

Nowoczesna metoda recyklingu betonu

1. Wprowadzenie

Recykling to obecnie jeden z głównych sposobów zagospodarowania gruzu betonowego. Ogromne zużycie betonu na świecie oraz fakt, że jego produkcja pochłania ogromne ilości nieodnawialnych zasobów skłaniają do odpowiedzialnego podejścia w poszukiwaniu metod jego efektywnego recyklingu.

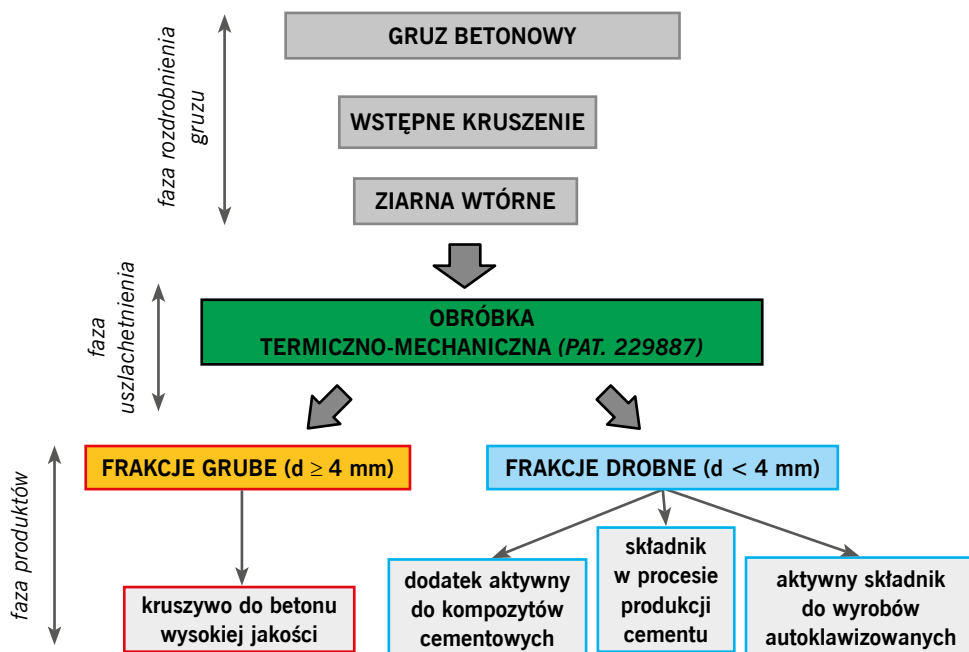
Najczęściej stosowane są mechaniczne metody recyklingu gruzu betonowego i polegają na jednolub nawet wielokrotnym rozkruszeniu. Nastawione są głównie na pozyskanie kruszywa, które stosowane jest zazwyczaj na podbudowy dróg. Wynika to głównie z wysokiej nasiąkliwości tych kruszyw, spowodowanej obecnością w ich składzie porowatej zaprawy cementowej, która wpływa niekorzystnie zarówno na cechy samego kruszywa jak i betonu.

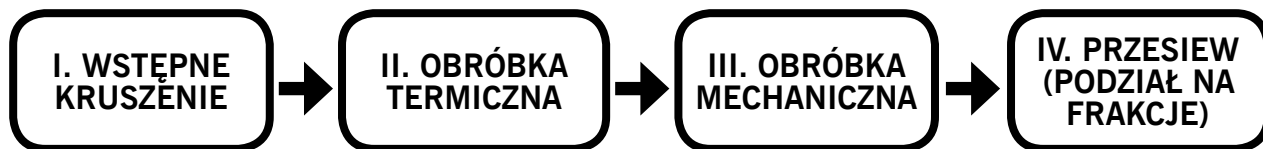
Pojawiające się zaawansowane metody recyklingu bazują głównie na poprawie właściwości wtórnych kruszyw grubych, np. poprzez impregnację powierzchniową samego kruszywa olejem [1] lub zaczynem cementowym [2]. Celem innych metod jest usunięcie zaprawy cementowej z powierzchni ziaren kruszywa z recyklingu poprzez: mechaniczne ścieranie w młynach śrubowych lub w młotostrodach obracających się cylindrach, poprzez wprowadzenie dodatkowego wygrzewania gruzu czy grawitacyjną klasyfikację kruszyw z uwagi na ich gęstość. Metody te zostały opisane w pracy [3]. Inny sposób uzdatnienia kruszyw recyklingowych zaproponowali Tam i in. [4]. Metoda ta polega na wstępnym namaczaniu kruszywa z recyklingu odpowiednio w kwasach: HCl, H₂SO₄ i H₃PO₄, co ma na celu redukcję ilości starej zaprawy cementowej.

Metody te w różnym stopniu poprawiają właściwości kruszywa z recyklingu, szczególnie poprzez obniżenie jego nasiąkliwości. Podkreślić należy, że skupiają się one jedynie na odzyskaniu kruszyw grubych, pomijając wykorzystanie frakcji drobnej (starej zaprawy cementowej).

Zagadnieniem kompleksowego recyklingu konstrukcji z betonu zajmują się także inni naukowcy. Doskonałym przykładem jest projekt realizowany przez grupę naukowców z Holandii, Szwajcarii, Niemiec oraz Polski o nazwie *Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Aggregates from Construction and Demolition Waste*, w skrócie C2CA [5]. Idea działania polega na oddzielaniu materiału grubego i drobnego na zasadzie energii kinetycznej wytworzonej przez autogeniczne ścieranie się tych cząstek. Przewidziano ponowne wykorzystanie frakcji drobnej, która, w związku z wysoką zawartością wapnia, może być wykorzystywana w procesie produkcji nowego cementu. Wg autorów może to nawet dwukrotnie obniżyć emisję dwutlenku węgla. Proponowana technologia recyklingu zakłada w pierwszej kolejności selektywną rozbiórkę obiektu, a następnie złożony i wieloetapowy mechaniczny proces przeróbki i oczyszczania kruszywa. Proces odzysku kruszywa recyklingowego jest całkowicie zmechanizowany i opiera się na wieloetapowym ścieraniu i przesiewaniu materiału wsadowego, jakim jest gruz betonowy, uprzednio przekruszony do frakcji 0/16 mm. Metoda pozwala wprawdzie na uzyskanie w wysokim stopniu oczyszczonych ze starej zaprawy kruszyw, ale nie przełożyło się to na spodziewaną poprawę wyników wytrzymałościowych betonów na tym kruszywie.

Rys.1. Schemat kompleksowego recyklingu betonu





W związku z korzyściami, jakie niosą za sobą metody kompleksowe (całkowita przeróbka odpadu gruzobetonowego), i w celu poprawy właściwości otrzymywanych kruszyw grubych i frakcji drobnych uznano za konieczne prowadzenie badań w zakresie ulepszenia technologii recyklingu, co stało się obiektem wieloletnich prac zespołu badawczego z Politechniki Białostockiej [6-11].

2. Kompleksowa metoda recyklingu betonu

W rezultacie przeprowadzonych w Politechnice Białostockiej badań opracowano metodę pozwalającą na kompleksowe zagospodarowanie gruzu betonowego i ponowne włączenie go do procesu produkcji budowlanej (rys. 1).

Sam proces obróbki termiczno-mechanicznej gruzu betonowego opiera się na następujących etapach (rys. 2):

- I. W pierwszym etapie gruz betonowy rozdrabniany jest w kruszarce szczękowej do wymiarów < 4 cm.
- II. Gruz trafia do pieca termicznego i wypalany jest według dobranych doświadczalnie parametrów: temperatura > 600°C przez około godzinę (już po tym etapie zaobserwowano częściowe oddzielenie zaprawy cementowej od kruszywa).
- III. Ostudzony po wyjęciu z pieca gruz umieszcza się w młynie kulowym i poddaje obróbce mechanicznej o stałych parametrach, w celu finalnego odspojenia zaprawy cementowej od kruszywa.
- IV. Uzyskany materiał przesiewa się przez sito o oczku 4 mm celem oddzielenia frakcji drobnej (< 4 mm) od grubej (≥ 4 mm) według PN-EN 206:2014.

Kruszywo grube o rozmiarach > 4 mm dodatkowo dzielone jest na frakcje 4/8, 8/16 i 16/32 mm. Frakcja drobna może być domielana w zależności od jej późniejszego przeznaczenia.

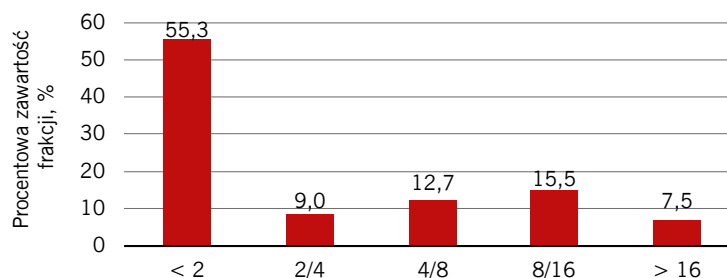
Dobrano najkorzystniejsze parametry obróbki gruzu betonowego, które umożliwiają jego całościową przeróbkę w wysokiej jakości produkty recyklingowe: kruszywo z recyklingu o podwyższonych parametrach i częściowo aktywną zaprawę z recyklingu. Wymienione produkty, dzięki swoim właściwościom (co zostało potwierdzone badaniami), mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle budowlanym: kruszywo recyklingowe może być wykorzystywane nawet jako 100% zamiennik potrzebnego grubego kruszywa naturalnego, a zaprawa z recyklingu, w zależności od stopnia domiatu – m.in. jako dodatek pucolanowy w kompozytach cementowych. Proponowana technologia jest całkowicie bezodpadowa i doskonale wpisuje się w ideę zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym.

3. Właściwości produktów recyklingu

Opracowana kompleksowa metoda recyklingu umożliwia uzyskanie kruszywa grubego oraz frakcji drobnej, która może znaleźć zastosowanie jako dodatek do kompozytów cementowych, składnik

w procesie produkcji cementu oraz aktywny składnik wyrobów wapienno-piaskowych. Procentowy udział poszczególnych frakcji uzyskanych po procesie obróbki termiczno-mechanicznej gruzu betonowego przedstawiono na rys. 3.

Jak wynika z rys. 3 frakcja drobna (< 4mm) sta-



nowi powyżej 64% gruzu betonowego i z tego względu konieczne jest jej właściwe zagospodarowanie. W tab. 1 przedstawiono właściwości uzyskanego kruszywa z recyklingu i kruszywa naturalnego, a w tab. 2 skład chemiczny i właściwości drobnej frakcji z recyklingu uzyskanej w procesie obróbki termiczno-mechanicznej.

Przedstawione w tab. 1 właściwości kruszyw z recyklingu otrzymywanych wg opisywanej metody są zbliżone do parametrów kruszyw naturalnych. Charakteryzują się niewiele niższą gęstością, akceptowalną nasiąkliwością i podobnym wskaźnikiem rozkruszenia. Relikty procesu dehydratacji powstałe w wyniku prażenia gruzu w wysokiej temperaturze, które są obecne na powierzchni ziaren kruszywa, częściowo wchodzą w reakcję z nowym

Rys. 2. Etapy obróbki termiczno-mechanicznej gruzu betonowego

Rys. 3. Procentowy udział poszczególnych frakcji uzyskanych po procesie recyklingu gruzu betonowego

Tab. 1. Właściwości grubego kruszywa naturalnego i z recyklingu

Cecha	Kruszywo naturalne (żwirowe)		Kruszywo z recyklingu po obróbce termiczno-mechanicznej	
	4-8 mm	8-16 mm	4-8 mm	8-16 mm
Gęstość objętościowa, g/cm ³	2,64	2,64	2,53	2,59
Gęstość obj. w stanie suchym, g/cm ³	2,62	2,62	2,50	2,52
Gęstość obj. w stanie nasyc. suchym, g/cm ³	2,66	2,66	2,57	2,58
Nasiąkliwość, %	1,3	1,0	2,5	1,80
Wskaźnik rozkruszenia, %	10,4	11,4	13,6	11,8

Tab. 2. Właściwości zaprawy z recyklingu po procesie obróbki termiczno-mechanicznej

Składnik	Zawartość, %	Powierzchnia właściwa wg Blaine'a, cm ² /g	Gęstość właściwa, g/cm ³
Krzemionka jako SiO ₂	75,6	3600	2,73
Żelazo jako Fe ₂ O ₃	3,10		
Glin jako Al ₂ O ₃	5,9		
Mangan jako Mn ₃ O ₄	0,05		
Wapń jako CaO	17,40		
Węglany jako CO ₂	9,2		
Wolne CaO	<0,03		
Reaktywny CaO	5,28		

zaczynem cementowym, co wpływa na poprawę wytrzymałości betonu na ściskanie i zginanie [12]. Zaprawa recyklingowa (tab. 2) nawet bez procesu ponownego domiatu posiada wysoką powierzchnię właściwą, a dzięki zawartości reaktywnych pucolanowo tlenków (sumaryczna zawartość SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$ – spełnia wymagania normy PN-EN 450-1:2012 w kontekście oceny aktywności puculanowej) w połączeniu ze spoiwem cementowym w nowych kompozytach może być wykorzystywana jako dodatek do betonów, co również potwierdzają uzyskiwane wyniki badań [6-11].

Podsumowanie

Ogromna popularność betonu w dzisiejszym świecie skłania do poszukiwań efektywnych metod pozwalających na taką przeróbkę gruzu betonowego, która w jak najwyższym stopniu pozwoli odzyskać cenne surowce naturalne – kruszywa grube i oddzieloną zaprawę cementową. Zaproponowana metoda kompleksowego recyklingu opiera się na zastosowaniu obróbki termiczno-mechanicznej gruzu betonowego. W wyniku opracowanej technologii obróbki uzyskano wysokiej jakości kruszywo recyklingowe, które poprawia parametry wytrzymałościowe betonów, nie powodując przy tym istotnego pogorszenia innych parametrów. Uzyskano również materiał drobny o właściwościach wiążących, który może być z powodzeniem stosowany jako aktywny dodatek do kompozytów cementowych oraz wyrobów wapienno-piaskowych.

dr inż. Katarzyna Kalinowska-Wichrowska
dr inż. Edyta Pawluczuk
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Politechnika Białostocka

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer S/WBiŚ/1/16 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

1 Tsujino M., Naguchi T., Tamura M., Kanematsu M., Marujama I. Application of Conventionally Recycled

Coarse Aggregate to Concrete by Surface Modification Treatment. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 5 (1), 2007, s. 13-25

- 2 Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A. Recykling betonu konstrukcyjnego. *Inżynier Budownictwa*, Część 1. Nr 2 (59), 2009, 65-69; Część 2. Nr 3 (60) 2009, s. 61-64.
- 3 Zajęc B., Gołębiowska I. Nowoczesne metody recyklingu betonu. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 49 (5), 2010, s. 136-137.
- 4 Tam V.W.Y, Tam C.M., Le K.N. Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches. *Resources Conservation & Recycling*, 50 (1), 2007, s. 82-101.
- 5 Lotfi S., Eggimann M., Wagner E., Mróz R., Deja J. Performance of recycled aggregate concrete based on a new concrete recycling technology. *Construction and Building Materials*, 95, 2015, s. 243-256.
- 6 Kalinowska-Wichrowska, K. The use of fine waste material for the future of sustainable construction. *Tech. Sci.*, 2, 2018, s. 149-156.
- 7 Kalinowska-Wichrowska K., Boltryk M. Frakcja drobna z recyklingu betonu jako aktywny wypełniacz wyrobów wapienno-piaskowych. *Materiały Budowlane*, 2017, s. 52-54.
- 8 Kalinowska-Wichrowska K. (a) Wpływ warunków dojrzewania na właściwości kompozytów cementowych z dodatkiem rozdrobnionego zaczynu cementowego. *Materiały Budowlane*, 2017, s. 50-52.
- 9 Kalinowska-Wichrowska K. (b) Stosowanie spoiwa recyklingowego jako przykład redukcji CO_2 . *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 1, 2017, s. 41-46.
- 10 Pawluczuk, E. A fine fraction from the recycled concrete as an addition in the cement composites. *Sci. Rev. Eng. Environ. Sci.*, 27, 2018, s. 338-347.
- 11 Pawluczuk, E. Możliwości zastosowania odpadowego wypełniacza betonowego jako spoiwa w kompozytach cementowych. *Materiały Budowlane*, 5, 2017, s. 81-82.
- 12 Pawluczuk E., Kalinowska-Wichrowska K., Boltryk M., Jiménez J.R., Fernández J.M. The Influence of Heat and Mechanical Treatment of Concrete Rubble on the Properties of Recycled Aggregate Concrete. *Materials*, 12, 2019, 0367; doi:10.3390/ma12030367.

