

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec¹⁾

ORCID: 0000-0001-9825-6343

dr inż. Wojciech Mazur^{1)*}

ORCID: 0000-0001-6382-1496

mgr inż. Remigiusz Jokiel²⁾

Badanie wpływu wzmocnienia powierzchniowego systemem FRM na wytrzymałość na ściskanie zarysowanych murów z ABK

Research of influence of superficial strengthening with FRM system on compressive strength of cracked AAC masonry

DOI: 10.15199/33.2020.12.05

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wpływu wzmocnienia powierzchniowego systemem FRM na wytrzymałość na ściskanie zarysowanych murów z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Badania przeprowadzono na modelach murów z rysą pionową oraz bez zarysowania. Program badań obejmował modele bez wzmocnienia oraz wzmocnione z dwóch i czterech stron, w tym z dodatkowym zakotwieniem wzmocnienia powierzchniowego elementami stalowymi. W modelach wzmocnionych nie odnotowano wzrostu wartości maksymalnego naprężenia niszczącego. Stwierdzono jedynie wzrost poziomu odkształcalności murów wzmocnionych w porównaniu z murami bez wzmocnienia.

Słowa kluczowe: autoklawizowany beton komórkowy (ABK); wytrzymałość na ściskanie; system FRM.

Abstract. This paper describes results from studies on effects of superficial strengthening with FRM system on compressive strength of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry. Tests were carried out on models with one vertical crack and without crack. The research program included walls without any strengthening, strengthened at two or four sides. In addition, models with additional anchorage of superficial strengthening by steel plates were tested. Strengthened masonry did not demonstrate an increase of compressive strength and deformability. Increased deformability was observed for circumferentially strengthened masonry.

Keywords: autoclaved aerated concrete (AAC); compressive strength; FRM system.

Wzmocnienia powierzchniowe są powszechnie stosowane do wzmacniania konstrukcji żelbetowych oraz murowych [2 ÷ 6] i stanowią przedmiot wielu badań doświadczalnych na całym świecie, także na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej [7 ÷ 9]. Zazwyczaj badaniom poddawano wzmocnione, ale nieuszkodzone modele murów. Celem przeprowadzonych przez nas analiz było określenie rzeczywistego wpływu wzmocnienia systemem FRM na nośność, osłabionych przez nacięcie, modeli murów wykonanych z ABK.

Badania

Modele badawcze wzniesiono z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego o szerokości 180 mm, długości 590 mm oraz wysokości 240 mm, znormalizowanej wytrzymałości na

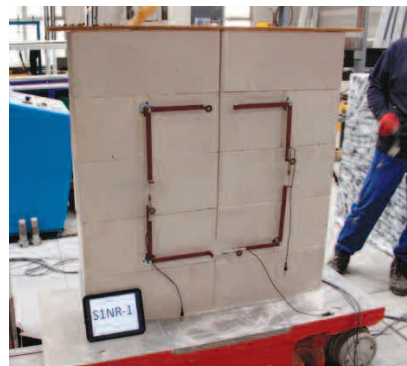
ściskanie $f_b = 4,0 \text{ N/mm}^2$ i gęstości $\rho_v = 600 \text{ kg/m}^3$. Zastosowano systemową zaprawę cienkowarstwową o wytrzymałości na ściskanie $f_m = 6,1 \text{ N/mm}^2$. Na powierzchniach czołowych bloczków były wyprofilowane pióro oraz wpust i dlatego nie wypełniano zaprawą spoinowych (czołowych). Modele badawcze miały szerokość dwóch elementów murowych i wysokość pięciu elementów, a ich wymiary (1182 x 1200 mm) odpowiadały wymaganiom normy [10].

Program badań obejmował cztery serie elementów badawczych (każda po 3 próbki) oznaczone jako:

- S1NR – mury zarysowane, ale bez wzmocnienia;
- S1NF2R – mury zarysowane, wzmocnione z dwóch stron;
- S1NF2RP – mury zarysowane, wzmocnione z dwóch stron, ale z dodatkowym zakotwieniem mechanicznym wzmocnienia powierzchniowego;
- S1NF4 – mury niezarysowane, ale wzmocnione z czterech stron.

Po 28 dniach od wymurowania część modeli nacinano piłą ręczną, tworząc

pionową rysę wymuszoną przebiegającą od górnej krawędzi na 2/3 wysokości modelu badawczego (fotografia 1). Na powierzchni bocznej modeli wzmacnianych nakładano dwukierunkową siatkę z włókna PBO (poliparafenylenbenzobisoxazol), osadzoną w systemowej mineralnej matrycy cementowej, a następnie nanoszono warstwę wierzchnią z zaprawy cementowej. Zakotwienie mechaniczne stanowiły płaskowniki ze stali S355 o wymiarach 50 x 12 x 1100 mm (z nawierconymi pięcioma otworami



Fot. 1. Model serii S1NR-1 z widoczną rysą
Photo. 1. Model of series S1NR-1 with crack

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

²⁾ BUDINŻ PB Sp. z o.o. Sp.k.

*) Adres do korespondencji: wojciech.mazur@polsl.pl

o średnicy 13 mm) w rozstawie 240 mm, skręcone prętami gwintowanymi M12 ze stali klasy 3.6.

Modele bez wzmocnienia badano po 28 dniach od wymurowania, a modele ze wzmocnieniem po 28 dniach od jego wykonania. Testowano je w maszynie wytrzymałościowej o zakresie 200 T. W trakcie badania rejestrowano obciążenia oraz przemieszczenia pionowe i poziome przy użyciu czujników indukcyjnych o dokładności 0,002 mm oraz automatycznego stanowiska pomiarowego. Dodatkowo mierzono odkształcenia za pomocą bezdotykowego systemu pomiaru przemieszczeń. Wymiar długości bazy do pomiaru przemieszczeń muru zwiększono o 20 mm w stosunku do zaleceń PN-EN 1052-1 [10] w celu uniknięcia mocowania ramek stalowych w spoinach muru. Widok modelu serii S1NF2RP na stanowisku badawczym pokazano na fotografii 2.



Fot. 2. Model serii S1NF2RP-1
Photo. 2. Model of series S1NF2RP-1

Wyniki badań i analiza

W tabeli zestawiono wyniki badań. Wartość naprężeń rysujących i niszczących wyznaczono z ilorazu siły i pola przekroju poprzecznego elementu próbnego, a wartość modułu sprężystości i współczynnika Poissona jako średnią ze średniej wartości odkształceń odczytanych z czujników pomiarowych przy naprężeniu równym 1/3 naprężenia maksymalnego. Na podstawie pomiaru odkształceń pionowych wyznaczono zależność naprężenie pionowe σ_y – odkształcenie pionowe ϵ_y , a na podstawie odkształceń poziomych – współczynnik Poissona muru ν . Na rysunku przedsta-

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie elementów próbnych muru wszystkich serii badawczych

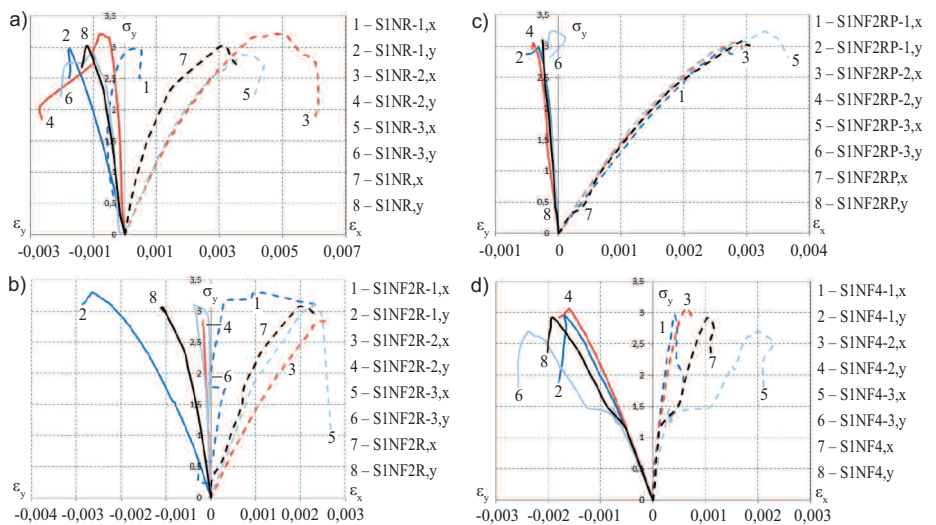
Test results for compressive strength of the walls for each series

Seria		Naprężenie rysujące [N/mm ²]		Naprężenie maksymalne [N/mm ²]		Moduł sprężystości [MPa]		Współczynnik Poissona	
		model	wartość średnia	model	wartość średnia	model	wartość średnia	model	wartość średnia
S1NR – mury zarysowane bez wzmocnienia	S1NR-1	2,97		2,98		2091		1,04	
	S1NR-2	3,15	2,90	3,21	3,03	8066	4472	7,00	3,57
	S1NR-3	2,57		2,89		3258		2,68	
S1NF2R – mury zarysowane wzmocnione z dwóch stron	S1NF2R-1	3,18		3,30		2002		0,25	
	S1NF2R-2	2,84	2,97	2,84	3,09	19420	12395	13,15	7,25
	S1NF2R-3	2,90		3,11		15762		8,34	
S1NF2RP – mury zarysowane wzmocnione z dwóch stron z dodatkowym zakotwieniem	S1NF2RP-1	2,97		2,99		16359		11,87	
	S1NF2RP-2	2,86	2,89	3,06	3,10	7608	13481	5,05	9,17
	S1NF2RP-3	2,92		3,25		16477		10,59	
S1NF4 – mury wzmocnione z czterech stron	S1NF4-1	2,45		2,74		2245		0,20	
	S1NF4-2	2,70	2,55	3,09	2,87	2308	2196	0,23	0,26
	S1NF4-3	2,50		2,79		2036		0,35	

wiono zależność $\sigma_y - \epsilon_y$, $\sigma_y - \epsilon_x$ wszystkich serii badawczych.

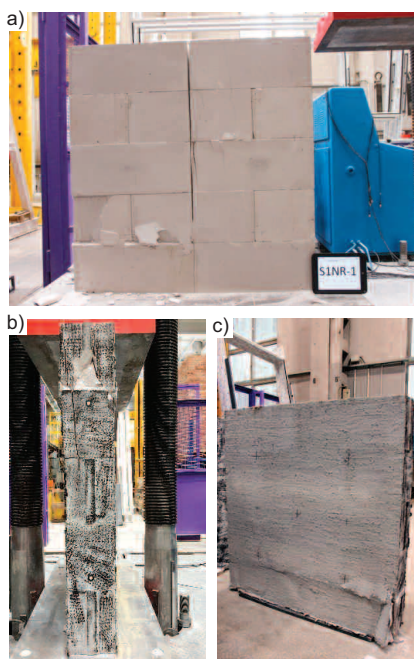
Modele serii S1NR uległy zniszczeniu w wyniku pionowego zarysowania oraz rozłupania elementów i odspojenia fragmentów licowych (fotografia 3a). W przypadku modeli serii S1NF2R efekty zniszczenia uwidoczniły się w postaci pionowych zarysowań na bocznej niewzmocnionej powierzchni muru (fotografia 3b) lub przez zary-

sowanie i uwypuklenie powierzchni wzmocnionej na poziomie dwóch dolnych warstw elementów murowych (fotografia 3c). Nie zaobserwowano zarysowania na powierzchni wzmocnienia w miejscu występowania rysy wymuszonej. W przypadku modeli S1NF2RP zarysowania powstały na powierzchni wzmocnienia i odzwierciedlały przebieg spoin w murze (fotografia 4a). Modele S1NF4 uległy zarysowaniu w dol-



Zależność naprężenie σ_y – odkształcenie pionowe ϵ_y i poziome ϵ_x w przypadku modeli serii: a) S1NR; b) S1NF2R; c) S1NF2RP; d) S1NF4

Stress σ_y – vertical strain ϵ_y and horizontal strain ϵ_x relationships for series: a) S1NR; b) S1NF2R; c) S1NF2RP; d) S1NF4

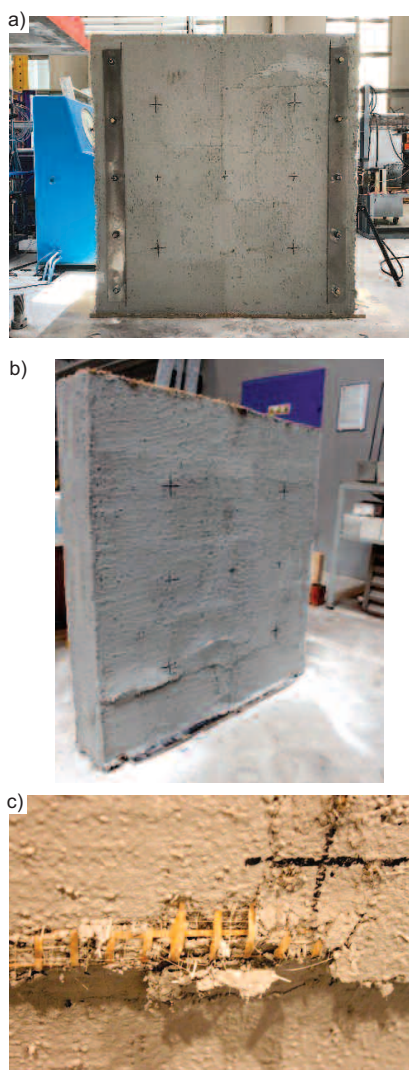


Fot. 3. Widok modeli po badaniu wytrzymałości na ściskanie: a) S1NR; b, c) S1NF2R
 Photo. 3. A view of models after compressive strength test: a) S1NR; b, c) S1NF2R

nej części muru (fotografia 4b) analogicznie jak modele S1NF2R. Do zniszczenia doszło w wyniku wyczerpania wytrzymałości elementów murowych. Siatka wzmocnienia powierzchniowego uległa odspojeniu wraz z warstwą betonu komórkowego. W przypadku wszystkich modeli wzmocnionych nie zanotowano zerwania włókien siatki wzmocnienia (fotografia 4c) ani nadmiernego wykruszania matrycy cementowej.

W wyniku zastosowania wzmocnienia powierzchniowego w modelach serii S1NF2R naprężenia rysujące i niszczące były odpowiednio o 2,4 i 2,0% większe w porównaniu z wynikami modeli zarysowanych, ale bez wzmocnienia (S1NR). Dodatkowe zakotwienie wzmocnienia powierzchniowego płaskownikami stalowymi w modelach serii S1NF2RP spowodowało wzrost naprężenia niszczonego o 2,3%. W przypadku modeli serii S1NF4 (bez zarysowania, wzmocnione z czterech stron) naprężenia rysujące i niszczące były odpowiednio o 12,1 i 5,3% mniejsze

w porównaniu z modelami zarysowanymi i niewzmocnionymi S1NR. Wartości modułu Younga oraz współczynnika Poissona każdej serii badawczej z rysą (poza wynikami elementów serii S1NF4) są bardzo zróżnicowane i nie pozwalają na wyciągnięcie poprawnych wniosków.



Fot. 4. Widok modeli po badaniu wytrzymałości na ściskanie: a) S1NF2RP; b, c) S1NF4
 Photo. 4. A view of models after compressive strength test: a) S1NF2RP; b, c) S1NF4

Wnioski

Żaden z zastosowanych sposobów wzmocnienia nie wpłynął w istotny sposób na wzrost nośności modeli badaw-

czych. Niewątpliwie bardziej efektywne będzie wzmocnienie powierzchniowe w przypadku konstrukcji murowych z ABK poddanych rozciąganiu lub ścinaniu, co zostanie zweryfikowane na dalszym etapie badań przeprowadzonych zgodnie z normami [1, 11].

Literatura

- [1] ASTM E519-81 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) of Masonry Assemblages.
- [2] Babaeidarabad S., D. Arboleda, G. Loreto, A. Nanni. 2014. „Shear strengthening of un-reinforced concrete masonry walls with fabric-reinforced-cementitious-matrix”. *Construction and Building Materials*, Vol. 65, s. 243 – 253.
- [3] Bilotta A., F. Ceroni, E. Nigro, M. Pecce. 2017. „Experimental tests on FRCM strengthening systems for tuff masonry elements”. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 129, s. 251 – 270.
- [4] Carozzi F. G., C. Poggi, A. Bellini, T. D’Antino, G. de Felice, F. Focacci, L. Holdys, L. Laghi, E. Lanoye, F. Micelli, M. Panizza. 2017. „Experimental investigation of tensile and bond properties of Carbon-FRCM composites for strengthening masonry elements”. *Composites Part B* 128, pp. 100 – 119.
- [5] Ceroni F., P. Salzano. 2018. „Design provisions for FRCM systems bonded to concrete and masonry elements”. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 143, s. 230 – 242.
- [6] Remigiusz Jokiel, Łukasz Drobiec. 2019. „Projektowanie wzmocnień konstrukcji murowych systemami FRCM w świetle badań i zaleceń normowych”. *Izolacje* 3, pp. 90, 92 – 94.
- [7] Kałuża M., J. Kubica. 2013. „Behaviour of unreinforced and reinforced masonry wallets made of ACC blocks subjected to diagonal compression”. *Technical Transactions – Civil Engineering* 1-B/2013: 79 – 94.
- [8] Kałuża M., I. Galman, J. Kubica, C. Agneloni. 2015. „Diagonal Tensile Strength of AAC Blocks Masonry with Thin Joints Superficially Strengthened by Reinforced Using GFRP Net Plastering”. *Key Engineering Materials* 624, 363 – 370.
- [9] Kubica J., M. Kałuża. 2010. „Diagonally compressed AAC Block’s masonry – effectiveness of strengthening using CRFP and GRFP laminates”. *Proceedings 8th International Masonry Conference, Masonry (11)*, Ed. by W. Jäger, B. Haseltine & A. Fried, Dresden, 419 – 428.
- [10] PN-EN 1052-1:2000 Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [11] PN-EN 1052-3:2004 Metody badań murów. Część 3: Określenie początkowej wytrzymałości muru na ścinanie.

Przyjęto do druku: 17.11.2020 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994