

Franciszek PLEWA*, Marcin POPCZYK**, Artur ZAJĄC***, Piotr PIERZYNA****

Analiza możliwości wykorzystania odpadu energetycznego z mokrego odsiarczania spalin (10 01 05) w mieszaninach zestalających w kopalniach węgla kamiennego

STRESZCZENIE. Od kilkunastu lat energetyka zawodowa coraz częściej wykorzystuje do odsiarczania spalin metody mokre, charakteryzujące się bardzo wysoką sprawnością, kształtującą się na poziomie około 90–95%. Produktem ubocznym powstającym podczas pracy instalacji jest tzw. reagips. Produkt ten w Polsce masowo wykorzystywany jest do produkcji różnych elementów gipsowych, z których najpopularniejszym są płyty gipsowo-kartonowe. Potencjalnym obszarem wykorzystania reagipsów może być także górnictwo podziemne, które masowo zagospodarowuje różne odpady drobnofrakcyjne pochodzące z energetyki zawodowej w technologii doszczelniania zrobów zawałowych. Jednakże z uwagi na brak właściwości wiążących reagipsu oraz wymagania dotyczące materiałów do technologii doszczelniania zawarte w normie PN-G 11011:1998, należy reagips wprowadzić do mieszaniny popiołowo-wodnej sporządzonej na bazie popiołu o właściwościach wiążących.

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości fizykomechanicznych oraz wymywalności substancji chemicznych hydromieszanin popiołu o kodzie 100102 z dodatkiem reagipsu w zakresie 0–20% zarobionych wodą kopalnianą. Badane hydromieszaniny miały rozlewność 180, 220 i 260 mm (tab. 1).

Na podstawie przedstawionych badań podstawowych własności fizykomechanicznych należy stwierdzić że:

* Prof. dr hab. inż., ** Dr inż. – Politechnika Śląska, Gliwice;
e-mail: franciszek.plewa@polsl.pl; marcin.popczyk@polsl.pl
*** Mgr inż., **** Dr inż. – PPH Utex Sp. z o.o., Rybnik;
e-mail: azajac@utex.com.pl; ppierzyna@utex.com.pl

- ✧ gęstość zmieniała się od 1362 do 1515 g/dm³ (rys. 1);
- ✧ wskaźnik wodno-popiołowy wynosił od 0,40 do 0,64 (rys. 2);
- ✧ ilość wody nadosadowej przyjmowała wartości od 0,3 do 9,8% (rys. 3);
- ✧ wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach wynosiła od 0,12 do 0,43 MPa (rys. 4);
- ✧ rozmakalność zmieniała się od 2 do 48% (rys. 5).

Badania wymywalności siarczanów i chlorków na zgodność z wymaganiami normowymi wykonane w akredytowanych laboratoriach wykazały nieznaczne przekroczenie chlorków w jednej mieszance o rozlewności 180 mm i udziale 20% reagipsu. W przypadku siarczanów przekroczeń wartości normowych nie zanotowano (tab. 2).

Jak wynika z analizy wyników wyżej wymienionych badań właściwości fizykomechanicznych oraz wymywalności substancji chemicznych hydromieszanin stwierdza się, że wymagania normowe dla technologii doszczelniania zrobów spełniają następujące mieszanki wykonane na bazie popiołu 10 01 02 i wody kopalnianej:

- ✧ przy rozlewności 180 mm z udziałem reagipsu do 15%,
- ✧ przy rozlewności 220 mm z udziałem reagipsu do 20%,
- ✧ przy rozlewności 260 mm z udziałem reagipsu do 20%.

SŁOWA KLUCZOWE: górnictwo, doszczelnianie, odpady energetyczne, reagips

Wprowadzenie

Rozwijanie nowych technologii wykorzystania odpadów, w tym ze spalania węgla kamiennego, jest przyszłością dla funkcjonowania sektora węglowego, który jest i w najbliższych latach będzie podstawowym źródłem pozyskiwania energii (Bednorz 2009). W sierpniu 2008 r. została oddana w Elektrowni X nowa instalacja odsiarczania spalin, tzw. metoda mokra, która charakteryzuje się bardzo wysoką sprawnością odsiarczania na poziomie około 90–95%. Produktem ubocznym powstającym podczas pracy tej instalacji jest tzw. reagips (Plewa i in. 2007). Można szacować, że dla obecnie spalanych gatunków węgla w Elektrowni X instalacja wytwarza około 90 tys. ton gipsu (reagipsu) w ciągu roku. Produkt ten w Polsce masowo wykorzystywany był i jest do produkcji różnych elementów gipsowych z których najpopularniejszym są płyty gipsowo-kartonowe. Z uwagi na duże ilości produkowanego przez elektrownię reagipsu, szczególnie w sezonie zimowym, celowym jest poszukiwanie nowych kierunków jego wykorzystania. Jednym z takich kierunków jest wykorzystanie reagipsu jako dodatku do mieszanki popiołowo-wodnej w podziemnych technologiach górniczych (Mazurkiewicz i in. 2007; Plewa, Mysłek 2001). Najwięcej, bo około 88% wykorzystywanych w górnictwie odpadów energetycznych, to popioły lotne (Dulewski 2007). Popioły lotne o kodach 100102 i 100182 stanowią około 5–6% odpadów przemysłowych wytwarzanych w Polsce (Góralczyk, Baic 2009) Ilość wykorzystywanych przez górnictwo popiołów lotnych oraz ich mieszanin z produktami odsiarczania spalin w latach 2002–2006 kształtuje się średnio na poziomie 2,5 mln Mg (Mazurkiewicz, Piotrowski 2007). Jest to ilość nie pokrywająca zapotrzebowania górnictwa na tego typu materiały. Popioły lotne są bardzo zróżnicowane pod względem składu chemicznego i mi-

neralogenicznego w zależności od rodzaju spalane go węgla, technologii spalania, a przede wszystkim metody odsiarczania spalin. Zró żnicowanie tych wla ściwo ści w śród odpadów energetycznych pociąga za sobą odmiennos ć uzyskanych parametrów mechanicznych zestawionych mieszanin popio łowo-wodnych (Palarski i in. 2005; Plewa i in. 2011).

Z uwagi na brak wla ściwo ści wią żących reagipsu oraz wymaga ń zalecanej w tym zakresie normy PN-G/11011 nale ży reagips wprowadzić do mieszaniny popio łowo-wodnej sporządzonej na bazie popio łu o wla ściwo ściach wią żących np. grupy 10 01 02 powstającego w Elektrowni X.

1. Metodyka oraz zakres bada ń wla ściwo ści fizykomechanicznych

Do bada ń podstawowych wla ściwo ści fizykomechanicznych hydromieszanin sporządzonych na bazie popio łów lotnych z udzia łem reagipsu wykorzystano: popio ł lotny bez odsiarczania z Elektrowni X (10 01 02), reagips oraz wodę kopalnianą z KWK Marcel.

TABELA 1. Składy masowe hydromieszanin na bazie popio łu z reagipsem

TABLE 1. Composition by mass of hydraulic mixtures based on fly ash and REA-gypsum

Reagips [%]	Popio ł 10 01 02 [%]	Rozlewno ść [mm]
0	100	180
		220
		260
5	95	180
		220
		260
10	90	180
		220
		260
15	85	180
		220
		260
20	80	180
		220
		260

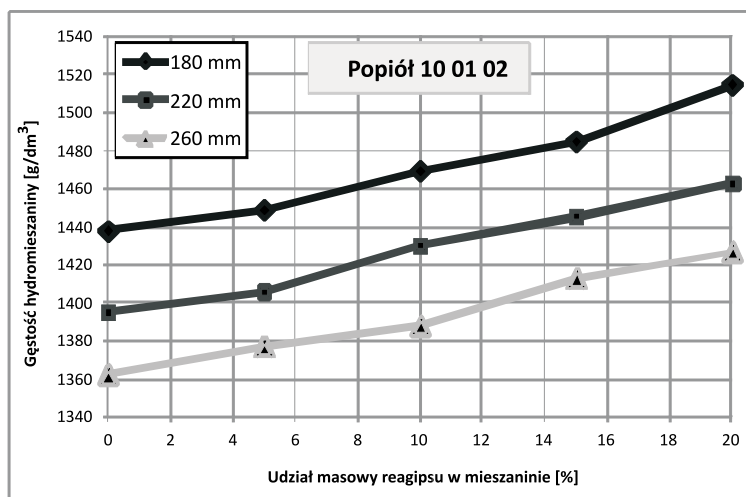
Badania laboratoryjne przeprowadzono w laboratorium Ekologicznych Materiałów Dla Górnictwa Instytutu Eksploatacji Złóż zgodnie z PN-G-11011. Badania obejmowały pomiary następujących parametrów: wskaźnik wodno-popiołowy W/P, rozlewność i gęstość, ilość wody nadosadowej, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie 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 właściwości hydromieszanin do badań wytypowano trzy stałe wartości rozlewności hydromieszanin: 180, 220 i 260 mm. Zakres udziału reagipsu w hydromieszaninach ustalono na 5, 10, 15 i 20%. Składy hydromieszanin przedstawiono w tabeli 1.

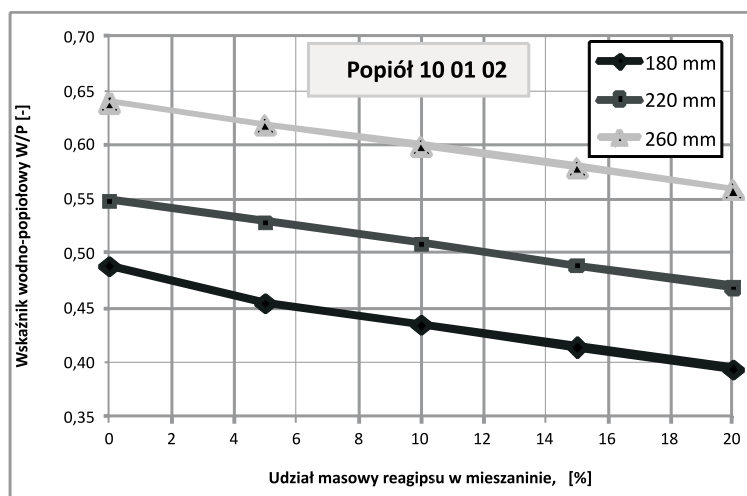
2. Wyniki badań właściwości fizykomechanicznych

Jak wynika z przeprowadzonych badań hydromieszanin na bazie popiołu bez odsiarczenia (10 01 02) w zakresie rozlewności od 180 do 260 mm przy udziale reagipsu od 0 do 20%, ich gęstość zawierała się w przedziale od 1362 do 1515 g/dm³ (rys. 1), natomiast stosunek masowy W/P wynosił 0,40 do 0,64 (rys. 2). Wraz ze wzrostem udziału wody w składzie mieszanin ich rozlewność rośnie. Widać również wyraźnie, że wraz ze wzrostem udziału reagipsu w hydromieszaninach, stosunek W/P maleje, natomiast gęstość wzrasta.



Rys. 1. Zależność gęstości objętościowej od udziału masowego reagipsu w mieszaninie z popiołem o kodzie 10 01 02 dla rozlewności w zakresie 180–260 mm

Fig. 1. Dependence of volumetric density on the mass of REA-gypsum in the mixture with a fly ash of code 100102 for table spread of a mixture in a range of 180 – 260 mm



Rys. 2. Zależność wskaźnika wodno-popiołowego (W/P) od udziału masowego reagipsu w mieszaninie z popiołem o kodzie 10 01 02 dla rozlewności w zakresie 180–260 mm

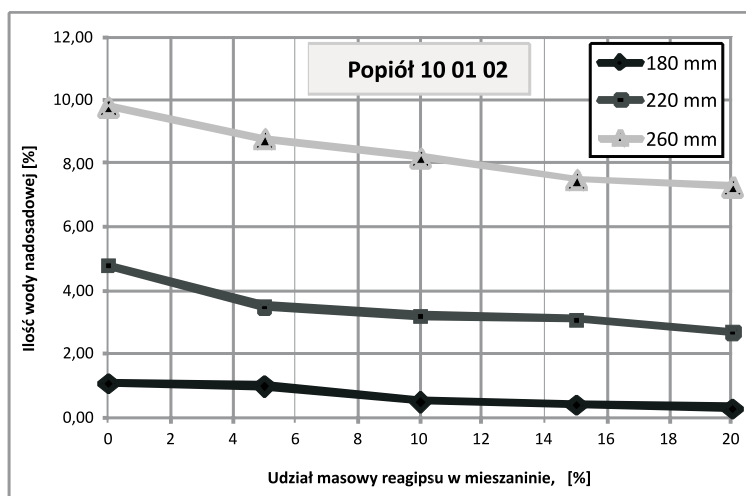
Fig. 2. Dependence of water – fly ash index (W/P) on the mass of REA-gypsum in the mixture with a fly ash of code 100102 for table spread of a mixture in a range of 180 – 260 mm

Największą wartością gęstości 1515 g/dm^3 charakteryzowała się hydromieszanka o rozlewności 180 mm i udziale 20% reagipsu. Najmniejszą gęstość wynoszącą 1362 g/dm^3 posiadała hydromieszanka o rozlewności 260 mm bez udziału reagipsu.

Ilość wody nadosadowej w zależności od rozlewności i udziału reagipsu wynosiła od 0,3 do 8,8% (rys. 3). Ilość wody nadosadowej rośnie wraz ze wzrostem rozlewności hydromieszanki, natomiast ilość ta maleje wraz ze wzrostem udziału reagipsu. W przypadku mieszanin bez udziału reagipsu w zakresie rozlewności od 180 do 260 mm ilość wody nadosadowej wynosiła od 1,1 do 9,8%, dla mieszanin o udziale 5% reagipsu od 1,0 do 8,8%, dla mieszanin o udziale 10% reagipsu od 0,5 do 8,2%, dla mieszanin o udziale 15% reagipsu od 0,4 do 7,5%, natomiast dla mieszanin o udziale 20% reagipsu od 0,3 do 7,3%.

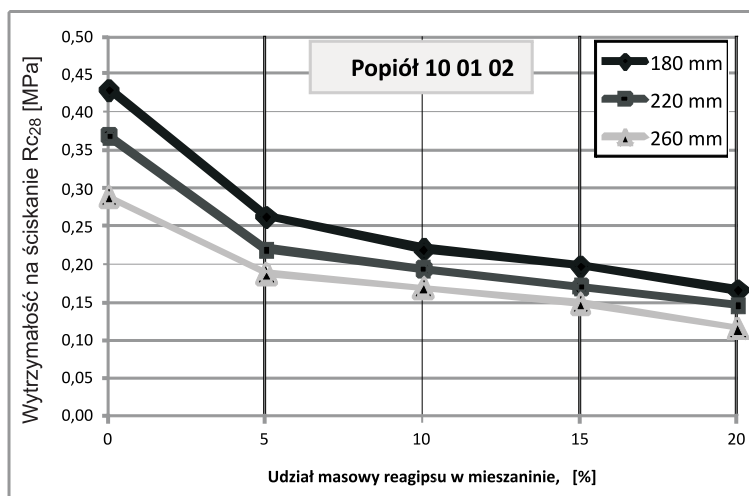
Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie wszystkich przebadanych hydromieszanki maleje wraz ze wzrostem ich rozlewności. Równocześnie obserwuje się spadek wytrzymałości hydromieszanki o takiej samej rozlewności wraz ze wzrostem udziału reagipsu w ich składzie (rys. 4).

Wytrzymałości hydromieszanki w zakresie rozlewności od 180 do 260 mm z udziałem reagipsu w ilości od 0 do 20% wynosiła od 0,12 do 0,43 MPa. Największą wytrzymałość po 28 dniach wynoszącą 0,43 MPa osiągnęła hydromieszanka o rozlewności 180 mm bez udziału reagipsu, natomiast najmniejszą 0,12 MPa hydromieszanka przy rozlewności 260 mm z udziałem 20% reagipsu. Hydromieszanki bez udziału reagipsu w zakresie rozlewności od 180 do 260 mm charakteryzowały się wytrzymałościami od 0,29 do 0,43 MPa, z udziałem 5% reagipsu od 0,19 do 0,26 MPa, z udziałem 10% reagipsu od 0,17 do 0,22 MPa, z udziałem 15% reagipsu od 0,15 do 0,20 MPa, natomiast z udziałem 20% reagipsu od 0,12 do 0,17 MPa.



Rys. 3. Zależność ilości wody nadosadowej od udziału masowego reagipsu w mieszaninie z popiołem o kodzie 10 01 02 dla rozlewności w zakresie 180–260 mm

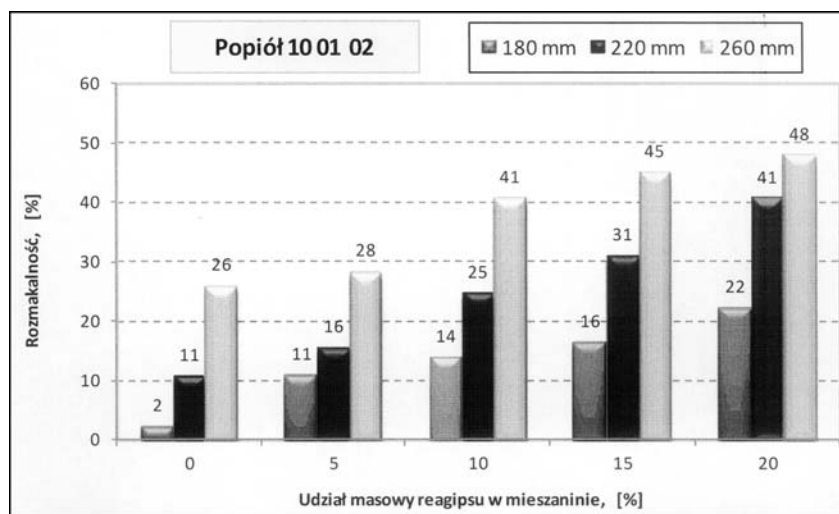
Fig. 3. Dependence of excessive water on the mass of REA-gypsum in the mixture with a fly ash of code 100102 for table spread of a mixture in a range of 180–260 mm



Rys. 4. Zależność wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach od udziału masowego reagipsu w mieszaninie z popiołem (10 01 02) dla rozlewności w zakresie 180–260 mm

Fig. 4. Dependence of compressive strength after 28 days of cure time on the mass of REA-gypsum in the mixture with a fly ash of code 100102 for table spread of a mixture in a range of 180–260 mm

Rozmakalność przebadanych hydromieszanin wynosiła od 2 do 48% (rys. 5). Najmniejszą wartością rozmakalności 2% charakteryzowała się hydromieszanina o rozlewności 180 mm bez udziału reagipsu, natomiast największą 48% hydromieszanina z udziałem 20% reagipsu przy rozlewności 260 mm. Hydromieszaniny bez udziału reagipsu w zakresie



Rys. 5. Wyniki badania rozmakalności dla różnych udziałów masowych reagipsu w mieszaninie z popiołem o kodzie 10 01 02 w zakresie rozlewności 180–260 mm

Fig. 5. Results of soak resistance tests for different masses of REA-gypsum in the mixture with a fly ash of code 100102 for table spread of a mixture in a range of 180–260 mm

rozlewności od 180 do 260 mm charakteryzowały się wartościami rozmakalności w zakresie od 2 do 26%, z udziałem 5% reagipsu od 11 do 28%, z udziałem 10% reagipsu od 14 do 41%, z udziałem 15% reagipsu od 16 do 45%, natomiast z udziałem 20% reagipsu od 22 do 48%.

3. Badania wymywalności wybranych substancji chemicznych

Oznaczenie wymywalności substancji chemicznych na zgodność z normą PN-G/11011 wykonano dla siarczanów i chlorków w dwóch akredytowanych laboratoriach:

- ✧ Laboratorium Hydrogeochemiczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
- ✧ Laboratorium Centralne Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach.

Zestawienie porównawcze oznaczeń zawartości siarczanów i chlorków w cieczach nadosadowych oraz wyciągach wodnych z zestalonych próbek hydromieszanin sporządzonych na bazie popiołu bez odsiarczania przedstawiono w tabeli 2. W odniesieniu do wymagań normy PN-G/11011 dotyczących zawartości chlorków ($<1000 \text{ mgCl/dm}^3$) widać, że zawartość chlorków jest nieznacznie przekroczona tylko w przypadku wyciągu z wody nadosadowej dla hydromieszaniny o rozlewności 180 mm i 20% udziale reagipsu (1023 mgCl/dm^3). W przypadku siarczanów przekroczenie powyżej wartości normowej ($<500 \text{ mgCl/dm}^3$) wśród wszystkich badanych hydromieszanin nie występuje.

TABELA 2. Zestawienie oznaczeń zawartości siarczanów i chlorków w cieczach nadosadowych oraz wyciągach wodnych z zestalonych próbek hydromieszanin sporządzonych na bazie popiołu bez odsiarczania oraz reagipsu

TABLE 2. Results of sulfate and chloride concentration measurements in excessive water and leachates from solidified samples of mixtures prepared on the base of fly ash without flue gas desulphurization byproducts and REA-gypsum

Skład hydromieszaniny		Rozlewność	Wyniki badań cieczy nadosadowych		Wyniki badań wyciągów wodnych 1:10 z próbek zestalonych	
rodzaj popiołu	reagips		zawartość siarczanów	zawartość chlorków	zawartość siarczanów	zawartość chlorków
	%	mm	mgSO ₄ /dm ³	mgCl/dm ³	mgSO ₄ /dm ³	mgCl/dm ³
Popiół 10 01 02	5	180	261	972	167	40
		220	255	920	124	40
		260	215	862	105	25
	10	180	316	918	196	46
		220	191	901	132	46
		260	257	855	111	21
	15	180	395	998	229	52
		220	357	987	210	43
		260	272	977	164	47
	20	180	473	1 023	286	59
		220	291	995	215	46
		260	239	825	167	46

Podsumowanie i wnioski końcowe

W artykule zaprezentowano możliwości wykorzystania reagipsu powstającego w El. X jako dodatku do hydromieszanin popiołowo-wodnych w podziemnych technologiach górniczych z uwzględnieniem wymagań normy PN-G/11011 Materiały do podszkibi zestalanej i doszczelniania zrobów – Wymagania i badania. Do sporządzenia hydromieszaniny wykorzystano popiół o kodzie 10 01 02 z El. X oraz wodę kopalnianą z KWK Marcel. Udział masowy reagipsu w stosunku do popiołu w hydromieszaninie wynosił 0, 5, 10, 15 i 20% a wartość rozlewności przyjęto na poziomie 180, 220 i 260 mm.

Na podstawie przedstawionych badań wybranych właściwości fizykomechanicznych należy stwierdzić że:

- ✧ wskaźnik wodno-popiołowy wynosił od 0,40 do 0,64, natomiast gęstość zmieniała się od 1362 do 1515 g/dm³,
- ✧ ilość wody nadosadowej przyjmowała wartości od 0,3 do 9,8%,
- ✧ wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach wynosiła od 0,12 do 0,43 MPa, natomiast rozmakalność zmieniała się od 2 do 48%.

Badania wymywalności siarczanów i chlorków na zgodność z wymaganiami normowymi wykonane w akredytowanych laboratoriach wykazały nieznaczne przekroczenie chlorków w jednej mieszance o rozlewności 180 mm i udziale 20% reagipsu. W przypadku siarczanów przekroczeń wartości normowych nie zanotowano.

Jak wynika z analizy wyników wymienionych badań właściwości fizykomechanicznych oraz wymywalności substancji chemicznych hydromieszanin stwierdza się, że wymagania normowe dla technologii doszczelniania zrobów spełniają następujące mieszanki wykonane na bazie popiołu 10 01 02 i wody kopalnianej:

- ✧ przy rozlewności 180 mm z udziałem reagipsu do 15%,
- ✧ przy rozlewności 220 mm z udziałem reagipsu do 20%,
- ✧ przy rozlewności 260 mm z udziałem reagipsu do 20%.

W związku z mogącymi się pojawić na kopalni problemami utrzymania ścisłych reżimów wartości rozlewności wytworzonych mieszanin zestalających oraz różnych wód do wykonywania mieszanin, proponuje się przyjąć w pierwszym etapie jedną wartość udziału masowego reagipsu w popiele wynoszącą 10%. Pozwoli to na przeprowadzenie analiz wód odciekowych i praktyczną ocenę możliwości wykorzystania reagipsu w podziemnych technologiach górniczych.

Warunkiem ewentualnego zwiększenia w przyszłości udziału reagipsu w hydromieszance jest otrzymanie wyników badań składu chemicznego wód odciekowych spełniających wymagania normowe.

W przypadku braku możliwości dokładnego dozowania i wymieszania reagipsu z popiołem lotnym w instalacji kopalnianej, należy do kopalni dostarczać gotową mieszankę popiołu z reagipsem w hermetycznie zamkniętych cysternach. Biorąc pod uwagę wilgotność reagipsu jego mieszanie z popiołem powinno być dokonywane w specjalnej instalacji umożliwiającej uzyskanie jednorodnej mieszanki obu składników możliwej do rozładowania za pomocą sprężonego powietrza.

Literatura

- BEDNORZ J., 2009 – Węgiel gwarancją bezpieczeństwa politycznego Polski. Polityka Energetyczna t. 12, z. 2/2.
- DULEWSKI J., 2007 – Nowe regulacje prawne w zakresie gospodarki odpadami w przemyśle wydobywczym. Materiały Konferencyjne: Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Szczyrk, 19–23 lutego 2007. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

- GÓRALCZYK S., BAIC I., 2009 – Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2.
- MAZURKIEWICZ M., PIOTROWSKI Z., 2007 – Aktualny stan stosowania popiołów lotnych w kopalniach węgla kamiennego. IV Warsztaty pt. „Popioły lotne i spoiwa mineralne w technologiach górniczych”. Zbiór referatów wydanych przez UTEX Sp. z o.o. w Rybniku. Wisła, 14–15 czerwca 2007.
- MAZURKIEWICZ i in. 1997 – MAZURKIEWICZ M., PIOTROWSKI Z., TAJDUŚ T., 1997 – Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków.
- PALARSKI i in. 2005 – PALARSKI J., PLEWA F., PIERZYNA P., ZAJĄC A., 2005 – Właściwości zawieszin z materiałów odpadowych z dodatkiem środka wiążącego w aspekcie możliwości ich wykorzystania do likwidacji zawodnionych szybów. *Kwartalnik Górnictwo i Geoinżynieria*, Wyd. AGH, nr 4, Kraków.
- PLEWA F., MYSLEK Z., 2001 – Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- PLEWA i in. 2007 – PLEWA F., POPCZYK M., MYSLEK Z., 2007 – Rodzaj produktów wytwarzanych w energetyce zawodowej i możliwości ich wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych. *Polityka Energetyczna* t. 10, z. spec. 2.
- PLEWA i in. 2011 – PLEWA F., POPCZYK M., PIERZYNA P., ZAJĄC A., 2011 – Wykorzystanie materiałów z udziałem odpadów energetycznych do likwidacji zapadlisk wywołanych działalnością górnictwem. *Polityka Energetyczna* t. 14, z. 2.

Franciszek PLEWA, Marcin POPCZYK, Artur ZAJĄC, Piotr PIERZYNA

Analysis of possibilities for utilizing power generation waste from a wet flue gas desulphurization method (code 10 01 05) as a component of solidifying mixtures being applied in hard coal underground mines

Abstract

For several years, professional power generation more and more often applies wet methods for the desulphurization of flue gases which are characterized by very high efficiency, reaching a level of about 90–95%. A byproduct generated during the operation of such a plant is REA-gypsum. This product sees broad usage in Poland for the production of different gypsum-based materials of which the most popular are gypsum-cardboards. A potential area where REA-gypsum could be applied is also underground mining which utilizes in bulk different, finely-grained waste, originating from professional power generation mainly in the technology for the grouting of cavings.

However, due to the lack of binding properties and requirements for materials used in grouting technology (which have been formulated in the Polish standard PN-G-11011:1998) REA-gypsum might be applied in a fly ash – water mixture being prepared on the basis of a fly ash which possess binding properties.

This paper presents the results of physical-mechanical properties measurements and the leaching of chemical substances for hydraulic mixtures which contain fly ash of the code 100102, with the addition of REA-gypsum in the range of between 0 and 20 % and mine water. The mixtures under testing were characterized by table spread test results of 180, 220, and 260 mm (see Table 1).

On the basis of the conducted measurements of the mixtures' general physical-mechanical properties, it can be concluded that:

- ✧ Density was subject of variability in a range of between 1362 and 1515 g/dm³ (see Fig. 1),
- ✧ The water – fly ash index changed between 0.40 and 0.64 (see Fig. 2),
- ✧ The amount of excessive water expressed values from 0.3 up to 9.8 %, (see Fig. 3),
- ✧ Compressive strength after 28 days of cure time varied between 0.12 and 0.43 MPa (see Fig. 4),
- ✧ Soak resistance was in a range of from 2 up to 48% (see Fig. 5).

Leaching tests of sulfates and chlorides conducted by accredited laboratories in accordance with standard requirements have shown an insignificantly exceeded concentration of chlorides only in one case, meaning a mixture containing 20% of REA-gypsum with a 180 mm table spread test result. In the case of sulfates, exceptions to the limits formulated by the standard have not been noticed (see table 2).

It can be concluded from the analysis of previously described measurements of the physical-mechanical properties and leaching tests on chemical substances for the considered range of hydraulic mixtures that the requirements formulated by the standard are met by the following mixtures made on the basis of fly ash code 10 01 02 and mine water:

- ✧ By table spread test result 180 mm, with amount of REA-gypsum up to 15%,
- ✧ By table spread test result 220 mm, with amount of REA-gypsum up to 20%,
- ✧ By table spread test result 260 mm, with amount of REA-gypsum up to 20%.

KEY WORDS: mining, grouting, power generation waste, REA-gypsum