

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 11**

ISSN 1899-3230

**Rok V**

**Warszawa–Opole 2012**

---

KRYSTYNA RAJCZYK\*  
ELŻBIETA GIERGICZNY\*\*  
ANNA JAROCKA\*\*\*  
KARINA PŁACHETKA\*\*\*\*  
AGNIESZKA PAWŁOWSKA\*\*\*\*\*

## Wpływ zwiększonej ilości biomasy w paliwie na jakość powstających popiołów lotnych

**Słowa kluczowe:** procesy współspalania, popioły lotne, biomasa.

W związku z tendencjami do wprowadzania w krajowej energetyce zawodowej zwiększonej ilości biomasy i innych materiałów do współspalania z węglem, ważnym zagadnieniem staje się zwrócenie uwagi na jakość popiołów lotnych powstających w procesach współspalania, z punktu widzenia wykorzystania ich w budownictwie.

W artykule przedstawiono wyniki badań popiołów lotnych uzyskanych z procesów współspalania przy wykorzystaniu większej ilości materiałów do współspalania z węglem niż to zakłada aktualnie obowiązująca norma PN-EN 450-1:2009.

Uzyskane wyniki badań pokazują, że stosowanie zwiększonej ilości biomasy lub innych materiałów do współspalania w istotny sposób zmienia właściwości popiołów lotnych, ich skład chemiczny oraz właściwości fizyczne. Wszystkie te zmiany powodują, że popioły ze zwiększoną ilością materiałów w procesie współspalania oddalają się swoimi właściwościami od wymagań normowych.

### 1. Wstęp

Uboczne produkty z energetyki, w tym popioły lotne, są coraz częściej stosowane jako aktywne dodatki w produkcji cementu i betonu. Jednocześnie konieczność

---

\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

\*\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu

\*\*\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

\*\*\*\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

\*\*\*\*\* Mgr inż., Renevis Sp. z o.o.

spełnienia wymagań Unii Europejskiej, dotyczących ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i ochrony, wprowadza obowiązek zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła. W związku z tym liczne elektrownie i elektrociepłownie wprowadziły lub wprowadzają współspalanie węgla z innymi materiałami palnymi.

W warunkach krajowych jest to głównie biomasa, ale w przyszłości mogą być także spalane paliwa komponowane z odpadów komunalnych i/lub przemysłowych. W związku z tym istotnym problemem jest zwrócenie uwagi na właściwości powstających w wyniku współspalania popiołów lotnych, które nie tylko muszą spełniać wymagania zapewniające jakość techniczną produktów uzyskanych z ich udziałem, lecz także nie mogą wpływać negatywnie na środowisko.

Z dotychczasowych doświadczeń dotyczących badań popiołów lotnych wynika, że stosowanie podwyższonych ilości biomasy w procesie współspalania w stosunku do ilości dopuszczalnego jej udziału, określonej odpowiednimi normami, prowadzi do zmiany właściwości popiołów lotnych [1]. Ponieważ tendencje do wprowadzania w energetyce coraz większych ilości paliw alternatywnych są dostrzegalne, a w przyszłości nieuniknione, celowym i koniecznym jest poznanie zmian właściwości popiołów otrzymanych w procesach współspalania przy zwiększonej ilości materiałów do współspalania. Dla realizacji programu badawczego nawiązano współpracę z firmą Renevis Sp. z o.o. we Wrocławiu, która jest liderem na rynku krajowym i dzięki której możliwe było zapoznanie się z nowoczesnymi systemami spalania biomasy oraz pozyskanie próbek do badań.

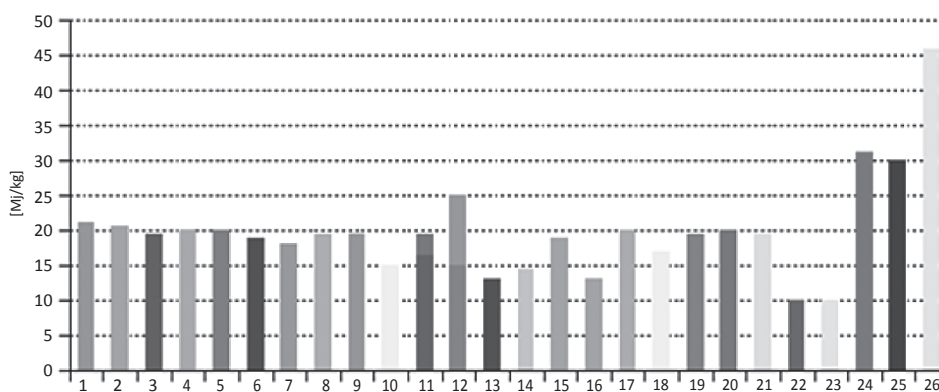
## **2. Prognozy rozwoju technologii współspalania biomasy z węglem w krajowej energetyce zawodowej**

Prognozy rozwoju w energetyce krajowej technologii współspalania biomasy z węglem wynikają z podjętych w tym zakresie zobowiązań. W traktacie akcesyjnym o przystąpieniu do Unii Europejskiej Polska zadeklarowała wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej do 7,5% w 2010 r. i 14% w 2020 r. W warunkach krajowych tak wysoki przyrost energii z odnawialnych źródeł możliwy jest głównie przy wykorzystaniu biomasy. Warto w tym miejscu dodać, że zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r., w latach 2015–2017 dla potrzeb współspalania nie będzie w ogóle można używać biomasy leśnej (Dz.U. z 2008 r. nr 156, poz. 969). Prognozowane zapotrzebowanie na biomase przez energetykę zawodową w Polsce wynosi 8,3 mln ton suchej masy w 2020 r. i 10,6 mln ton suchej masy w 2030 r. [2].

Jednym z kierunków wykorzystania biomasy w energetyce są technologie umożliwiające współspalanie w istniejących kotłach.

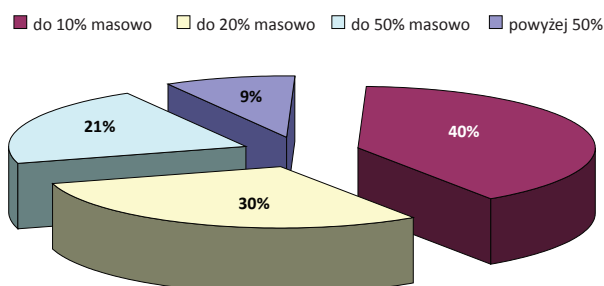
W chwili obecnej współspalanie biomasy jest realizowane na skalę przemysłową w kilkunastu krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach. Spalonym paliwem jest głównie biomasa drzewna (w postaci trocin, zrębków, pyłu) i biogaz, ale również klasyfikowane jako biomasa odpady z produkcji zwierzęcej i roślinnej (takie jak wytloki z rzepaku, wytloki z produkcji kawy zbożowej i mączka zwierzęca). Należy pamiętać, że podstawowym źródłem biomasy rolniczej dla sektora energetycznego są rośliny uprawiane na plantacjach trwałych (wieloletnich). W tej grupie roślin dominuje wierzba energetyczna (780 plantacji) o łącznej powierzchni 6480 ha, co stanowi 95% powierzchni trwałych plantacji roślin energetycznych [3].

Na rycinie 1 przedstawiono dane ujmujące wartości ciepła spalania dla różnego rodzaju biomasy oraz innych paliw alternatywnych. Oznaczenie paliwa jako RDF (refuse derived fuels) dotyczy paliwa alternatywnego, powstającego z wyselekcjonowanych frakcji odpadów komunalnych oraz biomasy.



1 – sosna, 2 – świerk, 3 – jodła, 4 – brzoza, 5 – buk, 6 – dąb, 7 – olcha, 8 – wierzba, 9 – topola, 10 – słoma, 11 – mączka kostna, 12 – RDF, 13 – osad ściekowy, 14 – ślázowiec, 15 – topinambur bulwy, 16 – topinambur część naziemna, 17 – brykiet drzewny, 18 – brykiet ze słomy zbóż, 19 – pelety, 20 – kora drzewna, 21 – trociny, 22 – brunatnica, 23 – odpady komunalne, 24 – zużyte oleje, 25 – zużyte opony, 26 – tworzywa sztuczne.

Ryc. 1. Ciepło spalania paliw alternatywnych [4]



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Poziom współspalanej biomasy w jednostkach energetycznych w Polsce (stan na 2009 r.)

Współspalanie uważane jest obecnie za najprostszy i najtańszy sposób zwiększenia produkcji energii elektrycznej z paliw odnawialnych. Zalety współspalania to przede wszystkim: niższe emisje  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  (w części odnoszącej się do paliw kopalnych) oraz elastyczność kotła. Oprócz wymienionych korzyści technicznych i ekologicznych, istnieją również zagrożenia technologiczne towarzyszące wdrażaniu procesów współspalania [5].

### 3. Popioły z procesów współspalania w świetle aktualnych norm

#### 3.1. Popiół lotny jako dodatek do betonu

Popiół lotny uzyskany w wyniku współspalania może być stosowany tylko wówczas, gdy współspalanie pyłu węglowego odbywa się ze ściśle określonymi w normie materiałami palnymi (tab. 1).

Tabela 1

*Materiały do współspalania określone w normie PN-EN 450-1:2009*

1	Materiały roślinne, jak wióry drzewne, słoma, łupiny i inne włókna roślinne
2	Drewno i biomasa z upraw
3	Odpady zwierzęce
4	Osady ze ścieków komunalnych
5	Odpady papiernicze i makulatura
6	Koks porafinacyjny
7	Bezpopiołowe paliwa płynne i gazowe

Maksymalny udział materiałów palnych w stosunku do ilości pyłu węglowego w stanie suchym wynosi 20%, a udział popiołu lotnego otrzymanego z materiałów współspalanych z węglem nie przekracza 10% całkowitej masy popiołu. Wymagania dla właściwości popiołów lotnych z procesu współspalania określone zostały w normie PN-EN 450-1:2009.

#### 3.2. Projekt nowej normy europejskiej PrEN 450-1 – Fly ash for concrete

W związku z tendencjami stosowania w energetyce większej ilości biomasy i innych materiałów do współspalania niż to zakłada aktualnie obowiązująca norma PN-EN 450-1:2009, została opracowana nowa wersja normy PrEN 450-1 – Fly ash for concrete. Part 1: Definition, specifications and conformity, przyjęta przez Europejski Komitet Koordynacji Norm (Comité Européen de Coordination des Normes – CEN) w lipcu 2009 r.

Według projektu tej normy popiół lotny powstający w procesie współspalania jest otrzymywany z pyłu węglowego spalanego jednocześnie z materiałami do współspalania, przy czym minimalna ilość węgla w odniesieniu do suchej masy paliwa powinna się mieścić w granicach 60–50%, natomiast ilość materiału do współspalania nie powinna przekraczać 50%. W porównaniu do aktualnie obowiązującej normy wzrosła z 10 do 30% maksymalna ilość popiołu pochodzącego z wyszczególnionych materiałów współspalanych z węglem.

## 4. Wyniki badań

### 4.1. Materiał badawczy

Do badań wykorzystano popioły lotne z krajowej energetyki zawodowej, pochodzące ze spalania węgla kamiennego z biomasą. Przy realizacji tematu szczególną pomoc uzyskano od współpracującej z Zakładem Inżynierii Materiałowej Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu firmy Renevis z Wrocławia, dzięki której udało się pozyskać popioły z przemysłowej instalacji współspalania węgla z biomasą występującą w postaci: pelet ze słomy, pelet z drewna, pelet ze słonecznika, pelet ze zboża, biomasy mieszanej ze słomy, drewna i słonecznika, pelet ze słomy z dodatkiem innych biopaliw. Procesy współspalania przeprowadzono w instalacji wyposażonej w kotły pyłowe, w temperaturze ok. 1100°C.

Na rycinie 3 przedstawiono instalację spalania biomasy w firmie Renevis.



Źródło: Archiwum Renevis Sp. z o.o.

Ryc. 3. Instalacja spalania biomasy w firmie Renevis Sp. z o.o.

## 4.2. Wyniki badań chemicznych

Badania własności chemicznych popiołów lotnych z przemysłowych instalacji współspalania węgla z biomasą przeprowadzono według PN-EN 196-2:2006. W tabeli 2 przedstawiono wyniki oznaczeń.

Tabela 2

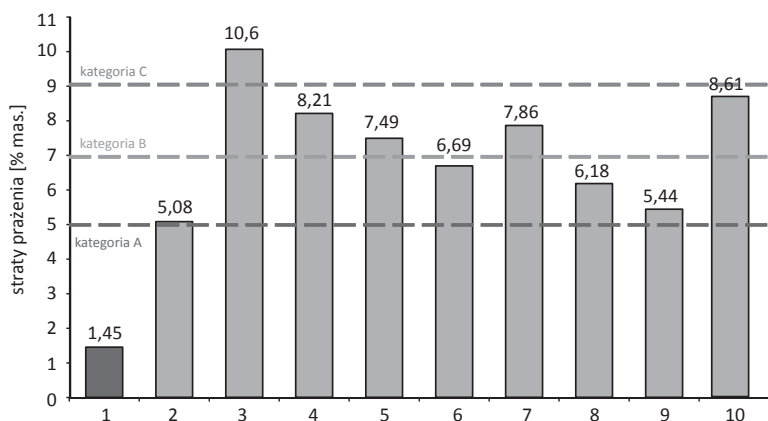
*Właściwości chemiczne badanych próbek popiołów lotnych*

Właściwość	Wyniki badań [% masy]									
	64% biomasy (pelety drzewne)	63% biomasy (pelety ze zboża)	60% biomasy (słoma)	60% biomasy (słoma z dodatkiem innych paliw)	55% biomasy (słonecznik i drewno)	55% biomasy (słoma, drewno i słonecznik)	51% biomasy (słoma z dodatkiem innych biopaliw)	49% biomasy (pelety ze zboża)	48% biomasy (słoma i drewno)	
Strata prażenia	5,08	10,06	8,21	7,49	6,69	7,86	6,18	5,44	8,61	
Chlorki	0,05	0,54	0,06	0,13	0,18	0,12	0,04	0,42	0,06	
Siarczany SO <sub>3</sub>	0,83	1,60	0,64	1,23	0,98	0,97	0,70	1,44	0,68	
Wolne CaO	0,84	0,20	0,34	0,42	0,49	0,74	0,24	0,84	0,15	
CaO	7,45	5,71	6,12	6,37	6,95	7,61	7,61	9,76	6,21	
Reaktywne SiO <sub>2</sub>	35,05	28,05	36,95	29,97	28,40	30,16	35,02	28,95	36,36	
SiO <sub>2</sub>	53,65	35,91	52,01	43,88	50,58	46,07	50,12	41,92	48,12	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,40	20,32	19,26	19,11	18,96	19,56	18,36	17,76	18,06	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,13	4,95	5,66	5,18	5,42	5,66	5,89	5,89	7,31	
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,18	61,18	76,93	68,17	74,96	71,29	74,37	65,57	73,49	
MgO	2,86	3,63	3,81	4,10	4,05	3,81	2,86	5,00	2,92	
Fosforany P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,00	81,00	84,00	92,00	4,00	12,00	22,00	4,00	21,00	
Alkalia	Na <sub>2</sub> O	1,08	1,42	1,00	1,42	1,04	0,94	1,08	0,96	1,15
	K <sub>2</sub> O	2,02	10,96	5,76	7,03	5,76	3,50	5,38	8,30	5,42
	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	2,41	8,63	4,79	6,04	4,83	3,24	4,62	6,42	4,72

Źródło: Badania własne.

W zakresie badań chemicznych dostrzega się wpływ stosowania podwyższonych ilości biomasy na wartość strat prażenia oraz zawartości chlorków, magnezu i związków alkalicznych, głównie potasu (ryc. 4–6). Zwraca uwagę także wysoka zawartość tlenku wapnia, co może świadczyć o tym, że przy znacznych ilościach udziału biomasy w procesach współspalania charakter popiołów lotnych zmienia się w kierunku popiołu wapniowego.

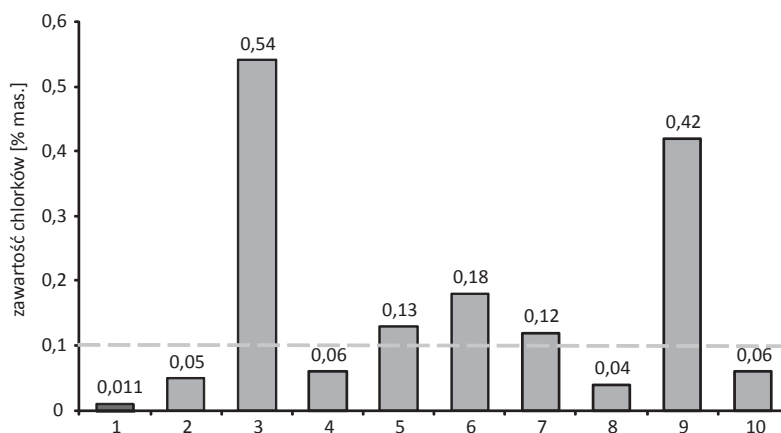
Przy podwyższonej ilości biomasy napotkano trudności w określeniu zawartości fosforanów (ryc. 7), ponieważ przy narzuconej przez normę metodzie badań niemożliwe było ustalenie odpowiedniego pH.



1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% biomasy (mieszanka 50% słomy i węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Badania własne.

Ryc. 4. Wartość straty prażenia dla popiołów lotnych ze współspalania przy różnym udziale biomasy

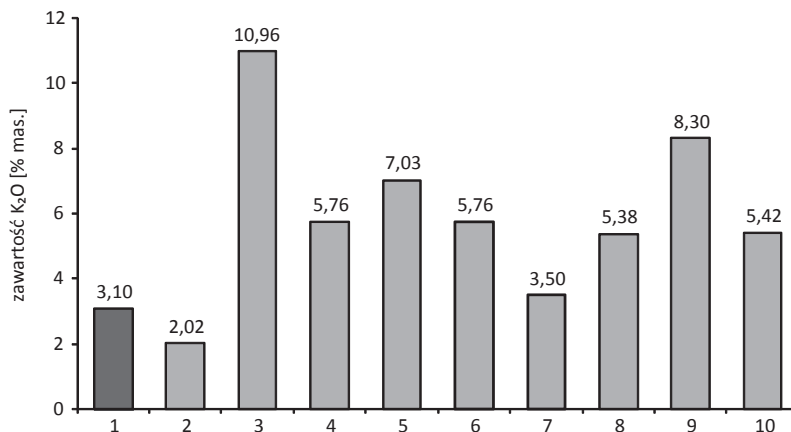


1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwo z biomasą (mieszanka 50% pelety ze słomy i węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słoma + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 5. Zawartość chlorków w badanych popiołach

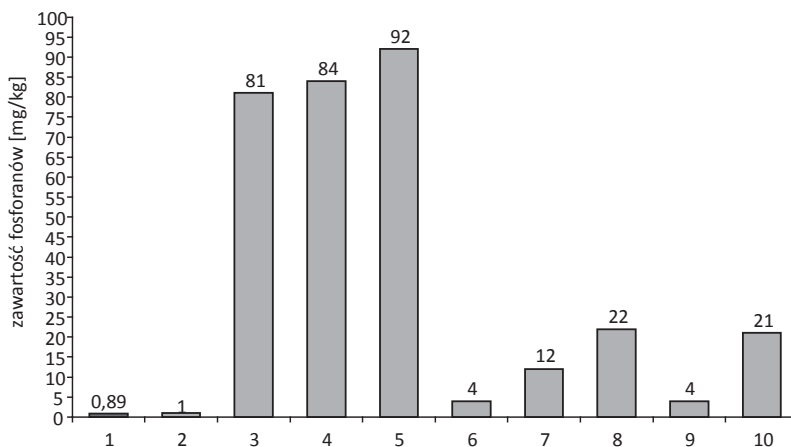




1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwo z biomasą (mieszanka 50% pelety ze słomy i węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem do biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 6. Zawartość potasu jako K<sub>2</sub>O



1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwa z biomasą (mieszanka 50% pelety ze słomy i węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 7. Zawartość fosforanów w badanych popiołach

### 4.3. Właściwości fizyczne popiołów lotnych z procesów współspalania

Właściwości fizyczne popiołów lotnych z procesów współspalania przedstawiono w tabeli 3.

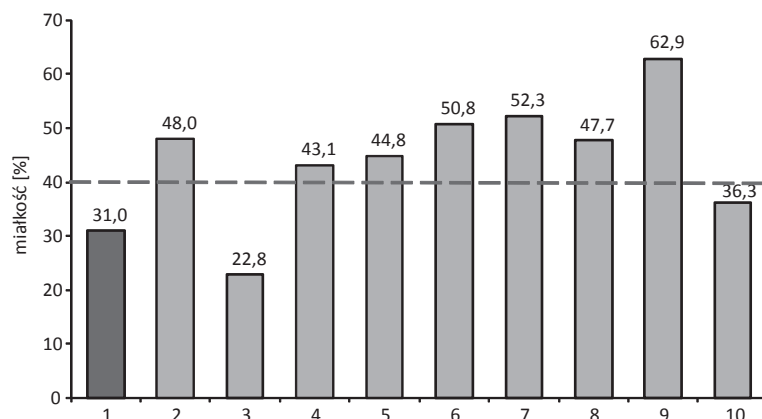
Tabela 3

Właściwości fizyczne badanych próbek popiołów

Właściwość	Wyniki badań									
	64% biomasy (pelety drzewne)	63% biomasy (pelety ze zboża)	60% biomasy (słoma)	60% biomasy (słoma z dodatkiem do biopaliw)	55% biomasy (słonecznik i drewno)	55% biomasy (słoma, drewno i słonecznik)	51% biomasy (słoma z dodatkiem do biopaliw)	49% biomasy (pelety ze zboża)	48% biomasy (słoma i drewno)	
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	2240	2310	2140	2270	2290	2220	2180	2260	2170	
Miałkość [%]	48,0	22,8	43,1	44,8	50,8	52,3	47,7	62,9	36,3	
Wskaźnik aktywności pucola-nowej [%]	po 28 dniach	80,0	103,6	81,5	89,8	86,1	79,1	84,2	86,4	84,0
	po 90 dniach	89,3	112,2	95,3	97,3	92,4	90,8	98,0	96,9	102,7
Początek wiązania [min]	330	> 480	275	390	335	350	400	350	450	

Źródło: Jak w tab. 2.

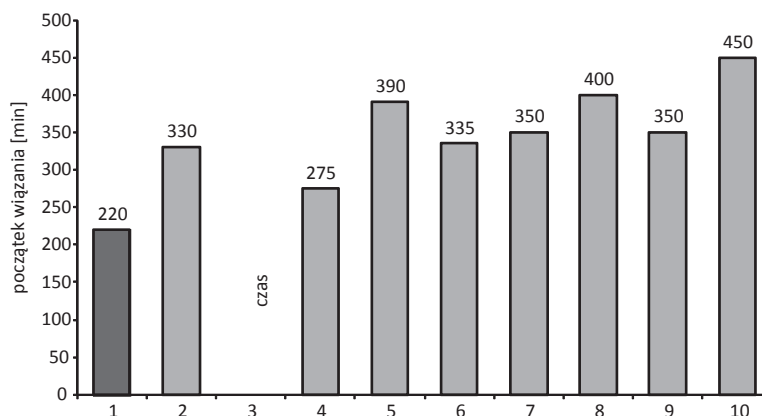
W zakresie badań fizycznych obserwuje się również wpływ stosowania podwyższonych ilości biomasy na jakość popiołów. Uwagę zwrócić należy na fakt, że jednak to nie ilość spalanej biomasy, a jej rodzaj wpływa na jakość otrzymywanych popiołów lotnych. Dostrzega się tendencje wzrostu miałkości, przekraczające dopuszczalną normami wartość (ryc. 8) oraz długie czasy wiązania (ryc. 9). Wzrost udziału biomasy powyżej 20% nie wpłynął w istotny sposób na wartość wskaźnika aktywności pucolanowej, tak po 28 dniach, jak i po 90 dniach dojrzewania. Wskaźnik aktywności pucolanowej badanych popiołów spełniał wymagania normy PN-EN 450-1 (ryc. 10 i 11). Potwierdza to dotychczasowe wyniki badań w tym zakresie [1].



1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwa z biomasą (50% pelety ze słomy + 50% węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: jak w ryc. 4.

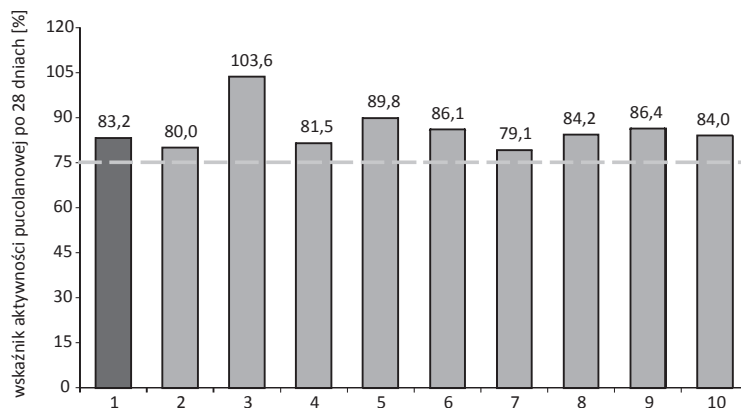
Ryc. 8. Miałkość badanych popiołów



1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwa z biomasą (50% pelety ze słomy + 50% węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Jak w ryc. 4.

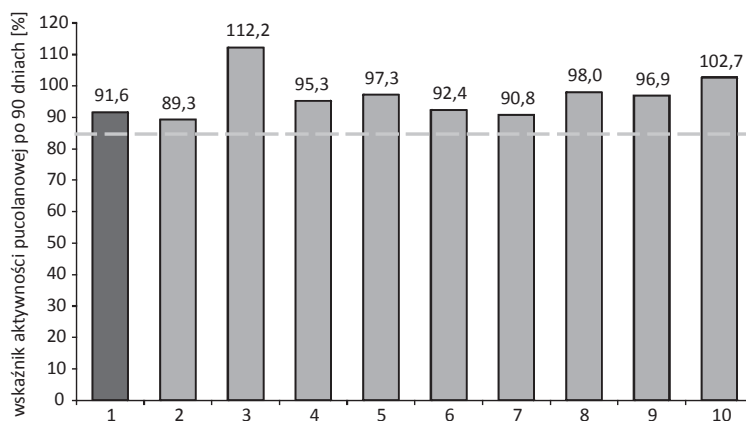
Ryc. 9. Początek wiązania dla popiołów ze współspalania wg PN-EN 450-1:2009



1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwo z biomasa (50% pelety ze słomy + 50% węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 10. Wskaznik aktywności pucolanowej po 28 dniach



1 – popiół lotny ze spalania węgla, 2 – 64% biomasy (pelety drzewne), 3 – 63% biomasy (pelety ze zboża), 4 – 60% paliwo z biomasa (50% pelety ze słomy + 50% węgla), 5 – 60% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem do biopaliw), 6 – 55% biomasy (50% słonecznika + 50% drewna), 7 – 55% biomasy (50% słomy + 30% drewna + 20% słonecznika), 8 – 51% biomasy (pelety ze słomy z dodatkiem do biopaliw), 9 – 49% biomasy (pelety ze słonecznika), 10 – 48% biomasy (70% słomy + 30% drewna).

Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 11. Wskaznik aktywności pucolanowej po 90 dniach

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazują jednoznacznie, że wprowadzanie do procesu współspalania z węglem większych ilości biomasy (bo taki materiał najczęściej jest stosowany w krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach) wywiera wpływ na jakość popiołów lotnych w świetle wymagań aktualnych norm dla popiołu lotnego jako dodatku do betonu.

W zakresie badań chemicznych dostrzega się wpływ stosowania podwyższonych ilości biomasy na zawartość reaktywnego  $\text{SiO}_2$ , alkaliów, tlenku wapnia oraz na zmienną i niekiedy wysoką zawartość chlorków. Przy tak dużej ilości biomasy, jakie zawierały badane popioły lotne, napotkano trudności w określeniu zawartości fosforanów, ponieważ przy narzuconej przez normę metodzie badań niemożliwe było ustalenie odpowiedniego pH.

Współspalanie biomasy prowadzić może do podwyższenia zawartości alkalicznych związków, w szczególności zawartości  $\text{K}_2\text{O}$ , na co zwraca uwagę wielu innych autorów [5]. Jest to szczególnie widoczne przy współspalaniu biomasy ze zboża.

Według uzyskanych wyników badań dotyczących popiołów objętych tymi analizami stosowane ilości biomasy nie spowodowały negatywnego wpływu na wartość wskaźnika aktywności pucolanowej. Dostrzega się natomiast tendencje wzrostu gęstości, może też wzrastać mialkość, przekraczając dopuszczalną normami wartość.

Uzyskane wyniki badań nie precyzują jednoznacznie kierunków zmian jakości popiołów lotnych uzyskanych przy współspalaniu zwiększonych ilości biomasy z punktu widzenia ich właściwości użytecznych. Mając jednak na uwadze, że zgodnie z założeniami rozwoju energetyki ze źródeł odnawialnych udział biomasy i innych materiałów w bilansie paliwowo-energetycznym państw Unii Europejskich będzie wzrastał, tym samym wzrośnie również ilość popiołów pochodzących ze spalania biomasy z paliwami konwencjonalnymi. Konieczne jest zatem prowadzenie dalszych badań pozwalających na ocenę wpływu stosowania podwyższonej ilości biomasy na trwałość zapraw i betonu.

Uzyskane wyniki badań już na etapie wstępnych analiz objętych tematem ukazują, że zwiększona ilość biomasy lub innych materiałów do współspalania w istotny sposób zmieniają właściwości popiołów lotnych – ich skład chemiczny oraz właściwości fizyczne. Wszystkie te zmiany powodują, że popioły ze zwiększoną ilością materiałów w procesie współspalania oddalają się swoimi właściwościami od wymagań normowych. Należy zatem szukać innych kierunków ich wykorzystania. Doświadczenie, jakie autorzy pracy posiadają, wskazują na możliwości uzyskania z udziałem takich popiołów spoiw hydraulicznych lub spoiw do sporządzania mieszanek drogowych.

## Literatura

- [1] Giergiczny E., *Popiół lotny ze współspalania jako dodatek do cementu i betonu w aspekcie wymagań normowych i środowiskowych*, [w:] *Popioły z energetyki*, red. T. Szczygielski, EKOTECH Sp. z o.o. Międzyzdroje 2007.
- [2] Niedziółka J., Zuchniarz A., Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy, Motrol 2006 – Międzynarodowa Konferencja Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa PAN, t. 8A, <http://pan-ol.lublin.pl/wydawnictwo/motrol8a/> (22.10.2012).
- [3] Celińska A., *Charakterystyka różnych gatunków upraw energetycznych w aspekcie ich wykorzystania w energetyce zawodowej*, „Polityka Energetyczna” 2009, t. 12, z. 2/1.
- [4] [www.krzysiek.informacja.pl/wspsp/biomasa3.html](http://www.krzysiek.informacja.pl/wspsp/biomasa3.html) (21.09.2012).
- [5] Sciążko 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” 2006, marzec.
- [6] Shearer C.R., Yeboah N., Kurtis K.E., Burns S.E., The Early Age Behavior of Biomass Fired and Co-fired Fly Ash in Concrete, [w:] 2011 World of Coal Ash (WOCA) Conference May 9–12, 2011 in Denver CO USA, Denver 2011, <http://www.flyash.info/> (22.10.2012).

KRYSTYNA RAJCZYK  
ELŻBIETA GIERGICZNY  
ANNA JAROCKA  
KARINA PŁACHETKA  
AGNIESZKA PAWŁOWSKA

### EFFECT OF INCREASED AMOUNTS OF BIOMASS ON THE QUALITY OF RELEASED FLY ASHES

**Keywords:** co-combustion processes, fly ash, biomass.

With reference to the tendency to make the national power industry increased of biomass amount and other materials for co-incineration with coal is an important issue to draw attention to the quality of fly ash released from co-incineration processes, in view of its use in building materials production.

The article presents the tests results of fly ashes obtained from co-incineration processes where used more materials for co-incineration with coal than is assumed in currently applicable standard PN-EN 450-1:2009. An additional trial of biomass incineration in the laboratory was carried out in order to determine the chemical and phase composition of the various types of biomass and to assess the impact of specific properties of this ash on the quality of received materials with its participation and possibly indicate the appropriate directions for its use.

The obtained results show that the use of increased amounts of biomass or other materials to co-incineration significantly changes the properties of fly ashes, its chemical composition, mineralogical and physical properties. All these changes cause that the ashes with increased amount of biomass