

dr inż. Piotr Gębarowski<sup>1)</sup>

mgr inż. Piotr S. Romanowski<sup>1)\*</sup>

# Zbrojenie rozproszone w autoklawizowanym betonie komórkowym

DOI: 10.15199/33.2018.03.29

**A**utoklawizowany beton komórkowy (ABK) jest jednym z najpowszechniejszych materiałów budowlanych w Polsce. Znajduje zastosowanie zarówno w budownictwie mieszkaniowym, obiektach gospodarczych, jak i w dużych inwestycjach publicznych. O sukcesie ABK zdecydował fakt, iż materiał ten charakteryzuje się dużym oporem cieplnym, dobrą wytrzymałością przy stosunkowo niskiej gęstości, niepalnością, przepuszczalnością pary wodnej, trwałością [1 ÷ 4, 11, 12]. Popularność elementów murowych z ABK wśród wykonawców wynika ze zmniejszonego nakładu pracy związanego z małą wagą elementów, łatwej obróbki oraz prostych sposobów łączenia prefabrykatów z murowanymi ścianami z ABK. Dodatkową zaletą elementów z ABK jest precyzja wykonania, która wynika z zastosowania zaawansowanych technologicznie maszyn. Dokładność wymiarów elementów na poziomie 2 mm (TLMA) lub nawet 1 mm (TLMB) umożliwia stosowanie zapraw cienkowarstwowych, co pozwala na zmniejszenie mostków cieplnych w murowanej przegrodzie [2, 4, 12]. Wśród innych materiałów murowych podobną dokładność wymiarową osiągają jedynie szlifowane elementy ceramiczne.

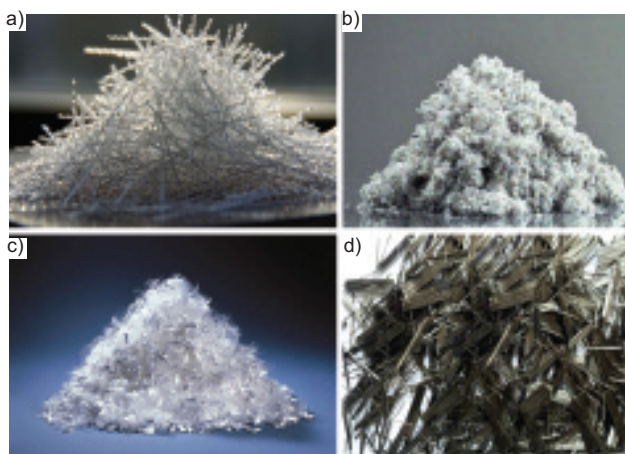
Autoklawizowany beton komórkowy jest jednym materiałem ściennym charakteryzującym się dużym zakresem gęstości (300 – 800 kg/m<sup>3</sup>). W tym przedziale gęstości konkurencją dla niego stanowią drewno i drażone elementy murowe. W związku z małą gęstością oraz z dużą porowatością, ABK wyróżnia się dobrymi właściwościami izolacyjnymi. Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  w przypadku gęstości 700 kg/m<sup>3</sup> przyjmuje wartość ok. 0,21 W/(m·K), natomiast przy gęstości 350 kg/m<sup>3</sup> wynosi ok. 0,09 W/(m·K) [1, 3, 11, 12].

Połączenie podanych cech oraz paroprzepuszczalności wpływa pozytywnie na komfort cieplny osób przebywających w pomieszczeniach wymurowanych z ABK. Materiał ten, szczególnie w przypadku gęstości 300 – 400 kg/m<sup>3</sup>, charakteryzuje się jednak względnie niewielką wytrzymałością na ściskanie w porównaniu z innymi materiałami murowymi. W przypadku najniższej gęstości wytrzymałość na ściskanie ABK kształtuje się na poziomie 2,0 – 2,5 MPa [1, 3, 11]. Inną niekorzystną cechą ABK, powiązaną z wytrzymałością, to kruchość, która zarówno na etapie produkcji, transportu, jak i montażu jest przyczyną powstawania zarysowań i ubytków. Jednym ze sposobów na wyeliminowanie wymienionych problemów jest zastosowanie zbrojenia rozproszonego mającego na celu wzmocnienie struktury betonu komórkowego.

## Zbrojenie rozproszone w betonach

Zbrojenie rozproszone wykorzystywane obecnie w technologii betonu kruszywowego w celu zmiany jego właściwości to krótkie, cienkie włókna: stalowe, szklane, polimerowe,

węglowe, bazaltowe i celulozowe (fotografia). W zależności od przeznaczenia projektowanego betonu, właściwości poszczególnych włókien determinują ich wybór jako zbrojenia rozproszonego [5 ÷ 8].



Włókna wykorzystywane jako zbrojenie rozproszone w betonie: a) polimerowe [5]; b) celulozowe [7]; c) szklane [6]; d) bazaltowe [8]

Za kryteria wyboru włókien do zbrojenia betonu komórkowego należy przyjąć: odporność na wysokie pH (9 – 12); odporność na temperaturę procesu autoklawizacji (ok. 190°C); odporność na korozję w kontakcie z wodą; wymiar wzdłużny poniżej 10 mm oraz odpowiednie właściwości adhezyjne zapobiegające segregacji włókien w mieszance betonowej. Kryteria te spełniają włókna szklane, węglowe, bazaltowe, celulozowe oraz wykonane z modyfikowanego polipropylenu. Przeprowadzone do tej pory badania nad zastosowaniem zbrojenia rozproszonego do ABK wykazały pozytywny wpływ na jego właściwości [9, 10].

## Próby technologiczne zbrojenia ABK

Przedmiotem badań przeprowadzonych w Zakładzie Technologii Betonu CEBET Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych było wzmocnienie struktury betonu komórkowego włóknami polimerowymi, celulozowymi i bazaltowymi. Pierwszy etap obejmował prace nad włóknami polimerowymi i celulozowymi.

**Włókna polimerowe** charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi, odpornością chemiczną, a przy tym występują w wielu wariantach wymiarów i składu chemicznego. Zaletą włókien polimerowych jest również ich przystępna cena. Natomiast niewątpliwą wadą w przypadku zastosowania do ABK jest temperatura topnienia, która w zależności od rodzaju polimeru oscyluje wokół wartości temperatury procesu autoklawizacji. Celem podjętych badań z wykorzystaniem włókien polimerowych jest zweryfikowa-

<sup>1)</sup> Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: p.romanowski@icimb.pl

nie, czy są one przydatne jako zbrojenie rozproszone w ABK pomimo występowania problemu zbieżności temperatury topnienia włókien i temperatury autoklawizacji. W związku z tym do prac badawczych wybrano powszechnie stosowane włókna polimerowe o najwyższej temperaturze topnienia. W przypadku **włókien celulozowych i bazaltowych**, temperatura autoklawizacji nie stanowi zagrożenia. Przy ich wyborze kierowano się wielkością (długość i średnica) i dostępnością produktów.

Jako rozproszone zbrojenie polimerowe wytypowano do badań produkt **Fibre S25S** składający się z mieszanki poliolefin o kształcie włókien skręconych w wiązki o długości ok. 25 mm i średnicy 0,5 mm. Pozostałe parametry deklarowane przez producenta to: wytrzymałość włókien na rozciąganie 516,9 N/mm<sup>2</sup>; moduł sprężystości 5,37 GPa; temperatura topnienia 170°C. Jak zapewniła producent, włókna charakteryzują się doskonałą przyczepnością do zaczynu cementowego, zapewnioną przez rozszczepianie się końcówek włókien w czasie mieszania z pozostałymi składnikami mieszanki betonowej. Kolejnym rodzajem zbrojenia rozproszonego, którego wpływ na właściwości ABK zbadano, było włókno celulozowe **Fibre UF-500**. Produkt ten ma postać białych prostokątnych płatków o wymiarach ok. 5 x 4 mm, które utworzone są ze zbitych włókien długości 1,9 – 2,3 mm i średnicy 14 – 17 μm. Zgodnie z danymi producenta gęstość włókien wynosi 1,10 g/cm<sup>3</sup>, wytrzymałość włókien na rozciąganie 600 – 900 N/mm<sup>2</sup>, moduł sprężystości – 8,5 GPa. W związku z tym, że włókna te składają się głównie z celulozy, której temperatura topnienia wynosi 260 – 270°C, założono, że ich właściwości nie ulegną zmianie podczas autoklawizacji.

Zaprojektowano receptury ABK o gęstości 500 kg/m<sup>3</sup> i różnej zawartości włókien oraz wykonano odlewy betonu z włóknami polipropylenowymi i celulozowymi. Włókna polipropylenowe dozowano w ilości 0,75 i 1,5%, a celulozowe w ilości 0,75; 1,5 i 2,25% w stosunku do sumy suchych składników receptury ABK. Ze względu na dużą wodożądność włókien, po niezbędnych korektach ilości wody i środka porotwórczego, wyrost mieszanki betonowej wg zaprojektowanych receptur był prawidłowy. Właściwie wyrośniętą masę betonu komórkowego poddawano autoklawizacji w standardowych warunkach. Beton komórkowy po autoklawizacji miał prawidłową strukturę i nie był popękany. Następnie zbadano gęstość w stanie suchym i wytrzymałość na ściskanie betonu komórkowego (tabela).

Za pozytywny wynik badań trzeba uznać to, że w ABK z dodatkiem włókien celulozowych, płatki włókien rozłożone były jednolicie w całej masie wyrobu. Wytrzymałość na ściskanie ABK z dodatkiem włókien celulozowych 1,5% zwiększyła się o 10% w porównaniu z betonem kontrolnym. W pozostałych przypadkach wytrzymałość była na podobnym poziomie lub niższa.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do kontynuacji badań. Zwiększenie wytrzymałości betonu komórkowego

## Średnia gęstość i wytrzymałość na ściskanie betonu komórkowego z dodatkiem i bez dodatku włókien

Parametry ABK	Rodzaj włókien					
	bez dodatku	polipropylenowe		celulozowe		
Ilość włókien* [%]		0,75	1,5	0,75	1,5	2,25
Średnia gęstość w stanie suchym [kg/m <sup>3</sup> ]	470 ± 10	510 ± 10	490 ± 10	490 ± 10	500 ± 10	520 ± 10
Średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa]	3,7 ± 0,1	3,5 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,3 ± 0,1	3,7 ± 0,1

\* ilość włókien w stosunku do sumy suchych składników receptury betonu

w przypadku zastosowania włókien celulozowych wraz z poprawą współczynnika przewodzenia ciepła jest dla producentów betonu komórkowego niezwykle obiecujące.

## Literatura

- [1] Balkovic Svetozar, Genowefa Zapotoczna-Sytek. 2013. *Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia. Właściwości. Zastosowanie*. Warszawa. PWN.
- [2] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński, Artur Piekarczyk, Wojciech Mazur. 2016. *Projektowanie konstrukcyjne ścian z betonu komórkowego. Zeszyt 2*. Warszawa. Stowarzyszenie Producentów Betonów.
- [3] Flassenberg Georg. 2005. „Structural fire protection with Autoclaved Aerated Concrete, 4th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete”. *Limbachiya and Roberts (eds.)*. London. Taylor&Francis Group.
- [4] Homann Martin. 2009. *Beton komórkowy – podręcznik, Projektowanie i budowanie w systemie*. Wydanie 6. Warszawa. Stowarzyszenie Producentów Betonów.
- [5] <https://civildigital.com/use-of-synthetic-fibres-in-concrete-flooring-and-plastering-advantages/>.
- [6] <http://blog-budowlany.blogspot.com/2012/11/beton-zbrojony-woknem.html>.
- [7] <http://polki.pl/tagi,wlokna-celulozowe,141296,1.html>.
- [8] [http://www.zielinski.org.pl/welna\\_celulozowa\\_charakterystyka.php](http://www.zielinski.org.pl/welna_celulozowa_charakterystyka.php).
- [9] Lapovskaya Svetlana, Tatyana Voloshina. 2012. „Zastosowanie krótkich nierozpuszczalnych włókien celulozowych do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego”. *Materiały Budowlane* 481 (9): 50 – 53.
- [10] Laukaitis Antanas, Jadvyga Kerienė, Modestas Kligys, Donatas Mikulskis, Lina Lekūnaitė. 2012. „Influence of mechanically treated carbon fibre additives on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete”. *Construction and Building Materials* 26: 362.
- [11] Łaskawiec Katarzyna, Jan Małolepszy. 2017. „Autoklawizowany beton komórkowy – dzisiaj i jutro”. V Konferencja Stowarzyszenia Producentów Betonów – *Prefabrykacja betonowa i beton komórkowy w nowoczesnym budownictwie*. Warszawa. Stowarzyszenie Producentów Betonów.
- [12] Rybarczyk Tomasz, Janusz Marchwiński. 2017. „Architektoniczno-budowlane kształtowanie obiektów z autoklawizowanego betonu komórkowego ze szczególnym uwzględnieniem budynków mieszkalnych”. *Materiały Budowlane* 541 (9): 91 – 96. DOI: 10.15199/33.2017.09.21.

Przyjęto do druku: 05.02.2017 r.

Partner działu: **Stowarzyszenie Producentów Betonów**

