

mgr inż. Paweł Piekarski¹⁾
mgr inż. Piotr Acałski¹⁾
dr inż. Łukasz Mroziak¹⁾

Wybrane zagadnienia dotyczące projektowania betonów z kruszywem recyklingowym

Selected issues in the field of recycled aggregate concrete designing

DOI: 10.15199/33.2015.05.25

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci beton cementowy stał się najpowszechniej stosowanym materiałem budowlanym. Różnorodność oddziaływań mechanicznych, fizycznych i chemicznych przyczynia się jednak do degradacji struktury tego kompozytu. Z tym związany jest m.in. spadek wytrzymałości, pogorszenie innych cech mechanicznych i użytkowych. Należy podkreślić, iż właściwości kruszywa recyklingowego nie zostały dokładnie zbadane, dlatego prace dotyczące ponownego wykorzystania gruzu betonowego są uzasadnione. Artykuł stanowi próbę scharakteryzowania betonów wykonywanych z kruszywem recyklingowym. Szczególną uwagę poświęciliśmy sformułowaniu zarysu metody projektowania składu betonów wtórnych o z góry założonych właściwościach.

Słowa kluczowe: beton, kruszywo, recykling, ochrona środowiska.

Abstract. Over the last decades, cement concrete has become the most common building material. The variety of mechanical, physical and chemical influences contributes to degradation of the composite structure. It affects the loss of strength and deterioration of other mechanical and utility properties. Taking this into account, it should be noted, that research on reuse of concrete rubble is clearly justified. This article is an attempt to characterize the concrete based on recycled aggregate. Authors paid particular attention to formulating an outline of designing method of recycled concrete with a pre-assumed properties.

Keywords: concrete, aggregate, recycling, environmental protection.

N owoczesne społeczeństwa stoją przed niezwykle ważnym zadaniem ograniczenia wpływu działalności ludzkiej na środowisko naturalne oraz gospodarowania nieodnawialnymi surowcami w sposób rozsądny, umożliwiającą przyszłym pokoleniom kontynuację rozwoju gospodarczego i technologicznego zapoczątkowanego w XX w. Zagadnienie zrównoważonego rozwoju staje się więc punktem wyjścia do poszukiwań nowych strategii wykorzystania dostępnych zasobów, przy jednocześnie oszczędniejszym zużyciu energii i mniejszych nakładach materiałowych. Niezwykle istotnym aspektem jest również gospodarka odpadami, które dzięki rozwojowi współczesnej technologii nadają się do ponownego włączenia do obiegu produkcyjnego. Wykorzystanie gruzu betonowego pochodzącego z rozbiórki budynków do wznoszenia nowych obiektów, niesie wymierne korzyści w postaci ograniczenia zużycia kruszyw naturalnych, a także ekonomicznego gospo-

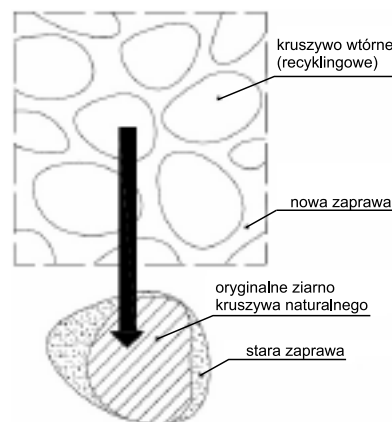
darowania przestrzeni, co biorąc pod uwagę rozwój terytorialny aglomeracji miejskich, jest szczególnie istotne na terenach im przyległych.

W artykule omówimy najważniejsze cechy fizyczne kruszywa recyklingowego oraz możliwości stosowania dostępnych metod analitycznych w projektowaniu składu ilościowego mieszanki betonowej zawierającej kruszywo wtórne.

Właściwości kruszywa recyklingowego

Kruszywo recyklingowe uzyskiwane przez pokruszenie odpadów betonowych składa się z: kruszywa oryginalnego oraz otaczającej jego ziarna zaprawy (rysunek), której porowata struktura w istotny sposób wpływa na gęstość pozorną kruszywa wtórnego. Skutkuje to większą ilością wody zarobowej potrzebnej do uzyskania żądanej konsystencji mieszanki betonowej (musi ona bowiem wypełnić również pory w zaprawie przyległej do ziaren kruszywa).

Jak podano w pracy [1], zawartość starej zaprawy w kruszywie recyklingowym jest uwarunkowana wielkością jego ziaren i stanowi zwykle 30 ÷ 60% zaprawy w starym betonie. Dokładne wyznaczenie tego parametru pozwala na określe-



Budowa ziarna kruszywa wtórnego
Structure of recycled aggregate

nie jakości kruszywa recyklingowego. Procentowy udział zaprawy w jednostce objętości kruszywa jest odwrotnie proporcjonalny do średniej średnicy jego ziaren [2]. W związku z tym kruszywa wtórne gruboziarniste oceniane są jako jakościowo lepsze. Nie bez znaczenia jest również mikrostruktura zaprawy. Występujące ubytki i pęknięcia zmniejszają wytrzymałość i trwałość kompozytu betonowego. Można zatem wyciągnąć wniosek, że parametry betonu wykonanego z użyciem kruszywa recyklingowego są wypadkową właściwości wchodzących w skład betonów „wejściowych”.

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: piekarskipawel89@gmail.com

W celu uzyskania kruszywa o jak najmniejszej absorpcji wody stosowane są nowoczesne metody recyklingu betonu, opisane w pracy [3], polegające na impregnacji powierzchniowej kruszywa lub skupiające się na mechanicznym rozdzieleniu obu materiałów. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, bardziej efektywne okazują się metody usuwające zaczyn z ziaren kruszywa.

Istotnym czynnikiem określającym przydatność kruszywa recyklingowego jest obecność domieszek chemicznych w betonie pierwotnym. Badania dowodzą, że ok. 30% chlorku wapnia zastosowanego w starym betonie jako domieszka przyspieszająca wiązanie znajdzie się w nowym kompozycie [2]. W związku z tym, w celu zapewnienia bezpiecznego stosowania kruszywa recyklingowego, oprócz badań laboratoryjnych, określających jego właściwości fizyczne, należy przeprowadzić również analizę chemiczną. Powoduje to, że dokonanie podziału kruszywa recyklingowego na kategorie jakościowe staje się sprawą złożoną, wymagającą prowadzenia dalszych, coraz bardziej szczegółowych badań tego materiału.

Projektowanie betonu z grubym kruszywem recyklingowym

Powszechnie stosuje się metodę trzech równań. Uwzględnia ona aspekt wodożądności, szczelności oraz wytrzymałości betonu (na podstawie zależności Bolomeya) [4]. Jednak w przypadku betonu recyklingowego konieczne jest zmodyfikowanie równań o element nasiąkliwości gruzu betonowego. Przyczynia się to do zwiększenia objętości wody w mieszancie betonowej. Biorąc to pod uwagę, proponujemy następującą modyfikację równania wodożądności:

$$W = m_k w_k + m_c w_c + m_k n_{wk} \quad (1)$$

gdzie:

W – masa wyrażająca sumę wody w zaczynie i wody zaabsorbowanej przez kruszywo [kg];
 m_k – masa kruszywa recyklingowego [kg];
 m_c – masa cementu [kg];
 w_k – wodożądność kruszywa recyklingowego [-];
 w_c – wodożądność cementu [-];
 n_{wk} – nasiąkliwość wagowa kruszywa recyklingowego [-].

Należy wyznaczyć współczynniki wodożądności dla kruszywa recyklin-

gowego na drodze badań laboratoryjnych. Korekty wymaga także zapis równania szczelności absolutnej, które po uwzględnieniu nasiąkliwości kruszywa wtórnego można sformułować następująco:

$$V_b = \frac{m_k}{\rho_k} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} \quad (2)$$

gdzie:

V_b – objętość mieszanki betonowej z kruszywem recyklingowym [m^3];
 m_w – masa wody w zaczynie (z pominięciem wody zaabsorbowanej przez kruszywo) [kg];
 ρ_k – gęstość pozorna kruszywa recyklingowego [kg/m^3];
 ρ_c – gęstość cementu [kg/m^3];
 ρ_w – gęstość wody [kg/m^3].

Równanie wytrzymałości Bolomeya opisuje tę cechę mechaniczną w zależności od stosunku wodno-cementowego, rodzaju kruszywa oraz klasy wytrzymałościowej spoiwa. Istnieje możliwość wykorzystania tego równania w projektowaniu betonów z kruszywem wtórnym. Należy jednak w tym przypadku uwzględnić dodatkowe aspekty wynikające z zastosowania surowca recyklingowego.

Jak wspomniano, grube kruszywo wtórne należy traktować jako ośrodek dwuskładnikowy. Każde ziarno składa się bowiem z kruszywa naturalnego oraz zaprawy pochodzącej z przekruszonego betonu, która charakteryzuje się trudnym do określenia stopniem zdefektowania struktury. Są to przede wszystkim mikro- i makropęknięcia wynikające z warunków eksploatacji oraz powstające na etapie kruszenia. Te nieciągłości struktury mogą w betonie wtórnym inicjować proces zniszczenia pod wpływem oddziaływań wynikających z przeznaczenia wykonanego elementu. Warto ponadto wskazać problem wpływu kształtu ziaren na przyczepność zaczynu cementowego, która jest jednym z czynników warunkujących mechanizm zniszczenia w betonach o standardowych wytrzymałościach. Proponujemy więc zapisać równanie wytrzymałości w postaci:

$$f_{cm} = A_{rec} \cdot \left(\frac{m_c}{m_w} \pm a \right) \quad (3)$$

gdzie:

f_{cm} – średnia wytrzymałość betonu na ściskanie [MPa];
 A_{rec} – współczynnik zależny od klasy cementu i kruszywa recyklingowego [-];
 a – współczynnik zależny od stosunku wodno-cementowego [-].

Wprowadzenie zmodyfikowanych wartości współczynnika A wynika z wymienionych właściwości kruszywa wtórnego. Przeszkodą w jego wyznaczeniu mogą jednak być znaczne koszty oraz czasochłonność niezbędnych badań eksperymentalnych. Należy zatem podkreślić, że problem jest złożony i wymaga podjęcia odpowiednich działań. Wprowadzenie kryteriów klasyfikacji oraz oceny kruszyw wtórných ułatwi ich wykorzystanie w projektowaniu betonów o założonych właściwościach.

Dokonyując krótkich modyfikacji metody trzech równań, sformułowaliśmy zarys metody do projektowania betonów z wykorzystaniem kruszywa recyklingowego.

Podsumowanie

Obserwuje się wzrostową tendencję w produkcji gruzu betonowego. Można więc przypuszczać, że ponowne jego wykorzystanie będzie zyskiwało na znaczeniu. Uwzględniając rosnące zainteresowanie zagadnieniem recyklingu betonu, należy zauważyć, że istotnym problemem jest ilościowe i jakościowe opisanie właściwości kruszywa wtórnego. Warunkuje to bowiem określenie właściwości mechanicznych i użytkowych betonu konstrukcyjnego wykonanego z jego zastosowaniem. Za uzasadnione uznajemy opracowanie analityczno-doświadczalnej metody projektowania betonu wtórnego o założonych parametrach, dlatego zaproponowaliśmy prostą modyfikację klasycznej metody trzech równań, uwzględniającą istotne właściwości kruszywa recyklingowego, takie jak gęstość pozorna czy nasiąkliwość.

Literatura

- [1] Zajac B., Gołębiewska I.: Przyszłość betonu z kruszywem recyklingowym betonowym. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, nr 1/2014, str. 1 – 3.
- [2] Wolska-Kotańska C.: Właściwości i zastosowanie kruszywa z recyklingu betonu. Autostrady, nr 3/2005, str. 18 – 22.
- [3] Zajac B., Gołębiewska I.: Nowoczesne metody recyklingu betonu. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, nr 5/2010, str. 136 – 137.
- [4] Mroziak Ł.: Model struktury i wytrzymałości betonu wysokowartościowego. Rozprawa doktorska. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2012.

Otrzymano 15.01.2015 r.