

Jakub POPŁAWSKI (orcid id: 0000-0002-1631-3891)

Małgorzata LELUSZ (orcid id: 0000-0003-2191-1148)

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

WPLYW POPIOŁU LOTNEGO ZE SPALANIA BIOMASY I PYŁU WĘGLOWEGO NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW O MATRYCY CEMENTOWEJ

Planowane wytyczne rządowe dotyczące zmniejszenia wpływu polskiej energetyki na środowisko są ujęte w ministerialnym planie „Polityka energetyczna Polski do 2050 r.”. W tym dokumencie jednym z wymienionych kierunków rozwoju jest upowszechnienie stosowania odnawialnych źródeł energii, w tym biomasy. Popioły powstające ze spalania węgla kamiennego są od lat z powodzeniem wykorzystywane w technologii betonu. Popioły lotne ze spalanej biomasy są nowym i nierozpoznanym materiałem. Celem badań przedstawionych w artykule było porównanie wybranych właściwości zapraw z dodatkiem popiołu powstałego podczas spalania biomasy oraz popiołu pochodzącego ze spalania węgla. Zawartość popiołów w spoiwie wynosiła 20, 40 lub 60% jego masy. Wykonano badania konsystencji i gęstości świeżej zaprawy, wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie, nasiąkliwości i gęstości stwardniałej zaprawy. Średnia różnica między wytrzymałościami na ściskanie próbek z dodatkiem popiołu lotnego z biomasy i popiołu lotnego z węgla o identycznym dozowaniu wynosiła 9%.

Słowa kluczowe: cement, popiół lotny, biomasa, zaprawa

WPROWADZENIE

Spalanie węgla kamiennego jest głównym źródłem pozyskiwania energii w Polsce. W 2015 roku wyprodukowano w naszym kraju 72 miliony ton tego surowca [1]. W projekcie dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2050 r.” planowane jest ograniczenie spalania węgla m.in. na rzecz paliw odnawialnych, w tym biomasy. Upowszechnienie tego źródła energii stwarza nowe wyzwania związane z utylizacją powstałych podczas jej spalania popiołów lotnych. Popioły powstałe podczas spalania węgla są powszechnie stosowanym dodatkiem do kompozytów cementowych. Obecne przepisy prawa nie zezwalają na stosowanie popiołów lotnych powstałych podczas spalania biomasy jako dodatku do kompozytów cementowych. Norma PN-EN 450-1:2012 dopuszcza stosowanie popiołów z konwencjonalnego spalania miazgi węglowej, zezwala na stosowanie popiołów pochodzących ze współspalania biomasy z węglem [2]. Niektóre popioły lotne z biomasy posiadają właściwości zbliżone do popiołów z węgla kamiennego [3]. Brakuje obecnie

wystarczającej ilości badań umożliwiających prawne usystematyzowanie stosowania popiołów lotnych z biomasy w przemyśle cementowym.

Popioły lotne z biomasy charakteryzują się zazwyczaj mniejszą zawartością SiO_2 oraz Al_2O_3 oraz większą zawartością tlenków alkalicznych [3, 4]. Popioły powstałe ze spalania biomasy drzewnej mają gęstość od 2,1 do 2,6 g/cm^3 . Charakteryzują się nieregularnym kształtem ziaren o dużej porowatości. Średnica ziaren wynosi nawet do 110÷150 μm [5]. Dodatek popiołów lotnych z biomasy drzewnej może opóźnić czas wiązania betonu. Dodatek 20% tej odmiany popiołów może drastycznie zmniejszyć ciekłość świeżej mieszanki [6]. Ich wpływ jest zróżnicowany na właściwości mechaniczne stwardniałych kompozytów. W badaniach Ghorpade [7] zaobserwowano brak przyrostu wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach od zaformowania przy 20% dozowaniu dodatku. W artykule Rajamma i innych [8] opisano zwiększenie wytrzymałości o 30% pomiędzy 28 i 90 dniem od zaformowania w przypadku zapraw o 20% dozowaniu popiołów z biomasy drzewnej. Przy dozowaniu 25% masowych popiołów w spoiwie zaobserwowano podobny wpływ popiołów z biomasy drzewnej na rozwój wytrzymałości na ściskanie betonów do wpływu popiołów lotnych z węgla kamiennego [9].

Celem badań było ustalenie wpływu popiołu lotnego z biomasy drzewnej i popiołu z węgla kamiennego na właściwości zapraw cementowych. Zbadano konsystencję i gęstość świeżej zaprawy, wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość i gęstość stwardniałej zaprawy.

1. MATERIAŁY, SKŁADY I METODY BADAWCZE

1.1. Materiały

Głównym składnikiem spoiw był cement CEM I 42,5R, spełniający wymagania normy PN-EN 197-1:2012. Popiół lotny ze spalania biomasy powstał podczas spalania odpadów drzewnych w piecu fluidyzacyjnym (750°C), popiół węglowy powstał podczas spalania węgla kamiennego w piecu konwencjonalnym (1150°C). Popioły pochodziły z lokalnej elektrociepłowni. Ich właściwości podano w tabeli 1. Do wykonania próbek wykorzystano piasek naturalny oraz wodę wodociągową. Bazą chemiczną użytego plastyfikatora były eter polikarboksyłowy.

Tabela 1. Właściwości popiołów lotnych

Właściwość	Popiół lotny pochodzący ze spalania	
	biomasy drzewnej	węgla kamiennego
Miałkość [%]	71,6	29,3
Wskaźnik aktywności pucolanowej po 28 dniach	71,0	72,8
Wskaźnik aktywności pucolanowej po 90 dniach	79,3	96,4
Straty prażenia [%]	3,6	12,4

1.2. Składy i wykonanie zapraw

Cement był podmieniany masowo przez popiół lotny z biomasy lub węgla kamiennego. Zawartość popiołu lotnego wynosiła 20, 40 lub 60% masy spoiwa. Współczynnik wodno-spoiwowy (w/s) wynosił 0,5. Masa plastyfikatora w składzie każdej serii była dobierana w takiej ilości, aby zapewnić zbliżony rozplływ podczas badań konsystencji świeżej zaprawy. Wykonano 6 serii zapraw z dodatkiem popiołów lotnych oraz serię kontrolną. Składy zapraw podano w tabeli 2.

Tabela 2. Składy zapraw

Kod serii	Masa składników [g]					
	Cement	Popiół lotny z		Piasek naturalny	Woda	Super-plastyfikator
		biomasy drzewnej	węgla kamiennego			
B-20%	360	90	0	1350	225	0,9
B-40%	270	180	0	1350	225	1,4
B-60%	180	270	0	1350	225	2,3
W-20%	360	0	90	1350	225	0,5
W-40%	270	0	180	1350	225	1,1
W-60%	180	0	270	1350	225	2,3
K	450	0	0	1350	225	0

Próbki zapraw zostały wykonane w postaci beleczek 4x4x16 cm według zapisów PN-EN 196-1:2016 [10]. Po rozformowaniu próbki były przechowywane w wodzie o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ do czasu badania.

1.3. Metody badawcze

Badania konsystencji przeprowadzono wg PN-EN 1015-3:2000 [11]. Badania zostały przeprowadzone na składach bez dodatku plastyfikatora, aby ustalić wpływ dodatku popiołów na rozplływ zaprawy. Badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie wykonano wg PN-EN 196-1:2016 [10]. Testy odbyły się po 7, 28 i 90 dniach od zaformowania. Nasiąkliwość masowa zaprawy została wyliczona poprzez porównanie masy zaabsorbowanej wody do masy suchej na 3 próbkach.

2. ANALIZA WYNIKÓW

2.1. Konsystencja i gęstość świeżych zapraw

Wraz ze wzrostem dozowania popiołów średnica rozplwyu świeżej zaprawy się zmniejszała. Rozplływ zapraw bez dodatku plastyfikatorów podano w tabeli 3. Różnice w rozplwywie nie były znaczące pomiędzy seriami o identycznym dozowa-

niu popiołów, ale różnym ich rodzaju. W przypadku serii o 20% dozowaniu popiołu z węgla rozptyw był o 6% mniejszy od rozptywu zaprawy kontrolnej.

Przy wzrastającym dozowaniu popiołów lotnych gęstości świeżej zaprawy nieznacznie się zmniejszała. Nie odnotowano znacznych różnic gęstości pomiędzy próbkami serii o identycznym dozowaniu dodatków - w przypadku serii B-60% i W-60% gęstość świeżej zaprawy wynosiła 1,98 g/cm³ (tab. 3).

Tabela 3. Wyniki badań konsystencji i gęstości świeżej zaprawy z dodatkiem popiołów lotnych pochodzących ze spalania biomasy lub węgla kamiennego

Kod serii	Rozptyw świeżej zaprawy		Gęstość świeżej zaprawy [g/cm ³]
	bez domieszki [mm]	z domieszką* [mm]	
B-20%	136	144	2,10
B-40%	124	150	2,07
B-60%	103	138	1,98
W-20%	142	149	2,06
W-40%	126	145	2,03
W-60%	106	142	1,98
K	145	145	2,15

* Rozptyw świeżej zaprawy wykonanej wg składów podanych w tabeli 2

2.2. Właściwości mechaniczne zapraw

Wytrzymałości na zginanie i ściskanie zbadanych zapraw zestawiono w tabeli 4. Wraz ze wzrostem dozowania dodatków zmniejszały się wytrzymałości na ściskanie oraz wytrzymałości na zginanie zapraw. Zmniejszenie wytrzymałości było porównywalne dla obu rodzajów popiołów. Wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach serii o 20% dozowaniu charakteryzowały się o około 20% mniejszą wytrzymałością od próbek kontrolnych. Wytrzymałości po 90 dniach zapraw z dodatkiem popiołów z biomasy były o około 15% mniejsze od wytrzymałości zapraw z popiołem z węgla.

Tabela 4. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie zapraw z dodatkiem popiołów lotnych pochodzących ze spalania biomasy lub węgla kamiennego

Kod serii	Wytrzymałość na zginanie [MPa]			Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		
	po 7 dniach	po 28 dniach	po 90 dniach	po 7 dniach	po 28 dniach	po 90 dniach
B-20%	5,1	8,2	8,2	28,8	40,6	48,7
B-40%	2,7	3,5	4,7	19,0	23,5	32,1
B-60%	1,2	2,3	2,3	10,5	15,9	19,2
W-20%	5,9	6,3	8,6	30,8	39,5	55,6
W-40%	5,1	5,5	9,4	19,6	29,1	37,4
W-60%	1,2	2,3	7,0	9,2	15,0	26,3
K	7,0	9,4	9,4	36,0	49,6	53,7

2.3. Nasiąkliwość i gęstość stwardniałych zapraw

Nasiąkliwość masową i gęstość stwardniałych zapraw zestawiono w tabeli 5. Nasiąkliwość próbek zaprawy z dodatkiem popiołów lotnych z biomasy była zbliżona do nasiąkliwości próbek serii kontrolnej. Nieznacznie większymi nasiąkliwościami charakteryzowały się serie z dodatkiem popiołu z węgla kamiennego. Nie zaobserwowano istotnych różnic gęstości zapraw.

Tabela 5. Wyniki badań nasiąkliwości masowej i gęstość objętościowej zapraw z dodatkiem popiołów lotnych pochodzących ze spalania biomasy lub węgla kamiennego

Kod serii	Nasiąkliwość masowa [%]	Gęstość zaprawy [g/cm ³]
B-20%	9,0	1,98
B-40%	9,5	2,11
B-60%	8,9	1,98
W-20%	9,5	1,99
W-40%	10,4	2,00
W-60%	11,1	1,95
K	8,9	2,04

WNIOSKI

Wraz ze wzrostem dozowania popiołów lotnych dochodziło do zmniejszenia konsystencji świeżej zaprawy oraz zmniejszenia gęstości świeżej zaprawy. Wzrost zawartości popiołu w spoiwie spowodował zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie. Nieznacznie mniejszą nasiąkliwością masową charakteryzowały się próbki z dodatkiem popiołów z biomasy. Średnie różnice wyników wytrzymałości na ściskanie pomiędzy seriami z dodatkiem popiołów z biomasy i popiołów węglowych wynosiły 9%. W analizowanym zakresie badań zaobserwowano 15% różnice w wytrzymałości 90-dniowej zapraw spowodowanych rodzajem popiołu.

Wraz z rozwojem krajowego prawodawstwa w kierunku dalszej promocji odnawialnych źródeł energii popioły lotne powstałe podczas spalania biomasy będą stanowić coraz istotniejszy problem ze względu na obecne warunki utylizacji. Z pewnością ten rodzaj popiołów wymaga każdorazowego ustalenia właściwości przed zastosowaniem jako dodatek do kompozytów cementowych. Przedstawione w artykule badania zachęcają do dalszej dyskusji i wysiłku naukowego nakierowanego na znalezienie dla nich zastosowania w produkcji materiałów budowlanych.

Podziękowanie

Zrealizowano w ramach pracy nr MB/WBiŚ/8/2016 oraz pracy nr S/WBiŚ/1/2016 ze środków MNiSzW.

LITERATURA

- [1] Główny Urząd Statystyczny, Rocznik statystyczny przemysłu 2015, GUS, Warszawa 2015.
- [2] Baran T., Ostrowski M., Giergiczyński Z., Wykorzystanie mieszanych popiołów lotnych z oddzielnego spalania pyłu węglowego i paliw wtórnych w produkcji spoiw wiążących, *Materiały Budowlane* 2015, 12, 37-40.
- [3] Jaworek A., Czech T., Sobczyk A.T., Krupa A., Properties of biomass vs. coal fly ashes deposited in electrostatic precipitator, *Journal of Electrostatics* 2013, 71, 165-175.
- [4] Gawlicki M., Graur Z., Ślęzak E., Popioły lotne ze spalania biomasy jako składnik spoiw drogowych, *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych* 2014, 19, 34-46.
- [5] Cheah C.B., Ramli M., The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview, *Resources, Conservation and Recycling* 2011, 55, 669-685.
- [6] Rajamma R., Senff L., Ribeiro M.J., Labrincha J.A., Ball R.J., Allen G.C., Ferreira V.M., Biomass fly ash effect on fresh and hardened state properties of cement based materials, *Composites Part B* 2015, 77, 1-9.
- [7] Ghorpade V.G., Effect of wood waste ash on the strength characteristics of concrete, *Nature Environment and Pollution Technology* 2012, 11, 121-124.
- [8] Rajamma R., Ball R.J., Tarelho L.A.C., Allen G.C., Labrincha J.A., Ferreira V.M., Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials, *Journal of Hazardous Materials* 2009, 172, 1049-1060.
- [9] Wang S., Miller A., Llamazos E., Fonseca F., Baxter L., Biomass fly ash in concrete: Mixture proportioning and mechanical properties, *Fuel* 2008, 87, 365-371.
- [10] PN-EN 196-1:2016: Metody badania cementu - Część 1: Oznaczanie wytrzymałości.
- [11] PN-EN 1015-3:2000: Metody badań zapraw do murów - Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozplywu).

THE INFLUENCE OF FLY-ASH FROM BIOMASS AND COAL COMBUSTION ON SELECTED PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES

Governmental guidelines planned to diminish of environmental impact of polish energy industry given in ministerial document “Energy policy of Poland up to 2050”. In this act one of the mentioned directions of development is popularization of renewable energy sources, biomass included. The fly-ashes from coal burning have been used in concrete industry for many years. The fly-ashes from biomass firing are a new and unstudied material. The aim of this study presented in this paper was to compare selected properties of cement mortar with the addition of biomass fly-ash or coal fly-ash. The dosage of fly-ash was 20, 40 or 60% of binder’s mass. The consistency and density tests of fresh mortar were performed. The compressive and tensile strength, water absorption and density tests were performed on hardened mortar. The mean difference in compressive strength results between samples with similar dosage of biomass fly-ash or coal fly-ash was 9%.

Keywords: cement, fly-ash, biomass, mortar