

*Katarzyna Łaskawiec  
Małgorzata Piotrowicz  
Piotr Romanowski  
Piotr Zając*

# **Wpływ autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) na podstawowe cechy związane z trwałością betonu kruszywowego**

**INFLUENCE OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE (AAC) ON BASIC CHARACTERISTICS RELATED WITH DURABILITY OF CONCRETE AGGREGATE**

## **Streszczenie**

Stosowanie ubocznych produktów z innych gałęzi przemysłu do produkcji materiałów budowlanych jest zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju. Produkty te mogą z powodzeniem zastępować naturalne kopaliny. W ten sposób znacznie ogranicza się wydobycie naturalnych surowców i podnosi ekonomię procesu, bez szkody dla jakości produktu. Na nowoczesne budownictwo i materiały budowlane w kontekście zrównoważonego rozwoju należy spojrzeć tak, by wznoszenie i użytkowanie budynków powodowało minimalne oddziaływanie na środowisko, a obiekty mogły być zdrowe i bezpieczne dla użytkowników.

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu ABK z recyklingu na właściwości betonu kruszywowego. Zmielony ABK wprowadzono w dwóch wersjach: zastępując nim cement lub piasek z/bez zastosowania domieszek. Badania wykazały możliwość zastępowania w betonie kruszywowym części cementu lub piasku ABK z recyklingu bez pogorszenia jego właściwości. Natomiast zastosowanie domieszek chemicznych wpływa korzystnie na poprawę cech betonu związanych z jego trwałością.

## **Abstract**

According to the sustainable development principles, every opportunity should be taken to produce construction materials using waste or by-products left over or generated

---

*dr inż. Katarzyna Łaskawiec – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*

*mgr inż. Małgorzata Piotrowicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*

*mgr inż. Piotr Romanowski – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*

*mgr Piotr Zając – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*

---

elsewhere in the industry, instead of valuable minerals and other natural resources. This is how extraction of the natural resources can be limited and the effectiveness of the production technology improved at no expense to the quality of the final products. From the sustainable development perspective, the latest developments in the construction industry and the new building materials should translate into low environmental impact as well as safety and comfort throughout the whole life-cycle of buildings.

The article presents results of research on the influence recycled AAC on the properties of concrete. Ground AAC was added in two versions: *replacement of cement* or sand with / without the use of additives. The studies have shown that the addition of recycled AAC to the concrete mix does not significantly affect its properties. The research show also *positive impact of mineral admixtures* on the *durability* properties of the *concrete* with recycled AAC.

## 1. Wstęp

Jednym z elementów zrównoważonego rozwoju jest ochrona naturalnego środowiska. Wpisują się w nią odpowiednie wykorzystanie zasobów naturalnych i prowadzenie procesów technologicznych przyjaznych dla środowiska.

Prefabrykaty betonowe są stosowane w budownictwie od wielu lat. Nie ma wątpliwości, że beton jest jednym z najpopularniejszych i najbardziej uniwersalnych materiałów stosowanych w budownictwie. Zauważalny w ostatnich latach postęp w dziedzinie prefabrykacji w Europie związany jest zarówno z wdrażaniem nowych technologii produkcji, jak i nowymi rozwiązaniami i zastosowaniami elementów prefabrykowanych. Wytwarzane w warunkach przemysłowych elementy umożliwiają uzyskanie wysokiej wydajności przy jednoczesnym zapewnieniu powtarzalności właściwości użytkowych, zgodnie z deklaracją producenta, wymaganych przez rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych [1]. W Polsce, w ostatnim okresie zauważa się ponowne zwiększenie zainteresowania stosowaniem prefabrykatów z betonu. Największy udział prefabrykacji obserwowany jest w budownictwie przemysłowym, przy wznoszeniu obiektów magazynowych i innych użyteczności publicznej (np. stadiony).

Producenci betonów komórkowych mający wytwórnię na terenie Polski produkują rocznie około 4 mln m<sup>3</sup> betonu komórkowego. Wśród nich najwięksi to: Solbet, H+H, Xella. Wymagania Komisji Europejskich uwzględniające aspekty efektywności energetycznej budynków, jak i minimalizujące negatywne oddziaływanie na środowisko, stawiają w uprzywilejowanej pozycji beton komórkowy jako tworzywo konstrukcyjne dla budownictwa. Wysoka efektywność energetyczna, dobra wytrzymałość, łatwość obróbki, bogaty asortyment wyrobów i stosunkowo niska cena to cechy wyróżniające ABK spośród innych dostępnych na rynku ściennych materiałów budowlanych.

Badania nad wykorzystaniem surowców wtórnych z betonu kruszywowego do produkcji betonów konstrukcyjnych prowadzone są w wielu ośrodkach zagranicznych i polskich [2–9]. Nie ma natomiast badań dotyczących wprowadzania gruzu z betonu komórkowego do betonu zwykłego.

Przedstawiony w artykule kierunek rozwoju, którym będzie użycie materiałów pochodzących z recyklingu (beton komórkowy) w połączeniu z zaletami prefabrykacji ma szansę uczynić z prefabrykacji technologię, która doskonale wpisuje się strategię zrównoważonego rozwoju.

## 2. Zakres badań

W artykule przedstawiono wpływ kruszywa z recyklingu (gruzu z betonu komórkowego) na proces technologiczny, makro i mikrostrukturę oraz właściwości użytkowe betonu zwykłego (kruszywowego). W celu określenia optymalnej ilości kruszywa z recyklingu, możliwej do zastosowania bez pogorszenia właściwości użytkowych betonu zwykłego, programem badań objęto następujące cechy betonu:

- wytrzymałość na ściskanie,
- nasiąkliwość,
- odporność betonu na działanie mrozu.

Badania wykonano na próbkach laboratoryjnych, do wykonania których zastosowano następujące surowce:

- cement CEM I 42,5 R,
- żwir frakcjonowany 2–4 mm, 4–8 mm, 8–16 mm,
- piasek wiślany 0-2 mm,
- beton AKB odmiany 500 skruszony do frakcji 0–2 mm,
- domieszkę upłynniającą o lekkim działaniu napowietrzającym.

Założone rozwiązanie technologiczne wykorzystania odpadów poprodukcyjnych betonu komórkowego polega na rozdrobnieniu odpadu „suchego” (kruszenie, a następnie mielenie na sucho) do wymaganej granulacji, zmagazynowaniu produktu w wydzielonym zbiorniku i dozowaniu w ściśle określonej ilości do każdej porcji przygotowywanej masy betonowej. Przyjęto, że 100% zmielonego odpadu betonu komórkowego powinno przepadać przez sito o boku oczka kwadratowego 2 mm.

Badania wykonano dwuetapowo. W pierwszym etapie wykonano beton wzorcowy (bez dodatku ABK), klasy wytrzymałości powszechnie stosowanej w budownictwie tj. C25/30 i klasy konsystencji wg opadu stożka S1, oraz betony z dodatkiem ABK w ilości :

- 30% zamiast cementu (ilość zbliżona do ilości popiołu lotnego stosowanego do betonu) – tabela 1, receptura 01,
- 10%, w jednym wariantcie dodatek betonu ABK zastąpił cement (tabela 1, receptura 02), a w drugim piasek (tabela 1, receptura 03).

Powyższe założenie, zastąpienia cementu lub piasku gruzem z ABK w recepturze, podyktowane było względami ekologicznymi (recykling) oraz ekonomicznymi (mniejsze koszty surowców).

W trakcie prób przyjęto zasadę wykonywania w każdym etapie, jednego kontrolnego betonu bez dodatku gruzu z betonu komórkowego.

W drugim etapie badań wytypowano najkorzystniejsze receptury z etapu pierwszego (z zastosowaniem 10% dodatku betonu komórkowego z recyklingu) i zaprojektowano betony z zastosowaniem domieszki upłynniającej (tabela 1, receptura 04 i 05).

### **3. Badania eksperymentalne wytwarzania betonów z dodatkiem ABK**

#### **3.1. Badanie właściwości fizycznych**

Składy sześciu mieszanek betonu kruszywowego przedstawiono w tabeli 1. Próbkę wykonywano w formach 10x10x10 cm w ilości 6 sztuk do każdego oznaczenia. Podczas wykonywania mieszanek sprawdzano opad stożka, gęstość oraz zawartość powietrza w wykonywanych betonach. Wyniki tych badań zamieszczono w tabeli 1.

Z tabeli 1 wynika, iż zastosowanie dodatku betonu ABK z recyklingu przy zachowaniu stałego  $w/c$  i bez zastosowania domieszki chemicznej powoduje spadek urabialności mieszanki betonowej, obniżenie konsystencji wg opadu stożka do dolnej granicy lub poniżej klasy S1 (konsystencja wilgotna). Konsekwencją tego może być ograniczenie możliwości zastosowania ABK tylko do betonów zaprojektowanych do zagęszczania z zastosowaniem specjalnych technologii.

Próbki betonu po dobie dojrzewania w formach, rozformowano i pielęgnowano przez 28 dni (zgodnie z normą PN-EN 12390-2:2011). Po okresie pielęgnacji uzyskane betony poddano badaniom. Uzyskane właściwości wykonanych betonów zestawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Skład i właściwości mieszanek betonowych

Nr receptury	Skład [kg/m <sup>3</sup> ]								Właściwości		
	Cement CEM I 42,5R	Beton ABK 0-2 mm	Pia- sek 0-2 mm	Żwir 2-4 mm	Żwir 4-8 mm	Żwir 8-16 mm	Woda	Do- miesz- ka	Opad stożka [mm]	Gę- stość [kg/ m <sup>3</sup> ]	Zawartość powietrza [%]
0	330	-	680	230	410	570	170	-	40	2320	3,0
01	231	99	680	230	410	570	170	-	5	2360	1,0
02	297	33	680	230	410	570	170	-	20	2335	1,8
03	330	68	612	230	410	570	170	-	10	2320	2,3
04	297	33	680	230	410	570	153	4,455	120	2196	7,0
05	330	68	612	230	410	570	150	4,950	80	2241	6,0

Tabela 2. Właściwości betonów

Nr receptury	Właściwość										
	Średnia wytrzymałość na ściskanie po 8, 14, 28 i 90 dniach [ MPa ]				Średnia nasiąkliwość po 28 dniach, N <sup>28</sup> [% ]	Stopień mrozoodporności					
						F15		F25		F50	
						Średni ubytek masy [% ]	Średni spadek wytrzymałości [% ]	Średni ubytek masy [% ]	Średni spadek wytrzymałości [% ]	Średni ubytek masy [% ]	Średni spadek wytrzymałości [% ]
0	34,5	39,4	39,1	45,5	5,07	-	-	-	-	0,02	12,8
01	25,0	28,5	29,3	32,0	6,05	-	-	-	-	0,30	46,1
02	35,5	39,4	41,4	46,2	5,33	0,04	0,7	0,01	2,7	0,27	42,0
03	38,5	38,8	44,2	51,0	5,47	-	-	-	-	0,25	33,7
04	-	40,8	47,3	-	4,79	-	-	-	-	0,02	11,2
05	-	49,0	54,8	-	4,49	-	-	-	-	0,05	7,6

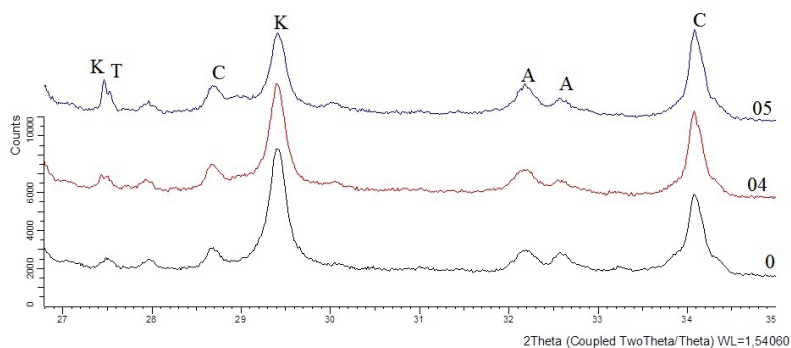
Z analizy danych zawartych w tabeli 2 wynika, że:

- zastosowanie dodatku ABK w ilości 30% wpływa bardzo niekorzystnie na wytrzymałość betonu, spadek o ok. 30% w stosunku do betonu wzorcowego. Mniejsza ilość dodatku betonu ABK (10%) nie ma negatywnego wpływu na wytrzymałość, wprost przeciwnie, przy zastąpieniu piasku betonem ABK wytrzymałość na ściskanie wzrosła o ok.10%,
- nie zaobserwowano znaczącego wpływu dodatku ABK do betonu na jego nasiąkliwość,
- betony z dodatkiem ABK zarówno w ilości 30%, jak i 10%, wykazały całkowity brak odporności na działanie mrozu przy 50 cyklach zamrażania i rozmrażania. Odporność

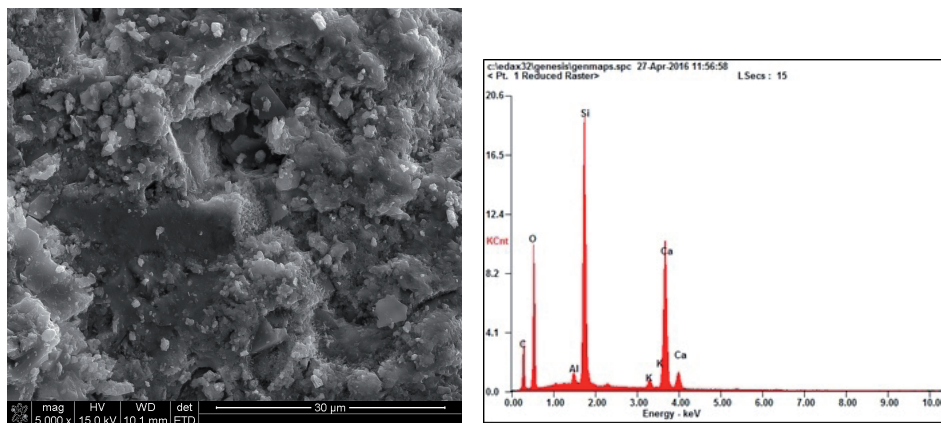
- na działanie mrozu przy 15 i 25 cyklach zamrażania i rozmrażania wykazały betony z 10% dodatkiem ABK ,
- zastosowanie domieszki upłynniającej w ilości 1,5% masy cementu do betonów z 10% dodatkiem ABK pozwoliło na redukcję ilości wody zarobowej oraz zwiększenie urabialności mieszanki. Obniżenie wskaźnika w/c wpłynęło na podwyższenie wytrzymałości na ściskanie (20–40% w stosunku do betonu kontrolnego), niewielką poprawę nasiąkliwości oraz znaczne podwyższenie odporności na działanie mrozu. Betony wykazały odporność na działanie mrozu przy 50 cyklach zamrażania i rozmrażania, a spadek wytrzymałości był mniejszy niż betonu kontrolnego nawet o ok. 60%.

### 3.2. Badanie składu fazowego i mikrostruktury betonu

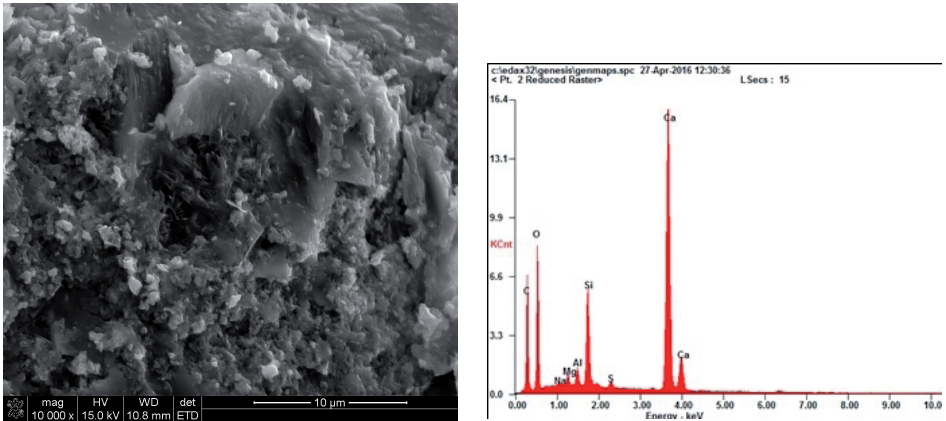
W celu określenia składu fazowego wybranych betonów (próbki z receptur o numerach 0, 04, 05) wykonano badania metodą XRD i SEM-EDS. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 1–3.



Rys. 1. Analiza XRD próbek betonów 0, 04, 05. (T – tobermoryt, A – alut, K –  $\text{CaCO}_3$ , C –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )



Rys. 2. Próbką kontrolna (0); widoczna faza C-S-H



Rys. 3. Próbką 05; widoczna faza C-S-H oraz tobermoryt

W badaniu XRD (rys. 1) stwierdzono m.in. występowanie kwarcu, portlandytu, kalcytu, alitu. Zaobserwowano również refleksy związane z obecnością tobermorytu (próbki 04 i 05). Przy ilościowym oznaczeniu faz metodą Ritvela wykazano, iż w próbce 04 zidentyfikowano  $11 \pm 2\%$ , natomiast w próbce 05  $19 \pm 3\%$  tobermorytu (pochodzącego od dodatku ABK).

Wybrane mikrofotografie SEM charakterystycznych punktów mikrostruktury próbek ABK podano wraz z analizą pierwiastkową (EDS) na rysunkach 2–3.

Badania składu fazowego betonów przyczyniły się do rozszerzenia wiedzy o złożoności procesów zachodzących w czasie produkcji betonów zwykłych z zastosowaniem betonów komórkowych. W zależności od ilości wprowadzonego dodatku ABK (próbki 04 i 05) w składzie fazowym zaobserwowano obecność form tobermorytu (rys. 3). Taka budowa korzystnie wpływa na właściwości betonu zwykłego: wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność.

## 4. Podsumowanie

Na podstawie pilotażowych badań i dokonanych analiz można sformułować następujące wnioski:

- możliwe jest stosownie betonu ABK z recyklingu do betonów zwykłych w ilości ok. 10% zarówno zastępując nim cement, jak i piasek;
- niezastosowanie domieszek chemicznych ogranicza zastosowanie betonu komórkowego ze względu na odporność na działanie mrozu (do F25) i sposób zagęszczania;
- zastosowanie domieszek chemicznych wpływa w kontrolowany sposób na urabialność, a tym samym na zakres stosowania ze względu na sposób zagęszczania oraz wpływa na poprawę cech betonu związanych z jego trwałością: wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość oraz odporność na działanie mrozu (F50).

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 09.03.2011r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG, zwane Construction Products Regulation (CPR), Dz. U. UE L88 z dnia 04.04.2011r.
- [2] F. Pacheco-Torgal, V. W. Y. Tam, J. A. Labrincha, Y. Ding, J. de Brito, Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste, 2013.
- [3] G.R. Woolley, J.J.J.M. Goumans, P.J. Wainwright, Waste Materials in Construction. Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection, 2000.
- [4] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí, M. Barra, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, Cement and Concrete Research Maj 2007, Str. 735–742.
- [5] A. Łapko, R. Grygo, Beton z recyklingu jako wartościowy materiał na konstrukcje żelbetowe, Ekologia i Technika 2011 R. 19, nr 3, Str. 139–144.
- [6] M. D. Safiuddin, M. A. Salam, M. A. Jumaat, Effects of recycled concrete aggregate on the fresh properties of self-consolidating concrete, Archives of Civil and Mechanical Engineering 2011 Tom 11, nr 4, Str. 1023–1041.
- [7] B.Zajac, J. Rójek, Przegląd zaawansowanych metod recyklingu betonu, Ekologia i Technika 2010 R. 18, nr 6, Str. 348–355.
- [8] B. Zajac, I.Gołębiowska, Ewolucja technologii recyklingu betonu, Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2010 Nr 5, Str. 134–135.