ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 132 Nr kol. 822

Józef SZTELAK
Edward CEMPIEL

WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH I MODELOWYCH ODPADÓW POFLOTACYJNYCH RUD ILMENITOWO-MAGNETYTOWYCH W ASPEKCIE ICH WYKORZYSTANIA DO PODSADZKI HYDRAULICZNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i modelowych odpadów poflotacyjnych pochodzących z procesu wzbogacania rud polimetalicznych projektowanej kopalni "Krzemianka" w aspekcie ich wykorzystania dla celów podsadzkowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że rozpatrywane odpady mogą być wykorzystane do podsadzki hydraulicznej. Wykorzystanie rozpatrywanych odpadów do podsadzki hydraulicznej pozwoli na ochronę środowiska naturalnego, wysoki stopień wykorzystania złoża oraz ochronę powierzchni terenu.

1. WPROWADZENIE

W przedmiotowym artykule omówiono wyniki badań laboratoryjnych i modelowych odpadów poflotacyjnych rud ilmenitowo-magnetytowych pochodzących z projektowanej kopalni "Krzemianka" w rejonie suwalskim w aspekcie ich wykorzystania do podsadzki hydraulicznej.

Należy nadmienić, że głównym czynnikiem stanowiącym barierę dla budowy kopalni rud "Krzemianka" w rejonie suwalskim jest ochrona środowiska naturalnego. Z pracy [1] dotyczącej warunków środowiska naturalnego wynika, że obszar województwa suwalskiego charakteryzuje się wyjątkowymi walorami przyrodniczymi o najmniejszym w Polsce skażeniu powietrza, wody i gleby. Obecnie średnioroczne stężenie SO_2 w północno-wschodniej części województwa suwalskiego jest w granicach 11-12 $\mu g/m^3$, przy dozie rocznej około 5 t/km^2. Chcąc uratować w omawianym rejonie szatę roślinną nie wolno dopuścić do zwiększenia ilości SO_2 w powietrzu powyżej 20 $\mu g/m^3$.

W opracowaniu wykonanym przez Zespół pracowników Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej, w skład którego wchodzą autorzy niniejszego artykułu, przedstawiono nowe, kompleksowe rozwiązanie modelu budowy kopalni "Krzemianka", gwarantujące ochronę środowiska naturalnego [2].

Do jednego z głównych czynników oddziałujących ujemnie na środowisko należy zaliczyć składowiska odpadów poflotacyjnych, których ilość wynosić będzie około 16 500 t/dobę. Składowiska omawianych odpadów będą bardzo uciążliwe dla podstawowych elementów środowiska, takich jak: woda, powietrze i gleba. Istnieje obawa, że osadniki i hałdy odpadów poflotacyjnych spowodują między innymi wyłączenie z gospodarki leśnej i rolnej ob-

szaru o powierzchni około 2700 hektarów. Omawianym niekorzystnym zjawiskom można zapobiec poprzez wykorzystanie odpadów poflotacyjnych do podsadzki hydraulicznej. W celu ustalenia przydatności odpadów poflotacyjnych jako materiału podsadzkowego wykonano badania laboratoryjne i modelowe w zakresie ich składu mineralogicznego, własności fizycznych, hydrogeologicznych oraz ściśliwości i nośności, o których jest mowa w punkcie 2 i 3 niniejszego artykułu. Z przeprowadzonych badań wynika, że rozpatrywane odpady mogą być z powodzeniem wykorzystane do podsadzki hydraulicznej. Wykorzystanie rozpatrywanych odpadów do podsadzki pozwoli nie tylko na ochronę środowiska, lecz także na wysoki stopień wykorzystania złoża oraz ochronę powierzchni terenu, o czym jest mowa w pracy [2].

2. CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW POFLOTACYJNYCH POCHODZĄCYCH Z PROJEKTOWANEJ KOPALNI "KRZEMIANKA"

2.1. Badania mineralogiczne

Badania mineralogiczne przeprowadzono na próbkach materiału skalnego o uziarnieniu poniżej 0,3 mm, które odpowiadają skałom odpadowym, jakie uzyskiwane będą z procesu mielenia i wzbogacania rud ilmenitowo-magnetytowych w zakładzie przeróbczym kopalni "Krzemianka". Próbki te otrzymano z Instytutu Metalurgii Żelaza w Gliwicach.
W badanych próbkach oznaczono:

- rentgenograficznie, obecność minerałów skałotwórczych;
- mikroskopowo, procentowy udział minerałów skałotwórczych.

Na podstawie analizy rentgenograficznej stwierdzono następujące minerały: labrador, anortyt, augit i enstatyt.

Analiza mineralogiczna wykazała następującą zawartość procentową minerałów:

- plagioklazy (labrador i anortyt) 74%,
- piroksany (augit i enstatyt) 16%,
- biotyt 8%,
- minerały rudne (tytano-magnetyt i ilmenit) 2%.

Próbki zawierały ostrokrawędziaste, mniejsze ziarna plagioklazów oraz większe ziarna piroksenów, które stanowiły w sumie 90% objętości. W próbkach odpadów stwierdzono ponadto biotyt w ilości około 8% oraz minerały rudne w ilości około 2%.

Badania mineralogiczne zostały wykonane przez prof. dr hab. inż. W. Gabzdyla.

2.2. Własności fizyczne i hydrogeologiczne

Przeprowadzono badania laboratoryjne następujących własności odpadów poflotacyjnych:

- składu granulometrycznego,
- gęstości właściwej,
- gęstości objętościowej,
- wodochłonności,
- odsączalności,
- współczynnika filtracji.

Tablica 1

Uśrednione wartości podstawowych cech fizycznych i hydrogeologicznych odpadów poflotacyjnych

Rodzaj oznaczeń		Jednostka	Uśredniona wartość
Uziarnienie	Wielkość frakcji od - do w mm: 0,3 - 0,2	%	5,0
	0,2 - 0,1		27,2
	0,1 - 0,075		14,5
	0,075 - 0,050		18,2
	0,050 - 0,040		15,0
	0,040 - 0,025		14,1
	< 0,025		6,0
Gęstość właściwa, ρ		Mg/m^3	2,80
Gęstość objętościowa w stanie suchym, ρ_s		Mg/m^3	1,75
Gęstość objętościowa po nasyceniu wodą, ρ_o		Mg/m^3	2,15
Wodochłonność, w			0,35
Odsączalność, μ			0,01
Współczynnik filtracji, k		m/dobę	0,65

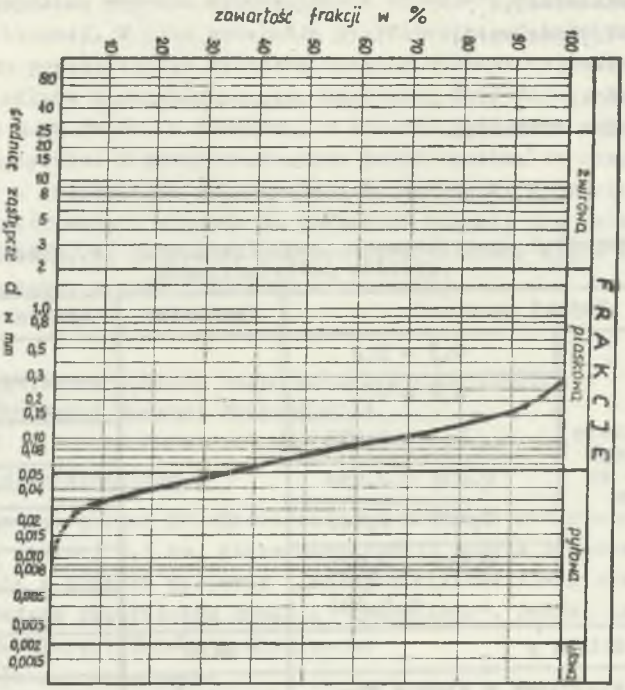
Skład granulometryczny określono metodą sitową i areometryczną. Wyniki badań zestawiono w tablicy 1, a krzywą uziarnienia próbki badanych odpadów przedstawiono na rys. 1. Na podstawie analizy granulometrycznej odpady poflotacyjne można zaklasyfikować jako piasek pylasty. Zawartość poszczególnych frakcji w odpadach poflotacyjnych z kopalni "Krzemianka" przedstawia się następująco:

- frakcja piaszczysta - około 65%,
- frakcja pylasto-ilasta - około 35%.

Gęstość właściwą oznaczono metodą piknometryczną i wynosi ona dla materiału odpadowego z "Krzemianki" średnio 2,80 Mg/m^3 (tablica 1).

Gęstość objętościową materiału odpadowego oznaczono w cylindrze metalowym na próbkach maksymalnie zagęszczonych w stanie suchym i po nasyce-

niu wodą. Gęstość objętościowa odpadów zagęszczonych w stanie suchym wynosi około 1,75 Mg/m^3 a nasyconych wodą około 2,15 Mg/m^3 (tab. 1).



Rys. 1. Krzywa uziarnienia odpadów poflotacyjnych z kopalni "Krzemianka"

Wodochłonność odpadów wynosi średnio około 0,35 a ich odsączalność około 0,01 (tablica 1).

Współczynnik filtracji odpadów oznaczono w aparacie ZWK. Średni współczynnik filtracji odpadów o uziarnieniu przedstawionym na rys. 1 wynosi około 0,65 m/dobę (tablica 1).

2.3. Ściśliwość odpadów poflotacyjnych

Badania ściśliwości odpadów poflotacyjnych przeprowadzono w edometrach, stosując obciążenie od 0 do 3,35 kN, co pozwoliło na uzyskanie naprężeń od 0 do 1005 kPa (1,005 MPa). Wyniki badań zestawiono w tablicy 2, a krzywą ściśliwości przedstawiono na rys. 2. Ściśliwość (odkształcenie) jednostkowe próbki odpadów w edometrze S_i dla danego naprężenia σ_i obliczono według wzoru:

$$S_i = \frac{\Delta h_i}{h_i} \cdot 100\%,$$

gdzie:

h_i - wysokość początkowa próbki przy naprężeniu σ_i,

Δh_i - wielkość osiadania próbki wskutek zwiększenia naprężenia o $\Delta\sigma_i$.

Tablica 2

Wyniki badań ściśliwości odpadów poflotacyjnych

Obciążenie P kN	Naprężenie σ_i MPa	Ściśliwość odpadów lub osiadanie jednostkowe S_i, %	Przedział naprężeń $\Delta\sigma$ MPa	Średnia ściśliwość odpadów $S_{śr}$ %	Strefa głębokościowa komory poeksploatacyjnej od - do, m	Sumaryczna ściśliwość odpadów w podsadzonej komorze poeksploatacyjnej S, %
0,0	0,00					
0,04	0,012	2,00				
0,21	0,062	1,98	0,0-0,112	5,05	0-6,0	6,10
0,37	0,112	1,07				
0,53	0,116	0,56				
0,69	0,208	0,26	0,112-0,256	0,95	6,0-12,5	1,05
0,85	0,256	0,13				
1,00	0,306	0,07				
1,18	0,355	0,03	powyżej 0,256	0,10	12,5-125,0	0,10
3,35	1,005	0,00				

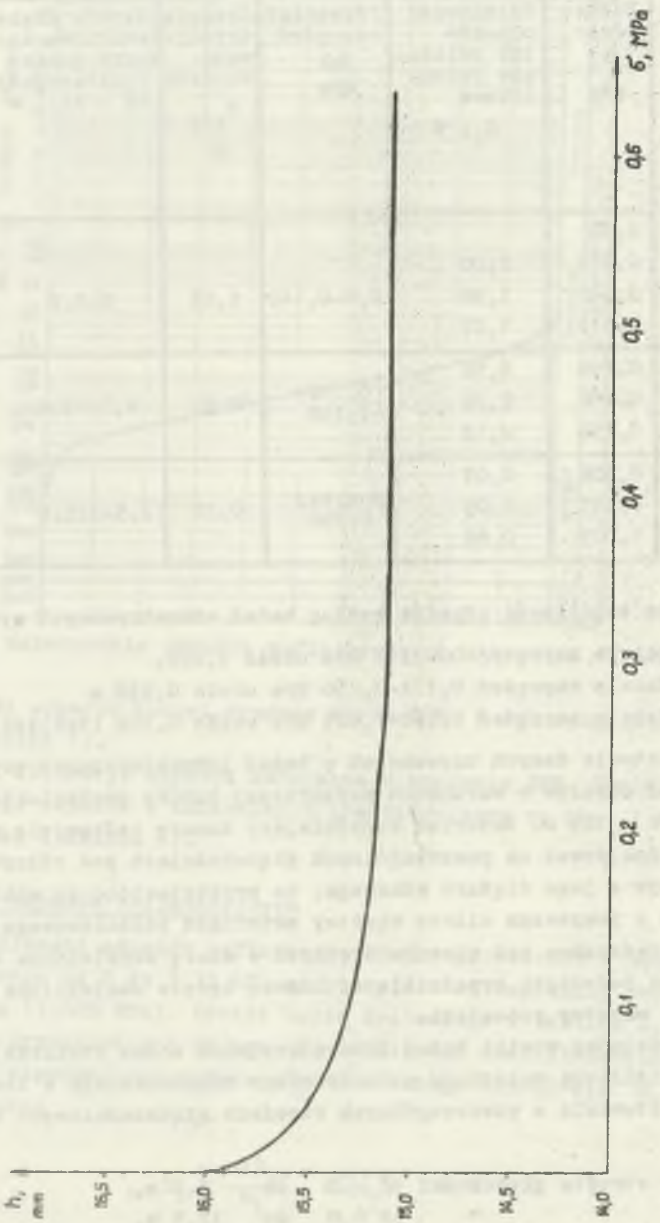
Średnia ściśliwość odpadów według badań edometrycznych wynosiła:

- w przedziale naprężeń 0-0,112 MPa około 5,05%,
- w przedziale naprężeń 0,112-0,256 MPa około 0,95% a
- w przedziale naprężeń 0,256-1,005 MPa około 0,10% (tablica 2).

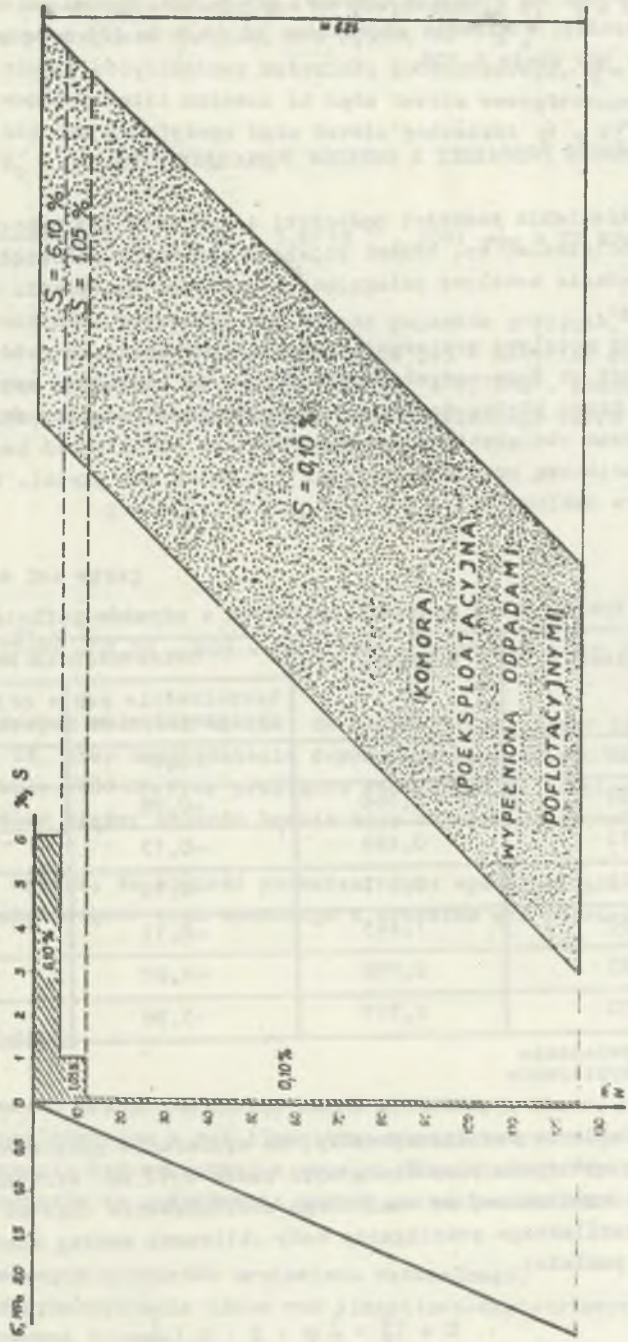
Na podstawie danych uzyskanych z badań laboratoryjnych przeanalizowano ściśliwość odpadów w warunkach podsadzonej komory poeksploatacyjnej o wysokości h = 125 m. Materiał wypełniający komorę całkowicie podsadzoną będzie się znajdował na poszczególnych głębokościach pod różnym naprężeniem wynikającym z jego ciężaru własnego, co przedstawiono na wykresie rys. 3. W związku z powyższym niższe warstwy materiału podsadzkowego będą sukcesywnie zagęszczane pod własnym ciężarem w miarę zapełniania komory. Zatem ściśliwość podsadzki wypełniającej komorę będzie uzależniona od grubości nadległej warstwy podsadzki.

Uwzględniając wyniki badań laboratoryjnych można stwierdzić, że sumaryczna ściśliwość materiału podsadzkowego zdeponowanego w komorze będzie się przedstawiała w poszczególnych strefach głębokościowych komory następująco:

- 6,10% w strefie głębokości od 0 do 6,0 m,
- 1,05% " " " od 6,0 do 12,5 m,
- 0,10% " " " od 12,5 do 125,0 m.



Rys. 2. Wykres krzywej kompresji odpadów poflotacyjnych z kopalni "Krzemianka"



Rys. 3. Rozkład ściśliwości odpadów poflotacyjnych wypełniających komorę poeksploatacyjną

Największą ściśliwością charakteryzuje się warstwa podsadzki zalegająca na głębokości od 0 do 6 m i wynosi ona 6,10%. Natomiast ściśliwość warstwy podsadzki w strefie głębokości od 12,5 do 125 m będzie minimalna i wyniesie ona około 0,10%.

3. NOŚNOŚĆ PODSADZKI Z ODPADÓW POFLOTACYJNYCH

Dla określenia nośności podsadzki i warunków jej wypierania pod działaniem obciążenia, np. kołami pojazdów oponowych pracujących na dole, wykonano badania modelowe polegające na próbnym obciążeniu materiału podsadzkowego.

Badania modelowe wypierania podsadzki wykonano na materiale odsączonym po 3 dniach od jego sedymentacji. Nacisk na odsączony materiał, przekazywany był przez płytkę dociskową o przekroju kołowym i powierzchni F=2,56 cm^2. Podczas obciążenia dokonywano pomiaru odkształceń bezpośrednio pod płytką dociskową oraz w odległości 2,5 cm od osi płytki. Wyniki badań zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Wyniki badań nośności podsadzki z odpadów poflotacyjnych

Obciążenie P kN	Naprężenie σ MPa	Odkształcenia bezwzględne	
		bezpośrednio pod obciążnikiem mm	w odległości 2,5 cm od obciążnika, mm
0,00	0,00	0,0	0,0
0,04	0,160	-0,08	-0,04
0,12	0,485	-0,13	-0,05
0,20	0,817	-0,30	-0,03
0,37	1,443	-0,71	-0,02
0,53	2,076	-1,07	+0,01
0,70	2,717	-3,56	+0,02

znak "-" osiadanie
znak "+" wypieranie

Przeprowadzone badania wykazały, że wypieranie podsadzki spod płyty dociskowej wystąpiło przy obciążeniu około 0,70 kN. Wartość kohezji pozornej (C) wynikającej ze wzajemnego oddziaływania cząstek stałych podsadzki i kapilarnego podciągania wody obliczono według wzoru na odpór graniczny podłoża:

$$C = \left(\frac{Q}{F} - \frac{1}{2}\gamma \cdot B \cdot N_b\right) \frac{1}{N_c},$$

gdzie:

Q - siła nacisku działająca na powierzchnię F, $Q = 0{,}70$ kN

$F = B \cdot L$ - powierzchnia nacisku, $F = 2{,}56 \cdot 10^{-4}$ m^2,

γ - ciężar objętościowy materiału podsadzkowego, $\gamma = 21{,}5$ kN/m^3

N_b, N_c - współczynniki zależne od kąta tarcia wewnętrznego podsadzki; dla przyjętego kąta tarcia podsadzki $\varphi = 45^o$ $N_b = 209$ i $N_c = 118$

$$C = \left(\frac{0{,}70}{2{,}56 \cdot 10^{-4}} - \frac{1}{2} \cdot 21{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot 209\right) \frac{1}{118} = 22 \text{ MPa}$$

Dla określenia nośności podsadzki pod kołami pojazdów przyjęto, że w wyniku spłaszczenia brzegu opony oraz wgniecenia jej w materiał podsadzkowy powierzchnia styku wyniesie $30 \times 50 = 1500$ cm^2 = 0,15 m^2. Nośność podsadzki pod jednym kołem obliczono według przekształconego wzoru przedstawionego powyżej:

$$Q = F\left(\frac{\gamma}{2} \cdot B \cdot N_b + c \cdot N_c\right),$$

gdzie oznaczenia jak wyżej

$$Q = 0{,}15 \left(\frac{21{,}5}{2} \cdot 0{,}30 \cdot 209 + 22 \cdot 118\right) = 494000 \text{ N} = 494 \text{ kN}$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że dopuszczalny ciężar pojazdu wynosi około 1960 kN, przy uwzględnieniu dopuszczalnego nacisku na 1 koło 490 kN, a na 4 koła 1960 kN. Przy przyjęciu współczynnika bezpieczeństwa $n = 3$ dopuszczalny ciężar pojazdu będzie trzy razy mniejszy, czyli około 650 kN.

Z powyższego wynika, że nośność podsadzki jest wystarczająca dla pojazdów oponowych, gdyż ciężar wozu oponowego z urobkiem nie przekracza około 350 kN.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań upoważniają nas do stwierdzenia, że odpady poflotacyjne z rud ilmenitowo-magnetytowych mogą być wykorzystane do podsadzki hydraulicznej w kopalni "Krzemianka". Wykorzystanie rozpatrywanych odpadów do podsadzania pustek poeksploatacyjnych pozwoli na:

- ochronę podstawowych elementów środowiska naturalnego,
- wysoki stopień wykorzystania złoża rud ilmenitowo-magnetytowych,
- ochronę powierzchni terenu.

LITERATURA

[1] Kozłowski S.: Konsekwencje ekologiczne planowanych kopalni i nakładu przeróbczego rud polimetalicznych "Krzemianka". Ekspertyza PAN Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju i Wydziału VII Nauk o Ziemi i Nauk Górniczych. Warszawa, wrzesień 1982 r.

[2] Sztelak J. i zespół: Opracowanie nowego kompleksowego modelu kopalni rud polimetalicznych "Krzemianka". Archiwum Instytutu Geologii Stosowanej, Gliwice 1983 r.

Wpłynęło do Redakcji w lipcu 1984 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Erast Konstantynowicz

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОДЕЛЬНЫХ ОДХОДОВ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ИЛЬМЕНИТО-МАГНЕТИТОВЫХ РУД В АСПЕКТЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЗАКЛАДКЕ

Р е з ю м е

В статье были представлены результаты лабораторных исследований и модельных отходов флотационного обогащения, происходящих из процесса обогащения полиметаллических руд, проектируемой шахты "Кшемянка", в аспекте их использования для закладки. Из проведённых исследований следует, что рассматриваемые отходы могут быть использованы для гидравлической закладки.

Использование, рассматриваемых отходов для гидравлической закладки повлияет на защиту внешней среды, высокую степень использования залежи и защиты поверхности территории.

THE RESULTS OF LABORATORY TESTS AND MODEL EXAMINATIONS OF FLOTATION FAILINGS OF ILMENITE AND MAGNETITE ORES IN THE ASPECT OF USING THEM IN HYDRAULIC FILLING

S u m m a r y

The article presents the results of laboratory and model examination of flotation failings from the process of enriching polimetallic ores in the mine Krzemianka, which is being designed, and the aspects of using them in hydraulic filling. The investigations carried out so far prove that the failings may be used for hydraulic filling.

The use of failings for these purposes will protect the natural environment and will ancure a high degree of using the coal bed and the area protection.