

Barbara ZAJĄC, Irena GOŁĘBIEWSKA

e-mail: zajacbar@poczta.onet.pl

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

## Ewolucja technologii recyklingu betonu

### Wprowadzenie

Beton jest kamieniem sztucznym, który twardej staje się materiałem o znacznej wytrzymałości i trwałości, stosowanym do różnych rozwiązań inżynierskich. W ostatnich latach prowadzone badania nad zwiększeniem jego wytrzymałości doprowadziły do uzyskania wysokowytrzymałych betonów, rzędu 150 MPa, które są stosowane przy wznoszeniu wieżowców. Beton jest ważnym i powszechnie stosowanym materiałem budowlanym o dużej użyteczności i o dużych możliwościach dalszej poprawy jego właściwości. W związku z powyższym, problemem na dzisiejsze czasy stają się duże ilości gruzu betonowego zalegającego często na składowiskach jako odpad po remontach, demontażu i wyburzeniach obiektów budowlanych. W roku 2000 w Japonii roczna ilość produkowanego gruzu betonowego wynosiła 35 mln ton, natomiast w Polsce 1,2 mln ton. Z powyższych danych wynika, że w przeliczeniu na jednego mieszkańca, roczna ilość produkcji gruzu betonowego w Polsce jest siedem razy mniejsza niż w Japonii. Ta dysproporcja nie jest jednak spowodowana małą ilością odpadów w Polsce w ogóle, lecz ich nierzetelną ewidencją.

Konieczność ochrony naturalnych zasobów kruszyw i ograniczenia powierzchni przeznaczonej do składowania odpadów betonowych pociąga za sobą potrzebę ponownego wykorzystania zużytego betonu. Recykling, czyli przywracanie zużytego materiału do ponownego obiegu, w latach 70. XX wieku stał się częściowym rozwiązaniem zagospodarowania gruzu betonowego. Jest on traktowany powszechnie jako proces produkcyjny „przyjazny” środowisku. Jednak zbieranie, sortowanie i sama przeróbka gruzu betonowego na kruszywo betonowe (recyklingowe, wtórne) nie są obojętne dla środowiska. Wysokie koszty produkcji kruszywa recyklingowego i wysoki poziom emisji CO<sub>2</sub> ograniczają zakres stosowania kruszywa recyklingowego. W pracy przedstawiono ewolucję recyklingu betonu w ciągu ostatnich 40 lat oraz przykład zaawansowanej technologii recyklingu betonu.

### Ewolucja recyklingu betonu

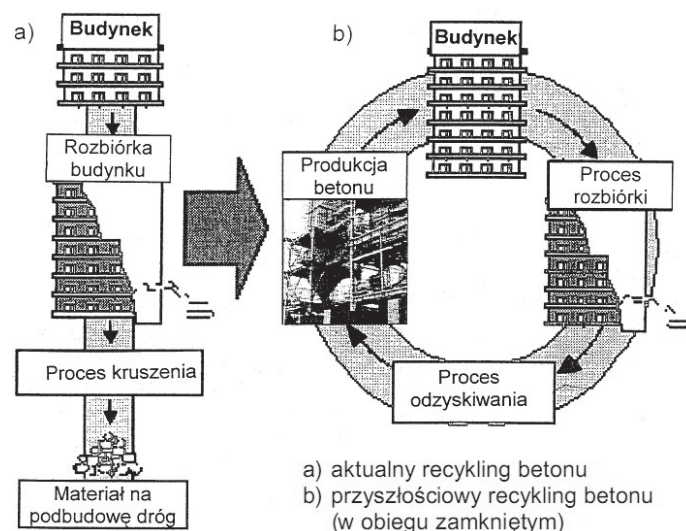
Prace nad recyklingiem gruzu betonowego są prowadzone w USA i w Japonii od początku lat 70. minionego wieku [1, 2, 3, 6]. W krajach tych, w wyniku kataklizmów spowodowanych trzęsieniami ziemi powstały olbrzymie ilości odpadu budowlanego, który trzeba było zagospodarować na miejscu. Znaczący udział w odpadzie budowlanym miał gruz betonowy, który zastosowano do produkcji nowego betonu podczas rekonstrukcji zniszczonych obiektów. Zagospodarowaniu gruzu betonowego towarzyszyły badania właściwości kruszyw wtórnych i betonów z kruszywem wtórnym oraz intensywny rozwój produkcji stałych i ruchomych linii technologicznych do przetwarzania gruzu betonowego na kruszywo wtórne. Typowa linia technologiczna do przetwarzania gruzu betonowego składa się z: kruszarki stożkowej, szczękowej, separatora stali, płuczki, transporterów i sit [1, 3, 4, 8, 10]. Kruszywa wtórne betonowe, otrzymywane przy zastosowaniu tego typu technologii, charakteryzują się 10–15% niższą gęstością niż kruszywa naturalne oraz 3–7 razy większą absorpcją wody [1, 3, 4, 8]. Właściwości te spowodowane są większą porowatością kruszywa wtórnego na skutek przylegania zaczynu do kruszywa wyjściowego. Ponadto porowatość kruszywa wtórnego powoduje w nowym betonie obniżenie wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie, zginanie, zmniejszenie modułu sprężystości oraz wzrost skurczu i pęcznienia. Dodatkowo negatywnie na jakość nowego betonu recyklingowego wpływają zanieczyszczenia zawarte w kruszywie wtórnym, w postaci gipsu, asfaltu, szkła, tworzywa

sztucznego i innych materiałów [1, 3, 4, 8, 9]. Z powodu wymienionych wad, a szczególnie z powodu większego skurczu i pęcznienia, betony na kruszywie wtórnym mogą być stosowane jako betony konstrukcyjne tylko do wykonywania krępych elementów ściskanych i do mniej odpowiedzialnych elementów zginanych np. stropodachów.

Niewielkie możliwości stosowania kruszywa wtórnego do betonów konstrukcyjnych, ograniczone zasoby kruszyw naturalnych, konieczność ochrony środowiska i spodziewane olbrzymie zasoby gruzu betonowego, w związku z dużą dynamiką przebudowy obiektów zrealizowanych w latach 70. XX wieku w Japonii – to wyzwania, które stały się inspiracją do opracowania metod usuwania zaczynu z ziaren kruszywa wyjściowego i otrzymywania kruszywa wtórnego wysokiej jakości [2, 5–7].

Japonia jest przodującym krajem pod względem badań i rozwoju nowoczesnych metod recyklingu betonu. Japońskie Ministerstwo Infrastruktury i Transportu (*Ministry of Land Infrastructure and Transport*) już w latach 2001–2005 wydało 22 aprobaty techniczne recyklingu betonu na kruszywo konstrukcyjne. Aprobaty te dotyczą następujących metod usuwania zaczynu cementowego z ziaren kruszywa: metoda ogrzewania i tarcia – HRM (*Heating and Rubbing Method*), metoda mechanicznego ścierania – MGM (*Mechanical Grinding Method*), metoda młyna śrubowego – SMM (*Skrew Mill Method*), metoda koncentracji grawitacyjnej – GCM (*Gravity Classification Method*).

Celem nowoczesnego, przyszłościowego recyklingu odpadów betonowych jest stworzenie zamkniętego obiegu materiałów (Rys. 1), który pozwoli na całkowite wykorzystanie gruzu betonowego do produkcji betonu konstrukcyjnego i wbudowanie przetworzonego odpadu w nowe obiekty budowlane [5].



Rys. 1. Aktualny i przyszłościowy recykling betonu

Japoński Komitet Normalizacyjny *Kruszywa Recyklingowego* klasyfikuje kruszywo wtórne uzyskane dzięki usunięciu zaczynu z ziaren kruszywa, według 3. klas. Kryterium przynależności do danej klasy jest absorpcja wody – tab. 1 [6].

### Przykład zaawansowanej technologii recyklingu betonu

Przykładem nowoczesnego efektywnego recyklingu betonu jest linia technologiczna z zastosowaniem urządzeń ścierających zaczyn z ziaren kruszywa wyjściowego (Rys. 2) (patent amerykański US005699969A) [12].

Tab. 1. Klasyfikacja kruszyw wtórnych według absorpcji wody (2004 r.)

Klasa jakość	KRUSZYWO GRUBE		KRUSZYWO DROBNE	
	Wskaźnik absorpcji	Przeznaczenie	Wskaźnik absorpcji	
<i>L</i> niska jakość	≤ 7 %	Beton do zasypek, beton osłonowy, beton wyrównawczy	≤ 13 %	
<i>M</i> średnia jakość	≤ 5 %	Elementy nie poddawane cyklicznemu za- i odmrażaniu, beton wypełniający rury stalowe	≤ 7 %	
<i>H</i> wysoka jakość	≤ 3 %	Bez ograniczeń do produkcji betonu konstrukcyjnego o wytrzymałości nominalnej ≤ 36 MPa	≤ 3,5 %	



Rys. 2. Schemat linii technologicznej z zastosowaniem urządzeń ścierających zaczyn z kruszywa recyklingowego

Przedmiotem przytoczonego wyżej wynalazku jest linia technologiczna i produkcja kruszywa wysokiej jakości (klasy *H* – wg tab. 1), otrzymywanego z gruzu betonowego metodą usuwania zaczynu przylegającego do kruszywa, dostosowana do wymaganych standardów.

Procesowi obróbki poddawane są kawałki niezanieczyszczonego betonu (o wymiarach nie przekraczających 70 cm) odpowiednio wcześniej przygotowane z gruzu betonowego, przy zastosowaniu typowej linii technologicznej do przetwarzania odpadu betonowego [1, 3, 4, 8]. Przygotowane według patentu kawałki betonu są poddawane następującym etapom obróbki:

1. kruszenie kawałków betonu,
2. sortowanie pokruszonej mieszanki, polegające na rozdzielaniu jej, za pomocą sit wibracyjnych, na mieszaninę żwiru i tłuczenia kamiennego (frakcje o średnicy większej od 5 mm) i kierowaniu jej do urządzenia ścierającego 1, oraz na mieszaninę piasku, cementu i zaprawy (frakcje średnicy 0–5 mm) i kierowaniu jej do urządzenia ścierającego 2,

3. ścieranie zaprawy i zaczynu z ziaren kruszywa w urządzeniu ścierającym – 1 i – 2,
4. kierowanie startej zaprawy z ziaren żwiru i tłuczenia kamiennego w urządzeniu ścierającym – 1 do urządzenia ścierającego – 2,
5. kierowanie żwiru i tłuczenia kamiennego, po starciu z niego zaprawy w urządzeniu ścierającym – 1, do grawitacyjnego urządzenia sortującego ze zbiornikiem wodnym,
6. rozdzielanie w grawitacyjnym urządzeniu sortującym mieszaniny kruszyw grubych i zaprawy na żwir, tłuczeń kamienny i zaprawę oraz przesyłanie ich na oddzielne składowiska żwiru i tłuczenia oraz zaprawy,
7. kierowanie z urządzenia ścierającego – 2 mieszaniny piasku i startego zaczynu oraz cementu z ziaren piasku do sortownika spiralnego w celu rozdzielania jej na składniki,
8. kierowanie z sortownika spiralnego, piasku na składowisko a startego cementu do zbiornika z wodą.

Głównym elementem urządzeń ścierających – 1 i – 2 jest obracający się cylinder, zbieżny w kierunku wylotu, z elementami ścierającymi w postaci metalowych kul lub pretów. Etap ścierania zaprawy z ziaren kruszywa w urządzeniu ścierającym 1 trwa tak długo aż ziarna żwiru i tłuczenia kamiennego zaczną zderzać się ze sobą.

Rozdzielanie żwiru, tłuczenia kamiennego i zaprawy w grawitacyjnym urządzeniu sortującym odbywa się na zasadzie różnicy ciężaru kruszyw i zaprawy oraz przez zastosowanie wibracji.

## Wnioski

Na podstawie dokonanej analizy, opracowanych na przestrzeni ostatnich 40 lat, technik recyklingu betonu stwierdza się, że:

- dotychczas stosowane technologie recyklingu betonu polegające na sortowaniu gruzu, kruszeniu, myciu, separowaniu stali i rozdzielaniu na frakcje uzyskanego betonowego kruszywa recyklingowego, pozwalają tylko na ograniczone jego wykorzystanie w budownictwie tj.; na podbudowę dróg, różnego rodzaju wypełnienia, umocnienia skarp, do produkcji ekranów akustycznych i asfaltobetonów,
- szansą na wykorzystanie odpadu betonowego do betonu konstrukcyjnego i pełne jego zastosowanie w obiegu zamkniętym są zaawansowane japońskie technologie recyklingu betonu,
- w Japonii opracowano kilka nowoczesnych technologii recyklingu betonu, na które uzyskano aprobaty techniczne, lecz na dzień dzisiejszy ich stosowanie jest jeszcze bardzo kosztowne, więc nie są one wykorzystywane w praktyce i wymagają dalszych prac doświadczalnych i rozwojowych.

## LITERATURA

- [1] A. D. Buck: Use of recycled concrete as aggregate. U.S. Army Engineer Waterways Experiment, Vicksburg 1972.
- [2] Y. Doshō: Journal of Advanced Concrete Technology, 5, nr 1, 27 (2007).
- [3] S.A. Frondistou-Yannas, S.N. Herbert Tung: Use of Concrete Demolition Waste as Aggregates in areas that have Suffered Destruction. 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 (2005).
- [6] F. Tomosawa, T. Naguchi, M. Tamura: Journal of Advanced Concrete Technology, 3, nr 1 (2005).
- [7] M. Tsujino, T. Naguchi, M. Tamura, M. Kanematsu, I. Marujama: Journal of Advanced Concrete Technology, 5, nr 1, 13 (2007).
- [8] B. Zajac, Z. Zygmuntowicz: Ogólnopolska konferencja naukowa: Metody oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć związanych z ochroną środowiska, Warszawa 1990.
- [9] B. Zajac: Konferencja Naukowo-Techniczna: Budownictwo Ogólne. Bydgoszcz 2000.
- [10] B. Zajac, I. Gołębiowska: Inż. Ap. Chem. 44, nr 3s, 99 (2005).
- [11] B. Zajac: Inż. Ap. Chem., 45, nr 3s, 94 (2006).
- [12] United States Patent US005699969A Method and System for Reclaiming Aggregate from Concrete Waste Material, Kazutoshi Isaji, Japan 1997.