

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

OCENA WŁASNOŚCI FIZYKOMECHANICZNYCH ODPADÓW DENNEGO I POŚREDNIEGO Z KOTŁA FLUIDALNEGO POD KĄTEM WYKORZYSTANIA ICH W TECHNOLOGIACH GÓRNICZYCH

Streszczenie. W energetyce coraz większą aprobatę zyskuje technologia spalania węgla w kotłach fluidalnych, których zaletą jest spalanie węgla niskokalorycznego, mocno zapozielonego i zasiarczonego. W kotłach fluidalnych powstaje znacznie większa ilość, niż w tradycyjnych, odpadów paleniskowych (odpad denny i pośredni), które jak każde są uciążliwe dla środowiska naturalnego. Jedną z najlepszych metod utylizacji jest ich wykorzystanie w różnego rodzaju podziemnych technologiach górniczych w postaci mieszanin popiołowo-wodnych. W niniejszym artykule przedstawiono ocenę własności fizykomechanicznych mieszanin popiołowo-wodnych z dodatkiem odpadów dennego i pośredniego pod kątem możliwości ich wykorzystania w technologiach górniczych.

ASSESSMENT OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF BOTTOM AND MEDIUM RESIDUES FROM A FLUIDAL VESSEL FROM THE POINT OF THEIR UTILISATION IN MINING TECHNOLOGIES

Summary. Power industry applies in more and more large scale the technology of combustion of coal in fluidal vessels. Advantage of this technology is that in such a vessel, low calorific, with high sulphur and ash content types of coal might be burned out. In these vessels become into existence larger than in other types amounts of combustion waste. These waste, like all other coal combustion waste are arduous to the environment. One of better way of their utilisation is their application in technologies of underground mining in the form of fly ash – water slurries. The paper presents assessment of physical-mechanical properties of fly ash – water slurries with addition of bottom and medium residues from the point of their application in mining technologies.

1. Wstęp

Wykorzystanie węgla kamiennego jako podstawowego paliwa energetycznego kraju będzie kierunkiem podstawowym jeszcze przez długi okres czasu. Spalanie węgla powoduje powstawanie dużej ilości odpadów oraz emisję uciążliwych dla środowiska naturalnego związków, przede wszystkim siarki, do atmosfery. Dlatego też intensywnie modernizuje się kotły i inne urządzenia energetyczne poprzez budowanie instalacji odsiarczania oraz wprowadza nowe technologie spalania. Coraz większą aprobatę zyskuje technologia spalania w złożu fluidalnym. Technologia ta jest atrakcyjna, ponieważ pozwala spalać węgle niskokaloryczne, mocno zasiarczone i zapopielone, a odsiarczanie spalin odbywa się przez wprowadzenie do kotła odpowiednio przygotowanych sorbentów wapniowych bez konieczności budowania specjalnych instalacji. Jednak także i tej technologii spalania węgla towarzyszy powstawanie dużej ilości odpadów, szczególnie paleniskowych. W kotłach fluidalnych powstają następujące rodzaje odpadów:

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

Jak już wspomniano, powstające odpady w energetyce stanowią ogromny problem dla środowiska naturalnego. Z tego względu zachodzi coraz większa potrzeba ich zagospodarowania. Za jedną z najlepszych metod utylizacji należy uznać wykorzystanie ich w technologiach górniczych.

Aktualnie w podziemnych technologiach górniczych zagospodarowuje się około 4 mln odpadów energetycznych w postaci ich mieszanin z wodą. Głównymi technologiami w górnictwie podziemnym zastosowania takich hydromieszanin (mieszanin popiołowo-wodnych) jest:

- doszczelnianie zrobów zawałowych,
- likwidacja i wypełnianie zbędnych wyrobisk korytarzowych,
- podsadzka samozestalająca,
- wykonywanie pasów i korków podsadzkowych.

Mieszaniny popiołowo-wodne sporządzone na bazie odpadów energetycznych posiadają różne własności fizykomechaniczne, które w dużym stopniu decydują o możliwości ich zastosowania w danej technologii górniczej. W niniejszej publikacji przedstawiono i przeanalizowano wyniki badań własności fizykomechanicznych odpadów dennego

i pośredniego z kotła fluidalnego Elektrowni „Jaworzno” oraz ich dodatku w mieszaninie popiołowo-wodnej pod kątem możliwości ich zastosowania w podziemnych technologiach górniczych.

2. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Do badań użyto odpadów dennego i pośredniego z Elektrowni „Jaworzno” oraz popiołu po pólsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska”.

Odpad denny z Elektrowni „Jaworzno” jest sypki, barwy piaskowej. Gęstość właściwa odpadu wynosi $2,70 \text{ g/cm}^3$, a gęstość nasypowa ok. $1,50 \text{ g/cm}^3$. Pod względem granulometrycznym odpad denny zaliczyć można do klasy drobnych piasków. Dominuje w nim frakcja 1-0,25 mm, stanowiąca ok. 80% masy tego odpadu.

Odpad pośredni z Elektrowni „Jaworzno” jest sypki, barwy szarej. Gęstość właściwa odpadu wynosi $2,44 \text{ g/cm}^3$, a gęstość nasypowa ok. $1,16 \text{ g/cm}^3$. Pod względem granulometrycznym odpad pośredni zaliczyć można do klasy pyłów. Wyraźnie dominuje w nim frakcja 0,25-0,065 mm, stanowiąca ok. 80% masy tego odpadu.

Popiół lotny po pólsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska” barwy jasnoszarej. Charakteryzuje się on gęstością właściwą wynoszącą $2,02 \text{ g/cm}^3$, zaś gęstość nasypowa jego wynosi $0,99 \text{ g/cm}^3$. Podobnie jak w przypadku odpadu pośredniego ok. 84% masy popiołu stanowi frakcja 0,25-0,065 mm.

3. Zakres badań

Badania laboratoryjne własności fizykomechanicznych mieszanin drobnofrakcyjnych odpadów przemysłowych pod kątem ich przydatności do zastosowania w technologiach górniczych obejmowały pomiary następujących parametrów:

- rozlewność,
- nośność,
- czas wiązania,
- wytrzymałość na ściskanie,
- rozmakalność.

Próbki mieszanin sezonowano w komorze klimatyzacyjnej LTB 650 RV w celu odwzorowania typowych warunków klimatycznych występujących w wyrobiskach podziemnych kopalń. Próbki były sezonowane w temperaturze 25°C przy wilgotności wynoszącej ok. 100%.

4. Badania własności fizykomechanicznych odpadów dennych i pośrednich z kotła fluidalnego z Elektrowni „Jaworzno”

4.1. Badania rozlewności

Przeprowadzenie badań rozlewności odpadów dennego i pośredniego pochodzących z kotła fluidalnego z uwagi na przeważający udział ziaren powyżej 0,1 mm nie było możliwe.

4.2. Badania nośności

Mieszanina sporządzona na bazie odpadu dennego sezonowana w komorze klimatyzacyjnej osiągnęła nośność jednostkową 5 kG/cm² już po 1 godz., zaś mieszanina sporządzona z odpadu pośredniego po 3 godz. sezonowania.

4.3. Badanie czasu wiązania

Mieszanina sporządzona z odpadu dennego i wody sezonowana w komorze klimatyzacyjnej rozpoczęła proces wiązania po 1 godz., a zakończyła w 21 godz. Natomiast mieszanina sporządzona z odpadu pośredniego rozpoczęła proces wiązania po 3 godz., a zakończyła po 43 godz.

4.4. Badanie wytrzymałości na ściskanie oraz rozmakalności

Próbka sporządzona na bazie odpadu dennego po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej uzyskała wytrzymałość 0,07 MPa, natomiast poddana nawilżaniu w wodzie przez 48 godz. wykazała nieznaczny spadek wytrzymałości do wartości 0,06 MPa.

5. Badania własności fizykomechanicznych mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin z Elektrowni „Łaziska” z odpadem dennym i pośrednim z kotła fluidalnego z Elektrowni „Jaworzno”

Do badań własności fizykomechanicznych sporządzono mieszaniny charakteryzujące się rozlewnością 140 mm. W zależności od udziału odpadu dennego i pośredniego mieszaniny te charakteryzowały się różną gęstością i różnym stosunkiem masowym składników.

Skład wagowy badanych mieszanin przedstawiono w tablicy 5.1.

Tablica 5.1

Skład wagowy mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska” i odpadu dennego oraz pośredniego z Elektrowni „Jaworzno”

Nr miesz.	Skład mieszaniny [%]			Gęstość mieszaniny [g/dm ³]	Proporcja wagowa części stałe : woda
	popiół po półsuchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni		
1	100	-	-	1461	1 : 0,60
2	80	20	-	1599	1 : 0,41
3	60	40	-	1752	1 : 0,33
4	80	-	20	1527	1 : 0,51
5	60	-	40	1572	1 : 0,48

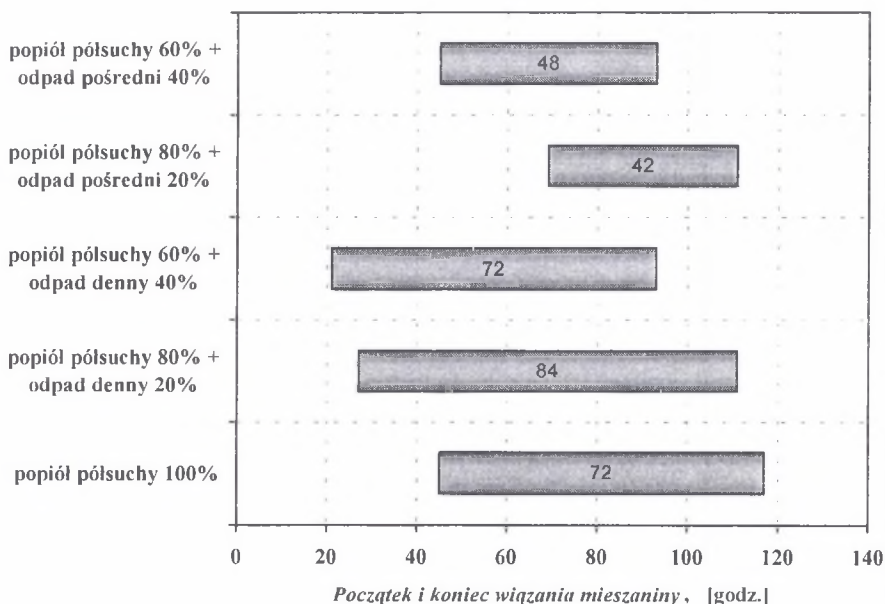
5.1. Badanie czasu wiązania

Wyniki badań czasu wiązania mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu i odpadu dennego oraz pośredniego z kotła fluidalnego przedstawiono w tab. 5.2 oraz na wykresie – rys 5.1.

Tablica 5.2

Wyniki badań procesu wiązania mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska” i odpadu dennego oraz pośredniego z Elektrowni „Jaworzno”

Nr miesz.	Skład mieszaniny [%]			Początek wiązania [godz.]	Koniec wiązania [godz.]
	popiół po półsuchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni		
1	100	-	-	45	117
2	80	20	-	27	111
3	60	40	-	21	93
4	80	-	20	69	111
5	60	-	40	45	93



Rys. 5.1. Przebieg procesu wiązania badanych mieszanin
Fig. 5.1. Behaviour of binding processes of slurries being tested

Najkrótszym czasem wiązania wynoszącym 42 godz. charakteryzuje się próbka nr 2 sporządzona na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu z 20% dodatkiem odpadu pośredniego. Natomiast najdłuższy czas wiązania, wynoszący 84 godz., osiągnęła próbka nr 4 sporządzona z popiołu po półsuchym odsiarczaniu z 20% dodatkiem ale odpadu dennego.

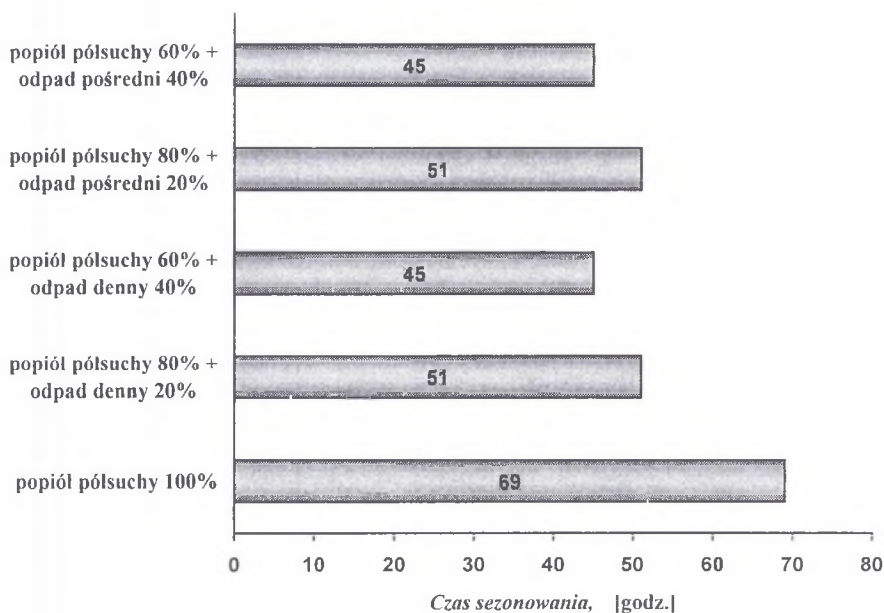
5.2. Badanie nośności

Wyniki badań nośności mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu i odpadu dennego oraz pośredniego z kotła fluidalnego przedstawiono w tab. 5.3 oraz na wykresie – rys 5.2.

Tabela 5.3

Wyniki badań nośności mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska” i odpadu dennego oraz pośredniego z Elektrowni „Jaworzno”

Nr miesz	Skład mieszaniny [%]			Nośność miesz. [kG/cm ²] po czasie [godz.]						
	popiół po pól suchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni	3	6	21	27	45	51	69
1	100	-	-	0,2	0,4	1,2	2,2	3,7	4,5	5
2	80	20	-	0,3	0,5	2,2	3,5	4,5	5	-
3	60	40	-	0,6	1,0	3,5	4,5	5	-	-
4	80		20	0,2	0,4	1,5	2,8	4,2	5	-
5	60		40	0,4	0,5	2,2	4,0	5	-	-



Rys. 5.2. Czas uzyskania nośności jednostkowej 0,5 MPa badanych mieszanin
 Fig. 5.2. Curve time until load capacity of 0,5 MPa is achieved

Badane mieszaniny w zależności od udziału masowego poszczególnych składników uzyskiwały nośność jednostkową 5 kG/cm^2 pomiędzy 45 a 69 godziną sezonowania. Najdłuższym czasem uzyskania wymaganej normą nośności 5 kG/cm^2 , wynoszącym 69 godz., charakteryzowała się mieszanina nr 1, sporządzona z samego popiołu po półsuchym odsiarczaniu spalin. Natomiast najkrótszym czasem uzyskania wymaganej nośności równym 45 godz. wykazały się mieszaniny nr 3 i nr 5 z największym dodatkiem odpadu dennego bądź pośredniego wynoszącym 40%.

5.3. Badanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie

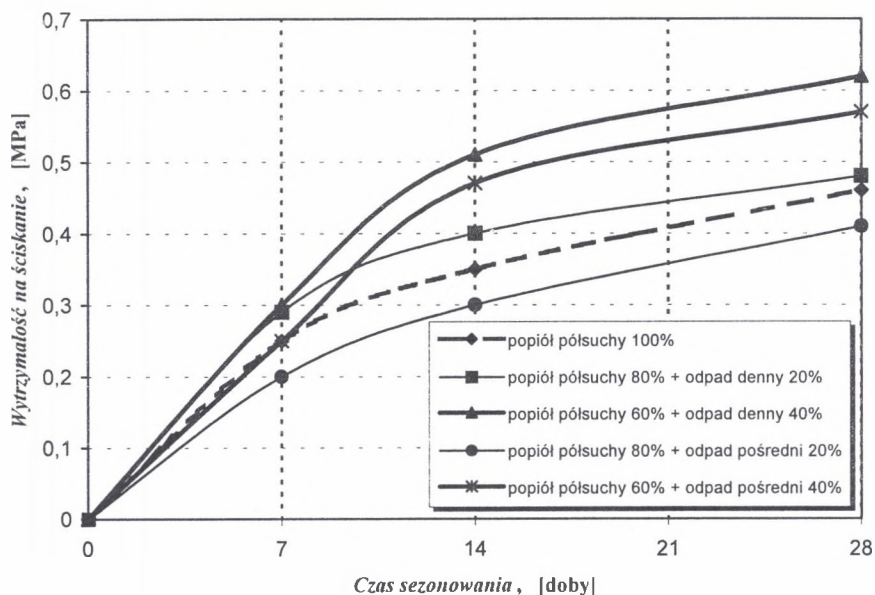
Wyniki badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po półsuchym odsiarczaniu i odpadu dennego oraz pośredniego z kotła fluidalnego przedstawiono w tab. 5.4 oraz na wykresie – rys 5.3.

Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej o wilgotności ok. 100% i temperaturze 25°C , a więc w warunkach zbliżonych do kopalnianych, zmieniała się w zakresie 0,2 do 0,62 MPa. Najwyższą wytrzymałość osiągnęła próbka nr 3 o udziale masowym 60% popiołu i 40% odpadu dennego, zaś najmniejszą - próbka nr 4 o zawartości 80% popiołu i 20% odpadu pośredniego. Należy także zauważyć, że próbki sporządzone na bazie popiołu z półsuchego odsiarczania z 40% dodatkiem odpadu dennego bądź pośredniego uzyskały nawet o ok. 30% wyższą wytrzymałość na ściskanie niż pozostałe próbki.

Tablica 5.4

Wyniki badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu półsuchego z Elektrowni „Łaziska” i odpadu dennego oraz pośredniego z Elektrowni „Jaworzno”

Nr miesz.	Skład mieszaniny [%]			Wytrzymałość na ściskanie [MPa] po czasie:		
	popiół po półsuchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni	7 dni	14 dni	28 dni
1	100	-	-	0,25	0,35	0,46
2	80	20	-	0,29	0,40	0,48
3	60	40	-	0,30	0,51	0,62
4	80	-	20	0,20	0,30	0,41
5	60	-	40	0,25	0,47	0,57



Rys. 5.3. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie badanych mieszanin

Fig. 5.3. Uniaxial compressive strenght of slurries under tests

Analizując wpływ udziału odpadu dennej w mieszaninie popiołowo-wodnej należy stwierdzić, że wzrost udziału procentowego odpadu dennej powoduje wyraźny wzrost wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie mieszanin popiołowo-wodnych.

Natomiast w przypadku odpadu pośredniego nie jest to jednoznaczne jak w przypadku odpadu dennej. Dodanie 20% odpadu do mieszaniny popiołowo-wodnej powoduje spadek jej wytrzymałości na ściskanie. Natomiast jego 40% dodatek do mieszaniny popiołowo-wodnej wyraźnie podwyższa jej wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie.

5.4. Badanie rozmakalności

Wyniki badań rozmakalności mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po pólsuchym odsiarczaniu i odpadu dennej oraz pośredniego z kotłów fluidalnych przedstawiono w tab. 5.5.

Tablica 5.5

Wyniki badań rozmakalności mieszanin sporządzonych na bazie popiołu po pól suchym odsiarczaniu z Elektrowni „Łaziska” i odpadu dennego oraz pośredniego z Elektrowni „Jaworzno”

Nr miesz.	Skład mieszaniny [%]			Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		Spadek wytrzymałości na ściskanie [%]
	popiół po pól suchym odsiarczaniu	odpad denny	odpad pośredni	Sezonowane 28 dni w komorze	Sezonowane 28 dni w komorze oraz moczone 48 godz.	
1	100	-	-	0,46	0,38	17
2	80	20	-	0,48	0,38	21
3	60	40	-	0,62	0,55	11
4	80	-	20	0,41	0,36	12
5	60	-	40	0,57	rozmycie	100

Wszystkie próbki poddane badaniu rozmakalności, z wyjątkiem próbki nr 5 o zawartości 60% popiołu po pól suchym odsiarczaniu i 40% odpadu pośredniego, która uległa rozpadowi, zachowały spójność oraz pierwotny kształt.

Badane mieszaniny popiołowo-odpadowo-wodne po 48 godz. nawilżaniu wodą charakteryzują się doraźną wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie w zakresie od 0,36 do 0,55 MPa. Spadek wytrzymałości w wyniku nawilżania wodą w zależności od składu mieszaniny zawierał się od 12 do 21%. Najmniejszym spadkiem wytrzymałości na ściskanie wykazały się próbka nr 3 o udziale masowym 60% popiołu po pól suchym odsiarczaniu i 40% odpadu dennego oraz próbka nr 4 o zawartości 80% popiołu z pól suchego odsiarczania i 20% odpadu pośredniego.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji można wyciągnąć następujące wnioski końcowe:

1. Mieszaniny sporządzone na bazie odpadów dennego i pośredniego z kotła fluidalnego z Elektrowni „Jaworzno” z wodą charakteryzują się bardzo krótkim czasem wiązania, wynoszącym 20 godz. dla odpadu dennego oraz 40 godz. dla odpadu pośredniego. Z tego powodu należy się spodziewać możliwości „zbrylania” odpadów magazynowanych w zbiornikach powierzchniowych, uniemożliwiając sporządzanie mieszanin tylko na ich bazie, a co za tym idzie - wykorzystywanie w tradycyjnych technologiach górniczych.

2. Dodanie do mieszaniny popiołowo-wodnej odpadu pośredniego powoduje około dwukrotne skrócenie czasu wiązania w stosunku do mieszaniny sporządzonej na bazie samego popiołu po pólsuchym odsiarczaniu. W przypadku dodania odpadu dennego czas wiązania nie ulega skróceniu, a nawet wydłuża się.
3. Dodanie odpadu dennego bądź pośredniego do mieszaniny popiołowo-wodnej powoduje znaczne skrócenie czasu uzyskania nośności jednostkowej 0,5 MPa, skracając go z 69 godz. dla mieszaniny sporządzonej na bazie samego popiołu po pólsuchym odsiarczaniu do 45 godz. dla mieszanin z 40% udziałem odpadów. Czas uzyskania wymaganej nośności nie zależy od rodzaju, lecz od ilości dodawanego odpadu. Wraz ze wzrostem ilości dodawanego odpadu czas uzyskania nośności 0,5 MPa maleje.
4. Analizując wpływ udziału odpadu dennego lub pośredniego w mieszaninie popiołowo-wodnej na wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach sezonowania należy stwierdzić, że dopiero dodawanie 40% odpadu dennego bądź pośredniego powoduje zauważalny jej wzrost.
5. Dodawanie do mieszaniny popiołowo-wodnej odpadów dennego i pośredniego ma zmienny wpływ na rozmakalność i zależy od rodzaju oraz procentowego udziału w niej danego odpadu. Udział odpadu dennego w ilości 20% powoduje zwiększenie rozmakalności, natomiast jego 40% dodatek jej zmniejszenie, w porównaniu z mieszaniną sporządzoną na bazie 100% popiołu po pólsuchym odsiarczaniu. W przypadku dodawania odpadu pośredniego można jednoznacznie stwierdzić, że wraz ze wzrostem ilości dodawanego odpadu do mieszaniny popiołowo-wodnej zwiększa się rozmywalność, powodując nawet rozmycie próbki.
6. Z przeprowadzonych analiz wynika, że odpady denny i pośredni z Elektrowni „Jaworzno” można wykorzystać w podziemnych technologiach górniczych tylko w mieszaninach z popiołami, które gwarantują uzyskanie mieszanin zestalonych o odpowiedniej wytrzymałości i odporności na rozmakanie. Udział procentowy odpadów powinien być dobierany w zależności od rodzaju odpadu i danych popiołów lotnych.

LITERATURA

1. Palarski J.: Badanie własności fizykomechanicznych mieszanin drobnofrakcyjnych odpadów górniczych i elektrownianych pod kątem możliwości wykorzystania w technologiach górniczych. Praca Instytutu Eksploatacji Złóż (praca niepublikowana), Gliwice 1994.
2. Palarski J.: Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemiach kopalń. Materiały konferencyjne. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk 1992.
3. Plewa F., Popczyk M., Babczyński W.: Ocena własności fizykomechanicznych wybranych odpadów energetycznych pod kątem możliwości lokowania w wyrobiskach górniczych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 244, Gliwice 1999.
4. Plewa F., Mysiek Z.: Teoretyczne podstawy wyznaczania stopnia wypełnienia rumowiska zawałowego mieszaniną odpadów drobnofrakcyjnych z wodą. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 225, Gliwice 1995.
5. Polska Norma PN-G-11011:1998.

Recenzent: Dr inż. L. Łukwiński

Abstract

Power industry applies in more and more large scale the technology of combustion of coal in fluidal vessels. Advantage of this technology is that in such a vessel, low calorific, with high sulphur and ash content types of coal might be burned out. In these vessels become into existence larger than in other types amounts of combustion waste. The paper presents assessment of physical-mechanical properties of fly ash – water slurries with addition of bottom and medium residues from the point of their application in mining technologies. Mixtures used in these tests have been made with 60 and 80% of fly from semi-dry desulphurisation process in “Łaziska” power plant, and 40 or 20% respectively of above mentioned fluidal residues. Composition of slurries has been described in Table 5.1.

Measurements of physical-mechanical properties of slurries covered:

- Binding time, which results have been presented in Table 5.2. and in Fig. 5.1.,
- Bear capability, which results have been presented in Table 5.3. and in Fig. 5.2.,
- Uniaxial compressive strength, which results have been presented in Table 5.3. and in Fig. 5.4.,
- Soak resistance, which results have been presented in Table 5.5.

On the basis of presented measurements results it should be pointed out that application of bottom and medium residues from fluidal vessel in “Jaworzno” power plant is not possible in currently used mining technologies as the main component of fill slurries. Although, these waste might be utilised in underground mining technologies as a secondary component of fly ash - water slurries.