

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Kuliczkowski A., Problemy bezodkrywkowej odnowy przewodów kanalizacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 1998
- [2] Madryas C., Przybyła B., Szot A., Underground Infrastructure of Urban Areas, CRC Press/Balkema. London, 2009
- [3] Madryas C., Przybyła B., Wysocki L., Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2010
- [4] Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji: IV Ogólnopolska, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Szkoleniowa. Kielce – Cedzyna, 2005
- [5] Wytyczna ATV – DVWK – A127P. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych, Wydanie 3, Wydawnictwo Seidel – Przywecki. Warszawa, 2000

- [6] Zwierzchowska A., Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce, 2006

**WYKORZYSTANE MATERIAŁY**

- [7] Materiały techniczno-informacyjne firmy TROLINING GmbH. Troisdorf, 2000
- [8] Materiały techniczno-informacyjne firmy KAN – REM Sp. z o.o. Wrocław, 2001
- [9] Materiały techniczno-informacyjne firmy Górażdże Cement Opole, 2011
- [10] PN – B – 04500: 1985 – Zaprawy budowlane, badania cech fizycznych i wytrzymałościowych

# Uszkodzenie wykładziny ceramicznej oddzielnicy popiołu kotła fluidalnego na skutek współspalania węgla i biomasy

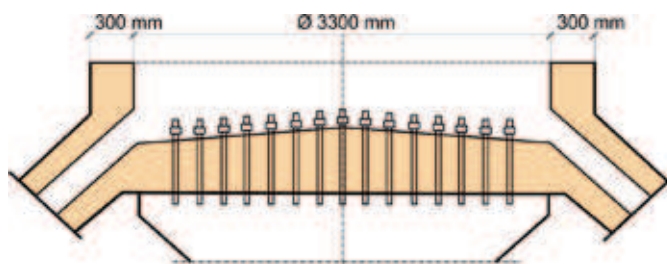
Dr inż. Teresa Stryzewska, mgr inż. Stanisław Kańka, Politechnika Krakowska

## 1. Wprowadzenie

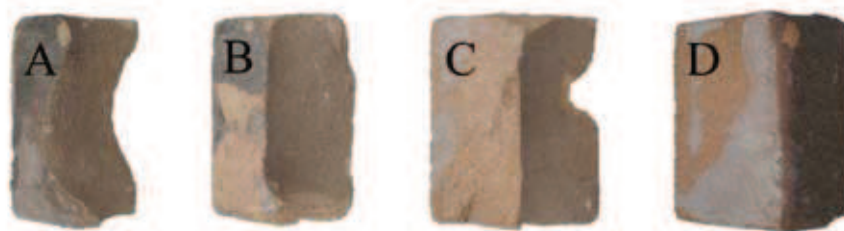
W wyniku spalania paliwa stałego (węgla kamiennego, biomasy itp.) i odsiarczania za pomocą kamienia wapiennego, w komorze paleniskowej kotła fluidalnego powstaje popiół z paliwa oraz pozostałości po reakcji siarki zawartej w paliwie z sorbentem. Przy zwykłej prędkości fluidyzacji cyrkulujący materiał złoża składa się z ziaren, które w większej części mają wielkość od 0,1 mm do 0,3 mm. Części drobnoziarniste opuszczają złożo razem ze spalinami i są od nich oddzielane w elektrofiltrze. Znaczna ilość ziaren grubych o wielkości powyżej 0,3 mm gromadzi się w dolnej części komory paleniskowej, skąd odprowadzane są do oddzielnicy

popiołu. W oddzielnicy, gorący popiół o temperaturze do 350°C jest fluidyzowany zimnym powietrzem i spalinami recyrkulującymi. Szybkość fluidyzacji jest tak dobrana, aby cząstki materiału stałego o średnicy poniżej 0,3 mm były unoszone przez strumień gazu, a następnie zwracały do komory paleniskowej przewodem nawrotnym. Pozostałe cząstki zostają schłodzone i wyprawdzone na zewnątrz oddzielnicy.

Podczas okresowego przeglądu zauważono częściowe zniszczenie wymurówki oddzielnicy popiołu. Nasilenie i zintensyfikowanie niszczenia wymurówki połączyło się w czasie z wprowadzeniem biomasy. W prezentowanym artykule autorzy opisują najbardziej prawdopodobną przyczynę postępującej destrukcji.



**Rys. 1.** Schemat części dennej oddzielnicy popiołu wraz ze zdjęciem uszkodzonej wymurówki



**Rys. 2.**  
Kształtki szamotowe o różnym stopniu zniszczenia

## 2. Ogólna charakterystyka oddzielnika popiołu

Jak podano we wstępie, warunki panujące w oddzielniku popiołu są bardzo trudne. Aby zapewnić jak największą trwałość tego elementu kotła, wykonano wymurówkę ceramiczną z kształtek szamotowych łączonych spoiną krzemianową. Na rysunku 1 przedstawiono zdjęcie wnętrza oddzielnika popiołu kotła fluidalnego wraz ze schematem części dennej.

Podczas przeglądu wymurówki zaobserwowano znaczne ubytki kształtek szamotowych oraz materiału spoinującego. Na podstawie dokładniejszych oględzin stwierdzono, że kształtki, które narażone są na bezpośrednie działanie pyłów i gazów, uległy zniszczeniu, skutkiem czego jest ubytek grubości. Powierzchnia części kształtek jest lekko starta, równomiernie na całej powierzchni, natomiast innych jest silniej starta z wyraźnym przegłębieniem w części środkowej (rys. 2).

Wprowadzenie dodatku biomasy drzewnej i owocowej do węgla kamiennego spowodowało zmiany ilościowe w składzie chemicznym mieszanki paliwowej oraz stało się przyczyną zmiany warunków panujących w kotle fluidalnym [1, 2, 3, 4, 5]. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry stosowanych paliw oraz wyniki badań popiołu po spaleniu.

**Tabela 1.** Charakterystyka paliwa węglowego i biomasy

Właściwości paliwa w stanie roboczym		Węgiel kamienny	Biomasa drzewna	Biomasa owocowa
Wartość opałowa	[kJ/kg]	19629	15333	16291
Zawartość wilgoci	[%]	16,53	15,94	15,57
Zawartość całkowita siarki	[%]	1,06	<0,03	0,13
Zawartość chloru	[%]	0,107	1,93	0,1
Badania popiołu po spaleniu				
SiO <sub>2</sub>	[%]	48,46	23,89	3,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[%]	23,07	4,65	0,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[%]	9,41	1,80	0,32
CaO	[%]	4,56	25,54	11,41
MgO	[%]	3,73	6,76	14,43
Na <sub>2</sub> O	[%]	2,34	0,44	1,76
K <sub>2</sub> O	[%]	2,35	23,10	46,87
SO <sub>3</sub>	[%]	3,93	5,06	9,43
TiO <sub>2</sub>	[%]	1,07	0,31	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	[%]	0,18	3,85	8,04
Chlor	[%]	–	1,93	3,38

## 3. Wyniki badań

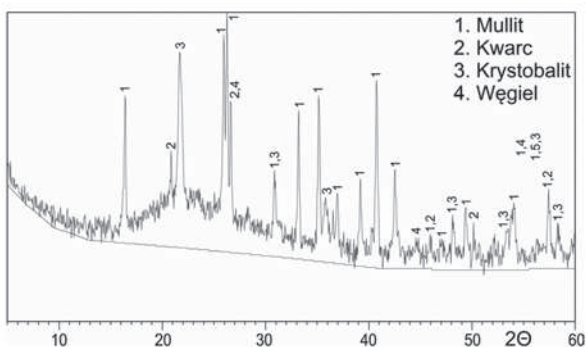
Badaniami objęto kształtki szamotowe ze szczególnym uwzględnieniem strony narażonej na bezpośrednie działanie popiołu, drobnoziarniste popioły powstałe ze współspalania węgla z biomasą oraz spieki. Zakres badań obejmował wykonanie badań mikrostrukturalnych w mikroskopie skaningowym, analizę rentgenograficzną, a także oznaczenie ścieralności kształtek szamotowych pobranych z wymurówki oddzielnika popiołu.

### 3.1. Wyniki badań kształtek szamotowych

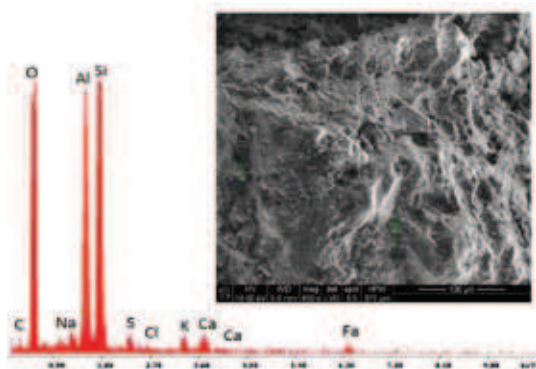
Na podstawie analizy przedstawionego na rysunku 3 dyfraktogramu kształtek szamotowych można stwierdzić, że w próbkach obecne są takie fazy krystaliczne, jak: mullit, kwarc, krystobalit, trydymit, hematyt oraz niespalony węgiel. Otrzymane wyniki nie wykazały obecności krystalicznych produktów korozji w szamocie.

Wykonano również badania w mikroskopie skaningowym. Typowy obraz mikrostruktury wraz z reprezentatywną analizą składu pierwiastkowego przedstawiono na rysunku 4.

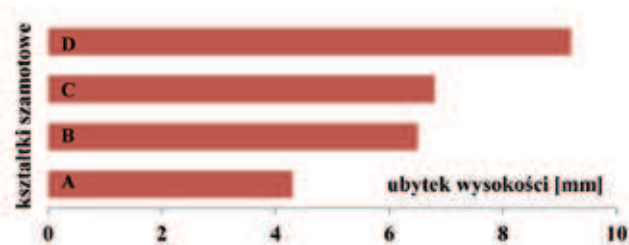
Analiza EDS badanych próbek potwierdza obecność glinokrzemianów, które stanowią podstawowy składnik szamotu oraz wskazuje na obecność anhidrytu. Jednakże biorąc pod uwagę wyniki badań rent-



Rys. 3. Dyfraktogram kształtek szamotowych



Rys. 4. Mikrostruktura kształtki szamotowej wraz z analizą EDS, pow. 800x



Rys. 5. Wyniki badań ścieralności kształtek ceramicznych

genograficznych można przypuszczać, że jego ilość jest nieznaczna, na granicy wykrywalności tej metody badawczej. Zatem należy sądzić, że jest to tylko powierzchniowe skażenie wywołane bezpośrednim oddziaływaniem popiołów. Na powierzchni próbek od strony działania popiołów znajduje się również niespalony węgiel. Należy natomiast zwrócić uwagę na strukturę i morfologię powierzchni badanych kształtek szamotowych, która jest silnie starta i wygładzona, co może wskazywać na intensywne oddziaływanie mechaniczne ziaren popiołu.

W związku z tym, że kształtki szamotowe zostały zniszczone w różnym stopniu (rys. 3) wykonano dodatkowo badanie ścieralności na próbkach wyciętych z kształtek o różnym stopniu zniszczenia. Tak przygotowane próbki poddano badaniu ścieralności na tarczy Böhmego. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 5.

Otrzymane wyniki wyraźnie świadczą o zróżnicowanej ścieralności kształtek szamotowych, z których wykonano wykładzinę oddzielacza popiołu. Różnica pomiędzy najmniejszą i największą ścieralnością wynosi aż 100%. Zatem można stwierdzić, że bezpośrednią przyczyną niejednorodnego zniszczenia elementów wykładziny jest różna odporność na ścieranie poszczególnych kształtek.

Przeprowadzone badania w zakresie kształtek szamotowych wyraźnie wskazują na mechaniczne, a nie chemiczne oddziaływanie popiołu w oddzielaczu.

### 3.2. Wyniki badań popiołu pobranego z oddzielacza

Materiał, który znajduje się w oddzielaczu popiołu można podzielić na dwie grupy. Do jednej należy drobnoziarnista syпка frakcja popiołowa (rys. 6), a do drugiej gruboziarnisty, spieczony materiał gąbczasty o chropowatej i ostrej powierzchni (rys. 7).

W celu identyfikacji związków krystalicznych znajdujących się w tych materiałach wykonano badania rentgenograficzne. Otrzymane wyniki w postaci dyfraktogramów przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Dyfraktogram popiołu powstałego ze współspalania węgla i biomasy wskazuje na obecność kwarcu, anhydrytu, kalcytu, hematytu, wapna, żelaza i sanidynu. Natomiast wśród faz krystalicznych obecnych w spiekach można wyróżnić: kwarc, mullit, portlandyt, krystobalit i węgiel wapnia. W obu przypadkach są to fazy, których obecność wynika z charakterystyki pracy kotła. Żaden z tych minerałów nie jest wystarczająco twardy i ostry, by być jedyną przyczyną niszczenia wykładziny szamotowej w oddzielaczu popiołu.

Porównanie obu dyfraktogramów wskazuje na znaczny udział w składzie spieku faz bezpostaciowych. Zatem przeprowadzono również badania mikrostrukturalne obu próbek materiałów, mające na celu identyfikację faz bezpostaciowych. Ogólny obraz mikrostruktury wraz z typową analizą pierwiastkową (EDS) przedstawiono na rysunkach 10 i 11.

Ziarna popiołu sypkiego nie posiadają ostrych krawędzi. Badania sondą EDS wykazały, że są to głównie ziarenka piasku, szamotu i hematytu pokryte na powierzchni anhydrytem. Natomiast spieki tworzą gąbczaste zbrylenia, które są silnie porowate, ich powierzchnia jest twarda i ostra. Analiza składu chemicznego za pomocą sondy EDS wskazuje na obecność struktur żużlowych o wysokiej zawartości alkaliów, takich jak: sól, magnez i potas. Można powiedzieć, że są to sodowe, potasowe i magnezowe krzemiany i glinokrzemiany. W odróżnieniu od popiołu sypkiego obecność anhydrytu jest znikoma.

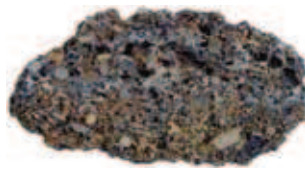
## 4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań w zasadzie potwierdzają doniesienia literaturowe [2, 6, 7, 8] na temat ubocznych, w tym przypadku o charakterze abrazyj-

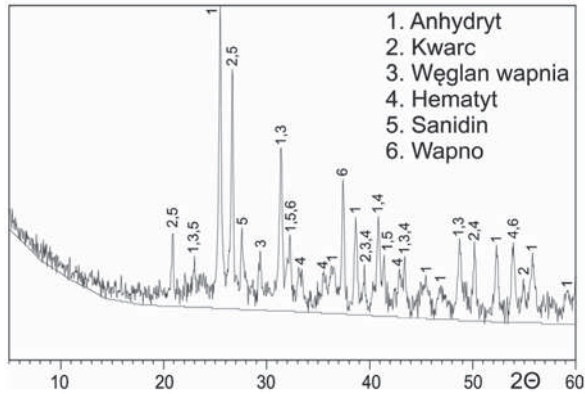




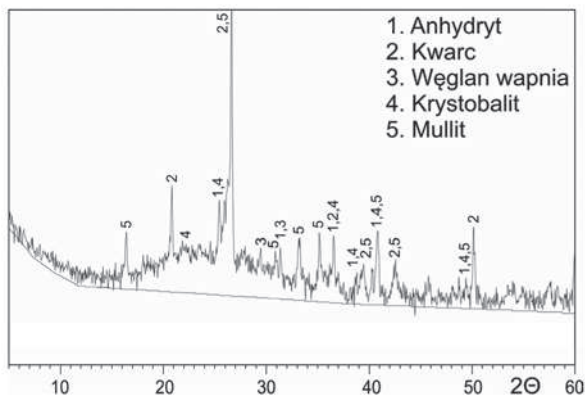
**Rys. 6.** Popiół drobnoziarnisty, syпки



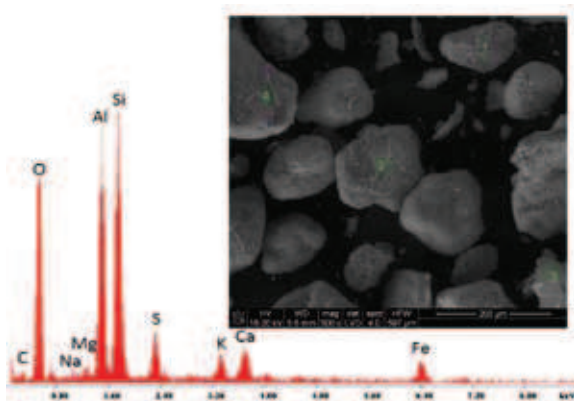
**Rys. 7.** Popiół spieczony



**Rys. 8.** Dyfraktogram popiołu drobnoziarnistego



**Rys. 9.** Dyfraktogram popiołu spieczonego

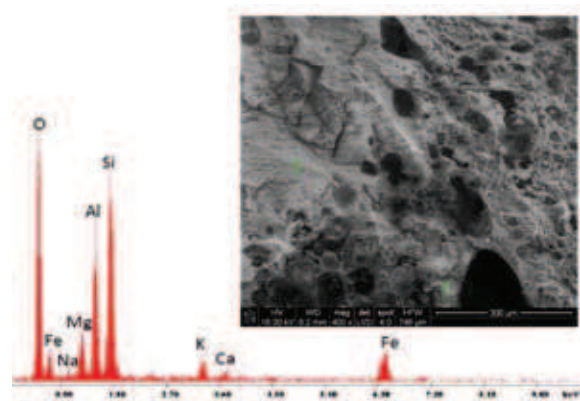


**Rys. 10.** Mikrostruktura ziaren popiołu drobnego wraz z analizą EDS, pow. 500x

nym, skutków wprowadzenia dodatku biomasy do paliwa węglowego. Wprowadzenie biomasy powoduje zmianę warunków spalania w kotłach fluidalnych. Stosunkowo duża zawartość tlenków sodu, potasu i magnezu powoduje obniżenie temperatury mięknienia i topnienia popiołu. Im większy ich udział w stosunku do tlenku glinu, krzemu i tytanu, tym większe zagrożenie żużłowaniem i powstawaniem osadów w kotle fluidalnym. Skutkuje to powstawaniem spieków krzemianowych lub glinowo-krzemianowych o silnie ściernych właściwościach. Zatem można powiedzieć, że wprowadzenie biomasy jako składnika mieszanki paliwowej spowodowało zniszczenie wykładziny szamotowej w oddzielaczu popiołu. Następuje to w wyniku abrazyjnego oddziaływania wirującego popiołu, a zwłaszcza ostrokrawędzistych i twardych kawałków spieku. Natomiast wykazana w badaniach zróżnicowana ścieralność kształtek szamotowych tłumaczy różny stopień uszkodzenia poszczególnych kształtek, z których wykonano wykładzinę.

**BIBLIOGRAFIA**

[1] Pronobis M., Wpływ paliw dodatkowych na zanieczyszczenie i sprawność kotła. Materiały IX Konferencji Kotlewej. Prace Naukowe Politechniki Śląskiej, Monografie, Konferencje, Gliwice 2002  
 [2] Pronobis M., Zanieczyszczenia i korozja w kotłach rusztowych spalających biomasę. VII Konferencja Naukowo-Techniczna Kotły rusztowe jako jednostki wielopaliwowe. Polańczyk, 2005  
 [3] Masia AAT, Buhre BJP, Gupta RP, et al. Characterising ash of biomass and waste. Fuel Processing Technology, 2007  
 [4] Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową. Energetyka i Ekologia, s. 207–220, 2006  
 [5] Winnicka G., Zuwała J., Współspalanie biomasy w energetyce – ocena wpływu na skład chemiczny popiołu. Seminarium Techniczne Popioły z energetyki – z odpadu do produktu. Aspekty formalno-prawne, s. 43–59, Warszawa 2005  
 [6] Natalapati N., et. Al., Assessing slagging and fouling during biomass combustion. A thermodynamic approach allowing for alkali/ash reactions. Fuel Processing Technology, 2007.  
 [7] Wigley F, Williamson J, Riley G., The effect of mineral additions on coal ash deposition, Fuel Processing Technology, 2007.  
 [8] Wacławiak K. Badania żużłowania podczas współspalania pyłu węglowego z biomasą. Gospodarka Paliwami i Energią nr 9, 2003



**Rys. 11.** Mikrostruktura popiołu spieczonego wraz z analizą EDS, pow. 400x