

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

Badania wpływu nowego typu zbrojenia na nośność i rysoodporność strefy połączenia ścian z ABK

Tests on the influence of a new type of reinforcement on the load-bearing capacity and crack resistance of the wall connection zone with AAC

DOI: 10.15199/33.2023.04.06

Streszczenie. W artykule opisano badania ścian z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) w skali naturalnej, w których zastosowano nowy typ zbrojenia z siatki stalowej. Omówiono wpływ zbrojenia na strefę połączenia ścian prostopadłych. Przeanalizowano nośność i rysoodporność połączenia. Wyniki porównano z wynikami badań wcześniejszych [1, 2]. Artykuł jest drugą częścią publikacji [3] oraz kontynuacją badań opisanych w [1, 2].

Słowa kluczowe: mur z ABK; mur zbrojony; badania ściskania; wpływ otworów; badania w skali naturalnej.

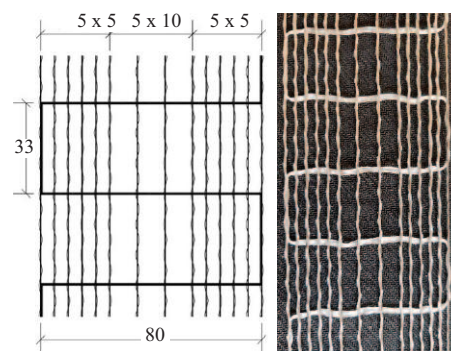
Abstract. The article describes the tests of walls made of autoclaved aerated concrete (AAC) on a full scale, in which the new type of steel mesh reinforcement was used. The influence of reinforcement on the connection zone of perpendicular walls was described. The load capacity and crack resistance of the connection zone were analysed. The results were compared with those of earlier studies [1, 2]. The article is the second part of the tests published in [3] and a continuation of earlier research [1, 2].

Keywords: AAC masonry; reinforced masonry; compression tests; influence of openings; tests on a full scale.

Narożniki ścian i strefy połączeń ścian prostopadłych są częstym miejscem występowania koncentracji naprężeń [4, 5]. W przypadku gdy jedna z takich ścian jest bardziej obciążona, zarysowania mogą wystąpić w okolicy ich styku. Przypadek taki jest powszechny, gdy w budynkach stosuje się stropy jednokierunkowo zbrojone i dachy oparte na tych samych ścianach co stropy, czyli w obiektach o podłużnych lub poprzecznych układach konstrukcyjnych. Wówczas o nośności strefy połączenia ścian decyduje wytrzymałość muru na ścinanie [6, 7]. Na powstanie koncentracji naprężeń w rejonach narożników ścian wpływają również obciążenia termiczne i usytuowanie obiektu względem stron świata [8, 9]. Zgodnie z Eurokodem 6 [10], połączenie ścian prostopadłych można zrealizować przez przewiązanie murarskie, łączniki lub zbrojenie przedłużane w każdą ze ścian. Połączenia murów z ABK na wiązanie murarskie

oraz metalowe łączniki było przedmiotem badań opublikowanych w [11 ÷ 15], ale prowadzono je na małych modelach i nie były 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. Przeprowadzono analizę połączenia ścian prostopadłych, obciążonych nierównomiernie. W związku z brakiem normowych wytycznych badania prowadzono zgodnie z autorską procedurą. W artykule omówiono drugi etap badań związany z analizą strefy połączenia ścian prostopadłych i określono wpływ zbrojenia na nośność połączenia. Zamieszczono wyniki badań dwóch ścian z otworami w skali naturalnej z nowym typem zbrojenia w postaci siatki stalowej (rysunek 1). Prezentowane badania są kontynuacją wcześniejszych podobnych analiz. Uzyskane wyniki z badań dwóch ścian z nowym zbrojeniem po-



Rys. 1. Zbrojenie z siatki stalowej zastosowane w badaniach

Fig. 1. Steel mesh reinforcement used in the tests

równano z wynikami badań dwóch ścian bez zbrojenia oraz czterech ścian (dwie serie) zbrojonych, opublikowanych w [1, 2].

Modele ścian

Modele ścian 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, zaś wytrzymałość mu-

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

ru na ściskanie – $f_{\text{test}} = 2,97 \text{ N/mm}^2$
– moduł sprężystości $E = 2040 \text{ MPa}$,
a współczynnik Poissona $\gamma = 0,18$.

Zaplanowano i wykonano badania dwóch ścian z jednym otworem okiennym. Na ich końcach były dwa fragmenty ścian prostopadłych o długości 1,22 m. Każdy model badawczy został zwieńczony żelbetowym wieńcem. Długość modeli wynosiła 4,68 m, a wysokość 2,63 m (wraz z wieńcem żelbetowym). Modele były zbrojone w każdej spoinie wspornej siatką stalową do murów z ABK, którą rozwijano z rolki. Całkowita szerokość siatki wynosiła 80 mm. Siatka w kierunku podłużnym składa się z czternastu wiązek drutów ze stali wysokowęglowej. Cztery wewnętrzne wiązki rozmieszczone są nominalnie co 10 mm, a pozostałe co 5 mm. Każda wiązka podłużna złożona jest z trzech drutów o średnicy 0,54 ($\pm 0,02$) mm i ma pole powierzchni 0,69 ($\pm 0,05$) mm², natomiast całkowity przekrój poprzeczny zbrojenia podłużnego wynosi 9,66 mm², zaś całkowita grubość siatki – 1,7 (-0,2/+0,4) mm. Stal zabezpieczona została cynkową powłoką antykorozyjną. W badaniach wcześniejszych [1, 2] zastosowano ponadto zbrojenie typu kratowniczka oraz w postaci siatki bazaltowej.

Badania

Po zbadaniu pierwszego modelu z otworem (model niezbrojony BKON-1 [3]) okazało się, że strefa wokół otworu początkowo ulega równomiernemu zarysowaniu, ale zniszczenie następuje z jednej strony otworu i tam zarysowanie było znacznie większe. W efekcie w drugim etapie badań (połączenia ścian) można było testować ścianę tylko z jednej, mniej uszkodzonej strony. Podobna sytuacja miała miejsce w następnych badaniach modelach. Do badań strefy połączenia ścian kwalifikowano zatem ten skrajny fragment, który nie uległ zniszczeniu podczas badań pierwszego etapu (strefy przyokiennej – badania opisano w [3]).

Obciążenie modeli realizowano (podobnie jak w [3]) za pomocą siłowników zabudowanych na ramach zakończonych w płycie wielkich sił oraz układu ciągnowego i siłowników tłokowych. Wybrany narożnik obciążano za pomo-

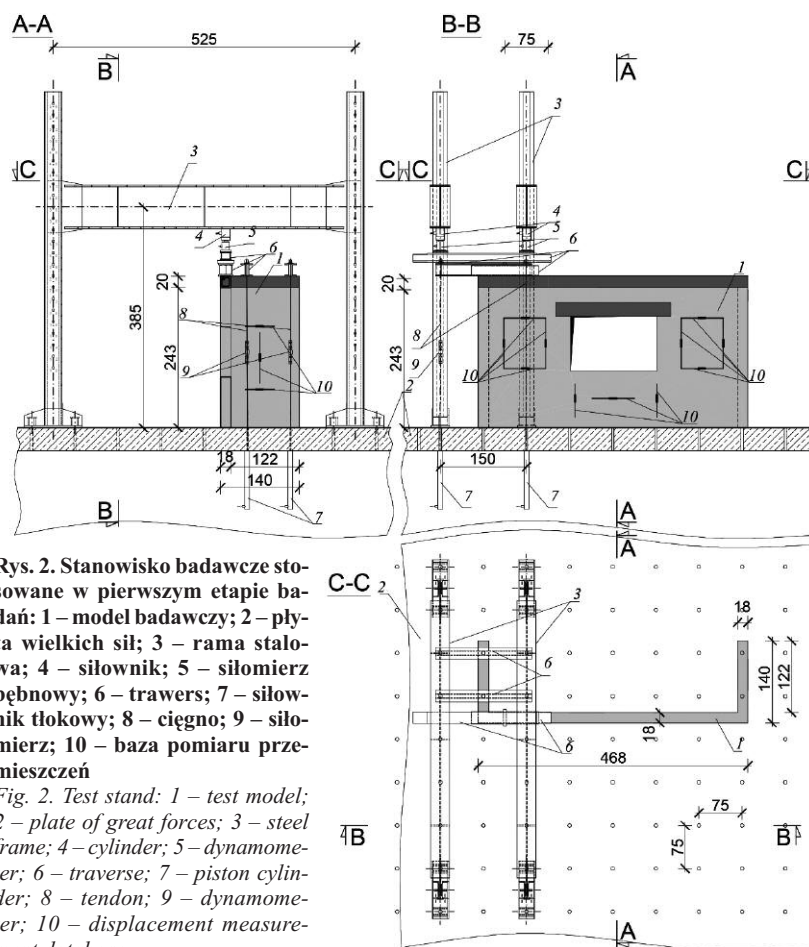
cą siłownika o zakresie do 100 T, mocowanego do ramy ustawionej przy wybranym narożniku (rysunek 2). Obciążenie z siłowników przykładano przez belkę trawersową w taki sposób, aby wywołać równomierne obciążenia narożnika, natomiast układem ciągnowym i siłownikami tłokowymi obciążano fragment ściany prostopadłej. W pierwszej kolejności układem ciągnowym przykładano obciążenie o wartości ok. 25 kN na ciągnio, co w przybliżeniu odpowiada poziomemu obciążeniu z jednej kondygnacji budynku mieszkalnego, w przypadku rozpiętości stropów 6,0 m. Następnie, aż do zniszczenia, model obciążano, wykorzystując siłowniki zamocowane do ram.

Podczas badań prowadzono pomiar siły obciążającej za pomocą siłomierzy zabudowanych na ciągnach oraz pod siłownikiem mocowanym do ramy. Mierzono również przemieszczenie. Do tego celu wykorzystano transformatorowe przetworniki przemieszczeń liniowych na bazach jak w przy-

padku badania [1]. Przykładowy model przed badaniem pokazano na fotografii 1. Ze względów logistycznych badano po dwa modele w odbiciu lustrzanym.



Fot. 1. Model BKOZSS-2 w trakcie badania
Photo 1. The model BKOZSS-2 during the test



Rys. 2. Stanowisko badawcze stosowane w pierwszym etapie badań: 1 – model badawczy; 2 – płyta wielkich sił; 3 – rama stalowa; 4 – siłownik; 5 – siłomierz bębnowy; 6 – trawers; 7 – siłownik tłokowy; 8 – ciągnio; 9 – siłomierz; 10 – baza pomiaru przemieszczeń

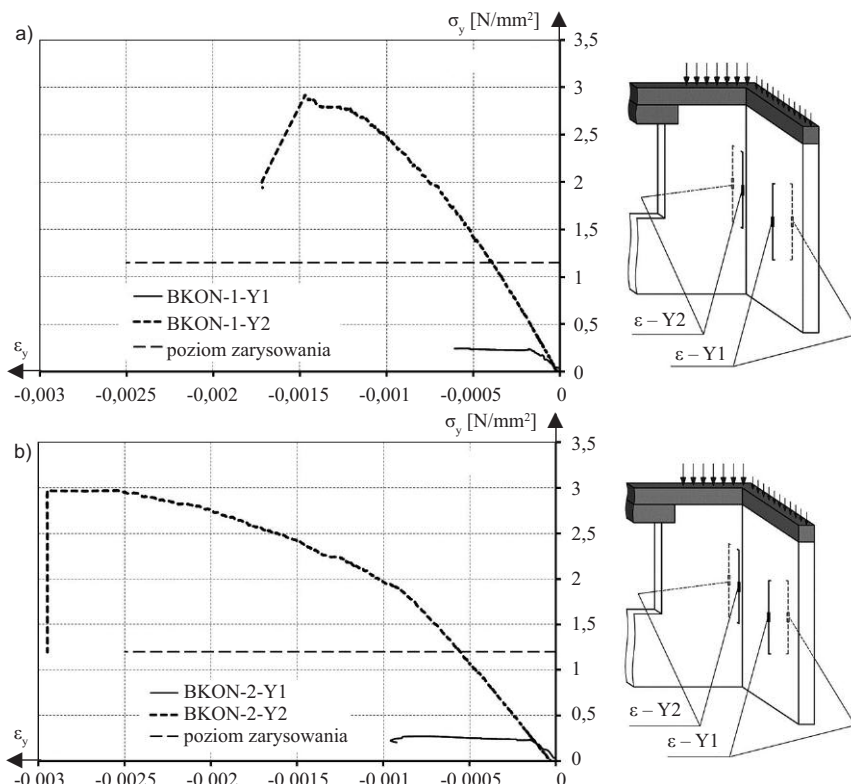
Fig. 2. Test stand: 1 – test model; 2 – plate of great forces; 3 – steel frame; 4 – cylinder; 5 – dynamometer; 6 – traverse; 7 – piston cylinder; 8 – tendon; 9 – dynamometer; 10 – displacement measurement database

Wyniki badań

Na rysunkach 3 ÷ 6 przedstawiono krzywe naprężenie – odkształcenie uzyskane z badań, a w tabeli wyniki badań. Na rysunku 3 zaprezentowano zależności naprężenia w przypadku krótszej i dłuższej ściany od odpowiednich odkształceń w modelach bez zbrojenia, natomiast na rysunkach 4 ÷ 6 podobne zależności murów zbrojonych kratowniczką, siatką bazaltową i siatką stalową. Na wykresach zaznaczono również naprężenia, w przypadku których pojawiła się pierwsza rysa w modelach. Widoczny jest wpływ zbrojenia, szczególnie typu kratowniczka, na zwiększenie rysoodporności muru. Nośność modeli niezbrojonych i zbrojonych w strefie połączenia ścian była mniejsza od nośności murów ściskanych osiowo. Największą nośność uzyskały modele ze zbrojeniem w postaci siatki bazaltowej, a najmniejszą zbrojone kratowniczką. Największą rysoodporność wykazały mury zbrojone kratowniczką, a najmniejszą ściana bez zbrojenia.

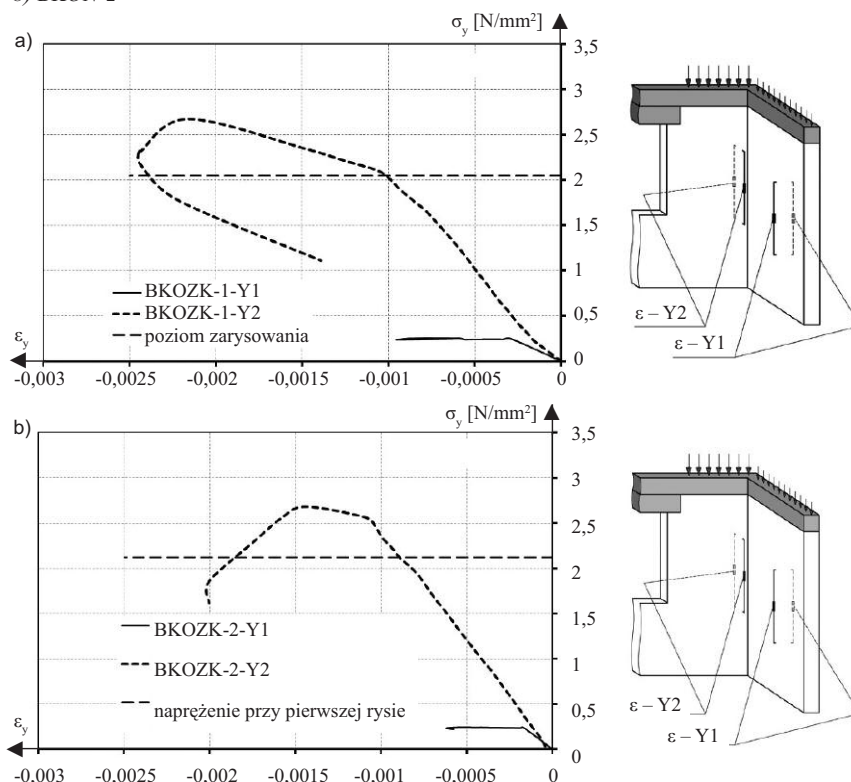
Na rysunku 7 przedstawiono zależność naprężenie – odkształcenie pionowe badanych modeli. Największy wpływ na nośność połączenia ścian (zwiększenie o ponad 10%), miało zbrojenie siatkami bazaltowymi i stalowymi. Zbrojenie typu kratowniczka powodowało zmniejszenie nośności o ok. 10%. Największy wpływ na opóźnienie zarysowania w styku ścian miało zbrojenie typu kratowniczka, które jest znacznie sztywniejsze w porównaniu z siatkami stalowymi lub bazaltowymi. Zbrojenie typu kratowniczka spowodowało wzrost 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 odpowiednio zwiększenie naprężeń rysujących o 34 i 61%).

Rysy w badanych modelach wystąpiły dopiero na skutek obciążenia przykładowego przez stalową ramę. W przypadku wszystkich modeli pierwsze rysy pojawiły się najpierw na ich mniej obciążonej części, w okolicy połączenia z dłuższą ścianą, a dopiero później na ścianie dłuższej w rejonie przewiązania ze ścianą krótszą. Po zarysowaniu model obciążano dalej, co skutkowało jedynie nieznacz-



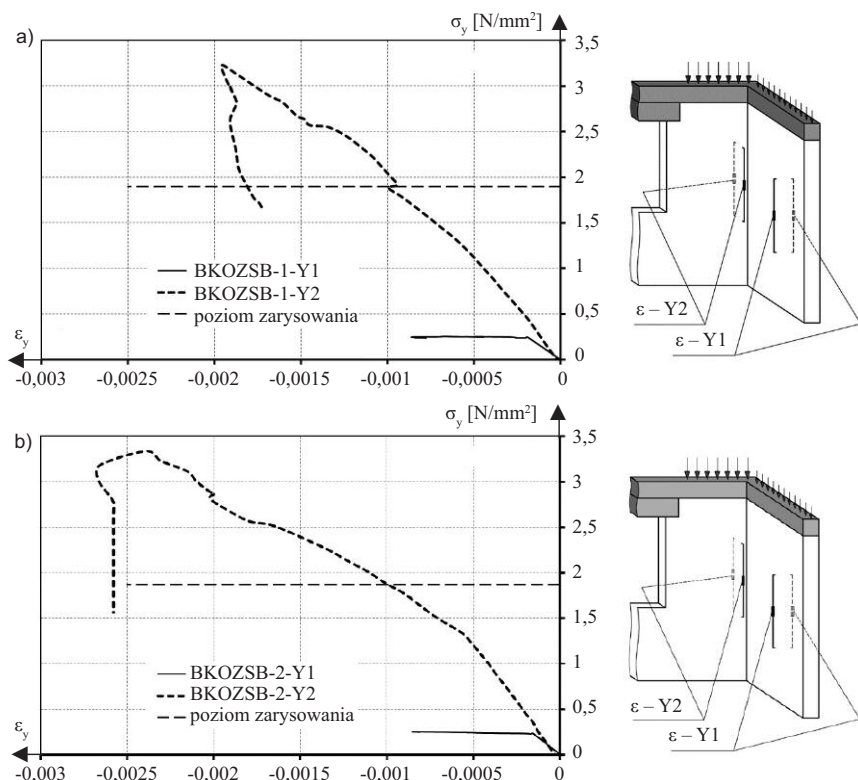
Rys. 3. Zależność naprężenie – odkształcenie uzyskane w badaniach modeli bez zbrojenia: a) BKON-1; b) BKON-2

Fig. 3. Stress-strain curve obtained from the tests of the nonreinforced models: a) BKON-1; b) BKON-2



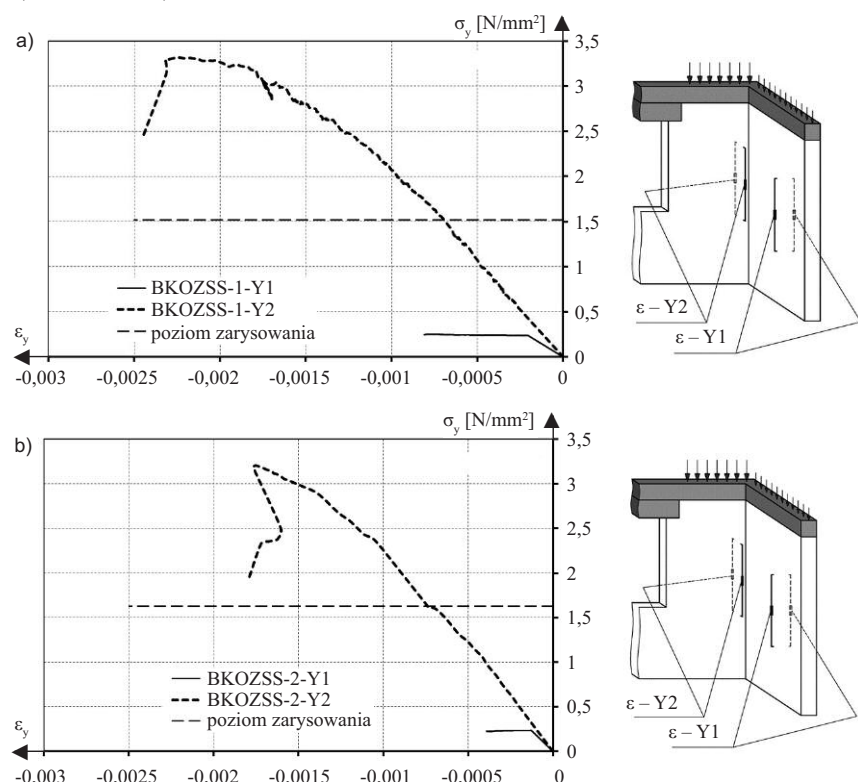
Rys. 4. Zależność naprężenie – odkształcenie uzyskane w badaniach modeli zbrojonych kratowniczką: a) BKOZK-1; b) BKOZK-2

Fig. 4. Stress-strain curve obtained from the tests of the models with truss type reinforcement: a) BKOZK-1; b) BKOZK-2



Rys. 5. Zależność naprężenie – odkształcenie uzyskane w badaniach modeli zbrojonych siatką bazaltową: a) BKOZSB-1; b) BKOZSB-2

Fig. 5. Stress-strain curve obtained from the tests of the models with basalt mesh reinforcement: a) BKOZSB-1; b) BKOZSB-2



Rys. 6. Zależność naprężenie – odkształcenie uzyskane w badaniach modeli zbrojonych siatką stalową: a) BKOZSS-1; b) BKOZSS-2

Fig. 6. Stress-strain curve obtained from the tests of the models with steel mesh reinforcement: a) BKOZSS-1; b) BKOZSS-2

nym rozwarciem powstałych wcześniej rys. Tuż przed zniszczeniem obserwowano natomiast występowanie odspojen wzdłuż lica elementów murowych w okolicy obciążenia. W modelach niezbrojonych zniszczeniu uległ cały narożnik połączenia ścian, a w modelach ze zbrojeniem zniszczenie koncentrowało się często w pierwszej warstwie elementów murowych, tuż pod belką żelbetową imitującą wieniec i było znacznie mniejsze w porównaniu z murami niezbrojonymi. Na fotografiach 2 i 3 pokazano przykładowe fotografie zniszczonych modeli.

Podsumowanie

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

- zbrojenie w obszarze 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%. W miejscach, gdzie o nośności muru decyduje wytrzymałość elementu murowego na ściskanie, zastosowanie zbrojenia może nawet lokalnie nieznacznie zmniejszyć nośność (o 10%);
- zbrojenie może nawet o 80% zwiększyć naprężenie, przy którym w murze pojawi się pierwsza rysa.

Literatura

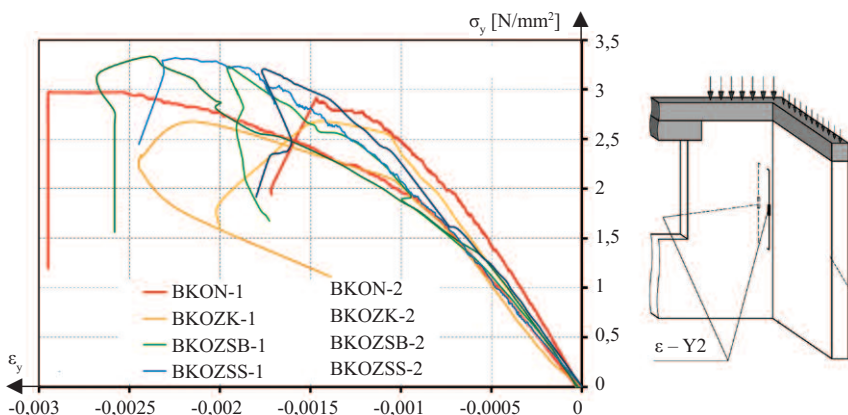
- [1] Drobiec Ł. Badania ścian z ABK w skali naturalnej poddanych ściskaniu – analiza strefy połączenia ścian prostopadłych. Materiały Budowlane. 2018, DOI: 10.15199/33.2018.12.09.
- [2] Drobiec Ł. Analysis of AAC walls subjected to vertical load/Analyse von vertikal belasteten Porenbeton-Wänden. Mauerwerk. 2019, DOI: 10.1002/dama.201900021.
- [3] Drobiec Ł., Mazur W. Wpływ nowego typu zbrojenia na nośność i rysoodporność ściskanych murów z ABK – badanie strefy wokół okna. Materiały Budowlane. 2022, DOI: 10.15199/33.2022.04.04.
- [4] Schubert P. Mauerwerk. Risse vermeiden und instandsetzen. Fraunhofer IRBVerlag 2004.
- [5] Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. Mauerwerk-Kalender, Ernst & Sohn. 1996; 21: 621 – 651.
- [6] Piekarczyk A. Shear Stiffness of Solid Clay Brick Walls Sheared Perpendicularly to the Masonry Bed Joints. Procedia Engineering. 2016, s. 1064 – 1069.
- [7] Jasiński R. Badania i modelowanie murowych ścian usztywniających. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. 2017 r.
- [8] Manos GC, Melidis L, Katakalos K, Kotoulas L, Anastasiadis A, Chatziastrou Ch. Masonry panels with

Wyniki badań murów w strefie połączenia ścian

Results of masonry tests in the area of wall connection

Model	w ścianie krótszej [MPa]	Średnie naprężenie			
		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

Ściany z betonu komórkowego z otworem niezbrojone oznaczono BKON, ściany z betonu komórkowego z otworem zbrojone kartowniczką – BKOZK, ściany z betonu komórkowego z otworem zbrojone siatką bazaltową – BKOZSB, natomiast ściany z betonu komórkowego z otworem zbrojone siatką stalową – BKOZSS.



Rys. 7. Zależność naprężenie – odkształcenie uzyskane z badań

Fig. 7. Stress-strain curve obtained from tests



Fot. 2. Zniszczenie modeli bez zbrojenia: a) BKON-1; b) BKON-2

Photo 2. Destruction of models without reinforcement: a) BKON-1; b) BKON-2

external thermal insulation subjected to in-plane diagonal compression. Case Studies in Construction Materials. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00538>.

[9] 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.job.2023.105938>.

[10] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.



Fot. 3. Zniszczenie modeli zbrojonych siatką stalową: a) BKOZSS-1; b) BKOZSS-2

Photo 3. Destruction of models reinforced with steel mesh: a) BKOZSS-1; b) BKOZSS-2

[11] 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.

[12] Jasiński R, Galman I. Testing joints between walls made of AAC masonry units. Buildings. 2020, DOI:10.3390/buildings10040069.

[13] Galman I, Jasiński R, Hahn T. Badanie połączeń ścian murowych. Materiały Budowlane. 2017, DOI:10.15199/33.2017.10.32

[14] Jasiński R, Galman I. Propozycja analitycznego opisu fazy pracy niezbrojonego połączenia ścian murowanych wykonanych z elementów z ABK. Materiały Budowlane. 2020, DOI: 10.15199/33.2020.05.07.

[15] Jasiński R, Galman I. Propozycja analitycznego opisu faz pracy zbrojonego połączenia ścian murowanych wykonanych z ABK. Materiały Budowlane. 2020, DOI: 10.15199/33.2020.06.02.

Publikacja wspierana w ramach rektorskiego grantu jakościowego. Politechnika Śląska, 03/020/RGJ22/0131.

Przyjęto do druku: 01.03.2023 r.