

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec¹⁾
ORCID: 0000-0001-9825-6343

Badania wpływu nowego typu zbrojenia na nośność i rysoodporność ściskanych murów z ABK

Narożniki ścian i strefy połączeń ścian prostopadłych są częstym miejscem koncentracji naprężeń [1, 2]. O nośności strefy połączenia ścian decyduje wówczas wytrzymałość muru na ścinanie [3]. Wpływ na powstanie koncentracji naprężeń w rejonach narożników ścian mają również obciążenia termiczne i usytuowanie obiektu względem stron świata [4, 5].

Zgodnie z Eurokodem 6 [6] połączenie ścian prostopadłych można zrealizować przez przewiązanie murarskie, łączniki lub zbrojenie przedłużane w każdą ze ścian. Połączenia murów z ABK na wiązanie murarskie oraz na metalowe łączniki było przedmiotem badań opublikowanych w pracach [7, 8, 9]. Badania prowadzono jednak na małych modelach i nie były one weryfikowane na ścianach w skali naturalnej.

Celem prezentowanych badań była analiza nośności i odkształcalności, w strefach koncentracji naprężeń, muru niezbrojonego i zbrojonego wykonanego z ABK na cienkowarstwowej zaprawie systemowej z niewypełnionymi spoinami czołowymi. Prowadzono analizę połączenia ścian prostopadłych, obciążonych nierównomiernie. W artykule zamieszczono drugi etap badań związany z analizą strefy połączenia ścian prostopadłych. Określono wpływ zbrojenia na nośność połączenia na podstawie dwóch ścian z otworami w skali naturalnej z nowym typem zbrojenia w postaci siatki stalowej i przeanalizowano strefę wokół okna. Uzyskane wyniki porównano z wynikami badań dwóch ścian bez zbrojenia oraz z wynikami badań czterech ścian (dwie serie) zbrojonych, opublikowanymi w [2, 3].

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa; lukasz.drobiec@polsl.pl

Modele ścian

Modele wzniesiono z bloczków z betonu komórkowego o grubości 180 mm, na systemowej zaprawie cienkowarstwowej. Znormalizowana wytrzymałość bloczka wynosiła $f_b = 4,0$ MPa, a wytrzymałość zaprawy na ściskanie $f_m = 6,1$ MPa, natomiast wytrzymałość muru na ściskanie $f_{test} = 2,97$ MPa, moduł sprężystości $E = 2040$ MPa, a współczynnik Poissona $\gamma = 0,18$. Zaplanowano i wykonano badania dwóch ścian z jednym otworem okiennym.

Ściany zaopatrzone były na końcach w dwa fragmenty ścian prostopadłych o długości 1,22 m. Każdy model badawczy został zakończony żelbetowym wieńcem. Długość modeli wynosiła 4,68 m, a wysokość 2,63 m (wraz z wieńcem żelbetowym). Modele były zbrojone w każdej spoinie wspornej. Zastosowano nowy typ zbrojenia w postaci siatki stalowej przeznaczonej do murów z ABK, którą rozwijano z rolki. Całkowita szerokość siatki wynosi 80 mm. Siatka w kierunku podłużnym składa się z czternastu wiązek drutów stalowych ze stali wysokowęglowej. Cztery wewnętrzne wiązki rozmieszczone są nominalnie co 10 mm, a pozostałe znajdują się w rozstawie 5 mm. Każda wiązka podłużna złożona jest z trzech drutów o średnicy $0,54 \pm 0,02$ mm, co oznacza, że pole powierzchni wiązki złożonej z trzech drutów wynosi $0,69 \pm 0,05$ mm². Całkowity przekrój poprzeczny zbrojenia podłużnego to $9,66$ mm², a całkowita grubość siatki $1,7$ (-0,2/+ 0,4) mm. Stal zabezpieczona jest cynkową powłoką antykorozyjną.

W badaniach wcześniejszych [10, 11] zastosowano ponadto zbrojenie typu kratowniczką oraz zbrojenie w postaci siatki bazaltowej.

Technika badań strefy połączenia ścian

Po zbadaniu pierwszego modelu z otworem (model niezbrojony BKON-1 [12]) okazało się, że strefa wokół otworu początkowo ulega równomiernemu zarysowaniu, ale zniszczenie nastąpiło z jednej strony otworu i tam ostateczne zarysowanie było największe. Zakres zniszczenia był tak duży, że pozwalał na badanie połączenia ścian tylko z jednej, mniej uszkodzonej strony modelu. Podobna sytuacja miała miejsce w następnych badanych modelach. Do badania strefy połączenia ścian kwalifikowano zatem ten skrajny fragment modelu, który nie uległ zniszczeniu podczas badań pierwszego etapu (strefy przyokiennej – badania opisano w [12]).

Obciążenie modeli realizowano za pomocą siłowników zabudowanych na ramach zakotwionych w płycie wielkich sił oraz za pomocą układu ciągnowego i siłowników tłokowych podobnie jak w [12]. Wybrany narożnik obciążano, stosując siłownik o zakresie do 100T, mocowany do ramy ustawionej przy wybranym narożniku. Obciążenie z siłowników przykładano przez belkę trawersową w taki sposób, aby wywołać równomierne obciążenie narożnika, natomiast układem ciągnowym i siłownikami tłokowymi obciążano fragment ściany prostopadłej.

Podczas badań prowadzono pomiar siły obciążającej za pomocą siłomierzy zabudowanych na ciągnach oraz pod siłownikiem mocowanym do ramy. Prowadzono również pomiar przemieszczeń za pomocą transformatorów przetworników przemieszczeń liniowych na bazach, jak przy badaniu [12].

Wyniki badań

W tabeli zamieszczono wyniki badań. **Największą nośność uzyskały modele ze zbrojeniem w postaci siatki**

Wyniki badań murów w strefie połączenia ścian

Modele		Średnie naprężenie			
		w ścianie krótszej [MPa]	niszczące w ścianie dłuższej [MPa]	w ścianie dłuższej odpowiadające sile wywołującej pierwszą rysę [MPa]	w ścianie dłuższej odpowiadające sile wywołującej drugą rysę [MPa]
Bez zbrojenia	BKON-1	0,23	2,91	1,15	1,40
	BKON-2	0,26	2,97	1,20	1,40
Zbrojone	BKOZK-1	0,25	2,67	2,05	2,20
	BKOZK-2	0,24	2,68	2,12	2,23
	BKZSB-1	0,25	3,22	1,92	2,20
	BKZSB-2	0,25	3,33	1,87	2,25
	BKZSS-1	0,25	3,32	1,52	2,25
	BKZSS-2	0,23	3,20	1,63	2,20

ki bazaltowej, a najmniejszą modelem zbrojone kratowniczką, natomiast największą rysoodporność wykazały mury zbrojone kratowniczką, a najmniejszą ściany bez zbrojenia. Na rysunku porównano zależność naprężenie-odkształcenie pionowe badanych modeli. Największy wpływ na nośność połączenia ścian miało zbrojenie siatkami bazaltowymi i stalowymi. Stwierdzono wzrost nośności o ponad 10%. Zbrojenie typu kratowniczka spowodowało natomiast zmniejszenie nośności o ok. 10%. Największy wpływ na opóźnienie zarysowania w styku ścian miało zbrojenie typu kratowniczka. Zbrojenie to jest znacznie sztywniejsze niż siatki stalowe lub bazaltowe. Zastosowanie zbrojenia typu kratowniczka spowodowało zwiększenie o 77% naprężeń, przy których

występuje pierwsza rysa w strefie połączenia ścian prostokątnych. Zbrojenie w postaci siatki stalowej i bazaltowej było tylko nieco mniej efektywne, a przy tym nie wygenerowało zmniejszenia nośności. Spowodowało ono odpowiednio wzrost poziomu naprężeń rysujących o 34% i 61%.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań ścian w rejonach koncentracji naprężeń stwierdzono, że:

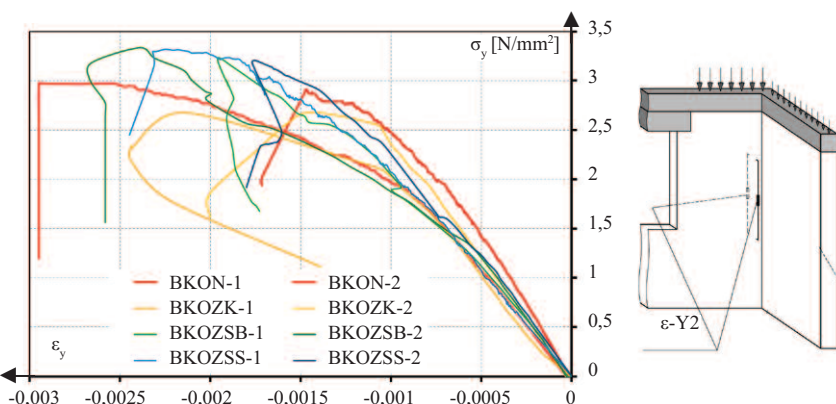
- zastosowanie zbrojenia w obszarach koncentracji naprężeń daje znacznie lepsze wyniki niż jego użycie w murach obciążonych równomiernie;
- zbrojenie w mniejszym stopniu wpływa na nośność, a w większym na rysoodporność muru;

- wpływ zbrojenia na nośność w rejonie koncentracji naprężeń sięga 10%; a w miejscach, gdzie o nośności muru decyduje wytrzymałość elementu murowego na ściskanie, zastosowanie zbrojenia może nawet lokalnie zmniejszyć nośność o 10%;

- zbrojenie podnosi poziom naprężeń, przy których w murze pojawia się pierwsza rysa nawet o ok. 80%.

Literatura

- [1] Schubert P. Mauerwerk. Risse vermeiden und instandsetzen. Fraunhofer IRBVerlag 2004.
- [2] Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. Mauerwerk-Kalender, Ernst & Sohn. 1996; 12: 621 – 651.
- [3] Piekarczyk A. Shear Stiffness of Solid Clay Brick Walls Sheared Perpendicularly to the Masonry Bed Joints. Procedia Engineering. 2016; 1064 – 1069.
- [4] Manos GC, Melidis L, Katakalos K, Koutoulas L, Anastasiadis A, Chatziastrou Ch. Masonry panels with external thermal insulation subjected to in-plane diagonal compression. Case Studies in Construction Materials. 2021; <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00538>.
- [5] Zahra T, Dorji J, Thamboo J, Asad M, Kasinski W, Nardone A. In-plane and out-of-plane shear characteristics of reinforced mortarless concrete block masonry. Journal of Building Engineering. 2023; <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.105938>.
- [6] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [7] Phipps ME, Montague T I. The behaviour and design of steel shear connectors in plain and prestressed masonry. 7th North American Masonry Conference. University of Notre Dame-South Bend, Indiana, USA 1996. S. 789 – 798.
- [8] Jasiński R, Galman I. Testing joints between walls made of AAC masonry units. Buildings. 2020. DOI: 10.3390/buildings10040069.
- [9] Galman I, Jasiński R, Hahn T. Badanie połączeń ścian murowych. Materiały Budowlane. 2017. DOI: 10.15199/33.2017.10.32.
- [10] Drobiec Ł. Badania ścian z ABK w skali naturalnej poddanych ściskaniu – analiza strefy połączenia ścian prostokątnych Cz. 1. Materiały Budowlane. 2018. DOI: 10.15199/33.2018.12.09.
- [11] Drobiec Ł. Analysis of AAC walls subjected to vertical load/ Analyse von vertikal belasteten Porenbeton-Wänden. Mauerwerk. (2019). DOI: 10.1002/dama.201900021.
- [12] Drobiec Ł. Efektywność stosowania zbrojenia spoin wspornych w ściskanych murach z ABK. Materiały Budowlane. 2024; 1: 67 – 68.



Zależność naprężenie-odkształcenie uzyskana z badań

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl

