



Piotr PIERZYNA*, Marcin POPCZYK*

Odzysk odpadu energetycznego z metody mokrego odsiarczania spalin do likwidacji zbędnych wyrobisk górniczych

STRESZCZENIE. Odzysk odpadów energetycznych przez górnictwo podziemne stanowi największą alternatywę dla ich powierzchniowego składowania, co jest korzystne głównie z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego. W pracy podjęto temat oceny możliwości stosowania odpadu energetycznego, pochodzącego z metody mokrej odsiarczania, tzw. reagipsu z dodatkiem cementu w ilości 5, 10, 15 i 20% w podziemnych technologiach górniczych. Podstawę oceny stanowiła norma PN-G-11011 „Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych. Wymagania i badania”. Wykonane mieszaniny charakteryzowały się wskaźnikami wodno-spoiwowymi w/s wynoszącymi 0,3, 0,4 i 0,5. Skład chemiczny badanego reagipsu przedstawiono w tabeli 3.

Na podstawie przeprowadzonych badań właściwości fizykomechanicznych mieszanin reagipsu z cementem można stwierdzić, że:

- rozlewność zmieniała się od 90 do 305 mm, przy czym jedyna mieszanina z udziałem 20% cementu o wskaźniku w/s = 0,3 wykazała konsystencję plastyczną (rys. 2);
- gęstość kształtowała się w zakresie od 1513 do 1905 g/l (rys. 3);
- ilość wody nadosadowej wynosiła od 0 do 19,4% (rys. 4);
- czas tężenia zmienił się od 10 do 29 godz. (rys. 5);
- czas wiązania zmienił się od 18 do 74 godz. (rys. 6);
- wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach kształtowała się od 0,25 do 4,98 MPa (rys. 7);
- rozmakalność wynosiła od 3,4 do 38% (rys. 8).

Jak wynika z analizy przeprowadzonych badań właściwości fizykomechanicznych można stwierdzić, że wymagania normy PN-G 11011:1998 „Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych. Wymagania i badania” dla technologii:

* Dr inż. – Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: piotr.pierzyna@polsl.pl, marcin.popczyk@polsl.pl

- 1) podsadzki zestalanej spełniają tylko mieszaniny z dodatkiem 20% cementu o wskaźnikach w/s wynoszących 0,4 i 0,5,
- 2) doszczelniania zrobów zawałowych spełniają wszystkie mieszaniny z wyjątkiem mieszaniny z 20% udziałem cementu o wskaźniku w/s wynoszącym 0,3 ze względu na konsystencję plastyczną.

SŁOWA KLUCZOWE: górnictwo, podsadzka zestalana, doszczelnianie, odpady energetyczne, reagips

Wprowadzenie

Od kilkunastu lat energetyka zawodowa coraz częściej wykorzystuje do odsiarczania spalin metody mokre, charakteryzujące się bardzo wysoką sprawnością kształtującą się na poziomie około 90–98%. Oparta jest ona na pochłanianiu (absorpcji) dwutlenku siarki i jego reakcji w zawieszonym kamienia wapiennego. Mokre metody odsiarczania spalin prowadzi się zawsze po wstępnym odpyleniu spalin i wychwyceniu frakcji mineralnych – popiołów lotnych – z gazów odlotowych. Odpylone spaliny są „płukane” w reaktorze w roztworze sorbentu (kamienia wapiennego). Powstającym produktem odsiarczania tej metody jest dwuwodny siarczan wapnia tzw. „reagips”. Gips z instalacji mokrego odsiarczania spalin jest wykorzystany przy produkcji materiałów budowlanych (np. gipsu budowlanego czy płyt gipsowo-kartonowych), w przemyśle cementowym jako regulator czasu wiązania, służy jako aktywator procesu twardnienia w produkcji betonów komórkowych, może być stosowany jako zamiennik naturalnego kamienia gipsowego lub anhydrytu. Uwodniony gips z mokrego odsiarczania stosuje się także w drodze autoklawizacji do wytwarzania półwodnego gipsu o odmianie alfa, stosowanego w bardzo specjalistycznych spoiwach ceramicznych, medycznych i odlewniczych (Trzepierczyńska 1997). W zależności od rodzaju spalanej węgla, technologii spalania i stosowanej metody odsiarczania spalin, reagipsy – podobnie jak inne odpady energetyczne – cechują się zmiennością właściwości chemicznych. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe składy chemiczne gipsów pochodzących z mokrego odsiarczania spalin (Trzepierczyńska 1997).

Opisane w pracy (Trzepierczyńska 1997) właściwości chemiczne, w tym zawartość metali ciężkich (tab. 2) przykładowych reagipsów, ze względu na zwiększoną zawartość siarczanów, chlorków, fluorków oraz silnie zasadowy odczyn, należy według Autorki, zaliczyć do III klasy szkodliwości; mogą one być składowane na składowiskach uszczelnionych (Trzepierczyńska 1997).

Odzysk odpadów energetycznych przez górnictwo podziemne stanowi największą alternatywę dla ich powierzchniowego składowania, co jest korzystne głównie z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego. Kopalnie węgla kamiennego najczęściej odzyskują odpady energetyczne drobnofrakcyjne o uziarnieniu poniżej 1 mm. Są to przede wszystkim wszelkiego rodzaju popioły lotne, na bazie których wytwarzane są hydromieszaniny, grawitacyjnie transportowane do miejsc aplikacji w podziemnych wyrobiskach górniczych. Technologie górnictwa podziemnego, w których odzyskuje się różnego rodzaju odpady drobnofrakcyjne, w szczególności energetyczne, przedstawiono na rysunku 1 (Palarski i in. 2007).

TABELA 1. Składy chemiczne przykładowych reagipsów (Trzepierczyńska 1997)

TABLE 1. Examples of REA-gypsum chemical composition (%wt)

Składnik	Zawartość składnika (% sm)			
	PEC „Chrzanów”	ZCh „Jelchem”	EC „Zabobrze”	Metoda WAWO
Wilgotność	45 (45°C)	39,6 (105°C)	2,74	0,87
Straty prażenia	26,04	19,64	28,0	18,92
SiO ₂ + cz. nierozp.	5,94	10,0	10,20	52,30
Fe ₂ O ₃	1,05	1,43	0,71	3,57
Al ₂ O ₃	2,86	3,04	2,38	5,20
CaO (ogólny)	41,94	29,67	47,60	9,34
Na ₂ O	0,22	0,47	0,62	2,13
K ₂ O	0,15	0,11	0,02	0,59
MgO	0,95	1,83	1,33	1,50
SO ₃ (z SO ₄ ²⁻)	16,72	24,83	5,50	4,0
873 SO ₃ (z SO ₃ ²⁻)	9,40	1,40	1,48	3,08
CL ⁻	nb	0,07	1,05	1,25
CaO (wolny)	nb	1,80	nb	1,20

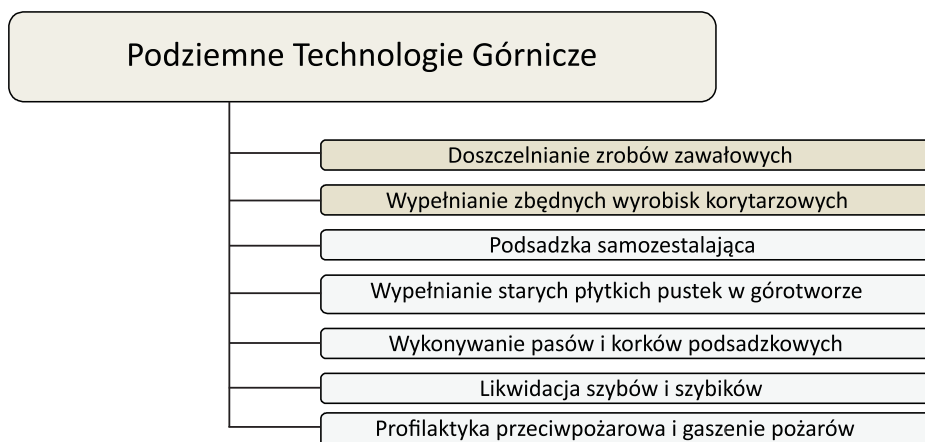
TABELA 2. Zawartość metali ciężkich przykładowych reagipsów (Trzepierczyńska 1997)

TABLE 2. Heavy metal content of examples of REA-gypsum (%wt)

Oznaczenie	Zawartość składnika (% sm)		
	EC „Jelchem”	EC „Zabobrze”	metoda WAWO
Cu	70	80	80
Cr	50	40	80
Cd	15	–	5
Ni	90	50	80
Pb	60	570	30
Zn	850	40	150

Najczęściej wykonywanymi technologiami, praktycznie w każdej kopalni węgla kamiennego, to doszczelnianie zrobów zawałowych oraz likwidacja zbędnych wyrobisk.

Odzysk odpadów w podziemiach kopalń znajduje się w obszarze uregulowanym prawnie. Prawo Geologiczne i Górnicze (Dz.U. nr 163, poz. 981, 2011) dopuszcza stosowanie odpadów



Rys. 1. Technologie górnictwa podziemnego odzyskujące odpady drobnofrakcyjne (Palarski i in. 2007)

Fig. 1. Underground mining technologies where tailings can be used

w podziemnych technologiach górnictwa, co wynika m.in. z zapisów art. 107. pkt. 2, ust 2 dotyczących planu ruchu zakładu górnictwa, określającego szczegółowe przedsięwzięcia niezbędne dla zapewnienia:

- a) wykonywania działalności objętej koncesją,
- b) bezpieczeństwa powszechnego,
- c) bezpieczeństwa pożarowego,
- d) bezpieczeństwa osób przebywających w zakładzie górnictwa, w szczególności dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy,
- e) racjonalnej gospodarki złożem,
- f) ochrony elementów środowiska,
- g) ochrony obiektów budowlanych,
- h) zapobiegania szkodom i ich naprawy.

Odzysk odpadów w kopalniach opiera się na procesach dawniej R14 i R15, a obecnie w myśl Ustawy o odpadach z 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. nr 0 poz. 21, 2013) odpowiednio na procesach R5 i R11. Fizycznie w kopalniach odzysku dokonuje się w instalacjach powierzchniowych.

Zróżnicowanie właściwości chemicznych i mineralogicznych wśród odpadów energetycznych pociąga za sobą odmienność uzyskanych właściwości mechanicznych zestalonych hydro mieszanin, a co za tym idzie zróżnicowanie w możliwościach ich stosowania w technologiach górnictwa. W wielu technologiach stosowanych w górnictwie podziemnym (korki izolacyjne, pasy podsadzkowe, podsadzka zestalana itp.) wykorzystujących odpady energetyczne konieczne jest dodawanie środków wiążących w celu uzyskania materiałów o odpowiednich parametrach mechanicznych (Plewa i in. 2007b).

Z uwagi na brak właściwości wiążących reagipsu oraz wymagania dotyczące materiałów do technologii podanych wyżej należy zastosować spoiwo np. cement (Plewa i in. 2007a, Plewa i in. 2007b) lub dodać do wapiennych popiołów lotnych z grupy 100182 o odpowiednich właściwościach wiążących (Plewa i in. 2012). Ponadto, jak wynika z rozważań przedstawionych w pracach (Trzepierczyńska 1997; Plewa i in. 2007), w celu ograniczenia wymywal-

ności substancji szkodliwych z odpadu – w tym przypadku reagipsu – a co za tym idzie ochrony wód podziemnych, konieczne jest ich zestalenie.

1. Metodyka oraz zakres badań właściwości fizykomechanicznych

Do badań podstawowych właściwości fizykomechanicznych hydromieszanin sporządzonych na bazie reagipsu wykorzystano spoiwo hydrauliczne w postaci cementu CEM III 42,5. Zastosowany cement charakteryzuje się dużą odpornością na korozję siarczanową czy chlorokową. Jak wiadomo reagips charakteryzuje się podwyższoną zawartością siarczanów i chlorków.

Ponadto zastosowanie spoiwa hydraulicznego zapewnia odpowiednią odporność na działanie wtórne środowiska wodnego (po jego zestaleniu). W przypadku zastosowań dołowych wszelkiego rodzaju materiałów mineralnych, a w szczególności odpadów o niekorzystnym składzie chemicznym, bardzo ważne jest, aby materiał spoiwowy w kontakcie z wodą dołową – np. z wodą z dopływu naturalnego – nie ulegał rozmakaniu lub co gorsze, nie przechodził z powrotem do postaci plastycznej. W normie PN-G 11011:1998 parametrem o tym mówiącym jest tzw. rozmakalność. Upłynnianie się mieszaniny lub jej nadmierna rozmakalność, stwarza zagrożenie dla pracujących ludzi oraz powoduje możliwość nadmiernego i niekontrolowanego uwalniania się substancji szkodliwych. Tak więc do zestalania różnego rodzaju odpadów i stosowania ich w kopalniach podziemnych nie powinno się stosować spoiw powietrznych.

Badania laboratoryjne przeprowadzono w laboratorium Ekologicznych Materiałów Dla Górnictwa Instytutu Eksploatacji Złóż zgodnie z PN-G-11011 „Materiały do podszkiewki zestawianej i doszczelniania zrobów zawałowych. Wymagania i badania”. Jest to jedyna norma funkcjonująca w górnictwie, a dotycząca stosowania materiałów drobnofrakcyjnych. Badania

TABELA 3. Składy masowe badanych hydromieszanin oraz odpowiadające im wskaźniki wodno-spoiwowe w/s

TABLE 3. Mass composition of hydromixtures and the corresponding W/S ratios

Udział masowy reagipsu	Udział masowy cementu	Wskaźnik wodno-spoiwowy w/s
%	%	bezwymiarowo
95	5	0,3;0,4 i 0,5
90	10	0,3;0,4 i 0,5
85	15	0,3;0,4 i 0,5
80	20	0,3;0,4 i 0,5

obejmowały pomiary następujących parametrów: rozlewność i gęstość, ilość wody nadosadowej, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie oraz rozmakalność.

Celem odwzorowania typowych warunków klimatycznych występujących w wyrobiskach podziemnych kopalń wykonane próbki mieszanin sezonowano w komorze klimatycznej LTB 650 RV produkcji firmy Elbanton, Holandia. Warunki sezonowania w komorze były następujące: temperatura 25°C, wilgotność 90%.

Dla uzyskania pełnego zobrazowania własności hydromieszanin do badań wytypowano trzy stałe wartości wskaźnika wodno spoiwowego w/s (masy wody do masy materiału suchego, w tym przypadku mieszaniny reagipsu z cementem). Składy badanych hydromieszanin oraz odpowiadające im wskaźniki wodno-spoiwowe w/s przedstawiono w tabeli 3.

2. Skład chemiczny badanych reagipsów

Badania składu chemicznego reagipsu pochodzącego z El. „X” wykonane na dwóch próbach pobranych w półrocznych odstępach czasu przedstawiono w tabeli 4, a zawartości wybranych metali ciężkich w tabeli 5. Przeprowadzone badania nie potwierdzają spostrzeżeń zawartych w pracy (Trzepierczyńska 1997).

TABELA 4. Skład chemiczny badanego reagipsu pochodzącego z El. „X”

TABLE 4. Chemical composition of REA-gypsum from “X” power plant

Oznaczenie	Zawartość składnika (% m/m)	
	próba I	próba II
Wilgotność analityczna	18,41	18,26
Straty prażenia	21,15	21,57
SiO ₂	1,03	0,66
Al ₂ O ₃	0,47	0,32
Fe ₂ O ₃	0,15	0,15
CaO	31,47	29,27
MgO	0,09	0,13
Na ₂ O	0,03	0,04
K ₂ O	0,06	0,06
SO ₃	45,12	47,71
TiO ₂	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,02	0,03
Wolne CaO	<0,1	<0,1

TABELA 5. Zawartość metali ciężkich w badanym reapiście pochodzącym z El. „X”

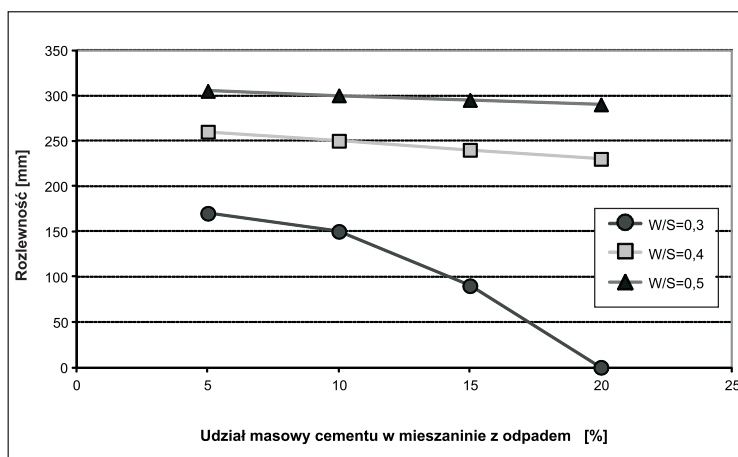
TABLE 5. Heavy metal content of REA-gypsum from “X” power plant (%wt)

Oznaczenie	Zawartość składnika (% m/m)	
	próba I	próba II
Cu	2	14
Cr	<6	6
Cd	<2	<2
Ni	4	3
Pb	3	9
Zn	31	4

3. Wyniki badań właściwości fizykomechanicznych mieszanin

Wyniki oznaczenia wskaźnika wodno-spoiwowego mieszanin reapiosu z cementem przedstawiono na rysunku 2.

Jak wynika z przeprowadzonych badań hydromieszanin reapiosu z udziałem cementu w ilości 5–20% dla ustalonych wskaźników w/s rozlewność kształtowała się w zakresie od 90 do

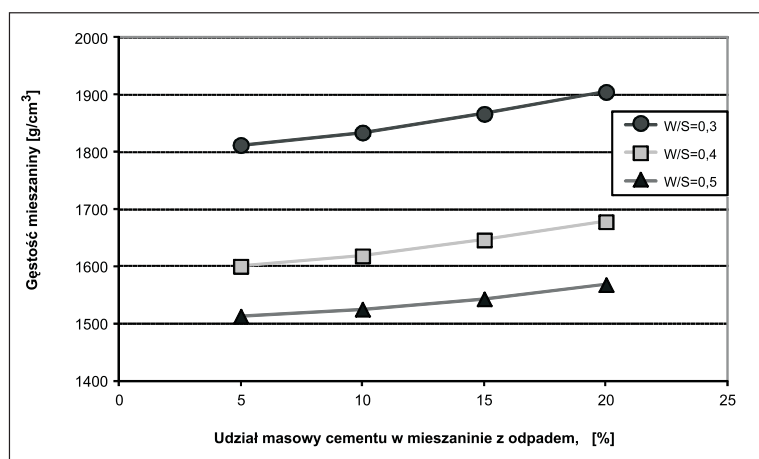


Rys. 2. Zależność rozlewności od udziału masowego cementu w mieszaninie z reapiosem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

Fig. 2. Dependence of the spread on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios

305 mm. Jedynie mieszanka z udziałem 20% cementu o wskaźniku $w/s = 0,3$ wykazała konsystencję plastyczną, czyli brak rozlewności. Tego typu mieszanka absolutnie nie może być transportowana grawitacyjnie z powierzchni na dół kopalni. Zdaniem Autorów pracy (Mazurkiewicz i in. 1997) mieszanki transportowalne grawitacyjnie powinny charakteryzować się rozlewnością wynoszącą około 180 mm, przy jednoczesnym wydzieleniu się z nich minimalnej wody nadosadowej. Mniejsza rozlewność powoduje ograniczone możliwości transportu grawitacyjnego, zaś większa powoduje wydzielanie się nadmiernej ilości wody nadosadowej. Mając powyższe na uwadze, można stwierdzić, że mieszanki reapiosu z cementem o wskaźniku w/s wynoszącym 0,4 i 0,5 będą dobrze transportowalne. W odniesieniu do wymagań normy PN-G 11011:1998 należy stwierdzić, że nie spełnia jej jedynie mieszanka o konsystencji gęstoplastycznej.

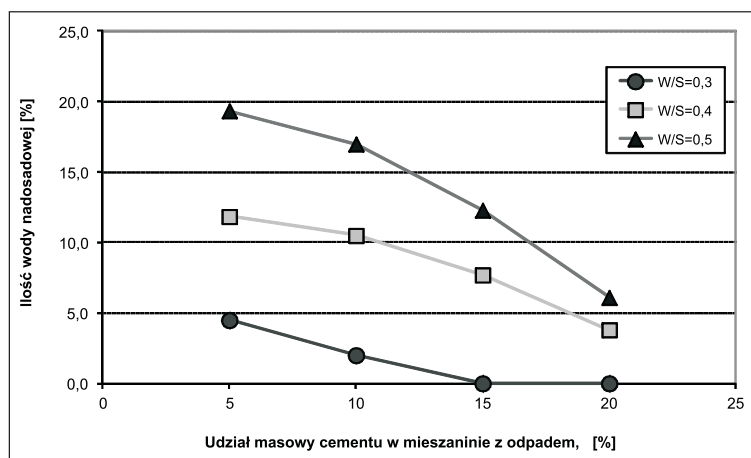
Gęstość badanych mieszanin zawierała się w zakresie od 1513 do 1905 g/l, co przedstawiono na rysunku 3. W odniesieniu do wyżej wymienionej normy należy stwierdzić, że wszystkie badane mieszanki spełniają jej wymagania.



Rys. 3. Zależność gęstości od udziału masowego cementu w mieszaninie z reapiosem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

Fig. 3. Dependence of density on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios

Kolejnym badany parametrem jest ilość wody nadosadowej, której wyniki przedstawiono na rysunku 4. Ilość wody nadosadowej badanych mieszanin kształtowała się w zakresie od 0 do 19,4%. Im niższa jej wartość, tym ilość wprowadzanych substancji szkodliwych do systemu ściekowego kopalni jest niższa. Pożądanym byłoby brak wody nadosadowej z jednoczesną rozlewnością mieszanin powyżej 180 mm. Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, że wraz ze wzrostem udziału masowego cementu w mieszaninie z reapiosem, ilość wody nadosadowej maleje. Można przypuszczać, że przy zawartości cementu wynoszącej 25–30% woda nadosadowa nie wystąpi, a rozlewność mieszanin będzie jeszcze umożliwiała ich transport grawitacyjny. W odniesieniu zaś do normy PN-G 11011:1998 należy stwierdzić, że do technologii podszadki zastalanej można zastosować mieszanki z udziałem 20% cementu o wskaź-

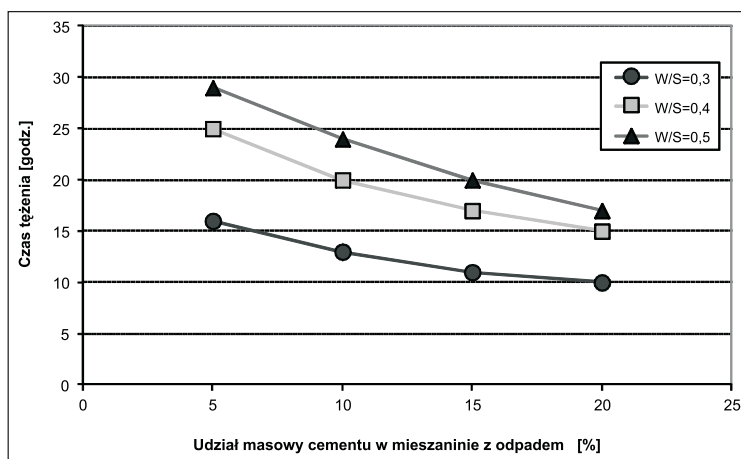


Rys. 4. Zależność ilości wody nadosadowej od udziału masowego cementu w mieszaninie z reagipsem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

Fig. 4. Dependence of excess water on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios

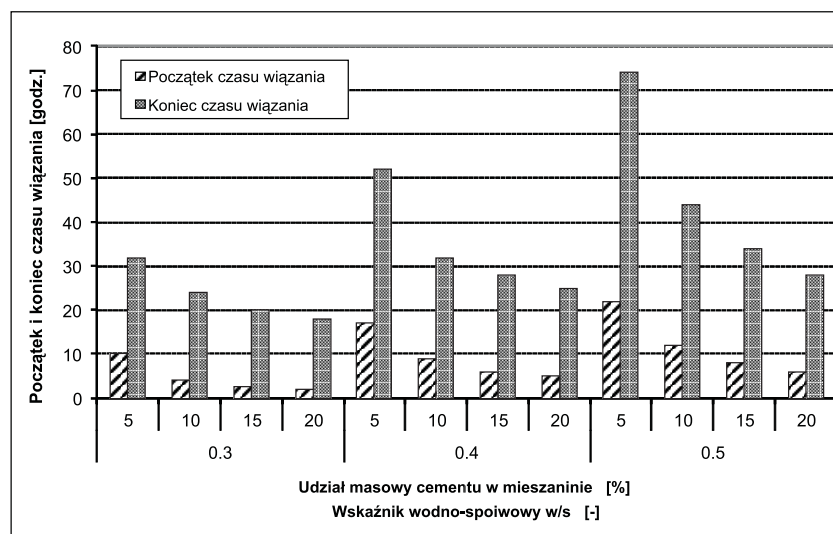
nikach w/s wynoszących 0,4 i 0,5. Natomiast wymogi normy co do technologii doszczelniania zrobów nie spełniają mieszaniny z udziałem 5 i 10% cementu o wskaźniku $w/s = 0,5$.

W dalszej części artykułu zostaną zaprezentowane wyniki badań dwóch parametrów fizycznych, które według normy PN-G 11011:1998 ustala się indywidualnie dla warunków danej kopalni. Pierwszy z nich to czas tężenia, czyli czas osiągnięcia nośności 0,5 MPa, którego wyniki zaprezentowano na rysunku 5. Korzystnym jest, aby był on jak najkrótszy. Badane mieszaniny charakteryzowały się czasem tężenia w zakresie od 10 do 29 godz.



Rys. 5. Zależność czasu tężenia od udziału masowego cementu w mieszaninie z reagipsem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

Fig. 5. Dependence of settling time on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios



Rys. 6. Zależność początku i końca czasu wiązania od udziału masowego cementu w mieszaniu z reagipsem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

Fig. 6. Dependence of curing start and end times on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios

Drugi parametr to czas wiązania, w którym wyróżniamy jego początek i koniec, przedstawione na rysunku 6. Badane mieszanki wiązały przez okres od 18 do 74 godz.

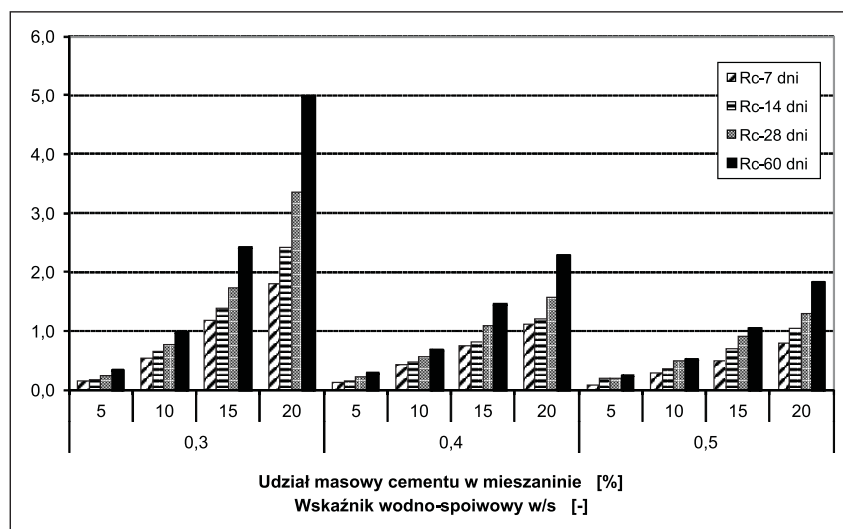
Kolejnym ważnym parametrem decydującym o przydatności do danej technologii jest wytrzymałość na ściskanie. Badania przeprowadzono po 7, 14, 28 i 60 dniach sezonowania próbek mieszanin w warunkach powietrzno-wilgotnych, a ich wyniki zaprezentowano na rysunku 7. Wytrzymałość na ściskanie w kolejnych okresach badawczych kształtowała się następująco:

- ✧ po 7 dniach w zakresie od 0,08 do 1,80 MPa,
- ✧ po 14 dniach w zakresie od 0,19 do 2,43 MPa,
- ✧ po 28 dniach w zakresie od 0,20 do 3,36 MPa – oznaczenie normowe,
- ✧ po 60 dniach w zakresie od 0,25 do 4,98 MPa.

Przykładowo, w pracy (Plewa i in. 2007) przedstawiono wyniki badań mieszanin popiołu 100182 z udziałem cementu w ilości 5, 10, 15 i 20%, a więc identycznym. Uzyskane wartości wytrzymałości na ściskanie mieszanin popiołowych po 28 dniach sezonowania kształtowały się od 0,8 MPa dla 5% cementu do około 15 MPa dla 20% cementu.

Odnosząc uzyskane wyniki badań do wyników opublikowanych w pracy (Plewa i in. 2007b), można stwierdzić, że mieszanki reagipsu z cementem w porównaniu do odpowiednich mieszanin popiołowo-cementowych uzyskały czterokrotnie niższe wytrzymałości.

W odniesieniu do normy PN-G 11011:1998 należy stwierdzić, że do technologii podsadzki zastalanej można zastosować mieszanki z udziałem 10 i 20% cementu o wskaźnikach w/s wynoszących 0,3, 0,4 i 0,5. Natomiast wymogi normy co do technologii doszczelniania zrobów nie są określone, a więc można stwierdzić, że spełniają je wszystkie badane mieszanki.



Rys. 7. Zależność wytrzymałości na ściskanie od udziału masowego cementu w mieszaninie z reagipsem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

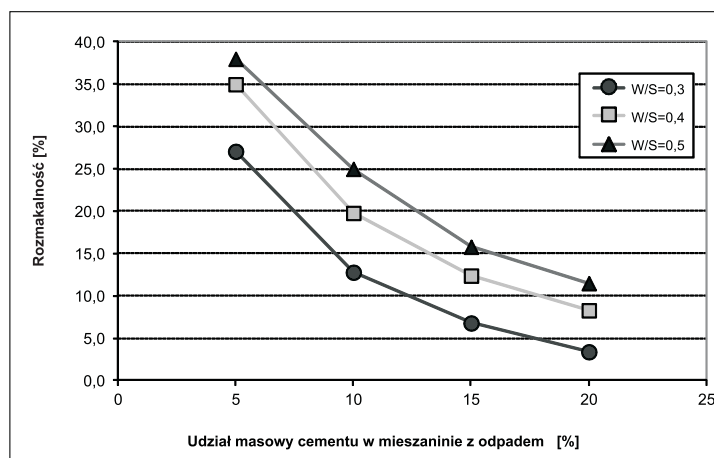
Fig. 7. Dependence of compressive strength on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios

Jeśli chodzi o technologię doszczelniania zrobów zawałowych to ww. norma w ogóle nie odnosi się do tego parametru. Tak więc można przyjąć, że wszystkie badane mieszaniny można stosować w technologii doszczelniania.

Chcąc stosować w podziemnych wyrobiskach górniczych mieszaniny różnego rodzajów materiałów, w tym odpadowych jak reagips, należy bezwzględnie określić ich rozmakalność. Parametr ten informuje nas o odporności zestalanej mieszaniny (badania prowadzone po 28 dniach sezonowania materiału w warunkach powietrzno-wilgotnych) na działanie środowiska wodnego. Rozmakalność podawana jest w procentach, stanowiąc ubytek wytrzymałości na ściskanie po moczeniu próbek mieszaniny w wodzie. Norma PN-G 11011:1998 mówi o 24 godz. nawadnianiu próbek mieszanin, jednakże okres ten można wydłużyć. Zaprezentowane na rysunku 8 wyniki badań rozmakalności mieszanin reagipsu z cementem dotyczą 24 godz. sezonowania próbek w środowisku wodnym.

Rozmakalność badanych mieszanin kształtowała się w zakresie od 3,4 do 38%. Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, że wraz ze wzrostem udziału masowego cementu w mieszaninie z reagipsem, rozmakalność maleje. W odniesieniu zaś do normy PN-G 11011:1998 należy stwierdzić, że do technologii podsadzki zestalanej można zastosować wszystkie mieszaniny z wyjątkiem mieszanin z 5% udziałem cementu o wskaźnikach w/s wynoszących 0,4 i 0,5 oraz 10% udziałem cementu o wskaźniku w/s wynoszącym 0,5. Natomiast wymogów normy co do technologii doszczelniania zrobów nie spełniają mieszaniny z udziałem 5 i 10% cementu o wskaźniku w/s = 0,5.

Natomiast wymogi normy co do technologii doszczelniania zrobów nie są precyzyjnie określone. Norma PN-G 11011:1998, odnosząc się do omawianego parametru, mówi że materiał do doszczelniania zrobów nie może się upłynniać, a więc dopuszcza makroskopową ocenę



Rys. 8. Zależność rozmakalności od udziału masowego cementu w mieszaninie z reagipsem dla założonych wskaźników wodno-spoiwowych

Fig. 8. Dependence of soak resistance on the cement content in the mixture with REA-gypsum for assumed W/S ratios

moczonych próbek danego materiału. Uzyskana maksymalna rozmakalność badanych mieszanin wynosząca 38% jednoznacznie potwierdza możliwość zastosowania mieszanin cementu z reagipsem w technologii doszczelniania zrobów zawałowych.

Podsumowanie

W pracy podjęto temat możliwości stosowania odpadu energetycznego pochodzącego z metody mokrej odsiarczania z dodatkiem cementu w ilości 5, 10, 15 i 20%. Wykonane mieszaniny charakteryzowały się wskaźnikami wodno-spoiwowymi w/s wynoszącymi 0,3, 0,4 i 0,5.

Na podstawie przeprowadzonych badań właściwości fizykomechanicznych mieszanin reagipsu z cementem można stwierdzić, że:

- ✧ rozlewność zmieniała się od 90 mm do 305 mm, przy czym jedyna mieszanina z udziałem 20% cementu o wskaźniku w/s = 0,3 wykazała konsystencję plastyczną;
- ✧ gęstość kształtowała się w zakresie od 1513 do 1905 g/l;
- ✧ ilość wody nadosadowej wynosiła od 0 do 19,4%;
- ✧ czas tężenia zmienił się od 10 do 29 godz.;
- ✧ czas wiązania zmienił się od 18 do 74 godz.;
- ✧ wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach kształtowała się od 0,25 do 4,98 MPa;
- ✧ rozmakalność wynosiła od 3,4 do 38%.

Jak wynika z analizy przeprowadzonych badań właściwości fizykomechanicznych można stwierdzić, że wymagania normy PN-G 11011:1998 „Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych. Wymagania i badania” dla technologii:

- 1) podsadzki zestawianej spełniają tylko mieszaniny z dodatkiem 20% cementu o wskaźnikach w/s wynoszących 0,4 i 0,5,
- 2) doszczelniania zrobów zawałowych spełniają wszystkie mieszaniny z wyjątkiem mieszaniny z 20% udziałem cementu o wskaźniku w/s wynoszącym 0,3 ze względu na konsystencję plastyczną.

Literatura

- [1] MAZURKIEWICZ, M., PIOTROWSKI, Z. i TAJDUŚ, T. 1997. *Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków.
- [2] PLEWA i in. 2007a – PLEWA, F., PIERZYNA, P. i PIONTEK, P. 2007a. *Zastosowanie ups do wytwarzania podsadzki samozestanej z odpadów poflotacyjnych w kopalniach rud metali nieżelaznych*. Konferencja: Popioły z energetyki. Monografia. Międzyzdroje, 17–19 października 2007. Wyd. Ekotech sp. z o.o., Szczecin, s. 129–140. ISBN 978-83-60050-07-1.
- [3] PALARSKI i in. 2007 – PALARSKI, J., PLEWA, F. i PIERZYNA, P. 2007. Możliwość wykorzystania odpadów poflotacyjnych z kopalni rud cynku i ołowiu do podsadzki samozestanej. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2007. Sympozja i Konferencje nr 69*. Szczyrk, 19–23 lutego 2007. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 497–503. ISBN 978-83-60195-20-8.
- [4] PLEWA i in. 2007 – PLEWA, F., POPCZYK, M. i MYSŁEK, Z. 2007. Rodzaj produktów wytwarzanych w energetyce zawodowej i możliwość ich wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych. XXI Konferencja: *Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej pt. Paliwa dla energetyki – rynki i technologie*. Zakopane, 7–10 października 2007. t. 10, z. spec. 2. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 391–402. ISSN 1429-6675.
- [5] PLEWA i in. 2007b – PLEWA, F., PIERZYNA, P. i PIONTEK, P. 2007b. Wpływ rodzaju odpadów energetycznych na własności mechaniczne mieszanin kompozytowych stosowanych w różnych środowiskach górnictwa podziemnego. XXI Konferencja: *Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej pt. Paliwa dla energetyki – rynki i technologie*. Zakopane, 7–10 października 2007. t. 10, z. spec. 2. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 403–416. ISSN 1429-6675.
- [6] PLEWA i in. 2012 – PLEWA F., POPCZYK, M., ZAJĄC, A. i PIERZYNA, P. 2012. Analiza możliwości wykorzystania odpadu energetycznego z mokrego odsiarczania spalin (10 01 05) w mieszaninach zestawiających w kopalniach węgla kamiennego. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 15 z. 3, s. 147–157.
- [7] TRZEPIERCZYŃSKA, I. 1997. Charakterystyka i możliwości utylizacji odpadów z odsiarczania spalin. *Ochrona środowiska* vol. 19 z. 1(64), s. 10–11.
- [8] Ustawa Prawo geologiczne i górnicze z dnia 10 lipca 2011 r. (Dz.U. nr 163, poz. 981).
- [9] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. nr 0 poz. 21, 2013).

Coal combustion products (CCP) recovery from wet flue gas desulphurization for mine workings abandonment

Abstract

The disposal of coal combustion products in underground mining is the most promising alternative to its surface storage. This paper presents an assessment of flue gas wet desulphurization byproduct (so-called REA-gypsum) mixed with 5, 10, 15, and 20% cement for use in underground mining technologies. For this assessment, the Polish standard PN-G-11011 "Materials for solidified backfill and gob grouting; Requirements and testing" was used. The water to solid (W/S) ratio of mixes was 0.3, 0.4, and 0.5. The chemical composition of REA-gypsum is presented in Table 3.

Physicochemical tests of REA-gypsum mixtures with cement showed the following:

- ✧ The spread test result was between 90 mm and 305 mm where only one mixture with 20% cement and a water to solid ratio = 0.3 had a plastic consistency (Fig. 2);
- ✧ The density of mixtures ranged from 1,513 g/l to 1,905 g/l (Fig. 3);
- ✧ The excess water was from 0% to 19.4% (Fig. 4);
- ✧ Settling time was between 10 and 29 hours (Fig. 5);
- ✧ Curing time was between 18 and 74 hours (Fig. 6);
- ✧ The compressive strength after 28 days was from 0.25 MPa to 4.98 MPa (Fig. 7);
- ✧ Soak resistance was from 3.4% to 38% (Fig. 8).

The performed physicochemical tests show that the requirements of the standard PN-G-11011 "Materials for solidified backfill and gob grouting; Requirements and testing":

1. For the solidified backfill technology were fulfilled for the mixture with 20% cement and a w/s ratio of 0.4 and 0.5

2. For the gob grouting technology were fulfilled by all the mixtures except the one with 20% cement and a W/S ratio of 0.3, due to the plastic consistency.

KEY WORDS: mining, solidified backfill, gob grouting, coal combustion products, REA-gypsum