dr inż. Radosław Jasiński[1)*)]
dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚl[1)]

Wpływ sposobu murowania na wytrzymałość na ścinanie ścian z elementów murowych z ABK

Influence of bricklaying method on shear strength of walls made of AAC masonry units

DOI: 10.15199/33.2018.05.24

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań zbrojonych ścian murowych wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Zasadnicze badania przeprowadzono na 12 elementach ściennych. We wszystkich ścianach zastosowano zbrojenie w postaci stalowych kratowniczek oraz siatek z włókien szklanych. W sześciu modelach wykonano tzw. spoinę jednostronną (zbrojenie zagłębiano w zaprawie), a w kolejnych sześciu spoinę dwustronną (zbrojenie układano w warstwie zaprawy i przykrywano kolejną warstwą). Modele zbadano na ukośne ściskanie zgodnie z normą ASTM E519-81. Wyniki porównano z rezultatami badań ścian niezbrojonych. Wykazano, że stosując spoinę jednostronną, wyraźnie zmniejszono wartości naprężeń rysujących i niszczących w porównaniu ze ścianą bez zbrojenia.

Słowa kluczowe: wpływ murowania; zbrojenie do spoin wspornych; ściskanie; ścinanie.

Abstract. Abstract. The paper presents the results of tests of reinforced masonry walls made of autoclaved aerated concrete (AAC). The main research was carried out on 12 models. All models were reinforced with truss type steel reinforcement or fiberglass geogrid. In 6 models, a so-called one-sided bed joints was used (reinforcement was embedded in the mortar), and the next in 6 models a two-sided bed joints was used (reinforcement was laid on the mortar joint and covered with another layer of mortar). The models were tested under oblique compression in accordance with ASTM E519-81. The results were compared with the results of tests of unreinforced walls. It was shown that using a one-sided bed joints a clear reduction in the value of crack and destructive stresses in relation to walls without reinforcement.

Keywords: impact of masonry execution; bed joint reinforcement; compression; shear.

Liczne badania pokazują, że rodzaj spoiny i sposób jej wykonania może znacznie wpływać na wytrzymałość muru [3, 4, 5]. Artykuł stanowi drugą część analiz dotyczących wpływu murowania na wytrzymałość muru zbrojonego. W pierwszej części [7] opisano wpływ techniki murowania na wytrzymałość na ściskanie, natomiast w tym artykule wyniki badania murów ścinanych, w których celowo zmieniano technologię otulenia zbrojenia zaprawą tak, aby wybrać metodę optymalną i wykluczyć najniekorzystniejszą.

Badania

Identycznie jak w pracy [7], modele badawcze wykonano z bloczków z betonu komórkowego SOLBET OPTIMAL o gęstości 600 kg/m^3 murowanych na spoinach cienkowarstwowych z systemowej zaprawy klasy M5. Do ich zbrojenia użyto stalowych kratowniczek typu EFZ 140/Z 140 oraz siatki z tworzywa sztucznego TBM Reinforcement Fiberglass Geogrid. Zbadano 12 modeli ścian zbrojonych, które różniły się sposobem wykonania spoiny wspornej. Zaprawę układano jednostronnie bądź dwustronnie, zapewniając odpowiednią grubość spoin określoną w normie PN-EN 1996-1-1 [9]. Sposób wznoszenia modeli był taki sam jak w przypadku elementów poddanych ściskaniu [2, 7]. Program badań podano w tabeli 1.

Elementy próbne badano po min. 28 dniach od wymurowania na stanowisku badawczym, w którym modele osadzano w stalowych gniazdach, tak aby jedna z przekątnych była ustawiona pionowo i wzdłuż której wymuszano obciążenia [1]. Szczegółową procedurę badań, wraz z opisem stanowiska badawczego, podano w [5, 6, 8]. W przypadku każdej zarejestrowanej siły F_i (przy i-tym poziomie obciążenia) obliczano wartość średniego naprężenia stycznego $\tau_{v,i}$ jako iloraz siły F_i oraz pola powierzchni przekroju pionowego ściany A_h.

Na podstawie zmiany długości boków i przekątnych wyznaczono kąt odkształcenia postaciowego Θ_i.

Tabela 1. Program badań ukośnego ściskania wg ASTM E519-81 [1]
Table 2. Diagonal compression research program acc. to ASTM E519-81 [1]

Nazwa serii	Rodzaj spoiny	Rodzaj zbrojenia	Procent zbrojenia w kierunku długości l	Procent zbrojenia w kierunku grubości t	Liczba elementów badawczych
RL-S-Z3-1-3	jednostronne nakładanie zaprawy	zbrojenie typu TBM	0,1	0,05	3
RL-S-Z3-4-6	dwustronne nakładanie zaprawy	zbrojenie typu TBM	0,1	0,05	3
RL-S-Z1-1-3	jednostronne nakładanie zaprawy	zbrojenie typu EFZ 140/Z 140	0,07	0,05	3
RL-S-Z1-4-6	dwustronne nakładanie zaprawy	zbrojenie typu EFZ 140/Z 140	0,07	0,05	3

[1)] Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa
[*)] Adres do korespondencji: radoslaw.jasinski@polsl.pl

Wartość naprężeń rysujących τ_{cr} i odpowiadający im kąt Θ_{cr} określono w przypadku siły rysującej F_{cr}, przy której zaobserwowano pojawienie się nowych rys o rozwartości 0,1 – 0,3 mm, natomiast naprężenia niszczące τ_u i kąty deformacji postaciowej Θ_u wyznaczono przy siłach powodujących zniszczenie modelu (nie rejestrowano dalszego wzrostu obciążeń przy wzroście odkształceń postaciowych muru).

Wartość naprężeń rysujących τ_{cr} obliczano jako iloraz siły ściskającej odczytanej w chwili pojawienia się widocznych zarysowań o szerokości 0,1 – 0,3 mm i pola przekroju pionowego elementu próbnego A_h, natomiast naprężeń niszczących τ_u jako iloraz największej zarejestrowanej siły ściskającej F_u i pola przekroju pionowego muru A_h.

Na podstawie pomiaru naprężeń i odkształceń obliczano moduł odkształcenia postaciowego G (przy naprężeniach równych 1/3 naprężeń niszczących).

W celu oceny wpływu technologii układania zbrojenia wprowadzono parametr χ będący ilorazem maksymalnych naprężeń stycznych uzyskanych w modelach bez zbrojenia i ze zbrojeniem.

Analiza wyników badań

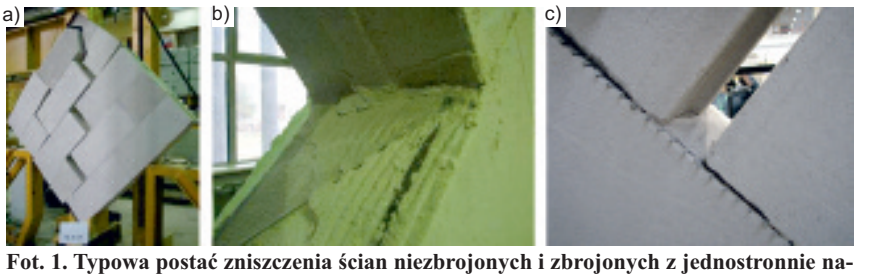
W tabeli 2 zestawiono uśrednione wyniki badań. Podano również wyniki badań ścian niezbrojonych scharakteryzowane szczegółowo w pracy [3].

Zniszczenie wszystkich niezbrojonych [3] oraz zbrojonych elementów badawczych, w których zaprawę nakładano jednostronnie, miało charakter gwałtowny, tzn., że podczas obciążenia nie pojawiały się rysy widoczne na powierzchni muru, natomiast słyszalne były jedynie pojedyncze i niezbyt intensywne trzaski. Polegało ono na utracie przyczepności między elementami murowymi a zaprawą w spoinach wspornych i zarysowaniu elementów murowych w środkowym obszarze muru. Typowy obraz zarysowania modeli niezbrojonych i zbrojonych w technologii jednostronnego nakładania zaprawy pokazano na fotografii 1.

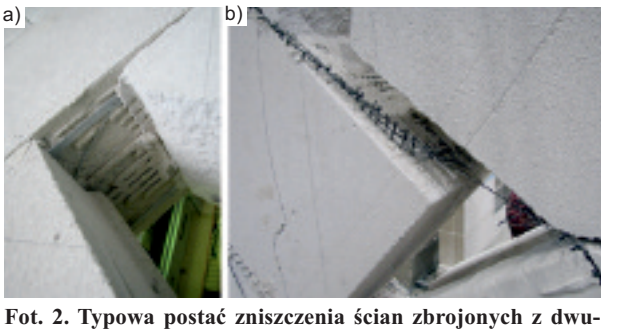
W modelach zbrojonych, w których zaprawę nakładano dwustronnie, w pierwszej kolejności powstały zarysowania elementów murowych w środkowym obszarze muru, a przy wzroście obciążenia następowała wtórna utrata przyczepności między elementami murowymi i zaprawą (fotografia 2). Do chwili zarysowania elementów odkształcenia postaciowe zmieniały się proporcjonalnie do naprężeń. W ścianach bez zbrojenia oraz w ścianach, gdzie zastosowano jednostronne nakładanie zaprawy, po zarysowaniu następowało zniszczenie elementu bez wzrostu odkształceń postaciowych. W ścianach ze zbrojeniem następował po zarysowaniu rozwój zarysowań wzdłuż przekątnej. Największą odkształcalnością charakteryzowały się modele zbrojone kratowniczkami. W ścianach ze zbrojeniem TBM otrzymano porównywalne wartości naprężeń niszczących, ale znacznie mniejsze deformacje postaciowe ze względu na zerwanie włókien siatek. Zależności $\tau - \Theta$ oraz porównanie uzyskanych wyników pokazano na rysunku. Zróżnicowanie wartości współczynnika χ wyrażającego wpływ technologii osadzania zbrojenia było

Tabela 2. Średnie wyniki badań modeli ukośnie ściskanych
Table 2. Average tests results of oblique compressed models

Nazwa serii	Naprężenie rysujące τ_{cr} [N/mm²]	Naprężenie niszczące τ_u [N/mm²]	χ	Moduł odkształcenia postaciowego G [N/mm²]	Kąt odkształcenia postaciowego w chwili zarysowania Θ_{cr} [mrad]	Kąt odkształcenia postaciowego w chwili zniszczenia Θ_u [mrad]
RL-S-N-1-6 niezbrojone	0,192	0,196	1	475	0,587	0,601
RL-S-Z1-1-3 zaprawa nakładana jednostronnie	0,141	0,157	0,8	538	0,426	0,530
RL-S-Z1-4-6 zaprawa nakładana dwustronnie	0,241	0,269	1,4	493	0,668	3,767
RL-S-Z3-1-3 zaprawa nakładana jednostronnie	0,093	0,102	0,5	388	0,359	0,397
RL-S-Z3-4-6 zaprawa nakładana dwustronnie	0,237	0,242	1,2	610	0,673	0,697



Fot. 1. Typowa postać zniszczenia ścian niezbrojonych i zbrojonych z jednostronnie nakładaną zaprawą: a) elementy niezbrojone; b) elementy zbrojone kratowniczkami z zaprawą nakładaną jednostronnie; c) elementy zbrojone siatkami TBM z zaprawą nakładaną jednostronnie *[Fot. R. Jasiński]*
Photo 1. Typical forms of destruction of unreinforced and reinforced walls with unilaterally applied mortar: a) non-reinforced elements; b) truss type reinforced models with one-sided mortar; c) elements reinforced with TBM grids with mortar applied unilaterally



Fot. 2. Typowa postać zniszczenia ścian zbrojonych z dwustronnie nakładaną zaprawą: a) elementy zbrojone kratowniczkami; b) elementy zbrojone siatkami TBM *[Fot. R. Jasiński]*
Photo. 2. Typical forms of destruction of reinforced walls with a bilaterally applied mortar: a) elements reinforced with truss type reinforcement; b) elements reinforced with TBM grids

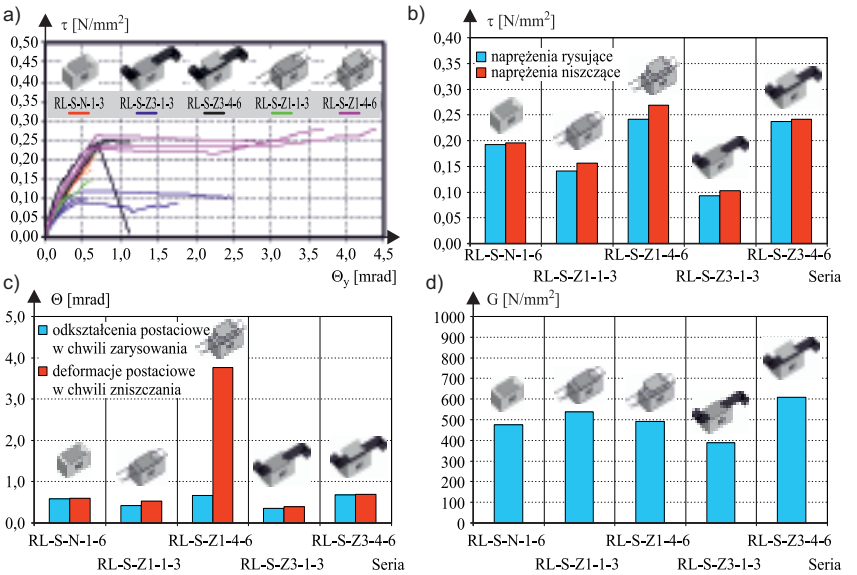
wyraźniejsze niż w ścianach ściskanych [7]. W ścianach, w których stosowano zaprawę układaną jednostronnie, wartości współczynnika χ były mniejsze od jedności. Korzystny wpływ zbrojenia (χ > 1,0) otrzymano w przypadku dwustronnego układania zaprawy.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

- w przypadku jednostronnego nakładania zaprawy niekorzystny jest wpływ zastosowanego zbrojenia na zachowanie się murów poddanych ścinaniu: zniszczenie miało charakter gwałtowny; wystąpiła utrata przyczepności między elementami murowymi a zaprawą spoin wspornych; rysy w modelach zbrojonych pojawiały się na poziomie > 90% maksymalnych naprężeń ścinających;
- korzystny wpływ zbrojenia, w porównaniu z elementami bez zbrojenia, wystąpił tylko w modelach, w których zaprawę układano dwustronnie (łagodny sposób zniszczenia); nie występowała utrata przyczepności między elementami murowymi a zaprawą spoin wspornych; rysy w modelach zbrojonych pojawiały się na poziomie < 90% maksymalnych naprężeń ścinających; naprężenia niszczące w modelach zbrojonych kratowniczkami były o 40% większe od naprężeń niszczących ściany niezbrojone; w ścianach zbrojonych siatkami TBM wzrost naprężeń wyniósł 20%.

Z analizy ścian ściskanych [7] oraz ścian ścinanych wynika, że **technologię jednostronnego nakładania zaprawy należy uznać za niezalecaną, a nawet niebezpieczną w przypadku ścian, w których potencjalnie można spodziewać się istotnych naprężeń ścinających (ściany usztywniające)**. W ścianach obciążonych głównie pionowo technologia jednostronnego nakładania zaprawy może być stosowana pod warunkiem, że usztywnienie budynku realizowane jest za pomocą innych elementów, np. żelbetowych trzonów.



Wyniki badań ścian ukośnie ściskanych: a) zależności naprężenie – odkształcenie postaciowe wszystkich modeli; b) porównanie wartości naprężeń rysujących i niszczących; c) porównanie wartości kątów odkształcenia i deformacji postaciowych; d) porównanie wartości modułów odkształcenia postaciowego

Test results of obliquely compressed walls: a) stress – strains relationship of all models; b) comparison of values of crack and destructive stresses; c) comparison of values of strains and deformation; d) comparison of values of deformation modulus

Literatura

[1] ASTM E519-81 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) of Masonry Assemblages.

[2] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński. 2015. „Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z ABK poddanych ściskaniu". *Materiały Budowlane* 512 (4): 3 – 7. DOI: 10.15199/33.2015.04.02.

[3] Drobiec Łukasz, Radosław Jasiński. 2015. „Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z betonu komórkowego poddanych ścinaniu". *Materiały Budowlane* 513 (5): 106 – 109. DOI: 10.15199/33.2015.05.44.

[4] 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.

[5] Jasiński Radosław, Łukasz Drobiec. 2016. „Comparison Research of Bed Joints Construction and Bed Joints Reinforcement on Shear Parameters of AAC Masonry Walls". *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 10, nr 12: 1329 – 1343, DOI: 10.17265/1934-7359/2016.12.004.

[6] Jasiński Radosław, Łukasz Drobiec. 2016. „Study of Autoclaved Aerated Concrete Masonry Walls with Horizontal Reinforcement under Compression and Shear". *Procedia Engineering* Vol. 161: 918 – 924. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.758.

[7] Jasiński Radosław, Łukasz Drobiec. 2018. „Wpływ sposobu murowania na wytrzymałość na ściskanie ścian z elementów murowych z ABK". *Materiały Budowlane* 548 (4): 8 – 10. DOI: 10.15199/33.2018.04.02.

[8] Jasiński Radosław, Adam Piekarczyk, Lech Misiewicz. 2016. „Comparison research of kind of mortar influence and bed joints reinforcement on shear parameters of AAC masonry walls". *Brick and Block Masonry – Trends, Innovations and Challenges*. Taylor & Francis Group, London, pp. 1659-1666.

[9] PN-EN 1996-1-1:2010+A1:2013-05P, Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych, Część 1-1: Reguły ogólne dla niezbrojonych i zbrojonych konstrukcji murowych.

Podziękowanie

Autorzy dziękują firmom Solbet Sp. z o.o., NOVA Sp. z o.o. i MAP Products Private Limited (Indie) za dostarczenie materiałów do badań.

Przyjęto do druku: 23.04.2018 r.

Partner działu: Stowarzyszenie Producentów Betonów