ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: GÓRNICTWO z. 244 Nr kol. 1441

Zdzisław MYSŁEK

HYDRAULICZNE DOSZCZELNIANIE ZROBÓW ZAWAŁOWYCH ODPADAMI DROBNOZIARNISTYMI

Streszczenie. Hydrauliczne doszczelnianie zrobów zawałowych drobnoziarnistymi mieszaninami odpadów przemysłowych, takich jak: popioły lotne i odpady flotacji przyczynia się do poprawy warunków wentylacyjnych, ograniczenia zagrożenia pożarowego i zmniejszenia wpływów eksploatacji zawałowej na deformacje górotworu i powierzchni. O efektach hydraulicznego doszczelniania decyduje w głównej mierze stopień wypełnienia zrobów odpadami drobnoziarnistymi. W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne określania stopnia wypełnienia zrobów oraz wpływu doszczelniania zrobów na wielkość deformacji górotworu i powierzchni w oparciu o badania laboratoryjne i analizę parametrów doszczelniania zrobów w wybranych kopalniach.

HYDRAULIC GROUTING OF CAVING AREAS WITH FINE-GRAINED WASTE

Summary. Hydraulic grouting of caving areas with fine-grained mixture of industrial waste such as fly ashes and flotation tailings contribute to improve ventilation, limitation fire hazard and decreasing of the surface and rock mass subsidence. Efficiency of hydraulic sealing depends mainly from filling degree of cavings. The paper presents a theoretical basis for determination of filling coefficient of cavings and the influence of caving area grouting on rock mass and the surface subsidence on the ground of laboratory research and analysis of parameters of hydraulic grouting in selected coal-mines.

1. Wstęp

Zroby zawałowe powstające podczas eksploatacji podziemnej przez załamywanie się warstw stropowych w wyniku przemieszczenia lub usunięcia obudowy charakteryzują się dużą porowatością, umożliwiającą swobodny przepływ powietrza. Przepływ powietrza przez zroby ma szczególne znaczenie przy eksploatacji węgla skłonnego do samozapalenia, ponie-

waż prowadzi do samozagrzewania resztek węgla w zrobach i powstawania pożarów endogenicznych. Hydrauliczne doszczelnianie zrobów odpadami drobnoziarnistymi prowadzone w ramach profilaktyki przeciwpożarowej eliminuje dostęp powietrza do zrobów, ogranicza możliwość powstawania pożarów podziemnych, a także poprawia warunki wentylacyjne w wyrobiskach eksploatacyjnych i zmniejsza wpływy prowadzonej eksploatacji zawałowej na powierzchnię. Doszczelnianie zrobów zawałowych odpadami drobnofrakcyjnymi może być prowadzone w trakcie biegu ściany lub po zakończeniu jej eksploatacji, bezpośrednio z czoła ściany lub z wyrobisk przyległych, bądź z wyrobisk wyżej leżących, lub z powierzchni przez otwory wiercone w kierunku zrobów, zwłaszcza przy braku dostępu do zrobów z poziomu eksploatacyjnego.

O ilości możliwych do ulokowania w zrobach zawałowych odpadów drobnoziarnistych decyduje wiele czynników, wśród których można wymienić:

- rodzaj i własności warstw stropowych przechodzących w zawał,
- rodzaj i porowatość gruzowiska zawałowego,
- grubość i nachylenie pokładu,
- stopień zaciśnięcia i dostępność zrobów,
- sposób doszczelniania zrobów,
- parametry transportowe i własności migracyjne mieszaniny doszczelniającej.

2. Teoretyczna chłonność zrobów zawałowych

Teoretyczna ilość możliwych do ulokowania odpadów drobnoziarnistych w zrobach jest równa porowatości gruzowiska zawałowego, czyli objętości wolnych przestrzeni w zawale. Porowatość zrobów zawałowych zależy od współczynnika rozluzowania skał stropowych i stopnia zaciśnięcia zrobów. Współczynnik rozluzowania zawału zależy od rodzaju skał stropowych i wynosi 1,15÷1,35 (1,50) [1, 7, 8, 9]. Objętość wolnych przestrzeni gruzowiska zawałowego jest równa różnicy objętości wybranego pokładu i objętości skał przechodzących w zawał:

$$V_{pz} = V_p - V_z \quad [m^3] \tag{1}$$

gdzie:

V_p – objętość wybranego pokładu, m^3,

V_z – objętość gruzowiska zawałowego, m^3,

$$V_z = \frac{V_p}{k_r} \quad [m^3] \tag{2}$$

k_r – współczynnik rozluzowania zawału.

Objętość możliwych do ulokowania w zrobach zawałowych odpadów drobnoziarnistych do wysokości wybranego pokładu wyniesie:

$$V_{od} = V_{pz} \cdot (1 - n_z) \quad [m^3] \tag{3}$$

gdzie:

n_z – stopień zaciśnięcia zrobów.

Podstawiając zależność (1) do wzoru (3), otrzymamy:

$$V_{od} = V_p \cdot \left(1 - \frac{1}{k_r}\right) \cdot (1 - n_z) \qquad [m^3] \tag{4}$$

Natomiast stopień doszczelnienia zrobów zawałowych można określić ze wzoru [3]:

$$n_{wz} = \frac{V_{od}}{V_p} = \left(1 - \frac{1}{k_r}\right) \cdot (1 - n_z) \tag{5}$$

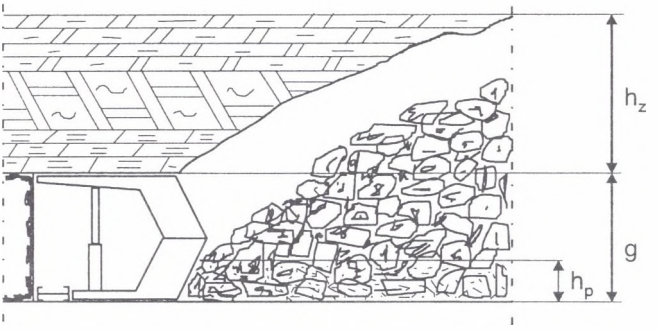
W zależności od wysokości doszczelnianej warstwy zrobów stopień wypełnienia zawału odpadami drobnoziarnistymi zgodnie z oznaczeniami na rys. 1 wyniesie:

$$n_{wz} = \frac{h_p}{g}\left(1 - \frac{1}{k_r}\right) \cdot (1 - n_z) \tag{6}$$

gdzie:

h_p – wysokość doszczelnianej warstwy zawału, m,

g – grubość eksploatowanego pokładu, m.



Rys.1. Schemat doszczelniania zrobów zawałowych mieszaniną drobnoziarnistą
Fig.1.Scheme of filling of cavings with fine - grained mixture

W przypadku gdy mieszanina doszczelniająca wypełnia wszystkie pustki w zawale, czyli:

$$h_p = g + h_z \quad [m] \tag{7}$$

gdzie:

h_z – wysokość zawału, m,

$$h_z = \frac{g}{k_r - 1} \quad [m] \tag{8}$$

$$n_{wz} = 1 - n_z \tag{9}$$

Ilość odpadów ulokowanych w zrobach zawałowych w stosunku do ilości wydobytego węgla można obliczyć z zależności:

$$\frac{m_p}{m_w} = \frac{h_p}{g}\left(1 - \frac{1}{k_r}\right) \cdot (1 - n_z)\frac{\rho_p}{\rho_w} \quad [t/t] \tag{10}$$

gdzie:

ρ_p – gęstość popiołów lotnych w stanie zagęszczonym, t/m^3,

ρ_w – gęstość właściwa węgla, t/m^3,

m_p – masa ulokowanych popiołów, t,

m_w – masa wydobytego węgla, t.

3. Wpływ doszczelniania zrobów zawałowych na wielkość współczynnika osiadania

Wielkość współczynnika osiadania dla eksploatacji zawałowej z doszczelnianiem gruzowiska zawałowego odpadami drobnoziarnistymi można wyznaczyć ze wzoru:

$$a_{z+p} = \frac{V_{nz+p}}{V_p} \tag{11}$$

gdzie:

V_{nz+p} – objętość niecki osiadania dla eksploatacji zawałowej z doszczelnianiem zrobów odpadami drobnoziarnistymi, m^3,

V_p – objętość wyeksploatowanego pokładu, m^3.

Objętość niecki osiadania dla eksploatacji zawałowej z doszczelnianiem zrobów jest równa objętości niecki zawałowej pomniejszonej o objętość niecki, jaka nie powstanie wskutek doszczelnienia zrobów [2]:

$$V_{nz+p} = V_{nz} - V_{nzn} \quad [m^3] \tag{12}$$

gdzie:

V_{nz} – objętość niecki zawałowej, m^3

$$V_{nz} = a_z \cdot V_p \ [m^3] \tag{13}$$

a_z – współczynnik osiadania dla eksploatacji zawałowej, $a_z = 0{,}7 \div 0{,}8$,

V_{nzn} – objętość, o jaką należy pomniejszyć nieckę zawałową w wyniku doszczelnienia zrobów, m^3

$$V_{nzn} = V_{nz} \cdot n_{wz} \cdot (1 - S) \ [m^3] \tag{14}$$

n_{wz} – stopień doszczelnienia zrobów zawałowych,

S – ściśliwość odpadów drobnoziarnistych

$$S = A \cdot \ln(p+1) \tag{15}$$

A – współczynnik zależny od rodzaju odpadów,

p – ciśnienie górotworu, kG/cm^2.

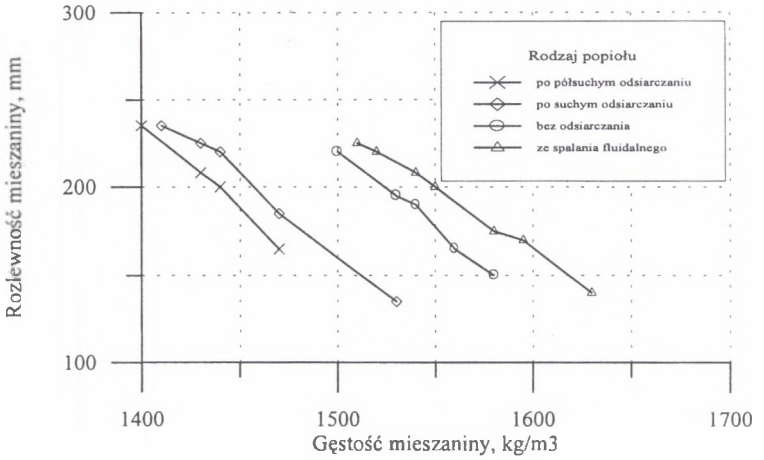
Podstawiając powyższe zależności do wzoru (11), współczynnik osiadania dla zawału doszczelnianego odpadami drobnoziarnistymi wyniesie:

$$a_{z+p} = a_z \left[1 - \frac{h_p}{g} \left(1 - \frac{1}{k_r} \right) \cdot (1 - n_z) \cdot (1 - A \cdot \ln(p+1)) \right] \tag{16}$$

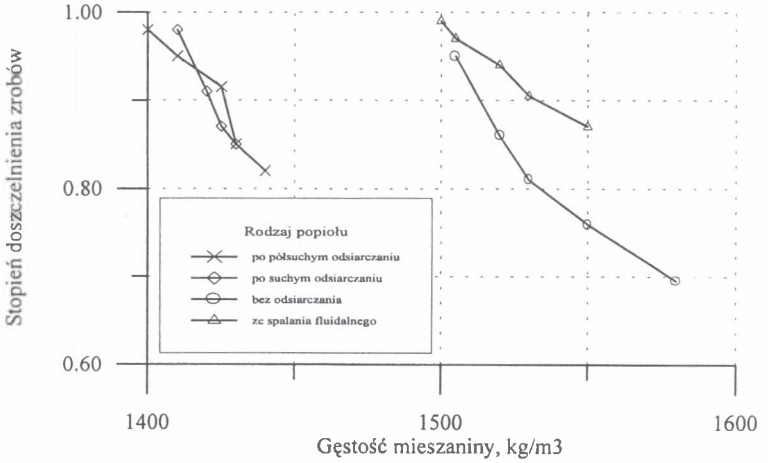
4. Wpływ parametrów mieszaniny drobnoziarnistej na stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego

Stopień wypełnienia gruzowiska zawałowego odpadami drobnoziarnistymi oprócz parametrów samego gruzowiska zależy w głównej mierze od własności mieszaniny doszczelniającej, a zwłaszcza jej gęstości i rozlewności, charakteryzujących własności migracyjne i penetracyjne mieszanin drobnoziarnistych. Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych doszczelniania gruzowiska zawałowego mieszaninami popiołowo– wodnymi, wytwarzanymi z popiołów lotnych pochodzących z Elektrowni „Rybnik" i Elektrociepłowni „Czechowice" [4, 5, 6], których ilustracją są wykresy przedstawione na rys.2 i 3, wynika, że w zależności od rodzaju popiołu lotnego i gęstości mieszaniny stopień doszczelnienia gruzowiska o porowatości około 50% zmieniał się od około 87% dla mieszaniny o gęstości 1550 kg/m^3, co odpowiada koncentracji masowej 56% do 99% dla mieszaniny o gęstości 1500 kg/m^3 i koncentracji 52% przy doszczelnianiu zrobów popiołami bez produktów odsiarczania spalin. Doszczelniając gruzowisko zawałowe popiołami z suchego odsiarczania spalin stopień wypełnienia zrobów zmieniał się od 85% dla mieszaniny o gęstości 1430 kg/m^3 i koncentracji masowej 53% do około 98% dla mieszaniny o gęstości 1405 kg/m^3 i koncentracji około 51%. Stopień doszczelnienia gruzowiska przy stosowaniu popiołów z półsuchego odsiarczania spalin zawierał się od 82% dla mieszaniny o gęstości 1440 kg/m^3 i koncentracji masowej 59% do około 98% dla mieszaniny o gęstości 1400 kg/m^3 i koncentracji 56%. Przy doszczelnianiu gruzowiska popiołami ze spalania fluidalnego stopień doszczelnienia zmieniał się od około 70% dla mieszaniny o gęstości 1580 kg/m^3 i koncentracji masowej 59% do 95% dla mieszaniny o gęstości

1500 kg/m^3 i koncentracji 54%. Biorąc pod uwagę, że dobrymi własnościami migracyjno – penetracyjnymi charakteryzują się mieszaniny popiołowo – wodne przy rozlewności powyżej 200 mm, stopień doszczelnienia gruzowiska modelowego przy takiej rozlewności zmieniał się od 74,5% dla popiołów lotnych z suchego odsiarczania spalin do 87,4% dla popiołów bez odsiarczania spalin. Średni stopień doszczelnienia gruzowiska skalnego dla badanych popiołów przy rozlewności mieszanin równej 200 mm wynosił około 81%.



Rys.2. Wpływ gęstości mieszaniny popiołowo – wodnej na jej rozlewność
Fig.2. Influence density of fly ash – water mixture for the spilling



Rys.3. Stopień doszczelnienia gruzowiska zawałowego w zależności od gęstości mieszaniny popiołowo – wodnej
Fig.3. The grouting coefficient of caving areas in dependence of the fly ash – water mixture density

Przeprowadzona analiza parametrów doszczelniania zrobów zawałowych w kilku kopalniach węgla kamiennego wykazała, że stopień doszczelnienia zrobów w zależności od sposobu i celu doszczelniania oraz rodzaju gruzowiska zawałowego wynosił od 2 do 73%. Średni stopień doszczelnienia zrobów zawałowych w analizowanych kopalniach, biorąc pod uwagę ilość ulokowanych odpadów i teoretyczną chłonność zrobów, wyniósł około 22%. Przyjmując średnią gęstość nasypową popiołów lotnych w stanie zagęszczonym równą 1200 kg/m^3, ilość popiołów lotnych ulokowanych w doszczelnianych zrobach wyniosła około 58 kg na tonę wydobytego węgla.

Analizując wpływ doszczelniania zrobów na wielkość deformacji powierzchni, można stwierdzić, że przy takim stopniu wypełnienia zrobów współczynnik osiadania wyniesie około 0,577, co oznacza spadek w stosunku do jego średniej wartości dla eksploatacji zawałowej o około 17,6%. Porównując wyniki badań laboratoryjnych z parametrami doszczelniania zrobów zawałowych w analizowanych kopalniach, należy stwierdzić, że stopień doszczelnienia zrobów popiołami jest ponad 3,5 razy niższy od wartości optymalnych wynikających z własności migracyjnych mieszanin popiołowo – wodnych.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz oraz rozważań teoretycznych dotyczących hydraulicznego doszczelniania zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi można sformułować następujące wnioski:

- doszczelnianie zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi jest jedną z bardziej efektywnych metod ich zagospodarowania, pozwalającą na poprawę bezpieczeństwa eksploatacji podziemnej i ograniczenie jej wpływów na powierzchnię;
- stopień doszczelnienia gruzowiska zawałowego odpadami drobnoziarnistymi zależy od własności migracyjnych mieszaniny doszczelniającej, rodzaju gruzowiska zawałowego, jego dostępności i stopnia zaciśnięcia oraz sposobu doszczelniania. Mieszaniny popiołowo – wodne posiadają dobre własności migracyjne przy rozlewności mierzonej kubkiem Forda powyżej 200 mm;
- dokonana analiza parametrów doszczelniania zrobów zawałowych mieszaninami popiołowo – wodnymi w kilku kopalniach węgla kamiennego wykazała, że stopień doszczelnienia zmieniał się w szerokim zakresie od 2 do 73%, z czego wynika, że w większości

przypadków technologia ta stosowana jest w ramach profilaktyki przeciwpożarowej, a nie jako sposób ograniczenia wpływów prowadzonej eksploatacji na powierzchnię. Świadczy o tym średni stopień doszczelnienia zrobów na poziomie 22%, który w porównaniu z wartością optymalną wynikającą z własności migracyjnych jest ponad trzykrotnie niższy;

- przedstawione zależności pozwalają określać stopień doszczelnienia zrobów odpadami drobnoziarnistymi i wielkość współczynnika osiadania w zależności od własności mieszaniny doszczelniającej i parametrów gruzowiska zawałowego.

LITERATURA

1. Kochmański T.: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PWN, Warszawa 1956.
2. Mysłek Z.: Wpływ doszczelniania zrobów zawałowych na deformacje powierzchni i górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, nr 232, Gliwice 1996.
3. Mysłek Z., Plewa F.: Teoretyczne podstawy wyznaczania stopnia wypełnienia rumowiska zawałowego mieszaniną odpadów drobnofrakcyjnych z wodą. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, nr 225, Gliwice 1995.
4. Mysłek Z., Palarski J., Plewa F.: „Parameters of forced hydraulic filling of cavings". 7th International Conference "Transport and Sedimentation of Solid Particles", Wrocław 1992.
5. Mysłek Z., Plewa F., Strozik G.: Stopień doszczelnienia zrobów zawałowych w zależności od parametrów mieszaniny drobnofrakcyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, nr 236, Gliwice 1997.
6. Mysłek Z., Palarski J., Plewa F., Strozik G.: Wpływ własności migracyjnych mieszanin drobnofrakcyjnych na parametry doszczelniania zrobów zawałowych. 10th International Conference on Hydromechanisation, Zakopane 1998.
7. Sroka A., Schober F., Sroka T.: Ogólne zależności między wybraną objętością pustki poeksploatacyjnej a objętością niecki osiadania z uwzględnieniem funkcji czasu. Ochrona Terenów Górniczych, nr 79, 1987.
8. Staroń T., Zamojski B.: Wyznaczanie zasięgu deformacji górotworu nad pokładem eksploatowanym z zawałem stropu w świetle pomiarów podziemnych i rozważań teoretycznych. Ochrona Terenów Górniczych, nr 36, 1976.

9. Strzałkowski P.: Doszczelnianie zrobów zawałowych a deformacje powierzchni terenu. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk 1995.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. M. Mazurkiewicz

Abstract

Hydraulic grouting of caving areas with fine – grained industrial waste is one of most effective methods of their disposal, which allow to improve safety of mining works and limitation of the surface subsidence. The filling ratio of caving areas depends on migration properties of grouting mixture, sort of caving and way of grouting. Fly ash – water mixtures have good migration properties at the spilling measured with Ford's cup, higher than 200 mm. The analysis of parameters of sealing of cavings with fly ash – water mixtures in few coal-mines showed filling ratio changes in the wide range from 2 to 73%. It means that in majority of cases this technology is applied as an anti-fire prevention and not as a way for limiting the surface subsidence. The average value of the filling coefficient of caving areas equals 22% attest to, that in comparison with a optimum value is above three times lower. Discussed relations allow to determine the filling coefficient of cavings with fine – grained waste and the value of subsidence coefficient in dependence of mixture properties and parameters of caving areas.