

Jacek HALBINIAK, Aleksandra BLUKACZ

Politechnika Częstochowska

## RECYKLING ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH W KOMPOZYTACH BETONOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu odpadu przemysłowego w postaci płytek ceramicznych na właściwości mieszanki betonowej i betonu. Płytki ceramiczne rozdrobniono do wielkości od 1 do 8 mm i dozowano je jako częściowy zamiennik kruszywa żwirowego. Ponadto płytki ceramiczne rozdrobniono do postaci pyłów i zastosowano je jako dodatkowy składnik mieszanki betonowej.

**Słowa kluczowe:** recykling, ceramika, beton

### WPROWADZENIE

W krajach Unii Europejskiej wzrasta świadomość ekologiczna, polegająca na prowadzeniu nowej polityki gospodarki odpadami przemysłowymi. Sprowadza się to do recyklingu odpadów przemysłowych. Ich objętość osiąga olbrzymie poziomy, co staje się niedopuszczalne z punktu widzenia gospodarczego, społecznego oraz ekologicznego. W gospodarowaniu odpadami istotnym problemem stał się także brak obszarów do ich składowania. Zdeponowanie odpadów na składowiskach nie jest także dobrym rozwiązaniem z innego powodu, mianowicie wiąże się to z ich zabezpieczeniem oraz analizą ich wpływu na środowisko naturalne. Oznacza to stale rosnące koszty, związane z ich składowaniem. Taki sposób działania nie rozwiązuje coraz większego problemu w skali światowej.

Racjonalnym rozwiązaniem wydaje się przeprowadzenie procesu odzysku lub recyklingu odpadów przemysłowych. Beton to materiał, którego właściwości można świadomie modyfikować różnymi dodatkami, pochodzącymi z odpadów produkcyjnych. Stosowane odpady do betonów nie tylko zostają w ten sposób zagospodarowane, ale dodatkowo wpływają one na poprawę właściwości kompozytów betonowych. Obecnie do kompozytów betonowych powszechnie dodaje się mikrokrzemionki i popiołów lotnych, choć coraz częściej wykorzystuje się inne dodatki, które pozytywnie wpływają na parametry betonów. Wpływ mikrokrzemionki na poprawę właściwości betonów potwierdziło wielu naukowców. Powszechnie jest znane, że dodatek w postaci mikrokrzemionki uszczelnia matrycę cementową i warstwę stykową kruszywo - zaczyn cementowy, zwiększa wytrzymałość betonu, zmniejsza jego nasiąkliwość i zwiększa trwałość. Gupta i inni [1] wykazali, że mikrokrzemionka poprawia także odporność betonu na uderzenia. Nili i Ehsani [2]

potwierdzili w badaniach, że mikrokrzemionka oraz nanokrzemionka zwiększa tempo przyrostu wytrzymałości betonu oraz modyfikuje warstwę stykową kruszywo - zaczyn cementowy. Podobne wyniki badań uzyskano w badaniach przedstawionych w [3], gdzie potwierdzono poprawę twardości oraz ścieralności betonów z dodatkiem nanokrzemionki. Dodatek w postaci mikrokrzemionki oraz popiołów lotnych pozytywnie wpływa na korozję chlorkową betonów. Ponadto popioły lotne poprawiają płynność mieszanki betonowej oraz jej urabialność, dzięki czemu są one wykorzystywane do betonów samozagęszczalnych [4]. Popiół lotny ma zastosowanie w betonach zarówno jako zamiennik cementu, jak i jako mikrokruszywo. Podstawowe oddziaływanie popiołu związane jest z właściwościami mieszanki betonowej i dotyczy wodożądności i urabialności. Wpływa w korzystny sposób na urabialność mieszanki betonowej, działa uplastyczniająco, powoduje poprawienie spoiwości i zapobiega jej segregacji. Popioły lotne w istotny sposób wpływają na poprawę szczelności mieszanki betonowej oraz odporność korozyjną betonu.

W Europie odpady ceramiczne stanowią od 3 do 7% wytwarzanych materiałów ceramicznych [5, 6]. Oznacza to, że rocznie przybywa ich na składowiskach około miliona ton. Jest to surowiec, który z powodzeniem nadaje się do ponownego zastosowania. Można go zastosować jako materiał schudzający do wytwarzania ceramiki czerwonej oraz jako wypełniacz do kompozytów betonowych. Wytwarzanie mieszanki betonowej z wykorzystaniem odpadów ceramicznych jako zamiennika kruszywa naturalnego nie wymaga żadnych kosztownych procesów technologicznych. Podobnie ma się w przypadku ceramiki szlachetnej czy półszlachetnej (ceramika stołowa, sanitarna itp.). Wpływ rozdrobnionej ceramiki czerwonej do postaci kruszywa na cechy betonu jest zagadnieniem znanym, natomiast wykorzystanie ceramiki białej nie jest do końca jeszcze rozpoznane.

Medina i inni [7, 8] zastosowali do betonów odpady z ceramiki sanitarnej jako zamiennik kruszywa. Betony z dodatkiem kruszywa z ceramiki sanitarnej uzyskały wyższe wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie niż betony na bazie kruszywa żwirowego oraz charakteryzowały się mniejszą ilością makroporów. Dowiedli, że warstwa stykowa kruszywo ceramiczne - zaczyn cementowy jest mniej porowata i bardziej zwarta niż warstwa stykowa kruszywo żwirowe - zaczyn cementowy. Ceramiczne kruszywo z recyklingu stosowali także do betonów Halicka i inni [9]. Potwierdzili w swoich badaniach zwiększenie wytrzymałości na ściskanie oraz odporności na ścieranie betonów z dodatkiem kruszywa ceramicznego w porównaniu z betonami z kruszywa naturalnego. Dowiedli, że kruszywo ceramiczne z recyklingu można stosować do betonów specjalnych, pracujących w wysokich temperaturach.

## 1. ZAKRES BADAŃ

Program badawczy miał na celu określenie wpływu wybranych odpadów produkcyjnych na cechy mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Przeprowadzono badania konsystencji mieszanki betonowej oraz wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwości, głębokości penetracji wody i mrozoodporności dla 150 cykli zamrożeń i rozmrożeń. Do zaprojektowanego betonu kontrolnego (seria K) zastosowano

odpad w postaci płytek ceramicznych (serie C). Odpady w postaci ceramiki dozowano do betonu w dwojaki sposób, a mianowicie:

- w postaci kruszywa o wielkości od 1 do 8 mm - wcześniej rozkruszonego w młynie (rys. 1). Kruszywo naturalne zostało zastąpione przez kruszywo, pochodzące z recyklingu w ilościach 15, 20 i 30% masy kruszywa - serie: C15A, C20A, C30A;
- w postaci pyłów - rozkruszone w młynie i dodatkowo rozdrobnione w dezintegratorze (rys. 2). Rozdrobnienie ceramiki w dezintegratorze umożliwiło uzyskanie dodatków o wielkości poniżej 0,5 mm. Ceramikę w postaci pyłów dozowano w ilości 5, 7,5 oraz 10% masy cementu - serie C5P, C7,5P, C10P.



Rys. 1. Młyn do rozkruszania ceramiki



Rys. 2. Dezintegrator do rozdrabniania ceramiki

Do wszystkich mieszanek betonowych zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R oraz kruszywo naturalne, żwirowe o punkcie piaskowym 38%. W celu upłynnienia mieszanki betonowej zastosowano superplastyfikator na bazie polikarboksylanów w ilości 1% masy cementu. We wszystkich badanych seriach betonów przyjęto stałą masę cementu, wody i domieszki upłynniającej. Składy badanych betonów przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Składy badanych betonów z dodatkiem kruszywa (od 1 do 8 mm), pochodzącego z rozkruszonej ceramiki w młynie

Serie betonów	Składniki [kg/m <sup>3</sup> ]				
	Cement	Woda	Kruszywo żwirowe	Domieszka upłynniająca	Rozdrobnione płytki ceramiczne (1÷8 mm)
K	365	183	2050	3,65	–
C15A	365	183	1742,5	3,65	307,5
C20A	365	183	1640	3,65	410
C30A	365	183	1435	3,65	615

Tabela 2. Składy badanych betonów z dodatkiem pyłów (o wielkości poniżej 0,5 mm), pochodzących z rozkruszonej ceramiki w młynie i dodatkowo rozdrobnionych w dezintegratorze

Serie betonów	Składniki [kg/m <sup>3</sup> ]				
	Cement	Woda	Kruszywo żwirowe	Domieszka upłynniająca	Rozdrobnione płytki ceramiczne do postaci pyłów
K	365	183	2050	3,65	–
C5P	365	183	2013,7	3,65	18,3
C7,5P	365	183	2022,6	3,65	27,4
C10P	365	183	2013,5	3,65	36,5

## 2. WYNIKI BADAŃ

Dla wszystkich serii betonów wykonano następujące badania: konsystencji mieszanki betonowej metodą opadu stożka (wg normy PN-EN12350-2), wytrzymałości na ściskanie (wg normy PN-EN206), nasiąkliwości (wg normy PN-88/B-06250), głębokości penetracji wody (wg normy PN-EN 12390-8) oraz mrozoodporności dla 150 cykli zamrożeń i rozmrożeń (wg normy PN-88/B-06250). Wyniki badań zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki badań uzyskane dla betonu kontrolnego oraz modyfikowanych serii z udziałem ceramiki odpadowej

Badana właściwość	Serie betonów						
	K	C <sub>15A</sub>	C <sub>20A</sub>	C <sub>30A</sub>	C <sub>5P</sub>	C <sub>7,5P</sub>	C <sub>10P</sub>
Opad stożka [mm]	140	145	148	160	135	120	110
Klasa konsystencji S	S3	S3	S3	S4	S3	S3	S3
Średnia wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $f_{cm,28}$ [MPa]	54,5	52,3	52,0	50,1	53,1	53,0	51,9
Nasiąkliwość [%]	4,5	4,4	4,4	4,0	4,5	4,2	4,2
Głębokość penetracji wody [mm]	60	60	58	53	59	57	56
Spadek wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach zamrożeń i rozmrożeń [%]	15,8	15,0	15,0	15,0	15,1	14,5	14,3

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność zastosowanego odpadu ceramicznego do produkcji betonów. Dotyczy to zarówno dodatku w postaci kruszywa, jak i dodatku w postaci pyłów, uzyskanych po rozkruszeniu i rozdrobnieniu

ceramiki. Na podstawie uzyskanych wyników badań można sformułować następujące wnioski końcowe:

- Zastąpienie kruszywa naturalnego dodatkiem w postaci kruszywa z recyklingu ceramiki o wielkości 1÷8 mm spowodowało spadek średnich wytrzymałości na ściskanie. W serii C15A, w której zastąpiono 15% kruszywa naturalnego kruszywem z recyklingu, spadek ten wyniósł 4% w stosunku do średniej wytrzymałości na ściskanie betonu kontrolnego (seria K). Niemniej w serii, w której wprowadzono 30% kruszywa z recyklingu (seria C30A), spadek ten wyniósł 8%. Pozostałe badane cechy betonu z kruszywem z recyklingu nie uległy pogorszeniu. Zarówno nasiąkliwość, jak i odporność na zamrażanie i rozmrażanie oraz głębokość penetracji wody uległy poprawie w betonach, w których zastosowano kruszywo z recyklingu.
- Rozdrobnienie ceramiki do postaci pyłu pozytywnie wpłynęło na właściwości badanych kompozytów betonowych. Wprowadzenie dodatku w postaci pyłów w ilości 5 i 7,5% masy cementu spowodowało uzyskanie betonów o prawie identycznej wytrzymałości na ściskanie jak beton kontrolny. Dodatek rozdrobnionej ceramiki do postaci pyłów uszczelnił matrycę cementową, zmniejszając nasiąkliwość badanych betonów oraz zmniejszając głębokość penetracji wody. Betony z dodatkiem rozdrobnionej ceramiki do postaci pyłów uzyskały także najlepsze wyniki w badaniu mrozoodporności dla 150 cykli zamrożeń i rozmrożeń. Spadek średniej wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach wyniósł 14,3% dla serii C10P, przy czym dla betonu kontrolnego spadek ten wyniósł 15,8%.
- Reasumując całokształt przeprowadzonych badań, stwierdza się, że istnieje możliwość zastosowania odpadów z płytek ceramicznych do produkcji kompozytów betonowych.

## LITERATURA

- [1] Gupta T., Sharma R.K., Chaudhary S., Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume, *International Journal of Impact Engineering* 2015, 83, 76-87.
- [2] Nili M., Ehsani, A., Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume, *Materials and Design* 2015, 75, 174-183.
- [3] Mukharjee B.B., Barai S.V., Influence of incorporation of nano-silica and recycled aggregates on compressive strength and microstructure of concrete, *Construction and Building Materials* 2014, 71, 570-578.
- [4] Wongkeo W., Thongsanitgarn P., Ngamjarrojana A., Chaipanich A., Compressive strength and chloride resistance of self-compacting concrete containing high level fly ash and silica fume, *Materials and Design* 2014, 64, 261-269.
- [5] Halicka A., Zegardło B., Odpady ceramiki sanitarnej jako kruszywo do betonu, *Przegląd Budowlany* 2011, 7-8, 50-55.
- [6] Zegardło B., Halicka A., Właściwości betonu z kruszywem uzyskanym z odpadów ceramiki sanitarnej 2012, 11, 24-28.
- [7] Medina C., Sánchez de Rojas M.I., Frías M., Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes, *Cement & Concrete Composites* 2012, 34, 48-54.

- [8] Medina C., Frías M., Sánchez de Rojas M.I., Thomas C., Polanco J.A., Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate, *Construction and Building Materials* 2012, 37, 597-605.
- [9] Halicka A., Ogrodnik P., Zegardło B., Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate, *Construction and Building Materials* 2013, 48, 295-305.

## **RECYCLING OF INDUSTRIAL WASTE IN CONCRETE COMPOSITES**

**The article presents the results of research on the impact of industrial waste in the form of ceramic tiles on the properties of concrete mix and concrete. Ceramic tiles were crushed to a size of 1 to 8 mm and dispensed as a partial replacement for gravel aggregate. In addition, ceramic tiles were crushed to a dust and used as an additional component of the concrete mix.**

**Keywords: recycling, ceramics, concrete**