www.biswbis.pb.edu.pl

CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING 5(2014) ISSN: 2081-3279 BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

WPŁYW TEMPERATURY I CZASU PRAŻENIA NA ZAWARTOŚĆ ZAPRAWY W KRUSZYWIE RECYKLINGOWYM

Maciej SWIRYDZIUK*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań kruszywa recyklingowego frakcji 4/16 mm, które zostało poddane prażeniu w piecu ceramicznym. Dokonano mechanicznego odspojenia zaprawy cementowej od kruszywa w bębnie Los Angeles w celu uzyskanie kruszywa wolnego od zaprawy cementowej. Wyniki badań wykazują, że można uzyskać kruszywo wtórne pozbawione zaprawy cementowej o jakości technicznej nie gorszej niż kruszywo naturalne.

Słowa kluczowe: kruszywo z recyklingu, recykling betonu, obróbka termiczna kruszywa, temperatura prażenia.

1. Wprowadzenie

Beton jest materiałem kompozytowym, który poprzez swoją uniwersalność znajduje powszechne zastosowanie w wielu gałęziach współczesnego budownictwa. Należy nadmienić, że kruszywo jest znaczącym składnikiem betonu i warunkuje wiele jego ważnych cech. W związku z tym, że objętość absolutna kruszywa w betonie zwykłym wynosi około 60-75%, właściwości fizyczne i mechaniczne kruszywa w sposób znaczący przekładają się na jakość techniczną betonu (Jamroży, 2000). Norma PN-EN 12620:2004 *Kruszywa do betonu*, definiuje kruszywo recyklingowe, określając je jako kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie. Beton jest idealnym materiałem wtórnym nadającym się do kolejnego wykorzystania po odpowiedniej obróbce technologicznej.

Kruszywo recyklingowe powstałe z przekruszenia betonu ma gorsze właściwości w porównaniu z kruszywem naturalnym (Casuccio i in., 2008). Obniżoną jakość uzasadnia obecność w jego składzie 25-60% zaprawy cementowej (Hansen i Narud, 1983). Przylegająca zaprawa w dużej mierze przyczynia się do obniżenia gęstości kruszywa. Ponadto, kruszywo z recyklingu odznacza się dużą porowatością, wchłania znaczne ilości wody, co utrudnia projektowanie mieszanki betonowej oraz kontrolowanie jej urabialności (Bołtryk i Pawluczuk, 2011). Skutecznym działaniem w celu poprawienia ich właściwości mogą być dodatkowe zabiegi technologiczne, na przykład prażenie. Taki zabieg ma na celu dehydratację zaprawy cementowej, co ułatwia jej odspojenie od kruszywa.

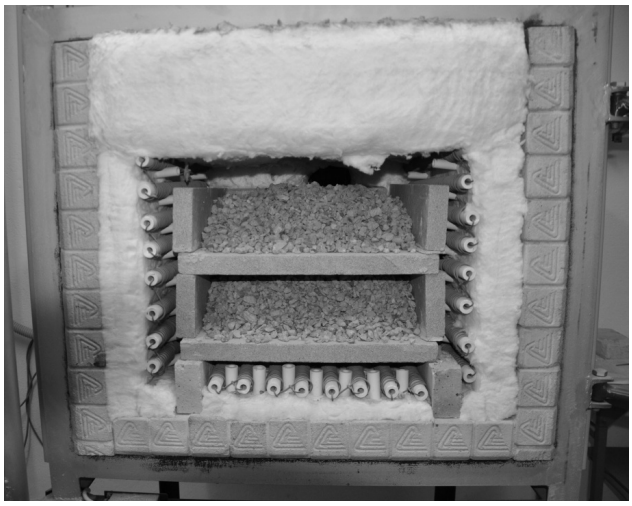
Przedmiotem badań było kruszywo wtórne uzyskane w wyniku recyklingu słupów prefabrykowanych. Kruszywo frakcji 4/16 mm zostało poddane prażeniu. Celem tego procesu było wykazanie, że można uzyskać kruszywo wtórne pozbawione zaprawy cementowej o jakości technicznej nie gorszej niż kruszywo naturalne.

2. Metodologia badań własnych

Celem badań było uzyskanie informacji o wpływie czasu i temperatury prażenia na ilość odseparowanej zaprawy cementowej z ziaren kruszywa. Do badania użyto gruzu pochodzącego ze wstępnego rozkruszenia prefabrykowanych słupów żelbetowych znanego pochodzenia (rys. 1). Kruszywo wtórne zostało poddane dalszemu rozdrobnieniu w kruszarce szczękowej do momentu uzyskania frakcji 4/16 mm. Frakcję kruszywa poniżej 4 mm potraktowano jako odpad technologiczny i nie wykorzystano w dalszych procesach. Prażenie kruszywa wtórnego wykonano w elektrycznym piecu ceramicznym (rys. 2).

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: maciej.swirydziuk@gmail.com

Rys. 1. Wstępne kruszenie słupów prefabrykowanych użytych w badaniu



Rys. 2. Proces prażenia kruszywa recyklingowego w elektrycznym piecu ceramicznym

Opracowano dwuczynnikowy plan eksperymentu polisekcyjno-rotalno-quasi-uniformalny dla dwóch wielkości wejściowych, w którym liczba obiektów doświadczalnych n = 10 (…). Jest to jeden z typów planów centralnych kompozycyjnych. Określa go ustalona liczba kombinacji wartości unormowanych, kodowanych, wynoszących: 0, ±1, ±1,414. Zbiór wielkości wejściowych tworzą dwie zmienne niezależne na pięciu poziomach zmienności:

– X_1 – temperatura prażenia: 400, 459, 600, 741, 800 [°C]
– X_2 – czas prażenia: 30, 36, 50, 64, 70 [min].

Wartości kodowane zmiennych wejściowych przedstawiono w tabeli 1.

Układ punktów badawczych w przyjętym planie eksperymentu przedstawiono na rysunku 3, a macierz eksperymentu dla wartości kodowanych – w tabeli 2.

Funkcji obiektu została zapisana w postaci wielomianu drugiego stopnia:

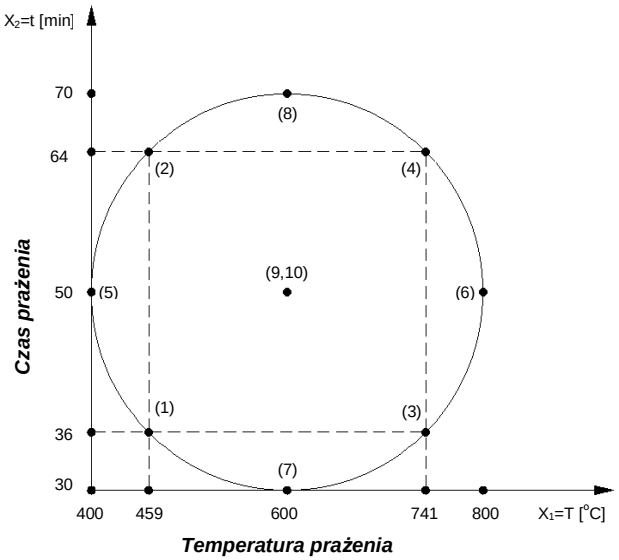
$$z = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{12} x_1 x_2 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 \qquad (1)$$

Tab. 1. Wartości kodowane zmiennych wejściowych

X_1 – temperatura prażenia		X_2 – czas prażenia	
400°C	-1,414	30 min	1,414
459°C	-1	36 min	-1
600°C	0	50 min	0
741°C	+1	64 min	+1
800°C	+1,414	70 min	+1,414

Tab. 2. Macierz eksperymentu dla wartości kodowanych

Lp	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2
1	-1	-1	+1	+1	+1
2	-1	+1	-1	+1	+1
3	+1	-1	-1	+1	+1
4	+1	+1	+1	+1	+1
5	-1,414	0	0	+2	0
6	+1,414	0	0	+2	0
7	0	-1,414	0	0	+2
8	0	+1,414	0	0	+2
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0



Rys. 3. Plan eksperymentu

Obróbka termiczna kruszywa recyklingowego miała na celu wywołanie procesu dehydratacji cementu. W związku z tym, że kruszywo recyklingowe zawiera znaczne ilości zaprawy cementowej zabieg ten pozwolił na łatwiejsze odspojenie zaprawy od kruszywa. Pod wpływem obróbki termicznej cząsteczki wody zawarte w zaprawie cementowej zostały usunięte, w wyniku czego zaprawa utraciła zdolności wiążące. Badanie przeprowadzono w zakresie temperatur od 459°C do 800°C.

W celu mechanicznego odspojenia zaprawy cementowej od kruszywa wykorzystano bęben Los Angeles. Według PN-EN 1097-2 *Badanie mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie*, bęben służy do oznaczenia odporności na rozdrabnianie kruszyw naturalnych i pochodzenia sztucznego stosowanych w budownictwie.

Badania przeprowadzono według PN-EN 1097-2:2000. Odstępstwem od normy była masa próbki kruszywa recyklingowego w ilości 30 kg na jeden cykl. W badaniu wykorzystano 11 stalowych kul o średnicy 45 mm i wadze 400 g, których głównym zadaniem było odbicie kamienia cementowego. Silnik bębna zapewnił prędkość obrotową 31 obr/min, a całkowity cykl dla pojedynczej serii trwał 500 obrotów. Po wykonaniu ustalonej liczby obrotów kruszywo wraz z pyłem zaprawy cementowej wysypano do kuwety, wyjęto kule, a następnie przesiano w celu uzyskania frakcji 4/16 mm. Uzyskano dobrej jakości kruszywo wtórne, zbliżone do kruszywa naturalnego (rys. 4).

a)

b)

Rys. 4. Kruszywo recyklingowe: a) przed prażeniem, b) po prażeniu i odspojeniu w bębnie LA

Odzyskaną zaprawę można ponownie wykorzystać, po uprzednim przesianiu i zmieleniu, jako częściowy zamiennik cementu w nowo projektowanych zaprawach. Prowadzone są badania dotyczące stopnia wykorzystania zaprawy z recyklingu, jako zamiennika cementu.

3. Wyniki badań

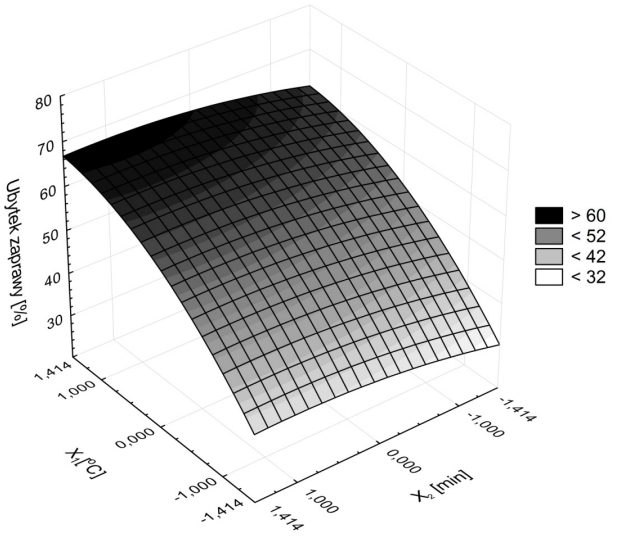
W tabeli 3 zamieszczono wyniki badań uzyskane dla poszczególnych serii badawczych.

Tab. 3. Wyniki badań laboratoryjnych – odpad zaprawy cementowej od kruszywa po bębnie LA

Seria	I	II	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Temp. Prażenia [ºC]	459	459	741	741	400	800	600	600	600	600
Czas prażenia [min]	36	64	36	64	50	50	30	70	50	50
Bęben LA [liczba obrotów]	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Masa próbki początkowej [kg]	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Odpad zaprawy cementowej [kg]	11,4	12,9	17,7	19,2	11,7	20,4	16,8	17,7	17,1	17,1
Odpad zaprawy cementowej [%]	38	43	59	64	39	68	56	59	57	57

Na podstawie analizy statystycznej przeprowadzonej w programie Statistica ustalono równanie regresji (2) opisujące procentowy odpad zaprawy cementowej od ziaren kruszywa w zależności od zmiennych: temperatury i czasu prażenia. Współczynnik determinacji modelu R^2 został oznaczony na poziomie 0,96. Interpretację graficzną obiektu badania dla wartości kodowanych rozpatrywanych czynników przedstawiono na rysunku 5.

$$z = 57{,}0 + 10{,}2889 \cdot x_1 + 1{,}7805 \cdot x_2 + 0 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2{,}9687 \cdot x_1^2 - 0{,}8437 x_2^2 \quad (2)$$



Rys. 5. Odpad zaprawy cementowej od ziaren kruszywa w zależności od czynników zmiennych: X_1 – temperatura prażenia [ºC] oraz X_2 – czas prażenia [%]

Na podstawie wartości liczbowych w równaniu regresji (2) przy zmiennych X_1 i X_2 należy stwierdzić, że temperatura prażenia ma istotny wpływ na ubytek zaprawy recyklingowej. W temperaturze 800°C uzyskano „najczystsze kruszywo", to jest największy procent ubytku zaprawy cementowej. Wraz ze wzrostem temperatury i czasu prażenia rośnie ilość odspojonej zaprawy recyklingowej. Najlepszym tego przykładem są wyniki serii VI, w której 68% masy próbki stanowi usunięta z kruszywa zaprawa recyklingowa. Stanowi to wzrost o około 79%, w porównaniu z najniższą temperaturą prażenia 459°C. Oznacza to, że kruszywo w tej serii jest materiałem „czystym", w dużej mierze wolnym od zaprawy. Wynik ten uzyskano w czasie 50 min prażenia. Najgorszy wynik otrzymano w przypadku serii I, w której czas prażenia był najkrótszy rzędu 36 min, a temperatura prażenia wynosiła 400°C. Odpad zaprawy był na poziomie 38% masy próbki.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzony badań i analiz stwierdza się, że prażenie, a następnie obróbka mechaniczna kruszywa recyklingowego w bębnie Los Angeles ma korzystny wpływ na proces usuwania zaprawy z kruszywa recyklingowego. Zmniejszona zawartość zaprawy w kruszywie prawdopodobnie wpłynie korzystnie na parametry fizyczne i mechaniczne betonów je zawierających, w porównaniu z betonami wytworzonymi na kruszywie recyklingowym bez dodatkowej obróbki technologicznej.

Najistotniejszym czynnikiem mającym wpływ na ilość odpadu zaprawy była temperatura prażenia. W temperaturze 800°C otrzymano „najczystsze kruszywo". Największy procent ubytku zaprawy cementowej rzędu 68% uzyskany w temperaturze 800°C stanowi wzrost ubytku o około 79%, w porównaniu z temperaturą prażenia 459°C.

Uzyskane rezultaty pozwalają uznać prowadzone badania za przydatne i obiecujące w kontekście przydatności kruszyw z recyklingu do produkcji betonu.

Literatura

Hansen T.C., Narud H. (1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International – Design and Constructions*, 5/1983.

Jamroży Z. (2000). Beton i jego technologie. *PWN*, Warszawa-Kraków.

Casuccio M., Torrijos M. C., Giaccio G., Zerbino R. (2008). Failure mechanism of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 22/2008.

Bołtryk M., Pawluczuk E. (2011). Modyfikacja wybranych własciwości betonów cementowych na kruszywie z recykingu. *Inżynieria i Budownictwo*, 6/2011.

THE INFLUENCE OF ROASTING TEMPERATURE AND TIME ON A CONTENT OF CEMENT MORTAR IN RECYCLED AGGREGATE

Abstract: The paper presents the test results of recycled aggregate fraction 4/16 mm which was roasted in a ceramic furnace. Ten cement mortars were mechanically separated from aggregate in the Los Angeles trommel. The purpose of these processes was to obtain an aggregate free from mortar cement. The test results show that it is possible to get a recycled aggregate without a mortar cement of the similar technical quality as natural aggregate.