

Franciszek PLEWA*, Marcin POPCZYK**, Piotr PIONTEK***

Zastosowanie ubocznych produktów spalania z kotłów fluidalnych energetyki zawodowej w podsadzce hydraulicznej

STRESZCZENIE. Podczas spalania węgla w kotłach fluidalnych powstają odpady stałe w postaci żużla i popiołu zanieczyszczone produktami poreakcyjnymi. Gospodarcza przydatność tych produktów, aktywnych chemicznie jest ciągle badana i wciąż poszukiwane są nowe kierunki ich zagospodarowania. W okresie ostatnich kilku lat opracowano szereg technologii aktywacji popiołów fluidalnych, jednak charakteryzują się one stosunkowo wysokimi kosztami procesu lub znacznymi nakładami inwestycyjnymi. Obecnie uboczne produkty spalania w kotłach fluidalnych (w skrócie UPSF) znajdują zastosowanie między innymi w górnictwie węgla kamiennego do doszczelniania zrobów zawałowych w ramach profilaktyki przeciwpożarowej lub wypełniania zbędnych pustek i wyrobisk [2]. Prowadzone są również próby nad wykorzystaniem żużla stanowiącego główny składnik UPSF jako materiału do podsadzki hydraulicznej w górnictwie podziemnym. W artykule przedstawiono wyniki badań możliwości wykorzystania żużli pochodzących z kotłów fluidalnych jako składnika podsadzki hydraulicznej stosowanej do wypełnienia wolnych przestrzeni poeksploatacyjnych za postępowaniem ścianowym w polskich kopalniach węgla kamiennego zgodnie z PN-G/11010. Do badań wybrano żużle pochodzące z dwóch dużych przemysłowych zakładów energetycznych oznaczonych w artykule jako „X” i „Y” spalających węgiel kamienny.

SŁOWA KLUCZOWE: podsadzka hydrauliczna, zagospodarowanie odpadów, ochrona powierzchni

* Prof. dr hab.inż., ** Dr inż. — Politechnika Śląska, Wydział górnictwa i Geologii, Gliwice;
e-mail: marcin.popczyk@polsl.pl

*** Mgr inż. — „Spoiwex” sp. z o.o. Żory

Wprowadzenie

Odpady w postaci żużla i popiołu powstające podczas fluidalnego spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach zanieczyszczone są produktami poreakcyjnymi. Ilość trudnych do zagospodarowania odpadów jest porównywalna z ilościami otrzymanymi przy suchym odsiarczaniu spalin. Poza pewną ilością wytworzonego żużla i popiołu w skład mieszaniny odpadów wchodzi składniki takie same jak w przypadku suchych instalacji odsiarczania.

Gospodarcza przydatność tych produktów, aktywnych chemicznie, których ilość będzie stale rosła, jest ciągle badana, a stopień ich wykorzystania niski.

Uboczne produkty spalania w kotłach fluidalnych (w skrócie UPSF) znajdują zastosowanie w górnictwie węgla kamiennego do doszczelniania zrobów zawałowych w ramach profilaktyki przeciwpożarowej oraz do zabezpieczania powierzchniowych składowisk odpadów górniczych [2]. Prowadzone są również próby nad wykorzystaniem żużla stanowiącego główny składnik UPSF jako materiału do podsadzki hydraulicznej w górnictwie podziemnym. Mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego według Katalogu Odpadów posiada kod 10 01 82 [4].

Ze strony użytkowników odpadów z kotłów fluidalnych dotarły sygnały o problemach występujących przy zastosowaniu UPSF w technologiach górniczych. Dlatego należy przeanalizować całokształt technologii, w których odpady te są wykorzystywane, celem określenia przyczyn nieprawidłowości i wprowadzenia nowych zasad postępowania uwzględniających specyficzne właściwości odpadów z kotłów fluidalnych [1].

Mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego wykorzystywana jest do:

- ✧ produkcji cementu,
- ✧ produkcji betonów lekkich,
- ✧ wypełniania wyrobisk górniczych.

Możliwość gospodarczego i przemysłowego wykorzystania mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego wymaga dobrej znajomości właściwości fizykochemicznych. Ciągłe prowadzone są badania i próby ukierunkowane na rozszerzenie zakresu przemysłowego wykorzystania odpadów energetycznych, w tym zwłaszcza odpadów z instalacji odsiarczania i kotłów fluidalnych. Proponowane rozwiązania dotyczą zarówno technologii przetwarzania odpadów traktowanych jako surowce, w wysokowartościowe produkty mające zastosowanie w różnych sektorach gospodarki i technologii prowadzenia robót budowlanych i inżynierskich z ich udziałem [1].

W okresie ostatnich kilku lat opracowano szereg technologii aktywacji popiołów fluidalnych, jednak charakteryzują się one stosunkowo wysokimi kosztami procesu lub znacznymi kosztami inwestycyjnymi.

1. Badania laboratoryjne mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego pod kątem wykorzystania do podsadzki hydraulicznej

Zastosowanie nowego materiału w podsadzce hydraulicznej, a takim jest mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego, wymaga rozważenia wielu kwestii oraz przeprowadzenia badań tak w skali laboratoryjnej, jak i technicznej. Badania te obejmują generalnie problematykę transportu ziaren materiału, składowania w muszli podsadzkowej, wytwarzania mieszaniny podsadzkowej i jej zachowania się podczas procesu sedymentacji w zrobach oraz jakości masywu podsadzkowego jaki zostanie utworzony. Dodatkowo, z uwagi na spełnienie wymogów środowiskowych, materiał odpadowy stosowany do wypełniania pustek podziemnych musi posiadać „Ocenę higieniczno-toksykologiczną” sporządzoną dla właściwego Urzędu Górniczego i kopalni, w której będzie stosowany.

Badania laboratoryjne wykonane zgodnie ze stosownymi normami i wytycznymi obejmowały [3]:

- ✧ określenie gęstości właściwej oraz nasypowej,
- ✧ określenie wilgotności naturalnej,
- ✧ określenie składu ziarnowego,
- ✧ określenie rozmywalności,
- ✧ określenie wytrzymałości na ściskanie,
- ✧ określenie wodoprzepuszczalności,
- ✧ określenie ściśliwości.

Do badań zastosowano następujące materiały odpadowe:

- ✧ mieszaninę odpadów ze złoża fluidalnego z El. „X”, który oznaczono – **FJ**,
- ✧ mieszaninę odpadów ze złoża fluidalnego z El. „Y”, który oznaczono – **FS**.

W przypadku badań ściśliwości zastosowano powyższe materiały jako dodatek do piasków pochodzących z:

- ✧ piaskowni Szczakowa,
- ✧ piaskowni Maczki Bór.

2. Wyniki badań laboratoryjnych

Wyniki badań składu ziarnowego mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego Elektrowni „X” oraz „Y” przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki poszczególnych badań właściwości fizykomechanicznych mieszanin odpadów ze złóż fluidalnych Elektrowni „X” oraz „Y” przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 1. Skład ziarnowy mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego

TABLE 1. Grain-size distribution of the waste from fluid bed

Klasa ziarnowa [mm]	Zawartość danej klasy w [%]			
	FJ	FJ (skum.)	FS	FS (skumulowana)
< 0,08	1,51	1,51	3,85	3,85
0,08–0,1	1,46	2,97	5,02	8,87
0,1–0,15	9,45	12,42	22,1	30,97
0,15–0,2	9,48	21,9	16,54	47,51
0,2–0,3	15,2	37,1	18,05	65,56
0,3–0,4	7,86	44,96	6,59	72,15
0,4–0,8	20,48	65,44	10,84	82,99
0,8–1,0	5,16	70,6	2,32	85,31
1,0–2,0	16,01	86,61	8,08	93,39
2,0–4,0	8,15	94,76	5,81	99,2
4,0–10,0	5,24	100	0,8	100
10,0–30,0	0,0		0,0	

TABELA 2. Wyniki badań właściwości fizycznych mieszanin odpadów ze złożów fluidalnych z Elektrowni „X” (FJ) i Elektrowni „Y” (FS)

TABLE 2. Physical properties of fluid bed waste from power plants “X” (FJ) and “Y” (FS)

Oznaczenie	Jednostka	Mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego z Elektrowni „X” FJ	Mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego z Elektrowni „Y” FS
Gęstość właściwa	Mg/m ³	2,365	2,415
Gęstość nasypowa	Mg/m ³	1,428	1,412
Wilgotność	%	0,1	0,1
Rozmywalność po 15 minutach	%	8,4	3,2
Rozmywalność po 30 minutach	%	9,3	3,9
Wodoprzepuszczalność	cm/s	$4,54 \times 10^{-4}$	$4,14 \times 10^{-4}$
Wytrzymałość na ściskanie	Mpa	1,20	2,75

TABELA 3. Zestawienie wartości średnich ścisłości materiałów podsadzkowych utworzonych z piasku (Szczakowa) i mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego FS

TABLE 3. Average compressibility of backfill materials made with sand (Szczakowa) and mixture of fluid bed waste FS

Lp.	Skład materiału podsadzkowego [%]		Ścisłość materiału podsadzkowego przy ciśnieniu [MPa]				
	piasek Szczakowa	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego FS	5	10	15	20	25
1	100	–	2,32	3,32	4,08	4,71	5,08
2	90	10	2,47	3,64	4,65	5,62	6,28
3	80	20	2,92	4,65	5,76	6,62	7,26
4	70	30	3,52	5,38	6,69	7,54	8,28
5	60	40	4,91	6,62	8,41	9,46	10,33
6	40	60	6,28	8,71	11,15	12,62	14,09
7	–	100	10,3	14,92	17,71	20,15	22,10

TABELA 4. Zestawienie wartości średnich ścisłości materiałów podsadzkowych utworzonych z piasku (Szczakowa) i mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego FJ

TABLE 4. Average compressibility of backfill materials made with sand (Szczakowa) and mixture of fluid bed waste FJ

Lp.	Skład materiału podsadzkowego [%]		Ścisłość materiału podsadzkowego przy ciśnieniu [MPa]				
	piasek Szczakowa	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego FJ	5	10	15	20	25
1.	100	–	2,32	3,32	4,08	4,71	5,18
2.	90	10	2,56	4,32	5,62	6,44	7,36
3.	80	20	3,52	5,35	6,74	8,28	8,75
4.	70	30	4,78	6,11	8,08	9,06	10,05
5.	60	40	5,25	8,33	10,42	12,04	13,62
6.	40	60	8,65	12,42	15,37	16,58	18,23
7.	–	100	13,72	18,54	22,66	24,28	26,39

TABELA 5. Zestawienie wartości średnich ścisłości materiałów podsadzkowych utworzonych z piasku (Maczki Bór) i mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego FS

TABLE 5. Average compressibility of backfill materials made with sand (Maczki Bór) and mixture of fluid bed waste FS

Lp.	Skład materiału podsadzkowego [%]		Ścisłość materiału podsadzkowego przy ciśnieniu [MPa]				
	piasek Maczki Bór	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego FS	5	10	15	20	25
1.	100	–	2,18	3,25	4,55	5,61	6,46
2.	90	10	2,24	4,18	5,28	6,23	7,36
3.	80	20	3,33	5,05	6,25	7,38	8,21
4.	70	30	4,59	6,61	7,63	8,72	9,24
5.	60	40	4,77	7,75	9,29	10,35	10,66
6.	40	60	6,25	9,561	12,26	13,65	14,54
7.	–	100	10,36	14,92	17,71	20,15	22,10

TABELA 6. Zestawienie wartości średnich ścisłości materiałów podsadzkowych utworzonych z piasku (Maczki Bór) i mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego FJ

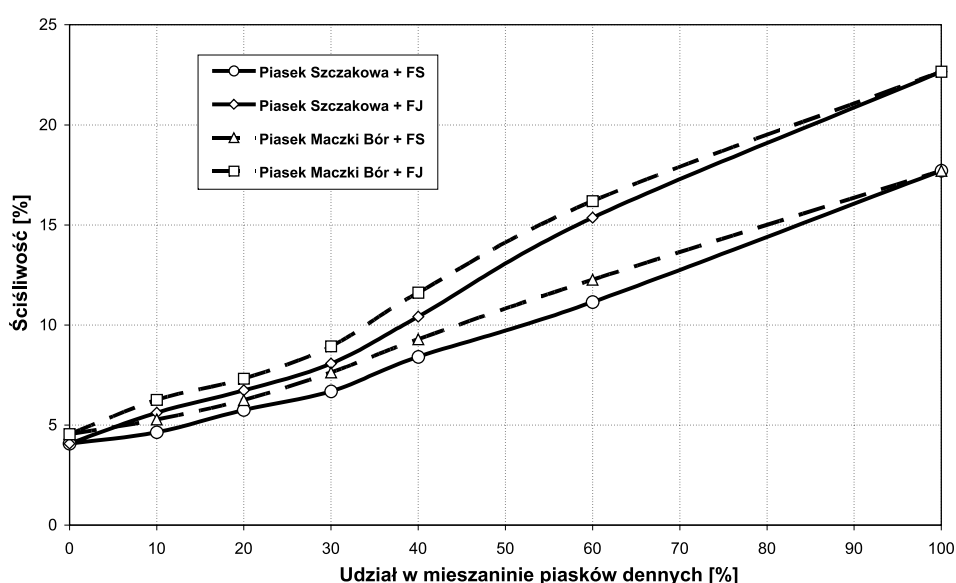
TABLE 6. Average compressibility of backfill materials made with sand (Maczki Bór) and mixture of fluid bed waste FJ

Lp.	Skład materiału podsadzkowego [%]		Ścisłość materiału podsadzkowego przy ciśnieniu [MPa]				
	piasek Maczki Bór	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego FJ	5	10	15	20	25
1.	100	–	2,18	3,25	4,55	5,61	6,46
2.	90	10	2,77	4,82	6,26	7,25	7,55
3.	80	20	3,43	5,24	7,32	8,39	9,26
4.	70	30	4,65	6,46	8,94	9,65	10,46
5.	60	40	6,28	9,22	11,62	12,68	13,41
6.	40	60	9,41	13,65	16,19	17,41	18,29
7.	–	100	13,72	18,54	22,66	24,28	26,39

Badaniami ścisłości objęto następujące mieszaniny piasków z piaskowni Szczakowa i Maczki Bór oraz mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego Elektrowni „X” i „Y”:

- ✧ 90% piasku i 10% mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego,
- ✧ 80% piasku i 20% mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego,
- ✧ 70% piasku i 30% mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego,
- ✧ 60% piasku i 40% mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego,
- ✧ 40% piasku i 60% mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego.

Wyniki pomiarów ścisłości materiałów podsadzkowych i ich mieszanin przedstawiono w tabelach 3–6, natomiast na rysunku 1 zaprezentowano wyniki badań ścisłości przy ciśnieniu 15 MPa.



Rys. 1. Ścisłość badanych materiałów podsadzkowych przy ciśnieniu 15 MPa w zależności od udziału w mieszaninie piasków dennych z kotłów fluidalnych

Fig. 1. Compressibility of backfill materials under pressure of 15 MPa in relation to percentage of bottom sands from fluid bed boilers

Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzone badania wykazały, że mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego pochodzące z Elektrowni „X” i „Y” charakteryzują się podobną gęstością właściwą (2,365–2,415 Mg/m³) oraz nasypową (1,428–1,412 Mg/m³) i taką samą wilgotnością wynoszącą 0,1%. Rozmywalność badanych mieszanin odpadów ze złoża fluidalnych nie przekracza wielkości

dopuszczalnych dla materiałów podsadzkowych i wynosi 8,4–9,3% dla odpadów z El. „X” oraz 3,2–3,9% dla odpadów z El. „Y”. Badane mieszaniny odpadów ze złóż fluidalnych charakteryzują się różną wytrzymałością na ściskanie wynoszącą 1,20 MPa dla odpadów z El. „X” oraz 2,75 MPa dla odpadów z El. „Y”. Wodoprzepuszczalność badanych materiałów jest podobna i wynosi $4,54 \times 10^{-4}$ cm/s dla odpadu z El. „X” oraz $4,14 \times 10^{-4}$ cm/s dla odpadu z El. „Y”.

Ściśliwość dla obciążenia normowego wynoszącego 15 MPa mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego El. „X” wynosi 22,66%, natomiast dla odpadów z El. „Y” – 17,71%.

Analizując wyniki badań ściśliwości oraz biorąc pod uwagę klasyfikację materiałów podsadzkowych według normy PN-93/G-11010, zgodnie z którą dopuszczalna ściśliwość materiałów podsadzkowych przy ciśnieniu 15 MPa wynosi:

- ✧ I klasa – 5%,
- ✧ II klasa – 10%,
- ✧ III klasa – 15%,

można stwierdzić, że ściśliwość badanych materiałów w zależności od udziału poszczególnych składników zawiera się w przedziale od 4,08 do 22,66%. Materiały spełniające wymagania dla poszczególnych klas materiałów podsadzkowych zgodnie z PN-93/G-11010 przedstawiono w tabelach 7–9.

Pozostałe badane mieszaniny należy zaliczyć do materiałów podsadzkowych poza-klasowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych właściwości fizyko-mechanicznych mieszanin wybranych odpadów ze złóż fluidalnych oznaczonych w artykule FS i FJ (10 01 82) można sformułować następujące wnioski:

1. Ze względu na stosunkowo silne właściwości wiążące mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego i możliwości ich zestalania w zbiornikach podsadzkowych, dostawa odpadów do kopalni powinna się odbywać na bieżąco przed procesem podsadzania lub w trakcie procesu podsadzania, tak aby czas przechowywania odpadów w zbiorniku był jak najkrótszy. Ma to bardzo duże znaczenie w przypadku opadów atmosferycznych.

TABELA 7. Materiały spełniające wymagania dla **I klasy** materiałów podsadzkowych zgodnie z PN-93/G-11010

TABLE 7. Materials complaint requirements for backfill materials of **I grade** up on PN-93/G-11010 standard

Skład materiału podsadzkowego [%]		Ściśliwość materiału podsadzkowego przy ciśnieniu 15 [MPa]
piasek [%]	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego	
100 – piasek (Maczki-Bór)	–	4,55
100 – piasek (Szczakowa)	–	4,08
90 – piasku (Szczakowa)	10 – FS	4,65

TABELA 8. Materiały spełniające wymagania dla **II klasy** materiałów podsadzkowych zgodnie z PN-93/G-11010

TABLE 8. Materials complaint requirements for backfill materials of **II grade** up on PN-93/G-11010 standard

Skład materiału podsadzkowego [%]		Ściślność materiału podsadzkowego przy ciśnieniu 15 [MPa]
piasek	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego	
90 – piasku (Maczki-Bór)	10 – FS	5,28
90 – piasku (Maczki-Bór)	10 – FJ	6,26
90 – piasku (Szczakowa)	10 – FJ	5,62
80 – piasku (Maczki-Bór)	20 – FS	6,25
80 – piasku (Maczki-Bór)	20 – FJ	7,32
80 – piasku (Szczakowa)	20 – FS	5,76
80 – piasku (Szczakowa)	20 – FJ	6,74
70 – piasku (Maczki-Bór)	30 – FS	7,63
70 – piasku (Maczki-Bór)	30 – FJ	8,94
70 – piasku (Szczakowa)	30 – FS	6,69
70 – piasku (Szczakowa)	30 – FJ	8,08
60 – piasku (Maczki-Bór)	40 – FS	9,29
60 – piasku (Szczakowa)	40 – FS	8,41

TABELA 9. Materiały spełniające wymagania dla **III klasy** materiałów podsadzkowych zgodnie z PN-93/G-11010

TABLE 9. Materials complaint requirements for backfill materials of **III grade** up on PN-93/G-11010 standard

Skład materiału podsadzkowego [%]		Ściślność materiału podsadzkowego przy ciśnieniu 15 [MPa]
piasek	mieszanina odpadów ze złoża fluidalnego	
60 – piasku (Szczakowa)	40 – FJ	10,42
60 – piasku (Maczki-Bór)	40 – FJ	11,62
40 – piasku (Szczakowa)	60 – FS	11,15
40 – piasku (Maczki-Bó)	60 – FS	12,26

2. Z uwagi na znaczną wytrzymałość na ściskanie związanych odpadów (1,2–2,75 MPa), ich zmulanie za pomocą monitorów może być nieskuteczne i znacznie utrudni proces ponownego ich rozdrobnienia.
3. Przeprowadzone badania ściśliwości mieszanin podsadzkowych na bazie odpadów z kotła fluidalnego oraz piasków podsadzkowych z kopalń Szczakowa i Maczki Bór wykazują ich pełną przydatność do stosowania w kopalniach węgla kamiennego. Odpady te stosowane w technologii podsadzki hydraulicznej mogą w istotny sposób ograniczyć ilość zużywanego piasku.
4. Ilość dodawanej mieszaniny odpadów ze złoża fluidalnego uzależniona jest od dopuszczalnych w danych warunkach górniczych deformacji powierzchniowych.
5. Biorąc pod uwagę skład ziarnowy mieszanin odpadów ze złoża fluidalnego należy opracować technologię dostawy odpadów na kopalnię i ich rozładunku celem uniknięcia wtórnego pylenia zanieczyszczającego środowisko.

Literatura

- [1] CHUDEK M., JANICZEK S., PLEWA F., 2001 – Materiały w budownictwie geotechnicznym. t. I. Materiały w budownictwie podziemnym. Wyd. Pol. Śl., Gliwice.
- [2] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 – Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Monografia. Wyd. Pol. Śl.
- [3] PN-G-11010:1993 „Materiały do podsadzki hydraulicznej – Wymagania i badania”.
- [4] Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. nr 62, poz. 628).

Franciszek PLEWA, Marcin POPCZYK, Piotr PIONTEK

Application of combustion by-products from fluid bed boilers in hydraulic backfill for mine subsidence control

Abstract

During combustion of coal in fluid bed boilers solid waste become into existence in the forms of slug and ash, contaminated with reactant residues. Economical applicability of these chemically active by-products is still a subject of research and new ways of their utilization are searching. Within the last few years a range of methods of activation of fluid bed ashes have been invented, however offered technologies are characterized by high operational and investment costs. Continuous research and tests took place in order to extend the range of industrial application of power generation waste, including waste from desulphurization circuits and fluid bed boilers. Proposed solutions are oriented both on processing of these waste – being considered as raw materials – into valuable products that can

be used in different branches of economy or their usage in construction and engineering works [1]. Presently, combustion by-products from fluid bed boilers (UPSF) can be consumed, between others, by mining industries for grouting of underground voids and sealing of coal waste dumps within spontaneous coal ignition control measures [2]. Also tests are carrying out on use of slug, which is the main component of UPSF, as a backfill material in hydraulic backfill technology in underground mining. Materials to be used in this technology must meet several requirements given by the relevant standard and their physical and chemical properties must be known. The paper presents results of research on possibilities of use of slugs from fluid bed boilers as a component of hydraulic backfill, which is used for filling of underground voids resulted from extraction of coal in longwalls in Polish coal mines. Testing procedures are compliant with relevant PN-G/11010 standard and embraced slugs from two large hard coal fired power plants, marked in the paper with "X" and "Y".

KEY WORDS: hydraulic backfill, waste management, mine subsidence control

