

Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSŁEK, Grzegorz STROZIK

WPLYW WŁASNOŚCI MIGRACYJNYCH MIESZANIN DROBNOFRAKCYJNYCH NA PARAMETRY DOSZCZELNIANIA ZROBÓW ZAWAŁOWYCH

Streszczenie. Powstające w trakcie eksploatacji zawałowej zroby w postaci gruzowiska skalnego z załamujących się warstw stropowych charakteryzują się znaczną porowatością, która jest przyczyną ucieczek powietrza, zagrzewania zrobów i powstawania pożarów endogenicznych. W celu ograniczenia negatywnych skutków eksploatacji zawałowej w kopalniach węgla kamiennego stosuje się doszczelnianie zrobów zawałowych mieszaninami drobnofrakcyjnymi. Wypełnianie gruzowiska zawałowego mieszaninami drobnofrakcyjnymi izoluje je od czynnych wyrobisk górniczych, poprawia warunki wentylacyjne, zmniejsza zagrożenie pożarowe i ogranicza wielkość deformacji powierzchni wywołanych taką eksploatacją. W artykule zostały przedstawione wyniki badań laboratoryjnych doszczelniania gruzowiska zawałowego mieszaninami popiołowo-wodnymi, których celem było określenie optymalnych własności migracyjnych popiołowo-wodnych mieszanin zapewniających maksymalne wypełnianie zrobów.

THE INFLUENCE OF MIGRATION PROPERTIES OF FINE GRAINED SLURRIES ON THE EFFECTS OF GROUTING OF MINE CAVINGS

Summary. The caving areas, which comprise rubble rocks from breaking roof strata, are quite porous. This is a reason for air run-off, raising of temperature, and at the end, self-combustion of coal. Grouting of cavings with fine-grained slurries is an effective way limitation of these nuisances. Filling of the rock rubble improves ventilation, decreases fire hazard, and reduces deformation of surface resulting from the mining. The paper presents laboratory tests results of grouting of rubble rock with fine-grained slurries. Its aim was to find optimal migration properties, which assure maximal filling of voids.

1. Wstęę

Zagospodarowanie odpadów przemysłowych, w szczególności górniczych i energetycznych, przez ich lokowanie w podziemnych wyrobiskach górniczych oraz wykorzystywanie w technologiach górniczych należy uznać za jedną z lepszych metod ich utylizacji.

W ostatnich latach podstawowego znaczenia nabiera wykorzystywanie w górnictwie odpadów drobnofrakcyjnych, takich jak popioły lotne i odpady flotacji. Wśród technologii górniczych pozwalających zagospodarowywać odpady drobnofrakcyjne należy wymienić:

- podszadkę samozestalającą,
- doszczelnianie zrobów zawałowych,
- wykonywanie pasów i korków podsadzkowych,
- likwidację i wypełnianie zbędnych wyrobisk korytarzowych,
- wypełnianie pustek w górotworze.

Technologią najbardziej rozpowszechnioną, a równocześnie umożliwiającą zagospodarowanie największych ilości odpadów drobnofrakcyjnych, głównie popiołów lotnych [2, 4,5], jest doszczelnianie zrobów zawałowych odpadami drobnofrakcyjnymi w celu ich odizolowania od czynnych wyrobisk górniczych. Przyczynia się to do poprawy warunków wentylacyjnych w rejonie eksploatacyjnym, zmniejszenia zagrożenia pożarowego, a także w pewnym stopniu do ograniczenia deformacji powierzchni i górotworu, szczególnie przy doszczelnianiu zrobów podczas biegu ściany.

Stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego, a tym samym ilość możliwych do ulokowania w zrobach odpadów drobnofrakcyjnych, zależy od wielu czynników, wśród których do najważniejszych należy zaliczyć [1, 3]:

- rodzaj i własności migracyjne mieszaniny doszczelniającej,
- parametry hydraulicznego transportu,
- porowatość i nachylenie gruzowiska zawałowego,
- dostępność i stopień zaciśnięcia zrobów,
- sposób doszczelniania zrobów.

W artykule zostaną przedstawione wyniki badań laboratoryjnych wpływu własności mieszanin popiołowo-wodnych, takich jak: gęstość, rozlewność i koncentracja części stałych w mieszaninie na parametry doszczelniania gruzowiska zawałowego, takie jak: zasięg rozplywu, gęstość i rozkład sedymentu w gruzowisku, ilość i gęstość mieszaniny odpływającej z gruzo-

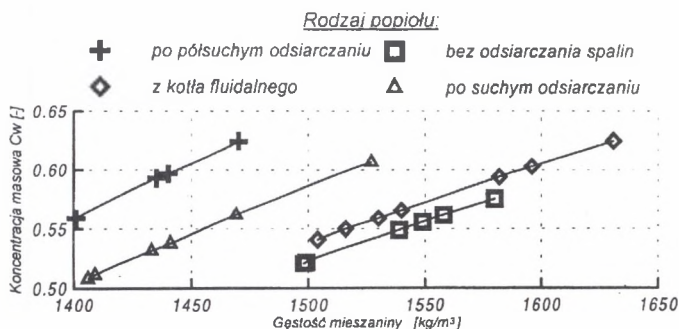
wiska, a w szczególności na stopień doszczelnienia zrobów rozumiany jako stosunek ilości odpadów ulokowanych w gruzowisku do teoretycznej chłonności wynikającej z jego porowatości.

2. Charakterystyka badanych popiołów lotnych i mieszanin popiołowo-wodnych

Do badań parametrów doszczelniania modelowego gruzowiska zawałowego mieszaninami popiołowo-wodnymi użyto następujących rodzajów popiołów lotnych, charakteryzujących się różnicowanymi własnościami fizyko mechanicznymi:

- popioły lotne z półsuchego odsiarczenia spalin,
- popioły lotne ze spalania w kotłach fluidalnych,
- popioły lotne z suchego odsiarczenia spalin,
- popioły lotne bez odsiarczenia spalin.

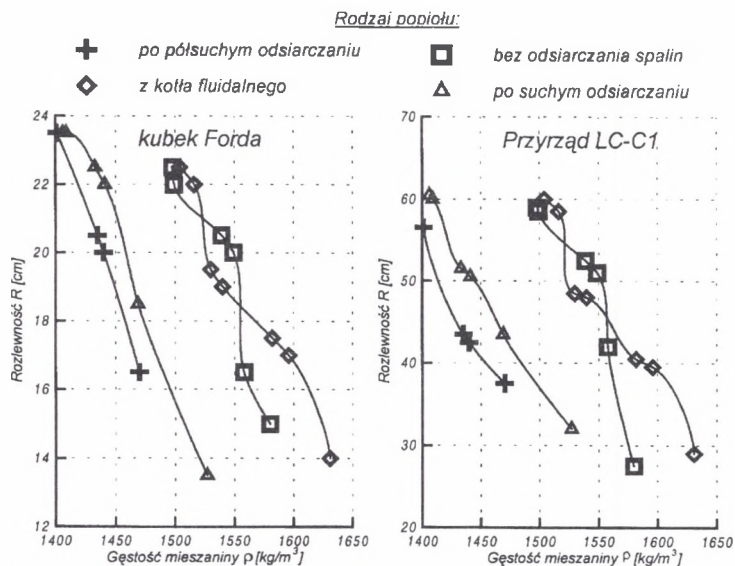
Zakres gęstości badanych mieszanin popiołowo-wodnych oraz odpowiadających im koncentracji masowych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zależność koncentracji masowej od gęstości badanych mieszanin popiołowo-wodnych
 Fig. 1. The relationship between mass concentration and density of fly ash – water mixtures considered

Własności migracyjne mieszanin drobnoziałistych najlepiej charakteryzuje ich rozlewność, którą można mierzyć dwoma przyrządami, a mianowicie: kubkiem Forda stosowanym do badania mas betonowych; i przyrządem LC-C1 służącym do badania mas formierskich. Wpływ gęstości i koncentracji masowej badanych mieszanin popiołowo-wodnych na ich rozlewność przedstawiono na wykresach - rys. 2 i 3.

Gęstość badanych mieszanin popiołowo-wodnych zmieniała się w przedziale od 1401 do 1631 kg/m^3 , a koncentracja masowa od 0,508 do 0,625. Rozlewność mieszanin popiołowo-wodnych mierzona kubkiem Forda zawierała się w przedziale od 14 do 23,5 cm, natomiast mierzona przyrządem LC-C1 od 27,5 do 60,5 cm.



Rys.2. Wpływ gęstości mieszanin popiołowo-wodnych na ich rozlewność mierzoną kubkiem Forda i przyrządem LC-C1

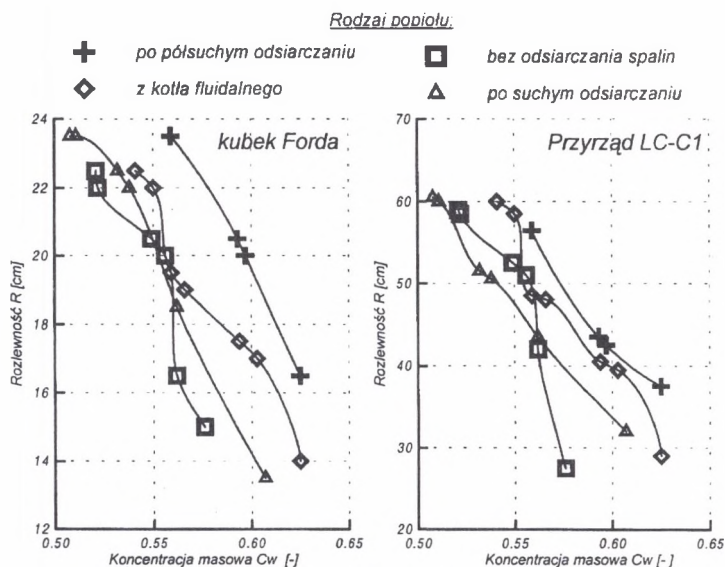
Fig.2. The relationship between density of fly ash – water mixtures and their spill radius measured with Ford's cup and LC-C1 device

3. Badanie parametrów doszczelniania gruzowiska zawalowego mieszaninami popiołowo-wodnymi

3.1. Metodyka badań

Badanie rozprywu mieszanin popiołowo-wodnych w gruzowisku zawalowym oraz stopnia jego wypełnienia prowadzono na stanowisku modelowym wypełnionym rumowiskiem skalnym o maksymalnym uziarnieniu 0,150 m i średniej porowatości 52,8%, stosując swobodny i skrępowany przepływ mieszaniny przez gruzowisko.

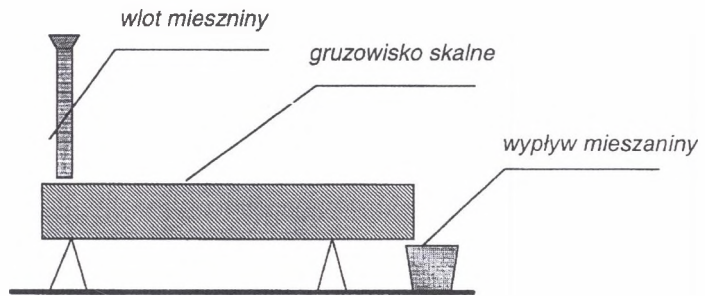
Warunki skrapowanego przepływu uzyskano przez otamowanie gruzowiska płótnem podsadzkowym. Gruzowisko zawałowe o określonej objętości i porowatości zasilane było mieszaniną doprowadzaną rurociągiem pionowym o średnicy 0,1m, umieszczonym w stałym punkcie nad gruzowiskiem. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys.4.



Rys.3. Wpływ koncentracji masowej mieszanin popiołowo-wodnych na ich rozlewność mierzona kubkiem Forda i przyrządem LC-C1

Fig.3. The relationship between mass concentration of fly ash – water mixture and their spill radius measured with Ford's cup and LC-C1 device

Skrzynia pomiarowa wypełniona gruzowiskiem zawałowym posiadała wymiary 2,5x0,2x0,285 m. W trakcie badań parametrów doszczelniania gruzowiska zawałowego rejestrowano ilość mieszaniny o określonej gęstości dopływającej do zrobów, ilość i gęstość mieszaniny odpływającej ze zrobów oraz rozkład sedymentu w gruzowisku i stopień wypełnienia zrobów mieszaniną popiołowo-wodną. Za optymalną pod względem własności migracyjnych należy uznać mieszaninę o takiej gęstości i rozlewności, przy której mieszanina rozplywa się równomiernie w gruzowisku, tworząc warstwę osadu o jednakowej grubości. Jednocześnie mieszanina doszczelniająca powinna wykazywać własności pozwalające wiązać nadmiar wody, bądź charakteryzować się dobrą wodoodpornością, aby nie stwarzać zagrożenia wodnego w miejscu lokowania.



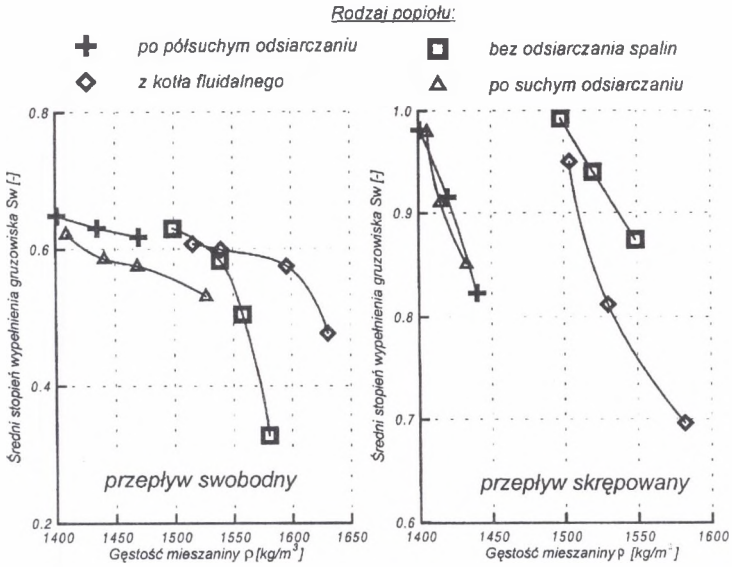
Rys.4. Schemat stanowiska badawczego
Fig.4. A scheme of the laboratory device

3.2. Wyniki badań

Wyniki pomiarów parametrów rozplywu i doszczelniania gruzowiska zawałowego mieszaninami popiołowo-wodnymi przedstawiono na wykresach - rys. 5 ÷ 10.

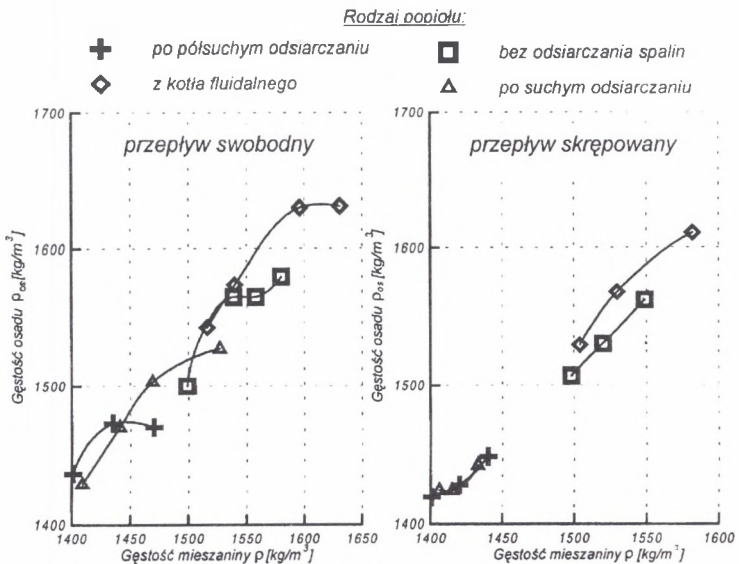
3.3. Analiza wyników badań

Z przeprowadzonych badań parametrów doszczelniania gruzowiska zawałowego mieszaninami popiołowo-wodnymi wynika, że w zależności od rodzaju popiołów lotnych, gęstości mieszaniny i sposobu doszczelniania stopień wypełnienia gruzowiska modelowego zmienił się w przedziale od 32,7 do 64,8% dla przepływu swobodnego oraz 69,6 do 99,2% przy doszczelnianiu zrobów otamowanych. Stopień doszczelnienia gruzowiska odpadami drobnopięnistymi w badanym zakresie gęstości mieszanin popiołowo-wodnych maleje wraz ze wzrostem gęstości i koncentracji mieszanin oraz spadkiem ich własności migracyjnych. Stopień doszczelnienia gruzowiska zawałowego mieszaniną popiołowo-wodną wykonaną z popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin zmienił się od 61,7% przy gęstości 1470 kg/m^3 do 64,8% przy gęstości 1401 kg/m^3 dla swobodnego przepływu mieszaniny przez gruzowisko. Natomiast przy doszczelnianiu zrobów otamowanych stopień wypełnienia gruzowiska zmienił się od 82,3% dla mieszaniny o gęstości 1440 kg/m^3 do 98,1% przy gęstości 1401 kg/m^3 .



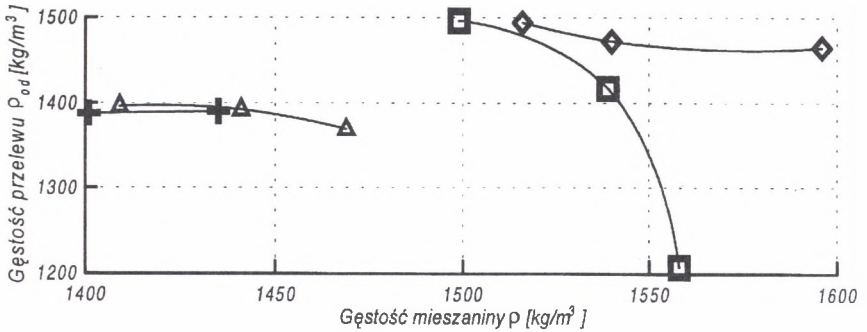
Rys.5. Średni stopień wypełnienia gruzowiska zawalowego w zależności od rodzaju popiołów lotnych i gęstości mieszaniny przy swobodnym przepływie przez zroby oraz przy przepływie skrzepowanym (zroby otamowane)

Fig.5. Average fill ratio of rocks rubble in relation to type of fly ash and slurry's density by free and restricted (cavings closed by dams) flow of slurry



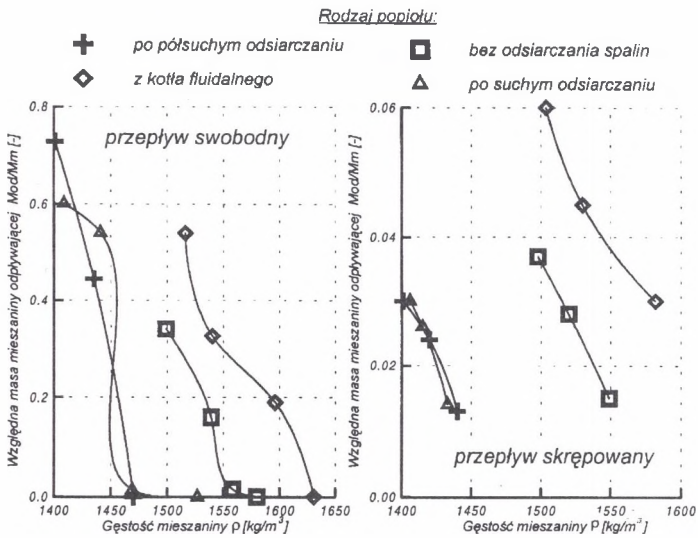
Rys.6. Wpływ gęstości mieszaniny popiowo-wodnej na gęstość mieszaniny osadzonej w gruzowisku zawalowym przy swobodnym oraz skrzepowanym (zroby otamowane) przepływie mieszaniny

Fig.6. The influence of slurry's density on the density a sediment after free and restricted (cavings closed by dams) flow of slurry



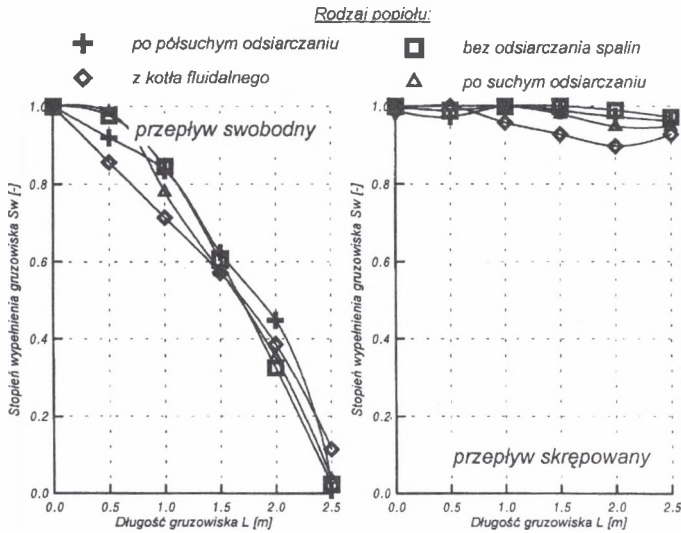
Rys. 7. Wpływ gęstości mieszaniny popiotowo-wodnej na gęstość mieszaniny odpływającej z gruzowiska zawalowego przy swobodnym przepływie mieszaniny doszczelniającej przez zroby (oznaczenia krzywych jak wyżej)

Fig. 7. The influence of slurry's density on the density of slurry flowing out from the rubble rock during a free and restricted (cavings closed by dams) flow of slurry



Rys. 8. Wpływ gęstości mieszaniny doszczelniającej na ilość mieszaniny odpływającej z gruzowiska zawalowego przy swobodnym przepływie mieszaniny przez zroby oraz przy przepływie skrępowanym (zroby otamowane)

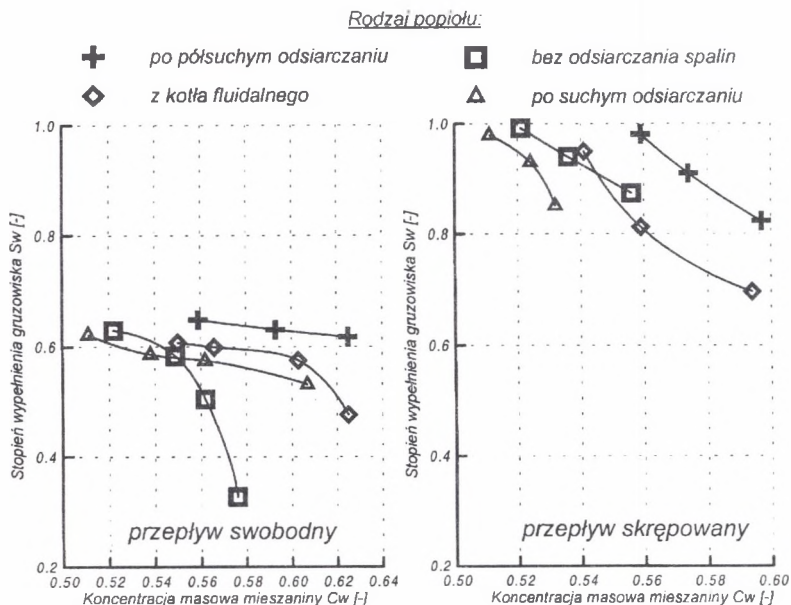
Fig. 8. The influence of slurry's density on the quantity of slurry flowing out from the rubble rock during a free and restricted (cavings closed by dams) flow of slurry



Rys.9. Stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego przy przepływie swobodnym oraz skrępowanym mieszanin popiołowo-wodnych o najlepszych własnościach migracyjnych
 Fig. 9. The filling ratio resulted from free and restricted flow of the best-selected slurry through the rubble rock

Przy doszczelnianiu zrobów mieszaniną popiołowo-wodną wytworzoną z popiołów lotnych ze spalania w kotłach fluidalnych stopień wypełnienia gruzowiska modelowego przy przepływie swobodnym zmieniał się od 47,7% dla mieszaniny o gęstości 1631 kg/m^3 do 60,7% dla mieszaniny o gęstości 1516 kg/m^3 . Przy doszczelnianiu zrobów otamowanych stopień wypełnienia gruzowiska zmieniał się od 69,6% przy gęstości mieszaniny 1582 kg/m^3 do 95% dla mieszaniny o gęstości 1504 kg/m^3 .

Przy doszczelnianiu gruzowiska zawałowego mieszaniną popiołowo-wodną sporządzoną z popiołów lotnych bez odsiarczania spalin stopień wypełnienia zrobów przy swobodnym przepływie zmieniał się od 32,7% przy gęstości mieszaniny 1580 kg/m^3 , do 62,9% dla mieszaniny o gęstości 1499 kg/m^3 . Przy doszczelnianiu zrobów otamowanych stopień wypełnienia gruzowiska zawierał się w przedziale od 87,4% dla mieszaniny o gęstości 1549 kg/m^3 do 99,2% przy gęstości mieszaniny 1498 kg/m^3 .



Rys.10. Wpływ koncentracji masowej mieszanin popiołowo-wodnych na stopień wypełnienia gruzowiska zawalowego przy przepływie swobodnym oraz skrępowanym (zrobry otamowane)

Fig. 10. The influence of mass concentration of slurries on the filling ratio resulted from free and restricted flow of slurry through the rubble rock

Przy wykorzystaniu do doszczelniania gruzowiska zawalowego popiołów lotnych z suchego odsiarczania spalin stopień wypełnienia zrobów przy swobodnym przepływie zmieniał się od 53,1% dla mieszaniny o gęstości 1527 kg/m^3 do 58,6% dla mieszaniny o gęstości 1441 kg/m^3 .

Przy doszczelnianiu zrobów otamowanych stopień wypełnienia gruzowiska zawierał się w przedziale od 85,1% dla mieszaniny o gęstości 1433 kg/m^3 do 97,9% przy gęstości mieszaniny 1406 kg/m^3 .

Właściwości migracyjne badanych mieszanin popiołowo-wodnych wyraźnie maleją wraz ze wzrostem gęstości i spadkiem rozlewności. Zasięg rozptyłu mieszanin popiołowo-wodnych o najwyższych badanych gęstościach, charakteryzujących się rozlewnością mierzoną kubkiem Forda od 13,5 do 16,5cm, nie przekraczał 80% długości stanowiska. Mieszaniny popiołowo-wodne o takiej rozlewności sedimentują w niewielkiej odległości od wylotu rurociągu zasilającego nie gwarantując szczelnego wypełnienia wyrobiska. Stosowany dla oceny zasięgu rozptyłu mieszanin doszczelniających przepływ swobodny wykazał, że wraz ze wzrostem rozlewności mieszanin popiołowo-wodnych wzrasta zasięg migracji. Zasięg rozptyłu mieszanin

o najwyższej rozlewności rzędu $22,5 + 23,5$ cm mierzonej kubkiem Forda jest w zależności od rodzaju popiołów lotnych od 0,5 do 2,7 raza większy niż mieszanin o najniższej rozlewności.

Ilość mieszaniny odpływającej z gruzowiska zawałowego przy przepływie swobodnym zmieniała się od 1,5% przy gęstości mieszaniny 1558 kg/m^3 wykonanej z popiołów lotnych bez odsiarczania spalin do 72,8% dla mieszaniny o gęstości 1401 kg/m^3 wykonanej z popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin. Natomiast przy doszczelnianiu zrobów otamowanych ilość mieszaniny odpływającej przez płótno podsadzkowe zmieniała się od 1,3% dla mieszaniny o gęstości 1440 kg/m^3 wykonanej z popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin do 6% przy gęstości mieszaniny 1504 kg/m^3 wykonanej z popiołów lotnych ze spalania w kotłach fluidalnych.

Gęstość mieszaniny odpływającej ze zrobów przy swobodnym przepływie mieszaniny doszczelniającej przez gruzowisko zmieniała się od 1207 do 1496 kg/m^3 i rosła wraz ze spadkiem gęstości mieszaniny doprowadzanej do gruzowiska, szczególnie wyraźnie dla popiołów bez odsiarczania spalin. Dla zrobów otamowanych gęstość mieszaniny odpływającej przez płótno podsadzkowe była praktycznie równa gęstości wody.

Jeśli chodzi o własności migracyjne mieszanin drobnofrakcyjnych scharakteryzowane rozlewnością, stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego przy stałej rozlewności badanych mieszanin popiołowo-wodnych równej 20 cm (mierzonej kubkiem Forda) zmienił się w zależności od rodzaju popiołów lotnych od 53,6% dla popiołów lotnych bez odsiarczania spalin do 63,2% dla popiołów z półsuchego odsiarczania spalin przy swobodnym przepływie mieszaniny przez zroby oraz od 74,5% dla popiołów lotnych z suchego odsiarczania spalin do 87,4% dla popiołów bez odsiarczania spalin przy przepływie mieszaniny przez zroby otamowane.

Natomiast z porównania badań mieszanin przy stałej koncentracji masowej wynoszącej 0,55, wynika, że stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego zmienił się od około 58% dla popiołów lotnych z suchego odsiarczania i bez odsiarczania spalin, do około 67% dla popiołów z półsuchego odsiarczania spalin przy swobodnym przepływie mieszaniny doszczelniającej przez zroby oraz od 73% dla popiołów z suchego odsiarczania spalin do około 99% dla popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin przy doszczelnianiu zrobów otamowanych.

Uwzględniając analizowane czynniki wpływające na własności migracyjne mieszanin popiołowo-wodnych oraz stopień wypełnienia gruzowiska należy stwierdzić, że najlepszymi

własnościami migracyjnymi spośród badanych mieszanin popiołowo-wodnych charakteryzuje się mieszanina wykonana z popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin. Średni stopień wypełnienia gruzowiska o porowatości około 50% przy gęstości mieszaniny doszczelniającej 1400 kg/m^3 i koncentracji masowej 0,559 wynosi około 81,4%. Ilość możliwych do ulokowania popiołów lotnych w postaci mieszaniny popiołowo-wodnej o takich parametrach wyniesie około 570 kg lub $0,4 \text{ m}^3$ w jednym metrze sześciennym gruzowiska zawałowego. W przeliczeniu na suchy popiół będzie to około 320 kg.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań parametrów doszczelniania gruzowiska zawałowego mieszaninami popiołowo-wodnymi i dokonanej analizy wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Badane mieszaniny popiołowo-wodne charakteryzują się zróżnicowanymi własnościami migracyjnymi zależnymi od rodzaju popiołu lotnego, gęstości i rozlewności. Ze wzrostem gęstości mieszaniny własności migracyjne maleją, natomiast wzrost rozlewności mieszaniny spowodowany spadkiem gęstości zwiększa zasięg rozplywu i stopień wypełnienia gruzowiska mieszaniną doszczelniającą.
2. Stopień wypełnienia modelowego gruzowiska zawałowego w badanym zakresie gęstości i rozlewności mieszanin popiołowo-wodnych, w zależności od rodzaju popiołu lotnego i sposobu doszczelniania zrobów zmieniał się od 32,7 do 64,8% dla przepływu swobodnego (zrobry nie otamowane) oraz od 69,6 do 99,2% dla przepływu skrapowanego (zrobry otamowane).
3. Mieszaniny popiołowo-wodne wytworzone z badanych popiołów lotnych charakteryzują się dobrymi własnościami migracyjnymi przy rozlewności powyżej 20 cm, mierzonej kubkiem Forda.
4. Biorąc pod uwagę stopień wypełnienia gruzowiska i zasięg rozplywu mieszaniny doszczelniającej, najlepszymi własnościami migracyjnymi spośród badanych mieszanin popiołowo-wodnych charakteryzują się mieszaniny wytworzone z popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin.

5. Średni stopień wypełnienia gruzowiska o porowatości około 50% mieszaniną popioło-wo-wodną o gęstości 1400 kg/m^3 i koncentracji masowej 0,56 wykonaną z popiołów lotnych z półsuchego odsiarczania spalin wynosi około 81,4%. Natomiast ilość możliwych do zagospodarowania popiołów lotnych w postaci mieszaniny o takiej gęstości wyniesie około 570 kg w jednym metrze sześciennym gruzowiska zawałowego.

LITERATURA

1. Mazurkiewicz M.: Technologiczne i środowiskowe aspekty stosowania stałych odpadów przemysłowych do wypełniania pustek w kopalniach podziemnych. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo nr 152, Kraków 1990.
2. Palarski J., Plewa F., Mysłek Z.: Parameters of forced hydraulic filling of cavings. 7th Int. Conference Transport and Sedimentation of Solid Particles, Wrocław 1992.
3. Plewa F., Mysłek Z.: Teoretyczne podstawy wyznaczania stopnia wypełnienia rumowiska zawałowego mieszaniną odpadów drobnofrakcyjnych z wodą. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. seria Górnictwo, nr 255, Gliwice 1995.
4. Plewa F., Mysłek Z., Stozik G.: Stopień doszczelnienia zrobów zawałowych w zależności od parametrów mieszaniny drobnofrakcyjnej. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. seria Górnictwo, nr 236, Gliwice 1997.
5. Ropski S., Mazurkiewicz M.: O możliwościach stosowania zawiesiny popiołów lotnych w wodzie w kopalniach podziemnych. Przegląd Górniczy nr 1, 1985.

Recenzent: Dr. hab. Jerzy Sobota

Abstract

The caving areas, which comprise rubble rocks from breaking roof strata, are quite porous. This is a reason for air run-off, raising of temperature, and at the end, self-combustion of coal.

Grouting of cavings with fine-grained slurries is an effective way limitation of these nuisances. Filling of the rock rubble improves ventilation, decreases fire hazard, and reduces deformation of surface resulting from the mining. The paper presents laboratory tests results of grouting of rubble rock with fine-grained slurries. Its aim was to find optimal migration properties, which assure maximal filling of voids. Thus the relationship between density and mass concentration of the slurry and filling ratio, sediment's density, and density of out flowing slurry has been determined (Fig. 5 – 9). The best filling properties have been achieved for slurry made from fly ash from a semi-dry desulphurisation process (Fig. 10). It should be emphasized that the filling properties of fine-grained grouts may be successfully optimized by control of its mass concentration. The optimal mass concentration depends both on the fly ash properties and rubble rock porosity, as well the technology used.