ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: GÓRNICTWO z. 279 Nr kol. 1764

Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSŁEK, Marcin POPCZYK, Piotr PIERZYNA
Politechnika Śląska, Gliwice

# WŁAŚCIWOŚCI MIESZANIN POPIOŁOWO-MUŁOWYCH WYTWARZANYCH Z POPIOŁÓW LOTNYCH Z PRODUKTAMI PÓŁSUCHEGO ODSIARCZANIA SPALIN

**Streszczenie.** O możliwości wykorzystania drobnoziarnistych odpadów przemysłowych w technologiach górniczych decydują ich właściwości. Szczególnie istotna jest zdolność odpadów do zestalania. Muły węglowe takich właściwości nie posiadają, zatem ich samodzielne wykorzystanie w technologiach górniczych jest trudne. Mogą natomiast stanowić składnik mieszanin z udziałem popiołów lotnych. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu rodzaju popiołu lotnego na właściwości mieszanin popiołowo-mułowych pod kątem możliwości ich wykorzystania w technologiach górniczych.

# SPECIFICITY OF ASH-SILT MIXTURES FABRICATED FROM FLY-ASHES WITH SEMI-DRY DESULPHURIZATION PRODUCTS

**Summary.** Capabilities of utilization of fine-grained industrial waste in mining technologies depend on their specificity. Ability of waste to solidification is of particular importance. Carbon silts do not have such specificity therefore, their independent utilization in mining technologies is problematic. However, they can be presented in the mixture with participation of fly-ashes. The paper presents investigation results of influence of sort of fly-ash on specificities of ash-silts mixtures from the point of view of capabilities their utilization in mining technologies.

## 1. Wprowadzenie

Muły węglowe powstające w procesach wzbogacania drobnych frakcji urobku w osadzarkach zawiesinowych i płuczkach miałowych są odpadem trudnym do zagospodarowania. Drobnoziarniste odpady przemysłowe, a zwłaszcza popioły lotne, ze względu na wykazywane właściwości znajdują zastosowanie w szeregu technologiach

górniczych, do których można zaliczyć między innymi: doszczelnianie zrobów zawałowych, podsadzkę samozestalaną, wypełnianie starych pustek w górotworze, wykonywanie pasów i korków izolacyjnych, likwidacja zbędnych wyrobisk korytarzowych, profilaktyka pożarowa [1,3,5]. Wykorzystanie mułów powęglowych w technologiach górniczych jako składnika mieszanin drobnoziarnistych wytwarzanych z popiołów lotnych wymaga przeprowadzenia badań wpływu rodzaju popiołu lotnego na własności mieszanin popiołowo-mułowych. Popioły lotne pochodzące ze spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach charakteryzują się zróżnicowanymi własnościami fizykochemicznymi w zależności od rodzaju spalanego węgla, sposobu spalania i odsiarczania spalin [2,4,6]. Z górniczego punktu widzenia szczególnie istotne są właściwości decydujące o czasie zestalania, wytrzymałości na ściskanie i odporności na rozmakanie. Od tych własności zależy możliwość wykorzystania mieszaniny w poszczególnych technologiach górniczych. Muły powęglowe nie wykazują właściwości wiążących, zatem ich udział w mieszaninie z popiołami lotnymi może być taki, który pozwoli na spełnienie wymagań danej technologii.

## 2. Charakterystyka odpadów użytych do badań

Do badań nad wpływem rodzaju popiołu lotnego na własności mieszanin popiołowo-mułowych użyto mułu powęglowego z jednej z kopalń węgla kamiennego oraz popioły lotne z produktami półsuchego odsiarczania spalin, pochodzące z trzech elektrowni. Własności fizykochemiczne mułu powęglowego użytego do badań przedstawiono w tabl. 1 i 2.

Tablica 1

Skład ziarnowy mułu powęglowego

| Lp. | Klasa ziarnowa [mm] | Udział procentowy [%] | Sumaryczny udział frakcji [%] |
|---|---|---|---|
| 1 | > 1,000 | 4,29 | 4,29 |
| 2 | 0,500 ÷ 1,000 | 15,37 | 19,66 |
| 3 | 0,250 ÷ 0,500 | 27,25 | 46,91 |
| 4 | 0,100 ÷ 0,250 | 27,86 | 74,77 |
| 5 | 0,090 ÷ 0,100 | 8,76 | 83,53 |
| 6 | 0,075 ÷ 0,090 | 6,74 | 90,27 |
| 7 | 0,063 ÷ 0,075 | 5,51 | 95,78 |
| 8 | < 0,063 | 4,22 | 100 |
| | **Suma** | **100,00** | - |

Tablica 2

Skład chemiczny mułu powęglowego

| Składniki podstawowe (po przepaleniu w 800°C) | Udział (% wag.) |
|---|---|
| $SiO_2$ | 56,01 |
| $TiO_2$ | 1,03 |
| $Al_2O_3$ | 22,23 |
| $Fe_2O_3$ | 7,88 |
| CaO | 3,58 |
| MgO | 2,62 |
| $Na_2O$ | 0,46 |
| $K_2O$ | 2,85 |
| $Mn_3O_4$ | 0,069 |
| $P_2O_5$ | 0,069 |
| $SO_3$ | 2,66 |
| BaO | 0,118 |
| SrO | 0,018 |
| ZnO | 0,061 |
| **Suma** | **99,52** |

## 3. Zakres badań i składy badanych mieszanin

Badania laboratoryjne własności fizykomechanicznych mieszanin drobnoziarnistych odpadów przemysłowych pod kątem możliwości ich wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych obejmowały pomiary następujących parametrów:

- ilość wody nadosadowej,
- czas zestalania,
- wytrzymałość na ściskanie,
- rozmakalność.

Przedmiotem badań były hydromieszaniny sporządzone z różnych popiołów lotnych i mułu powęglowego. Składy masowe badanych mieszanin przedstawiono w tabl. 3.

Tablica 3

Składy badanych mieszanin drobnoziarnistych

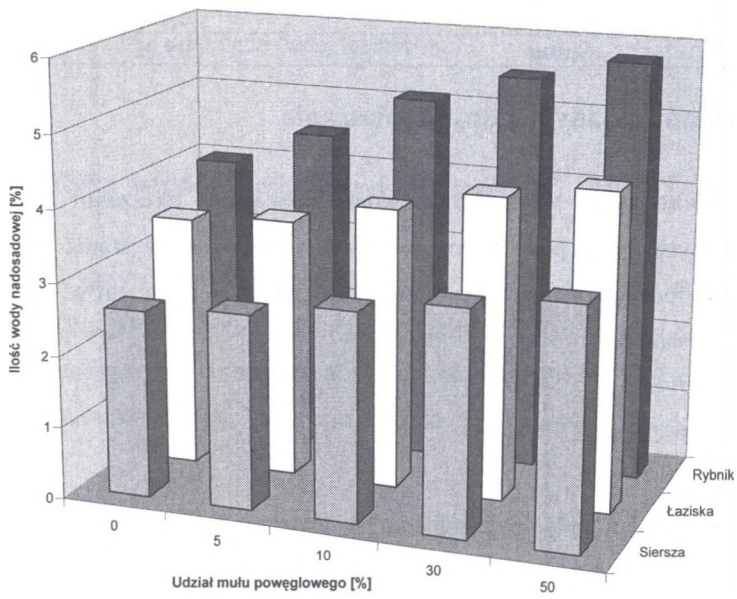
| Lp. | Udziały masowe [%] | | Rozlewność mieszaniny [mm] |
|---|---|---|---|
| | Popiół lotny | Muł powęglowy | |
| 1 | 100 | - | 180 |
| 2 | 95 | 5 | |
| 3 | 90 | 10 | |
| 4 | 70 | 30 | |
| 5 | 50 | 50 | |

Próbki mieszanin sezonowano w komorze klimatyzacyjnej LTB 650RV w celu odwzorowania typowych warunków klimatycznych występujących w wyrobiskach podziemnych. Próbki były sezonowane w temperaturze 25°C przy wilgotności wynoszącej około 100%.

W badaniach stosowano mieszaniny o rozlewności 180 mm, charakteryzujące się dobrą transportowalnością w rurociągach i dobrymi własnościami migracyjno-penetracyjnymi.

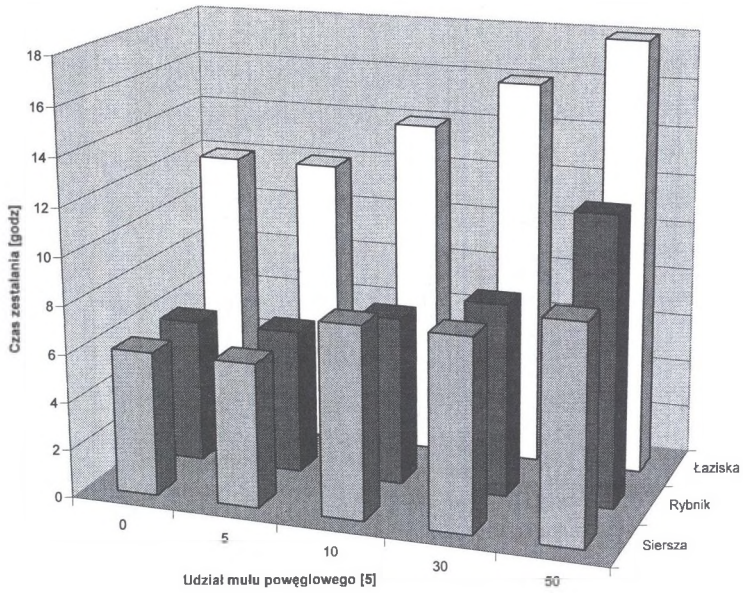
## 4. Wyniki badań mieszanin popiołowo-wodnych

Wyniki badań własności fizycznych mieszanin popiołowo-mułowych wytwarzanych z użyciem popiołów z produktami półsuchego odsiarczania spalin przedstawiono na rys. 1÷4.



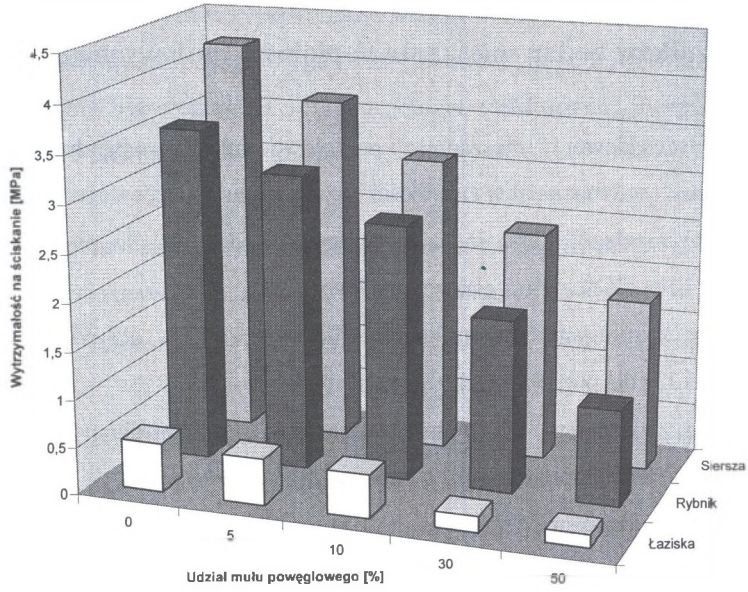

Rys. 1. Ilość wody nadosadowej w mieszaninach popiołowo-mułowych wytwarzanych z popiołów z produktami półsuchego odsiarczania spalin

Fig. 1. Amount of excessive water in ash-silt mixtures made of ashes with semi-dry desulphurization products



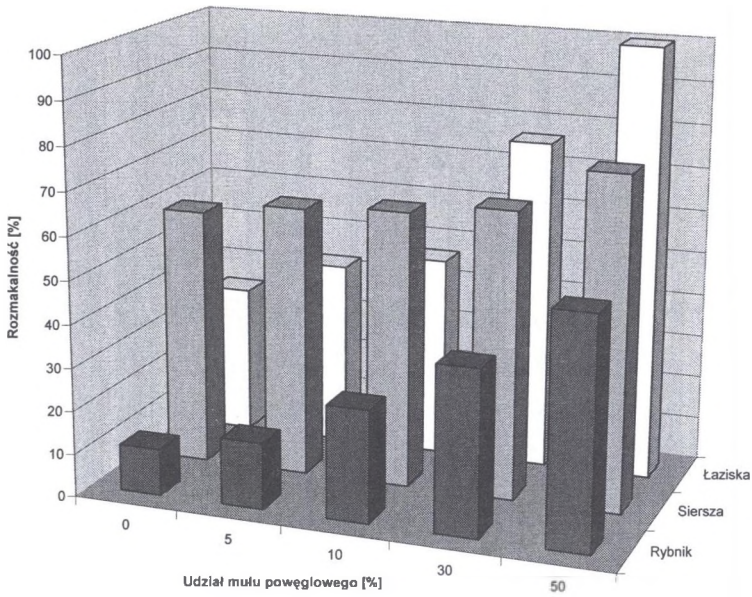

Rys. 2. Czas zestalania mieszanin popiołowo mułowych wytwarzanych z popiołów z produktami półsuchego odsiarczania spalin

Fig. 2. Time of binding of ash-silt mixtures made of ashes with semi-dry desulphurization products




Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie mieszanin popiołowo-mułowych wytwarzanych z popiołów z produktami półsuchego odsiarczania spalin

Fig. 3. Compressive strength of ash-silt mixtures made of ashes with semi-dry desulphurization products




Rys. 4. Rozmakalność mieszanin popiołowo-mułowych wytwarzanych z popiołów z produktami półsuchego odsiarczania spalin

Fig. 4. Soak resistance of ash-silt mixtures made of ashes with semi-dry desulphurization products

## 5. Analiza wyników badań mieszanin popiołowo-mułowych

Ilość wody nadosadowej w mieszaninach popiołowo-mułowo-wodnych o rozlewności 180 mm po 24 godzinach sedymentacji w zależności udziału mułu powęglowego wynosiła:

- dla mieszanin z udziałem 5% mułu powęglowego od 2,7% dla popiołu z elektrowni „Siersza" do 4,5% dla popiołu z elektrowni „Rybnik",
- dla mieszanin z udziałem 10% mułu powęglowego od 2,9% dla popiołu z elektrowni „Siersza" do 5,1% dla popiołu z elektrowni „Rybnik",
- dla mieszanin z udziałem 30% mułu powęglowego od 3,1% dla popiołu z elektrowni „Siersza" do 5,5% dla popiołu z elektrowni „Rybnik",
- dla mieszanin z udziałem 50% mułu powęglowego od 3,3% dla popiołu z elektrowni „Siersza" do 5,8% dla popiołu z elektrowni „Rybnik",
- dla mieszanin popiołowo-wodnych od 2,6% dla popiołu z elektrowni „Siersza" do 4,0% dla popiołu z elektrowni „Rybnik".

Ze wzrostem udziału mułu powęglowego obserwuje się wzrost ilości wody nadosadowej w badanych mieszaninach, przy czym dla 50% udziału mułu powęglowego ilość wody

nadosadowej nie przekracza 6%. W zależności od rodzaju popiołu lotnego maksymalny przyrost ilości wody nadosadowej w stosunku do mieszanin popiołowo-wodnych zmieniał się od 25,71% dla popiołu z elektrowni „Łaziska" do 45% dla popiołu z elektrowni „Rybnik".

Czas zestalania mieszanin popiołowo-mułowo-wodnych o rozlewności 180 mm w zależności od udziału mułu powęglowego zmieniał się w następującym zakresie:

- dla mieszani z udziałem 5% mułu powęglowego od 6 dni dla popiołu z elektrowni „Rybnik" i „Siersza" do 12 dni dla popiołu z elektrowni „Łaziska",
- dla mieszanin z udziałem 10% mułu powęglowego od 7 dni dla popiołu z elektrowni „Rybnik" do 14 dni dla popiołu z elektrowni „Łaziska",
- dla mieszanin z udziałem 30% mułu powęglowego od 8 dni dla popiołu z elektrowni „Rybnik" i „Siersza" do 16 dni dla popiołu z elektrowni „Łaziska",
- dla mieszanin z udziałem 50% mułu powęglowego od 9 dni dla popiołu z elektrowni „Siersza" do 18 dni dla popiołu z elektrowni „Łaziska",
- dla mieszanin popiołowo-wodnych od 6 dni dla popiołu z elektrowni „Rybnik" i „Siersza" do 12 dni dla popiołu z elektrowni „Łaziska".

Czas zestalania badanych mieszanin rośnie wraz ze wzrostem udziału mułu powęglowego. Przy 50% udziale mułu powęglowego czas zestalania w porównaniu z mieszaninami popiołowo-wodnymi był dłuższy od 50% dla popiołu z elektrowni „Siersza" i „Łaziska" do 100% dla popiołu z elektrociepłowni „Rybnik".

Wytrzymałość na ściskanie mieszanin popiołowo-mułowych po 28 dniach zestalania w zależności od rodzaju popiołu i udziału mułu powęglowego wynosiła:

- dla mieszani z udziałem 5% mułu powęglowego od 0,49 MPa dla popiołu z elektrowni „Łaziska" do 3,66 MPa dla popiołu z elektrowni „Siersza",
- dla mieszanin z udziałem 10% mułu powęglowego od 0,45 MPa dla popiołu z elektrowni „Łaziska" do 3,10 MPa dla popiołu z elektrowni „Siersza",
- dla mieszanin z udziałem 30% mułu powęglowego od 0,17 MPa dla popiołu z elektrowni „Łaziska" do2,41 MPa dla popiołu z elektrowni „Siersza",
- dla mieszanin z udziałem 50% mułu powęglowego od 0,13 MPa dla popiołu z elektrowni „Łaziska" do 1,79 MPa dla popiołu z elektrowni „Siersza",
- dla mieszanin popiołowo-wodnych od 0,52 MPa dla popiołu z elektrowni „Łaziska" do 4,21 MPa dla popiołu z elektrowni „Siersza".

Wytrzymałość badanych mieszanin spada wraz ze wzrostem udziału mułu węglowego. Przy 50% udziale mułu węglowego spadek wytrzymałości w stosunku do mieszanin popiołowo-wodnych zmieniał się od 57,48% dla mieszaniny z popiołem z elektrowni „Siersza" do 75% dla mieszaniny z popiołem z elektrowni „Łaziska".

Rozmakalność badanych mieszanin popiołowo-mułowych po 28 dniach zestalania i 24 godzinach nawilżania wodą w zależności od rodzaju popiołu i udziału mułu węglowego zmieniała się w następującym zakresie:

- dla mieszanin z udziałem 5% mułu węglowego od 15,4% dla popiołu z elektrowni „Rybnik" do 62,6% dla popiołu z elektrowni „Siersza",
- dla mieszanin z udziałem 10% mułu węglowego od 26,1% dla popiołu z elektrowni „Rybnik" do 64% dla popiołu z elektrowni „Siersza",
- dla mieszanin z udziałem 30% mułu węglowego od 38,3% dla popiołu z elektrowni „Rybnik" do 76,5% dla popiołu z elektrowni „Łaziska",
- dla mieszanin z udziałem 50% mułu węglowego od 46,5% dla popiołu z elektrociepłowni „Katowice" do 100% dla popiołu z elektrowni „Łaziska",
- dla mieszanin popiołowo-wodnych od 10,8% dla popiołu z elektrowni „Rybnik" do 59,6% dla popiołu z elektrowni „Siersza".

Ze wzrostem udziału mułu węglowego obserwuje się wzrost rozmakalności badanych mieszanin. Przy 50% udziale mułu węglowego wzrost rozmakalności mieszanin popiołowo-mułowych w stosunku do mieszanin popiołowo-wodnych wynosił od 28,86% dla mieszaniny z popiołem z elektrowni „Siersza" do 391% dla mieszaniny z popiołem z elektrowni „Rybnik". Całkowitym brakiem odporności na rozmakanie przy 50% udziale mułu charakteryzuje się mieszanina utworzona z popiołu z elektrowni „Łaziska".

Biorąc pod uwagę wymagania technologii górniczych w zakresie analizowanych parametrów badanych mieszanin popiołowo-mułowych można stwierdzić, że przydatność w poszczególnych technologiach zależy od udziału mułu węglowego i rodzaju stosowanego popiołu lotnego. Przy 50% udziale mułu węglowego wymagań podsadzki zestalanej oraz wykonywania pasów i korków izolacyjnych nie spełnia żadna z badanych mieszanin. Mieszaniny wytwarzane z udziałem pozostałych popiołów z wyjątkiem popiołu z produktami półsuchego odsiarczania spalin z elektrowni „Łaziska" mogą być stosowane do doszczelniania zrobów zawałowych, wypełniania pustek w górotworze i zbędnych wyrobisk korytarzowych.

## 6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań mieszanin popiołowo-mułowych pod kątem możliwości ich wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych można sformułować następujące wnioski:

1. O własnościach badanych mieszanin decydują rodzaj stosowanego popiołu lotnego i udział mułów powęglowych.
2. Ilość wody nadosadowej w badanych mieszaninach o rozlewności 180 mm w zależności od udziału składników zmieniała się od 2,6 do 5,8%.
3. Czas zestalania mieszanin w zależności od udziału mułu powęglowego i rodzaju popiołu wynosił od 6 do 18 dni.
4. Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach zestalania mieszanin zawierała się w przedziale od 0,13 do 4,21 MPa.
5. Rozmakalność badanych mieszanin w zależności od rodzaju popiołu lotnego i udziału mułu powęglowego po 24 godzinach nawilżania wodą wynosiła od 10,8 do 100%.
6. Ze wzrostem udziału mułu powęglowego pogarszają się własności badanych mieszanin. Jednocześnie biorąc pod uwagę wymagania normy PN-98/G-11011 należy stwierdzić, że badane mieszaniny popiołowo-mułowe mogą być stosowane w technologiach górniczych z wyjątkiem mieszaniny wytwarzanej z popiołu z produktami półsuchego odsiarczania spalin z elektrowni „Łaziska" z 50% udziałem mułu powęglowego, charakteryzującej się całkowitym brakiem odporności na rozmakanie.

LITERATURA

1. Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś T.: Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 1997.
2. Pachowski J.: Popioły lotne i zastosowanie w budownictwie drogowym. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1967.
3. Palarski J.: Kryteria zagospodarowania odpadów przemysłowych w kopalniach. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr2/3, Katowice 1992.
4. Plewa F., Mysłek Z.: Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
5. Plewa F., Mysłek Z.: Gospodarcze wykorzystanie odpadów drobnoziarnistych w warunkach kopalń węgla kamiennego. Cuprum, nr 4/5, Wrocław 1997.
6. Praca zbiorowa: Popioły lotne. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1965.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Józef Czaja