

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec¹⁾

ORCID: 0000-0001-9825-6343

mgr inż. arch. Tomasz Rybarczyk^{2)*)}

ORCID: 0000-0003-1431-9533

Wpływ otworu i sztywności nadproża na nośność ścian z ABK

Influence of opening and lintel stiffness on the load capacity of AAC wall

DOI: 10.15199/33.2022.01.08

Streszczenie. W artykule opisano wyniki badań ścian wzniesionych z bloczków z ABK (autoklawizowany beton komórkowy) w skali naturalnej, ściskanych w płaszczyźnie ściany. Przeprowadzono trzy serie badawcze po dwie ściany. Przebadano dwie ściany bez otworu i dwie serie po dwie ściany z otworem i nadprożami z ABK oraz nadprożami żelbetowymi. Celem badań było określenie wpływu otworu oraz sztywności nadproża na nośność ścian. Wykazano, że ściany z otworami cechują się nośnością i rysoodpornością nawet mniejszą o 2/3 w porównaniu z nośnością i rysoodpornością ściany pełnej. Nie stwierdzono istotnego wpływu nośności i sztywności nadproża na uzyskane wyniki sił rysujących i niszczących.

Słowa kluczowe: ABK; badania ścian w skali naturalnej; wpływ otworu na nośność ściany; wpływ nadproża.

Abstract. The article describes the results of tests of walls built of AAC blocks (autoclaved aerated concrete) on a full scale, compressed in the plane of the wall. Three series of tests, two walls each, were subjected to the study. Two walls without an opening and two series of two walls with an opening and ABK lintels and reinforced concrete lintels were tested. The aim of the research was to determine the impact of the opening and the impact of the lintel stiffness on the load capacity of the walls. It has been shown that walls with openings are characterized by load-bearing capacity and crack resistance which is up to 2/3 lower compared to the load-bearing capacity and crack resistance of a solid wall. No significant influence of the bearing capacity and stiffness of the lintel on the obtained results of tearing and destructive forces was found.

Keywords: AAC; full scale wall tests; the impact of the opening on the load-bearing capacity of the wall; the effect of the lintel.

Nośności muru decydują nie tylko właściwości materiałów, z których jest wykonany oraz jego geometria i wymiary (wysokość, grubość). W murach obciążonych głównie pionowo o nośności decyduje również sposób przyłożenia obciążenia oraz efekty drugiego rzędu, czyli wartość mimośrodu przyłożenia obciążenia, odchylenia muru z płaszczyzny, a więc wszelkiego rodzaju imperfekcje [1]. W przypadku murów z otworami okiennymi, drzwiowymi, a więc murów z nadprożami istotny wpływ na nośność muru mają nadproża, które mogą być wykonane w różny sposób [2, 3]. W artykule przedstawiono wyniki badań murów wykonanych w skali naturalnej z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK), w których analizowano wpływ otworu i sztywności nadproża na nośność muru.

Przebieg badań

Modele badawcze były wykonane z bloczków z ABK o szerokości 180 mm, wysokości 240 mm oraz długości 590 mm,

wymurowanych na zaprawie murarskiej cienkowarstwowej, bez wypełnienia spoin pionowych. Znornalizowana wytrzymałość bloczków wynosiła $f_b = 4,0 \text{ N/mm}^2$, wytrzymałość zaprawy na ściskanie $f_m = 6,1 \text{ N/mm}^2$, a wytrzymałość muru na ściskanie – $f_{\text{test}} = 2,97 \text{ N/mm}^2$, zaś moduł sprężystości – $E = 2040 \text{ N/mm}^2$, a współczynnik Poissona $\nu = 0,18$. Sposób prowadzenia podstawowych badań materiałowych oraz szczegółowe wyniki tych badań opisano w [4, 5]. Badania wykonano na ścianach pełnych oraz na ścianach z otworami. W ścianach z otworami zastosowano systemowe nadproża z betonu komórkowego oraz prefabrykowane nadproża żelbetowe zbrojone górną i dolną 2 i 4 prętami średnicy 10 mm (A-IIIN) oraz strzemionami $\varnothing 8$ (A-IIIN) co 15 cm. Każdy model badawczy został zwięźczony żelbetowym wieńcem zbrojonym 4 prętami średnicy 10 mm (A-IIIN) i strzemionami $\varnothing 8$ (A-IIIN). Wieńce wykonano jako elementy prefabrykowane i układano je na modelach na warstwie zaprawy. Ściany pełne oznaczono symbolem MNS-Z1, mury z otworami oraz nadprożami prefabrykowanymi z ABK symbolem MNSO-Z1, natomiast mury z otworami oraz żelbetowymi nadprożami prefa-

brykowanymi oznaczono jako MNSO-LC. Wykonano dwie ściany pełne i po dwie z otworami dla każdego typu nadproża.

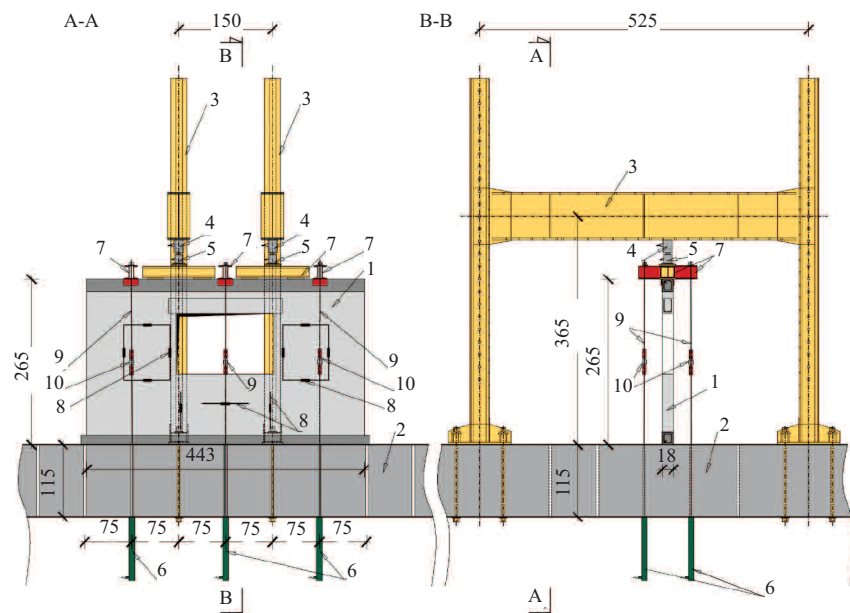
Badane modele obciążano za pomocą dwóch siłowników o zakresie 300 kN, mocowanych do dwóch stalowych ram zamocowanych w płycie wielkich sił Laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w rozstawie co 2,25 m, symetrycznie (rysunek 1). Obciążenie z siłowników rozkładano na dwie siły skupione za pomocą stalowych belek trawersowych. Dodatkowo modele obciążano za pomocą układu ciągnowego przez siłowniki łożkowe zamocowane od spodu stropu wielkich sił. Siłowniki te mają zakres 25 kN, więc na jedną parę przypadало obciążenie 50 kN zwiększone nieznacznie o ciężar stalowego trawersu.

W poziomie żelbetowego wieńca model obciążany był czterema siłami z belek trawersowych, które obciążano siłownikami mocowanymi do ram (rysunek 1) oraz trzema układami ciągnowymi, które obciążano przez siłowniki łożkowe, mocowane od spodu stropu wielkich sił. Siłowniki łożkowe przekazywały obciążenie na stalowe ciągnia, które przez belki trawersowe obciążały model. W stropie laboratorium, który w badaniach jest po-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

²⁾ Solbet Sp. z o.o.

*) Adres do korespondencji:
tomasz.rybarczyk@solbet.pl



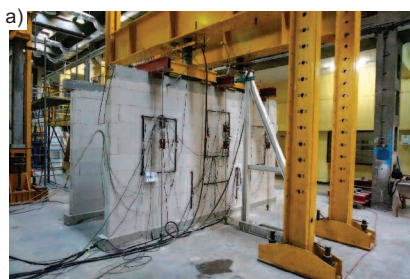
Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – badana ściana; 2 – płyta wielkich sił; 3 – rama stalowa; 4 – siłownik; 5 – siłomierz bębnowy; 6 – siłownik tłokowy; 7 – trawers; 8 – baza pomiaru przemieszczeń; 9 – cięgno; 10 – siłomierz na cięgnie

Fig. 1. Test stand: 1 – test wall; 2 – strong floor; 3 – steel frame; 4 – actuator; 5 – cylindrical dynamometer; 6 – piston actuator; 7 – spreader beam; 8 – reference base for displacement measurement; 9 – tendon; 10 – dynamometer fixed to the tendon

sadzką, są otwory o średnicy 80 mm w rozstawie co 75 cm, w kierunku podłużnym i poprzecznym. Otwory te służą do mocowania ram, przez które przykładano się obciążenie do modeli badawczych oraz do przepuszczania cięgien mocowanych do siłowników tłokowych.

Obciążenia w pierwszej kolejności przykładano z siłowników tłokowych równomiernie, aż do wyczerpania ich zakresu. Następnie obciążenie przykładano przez ramy, równomiernie, aż do zniszczenia modeli. Obciążenie przykładano w sposób jednostajny, zwiększając ciśnienie w siłownikach za pomocą automatycznych pomp.

Podczas badań rejestrowano przemieszczenia na bazach pomiarowych (fotografia 1) oraz siły w siłomierzach zabudowanych pod ramami i na cięgnach. Rejestrację przemieszczeń wykonywano przy użyciu 30 (modele bez otworu) lub 22 (modele z otworami) transformatorów przetworników przemieszczeń liniowych o dokładności 0,02 mm. Oprócz pomiaru przemieszczeń za pomocą transformatorów przetworników przemieszczeń liniowych w kilku modelach wykonano również bezdotkowy pomiar optyczny.



Fot. 1. Modele przed badaniem: a) bez otworu; b) z otworem

Photo 1. A view of selected walls before the tests: a) solid (without opening); b) with opening

Wyniki badań

W tabeli podano całkowite siły niszczące i rysujące modele. Za siły całkowite uznano sumę obciążenia z siłowników tłokowych i cięgnowych, powiększoną o ciężar stalowych trawersów. W modelach bez otworu zniszczenie nastąpiło przez miażdżenie oraz

odspojenie bocznych powierzchni elementów murowych, przeważnie bezpośrednio pod żelbetowym wieńcem. We wszystkich modelach z otworami pierwsze rysy pojawiały się w nadprożach. Dlatego wartość naprężeń rysujących była w tych modelach podobna. Powstały w nich rysy ukośne biegnące od miejsca przyłożenia siły z trawersu ramy do spodu modelu. Rozwarcie rys w momencie zniszczenia badanych modeli było znaczne i lokalnie przekraczało 7 mm. Na fotografii 2 pokazano zarysowanie modeli z niewypełnionymi spoinami pionowymi.

We wszystkich modelach z otworami pierwsze rysy pojawiały się w nadprożach. W modelach z nadprożami z ABK powstawały rysy ukośne biegnące od miejsca przyłożenia siły z trawersu ramy do dołu nadproża lub od strefy oparcia nadproża do dołu modelu. Następnie zarysowania ukośne pojawiły się też na ścianach przy nad-

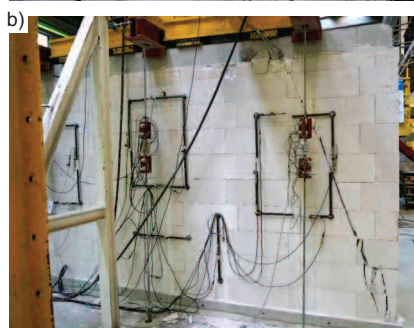
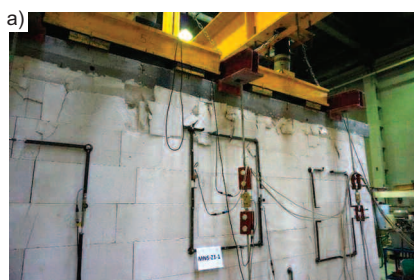


prożu. Rozwarcie rys w momencie zniszczenia badanych modeli było znaczne i lokalnie przekraczało 5 mm. W modelach z nadprożami żelbetowymi powstawały rysy zgięciowe w środkowej części nadproży. Na fotografiach 3 i 4 pokazano zniszczenie modeli z otworami.

Siły rysujące i niszczące

Cracking and failure forces

Nazwa serii i modelu		Siła rysująca [kN]		Siła niszcząca [kN]	
		w modelu	średnia	w modelu	średnia
MNS-Z1 Mur bez otworu z niewypełnionymi spoinami pionowymi	MNS-Z1-1	475,6	474,7	1223,3	1239,3
	MNS-Z1-2	473,8		1255,2	
MNSO-Z1 Mur z otworem przesklepionym nadprożem z ABK oraz z niewypełnionymi spoinami pionowymi	MNSO-Z1-1	160,4	180,2	444,7	448,1
	MNSO-Z1-2	200,0		451,4	
MNSO-LC Mur z otworem przesklepionym nadprożem żelbetowym oraz z niewypełnionymi spoinami pionowymi	MNSO-LC-1	205,0	210,0	486,1	489,6
	MNSO-LC-2	215,0		493,2	



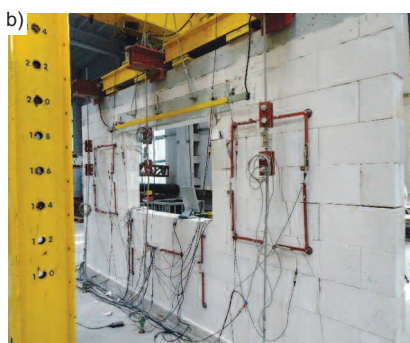
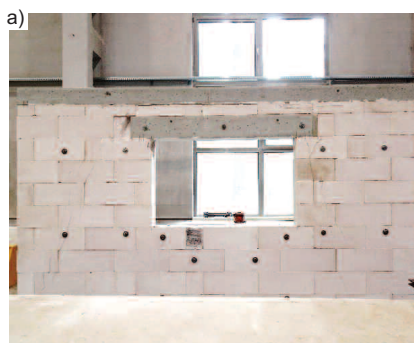
Fot. 2. Zarysowanie modeli z niewypełnionymi spoinami pionowymi: a) MNS-Z1-1; b) MNS-Z1-2

Photo 2. View of cracks at the failure of models without filled perpendicular joints: a) MNS-Z1-1; b) MNS-Z1-2



Fot. 3. Zarysowanie modeli z nadprożem z ABK: a) MNSO-Z1-1; b) MNSO-Z1-2

Photo 3. View of cracks at the failure of models with reinforced AAC lintel and without filled perpendicular joints: a) MNSO-Z1-1; b) MNSO-Z1-2

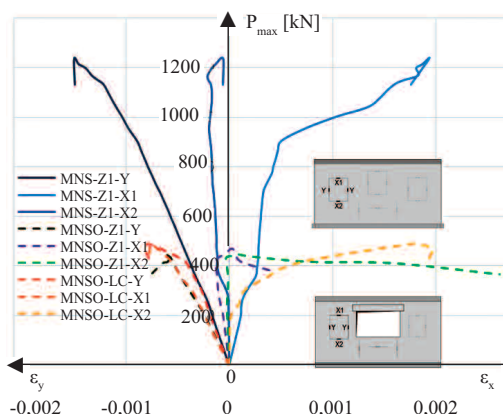


Fot. 4. Uszkodzenia ścian z otworami z nadprożem żelbetowym: a) MNSO-LC-1; b) MNSO-LC-2

Photo 4. View of cracks at the failure of models with reinforced concrete lintel and without filled perpendicular joints: a) MNSO-LC-1; b) MNSO-LC-2

Analiza wyników badań

Porównując uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że wpływ otworu na wartości sił rysujących i niszczących jest istotny. Na rysunku 2 porównano wykresy siła-odkształcenie uzyskane z badań ścian bez otworów i z otworami. Widać znaczny spadek wartości siły ry-



Rys. 2. Porównanie zależności siła-odkształcenie modeli bez otworów i z otworami

Fig. 2. Comparing the force-deformation relations for the model solid (without opening) and opening

sującej i niszczącej ścian z otworami, który wyniósł odpowiednio 62% i 64% w przypadku ścian z nadprożem z ABK oraz 56% i 61% – ścian z nadprożem żelbetowym. Interesujące jest to, że w przypadku nadproży żelbetowych nośność muru jest podobna jak murów z nadprożem z betonu komórkowego, które ma dużo mniejszą nośność od nadproża żelbetowego. Oznacza to, że podstawowym czynnikiem mającym wpływ na nośność modelu nie była nośność i sztywność nadproża, lecz nośność muru na obciążenia pionowe. Należy tu jednak wskazać, że nadproża z ABK znacznie szybciej osiągały stan graniczny zarysowania (rozwarcie rys > 0,3 mm) niż nadproża żelbetowe.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że otwory powodują spadek nośności ściany do ok. 35% jej nośności bez otworu. Nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowania sztywnego nadproża żelbetowego na nośność ścian z otworem w porównaniu z systemowym nadprożem z ABK. Jednak nadproża z ABK szybciej osiągały dopuszczalne rozwarcie rys.

Literatura

- [1] Drobiec Ł., R. Jasiński, A. Piekarczyk. 2013. *Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Tom 1.* Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [2] Drobiec Ł., R. Jasiński, W. Mazur W. 2017. „Prefabrykowane nadproża z autoklawizowanego betonu komórkowego – badania i analizy teoretyczne. *Cement Wapno Beton* 5: 339 – 413.
- [3] Drobiec Ł. 2017. „Limitation of cracking in AAC masonry under the window zone/Begrenzung von Rissbildung in Porenbetonmauerwerk im Brüstungsbereich”. *Mauerwerk* 21, Heft 5: 332 – 342.
- [4] Drobiec Ł., R. Jasiński, T. Rybarczyk. 2016. „The influence of the type of mortar on the compressive behaviour of walls made of Autoclaved Aerated Concrete (AAC)”. *Brick and Block Masonry – Trends, Innovations and Challenges*. Taylor & Francis Group, London, pp. 1531-1538.
- [5] Drobiec Ł. 2019. „Analysis of AAC walls subjected to vertical load/Analyse von vertikal belasteten Porenbeton-Wänden”. *Mauerwerk* 23, Heft 6: 387 – 403.

Przyjęto do druku: 29.12.2021 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl

