

Barbara ZAJĄC, Irena GOŁĘBIEWSKA

e-mail: zajacbar@poczta.onet.pl

Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Nowoczesne metody recyklingu betonu

Wprowadzenie

W Japonii, USA, w Europie Zachodniej a także w Polsce odpad betonowy pochodzący z demontażu i remontu obiektów budowlanych oraz z rozbiórki dróg jest (w 98–75%) stosowany na podbudowę dróg [1–7]. Pozostała ilość odpadów zwykle jest używana jako materiał wypełniający lub częściowo trafia na wysypiska.

Kruszywo recyklingowe (wtórne) powstaje z przetworzenia gruzu betonowego na kruszywo betonowe. Jakość wtórnego kruszywa i jego przydatność do użycia w nowym betonie zależy głównie od właściwości betonu oryginalnego i od sposobu obróbki technologicznej gruzu betonowego tj. od stopnia zaawansowania technik stosowanych do jego przetwarzania. Beton z kruszywem recyklingowym, otrzymanym przy użyciu typowej linii technologicznej do produkcji kruszywa wtórnego ma znacznie gorsze właściwości niż beton z kruszywem naturalnym. Wszystkie wady betonu z kruszywem recyklingowym są spowodowane absorpcją wody przez porowaty zaczyn przylegający do ziaren oryginalnego kruszywa. W związku z tym, najnowsze technologie recyklingu betonu związane są z obniżaniem absorpcji wody. Metody te polegają na impregnacji powierzchniowej kruszywa recyklingowego oraz na ścieraniu zaczynu z ziaren kruszywa.

Celem niniejszej pracy jest analiza najnowszych metod recyklingu betonu oraz wskazanie kierunku dalszego rozwoju recyklingu na podstawie doświadczeń japońskich.

Nowoczesne japońskie metody recyklingu betonu

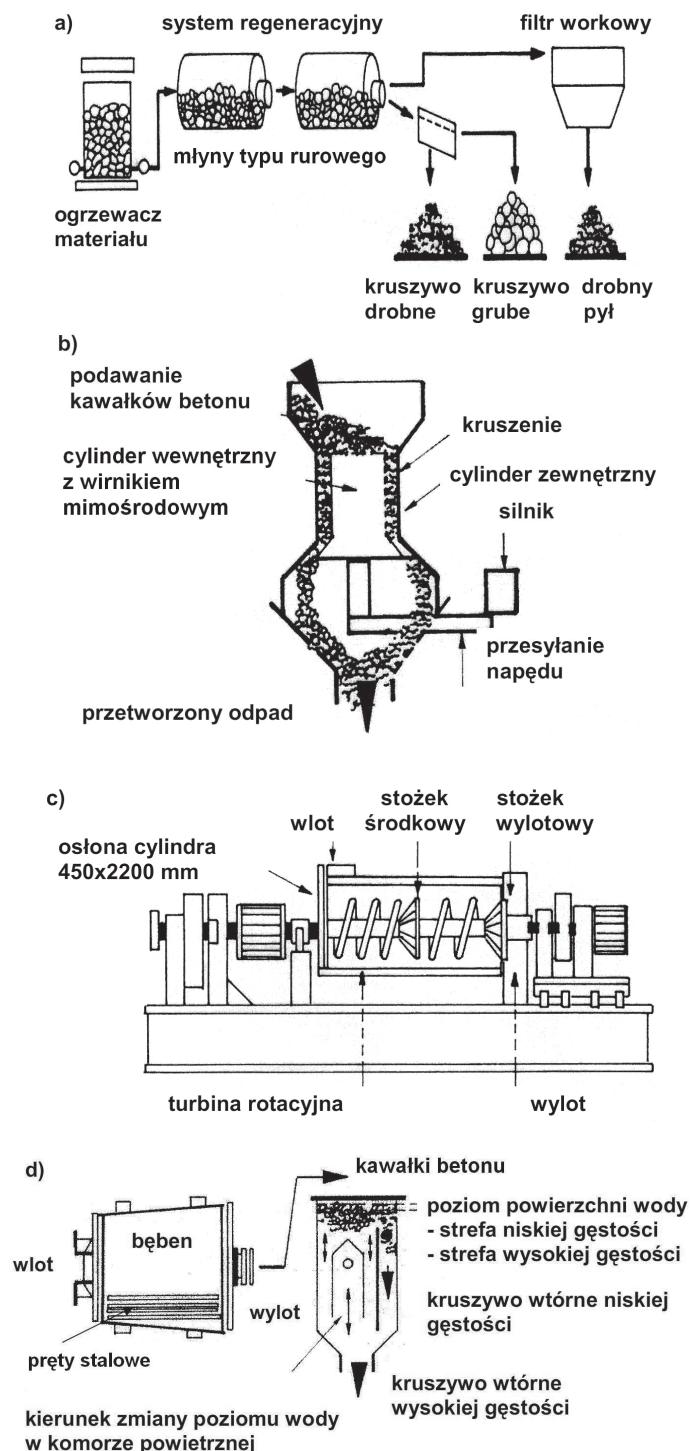
Jako przykład metody impregnacji powierzchniowej kruszywa wtórnego przytoczono wyniki badań, w których użyto dwa rodzaje kruszywa wtórnego: kruszywo średniej i niskiej jakości, które zawierało w jednostce masy odpowiednio 27,2 i 53,9% zaprawy przylegającej do ziaren kruszywa grubego [6]. Stosowano impregnacyjny środek powierzchniowy typu oleju, zawierający tłuszcze lanolinowe oraz środek typu silane – analog krzemionki. Środki powierzchniowe zredukowały absorpcję wody w obydwu rodzajach kruszywa, lecz tylko w przypadku betonu z kruszywem średniej jakości (impregnowanym olejem), wzrosła nieznacznie wytrzymałość na ściskanie, odporność na karbonatyzację, zmniejszył się skurcz, lecz wzrosło pełzanie w stosunku do betonu z kruszywem nie impregnowanym. Metoda ta okazała się jednak mało efektywna.

Inne, wcześniej już wspomniane, nowoczesne podejście do recyklingu betonu polegające na usuwaniu zaczynu z ziaren oryginalnego kruszywa, sprowadza się do czterech metod [4, 5]:

1. Metoda ogrzewania i tarcia, *HRM (Heating and rubbing Method)*,
2. Metoda mechanicznego ścierania; *MGM (Mechanical grinding Method)*,
3. Metoda młyna śrubowego *SMM (Skrew Mill Method)*,
4. Metoda koncentracji grawitacyjnej *GCM (Gravity Classification Method)*.

W metodzie termicznego młyna *HRM* (Rys. 1a) stosowane są: pojemnik termiczny, dwa młyny typu rurowego, sita i filtr workowy. W pojemniku termicznym pod wpływem temperatury około 300°C zwiększa się kruchość kawałków pokruszonego betonu o średnicy 40–50 mm (tzn. w wyniku procesu dehydratacji zaczynu cementowego, następuje utrata przyczepności między zaczynem i ziarnami kruszywa), co pozwala na oddzielenie kruszywa od zaczynu. Proces ten odbywa się w młynach rurowych. W efekcie otrzymuje się 35% kruszywa grubego, 21% kruszywa drobnego i 44% pyłu zawierającego dużą ilość cementu [2].

W metodzie mechanicznego młyna *MGM* (Rys. 1b) stosowany jest cylinder zewnętrzny i cylinder wewnętrzny z wirnikiem mimośrodowym. Kawałki betonu są ładowane do młyna pomiędzy cylinder ze-



Rys. 1. Recykling betonu polegający na usuwaniu zaczynu z ziaren oryginalnego kruszywa: a) metoda termicznego młyna, b) metoda mechanicznego młyna, c) metoda młyna śrubowego, d) metoda koncentracji grawitacyjnej

wewnętrzny i wewnętrzny, gdzie następuje ścieranie i usuwanie zaczynu cementowego, przylegającego do powierzchni kruszywa.

W metodzie młyna śrubowego *SMM* (Rys. 1c) kawałki betonu ładowane są do cylindra, w którym ścierana jest zaprawa za pomocą osiowo

osadzonej śruby ze stożkami. Ten proces jest powtarzany automatycznie kilka razy, w zależności od wymaganej jakości kruszywa.

W metodzie koncentracji grawitacyjnej *GCM* (Rys. 1d) stosowany jest młyn do ścierania na mokro zaprawy z gruzu betonowego. Zawiera on mechanizm z kruszarką i ściernicą, za pomocą którego pokruszone kawałki betonu są przesuwane wielokrotnie w dół i w górę w wodzie, celem oddzielenia ciężkich wagowo ziaren grubego kruszywa, które opadają na dół od lżejszych cząstek zaprawy, kawałków drewna itp.

Wskaźnik recyklingu (ilość odzyskanego kruszywa wysokiej jakości w wyniku przetworzenia gruzu betonowego podana w procentach) metod *HRM* i *MGM* jest wysoki i wynosi odpowiednio 56 i 50%. Metody młyna śrubowego i koncentracji grawitacyjnej służą do otrzymywania tylko kruszywa grubego o wskaźniku recyklingu odpowiednio 34–45% i 20% [2].

Produktem ubocznym recyklingu wykonywanego opisanymi wyżej metodami są pyły, które aktualnie są stosowane jako stabilizator gruntu. Obecnie przewiduje się możliwość zastosowania pyłu do produkcji cementu lub jako dodatku do cementu. Rozważa się również możliwość wykorzystania pyłów w innych gałęziach produkcji niż materiały budowlane ale to także jest problem otwarty.

Najwyższej jakości kruszywo wtórne uzyskuje się stosując metodę *HRM*. Uzyskane tą metodą kruszywo grube i drobne, podobne jest do kruszywa oryginalnego pod względem cech fizykochemicznych. Odpowiada ono japońskim normom dla kruszywa naturalnego. Aktualnie nie produkuje się na skalę przemysłową kruszywa otrzymywanego metodą *HRM*, ponieważ produkcja tą metodą jest wysoce energochłonna, co wiąże się ze zwiększeniem emisji CO_2 do atmosfery i wzrostem negatywnego oddziaływania na środowisko.

Przewiduje się, że z powodu dużych kosztów recyklingu według metod *HRM* i *MGM* oraz z powodu braku zaawansowanych metod utylizacji pyłu, metoda *HRM* zostanie wprowadzona w Japonii dopiero w 2020 roku, a w 2030 roku – metoda *MGM*. Przewidywana wielkość rocznej produkcji kruszywa według *HRM* i *MGM* w 2030 roku wyniesie odpowiednio 17 mln ton i 60 mln ton tj. 8,4% i 29,7% całego generowanego gruzu [5].

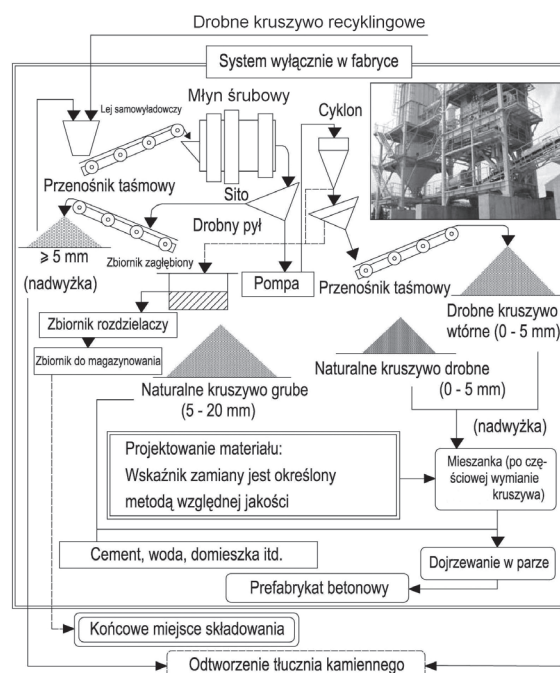
Przykład zastosowania metody młyna śrubowego w technologii *replacing*

W związku z odległą perspektywą wdrożenia metod *HRM* i *MGM* recyklingu betonu, z powodu wysokiego kosztu produkcji kruszywa wtórnego i braku zaawansowanych technik, które można by stosować do całkowitego zagospodarowania pyłu. Efektywna może okazać się metoda *replacing* polegająca na częściowym zastąpieniu grubego kruszywa naturalnego lub drobnego kruszywa naturalnego kruszywem wtórnym [2].

W metodzie *replacing* grube kruszywo może być produkowane na miejscu rozbiórki obiektu przy zastosowaniu powszechnie używanych urządzeń do produkcji kruszywa wtórnego [4, 7]. Stosując metodę *replacing*, 55–73% całego odpadu betonowego można stosować jako grube kruszywo recyklingowe do produkcji betonu konstrukcyjnego. Pozostałe 27–45% odpadu można stosować jako kruszywo drobne do wyrobu betonowych elementów prefabrykowanych. Drobne kruszywo wtórne zawiera dużą ilość zączynu, który znacząco obniża cechy betonu. Dlatego przed zastosowaniem wtórnego kruszywa drobnego należy wykonać ścieranie zączynu na mokro, poprawiając w ten sposób jakość tego kruszywa. Mielenie na mokro powinno odbywać się w fabryce, poza miejscem rozbiórki przy wykorzystaniu młyna śrubowego. Na rys. 2 przedstawiono przykład zastosowania młyna śrubowego w ciągu technologicznym do produkcji betonu, w którym część piasku naturalnego zastąpiono drobnym kruszywem wtórnym.

W betonach wykonanych metodą *replacing*, w których 50–100% piasku naturalnego zastąpiono ścieranym na mokro piaskiem recyklingowym, otrzymano wytrzymałość na ściskanie w granicach 30–40 MPa [2].

Pozostałe cechy fizyko-mechaniczne betonu odpowiadały założonym wymaganiom. Z badań tych wynika, że betony z kruszywem recyklingowym, otrzymane metodą *replacing* mogą być dobrej jakości i mogą być stosowane do produkcji betonów konstrukcyjnych przy założeniu,



Rys. 2. Przykład zastosowania młyna śrubowego, do produkcji betonu, w którym część piasku naturalnego zastąpiono drobnym kruszywem wtórnym

że zastosowane materiały spełniają wymagania odpowiednich norm. Beton z kruszywem wtórnym otrzymywany metodą *replacing* nie ma jeszcze aprobaty technicznej.

Wnioski

Na podstawie dokonanej analizy najnowszych technik recyklingu betonu stwierdzono, że:

- Japonia jest liderem w opracowywaniu nowoczesnych technologii recyklingu betonu.
- Wysoki koszt przetwarzania oraz brak skutecznych metod pozwalających na recykling pyłu, ubocznego produktu tych technologii stoi na przeszkodzie do wprowadzenia wysoko zaawansowanych technologii odzyskiwania kruszywa z gruzu betonowego.
- Metoda *replacing*, polegająca na częściowym zastąpieniu kruszywa naturalnego kruszywem wtórnym, charakteryzuje się prawie 100% wskaźnikiem recyklingu i aktualnie wydaje się być dobrą metodą pozyskiwania kruszywa do betonów konstrukcyjnych.
- Kierunek dalszego rozwoju recyklingu betonu polegający na metodzie ścierania zączynu powinien dotyczyć obniżenia kosztów, zużycia energii i emisji CO_2 oraz opracowania racjonalnej technologii zużycia pyłów pozwalającej na recykling w cyklu zamkniętym.
- Technologia recyklingu powinna w przyszłości spełniać dwie podstawowe zasady: efektem recyklingu powinien być materiał wysokiej jakości oraz recykling powinien być powtarzalny.

LITERATURA

- [1] A. D Buck: Use of recycled concrete as aggregate. U.S. Army Engineer Waterways Experiment 1972 Vicksburg.
- [2] Y. Dosho: Journal of Advanced Concrete Technology 5, nr 1 (2007).
- [3] S. A. Frondistou-Yannas, Herbert Tung S.N.: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge 1977.
- [4] T. C. Hansen: Recycling of demolished concrete and masonry. Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete RILEM E&FN SPON London-Glasgow-Tokyo 1992.
- [5] H. Shima, H. Tateyashiki, R. Matsuhashi, Y. Yashida: Journal of Advanced Concrete Technology, 3, nr 1, 53 (2005).
- [6] M. Tsujino, T. Naguchi, M. Tamura, M. Kanematsu, I. Marujama: Journal of Advanced Concrete Technology, 5, nr 1, 13 (2007).
- [7] B. Zajac, I. Gołębiowska: Inż. Ap. Chem. 44, nr 3s, 99 (2005).