

*dr inż. Katarzyna Łaskawiec<sup>1)</sup>*

# Skład fazowy autoklawizowanego betonu komórkowego z zastosowaniem cementów niskoklinkierowych

**A**utoklawizowany beton komórkowy (ABK) ma już 100 lat. Obecnie Polska jest największym producentem ABK w Europie i jest on w naszym kraju materiałem nr 1 do wznoszenia ścian. Beton komórkowy należy do grupy betonów lekkich. Jest materiałem porowatym, wytwarzanym z materiałów krzemionkowych – piasków kwarcowych, spoiwa w postaci cementu, wapna, popiołów lotnych oraz gipsu dwuwodnego, a środkiem porotwórczym jest sproszkowany glin. W wyniku jego reakcji z tlenkami wapnia zawartymi w spoiwie następuje wydzielanie wodoru, który powoduje powstanie porowatej struktury ABK [1].

Ogólnym dążeniem w technice jest uzyskiwanie materiałów możliwie najlżejszych o jak największej wytrzymałości [2 ÷ 4], ponieważ pozwala to m.in. na:

- oszczędności podczas transportu;
- zmniejszenie masy zużywanych składników;
- realizację lekkich konstrukcji.

Trendy w technologii betonu komórkowego to zmniejszanie jego gęstości; zwiększanie wytrzymałości na ściskanie; zmiany dotyczące składników zarobowych masy, a przede wszystkim stosowanych surowców wiążących czy środków porotwórczych [3, 4]. Analiza cyklu życia ABK wykazała, że ok. 74% emisji CO<sub>2</sub> pochodzi z produkcji cementu i wapna. Dwie główne ścieżki prowadzące do zerowej emisji netto betonu komórkowego, to zastosowanie niskoemisyjnego spoiwa oraz przejście na odnawialne źródła energii wraz z poprawą efektywności procesu technologicznego w zakładach produkcyjnych [5]. Od strony inżynierii mate-

riałowej wykorzystanie produktów ubocznych i recykling odpadów z procesu produkcji prefabrykatów wpisują się w zrównoważony rozwój budownictwa [6].

Odejście od cementów wysokoklinkierowych CEM I i stosowanie cementów niskoklinkierowych stało się faktem. Stabilność parametrów w cementach niskoklinkierowych jest jednak na dużo niższym poziomie w porównaniu z cementami wysokoklinkierowymi CEM I, dlatego też proces technologiczny ABK musi być zmodyfikowany, aby w sposób optymalny i natychmiastowy można było wprowadzać korektę składu masy zarobowej [7 ÷ 9].

## Próby laboratoryjne wytwarzania ABK

Do wykonania betonu komórkowego jako spoiwo zastosowano wapno palone + cement. Kruszywo, w postaci piasku kwarcowego, poddano przemieleniu łącznie z wodą i uzyskano szlam piaskowy. Sumaryczna ilość wapna oraz cementu wynosiła ok. 30%. Środkiem porotwórczym był proszek aluminiowy. Oprócz wymienionych składników stosowano wodę i środek powierzchniowo czynny. Stosunek wody do składników suchych wynosił ok. 0,55.

Sposób wykonania betonu komórkowego polegał na dokładnym odmierzeniu i wymieszaniu składników, przy czym do mieszarki wprowadzano kolejno: szlam piaskowy + woda + część środka powierzchniowo czynnego + spoiwo i mieszano 3 min. Wstępnie dodano proszek aluminiowy uprzednio przygotowany w postaci roztworu z wodą oraz środkiem powierzchniowo czynnym i mieszano dalsze 1,5 min. Tak przygotowany zarób wylewano do odpowiednio przygotowanych form, gdzie wyrastał. Po wyrośnięciu i związaniu blok masy dzielono na krajalnicy

na żądane wymiary. Pokrojone zestawy bloków poddawano procesowi autoklawizacji w nasyconej parze wodnej o ciśnieniu 1,1 MPa i temperaturze ok. 180°C przez 11,5 h. W trakcie przeprowadzania prób laboratoryjnych wprowadzano korektę receptury betonu komórkowego, zmieniając ilość spoiwa w stosunku do kruszywa oraz ilość cementu do ilości wapna.

Po procesie autoklawizacji określono następujące właściwości betonu komórkowego:

- gęstość w stanie suchym wg normy PN-EN 772-13;
  - wytrzymałość na ściskanie wg normy PN-EN 772-1+A1;
  - współczynnik przewodzenia ciepła wg normy PN-ISO 8301.
- Wyniki badań podano w tabeli 1.

**Tabela 1. Właściwości użytkowe ABK**

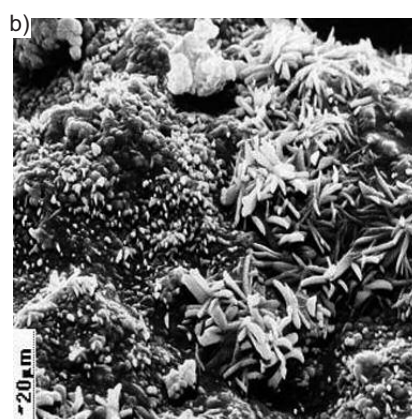
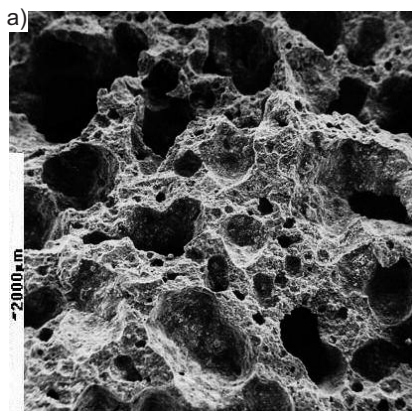
| Rodzaj cementu         | Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ] | Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | Współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK] |
|------------------------|------------------------------|---------------------------------|---|
| CEM I 32,5R            | 550 ± 10                     | 3,43 ± 0,01                     | 0,1367 ± 0,01                           |
| CEM II/A-V 52,5 R-NA   | 550 ± 10                     | 3,93 ± 0,01                     | 0,1354 ± 0,0001                         |
| CEM II/B-M (S-V) 42,5R | 550 ± 10                     | 4,33 ± 0,01                     | 0,1393 ± 0,001                          |

## Określenie mikrostruktury i struktury ABK

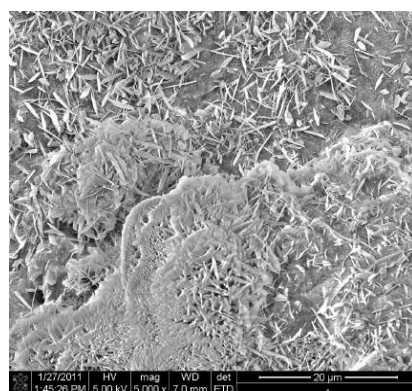
W wyniku reakcji zachodzących w masie betonu komórkowego podczas autoklawizacji powstają nowe fazy mineralne – uwodnione krzemiany wapnia o zmiennym stosunku CaO/SiO<sub>2</sub> oraz o różnym stopniu uporządkowania siatki krystalicznej począwszy od amorficznego CSH (I) do wykrystalizowanego 11 Å tobermorytu. Wiadomo, że wytrzymałość i trwałość ABK zależą m.in. od ilości krzemianów wapnia typu CSH (I) i ich wykrystalizowanej formy – 11 Å tobermorytu w składzie fazowym. Badaniem składu fazowego i mikrostruk-

<sup>1)</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych; katarzyna.laskawiec@icimb.lukasiewicz.gov.pl

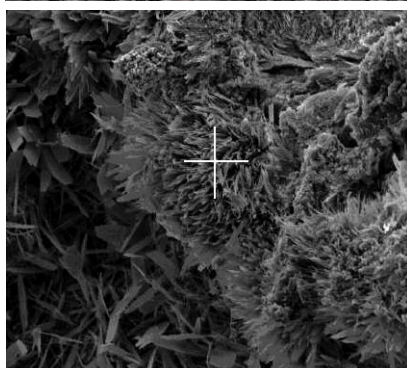
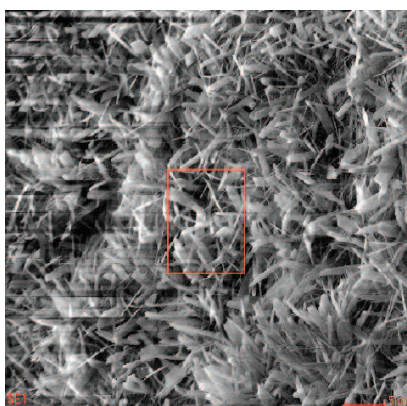
tury ABK objęto następujące próbki: wzorcowy CEM I 32,5R (fotografia 1); CEM II/A-V 52,5 R-NA (fotografia 2) oraz CEM II/B-M (S-V) 42,5R (fotografia 3).



Fot. 1. ABK wzorcowy: a) powiększenie 20x; b) powiększenie 500x



Fot. 2. ABK z zastosowaniem CEM II/A-V 52,5 R-NA – dobrze upakowany produkt tobermorytowy, utworzony z zagęszczonej fazy C-S-H



Fot. 3. ABK z zastosowaniem CEM II/B-M (S-V) 42,5R

Wyniki badań składu fazowego ABK metodą XRD (dyfrakcji rentgenowskiej) potwierdzają znaczenie reakcji pucolanowej w kształtowaniu składu fazowego i mikrostruktury betonu z cementów niskoklinkierowych. Dość duża liczba oznaczeń zawartości faz tobermorytopochodnych w zależności od rodzaju cementu wskazuje na zwiększony udział fazy C-S-H w tych cementach.

Na podstawie intensywności linii charakterystycznej  $d = 11,3895 \text{ \AA}$  określono półilościowo zawartość fazy tobermorytopochodnej w próbkach laboratoryjnego ABK. Wyniki takiej analizy zestawiono w tabeli 2.

## Podsumowanie

Badania składu fazowego ABK przyczyniły się do rozszerzenia wiedzy o złożoności procesów zachodzących w czasie produkcji ABK z zastosowaniem cementów niskoklinkierowych. W zależności od rodzaju stosowanego cementu zmie-

Tabela 2. Zawartość fazy tobermorytopochodnej w próbkach laboratoryjnych ABK

| Nr próbki | Rodzaj cementu         | Intensywność linii tobermorytu $d = 11,3574 \text{ \AA}$ |
|-----------|------------------------|--|
| 1         | CEM I 42,5R            | ~2500  |
| 2         | CEM II/A-V 52,5 R-NA   | ~2850  |
| 3         | CEM II/B-M (S-V) 42,5R | ~3200  |

niała się ilość faz tobermorytopochodnych. W składzie fazowym zaobserwowano obecność włóknistych, płytkowych form tobermorytu. Taka budowa korzystnie wpływa na właściwości betonu komórkowego: wytrzymałość na ściskanie; skurcz; mrozoodporność. Największa ilość faz tobermorytopochodnych występowała w cementach portlandzkich opiołowych CEM II/B-M (S-V) 42,5R.

## Literatura

- [1] Balkovic S, Zapotoczna-Sytek G. Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia. Właściwości. Zastosowanie, PWN Warszawa 2013.
- [2] fib Bulletin 60 Prefabrication for affordable housing.
- [3] Peter U. Future ready limes for AAC industry Materials 7th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete 2023.
- [4] Łaskawiec K, Misiewicz L. Modern construction material for practical applications AAC Worldwide De 3. 2019 p. 66 – 72.
- [5] Turski R, Rogala W. Sytuacja i kierunki rozwoju Autoklawizowanego Betonu Komórkowego w Europie. SPB Warszawa 2022.
- [6] Dauksza P. Autoklawizowany Beton Komórkowy (ABK) w zrównoważonym budownictwie. Cement Wapno Beton. 2022; 27 (3): 224 – 240.
- [7] Skorniewska M, Łaskawiec K. Wyd. Stowarzyszenie Producentów Cementu, tyt. mon. Tradycja i Nowoczesność: VIII Konferencja Dni Betonu 13-15 październik 2014 r., Wisła; tyt. rozdz. Nowe cemeny wieloskładnikowe w technologii autoklawizowanego betonu komórkowego, 2014, s. 597-606.
- [8] Giergiczyński Z, Garbacik A, Pużak T, Sokolowski M. Cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEMII/B-M (V-LL) 32,5R i CEMII/B-M (S-V) 32,5R – właściwości i zastosowanie. Konferencja Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność 11-13 października 2010 Wisła, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2010;
- [9] Łaskawiec K. Autoklawizowany beton komórkowy, a cemeny niskoklinkierowe. Droga do neutralności klimatycznej. Praktyczne aspekty dekarbonizacji w produkcji materiałów budowlanych. Seminarium naukowo-techniczne. Warszawa 2023.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994