

Franciszek PLEWA\*, Zdzisław MYSŁEK\*\*, Grzegorz STROZIK\*\*

## Zastosowanie odpadów energetycznych do zestalania rumowiska skalnego

**STRESZCZENIE.** Doszczelnianie zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi prowadzone w kopalniach węgla kamiennego ma na celu przede wszystkim zmniejszenie zagrożenia pożarowego. Odcięcie dostępu powietrza do zrobów zapobiega w znacznym stopniu samozagrzewaniu węgla pozostawionego w zawale i zmniejsza ilość pożarów endogenicznych. Równocześnie poprawie ulegają warunki wentylacyjne w ścianie dzięki wyeliminowaniu lub ograniczeniu przepływu powietrza przez zroby. Doszczelnianie zrobów może również istotnie zmniejszyć wpływy prowadzonej eksploatacji pod warunkiem, że w zrobach zostanie ulokowana ilość odpadów zbliżona do ich chłonności. W artykule przedstawiono wyniki analizy doszczelniania zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi w wybranych kopalniach węgla kamiennego pod kątem stopnia ich doszczelnienia.

**SŁOWA KLUCZOWE:** doszczelnianie zrobów zawałowych, odpady drobnofrakcyjne

### Wprowadzenie

Eksploatacja zawałowa stosowana powszechnie przy wybieraniu pokładów węgla kamiennego powoduje powstawanie gruzowiska skalnego warstw stropowych załamujących się za postępującym frontem eksploatacyjnym. Zroby zawałowe charakteryzujące się dużą porowatością umożliwiają swobodny przepływ powietrza, co wpływa na zagrzewanie się

---

\* Prof. dr hab. inż., \*\* Dr inż. – Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice.

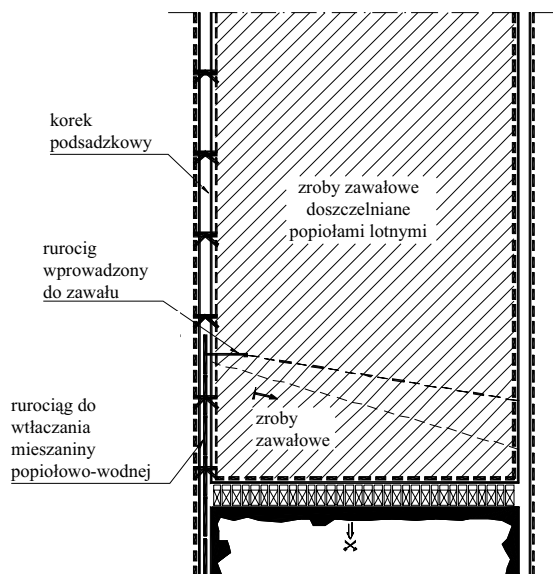
węgla pozostawionego w zrobach i doprowadza do powstawania pożarów endogenicznych. Zagrożenie to jest szczególnie istotne w pokładach skłonnych do samozapalenia, w których czas inkubacji pożaru jest stosunkowo krótki. W celu przeciwdziałania tym niekorzystnym zjawiskom można stosować hydrauliczne doszczelnianie zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi. Mieszanina drobnoziarnistych odpadów energetycznych i górniczych, takich jak popioły lotne czy odpady flotacji o dobrych własnościach migracyjnych, rozplývając się w gruzowisku skalnym szczelnie wypełnia pustki w zawałach, izolując zrobów od dostępu powietrza. Doszczelnianie zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi prowadzone głównie w ramach profilaktyki przeciwpożarowej, przyczynia się także do poprawy warunków wentylacyjnych w ścianie dzięki niekontrolowanemu przepływowi powietrza przez zrobów, ogranicza możliwość gromadzenia się gazów w zrobach oraz zmniejsza wpływy prowadzonej eksploatacji na powierzchnię, zwłaszcza przy szczelnym wypełnieniu zrobów ścian czynnych. Doszczelnianie zrobów zawałowych można prowadzić w czasie biegu ściany lub po zakończeniu eksploatacji, z chodnika nadścianowego lub z czoła ściany. Stare zrobów można natomiast doszczelniać z wyrobisk przyległych, bądź za pomocą otworów wierconych do zrobów z wyrobisk wyżej leżących lub bezpośrednio z powierzchni. O ilości możliwych do ulokowania w zrobach zawałowych odpadów drobnoziarnistych decyduje szereg czynników, do których można zaliczyć: rodzaj skał stropowych przechodzących w zawał i porowatość gruzowiska zawałowego, nachylenie, dostępność i stopień zaciśnięcia i zawodnienia zrobów, a także sposób doszczelniania oraz własności migracyjne i penetracyjne mieszaniny doszczelniającej. Biorąc pod uwagę wymienione czynniki można stwierdzić, że o ilości możliwych do ulokowania odpadów w zrobach zawałowych decyduje w głównej mierze ich chłonność [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Doszczelnianie zrobów zawałowych może być prowadzone bezpośrednio za frontem eksploatacyjnym ściany zawałowej lub w rejonach zakończonej eksploatacji. W tym drugim przypadku chłonność zrobów jest ograniczona na skutek rekonsolidacji gruzowiska pod wpływem ciśnienia górotworu a pierwszym celem prowadzenia doszczelniania starych zrobów jest utylizacja drobnoziarnistych odpadów przemysłowych i słonych wód dołowych.

Najczęściej stosowane jest doszczelnianie zrobów czynnych ścian zawałowych z chodnika nadścianowego. Warianty tej technologii przedstawiono na rysunku 1 (z likwidacją chodnika nadścianowego) i 2 (z rurami pozostawionymi w zawałach) [9].

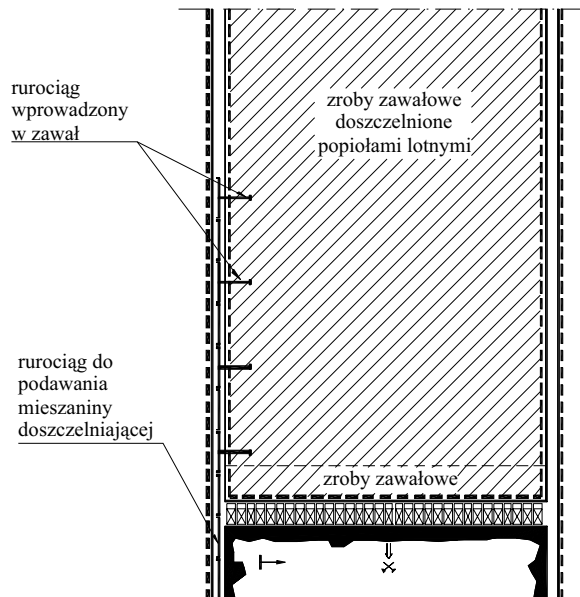
Mieszanina drobnoziarnista wypływa z rurociągu i migruje przez zrobów w kierunku chodnika podścianowego, który od strony zrobów powinien być zabezpieczony tamą boczną. Doszczelnianie zrobów prowadzi się odcinkami 10–15 m do czasu spiętrzenia mieszaniny na tamie w chodniku nadścianowym. Doszczelnianie musi być przerwane w przypadku wypływu mieszaniny do przedziału roboczego ściany lub chodnika podścianowego. W chodniku podścianowym musi być również zapewnione odprowadzanie wody nadmiarowej, aby uniknąć ewentualnego zagrożenia dla prowadzonej eksploatacji. W sytuacji gdy chodnik nadścianowy, z którego prowadzone jest doszczelnianie gruzowiska zawałowego, nie jest likwidowany, rurociąg doszczelniający wprowadzony jest bezpośrednio do zrobów.

Istnieje również metoda polegająca na wtłaczaniu mieszaniny doszczelniającej przez rury umieszczone w ścianie, między sekcjami obudowy i wleczone wraz z ruchem frontu ściany. Z uwagi na złożoność techniczną takiego rozwiązania i trudności z zabezpieczeniem



Rys. 1. Doszczelnianie zrobów zawałowych czynnej ściany z chodnika nadścianowego z jego równoczesną likwidacją

Fig. 1. Grouting of cavings zone behind currently running longwall from the tailgate, which undergoes simultaneous liquidation

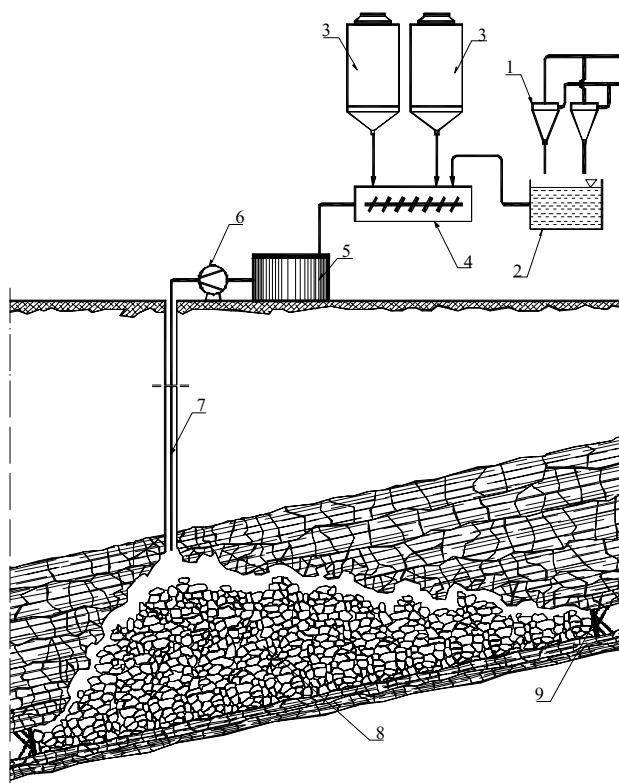


Rys. 2. Doszczelnianie zrobów zawałowych czynnej ściany z chodnika nadścianowego za pomocą ruropięgi wprowadzanej do strefy zawału

Fig. 2. Grouting of a caving zone behind currently running longwall from the tailgate through a pipeline

czoła ściany przed wypływem mieszanki, nie jest ono praktycznie wykorzystywane w polskich kopalniach węgla kamiennego.

Na rysunku 3 przedstawiono jeden z wariantów technologii doszczelniania starych zrobów zawałowych, za pomocą otworów wiertniczych z powierzchni. Alternatywą dla przedstawionego rozwiązania jest doszczelnianie realizowane za pomocą otworów wiertniczych wierconych z sąsiadujących wyrobisk podziemnych. Na rysunku tym przedstawiono również elementy powierzchniowej infrastruktury wytwarzania mieszanki doszczelniającej. W ogólnym przypadku stacja wytwarzania mieszanin powinna mieć możliwość magazynowania niezbędnej ilości odpadów drobnofrakcyjnych i ewentualnie środków wiążących oraz urządzenia dozujące, mieszalnik oraz połączenie z rurociągiem prowadzącym do miejsc lokowania mieszanki. W przedstawionym na rysunku przypadku przewidziano zastosowanie odpadów flotacyjnych z zakładu przerobczego, zwykle wymagających zagęszczenia do wymaganej koncentracji. W przypadku stosowania do wytwarzania mie-



Rys. 3. Doszczelnianie zrobów zawałowych za pomocą otworu wierconego z powierzchni  
 1 – bateria hydrocyklonów, 2 – zbiornik odpadów flotacji, 3 – zbiorniki popiołu, 4 – mieszalnik, 5 – zbiornik mieszanki, 6 – pompa, 7 – rurociąg podsadzkowy, 8 – doszczelniane gruzowisko zawałowe, 9 – tama izolacyjna

Fig. 3. Grouting of cavings through the bore-holes drilled from the ground surface  
 1 – hydrocyclones, 2 – tailings tank, 3 – fly ash tank, 4 – mixer, 5 – grout tank, 6 – pump, 7 – transport pipeline, 8 – grouted cavings, 9 – isolation dams

szaniny doszczelniającej odpadów pochodzenia obcego (jak popiołów lotnych) stacja wytwarzania wyposażona jest w urządzenia do rozładunku wagonów lub autocystern.

## 1. Chłonność zrobów zawałowych

Chłonność lub pojemność zrobów zawałowych to objętość wolnych przestrzeni w gruzowisku zawałowym, która może być wypełniona mieszaniną doszczelniającą. Teoretyczną chłonność zrobów zawałowych można wyznaczyć korzystając ze współczynnika wodnej pojemności zrobów w zależności od systemu wybierania i głębokości eksploatacji [1]. Ze względu na istotne różnice we właściwościach wody i mieszanin drobnoziarnistych, zwłaszcza w zakresie własności migracyjnych, stosowanie współczynnika wodnej pojemności zrobów do wyznaczania teoretycznej chłonności zrobów zawałowych w celu oszacowania stopnia ich doszczelnienia może prowadzić do znaczących błędów. W celu określenia chłonności zrobów zawałowych przeprowadzono analizę parametrów doszczelniania zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi w wybranych kopalniach węgla kamiennego. Analizą objęto 65 ścian zawałowych w 7 kopalniach stosujących różne rodzaje mieszanin doszczelniających i sposoby doszczelniania zrobów. Do wyznaczenia średniego współczynnika chłonności zrobów zawałowych wybrano ściany, w których ulokowano największe ilości mieszanin drobnoziarnistych w stosunku do objętości zrobów w poszczególnych kopalniach. Za teoretyczną chłonność zrobów uznano średnią ważoną ze stopnia wypełnienia zrobów w analizowanych ścianach. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Stopień wypełnienia zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi w ścianach, w których ulokowano największe ilości odpadów dla wybranych kopalń węgla kamiennego

TABLE 1. Fill to voids volumes ratio for grouting of cavings in longwalls with maximal grout injected volumes in selected coal mines

Lp.	Ściana	Pokład	Objętość zrobów [m <sup>3</sup> ]	Objętość wtłoczonej mieszaniny [m <sup>3</sup> ]	Stopień wypełnienia zrobów
1	H-1	408/2	321 000	125 940	0,392
2	3/F	504	489 900	158 300	0,323
3	III/V-w	401/1	82 300	53 800	0,654
4	1,2,3	404/3	548 700	305 000	0,556
5	15/W3	415/1-4	352 700	189 100	0,536
6	16/Z3	415/3-4	191 700	69 150	0,361
7	37/W3	505/1	167 600	142 570	0,850

Z przeprowadzonej analizy wynika, że stopień wypełnienia zrobów w rozpatrywanych ścianach zawiera się w przedziale od 0,323 do 0,850. Średni stopień wypełnienia zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi, a tym samym współczynnik teoretycznej chłonności zrobów dla analizowanych ścian, w których ulokowano najwięcej odpadów drobnoziarnistych wynosi 0,484.

## 2. Stopień doszczelnienia zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi

Wykorzystując wyznaczony współczynnik chłonności zrobów zawałowych określono stopień doszczelnienia zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi w wybranych kopalniach węgla kamiennego. Za stopień doszczelnienia zrobów zawałowych przyjęto stosunek objętości odpadów drobnoziarnistych ulokowanych w zrobach do teoretycznej chłonności zrobów, co można zapisać jako:

$$n_d = \frac{V_{odp}}{V_{tz}} \quad (1)$$

gdzie:  $V_{odp}$  – objętość ulokowanych odpadów w zrobach zawałowych [ $m^3$ ],  
 $V_{tz}$  – teoretyczna chłonność zrobów zawałowych [ $m^3$ ],

$$V_{tz} = k_{cz} \cdot V_z \quad [m^3] \quad (2)$$

$k_{cz}$  – współczynnik chłonności zrobów,  
 $V_z$  – objętość zrobów zawałowych [ $m^3$ ].

Wyniki analizy stopnia doszczelnienia zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi w wybranych kopalniach węgla kamiennego przedstawiono w tabeli 2.

## 3. Analiza stopnia doszczelnienia zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi

Z przeprowadzonych obliczeń stopnia doszczelnienia zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi wynika, że większość z analizowanych kopalń stosuje tę technologię głównie w celu zmniejszenia zagrożenia pożarowego. Stopień doszczelnienia zrobów

TABELA 2. Stopień doszczelnienia zrobów zawalowych odpadami drobnoziarnistymi w wybranych kopalniach węgla kamiennego

TABLE 2. Fill ratios achieved by grouting of cavings in longwalls in selected coal mines

Lp.	Ściana	Pokład	Objętość zrobów [m <sup>3</sup> ]	Chłonność zrobów [m <sup>3</sup> ]	Objętość wtłoczonych odpadów [m <sup>3</sup> ]	Stopień doszczelnienia zrobów
1	M-8	703/1-2	1 003 800	485 840	55 620	0,114
2	M-5	707/2	122 680	59380	6010	0,101
3	M-4	707/2	242 900	117560	8350	0,071
4	C-4	501/3	618 400	299 300	16 000	0,053
5	W-4	417	376 200	182 080	25 700	0,141
6	IV wsch	626	99 500	48 160	9420	0,15
7	G-6	406/1	89 050	43 100	22 970	0,533
8	F-4	407/1	196 800	95 250	17 220	0,181
9	C-4	412	209 700	101 490	19 350	0,191
10	2/H	413	651 300	315 230	39 200	0,124
11	2/F	415	567 400	274 620	36 500	0,133
12	3/F	415	792 400	383 520	68 040	0,177
13	3/G	402	169 350	81960	6 900	0,084
14	2/F	504	698 800	338 220	45 400	0,134
15	4/F	504	486 000	235 220	32 800	0,139
16	2/K	405/1	642 700	311 070	38 600	0,124
17	5/K	405/1	398 700	192 970	16 400	0,085
18	II-VI/V-z	401/1	390 500	189 000	75 900	0,402
19	III-IV/B	401/1	123 900	59 970	26 100	0,435
20	I/V-w	403/1	88 900	43 030	26 700	0,620
21	I-III/III	403/3	202 900	98 200	28 100	0,286
22	1	364/2	144 870	70 120	31 300	0,446
23	3b	401/1	110 670	53 560	12 620	0,235
24	1	401/3	72 000	34 850	13 400	0,384
25	2	402	20 300	9 820	4 170	0,424
26	1b	403/1	710 660	343 960	113 200	0,329
27	1	403/3	400 400	193 790	31 240	0,161
28	2	404/5	23 400	11 320	3 190	0,282
29	27d/C3	417/1-2	156 800	75 890	46 530	0,613

TABELA 2 cd.

TABLE 2 cont.

Lp.	Ściana	Pokład	Objętość zrobów [m <sup>3</sup> ]	Chłonność zrobów [m <sup>3</sup> ]	Objętość wtłoczonych odpadów [m <sup>3</sup> ]	Stopień doszczelnienia zrobów
30	24/W3	502/1	937 500	453 750	123 100	0,271
31	7/ZM	510/1	385 000	186 340	24 370	0,131
32	27c/C3	417/1-2	391 000	189 240	12 180	0,064
33	18a/C3	409/1-2	210 000	101 640	8 990	0,088
34	1a-21,22	504/2	328 300	158 900	46 200	0,291
35	34/W2	505/1	516 000	249 740	16 670	0,067
36	20/z1	502/1	85 250	41 260	19 600	0,475
37	17,18/Z1	501/1-2	138 300	66 940	27 500	0,411
38	11	505/1	83 500	40 410	7 700	0,190
39	24/W3	502/1	318 800	154 300	32 400	0,210
40	27/C3	417/1-2	40 800	197 470	38 750	0,196
41	29/W3	417/1	807 800	390 970	127 460	0,326
42	32a/W2	502/1	504 000	243 930	55 650	0,228
43	2/F	505/1	76 200	36 880	12 840	0,348
44	2	501	2 018 150	976 780	39 540	0,040
45	2	502/2	393 000	190 200	16 180	0,085
46	4,5	419/1	772 600	373 90	14 500	0,039
47	1	414/1	510 450	247 060	8 240	0,033
48	4	410/1	573 400	277 520	16 850	0,061
49	6	409/1	366 600	177 430	10 300	0,058
50	4	408/4	508 150	245 940	20 440	0,083
51	4a	408/1	348 700	168 770	20 530	0,122
52	1,2	407/1	440 900	213 400	28 650	0,134
53	8	404/5	569 260	275 520	21 320	0,077
54	C-5	404/3	128 800	62 340	16 840	0,270
55	C-6	404/3	172 500	83 490	8 590	0,103
56	C-6	406/2	327 600	158 560	13 880	0,087
57	M-2	417/1-2	179 200	86 730	7 630	0,088
58	M-1	501/2	460 800	223 030	22 820	0,102



w analizowanych kopalniach zawiera się w przedziale od 0,033 do 0,620. Średni stopień doszczelnienia dla analizowanych ścian wynosi 0,154. Stopień doszczelnienia zrobów poniżej 0,2 pozwala jedynie na utworzenie warstwy izolacyjnej wzdłuż chodnika podścianowego w celu odcięcia zrobów od dostępu powietrza i zmniejszenia zagrożenia pożarowego. W 37 ścianach uzyskano stopień doszczelnienia zrobów zawałowych poniżej 0,2, w 12 stopień doszczelnienia kształtował się na poziomie 0,2–0,4, a jedynie w 9 ścianach uzyskano stopień doszczelnienia powyżej 0,4. Stopień doszczelnienia większy od 0,4 pozwala nie tylko na zmniejszenie zagrożenia pożarowego i poprawę warunków wentylacyjnych w ścianie, ale także na istotne ograniczenie wpływów prowadzonej eksploatacji na powierzchnię.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy doszczelniania zrobów zawałowych mieszaninami drobnoziarnistymi w wybranych kopalniach węgla kamiennego można sformułować następujące wnioski:

1. Doszczelnianie zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi prowadzone głównie w ramach profilaktyki przeciwpożarowej może przyczynić się do zmniejszenia wpływów eksploatacji na powierzchnię, pod warunkiem, że ilość włączanych odpadów do zrobów będzie zbliżona do ich teoretycznej chłonności.
2. Współczynnik chłonności zrobów zawałowych służący do określania stopnia ich doszczelnienia wyznaczony dla analizowanych ścian wynosi 0,484.
3. Stopień doszczelnienia zrobów w analizowanych kopalniach węgla kamiennego zawierał się w przedziale od 0,033 do 0,620.
4. W 63,8% analizowanych ścian stopień doszczelnienia zrobów wynosił poniżej 0,2, co oznacza, że doszczelnianie prowadzone było jedynie w celu zmniejszenia zagrożenia pożarowego. Taki stopień doszczelnienia nie pozwala na istotne zmniejszenie wpływów prowadzonej eksploatacji na powierzchnię.
5. Stopień doszczelnienia zrobów powyżej 0,4, który pozwala na ograniczenie wpływów prowadzonej eksploatacji na powierzchnię, uzyskano jedynie w 15,5% analizowanych ścian.

## Literatura

- [1] Komunikat GIG-u nr 624. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1974.
- [2] MAZURKIEWICZ M., PIOTROWSKI Z., TAJDUŚ A., 1997 – Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków.
- [3] MYSŁEK Z., 1996 – Wpływ doszczelniania zrobów zawałowych na deformacje powierzchni i górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo nr 232, Gliwice.

- [4] MYSŁEK Z., 1999 – Hydrauliczne doszczelnianie zrobów zawałowych odpadami drobnoziarnistymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo nr 244, Gliwice.
- [5] PALARSKI J., PLEWA F., MYSŁEK Z., 1992 – Parameters of forced hydraulic filling of cavings. 7<sup>th</sup> International Conference "Transport and Sedimentation of Solid Particles" Wrocław.
- [6] PALARSKI J., PLEWA F., MYSŁEK Z., STROZIK G., 1998 – Wpływ własności migracyjnych mieszanin drobnofrakcyjnych na parametry doszczelniania zrobów zawałowych. 10<sup>th</sup> International Conference on Hydromechanisation, Zakopane.
- [7] PLEWA F., MYSŁEK Z., 1995 – Teoretyczne podstawy wyznaczania stopnia wypełnienia rumowiska zawałowego mieszaniną odpadów drobnofrakcyjnych z wodą. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo nr 225, Gliwice.
- [8] PLEWA F., MYSŁEK Z., STROZIK G., 1997 – Stopień doszczelnienia zrobów zawałowych w zależności od parametrów mieszaniny drobnofrakcyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo nr 236, Gliwice.
- [9] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 – Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSŁEK, Grzegorz STROZIK

## The use of power station waste for reconsolidation of cavings

### Abstract

Grouting of cavings with fine-grained slurries is aimed mainly on reduction of fire hazard. Elimination of air penetration reduces ability of coal rests to spontaneous ignition and finally reduces number of endogenic underground fires. Additionally, improvement of ventilation conditions occurs as a result of insulation of cavings and elimination of air lost. Grouting of cavings is also able to reduce mine subsidence. However this is possible only in a case when amount of injected grout nears the absorptive properties of the cavings. The paper presents results of data analysis gathered from 65 longwalls (tables 1 and 2), where grouting of cavings has been adopted for above mentioned purposes. Absorption of cavings has been defined as the ratio of volume of grout being injected into voids to volume of space extracted by the mining ( $k_{cz}$ ) calculated as an average value for set of data from cases where the amount grout injected into cavings was highest (tab. 1). Value of absorption index  $k_{cz}$  has been found to be equal 0,484. Level of filling for all other longwalls have been calculated using formulas (1) and (2) with absorption index  $k_{cz} = 0,484$  as a reference value. Analysis have show that nearly 68% of analyzed longwalls have been grouted with fill ratio below 0,2 with minimal value equal to 0,033. Only in 15,5% cases the fill ratio was higher than 0,4 with maximal value of 0,62, which is required to achieve any influence of grouting of cavings on mine subsidence reduction.

KEY WORDS: grouting of cavings, fine-grained waste, power station waste