

Franciszek PLEWA\*, Piotr PIERZYNA\*\*

## Wykorzystanie ubocznych produktów spalania do utylizacji wód kopalnianych

**STRESZCZENIE.** Popioły lotne są bardzo zróżnicowane pod względem składu chemicznego i mineralogicznego w zależności od rodzaju spalanego węgla, technologii spalania i odsiarczania spalin. Szeroka skala odzysku drobnoziarnistych odpadów energetycznych szczególnie tych, które posiadają własności pucolanowe stwarzają możliwość zagospodarowania również innych odpadów masowo występujących w kopalni jak np. słone wody oraz odpady flotacyjne i muły.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki badań własności fizykomechanicznych mieszanin drobnofrakcyjnych wytwarzanych z odpadów własnych kopalni „Y” (słone wody) i różnych popiołów lotnych pochodzących z elektrowni „X”.

**SŁOWA KLUCZOWE:** górnictwo, zagospodarowanie UPS oraz słonych wód dołowych, własności fizykomechaniczne mieszanin popiołowo-wodnych

### Wprowadzenie

Produkcja energii elektrycznej w Polsce oparta jest w 70% na spalaniu węgla kamiennego i brunatnego. W procesie spalania węgla i odsiarczania spalin stosuje się wiele technologii, w których powstają tzw. uboczne produkty spalania (UPS), różniące się istotnie własnościami fizycznymi i chemicznymi.

---

\* Prof. dr hab. inż., \*\* Dr inż. – Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice.

Wykorzystanie odpadów energetycznych w górnictwie stało się w ostatnich latach powszechne, a w niektórych technologiach górniczych takich jak doszczelnianie zrobów zawałowych oraz likwidacja pustek poeksploatacyjnych lub zbędnych wyrobisk, szczególnie korytarzowych, wręcz nieodzowne [1, 4, 6]. Najczęściej popioły lotne wykorzystywane są w górnictwie w postaci mieszanin popiołowo-wodnych.

Szeroka skala odzysku drobnoziarnistych odpadów energetycznych szczególnie tych, które posiadają własności pucolanowe stwarzają możliwość zagospodarowania również innych odpadów masowo występujących w kopalni jak np. słone wody oraz odpady flotacyjne i muły [2, 3, 5].

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki badań własności fizykomechanicznych mieszanin drobnofrakcyjnych wytwarzanych z odpadów własnych kopalni „Y” (słone wody) i różnych popiołów lotnych pochodzących z elektrowni „X”.

## 1. Metodyka i zakres badań

W celu określenia możliwości wykorzystania UPS do utylizacji słonych wód kopalnianych przeprowadzono badania następujących parametrów:

- ✧ rozlewność (wskaźnik S/W),
- ✧ gęstość,
- ✧ ilość wody nadosadowej oraz zaabsorbowanej (związanej chemicznie oraz zawartej w przestrzeni międzyziarnowej),
- ✧ czas tężenia (czas uzyskania nośność 0,5 MPa),
- ✧ czas wiązania,
- ✧ wytrzymałość na ściskanie,
- ✧ rozmakalność.

Powyższe badania przeprowadzono zgodnie z normą PN-G-11011:1998 [7]. Celem odwzorowania warunków klimatycznych panujących na dole kopalń, próbki badanych materiałów sezonowane były w komorze klimatyzacyjnej w temperaturze  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  przy wilgotności wynoszącej  $90\pm 2\%$ .

## 2. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Badaniami objęto następujące odpady przemysłowe:

- ✧ popiół lotny bez produktów odsiarczania spalin z elektrowni „X”,
- ✧ popiół lotny z kotłów fluidalnych (metoda sucha odsiarczania spalin) z elektrowni „X”,
- ✧ słona woda dołowa z kopalni „Y” o gęstości  $1023\text{ g/dm}^3$ .

Dla uzyskania odpowiedniej płynności mieszaniny decydującej o własnościach transportowych i penetracyjnych, do popiołów lotnych dodawano zasoloną wodę w ilości nie-

zbędnej do uzyskania określonej rozlewności mieszaniny. W badaniach posługiwano się czterema wielkościami rozlewności: 160, 200, 240 i 280 mm.

Mieszanki o rozlewności powyżej 180 mm wykazują dużą płynność i dobre własności migracyjne oraz penetrujące, mogą zatem być stosowane do doszczelniania zrobów zawalowych. Natomiast mieszanki o rozlewności poniżej 180 mm charakteryzują się bardziej zagęszczoną konsystencją i stosowane są do wykonywania korków podsadzkowych i izolacyjnych, wypełniania zbędnych wyrobisk korytarzowych oraz w podsadzce zestawianej [6].

Oznaczenie badanych mieszanin popiołowo-wodnych przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Oznaczenie badanych mieszanin popiołowo-wodnych

TABLE 1. Description of fly ash – water slurries used in described research

Rodzaj popiołu	Oznaczenie mieszaniny	Rozlewność [mm]
Fluidalny	JF-160	160
	JF-200	200
	JF-240	240
	JF-280	280
Bez produktów odsiarczania**	JB-160	160
	JB-200	200
	JB-240	240
	JB-280	280

### 3. Wyniki badań laboratoryjnych mieszanin popiołowo-wodnych

#### 3.1. Wyniki badań oznaczenia gęstości oraz rozlewności (wskaźnik S/W)

Wyniki badań oznaczenia gęstości oraz rozlewności (ilorazu części stałych do wody – S/W) badanych mieszanin popiołowo-wodnych przedstawiono w tabeli 2 oraz graficznie na rysunkach 1 i 2.

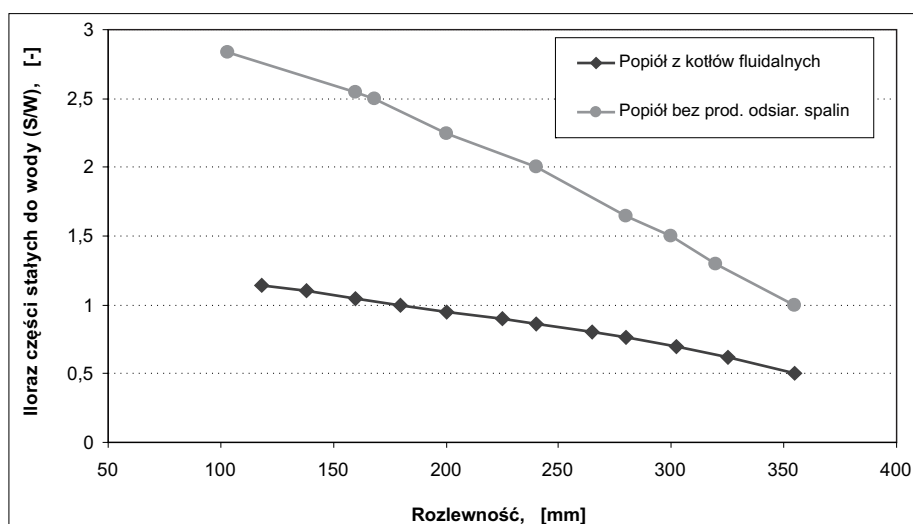
#### 3.2. Wyniki badań ilości wody nadosadowej oraz zaabsorbowanej

Wyniki badań ilości wody nadosadowej oraz zaabsorbowanej mieszanin popiołowo-wodnych przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

TABELA 2. Wyniki badań oznaczenia gęstości oraz rozlewności (iloraz części stałych do wody – S/W) badanych mieszanin popiołowo-wodnych

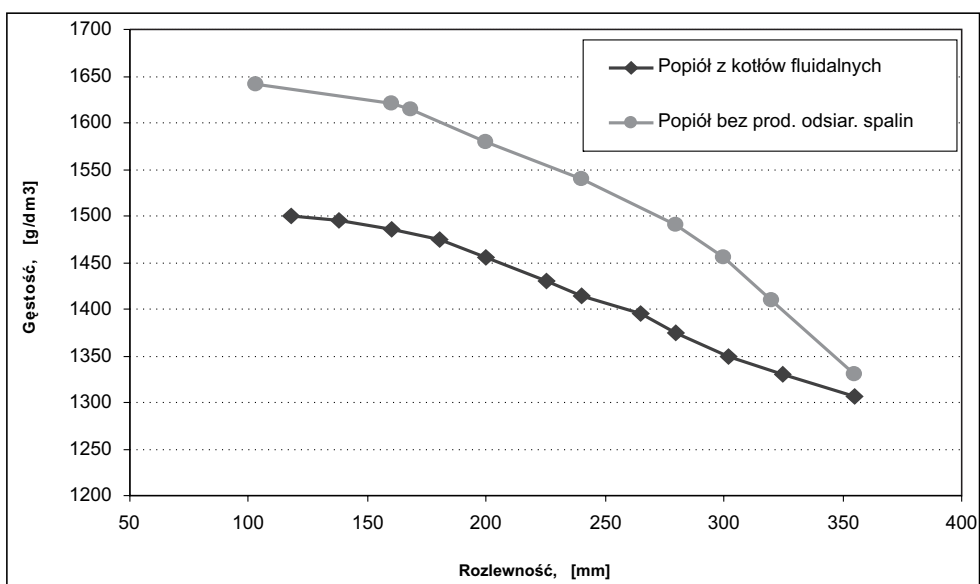
TABLE 2. Results of density and spread test measurements (solids to water ratio S/W of tested fly ash – water slurries

Popiół z kotłów fluidalnych			Popiół bez produktów odsiarczenia spalin		
Rozlewność [mm]	S/W [-]	Gęstość [g/dm <sup>3</sup> ]	Rozlewność [mm]	S/W [-]	Gęstość [g/dm <sup>3</sup> ]
355	0,5	1307	355	1,0	1330
325	0,62	1330	320	1,3	1410
302	0,7	1350	300	1,5	1455
<b>280</b>	<b>0,76</b>	<b>1375</b>	<b>280</b>	<b>1,65</b>	<b>1490</b>
265	0,8	1395	<b>240</b>	<b>2,0</b>	<b>1540</b>
<b>240</b>	<b>0,86</b>	<b>1415</b>	<b>200</b>	<b>2,25</b>	<b>1580</b>
225	0,9	1430	168	2,5	1615
<b>200</b>	<b>0,95</b>	<b>1455</b>	<b>160</b>	<b>2,55</b>	<b>1620</b>
180	1,0	1475	103	2,84	1641
<b>160</b>	<b>1,05</b>	<b>1485</b>	—	—	—
138	1,1	1495	—	—	—
118	1,145	1500	—	—	—



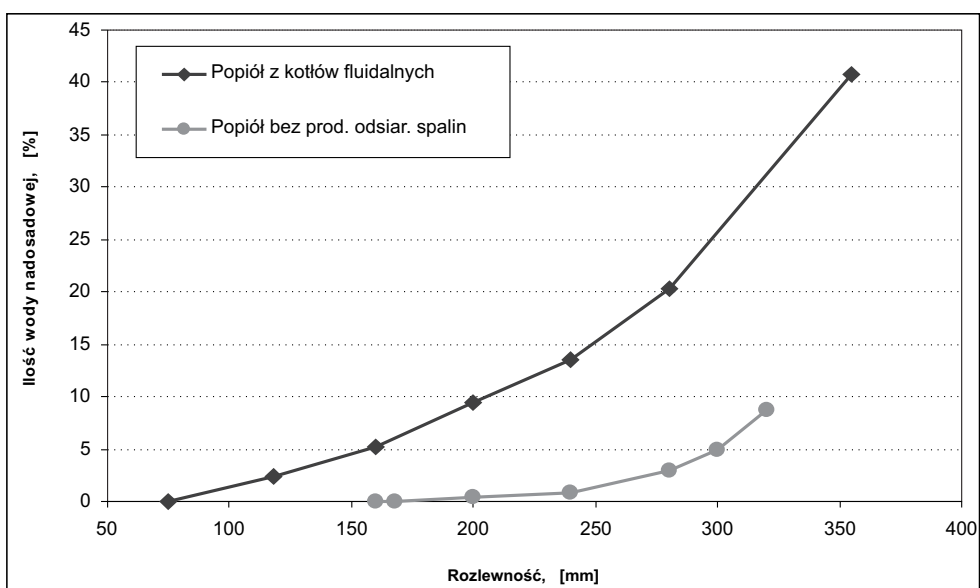
Rys. 1. Zależność ilorazu części stałych do wody (S/W) badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności

Fig. 1. Solids to water ratio (S/W) of tested fly ash – water slurries as a function of their spread diameter



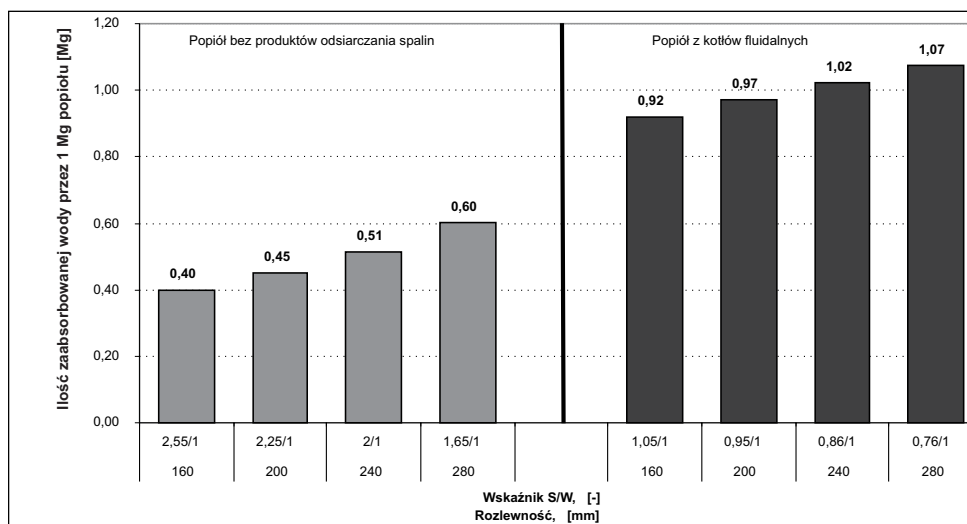
Rys. 2. Zależność gęstości badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności

Fig. 2. Density of tested fly ash – water slurries as a function of their spread diameter



Rys. 3. Zależność ilości wody nadosadowej badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności (gęstość wody słonej równa 1023 g/dm<sup>3</sup>)

Fig. 3. Bleeding of tested fly ash – water slurries in a function of spread diameter (density of salt water equals 1023 g/dm<sup>3</sup>)



Rys. 4. Zależność ilości wody zaabsorbowanej przez 1 Mg popiołu dla badanych mieszanin (gęstość wody słonej równa 1023 g/dm<sup>3</sup>)

Fig. 4. Amount of water absorbed by 1 Mg of fly ash for tested fly ash –water slurries (density of salt water equals 1023 g/dm<sup>3</sup>)

Ilość wody zaabsorbowanej, czyli związanej chemicznie przez popiół oraz zawartej w przestrzeniach międzyziarnowych, rośnie wraz ze wzrostem rozlewności. Jest to zjawisko bardzo ważne w przypadku utylizacji słownych wód kopalnianych.

### 3.3. Wyniki badań czasu tężenia

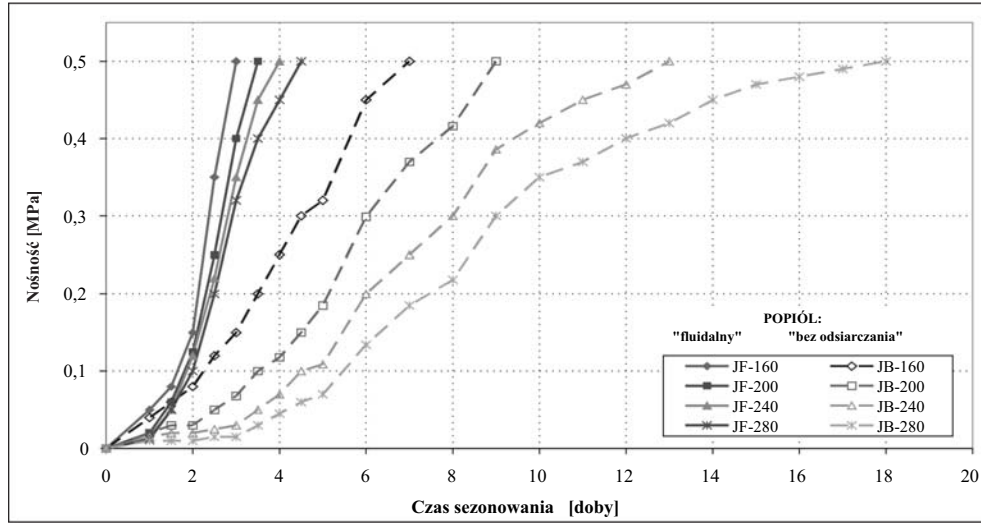
Wyniki badań czasu tężenia mieszanin popiołowo-wodnych o rozlewności 160, 200, 240 i 280 mm przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

### 3.4. Wyniki badań czasu wiązania

Wyniki badań czasu wiązania mieszanin popiołowo-wodnych o rozlewności 160, 200, 240 i 280 mm przedstawiono na rysunkach 7 i 8.

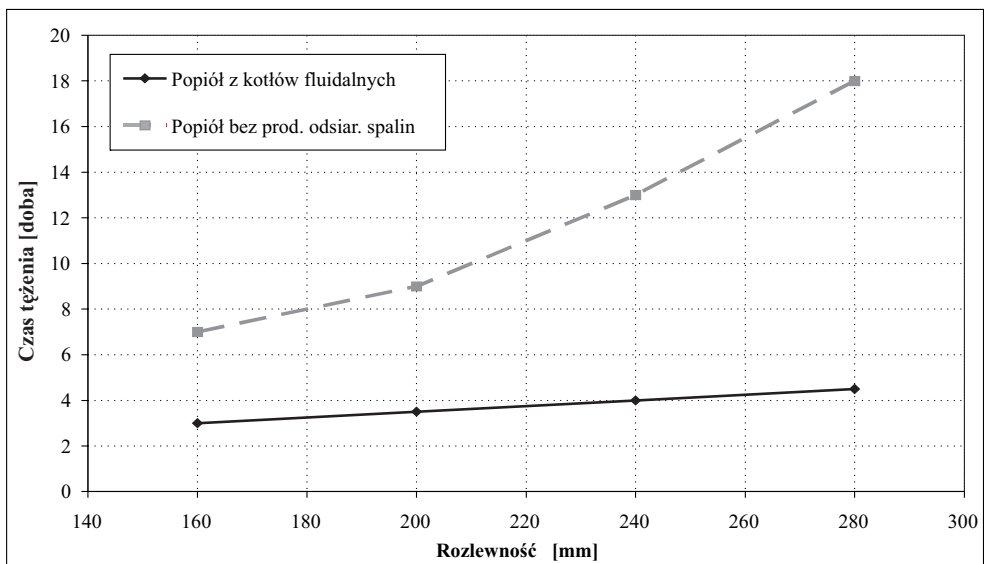
### 3.5. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie mieszanin popiołowo-wodnych o rozlewności 160, 200, 240 i 280 mm przedstawiono na rysunkach 9–10.



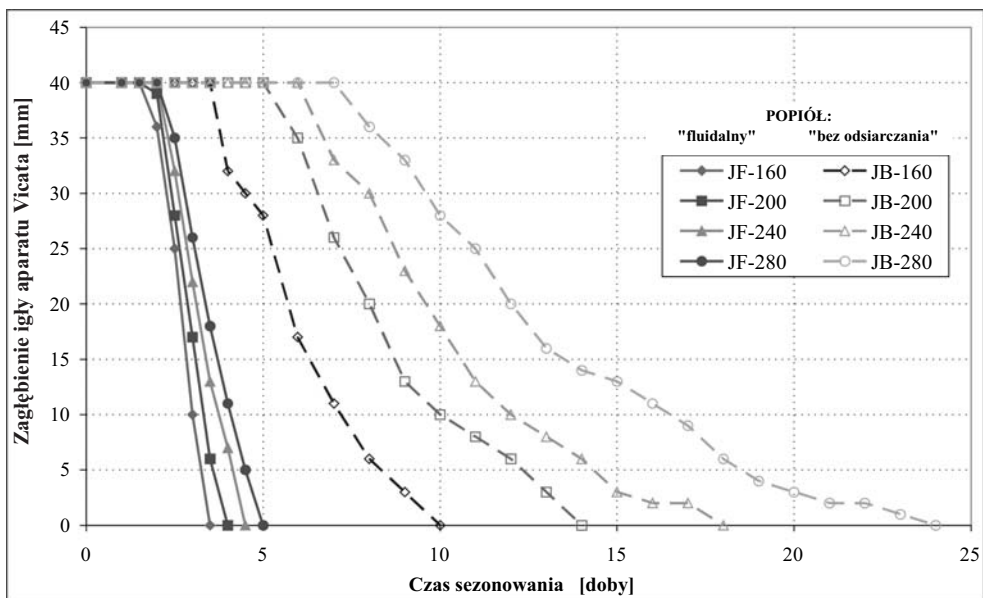
Rys. 5. Zależność nośności badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji czasu

Fig. 5. Load capacity of tested fly ash – water slurries in a function of time



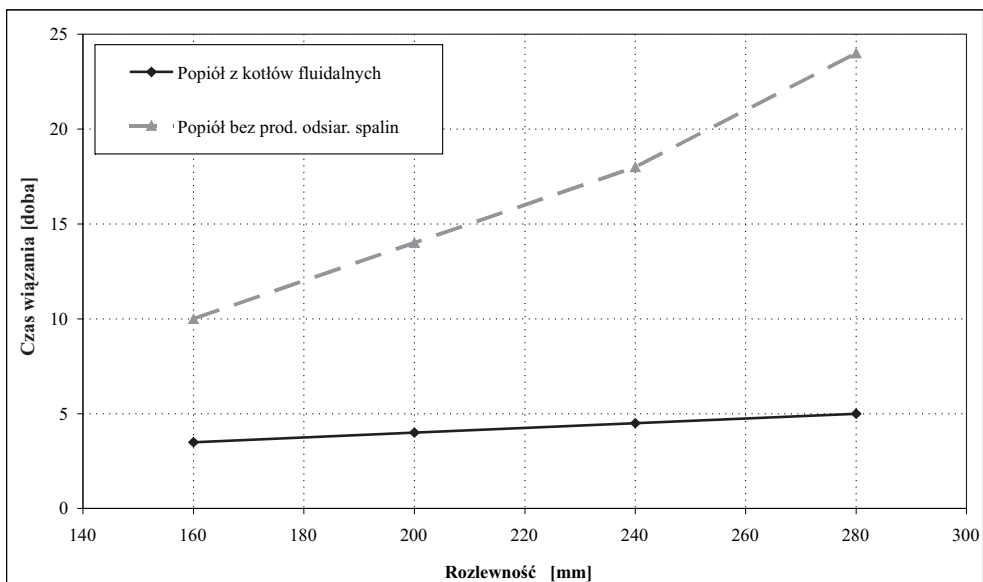
Rys. 6. Zależność czasu tężenia badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności

Fig. 6. Setting time of tested fly ash – water slurries in a function of their spread diameter



Rys. 7. Zmienność procesu wiązania badanych mieszanin popiołowo-wodnych w czasie

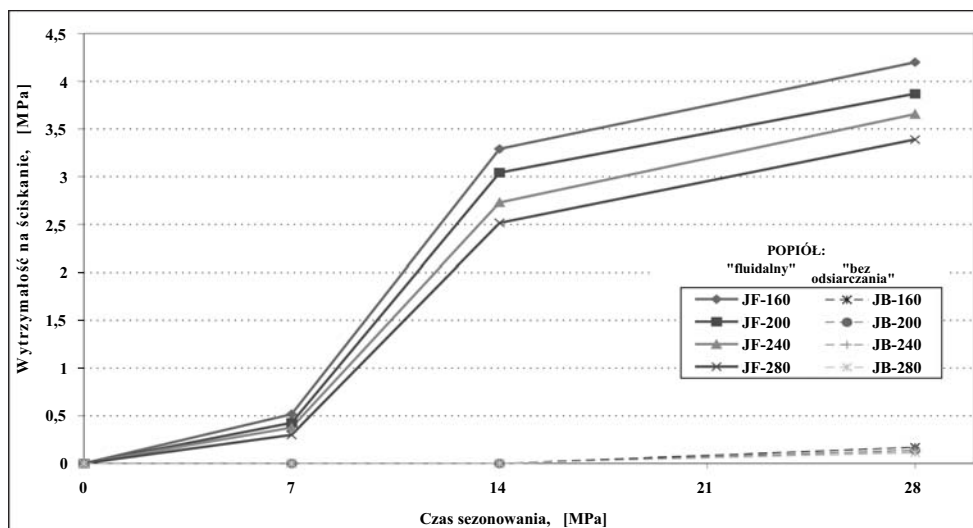
Fig. 7. Binding time of tested fly ash – water slurries in a function of time



Rys. 8. Zależność czasu wiązania badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności

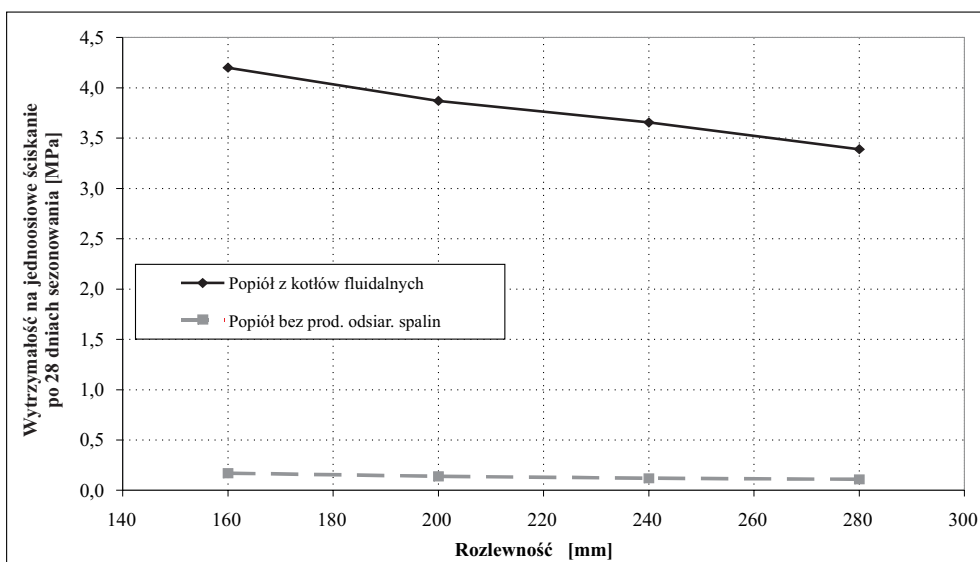
Fig. 8. Binding time of tested fly ash – water slurries in a function of their spread diameter





Rys. 9. Zależność wytrzymałości na ściskanie badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji czasu

Fig. 9. Compressive strength of tested fly ash – water slurries in a function of time

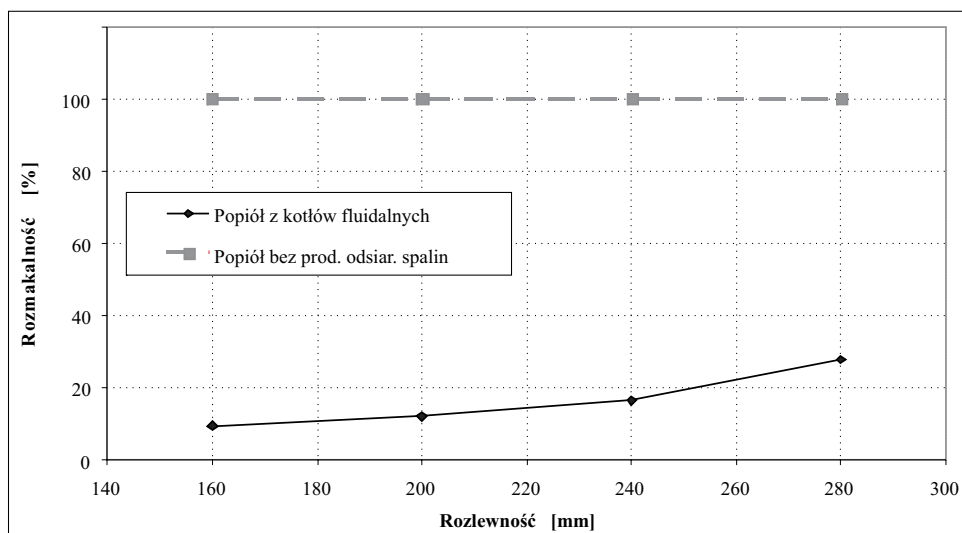


Rys. 10. Zależność wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach sezonowania badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności

Fig. 10. Compressive strength of tested fly ash – water slurries after 28 days of curing in a function of their spread diameter

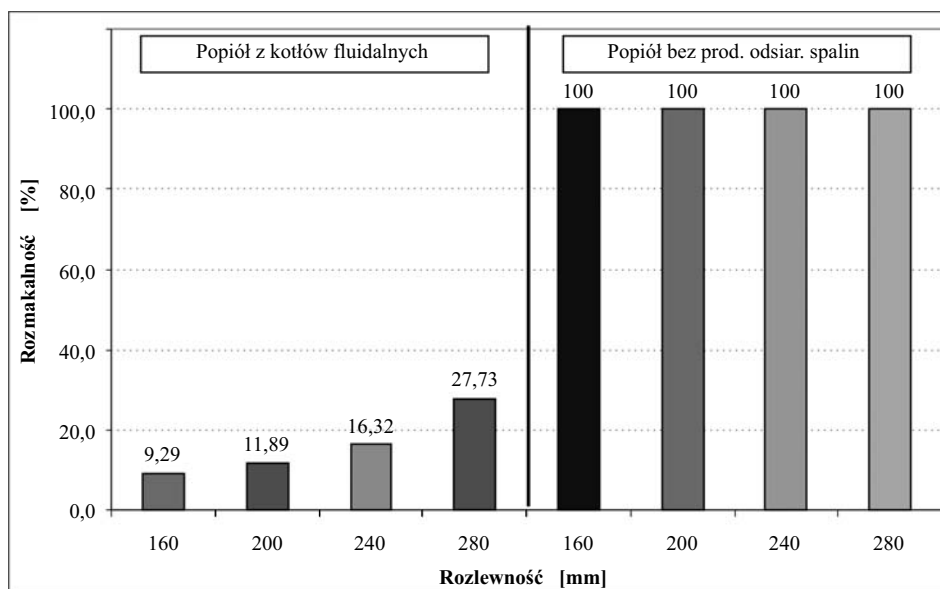
### 3.6. Wyniki badań rozmakalności

Wyniki badań rozmakalności mieszanin popiołowo-wodnych o rozlewności 160, 200, 240 i 280 mm przedstawiono na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Zależność rozmakalności badanych mieszanin popiołowo-wodnych w funkcji rozlewności

Fig. 11. Soak resistance of tested fly ash – water slurries in a function of their spread diameter



Rys. 12. Zależność rozmakalności badanych mieszanin popiołowo-wodnych od rozlewności

Fig. 12. Soak resistance of tested fly ash – water slurries

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań mieszanin wytwarzanych z popiołu fluidalnego lub popiołu bez odsiarczania pochodzących z Elektrowni „X” z udziałem słonej wody z KWK „Y” o gęstości  $1023 \text{ g/dm}^3$  można sformułować następujące wnioski.

1. Wyniki badań wykazały, że wraz ze wzrostem udziału słonej wody w składzie mieszaniny jej rozlewność rośnie, a gęstość spada. Ponadto sporządzając mieszaninę o takim samym wskaźniku S/W np. 1/1 należy mieć na uwadze, że mieszanina z udziałem popiołu fluidalnego charakteryzuje się dużo mniejszą rozlewnością (180 mm) niż w przypadku mieszaniny sporządzonej z popiołu bez produktów odsiarczania (355 mm).
2. Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem udziału słonej wody w składzie mieszaniny, ilość wody nadosadowej rośnie. Największą ilość wody nadosadowej w zależności od rodzaju zastosowanego popiołu zanotowano odpowiednio dla mieszanin:
  - ✦ z popiołem fluidalnym – w ilości 40,7% (S/W = 0,5/1; rozl. = 355 mm),
  - ✦ z popiołem bez produktów odsiarczania – w ilości 8,8% (S/W = 1,3/1; rozl. = 320 mm).Brak wody nadosadowej w zależności od rodzaju zastosowanego popiołu zanotowano odpowiednio dla mieszanin o następujących rozlewnościach:
  - ✦ z popiołem fluidalnym dla rozlewności 75 mm,
  - ✦ z popiołu bez produktów odsiarczania dla rozlewności 168 mm.
3. Badanie ilości wody możliwej do zaabsorbowania przez popioły lotne wyraźnie pokazuje, że popiół lotny pochodzący z kotła fluidalnego potrafi zaabsorbować prawie dwukrotnie więcej słonej wody niż popiół bez produktów odsiarczania. Należy zauważyć również, że wraz ze wzrostem udziału wody w mieszaninie (wzrost rozlewności) ilość zaabsorbowanej wody przez popioły lotne rośnie. Ilość słonej wody w przeliczeniu na 1 Mg suchej masy zaabsorbowanej przez popiół fluidalny w przedziale rozlewności 160–280 mm wyniosła od 0,92 do 1,07 Mg, a dla popiołów bez produktów odsiarczania wynosiła od 0,40 do 0,60 Mg.
4. Przeprowadzone badania jednoznacznie wykazują, że niezależnie od rodzaju popiołu lotnego wraz ze wzrostem udziału słonej wody w hydromieszaninie (i co za tym idzie wzrostem rozlewności) czas tężenia rośnie. Ponadto mieszaniny sporządzone w zakresie rozlewności od 160 do 280 mm sporządzone na bazie popiołu fluidalnego posiadają krótsze czasy tężenia (od 3 do 4,5 dni) niż mieszaniny wykonane na bazie popiołu bez produktów odsiarczania (od 7 do 18 dni).
5. Niezależnie od rodzaju popiołu lotnego wraz ze wzrostem udziału słonej wody w hydromieszaninie czas zakończenia procesu wiązania rośnie (podobnie jak czas tężenia). W mieszaninach sporządzonych w zakresie rozlewności od 160 do 280 mm z popiołu fluidalnego koniec wiązania następował po czasie od 3,5 do 5 dni, natomiast w mieszaninach z popiołu bez produktów odsiarczania po czasie od 10 do 24 dni.
6. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie wszystkich przebadanych hydromieszanin maleje wraz ze wzrostem ich rozlewności. Mieszaniny sporządzone na bazie popiołu fluidalnego w porównaniu do mieszanin z udziałem popiołu bez produktów odsiarczania

posiadają dużo wyższe wytrzymałości zarówno po 7, 14 jak i 28 dniach. Mieszaniny sporządzone na bazie popiołu bez produktów odsiarczania charakteryzują się brakiem wytrzymałości po 7 i 14 dniach, natomiast po 28 dniach osiągnęły wytrzymałość w zakresie od 0,11 do 0,17 MPa. Mieszaniny sporządzone na bazie popiołu fluidalnego charakteryzowały się wytrzymałością na ściskanie po 28 dniach od 3,39 do 4,20 MPa.

7. Analiza wyników badania rozmakalności wykazała całkowity brak odporności na działanie wody wszystkich mieszanin sporządzonych na bazie popiołu bez produktów odsiarczania (rozmakalność równa 100%). W badanym zakresie rozlewności 160–280 mm mieszaniny sporządzone na bazie popiołu fluidalnego charakteryzowały się rozmakalnością w zakresie od 9,29 do 27,7%, która rośnie wraz ze wzrostem rozlewności.
8. Mieszaniny charakteryzujące się rozmakalnością 100% mogą być wykorzystywane wyłącznie w doszczelnianiach podziemnych z uwagi na możliwość ich wtórnego upłynięcia, co grozić może jej wypływem z podsadzonych przestrzeni do czynnych wyrobisk korytarzowych i powodować zagrożenie dla pracujących tam załóg oraz maszyn i urządzeń.

Badania przeprowadzono w ramach projektu rozwojowego nr R 0900801 pt. „Opracowanie zasad i środków tworzenia sztucznych barier dla podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych w kopalniach likwidowanych”.

## Literatura

- [1] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 – Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wyd. Politechniki Śl., Gliwice.
- [2] PLEWA F., PIERZYNA P., 2004 – Wykorzystanie odpadów górniczych do wytwarzania barier izolacyjnych. IX Konferencja Naukowo-Techniczna pt. „Działania proekologiczne samorządów terytorialnych oraz zakładów przemysłowych subregionu zachodniego województwa śląskiego po wstąpieniu do Unii Europejskiej”, Wyd. SiTG, 20.10.2004, Jastrzębie Zdrój, s. 305–309.
- [3] PLEWA F., PIERZYNA P., 2004 – Wpływ wybranych dodatków naturalnych na własności mechaniczne i filtracyjne popiołów lotnych z Elektrowni „Rybnik”. XI Międzynarodowe Sympozjum pt. „Geotechnika 2004”. Zeszyt specjalny WGiG Politechniki Śląskiej, 19–22.10., Gliwice-Ustroń.
- [4] PLEWA F., PIERZYNA P., 2005 – Zależność zmian własności fizycznych wybranych zestalonych mieszanin popiołowo-wodnych. X Międzynarodowa Konferencja Przeróbki Kopalni, Beskidy, 05–07.09. ZN Pol. Śl. S. Górnictwo nr 266, Gliwice.
- [5] PALARSKI J., PLEWA F., PIERZYNA P., 2005 – Wpływ dodatków modyfikujących na podstawowe własności popiołów lotnych z elektrowni „X”. Kwartalnik „Górnictwo i Geoinżynieria”, Wyd. AGH, nr 4, Kraków.
- [6] PALARSKI J., PLEWA F., PIERZYNA P., ZAJĄC A., 2005 – Właściwości zawiesin z materiałów odpadowych z dodatkiem środka wiążącego w aspekcie możliwości ich wykorzystania do likwidacji zawodzionych szybów. Kwartalnik „Górnictwo i Geoinżynieria” nr 4, Wyd. AGH, Kraków.
- [7] Polska Norma PN-G-11011. Materiały do podsadzki zestalonej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania.

## Application of coal combustion by-products energy industry in utilization of mine waters

### Abstract

On the basis of measurements of slurries made with ash from fluidized bed and from fly ash without flue gas desulphurization from the power plant "X" and salt mine water from coal mine "Y", which density is equal to  $1023 \text{ g/dm}^3$ , following conclusions can be formulated:

1. Independently to the type of fly ash, increasing amount of mine water in the slurry results in increasing table spread test results and decreasing density. For the same values of S/W ratio slurries with fluidized bed ash achieve significantly lower spread diameter than the slurries with fly ash, which does not contain flue gas desulphurization by-products (see Figs. 1 and 2).

2. Independently to the type of fly ash, increasing amount of mine water in the slurry increases volume of bleeding water. For the same values of S/W ratio slurries with fluidized bed ash achieve significantly larger spread diameter than the slurries with fly ash, which does not contain flue gas desulphurization by-products (see Fig. 3).

3. Independently to the type of fly ash, increasing amount of water in the slurry (larger spread diameter) increases volume of water being absorbed by the fly ash. For the same values of S/W ratio slurries with fluidized bed ash achieve almost two times higher absorption capacity than the slurries with fly ash, which does not contain flue gas desulphurization by-products (see Fig. 4).

4. Independently to the type of fly ash, with increasing amount of salt water in the slurry setting and binding times are also increasing. For the same values of S/W ratio slurries with fluidized bed ash achieve significantly shorter setting and binding times than the slurries with fly ash, which does not contain flue gas desulphurization by-products (see Figs. 5, 6, 7 and 8).

5. Independently to the type of fly ash, compressive strength of all tested fly ash – water slurries decreases with increasing spread diameter. Slurries with fluidized bed ash achieve significantly higher compressive strength than the slurries with fly ash, which does not contain flue gas desulphurization by-products. Slurries made with the last type of fly ash do not express any strength after 7 and 14 days of curing. After 28 days of curing their compressive strength ranges from 0.11 to 0.17 MPa, while slurries with fluidized bed ash achieve after 28 days of curing compressive strength in the range from 3.39 to 4.20 MPa (see Figs. 9 and 10).

6. Soak resistance tests have show that all slurries made with fly ash without flue gas desulphurization by-products did not express any resistance to soaking. Although slurries made with fluidized bed ash are characterized by soak resistance in the range between 9.29 and 27.7%, which increases with increasing spread diameter (see Figs. 11 and 12).

KEY WORDS: mining, utilisation of fly ash and salt mining waters, physical-mechanical properties of fly ash – water slurries

