

Franciszek PLEWA, Marcin POPCZYK, Wojciech BABCZYŃSKI

OCENA WŁASNOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNYCH WYBRANYCH ODPADÓW ENERGETYCZNYCH POD KĄTEM MOŻLIWOŚCI LOKOWANIA W WYROBISKACH GÓRNICZYCH

Streszczenie. W procesie spalania węgla kamiennego w zakładach energetycznych oraz ciepłowniczych powstają duże ilości popiołów lotnych, które wymagają zagospodarowania. Jedną z metod utylizacji tych popiołów jest wykorzystanie ich w technologiach górniczych jako materiał podsadzkowy oraz izolujący dla nieczynnych wyrobisk górniczych. W referacie przedstawiono wyniki badań własności fizykomechanicznych mieszanin popiołowo-wodnych pod kątem przydatności w podziemnych kopalniach węgla kamiennego.

ASSESSMENT OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF SELECTED POWER GENERATION WASTE FROM THE POINT OF POSSIBILITIES THEIR DEPOSITION IN UNDERGROUND COAL MINES

Summary. Combustion of hard coal in thermal power and heat plants generates large amounts of fly ashes that need to be utilised. Among other methods of their utilisation, application in mining technologies as a backfill and grout material can be considered. The paper presents the results of laboratory measurements of physical-mechanical properties of fly ash-water mixtures from the point of their use underground in coal mines.

1. Wstęp

W podziemnych technologiach górniczych zagospodarowuje się aktualnie rocznie około 4 mln ton drobnoziarnistych odpadów energetycznych w postaci ich mieszanin z wodą, spełniających rolę nośnika transportowego i wiążącego. Głównymi technologiami zastosowania takich hydromieszanin są: technologia doszczelniania zrobów zawałowych, podsadzka samozestalająca, wykonywanie korków podsadzkowych oraz wypełnianie wyrobisk korytarzowych. O efektywności zastosowania w danej technologii zagęszczonej mieszaniny drobnofrakcyjnej decyduje wiele czynników, wśród których do najważniejszych należy zaliczyć: rozlewność, nośność, czas wiązania, wytrzymałość na ściskanie, rozmakalność, własności sedymentacyjne [1]. Opracowanie technologii sporządzania i lokowania mieszanin popiołowo-wodnych na bazie odpadów drobnofrakcyjnych pozwala na wykorzystywanie ich jako materiału do podsadzania górotworu.

Mieszanki podsadzkowe sporządzone z wykorzystaniem odpadów energetycznych (popiołów) posiadają różne własności fizyczno-mechaniczne. Dlatego też ważne jest ich poznanie oraz umiejętne wykorzystanie w przeróżnych przypadkach zastosowania w górnictwie podziemnym. W niniejszej publikacji przeanalizowano możliwości utylizacji w podziemnych wyrobiskach górniczych popiołów z Ciepłowni Huty „Katowice” i Elektrociepłowni „Będzin” z uwzględnieniem profilaktyki przeciwpożarowej.

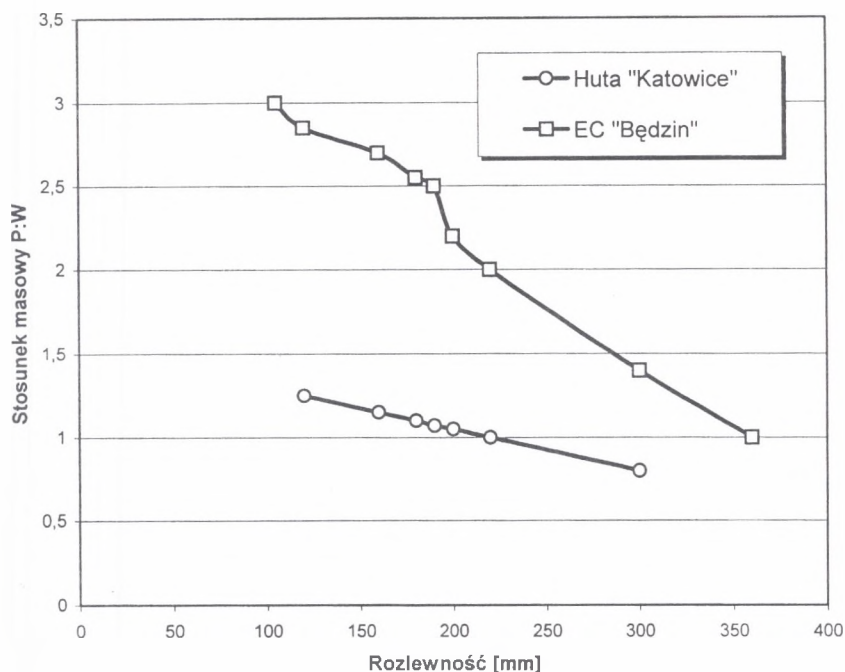
2. Metodyka badań własności fizykomechanicznych mieszanin odpadów po pól suchym i suchym odsiarczaniu spalin

Badanie rozlewności

Rozlewność jest parametrem mieszaniny popiołowo-wodnej informującym o jej transportowalności w rurociągu podsadzkowym i w zrobach zawałowych. Badania rozlewności przeprowadzono kubkiem Forda. Miarą rozlewności była średnica rozplywu mieszaniny na metalowej płycie. Wyniki badań rozlewności oraz stosunku masowego popiołu do wody (P:W) mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” i popiołu z Ciepłowni Huty „Katowice” przedstawiono w tablicy 1 oraz na wykresie - rys.1.

Tablica 1
Rozlewność mieszanin popiołowo-wodnych użytych do badań

Nr miesz.	Stosunek masowy popiołu do wody P:W	Rozlewność mierzona kubkiem Forda [mm]
Popiół z Huty „Katowice”		
1	0,8:1	300
2	1:1	220
3	1,05:1	200
4	1,07	190
5	1,1	180
6	1,15	160
7	1,25	120
Popiół z Elektrociepłowni „Będzin”		
1	1:1	360
2	1,4:1	300
3	2:1	220
4	2,2:1	200
5	2,5:1	190
6	2,56:1	180
7	2,7:1	160
8	2,85:1	120
9	3,0:1	105



Rys. 1. Zestawienie stosunków masowych popiołu do wody w zależności od rozlewności mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z EC „Będzin” i Huty „Katowice”

Fig. 1. Fly ash/water ratio by mass in relation to their spill radius for slurries made with fly ash from “Będzin” heat power station and heat facility in “Katowice” steel plant

Na podstawie tych pomiarów do dalszych badań fizykomechanicznych wytypowano mieszaniny o rozlewnościach 180, 200 i 230 mm, które przyjęto jako najkorzystniejsze z punktu widzenia warunków hydrotransportu w podsadzkowej instalacji grawitacyjnej oraz zastosowania w technologiach górniczych.

Badanie czasu wiązania

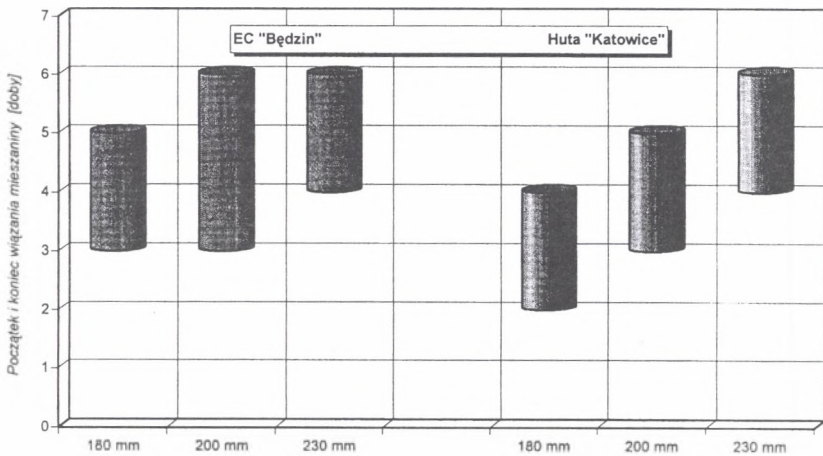
Czas wiązania jest jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących własności badanego materiału, jakim jest mieszanina popiołowo-wodna. Warunkiem bezpiecznego prowadzenia procesu doszczelniania jest zmiana postaci hydromieszaniny z ciekłej w ciało stałe. Uzyskany wynik pozwala na prognozowanie zachowania się mieszaniny podsadzkowej po wprowadzeniu jej do pustki poeksploatacyjnej. Pomiar przeprowadza się za pomocą aparatu Vicata. Polega on na określaniu głębokości zanurzenia igły w zawiesinie w określonych przedziałach czasu. Za początek procesu wiązania przyjmuje się czas, po którym igła zatrzyma się w odległości 2-3 mm od powierzchni płytki, a za koniec, kiedy zagłębi się nie więcej

niż na 2 mm. Próbkę używane do badań czasu wiązania posiadały kształt walca o średnicy 11 cm i wysokości 4 cm, a w czasie całego cyklu pomiarowego przechowywane były w komorze klimatyzacyjnej symulującej warunki dołowe. Wyniki badań procesu wiązania mieszanin po półsuchym i suchym odsiarczaniu przedstawiono w tablicy 2 oraz na wykresie - rys.2.

Tablica 2

Wyniki badania procesu wiązania mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z Huty „Katowice” i z Elektrociepłowni „Będzin”

Nr miesz.	Pochodzenie popiołu użytego w mieszaninie	Rozlewność [mm]	Początek wiązania [doby]	Koniec wiązania [doby]
1	EC „Będzin”	180	3	5
2	EC „Będzin”	200	3	6
3	EC „Będzin”	230	4	6
4	Huta „Katowice”	180	2	4
5	Huta „Katowice”	200	3	5
6	Huta „Katowice”	230	4	6



Rys.2. Przebieg procesu wiązania mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z Ciepłowni Huty „Katowice” i z Elektrociepłowni „Będzin”

Fig.2. The course of binding process of fly ash-water slurries made with fly ash from “Będzin” heat power station and heat facility in “Katowice” steel plant

Badanie nośności

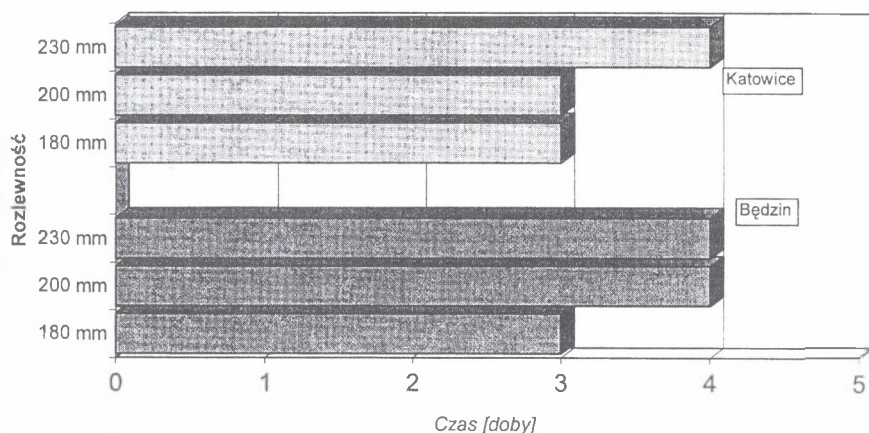
W celu określenia stopnia zestalenia badanej mieszanki w początkowym okresie wiązania wykonywano pomiar nośności przy użyciu zmodyfikowanego aparatu Vicata. Pomiar ten pozwala stwierdzić, czy mieszanka może przenosić obciążenie przed zakończeniem procesu wiązania. Głównym elementem aparatu Vicata jest trzpień walcowy o przekroju poprzecznym 1 cm^2 i ciężarze 40 g. Trzpień umieszcza się na powierzchni próbki, a następnie obciąża odważnikami. Miarą nośności podsadzki jest maksymalne obciążenie, przy którym igła pomiarowa zagłębia się w próbce na głębokość nie większą niż 2 mm. Próbki używane do badań nośności posiadały kształt walca o średnicy 11 cm i wysokości 4 cm, a w czasie całego cyklu pomiarowego przechowywane były w komorze klimatyzacyjnej.

Wyniki badań procesu wzrostu nośności mieszanin po półsuchym i suchym odsiarczaniu przedstawiono w tablicy 3 oraz na wykresie - rys.3.

Tablica 3

Wyniki badania wzrostu nośności w czasie mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z Huty „Katowice” i z Elektrociepłowni „Będzin”

Nr mieszanki	Popiół	Rozlewność [mm]	Nośność mieszanki [kG/cm ²] po czasie [doby]			
			1	2	3	4
1	EC „Będzin”	180	0	2,0	5,0	-
2	EC „Będzin”	200	0	1,7	4,0	5,0
3	EC „Będzin”	230	0	1,3	3,5	5,0
4	Huta „Katowice”	180	0,3	3,0	5,0	-
5	Huta „Katowice”	200	0,1	2,6	5,0	-
6	Huta „Katowice”	230	0,1	2,0	4,5	5,0



Rys.3. Czas uzyskania nośności 0,5 MPa mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z Ciepłowni Huty „Katowice” i z Elektrociepłowni „Będzin”

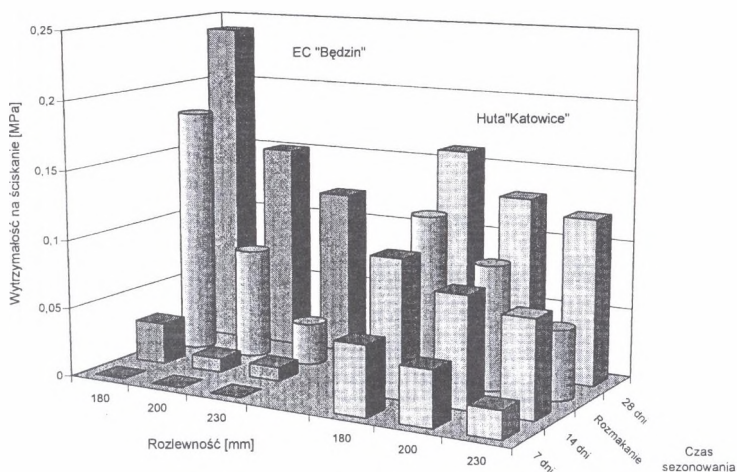
Fig.3. Seasoning time until load carrying ability gets 0,5 MPa for fly ash–water slurries made with fly ash from “Będzin” heat power station and heat facility in “Katowice” steel plant

Badanie wytrzymałości na ściskanie oraz rozmakalności

Badanie doraźnej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wykonywano po: 7, 14, i 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej przy użyciu aparatu typu LRuE-2 z cyfrowym odczytem i rejestracją wyników. Jednoosiowemu ścisaniu poddawano próbki walcowe o średnicy 50 mm i wysokości 50 mm zgodnie z normą PN-88/B-04300. Ścisaniu podlegały każdorazowo trzy próbki danej receptury. Za wynik pomiaru przyjmowano wartość średnią 3 badanych próbek. W celu określenia wpływu działania wody na zestalone próbki przeprowadzono badania rozmakalności próbek po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej, które następnie umieszczono w naczyniu z wodą na okres 24 h. Po upływie tego czasu obserwowano ich zewnętrzne gabaryty, a następnie poddawano je działaniu penetratora. Próbki, które nie uległy zmianom, ścisano ponownie w aparacie do badania doraźnej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Uzyskane wyniki porównywano z wynikiem ściskania próbek suchych po 28 dniach sezonowania w komorze. Wyniki badań wzrostu wytrzymałości oraz rozmakania mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z EC „Będzin” i popiołu z Ciepłowni Huty „Katowice” przedstawiono w tablicy 4 oraz na wykresie - rys.4.

Tablica 4
Przebieg wzrostu wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie próbek sporządzonych na bazie popiołu z EC „Będzin” oraz Ciepłowni Huty „Katowice”

Numer próbki	Popiół	Rozlewność kubek Forda [mm]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			
			Po 7 dniach	Po 14 dniach	Po 28 dniach	Próbki sezonowane 28 dni i moczone 24 h
1	„Będzin”	180	0	0,03	0,24	0,18
2	„Będzin”	200	0	0,01	0,15	0,08
3	„Będzin”	230	0	0,01	0,12	0,03
4	„Katowice”	180	0,05	0,10	0,16	0,12
5	„Katowice”	200	0,04	0,08	0,13	0,09
6	„Katowice”	230	0,02	0,07	0,12	0,05



Rys.4. Wytrzymałość na ściskanie dla mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z EC "Będzin" oraz Ciepłowni Huty „Katowice”

Fig.4. Compressive strength of fly ash-water slurries made with fly ash from "Będzin" heat power station and heat facility in "Katowice" steel plant

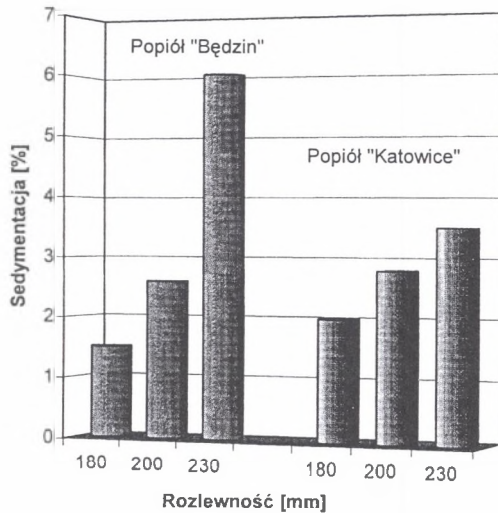
Badanie sedymentacji

Badanie sedymentacji polega na wlewu sporządzonej mieszaniny do naczynia miarowego, pozostawieniu jej w bezruchu i określaniu w przyjętych odstępach czasowych (aż do braku zmian) wysokości słupa czystej wody, przeliczanego na % objętości pierwotnej próbki. Ilość wody nadosadowej pozwala na prognozowanie objętości wody, jaka może odciec z lożowanej w pustce mieszaniny. Wyniki badań objętości sklarowanej wody mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” oraz z Ciepłowni Huty „Katowice” przedstawiono w tablicy 5 oraz na wykresie - rys.5.

Tablica 5

Przebieg sedymentacji mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” oraz Ciepłowni „Katowice”

Numer próbki	Pochodzenie popiołu	Rozlewność kubek Forda [mm]	Sedymentacja [%] po czasie				
			1 godz.	3 godz.	6 godz.	12 godz.	24 godz.
1	„Będzin”	180	0,2	0,6	1,3	1,45	1,5
2	„Będzin”	200	0,3	1,2	2,3	2,5	2,6
3	„Będzin”	230	0,5	3,5	5,4	5,8	6,0
4	„Katowice”	180	0,2	0,6	1,8	1,9	2
5	„Katowice”	200	0,2	0,9	2,2	2,6	2,8
6	„Katowice”	230	0,6	2,4	3,2	3,4	3,5



Rys.5. Wartość sedymentacji po 24 godz. dla mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu EC „Będzin” oraz Ciepłowni Huty „Katowice”

Fig.5. Sedimentation value until 24 hours of seasoning of fly ash–water slurries made with fly ash from “Będzin” heat power station and heat facility in “Katowice” steel plant

2. Zestawienie wyników badań

Zestawienie ważniejszych wyników badań mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z Huty „Katowice” oraz Elektrociepłowni „Będzin” przedstawiono w postaci tabelarycznej (tablica 6). W tablicy tej umieszczono wyniki następujących badań:

- rozlewności,
- stosunku masowego P:W (popiół:woda),
- gęstości,
- czasu zakończenia procesu wiązania,
- czasu uzyskania wymaganej nośności 0,5 MPa,
- wytrzymałości po 28 dniach sezonowania,
- wytrzymałości po 28 dniach sezonowania i 24 godz. moczenia w wodzie.

Tablica 6

Zestawienie rezultatów badań fizykomechanicznych mieszanin sporządzonych na bazie popiołów lotnych z Huty „Katowice” i z Elektrociepłowni „Będzin”

Nr miesz	Pochodzenie popiołu	Rozlewność [mm]	Stosunek masowy popiół:woda P:W	Gęstość [g/dm ³]	Czas zakończenia wiązania [doby]	Czas uzyskania nośności 0,5 MPa [doby]	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dobach [MPa]	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dobach i po 24 godzinach moczenia w wodzie [MPa]
1	EC „Będzin”	180	1:0,39	1633	5	3	0,24	0,18
2	EC „Będzin”	200	1:0,43	1604	6	4	0,15	0,08
3	EC „Będzin”	230	1:0,52	1549	6	4	0,12	0,03
4	Huta „Katowice”	180	1:0,90	1336	4	3	0,16	0,12
5	Huta „Katowice”	200	1:0,93	1329	5	3	0,13	0,09
6	Huta „Katowice”	230	1:1,02	1310	6	4	0,12	0,05

3. Wnioski końcowe

Na podstawie otrzymanych wyników badań można sformułować następujące spostrzeżenia i wnioski końcowe.

1. Prowadzone badania popiołów z EC „Będzin” i Ciepłowni Huty „Katowice” wykazują wyraźne zróżnicowanie w stosunkach masowych popiołu do wody przy sporządzaniu mieszanin dla tych samych rozlewności. Dla uzyskania mieszaniny o rozlewności 120 mm do popiołu z Ciepłowni Huty „Katowice” należy dodać prawie 3-krotnie więcej wody niż w przypadku popiołu z Elektrociepłowni „Będzin”. W miarę wzrostu rozlewności do 300 mm różnica ta wyraźnie maleje, ale nadal zawartość wody w mieszaninie o tej rozlewności w przypadku popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” jest prawie 2-krotnie wyższa od zawartości wody w mieszaninie z popiołem z Huty „Katowice”.

2. Mieszaniny sporządzone na bazie popiołów z Elektrociepłowni „Będzin” i Ciepłowni Huty „Katowice” charakteryzują się dobrymi własnościami wiążącymi. Koniec procesu wiązania następował maksymalnie po 6 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej.
3. Mieszaniny popiołowo-wodne wykonane z popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” oraz Ciepłowni Huty „Katowice” uzyskiwały nośność 0,5 MPa w 3 i 4 dobie sezonowania.
4. Doraźna wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” wyniosła od 0,12 do 0,24 MPa. Wytrzymałość mieszanin popiołowo-wodnych sporządzonych na bazie popiołu z Huty „Katowice” przechowywanych w takich samych warunkach zawierała się w przedziale od 0,12 do 0,16 MPa.
5. Wszystkie mieszaniny popiołowo-wodne sporządzone zarówno na bazie popiołu z EC „Będzin”, jak i popiołu z Huty „Katowice”, poddane 48-godzinnemu działaniu wody zmniejszyły swoją wytrzymałość na ściskanie w zakresie od 25 do 70% wytrzymałości posiadanej przed moczeniem.
6. Mieszaniny popiołowo-wodne wykonane na bazie popiołu z Elektrociepłowni „Będzin” posiadały wodę nadmiarową (nadosadową) w ilości od 1,5% (rozlewność 180 mm) do 6,0% (rozlewność 230 mm), natomiast dla mieszanin sporządzonych na bazie popiołu z Huty „Katowice” wielkości te wynosiły odpowiednio 2% oraz 3,5%.
7. Uzyskane wyniki badań wskazują na możliwość wykorzystania analizowanych odpadów do utylizacji w podziemnych technologiach górniczych, takich jak doszczelnianie zrobów zawałowych, wypełnienie wyrobisk korytarzowych, wykonywanie korków podsadzkowych. Z uwagi na niską doraźną wytrzymałość na ściskanie wszystkich przebadanych mieszanin stwierdzoną po 28 dniach (poniżej 1 MPa), przy zastosowaniu ich do podsadzki samozestalającej celowe jest dodanie środków wiążących bądź zmieszania z innymi popiołami, np. popiołem po suchym odsiarczaniu lub popiołem z kotła fluidalnego, posiadającym dużo lepsze parametry wytrzymałościowe.

LITERATURA

1. Prace własne Instytutu Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej w Gliwicach.
2. Plewa F. Kolarczyk M.: Zagospodarowanie odpadów powstających w energetyce zawodowej do profilaktyki i zwalczania pożarów podziemnych w polskim górnictwie węglowym. W materiałach konferencji „Netradiční metody využití ložisek”. Ostrava, Czechy. 12-13.11.1998, s. 233-243.

3. Pałarski J. i in.: Badanie własności fizykomechanicznych mieszanin drobnofrakcyjnych odpadów górniczych i elektrownianych pod kątem możliwości wykorzystania w technologiach górniczych, Prace Instytutu Eksploatacji Złóż, 1994 (niepublikowana).
4. Plewa F., Kolarczyk M.: Wozmożnost ispolzowania mielkofrakcyjnykh otchodow w szachtach. Zapiski Sankt - Peterburgskowo Gosudarstwiennowo Gornowo Instituta. T. 2 (143), s. 31-40. Sankt Petersburg 1997.
5. Dziwoki A., Paździorek S.: Wykorzystanie odpadów drobnofrakcyjnych w prewencji pożarowej w kopalni „Knurów”. Materiały III Międzynarodowej Konferencji Ochrony Środowiska w Przemśle Węglowym i Metali Nieżelaznych. Szklarska Poręba-Wrocław, V 1998. s. 133-137.

Recenzent: Dr inż. T. Bromek

Abstract

Combustion of hard coal in thermal power and heat plants generates large amounts of fly ashes that need to be utilised. Among other methods of their utilisation, application in mining technologies as a backfill and grout material for abandoned workings can be considered. The paper presents the results of laboratory measurements of physical-mechanical properties of fly ash-water mixtures made with a fly ash from non-desulphurisation thermal facility in “Katowice” steel plant and “Będzin” heat power plant, from the point of their use in modern mining technologies in underground coal mines.

The measurements covered: spill radius, load-carrying ability, binding time, compressive strength, water proofing, and sedimentation.