

Franciszek PLEWA, Marcin POPCZYK, Zdzisław MYSLEK
Politechnika Śląska, Gliwice

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA W TECHNOLOGIACH GÓRNICZYCH POPIOŁÓW LOTNYCH POCHODZĄCYCH Z KOTŁÓW FLUIDALNYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH ELEKTROWNI

Streszczenie. W ostatnich latach w górnictwie podziemnym szeroko stosowane są technologie górnicze, wykorzystujące na dużą skalę drobnofrakcyjne odpady energetyczne, a w szczególności popioły lotne. Znaczna ilość zakładów energetycznych oraz kilka istniejących metod odsiarczania powodują, że powstające masowo popioły lotne różnią się pod względem składu chemicznego oraz własności pucolanowych. Dlatego dla optymalnego wykorzystania popiołów lotnych w technologiach podziemnych niezbędne jest przeprowadzenie badań, w celu poznania ich własności. W artykule przedstawiono wyniki badań hydromieszanin, sporządzonych na bazie popiołów lotnych z kotłów fluidalnych trzech wybranych zakładów energetycznych. Na podstawie tych badań dokonano oceny przydatności tych hydromieszanin dla obecnie stosowanych technologii górniczych.

UTYLIZATION OF FLY ASH – WATER SLURRIES WITH FLUID BOILERS IN UNDERGROUND MINING FOR EXAMPLE OF SOME POWER PLANTS

Summary. In the last yers in polish underground mining we can see intereasing of use energeticwaste (fine-gresnded waste) in particular fly ashes. The paper presents results of laboratory tests with use of ashes made with fluid-boilers (three chosen power plants). On the basis of this evaluation of useful for this fly ash-water slurries in underground technologies was made.

1. Wstęp

W górnictwie podziemnym znanych jest wiele technologii wykorzystujących drobnoziarniste odpady z zakładów energetycznych, głównie popiołów lotnych [1, 4]. Do

najczęściej stosowanych technologii zaliczyć można doszczelnianie zrobów zawałowych, likwidację szybów i szybików oraz zbędnych pustek i wyrobisk. Wszystkie technologie różnią się między sobą między innymi rodzajem stosowanych materiałów (głównie popiół lotny), wykorzystywanych do wypełniania pustek i technologii transportu. Jednak w każdej technologii bardzo ważny jest dobór ilościowy i masowy komponentów stałych (sypkich) mieszaniny oraz stosunek S:W (części stałe:woda). W przypadku mieszanin sporządzonych wyłącznie z popiołu i wody ważna jest ilość dodawanej wody, mająca odzwierciedlenie w rozlewności mieszaniny, która jest podstawowym miernikiem służącym do oceny poprawności wykonania hydromieszaniny oraz prognozowania jej przyszłych parametrów wiążąco-wytrzymałościowych oraz transportowych. Na parametry te również ma wpływ dokładność wymieszania poszczególnych komponentów mieszaniny. Ważne jest to szczególnie w przypadku sporządzania mieszanin wieloskładnikowych.

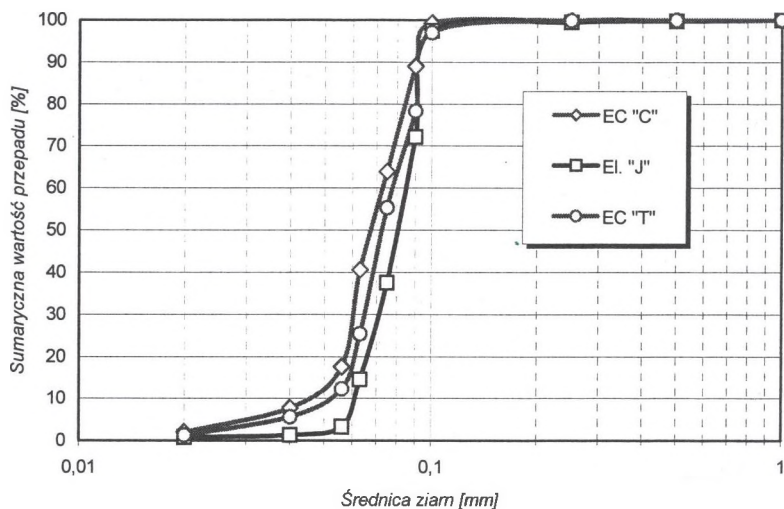
Dla oceny możliwości zastosowania mieszanin popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów pochodzących z kotłów fluidalnych, wykorzystano materiały pochodzące z trzech różnych zakładów energetycznych elektrowni „J” oraz elektrociepłowni „C” i „T”. Popioły mieszano z wodą przy różnych stosunkach masowych S/W i przeprowadzono zgodnie z PN-G/11011:1998 następujące oznaczenia: skład ziarnowy, gęstość, rozlewność, czas tężenia, czas wiązania, wytrzymałość na ściskanie, rozmakalność, ilość wody nadosadowej, wymywalność zanieczyszczeń chemicznych.

2. Wyniki badań składu ziarnowego

Wyniki badań składu ziarnowego popiołów z kotłów fluidalnych, użytych do badań zestawiono w tablicy 1 oraz na rys.1. Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że udziały poszczególnych frakcji ziarnowych w przebadanych popiołach są podobne. Udział ziaren poniżej 0,1 mm (we wszystkich przypadkach) zawiera się w przedziale od 96,92 do 99,29%.

Tablica 1
Składy ziarnowe popiołów po półsuchym odsiarczaniu spalin

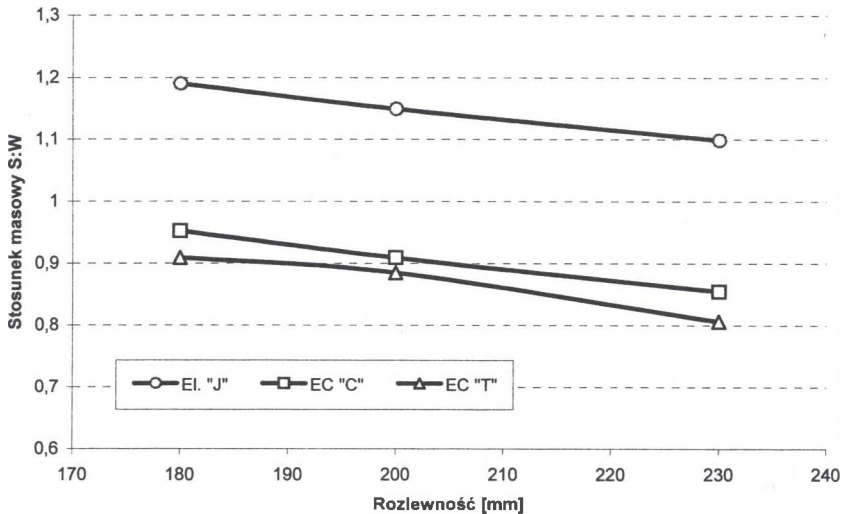
Wielkość ziaren [mm]	Sumaryczny udział frakcji przepadu [%]		
	EC „C”	El. „J”	EC „T”
1,0 >	100	100	100
0,5 >	100	99,77	99,96
0,25 >	99,97	99,52	99,88
0,1 >	99,29	97,41	96,92
0,010 >	89,12	72,59	78,36
0,075 >	63,85	37,468	55,26
0,063 >	40,55	14,49	25,44
0,056 >	17,59	3,31	12,31
0,04 >	7,74	1,29	5,63
0,02 >	2,00	0,79	1,26



Rys. 1. Składy ziarnowe popiołów z kotłów fluidalnych
Fig. 1. Compositions of grains after semi-dry desulfurization ashes

3. Wyniki badań rozlewności i gęstości mieszanin popiołowo-wodnych

Wyniki badań rozlewności i gęstości mieszanin popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów po półsuchym odsiarczaniu, przedstawiono na rys. 2 i 3.



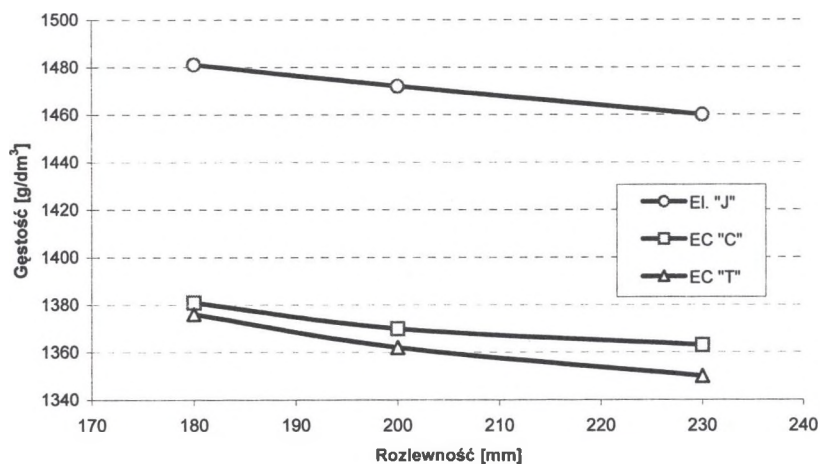
Rys. 2. Stosunek masowy S:W w zależności od rozlewności dla mieszanin popiołowo-wodnych
Fig. 2. Mass ratio P:W depending on spill radius fly ash water slurries

Dla podobnych rozlewności (180, 200 i 230 mm), dla różnych popiołów lotnych udział wody w przebadanych mieszaninach jest zmienny, a stosunek masowy P:W zawiera się w przedziałach:

- dla rozlewności 180 mm od **1:0,84** do **1:1,1**,
- dla rozlewności 200 mm od **1:0,87** do **1:1,13**,
- dla rozlewności 230 mm od **1:0,91** do **1:1,24**.

Zakres gęstości w przebadanych mieszaninach, w zależności rozlewności zawiera się w zakresach:

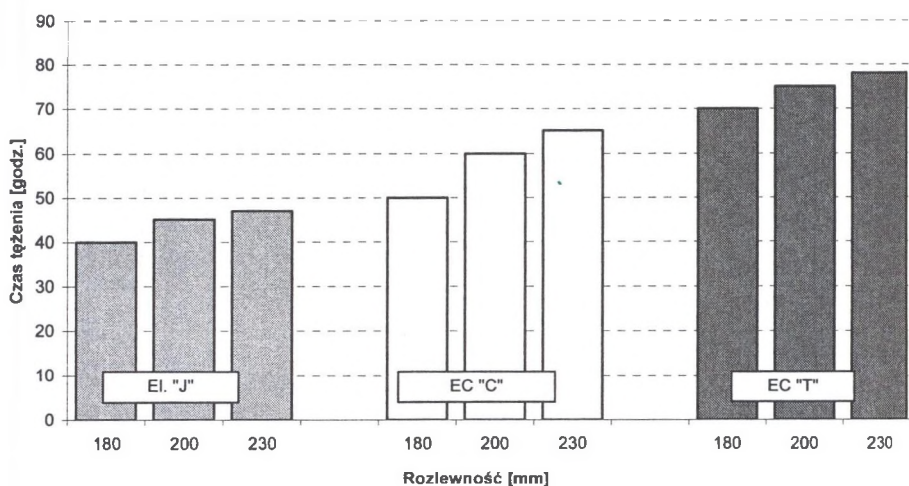
- dla rozlewności 180 mm od **1376** do **1481 g/dm³**,
- dla rozlewności 200 mm od **1362** do **1472 g/dm³**,
- dla rozlewności 230 mm od **1350** do **1460 g/dm³**.



Rys. 3. Gęstość mieszanin popiołowo-wodnych w zależności od rozlewności
 Fig. 3. Density of fly ash water slurries depending on spill radius

4. Wyniki badań czasu tężenia

Wyniki badań czasu tężenia mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołów z kotłów fluidalnych przedstawiono na rys.4.



Rys. 4. Czas tężenia mieszanin popiołowo-wodnych wykonanych z popiołów fluidalnych
 Fig. 4. Time of solidifying of fly ash water slurries made of ashes with fluid boilers

Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem rozlewności mieszanki jej czas tężenia rośnie. Dla poszczególnych rozlewności czasu tężenia wynoszą odpowiednio:

dla rozlewności 180 mm od **40** do **70 godz.**,

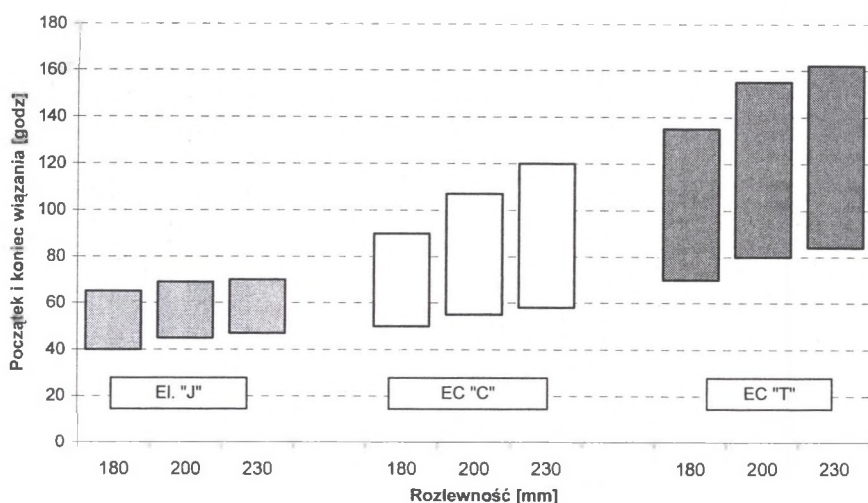
dla rozlewności 200 mm od **45** do **75 godz.**,

dla rozlewności 230 mm od **47** do **78 godz.**

5. Wyniki badań czasu wiązania

Czas wiązania jest parametrem pozanormowym (PN-G/11011,) jednak z punktu widzenia oceny i porównania materiałów posiadających właściwości wiążące jak popioły fluidalne jest oznaczeniem niezbędnym. Wyniki badań czasu wiązania mieszanin popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów z kotłów fluidalnych, przedstawiono na rys.5.

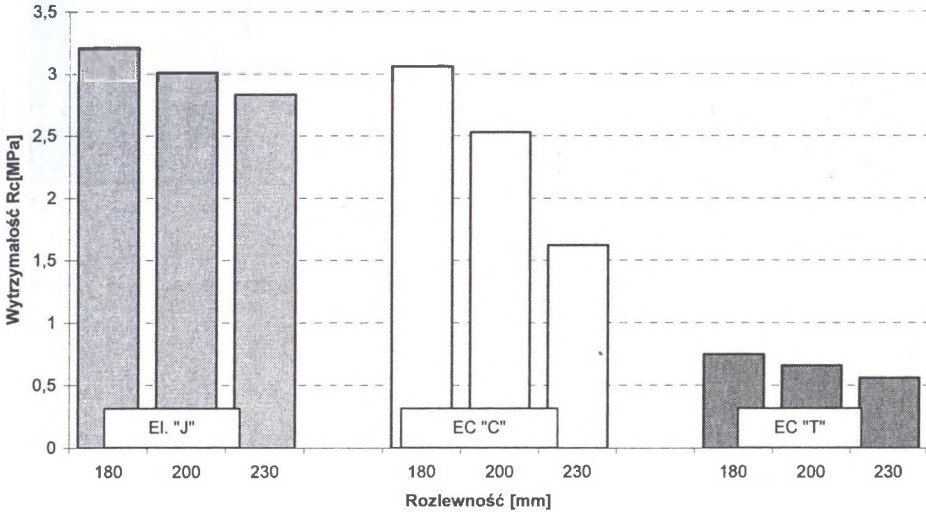
Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem rozlewności mieszanki czas początku i końca wiązania wydłuża się. W zależności od pochodzenia popiołu czas początku i końca wiązania jest wyraźnie zróżnicowany i wynosi odpowiednio: dla popiołów z El. „J” - początek wiązania **40÷47 godz.** koniec **65÷70 godz.**, dla popiołów z EC „C” - początek wiązania **50÷58 godz.** koniec **90÷120 godz.** oraz dla popiołów z EC „T” - początek wiązania **70÷84 godz.** koniec **135÷162 godz.**



Rys. 5. Początek i koniec czasu wiązania mieszanin popiołowo-wodnych wykonanych z popiołów fluidalnych
Fig. 5. Start and finally time of binding of fly ash water slurries made of ashes with fluid boilers

6. Wyniki badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie

Wyniki badań doraźnej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach, mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołów fluidalnych, przedstawiono na rys.6. Z przeprowadzonych badań wynika, że mieszaniny popiołowo-wodne, sporządzone na bazie popiołów fluidalnych charakteryzują się dość wysokimi, jak na mieszaniny popiołowo-wodne, wartościami wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie ale, podobnie jak w badaniach czasu tężenia i wiązania wyraźnie zróżnicowanymi, w zależności od pochodzenia popiołu. Wraz ze wzrostem rozlewności mieszanin wytrzymałość R_c maleje. Najwyższymi wartościami wytrzymałości w przedziale od 2,83 do 3,21 MPa charakteryzowały się mieszaniny sporządzone z popiołu fluidalnego z El. „J”. Nieco niższymi wytrzymałościami, ale również znaczącymi w zakresie od 1,62 do 3,06 MPa, charakteryzowały się mieszaniny sporządzone z popiołu z EC „C”. Najniższymi wartościami wytrzymałości w zakresie od 0,56 do 0,75 MPa wykazały się hydromieszaniny sporządzone z popiołu fluidalnego z EC „T”.

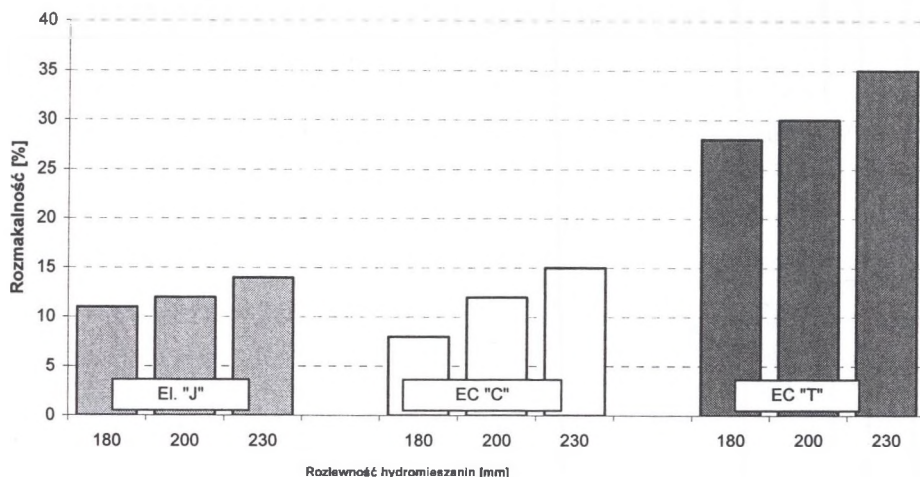


Rys. 6. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych z popiołów fluidalnych

Fig. 6. Compressive strength of fly ash water slurries after 28 days made of ashes with fluid boilers

7. Wyniki badań rozmakalności

Wyniki badań rozmakalności mieszanin popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów fluidalnych, przedstawiono na rys.7. Jak wynika z przeprowadzonych badań wszystkie mieszaniny poddane powtórnemu działaniu wody przez okres 24 godz. wykazują spadek wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Mieszaniny sporządzone na bazie popiołów fluidalnych z El. „J” i EC „C” charakteryzują się podobną rozmakalnością nie przekraczającą 15%. Mieszaniny sporządzone z popiołu fluidalnego z EC „T” charakteryzowały się rozmakalnością w przedziale od 28 do 35%.



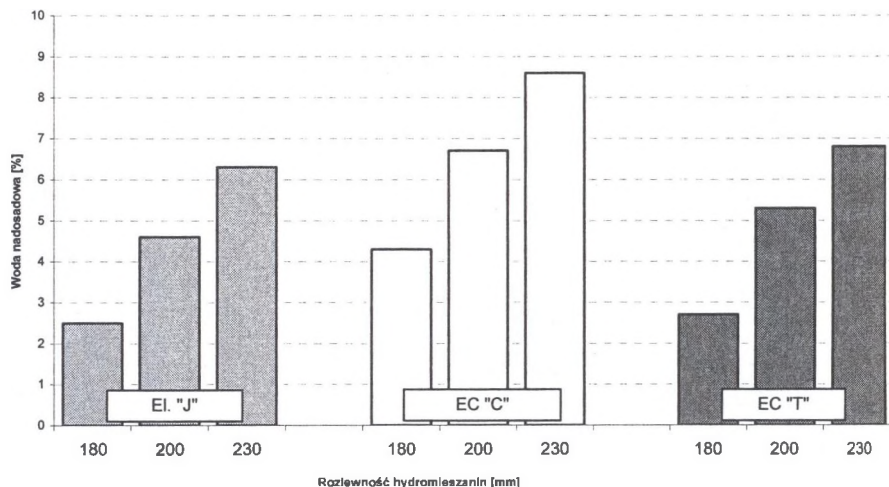
Rys. 7. Rozmakalność zestalonych mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołów z kotłów fluidalnych

Fig. 7. Soak resistance of fly ash water slurries made of ashes with fluid boilers

8. Wyniki badań ilości wody nadosadowej

Wyniki badań ilości wody nadosadowej w mieszaninach popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów z kotłów fluidalnych, przedstawiono na rys.8. We wszystkich przebadanych mieszaninach wraz ze wzrostem rozlewności wzrasta ilość wody nadosadowej. Ilość ta we wszystkich mieszaninach wynosiła poniżej 10%. Dla rozlewności hydromieszanin wynoszącej 180 mm ilość wody nadosadowej wynosiła w zakresie od 2,5% dla mieszanin sporządzonych z popiołu z EL. „J” do 4,6% dla mieszanin z popiołu EC „C”.

Przy największej rozlewności 230 mm ilość wody nadosadowej wynosił odpowiednio od 6,3% dla mieszanin z popiołu El. „J” do 8,6% dla popiołu EC „C”.



Rys. 8. Ilość wody nadosadowej w mieszaninach popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołów z kotłów fluidalnych

Fig. 8. Amount of excessive water in fly ash-water slurries made of ashes with fluid boilers

9. Wyniki badań wymywalności zanieczyszczeń chemicznych

Wyniki badań wymywalności zanieczyszczeń chemicznych z wybranych mieszanin popiołowo-wodnych, sporządzonych na bazie popiołów po półsuchym odsiarczeniu, zestawiono w tabelicy 2. Wszystkie przebadane mieszaniny popiołowo-wodne, sporządzone z popiołów fluidalnych, charakteryzują się ilością zanieczyszczeń chemicznych poniżej dopuszczalnych, wg obowiązującej normy, za wyjątkiem odczynu pH oraz w przypadku popiołu z EC „C” zawartością siarczanów. Podwyższony odczyn pH ściśle jest związany z zawartością siarczanów w popiołach lotnych.

Tablica 2

Wymywalność zanieczyszczeń chemicznych z mieszanin popiołowo-wodnych na bazie popiołów po pólsumowaniu odsiarczaniu

Lp.	Rodzaj zanieczyszcz.	Jednostka	Max. stężenie zgodnie z PN-G/11011:1998	EC „Czechowice”	El. „Jaworzno”
nieorganiczne					
1	Chlorki	mg Cl/dm ³	1000	200	48
2	Siarczany	mg SO ₄ /dm ³	500	765	329
nieorganiczne niebezpieczne (toksyczne)					
3	Arsen	mg As/dm ³	0,2	<0,01	<0,01
4	Chrom (III)	mg Cr/dm ³	0,5	0,21	0,009
5	Chrom (IV)	mg Cr/dm ³	0,2	0,07	0,02
6	Kadm	mg Cd/dm ³	0,1	<0,025	0,001
7	Miedź	mg Cu/dm ³	0,5	0,15	0,004
8	Ołów	mg Pb/dm ³	0,5	<0,01	0,011
9	Rtęć	mg Hg/dm ³	0,02	<0,01	<0,01
11	Cyjanki	mg CN/dm ³	0,1	0,002	<0,01
12	Siarczki	mg S/dm ³	0,2	<0,02	<0,02
inne					
13	odczyn pH	-	6,0 – 12,0	12,95	12,1
14	ChZT	mg O ₂ /dm ³	150,0	<10	<10

10. Podsumowanie

Zgodnie z kryteriami dotyczącymi możliwości wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych mieszanin drobnofrakcyjnych na bazie odpadów energetycznych, zaproponowanymi przez dra inż. M. Popczyka [3], w tablicy 3 dokonano oceny hydromieszanin na podstawie przeprowadzonych badań. Ocena polegała na zakwalifikowaniu lub nie poszczególnych hydromieszanin, sporządzonych na bazie popiołów z kotłów fluidalnych dla poszczególnych technologii podziemnych. Jak pokazano w tablicy 3 żaden z przebadanych popiołów lotnych w mieszaninie z wodą nie nadaje się do zastosowania w takich technologiach górniczych jak: podsadzka zestalająca, wykonywanie korków i pasów podsadzkowych czy wykonywanie korka izolacyjnego oraz zasypu przy likwidacji szybu. Głównym powodem tego są niezadowalające wyniki badań czasu wiązania, wytrzymałości Rc lub, jak w przypadku korka izolacyjnego, zbyt wysoka rozmakalność. W pozostałych technologiach, wymienionych w tablicy 3, popioły lotne z kotłów fluidalnych El. „J” i EC „C” w mieszaninie z wodą można stosować z powodzeniem, uwzględniając odpowiednią ilość wody zarobowej, tak aby hydromieszanina posiadała określoną wartość rozlewności. Zdecydowanie najniższymi parametrami wiążącymi oraz wytrzymałościowymi

charakteryzowały się mieszaniny sporządzone na bazie popiołu z EC „T”, dlatego też ich wykorzystanie na dole kopalni, wg przyjętych kryteriów, jest dość ograniczone. W pełnym zakresie badanej rozległości można je stosować tylko przy doszczelnianiu zrobów zawałowych.

Tablica 3

Możliwości wykorzystania wybranych popiołów z kotła fluidalnego
w technologiach górniczych

Technologia górnicza		Producent popiołu		
		El. „J”	EC „C”	EC „T”
Podsadzka zestalana		brak możliwości		
Doszczelnianie zrobów zawałowych		możliwe w zakresie rozległości 180-230 mm		
Wypełnianie zbędnych pustek i wyrobisk		możliwe przy rozl. 180-210 mm	możliwe przy rozl. 180-210 mm	brak możliwości
Wykonywanie korków i pasów podsadzkowych		brak możliwości		
Izolacja pól pożarowych w tym budowa tam przeciwwybuchowych		możliwe przy rozl. 180-210 mm	możliwe przy rozl. 180-210 mm	brak możliwości
Likwidacja szybów i szybików	korek izolacyjny	brak możliwości		
	zasyp	brak możliwości		
Iniekcja warstw porowatych i luźnych		możliwe przy rozl. 180-210 mm	możliwe przy rozl. 180-210 mm	brak możliwości

LITERATURA

1. Plewa. F., Mysłek Z.: Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wyd. Politechniki Śl., Gliwice 2001.
2. Polska Norma PN-G-11011. Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania.
3. Popczyk M.: Ekologiczne i górnicze aspekty przemysłowego wykorzystania odpadów energetycznych i poflotacyjnych w podziemnych kopalniach. Praca doktorska. Gliwice 2002.
4. Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś T.: Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 1997.

Recenzent: Dr hab. inż. Piotr Czaja, prof. nadzw. AGH