

# Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu

Dr hab. inż. Anna Halicka, Politechnika Lubelska, mgr inż. Bartosz Zegardło, Collegium Mazovia – Innowacyjna Szkoła Wyższa, Siedlce

## 1. Wprowadzenie

Jednym z problemów współczesnego przemysłu są materiały lub odpady produkcyjne, które nie podlegają biodegradacji. Przy narastającej skali produkcji próby ich recyklingu są szczególnie istotne.

Biodegradacji nie podlega m.in. ceramika sanitarna i sanitarno-techniczna. Do podstawowych wyrobów tej grupy zalicza się: umywalki, słupki do umywalk, muszle klozetowe i zbiorniki do muszli. Pozostałe wyroby, stanowiące 10–15% produkcji, to medyczne instalacje sanitarne, muszle laboratoryjne, pisuary, bidety, zbiorniki, wanny oraz wbudowywane detale takie jak: haki do wieszaków, mydelnice, wsporniki do półek itp.

Odpady ceramiki sanitarnej powstają przez zużycie wyrobów sanitarnych, ale również sam proces produkcyjny jest odpadotwórczy. Na skutek trudności produkcji oraz rygorystycznych wymogów kontroli jakości, duża część wyrobów zostaje zakwalifikowana jako odpad poprodukcyjny. Najczęściej spotykanymi wadami dyskwalifikującymi wyrób są: pęknięcia, szczyrby, uszkodzenia szklawa itp.

Znane są próby stosowania ceramiki jako kruszywa do betonu, ale dotyczą one głównie ceramiki budowlanej (cegła, dachówki). W nielicznych przypadkach próbowano zastosować również stłuczkę ceramiki sanitarnej, ale dotychczas traktowano ją jako zamien-

nik jedynie części kruszywa (do 10%) [4, 8].

W niniejszym artykule zrelacjonowano badania betonu, w którym odpady ceramiki sanitarnej (tzw. stłuczka sanitarna), odpowiednio przygotowane i rozfrakcjonowane stanowią jedyne kruszywo. Wykonano szereg badań laboratoryjnych polegających na ustaleniu cech tego kruszywa oraz betonów wykonanych z jego udziałem. Badania wykonano w laboratoriach Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej oraz Collegium Mazovia – Innowacyjnej Szkoły Wyższej.

## 2. Podstawowe informacje o ceramice sanitarnej i jej produkcji

Termin „ceramika” pochodzi od greckiego „keramos” – glina. Terminem tym określa się wszystkie wyroby, które powstają z gliny. Surowcami do ich produkcji są gliny pospolite – o zabarwieniu od brązowego do żółtego stosowane do produkcji wyrobów budowlanych, takich jak: cegły, pustaki ścienne, stropowe, kształtki kominowe, dachówki itp. oraz gliny szlachetne białe (np. kaolin), służące do produkcji wyrobów porcelanowych lub porcelanopodobnych, z których wytwarza się m.in. ceramikę sanitarną.

Ceramikę sanitarną zaczęto wytwarzać w końcu XVIII wieku w Anglii. Materiałem do jej produkcji był aż

**Tabela 1.** Charakterystyka składu mas ceramicznych do produkcji wyrobów sanitarnych [1]

Surowiec [%]	Masa fajansowa	Masa półporcelanowa		Porcelana	Vitreous-china
	odlewanie stendowe	odlewanie stendowe	odlewanie na przenośniku	odlewanie na przenośniku	odlewanie na przenośniku
Glina zwykła	21	28	20	20	30
Kaolin	32	30	29	30	30
Piasek kwarcowy	29	27	24	–	–
Pegmatyt	–	–	–	17	30
Skaleń	6	11	13	–	10
Czerep	15	10	14	3	–
Dolomit	7	–	–	–	–
Soda	–	–	–	0,2	–
Szkło wodne	–	–	–	0,25	–

**Tabela 2.** Właściwości czerepu stosowanego do wyrobów sanitarnych [1]

WŁAŚCIWOŚCI	Masa fajansowa	Masa półporcelanowa		Porcelana	Vitrious–china
	odlewanie stendowe	odlewanie stendowe	odlewanie na przenośniku	odlewanie na przenośniku	odlewanie na przenośniku
Temperatura wypalania [°C]	1280–1200	1185–1250	1185–1250	1250–1280	1210–1230
Nasiąkliwość [%]	6–10	do 5	do 5	do 5	0,75
Wytrzymałość na ściskanie szklwionych próbek [MPa]	60–90		130–250	400–500	400–600
Wytrzymałość na uderzenie [MPa]	0,13–0,2		0,18–0,21	0,10–0,20	0,15–0,22
Moduł sprężystości [GPa]	220–250		300–400	600–800	400–700
Współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha \cdot 10^{-6}$	6–8,5		4–5	4–6,5	6–7

do połowy XX wieku fajans. Obecnie fajans zastąpiono porcelaną i półporcelaną oraz materiałem zwanym „vitreous–china” [1]. Charakterystykę składu mas ceramicznych do produkcji wyrobów sanitarnych przedstawia tabela 1, a porównanie właściwości ceramiki uzyskanej z tych mas – tabela 2 [1].

Proces produkcyjny wyrobów ceramiki sanitarnej odbywa się w kilku etapach, podczas których zachodzą liczne przemiany fizyko-chemiczne substratów [1].

W technologii tradycyjnej pierwszą fazą produkcji jest przygotowanie masy lejnej, która powstaje przez zmielenie na sucho lub mokro materiału skalnego w młynie kulowym. Masę lejną – po jej odpowietrzeniu, podaje się za pomocą pomp do stanowisk, na których następuje formowanie wyrobów. Kolejność prac przy formowaniu jest następująca:

1. Składanie form i napełnianie ich masą lejną.
2. Tworzenie czerepu (finalnego materiału ceramicznego bez szkliwa) podczas przebywania wyrobu w warunkach naturalnych przez około 2,5 godziny.
3. Utwardzenie czerepu w komorze utwardzania strumieniami nagrzanego powietrza – temperatura wewnątrz komory zmienia się od 25–30°C w części początkowej, do 40–50°C w części końcowej.
4. Rozformowanie wyrobu i wstępne jego wykończenie (ściananie szwów po odlewaniu, przebijanie otworów montażowych itp.).
5. Pierwszy etap podsuszania w tzw. komorze podsuszania przez 4 godziny w temperaturze około 35°C.
6. Dalsze wykańczanie wyrobu polegające np. na usunięciu zadziórów itp.
7. Drugi etap podsuszania w temperaturze około 45°C trwający 8 godzin.

Po zakończeniu formowania wyrobu następuje przygotowanie do szkliwienia: kontrola nasiąkliwości wysuszonego czerepu (maks. 2%), parafinowanie miejsc niewymagających szkliwienia, smarowanie naftą miejsc, w których mogą pojawić się pęknięcia i ostateczne czyszczenie krawędzi sprężonym powietrzem. Szkliwienie następuje

przez zanurzenie uformowanego czerepu w masie szkliwa lub natryskiwanie za pomocą dysz w kabynie szkliwienia.

Ostatnim etapem produkcji jest wypalanie w piecach tunelowych. Odbywa się ono w tzw. sposób szybkościowy, gdzie etapami następuje ogrzewanie do temperatury 1290°C, nagrzew izotermiczny, a następnie studzenie według schematu podanego szczegółowo w pracy [1]. Odejście od tego schematu przez obniżenie temperatury wypalania wywołuje niecałkowity przebieg reakcji i pojawienie się szkliwa matowego. Z kolei gwałtowne podwyższenie temperatury przy nagrzewaniu lub niepełne wstępne wysuszenie wyrobu wywołuje pęknięcia. Alternatywą opisanej wyżej technologii tradycyjnej jest technologia „fine fireclay”, pozwalająca na produkcję wyrobów ceramicznych o praktycznie dowolnych kształtach i minimalizację ich ciężaru, stosowana w Polsce od roku 2008 [9]. Masa ceramiczna w technologii „fine fireclay” ma skład zbliżony do masy w technologii „vitreous – china”, z tą różnicą, że nieplastyczne dodatki (skałeni i kwarc) są zastąpione przez rozdrobnioną, wypaloną glinę lub szamot. Podstawowymi składnikami masy „fine fireclay” są: szamot (stanowi z reguły 40% składu masy), gliny garncarskie z dużą zawartością kaolinitu i miki, tzw. ball clay (decydują o trwałości i odporności na oddziaływania mechaniczne związane z procesem technologicznym) oraz kaolin (zapewnia biały kolor po wypaleniu).

### 3. Badania kruszywa pochodzącego z ceramiki sanitarnej

#### 3.1. Sposób przygotowania kruszywa i skład ziarnowy

Kruszywo użyte do badań własnych zostało przygotowane na bazie poprodukcyjnych odpadów ceramiki sanitarnej (rys.1). Odpady odebrane zostały z zakładu produkcyjnego, przetransportowane i składowane na pryzmach w formie „stłuczki” o wymiarach



**Rys. 1.** Stłuczka sanitarna (fragment uszkodzonej umywalki) z oznaczonymi miejscami poboru próbek do badań przyczepności oraz uzyskane z niej kruszywo frakcji 4÷8 mm

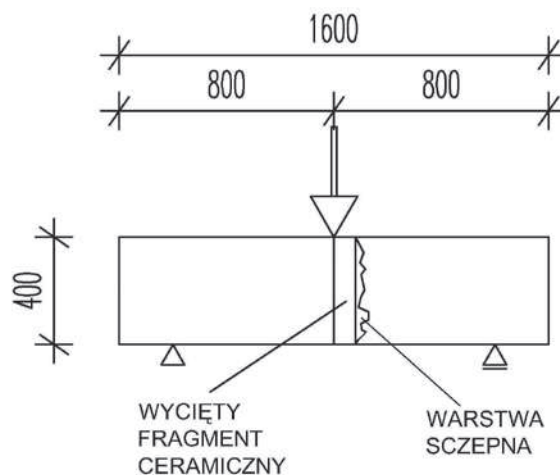
około 400 x 400 mm. Do przygotowania kruszywa zastosowano kruszarki szczękowe, pozwalające na wyodrębnienie dwóch frakcji: drobnej 0÷4 mm oraz grubej 4÷8 mm. Kruszywo grubsze, które pozostawało na sicie 8 mm trafiło powtórnie do kruszarki. Analiza sitowa pozwoliła na ustalenia składu ziarnowego uzyskanego kruszywa: frakcja 0÷0,3 mm – 4,65%, 0,3÷0,425 mm – 2,88%, 0,425÷0,85 mm – 10,88%, 0,85÷2,0 mm – 27,88%, 2,0÷4,0 mm – 35,0%, 4,0÷6,3 mm – 16,3%, 6,3÷8,0 mm – 2,34%. Punkt piaskowy wynosił zatem 46,29%.

### 3.2. Badanie gęstości właściwej, objętościowej i nasiąkliwości

W celu wyznaczenia gęstości właściwej zastosowano metodę normową wg PN-EN1097-7 [11]. Stanowisko badawcze wyposażone zostało w: piknometr o objętości 50 ml, wagę, suszarkę laboratoryjną, termometr, pompę próżniową oraz sito badawcze o oczku 0,125 mm. Wykonano 9 pomiarów. Uzyskano średnią gęstość właściwą 2640,30 kg/m<sup>3</sup>, a współczynnik zmienności wynosił 3,0%.

Gęstość objętościową oraz nasiąkliwość kruszywa zbadano metodą normową wg PN-EN 1097-6 [12].

Stanowisko badań wyposażono w suszarkę laboratoryjną, wagę, łaźnię wodną, sита laboratoryjne, tace do suszenia, ściereczki chłonnae wilgoć, stoper, formę z ubijakiem oraz suszarkę. Uzyskano średnią gęstość objętościową kruszywa 2362,76 kg/m<sup>3</sup> przy współczyn-



**Rys. 2.** Schemat badania przyczepności kruszywa do zaczynu

**Tabela 3.** Zestawienie wyników badania przyczepności zaczynu do kruszywa

Numer próbki	Wymiary (mm)	Powierzchnia (mm <sup>2</sup> )	Obciążenie niszczące (kN)	Naprężenia przyczepności (MPa)
badanie przyczepności czerepu do zaczynu				
1.	40 x 40 x 160	426,7	0,639	1,50
2.	40 x 40 x 160	426,7	0,642	1,50
			Wartość średnia	1,50
badanie przyczepności szkliva do zaczynu				
3.	40 x 40 x 160	426,7	0,645	1,51
4.	40 x 40 x 160	426,7	0,636	1,49
			Wartość średnia	1,50



**Rys. 3.** Próbkę stłuczki ceramicznej do badań przyczepności z nałożoną warstwą szepną i beleczka zawierająca próbkę stłuczki po badaniu przyczepności do zaczynu

niku zmienności 1,6%. Średnia nasiąkliwość wyniosła 1,53% przy współczynniku zmienności 6,8%.

**3.3. Badanie przyczepności zaczynu do kruszywa**

Przyczepność zaczynu do stłuczki sanitarnej badano w schemacie zginania trypunktowego (rys. 2). Próbkę do badań zostały zaformowane jako beleczki 40 x 40 x 160 mm z zaczynu cementowego. Do przygotowania zaczynu użyto 1200 g cementu i 360 ml wody, co stanowiło zaczyn o konsystencji normowej (badanie konsystencji normowej zaczynu przeprowadzono przy użyciu aparatu Vikata).

W środku rozpiętości beleczki umieszczono pionowo płaski fragment stłuczki o wymiarach 40 x 40 mm i grubości 8 mm. Umieszczono go tak, aby powierzchnia styku między zaczynem a stłuczka wypadła dokładnie

w środku długości próbki, gdzie ze względu na maksymalne naprężenia rozciągające, oczekiwano zniszczenia próbki.

Do pobrania fragmentów stłuczki z uszkodzonej umywalki, ze względu na wysoką twardość materiału, użyto szlifierki kątovej z tarczą diamentową. Pobrano 4 fragmenty stłuczki, przy czym dwa z nich użyto do zbadania przyczepności zaczynu do szkliva, pozostałe dwa do badania przyczepności zaczynu do czerepu. Przygotowanie powierzchni płytki do badania przyczepności zaczynu do czerepu wymagało zdjęcia warstwy szkliva, również za pomocą szlifierki kątovej z tarczą diamentową.

W celu niedopuszczenia do ewentualnego zniszczenia w strefie styku na drugiej powierzchni fragmentu ceramiki, wykonano tu tzw. warstwę szepną używając

**Tabela 4.** Porównanie cech kruszywa z ceramiki sanitarnej z cechami skał, z których otrzymuje się powszechnie stosowane kruszywa budowlane [6]

Właściwość		Granit	Porfir	Diabaz	Bazalt	Piaskowiec kwarcytowy	Wapień zbity	Dolomit	Ceramika sanitarna	
									literatura	badania własne
Gęstość właściwa	kg/dm <sup>3</sup>	2,3–2,8	2,6–2,5	2,8–2,9	2,6–3,2	2,6–2,7	2,6–2,9	2,4–2,8		2,64
Gęstość objętościowa	kg/dm <sup>3</sup>	2,1–2,7	2,3–2,4	2,6–2,8	2,5–3,1	2,4–2,6	2,5–2,8	2,2–2,6		2,36
Wytrzymałość na ściskanie	MPa	160–240	160–300	180–250	250–400	120–200	80–180	60–180	400–600	
Wytrzymałość na rozłupanie	MPa	7–14	8–16	9–18	10–20	7–11	4–10	4–10		
Moduł sprężystości	GPa	13–61	36–68	70–90	56–99	40–43	21–53	18–48	40–70	
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	$\alpha_t \cdot 10^{-6}$	5–9	7–9	7–9	8–12	12–18	1–8	3–12	6–7	
Nasiąkliwość	%	0,2–0,5	0,2–0,7	0,1–0,3	0,1–0,4	0,2–0,5	0,3–1,5	0,3–2,0	0,75–5,0	1,53
Porowatość	%	do 1,0	do 3,0	do 5,0	do 3,0	do 5,0	do 3,0	do 4,0		
Ścieralność	cm	0,1–0,3	0,1–0,6	0,3–0,7	0,1–0,2	0,3–1,5	0,2–2,0	0,3–1,4		
Odporność na wysokie temperatury		dostateczna	dobra	dobra	b. dobra	dostateczna	do 800°C	do 800°C	b. dobra	

do tego celu jednego z firmowych środków szepnych (rys. 3a). Powierzchnię tę wcześniej uszorstniono formując w niej ręcznie nierówności, które miały zapewnić lepszą przyczepność z warstwą szepną. Po stwardnieniu warstwy szepnej usytuowano płytki w formach, które wypełniono zaczynem cementowym. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono w prasie hydraulicznej ADWANTEST 9 firmy CONTROLS. Widok stanowiska badawczego z badaną próbką z próbką po zniszczeniu przedstawia rysunek 3b. Próbkę uległą zniszczeniu, zgodnie z oczekiwaniami w środku rozpiętości poprzez zerwanie przyczepności między zaczynem a fragmentem ceramiki sanitarnej. Zestawienie otrzymanych wyników zawarto w tabeli 3. Wynika z niej, że przyczepność na rozciąganie przy zginaniu zarówno dla fragmentów czerepu, jak i szklawa wyniosła 1,5 MPa.

### 3.4. Porównanie cech kruszywa z ceramiki sanitarnej z cechami kruszyw używanych tradycyjnie do betonów

Porównania cech badanego kruszywa z cechami kruszyw używanych powszechnie w budownictwie dokonano w sposób tabelaryczny w tabeli 4.

Na podstawie wyników badań własnych i analizy wielkości literaturowych stwierdzić można, że właściwości kruszywa z odpadów ceramiki sanitarnej nie odbiegają od cech kruszyw stosowanych tradycyjnie do betonów i mogą być użyte jako takie kruszywo. Zwraca uwagę jego bardzo wysoka wytrzymałość na ściskanie oraz moduł sprężystości. Charakterystyczną cechą jest stosunkowo wysoka nasiąkliwość kruszywa ceramicznego w porównaniu ze stosowanymi tradycyjnie kruszywami, zbliżona jedynie do nasiąkliwości wapienia i dolomitu. Może mieć to wpływ na ilość wody niezbędnej do uzyskania żądanej konsystencji mieszanki betonowej.

## 4. Badania betonu sporządzonego na przy użyciu kruszywa z ceramiki sanitarnej

### 4.1. Skład mieszanek betonowych

Badania wykonano używając dwóch rodzajów cementu. Obok mieszanki betonowej sporządzonej na cemencie portlandzkim CEM I 42,5 R, wykonano mieszankę betonową na bazie cementu glinowego z zawartością 70%  $Al_2O_3$ . Użycie cementu glinowego podyktowane było zaplanowanymi w dalszej perspektywie badaniami odporności betonu na kruszywie ceramicznym na wysokie temperatury.

Dla porównania wykonano też badania betonu na kruszywie żwirowym, również z użyciem dwóch rodzajów cementu.

Skład betonu na kruszywie ceramicznym projektowano metodą obliczeniowo-doświadczalną, wariantując wskaźnik w/c i ilość zaczynu tak, aby uzyskać jednorodny, nieporowaty beton. Przyjęto takie same składy wszystkich badanych betonów, niezależnie od rodzaju cementu i użytego kruszywa. Były one następujące: C = 493,4 kg/m<sup>3</sup>, K = 1387,9 kg/m<sup>3</sup> (kruszywo o frakcji 0÷4 mm – 991,36 kg/m<sup>3</sup>, frakcji 4÷8 mm – 396,54 kg/m<sup>3</sup>), woda W = 201,4 kg/m<sup>3</sup>. Wskaźnik w/c równy był, 0,41 i zawartość zaprawy (woda + cement + kruszywo do 2 mm) wynosiła 524 dm<sup>3</sup>.

Konsystencję mieszanki betonowej oceniano metodą opadu stożka. W wyniku badań uzyskano klasy S2, ale w przypadku betonu na kruszywie ceramicznym wynik pomiaru był bliski granicznej wartości dolnej (50 mm), a w przypadku kruszywa żwirowego – bliski granicy górnej.

### 4.2. Wyniki badań

Wykonano badania wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie betonu. Ze względu na to, że granulacja użytego kruszywa nie przekraczała 8 mm, a kruszywo



Rys. 4. Badania wytrzymałościowe betonu na ściskanie i rozciąganie

**Tabela 5.** Wyniki badań wytrzymałości betonu na ściskanie

	Liczba próbek	Wytrzymałość średnia [MPa]	Wskaźnik zmienności [%]
<b>Beton na cemencie portlandzkim</b>			
<b>Z kruszywem z żwirowym</b>			
na ściskanie	3	42,8	8,36
na rozciąganie przy zginaniu	3	6,35	9,64
<b>Z kruszywem ceramicznym</b>			
na ściskanie	3	46,95	2,44
na rozciąganie przy zginaniu	3	6,52	6,35
<b>Beton na cemencie glinowym</b>			
<b>Z kruszywem z żwirowym</b>			
na ściskanie	6	80,4	5,31
na rozciąganie przy zginaniu	3	7,2	10,05
<b>Z kruszywem ceramicznym</b>			
na ściskanie	6	90,54	2,41
na rozciąganie przy zginaniu	3	9,56	4,99

granulacji poniżej 4 mm stanowiło powyżej 70% składu, próbki do badań przygotowano w formie beleczek 40 x 40 x 160 mm.

Próbki po jednej dobie od zaformowania i zagęszczenia rozformowano. Przez 30 dni poddawano je pielęgnacji wilgotnościowej w temperaturze 15°C, a następnie po kolejnych 7 dniach poddano badaniom.

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono przy użyciu prasy hydraulicznej ADWANTEST 9 firmy CONTROLS. Widok stanowiska badawczego z próbkami próbkę po zniszczeniu przedstawia rysunek 4. Zestawienie wyników badań wytrzymałościowych zawarto w tabeli 5.

Wyniki badań wytrzymałościowych pozwoliły stwierdzić, że beton na kruszywie ceramicznym nie ustępuje wytrzymałością betonowi na kruszywie żwirowym. Beton z kruszywem ceramicznym, zarówno na bazie cementu portlandzkiego, jak i glinowego, miał nawet wyższe wytrzymałości na ściskanie (o około 10%) i na rozciąganie w porównaniu z betonem sporządzonym przy użyciu kruszywa żwirowego. Wyniki są też bardziej jednorodne, na co wskazują mniejsze współczynniki zmienności niż w betonie żwirowym.

Kruszywo ceramiczne oprócz tego, że samo ma wysoką wytrzymałość, jest kruszywem łamanym o zróżnicowanej granulacji, dzięki czemu stos okruszowy jest szczelny, drobiny frakcji mniejszych mogą ściśle układać się pomiędzy ziarnami kruszywa grubszego. Ostre krawędzie kruszywa mogą być przyczyną klinowania się pomiędzy sobą ziaren, co również znacząco wpływa na wytrzymałość betonu.

## 5. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić przydatność kruszywa wytworzonego z odpadów ceramicznych

sanitarnej jako kruszywa do betonu. Beton na bazie takiego kruszywa odpowiednio skomponowany ma wyższe parametry wytrzymałościowe niż beton na kruszywie żwirowym. Planowane są dalsze badania pozwalające na potwierdzenie możliwości stosowania betonów wykonywanych przy użyciu kruszywa ceramicznego jako betonów specjalnych, wykorzystujących dodatkowe korzystne cechy tego kruszywa, a w szczególności odpornych na działanie wysokich temperatur oraz trudnościeralnych.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Awgustynik A. J., „Ceramika” Arkady Warszawa 1980
- [2] Bieda W., „Nowoczesne metody ceramiki przemysłowej” Polska Akademia Nauk Oddział w Krakowie Kraków 1972
- [3] Bieriensztejn P. I., Intensyfikacja obszyga izdieliej stroitelnoj kieramiki ( Techn. Informacja CNII TESTROM MPSP) 1968
- [4] Guerra I., Vivar I., Liams 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
- [5] Haase T., „Keramik” 2 Aufl. VEB Deutsch. Verlag fur Grundstoffindustire, Leipzig, 1961
- [6] Jamroży Z., „Beton i jego technologie” Wydawnictwo naukowe PWN Warszawa 2006
- [7] Kielski A., „Ogólna technologia ceramiki” Skrypty uczelniane Kraków 1970
- [8] Martrinez M., Romero G., Morán del Pozo J. M, Valdés A. J., „Use of ceramics wastes in structural concretes” materiały 1 st Spanish National Conference on Advances in Material Recycling and Eco – Energy Madrid, 12–13 November 2009.
- [9] Podolec P., „Fine fireclay – sposób na największą umywalkę” Łazienka 12/2008
- [10] Węgrowski W., Przędziecka K., „Szkło i ceramika” Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych Warszawa 1979
- [11] PN-EN 1097-7 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 7: Oznaczenie gęstości wypełniacza – Metoda piknometryczna
- [12] PN-EN 1097-6 – Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 6: Oznaczenie gęstości ziarn i nasiąkliwości