

Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSLEK  
Instytut Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej

## WPLYW ZASOLONYCH WÓD DOŁOWYCH NA WŁASNOŚCI PODSADZKI SAMOZESTALAJĄCEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych dotyczących możliwości zastosowania zasolonych wód kopalnianych jako składnika do wytwarzania podsadzki samozestalającej. Silnie zasolone wody kopalniane stanowią duże zagrożenie dla środowiska naturalnego, a ich odsalanie jest kosztowne i wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych. Podsadzka samozestalająca stosowana w podziemnych wyrobiskach górniczych musi spełniać szereg wymagań fizyko-mechanicznych związanych z procesami technologicznymi oraz bezpieczeństwem pracy załóg górniczych. Dodawanie wód zasolonych nie może wpływać na pogorszenie podstawowych parametrów podsadzki samozestalającej.

## INFLUENCE OF SALINATED UNDERGROUND WATERS ON THE PROPERTIES OF STABILISED BACKFILL

Summary. The paper presents results of laboratory investigations onto possibility of using salinated underground water for preparation of stabilised backfill. High salinated underground waters are strongly hazardous for the environment and the process of elimination of salt from such waters is expensive and demands large investment outlays. Stabilised backfill used in underground workings must meet many physical and mechanical parameters connected with technological processes and work safety of miners, however addition of salinated water must not influence the basic parameters of this backfill.

## ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕННЫХ ШАХТНЫХ ВОД НА СВОЙСТВА САМОЗАТВЕРДЕВАЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ

Резюме. В статье представлено результаты лабораторных исследований, касающихся возможностей применения засоленных шахтных вод как компонента для изготовления самозатвердевающей закладки. Сильно засоленные шахтные воды являются большой угрозой для окружающей

среды, а их обессоливание обходится дорого и требует значительных капиталовложений. Самозатвердевающая закладка применяемая в подземных выработках, должна выполнять ряд физико - механических требований, связанных с технологическими процессами, а также безопасностью работы горняков. Добавление засоленных вод не может влиять на ухудшение основных параметров самозатвердевающей закладки.

## 1. WSTĘP

Wśród metod zagospodarowania odpadów drobnofrakcyjnych, takich jak popioły lotne i odpady poflotacyjne w podziemnych wyrobiskach górniczych (doszczelnianie i izolowanie zrobów zawałowych, wypełnianie pustek otworami wierconymi z powierzchni, wypełnianie zbędnych wyrobisk korytarzowych) jedną z bardziej efektywnych jest podszadzka samozestalająca.

Podszadzka samozestalająca wytwarzana na bazie popiołów lotnych, odpadów poflotacyjnych i niewielkich ilości środków wiążących pozwala na zagospodarowanie znacznie większych ilości odpadów drobnofrakcyjnych niż w innych technologiach. Ponadto ogranicza zużycie piasku podszadzkowego, zmniejsza lub eliminuje potrzebę odprowadzania wody podszadzkowej, a także umożliwia zmianę kolejności wybierania warstw przy eksploatacji na warstwy. Zastosowanie podszadzki samozestalającej wymaga opracowania optymalnego składu mieszaniny pod względem transportowalności w rurociągu, rozlewności w wyrobisku i uzyskiwania parametrów wytrzymałościowych zapewniających bezpieczną eksploatację.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań własności fizyko-mechanicznych podszadzki samozestalającej wytwarzanej na bazie odpadów poflotacyjnych, popiołów lotnych oraz silnie zasolonych wód dołowych.

Analiza wyników badań pozwoliła na wybór optymalnego składu mieszaniny podszadzki samozestalającej, pozwalającej zagospodarować maksymalną ilość wód silnie zasolonych.

## 2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH ODPADÓW

Do badań użyto odpadów poflotacyjnych i wody słonej pobranej z dołu kopalni o zasoleniu 30 - 50 g/l oraz elektrownianych popiołów lotnych.

## 2.1. Odpady poflotacyjne

W badaniach stosowano odpady poflotacyjne o zagęszczeniu 600 g/l, gęstości właściwej 1.28 g/cm<sup>3</sup>, wilgotności 53.17% oraz zawartości popiołu 42.75%. Skład ziarnowy odpadów poflotacyjnych zawiera tablica 1.

Tablica 1

Skład ziarnowy odpadów poflotacyjnych

Lp.	Klasa ziarnowa [mm]	Udział frakcji [%]	Suma frakcji [%]
1	≤ 0.020	41.87	41.87
2	0.020 - 0.036	7.22	49.09
3	0.036 - 0.045	1.95	51.04
4	0.045 - 0.056	5.18	56.22
5	0.056 - 0.075	3.53	59.75
6	0.075 - 0.1	6.22	65.97
7	0.1 - 0.2	16.58	82.55
8	0.2 - 0.3	10.18	82.73
9	> 0.3	7.27	100

## 2.2. Popioły lotne

Do badań wykorzystano popioły lotne bez odsiarczenia spalin o gęstości właściwej 2.41g/cm<sup>3</sup> i gęstości nasypowej 0.91 g/cm<sup>3</sup>. Skład ziarnowy i chemiczny popiołów lotnych przedstawiono w tablicach 2 i 2a.

Tablica 2

Skład ziarnowy popiołów lotnych

Lp.	Klasa ziarnowa [mm]	Udział frakcji [%]	Suma frakcji [%]
1	≤0.060	69	69
2	0.060 - 0.075	7.6	76.6
3	0.075 - 0.080	3.2	79.8
4	0.080 - 0.120	9.6	89.4
5	0.120 - 0.250	8	97.4
6	0.250 - 0.500	0.4	97.8
7	> 0.500	0.2	98
8	straty	2	100

Tablica 2a

Skład chemiczny popiołów lotnych

Lp.	Składnik	Zawartość
1	SiO <sub>2</sub>	46.82
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.69
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.92
4	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08
5	TiO <sub>2</sub>	1.84
6	CaO	2.96
7	MgO	1.96
8	Na <sub>2</sub> O	0.79
9	K <sub>2</sub> O	2.55
10	SO <sub>2</sub>	0.46
11	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.78
12	Straty prażenia	3.01

### 3.PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ I SKŁAD MIESZANIN PODSADZKOWYCH

Badaniami objęto mieszanki podsadzki, dla których ilorazy masy odpadów poflotacyjnych do popiołów lotnych, wynosiły 1:1 i 2:1, a udział cementu portlandzkiego marki 350 kształtował się na poziomie 2 i 4%. Jako dodatkowej wody zarobowej używano kopalnianej wody słonej dodawanej do mieszanki w takiej ilości, aby rozlewność wynosiła co najmniej 220 mm zapewniając dobre własności transportowe w rurociągu. Jako porównawcze wykonano tzw. próby zerowe, czyli bez dodatku cementu i z udziałem wody słodkiej. Skład mieszanin podsadzkiowych wytypowanych do badań przedstawiono w tablicy 3, a wyniki badań zawiera tablica 4.

### 4.ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

#### 4.1.Czas wiązania mieszanin samozestających

Przeprowadzone badania wykazały, że w zależności od składu mieszanki i sposobu sezonowania czas wiązania zmienia się od 95 do 208 godzin dla prób sezonowanych w

warunkach powietrzno-suchych oraz od 190 do 347 godzin dla prób sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej.

Tablica 3

Skład wagowy mieszanin samozestalających wykonanych na bazie odpadów poflotacyjnych i popiołów lotnych

Lp.	Nr próby	Masowy udział składników [%]				O : P	Zagęszczenie odp. poflot. g/l	Rodzaj wody dodatkowej
		Odpady poflot.	Popiół lotny	Woda dodatkowa	Cement 350			
1	1	41	41	16	2	1:1	600	słona
2	2	57	28	16	2	2:1	600	słona
3	3	40	40	15	4	1:1	600	słona
4	4	54	27	16	4	2:1	600	słona
5	5	40	40	16	4	1:1	600	słodka
6	6	42	42	16	-	1:1	600	słodka
7	7	42	42	16	-	1:1	600	słona
8	8	39	39	20	2	1:1	600	słona

Tablica 4

Wyniki badań mieszanin podsadzki samozestalającej

Nr próby	Warunki powietrzno-suche			Komora klimatyzacyjna		
	Czas wiązania, godz.	R <sub>c</sub> po 28 dniach, MPa	Nośność po 72 godz., MPa	Czas wiązania, godz.	R <sub>c</sub> po 28 dniach, MPa	Nośność po 72 godz., MPa
1	177	0.83	0.21	196	1.34	0.22
2	208	0.69	0.12	272	0.55	0.07
3	95	0.95	0.45	190	1.67	0.5
4	170	0.89	0.23	261	0.69	0.15
5	95	0.87	>0.5	237	0.89	0.3
6	143	0.85	0.07	347	0.75	0.02
7	143	0.91	0.05	347	0.6	0.01
8	168	0.71	0.3	264	0.69	0.12

Najkrótszym czasem wiązania spośród prób sezonowanych w warunkach powietrzno - suchych charakteryzują się próby 3 i 5 oraz próba nr 3 sezonowana w komorze klimatyzacyjnej, wszystkie o zawartości 4% cementu.

Wśród prób o zawartości cementu 2% najkrótszym czasem wiązania charakteryzowały się próba nr 8 dla warunków powietrzno - suchych i próba nr 1 dla prób sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej. Użycie wody zasolonej jako dodatkowej wody zarobowej nie ma istotnego wpływu na proces wiązania.

Próby sezonowane w warunkach powietrzno - suchych charakteryzują się 1.3 do 2.4-krotnie krótszym czasem wiązania w stosunku do prób sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej.

#### 4.2. Nośność podsadzki samozestalającej

Dla oceny stanu spistości badanych mieszanin w okresie sezonowania próbek wykonywano badanie nośności podsadzki.

Nośność podsadzki po okresie sezonowania wynoszącym 72 godziny zmieniała się od 0.05 do 0.5 MPa dla próbek sezonowanych w warunkach powietrzno-suchych oraz od 0.02 do 0.5 MPa dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej przy wilgotności 100%. Najwyższą nośnością po tym okresie sezonowania charakteryzowały się próby nr 3 i 5 sezonowane w warunkach powietrzno-suchych oraz próbka nr 3 spośród prób sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej. Próby bez udziału cementu posiadały najniższą nośność wynoszącą odpowiednio 0.014 i 0.02 MPa dla prób sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej oraz 0.05 i 0.07 MPa dla prób sezonowanych w warunkach powietrzno - suchych.

#### 4.3. Wytrzymałość na ściskanie mieszanin samozestalających

Wytrzymałość doraźna na ściskanie po okresie sezonowania wynoszącym 28 dni dla próbek sezonowanych w warunkach powietrzno - suchych zmieniała się od 0.663 do 1.007 MPa, a dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej zawierała się w przedziale 0.552 - 1.670 MPa.

Najwyższą wytrzymałość na ściskanie około 1 MPa spośród próbek sezonowanych w warunkach powietrzno - suchych osiągnęła próbka nr 3 zawierająca w swoim składzie 4%

cementu, a dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej próbka nr 1 o wytrzymałości 1.34 MPa i zawartości cementu 2% oraz próbka nr 3 o wytrzymałości 1.67 MPa i zawartości cementu 4%.

Analizując wpływ udziału cementu w mieszaninie samozestalającej na wytrzymałość podsadzki należy stwierdzić, że dla próbek sezonowanych w warunkach powietrzno-suchych brak jest wyraźnej korelacji między ilością dodawanego cementu a wytrzymałością na ściskanie, co może być związane ze zbyt szybkim wysychaniem, a nawet przesuszeniem próbek. Dla mieszaniny nr 7 stwierdzono spadek wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach w stosunku do wytrzymałości po 14 dniach. Natomiast dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej przy wilgotności 100% ze wzrostem ilości cementu obserwuje się wzrost wytrzymałości na ściskanie w całym okresie sezonowania. Wytrzymałość próbek o zawartości 2% cementu po 28 dniach sezonowania jest o 123% wyższa od wytrzymałości próbek bez udziału cementu. Wzrost zawartości cementu w mieszaninie podsadzkowej do 4% powoduje przyrost wytrzymałości o 25%.

Zastosowanie wody zasolonej jako dodatkowej wody zarobowej do wytwarzania mieszaniny podsadzkowej zawierającej dodatek cementu wpływa korzystnie na wytrzymałość próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej, a więc w warunkach zbliżonych do warunków dołowych. Wytrzymałość próbki z udziałem 4% cementu i słoną wodą dodatkową po 28 dniach sezonowania jest około dwukrotnie wyższa od próbki o tym samym składzie i wodą słodką jako wodą dodatkową.

Wytrzymałość na ściskanie tzw. prób zerowych, czyli bez udziału cementu sezonowanych w warunkach powietrzno-suchych jest porównywalna z próbami zawierającymi 2 - 4% cementu, co świadczy o dobrych właściwościach wiążących popiołu lotnego w tych warunkach. Natomiast wytrzymałość na ściskanie tych samych prób sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej jest wyraźnie niższa w porównaniu z próbami zawierającymi cement - 2.2 razy niższa dla 2% cementu i 2.8 razy niższa dla 4% cementu.

## 5. WYBÓR OPTIMALNEGO SKŁADU MIESZANINY PODSADZKI SAMOZESTALAJĄCEJ WYKONANEJ NA BAZIE ODPADÓW POFLOTACYJNYCH I POPIOŁÓW LOTNYCH

Przeprowadzone badania własności fizyko-mechanicznych podsadzki samozestalającej wykonanej na bazie odpadów poflotacyjnych i popiołów lotnych, których wyniki zestawiono w tablicach 4 i 5, wykazały, że optymalnym składem mieszanki podsadzki ze względu na czas wiązania, nośność, wytrzymałość na ściskanie i rozmakalność jest następujący masowy udział składników:

- odpady poflotacyjne o zagęszczeniu 600 - 800 g/l	39 - 41%
- popiół lotny	39 - 41%
- woda dodatkowa zasolona	16 - 20%
- cement 350	2%

Mieszanka ta charakteryzuje się następującymi własnościami po okresie sezonowania równym 28 dni:

- w warunkach powietrzno - suchych:

czas wiązania	144 - 177 godz.
nośność po 72 godz.	0.21 - 0.41 MPa
wytrzymałość na ściskanie	0.829 - 0.967 MPa
rozmakalność po 48 godz.	nie występuje

- w komorze klimatyzacyjnej:

czas wiązania	196 - 270 godz.
nośność po 72 godz.	0.14 - 0.22 MPa
wytrzymałość na ściskanie	1.023 - 1.340 MPa
rozmakalność po 48 godz.	nie występuje

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań własności fizyko-mechanicznych mieszanin podsadzki samozestalającej wykonanych na bazie odpadów poflotacyjnych z kopalni i popiołów lotnych oraz dokonanej analizy wyników pomiarów można sformułować następujące wnioski końcowe:



1. Odpady poflotacyjne i zasolona woda dołowa wraz z analizowanymi popiołami lotnymi mogą stanowić składniki podsadzki samozestalającej.
2. Czas wiązania badanych mieszanin podsadzkowych zmienił się:
  - dla próbek sezonowanych w warunkach powietrzno - suchych od 95 do 208 godz,
  - dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej od 190 do 347 godz.
3. Wytrzymałość doraźna na ściskanie po czasie sezonowania równym 28 dni wynosiła:
  - dla próbek sezonowanych w warunkach powietrzno- suchych od 0.687 do 0.953MPa,
  - dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej od 0.552 do 1.670 MPa.
4. Nośność podsadzki po 72 godzinach sezonowania wynosiła odpowiednio:
  - od 0.05 do 0.5 MPa dla próbek sezonowanych w warunkach powietrzno-suchych oraz
  - od 0.014 do 0.5 MPa dla próbek sezonowanych w komorze klimatyzacyjnej.
5. Optymalny udział cementu marki 350 dla analizowanych mieszanin wynosi 2% masowo. Zwiększenie ilości cementu do 4% nie powoduje wyraźnego przyrostu parametrów wytrzymałościowych.
6. Użycie wody zasolonej do wytwarzania mieszanin podsadzki samozestalającej nie pogarsza własności fizyko-mechanicznych podsadzki.
7. Badane mieszaniny podsadzkowe charakteryzują się dużą wodochłonnością. Ilość wody odsączonej z podsadzki w procesie zestalania nie przekracza 25% zawartej w mieszaninie wody dodatkowej.
8. Sezonowanie próbek w komorze klimatyzacyjnej, a więc w warunkach zbliżonych do dołowych, wpływa na zwiększenie wytrzymałości po okresie 28 dni dla prób o stosunku masowym odpadów poflotacyjnych do popiołów lotnych równym 1:1. Dla prób o stosunku odpadów do popiołu 2:1 wytrzymałość jest wyższa w przypadku sezonowania w warunkach powietrzno - suchych.

#### LITERATURA

- [1] Prace własne Instytutu Eksploatacji Złóż

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław CZABAN

Wpłynęło do Redakcji w maju 1994 r.

## Abstract

High salinited underground waters are strongly hazardous for the environment and the process of elimination of salt from such waters is expensive and demands large investment outlays. The proof for such a thesis is the activity of only one desalting plant in the coal mine "Dębieńsko". One of the methods of salinited waters management is using these waters for preparation of backfill, especially stabilised backfill. Stabilised backfill used in underground workings must meet certain physical and mechanical conditions connected with the technology applied. The most important parameters are as follows: setting time, compressive strength and ability for transportation in pipelines.

The paper presents results of laboratory investigations on stabilised backfill based on fly ashes from power generating stations, flotation tailings, cement, fresh and high salinited underground waters. Table 1. presents parameters of analysed flotation tailings and Table 2. and 2a. - of fly ashes. Compositions of 8 investigated backfill mixtures are shown in Table 3.

From the analysis of changes of flow properties of analysed mixtures (Table 4. and 5.) it can be seen that addition of high salinited waters does not deteriorate physical and mechanical parameters during the analysed period of time - 28 days.

Investigated backfill mixtures were characterised by strong water absorptivity. Amount of filtered water during setting process did not exceed 25%.