

dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚ¹⁾*)
mgr inż. arch. Tomasz Rybarczyk²⁾

Badania ścian z betonu komórkowego skrzepowanych obwodowo

Tests of walls made of AAC blocks with peripheral confining

DOI: 10.15199/33.2019.04.01

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wyniki badania murów (modeli) wykonanych w skali naturalnej z bloczków o szerokości 18 cm z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK), bez skrzepowania (bez wypełnienia zaprawą spoin czołowych oraz z wypełnieniem spoin czołowych) oraz skrzepowanych (bez wypełnienia zaprawą spoin czołowych oraz z wypełnieniem spoin czołowych). Podczas badań monitorowano obciążenia i odkształcenia murów oraz określono wartości sił rysujących i niszczących. Badania wykazały wpływ skrzepowania oraz wypełnienia spoin czołowych zaprawą na wytrzymałość muru na ściskanie.

Słowa kluczowe: mury skrzepowane; 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 on a natural scale. The walls were made of 18 cm wide blocks and thin layer joints. The tests of unconfined (with unfilled and filled head joints) and confined walls (with unfilled and filled head joints) were made. During the tests loads and deformations of walls were monitored and the values of crack and destructive forces were determined. Tests have shown the effect of confining and filling the joints with mortar on the compressive strength of the wall. The load-bearing capacity and deformability of walls was analysed.

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

Eurokod 6 [11] podaje, że **mur skrzepowany**, to taki, którego odkształcenia zostały w pionie i w poziomie ograniczone przez przylegającą do niego konstrukcję żelbetową lub mur zbrojony. Liczne publikacje [1, 8, 9, 13, 14] podkreślają różnice między murem skrzepowanym a murem stanowiącym wypełnienie szkieletu oraz podają zalety murów skrzepowanych. Prace te koncentrują się wokół wpływu skrzepowania przy cyklicznym obciążeniu. Eurokod 6 [11] dotyczy jednak 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 mało jest 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 i prace [5, 10], w których opisano badania skrzepowanych ścian i słupów z drażonych bloczków betonowych. Badania te prowadzono na małych modelach, natomiast w artykule przedstawimy badania skrzepowanych i nieskrzepowanych ścian w skali naturalnej.

Modele badawcze

Modele wykonano z bloczków z betonu komórkowego o grubości 180 mm, na systemowej zaprawie do cienkich spoin. 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 zgodnie z PN-EN 1052-1 [12], wynosiła $f_{\text{test}} = 2,97 \text{ N/mm}^2$ w murach bez wypełnionych spoin pionowych i $f_{\text{test}} = 2,61 \text{ N/mm}^2$ w murach z wypełnionymi spoinami pionowymi, moduł sprężystości odpowiednio $E = 2040 \text{ N/mm}^2$ i $E = 2447 \text{ N/mm}^2$, a współczynnik Poissona $\nu = 0,18$. Sposób prowadzenia podstawowych badań materiałowych oraz szczegółowe wyniki tych badań opisano w pracach [3, 4, 7]. Zaplanowano i wykonano badania ośmiu ścian pełnych, bez otworów (po 4 modele skrzepowane i nieskrzepowane, z czego w każdej serii po 2 z niewypełnionymi i wypełnionymi spoinami pionowymi). Długość modeli wynosiła 4,43 m, a wysokość 2,49 m. Mury nieskrzepowane zostały zwieńczone żelbetowym wieńcem, a mury skrzepowane dodatkowo pionowymi żelbetowymi rdzeniami (rysunek 1). Ściany nieskrzepowane z niewypełnionymi spoinami pionowymi oznaczono symbolem MNS-Z1, ściany nieskrzepowane z wypełnionymi spoinami MNS-Z2, ściany skrzepowane z niewypełnionymi spoinami pionowymi MS-Z1, natomiast ściany skrzepowane z wypełnionymi spoinami MS-Z2.

Stanowisko badawcze i technika badań

Modele obciążano za pomocą dwóch siłowników o zakresie 1000 kN, mocowanych do dwóch stalowych ram w płycie wielkich sił, w laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, symetrycznie w rozstawie co 1,50 m. Obciążenie z siłowników rozkładano na siły skupione (po dwie z każdej ramy) za pomocą stalowych belek trawersowych. Dodat-

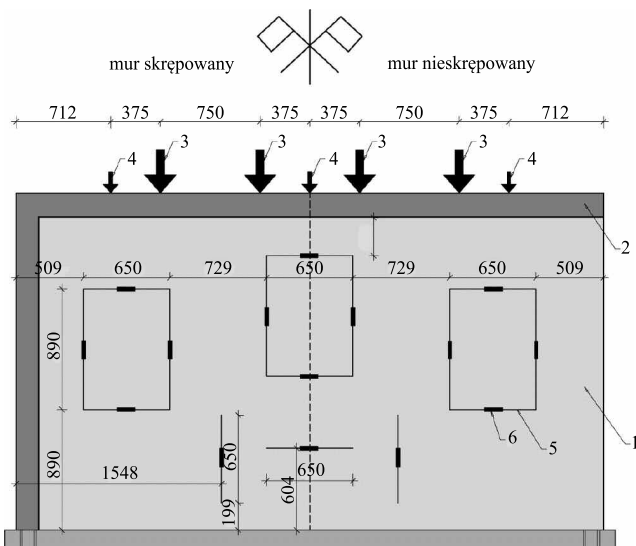
¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

²⁾ SOLBET Sp. z o.o.

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

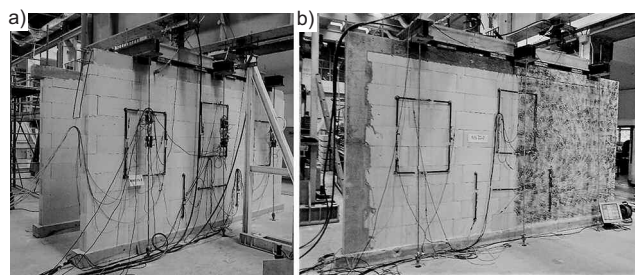
kowo modele obciążano za pomocą układu cięgnowego przez siłowniki tłokowe zamocowane od spodu stropu wielkich sił. Siłowniki miały zakres 25 kN. W związku z tym na jedną parę przypadało obciążenie 50 kN zwiększone nieznacznie o ciężar stalowego trawersu. Układ przekazywania sił przedstawiono na rysunku 1 oraz fotografiach 1a, 2a i 2c. Obciążenia przykładano najpierw z siłowników tłokowych równomiernie przez cięgna, aż do wyczerpania ich zakresu, czyli 25 kN, a następnie z pozostałych siłowników zamocowanych do ram przez trawersy, 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 pokazanych na rysunku 1 oraz siły w siłomierzach zabudowanych pod ramami i na cięgnach. Rejestrację przemieszczeń wykonywano przy użyciu 30 (po każdej stronie ściany było 15 czujników) indukcyjnych transformatorowych przetworników przemieszczeń liniowych o dokładności 0,02 mm. Oprócz pomiaru przemieszczeń za pomocą transformatorowych przetworników przemieszczeń



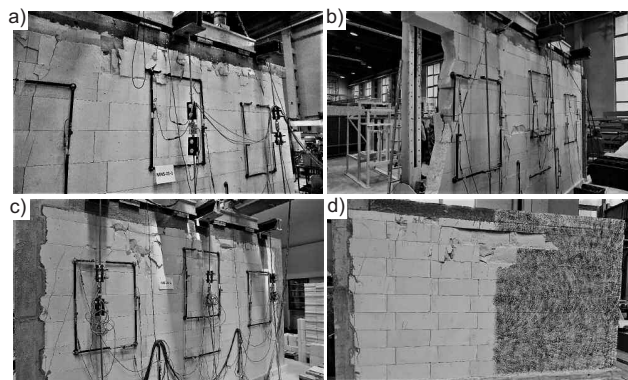
Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – model badawczy; 2 – wieniec (skrępowanie); 3 – obciążenie z ramy stalowej; 4 – obciążenie z siłowników tłokowych; 5 – ramka do pomiaru przemieszczeń; 6 – czujnik indukcyjny

Fig. 1. 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 – inductive sensor



Fot. 1. Widok ścian: a) nieskrępowanej MNS-Z1 przed badaniem; b) skrępowanej MS-Z2 przed badaniem

Photo. 1. View of walls: a) non-confined MNS-Z1 prior to tests; b) confined MS-Z2 prior to tests



Fot. 2. Zarysowanie modeli w chwili zniszczenia: a) nieskrępowanego MNS-Z1-1 z niewypełnionymi spoinami czołowymi; b) nieskrępowanego MNS-Z2-2 z wypełnionymi spoinami czołowymi; c) skrępowanego MS-Z1-1 z niewypełnionymi spoinami czołowymi; d) skrępowanego MS-Z2-2 z wypełnionymi spoinami czołowymi

Photo 2. Patterns of cracking at the time of failure: a) non-confined model with unfilled perpendicular joints MNS-Z1-1; b) non-confined model with filled perpendicular joints MNS-Z2-2; c) confined model with unfilled perpendicular joints MS-Z1-1; d) confined model with filled perpendicular joints MS-Z2-2

liniowych, w dwóch modelach wykonano również pomiary przemieszczeń bezdotykowym optycznym systemem Aramis. Wymagało to pomalowania powierzchni modelu w nieregularny „nakrapiany” wzór. Widok modeli nieskrępowanych i skrępowanych przed badaniem pokazano na fotografii 1.

Analiza wyników badań

W tabeli 1 podano całkowite siły niszczące i rysujące modele. Za siły całkowite uznano sumę obciążenia ze stalowych ram i układów cięgnowych, powiększoną o ciężar stalowych trawersów. We wszystkich modelach zniszczenia były podobne i nastąpiły przez miażdżenie oraz odspojenie spoin czołowych, głównie bloczków wmurowanych bezpośrednio pod wieńcem żelbetowym. W modelach MNS-Z1-2 i MNS-Z2-1 powstały dodatkowo rysy ukośne biegnące od miejsca przyłożenia siły z trawersu ramy do spodu modelu. Rysy ukośne występowały również w modelach skrępowanych, przy czym ich rozwarcie było znacznie mniejsze i nie przekraczało 0,5 mm. Rysy mierzono optycznym bezdotykowym systemem pomiaru przemieszczeń Aramis. Na fotografii 2 pokazano wybrane zniszczone modele.

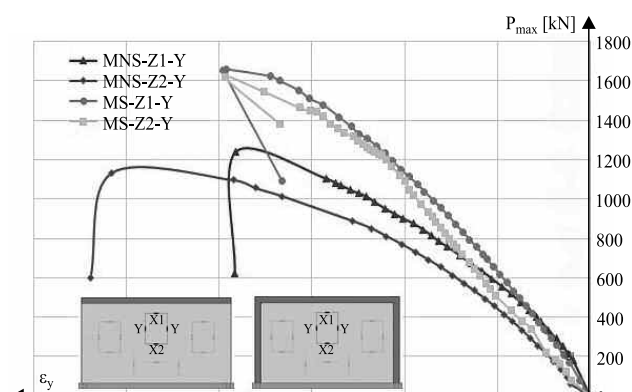
Tabela 1. Wyniki badań murów obciążonych układem sił skupionych
Table 1. The tests results of walls loaded with concentrated forces

Nazwa serii		Siła rysująca [kN]	Siła niszcząca [kN]
MNS-Z1 – mur nieskrępowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	MNS-Z1-1	475,6	1223,3
	MNS-Z1-2	473,8	1255,2
MNS-Z2 – mur nieskrępowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	MNS-Z2-1	377,1	1334,7
	MNS-Z2-2	332,0	929,2
MS-Z1 – mur skrępowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	MS-Z1-1	480,2	1656,9
	MS-Z1-2	472,7	1662,6
MS-Z2 – mur skrępowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	MS-Z2-1	456,6	1600,1
	MS-Z2-2	371,8	1638,4

Nie stwierdzono istotnego wpływu wypełnienia spoin na nośność modeli skrępowanych i nieskrępowanych oraz skrępowania na wartość sił powodujących zarysowanie modeli. Skrępowanie ścian miało natomiast istotny wpływ na poziom sił niszczących modele. W tabeli 2 pokazano wartości sił rysujących i niszczących uśrednionych w ramach serii, natomiast na rysunku 2 (zależność siła – odkształcenie pionowe) uśrednione wyniki sił rysujących oraz sił niszczących w przypadku czterech serii badań. Skrępowanie spowodowało zwiększenie nośności modeli z niewypełnionymi spoinami czołowymi średnio o przeszło 34%, a modeli z wypełnionymi spoinami o przeszło 43%. Wypełnienie spoin pionowych powoduje obniżenie nośności o 34% w przypadku muru nieskrępowanego oraz 13% w przypadku muru skrępowanego. Efekt ten widać na uśrednionych wykresach siła – odkształcenie.

Tabela 2. Wyniki badań murów pod obciążeniem skupionym
Table 2. The tests results of walls under concentrated load

Nazwa serii	Siła rysująca [kN]	Siła niszcząca [kN]
MNS-Z1 – mur nieskrępowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	474,7 – 100%	1239,2 – 100%
MNS-Z2 – mur nieskrępowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	354,6 – 75%	1132,0 – 100%
MS-Z1 – mur skrępowany z niewypełnionymi spoinami czołowymi	476,5 – 100%	1659,7 – 134%
MS-Z2 – mur skrępowany z wypełnionymi spoinami czołowymi	414,2 – 87%	1619,2 – 143%



Rys. 2. Uśrednione w ramach serii zależności $P_y-\epsilon_y$ (oznaczenia modeli – patrz tabela 2)

Fig. 2. Averaged relationships $P_y-\epsilon_y$ per series (test markings – see table 2)

Podsumowanie

Wykazano, że wypełnienie spoin wpływa na siły rysujące i niszczące modeli skrępowanych i nieskrępowanych, natomiast nie stwierdzono wpływu skrępowania na wartość sił rysujących modele (modele nieskrępowane i skrępowane ry-

sowały się przy podobnej sile). Skrępowanie miało jednak wpływ na rozwarcie rys. Jak wykazały pomiary optyczne bezdotykowym systemem pomiaru przemieszczeń Aramis, w modelach skrępowanych rysy miały maksymalne rozwarcie 0,5 mm, a w modelach bez skrępowania występowały pęknięcia o szerokości 10 mm. Ponadto skrępowanie ścian miało istotny wpływ na wartość sił niszczących modele. W przypadku modeli z niewypełnionymi spoinami czołowymi skrępowanie spowodowało wzrost nośności modeli średnio o przeszło 34%, a w przypadku modeli z wypełnionymi spoinami o przeszło 43%.

Literatura

- [1] Constantinescu Sorina. 2017. „Study of confined masonry buildings in seismic areas”. *Energy Procedia* 112: 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: 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*: 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: 332 ÷ 342.
- [5] El Ezz Ahmad Abo, M. Seif Eldin Hany, Khaled Galal. 2015. „Influence of confinement reinforcement on the compression stress-strain of grouted reinforced concrete block masonry boundary elements”. *Structures* 2: 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: 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: 918 ÷ 924.
- [8] Jäger Wolfram, Peter Schöps. 2009. *Eingefasstes Mauerwerk als Möglichkeit zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Aussteifungswänden*. Fraunhofer IRB Verlag.
- [9] Jäger Wolfram, Peter Schöp. 2011. *Confined masonry – a chance to improve the load bearing capacity*. 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete: 225 ÷ 236.
- [10] Obaidat Ala'Taleb Mufleh, El Ezz Ahmad Abo, Khaled Galal. 2017. „Compression behavior of confined concrete masonry boundary elements”. *Engineering Structures*, 132: 562 ÷ 575.
- [11] PN-EN-1996-1-1: Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [12] PN-EN 1052-1: Metody badań murów – Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [13] Rui Marques, Paulo B. Lourenço. 2014. „Unreinforced and confined masonry buildings in seismic regions: Validation of macro-element models and cost analysis”. *Engineering Structures*, vol. 64: 52 ÷ 67.
- [14] Tena-Colunga Arturo, Artemio Juárez-Ángeles, Victor Hugo Salinas-Vallejo. 2009. „Cyclic behavior of combined and confined masonry walls”. *Engineering Structures*, vol. 31: 240 ÷ 259.

Przyjęto do druku: 06.03.2019 r.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

