

Zastosowanie odpadów ceramiki sanitarnej jako kruszywa w betonach odpornych na wysokie temperatury

Anna Halicka¹, Paweł Ogrodnik², Bartosz Zegardło³

¹ *Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail: a.halicka@pollub.pl*

² *Katedra Techniki Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, e-mail: pawel-ogrodnik@wp.pl*

³ *Katedra Budownictwa, Wydział Nauk Technicznych, Collegium Mazovia – Innowacyjna Szkoła Wyższa w Siedlcach, e-mail: bart.z@wp.pl*

Streszczenie: W referacie przedstawiono badania betonów, skomponowanych z użyciem odpadów ceramiki sanitarnej jako kruszywa, w aspekcie odporności na działanie wysokich temperatur.

Próbki z betonu na cemencie glinowym, w którym jako kruszywo wykorzystano przekruszone odpady ceramiki sanitarnej, poddano wygrzewaniu w temperaturze 1000°C. Stwierdzono, że po wygrzewaniu, poprzedzonym wprowadzeniem do pracy w wysokich temperaturach, próbki z kruszywem ceramicznym, w przeciwieństwie do próbek betonu z kruszywami tradycyjnymi (granitowym i żwirowym), zachowały kształt i spójność, nie wykazując ubytków masy ani defektów struktury. Pomimo pewnego spadku wytrzymałości miały nadal wysoką wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie.

Słowa kluczowe: recykling, materiały odpadowe, ceramika sanitarna, beton, kruszywo, odporność na wysokie temperatury

1. Wprowadzenie

Odpady w przemyśle ceramicznym stanowią kilkanaście procent produkowanych wyrobów. Zarówno ceramika czerwona jak i biała (stołowa, sanitarna, izolatory elektryczne) należą do materiałów niepodlegających biodegradacji – ich utylizacja jest poważnym problemem. Poszukiwanie możliwości ich recyklingu jest niezwykle istotne. Użycie odpadów ceramicznych jako kruszywa do betonu skutkuje podwójnym efektem ekologicznym: odpady zalegające na hałdach fabryk są zużywane i zmniejsza się wydobycie kruszyw naturalnych. O ile użycie ceramiki czerwonej jako kruszywa do betonu jest zagadnieniem znanym, o tyle niewiele jest relacji z badań betonu z kruszywem z ceramiki białej [1-7]. W badaniach tych ceramiką białą zastępowano do 25 % kruszywa, stwierdzając, że nie powoduje to spadku, a przeciwnie - wzrost wytrzymałości betonu. Stwierdzono także, że kruszywo ceramiczne nie zaburza hydratacji cementu [3], a uzyskany beton jest odporny na działanie chlorków [5-7]. W Polsce betony na kruszywie ceramicznym były w latach 60-tych przedmiotem badań ITB w aspekcie poprawy odporności na ścieranie, co stało się podstawą zapisów w normie [8].

Istotą badań relacjonowanych poniżej było ustalenie, w jaki sposób kruszywo z ceramiki sanitarnej wpływa na odporność betonu na wysokie temperatury. Przewidując zastosowanie betonu na kruszywie ceramicznym do wytwarzania elementów konstrukcyjnych narażonych na działanie wysokich temperatur (obudowy pieców, kształtki przewodów dymowych, posadzki w halach przemysłowych, gdzie znajdują się piece) założono, że beton będzie przed badaniem wprowadzony do pracy w wysokich temperaturach zgodnie z normą [9]. Nie było to zatem badanie odporności ogniowej w warunkach pożatowych.

2. Właściwości kruszywa uzyskanego z ceramiki sanitarnej

Kruszywo, użyte w badaniach relacjonowanych w niniejszym referacie, zostało wytworzone z odpadów ceramiki sanitarnej, zalegających na hałdach jednej z polskich fabryk. Odpady zostały przekruszone przy użyciu kruszarek szczękowych. Wyodrębniono frakcję drobną 0÷4 mm i frakcję grubą 4÷8mm, a ziarna większe niż 8 mm trafiły z powrotem do kruszarki. Proporcję kruszywa drobnego do grubego optymalizowano przez iterację doświadczalną tak, aby uzyskać maksymalną gęstość objętościową mieszanki frakcji. W ten sposób ustalono stosunek wagowy kruszywa drobnego do kruszywa grubego równy 1:0,4. Szczegółowy opis badań uzyskanego kruszywa przedstawiono w pracy [10]. Poniżej zestawiono ich wyniki.

Analiza sitowa, wykonana zgodnie z normą PN-EN 933-1:2012, dała następujące rezultaty: frakcja 0÷0,3mm – 4,65%, frakcja 0,3÷0,425mm – 2,88%, frakcja 0,425÷0,85mm – 10,88%, frakcja 0,85÷2,0mm – 27,88%, frakcja 2,0÷4,0mm – 25,0%, frakcja 4,0÷6,3mm – 26,3% i frakcja 6,3÷8,0mm – 2,34%.

Gęstość ziaren (PN-EN 1097-6:2011) wynosiła 2,64 kg/m³, a gęstość objętościowa wypełniacza (PN-EN 1097-7:2001) – 2,16 kg/m³. Nasiąkliwość (PN-EN 1097-6:2011), była równa 1,53%. Jest ona większa niż nasiąkliwość granitu, bazaltu, piaskowca kwarcowego i bliższa nasiąkliwości wapienia i dolomitu.

Za miarę wytrzymałości kruszywa przyjęto wskaźnik rozkruszenia (PN-B-06714-40:1978) - procent grubej frakcji kruszywa, który po rozkruszeniu z określoną normowo siłą, przechodzi przez sito o boku oczka 1 mm. Wskaźnik ten wyniósł 8,9%, co oznacza, że kruszywo z odpadów ceramiki sanitarnej jest odporne na rozkruszanie. Dla porównania wskaźnik rozkruszenia kruszywa z wapieni wynosi 18÷20%, granitu – około 18%, piaskowca kwarcytowego – około 15%, a bazaltu - około 4%.

3. Program badań betonu z kruszywem z odpadów ceramiki sanitarnej w wysokich temperaturach

3.1. Etapy badań i skład mieszanki betonowej

Skład mieszanki betonowej z kruszywem z odpadów ceramiki sanitarnej ustalony metodą teoretyczno-doświadczalną, był następujący: cement wysokoglinowy o zawartości trójtlenku glinu 70% - 493,4 kg/m³, kruszywo frakcji 0÷4 mm - 991,4 kg/m³, frakcji 4÷8 mm - 396,6 kg/m³, woda - 201,4 dm³/m³ (wskaźnik w/c=0,4). Badaniom poddano także betony porównawcze z kruszywami tradycyjnymi (kruszywo grube stanowił żwir lub granit, kruszywo drobne – piasek naturalny) oraz beton na cemencie portlandzkim, zachowując podane wyżej proporcje składników.



Rys. 1. Kruszywa użyte w badaniach: 1 – kruszywo z ceramiki sanitarnej – frakcja gruba, 2 – kruszywa z ceramiki sanitarnej - frakcja drobna, 3 – żwir, 4 – piasek, 5 – kruszywa granitowe - frakcja gruba, 6 – kruszywo granitowe - frakcja drobna

Mieszanka betonowa z kruszywem ceramicznym charakteryzowała się konsystencją S1 badaną metodą opadu stożka, natomiast mieszanki z kruszywami tradycyjnymi – S2. Zaformowane próbki zagęszczano mechanicznie na stole wibracyjnym i pielęgnowano wilgotnościowo do chwili badania.

Tabela 1 Skład chemiczny kruszyw użytych w badaniach

Związek chemiczny	Ceramika sanitarna	Granit	Żwir
SiO ₂	67.6%	74.8%	16.7%
Al ₂ O ₃	24.1%,	14.2%,	8,0%,
K ₂ O	3.0%	2.8 %	0.8%
NiO	2.8%	2.8 %	
Na ₂ O	1.2%	5.6 %	0.9%
Fe ₂ O ₃	0.6%	-	1.0 %
Mo ₂ O ₃	0.4%	-	-
MgO	0.4%	0.6%	40.8 %
CaO	-	1.6%	31.8%
SO ₃	-	0.3%	-

Na rys.1 pokazano kruszywa użyte do badań, a ich składy chemiczne uzyskane za pomocą detektora EDS zestawiono w tabeli 1. Zarówno ceramika sanitarna jak i granit zbudowane są głównie z krzemionki i trójtlenku glinu, zawartość tlenku wapnia w granicie wynosi ponad 1%, podczas gdy nie występuje w składzie ceramiki sanitarnej. Głównymi składnikami ziaren żwiru były dwutlenek magnezu i dwutlenek wapnia.

Badania wykonano w dwóch etapach, badane próbki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Zestawienie próbek pierwszego i drugiego etapu badań

Typ próbki	Kruszywo	Cement	Badanie wytrzymałości	Wygrzewanie	Symbol próbki	Liczba próbek
		ETAP	PIERWSZY			
1-CA+HAC	Ceramika	Glinowy	30 dni po wygrzewaniu	tak	1-CA+HAC/1000°C/30-p	3
				nie	1-CA+HAC/30-p	3
1-SGA+HAC	Żwir	Portlandzki	30 dni po wygrzewaniu	tak	1-CA+HAC/1000°C/30-p	3
				nie	1-SGA+HAC/30-p	3
1-SGA+PC	Żwir	Portlandzki	30 dni po wygrzewaniu	tak	1-GA+PC/1000°C/30-p	3
				nie	1-GA+PC/30-p	3
		ETAP	DRUGI			
2-CA+HAC	Ceramika	Glinowy	tuż po wygrzewaniu	tak	2-CA+HAC/1000°C/0-c	3
			30 dni po wygrzewaniu	nie	2-CA+HAC/30-p	3
			30 dni po wygrzewaniu	tak	2-CA+HAC/1000°C/30-p	3
2-SGA+HAC	Żwir	Glinowy	tuż po wygrzewaniu	tak	2-SGA+HAC/1000°C/0-c	3
			30 dni po wygrzewaniu	nie	2-SGA+HAC/30-p	3
			30 dni po wygrzewaniu	tak	2-SGA+HAC/1000°C/30-p	3
2-GA+HAC	Granit	Glinowy	tuż po wygrzewaniu	tak	2-GA+HAC/1000°C/0-c	3
			30 dni po wygrzewaniu	nie	2-GA+HAC/30-p	3
			30 dni po wygrzewaniu	tak	2-GA+HAC/1000°C/30-p	3

p – próbki pryzmatyczne, c – próbki cylindryczne

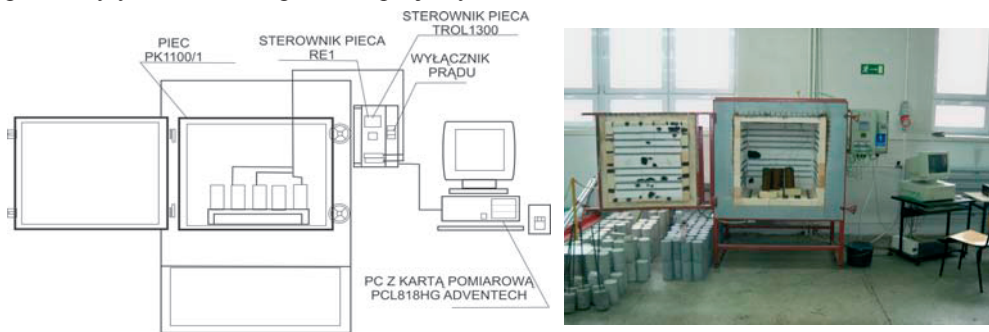
W pierwszym etapie (oznaczenie „1”) badano beton na kruszywie ceramicznym (CA) i cemencie wysokoglinowym (HAC). Próbki porównawcze wykonano z betonu na kruszywie piaskowo-żwirowym (SGA) i cemencie wysokoglinowym (HAC) oraz z betonu na kruszywie piaskowo-żwirowym (SGA) i cemencie portlandzkim (PC). Badaniom poddano próbki pryzmatyczne o wymiarach 40 x 40 x 160 mm (oznaczenie „p”).

W etapie drugim (oznaczenie „2”) badano betony jedynie na cemencie wysokoglinowym (HAC). Kruszywem w betonie „2-SGA+HAC” była mieszanka piaskowo-zwirowa. Do betonu „2-GA+HAC” użyto kruszywo grube granitowe, a jako kruszywo drobne – piasek naturalny. W betonie „2-CA+HAC” zastosowano kruszywo z odpadów ceramiki sanitarnej. Oprócz próbek pryzmatycznych 40 x 40 x 160 mm (oznaczenie „p”), wykonano także próbki cylindryczne o średnicy 100 mm i wysokości 200 mm (oznaczenie „c”).

3.2. Stanowisko badawcze i procedura wygrzewania

Próbki, opisane w p. 3.1, wygrzewano w temperaturze 1000°C. Głównym elementem stanowiska badawczego (rys.2) był średniotemperaturowy piec komorowy typu PK1100/1. Procedury wygrzewania były opracowane indywidualnie dla każdego z etapów w oparciu o zasady podane w normie „PN-62/B-06257 Beton zaroodporny na cemencie portlandzkim i hutniczym”[9]. Zgodnie z tą normą beton powinien być wprowadzony do pracy w wysokich temperaturach, a procedura wygrzewania winna składać się z trzech faz odpowiadających zjawiskom fizykochemicznym w betonie: faza I - odparowanie wolnej wody (20°-150°C), faza II - oddzielenie wody związanej fizycznie i chemicznie (150 do 550°C), faza III - zamiana wiązań hydraulicznych w ceramiczne (przyrost do temperatury żądanej). W normie podano także zalecane maksymalne szybkości przyrostu temperatury i czas nagrzewu izotermicznego po osiągnięciu temperatur granicznych.

W celu ochrony pieca przed skutkami spallingu (eksplozyjnego odpryskiwania) próbki były wkładane do pieca w specjalnych osłonach.



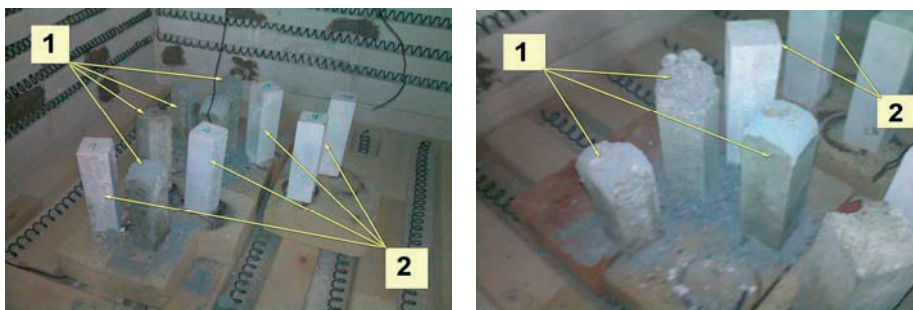
Rys.. 2. Stanowisko badawcze: schemat stanowiska i fotografia pieca z przygotowanymi próbkami

4. Pierwszy etap badań

W pierwszym etapie badano próbki pryzmatyczne. Wykonano po 6 próbek każdego typu: trzy wygrzewano, a trzy pozostawiono bez wygrzewania (patrz tabela 2). Z powodu czasowych możliwości użycia pieca wygrzewanie skrócono do 7,5 godzin, w zamian próbki były suszone w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 250°C. Reżim wygrzewania był następujący: podnoszenie temperatury do 150°C przez 2 godziny; nagrzew izotermiczny w temperaturze 150°C przez godzinę; podnoszenie temperatury do 550°C przez 2 godziny; nagrzew izotermiczny w temperaturze 550°C przez godzinę; podnoszenie temperatury do 1000°C przez godzinę; nagrzew izotermiczny w temperaturze 1000°C przez pół godziny. Po wygrzewaniu próbki pozostawały w zamkniętym piecu do ostygnięcia do temperatury pokojowej.

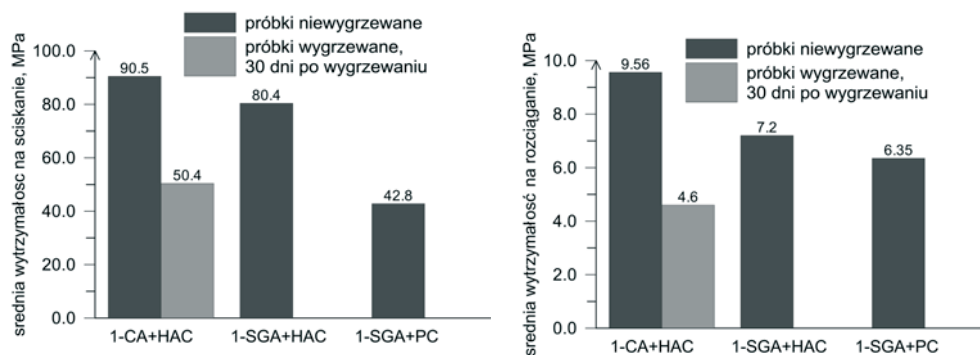
Po otwarciu pieca i usunięciu osłonek bez dotykania próbek dokonano ich wizualnej oceny (rys.3). W próbkach z betonu na cemencie portlandzkim i kruszywie zwirowym stwierdzono wykruszenie górnej części na około 20% wysokości, natomiast na żadnej z próbek z betonu na cemencie glinowym nie zauważono zarysowań ani ubytków.

Po kilku dniach od wygrzewania próbki z betonu na cemencie glinowym i kruszywie zwirowo-piaskowym stopniowo traciły spójność, a po siedmiu dniach na ich górnych fragmentach zaobserwowano zarysowania i ubytki masy. Natomiast próbki z betonu na cemencie glinowym i kruszywie z odpadów ceramiki sanitarnej pozostały nienaruszone aż do chwili badania wytrzymałości, które przeprowadzono 30 dni po wygrzewaniu.



Rys. 3. Próbkę pierwszego etapu po wygrzewaniu: 1 – próbki z betonu na cementzie portlandzkim, 2 – próbki z betonu na cementzie gliniwym i kruszywie z odpadów ceramiki sanitarnej

Próbki zbadano najpierw w teście trójpunktowego zginania uzyskując wytrzymałości betonu na rozciąganie przy zginaniu, a następnie połówki próbek zbadano na ściskanie. Ich wyniki przedstawiono na rys.4.



Rys. 4. Średnie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie próbek pierwszego etapu badań – opis oznaczeń zgodny z tablicą 2

Badania pierwszego etapu można podsumować następująco. Tylko próbki z betonu na cementzie gliniwym i kruszywie z odpadów ceramiki sanitarnej przetrwały bez uszkodzeń wygrzewanie w temperaturze 1000°C. Pomimo 42% spadku wytrzymałości na ściskanie i 46% spadku wytrzymałości na rozciąganie wykazywały nadal wysoką wytrzymałość.

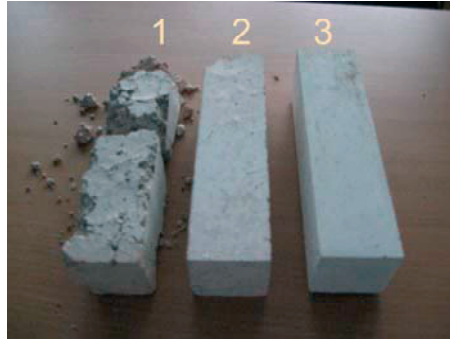
5. Drugi etap badań

Wszystkie próbki drugiego etapu badań wykonano z betonu na cementzie gliniwym, ale różniły się one rodzajem kruszywa. Z każdego betonu sporządzono sześć próbek przyrządycznych (przy czym połowę z nich wygrzewano, połowę pozostawiono bez wygrzewania) oraz trzy próbki cylindryczne (patrz tabela 2). Schemat wygrzewania był on następujący:

1. Przygotowanie próbek przez przebywanie w temperaturze 20 °C przez 7 dni,
2. Wprowadzenie do pracy w wysokich temperaturach: podnoszenie temperatury do 150°C przez 5 godzin; suszenie w temperaturze 150°C przez 32 godziny; podnoszenie temperatury do 550°C przez 2 godziny; nagrzew izotermiczny w temperaturze 550°C przez 7 godzin, podnoszenie temperatury do 1000°C przez 10 godzin; nagrzew izotermiczny w temperaturze 1000°C przez 4 godziny; studzenie wraz z piecem do temperatury pokojowej,
3. wygrzewanie właściwe – pięciokrotne powtórzenie następującego cyklu: podnoszenie temperatury do 550°C przez 10 godzin; nagrzew izotermiczny w temperaturze 550°C przez 7 godzin; podnoszenie temperatury do 1000°C przez 10 godzin; nagrzew izoter-

miczny w temperaturze 1000°C przez 4 godziny; studzenie wraz z piecem do temperatury pokojowej.

Po wyjściu z pieca i żadna z próbek nie wykazywała uszkodzeń. Po dokonaniu oględzin zbadano wytrzymałość na ściskanie próbek cylindrycznych.



Rys. 5. Próbkę drugiego etapu badań po 30 dniach od wygrzewania: 1 – próbki z betonu na cemencie glinowym i kruszywie pisakowo-żwirowym, 2 – próbki na cemencie glinowym i kruszywie granitowym, 3 – próbki na cemencie glinowym i kruszywie z odpadów ceramiki sanitarnej

Próbki pryzmatyczne pozostawiono w warunkach laboratoryjnych przez 30 dni, po czym dokonano ich oględzin stwierdzając co następuje (rys.5):

- próbki z betonu na kruszywie żwirowym utraciły spójność, przy próbie podniesienia nastąpiło wykruszenie około 40% masy próbek,
- próbki z betonu na kruszywie granitowym wykazywały zarysowania i niewielkie ubytki masy,
- próbki z betonu na kruszywie ceramicznym pozostały nienaruszone.

Po oględzinach wykonano badania wytrzymałościowe próbek wygrzewanych oraz niewygrzewanych próbek-świadków. Próbkę zbadano najpierw w teście trójpunktowego zginania uzyskując wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, a następnie połówki próbek zbadano na ściskanie. Zbadano wszystkie próbki z betonu na kruszywie ceramicznym oraz granitowym (wygrzewane próbki z kruszywem granitowym poddano badaniom wytrzymałościowym pomimo ich zarysowania). Wygrzewanych próbek na kruszywie żwirowym nie zbadano z powodu ich destrukcji.

Zbiorcze zestawienie wytrzymałości próbek drugiego etapu pokazano na rys.6. Dla umożliwienia porównania wyników badań realizowanych na różnych próbkach, na rysunku tym podano wytrzymałości na ściskanie odniesione do próbki pryzmatycznej o boku 40 mm. Przeliczeń wartości uzyskanych na próbkach cylindrycznych o średnicy 100 mm i wysokości 200 mm $f_{c,\phi 100}$ na próbki pryzmatyczne o boku 40 mm $f_{c,prism40}$ dokonano korzystając z danych zawartych w pracy [11] dotyczących efektu skali i kształtu próbek:

$$f_{c,prism40} = f_{c,prism150} \cdot 1.2 = \frac{f_{c,\phi 150}}{0.78} \cdot 1.2 = \frac{1.04}{0.78} \cdot 1.2 = 1.48 f_{c,\phi 100}$$

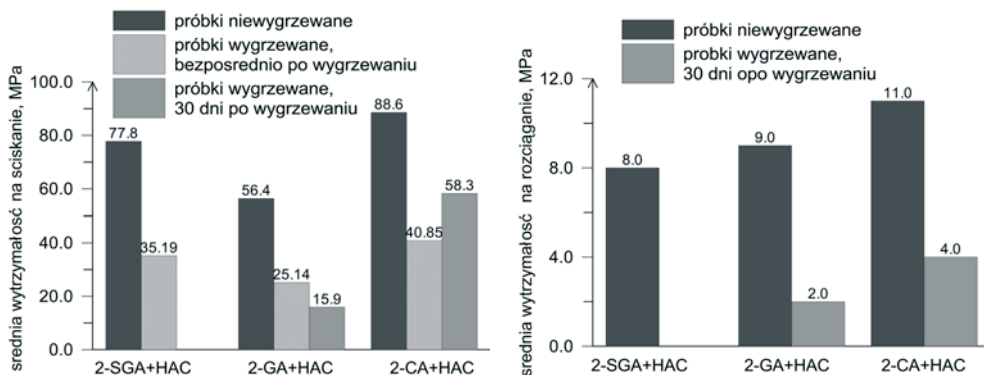
gdzie: $f_{c,cube150}$ jest wytrzymałością odniesioną do próbki kostkowej o boku 150 mm, $f_{c,\phi 150}$ - wytrzymałością odniesioną do próbki cylindrycznej o średnicy 150mm wysokości 300 mm.

Na podstawie badań etapu drugiego można sformułować następujące wnioski:

- wytrzymałości na ściskanie wszystkich betonów badane bezpośrednio po wygrzewaniu były niższe niż wytrzymałości betonów nie wygrzewanych (w przypadku betonu z kruszywem ceramicznym o 54%, betonu z kruszywem granitowym o 56%, a betonu z kruszywem żwirowym o 55%),
- wytrzymałość na ściskanie betonu z kruszywem ceramicznym badana 30 dni po wygrzewaniu wynosiła 65% wytrzymałości betonu niewygrzewanego (wzrosła o 45% w stosunku do wytrzymałości badanej bezpośrednio po wygrzewaniu), pod-

czas gdy w przypadku betonu na kruszywie granitowym - 26% (spadła o 40% w stosunku do wytrzymałości badanej bezpośrednio po wygrzewaniu), a próbek z betonu z kruszywem żwirowym nie badano z powodu destrukcji,

- wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu betonu z kruszywem ceramicznym badana 30 dni po wygrzewaniu stanowiła 36% wytrzymałości próbek niewygrzewanych, w przypadku betonu na kruszywie granitowym było to 20%, a próbki z betonu na kruszywie żwirowym uległy destrukcji.



Rys. 6. Średnie wytrzymałości na ściskanie odniesione do próbki kostkowej o boku 40 mm oraz na rozciąganie przy zginaniu próbek drugiego etapu, oznaczenia według tablicy 2

Można zatem stwierdzić, że zastosowanie cementu glinowego pozwoliło wszystkim badanym próbkom przetrwać wygrzewanie w temperaturze 1000°C, ale dalsze zachowanie się próbek zależało od użytego kruszywa. Ekspozycja na wilgoć otoczenia w przypadku betonu na kruszywie żwirowym, a także na kruszywie granitowym (choć w mniejszym stopniu), spowodowała reakcje wtórnego fizyko-chemicznego wiązania wody w strefie kontaktowej ziaren kruszywa z zaczynem, prowadzące do destrukcji próbek. Natomiast fakt, że beton na kruszywie ceramicznym nie uległ spekaniom i ubytkom masy pozwala przypuszczać, że w czasie wygrzewania nastąpiły procesy wzajemnego spiekania ziaren drobnej frakcji znajdujących się w strefie kontaktu między ziarnami grubymi i zaczynem. Doświadczalne wyjaśnienie przyczyny zachowania się próbek będzie przedmiotem dalszych, planowanych już badań struktury betonu na kruszywie ceramicznym przed i po wygrzewaniu.

6. Podsumowanie

Badany beton na cemencie glinowym z kruszywem uzyskanym z odpadów ceramiki sanitarnej wykazał cechy odporności na działanie wysokich temperatur po wprowadzeniu do pracy w takich warunkach. Jest to specyficzna cecha, która obok efektu ekologicznego stanowi dodatkową korzyść uzasadniającą ekonomicznie recykling odpadów sanitarnych, polegający na wytworzeniu z nich kruszywa.

Literatura

- 1 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
- 2 Medina C., Frías M., Sánchez de Rojas M.I.. Microstructure and properties of recycled concretes using sanitary ware industry waste as coarse aggregate. *Construction and Building Materials* 31(2012) 112-118
- 3 Medina C., Sánchez de Rojas M.I., Frías M.. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. *Cement and Concrete Composites* 34 (2012) 48-54

- 4 Senthamarai R.M., Devadas Manoharan P.. Concrete with ceramic waste aggregate. *Cement and Concrete Composites* 27 (2005) 910-913
- 5 Senthamarai R.M., Devadas Manoharan P., Gobinath D.. Concrete made from ceramic industry waste: Durability properties. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 2413-2419
- 6 Higashiyama H., Yagishita F., Sano M., Takahashi O.. Compressive strength and resistance to chloride penetration of mortars Rusing ceramic waste as fine aggregate, *Construction and Building Materials* 26 (2012) 96-101
- 7 Higashiyama H., Sappakittupakorn M., Sano M., Yagishita F.. Chloride ion penetration into mortar containing waste aggregate. *Construction and Building Materials* 33 (2012) 48-54
- 8 PN-83/B-06256 Beton odporny na ścieranie
- 9 PN-62/B-06257 Beton żaroodporny na cemencie portlandzkim i hutniczym
- 10 Halicka A., Zegardło B.: Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu. *Przegląd Budowlany* 7-8/2011
- 11 Neville A.M.: Właściwości betonu, *Properties of concrete*. VI wydanie polskie, Polski Cement, Kraków 2000

Reuse of ceramic sanitary waste as an aggregate in concrete resistant to high temperature

Anna Halicka¹, Paweł Ogrodnik², Bartosz Zegardło³

¹ *Building Structure Unit, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: a.halicka@pollub.pl*

² *Fire-fighting Technology Unit, Faculty of Fire Safety Engineering, The Main School of Fire Service, e-mail: pawel-ogrodnik@wp.pl*

³ *Civil Engineering Unit, Technical Science Faculty, Collegium Mazovia – Innovative Higher School in Siedlce, e-mail: bart.z@wp.pl*

Abstract: In this paper the studies on reuse of ceramic sanitary ware wastes as aggregate in the concrete resistant to high temperatures are presented.

Concrete specimens containing alumina cement and crushed sanitary ceramic wastes as an aggregate were heated in 1000°C. It was found that after heating, these specimens preserved their shape and cohesion, and showed no cracks and defects. In contrast, specimens of concrete with alumina cement and traditional aggregate (granite and gravel) after heating were cracked and damaged. Despite some decrease in strength after heating, specimens with sanitary ceramic wastes continued to display high compressive strength and tensile strength.

Keywords: sanitary ceramic wastes, aggregate, high temperature resistance