

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (3), 348–354
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (3)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (3), 348–354
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (3)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.3.34

Jakub JURA, Małgorzata ULEWICZ

Wydział Budownictwa, Politechnika Częstochowska
Faculty of Civil Engineering, Czestochowa University of Technology

Zastosowanie popiołu lotnego i szkła kineskopowego w zaprawach cementowych

Application of fly ash and CRT glass waste in cement mortars

Słowa kluczowe: popiół lotny, stłuczka szklana CRT, biomasa, zaprawy cementowe

Key words: fly ash, CRT glass cullet, biomass, cement mortars

Wprowadzenie

Gospodarka zużywa duże ilości surowców naturalnych oraz energii, wytwarzając przy tym wiele odpadów. Znaczna ilość wytwarzanych odpadów jest obecnie deponowana na składowiskach, chociaż systematycznie poszukuje się technologii ich zagospodarowania. Odpadem, który nie ma praktycznego zastosowania, jest popiół lotny ze spalania biomasy. Materiał ten jest deponowany na składowiskach odpadów, gdyż w zależności od rodzaju spalanej biomasy otrzymywane są lotne i denne popioły odpadowe o innym składzie chemicznym, co ogranicza możliwości jego zagospodarowania. Odpadem bez praktycznego zastosowania jest także stłuczka szkła

kineskopowego CRT (ang. *cathode ray tube*), charakteryzująca się zmiennym składem chemicznym w zależności od rodzaju odbiornika oraz roku jego produkcji. Duża zawartość (11–24%) tlenku ołowiu w tym materiale powoduje, że odpadowe szkło CRT jest szczególnie niebezpieczne dla środowiska i stanowi poważniejszy problem ekologiczny na całym świecie. Możliwym sposobem zagospodarowania tych odpadów w budownictwie jest wykorzystanie ich w zaprawach cementowych i betonach.

Jak wynika z przeglądu literatury, do syntezy materiałów budowlanych o matrycy cementowej mogą być wykorzystywane popioły ze spalania paliw konwencjonalnych, tj. węgiel kamienny czy brunatny (Brylicki i Łagosz, 1999; Bapat, 2001; Giergiczny, 2007; Biernat, 2010; Jarema-Suchorowska i Kuczak, 2010; Halbiniak, 2012; Langier i Pietrzak, 2016), oraz odpady tworzyw polimerowych (Albano, 2009; Mounanga,

2008). Podjęto także pierwsze badania z zakresu zastosowania popiołów lotnych ze spalania samej biomasy (Jura i Ulewicz, 2017), których kontynuowane pozwoli określić możliwości ich praktycznego wykorzystania, a także stłuczki szklanej (Najduchowska, Różycka i Rolka, 2014; Pabiś, Baran i Rolka 2016; Krysiński, 2017). W niniejszym pracy badano wpływ stosowania popiołów lotnych z biomasy oraz odpadów szkła kineskopowego na właściwości fizyczne i mechaniczne zapraw cementowych. Zbadano możliwość zastosowania każdego z tych odpadów oraz ich mieszanki w celu poprawy parametrów zaprawy oraz wykorzystania odpadów. Sprawdzone także, czy jednoczesne zastosowanie tych dwóch odpadów będzie miało negatywny wpływ na wyniki powstałych zapraw cementowych.

Materialy, metodyka i przebieg badań

Do badań wykorzystano stłuczke szkła kineskopowego (CRT) oraz popiół lotny powstały podczas spalania biomasy w kotle fluidalnym. Skład chemiczny tych odpadów przedstawiono w tabeli 1. Ponadto do badań użyto cementu CEM

I 42,5 R (CEMEX), piasku normowego (KWARCMIX zgodnego z normą PN-EN 196-1:2016) oraz wody z ujęcia Miasto Częstochowa o pH 7,7 oraz zawartości Cl^- 31 $mg \cdot m^{-3}$ i $NO_3^- = 37 mg \cdot dm^{-3}$.

Wykonane zostały próbki zaprawy normowej (Z0) oraz zapraw cementowych, w których część piasku normowego zastąpiono materiałami odpadowymi w ilościach 10, 20 i 30% masy cementu jako zamiennik części piasku normowego. Przygotowane zostały zaprawy z dodatkiem popiołu lotnego (ZP), stłuczki szklanej (ZS) oraz ich mieszanki w 50 : 50 (ZPS). Składy zapraw cementowych przedstawiono w tabeli 2.

Belecзки o wymiarach $4 \times 4 \times 16$ cm wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1:2016. Następnie po 24 h zostały one rozformowane i trafiły do kąpielii wodnej do czasu wykonywania badań. Po 28 dniach dojrzewania wykonano badania wytrzymałości na ściskanie zgodnie normami PN-EN 1015-11:2001 i PN-B-06265:2004, w których próbki poddano 25 cyklom zamrażania i rozmrażania. Ponadto na kolejnych próbkach, po ich wysuszeniu, oznaczono nasiąkliwość zapraw według normy PN-B-04500:1985. Do każdego z przeprowadzonych badań zastosowano po 6 próbek z każdej serii zapraw.

TABELA 1. Skład chemiczny badanych odpadów
TABLE 1. Chemical composition of the investigated waste

Odpad Waste	Związek chemiczny Compound [%]										
	SiO ₂	CaO	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	PbO	SrO	BaO	ZrO ₂	Inne
Popiół lotny Fly ash	86,94	3,42	3,8	2,21	0,21	0,11	0,01	0,02	0,03	0,04	2,51
Stłuczka CRT CRT cullet	60,36	0,81	4,05	1,52	5,64	0,56	11,6	5,23	3,83	1,15	6,04

TABELA 2. Skład badanych zapraw cementowych
 TABLE 2. The composition of the investigated cement mortars

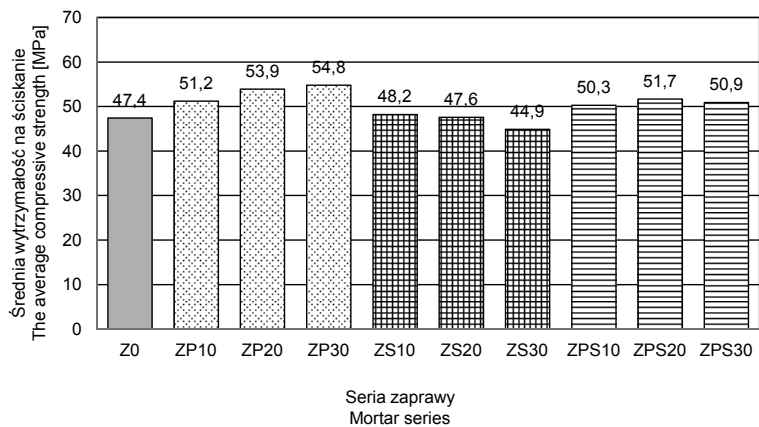
Składnik Component	Seria Series									
	Z0	ZP10	ZP20	ZP30	ZS10	ZS20	ZS30	ZPS10	ZPS20	ZPS30
Cement Cement [g]	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0	450,0
Piasek normowy Standard sand [g]	1350,0	1299,3	1249,5	1197,8	1305,0	1260,0	1215,0	1302,2	1254,8	1206,4
Woda Water [cm ³]	225,0	225,0	225,0	225,0	225,0	225,0	225,0	225,0	225,0	225,0
Popiół lotny Fly ash [g]	0,0	45,0	90,0	135,0	–	–	–	22,5	45,0	67,5
Stłuczka CRT CRT cullet [g]	–	–	–	–	45,0	90,0	135,0	22,5	45,0	67,5

Wyniki badań i ich dyskusja

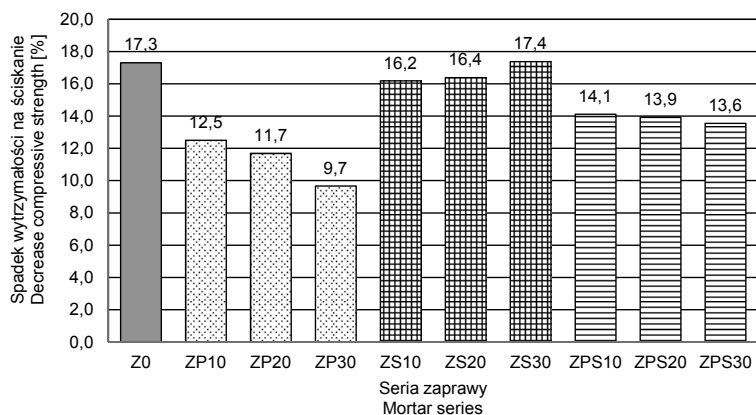
Zastosowanie dodatku popiołu lotnego wpłynęło na nieznaczne zagęszczenie mieszanki zapraw cementowych. Po normowym czasie 28 dni dojrzewania wykonano badania wytrzymałości na ściskanie próbek. Próbka kontrolna zaprawy normowej uzyskała wytrzymałość na ściskanie równą 47,4 MPa. Zastąpienie części piasku normowego popiołem lotnym spowodowało wzrost wytrzymałości na ściskanie wszystkich serii badanych zapraw. Największy wzrost (o 15%) względem zaprawy normowej uzyskały zaprawy zawierające dodatek 30% popiołu lotnego. W przypadku stłuczki szklanej dodatek jej w ilości 10% spowodował nieznaczny wzrost wytrzymałości, a próbki zawierające 20% stłuczki uzyskały wyniki zbliżone do zaprawy normowej. Zastosowanie dodatku 30% jednak powodowało spadek wytrzymałości na ściskanie

o ponad 5%. Zastosowanie mieszanki popiołu lotnego i stłuczki szklanej w 50 : 50 natomiast spowodowało niewielki wzrost średniej wytrzymałości na ściskanie badanych zapraw, jednak nie tak duży jak w przypadku użycia samego popiołu (rys. 1).

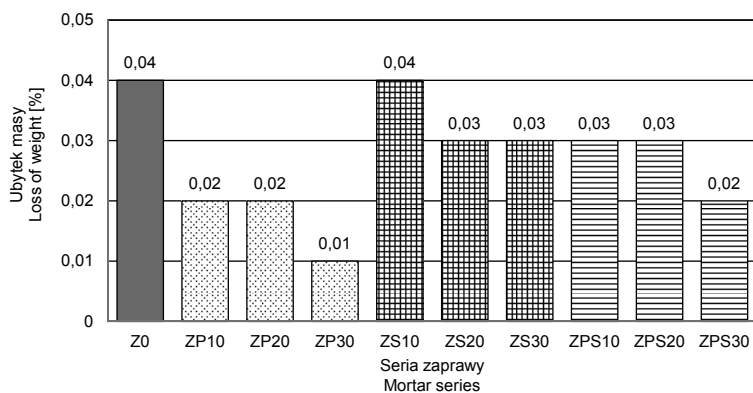
Wykonano także badania mrozodporności (rys. 2 i 3) syntezowanych zapraw. Spadek wytrzymałości na ściskanie zaprawy normowej wyniósł ponad 17%. Zastosowanie dodatku popiołu lotnego wpłynęło na zmniejszenie spadku tej wytrzymałości. Najkorzystniejsze wyniki (spadek wytrzymałości o ok. 10%) miały próbki z dodatkiem 30% popiołu. Obecność w zaprawie stłuczki szklanej pozwoliło na uzyskanie wartości zbliżonych do zaprawy normowej (16,2–17,4%). Zaprawy z mieszaniną popiołu lotnego i stłuczki CRT wykazały spadki wytrzymałości na ściskanie zbliżone do 14%, czyli nieznacznie mniejsze od próbek kontrolnych. Ubytek masy



RYSUNEK 1. Średnia wytrzymałość na ściskanie badanych zapraw cementowych
 FIGURE 1. The average compressive strength of the investigated cement mortars



RYSUNEK 2. Spadek wytrzymałości na ściskanie zapraw po badaniach mrozoodporności
 FIGURE 2. Decrease compressive strength of the cement mortars after frost resistance tests

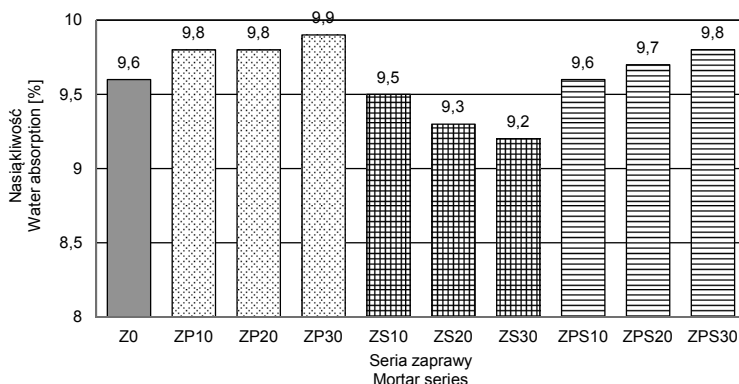


RYSUNEK 3. Ubytek masy próbek zapraw po badaniach mrozoodporności
 FIGURE 3. Loss of weight of the cement mortars after frost resistance tests

we wszystkich badanych próbkach był niewielki.

Następnie próbki zapraw zostały zważone i wysuszone do stałej masy. Pozwoliło to na obliczenie nasiąkliwości badanych zapraw cementowych (rys. 4). Nasiąkliwość zaprawy normowej wyniosła około 9,5%, a zastosowanie odpadów w znaczny sposób wpływała na ich nasiąkliwość. Dodanie do zaprawy cementowej popiołu lotnego spowodowało wzrost nasiąkliwości, a zastąpienie części piasku normowego stłuczka szklaną powodowało jej spadek. Użycie mieszanki popiołu lotnego ze stłuczka szklaną spowodowało nieznaczny wzrost nasiąkliwości.

ściskanie w porównaniu z zaprawą normową oraz mniejszy spadek wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności. Największą wytrzymałość na ściskanie uzyskały zaprawy zawierające 30% popiołu lotnego i zaprawy zawierające 10% stłuczki szklanej. Wpływ na poprawę parametrów wytrzymałościowych zapraw z popiołem lotnym może mieć drobniejsza od piasku granulacja, co pozwala na uzyskanie dużo szczelniejszego stosu okruszowego kruszyw. Przeprowadzone badania pozwoliły potwierdzić, że popioły lotne ze spalania biomasy tak jak w przypadku popiołów lotnych z paliw konwencjonalnych mogą pozytywnie wpływać na właściwości



RYSUNEK 4. Nasiąkliwość zapraw cementowych
FIGURE 4. Water absorption of cement mortars

Wnioski

Uzyskane wyniki badań wykazują, że użycie w zaprawach cementowych popiołu lotnego ze spalania biomasy oraz stłuczki szklanej CRT może wpływać korzystnie na ich badane właściwości mechaniczne. Zaprawy cementowe zawierające materiały odpadowe uzyskiwały większe wartości wytrzymałości na

kompozytów o matrycy cementowej. W dalszej części pracy naukowej prowadzone będą także badania określające inne właściwości zapraw cementowych.

Literatura

Albano, C., Camacho N., Hernández, M., Mathesus, A. i Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles

- on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707-2716.
- Bapat, J. (2001). Performance of cement concrete with mineral admixtures. *Advances in Cement Research*, 13(4), 139-155.
- Biernat, K. (2010). Rozwój technologii wytwarzania biopaliw. *Czysta Energia*, 11, 33-36.
- Brylicki, W. i Łagosz, A. (1999). Odpady z fluidalnego spalania paliw jako surowce hydrauliczno-pucolanowe do produkcji spoiw mineralnych. *Cement Wapno Beton*, 1, 21-23.
- Giergiczny, Z. (2007). Właściwości popiołu lotnego a trwałość betonu. *Budownictwo – Technologie – Architektura*, 39, 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.
- 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.
- Jura, J. i Ulewicz, M. (2017). Wpływ dodatku popiołu dennego ze spalania biomasy na wybrane właściwości zapraw cementowych. *Materiały Budowlane*, 5, 77-78.
- Krysiński, D. (2017). Stłuczka szklana w cementach. Jak wykorzystać odpady szklane w gospodarce o obiegu zamkniętym? *Świat Szkl*, 12, 34-37.
- Langier, B. i Pietrzak, A. (2016). Innovative cement used in concrete technology. *Construction of Optimized Energy Potential*, 1(17), 41-46.
- Mounanga, P., Gbongbon, W., Poullain, P. i Turcry, P. (2008). Proportioning and characterization of light weight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement and Concrete Composites*, 30, 806-814.
- Najduchowska, M., Pabiś, E., Baran, T. i Rolka, G. (2016). Właściwości betonu z zastosowaniem stłuczki szklanej. W *IX Konferencja „Dni betonu 2016”*. (poster). Warszawa: Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych.
- Najduchowska, M., Różycka, K. i Rolka G. (2014). Ocena możliwości wykorzystania stłuczki szklanej w przemyśle budowlanym w aspekcie jej wpływu na środowisko naturalne. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, 7(17), 46 - 56.
- PN-B-06265:2004. Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- PN-B-04500:1985. Zaprawy budowlane. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych.
- PN-EN 196-1:2016-07. Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości.
- PN-EN 196-2:2006. Metody badania cementu. Część 2: Analiza chemiczna cementu.
- PN-EN 196-3:2006. Metody badania cementu. Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości.
- PN-EN 1015-11:2001. Metody badań zapraw do murów. Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy.
- PD CEN/TR 196-4:2007. Methods of testing cement. Quantitative determination of constituents.

Streszczenie

Zastosowanie popiołu lotnego i szkła kineskopowego w zaprawach cementowych. W artykule określono wpływ dodatku odpadów popiołu lotnego ze spalania biomasy, szkła kineskopowego (CRT) oraz mieszaniny popiołu lotnego i szkła CRT w 50 : 50 na wybrane parametry fizyczne i mechaniczne zapraw cementowych. Wykonano próbki zaprawy normowej oraz zapraw cementowych, w których za część piasku normowego zastosowano materiały odpadowe w ilościach 10, 20 i 30% masy cementu. Próbkę zostały wykonane z cementu CEM I 42,5 R. Zaprawy mające w składzie dodatek popiołu lotnego wykazywały zwiększoną wytrzymałość na ściskanie oraz mniejszy spadek wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w porównaniu z zaprawą normową. Największą wytrzymałość na ściskanie dla zapraw z popiołem lotnym uzyskały próbki zawierające 30% tego odpadu. Największą wytrzymałość na ściskanie zapraw z dodatkiem stłuczki CRT uzyskano przez zastosowanie odpadu w ilości 10%.

Użycie mieszaniny tych dwóch materiałów spowodowało największy wzrost wytrzymałości przy wykorzystaniu odpadu w ilości 20% masy cementu.

Summary

Application of fly ash and CRT glass waste in cement mortars. The article presents the results of research aimed at using glass waste and ash from biomass. The tests were carried out for cement mortars samples with using glass cullet, ash from biomass and using both wastes in 50 : 50 proportions. The physical and mechanical properties of the standard mortar and modified mortars were tested. Standard mortar and cement mortar samples were made in which 10, 20 and 30% of the cement mass was used as part of the standard sand. The samples were made of

CEM I 42.5 R. Mortars containing fly ash addition had an increased compressive strength and a smaller drop in compressive strength after frost resistance tests than standard mortar. The use of glass cullet in the amount of up to 20% did not reveal any changes in the mechanical properties of mortars, but using them in a larger amount resulted in unfavorable results. The use of a mixture of these two waste materials did not improve the results. The research has shown the possibility of using this waste to modify cement mortars.

Authors' address:

Jakub Jura, Małgorzata Ulewicz
Politechnika Częstochowska
Wydział Budownictwa
ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa
Poland
e-mail: jura@bud.pcz.czest.pl