia kamienia.

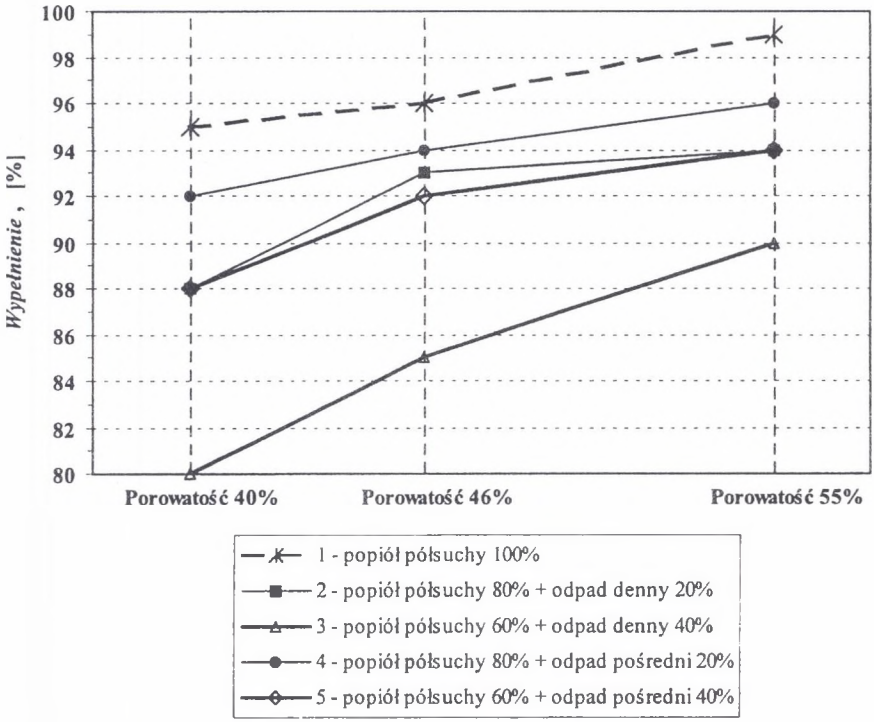
W celu określenia wpływu uziarnienia i porowatości na stopień wypełnienia gruzowiska stosowano mieszaniny popiołowo-wodne i popiołowo-odpadowo-wodne o takich proporcjach części stałych do wody, aby rozlewność mieszanin, mierzona kubkiem Forda, wynosiła 140 mm. Sposób oceny stopnia wypełnienia gruzowiska oparty był na pomiarze objętości mieszaniny. Ustalono objętość mieszaniny, która będzie odpowiadała 100% wypełnieniu gruzowiska, zaznaczając poziom „zerowy" na ściance modelu. Procentowa objętość badanej mieszaniny znajdującej się nad poziomem „zerowym" stanowiła stopień niewypełnienia gruzowiska.

Wyniki obserwacji stopnia wypełnienia gruzowiska zawałowego w modelu pionowym w zależności od jego porowatości przedstawiono w tab. 4.1 oraz na wykresie – rys. 4.1.

Tabela 4.1

Zestawienie wyników obserwacji stopnia wypełniania gruzowiska zawałowego o różnej porowatości dla mieszanin o rozlewności 140 mm

Nr miesz.	Skład mieszaniny [%]			Gęstość miesz.	Stopień wypełnienia [%]		
	popiół po półsuchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni	[g/dm^3]	porowatość 40%	porowatość 46%	porowatość 55%
1	100	-	-	1461	95	96	99
2	80	20	-	1645	88	93	94
3	60	40	-	1752	80	85	90
4	80	-	20	1529	92	94	96
5	60	-	40	1572	88	92	94



Rys. 4.1. Stopień wypełnienia gruzowiska o różnej porowatości mieszaninami o rozlewności 140 mm

Fig. 4.1. Filling level of rubble rock of different powsrty grouted with slurrie of constant spill radius 140 mm

Gruzowisko skalne dla każdej badanej porowatości najlepiej było wypełniane przez mieszaninę nr 1 sporządzoną z 100% popiołu po półsuchym odsiarczaniu. W przypadku porowatości 40% i 46% zaobserwowano liczne nie wypełnione przestrzenie oraz ograniczoną migrację tej mieszaniny na dno gruzowiska zawałowego. Stosując mieszaniny popiołowo-wodne z dodatkiem 20% odpadu dennego i pośredniego (mieszaniny nr 2 i nr 4) dla porowatości gruzowiska zawałowego 40% i 46% zaobserwowano, że mieszaniny te bardzo wolno migrowały w kierunku pionowym, pozostawiając duże wolne przestrzenie, jednak z czasem były one wypełniane, ale nie wszystkie. Natomiast mieszaniny nr 3 i nr 5 (40% dodatek odpadu dennego i pośredniego) dla porowatości 40% i 46% wypełniały gruzowisko zawałowe bardzo wolno, pozostawiając dno gruzowiska nie wypełnione.

Przy porowatości gruzowiska równej 55% mieszaniny nr 1, 2 i nr 4 wypełniły gruzowisko nie pozostawiając wolnych przestrzeni. Mieszaniny z 40% dodatkiem odpadu dennego i pośredniego (nr 3 i nr 5) pozostawiły w gruzowisku wolne przestrzenie, które były bardzo dobrze widoczne i z czasem nie ulegały wypełnieniu.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że na stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego ma niewątpliwy wpływ procentowy udział danej klasy ziarnowej w odpadzie w sposób następujący:

- w przypadku dodawania odpadu pośredniego do mieszaniny popiołwo-wodnej (ok. 80% stanowi klasa ziarnowa w przedziale 0,25-0,065 mm, z czego ok. 30% znajduje się w przedziale klasowym 0,1-0,065 mm) – wzrost jego udziału powoduje zmniejszenie wpływu porowatości. Innymi słowy zwiększanie porowatości gruzowiska zawałowego (o 6%, a następnie o 11%) nie powoduje w sposób znaczący zwiększenia stopnia jego wypełnienia, jak ma to miejsce w przypadku mieszaniny sporządzonej z popiołu półsuchego;
- w przypadku dodawania odpadu dennego do mieszaniny popiołowo-wodnej (ok. 80% stanowi klasa ziarnowa w przedziale 1-0,1 mm, z czego 30% znajduje się w przedziale klasowym 1-0,25 mm) – wzrost jego dodatku powoduje zwiększanie wpływu porowatości. Można więc powiedzieć, że zwiększaniu jego procentowego udziału w mieszaninie popiołowo-wodnej towarzyszy równoczesne zwiększanie się wpływu porowatości na stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego powodując znaczny jego wzrost, w przeciwieństwie do odpadu pośredniego.

5. Badanie możliwości rozpływu w gruzowisku skalnym mieszanin popiołowo-wodnych z udziałem odpadów dennego i pośredniego z Elektrowni „Jaworzno" dla modelu poziomego

Stanowisko badawcze, podobnie jak w modelu pionowym, posiadało kształt prostopadłościanu o wymiarach:

- szerokość: 200 mm,
- wysokość: 300 mm,
- długość: 2500 mm,

wypełnionego na całej jego długości kamieniem. Porowatość gruzowiska skalnego wynosiła: 40%, 46%, 55%. Budowa prostopadłościanu umożliwiała podgląd oraz makroskopową ocenę rozpływu mieszanin. Odcinek pomiarowy nachylony był pod kątem 4°.

Badanie rozpływu mieszanin w gruzowisku skalnym przeprowadzono w sposób beznaporowy, w którym mieszanina rozpływa się swobodnie pod wpływem siły grawitacji.

Badanie rozpływu w sposób beznaporowy pozwala na analizę zmiany wysokości osadzania rozpływającej się mieszaniny w gruzowisku oraz określenie zasięgu jej rozpływu.

Badane mieszaniny były wielokrotnie przepuszczane przez gruzowisko skalne w celu dokładniejszego określenia teoretycznego zasięgu rozpływu.

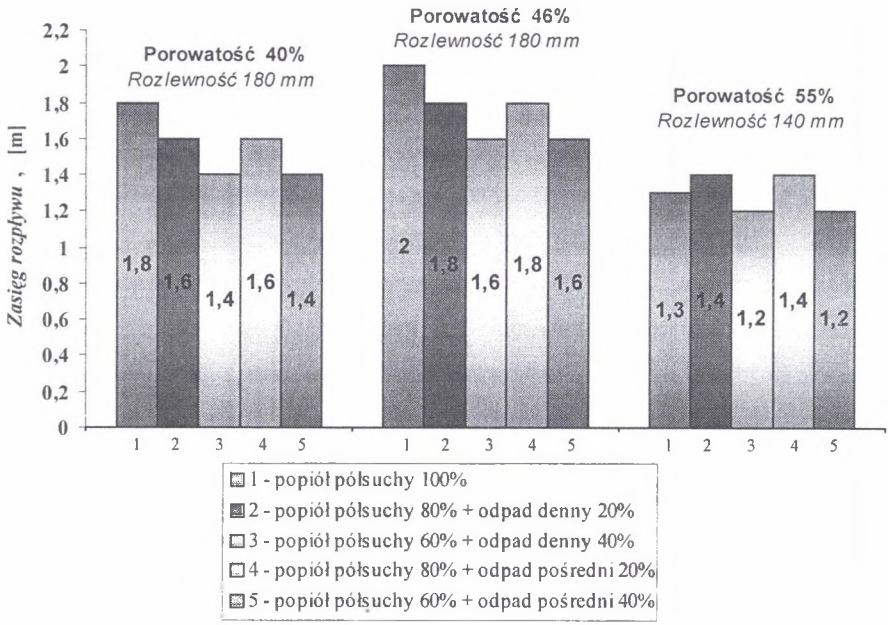
Tabela 5.1

Zestawienie wyników obserwacji zasięgu rozpływu w gruzowisku skalnym o różnej porowatości dla mieszanin o rozlewności 140 mm i 180 mm

Nr miesz.	Skład mieszaniny [%]			Gęstość miesz.	Maksymalny zasięg rozpływu w odległości L [m]			Rozlewność
					Porowatość gruzowiska			
	popiół po półsuchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni	[g/dm^3]	40%	46%	55%	[mm]
1	100	-	-	1461	-	-	1,3	140
2	80	20	-	1645	-	-	1,4	140
3	60	40	-	1752	-	-	1,2	140
4	80	-	20	1529	-	-	1,4	140
5	60	-	40	1572	-	-	1,2	140
6	100	-	-	1344	1,8	2,0	-	180
7	80	20	-	1591	1,6	1,8	-	180
8	60	40	-	1639	1,4	1,6	-	180
9	80	-	20	1485	1,6	1,8	-	180
10	60	-	40	1535	1,4	1,6	-	180

W celu określenia wpływu rozlewności badanych mieszanin na zasięg rozpływu w gruzowisku skalnym zastosowano rozlewność 180 mm dla porowatości 40 i 46% oraz 140 mm dla porowatości 55%.

Wyniki obserwacji zasięgu rozpływu mieszanin w gruzowisku zawałowym w zależności od jego porowatości przedstawiono w tab. 5.1 oraz na wykresie – rys. 5.1.



Rys. 5.1. Zasięg rozpływu w gruzowisku skalnym o różnej porowatości dla mieszanin o rozlewności 180 mm i 140 mm
Fig. 5.1. Range of spreading of slurries characterised by spill radius 180 and 140 mm inarubble rock of different porosities

Z przeprowadzonych badań właściwości migracyjnych mieszanin o rozlewności 180 mm w gruzowisku skalnym wynika, że największy zasięg rozpływu wynoszący 1,8 m przy porowatości 40% i 2,0 m przy porowatości 46% osiągnęła mieszanina nr 1, sporządzona na bazie samego popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin. Gorsze własności migracyjne posiadają pozostałe mieszaniny, sporządzone na bazie popiołu półsuchego z 20% i 40% dodatkiem odpadu dennego i pośredniego. Mieszaniny te charakteryzują się nierównomiernym stopniem wypełnienia zrobów oraz zasięgiem rozpływu wynoszącym od 1,4 do 1,8 m (dla porowatości 40% i 46%). Daje się również zauważyć, że w przypadku mieszanin popiołowo-odpadowo-wodnych na zasięg ich migracji nie ma wpływu rodzaj

dodawanego odpadu. Jednakże można stwierdzić, że wraz ze wzrostem udziału masowego odpadu dennego i pośredniego w mieszaninie popiołowo-wodnej dla tej samej rozlewności, wynoszącej 180 mm oraz dla tej samej porowatości (40% bądź 46%) zasięg migracji maleje. Oczywisty jest również fakt, że na zasięg rozpływu mieszanin o tej samej rozlewności ma wpływ wielkość porowatości gruzowiska zawałowego – wraz ze wzrostem porowatości rośnie zasięg migracji mieszanin.

W przypadku gruzowiska skalnego o porowatości 55% największym zasięgiem rozpływu charakteryzowały się mieszaniny popiołowo-wodne z 20% dodatkiem odpadu dennego i pośredniego (nr 2 i nr 4), osiągając zasięg 1,4 m. Podobnie jak w przypadku gruzowiska zawałowego o porowatości 40 i 46% i rozlewności mieszanin 180 mm wraz ze wzrostem ilości dodawanego odpadu dennego bądź pośredniego maleje zasięg migracji mieszanin. Można również zauważyć, tak jak dla dwóch pozostałych porowatości, że wielkość rozpływu związana jest z ilością dodawanego odpadu a nie z jego rodzajem.

Jednakże największy wpływ na zasięg rozpływu badanych mieszanin ma ich rozlewność. Zmniejszenie jej ze 180 mm do 140 mm przy równoczesnym zwiększeniu porowatości do 55% spowodowało, że zasięg rozpływu wszystkich badanych mieszanin gwałtownie spadł, osiągając nawet mniejsze wartości dla poszczególnych mieszanin niż w przypadku porowatości gruzowiska wynoszącej 40%.

6. Wnioski

1. Na stopień wypełnienia gruzowiska skalnego, w przypadku badanych mieszanin, mają wpływ następujące czynniki:
   - porowatość – wzrost powoduje zwiększenie stopnia wypełnienia gruzowiska,
   - ilość dodawanego odpadu – wzrost udziału odpadu w mieszaninie popiołowo-wodnej powoduje zmniejszenie stopnia wypełnienia gruzowiska,
   - rodzaj dodawanego odpadu, a co za tym idzie, wielkość uziarnienia – im jest ono większe, tym stopień wypełnienia gruzowiska jest mniejszy.
2. Na zasięg rozpływu w przypadku badanych mieszanin w gruzowisku skalnym mają wpływ następujące czynniki:
   - rozlewność – im większa rozlewność, tym większy zasięg,

- porowatość – zwiększenie o 6% powoduje wzrost zasięgu o 10-12,5%,
- ilość dodawanego odpadu – wraz ze wzrostem udziału procentowego odpadu dennego lub pośredniego w mieszaninie maleje zasięg rozpływu.

3. Zasięg rozpływu analizowanych mieszanin nie zależy w sposób istotny od rodzaju odpadu, w przeciwieństwie do stopnia wypełnienia gruzowiska zawałowego.
4. Analizowane mieszaniny mogą być stosowane do wypełniania gruzowiska skalnego w kopalniach węgla kamiennego.

LITERATURA

1. Plewa F., Mysłek Z.: Teoretyczne podstawy wyznaczania stopnia wypełnienia rumowiska zawałowego mieszaniną odpadów drobnofrakcyjnych z wodą. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 225, Gliwice 1995.
2. Plewa F., Mysłek Z.: Badanie własności migracyjnych drobnofrakcyjnych mieszanin podsadzkowych lokowanych w zrobach zawałowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 222, Gliwice 1994.
3. Plewa F., Mysłek Z., Strozik G.: Wpływ własności migracyjnych mieszanin drobnfrakcyjnych na parametry doszczelniania zrobów zawałowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 239, Gliwice 1999.
4. Plewa F., Mysłek Z., Strozik G.: Stopień doszczelniania zrobów zawałowych w zależności od parametrów mieszaniny drobnofrakcyjnej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 236, Gliwice 1997.
5. Plewa F. i in.: Badanie własności migracyjnych i rozpływu w gruzowisku zawałowym drobnofrakcyjnych mieszanin podsadzkowych. Praca Instytutu Eksploatacji Złóż, (praca niepublikowana), Gliwice 1994.

Recenzent: Dr inż. L. Łukwiński

Abstract

Using of fly ashes as slurries in underground mining technologies makes an attractive way of their utilisation. This paper discusses the influence of addition of bottom and medium ashes from a fluidal vessel from "Jaworzno" power plant on the migration properties of fly ash – water slurries. Slurries used in these tests have been made with 60 or 80% of fly ash from semi-dry desulphurisation process in "Łaziska" power plant, and 40 or 20% respectively of above mentioned fluidal residues. Physical properties of these materials have been presented in Table 3.1 and their grain-size distribution is shown in Table 3.2. and 3.3. as well as in Fig. 3.1. Testing of migration properties of slurries consisted of measurements of:

- Filling level of a modelled caving rock rubble (vertical model),
- Spreading range in modelled caving rock rubble (horizontal model).

Average porosity of the rock rubble was 40, 46, and 55%.

The rock rubble was filling with fly ash – water slurries characterised by spill radius equal to 140 mm. Composition of each mixture and results of test have been presented in Table 4.1. and graphically interpreted in the Fig. 4.1. It can be pointed out that filling level increases with increase of porosity of rock rubble. Addition of bottom and medium residues into the fly ash – water mixture decreases filling level of the rock rubble.

In the measurements of horizontal range of filling, for the rock rubble of 40 and 46% porosity a mixture with 180 mm spill radius have been used, and for the one of porosity 55% a mixture with 140 mm spill radius have been chosen. Compositions of slurries used in these measurements and their results have been presented in Table 5.1. and on the Fig. 5.1. In case of mixtures being tested the spreading range is most affected by spill radius of the slurry – its decrease strongly reduces spreading range. Also increase of amount of bottom and medium residues in the slurry results in limitation of spreading range. Increase of rock rubble's porosity increases measured fill factor.