

**Ryszard MAJCHRZAK****Marian MADAJ****Wojciech KLIMAS**Instytut Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego  
i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice

## **BADANIA LABORATORYJNE POPIOŁÓW LOTNYCH Z DOŚWIADCZALNEGO KOTŁA FLUIDALNEGO AKF-c Z KWK "DĘBIENSKO"**

**Streszczenie.** W artykule zostały przedstawione wyniki badań laboratoryjnych popiołów lotnych z kotła fluidalnego typu AKF-c, który został zainstalowany w KWK "Dębieńsko". Zamieszczone wyniki analizy chemicznej, zawartości siarczanów i siarczynów a także porównano je z danymi literaturowymi. Przeprowadzono próby zainicjowania procesów wiązania i twardnienia popiołów lotnych wodą oraz wybranymi aktywatorami. Przedstawiono perspektywy wykorzystania popiołów lotnych z kotła fluidalnego typu AKF-c na obecnym etapie jego eksploatacji.

## **LABORATORY TESTING OF FLY-ASH FROM AKF-c FLUIDIZED BED BOILER**

**Summary.** The paper presents results of laboratory testing of fly-ash from AKF-c fluidized bed boiler that had been installed in Coal Mine "Dębieńsko". The work includes the results of chemical analysis, sulfate and sulfite contents, and compares the results to those ones offered by professional literature. Some tests have been made to initiate fly-ash binding and hardening processes with water and selected activators. The work offers utilization perspectives of fly-ash from AKF-c fluidized bed boiler in the present phase of its exploitation.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ ИЗ ОПЫТНОГО ФЛЮИДНОГО КОТЛА АКФ-с ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ШАХТЫ "ДЭМБЕНЬСКО"

**Резюме.** В статье представлены результаты лабораторных исследований летучей золы из флюидного котла типа АКФ-с, установленного на шахте "Дэбеньско". Поместено результаты химического анализа содержания сульфатов и сульфитов, проводится сравнение этих результатов с данными, приводимыми в литературе по данному вопросу. Представлены тоже проведенные попытки инициирования процессов схватывания и затвердевания летучей золы с помощью воды и выбранного активатора. Рассматриваются перспективы использования летучей золы из флюидного котла типа АКФ-с на данном этапе его эксплуатации.

### 1. WPROWADZENIE

Względy ekologiczne powodują, że elektrownie opalane węglem zanieczyszczają środowisko zmuszane są poprzez stosowanie technologii odsiarczania spalin do zmniejszania emisji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . Jednym z najbardziej efektywnych i wszechstronnych sposobów odsiarczania spalin węglowych, a co za tym idzie zmniejszenia szkodliwości i uciążliwości zakładów energetycznych dla środowiska naturalnego, jest zastosowanie kotłów z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym. Produktem odpadowym z kotłów fluidalnych są duże ilości popiołów lotnych, których jest o 50 % do 100 % więcej od wytwarzanych popiołów lotnych przez kotły bez zespołu odsiarczania spalin. Dlatego też bardzo ważnym problemem jest zagospodarowywanie coraz większych ilości odpadów elektrownianych. Jednym ze składników popiołów lotnych powstających w wyniku odsiarczania spalin są siarczany wapniowe mogące stanowić podstawę do opracowania spoiw na bazie tychże odpadów.

W kraju eksploatowane są najczęściej kotły konwencjonalne, których odpady w postaci popiołów lotnych mogą wykazywać własności pucolanowe lub nie. Z tego względu nadają się one do wytwarzania cementów pucolanowych lub wytwarzania mieszanek betonowych, gdzie są stosowane jako wypełniacz.

W przypadku eksploatacji kotłów fluidalnych mamy do czynienia z wytwarzaniem dużych ilości jakościowo nowych odpadów (popiołów lotnych). Dlatego też istotne jest poznanie własności popiołów lotnych wytwarzanych w kotłach fluidalnych. Problem ten jest przedmiotem prac badawczych w Instytucie Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

## 2. KOCIOŁ FLUIDALNY ZE ZŁOŻEM CYRKULACYJNYM AKF-c

Doświadczalny kocioł fluidalny ze złożem cyrkulacyjnym typu AKF-c-5 zainstalowany w KWK "Dębieńsko" jest kotłem dwuciągowym o mocy cieplnej 5 MW. W ciągu głównym znajduje się komora paleniskowa, a ponad nią konwekcyjne powierzchnie wymiany ciepła. W drugim ciągu umieszczony jest pęczek podgrzewacza wody i rurowy podgrzewacz powietrza. Cała konstrukcja podwieszona jest do rusztu nośnego, co pozwala na swobodne, wzdłużne dylatacje kotła.

Kocioł posiada fluidalną instalację paleniskową, w skład której wchodzi:

- komora paleniskowa,
- system dystrybucji powietrza (dno dyszowe wraz z dyszami i instalacja doprowadzenia i rozdziału powietrza),
- system nawrotu popiołu (cyklon separacyjny, rura opadowa materiału odseparowanego z cyklonu do syfonu, syfon popiołowy wraz z doprowadzeniem paliwa i rurą zsypową popiołu do komory paleniskowej),
- system odprowadzania popiołu (schładzacz popiołu).

## 3. BADANIA LABORATORYJNE

Materiał do badań został pobrany z dwóch komór zbiorczych - komory I i komory II kotła fluidalnego AKF-c produkcji RAFAKO w Raciborzu zainstalowanego KWK "Dębieńsko". Popiół z komory I był koloru ciemnoszarego i jego gęstość usypowa w stanie luźnym wynosiła  $G_{pl} = 0,784 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w stanie ubitym  $G_{pu} = 1,222 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Popiół z komory II był koloru szarego i jego gęstość usypowa w stanie luźnym wynosiła  $G_{pt} = 0,460 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w stanie ubitym  $G_{pu} = 0,702 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Na podstawie literatury [1, 2], w której przedstawiono własności popiołów lotnych z kotłów fluidalnych, skład chemiczny oraz sposoby wykorzystania, wyciągnięto wniosek, że popiół lotny z kotła fluidalnego zainstalowanego w KWK "Dębieńsko" będzie wykazywał własności wiążące. Dlatego też próbowano zainicjować proces wiązania popiołu lotnego przez zarobienie go wodą wodociągową. Wynikiem tej próby było stwierdzenie, że popiół nie związał.

W związku z tym, że na podstawie literatury spodziewano się obecności siarczanów wapniowych w popiołach lotnych z kotła fluidalnego proces wiązania próbowano zainicjować przy użyciu dotychczas najczęściej stosowanych aktywatorów spoiw siarczanowych, takich jak: fosforanowe, węglanowe i siarczanowe. Stosowano różne proporcje popiołu lotnego do aktywatora. W wyniku badań należy stwierdzić, że nie zaobserwowano wpływu aktywatorów na proces wiązania i nie spowodowały one procesów tężenia popiołów lotnych z kotła fluidalnego. W następnym etapie wykonano w Instytucie Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach analizę chemiczną próbki popio-

lu z kotła fluidalnego pracującego w KWK "Dębieńsko". Z analizy chemicznej wynika (tabl.3.1), że dominującymi składnikami produktu poreakcyjnego są: krzemionka (48,80% SiO<sub>2</sub>), węgiel (19,10% C), tlenki glinu (14,70% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oraz w mniejszych ilościach tlenek żelaza (4,00% FeO<sub>3</sub>), tlenek wapnia (2,80% CaO), siarka całkowita (1,318% S), tlenek magnezu (0,70% MgO).

Tablica3.1  
Własności popiołów z kotła fluidalnego  
w KWK "Dębieńsko"

| Własności popiołów z kotła fluidalnego<br>w KWK "Dębieńsko" |       |
|---|-------|
|   | %     |
| Straty praż.  | 25,40 |
| SiO <sub>2</sub>  | 48,80 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                              | 14,70 |
| FeO <sub>3</sub>  | 4,00  |
| MgO   | 0,70  |
| CaO   | 2,80  |
| w tym: C  | 19,10 |
| S calk.   | 1,318 |

Zawartość siarczanów i siarczynów w popiele lotnym przedstawia się następująco:

- siarczyn wapnia - 0,172 %
- siarczan wapnia - 5,400 %.

Z badań derywatograficznych wynika, że próbka nie zawiera uwodnionych siarczanów wapnia. Badania wykonano w atmosferze redukcyjnej, w temperaturze do 1000°C. Reasumując należy stwierdzić, że w badanej próbce ilość siarczynów jest śladowa. Siarczanu wapnia w popiele lotnym jest 5,4 %, co świadczy o pewnej adsorpcji dwutlenku siarki. Wynika to również z ilości oznaczonego CaO w badanej próbce. Popiół zawiera 19,1 % węgla. Pozostałe składniki stanowią w przeważającej części zdehydratyzowane glino-krzemiany.

#### 4. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH POPIOŁÓW LOTNYCH KOTŁA FLUIDALNEGO AKF-c KWK "DĘBIENSKO" Z DANymi LITERATUROWymi

Z badań laboratoryjnych popiołu lotnego kotła fluidalnego z KWK "Dębieńsko" (tabl. 3.1) wynika, że popiół ten w porównaniu z popiołami lotnymi z kotłów fluidalnych eksploatowanych na Zachodzie [1, 2] wykazuje zbyt wysokie ilości: węgla

19,1% w porównaniu z 0,16 do 2,78%, krzemionki  $\text{SiO}_2$ , 48,8% w porównaniu z 10,36 do 38,5% oraz zbyt małe ilości: wapnia  $\text{CaO}$  2,8% w porównaniu z 21,2 do 48,15%, siarki 1,3% w porównaniu z 6,35 do 12,2%, siarczanu wapnia  $\text{CaSO}_4$  5,4% w porównaniu z 14,3%.

Porównując analizę chemiczną popiołów lotnych z kotła z KWK "Dębieńsko" (tabl.3.1) z analizą chemiczną popiołów przedstawioną przez producenta kotłów [3], należy stwierdzić, że wyniki te są do siebie podobne, z wyjątkiem siarczanu wapniowego, którego autorzy wymienionej pracy nie zamieścili. Analiza chemiczna nie wskazuje na prawidłowy proces odsiarczania spalin węglowych przez dodanie addytywu ze względu na niewielkie ilości  $\text{CaO}$  i  $\text{SO}_3$ , które nie są zgodne z zawartością tych składników przedstawionych w pracy [3]. Z kolei według producenta kotłów [4] ilość siarczanu wapnia  $\text{CaSO}_4$  w popiele z kotłów fluidalnych powinna się wahać w zależności od wartości opalowej paliwa od 6% do 35%, a stwierdzona ilość siarczanu w popiele z kotła fluidalnego (tabl.3.1) z KWK "Dębieńsko" wynosiła 4,5%. Z badań laboratoryjnych nad właściwościami wiążącymi popiołów lotnych z kotła fluidalnego z KWK "Dębieńsko" na obecnym etapie jego rozruchu technologicznego można wyciągnąć wniosek, że popioły te nie mają właściwości wiążących w przeciwieństwie do popiołów lotnych z kotłów fluidalnych pracujących na Zachodzie, które w zdecydowany sposób wykazują takie własności [1,2]. Przyczyny takiego stanu rzeczy należy szukać w nieprawidłowym procesie odsiarczania i eksploatacji kotła, w wyniku którego powstaje odpad o zbyt małych zawartościach siarczanu wapnia. Można również stwierdzić na podstawie analizy chemicznej popiołu lotnego z kotła fluidalnego z KWK "Dębieńsko", że wyniki są zbliżone do wyników analizy popiołu lotnego z kotła pyłowego (konwencjonalnego), co mogłoby świadczyć, że procesy odsiarczania w kotle fluidalnym nie przebiegały właściwie.

## 5. PERSPEKTYWY KONTYNUACJI BADAŃ NAD POPIOŁAMI LOTNYMI Z KRAJOWYCH KOTŁÓW FLUIDALNYCH

Wykazano, że najbardziej efektywnym i wszechstronnym sposobem odsiarczania spalin węglowych oraz zmniejszenia szkodliwości i uciążliwości zakładów energetycznych dla środowiska naturalnego jest zastosowanie kotłów z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym. Ponieważ ilość popiołów lotnych wytwarzanych przez kotły z cyrkulacyjnych złożem fluidalnym w procesie odsiarczania spalin węglowych jest o 50 % do 100 % większa od wytwarzanych popiołów lotnych przez kotły bez zespołu odsiarczania spalin, należy dążyć do opracowania efektywnych sposobów kompleksowego zagospodarowania odpadów z palenisk fluidalnych.

W związku z wynikami badań laboratoryjnych i analizami chemicznymi popiołów lotnych z kotła doświadczalnego AKF-c zainstalowanego w KWK "Dębieńsko", należy stwierdzić, że wyniki te nie potwierdzają odpowiednich właściwości popiołów lotnych



przedstawionych przez producenta kotła oraz autorów artykułów zagranicznych i nie stwarzają na obecnym etapie prób ruchowych kotła możliwości wykorzystania ich jako spoiw lub dodatków do spoiw stosowanych w technice górniczej.

Analizując właściwości popiołów lotnych wytwarzanych w procesie odsiarczania spalin w kotłach fluidalnych na podstawie prac autorów zagranicznych [2, 5], można przewidywać szerokie możliwości wykorzystania tych odpadów jako spoiwa lub komponenty spoiw w warunkach górnictwa podziemnego. Należy wyraźnie podkreślić, że kopalnie węgla kamiennego obecnie dysponują kompleksową technologią pneumatycznego transportu materiałów sypkich oraz zapotrzebowaniem na tanie spoiwa wykorzystywane do:

- profilaktyki pożarowej,
- budowy tam i korków izolacyjnych,
- wypełniania pustek,
- budowy pasów izolacyjnych.

W przypadku prawidłowej eksploatacji kotła z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym oraz procesem spalania węgla z odsiarczaniem spalin wytwarzane są popioły lotne, których właściwości odpowiadają będą wymaganiom stawianym spoiwom wykorzystywanym w technice górniczej.

Na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzonych przez autorów opracowania stwierdza się, że odpady z doświadczalnego kotła fluidalnego typu AKF-c zainstalowanego w KWK "Dębieńsko" mogą być wykorzystane jedynie do lokowania w wyrobiskach podziemnych kopalń oraz jako wypełniacz podsadzki samoutwardzalnej.

Mając na uwadze powyższe stwierdzenia konieczna jest kontynuacja szczegółowych badań laboratoryjnych prowadzonych na próbkach popiołu lotnego z kotła doświadczalnego AKF-c pobieranego w różnych okresach jego eksploatacji oraz innych eksploatowanych kotłów fluidalnych.

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Przeprowadzone próby wiązania i twardnienia oraz aktywacji popiołów lotnych z kotła doświadczalnego AKF-c nie wykazały pozytywnych rezultatów.

2. Analiza chemiczna popiołów lotnych z kotła doświadczalnego AKF-c wykazała obecność:

- siarczynów wapnia w ilości 0,172 %,
- siarczanu wapnia w ilości 5,4 %,
- tlenku wapnia w ilości 2,8 %,
- węgla w ilości 19,1 %.

3. Popioły lotne z kotła doświadczalnego AKF-c na obecnym etapie jego eksploatacji nie wykazały własności wiążących ze względu na niewielkie ilości siarczanu wapnia i dlatego nie mogą być wykorzystane jako spoiwo lub materiał bazowy do produkcji spoiw.

4. Stwierdza się, że odpady z doświadczalnego kotła fluidalnego typu AKF-c zainstalowanego w KWK "Dębieńsko" mogą być wykorzystane jedynie do lokowania w wyrobiskach podziemnych kopalń oraz jako dodatek do podsadzki samoutwardzalnej.

5. Na podstawie prac autorów zagranicznych [1 do 2] można przewidywać szerokie możliwości wykorzystania odpadów z kotłów fluidalnych jako spoiw lub komponentów spoiw w warunkach górnictwa podziemnego.

6. Konieczna jest kontynuacja szczegółowych badań laboratoryjnych prowadzonych na próbkach popiołu lotnego z kotła doświadczalnego AKF-c pobieranego w różnych okresach jego eksploatacji oraz innych eksploatowanych kotłów fluidalnych.

#### LITERATURA

- [1] Prabir Basu, Scott A. Fraser: Management of solid residues. Circulating fluidized bed boilers. Design and operations. Chapter 9.
- [2] Hai Soo Chun, Snag Done Kim: Fluidized-bed and tree-phase reactors, Kyongju, Korea, 1992.
- [3] Mazurkiewicz A., Żyła J., Burek K.: Pierwszy polski kocioł z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym dla zakładów energetycznych w Lublinie OPF-230 RAFAKO - EVT systemu "AHLSTROMA". Kotły fluidalne. z.3 Racibórz maj 1991.
- [4] Mazurkiewicz A., Burek K.: Kotły z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym RAFAKO - EVT systemu "AHLSTROMA", popioły i ich zagospodarowanie. Kotły fluidalne z. 2 Racibórz luty 1991.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Janiczek

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1994 r.

## Abstract

The article endeavors to estimate the quality and usability of fly-ash waste from the AKF-c fluidized bed boilers, produced by RAFAKO, and installed in the "Dębieńsko" Coal Mine. Learning the properties of fly-ash is of great importance for their utilization (in particular in mining) in view of the constantly increasing number of fluidized bed boilers in Poland. By reason of expected binding properties of fly-ashes learned from overseas literature, they were tested on binding process initiation. Since there were no effects of the proceeding, fly-ash was tested chemically and the results offered minimal quantity of calcium sulfite 0,172% and calcium sulfate 5,4%, and high content of carbon 19,1%. The obtained results of chemical analyses were compared with data from literature. The lack of binding properties of fly-ash from the experimental AKF-c fluidized bed boiler was probably caused by improper desulfurization of coal waste gas, inappropriate exploitation of the bed boiler, which resulted in too low content of calcium sulfate in the produced waste. The chemical analysis of fly-ash from the bed boiler discussed showed great similarities with the fly-ash analysis results from pulverized (conventional) boiler. The following chapter presents perspectives of further research and prospects of fly-ash utilization provided the fly-ash properties are of comparable quality to the fly-ash produced in fluidized bed boilers abroad. With correctly run process of coal combustion with waste gas desulfurization, the resultant fly-ash waste formed in fluidized bed boilers will meet requirements for materials used in the production of binders. Fly ashes from fluidized bed boilers are supposed to be widely applied in mining as mining binders or their components.