

dr hab. inż. Łukasz Drobiec<sup>1)\*</sup>  
dr inż. Radosław Jasiński<sup>1)</sup>

# Wpływ wielkości i kształtu próbki na wytrzymałość na ściskanie ABK

*The influence of specimen shape and size on the compressive strength of AAC*

DOI: 10.15199/33.2016.10.18

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu kształtu i wymiarów próbki na wytrzymałość na ściskanie betonu komórkowego (ABK) klasy gęstości 600. Przeprowadzono klasyczne badania na całych elementach murowych oraz na wycinanych próbkach sześciennych i walcowych, wykazując istotny wpływ kształtu na wytrzymałość na ściskanie ABK. Obliczono znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie pokazując, że współczynniki kształtu dają zawyżone wartości wytrzymałości na próbkach większych od próbek sześciennych.

**Słowa kluczowe:** autoklawizowany beton komórkowy (ABK), wytrzymałość na ściskanie, średnia wytrzymałość znormalizowana elementu murowego.

**Abstract.** The article presents the results of the effect of the sample shape on the compressive strength of autoclaved aerated concrete (AAC) density class 600. Studies were carried out on whole masonry unit and cubic and cylindrical samples cut from whole units and has been shown that the shape of the sample has an influence on compressive strength of AAC. They were conducted normalized compressive mean strength of a masonry unit and show that the shape factors give inflated values of compressive strength.

**Keywords:** autoclaved aerated concrete (AAC), compressive strength, normalised mean compressive strength of a masonry unit.

Wpływ wielkości (objętości, stosunku wysokości do szerokości) badanej próbki na wytrzymałość na ściskanie betonu znany jest od dawna. W przypadku betonu zwykłego opracowano wiele zależności empirycznych [5] umożliwiających sprowadzenie wytrzymałości uzyskiwanej na próbkach niestandardowych do wytrzymałości uzyskiwanej na elementach znormalizowanych (kostki lub walce). Określając klasę betonu, podaje się zarówno wytrzymałość kostkową, jak i walcową otrzymaną w badaniach normowych elementów. Wpływ na wytrzymałość betonu komórkowego może mieć również proces wyrastania i tężenia masy [2, 9]. Jeżeli oba te procesy nie są zsynchronizowane, wówczas może nastąpić spłaszczenie porów, co powoduje zmniejszenie wytrzymałości ABK [8, 9]. W konstrukcjach murowych operuje się tzw. znormalizowaną wytrzymałością elementu murowego na ściskanie, czyli wytrzymałością sprowadzoną do wytrzymałości równoważnego elementu murowego w stanie powietrzno-suchym, którego wysokość i szerokość wynosi 100 mm. Jeżeli badania prowadzi się na próbkach o innych wymiarach, wytrzymałość znormalizowaną określa się, stosując współczynniki podane w PN-EN 772-1 [6]. Przy zastosowaniu próbek niestandardowych (np. pobierane in situ) można uzyskać nieprawidłowe wyniki [1, 3, 4]. W artykule zaprezentowano wyniki badań betonu komórkowego, których celem było szacunkowe określenie różnic w wytrzymałości na ściskanie uzyskiwanej na próbkach o różnym wymiarze i kształcie.

## Badania

Badania (tabela 1) prowadzono na próbkach pobranych losowo z 14 elementów murowych SOLBET OPTIMAL o grubości 180 mm. Sześć całych elementów przeznaczono do badań zgodnych z PN-EN 772-1 [6] i oznaczono symbolem U. Z pozostałych 8 elementów wycięto 18 próbek sześciennych (po trzy z jednego elementu zgodnie z załącznikiem B do PN-EN 771-4:2012 [7]) o wymiarach 100 x 100 x 100 mm i cztery walce średnicy 55 mm i wysokości 120 mm (po dwa z jednego ele-

mentu). Elementy sześciennie oznaczono symbolami CX, CY, CZ, przy czym litery X, Y lub Z to kierunek przyłożenia obciążenia odpowiednio prostopadle do płaszczyzny licowej, prostopadle do płaszczyzny wspornej oraz prostopadle do płaszczyzny czołowej, a walce – sym-

**Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie ABK**  
*Table 1. The test results of the AAC compressive strength*

Rodzaj próbki i obciążenie	Pole obciążanej powierzchni [mm <sup>2</sup> ]	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość na ściskanie [N/mm <sup>2</sup> ]	Współczynnik zmienności [%]	Wytrzymałość średnia [N/mm <sup>2</sup> ]
Całe elementy; seria U	90360	302	3,34	9,95	3,65
	90270	321	3,56		
	90000	356	3,96		
	90360	335	3,71		
	90180	375	4,16		
	90000	288	3,20		
Próbki sześciennie 10 x 10 x 10 cm; seria CX (obciążone prostopadle do powierzchni licowej)	9751,5	54,42	5,58	6,38	5,13
	9653	46,27	4,79		
	9950	52,52	5,28		
	9900	46,7	4,72		
	10201	53,9	5,29		
	10201	51,9	5,09		
Próbki sześciennie 10 x 10 x 10 cm; seria CY (obciążone prostopadle do płaszczyzny wspornej)	10000	51,63	5,16	6,76	5,05
	9849	53	5,38		
	9850	52,16	5,30		
	9554,5	50	5,23		
	9651,5	45,12	4,67		
	9900,25	45,28	4,57		
Próbki sześciennie 10 x 10 x 10 cm; seria CZ (obciążone prostopadle do płaszczyzny czołowej)	10201	55,28	5,42	7,71	5,13
	10201	53,76	5,27		
	10201	54,13	5,31		
	10201	47,79	4,68		
	10201	46,84	4,59		
	10201	56,41	5,53		
Próbki walcowe ø 55, h 120 mm; seria W (obciążone prostopadle do powierzchni licowej)	2375,8	10,03	4,22	2,64	4,14
		9,57	4,03		
		9,64	4,06		
		10,07	4,24		

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: lukasz.drobiec@polsl.pl

bolem W. Całe elementy oraz walce do czasu badania (min. 14 dni) przechowywano w warunkach powietrzno-suchych, w temperaturze  $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej  $\leq 65\%$ . Elementy sześciennie, po docięciu piłą diamentową, suszono w temperaturze  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  do stałej masy, a następnie badano. Zgodnie z PN-EN 772-1:2011E: [6] w serii U do badań zastosowano całe elementy pozbawione wszelkich wypustów i wpustów znajdujących się na powierzchniach czolowych. Nierówności powierzchni zlikwidowano, odpowiednio docinając bloczki piłą diamentową w taki sposób, że linia cięcia pokrywała się z wewnętrzną płaszczyzną wpustu lub płaszczyzną muru poza piórem.

Próbki ustawiano współosiowo do przegubu głowicy prasy po uprzednim oczyszczeniu jej powierzchni. Obciążenie przekazywano w takim tempie, aby zniszczenie próbki nastąpiło w czasie nie krótszym niż jedna minuta, licząc od początku obciążania, zgodnie z zaleceniami zawartymi w PN-EN 772-1:2011E [6]. Wyniki badań wytrzymałości przedstawiono w tabeli 1. Zniszczenie całych elementów murowych (seria U) przebiegało przez pionowe zarysowania koncentrujące się w okolicach narożników elementów murowych. Próbki sześciennie oraz walcowe niszczyły się przez zarysowania pionowe i ukośne, tworząc wewnątrz próbek ścięte piramidy lub ścięte stożki.

## Wytrzymałość znormalizowana

Na podstawie uzyskanych wyników badań wytrzymałości na ściskanie elementów murowych przeliczono uzyskaną wytrzymałość na znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie zgodnie z załącznikiem A do PN-EN 772-1:2011E [6]. Ze względu na sposób sezonowania badanych elementów ekwiwalentna wytrzymałość na ściskanie próbek serii U i W równa jest wytrzymałości uzyskanej z badań (współczynnik przeliczeniowy równy 1,0). Próbki sześciennie (serie CX, CY i CZ) przycinano z użyciem wody, a następnie suszono do stałej masy. W związku z tym, w celu uzyskania ekwiwalentnej wytrzymałości na ściskanie należało zastosować współczynnik 0,8. W przypadku próbek serii U, na podstawie załącznika A do PN-EN 772-1:2011E: [6], określono dodatkowo współczynnik kształtu  $\delta$ . W podobny sposób określono współczynnik  $\delta$  elementów serii W, przyjmując jako szerokość elementu jego średnicę.

Na podstawie tablicy NA.2 w Załączniku Krajowym do normy PN-EN 771-4:2012 [7] przeprowadzono klasyfikację badanych elementów murowych i dla każdej serii określono klasę wytrzymałości na ściskanie (tabela 2).

**Tabela 2. Wytrzymałość znormalizowana i klasa wytrzymałości na ściskanie**

Table 2. Normalised mean compressive strength and class of compressive strength

Seria	Wymiary elementu [mm]	Wytrzymałość średnia [N/mm <sup>2</sup> ]	Współczynnik przeliczeniowy	Współczynnik kształtu $\delta$	Znormalizowana wytrzymałość na ściskanie $f_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Klasa wytrzymałości na ściskanie
U	180 x 240 x 500	3,65	1,0	1,27	4,64	4,5
CX	100 x 100 x 100	5,13	0,8	1,0	4,10	4
CY	100 x 100 x 100	5,05	0,8	1,0	4,04	4
CZ	100 x 100 x 100	5,13	0,8	1,0	4,10	4
W	$\phi = 55, h = 120$	4,46	1,0	1,19	4,95	4,5

## Analiza wyników badań

W przypadku całych elementów murowych, próbek walcowych oraz sześciennych uzyskano, zgodnie z oczekiwaniami, różne wyniki. Największą wytrzymałość miały próbki sześciennie, a naj-

mniejszą całe elementy. Wytrzymałość całych elementów stanowiła nieco ponad 70% wytrzymałości uzyskanej na próbkach sześciennych, natomiast wytrzymałość próbek walcowych to 81% wytrzymałości uzyskanej na próbkach sześciennych. Porównując wyniki serii CX, CY i CZ, które badano równoległe lub prostopadle do kierunku wzrostu masy ABK, uzyskano różnicę nieprzekraczającą 5%. Analiza statystyczna wykazała jednak, że wytrzymałość próbek serii CY różniła się istotnie od wytrzymałości próbek CX i CZ. W tym przypadku ABK wykazywał więc pewne właściwości anizotropowe pod względem wytrzymałości na ściskanie. Na poziomie ufności 5% wykazano również istotne różnice w wytrzymałości uzyskanej na próbkach U i W.

W przypadku znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie uzyskano odwrotne wyniki. Najmniejszą wytrzymałość znormalizowaną miały próbki sześciennie, a największą próbki walcowe. Średnia wytrzymałość próbek sześciennych stanowi 82% wytrzymałości uzyskanej na próbkach walcowych, a wytrzymałość całych elementów – 94% tej wytrzymałości. Z badań elementów sześciennych uzyskano klasę wytrzymałości 4, natomiast z badań całych elementów murowych i walców, gdzie stosowano normowy współczynnik przeliczeniowy  $\delta$  – klasę wytrzymałości 4,5.

## Podsumowanie

Badania potwierdziły, że kształt próbki ma wpływ na uzyskaną wytrzymałość na ściskanie ABK. Zgodnie z zaleceniami norm europejskich, za podstawowe uznać należy badanie na próbkach sześciennych. Na podstawie uzyskanych wyników z badań stwierdzono, że współczynniki kształtu  $\delta$  zostały wykalibrowane nieco za wysoko, chociaż należy mieć na uwadze, że badania dotyczyły tylko jednego rodzaju ABK. Badając wytrzymałość ABK na próbkach większych i wyższych, można spodziewać się uzyskania wyższej klasy wytrzymałości niż w przypadku próbek podstawowych. Zasadne jest wykonanie badań uzupełniających obejmujących inne klasy gęstości ABK dostępne w Polsce.

## Literatura

- [1] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński, Adam Piekarczyk. 2013. „Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1”. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [2] Gębarowski Piotr, Katarzyna Łaskawiec. 2015. „Korelacje pomiędzy właściwościami fizykotechnicznymi a strukturą porowatości ABK”. *Materiały Budowlane* (11): 214 – 216. DOI: 10.15199/33.2015.11.67.
- [3] Łaskawiec Katarzyna, Lech Misiewicz. 2014. „Deklarowane i uzyskiwane z badań właściwości użytkowe elementów murowych z ABK produkowanych w Polsce”. *Materiały Budowlane* (11): 46 – 47.
- [4] Łaskawiec Katarzyna, Lech Misiewicz. 2014. „Właściwości użytkowe elementów murowych z ABK”. *Materiały Budowlane* (9): 60 – 61.
- [5] Neville A. M. 2013. „Właściwości betonu”. Kraków. Wydawnictwo Polski Cement Sp. z o.o.
- [6] PN-EN 772-1:2011E: Metody badań elementów murowych. Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [7] PN-EN 771-4:2012 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego.
- [8] Zapotoczna-Sytek Genowefa. 2015. „Autoklawizowany beton komórkowy na popiołach lotnych”. *Materiały Budowlane* (2): 53 – 56. DOI: 10.15199/33.2015.02.13
- [9] Zapotoczna-Sytek Genowefa, Svetozar Balkovic. 2013. „Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia, właściwości, zastosowanie”. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Przyjęto do druku: 30.08.2016 r.