

Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSLEK

## PRZEGLĄD METOD ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW DROBNOFRAKCYJNYCH W WYROBISKACH KOPALNIANYCH W ŚWIETLE WŁASNYCH BADAŃ I DOŚWIADCZEŃ

**Streszczenie.** Drobnofrakcyjne odpady przemysłowe zarówno górnicze, jak i energetyczne stanowią poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego w przypadku powierzchniowego składowania. Jedną z bardziej efektywnych metod ich zagospodarowania jest wykorzystanie w podziemnych technologiach górniczych. Istnieje szereg metod lokowania odpadów drobnofrakcyjnych w podziemnych wyrobiskach górniczych. W referacie przedstawiono analizę metod hydraulicznego lokowania odpadów drobnofrakcyjnych obejmujących między innymi:

- podsadzkę samozestalającą,
- doszczelnianie i izolowanie zrobów zawałowych,
- wykonywanie pasów i korków podsadzkowych,
- wypełnianie pustek w górotworze otworami wierconymi z powierzchni.

## REVIEW OF UTILIZATION METHODS OF FINE-GRAINED INDUSTRIAL WASTE IN UNDERGROUND WORKINGS FROM THE POINT OF THE AUTHOR'S RESEARCHES AND EXPERIMENTS

**Summary.** Fine-grained waste, either from mining and power industry, create considerable environmental hazards when deposited on the Earth's surface. Sufficiently effective methods of their utilization offer mining technologies. A range of methods of fine-grained waste depositing in underground workings exist. The paper presents analysis of following methods of hydraulic placement of fine-grained waste:

- stabilized backfill,
- isolation and sealing of caving areas,
- construction of backfill packs and plugs,
- filling of rockmass voids by holes drilled from the ground surface.

## ПРОСМОТР МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ МЕЛКОФРАКЦИОННЫХ ОТХОДОВ В ШАХТНЫХ ВЫРАБОТКАХ НА ОСНОВЕ ЛИЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Резюме.** Мелкофракционные отходы, так промышленные, как и горные представляют серьёзную угрозу для окружающей среды в случае складирования их на поверхности. Одной из более эффективных методов их освоения, есть использование в подземных горных технологиях. В настоящее время существует ряд методов депонирования мелкофракционных отходов в подземных горных выработках. В докладе представлено анализ методов гидравлического депонирования мелкофракционных отходов охватывающий:

- самозатвердывающую закладку,
- доуплотнение и изолирование выработанного пространства,
- возведение бутовых полос и закладочных пробок,
- заполнение, из поверхности, свободных пространств в горном массиве с использованием буровых скважин.

### 1. WSTĘP

Działalności górniczej towarzyszy szereg skutków wywierających ujemny wpływ na środowisko naturalne. Przejawiają się one przede wszystkim w powstawaniu szkód górniczych na powierzchni, jak również w zanieczyszczeniu wód powierzchniowych, powietrza atmosferycznego, a także w zwiększającej się powierzchni zdegradowanych i przekształconych terenów.

Brak właściwego rozwiązania tych problemów w odpowiednim czasie może spowodować określone trudności w podejmowaniu decyzji eksploatacyjnych. Przyjęte w strategii rozwoju gospodarczego preferencje na rzecz ochrony i kształtowania środowiska stawiają przed górnictwem określone zadania dostosowania eksploatacji do wymogów ekologicznych. Deformacje górotworu i powierzchni w rejonie prowadzonej eksploatacji złoża można ograniczyć stosując między innymi podsadzanie, włączanie zaczynów wiążących i wypełniających do górotworu lub gruzowiska zawałowego oraz wykonując wytrzymałe pasy podsadzkowe zastępujące filary złożowe. Tradycyjna technika podsadzania piaskiem lub skruszoną skałą płoną nie zapewnia sztywnego podparcia stropu. Obniżenia stropu przy takiej podsadźce wahają się od 10 do 40% w zależności od ciśnienia górotworu wywieranego na podsadźkę, porowatości i rodzaju materiału podsadzkowego oraz sposobu podsadzania i tamowania.

Źle wykonana podsadzka przy dużych powierzchniach wybrania może potęgować zagrożenie tapaniami, a poprzez działanie obciążające niszczyć filary podporowe.

Roboty podsadzkowe wzmacniające zruszony górotwór jako element profilaktyki górniczej sprowadzają się najczęściej do:

- wypełniania starych, niedostępnych wyrobisk i rumowisk zawałowych w górotworze przez otwory wiertnicze i iniekcyjne z powierzchni lub sąsiednich wyrobisk,
- doszczelnianie rumowiska zawałowego w ścianach lub komorach natychmiast po wystąpieniu zawału.

Doszczelnianie gruzowiska zawałowego i gruboziarnistej podsadzki suchym materiałem drobnofrakcyjnym pozwala zmienić charakterystykę fizyczną luźnego materiału, a tym samym wpłynąć na zminimalizowanie deformacji powierzchni. Należy jednak pamiętać, że nie każde gruzowisko zawałowe może doszczelnić całkowicie.

W zależności od celu, jaki chce się osiągnąć, doszczelnianie może być prowadzone w skali makro lub lokalnie. Z doszczelnianiem na dużą skalę mamy do czynienia w przypadku wtłaczania do pól zawałowych popiołów lotnych i odpadów poflotacyjnych kopalń rud.

Doszczelnianie zrobów zawałowych posiada również duże znaczenie w górnictwie węglowym, gdzie doszczelnia się zrobry popiołami lotnymi lub mieszaniną popiołów lotnych i odpadów poflotacyjnych. Stosowane jest głównie w celach profilaktyki przeciwpożarowej i pozwala poza ograniczeniem ilości pożarów endogenicznych na poprawę warunków wentylacyjnych, zmniejszenie zagrożenia metanowego oraz na ograniczenie wpływu prowadzonej eksploatacji zawałowej na deformację górotworu i powierzchni.

Ilość możliwych do ułożenia w zrobach zawałowych popiołów lotnych zależy od wielu czynników, wśród których do najważniejszych można zaliczyć:

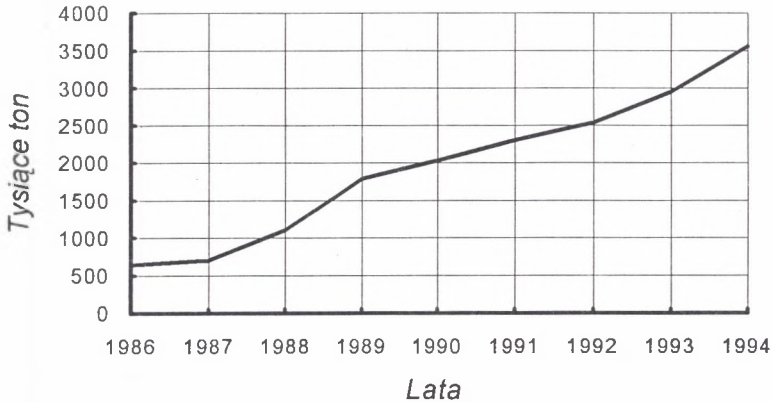
- rodzaj gruzowiska zawałowego,
- porowatość i wysokość zawału,
- rodzaj i własności warstw stropowych,
- grubość i nachylenie pokładu,
- stopień zaciśnięcia zrobów,
- dostępność zrobów,
- własności migracyjne i penetracyjne mieszaniny doszczelniającej,
- sposób doszczelniania zrobów zawałowych.

Pojawiają się publikacje dotyczące doszczelniania zrobów zawałowych popiołami lotnymi, w których opierając się na pojedynczych liniach obserwacyjnych, przy małych powierzchniach wybierania twierdzi się, że współczynnik osiadania „a” należy dla takiego sposobu likwidacji zrobów przyjmować w przedziale  $0.5 \div 0.55$  (0.60). Natomiast doświadczenia niemieckie w doszczelnianiu zawału przy zastosowaniu technologii zapewniającej lepszą penetrację zawału niż w stosowanych polskich rozwiązaniach wykazują, że mieszanina popiołów lotnych i odpadów poflotacyjnych rozpyla się w gruzowisku zawałowym na wysokość do dwukrotnej grubości eksploatowanego pokładu. Interesujące jest również stwierdzenie, że wtłoczona mieszanina o koncentracji wagowej  $70 \div 80\%$  po kilkumiesięcznym okresie zawiera w polu zawałowym nadal od 12 do 18% wody, co oznacza półpłynną konsystencję mieszaniny i równocześnie małą chłonność wody przez otaczające skały.

Podstawą do interpretacji efektywności doszczelniania musi być stosunek objętości wtłoczonych części stałych (bez uwzględnienia wody) do objętości przestrzeni poeksploatacyjnej pozostałej po wybraniu złoża.

Dużą uciążliwością dla środowiska naturalnego cechują się odpady elektrowniane z uwagi na ich ogromne ilości. Odpady te wymagają zagospodarowania, ponieważ lokowane dotychczas na składowiskach powierzchniowych są szczególnie uciążliwe dla środowiska ze względu na znaczne pylenie oraz zanieczyszczanie wód gruntowych. Ilość wytwarzanych popiołów lotnych przez elektrownie Południowego Okręgu Energetycznego wynosi około 6 mln ton rocznie, a w zakładach przerobczych kopalń węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego powstaje około 4 mln ton odpadów poflotacyjnych. Względny ochrony środowiska spowodowały, że od połowy lat osiemdziesiątych kopalnie węgla kamiennego zaczęły na znaczną skalę wykorzystywać drobnofrakcyjne odpady przemysłowe w podziemnych technologiach górniczych. Szczególnie wyraźnie dotyczy to popiołów lotnych, których zagospodarowanie w podziemnych wyrobiskach górniczych wykazuje w ostatnich latach stałą tendencję wzrostową, co ilustruje wykres przedstawiony na rys. 1. Na ogólną liczbę 70 kopalń węgla kamiennego 47 kopalń wykorzystuje popioły lotne w podziemnych technologiach górniczych, głównie do doszczelniania zrobów zawałowych. Średnie zagospodarowanie popiołów lotnych przez jedną kopalnię wyniosło w roku 1994 około 80000 ton.

Popioły lotne mogą być lokowane w wyrobiskach podziemnych na „sucho” lub na „mokro”. Znacznie bardziej rozpowszechniona jest metoda polegająca na hydraulicznym, grawitacyjnym lub pompowym transporcie mieszaniny popiołowo-wodnej w rurociągach.



Rys. 1. Zagospodarowanie popiołów lotnych przez kopalnie węgla kamiennego

Fig. 1. Utilisation of fly ashes in coal mines

Hydrauliczne lokowanie drobnofrakcyjnych odpadów w podziemnych wyrobiskach górniczych obejmuje między innymi:

- podszkłę samozestalającą,
- doszczelnianie i izolowanie zrobów zawalowych
- wykonywanie pasów i korków podsadzkowych,
- doszczelnianie podsadzki pneumatycznej,
- wypełnianie pustek w górotworze otworami wierconymi z powierzchni.

W zależności od metody lokowania hydromieszanina drobnofrakcyjna powinna charakteryzować się określonymi własnościami fizyko mechanicznymi.

## 2. METODY HYDRAULICZNEGO LOKOWANIA DROBNOFRAKCYJNYCH ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH W PODZIEMNYCH WYROBISKACH GÓRNICZYCH

Podsadzka samozestalająca wytwarzana na bazie drobnofrakcyjnych odpadów przemysłowych jest alternatywą dla klasycznej podsadzki hydraulicznej opartej głównie na piasku. Odpady drobnofrakcyjne ze względu na uziarnienie, ściśliwość i wodoprzepuszczalność nie spełniają wymagań normy PN-93/G-11001 dla materiałów do podsadzki hydraulicznej, nie mogą być zatem stosowane jako składnik takiej podsadzki, której zadaniem jest wypełnienie pustki poeksploatacyjnej, podparcie stropu oraz ograniczenie deformacji górotworu i powierzchni. Podsadzka samozestalająca wytwarzana na bazie drobnofrakcyjnych odpadów przemysłowych może również spełnić to zadanie, pod warunkiem że będzie posiadać zdolność do samozestalania. W przypadku gdy odpady drobnoziarniste charakteryzują się słabymi własnościami wiążącymi lub nie posiadają ich wcale, należy dla uzyskania efektu samozestalania stosować dodatkowe środki wiążące w postaci cementu, wapna, gipsu lub anhydrytu.

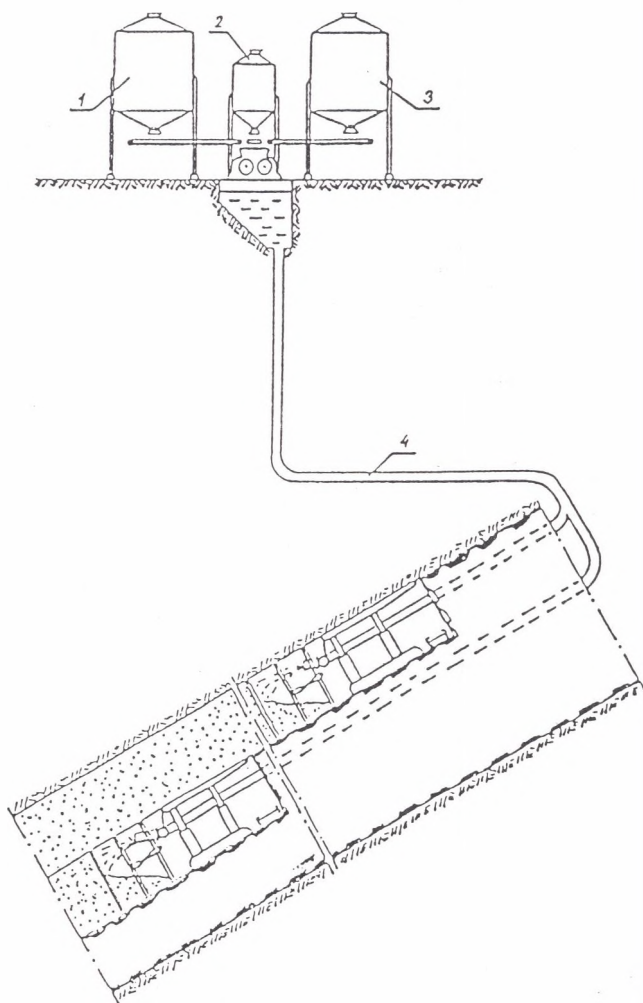
Podstawowymi składnikami podsadzki samozestalającej wytwarzanej na bazie drobnofrakcyjnych odpadów są popioły lotne i odpady poflotacyjne. Popioły lotne, w zależności od tego, czy są to popioły lotne z węgla kamiennego czy brunatnego, z procesu odsiarczania spalin, czy popioły bez odsiarczania spalin, charakteryzują się zróżnicowanymi własnościami wiążącymi, generalnie wykazują jednak pewne własności wiążące. Natomiast odpady poflotacyjne nie wykazują takich własności. W zależności od proporcji popiołów lotnych do odpadów poflotacyjnych ilość dodawanego środka wiążącego powinna być taka, aby wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach zestalania wynosiła co najmniej 1 MPa. Z reguły ilość dodawanego środka wiążącego nie powinna przekraczać kilku procent. Dla cementu portlandzkiego marki 350 ilość ta wynosi maks. 4% wagowo. Przy wyższej zawartości cementu podsadzka staje się zbyt droga. Dodatkowym wymaganiami przy stosowaniu podsadzki jest to, aby proces zestalania odbywał się bez oddawania wody. Podsadzka po zestaleniu powinna być odporna na rozmakanie w kontakcie z wodami podziemnymi, a czas

zestawienia hydromieszanki powinien się zawierać między kolejnymi cyklami podszadania, wynikającymi z przyjętej technologii eksploatacji.

Dla spełnienia wyżej wymienionych wymagań ilość wody w mieszaninie podsadzkowej nie zawsze może odpowiadać wymogom hydraulicznego grawitacyjnego transportu. Wówczas dla doprowadzenia zagęszczonej hydromieszanki do miejsc podszadania konieczne jest zastosowanie wspomagającego układu pompowego. Ponieważ drobnofrakcyjne hydromieszanki o dużej koncentracji cząstek stałych wykazują cechy cieczy nienewtonowskich, w celu wyznaczenia parametrów hydraulicznego transportu należy dobrać odpowiedni model reologiczny. Przykład instalacji do wytwarzania i transportu podsadzki samozestawiającej przedstawiono na rys. 2.

### **2.1. Hydrauliczne doszczelnianie zrobów zawałowych mieszaniną drobnofrakcyjną**

Zroby zawałowe powstające w czasie eksploatacji podziemnej przez załamywanie się warstw stropowych w wyniku przemieszczenia lub usunięcia obudowy charakteryzują się dużą porowatością umożliwiającą swobodny przepływ powietrza. W przypadku wybierania węgla skłonnego do samozapalenia ma to szczególne znaczenie, gdyż prowadzi do zagrzewania zrobów i powstawania pożarów podziemnych. Hydrauliczne doszczelnianie zrobów odpadami drobnofrakcyjnymi eliminuje dostęp powietrza, ogranicza możliwość powstawania pożarów endogenicznych i poprawia warunki wentylacyjne w wyrobiskach eksploatacyjnych. Doszczelnianie zrobów zawałowych może być prowadzone w trakcie eksploatacji lub po jej zakończeniu, bezpośrednio z czoła wyrobisk eksploatacyjnych, z wyrobisk przyległych lub wyżej leżących przez otwory wiercone w kierunku zrobów, szczególnie w przypadku braku dostępu z poziomu eksploatacyjnego. Jedno z przykładowych rozwiązań hydraulicznego doszczelniania zrobów zawałowych odpadami drobnofrakcyjnymi przedstawiono na rys. 3.



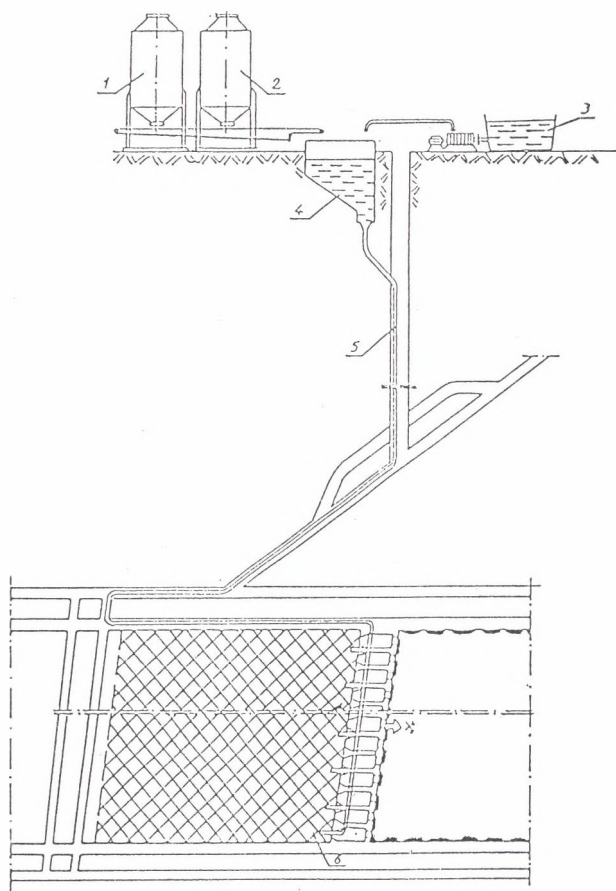
Rys.2. Instalacja do wykonywania i transportu podsadzki samozestalającej:

- 1 - zbiornik popiołu, 2 - zbiornik cementu, 3 - zbiornik odpadów poflotacyjnych,  
4 - rurociąg podsadzkowy

Fig.2. The infrastructure for preparation and transportation of stabilised backfill.

- 1 - fly ash tank, 2 - cement tank, 3 - flotation tailing tank, 4 - backfill pipeline





Rys.3. Hydrauliczne doszczelnianie zrobów zawalowych:

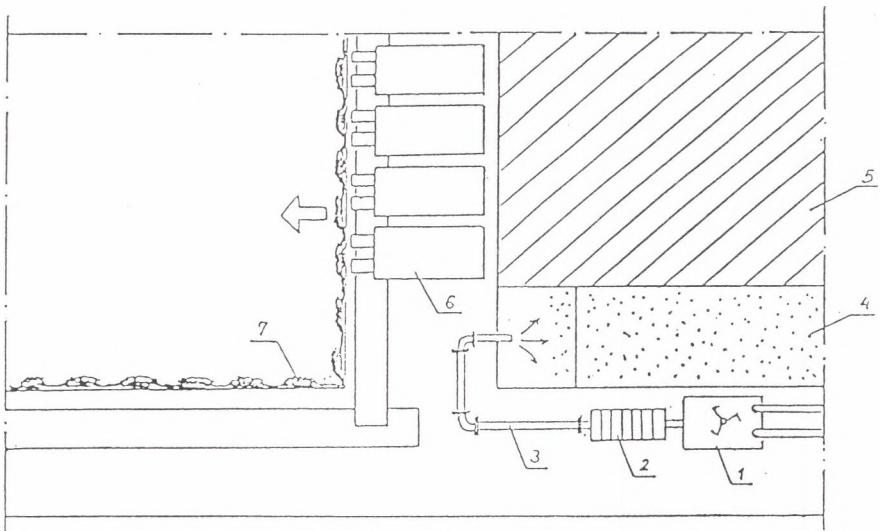
1 - zbiornik popiołu, 2 - zbiornik odpadów poflotacyjnych, 3 - zbiornik wody, 4 - zbiornik mieszaniny, 5 - rurociąg transportowy, 6 - doszczelniane zroby zawalowe

Fig.3. Hydraulic filling of cavings:

1 - fly ash tank, 2 - flotation tailing tank, 3 - water tank, 4 - mixture tank, 5 - transportation pipeline, 6 - caving area

## 2.2. Wykonywanie pasów i korków podsadzkowych

Dla ochrony wyrobisk korytarzowych prowadzonych wzdłuż wyrobisk eksploatacyjnych stosuje się różne sposoby zabezpieczeń, w tym, między innymi, pasy podsadzkowe. Dotychczas pasy podsadzkowe wykonywane były jako pasy anhydrytowe. Równie dobrym materiałem na pasy podsadzkowe okazały się popioły lotne. W przypadku konieczności uzyskania większych wytrzymałości pasów podsadzkowych należy dodawać odpowiednią ilość cementu. Ponieważ jednorazowa ilość popiołów lotnych potrzebna na wykonanie odcinka pasa podsadzkowego, wynikająca z postępu ściany, nie jest zbyt duża, rzędu kilkunastu metrów sześciennych, do wytwarzania mieszaniny popiołowo-wodnej wykorzystuje się z reguły instalacje dołowe. Przykład instalacji do wykonywania pasów podsadzkowych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Instalacja do wykonywania pasów podsadzkowych:

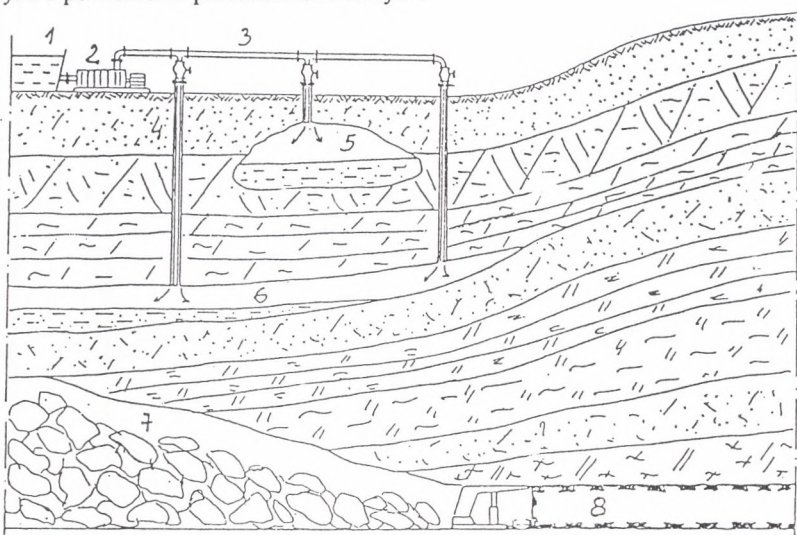
1 - mieszalnia, 2 - pompa, 3 - rurociąg, 4 - pas podsadzkowy, 5 - zawal, 6 - obudowa, 7 - pokład węgla

Fig. 4. Technology of backfill packs preparation:

1 - mixer, 2 - pump, 3 - pipeline, 4 - backfill pack, 5 - caving, 6 - support, 7 - coal seam

### 2.3. Wypełnianie pustek w górotworze otworami wierconymi z powierzchni

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje przemieszczanie mas górotworu i powstawanie pustek niedostępnych zarówno z powierzchni, jak i z podziemnych wyrobiskach górniczych. Znane są płytko zalegające pustki w górotworze powstałe w wyniku dawnej eksploatacji, które mogą być przyczyną deformacji nieciągłych na powierzchni oraz pustki wywołane eksploatacją współczesną, powstające na kontakcie warstw o różnej prędkości deformacji, czyli tzw. pustki Webera. Do wypełniania takich pustek szczególnie nadają się odpady drobnofrakcyjne, które w postaci zawiesiny wodnej charakteryzują się dobrymi własnościami migracyjnymi i penetracyjnymi. Hydrauliczne wypełnianie niedostępnych pustek w górotworze odbywa się poprzez otwory wiercone z powierzchni do stropu pustki i polega na wtłaczaniu mieszaniny aż do wystąpienia braku chłonności. Przykład instalacji do wypełniania pustek otworami wierconymi z powierzchni przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wtłaczanie mieszanin drobnofrakcyjnych do pustek w górotworze otworami wierconymi z powierzchni:

1 - zbiornik hydromieszaniny, 2 - pompa, 3 - rurociąg, 4 - otwór wierniczy, 5 - pustka płytko zalegająca, 6 - pustka Webera, 7 - zawal, 8 - pokład węgla

Fig.5. Fine-grained waste mixtures injection into voids in rockmass from the ground surface:

1 - mixture tank, 2 - pump, 3 - pipeline, 4 - drill hole, 5 - shallow void, 6 - Weber's void, 7 - caving, 8 - coal seam

### 3. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA ZASOLONYCH WÓD KOPALNIANYCH W PODZIEMNYCH WYROBISKACH GÓRNICZYCH

Zagospodarowanie drobnofrakcyjnych odpadów górniczych i energetycznych oraz silnie zasolonych wód kopalnianych do wytwarzania emulgatu lub w podsadźce samozestalającej należy uznać za jedną z bardziej racjonalnych metod ich utylizacji. Ponieważ sposób zagospodarowania w postaci emulgatu jest prosty i nie wymaga szerszego omawiania, dlatego też zostanie szerzej omówiona technologia podsadzki samozestalającej. Podsadzka samozestalająca wytwarzana na bazie solanki mogłaby znaleźć zastosowanie do likwidacji zbędnych wyrobisk w górnictwie solnym, gdzie z przyczyn technicznych nie można stosować wody słodkiej jako czynnika nośnego podsadzki. W artykule zostaną przedstawione wyniki badań wpływu silnie zasolonych wód kopalnianych i solanki na podstawowe własności fizyko-mechaniczne podsadzki samozestalającej wytwarzanej na bazie popiołów lotnych z Elektrowni „Jaworzno III” i „Rybnik”.

#### 3.1. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Do badań własności fizykomechanicznych podsadzki samozestalającej użyto popiołów lotnych z Elektrowni „Rybnik” i „Jaworzno III”, solanki o stężeniu NaCl 330 g/dm<sup>3</sup> oraz silnie zasolonej wody o stężeniu NaCl 165 g/dm<sup>3</sup>, a także jako dodatkowego środka wiążącego - cementu portlandzkiego marki 350.

Pod względem składu ziarnowego użyte do badań popioły lotne należy zaliczyć do sortymentu drobnego. Natomiast pod względem składu chemicznego do popiołów krzemianowych.

#### 3.2. Wyniki badań własności fizykomechanicznych podsadzki samozestalającej

Badaniami własności fizykomechanicznych mieszanin podsadzki samozestalającej objęto czas wiązania, nośność w okresie wiązania i doraźną wytrzymałość na ściskanie próbek podsadzki sezonowanych w warunkach powietrznosuchych i w komorze klimatyzacyjnej przy wilgotności powietrza 100%. Udział wody w badanych mieszaninach wynikał z własności

transportowych mierzonych ich rozlewnością, którą określono na poziomie 25 cm. Masowe składy badanych mieszanin podsadzki samozestalającej zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

## Skład masowy badanych mieszanin podsadzki samozestalającej

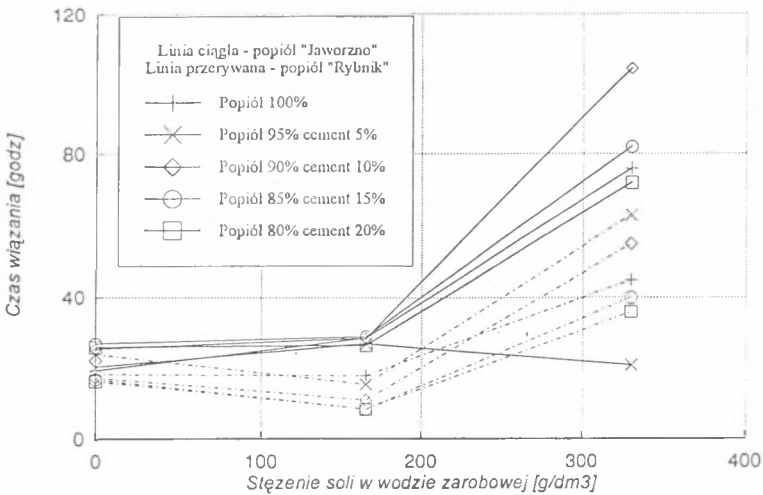
Lp.	Numer mieszaniny	Rodzaj popiołu	Udział [%] części stałych		Udział [%] wody w mieszaninie przy stężeniu soli [g/dm <sup>3</sup> ]		
			Popiół	Cement	330	165	0
1	1	Jaworzno	100	0	21.7	21.0	19.5
2	2	Jaworzno	95	5	22.9	22.0	20.9
3	3	Jaworzno	90	10	23.6	22.3	21.0
4	4	Jaworzno	85	15	24.4	22.9	22.0
5	5	Jaworzno	80	20	24.5	23.7	22.8
6	6	Rybnik	100	0	28.4	25.6	24.9
7	7	Rybnik	95	5	28.9	25.9	25.2
8	8	Rybnik	90	10	29.0	26.1	25.4
9	9	Rybnik	85	15	29.1	26.3	25.6
10	10	Rybnik	80	20	29.4	26.8	25.9

Wyniki badań czasu wiązania i wytrzymałości na ściskanie mieszanin podsadzki samozestalającej przedstawiono w tablicach 2 ÷ 5 i na wykresach 6 ÷ 13.

Tablica 2

Czas wiązania mieszanin podsadzki samozestalającej sezonowanych w warunkach powietrzno-suchych

Lp.	Numer mieszaniny	Rodzaj popiołu	Czas wiązania [godz] przy stężeniu soli w wodzie [g/dm <sup>3</sup> ]					
			330		165		0	
			Początek	Koniec	Początek	Koniec	Początek	Koniec
1	1	Jaworzno	6	76	16.5	28.5	10.5	19.5
2	2	Jaworzno	22	96	21	27	15	20.5
3	3	Jaworzno	27	104	23.5	28.5	18.5	25.5
4	4	Jaworzno	72	82	24	29	24.5	27
5	5	Jaworzno	56	72	22.5	26.5	24.5	26
6	6	Rybnik	21	45	14.5	18	14.5	18.5
7	7	Rybnik	37	63	12	15.5	20	24
8	8	Rybnik	35	55	8.5	11	13	17.5
9	9	Rybnik	31	40	7	8.5	12	17
10	10	Rybnik	28	36	6	8.5	12.5	16.5

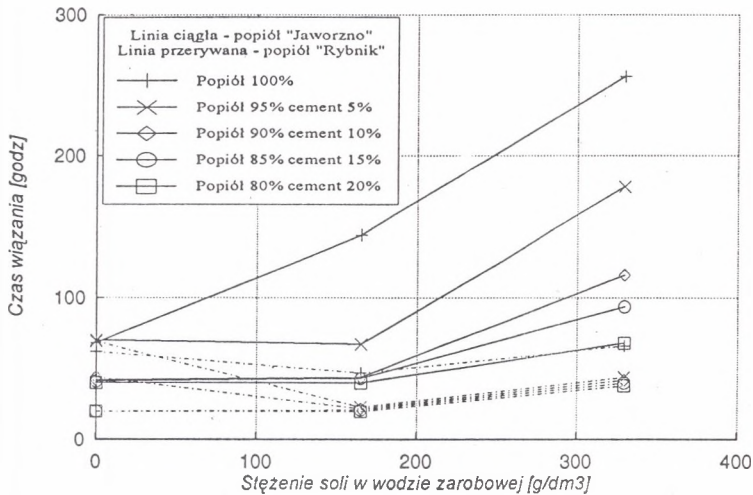


Rys.6. Wpływ stężenia soli w wodzie zarobowej na czas wiązania podsadzki w warunkach powietrzno-suchych  
Fig.6. The influence of salt concentration in water on binding time of backfill in air-dry conditions

Tablica 3

Czas wiązania mieszanin podsadzki samozestalającej sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej

Lp.	Numer mieszaniny	Rodzaj popiołu	Czas wiązania [godz] przy stężeniu soli w wodzie [g/dm <sup>3</sup> ]					
			330		165		0	
			Początek	Koniec	Początek	Koniec	Początek	Koniec
1	1	Jaworzno	14	256	18	144	12	68
2	2	Jaworzno	120	178	36	67	40	70
3	3	Jaworzno	102	116	26	44	38	42
4	4	Jaworzno	73	94	24	43	37	41
5	5	Jaworzno	50	68	18	40	20	40
6	6	Rybnik	22	66	20	47	17	62
7	7	Rybnik	20	44	17	23	31	69
8	8	Rybnik	18	42	17	22	20	44
9	9	Rybnik	17	40	15	21	13	20
10	10	Rybnik	17	38	14	20	13	20



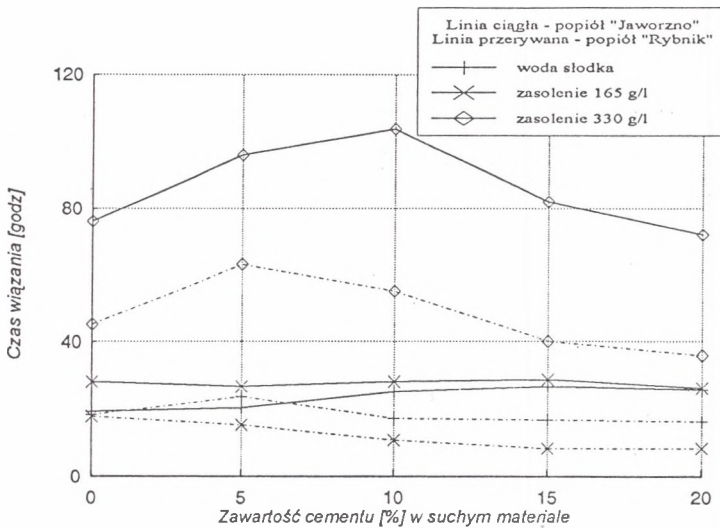
Rys.7. Wpływ stężenia soli na w wodzie zarobowej na czas wiązania podsadzki w komorze klimatyzacyjnej

Fig.7. The influence of salt concentration in water on binding time of backfill in a climatation chamber

Tablica 4

Wytrzymałość na ściskanie podsadzki samozestalającej po 28 dniach sezonowania w warunkach powietrznosuchych

Lp.	Numer mieszaniny	Rodzaj popiołu	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] przy stężeniu soli w wodzie [g/dm <sup>3</sup> ]		
			330	165	0
1	1	Jaworzno	0.226	0.121	0.307
2	2	Jaworzno	1.480	3.610	2.910
3	3	Jaworzno	6.478	8.690	5.682
4	4	Jaworzno	6.952	18.802	6.320
5	5	Jaworzno	8.058	17.538	6.636
6	6	Rybnik	0.770	2.265	2.880
7	7	Rybnik	1.495	2.905	4.120
8	8	Rybnik	2.360	3.025	4.898
9	9	Rybnik	2.950	6.925	5.372
10	10	Rybnik	3.940	7.742	5.688



Rys.8. Wpływ zawartości cementu marki 350 na czas wiązania podsadzki w warunkach powietrznosuchych

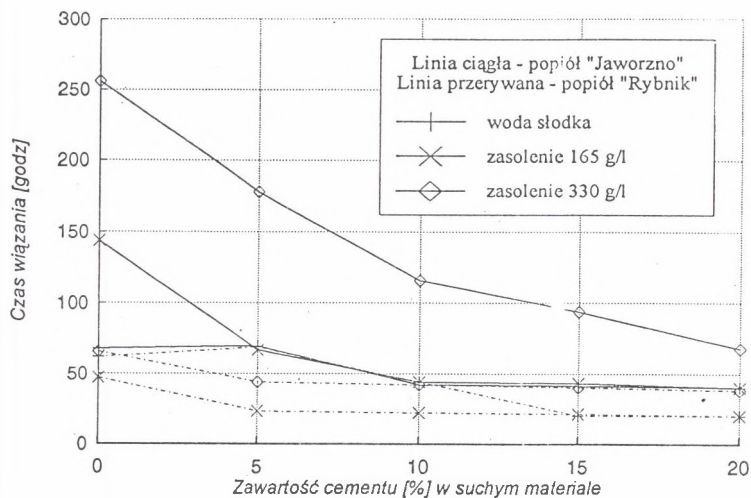
Fig.8. The influence of cement type 350 addition on binding time of backfill in air-dry conditions



Tablica 5

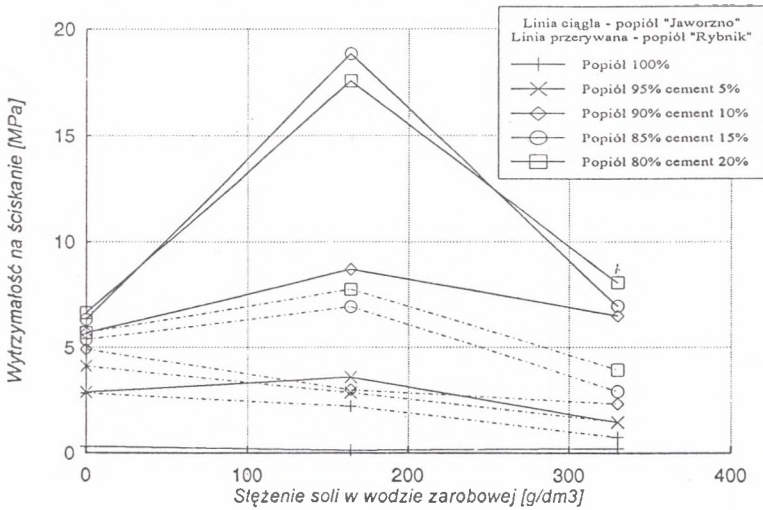
Wytrzymałość na ściskanie podsadzki samozestalającej po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej

Lp.	Numer mieszaniny	Rodzaj popiołu	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] przy stężeniu soli w wodzie [g/dm <sup>3</sup> ]		
			330	165	0
1	1	Jaworzno	0.423	0.439	0.596
2	2	Jaworzno	2.050	3.075	2.015
3	3	Jaworzno	6.074	10.270	5.652
4	4	Jaworzno	9.006	13.746	6.794
5	5	Jaworzno	12.166	17.380	10.902
6	6	Rybnik	1.085	4.505	2.935
7	7	Rybnik	2.545	9.638	3.861
8	8	Rybnik	2.780	10.902	4.210
9	9	Rybnik	3.645	14.852	5.668
10	10	Rybnik	5.846	11.850	6.952



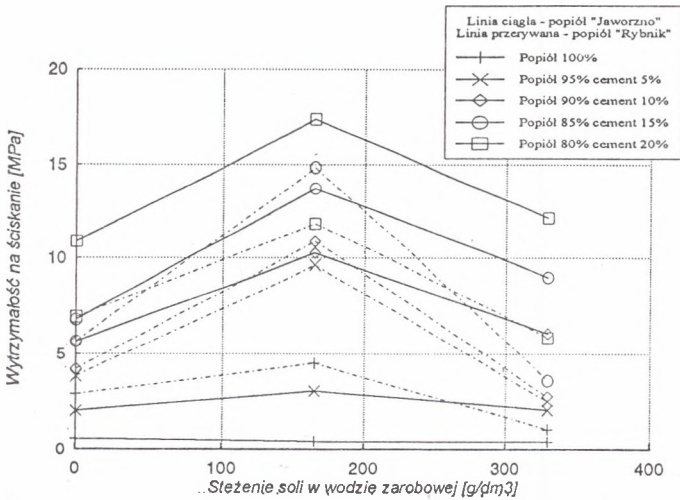
Rys.9. Wpływ zawartości cementu marki 350 na czas wiązania podsadzki w komorze klimatyzacyjnej

Fig.9. The influence of cement type 350 addition on binding time of backfill in climatization chamber



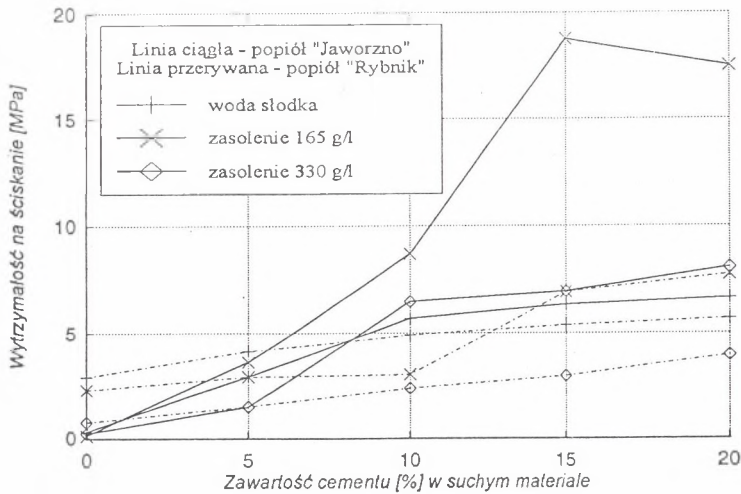
Rys. 10. Wpływ stężenia soli w wodzie zarobowej na wytrzymałość podsadzki samozestalającej sezonowanej w warunkach powietrznosuchych

Fig. 10. The influence of salt concentration in water on stabilised backfill's strength after seasoning in air-dry conditions



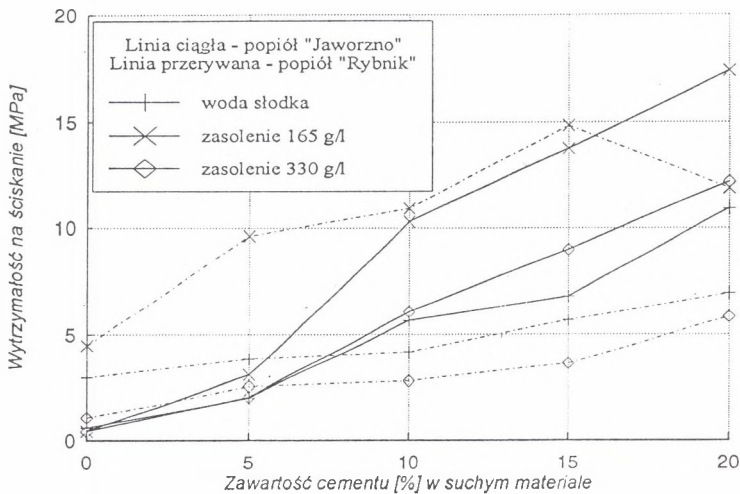
Rys. 11. Wpływ stężenia soli w wodzie zarobowej na wytrzymałość podsadzki samozestalającej sezonowanej w komorze klimatyzacyjnej

Fig. 11. The influence of salt concentration in water on stabilised backfill's strength after seasoning in a climatisation chamber



Rys.12. Wpływ zawartości cementu marki 350 na wytrzymałość podsadzki samozestalającej sezonowanej w warunkach powietrznosuchych

Fig.12. The influence of cement type 350 addition on stabilised backfill's strength after seasoning in air-dry conditions



Rys.13. Wpływ zawartości cementu marki 350 na wytrzymałość podsadzki samozestalającej sezonowanej w komorze klimatyzacyjnej

Fig.13. The influence of cement type 350 addition on stabilised backfill's strength after seasoning in climatisation chamber

#### 4. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW POFLOTACYJNYCH W MIESZANINIE Z POPIOŁAMI LOTNYMI

##### 4.1. Analiza wyników badań

Podobnie jak w punkcie 3 przedstawione zostaną wyniki badań mieszanin składających się z popiołów lotnych, odpadów poflotacyjnych, środka wiążącego i wody jako składników podsadzki samozestalającej.

W tablicach 6÷8 zestawiono wyniki badań czasu wiązania, nośności i wytrzymałości na ściskanie podsadzki samozestalającej wytwarzanej z wykorzystaniem wyżej wymienionych odpadów drobnofrakcyjnych.

Z analizy przeprowadzonych badań wynika, że:

- dodanie cementu w ilości 2 ÷ 10% do mieszaniny podsadzkowej o stosunku objętościowym odpadów poflotacyjnych do popiołów lotnych równym 1:1 skraca czas początku wiązania do 192 godzin dla popiołu bez odsiarczania spalin i 144 godziny dla popiołu z odsiarczaniem spalin przy 2% dodatku cementu oraz do 24 i 48 godzin przy 10% udziale cementu. Jeszcze wyraźniej na proces wiązania wpływa dodanie szkła wodnego. Przy udziale w mieszaninie podsadzkowej 2% cementu i 2% szkła wodnego czas początku wiązania wynosił 16 godzin dla popiołu bez odsiarczania spalin i 24 godziny dla popiołu z procesem odsiarczania spalin, należy jednak zaznaczyć, że szkło wodne powoduje w procesie wiązania wody zmniejszenie objętości podsadzki, co jest zjawiskiem niekorzystnym w procesie ograniczania deformacji powierzchni przez stosowanie podsadzki,
- spośród badanych mieszanin podsadzkowych najwyższą wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach sezonowania wynoszącą 1.254 i 1.12 MPa osiągnęły próby zawierające 10% cementu oraz 2% cementu i 2% szkła wodnego,

Tablica 6

## Czas wiązania mieszanin podsadzkowych

Lp.	Skład mieszaniny wagowy	Czas wiązania [godz]	
		Początek	Koniec
1	O-72%, PA-28%	brak	brak
2	O-43%, PA-57%	264	576
3	O-63%, PA-37%, C-10%	48	168
4	O-55%, PA-45%, C-10%	24	123
5	O-46%, PA-54%, C-10%	22	72
6	O-46%, PA-54%, C-2%, S-2%	24	120
7	O-43%, PA-57%, C-10%	20	72
8	O-72%, PB-28%	brak	brak
9	O-47%, PB-53%	288	614
10	O-63%, PB-37%, C-10%	96	264
11	O-55%, PB-45%, C-10%	72	240
12	O-50%, PB-45%, C-10%	48	168
13	O-46%, PB-54%, C-2%, S-2%	20	168
14	O-47%, PB-53%, C-10%	48	144
15	O-41%, PB-59%, C-2%, S-2%	16	138
16	O-50%, PB-50%, C-2	68	168
17	O-66%, PB-34%, C-2%	168	216

O - odpady poflotacyjne

C - cement

S - szkło wodne

PA - popiół lotny bez odsiarczenia spalin

PB - popiół lotny z procesu odsiarczenia spalin metodą "suchą"

- mieszaniny podsadzkowe bez dodatków wiążących i aktywatorów charakteryzują się bardzo długim czasem wiązania, przekraczającym okres 28 dni,

Tablica 7

## Nośność podsadzki samozestalającej

Lp.	Skład mieszaniny wagowy	Nośność jednostkowa podsadzki po 28 dniach sezonowania [kG/cm <sup>2</sup> ]
1	O-72%, PA-28%	< 0.5
2	O-43%, PA-57%	3.5
3	O-63%, PA-37%, C-10%	> 5.5
4	O-55%, PA-45%, C-10%	> 5.5
5	O-46%, PA-54%, C-10%	> 5.5
6	O-46%, PA-54%, C-2%, S-2%	> 5.5
7	O-43%, PA-57%, C-10%	> 5.5
8	O-72%, PB-28%	< 0.5
9	O-47%, PB-53%	2.5
10	O-63%, PB-37%, C-10%	> 5.5
11	O-55%, PB-45%, C-10%	> 5.5
12	O-50%, PB-45%, C-10%	> 5.5
13	O-46%, PB-54%, C-2%, S-2%	> 5.5
14	O-47%, PB-53%, C-10%	> 5.5
15	O-41%, PB-59%, C-2%, S-2%	> 5.5
16	O-50%, PB-50%, C-2	> 5
17	O-66%, PB-34%, C-2%	> 5

O - odpady poflotacyjne

C - cement

S - szkło wodne

PA - popiół lotny bez odsiarczenia spalin

PB - popiół lotny z procesu odsiarczenia spalin metodą "suchą"

- w celu uzyskania podsadzki samozestalającej minimalna zawartość cementu w mieszaninie odpadów poflotacyjnych i popiołów lotnych nie powinna być mniejsza od 2%, natomiast optymalnym składem mieszaniny do wytwarzania podsadzki samozestalającej na bazie odpadów poflotacyjnych z kopalni "Jankowice" i popiołów lotnych z Elektrowni "Rybnik"

Tablica 8

## Wytrzymałość na ściskanie mieszanin podsadzkowych

Lp.	Skład mieszaniny wagowy	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach sezonowania $R_c$ [MPa]
1	O-72%, PA-28%	próba plastyczna
2	O-43%, PA-57%	próba plastyczna
3	O-63%, PA-37%, C-10%	0.537
4	O-55%, PA-45%, C-10%	0.896
5	O-46%, PA-54%, C-10%	0.947
6	O-46%, PA-54%, C-2%, S-2%	0.537
7	O-43%, PA-57%, C-10%	1.254
8	O-72%, PB-28%	próba plastyczna
9	O-47%, PB-53%	próba plastyczna
10	O-63%, PB-37%, C-10%	0.537
11	O-55%, PB-45%, C-10%	0.612
12	O-50%, PB-50%, C-10%	0.640
13	O-46%, PB-54%, C-2%, S-2%	0.819
14	O-47%, PB-53%, C-10%	1.254
15	O-41%, PB-59%, C-2%, S-2%	1.120
16	O-50%, PB-50%, C-2	0.967 (1.023)
17	O-66%, PB-34%, C-2%	0.663 (0.420)

O - odpady poflotacyjne  
 C - cement  
 S - szkło wodne

PA - popiół lotny bez odsiarczenia spalin  
 PB - popiół lotny z procesu odsiarczenia spalin metodą "suchą"

jest stosunek objętościowy odpadów poflotacyjnych do popiołów lotnych równy 1:1 z dodatkiem 5% cementu. Mieszanina podsadzkowa o takim składzie charakteryzuje się dobrymi własnościami transportowymi oraz rozplywnością w podsadzonym wyrobisku.

Ponieważ odpady poflotacyjne i popioły lotne pochodzące z różnych kopalń i elektrowni charakteryzują się odmiennymi własnościami fizykomechanicznymi i chemicznymi, opracowanie receptury podsadzki samozestalającej wymaga każdorazowo wykonania badań określających przydatność odpadów do tego rodzaju podsadzki.

## **5. PARAMETRY HYDRAULICZNEGO LOKOWANIA DROBNOFRAKCYJNYCH ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH W PODZIEMNYCH WYROBISKACH GÓRNICZYCH**

Parametry hydraulicznego lokowania drobnofrakcyjnych odpadów przemysłowych w podziemnych wyrobiskach górniczych zależą głównie od wydajności urządzeń wytwarzających hydromieszaninę oraz wydajności instalacji hydrotransportu, która z kolei zależy od średnicy rurociągu transportowego, jego ukształtowania przestrzennego i długości oraz różnicy wysokości, a także od gęstości transportowanej hydromieszaniny. W zależności od metody lokowania odpadów średnica rurociągów transportowych zmienia się od 0.05 do 0.185 m. W przypadku wykorzystywana do lokowania drobnofrakcyjnych odpadów (głównie popiołów lotnych) istniejących urządzeń podsadzki hydraulicznej i kopalnianych sieci rurociągów podsadzkowych o średnicach 0.15 i 0.185 m uzyskiwane wydajności transportu grawitacyjnego są porównywalne z wydajnością podsadzania hydraulicznego mieszaniną piaskowo-wodną i wynoszą od 100 do 400 m<sup>3</sup>/godz., pod warunkiem że stosunek wagowy (masowy) części stałych do wody nie przekracza 2 : 1. Przy wyższych koncentracjach opory przepływu szybko wzrastają i wyraźnie spada wydajność hydrotransportu. Taki sposób wytwarzania i transportu stosuje się głównie przy doszczelnianiu zrobów zawałowych i pustek w górotworze o dużej chłonności przy użyciu mieszaniny popiołowo-wodnej.

W przypadku podsadzki samozestalającej wytwarzanej na bazie popiołów lotnych, odpadów poflotacyjnych i środków wiążących potrzebna jest instalacja do magazynowania,



dozowania, mieszania i wytwarzania mieszaniny wieloskładnikowej oraz instalacja hydrotransportu dostarczająca mieszaninę do miejsc lokowania w kopalni.

Urządzenia do wytwarzania drobnofrakcyjnej mieszaniny wieloskładnikowej mogą pracować w sposób ciągły lub cykliczny. Przy pracy cyklicznej konieczny jest zbiornik pośredni do wytwarzania hydromieszaniny. Wydajność urządzeń do wytwarzania hydromieszaniny z reguły nie przekracza  $150 \text{ m}^3/\text{godz}$ . Średnica rurociągu transportowego w zależności od parametrów instalacji wynosi od 0.08 do 0.15 m.

Do wykonywania pasów i korków podsadzkowych stosuje się przewoźne dołowe instalacje, wyposażone w zbiornik, mieszało, pompę i rurociąg. Wydajność instalacji w zależności od potrzeb wynosi od kilku do kilkunastu metrów sześciennych na godzinę. Do podawania hydromieszaniny do miejsc lokowania wykorzystuje się rurociągi elastyczne o średnicy  $0.05 \div 0.10 \text{ m}$ .

## 6. PODSUMOWANIE

Lokowanie drobnofrakcyjnych odpadów przemysłowych, głównie popiołów lotnych i odpadów poflotacyjnych w wyrobiskach podziemnych przez ich wykorzystanie w podziemnych technologiach górniczych, takich jak: podsadzka samozestalająca, doszczelnianie i izolowanie zrobów zawałowych, wykonywanie pasów i korków podsadzkowych, wypełnianie pustek w górotworze otworami wierconymi z powierzchni, a także wypełnianie zbędnych wyrobisk korytarzowych i doszczelnianie podsadzki pneumatycznej, należy uznać za jedną z bardziej efektywnych metod ich zagospodarowania.

Spośród wymienionych metod zagospodarowania odpadów drobnofrakcyjnych największe znaczenie posiadają doszczelnianie zrobów zawałowych i podsadzka samozestalająca, które pozwalają zagospodarować największe ilości tych odpadów. Szacuje się, że pojemność zrobów zawałowych powstających rocznie w kopalniach węgla kamiennego GZW pozwala w całości zagospodarować popioły lotne Południowego Okręgu Energetycznego i powęglowe odpady poflotacyjne z bieżącej produkcji. Dodatkową zaletą zagospodarowania odpadów drobnofrakcyjnych, takich jak popioły lotne i odpady poflotacyjne w podziemnych

technologiach górniczych, czyli w ramach tzw. gospodarczego wykorzystania, jest odejście od konieczności posiadania koncesji na ich lokowanie we wnętrzu ziemi, pod warunkiem że spełniają wymagania Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska w zakresie toksyczności i radioaktywności.

## LITERATURA

1. Palarski J.: „Kryteria zagospodarowania odpadów przemysłowych w kopalniach”, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, nr 3 - 4, 1992 r.
2. Plewa F., Mysłek Z., Stozik G.: „Analiza możliwości zastosowania słonych wód kopalnianych jako składnika podsadzki samozestalającej”, *Przegląd Górniczy*, nr 11, 1994 r.
3. Plewa F., Mysłek Z.: „Zagospodarowanie odpadów elektrownianych i poflotacyjnych w podsadze samozestalającej”, międzynarodowa konferencja „Szkoła Geomechaniki”, Ustroń, 1993 r.
4. Komunikat GIG nr 626, 1974 r.

Recenzent: Dr inż. Eugeniusz Bąk

Wpłynęło do Redakcji 10 lipca 1995 r.

## Abstract

The paper presents theoretical analysis of determination of volume of fine-grained industrial waste (i.e. fly ashes, flotation tailing) that can be deposited in caving areas.

The analysed scheme of sealing of cavings with use of fly ash - water mixture has been presented in fig.1. Obtained results have been compared with water absorptivity (volume

---

capacity) of caving areas (table 1). With using of water absorptivity coefficient the maximal volume of fine grained waste that can be deposited in cavings can be determined from equation (12). Presented method of theoretical determination of cavings absorptivity by fillin with fine-grained waste - water mixture allows, with sufficiently for mining practice accuracy, to determine amounts of waste that can be deposited in cavings.