

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

WPLYW GIPSU POREAKCYJNEGO NA WŁASNOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE MIESZANIN POPIOŁOWO-WODNYCH

Streszczenie. Powstający w procesie mokrego odsiarczania spalin w Elektrowniach i Elektrociepłowniach gips poreakcyjny jako odpad drobnoziarnisty może znaleźć zastosowanie w podziemnych technologiach górniczych. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu gipsu poreakcyjnego na własności mieszanin popiołowo-wodnych stosowanych w górnictwie podziemnym.

INFLUENCE OF REA-GIPSUM ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FLY ASH – WATER MIXTURES

Summary. Generated in wet process of flue gas desulphurization in the power stations re-a-gypsum as a fine-grained waste, can find use in underground mining technologies. The paper presents the results of investigations of influence re-a-gypsum on properties of fly ash – water mixtures used in underground mining.

1. Wstęp

Gips poreakcyjny będący produktem mokrego odsiarczania spalin w Elektrowniach i Elektrociepłowniach może stanowić substytut dla gipsu naturalnego w produkcji materiałów budowlanych. W przypadku braku możliwości zbytu całego wychodu gipsu z instalacji odsiarczania powinien on znaleźć inne formy zagospodarowania. Jedną z możliwych metod zagospodarowania znacznych ilości gipsu poreakcyjnego jest jego wykorzystanie w podziemnych technologiach górniczych. Gips poreakcyjny jako materiał drobnoziarnisty może stanowić składnik mieszanin drobnofrakcyjnych stosowanych w górnictwie podziemnym do doszczelniania zrobów zawałowych, wypełniania pustek poeksploatacyjnych

i zbędnych wyrobisk górniczych oraz wykonywania pasów i korków podsadzkowych. W artykule zostaną przedstawione wyniki badań wpływu dodawania gipsu poreakcyjnego na własności fizyko mechaniczne mieszanin drobnoziarnistych wytwarzanych z popiołów lotnych.

2. Charakterystyka gipsu poreakcyjnego

Gips poreakcyjny powstaje w procesie mokrego odsiarczania spalin w Elektrowniach, mającym na celu ograniczenie emisji związków siarki do atmosfery.

Znanych jest kilkadziesiąt różnych metod usuwania związków siarki z gazów spalinowych. Tylko część tych metod może znaleźć zastosowanie w energetyce zawodowej ze względu na duże natężenia przepływu spalin oraz ze względu na zawartość popiołu w spalinach. Przy wyborze technologii odsiarczania bierze się pod uwagę przede wszystkim takie czynniki, jak: skład spalin, dopuszczalny poziom emisji zanieczyszczeń, koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz rodzaj produktów odsiarczania i możliwość ich zagospodarowania czy składowania.

Najlepsze efekty uzyskuje się stosując mokrą wapienną metodę odsiarczania spalin. Metoda gwarantuje znaczny poziom redukcji SO_2 w spalinach (powyżej 95%). W procesie mokrego odsiarczania spalin metodą wapienną powstaje produkt uboczny, tj. gips syntetyczny o parametrach jakościowych i fizykochemicznych, umożliwiających wykorzystywanie go wszędzie tam, gdzie obecnie stosowany jest gips naturalny, a więc w przemyśle materiałów budowlanych, w budownictwie mieszkaniowym i ogólnym, w górnictwie itp.

Metoda mokra wapienna jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną w świecie metodą odsiarczania spalin. Polega ona na absorpcji SO_2 w wodnej zawieszynie mączki kamienia wapiennego lub wodorotlenku wapnia. Mokra wapienna metoda odsiarczania spalin charakteryzuje się bardzo wysoką sprawnością (powyżej 95%) przy bardzo małym nadmiarze wapnia ($\text{Ca/S} = 1,02+1,2$).

Jakość gipsu syntetycznego zależy od rodzaju spalanego paliwa, stopnia odpylenia spalin, jakości sorbentu i stosowanej technologii odsiarczania. Najgorszej jakości jest produkt odpadowy uzyskany w procesie jednoczesnego odpylenia i odsiarczania spalin. Jest to sposób stosowany rzadko, ale bywa, że dla małych kotłowni jest to korzystne rozwiązanie. Orientacyjna charakterystyka takiego odpadu jest następująca:

- dwuwodny siarczan wapnia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 45%,
- węglan wapnia CaCO_3 - 5%,
- siarczyn wapnia CaSO_3 - 1%,
- popiół lotny + „inerty” - 49%.

Najlepszej jakości jest gips syntetyczny uzyskany z odsiarczania dobrze odpylonych spalin przy bardzo małym nadmiarze wapnia $\text{Ca/S} = 1,02$ (gips wysokojakościowy). Tym warunkom odpowiadają instalacje odsiarczania spalin w dużych Elektrowniach.

Pod względem chemicznym wysokojakościowy gips syntetyczny jest porównywalny z gipsem naturalnym, a pod niektórymi względami go przewyższa (większa zawartość $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a mniejsza „inertów”).

Fizyczne własności gipsu syntetycznego można opisać za pomocą: zawartości wilgoci, pokroju kryształów, rozkładu wielkości ziaren i ciężaru nasypowego. Właściwości te zależą w dużym stopniu od metody odsiarczania. Zawartość wilgoci w gipsie syntetycznym zależy od urządzenia filtracyjnego i w przypadku stosowania wirówki wynosi około 6 %. Wilgotność zależy również od pokroju kryształów, który wpływa na podatność na odfiltrowanie. Kryształy gipsu syntetycznego mogą przybierać różną postać: od form sztab aż po zwartą formę kulistą. Od pokroju kryształów zależy ciężar nasypowy gipsu syntetycznego, który może przyjmować wartości od 0,5 do $1,27 \text{ Mg/m}^3$. Pokrój kryształów gipsu syntetycznego powoduje, że twardość tego materiału jest wyższa od twardości gipsu naturalnego. Twardość gipsu syntetycznego wynosi $79 \div 107 \text{ MPa}$, podczas gdy dla gipsu naturalnego wartość ta jest równa 59 MPa . Badania mikroskopowe i rentgenograficzne wykazują duże zdefektowanie struktury kryształów gipsu syntetycznego w stosunku do gipsu naturalnego.

Zestawienie własności gipsu syntetycznego i naturalnego według różnych źródeł przedstawia tab. 1 [1, 5, 6].

Tabela 1

Własności gipsu syntetycznego i naturalnego według różnych źródeł

Składnik	Jednostka	Gips synt. wysokiej jakości	Gips synt. niskiej jakości	Gips synt. El. Belchatów	Gips naturalny	Wymagania niemieckie
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	% s.m.	98 - 99	> 80	> 92,5	78 - 95	> 95
$\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	% s.m.	< 1	< 2	< 0,2	0	< 0,5
$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	% s.m.	< 1,5	< 5	< 1	2,7	< 1,5
chlorki	% s.m.	< 0,01	< 0,4	< 0,01	< 0,001	< 0,01

cd. tab. 1

fluorki	% s.m.	< 0,05	-	-	< 0,001	-
Na ₂ O	% s.m.	0,01	0,02	-	< 0,2	0,04 ÷ 0,06
K ₂ O	% s.m.	0,02	0,02	< 0,01	-	< 0,06
MgO	% s.m.	0,1	-	< 0,01	-	< 0,1
pH	-	5 ÷ 8	6	6,5 ÷ 8	6 ÷ 7	5 ÷ 8
wilgotność	% m.	7 ÷ 10	6	6 ÷ 9	1	< 10
stopień białości	%	77	68	50 ÷ 65	83	> 80
„inerty”	% s.m.	-	-	-	5 ÷ 20	-

3. Charakterystyka popiołów lotnych i gipsu poreakcyjnego użytych do badań

Do badań nad wpływem gipsu poreakcyjnego na własności mieszanin popiołowo-wodnych użyto trzech rodzajów popiołów lotnych zróżnicowanych pod względem sposobów spalania oraz stosowanych metod odsiarczania spalin. W badaniach wykorzystano następujące materiały:

- popiół lotny z produktami suchego odsiarczania spalin z Elektrowni „Rybnik”,
- popiół lotny ze spalania fluidalnego z Elektrociepłowni „Czechowice”,
- popiół lotny bez produktów odsiarczania spalin z Elektrowni „Łaziska”,
- gips poreakcyjny z mokrego odsiarczania spalin w Elektrowni „Jaworzno”.

Podstawowe własności użytych do badań materiałów przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2

Własności popiołów lotnych i gipsu poreakcyjnego użytych do badań

Lp.	Parametr	Popiół „Rybnik”	Popiół „Czechowice”	Popiół „Łaziska”	Gips poreakcyjny
1	Gęstość właściwa, kg/m ³	2300	2630	2090	2220
2	Gęstość nasypowa w stanie luźnym, kg/m ³	920	607	907	620
3	Gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym, kg/m ³	1147	820	1227	720
4	Powierzchnia właściwa, cm ² /g	3248	3437	3922	2866

4. Zakres badań

Badaniami wpływu gipsu poreakcyjnego na własności mieszanin popiołowo-wodnych objęto następujące parametry:

- rozlewność,
- sedymentację,
- nośność jednostkową,
- czas zestalania,
- wytrzymałość na ściskanie,
- rozmakalność.

Badania własności mieszanin popiołowo-wodnych i popiołowo-gipsowo-wodnych przeprowadzono zgodnie z normą PN-98/G-11011. Rozlewność mieszanin drobnoziarnistych decyduje o własnościach transportowych i migracyjnych. W zależności od technologii, w jakiej wykorzystywana jest mieszanina drobnoziarnista, wymagana jest inna rozlewność. Podszadzka samozestalająca czy wypełnianie wyrobisk o dużych przekrojach umożliwia stosowanie mieszanin o małej rozlewności. Decydujące znaczenie posiadają wówczas wymagania transportowe w rurociągach. Doszczelnianie zrobów zawałowych lub wypełnianie pustek w górotworze o małej drożności wymaga natomiast stosowania mieszanin o dużej rozlewności, pozwalającej spenetrować i wypełnić niewielkie przestrzenie międzyziarnowe. Sedymentacja mieszanin drobnoziarnistych związana jest z wydzielaniem się wody nadmiarowej w postaci wody odciekowej lub nadosadowej. Ilość wody nadosadowej zależy przede wszystkim od ilości wody zarobowej użytej do jej wytworzenia, ale także od własności wiążących popiołów lotnych i prędkości sedymentacji. Nośność jednostkowa określa zdolność do przenoszenia obciążeń w początkowym okresie zestalania mieszaniny drobnoziarnistej. Im krótszy czas uzyskania wymaganej nośności jednostkowej, tym lepsze własności podpornościowe stosowanej mieszaniny. Czas zestalania mieszaniny drobnoziarnistej decyduje o postępie frontu eksploatacyjnego, stosowanych środkach mechanizacji i konstrukcji tam podszadzkowych. Czas zestalania mieszanin powinien być tak dobrany, aby nie hamował postępu robót eksploatacyjnych, a równocześnie nie stwarzał trudności transportowych. Wytrzymałość na ściskanie jest parametrem decydującym o przydatności mieszaniny drobnoziarnistej w poszczególnych technologiach. Wysoką wytrzymałością powinny się charakteryzować mieszaniny stosowane w podszadce samozestalającej, zwłaszcza przy wybieraniu pokładu grubego z podziałem na warstwy

i kolejności wybierania z góry w dół, kiedy to zestalona podsadzka stanowi sztuczny strop dla warstwy niższej. Rozmakalność mieszanin drobnoziarnistych to odporność na powtórne upłynnienie w kontakcie z wodami kopalnianymi. Ze względów bezpieczeństwa materiały, które charakteryzują się brakiem odporności na rozmakanie, nie powinny być stosowane w podziemnych technologiach górniczych, [2, 3, 4].

5. Analiza wyników badań

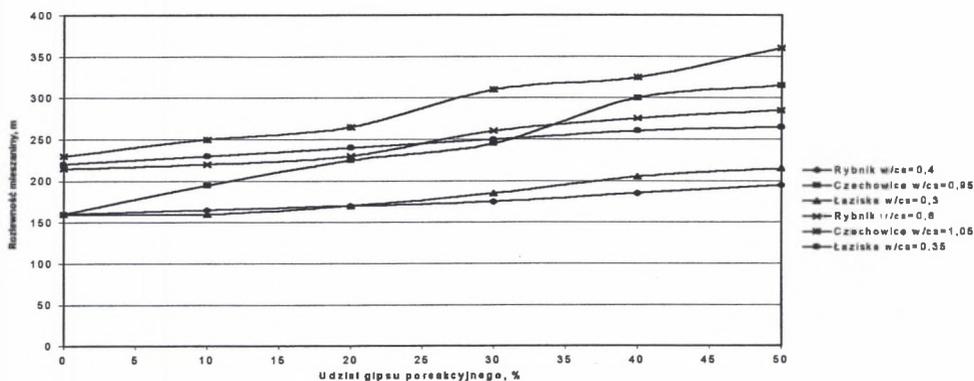
Wyniki badań wpływu gipsu poreakcyjnego na własności mieszanin popiołowo-wodnych przedstawiono na wykresach, rys.1÷9. Badania przeprowadzono dla dwóch stosunków masowych części stałych do wody, odpowiadających rozlewnościom charakterystycznym dla mieszanin podsadzkowych i doszczelniających. Stosunki masowe części stałych do wody dla poszczególnych popiołów wynosiły:

- Popiół z Elektrowni „Rybnik” – 1 :0,4 i 1:0,6,
- Popiół z Elektrociepłowni „Czechowice” – 1:0,95 i 1:1,05,
- Popiół z Elektrowni „Łaziska” – 1:0,3 i 1:0,35.

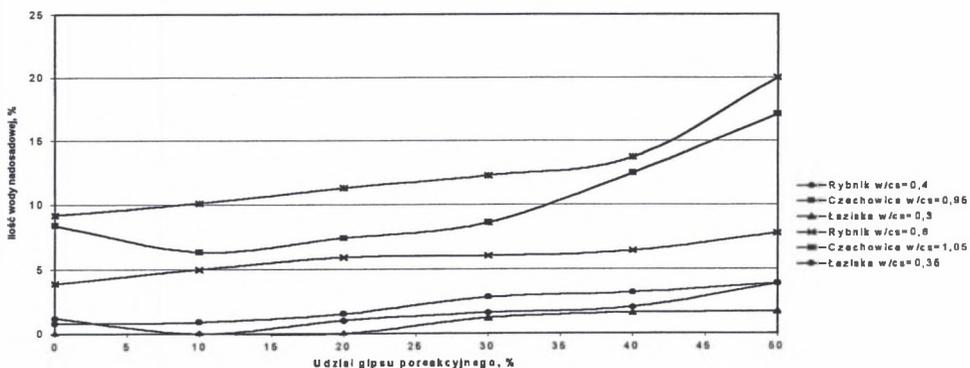
Rozlewność

W zakresie badanych udziałów składników rozlewność mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych zmieniała się od 160 do 195mm przy stosunku części stałych do wody równym 1:0,4 i od 215 do 285mm przy stosunku części stałych do wody 1:0,6 dla mieszanin wykonanych z popiołu z Elektrowni „Rybnik”, od 160 do 315mm przy stosunku części stałych do wody 1:0,95 i od 230 do 360mm przy stosunku części stałych do wody 1:1,05 dla popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” oraz od 160 do 215mm przy stosunku części stałych do wody 1:0,3 i od 220 do 265mm dla stosunku części stałych do wody 1:0,35 dla popiołu z Elektrowni „Łaziska”. Rozlewność badanych mieszanin rośnie wraz ze wzrostem udziału gipsu poreakcyjnego. Przy 50% udziale gipsu rozlewność mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody jest od 20,4 do 96,9% większa od rozlewności mieszanin popiołowo-wodnych. Największym przyrostem rozlewności charakteryzuje się mieszanina wykonana z popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” o stosunku części stałych do wody 1:0,95, a najmniejszym mieszanina wykonana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” o stosunku części stałych do wody

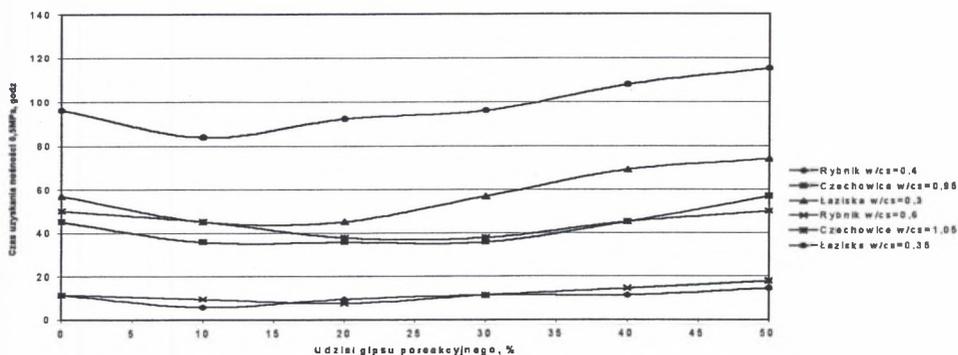
1:0,35. Z przeprowadzonych badań wynika, że gips poreakcyjny zwiększa rozlewność mieszanin popiołowo-wodnych, a tym samym ich własności migracyjne.



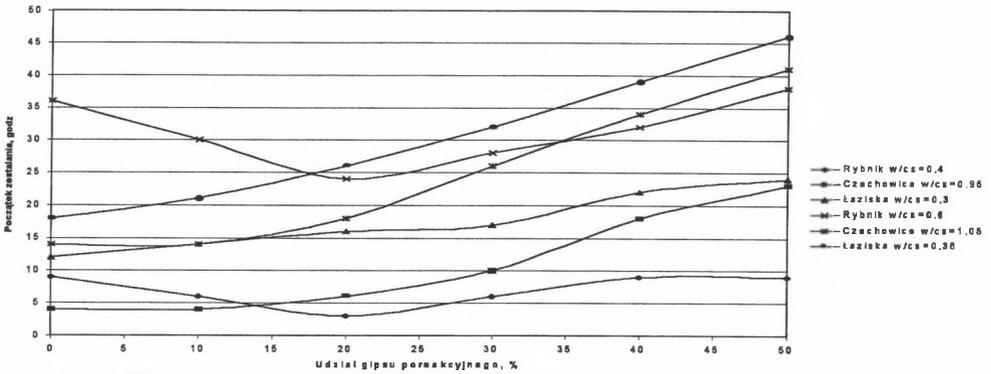
Rys.1. Wpływ gipsu poreakcyjnego na rozlewność mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych
 Fig.1. The influence of rea-gypsum on the spreading of fly ash-gypsum-water mixtures



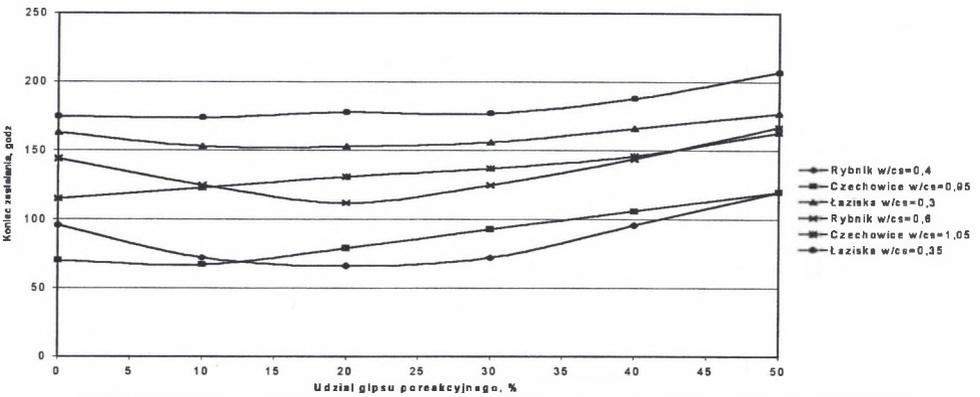
Rys.2. Wpływ gipsu poreakcyjnego na ilość wody nadosadowej po 24 godz. sedymentacji mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych
 Fig.2. The influence of rea-gypsum on the quantity of the oversetting water in fly ash-gypsum-water mixtures



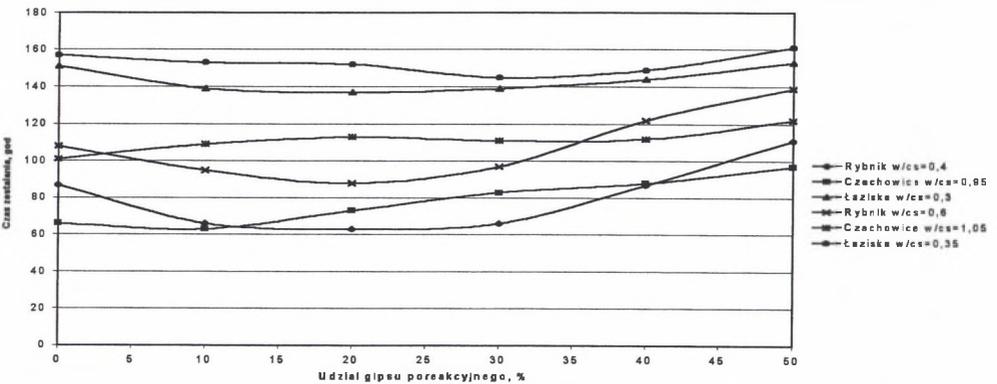
Rys.3. Wpływ gipsu poreakcyjnego na czas uzyskania nośności jednostkowej 0,5MPa przez mieszaniny popiołowo-gipsowo-wodne
 Fig.3. The influence of rea-gypsum on the capacity of fly ash-gypsum-water mixtures



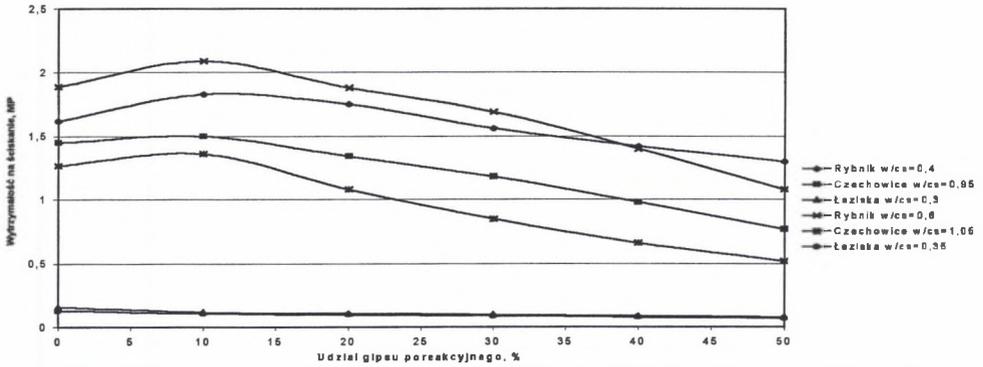
Rys.4. Wpływ gipsu poreakcyjnego na początek zestalania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych
 Fig.4. The influence of rea-gypsum on the start of the solidification of fly ash-gypsum-water mixtures



Rys.5. Wpływ gipsu poreakcyjnego na koniec zestalania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych
 Fig.5. The influence of rea-gypsum on the end of the solidification of fly ash-gypsum-water mixtures

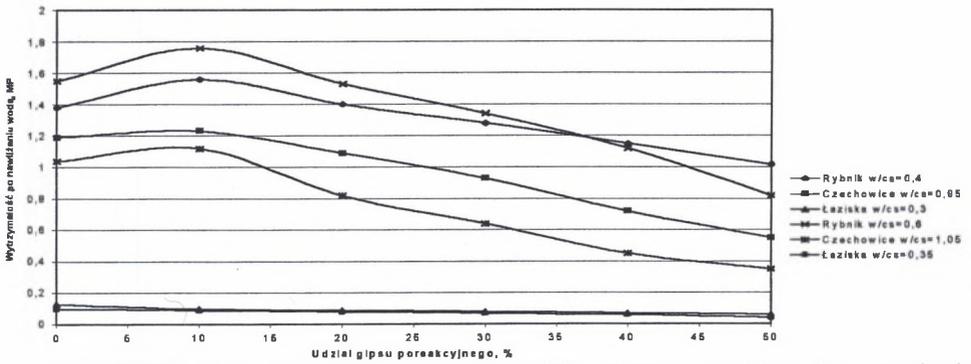


Rys.6. Wpływ gipsu poreakcyjnego na czas zestalania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych
 Fig.6. The influence of rea-gypsum on time of the solidification of fly ash-gypsum-water mixtures



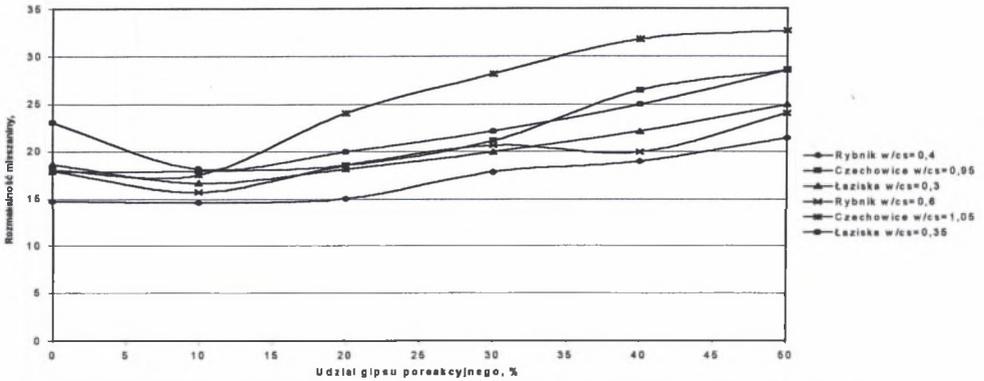
Rys.7. Wpływ gipsu poreakcyjnego na wytrzymałość na ściskanie mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej

Fig.7. The influence of rea-gypsum on the compressive strength of fly ash-gypsum-water mixtures



Rys.8. Wpływ gipsu poreakcyjnego na wytrzymałość mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych nawilżanych wodą

Fig.8. The influence of rea-gypsum on the compressive strength of fly ash-gypsum-water mixtures after a water danying



Rys.9. Wpływ gipsu poreakcyjnego na rozmałalność mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych

Fig.9. The influence of rea-gypsum on the disintegration of fly ash-gypsum-water mixtures

Sedymentacja

Ilość wody nadosadowej wydzielonej w procesie 24-godzinnej sedymentacji badanych mieszanin zależy od rodzaju popiołu lotnego, udziału gipsu poreakcyjnego i stosunku części stałych do wody. Przy mniejszych rozlewnościach mieszanin i udziale gipsu do 20% obserwuje się nieznaczne zmiany ilości wody nadosadowej w porównaniu z mieszaninami popiołowo-wodnymi, natomiast przy większym udziale gipsu i wyższych rozlewnościach ilość wody nadosadowej wyraźnie wzrasta. Ilość wody nadosadowej w badanych mieszaninach zmieniała się od 0 dla mieszanin wytwarzanych z popiołu z Elektrowni „Łaziska” z dodatkiem do 20% gipsu poreakcyjnego przy stosunku części stałych do wody 1:0,3 do 20% dla mieszaniny wytwarzanej z popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” z dodatkiem 50% gipsu poreakcyjnego przy stosunku części stałych do wody 1:1,05. Ze względu na brak własności wiążących gipsów poreakcyjnych dodawanie gipsu powoduje wyraźny wzrost ilości wody nadosadowej, zwłaszcza przy udziale gipsu powyżej 30%.

Nośność jednostkowa

Czas uzyskiwania nośności jednostkowej 0,5MPa przez mieszaniny popiołowo-wodne w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody zmieniał się od 12 do 96 godzin. Czas uzyskiwania nośności jednostkowej 0,5MPa przez mieszaniny popiołowo-gipsowo-wodne w zależności od udziału gipsu zmieniał się od 6 do 115 godzin. Dodanie gipsu poreakcyjnego w ilości do 30% powoduje skrócenie czasu osiągnięcia wymaganej nośności, natomiast przy 50% udziale gipsu poreakcyjnego czas uzyskania nośności jednostkowej na poziomie 0,5MPa jest od 0 do 50% dłuższy od mieszanin popiołowo-wodnych.

Zestalenie

Początek zestalania mieszanin popiołowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody zmieniał się od 9 do 36 godzin. Najkrótszym czasem początku wiązania charakteryzowała się mieszanina wytwarzana z popiołu lotnego z Elektrowni „Czechowice” o stosunku części stałych do wody 1:0,4, natomiast najpóźniej proces zestalania rozpoczął się w mieszaninie wytwarzanej z popiołu lotnego z Elektrowni „Rybnik”. Początek procesu zestalania mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych zawierał się w przedziale od 3 do 46 godzin. Proces zestalania rozpoczął się najwcześniej w mieszaninie wykonanej z popiołu lotnego z Elektrowni „Rybnik” z dodatkiem 20% gipsu poreakcyjnego o stosunku części stałych do wody 1:0,4, a najpóźniej w mieszaninie wykonanej z popiołu

lotnego z Elektrowni „Łaziska” z dodatkiem 50% gipsu poreakcyjnego o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Ze wzrostem udziału gipsu czas rozpoczęcia wiązania ulega wydłużeniu dla mieszanin wytwarzanych z popiołu lotnego z Elektrociepłowni „Czechowice” i Elektrowni „Łaziska”, dla mieszanin wykonanych z popiołu z Elektrowni „Rybnik” dodanie gipsu w ilości 30÷40% przyspiesza proces rozpoczęcia zestalenia.

Koniec zestalenia mieszanin popiołowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody zmieniał się od 70 do 179 godzin. Proces zestalenia najwcześniej został zakończony w mieszaninie wykonanej z popiołu lotnego z Elektrociepłowni „Czechowice” o stosunku części stałych do wody 1:0,95, a najpóźniej w mieszaninie wykonanej z popiołu z Elektrowni „Łaziska” o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Proces zestalenia mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych został zakończony w zależności od rodzaju popiołu, udziału gipsu i stosunku części stałych do wody po czasie od 66 do 203 godzin. Najkrótszym czasem końca zestalenia charakteryzowała się mieszanina wykonana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” z dodatkiem 20% gipsu poreakcyjnego o stosunku części stałych do wody 1:0,4, a najdłuższym mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” z dodatkiem 50% gipsu o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Dodatek gipsu poreakcyjnego wpływa negatywnie na czas końca zestalenia badanych mieszanin, jedynie w przypadku mieszanin wytwarzanych z popiołu lotnego z Elektrowni „Rybnik” obserwuje się skrócenie czasu końca zestalenia przy udziale gipsu w ilości do 30%. Czas zestalenia badanych mieszanin popiołowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody zmieniał się od 66 do 157 godzin. Najkrótszym czasem zestalenia charakteryzuje się mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” o stosunku części stałych do wody 1:0,95, a najdłuższym mieszanina wykonana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Czas zestalenia mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu, udziału gipsu i stosunku części stałych do wody wynosił od 63 do 161 godzin. Proces zestalenia najkrócej trwał w mieszaninach wytwarzanych z popiołu lotnego z Elektrowni „Rybnik” z dodatkiem 20% gipsu poreakcyjnego przy stosunku części stałych do wody 1:0,4 i z popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” z dodatkiem 10% gipsu przy stosunku części stałych do wody 1:0,95. Wpływ gipsu poreakcyjnego na czas zestalenia badanych mieszanin drobnoziarnistych jest zróżnicowany i zależy od rodzaju popiołu, udziału gipsu i wody w mieszaninie. Dodanie gipsu w ilości do 30% skraca czas zestalenia, natomiast powyżej tej wartości czas zestalenia ulega wydłużeniu. Przy 50% udziale gipsu czas zestalenia jest dłuższy o 1 do 47% od mieszanin popiołowo-wodnych. Najmniejszy wpływ gipsu na proces

zestawienia obserwuje się w mieszaninach wytwarzanych z popiołu lotnego z Elektrowni „Łaziska”.

Wytrzymałość

Wytrzymałość na ściskanie mieszanin popiołowo-wodnych po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody zmieniała się od 0,13 do 1,89MPa. Najwyższą wytrzymałością charakteryzowała się mieszanina popiołowo-wodna o stosunku części stałych do wody 1:0,6, wytwarzana z popiołu lotnego z Elektrowni „Rybnik”, a najniższą mieszanina o stosunku części stałych do wody 1:0,35, wytwarzana z popiołu lotnego z Elektrowni „Łaziska”. Wytrzymałość mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu, udziału gipsu poreakcyjnego i stosunku części stałych do wody zawierała się w przedziale od 0,07 do 2,09MPa. Najwyższą wytrzymałość na ściskanie uzyskała mieszanina wytwarzana z popiołu lotnego z Elektrowni „Rybnik” z dodatkiem 10% gipsu poreakcyjnego o stosunku części stałych do wody 1:0,6, a najniższą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” z dodatkiem 50% gipsu o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Wpływ gipsu poreakcyjnego na wytrzymałość badanych mieszanin zależy od rodzaju popiołu i udziału gipsu. Dodanie gipsu poreakcyjnego w ilości 10 do 20% do mieszanin wytwarzanych z popiołu z Elektrowni „Rybnik” i Elektrociepłowni „Czechowice” powoduje nieznaczny wzrost wytrzymałości. Dodatek gipsu powyżej 20% powoduje spadek wytrzymałości poniżej wytrzymałości mieszaniny popiołowo-wodnej. W mieszaninach wytwarzanych z popiołu z Elektrowni „Łaziska” dodawanie gipsu poreakcyjnego powoduje spadek wytrzymałości w całym badanym zakresie jego udziału w stosunku do mieszanin popiołowo-wodnych. Przy 50% udziale gipsu poreakcyjnego wytrzymałość badanych mieszanin zmieniała się od 0,07 do 1,3MPa. Najwyższą wytrzymałość uzyskała mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” o stosunku części stałych do wody 1:0,4, a najniższą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Przy takim udziale gipsu spadek wytrzymałości wynosił od 13,6 do 59%. Najmniejszy spadek wytrzymałości wykazała mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” o stosunku części stałych do wody 1:0,4, a najwyższą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” o stosunku części stałych do wody 1:1,05.

Rozmakalność

Wytrzymałość mieszanin popiołowo-wodnych po nawilżaniu wodą w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody zmieniała się od 0,10 do 1,55MPa. Najwyższą wytrzymałość po nawilżaniu wodą charakteryzowała się mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” o stosunku części stałych do wody 1:0,6, a najniższą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Rozmakalność badanych mieszanin popiołowo-wodnych rozumiana jako spadek wytrzymałości w wyniku nawilżania wodą zmieniała się od 14,8 do 23,1%. Największą rozmakalnością charakteryzowała się mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” o stosunku części stałych do wody 1:0,35, a najmniejszą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” o stosunku części stałych do wody 1:0,4. Wytrzymałość na ściskanie po nawilżaniu wodą mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu, stosunku części stałych do wody i udziału gipsu poreakcyjnego zmieniała się od 0,04 do 1,76MPa. Najwyższą wytrzymałość uzyskała mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” z dodatkiem 10% gipsu i stosunku części stałych do wody 1:0,6, a najniższą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Łaziska” z dodatkiem 50% gipsu o stosunku części stałych do wody 1:0,35. Rozmakalność mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu, udziału gipsu poreakcyjnego i stosunku części stałych do wody zmieniała się od 14,7 do 32,7%. Najmniejszą rozmakalnością charakteryzowała się mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrowni „Rybnik” z dodatkiem 10% gipsu o stosunku części stałych do wody 1:0,4, a największą mieszanina wytwarzana z popiołu z Elektrociepłowni „Czechowice” z dodatkiem 50% gipsu o stosunku części stałych do wody 1:1,05.

Z analizy badań rozmakalności mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych wynika, że dodawanie gipsu poreakcyjnego do mieszanin popiołowo-wodnych w ilości do 20% nie wpływa istotnie na ich rozmakalność. Przy większym udziale gipsu rozmakalność badanych mieszanin wzrasta, a przy 50% udziale gipsu poreakcyjnego rozmakalność jest wyraźnie wyższa od mieszanin popiołowo-wodnych. Ponadto odporność na rozmakanie mieszanin o większych rozlewnościach jest mniejsza.

6. Wnioski

Na podstawie dokonanej analizy badań wpływu gipsu poreakcyjnego na własności mieszanin popiołowo-wodnych można sformułować następujące wnioski:

1. Gips poreakcyjny z mokrego odsiarczania spalin może być komponentem mieszanin drobnoziarnistych wytwarzanych z popiołów lotnych stosowanych w technologiach górniczych. Dodawanie gipsu poreakcyjnego wpływa w sposób zróżnicowany na własności mieszanin popiołowo-wodnych w zależności od rodzaju popiołu i stosunku części stałych do wody.
2. Dodawanie gipsu poreakcyjnego zwiększa rozlewność mieszanin popiołowo-wodnych oraz ich własności migracyjne, co pozwala na uzyskanie większego zasięgu rozpląwu i szczelności wypełnienia zrobów. Przy 50% udziale gipsu rozlewność badanych mieszanin wzrasta od 20 do około 97% w zależności od rodzaju stosowanego popiołu i udziału wody w mieszaninie.
3. Ilość wody nadosadowej wzrasta wyraźnie w mieszaninach popiołowo-gipsowo-wodnych przy udziale gipsu poreakcyjnego powyżej 30%, zwłaszcza dla mieszanin wytwarzanych z popiołów lotnych z Elektrowni „Czechowice”. Przy 50% udziale gipsu ilość wody nadosadowej jest o około 100% większa niż w mieszaninach popiołowo-wodnych.
4. Dodawanie gipsu poreakcyjnego do mieszanin popiołowo-wodnych wydłuża czas rozpoczęcia zestalania dla badanych popiołów z wyjątkiem popiołów lotnych z Elektrowni „Rybnik”, dla których przy udziale do 20% gipsu obserwuje się spadek czasu początku wiązania, a powyżej tego udziału wzrost czasu rozpoczęcia wiązania do wartości odpowiadającej mieszaninie popiołowo-wodnej przy 50% udziale gipsu.
5. Wytrzymałość mieszanin popiołowo-gipsowo-wodnych spada wraz ze wzrostem udziału gipsu poreakcyjnego w mieszaninie. Przy 50% udziale gipsu spadek wytrzymałości badanych mieszanin wynosi od 14 do 59%, w zależności od rodzaju popiołu lotnego i stosunku części stałych do wody.
6. Dodawanie gipsu poreakcyjnego obniża odporność na rozmakanie mieszanin popiołowo-wodnych. Spadek wytrzymałości mieszanin poddanych nawilżaniu wodą w zależności od rodzaju popiołu i udziału gipsu poreakcyjnego wynosił od około 15 do 33%.

LITERATURA

1. Garlicki M.: Technologia odsiarczania spalin. Szkoła Gospodarki Odpadami 97. Materiały Szkoły, Ryto, 1997.
2. Mazurkiewicz M., Piotrowski Z.: Propozycja unormowania badań będących podstawą dopuszczenia odpadów drobnofrakcyjnych do deponowania w pustkach podziemnych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 3/15, 1995.
3. Mysłek Z., Plewa F.: Gospodarcze wykorzystanie odpadów drobnoziarnistych w warunkach kopalń węgla kamiennego. Cuprum, nr4/5, Wrocław 1997.
4. Mysłek Z., Plewa F.: Przegląd metod zagospodarowania odpadów drobnofrakcyjnych w wyrobiskach kopalnianych w świetle własnych badań i doświadczeń. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 225, Gliwice 1995.
5. Praca zbiorowa: Utylizacja gipsu syntetycznego z instalacji odsiarczania spalin. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Gliwice 1993.
6. Wirsching F.: Gips z odsiarczania spalin – powstawanie, własności, zastosowanie. Cement, gips, wapno., nr 2, 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jadwiga Szczepańska

Abstract

Rea-gypsum generated in wet method of gas desulphurization in the power stations as a fine-grained waste, can find use in underground mining technologies. The usefulness of the waste in underground mining technologies is evaluated on the base of physical and mechanical properties of mixtures with its containment. The paper presents the results of investigations of the influence of rea-gypsum on properties of fly ash-water mixtures used in underground mining technologies. The results are presented on the charts (fig. 1÷9). In the light of executed investigations it can be stated out that the addition of rea-gypsum influences in different ways the properties of fly ash-water mixtures dependently from its contents in a mixture but it is possible to find its application as a component of fine-grained mixtures in chosen mining technologies.