

dr inż. Iwona Galman¹⁾
dr hab. inż. Radosław Jasiński, prof. PŚ^{1)*}

Wytrzymałość niezbrojonych połączeń ścian z ABK

Strength of unreinforced joints of masonry walls made of AAC

DOI: 10.15199/33.2019.03.13

Streszczenie. Artykuł przedstawia syntezę wyników własnych badań niezbrojonych połączeń ścian wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego. Omówiono zależności obciążenie – przemieszczenie niezbrojonych połączeń z klasycznym wiązaniem murarskim. Wykorzystując normowe procedury, podano parametry umożliwiające projektowanie połączeń.

Słowa kluczowe: konstrukcje murowe; sztywność połączeń; wytrzymałość na ścinanie połączenia ścian.

Abstract. The article presents a synthesis of own results of unreinforced joints of walls made of autoclaved aerated concrete masonry units. The relationships of the load-displacement of unreinforced joints with the classical masonry bond are discussed. Using the standard procedures, parameters enabling the design of joint were given.

Keywords: masonry structures; stiffening of joints; strength of masonry walls.

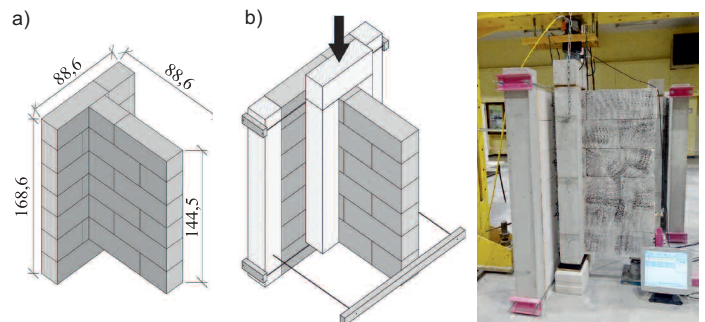
W pracach [2, 3] omówiono problematykę połączeń ścian w świetle badań oraz ustaleń normowych. Wykazano słabe rozeznanie empiryczne i niedostateczne ustalenia normowe, pozwalające na konstruowanie i projektowanie połączeń ścian. W związku z tym, opracowano program badań własnych, których rezultatem będzie uzupełnienie wyraźnie widocznej luki w aktualnym stanie wiedzy wraz z praktyczną aplikacją. Wykonane dotychczas i planowane w przyszłości badania umożliwią kompletny opis:

- mechanizmu zarysowania i zniszczenia połączenia ścian wykonanych z aktualnie najpowszechniej stosowanych w kraju elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK), silikatów oraz ceramiki;
- zależności obciążenie – przemieszczenie, sztywności, sił rysujących i niszczących połączeń ścian z zastosowaniem tradycyjnego wiązania murarskiego oraz łączników stalowych.

W artykule przedstawiono wyniki badań serii niezbrojonych połączeń ścian wykonanych z ABK. Na podstawie zaleceń Eurokodu 1990 [5] określono charakterystyczne wartości parametrów umożliwiające projektowanie tego typu konstrukcji.

Wyniki badań

Wykonano i zbadano 6 modeli niezbrojonych połączeń w kształcie litery T. Środek oraz półka miały po ~89 cm długości, a grubość każdego fragmentu ściany była identyczna i wynosiła 18 cm (rysunek 1a). Modele oznaczono umownie literą P i kolejnym numerem. Badania modeli prowadzone były i są w specjalnie do tego celu skonstruowanym stanowisku badawczym składającym się ze stalowej ramy oraz poziomych elementów krepujących (rysunek 1b). Siła wywołująca ścinanie połączenia pochodziła z siłownika hydraulicznego, a jej rejestracji dokonywano przy użyciu elektrooporowego siłomierza. Modele obciążano w jednym cyklu, aż do zniszczenia. Obciążenie ścinające przekazywane było liniowo na całej wysokości muru. Podczas badań dokonywano ciągłej rejestracji ob-



Rys 1. Modele do badań: a) geometria niezbrojonych połączeń ścian; b) schemat i widok stanowiska do badania połączeń ścian
Fig. 1. Test model: a) geometry of unreinforced joints of masonry walls; b) scheme and view of the test stand

ciążenia oraz przemieszczeń ściany obciążonej względem ściany nieobciążonej za pomocą systemu do optycznej korelacji obrazu (DIC) oraz indukcyjnych przetworników przemieszczeń.

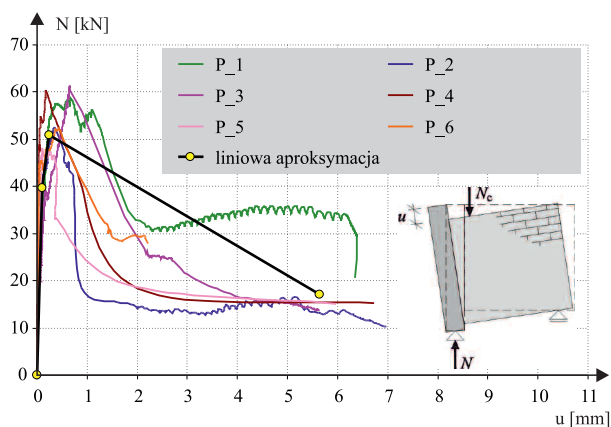
Badania przeprowadzono na modelach z elementów murowych z ABK na zaprawie systemowej do spoin cienkowarstwowych, bez wypełniania spoin czołowych. Określona wg PN-EN 1052-1:2000 [6] i przedstawiona w pracy [4] średnia i charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie muru wynosiła $f_c = 2,97 \text{ N/mm}^2$ i $f_k = 2,48 \text{ N/mm}^2$, a moduł sprężystości $E_m = 2040 \text{ N/mm}^2$. Z kolei wytrzymałość na ścinanie wyznaczona wg PN-EN 1052-3:2004 i zaprezentowana w [7] była równa $f_{vo} = 0,31 \text{ N/mm}^2$, a moduł Kirchoffa określony wg ASTM E519-81 [1] wynosił $G = 329 \text{ N/mm}^2$.

Wyniki i analiza badań

Zaobserwowany w badaniach sposób pracy niezbrojonego połączenia najlepiej obrazują wykresy zależności obciążenie N – przemieszczenie u (rysunek 2). Do chwili zarysowania styku, które wystąpiło przy obciążeniu $N_{cr} = 27,3 - 54,7 \text{ kN}$, przemieszczenie u narastało niemal wprost proporcjonalnie, a tę fazę pracy ściany nazwano fazą sprężystą. Po zarysowaniu w fazie postsprężystej zaobserwowano zmniejszenie sztywności, ale połączenia wykazywały w dalszym ciągu

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

^{*)} Adres do korespondencji: radoslaw.jasinski@polsl.pl



Rys. 2. Zależność obciążenie – przemieszczenie wszystkich badanych modeli
 Fig. 2. Relationship between the total force and mean relative displacement of the joint all testing models

zdolność do przyjmowania obciążenia. Faza ta zakończyła się przy maksymalnych siłach rzędu $N_u = 38,6 - 60,4$ kN.

Dalsze próby obciążenia w fazie zniszczenia spowodowały wyraźny spadek wartości sił rejestrowanych przez siłomierz, którym towarzyszył wzrost względnych przemieszczeń. Siły nie zmniejszyły się do zera, a połączenie zdolne było przejąć pewne obciążenie. W końcowej fazie zaobserwowano wzrost rejestrowanej siły. Ostatnie zarejestrowane siły nazwane umownie siłami rezydualnymi poprzedzały zniszczenie, które związane było z całkowitym odspojeniem się łączonych elementów i wzajemnym obrotem. Siły te wyniosły $N_r = 10,2 - 27,9$ kN. Wartości sił i odpowiadających im przemieszczeń zestawiono w tabeli, a liniową aproksymację wyników powstałą ze średnich wartości sił i przemieszczeń pokazano na rysunku 2.

Zgodnie z zaleceniami EC-6 [8] do sprawdzenia nośności połączenia konieczna jest znajomość **charakterystycznej wytrzymałości na ścinanie połączenia**. Korzystając z wyników badań zawartych w tabeli oraz zaleceń podanych w załączniku D7.2 Eurokodu [5], obliczono wartość charakterystyczną wg przekształconej zależności (D.1) do postaci:

Wyniki badań
 Test results

Model	Siła rysująca		Siła maksymalna		Siła rezydualna		Przemieszczenie w chwili zarysowania		Przemieszczenie przy maksymalnej sile		Przemieszczenie w chwili zniszczenia	
	N_{cr} [kN]	$N_{cr,mv}$ [kN]	$N_{u,d}$ [kN]	$N_{u,mv}$ [kN]	$N_{r,d}$ [kN]	$N_{r,mv}$ [kN]	$u_{cr,d}$ [mm]	$u_{cr,mv}$ [mm]	$u_{u,d}$ [mm]	$u_{u,mv}$ [mm]	$u_{z,d}$ [mm]	$u_{z,mv}$ [mm]
P_1	27,3		56,3		20,7		0,07		0,31		6,36	
P_2	42,6		50,0		10,2		0,12		0,25		6,97	
P_3	31,2	39,6	38,6	51,0	13,8	17,1	0,12	0,10	0,16	0,24	5,64	6,56
P_4	54,7	(9,97)*	60,4	(7,53)*	15,2		0,14		0,18		6,72	
P_5	37,0		48,1		15,0		0,07		0,10		5,97	
P_6	44,9		52,5		27,9		0,10		0,43		2,22	

* – odchylenie standardowe z próby $s = \sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 / N - 1}$

$$X_k = \eta_d(m_x - k_n s) \tag{1}$$

gdzie:
 $\eta_d = 1$ – obliczeniowy współczynnik konwersji; m_x – średnia wartość wyników pomiarów; $k_n = 2,18$ – współczynnik odczytany z tablicy D.1 PN-EN 1990:2004 [5] przy nieznannej wartości odchylenia standardowego w populacji.

Charakterystyczna wartość naprężeń rysujących stosowana np. w sprawdzeniu warunków SLS wynosi:

$$f_{crjk} = (N_{cr} - k_n s) / A = 0,07 \text{ N/mm}^2, \tag{2}$$

a wytrzymałość na ścinanie połączenia:

$$f_{ujk} = (N_u - k_n s) / A = 0,133 \text{ N/mm}^2 \tag{3}$$

W praktyce projektowej parametry wytrzymałościowe połączenia najkorzystniej jest wyrażać przez charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie muru, która w omawianym przypadku wynosi odpowiednio: $f_{crjk} = 0,03f_k$ oraz $f_{ujk} = 0,05f_k$. W porównaniu z wytrzymałością na ścinanie muru z ABK podaną w tablicy NA.7 z EC-6 równą $f_{vfk} = 0,1f_k$ uzyskano w chwili zniszczenia o połowę mniejszą wytrzymałość na ścinanie połączenia.

Podsumowanie

Zaprezentowane badania stanowią fragment badań obecnie prowadzonych w Laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej dotyczących połączeń ścian wykonywanych z autoklawizowanego betonu komórkowego. W artykule przedstawiono zaledwie połączenie ścian w postaci klasycznego przewiązania murarskiego. Określono i zdefiniowano poszczególne fazy badań, które posłużą do budowy empirycznego modelu pracy połączenia. Korzystając z uzyskanych wartości sił rysujących i niszczących, wyznaczono charakterystyczne wartości wytrzymałości w chwili zarysowania i zniszczenia.

Literatura

[1] ASTM E519-81 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) of Masonry Assemblages.
 [2] Galman Iwona, Radosław Jasiński. 2017. „Połączenia ścian murowych, podstawy teoretyczne”. *Materiały Budowlane* 540 (8): 190 ÷ 193. DOI: 10.15199/33.2017.08.54.
 [3] Galman Iwona, Radosław Jasiński, T. Hahn, K. Konopka. 2017. „Badanie połączeń ścian murowych”. *Materiały Budowlane* 542 (10): 94 ÷ 96. DOI: 10.15199/33.2017.10.32.
 [4] 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, No. 12, str. 1329 ÷ 1343, DOI: 10.17265/1934-7359/2016.12.004.
 [5] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
 [6] PN-EN 1052-1:2000 Metody badań murów. Część 1. Określenie wytrzymałości na ściskanie.
 [7] PN-EN 1052-3:2004 Metody badań murów. Część 3. Określenie początkowej wytrzymałości muru na ścinanie.
 [8] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1. Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.

Podziękowania

Dziękujemy firmie Solbet Sp. z o.o. za cenne merytoryczne wskazówki oraz dostarczenie elementów murowych i zapraw do wykonania modeli badawczych i przeprowadzenia badań.

Przyjęto do druku: 04.02.2019 r.

Partner działu: Stowarzyszenie Producentów Betonów

