

Jan PALARSKI, Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSŁEK, Grzegorz STROZIK
Politechnika Śląska, Gliwice

WYKORZYSTANIE GIPSU POREAKCYJNEGO JAKO SKŁADNIKA MIESZANIN DROBNOZIARNISTYCH STOSOWANYCH W TECHNOLOGIACH GÓRNICZYCH

Streszczenie. Stosowane coraz powszechniej w elektrowniach i elektrociepłowniach mokre odsiarczanie spalin powoduje ograniczenie emisji związków siarki do atmosfery, ale równocześnie powstawanie znacznych ilości produktu odpadowego w postaci gipsu poreakcyjnego wymagającego zagospodarowania. Jedną z możliwych metod jego zagospodarowania jest wykorzystanie w górnictwie. W artykule przedstawiono wyniki prób lokowania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w wyrobiskach górniczych pod kątem przydatności w technologiach górniczych.

THE USE OF REA-GYPSUM AS A COMPONENT OF FINE-GRAINED SLURRIES FOR UNDERGROUND MINING TECHNOLOGIES

Summary. The more and more widely used wet method of flue gas desulphurization process results in reduction of compounds of sulphur into the atmosphere but generate large amounts of a waste by-products called REA-gypsum which needs to be utilised. Between others underground mining offers a possibility for utilisation of these waste. The paper presents the results of trial deposition of fly ash – REA-gypsum – water slurries in underground workings.

1. Wstęp

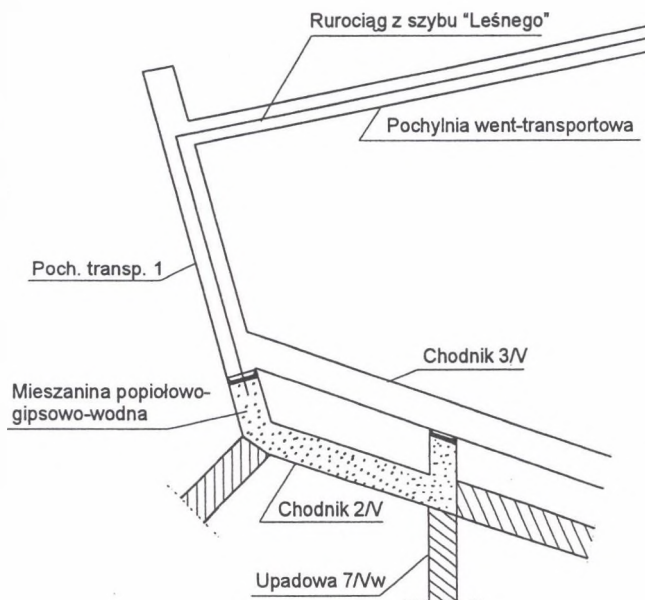
W procesie odsiarczania spalin w elektrowniach i elektrociepłowniach powstają znaczne ilości produktu poreakcyjnego w postaci gipsu spalinowego, zwanego również reagipsem. Gips poreakcyjny jako produkt odpadowy w technologii odsiarczania spalin wymaga zagospodarowania lub przemysłowego wykorzystania. Gips ten może być wykorzystany do

produkcji gipsu budowlanego lub cementu, zastępując gips naturalny. W przypadku braku zapotrzebowania na gips poreakcyjny należy znaleźć inną formę jego zagospodarowania. Jedną z metod jego zagospodarowania może być wykorzystanie w podziemnych technologiach górniczych, np. w mieszaniu z popiołami lotnymi do wypełniania wyrobisk oraz izolowania zrobów zawałowych, pod warunkiem, że będzie spełniać wymagania obowiązujących norm i przepisów dla odpadów lokowanych we wnętrzu ziemi. W artykule zostaną przedstawione wyniki prób lokowania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w wyrobiskach górniczych kopalni „Porąbka-Klimontów” pod kątem przydatności w technologiach górniczych i wpływu na środowisko.

2. Charakterystyka miejsca lokowania mieszanin popiołowo-gipsowych

Do przeprowadzenia prób lokowania mieszanin popiołowo-gipsowych w wyrobiskach górniczych KWK „Porąbka-Klimontów” wytypowano po analizie warunków górniczo-geologicznych i hydrogeologicznych chodnik 2/V w pokładzie 510 na poziomie 470 m w oddziale G-7, znajdujący się w centralnej części partii „A” złoża stanowiącego północno-zachodnią część obszaru górniczego „Zagórze-I”. Mieszaniną popiołowo-wodną został wypełniony chodnik 2/V na odcinku od skrzyżowania z chodnikiem 3/V do upadowej 7/Vw wraz z odcinkiem upadowej 7/Vw od chodnika 2/V do chodnika 3/V. Chodnik 2/V zlokalizowany jest na północnym skraju filara szybu „Józef”. Wykonany jest w podstropowej warstwie pokładu 510 osiagającego w tym rejonie miąższość od 12,7 do 15,2 m. Chodnik ten poprzez wyrobisko kamienne wykonane poniżej pokładu 510 (pochylnia odstawcza) ma połączenie z przekopem kierunkowym zachodnim na poz. 470 m. Pokład 510 w tym rejonie zapada w kierunku południowym pod kątem 8 ± 10^0 . Od północy wyrobisko graniczy ze zrobami podsadzkowymi pokładu 510 wybranego na całą grubość (4 warstwy) w latach 1973÷1977. Na południu graniczy z filarem szybu „Józef”, w obrębie którego prowadzona była eksploatacja trzech warstw pokładu 510 na podsadzkę hydrauliczną w latach 1992÷1997. Poprzez upadową 6/V i 7/Vw chodnik 2/V ma połączenie ze zrobami po eksploatacji warstwy podstropowej pokładu 510 w obrębie filara szybu „Józef”. Usytuowanie wyrobiska w pokładzie 510 przedstawiono na rys. 1.

W stropie bezpośrednim pokładu 510 występuje piaskowiec różnoziarnisty o grubości około 90 m z przerostem łupka ilastego o grubości 1,7 m i węgla 0,5 m. W spągu pokładu zalega łupek ilasty oraz piaskowiec przechodzący w łupek piaszczysty. W profilu geologicznym opisywanego obszaru występują dwa horyzonty wodne czwartorzędowy i karboński. Horyzont czwartorzędowy związany jest z występowaniem klastycznych utworów nadkładu. Jest to horyzont nieciągły, usytuowany w warstwach o miąższości około 1,5 m. Izolowany jest utworami ilastymi czwartorzędu i karbonu. Wydajność tego horyzontu jest bardzo mała. Horyzont karboński jest związany z występowaniem warstw piaskowców orzeskich i rudzkich. Grubość warstw piaskowcowych waha się od kilku do kilkudziesięciu metrów. Zasilanie piaskowców odbywa się w sprzyjających warunkach na ich wychodniach przy stropie karbony. Rejon oddziału G-7 charakteryzuje się brakiem zawodnienia. Zasoby statyczne wód naturalnych zostały odprowadzone.



Rys. 1. Usytuowanie przeznaczonych do wypełnienia mieszaniną popiołowo-gipsowo-wodną wyrobisk w pokładzie 510

Fig.1. Localization of workings in 510 seam for filling up with fly ash - reagypsum - water slurry

W partii północno-zachodniej O. G. „Zagórze-I” występują jedynie zasoby naturalne wód dynamicznych drenowane ze zrobów pokładu 510, zasilanych na wychodniach opadami atmosferycznymi. Dopływ ten w ilości około $1\text{m}^3/\text{min}$ za pośrednictwem wyrobisk na poz. 300

i 350 m sprowadzany jest upadową kamienną K-7 przez rejon filara szybu „Józef” na poziom 470 m i dalej przekopem wodnym do systemu głównego odwadniania przy szybach centralnych. Rejon filara szybu „Józef” zaliczony jest do I stopnia zagrożenia wodnego. Kopalnia „Porąbka-Klimontów” wykorzystuje w podsadźce hydraulicznej do likwidacji zbędnych wyrobisk górniczych oraz do doszczelniania zrobów skruszoną skałę płoną oraz odpady energetyczne i hutnicze. Ilość odpadów energetycznych i hutniczych zagospodarowanych w kopalni „Porąbka-Klimontów” w latach 1997÷1999 przedstawiono w tabeli 1.

3. Charakterystyka mieszanin popiołowo-gipsowych lokowanych w KWK „Porąbka –Klimontów”

Do wypełniania likwidowanego chodnika 2/V w pokładzie 510 stosowano mieszaninę popiołowo-gipsowo-wodną o stosunku masowym popiołu do gipsu poreakcyjnego 70:30 i gęstości mieszaniny $1,39\div 1,45 \text{ Mg/m}^3$. Do wytwarzania mieszaniny użyto popioły lotne ze spalania fluidalnego z elektrociepłowni „Żerań”, gips poreakcyjny z mokrego odsiarczania spalin z elektrowni „Jaworzno” oraz wodę dołową z kopalni „Porąbka-Klimontów”. Składy użytych materiałów przedstawiono w tabelach 2÷4.

4. Przebieg prób lokowania mieszaniny popiołowo-gipsowo-wodnej w chodniku 2/V

Mieszanina do wypełniania wyrobiska była wytwarzana za pomocą urządzeń podsadzkowych zlokalizowanych przy szybie „Leśnym”. Urządzenia te przystosowane są do zmulania materiału podsadzkowego zgromadzonego w zbiorniku jak również do wytwarzania mieszanin drobnoziarnistych. Przy podsadzkoźni znajdują się podjazdy dla samochodów cystern oraz most samowyladowczy, na którym istnieje stanowisko pneumatycznego rozładunku wagonów cystern.

Tabela 1

Ilość odpadów energetycznych i hutniczych zagospodarowanych
w KWK „Porąbka-Klimontów” w latach 1997÷1999

Lp.	Wytwórca odpadu	Rodzaj odpadu	Ilość odpadu [t]
1997			
1	Elektrownia „Jaworzno”	popiół	3691
2	Huta „Katowice”	żużel wielkopiec.	179095
3	Elektrownia „Łagisza”	popiół	12591
		żużłopopiół	7354
Suma			202731
1998			
1	Elektrownia „Jaworzno”	żużel popiół	9029 15623
2	Elektrociepłownia „Będzin”	żużel	1155
3	Huta „Katowice”	żużel wielkopiec.	136476
		popiół	3494
4	WOJZEC „Wojkowice”	żużłopopiół	632
5	Elektrownia „Łagisza”	popiół	19709
		żużłopopiół	20289
Suma			206407
1999 (I÷X)			
1	Elektrownia „Jaworzno”	popiół	28975
		żużel	30351
2	Elektrownia „Siersza”	żużel	7338
		popiół	5335
		popiół po odsiarcz.	883
3	Elektrociepłownia „Żerań”	popiół fluidalny	472
4	Elektrociepłownia „Będzin”	żużel	670
		popiół	1246
5	Huta „Katowice”	popiół	8828
6	Elektrownia „Łagisza”	popiół	15634
		żużłopopiół	54598
		popiół po odsiarcz.	1512
		miesz. popiołu i żużła	1428
Suma			157136
Razem			566274

Tabela 2

Skład chemiczny popiołu lotnego ze spalania fluidalnego z Elektrociepłowni „Żerań”

Lp.	Składnik	Zawartość [%]
1	SiO ₂	41,65
2	Al ₂ O ₃	17,93
3	Fe ₂ O ₃	8,16
4	CaO	11,63
5	MgO	2,69
6	Na ₂ O	0,98
7	K ₂ O	1,95
8	SO ₃	6,19
9	TiO ₂	0,81
10	P ₂ O ₅	0,15
11	Straty prażenia	7,22
12	CaO wolne	0,66

Tabela 3

Skład chemiczny gipsu poreakcyjnego z Elektrowni „Jaworzno”

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
1	2	3	4
1	Wilgotność	%	10,68
2	Stopień czystości	%	94,13
3	Chlorki	%	0,009
4	CaSO ₄ · 2H ₂ O	%	94,04
5	CaCO ₃	%	3,44
6	Części nierozpuszczalne	%	1,57
7	Cr	mg/kg	3,89
8	Zn	mg/kg	52,10
9	Cd	mg/kg	0,42

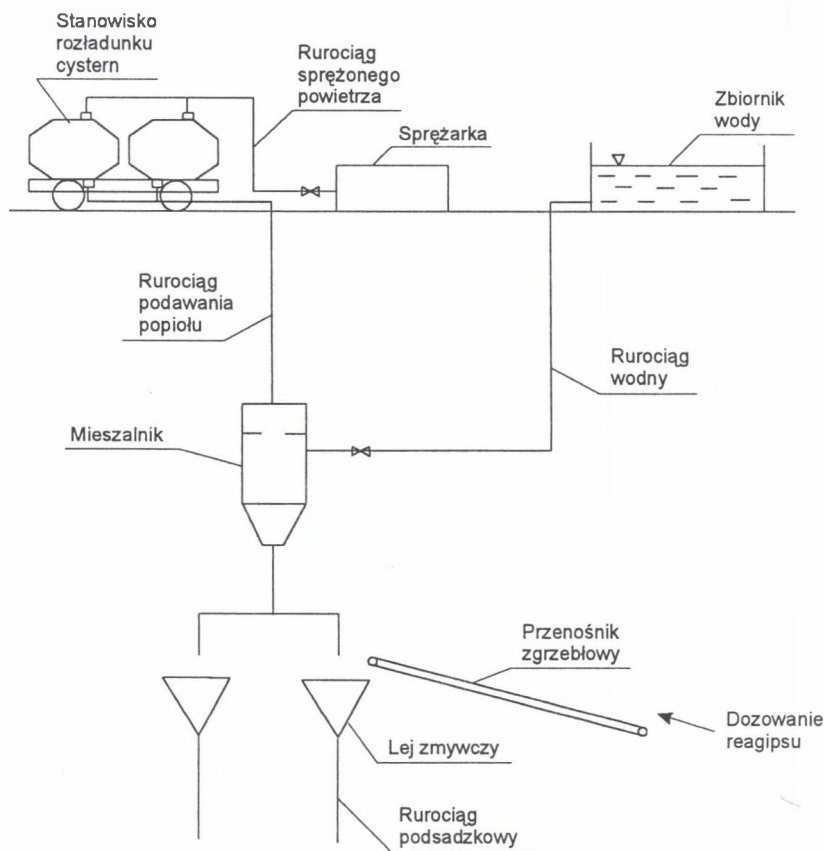
cd. tabeli 3

1	2	3	4
10	Pb	mg/kg	45,37
11	Ni	mg/kg	3,23
12	Cu	mg/kg	5,36
13	Hg	mg/kg	0,48
14	Na	mg/kg	353,30
15	K	mg/kg	346,83
16	Mg	mg/kg	796,00
17	Al.	mg/kg	1156,22
18	Granulacja ∇	μm	82,84
19	pH	—	7,65

Tabela 4

Skład chemiczny wody dołowej z kopalni „Porąbka-Klimontów”

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Odczyn	pH	7,84
2	Substancje rozpuszczone	mg/l	1800
3	Zawiesina ogólna	mg/l	ślady
4	Twardość ogólna	mgCaCO ₃ /l	944
5	Ca	mg/l	210
6	Mg	mg/l	102
7	Fe	mg/l	2,5
8	Mn	mg/l	1,0
9	Na	mg/l	188
10	K	mg/l	23
11	Cl (chlorki)	mg/l	213
12	SO ₄ (siarczany)	mg/l	715
13	Ni	mg/l	0,07
14	Cr	mg/l	< 0,01
15	Zn	mg/l	0,11
16	Cd	mg/l	< 0,005
17	Cu	mg/l	< 0,005
18	Pb	mg/l	0,031



Rys. 2. Schemat urządzeń do wytwarzania mieszaniny popiołowo-gipsowo-wodnej
 Fig.2. A layout of a preparation plant of fly ash - reagent gypsum - water slurry

Instalacja do wytwarzania mieszanin droбноziarnistych przedstawiona na rys. 2 składa się z następujących elementów:

- 1) mieszalnika cylindrycznego o średnicy 400 mm i wysokości 1400 mm, zainstalowanego bezpośrednio nad lejem – wlotem do rurociągu podsadzkowego; do mieszalnika podłączone są rurociągi:
 - Ø 150 mm doprowadzający popioły lotne,
 - Ø 100 mm doprowadzający wodę do wytwarzania mieszaniny,
 - Ø 150 mm doprowadzający mieszaninę do skrzyni zmywczej, skąd mieszanina transportowana jest grawitacyjnie do wypełnianych wyrobisk,
- 2) agregatu sprężarkowego typu WEK – 103,

- 3) rurociągu \varnothing 50 mm doprowadzającego sprężone powietrze do miejsca podłączenia cystern,
- 4) sygnalizacji akustyczno-optycznej pomiędzy obsługą mieszalnika a miejscem rozładunku cystern.

Podczas wytwarzania mieszaniny popiołowo-gipsowo-wodnej gips poreakcyjny był dodawany do mieszaniny popiołowo-wodnej za pomocą przenośnika zgrzeblowego typu PZR-10 bezpośrednio do leja zmywczego. Mieszanina popiołowo-gipsowo-wodna dostarczana była do chodnika 2/V siecią rurociągów o średnicy 150 i 185 mm i długości około 2800 m.

W czasie wypełniania wyrobiska mieszaniną popiołowo-gipsowo-wodną wykonywano następujące czynności:

- napełniano rurociąg podsadzkowy wodą w celu potwierdzenia jego drożności i szczelności,
- po stwierdzeniu, że woda wpływa z rurociągu pełnym przekrojem, otwierano zawór na rurociągu doprowadzającym wodę do mieszalnika i zamykano zawór doprowadzający wodę do skrzyni podsadzkowej,
- uruchamiano sprężarkę doprowadzającą sprężone powietrze do wagonów cystern, umożliwiające transport popiołu lotnego do mieszalnika,
- uruchamiano przenośnik zgrzeblowy dozujący reagips do leja zmywczego,
- zatrzymanie wytwarzania mieszaniny następowało po zakończeniu lokowania mieszaniny, opróżnienia cystern lub wystąpienia awarii rurociągu podsadzkowego,
- po zakończeniu lokowania mieszaniny przepłukuje się rurociąg i wyłącza sprężarkę.

Przeznaczone do wypełnienia mieszaniną popiołowo-gipsowo-wodną odcinki chodnika 2/V i upadowej 7/Vw zostały wyizolowane z sieci czynnych wyrobisk górniczych z równoczesnym zapewnieniem monitoringu wypełniania i zestalania mieszaniny. Natomiast wyrobiska łączące się z likwidowanym rejonem, takie jak chodnik 1/Ww, południowa część upadowej 7/Vw oraz wschodnia część chodnika 2/V zostały wcześniej zlikwidowane przez wypełnienie mieszaniną popiołowo-wodną. W trakcie lokowania mieszaniny popiołowo-gipsowo-wodnej w likwidowanym wyrobisku rejestrowano następujące parametry:

- ilość zdeponowanej mieszaniny,
- stopień zestalania mieszaniny,
- temperaturę w otoczeniu wypełnianego wyrobiska,
- stan tam izolacyjnych,

– ilość i jakość wody odciekowej i nadmiarowej.

Ponadto podczas lokowania mieszanki pobierano próby zdeponowanego materiału i wody odciekowej do badań chemicznych i wytrzymałościowych. Lokowanie mieszanki popiołowo-gipsowo-wodnej w chodniku 2/V prowadzono w okresie od 10.08. do 9.09.1999 r. Ilość ułożonych w wyrobisku składników mieszanki w poszczególnych dniach zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Ilość zdeponowanych materiałów w likwidowanym wyrobisku

Lp.	Data	Pość zdeponowanych składników mieszanki		
		popiół [Mg]	reagips [Mg]	woda [m ³]
1	10.08.1999	30,46	9,14	39,62
2	11.08.1999	38,14	11,44	49,56
3	12.08.1999	36,88	11,06	47,88
4	13.08.1999	35,87	10,77	46,62
5	18.08.1999	68,49	20,55	9,04
6	19.08.1999	69,16	20,75	89,88
7	20.08.1999	33,68	10,11	43,82
8	23.08.1999	63,03	18,91	81,9
9	08.09.1999	67,31	20,19	87,5
10	09.09.1999	29,47	8,85	38,36
11	Suma	472,49	141,75	614,18

Po zakończeniu lokowania mieszanki popiołowo-gipsowo-wodnej prowadzono obserwacje i pobierano próby do badań po 1, 7, 14, 21 i 28 dniach. Monitoring zdeponowanej mieszanki wykazał:

1) po 1 dniu:

- wysokość warstwy wody nadosadowej wynosiła 1 m,
- pod warstwą wody nadosadowej występuje płynna mieszanina,
- temperatura otoczenia około 36⁰ C,

2) po 7 dniach:

- brak odcieków i wykropleń,
- wysokość warstwy wody nadosadowej 0,4 m,

- pod zwierciadłem wody zsedymetowana mieszanina popiołowo-gipsowa o miękkiej konsystencji,
 - temperatura otoczenia około 45°C ,
- 3) po 14 dniach:
- brak wody nadosadowej,
 - na powierzchni zdeponowanego materiału warstwa mazi poślizgowej o grubości około 5 cm, a pod nią częściowo zestalony materiał o konsystencji plastycznej,
 - temperatura otoczenia około 34°C ,
- 4) po 21 dniach:
- obserwuje się dalsze zestalenie mieszaniny,
 - po odsłonięciu warstwy zsedymetowanego materiału o grubości 10 cm stwierdzono temperaturę $29+32^{\circ}\text{C}$,
 - pobrano próbę do badań wytrzymałościowych,
- 5) po 28 dniach:
- nie stwierdzono istotnych zmian w zestaleniu mieszaniny,
 - temperatura około 26°C ,
 - pobrano kolejne próby do badań wytrzymałościowych.

5. Wyniki badań wytrzymałościowych i chemicznych

Wyniki badań wytrzymałościowych mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych pobranych po 21 i 28 dniach zestalania w wyrobisku oraz analizy chemiczne wód odciekowych przedstawiono w tabelach 6 i 7.

Tabela 6

Wytrzymałość na ściskanie zestalonej mieszanki popiołowo-gipsowo-wodnej

Lp.	Nr próby	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		
		po 21 dniach	po 28 dniach	po 28 dniach i 48 godz, nawilż.
1	I	0,38	0,48	0,40
2	II	0,30	0,46	0,40
3	III	0,29	0,41	0,41
4	IV	0,33	0,39	0,37
5	V	0,35	0,40	0,41
6	średnia	0,33	0,43	0,40

Tabela 7

Analiza wód odciekowych z wypełnianego mieszanką popiołowo-gipsowo-wodną chodnika

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Odczyn	pH	7,30÷8,61
2	Zawiesina ogólna	mg/l	22÷3028
3	Twardość ogólna	mgCaCO ₃ /l	840÷2475
4	Na	mg/l	67÷124
5	K	mg/l	2÷4
6	Zn	mg/l	0,029÷0,091
7	Cd	mg/l	0,001÷0,002
8	Cu	mg/l	0,001÷0,004
9	Ni	mg/l	0÷0,006
10	Pb	mg/l	n. s.
11	Cr	mg/l	0÷0,003
12	Chlorki -Cl	mg/l	105÷195
13	Siarczany - SO ₄	mg/l	645÷1653
14	ChZT	MgO ₂ /l	2÷7

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych prób zastosowania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych do wypełniania wyrobisk górniczych można sformułować następujące wnioski:

1. Stosowana do wypełniania wyrobisk mieszanina popiołowo-gipsowo-wodna charakteryzowała się dobrymi własnościami transportowymi w rurociągu i migracyjnymi w wyrobisku, wypełniając szczelnie podsadzany odcinek chodnika 2/V i upadowej 7/V.
2. Obserwacje mieszaniny po jej zdeponowaniu w wyrobisku wykazały, że:
 - proces zestalania mieszaniny trwa dłużej niż w warunkach laboratoryjnych. Zestalanie mieszaniny następowało między 14 a 21 dobą po zakończeniu podsadzania wyrobisk,
 - woda nadosadowa w znacznej ilości została związana przez mieszaninę i zaabsorbowana przez otaczający górotwór,
 - w rejonie deponowania mieszaniny występowała podwyższona temperatura max. około 45°C.
3. Wytrzymałość na ściskanie próbek zestalanej mieszaniny pobranych z podsadzonych wyrobisk wynosiła od 0,29 do 0,38 MPa po 21 dniach od zakończenia podsadzania oraz od 0,39 do 0,48 MPa po 28 dniach od zdeponowania mieszaniny. Zestalona mieszanina wykazuje odporność na rozmakanie w kontakcie z wodami dołowymi.
4. Woda odciekowa charakteryzowała się przekrozoną zawartością siarczanów 645÷1653 mg/l w stosunku do wartości dopuszczalnych normą PN-93/G-11010. Wyniki badań składu chemicznego wody użytej do wytwarzania mieszaniny wskazują, że przekroczenie dopuszczalnej zawartości siarczanów występuje dla samej wody zarobowej 715 mg/l.

Recenzent: Dr inż. Leon Łukwiński

Abstract

The more and more widely used wet method of flue gas desulphurization process results in reduction of compounds of sulphur into the atmosphere but generate large amounts of a waste by-products called REA-gypsum which needs to be utilised. Between others underground mining offers a possibility for utilisation of these waste. The paper presents the results of trial deposition of fly ash – REA-gypsum – water slurries in an underground working (Fig. 1). A strong impact has been given to the chemical analysis of waste materials used in the case (Table 2, 3, 4), as well as to obtained results - mechanical properties of fill material (Table 6) and chemical composition of leakage from analysed working (Table 7).