

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2017), 26 (2), 234–240
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2017), 26 (2)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2017), 26 (2), 234–240
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2017), 26 (2)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.2.22

Jakub JURA, Małgorzata ULEWICZ

Katedra Organizacji i Technologii Budownictwa, Politechnika Częstochowska
Department of Management and Construction Engineering, Czestochowa University
of Technology

Wpływ bio-popiołów na wybrane właściwości zapraw cementowych

The impact of bio-ash on the selected properties of cement mortars

Słowa kluczowe: bio-popioły, materiały odpadowe, popiół lotny
Key words: bio-ash, waste materials, fly ash

Wprowadzenie

Ciągły rozwój przemysłu, a także zwiększająca się produkcja materiałów powodują wzrost zapotrzebowania na energię. Obecnie z uwagi na ochronę środowiska naturalnego wprowadzane są coraz bardziej restrykcyjne wymagania dotyczące produkcji energii oraz jej zużycia, a także promowane są inwestycje zmniejszające wytwarzanie energii z paliw kopalnianych na rzecz większej produkcji i większego wykorzystania energii z paliw odnawialnych, tj. z biomasy. Stosowanie biomasy jest również uzasadnione z uwagi na jej dużą dostępność oraz małą emisję SO_2 podczas spalania. Roślinami najczęściej uprawia-

nymi na potrzeby energetyki są: wierzba wiciowa, trawy olbrzymie, topinambur, rzepak, słonecznik wierzbolistny. W zależności od rodzaju spalanej biomasy otrzymywane są popioły odpadowe o różnym składzie, co powoduje problemy przy próbie ich zagospodarowania. Popioły ze spalania biomasy są deponowane na składowiskach zakładowych, co stanowi także zagrożenie dla środowiska naturalnego. Obecnie podejmowane są prace badawcze celem określenia możliwości zagospodarowania tych odpadów w budownictwie poprzez ich wykorzystanie do zapraw cementowych i betonów. W ten sposób już zagospodarowywane są popioły ze spalania paliw konwencjonalnych, tj. węgla kamiennego czy brunatnego (Giergiczny, 2010; Jarema-Suchorowska i Kuczak, 2010; Brzozowski, 2011; Halbiniak, 2012; Janicka i Siemiątkowski, 2012; Małuszyń-

ska, Wodziński i Małuszyński, 2013; Zyga, 2014; Sas, Miszkowska i Głuchowski, 2015).

W niniejszej pracy zbadano możliwość zastosowania odpadowych popiołów lotnych ze spalania dwóch rodzajów biomasy (drewna z dodatkiem łupin orzecha kokosowego oraz drewna z dodatkiem słonecznika) do wytwarzania zapraw cementowych, a także określono wpływ dodatku popiołów na wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne.

Materiały i metodyka badań

Do badań wykorzystano dwa rodzaje popiołu lotnego powstałe podczas spalania biomasy w kotle fluidalnym – popioły ze spalania drewna z dodatkiem łupin orzecha kokosowego (PI) oraz drewna z dodatkiem słonecznika (PII). Dodatek łupin orzecha kokosowego oraz słonecznika wynosił 20% spalanej masy. Do badań wykorzystano frakcję o rozdrobnieniu 0,0–2,0 mm. Zastosowane popioły miały zbliżony skład chemiczny, tj.: 50–55% SiO₂, 17–25% CaO, 2–5% K₂O, Al₂O₃, MgO i Fe₂O₃ oraz śladowe

ilości innych tlenków. Wykonano próbki zaprawy normowej oraz zapraw cementowych, w których zamiast części piasku normowego zastosowano popiół lotny w ilości 10, 20 i 30% masy cementu (6 sztuk z serii na każdy rodzaj badania). Próbki wykonano z cementu CEM I 42,5R w różnych terminach, dlatego też zostały wykonane dla każdego z popiołów osobne zaprawy normowe (PKI dla popiołów PI i PKII dla popiołów PII). Belecзки o wymiarach 4 × 4 × 16 cm wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1:2006. Wyroby zostały rozformowane po 24 h, a następnie trafiły do kąpieli wodnej, gdzie przebywały przez 27 dni. Badania wytrzymałości na ściskanie oraz mrozoodporności (25 cykli zamrażania i rozmrażania) wykonano zgodnie z normami PN-EN 1015-11:2001 i PN-B-04500:1985. Ponadto po wysuszeniu próbek oznaczono nasiąkliwość zaprojektowanych zapraw cementowych.

W pierwszym etapie badań wykonano serie zapraw normowych oraz zapraw cementowych zawierających 10, 20 i 30% popiołu lotnego jako zamiennik piasku normowego. W tabelach 1 i 2 przedstawiono składy mieszanek za-

TABELA 1. Skład zaprawy normowej (PKI) oraz zapraw z dodatkiem popiołu łupin orzecha kokosowego (PI)

TABLE 1. The composition of the standardized mortar (PKI) and mortar with the ash addition of coconut shell (PI)

Skład Composition	Seria zapraw Series of mortars			
	PKI	PI1	PI2	PI3
Cement [g]	450	450	450	450
Woda / Water [cm ³]	225	225	225	225
Piasek normowy / Standardized sand [g]	1350	1305	1260	1215
Popiół lotny / Fly ash PI [g]	0	45	90	135
Udział popiołu lotnego w masie cementu Share of fly ash to cement [%]	0	10	20	30

TABELA 2. Skład zaprawy normowej (PKII) oraz zapraw z dodatkiem popiołu ze słonecznika (PII)
 TABLE 2. The composition of the standardized mortar (PKII) and mortar with the ash addition of helianthus (PII)

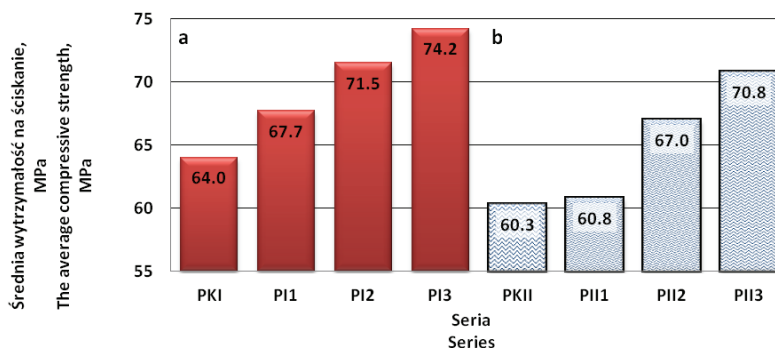
Skład Composition	Seria zapraw / Series of mortars			
	PKII	PII1	PII2	PII3
Cement [g]	450	450	450	450
Woda / Water [cm ³]	225	225	225	225
Piasek normowy / Standardized sand [g]	1350	1305	1260	1215
Popiół lotny / Fly ash PII [g]	0	45	90	135
Udział popiołu lotnego w masie cementu Share of fly ash to cement [%]	0	10	20	30

praw cementowych z wykorzystaniem popiołów. Z powodu różnej gęstości piasku normowego oraz zastępującego go popiołu zmieniła się w nieznacznym stopniu także objętość zarobu i proporcje składników, jednak jest to wstępna faza badań dla określenia możliwości wykorzystania takiego popiołu w zaprawach cementowych i jego wpływu na właściwości całości masy.

Wyniki badań

W pierwszym etapie badań określono średnią wytrzymałość na ściskanie zapraw normowych oraz zapraw z dodatkiem popiołów lotnych (rys. 1). Jak

wynika z danych uzyskanych z badań, zaprawy z dodatkiem obu popiołów uzyskały większe średnie wartości wytrzymałości na ściskanie niż zaprawy normowe. Wytrzymałość na ściskanie rosła wraz ze wzrostem ilości popiołu lotnego. Największe wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskały próbki zapraw zawierających popioły lotne w ilości 30% masy cementu jako zamiennik piasku normowego. Zastosowanie dodatku popiołu lotnego PI oraz PII pozwoliło na wzrost wytrzymałości na ściskanie odpowiednio o około 1 i 6% (dla próbek z dodatkiem popiołu 10%), 11 i 12% (z 20%) oraz 17 i 16% (z 30%) w porównaniu z zaprawami normowymi. Odchy-



RYSUNEK 1. Średnia wytrzymałość na ściskanie zapraw: a – z popiołem PI; b – z popiołem PII
 FIGURE 1. The average compressive strength of the mortar: a – with PI ash; b – with PII ash

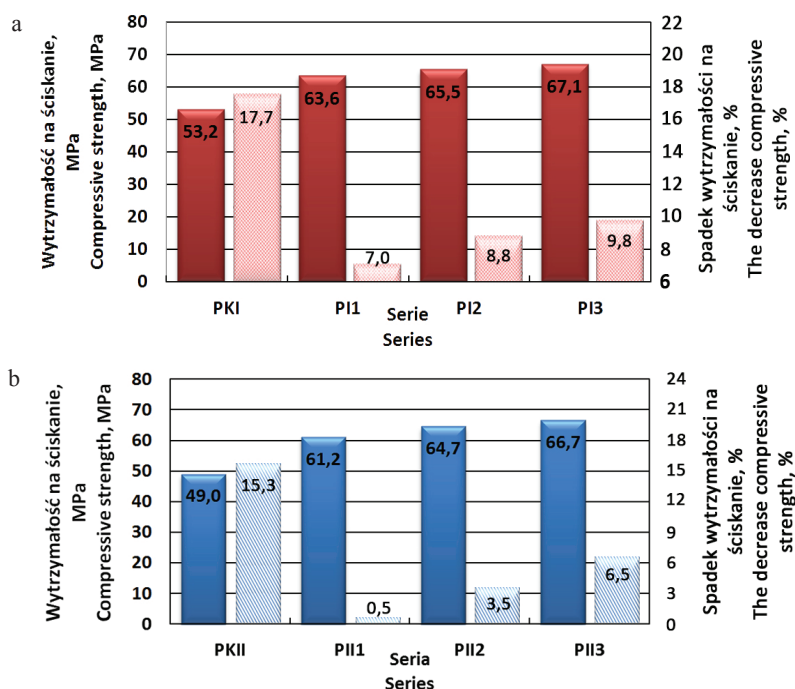
lenie standardowe próbek wytrzymałości na ściskanie wyniosło 0,9–2,2.

Następnie wykonano badania mrozoodporności. Jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 2, średnie wartości wytrzymałości na ściskanie oraz spadek wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodpornościowych zmieniają się analogicznie dla zapraw z dodatkiem obu badanych popiołów. Spadek wytrzymałości dla próbek normowych wyniósł 15–17%. Najmniejsze spadki wytrzymałości na ściskanie uzyskały zaprawy z dodatkiem popiołu PII. Zauważyć jednak można, że zarówno dla zapraw z zastosowaniem popiołu PI, jak i PII najmniejszy spadek wytrzymałości mają próbki z dodatkiem 10%. Spadek ten zwiększa się wraz ze wzrostem ilości popiołu. Odchylenie standardowe spadku

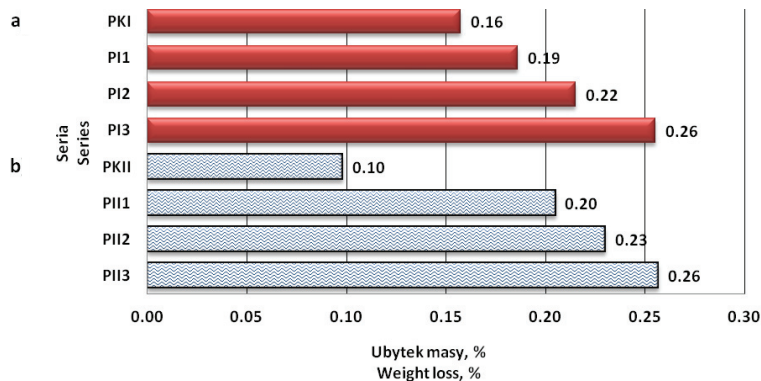
wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w zależności od próbek wynosiło 0,5–1,5 dla zapraw z popiołami i 1,8–2,2 dla zapraw normowych.

Zastosowanie popiołów lotnych miało również wpływ na ubytek masy po badaniach mrozoodporności (rys. 3). Najmniejsze ubytki masy wykazywały próbki zapraw normowych (0,10 i 0,16%). Zwiększały się one nieznacznie wraz ze wzrostem zawartości popiołu w zaprawach (0,19–0,26%).

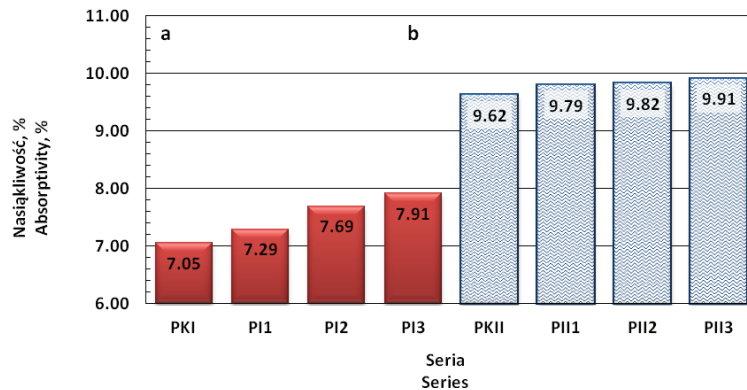
Wykorzystanie popiołów odpadowych wpływa także na nasiąkliwość zapraw cementowych (rys. 4). Najmniejszą nasiąkliwość wykazywały zaprawy normowe, a wzrost ilości zastosowanych popiołów ze spalania biomasy spowodował zwiększanie nasiąkliwości o około 1% dla zapraw z popiołem PI oraz o oko-



RYSUNEK 2. Wyniki po badaniach mrozoodporności dla zapraw: a – z popiołem PI; b – z popiołem PII
 FIGURE 2. The frost resistance tests results for mortars: a – with PI ash; b – with PII ash



RYSUNEK 3. Ubytek masy po badaniach mrozoodporności dla zapraw: a – z popiołem PI; b – z popiołem PII
 FIGURE 3. Weight loss after frost resistance tests for mortars: a – with PI ash; b – with PII ash



RYSUNEK 4. Nasiąkliwość zapraw: a – z popiołem PI; b – z popiołem PII
 FIGURE 4. Absorptivity mortars: a – with PI ash; b – with PII ash

ło 0,3% z popiołem PII. Zastosowanie popiołów wpłynęło również na niewielkie pogorszenie urabialności wykonywanych zapraw cementowych. Zmodyfikowanie składu zapraw cementowych poprzez dodanie popiołów wpłynęło również pozytywnie na wczesną wytrzymałość na ściskanie. Wszystkie próbki z popiołami PI i PII po 2 i 7 dniach miały większą wytrzymałość na ściskanie niż zaprawa normowa. Nie został stwierdzony wpływ dodatków na skurcz próbek.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wykazują, że użycie w zaprawach cementowych odpadowych popiołów lotnych ze spalania biomasy w kotłach fluidalnych wpływa korzystnie na wybrane właściwości mechaniczne badanych zapraw. Zaprawy posiadające w swoim składzie popioły ze spalania biomasy drzewnej z dodatkiem łupin orzecha kokosowego oraz biomasy drzewnej z dodatkiem słonecznika uży-

skiwały większe wartości wytrzymałości na ściskanie w porównaniu z zaprawami normowymi. Zastosowanie popiołów ze spalania biomasy bardzo pozytywnie wpłynęło na ograniczenie spadku wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności. Zawartość 10% popiołów lotnych PI i PII w zaprawach zmniejsza spadek wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności odpowiednio z 17 do 7% oraz z 15 do 0,5%, jednocześnie nieznacznie zwiększając ubytek masy próbek. Wykorzystanie popiołu lotnego wpłynęło także na nieznaczne zwiększenie nasiąkliwości zapraw cementowych. Wykonane badania wykazały możliwości wykorzystania popiołów lotnych ze spalania biomasy do modyfikacji składu mieszanek zapraw cementowych, jednak należy zwrócić jednocześnie uwagę na możliwość wpływu dodatków na inne cechy i właściwości, np. na urabialność. Autorom nie są znane pozycje literaturowe podejmujące tematykę wykorzystania wyłącznie popiołów ze spalania biomasy w mieszanekach zapraw cementowych. Z uwagi na to ciężko jest skonfrontować uzyskane wyniki. Pozostałe badania prowadzone przez autorów potwierdzają natomiast te przedstawione w publikacji.

Literatura

- Brzozowski, P. (2011). Możliwości wykorzystania popiołów lotnych ze spalania w kotłach fluidalnych do betonów układanych pod wodą. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 2, 1-11.
- Giergiczny, Z. (2010). Właściwości popiołu lotnego a trwałość betonu. *Budownictwa – Technologia – Architektura*, lipiec – wrzesień, 44-48.

- Halbiniak, J. (2012). Projektowanie składu betonów z dodatkiem popiołów lotnych oraz ich wpływ na tempo przyrostu wytrzymałości. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2(10), 29-36.
- Janecka, L. i Siemiątkowski, G. (2012). Odpady denne z kotłów fluidalnych – charakterystyka fizykochemiczna, ocena zagrożenia dla środowiska i możliwości zagospodarowania w produkcji klinkieru portlandzkiego. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, 5, 89-101.
- Jarema-Suchorowska, S. i Kuczak, B. (2010). Właściwości popiołów z kotłów fluidalnych w energetyce w aspekcie warunków gospodarczego wykorzystania tych odpadów. *Energetyka*, 1, 39-43.
- Małuszyńska, I., Wodziński, M. i Małuszyński, M.J. (2013). Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych. Możliwości i ograniczenia. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 22(4), 487-497.
- PN-B-04500:1985. *Zaprawy budowlane. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych.*
- PN-EN 196-1:2006. *Metody badania cementu. Część 1. Oznaczanie wytrzymałości.*
- PN-EN 1015-11:2001. *Metody badań zapraw do murów. Część 11. Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy.*
- Sas, W., Miskowska, A. i Głuchowski, A. (2015). Wpływ podatności destruktu betonowego na kruszenie oraz zmiany jego właściwości fizycznych i mechanicznych. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 24(1), 40-53.
- Zyga, A. (2014). Współspalanie jako metoda konwersji biomasy. W: *Nowoczesna energetyka Europy Środkowo-Wschodniej* (s. 1-28). Pobrano z lokalizacji: <http://kne.itc.pw.edu.pl/attachments/article/154/Agnieszka%20Zyga.pdf>.

Streszczenie

Wpływ bio-popiołów na wybrane właściwości zapraw cementowych. W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania popiołu lotnego ze spalania dwóch rodzajów

biomasy w kotle fluidalnym do modyfikacji składu zapraw cementowych. Określono wpływ wykorzystania popiołów lotnych na ich właściwości mechaniczne i fizyczne (wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność, nasiąkliwość) zapraw. W badaniach część piasku normowego zastąpiona została popiołami lotnymi ze spalania drewna z dodatkiem łupin orzecha kokosowego oraz drewna z dodatkiem słonecznika w ilości 10, 20 i 30% masy cementu.

Dodatek popiołu wpłynął, w zależności od składu, na zwiększenie wytrzymałości na ściskanie nawet o ponad 17%, zmniejszenie spadku wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności do wartości 0,5%, a także nieznaczne wzrosty ubytku masy i nasiąkliwości.

Summary

The impact of bio-ash on the selected properties of cement mortars. Paper presents the possibility of using fly ash from the combustion of two types biomass

in fluidized bed boiler to modifications cement mortars composition. The influence of the use of ashes on their mechanical and physical properties (compressive strength, frost resistance, water absorption) of cement mortars. In research part of standardized sand was replaced by fly ash from the combustion of wood with coconut husks and wood with sunflower in the amount of 10, 20 and 30% by weight of cement. The addition of ash, depending on the composition, increase the compressive strength about 17%, decrease a reduction compressive strength after frost resistance tests to 0.5% and slightly increases weight loss and absorbency.

Authors' address:

Jakub Jura, Małgorzata Ulewicz
Politechnika Częstochowska
Wydział Budownictwa
Katedra Organizacji i Technologii Budownictwa
ul. Akademicka 3
42-201 Częstochowa, Poland
e-mail: jura@bud.pcz.czest.pl
ulewicz@bud.pcz.czest.pl