

dr inż. Radosław Jasiński¹⁾

Badania wpływu kształtu murowych ścian z autoklawizowanego betonu komórkowego poddanych ścinaniu

Study of the impact of masonry shear walls made of autoclaved aerated concrete masonry units

DOI: 10.15199/33.2017.05.46

Streszczenie. Artykuł stanowi kontynuację cyklu publikacji dotyczących zagadnień badawczych związanych ze ścinaniem. Po publikacji dotyczącej ścian z silikatowych elementów murowych, obecnie przedstawiamy wyniki badań niezbrojonych ścian bez otworów, wykonanych z elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego. Prezentując wyniki badań, skoncentrowano się na wpływie kształtu na wartość naprężeń rysujących i niszczących, kątach odkształcenia i deformacji postaciowej oraz sztywności początkowej i sztywności w chwili zarysowania.

Słowa kluczowe: elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego, ściany poddane ścinaniu.

Abstract. This article is a continuation of a series of publications on cutting of shear. After the publication of silicate masonry walls, this article will show the results of non-reinforced walls without openings made of autoclaved aerated concrete masonry units. Presenting the results of the study focused on the influence of the shape on the values of the cracking and ultimate stresses, the strain and deformation angles, the initial stiffness and stiffness at the moment of cracking.

Keywords: autoclaved aerated masonry units, masonry shear walls.

W poprzedniej publikacji [5] przedstawiono wyniki badań ścian wykonanych z silikatowych elementów murowych. Wykonano i zbadano dwa rodzaje ścian różniących się proporcjami wysokości do długości (h/l). W związku z tym, że wykazano wpływ proporcji wymiarów na podstawowe parametry mechaniczne ścian poddanych ścinaniu, zdecydowano się wykonać badania o podobnym charakterze, zmieniając materiał z silikatowych elementów murowych na elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego. Modele badawcze miały niemal identyczną wysokość, ale różną długość w porównaniu ze ścianami opisanymi w [5]. Celem badań była ocena wpływu kształtu ścian na wartości naprężeń rysujących, niszczących oraz odkształcalność postaciową i sztywność.

Modele badawcze i technika badań

Zbadano 13 ścian wykonanych z elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) na zaprawie systemowej do spoin cienkowarstwowych. Wy-

trzymałość na ściskanie muru wyznaczona zgodnie z wymaganiami PN-EN 1052-1:2000 [6] wynosiła $f_{cm} = 2,97 \text{ N/mm}^2$, a moduł sprężystości $E_{cm} = 2041 \text{ N/mm}^2$. Natomiast wytrzymałość na ścinanie, wyznaczona zgodnie z PN-EN 1052-3:2004 [7], była równa $f_{vo} = 0,306 \text{ N/mm}^2$, a moduł ścinania uzyskany w badaniach ścian ukośnie ściskanych zgodnie z normą ASTM E519-81 [1] wynosił $G = 475 \text{ N/mm}^2$. Szczegóły badań materiałowych ABK i ścian zawarto w publikacjach [2, 3, 4].

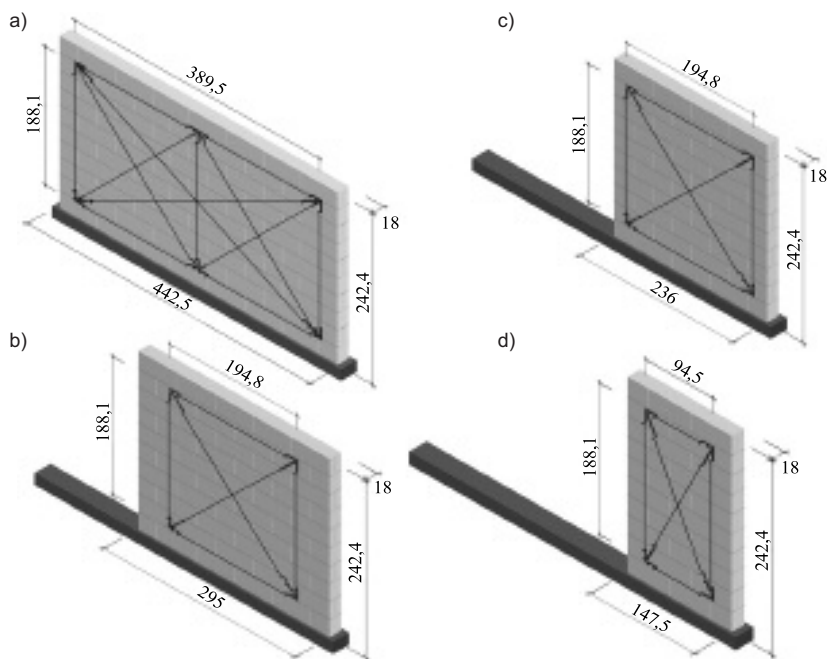
Identycznie jak w ścianach z elementami silikatowych, wszystkie ściany miały grubość $0,18 \text{ m}$ i nie wypełniono w nich spoin czołowych. Ściany podzielono na cztery serie oznaczone umownie jako: HOS-AAC; HOS-AAC-2/3; HOS-AAC-0/5 i HOS-AAC-1/3, w ramach których zróżnicowano gabaryty elementów. Zewnętrzne wymiary wszystkich ścian pierwszej serii były takie same: $l = 4,43 \text{ m}$; $h = 2,43 \text{ m}$, grubość $t = 180 \text{ mm}$. W ramach serii HOS-AAC zbadano 4 ściany bez zbrojenia (rysunek 1a) przy trzech różnych wartościach wstępnych naprężeń ściskających wynoszących $\sigma_c = 0,1; 0,75; 1,0 \text{ N/mm}^2$ ($0,025 - 0,25$) f_c . W trakcie badań jednego elementu ścinanego doszło do przedwczesnego zarysowania wywołanego naprężeniem ściskającym $1,5 \text{ N/mm}^2$. W efekcie maksymalne

naprężenia zastosowane w badaniach pozostałych ścian zredukowano do $1,0 \text{ N/mm}^2$. Elementy badawcze pozostałych serii miały identyczną grubość i wysokość oraz niewypełnione spoiny czołowe, natomiast ich długość zredukowano w porównaniu z elementami serii HOS-AAC o 30%, 50% i 60%. Modele należące do serii HOS-AAC-2/3 (rysunek 1b) miały długość $l = 2,95 \text{ m}$ i wysokość $h = 2,43 \text{ m}$, natomiast długość modeli serii HOS-AAC-0/5 (rysunek 1c) i HOS-AAC-1/3 (rysunek 1d) wynosiła odpowiednio $2,36 \text{ m}$ i $1,48 \text{ m}$. W ramach każdej serii zbadano po 3 elementy przy wstępnym naprężeniu ściskającym $\sigma_c = 0,1; 0,75$ i $1,0 \text{ N/mm}^2$.

Wyniki badań

Mechanizm zarysowania modeli. Pierwsze ukośne rysy niezbrojonych ścian serii HOS-AAC (największej długości) wystąpiły w środkowej części ściany. W ścianie minimalnie ściskanej powstała pojedyncza rysa ukośna biegnąca na styku elementów murowych i zaprawy przez spoiny czołowe i wsporne. W dolnej części ściany nad podporą B stwierdzono wiele rys ukośnych biegnących w elementach murowych. W ścianie maksymalnie ściskanej i ścinanej pierwsze rysy również

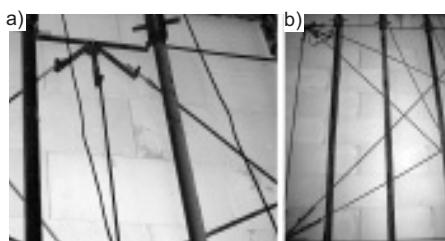
¹⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa; radoslaw.jasinski@polsl.pl



Rys. 1. Geometria modeli wykonanych z elementów murowych z ABK: a) ściany niezbrojone długości 4,43 m; b) niezbrojone ściany długości 2,95 m; c) niezbrojone ściany długości 2,36 m; d) niezbrojone ściany długości 1,48 m

Fig. 1. Geometry of models made of AAC masonry units: a) unreinforced walls length of 4,43 m; b) unreinforced walls length of 2,95 m; c) unreinforced walls length of 2,36 m; d) unreinforced walls length of 1,48 m

zostały zainicjowane w środkowej części ściany. Po zwiększeniu obciążenia ścinającego ukośne rysy przesuwwały się w kierunku dolnej i górnej krawędzi ściany. Powstało także wiele rys pionowych. Pierwsze widoczne rysy w niezbrojonych elementach serii HOS-AAC, minimalnie i maksymalnie ściskanych, pokazano na rysunkach 2a i 2b. W ścianie minimalnie ściskanej powstała ukośna rysa w środkowej części ściany bliżej podpory B. Ze wzrostem obciążenia rysa rozwijała się w kierunku dolnej i górnej krawędzi ściany. W ścianie maksymalnie ściskanej

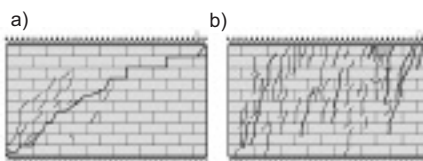


Rys. 2. Widok pierwszych widocznych zarysowań ścian serii HOS-AAC: a) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,1 \text{ N/mm}^2$; b) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 1,0 \text{ N/mm}^2$

Fig. 2. A view of the first visible cracks of the walls HOS-AAC series without openings: a) a shear wall with precompression stress $\sigma_c = 0,1 \text{ N/mm}^2$; b) a shear wall with a pre-compression stress $\sigma_c = 1,0 \text{ N/mm}^2$

w pierwszej kolejności powstała ukośna rysa w środku ściany.

Zwiększenie obciążenia spowodowało, że w niezbrojonej ścianie ścinanej przy udziale naprężeń ściskających $0,1 \text{ N/mm}^2$ oprócz pierwotnej rysy, która rozwijała się w kierunku górnej i dolnej krawędzi ściany, powstało kilka rys ukośnych biegnących głównie przez elementy murowe. W chwili zniszczenia dominowała jednak jedna ukośna rysa (rysunek 3a) biegnąca wzdłuż przekątnej ściany. W niezbrojonej ścianie ściskanej do wartości $1,0 \text{ N/mm}^2$ występowały w chwili zniszczenia rysy ukośne, ale dominowały pionowe powstające w elementach murowych na przedłużeniu spoin czołowych (rysunek 3b). W chwili zniszczenia zmiażdżeniu uległy pojedyncze elementy murowe w najwyższej warstwie muru.



Rys. 3. Zarysowania modeli ścian serii HOS-AAC w chwili zniszczenia: a) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,1 \text{ N/mm}^2$; b) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 1,0 \text{ N/mm}^2$

Fig. 3. Patterns of cracking walls of HOS-AAC series at the time of destruction: a) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,1 \text{ N/mm}^2$; b) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 1,0 \text{ N/mm}^2$

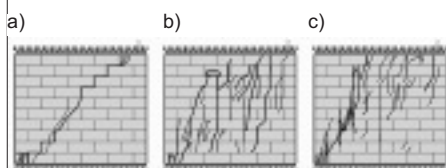
W ścianach serii HOS-AAC-2/3 proces zarysowania był bardzo podobny jak w ścianach serii HOS-AAC większej długości. Bez względu na wartość wstępnych naprężeń ściskających pierwsze rysy powstały w środkowej części ściany (rysunek 4). W ścianie ściskanej do wartości $0,10 \text{ N/mm}^2$ dominowały rysy w spoinach czołowych i wspornych. Z kolei w ścianach ściskanych do wartości $0,75 \text{ N/mm}^2$ rysy biegingły przez elementy murowe. Przy wzroście obciążenia ścinającego w ścianie ściskanej do wartości $1,0 \text{ N/mm}^2$ pierwotne rysy rozwijały się w kierunku górnej i dolnej krawędzi ściany. W chwili zniszczenia powstały dodatkowe pionowe rysy w rejonie podpory A i B (rysunek 5a). W ścianie ściskanej wstępnie do wartości $0,75 \text{ N/mm}^2$ ze wzrostem naprężeń ścinających tworzyły się dodatkowe rysy ukośne i pionowe. Najwięcej zarysowań powstało w środkowym obszarze ściany. W chwili zniszczenia pojawiły się dodatkowe rysy pionowe, a poza tym wykruszeniu uległy pojedyncze elementy murowe (rysunek 5b). W ścianie maksymalnie ściskanej do wartości $1,0 \text{ N/mm}^2$ w chwili zniszczenia oprócz pierwotnej rysy, która objęła swoim zasięgiem całą wysokość ściany, powstało wiele rys ukośnych w pobliżu podpór A i B, a dodatkowo zaobserwowano powstanie rys pionowych w środkowym obszarze muru (rysunek 5c).

W ścianach serii HOS-AAC-0/5 o długości o 50% mniejszej od długości ścian referencyjnych serii HOS-AAC przy naprężeniu ściskającym $0,10 \text{ N/mm}^2$ i $0,75 \text{ N/mm}^2$ pierwsze rysy ukośne powstały w środkowej części ściany (rysunek 6a i 6b). W ścianie maksymalnie ściskanej do wartości $1,0 \text{ N/mm}^2$ w pierwszej kolejności powstały rysy pionowe, a dopiero później ukośne (rysunek 6c). Zwiększenie obciążenia ścinającego w ścianie minimalnie ściskanej do wartości $0,1 \text{ N/mm}^2$ spowodowało, że rysa objęła swoim zasięgiem całą przekątną ściany. W chwili zniszczenia powstały dodatkowe ukośne rysy w środkowej części ściany (rysunek 7a). W ścianie ściskanej wstępnie do wartości $0,75 \text{ N/mm}^2$, oprócz dominujących pod względem szerokości rys ukośnych w środkowym obszarze ściany, tworzyły się rysy pionowe. Najwięcej zarysowań powstało w środkowym obszarze ściany. W chwili zniszczenia pojawiły się dodatkowe rysy pionowe w okolicach podpór (rysunek 7b). W ścianie maksymalnie ściskanej oprócz pierwotnych rys pionowych tworzyły się rysy ukośne (niewiele odchylone od pionu) biegnące



Rys. 4. Widok pierwszych widocznych zarysowań ścian serii HOS-AAC-2/3: a) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

Fig. 4. View of the first visible cracks walls of HOS-AAC-2/3 series: a) wall sheared at $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) wall sheared at $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) wall sheared at $\sigma_c = 1,0$ N/mm²



Rys. 5. Obrazy zarysowania modeli ścian serii HOS-AAC-2/3 w chwili zniszczenia: a) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

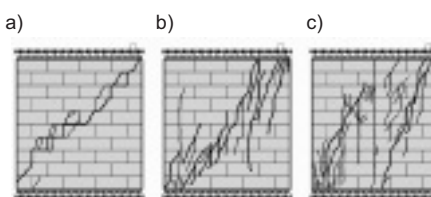
Fig. 5. Cracking patterns walls HOS-AAC-2/3 series at the time of destruction: a) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

przez elementy murowe (rysunek 7c). Intensywność zarysowań była największa w środkowym obszarze modelu.

W ścianach serii HOS-AAC-1/3, o najmniejszej długości, przy naprężeniach ściskających 0,10 N/mm² i 0,75 N/mm² pierwsze rysy ukośne powstały w środkowej części ściany (rysunek 8a i 8b). Natomiast w ścianie maksymalnie ściskanej pierwsze powstały rysy pionowe na przedłużeniu spoin czołowych (rysunek 8c).

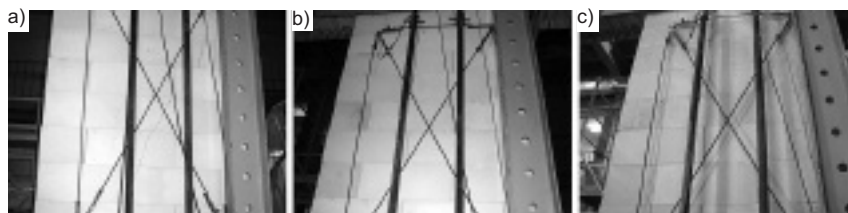
Podobnie jak w ścianach większej długości, także w ścianach najkrótszych wzrost obciążenia ścinającego w ścianie minimalnie ściskanej spowodował rozwój pierwotnej rysy, która w chwili zniszczenia objęła swoim zasięgiem całą przekątną ściany. W chwili zniszczenia powstały dodatko-

we niemal pionowe rysy w części ściany nad podporą B (rysunek 9a). W ścianie ściskanej wstępnie do wartości 0,75 N/mm², oprócz dominującej pod względem szeroko-



Rys. 7. Obrazy zarysowania modeli ścian serii HOS-AAC-0/5 w chwili zniszczenia: a) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

Fig. 7. Cracking patterns walls HOS-AAC-0/5 series at the time of destruction: a) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 1,0$ N/mm²



Rys. 8. Widok pierwszych widocznych zarysowań ścian serii HOS-AAC-1/3: a) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

Fig. 8. View of the first visible cracks walls of HOS-AAC-1/3 series: a) wall sheared at $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) wall sheared at $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) wall sheared at $\sigma_c = 1,0$ N/mm²



Rys. 6. Widok pierwszych widocznych zarysowań ścian serii HOS-AAC-0/5: a) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) ściana ścinana przy udziale wstępnych naprężeń ściskających $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

Fig. 6. View of the first visible cracks walls of HOS-AAC-0/5 series: a) wall sheared at $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) wall sheared at $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) wall sheared at $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

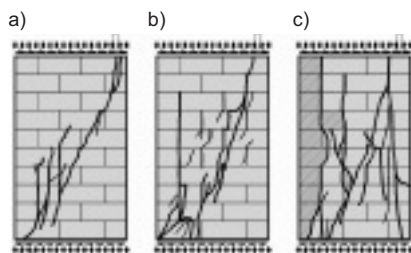
kości rysy ukośnej od strony podpory B i w środku ściany, tworzyły się rysy pionowe (rysunek 9b). W ścianie maksymalnie ściskanej oprócz pierwotnych rys pionowych powstały rysy ukośne nieznacznie odchylone od pionu (rysunek 9c). W chwili zniszczenia zmiażdżeniu uległy elementy murowe znajdujące się nad podporą B. Od strony podpory A powstała pionowa rysa biegnąca przez całą wysokość ściany.

Zależność naprężenie – odkształcenie.

Na rysunku 10 przedstawiono uzyskane zależności naprężenie τ_{vi} – odkształcenie Θ_i elementów ścian serii HOS-AAC oraz mniejszej długości HOS-AAC-2/3, HOS-AAC-0/5 i HOS-AAC-1/3. Rysunek 11 przedstawia uzyskane zmiany sztywności całkowitej ścian serii HOS-AAC oraz HOS-AAC-2/3, HOS-AAC-0/5 i HOS-AAC-1/3.

Identycznie jak w prezentowanych wcześniej wynikach badań ścian z silikatowych elementów murowych [5], także w ścianach z elementów murowych z ABK do chwili zarysowania zależności $\tau_{vi} - \Theta_i$ były niemal wprost proporcjonalne. W modelu ściskającym do wartości 0,75 N/mm², oznaczonym jako HOS-AAC-075/1, po zarysowaniu (niewielkie załamanie wykresu) nie wystąpiło wzmocnienie, a jedynie wzrost wartości kąta deformacji postaciowej. Natomiast w elemencie minimalnie ściskającym HOS-AAC-010/1 stwierdzono po zarysowaniu wzmocnienie, w efekcie którego przy nie-

znaczym wzroście obciążenia zwiększył się również kąt deformacji postaciowej. Wyrazne wzmocnienie, przy jednocześnie mniejszych deformacjach postaciowych, wystąpiło w elemencie maksymalnie ściskającym HOS-AAC-10/1. Do chwili zarysowania zależność naprężenie styczne – odkształcenie we wszystkich ścianach serii HOS-AAC-2/3 miała charakter niemal wprost proporcjonalny. Największy przyrost naprężeń po zarysowaniu wystąpił w elemencie minimalnie ściskającym serii HOS-AAC-2/3. W ścianach



Rys. 9. Obrazy zarysowania modeli ścian serii HOS-AAC-1/3 w chwili zniszczenia: a) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) ściana niezbrojona ścinana przy $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

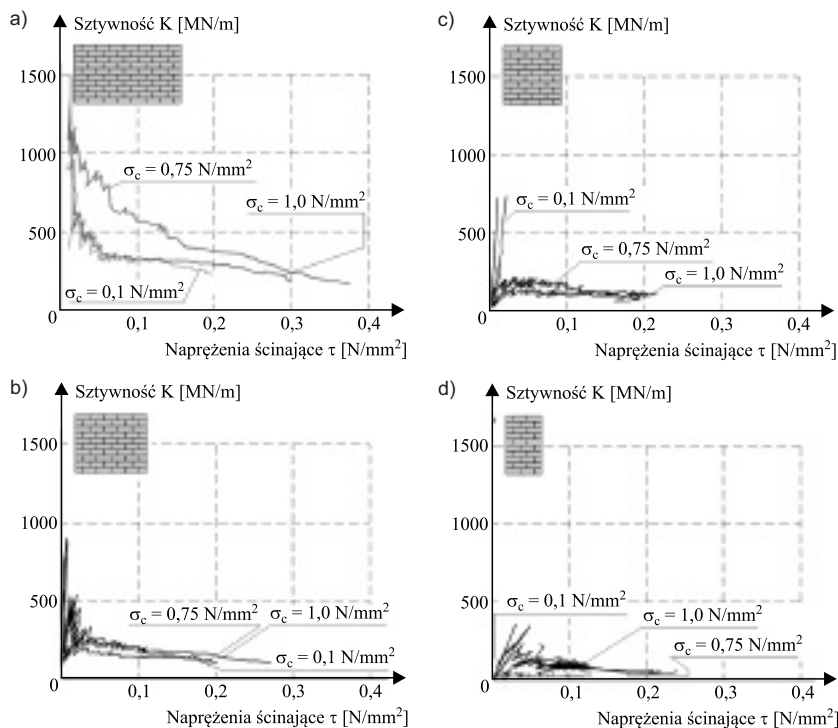
Fig. 9. Cracking patterns walls HOS-AAC-1/3 series at the time of destruction: a) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,1$ N/mm²; b) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 0,75$ N/mm²; c) unreinforced wall sheared at $\sigma_c = 1,0$ N/mm²

serii HOS-AAC-0/5 w stadium sprężystym odkształcenia postaciowe narastały niemal proporcjonalnie do naprężeń stycznych. Podobnie jak w ścianach większej długości sztywność elementu minimalnie ściskanego i ścinanego była wyraźnie większa od sztywności elementów wstępnie ściśniętych do wartości $\sigma_c = 0,75$ i $1,0$ N/mm². Po zarysowaniu nie obserwowano tym razem wzmocnienia, ale wyraźny wzrost odkształceń postaciowych bez wzrostu naprężeń stycznych. W ścianach o największej smukłości serii HOS-AAC-1/3 w stadium sprężystym odkształcenia postaciowe również

zwiększały się niemal proporcjonalnie do naprężeń stycznych, a sztywność wszystkich ścian była zbliżona. Deformacje postaciowe przy maksymalnych naprężeniach

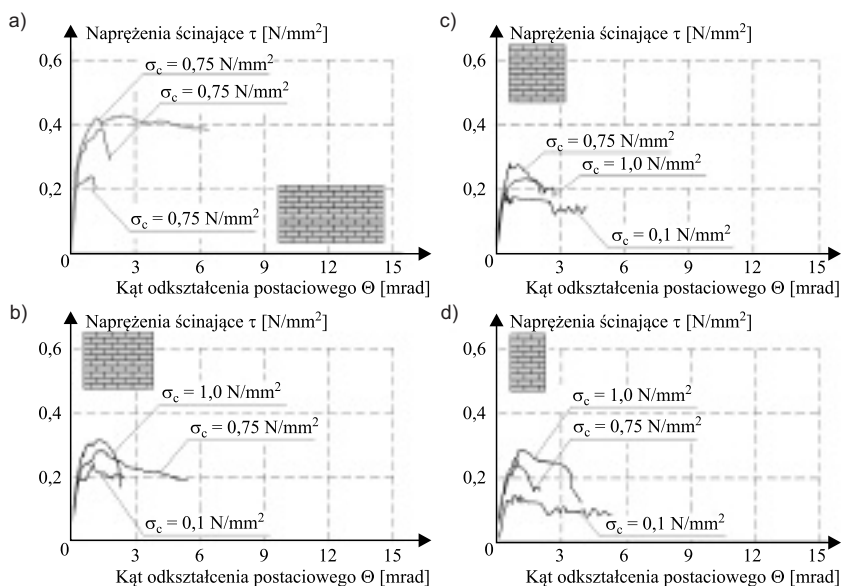
stycznych zwiększały się wraz ze wzrostem wstępnych naprężeń ściskających.

Sztywność niezbrojonych ścian serii HOS-AAC (rysunek 11a) ulegała wyraźnej



Rys. 11. Zależność sztywność całkowita – naprężenie ścinające ścian z elementów z ABK bez otworów: a) elementy serii HOS-AAC ($l = 4,53$ m); b) elementy serii HOS-AAC-2/3 ($l = 2,95$ m); c) elementy serii HOS-AAC-0/5 ($l = 2,36$ m); d) elementy serii HOS-AAC-1/3 ($l = 1,48$ m)

Fig. 11. Relationship stiffness shear stress of walls without openings made of AAC masonry units: a) walls HOS-AAC series ($l = 4,53$ m); b) walls HOS-AAC-2/3 series ($l = 2,95$ m); c) walls HOS-AAC-0/5 series ($l = 2,36$ m); d) walls HOS-AAC-1/3 series ($l = 1,48$ m)



Rys. 10. Zależność naprężenie – kąt odkształcenia postaciowego ścian z elementów z ABK bez otworów: a) elementy serii HOS-AAC ($l = 4,53$ m); b) elementy serii HOS-AAC-2/3 ($l = 2,95$ m); c) elementy serii HOS-AAC-0/5 ($l = 2,36$ m); d) elementy serii HOS-AAC-1/3 ($l = 1,48$ m)

Fig. 10. Relationship shear stress strain angle of walls without openings made of AAC masonry units: a) walls HOS-AAC series ($l = 4,53$ m); b) walls HOS-AAC-2/3 series ($l = 2,95$ m); c) walls HOS-AAC-0/5 series ($l = 2,36$ m); d) walls HOS-AAC-1/3 series ($l = 1,48$ m)

degradacji. Przy zwiększeniu naprężeń ścinających obserwowano odwrotnie proporcjonalną zależność $K - \tau$. Największy spadek początkowej sztywności K_0 zaobserwowano w przedziale wartości naprężeń ścinających $0 - 0,05$ N/mm². Przy dalszym ich wzroście spadek sztywności był zdecydowanie mniejszy. W elementach mniejszej długości (rysunek 11b-c-d) wystąpiła znacznie większa od początkowej sztywności K_0 . Przy dalszym wzroście naprężeń ścinających nie stwierdzono tak istotnej redukcji sztywności.

W tabeli 1 zestawiono wyniki badań w postaci naprężeń ścinających określonych w chwili zarysowania τ_{cr} oraz zniszczenia τ_u . Podano także globalne kąty odkształcenia postaciowego ścian odpowiadające naprężeniom rysującym θ_{cr} i kąty deformacji postaciowej odpowiadające naprężeniom niszczącym θ_u , a także uzyskane wartości początkowej sztywności całkowitej K_0 (uwzględniającej odkształcenia giętne i postaciowe) przy naprężeniach stycznych $0 - 0,05 \tau_u$ oraz w chwili

Tabela 1. Wyniki badań
Table 1. Research results

Seria (l × h × t)	σ _c [N/mm ²]	Naprężenia		Kąty odkształcenia (deformacji) postaciowego		Szywność całkowita	
		zarysowanie	zniszczenie	zarysowanie	zniszczenie	początkowa	w chwili zarysowania
		τ _{cr} [N/mm ²]	τ _u [N/mm ²]	Θ _{cr} [mrad]	Θ _u [mrad]	K ₀ [MN/m]	K _{cr} [MN/m]
HOS-AAC (4,43 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	0,196	0,235	0,281	0,97	932	229
	0,75	0,372	0,426	0,724	2,44	1168	169
	1,0	0,298	0,385	0,524	1,45	1541	187
	1,0*	0,11	0,25	0,651	2,72	379	75
HOS-AAC-2/3 (2,95 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	0,193	0,241	0,469	1,027	455	90
	0,75	0,202	0,286	0,432	1,452	803	102
HOS-AAC-0/5 (2,36 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	0,210	0,287	0,368	0,646	718	100
	0,75	0,195	0,247	0,477	1,471	297	72
	1,0	0,174	0,184	0,335	0,529	727	91
HOS-AAC-1/3 (1,48 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	0,130	0,144	0,420	0,821	129	34
	0,75	0,204	0,259	0,607	0,888	224	37
	1,0	0,234	0,290	0,660	1,055	353	39

li zarysowania K_{cr} ścian obliczone wg [5]. Natomiast w tabeli 2 podano wyniki badań odniesionych do wartości uzyskanych przy najmniejszej wartości wstępnych naprężeń ściskających σ_c = 0,1 N/mm².

Wpływ kształtu ściany

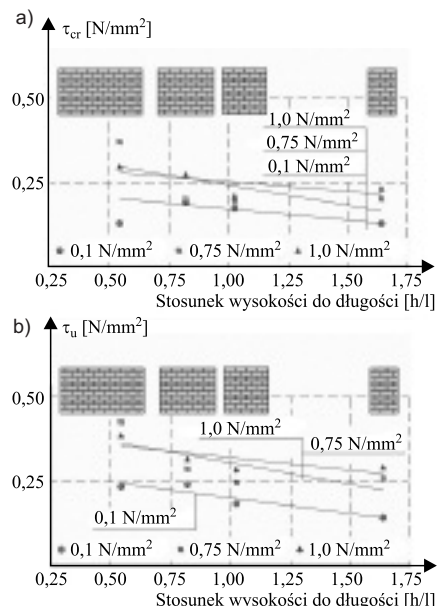
Przedmiotem analiz były ściany referencyjne serii HOS-AAC (długości 4,43 m i wysokości 2,43 m) oraz ściany

serii HOS-AAC-2/3, HOS-AAC-0/5 i HOS-AAC-1/3 o takiej samej wysokości i długości wynoszącej odpowiednio 2/3, 1/2 i 1/3 długości ścian referencyjnych. W ramach każdej serii zbadano ściany przy naprężeniach wynoszących σ_c = 0,1, 0,75 i 1,0 N/mm². Na rysunku 12 porównano wartości naprężeń stycznych w chwili zarysowania i zniszczenia wszystkich rodzajów ścian.

Tabela 2. Porównanie wyników badań ścian w stosunku do wyników badań ścian z elementami minimalnie ściskanych

Table 2. Comparison of the results of research of the walls in relation to the results of minimum wall compression

Seria (l × h × t)	σ _c [N/mm ²]	Naprężenia		Kąty odkształcenia (deformacji) postaciowego		Szywność całkowita	
		zarysowanie	zniszczenie	zarysowanie	zniszczenie	początkowa	w chwili zarysowania
		τ _{cr,σ} /τ _{cr,σ=min}	τ _{u,σ} /τ _{u,σ=min}	Θ _{cr,σ} /Θ _{cr,σ=min}	Θ _{u,σ} /Θ _{u,σ=min}	K _{0,σ} /K _{0,σ=min}	K _{cr,σ} /K _{cr,σ=min}
HOS-AAC (4,43 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	1	1	1	1	1	1
	0,75	1,90	1,81	2,58	2,52	1,25	0,74
	1,0	1,52	1,64	1,86	1,49	1,65	0,82
HOS-AAC-2/3 (2,95 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	1	1	1	1	1	1
	0,75	1,05	1,19	0,92	1,41	1,76	1,13
	1,0	1,41	1,32	1,17	1,38	2,02	1,21
HOS-AAC-0/5 (2,36 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	1	1	1	1	1	1
	0,75	0,93	0,86	1,30	2,28	0,41	0,72
	1,0	0,83	0,64	0,91	0,82	1,01	0,91
HOS-AAC-1/3 (1,48 × 2,43 × 0,18 m)	0,1	1	1	1	1	1	1
	0,75	1,57	1,80	1,45	1,08	1,74	1,09
	1,0	1,8	2,01	1,57	1,29	2,74	1,15



Rys. 12. Zestawienie uzyskanych wartości naprężeń (rysujących i niszczących) wszystkich zbadanych elementów w zależności od wartości σ_c i kształtu ściany: a) naprężenia rysujące – τ_{cr}; b) naprężenia niszczące – τ_u

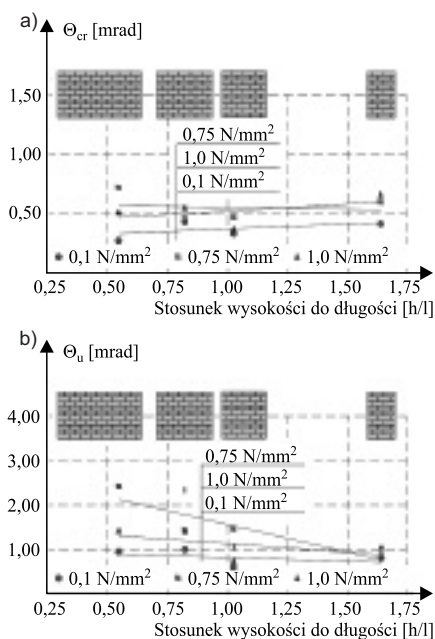
Fig. 12. Summary of obtained stresses (cracking and ultimate) of all examined elements according to σ_c and wall shape: a) cracking stresses – τ_{cr}, b) ultimate stresses – τ_u

Na rysunku 13 przedstawiono porównanie kątów odkształcenia postaciowego w chwili zarysowania i kątów deformacji postaciowej w chwili zniszczenia wszystkich rodzajów ścian, natomiast na rysunku 14 przedstawiono porównanie szywności w chwili zarysowania i szywności początkowej.

Podsumowanie

Z obserwacji sposobu zniszczenia murów ścinanych niezbrojonych i zbrojonych wynika, że:

- wystąpiła pewna prawidłowość w sposobie zarysowania ścian różnej długości. W ścianach o mniejszej smukłości pierwsze rysy występowały w rejonie naroży, a następnie w środkowym obszarze ściany. Intensywność zarysowania ścian zwiększała się ze wzrostem ich długości. Największy wpływ na sposób i rozwój zarysowań miała wartość wstępnych naprężeń ściskających. W ścianach minimalnie ściskanych różnej długości rysy przebiegały głównie przez spoiny wsporne i czołowe, a sporadycznie przez elementy murowe. W ścianach maksymalnie ściskanych rysy biegnęły głównie przez elementy murowe, incydentalnie przez spoiny czołowe i wsporne;



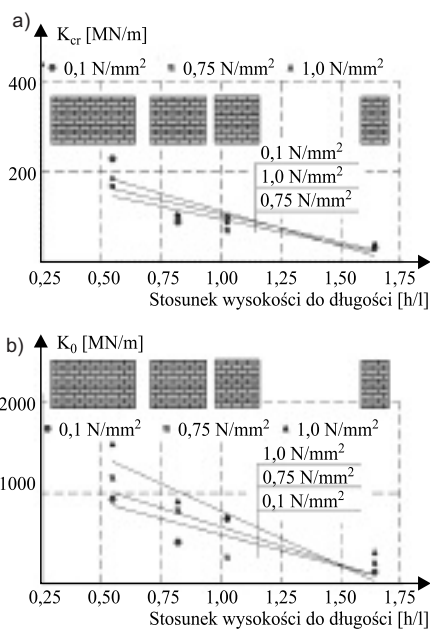
Rys. 13. Zestawienie uzyskanych wartości kątów odkształcenia i deformacji postaciowej w chwili zarysowania i zniszczenia wszystkich zbadanych elementów w zależności od wartości σ_c i kształtu ściany: a) kąty odkształcenia postaciowego w chwili zarysowania – Θ_{cr} , b) kąty deformacji postaciowej w chwili zniszczenia – Θ_u

• zniszczenie ścian niezbrojonych poprzedzone było znacznymi deformacjami postaciowymi oraz wystąpieniem rys o rozwarciu przekraczającym 1 mm;

• w zakresie naprężeń ścinających określonych w chwili zarysowania τ_{cr} i zniszczenia τ_u stwierdzono, że w ścianach bez zbrojenia o największej długości ściskanych do wartości 0,75 N/mm² naprężenia τ_{cr} wzrosły o 90% w stosunku do naprężeń uzyskanych w ścianie minimalnie ściskanej. W ścianach mniejszej długości wzrost naprężeń rysujących w stosunku do modeli ściskanych do wartości 0,1 N/mm², z wyjątkiem ścian serii HOS-AAC-0/5 były porównywalne lub mniejsze. Także w odniesieniu do naprężeń niszczących τ_u wzrost naprężeń niszczących ścian serii HOS-AAC wyniósł przeszło 90%, w seriach ścian o mniejszej długości wartości naprężeń niszczących były porównywalne lub mniejsze;

• w przypadku kątów odkształcenia postaciowego w chwili zarysowania Θ_{cr} i zniszczenia Θ_u stwierdzono, że:

■ ze wzrostem wartości wstępnych naprężeń ściskających wartości kątów od-



Rys. 14. Zestawienie uzyskanych całkowitych sztywności wszystkich zbadanych elementów w zależności od wartości σ_c i kształtu ściany: a) sztywność w chwili zarysowania – K_{cr} , b) początkowa sztywność – K_0

Fig. 14. Summary of obtained stiffness of all examined elements according to σ_c and wall shape: a) stiffness at time of cracking – K_{cr} , b) initial stiffness – K_0

kształcenia postaciowego w chwili zarysowania także się zwiększyły. W ścianach referencyjnych bez zbrojenia serii HOS-AAC maksymalny wzrost kątów odkształcenia postaciowego Θ_{cr} wyniósł 158%. Natomiast w ścianach najmniejszej długości maksymalny wzrost kąta odkształcenia to 57%. Maksymalny wzrost deformacji Θ_u w ścianach o największej długości wyniósł 152%, a wraz ze wzrostem smukłości ścian deformacje ulegały zmniejszeniu. W ścianach serii HOS-AAC-1/3 maksymalne deformacje postaciowe ścian były większe o 57% w porównaniu z deformacjami ścian minimalnie ściskanych;

■ zmiana długości ściany nie miała istotnego wpływu na zmianę wartości kątów odkształcenia postaciowego niezależnie od wartości wstępnych naprężeń ściskających. Z kolei w wypadku deformacji w chwili zniszczenia, wzrost długości ściany spowodował wyraźny wzrost deformacji postaciowych Θ_u . Zauważalna była tendencja, że ze wzrostem wartości wstępnych naprężeń ściskających zwiększały się wartości kątów deformacji postaciowych.

Badania początkowej sztywności K_0 i sztywności w chwili zarysowania K_{cr} wykazały, że:

• największy wzrost początkowej sztywności rzędu 174% stwierdzono w ścianie serii HOS-AAC-1/3. W pozostałych ścianach, także w ścianach referencyjnych, wzrost sztywności K_0 w stosunku do ścian minimalnie ściskanych był mniejszy. W chwili zarysowania tendencja była nieco inna. W ścianach referencyjnych sztywność w chwili zarysowania ścian ściskanych była mniejsza niż ścian minimalnie ściskanych. Ze wzrostem smukłości ścian, sztywność K_{cr} ścian ścinanych zwiększała się w porównaniu ze sztywnością ścian minimalnie ściskanych do wartości 0,1 N/mm²;

• początkowa sztywność ścian oraz sztywność określona w chwili zarysowania wyraźnie się zwiększała ze wzrostem długości ścian. Największy wzrost sztywności K_{cr} stwierdzono w ścianach minimalnie ściskanych. Natomiast wzrost początkowej sztywności był największy w ścianach wstępnie ściskanych do wartości 0,75 N/mm² i 1,0 N/mm².

Autor wyraża podziękowania firmie Solbet Sp. z o.o. za podjęcie współpracy z Katedrą Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej oraz merytoryczną i materialną pomoc przy realizacji przedstawionych badań.

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 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. 2015. „Wpływ rodzaju zaprawy na parametry mechaniczne murów z betonu komórkowego poddanych ścinaniu – odkształcalność postaciowa”. *Materiały Budowlane* 515 (7): 116 ÷ 119. DOI: 10.15199/33.2015.07.32.
- [5] Jasiński Radosław. 2017. „Badania wpływu kształtu ścian murowanych z elementów silikatowych poddanych ścinaniu”. *Materiały Budowlane* 536 (4): 21 ÷ 26. DOI: 10.15199/33.2017.04.05.
- [6] PN-EN 1052-1:2000 Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [7] PN-EN 1052-3:2004 Metody badań murów. Część 3: Określanie początkowej wytrzymałości muru na ścinanie.

Przyjęto do druku: 28.03.2017 r.