

dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚ^{1*)}

ORCID: 0000-0001-9825-6343

mgr inż. Tomasz Rybarczyk²⁾

ORCID: 0000-0003-1431-9533

Badania wpływu skrzepowania na zachowanie się murów z otworami obciążonych pionowo

Influence of reinforced concrete confining on the load-bearing capacity of the AAC walls with opening

DOI: 10.15199/33.2020.03.02

Streszczenie. Artykuł opisuje rezultaty badania murów – modeli z otworem, wykonanych w skali naturalnej z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Mury wykonano na cienkiej spoinie z bloczków szerokości 18 cm. Badania prowadzono na modelach murów bez skrzepowania, skrzepowanych obwodowo oraz obwodowo z dodatkowym skrzepowaniem przy otworach. Wszystkie modele wykonano w dwóch wariantach: bez wypełnienia zaprawą spoin czołowych oraz z wypełnieniem zaprawą spoin czołowych. Podczas badań były monitorowane obciążenia oraz odkształcenia murów. W wyniku przeprowadzonych badań dokonano analizy wpływu skrzepowania oraz wypełnienia spoin czołowych zaprawą na wytrzymałość muru na ściskanie.

Słowa kluczowe: mury skrzepowane; mury skrzepowane z otworem; mury z ABK; mury z betonu komórkowego; badania wytrzymałości murów na ściskanie; badania modeli w naturalnej skali.

Abstract. The paper describes the results of testing Autoclaved Aerated Concrete (AAC) walls with opening on a natural scale. The walls were made of 18 cm wide blocks and thin layer joints. The tests of unconfined and confined walls (models confined around and models confined around and at the opening) were conducted. All models were made in two variants: with unfilled perpend joints and with filled perpend joints. Load-bearing capacity and deformations of the walls were monitored during the tests. As a result of the tests, an analysis was made of the effect of confining and filling of perpend joints with mortar on masonry strength.

Keywords: confined masonry; confined masonry with opening; AAC masonry; compression tests; tests on a natural scale.

Murem skrzepowanym wg Eurokodu 6 [14] jest mur, którego odkształcenia zostały w pionie i w poziomie ograniczone przez przylegającą do niego konstrukcję żelbetową w postaci trzpieni i rygli ściennych lub mur zbrojony. Jest wiele publikacji, które opisują różnice pomiędzy murem skrzepowanym a murem stanowiącym wypełnienie szkieletu żelbetowego [1, 11, 12]. Różnice te wynikają przede wszystkim z metody wykonania konstrukcji. W przypadku murów skrzepowanych żelbetem – najpierw wznosi się fragmenty ścian, a później deskuje, zbroi i betonuje rdzenie oraz wieńce ścienne. Natomiast w przypadku wypełnienia szkieletu – ściany wmurowuje się w żelbetową, stalową lub drewnianą konstrukcję, która już stoi [8]. Elementy ograniczające odkształcenia muszą być na każdej kondygnacji, na każdym odcinku ściany i, w przypadku murów z otworami, wzdłuż pionowych krawędzi otworów o powierzchni większej niż 1,5 m². Jeżeli rozpiętość w pionie czy poziomie danej ściany wynosi 4,0 m i więcej, mogą być potrzebne dodatkowe elementy kępujące. W przypadku typowych otworów okiennych wysokości 120 cm lub 150 cm oznacza to, że skrzepowanie powinno być wykonane przy otworach szerokości 125 cm i 100 cm.

Wpływ skrzepowania na zachowanie murów pełnych, wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego, obciążonych pionowo przedstawiono w [16]. Literatura [1, 11, 12] opi-

suje badania murów poddanych cyklicznemu obciążeniu. Z kolei Eurokod 6 [14] dotyczy murów obciążonych w sposób statyczny, a w projekcie nowej edycji tej normy znalazły się nawet zalecenia dotyczące obliczeń murów skrzepowanych pod obciążeniem pionowym i poddanych ścinaniu. W literaturze jest niewiele publikacji dotyczących badań murów skrzepowanych w jednym cyklu obciążenia. Można wymienić pracę [6], w której badano niewielkie skrzepowane modele z betonu komórkowego, pracę [2], w której analizowano zachowanie murowanych słupów z drażonych bloczków betonowych oraz prace [5, 13], gdzie opisano badania skrzepowanych ścian z bloczków betonowych. Przytoczone badania prowadzono na małych modelach. W literaturze trudno jest znaleźć wyniki badań skrzepowanych murowanych ścian w skali naturalnej, z wyjątkiem publikacji [9, 10], w których przedstawiono badania ścian z ABK poddanych ścinaniu.

Modele badawcze

Modele wykonano z bloczków profilowanych na pióro i wpust z betonu komórkowego SOLBET Optimal grubości 180 mm, na systemowej zaprawie do cienkich spoin SOLBET 0.1. Znormalizowana wytrzymałość bloczka wynosiła $f_b = 4,0 \text{ N/mm}^2$, a wytrzymałość zaprawy na ściskanie $f_m = 6,1 \text{ N/mm}^2$. Wytrzymałość muru na ściskanie, badana wg EN 1052-1 [15], to $f_{\text{test}} = 2,97 \text{ N/mm}^2$ w murach bez wypełnionych spoin pionowych i $f_{\text{test}} = 2,61 \text{ N/mm}^2$ w murach z wypełnionymi spoinami pionowymi. Moduł sprężystości wyniósł odpowiednio $E = 2040 \text{ N/mm}^2$ i $E = 2447 \text{ N/mm}^2$, a współczynnik Poissona

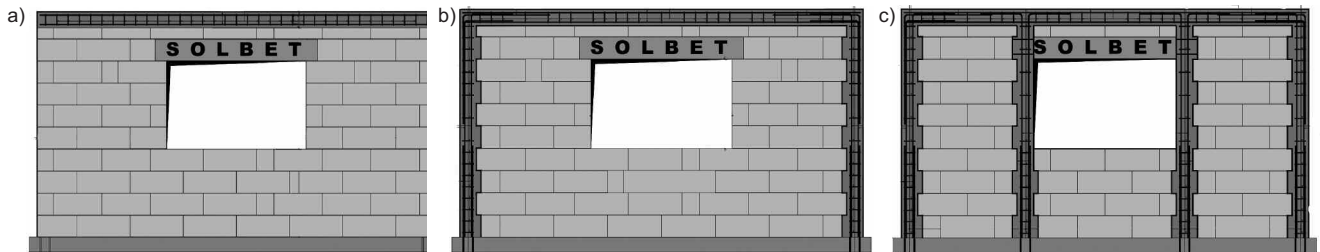
¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

²⁾ Solbet Sp. z o.o.

^{*)} Adres do korespondencji: lukasz.drobiec@polsl.pl

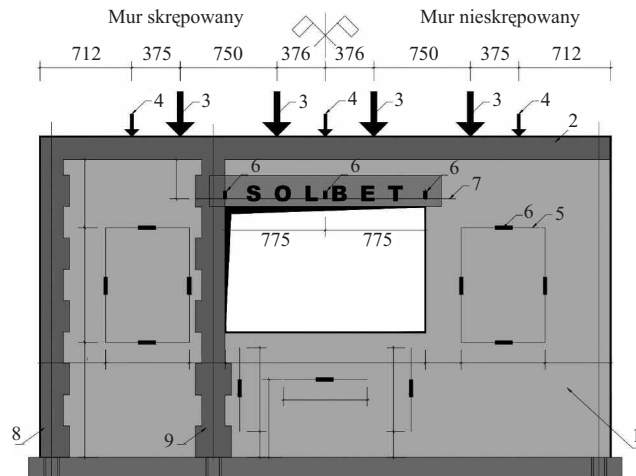
$v = 0,18$. Sposób prowadzenia badań materiałowych oraz szczegółowe wyniki tych badań opisano w [3, 4, 7]. Zaplanowano i wykonano badania ośmiu ścian pełnych, bez otworów (po 4 modele skrupowane i nieskrupowane, z czego w każdej serii po dwa z niewypełnionymi i wypełnionymi spoinami pionowymi). Długość modeli wynosiła 4,43 m, a wysokość 2,49 m (rysunek 1). Mury nieskrupowane zostały zwieńczone żelbetowym wieńcem zazbrojonym $4\phi 10$ (ze stali 20G2VY), natomiast mury skrupowane dodatkowo pionowymi żelbetowymi rdzeniami zazbrojonymi $4\phi 10$ (ze stali 20G2VY), w dwóch wariantach (rysunek 1). Modele obciążano osiowo za pomocą dwóch siłowników o zakresie 1000 kN, mocowanych do dwóch stalowych ram znajdujących się w płycie wielkich sił w rozstawie co 2,25 m, symetrycznie (rysunek 2).

ważyły ok. 230 kg – trawers przejmujący obciążenie z siłowników (oznaczonych na rysunku 2 jako 3) oraz ok. 75 kg – trawers przejmujący obciążenie z cięgien (oznaczonych na rysunku 2 jako 4). We wszystkich modelach pierwsze rysy pojawiały się w nadprożach i dlatego poziom naprężeń rysujących był zbliżony. W modelach nieskrupowanych, niezależnie, czy z wypełnionymi, czy z niewypełnionymi spoinami powstały rysy ukośne biegnące od miejsca przyłożenia siły z trawersu ramy do dolnego naroża modelu. Rozwarcie rys w momencie zniszczenia badanych modeli nieskrupowanych było znaczne i lokalnie przekraczało 5 mm. Rysy ukośne występowały również w modelach skrupowanych, przy czym ich rozwarcie było znacznie mniejsze i nie przekraczało 0,3 mm. Zniszczenie modeli nie następowało jednak na skutek wystąpienia zarysowania nadproża i miażdżenia



Rys. 1. Modele badawcze: a) MNSO (Z1 i Z2); b) MSO (Z1 i Z2); c) M2SO (Z1 i Z2)

Fig. 1. Geometry of the tested walls: MNSO (Z1 and Z2); b) MSO (Z1 and Z2); c) M2SO (Z1 and Z2)



Rys. 2. Stanowisko badawcze: 1 – model badawczy; 2 – wieńiec (skrupowanie); 3 – obciążenie z ramy stalowej; 4 – obciążenie z siłowników tłokowych; 5 – ramka do pomiaru przemieszczeń; 6 – czujnik indukcyjny; 7 – kształtownik do pomiaru przemieszczeń; 8 – skrupowanie trzpieniem na skraju; 9 – skrupowanie trzpieniem przy otworze

Fig. 2. Test stand: 1 – test model; 2 – tie beam (confinement); 3 – load exerted by steel frame; 4 – load exerted by actuators; 5 – frame for measuring displacements; 6 – displacement transducer; 7 – frame for measuring displacements; 8 – reinforced concrete column on the edge as confinement; 9 – reinforced concrete column at the opening as confinement

Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 1 podano całkowite siły niszczące oraz siły powodujące zarysowania o szerokości $> 0,05$ mm. Za siły całkowite uznano sumę obciążenia ze stalowych ram i układów ciągnowych, powiększoną o masę stalowych trawersów, które

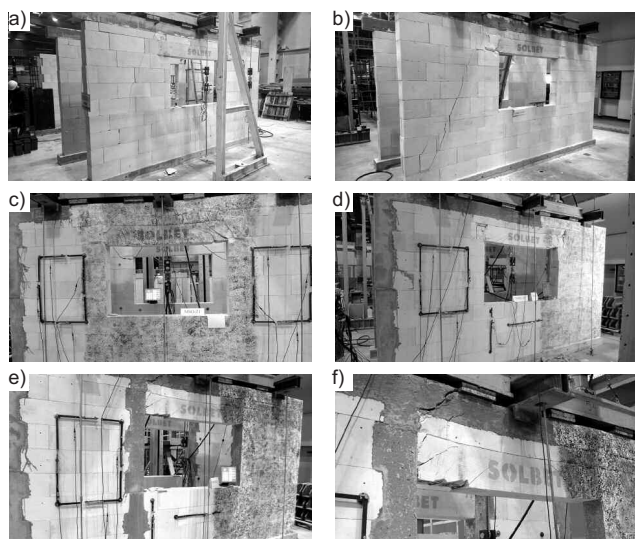
Tabela 1. Wyniki badań murów z otworem pod obciążeniem skupionym

Table 1. Test results for walls with an opening under concentrated load

Nazwa modelu		Siła rysująca [kN]	Siła niszcząca [kN]
MNSO-Z1 mur nieskrupowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	MNSO-Z1-1	160,4	444,7
	MNSO-Z1-2	200,0	451,2
MNSO-Z2 mur nieskrupowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	MNSO-Z2-1	202,0	460,5
	MNSO-Z2-2	152,3	477,4
MSO-Z1 mur skrupowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	MSO-Z1-1	192,6	496,1
	MSO-Z1-2	192,5	503,4
MSO-Z2 mur skrupowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	MSO-Z2-1	180,1	478,4
	MSO-Z2-2	155,1	472,2
M2SO-Z1 mur skrupowany z dodatkowymi rdzeniami przy otworach; z niewypełnionymi spoinami czołowymi	M2SO-Z1-1	270,6	591,0
	M2SO-Z1-2	303,9	570,1
M2SO-Z2 mur skrupowany z dodatkowymi rdzeniami przy otworach; z wypełnionymi spoinami czołowymi	M2SO-Z2-1	259,2	614,3
	M2SO-Z2-2	295,2	600,0

mur w okolicy oparcia nadproża. W modelach z dodatkowymi elementami kępującymi przy otworach zniszczenie występowało w nadprożu i murze nad nadprożem. Dochodziło do zarysowania żelbetowego rygla górnego.

Na fotografiach a i b pokazano zniszczenie nieskrupowanych modeli z otworami, natomiast na fotografiach c i d zniszczenie skrupowanych modeli z otworami, a na fotografiach e i f zniszczenie murów skrupowanych z dodatkowymi rdzeniami przy otworach. W tabeli 2 podano średnie siły rysujące i niszczące.



Zarysowanie modeli: a) MNSO-Z1; b) MNSO-Z2; c) MSO-Z1; d) MSO-Z2; e) M2SO-Z1; f) M2SO-Z2

Cracking of: a) MNSO-Z1; b) MNSO-Z2; c) MSO-Z1; d) MSO-Z2; e) M2SO-Z1; f) M2SO-Z2

Tabela 2. Średnie siły rysujące i niszczące
Table 2. Medium cracking and destructive forces

Nazwa modelu	Średnia siła rysująca [kN]	Średnia siła niszcząca [kN]
MNSO-Z1 mur nieskrępowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	180,2 – 100%	447,8 – 100%
MNSO-Z2 mur nieskrępowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	177,2 – -1,7%	469,0 – 4,7%
MSO-Z1 mur skrepowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	192,6 – 6,9%	500,0 – 11,7%
MSO-Z2 mur skrepowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	167,6 – -5,4%	475,3 – 1,3%
M2SO-Z1 mur skrepowany z dodatkowymi rdzeniami przy otworach, z niewypełnionymi spoinami czołowymi	287,3 – 59,4% (49,2%)	580,5 – 29,6% (16,1%)
M2SO-Z2 mur skrepowany z dodatkowymi rdzeniami przy otworach, z wypełnionymi spoinami czołowymi	277,2 – 56,4% (65,4%)	607,1 – 29,4% (27,7%)

Podsumowanie

Podobnie jak w przypadku badań murów bez otworów w murach z otworami nie stwierdzono istotnego wpływu wypełnienia spoin pionowych zarówno na nośność modeli skrepowanych, jak i nieskrępowanych. Nie stwierdzono również wpływu skrepowania na poziom sił powodujących zarysowanie modeli nieskrępowanych z zewnętrznym (skrajnym) skrepowaniem, co związane było z pojawieniem się pierwszych rys zawsze w nadprożach. Jedynie w murach z dodatkowymi elementami krepującymi przy otworach stwierdzono wyraźny wzrost poziomu naprężeń rysujących, który w modelach z niewypełnionymi spoinami pionowymi wynosił 59,4% w porównaniu z modelami nieskrępowanymi i 49,2% w porównaniu z modelami skrepowanymi tylko z zewnątrz (skrajnie). Wzrost naprężeń rysujących

modele z dodatkowymi elementami krepującymi przy otworach w modelach z wypełnionymi spoinami pionowymi wynosił 56,4% w porównaniu z modelami nieskrępowanymi i 65,4% w porównaniu z modelami skrepowanymi tylko z zewnątrz.

Skrepowanie ścian miało istotny wpływ na poziom sił niszczących modele jedynie w wypadku zastosowania dodatkowych elementów krepujących przy otworach. W przypadku modeli z niewypełnionymi spoinami czołowymi skrepowanie czterema rdzeniami spowodowało wzrost nośności modeli średnio o przeszło 29,6% w porównaniu z modelami nieskrępowanymi, a w przypadku modeli z wypełnionymi spoinami wzrost ten wyniósł 29,4%.

Literatura

- [1] Constantinescu Sorina. 2017. „Study of confined masonry buildings in seismic areas”. *Energy Procedia*, 112, pp. 545 – 554.
- [2] Dhanasekar Manicka, Nigel G. Shrive. 2002. „Strength and Deformation of Confined and Unconfined Grouted Concrete Masonry”. *ACI Structural Journal*, vol. 99, 6, pp. 819 ÷ 826.
- [3] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński, Tomasz 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.
- [4] Drobiec Łukasz. 2017. „Limitation of cracking in AAC masonry under the window zone/Begrenzung von Rissbildung in Porenbetonmauerwerk im Brüstungsbereich”. *Mauerwerk* 21. H. 5, S. 332 ÷ 342.
- [5] El Ezz Ahmad Abo, Seif Eldin, Khaled Galal. 2015. „Influence of confinement reinforcement on the compression stress-strain of grouted reinforced concrete block masonry boundary elements”. *Structures* 2, pp. 32 ÷ 43.
- [6] Iernutan Razvan Andrei, Florin Babota. 2017. „Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Masonry with Vertical Hollows Confined with Disperse Reinforced Concrete”. *Procedia Engineering* 181, pp. 300 ÷ 307.
- [7] Jasiński Radosław, Łukasz Drobiec. 2016. „Study of Autoclaved Aerated Concrete Masonry Walls with Horizontal Reinforcement under Compression and Shear”. *Procedia Engineering* 161, S. 918 ÷ 924.
- [8] Jasiński Radosław, Iwona Galman. 2019. „Zagadnienia projektowe, konstrukcyjne i badawcze zginanych i ścinanych murowych ścian wypełniających szkielec”. *XXXIV Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, Beskidy – Szczyrk, 5-8 marca 2019 r., tom II, str. 1 ÷ 150.
- [9] Jasiński Radosław, Tomasz Gąsiorowski. 2019. „Morfologia zarysowań ścian skrepowanych ścinanych poziomo”. *Materiały Budowlane* 560 (4): 23 ÷ 25. DOI: 10.15199/33.2019.04.03.
- [10] Jasiński Radosław, Tomasz Gąsiorowski. 2019. „Zarysowanie i zniszczenie ścian skrepowanych ścinanych poziomo”. *Materiały Budowlane* 561 (5): 38 ÷ 39. DOI: 10.15199/33.2019.05.06.
- [11] Jäger Wolfram, Peter Schöps. 2009. *Eingefasstes Mauerwerk als Möglichkeit zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Aussteifungswänden*. Fraunhofer IRB Verlag.
- [12] Marques Rui, Paulo B. Lourenço. 2014. „Unreinforced and confined masonry buildings in seismic regions: Validation of macro-element models and cost analysis”. *Engineering Structures*, vol. 64, s. 52 ÷ 67.
- [13] Obaidat Ala, Ahmad Abo El Ezz, Khaled Galal. 2017. „Compression behavior of confined concrete masonry boundary elements”. *Engineering Structures*, 132, 562 ÷ 575.
- [14] PN-EN-1996-1-1: Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [15] PN-EN 1052-1: Metody badań murów – Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [16] Rybarczyk Tomasz. 2019. *Wpływ skrepowania na wytrzymałość na ściskanie murów wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego*. Praca zbiorowa pod red. Knapik-Jajkiewicz i K. Gromysza pt. Ujęcie aktualnych problemów inżynierii lądowej. Wyd. Pol. Śl., Gliwice: 229 – 238.

Przyjęto do druku: 25.02.2020 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

