



Wykorzystanie odpadów ceramiki użytkowej i sanitarnej w zaprawach cementowych

JAKUB JURA, JACEK HALBINIAK, MałGORZATA ULEWICZ*

Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-201 Częstochowa, Poland,
*e-mail: ulewicz@bud.pcz.czest.pl

Streszczenie

Obecnie odpady powstające podczas produkcji donic i osłon nie mają praktycznego zastosowania. Dlatego w niniejszej pracy przedstawiono wstępne wyniki badań wykorzystania tego tych odpadów ceramiki użytkowej bezpośrednio lub w połączeniu z odpadami ceramiki sanitarnej do wytwarzania zapraw ceramicznych wykonanych zgodnie z normą PN-EN196-1. Skład chemiczny badanych materiałów odpadowych oznaczono przy użyciu fluorescencji rentgenowskiej. Określono wpływ dodatku odpadów ceramiki użytkowej oraz dodatku mieszaniny ceramiki użytkowej i sanitarnej (w stosunku 50:50), stosowanych zarówno jako zamiennik cementu, jak i jako zamiennik kruszywa naturalnego, na wybrane cechy zaprawy cementowej wykonanej z zastosowaniem cementu CEM I 42,5 R. Charakterystykę zapraw cementowych z dodatkiem odpadów ceramicznych o uziarnieniu poniżej 0,03 mm oparto na badaniach mikroskopowych (analiza SEM z EDS) oraz na ocenie parametrów mechanicznych i fizycznych, tj. wytrzymałość na ściskanie oraz mrozoodporność. Uzyskane wyniki wykazały, że zaprawy cementowe, w których odpadami z ceramiki użytkowej zastąpiono odpowiednio 15% cementu oraz 15% kruszywa naturalnego wykazują wyższą (o ok. 5,1%) wytrzymałość na ściskanie w porównaniu z konwencjonalną zaprawą normową. Wytrzymałość zbliżoną (70,0 MPa) do zaprawy normowej (70,3 MPa) uzyskały natomiast próbki, w których cement został zastąpiony w 15% przez mieszaninę odpadów ceramiki użytkowej i sanitarnej w proporcjach 50/50. Natomiast zaprawy cementowe, w których 15% kruszywa naturalnego zastąpiono mieszaniną odpadów ceramiki użytkowej i sanitarnej wykazały najniższą (66,0 MPa) wytrzymałość na ściskanie. Badania mrozoodporności (150 cykli zamrożeń i rozmrożeń) największy spadek wytrzymałości na ściskanie (ponad 25%) wykazały w przypadku zapraw cementowych, w których użyto ceramiki użytkowej zamiast cementu. Natomiast najmniejszy spadek wytrzymałości (ok. 8%) wykazały zaprawy cementowe, w których 15% kruszywa zostało zastąpionych mieszaniną obu odpadów.

Słowa kluczowe: zaprawa cementowa, odpady ceramiczne, recykling, wytrzymałość na ściskanie

APPLICATION OF UTILITARIAN AND SANITARY CERAMICS WASTE IN CEMENT MORTARS

Currently, ceramic wastes from the production of ceramic flower pots and covers are not used in any form. Therefore in this paper, the preliminary results of utilization of these wastes directly or in conjunction with waste of ceramics sanitary for the production of ceramic mortars made in accordance with PN-EN196-1 are presented. The chemical composition of the waste materials tested was determined by using X-ray fluorescence. The influence of the ceramics waste addition and the mixture of utilitarian and sanitary ceramics (in a ratio of 50:50), when used as cement or aggregate replacements, on selected properties of cement mortar made using CEM I 42.5 R were investigated. The characteristics of the cement mortar with the addition of ceramic waste of a particle size of less than 0.03 mm were based on microscopic studies (SEM analysis with EDS) and the assessment of mechanical and physical parameters, i.e. the compressive strength and the frost resistance. The results showed that the cement mortar, in which 15% of the cement and 15% of the natural aggregates were replaced by the ceramics waste, had higher (approx. 5.1%) compressive strength when compared to the conventional standardized mortar. A compressive strength of 70.0 MPa, which is similar to the mortar standard one (70.3 MPa) was obtained for the sample where 15% of the cement has been replaced by the mixture of ceramics waste (in ratio of 50/50). Whereas, the cement mortar, in which 15% of the natural aggregate was replaced by a mixture of the utilitarian and sanitary ceramics, showed the lowest compressive strength of 66.0 MPa. After the freeze resistance test (150 cycles of freezing and unfreezing), the largest decrease of compressive strength (over 25%) showed the cement mortar, where the utilitarian ceramics waste was used instead of cement, while the smallest decline of compressive strength of approx. 8% was obtained for the cement mortar, in which 15% of the aggregate has been replaced by a mixture of utilitarian and sanitary waste.

Keywords: Cement mortar, Ceramic waste, Recycling, Compressive strength

1. Wstęp

Intensywny rozwój gospodarczy, wzrost produkcji przemysłowej oraz konsumpcji dóbr powoduje gwałtowny wzrost ilości wytwarzanych odpadów poprodukcyjnych i poużytkowych. Odpady te, zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami, powinny być poddane procesom odzysku lub recyklingu, a jedynie odpady, których ze względów technologiczno-ekonomicznych nie można efektywnie zago-

spodarować powinny być unieszkodliwione i bezpiecznie zdeponowane na składowiskach. Sektorem gospodarki, który ma największy potencjał wykorzystania odpadów jest sektor budownictwa i produkcji materiałów budowlanych. W sektorze tym, istnieje możliwość wykorzystania odpadów poprodukcyjnych, w tym odpadów z produkcji ceramiki oraz zużytych wyrobów ceramicznych.

Obecnie odpady ceramiczne, trwałe i bardzo odporne na fizyczną, biologiczną i chemiczną degradację, nie są wyko-

rzystywane w żadnej formie [1]. Z przeglądu literatury wynika, że odpady ceramiki sanitärnej [2-6] oraz odpady cegieł ceramicznych i szkła [7, 8] mogłyby być stosowane jako kruszywo oraz mikrokruszywo do produkcji betonu. Zmielone odpady cegieł ceramicznych mogłyby być wykorzystane także jako zamiennik piasku do produkcji betonu [9]. Do wytwarzania betonów w badaniach laboratoryjnych stosowano również materiały odpadowe, tj. mąka kamienista [10], popiół denny i odpadowy piasek z odlewnictwa [11, 12], łuski ryżowe [13, 14] oraz popioły lotne z procesu współpalania węgla i biomasy [15].

Jak wynika z literatury beton z dodatkiem kruszywa z ceramiki czerwonej wykazuje niższe parametry wytrzymałościowe w porównaniu z betonami na kruszycach tradycyjnych [9, 16, 17]. Natomiast betony wykonane z dodatkiem ceramiki sanitärnej, tj. zużyte umywalki i muszle, charakteryzują się porównywalne lub nieznacznie lepszą wytrzymałością na ściskanie w porównaniu do betonu wykonanego na bazie tradycyjnego kruszywa [2-6].

Ponieważ ilość oraz właściwości fizyko-chemiczne stosowanych materiałów odpadowych zawsze determinują jakość wytwarzanego produktu celem pracy było zbadanie możliwości wykorzystania odpadów ceramiki użytkowej, która obecnie nie ma praktycznego zastosowania, bezpośrednio lub w połączeniu z odpadami z ceramiki sanitärnej do wytwarzania zaprawy cementowej. Efektywne zagospodarowanie odpadów materiałów ceramicznych wytwarzanych z gliny pozwoli zaoszczędzić znaczne ilości minerałów naturalnych.

2. Materiał i metodyka badań

Do badań wykorzystano odpady ceramiki użytkowej powstałe podczas produkcji ceramicznych donic i osłonek w jednym z zakładów ceramicznych z województwa śląskiego oraz odpady ceramiki sanitärnej uzyskane ze zużytych wyrobów. Oba typy odpadów ceramicznych rozdrobniono i poddano analizie sitowej. Do sporządzenia zapraw cementowych wybrano frakcje odpadów ceramicznych o uziarnieniu 0,0-3,0 mm. Skład chemiczny badanych materiałów oznaczony przy użyciu fluorescencji rentgenowskiej (Spektrometr ARL Advant'XP) przedstawiono w Tabeli 1.

Skład badanych zapraw cementowych przedstawiono w Tabeli 2. Belki o wymiarach 4 cm × 4 cm × 16 cm wykonano zgodnie z normą PN-EN196-1. Przewodnictwo elektryczne wody wynosiło 480 µS/m. Użyto cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R. Wyroby ceramiczne po 24 h zostały rozformowane i umieszczone w kąpieli wodnej o temp. 20 ± 1 °C, gdzie przebywały przez 27 dni.

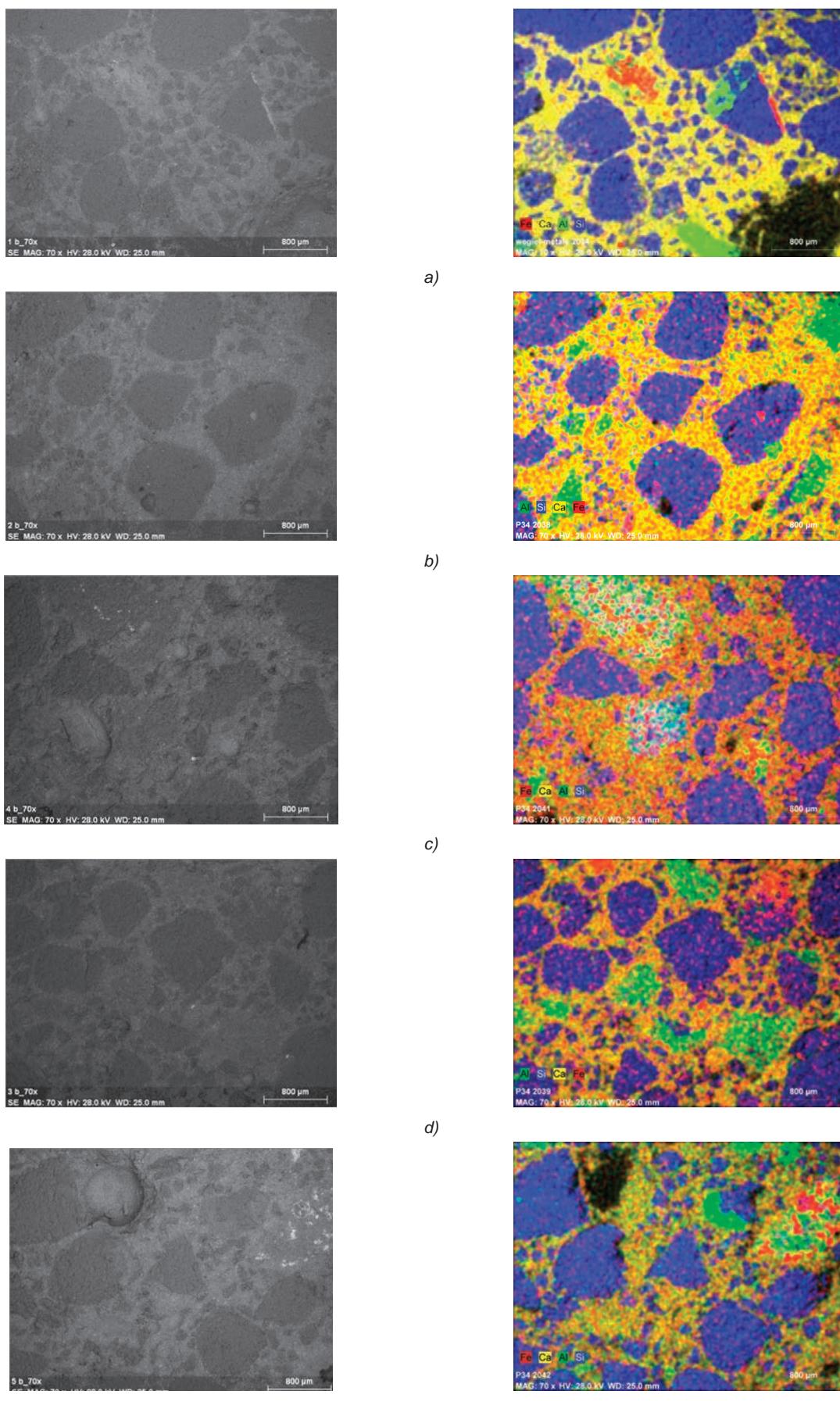
Uzyskane zaprawy cementowe po 28 dniach poddano badaniom mikroskopowym SEM-EDS (skaningowy mikroskop elektronowy LEO Electron Microscopy Ltd, Anglia, model 1430 VP z przystawką EDS) oraz badaniom wytrzymałości na ściskanie (PN-EN 1015-11) i mrozoodporności (PN-88/B-06250).

Tabela 1. Skład chemiczny ceramicznych materiałów odpadowych.
Table 1. The chemical composition of ceramic waste materials.

Związek chemiczny		Zawartość [% mas.]	
		Ceramika użytkowa	Ceramika sanitarna
Tlenek krzemiu	SiO ₂	52,19	49,27
Tlenek glinu	Al ₂ O ₃	14,27	16,60
Tlenek wapnia	CaO	6,92	2,33
Tlenek potasu	K ₂ O	2,00	2,32
Tlenek żelaza	Fe ₂ O ₃	1,45	3,64
Tlenek tytanu	TiO ₂	0,98	0,64
Tlenek manganu	MnO	0,02	0,07
Pozostałe tlenki		22,17	25,13

Tabela 2. Skład zapraw cementowych – proporcje mieszanek.
Table 2. The composition of cement mortar – mixing ratios.

Skład	Zestaw				
	1	2	3	4	5
Cement [g]	450	382,5	382,5	450	450
Woda [cm ³]	225	225	225	225	225
Piasek normowy [g]	1350	1350	1350	1282,5	1282,5
Ceramika użytkowa [g]	-	67,5	33,75	67,5	33,75
Ceramika sanitarna [g]	-	-	33,75	-	33,75
W/C	0,5	0,85	0,85	0,5	0,5



Rys. 1. Obrazy SEM zarejestrowane przez detektory elektronów wtórnych (SE) i katodoluminescencyjnego (CL): a) zestaw 1, b) zestaw 2, c) zestaw 3, d) zestaw 4, e) zestaw 5.

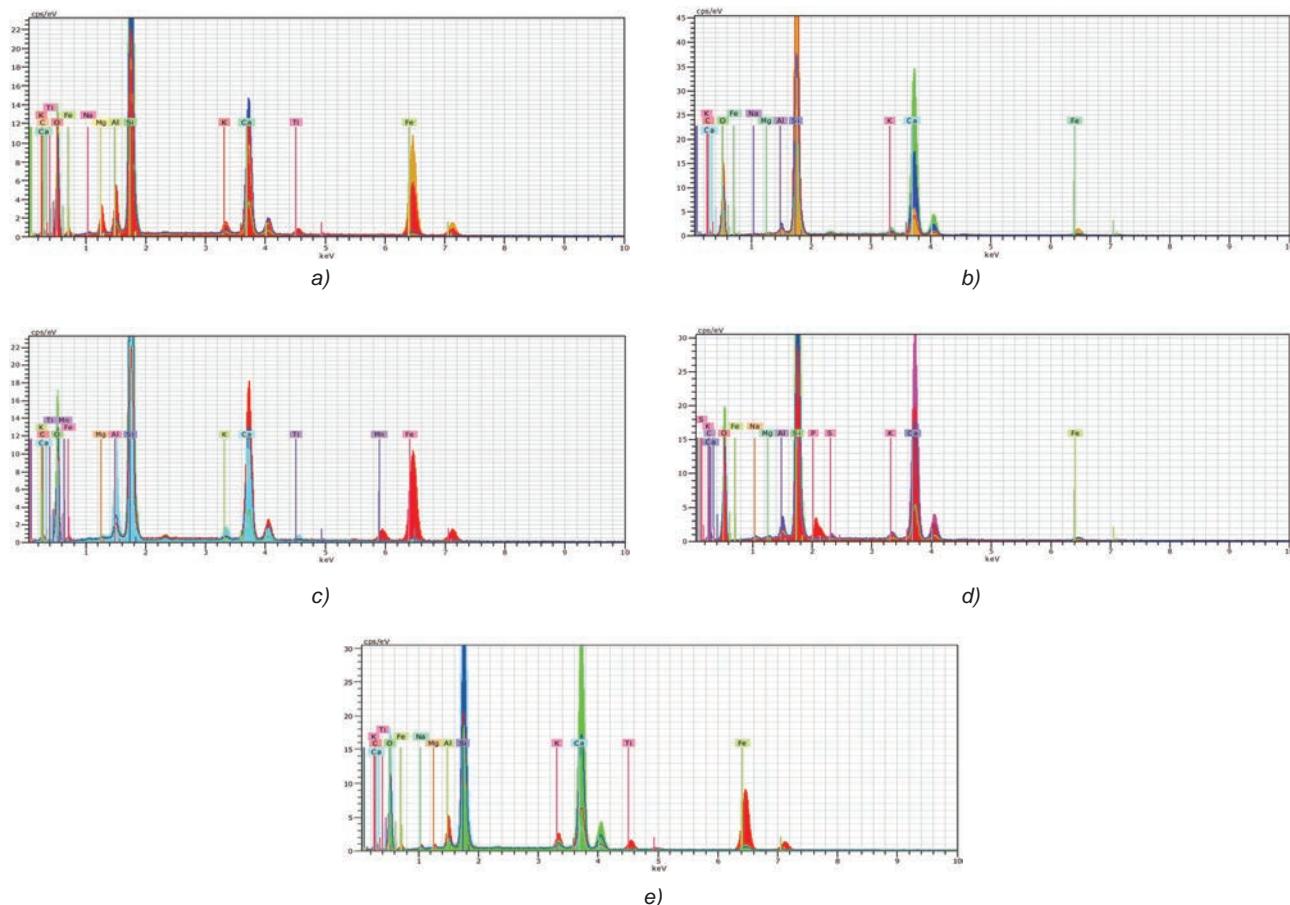
Fig. 1. SEM images recorded by secondary electron (SE) and cathodoluminescence (CL) detectors: a) series 1, b) series 2, c) series 3, d) series 4, e) series 5.

3. Wyniki badań i dyskusja

Na Rys. 1 przedstawiono zdjęcia mikroskopowe SEM badanych zestawów zapraw cementowych uzyskane za pomocą detektora elektronów wtórnych (SE) i katodoluminescencyjnego (CL), a na Rys. 2 przykładowe (dla każdego zestawu po jednym) wyniki analizy EDS. Jak można zaobserwować na zdjęciach SEM, badane zaprawy cementowe z dodatkiem odpadów ceramiki użytkowej wykazują zwięzłą i jednorodną mikrostrukturę. Natomiast mikrostruktura zapraw wykonanych z dodatkiem mieszaniny ceramiki użytkowej i sanitarnej jest niejednorodna z widocznymi ziarnami kruszywa o nieregularnym kształcie. Analiza EDS zapraw

cementowych wykazała obecność w badanych zaprawach przed wszystkim krzemionki i wapnia. Obserwowano również znaczny udział związków żelaza i glinu oraz nieznaczne ilości potasu.

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporności badanych zapraw przedstawiono w Tabeli 3. Zaprawa normowa uzyskała średnią wytrzymałość na ściskanie 70,3 MPa. W porównaniu do zaprawy normowej lepsze wyniki wytrzymałości uzyskały próbki z zestawów 2 i 4, w których odpadami z ceramiki użytkowej zastąpiono odpowiednio 15% cementu oraz 15% kruszywa naturalnego. Wynik zbliżony do zaprawy normowej (70 MPa) uzyskały natomiast próbki, w których cement został zastąpiony w 15% przez



Rys. 2. Przykładowe analizy EDS próbek zapraw: a) zestaw 1, b) zestaw 2, c) zestaw 3, d) zestaw 4, e) zestaw 5.

Fig. 2. Examples of EDS analysis of cement mortar samples: a) series 1, b) series 2, c) series 3, d) series 4, e) series 5.

Tabela 3. Wyniki pomiarów średniej wytrzymałości na ściskanie badanych zapraw.

Table 3. Average results of compressive strength of studied mortars.

Właściwość	Zestawy mieszanek zapraw do badań				
	1	2	3	4	5
	Zaprawa normowa	Ceramika użytkowa za cement	Ceramika sanitarna i użytkowa 50/50 za cement	Ceramika użytkowa za kruszywo	Ceramika sanitarna i użytkowa 50/50 za kruszywo
Średnia wytrzymałość [MPa]	70,3 ±* 1,4	73,8 ± 1,3	70,0 ± 1,3	73,7 ± 1,3	66,0 ± 1,3
Średnia wytrzymałość po badaniach mrozoodporności [MPa]	58,3 ± 1,4	45,2 ± 1,5	55,7 ± 1,4	61,6 ± 1,2	60,5 ± 1,3
Spadek wytrzymałości po badaniach mrozoodporności [%]	17,1	38,8	20,4	16,4	8,3

* ± odchylenie standardowe

mieszanię odpadów ceramiki użytkowej i sanitarnej w proporcjach 50/50. Natomiast próbki z zestawu 5, w którym 15% kruszywa naturalnego zastąpiono mieszanią ceramiki użytkowej i sanitarnej (50/50) wykazały niższą wytrzymałość o ok. 6% w porównaniu z próbką kontrolną. Największy spadek wytrzymałości na ściskanie (ponad 25%), po badaniach mrozoodporności, wykazały próbki zapraw cementowych zestawu 2, w których użyto ceramiki użytkowej zamiast cementu. Natomiast najmniejszy spadek wytrzymałości (ok. 8%), po badaniach mrozoodporności uzyskały próbki z zestawu 5, w których 15% kruszywa zostało zastąpione przez mieszanię ceramiki sanitarnej i użytkowej. Najwyższą wytrzymałość na ściskanie i odporność na mróz wykazują zaprawy cementowe wykonane z zestawu 4, gdzie odpady ceramiki użytkowej stosowano jako zamiennik kruszywa naturalnego.

4. Wnioski

Badania wykazały, że odpady z ceramiki użytkowej z produkcji donic i osłon mogą być wykorzystane do wytwarzania zapawy cementowej. Zastąpienie w 15%, zarówno cementu jak i kruszywa naturalnego, odpadami z produkcji ceramiki użytkowej w zaprawie cementowej nie wpływa negatywnie na jej wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach. Natomiast wytrzymałość na ściskanie badanych zapraw cementowych z dodatkiem odpadów ceramicznych po 150 cyklach zamrażania i rozmrzania ulega znaczeniu obniżeniu. Po badaniach mrozoodporności najwyższą wytrzymałość na ściskanie, porównywalną z zaprawą normową, wykazały zaprawy cementowe, w których odpady ceramiki użytkowej zastąpiły w 15 procentach kruszywo naturalne. Natomiast zaprawy cementowe, w których kruszywo zastąpiono mieszanią odpadów ceramiki użytkowej i sanitarnych odpadów poużytkowych (w proporcji 50/50) wykazały nieznacznie niższe wartości wytrzymałości na ściskanie (60,5 MPa) w porównaniu z zaprawą normową (61,4 MPa). Znacznie większy spadek wytrzymałości na ściskanie (9,3-10,1%) obserwowano, gdy odpadami ceramicznymi zastępowano cement. Biorąc pod uwagę fakt, że właściwości mechaniczne zapraw cementowych z dodatkiem 15% materiałów odpadowych, jako zamiennika kruszywa naturalnego, nie ulegają dużemu obniżeniu można przypuszczać, że materiał ten można również zastosować do wytwarzania betonów.

Podziękowanie

Autorzy składają serdeczne podziękowania Firmie Ceramik sp. z.o.o. za udostępnienie materiału do badań.

Literatura

- [1] Binici, H.: Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties, *Constr. Build. Mater.*, 21, (2007), 1191–1197.
- [2] Halicka, A., Zegardlo, B.: Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu, *Przegląd budowlany*, 7-8, (2011), 50-55.
- [3] Halicka, A., Ogrodnik, P., Zegardlo, B.: Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate, *Constr. Build. Mater.*, 48, (2013), 295–305.
- [4] Medina, C., Frías, M., Sánchez de Rojas, M. I., Thomas, C., Polanco, J. A.: Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate, *Constr. Build. Mater.*, 37, (2012), 597–605.
- [5] Medina, C., Sánchez de Rojas, M. I., Frías, M.: Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate, *J. Cleaner Production*, 40, (2013), 151-160.
- [6] Medina, C., Sánchez de Rojas, M. I., Frías, M.: Properties of recycled ceramic aggregate concretes: Water resistance, *Cem. Concr. Comp.*, 40, (2013), 21-29.
- [7] Sekar, T., Ganesan, N., Nampoothire, NVN.: Studies on strength characterization on utilization of waste materials as coarse aggregate in concrete, *Int. J. Eng. Sci. Techn.*, 3, (2011), 5436 – 5440
- [8] Mustafa Al Bakri, A. M., Norazian, M. N., Kamarudin, H., Mohd Salleh, M. A. A., Alida, A.: Strength of concrete based cement using recycle ceramic waste as aggregate, *Adv. Mater. Res.*, 740, (2013), 734-738.
- [9] De Brito, J., Pereira, A. S., Correia J. R.: Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates, *Cem. Concr. Comp.*, 27, 4, (2005), 429-433.
- [10] Veera Reddy, M.: Investigations on stone dust and ceramic scrap as aggregate replacement in concerto, *Int. J. Civil Struct. Eng.*, 1, (2010), 661-66.
- [11] Khatib, J. M., Ellis, D. J.: Mechanical properties of concrete containing foundry sand, *ACI Spl. Pub SP-200*, ACI, (2001), 733-48.
- [12] Aggarwal, Y., Siddique, R.: Microstructure and properties of concrete using bottom ash and waste foundry sand as partial replacement of fine aggregates, *Constr. Build. Mater.*, 54, (2014), 210-223.
- [13] Chao-Lung, H., Anh-Tuan, B. L., Chun-Tsun, Ch.: Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete, *Constr. Build. Mater.*, 25, (2011), 3768-3772.
- [14] Kosior-Kazberuk, M.: Odporność betonów zawierających popiół lotny ze współpalania węgla kamiennego i biomasy na wnikanie jonów chlorkowych, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 1, (2010), 131-136.
- [15] Wang, S., Miller, A., Llamazos, E., Fonseca, F., Baxter, L., Biomass fly ash in concrete: mixture proportioning and mechanical properties, *Fuel*, 87, (2008), 365-371.
- [16] Guerra, I., Vivar, I., Llamas, B., Juan, A. Moran, J., Eco-efficient concretes: The effect of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete, *Waste Management*, 29, (2009), 643-646.
- [17] Akhtaruzzaman, A. A., Hasnat, A.: Properties of Concrete Using Crushed Brick as Aggregate, *Concr. Int.*, 5, 2, (1983), 58-63.

Otrzymano 20 września 2015, zaakceptowano 25 listopada 2015.