

dr hab. inż. Radosław Jasiński, prof. PŚ<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0003-4015-4971

# Wyznaczanie charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie muru z ABK metodą MDT

## Determination of AAC masonry compressive strength by MDT method

DOI: 10.15199/33.2019.06.04

**Streszczenie.** W cyklu publikacji przedstawię propozycję procedury umożliwiającej wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie muru wykonanego z ABK ze spoinami cienkowarstwowymi na podstawie badań właściwości materiału elementów murowych. W tym artykule zaprezentuję metodę małoniszczącą (MDT), bazującą na wyskalowaniu własnej krzywej empirycznej uwzględniającej kształt i wielkość próbek oraz wpływ wilgotności ABK. **Słowa kluczowe:** autoklawizowany beton komórkowy (ABK); wytrzymałość na ściskanie; wielkość i kształt próbki; wilgotność; metoda MDT.

**Abstract.** In publication cycle I will present a proposal for the procedure to determine the compressive strength of a wall made of AAC with thin-layer bed joints based on a study of the material properties of masonry components. In this paper I present the minor-destructive method (MDT) based on the calibration of its own empirical curve taking into account the shape and size of samples and the impact of AAC moisture.

**Keywords:** autoclaved aerated concrete (AAC); compressive strength; shape and size of specimens; moisture; MDT method.

Charakterystyczną wytrzymałość muru na ściskanie  $f_k$  można wyznaczyć metodą bezpośrednią na podstawie badań niewielkich modeli muru zgodnych z PN-EN 772-1 [7] lub metodą pośrednią na podstawie wzoru potęgowego wg PN-EN 1996-1-1:2013 [8], w przypadku którego konieczna jest znajomość znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie elementu murego  $f_b$  oraz wytrzymałości na ściskanie zaprawy  $f_m$ . W istniejących obiektach metoda bezpośrednia ma ograniczone zastosowanie, dlatego optymalna wydaje się metoda pośrednia pozwalająca na ocenę charakterystycznej wytrzymałości muru na ściskanie na podstawie niszczących badań próbek nazywana też metodą małoniszczącą (MDT). Dzięki temu, korzystając z zależności Eurokodu 6 [1, 8], można obliczyć charakterystyczną wytrzymałość muru na ściskanie z wzoru:

$$f_k = K f_b^{0,85} = K (\eta_w \delta f_b)^{0,85} \rightarrow f_{k, is} = K (f_{Bw})^{0,85} \quad (1)$$

gdzie:

$f_k$  – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie (wyznaczana na podstawie parametrów komponentów składowych);  $K = 0,75$  lub  $0,8$ ;  $f_b$  – znormalizowana wytrzymałość elementów murowych na ściskanie;  $f_m$  – wytrzymałość na ściskanie próbek elementów murowych w stanie powietrzno-suchym;  $\eta_w$  – współ-

czynnik uwzględniający wilgotność materiału;  $\delta$  – współczynnik uwzględniający wpływ kształtu (w próbkach innych niż sześciany  $100 \times 100 \times 100$  mm);  $f_{k, is}$  – charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie in situ;  $f_{Bw}$  – wytrzymałość na ściskanie elementów murowych pobranych z konstrukcji uwzględniająca aktualną wilgotność.

W celu ograniczenia skali uszkodzeń w badaniach diagnostycznych konstrukcji pobiera się próbki mniejsze niż znormalizowane sześciany  $100 \times 100 \times 100$  mm (najczęściej mikrorodzenie o średnicy  $20 \div 50$  mm). Wytrzymałość  $f_c$  wyznaczona na podstawie badań próbek nieznormalizowanych wymaga stosowanej konwersji do wytrzymałości  $f_b$ . PN-EN 772-1 [7] nie podaje współczynników przeliczeniowych (konwersji) do próbek niestandardowych, takich jak mikrorodzenie.

W artykule przedstawię procedurę wyznaczania wytrzymałości na ściskanie  $f_{k, is}$  na podstawie własnych badań ABK o różnej gęstości (400, 500, 600 i 700) w stanie powietrzno-suchym oraz z kontrolowaną wilgotnością.

### Krzywa empiryczna ABK

W pracach [2, 5] zaproponowano modyfikację krzywej Neville'a [6] znanej z diagnostyki konstrukcji betonowych. Na podstawie badań 494 próbek ABK (walcowych, prostokątnych i sześciennych) o różnym kształcie oraz analiz statystycznych przedstawiono krzywą empiryczną dotyczącą ABK:

$$\frac{f_c}{f_b} = b + \frac{a}{\frac{V}{100hd} + \frac{h}{d}} + \Delta b \rightarrow \frac{f_c}{f_b} = 0,73 + \frac{0,321}{\frac{V}{100hd} + \frac{h}{d}} + 0,11 \quad (2)$$

gdzie:

$f_b$  – wytrzymałość na ściskanie próbki znormalizowanej  $100 \times 100 \times 100$  mm;  $a$  i  $b$  – stałe współczynniki krzywej;  $y = f_c/f_b$  – iloraz wytrzymałości na ściskanie oznaczonej na próbce dowolnego kształtu i próbce normowej  $100 \times 100 \times 100$  mm;  $x = V/100hd + h/d$  – bezwymiarowy współczynnik wyrażający wpływ objętości i smukłości próbki;  $\Delta b$  – współczynnik korekcyjny obliczany z zależności  $\Delta b = 0,5(1 - 2b - a)$ .

W pracy [4] zaproponowano, aby operować krzywą uwzględniającą wpływ gęstości ABK.

$$\frac{f_c}{f_b} = -0,730 \cdot (9,09 \cdot 10^{-4} \rho - 1,49) + \frac{0,321 \cdot (3,044 \cdot 10^{-3} \rho - 0,653)}{\frac{V}{100hd} + \frac{h}{d}} + \Delta b \quad (3)$$

Oprócz wpływu kształtu uwzględniono wilgotność istotnie wpływającą na wytrzymałość na ściskanie ABK [4, 9, 10]. Na podstawie badań próbek [2, 3] określono wilgotność maksymalną ABK różnej gęstości:

$$w_{max} = -1,22 (\rho/1000) + 1,339, \text{ gdy } 400 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 700 \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

Wytrzymałość na ściskanie zawilgoczonego ABK  $f_{Bw}$  (rysunek) wyznaczono z dwóch zależności [2, 3], w których  $w$  jest wilgotnością masową ABK.

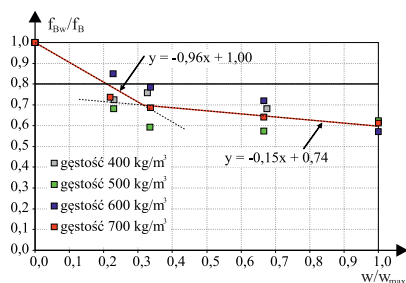
<sup>1)</sup> Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; radoslaw.jasinski@polsl.pl

$$f_{Bw} = f_B \left( -0,96 \frac{w}{w_{max}} + 1 \right), \quad (5)$$

gdy  $0 \leq \frac{w}{w_{max}} \leq 0,31$

$$f_{Bw} = f_B \left( -0,15 \frac{w}{w_{max}} + 0,74 \right), \quad (6)$$

gdy  $0,31 < \frac{w}{w_{max}} \leq 1,0$



**Względna wytrzymałość ABK  $f_{Bw}/f_B$  w funkcji  $w/w_{max}$**   
Relative strength of AAC  $f_{Bw}/f_B$  in function  $w/w_{max}$

### Przykład określania charakterystycznej wytrzymałości muru z ABK

Przedmiotem badań była ściana budynku wykonanego z elementów murowych z ABK poddanego oddziaływaniu środowiska. Celem badań było wyznaczenie charakterystycznej wytrzymałości muru na ściskanie. Na potrzeby badań pobrano ze ściany 6 rdzeni o średnicy 50 mm i długości 120 mm. W każdym miejscu wykonano pomiary średniej wilgotności rdzeni metodą wagową. Próbkę docięto tak, że stosunek wysokości do średnicy wynosił  $h/\phi = 2$ . Wyszuszone je do stałej masy, określono gęstość pozorną  $\rho$  i wykonano badania niszczące, określając wytrzymałość na ściskanie  $f_c$ . Wyniki badań zestawiono w tabelach 1 i 2. Obliczona na podstawie wzorów (5) lub (6) znormalizowana wytrzymałość elementu na ściskanie  $f_b = 0,8 \times 3,59 = 2,87 \text{ N/mm}^2$ . Stosując normowy współczynnik  $\eta_w = 0,8$  uwzględniający wpływ wilgotności, uzyskuje się bezpieczne zaniżenie wytrzymałości tylko gdy wilgotność  $w < 20\%$ . W ścianach bardziej zawilgotnionych ( $w > 20\%$ ) uzyskać można niebezpieczne przeszacowanie wytrzyma-

**Tabela 1. Właściwości próbek ABK**

Table 1. Properties of AAC specimens

Wysokość próbki h [mm]	Średnica próbki $\phi$ [mm]	Objętość próbki V [mm <sup>3</sup> ]	V/100h $\phi$ + h/ $\phi$	Gęstość próbki $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Wilgotność próbki w [%]	Maksymalna wilgotność w <sub>max</sub> [%] wg (4)	Wytrzymałość na ściskanie $f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]
101	51	206325	2,365	528	25	69,5	4,12
102	50	200277	2,401	589	47	62,0	3,11
99	50	194389	2,389	536	24	68,5	3,89
101	50	198313	2,397	555	27	66,2	3,55
100	50	196350	2,393	524	26	70,0	3,22
98	50	192423	2,385	564	32	65,1	3,05

**Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałości próbek ABK**

Table 2. Results of strength tests of AAC specimens

Współczynnik a we wzorze (3)	Współczynnik b we wzorze (3)	Współczynnik poprawkowy we wzorze (3)	Wytrzymałość w stanie suchym $f_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Wytrzymałość w stanie wilgotnym $f_{Bw}$ [N/mm <sup>2</sup> wg (5) lub (6)]
0,306	0,737	0,11	4,22	2,75
0,366	0,697	0,12	3,21	2,01
0,314	0,732	0,11	3,99	2,74
0,333	0,719	0,11	3,65	2,48
0,302	0,740	0,10	3,30	2,26
0,341	0,713	0,12	3,14	2,09
Średnia			3,59	2,39

łości na ściskanie (rysunek). Charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie otrzymana z zależności normowej oraz badań własnych wyniosła:

$$f_k = K f_b^{0,85} = K (\eta_w \delta f_B)^{0,85} = 0,75 \cdot (0,8 \cdot 3,59)^{0,85} = 1,84 \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

$$f_{k, is} = K f_{bw}^{0,85} = 0,75 \cdot (2,39)^{0,85} = 1,57 \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

### Podsumowanie

Stosując zaproponowaną metodę, można określić charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie muru z ABK wykonanego ze spoinami cienkowarstwowymi. Korzystając z empirycznych zależności, oblicza się najpierw znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie elementów murowych, a następnie charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie. Do stosowania przedstawionej procedury w przypadku ścian z ABK, wykonanych ze spoinami zwykłej grubości, konieczna jest znajomość wytrzymałości na ściskanie zaprawy  $f_m$ .

### Literatura

[1] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński, Adam Piekarczyk. 2013 *Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych*. Tom 1. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.  
[2] Jasiński Radosław, Łukasz Drobiec, Wojciech Mazur. 2019. „Application of the Minor

Destructive Test (MDT) method for determination of AAC masonry compressive strength”. *Przegląd Spawalnictwa* 91 (2): 17 – 23. DOI: 10.26628/wtr.v91i2.

[3] Jasiński Radosław, Łukasz Drobiec, Wojciech Mazur. 2019. „Validation of Selected Non-Destructive Methods for Determining the Compressive Strength of Masonry Units Made of Autoclaved Aerated Concrete”. *Materials*, Vol. 12, Issue 3, 389. DOI: 10.3390/ma1203039.

[4] Łaskawiec Katarzyna. 2017. „Autoklawizowany beton komórkowy – odporność na wilgoć”. *Inżynier Budownictwa* (4).

[5] Mazur Wojciech, Łukasz Drobiec, Radosław Jasiński. 2018. „Effects of specimen dimensions and shape on compressive strength of specific autoclaved aerated concrete”. *ICAAC 6th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete*. Postdam september 4–6 2018 r.: 541 – 556. DOI: 10.1002/cepa.837.

[6] Neville Adam. M. 2011. *Właściwości betonu*. 5th edition, Pearson Education Limited, Essex, England.

[7] PN-EN 771-4:2011 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 4. Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego.

[8] PN-EN 1996-1-1+A1: 2013-05P Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1. Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.

[9] Rybarczyk Tomasz. 2019. „Wilgotność elementów i konstrukcji z betonu komórkowego”. *Materiały Budowlane* 558 (2): 26 – 27.

[10] Zapotoczna-Sytek Genowefa, Svetozar Balkovic. 2013. *Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia. Właściwości. Wykonawstwo*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Przyjęto do druku: 05.05.2019 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

