

Iwona SEWERYN\*  
Politechnika Śląska

## WYTRZYMAŁOŚĆ NA ZGINANIE MURÓW Z CEGŁY PODDANYCH OBCIĄŻENIOM CYKLICZNYM W KIERUNKU PROSTOPADŁYM DO SPOIN WSPORNYCH

**Streszczenie.** W referacie zaprezentowano wyniki badań ośmiu murów wykonanych z cegły pełnej ceramicznej, podanych zginaniu cyklicznemu. Obserwowano wpływ powtarzających się cykli obciążenie-odciążenie na zachowanie się badanych elementów próbnych. Przedstawiono wyniki badań oraz sposób i obraz zniszczenia.

## FLEXURAL STRENGTH OF CLAY BRICK MASONRY SUBJECTED TO CYCLIC LOADING IN DIRECTION PERPENDICULAR TO BED JOINTS

**Summary.** The behaviour of eight clay brick masonry elements under cyclic laterally loading is presented. The influence of repeating cycles: loading - unloading on behaviour of tested specimens was observed. The results with some analysis have been shown. The failure models and crack patterns are presented.

### 1. Wprowadzenie

Wytrzymałość muru na zginanie (rozciąganie przy zginaniu) według Eurokodu 6 [1] oraz opartej na jego zaleceniach PN-B-3002:2007 [2], wyznacza się na podstawie badań elementów próbnych zgodnie z procedurami zawartymi w normie PN-EN 1052-2 [3]. W sytuacji braku dostępu do wyników badań zezwala się na skorzystanie z tablic, które to wartość charakterystyczną wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu  $f_{xk2}$  uzależniają od rodzaju elementów murowych oraz wytrzymałości na ściskanie zaprawy. Są to jednak każdorazowo wartości wyznaczone w sposób doraźny i nie odzwierciedlają zachowania się muru w sytuacji, gdy jest on poddany obciążeniom działającym cyklicznie, a w rzeczywistości w taki właśnie sposób

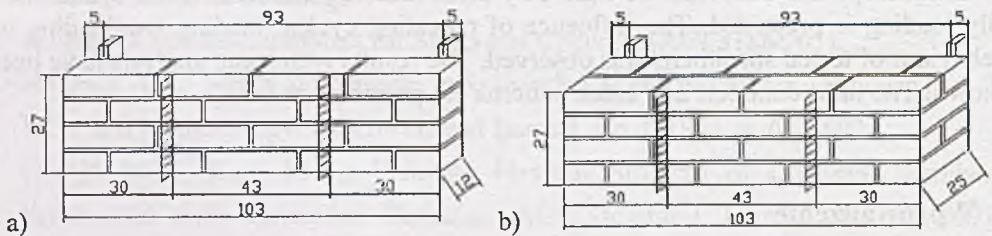
\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Kubica, prof. w Politechnice Śląskiej.

oddziałuje na ścianę murową np. wiatr. Zagadnienie zachowania się murów zginanych doraźnie jest już od lat szeroko analizowane między innymi przez van der Pluijma [4], badaczy brytyjskich [5] czy też innych [6, 7]. Nadal trudno natomiast znaleźć wiarygodne dane dotyczące cyklicznego zginania murów. Dlatego, aby zbadać, czy charakter obciążenia (doraźne czy też cykliczne) oraz grubość muru wpływają na jego zachowanie się i uzyskiwane wytrzymałości na zginanie, przeprowadzono prezentowane badania.

## 2. Badania doświadczalne

### 2.1. Elementy badawcze

Przebadano łącznie dwie serie murów poddanych zginaniu w kierunku prostopadłym do spoin wspornych. Kształt oraz wymiary murów pierwszej serii (oznaczonej jako W) zostały dobrane jako minimalne zalecane przez normę PN-EN 1052-2 [3]. Mury serii drugiej (oznaczone jako WW) miały podwójną grubość (25 cm), typową dla murowanych z cegły ścian nośnych. Na rys.1 pokazano kształt, wymiary oraz sposób przyłożenia siły elementów badawczych serii W i WW.



Rys. 1. Kształt i wymiary elementu badawczego: a) seria W; b) seria WW

Fig. 1. Shape and overall dimension of tests' specimens: a) series W; b) series WW

W połowie rozpiętości belki oraz w miejscu działania siły zamocowano czujniki indukcyjne służące do pomiaru przemieszczeń liniowych.

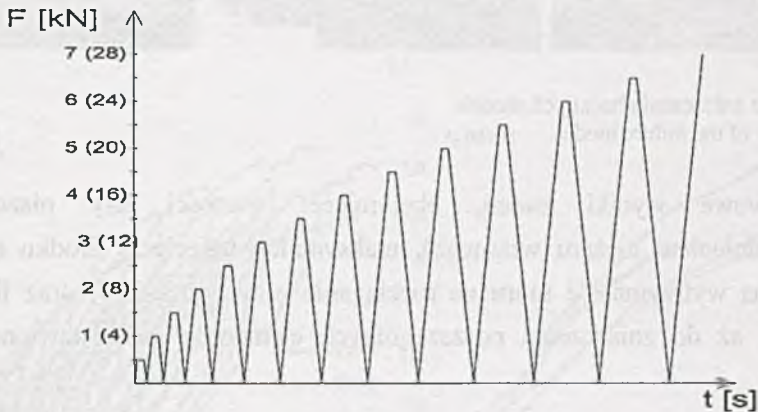
Wszystkie elementy badawcze wykonano z cegieł ceramicznych pełnych klasy „15”, pochodzących z jednej partii, oraz na zaprawie cementowo-wapiennej klasy M5 (1:1:6), o grubości spoin 10 mm.

### 2.2. Technika i przebieg badań

Mury badano w prasie o zakresie 0÷100 kN. Elementy, jako porównawcze Wd-1 oraz WWd-1, obciążano w jednym cyklu. Pozostałe sześć murów, oznaczonych jako



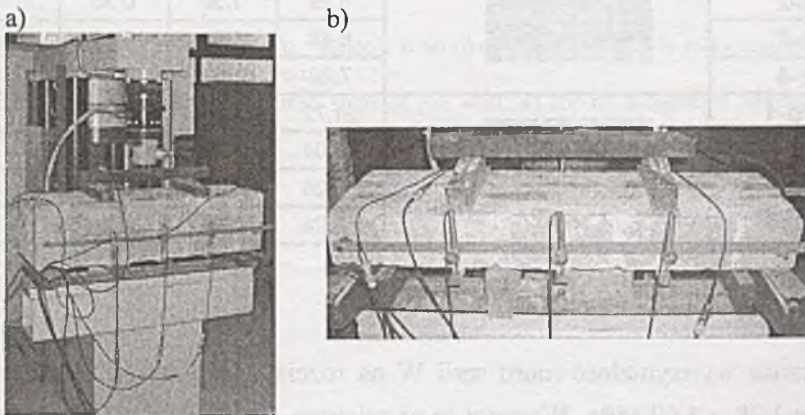
Wc-2÷4 oraz WWc-2÷4, poddano działaniu cyklicznej siły narastającej w każdym kolejnym cyklu. Pierwszy poziom obciążenia murów z serii Wc wynosił 0,5 kN, a każdy kolejny cykl był powiększany o następne 0,5 kN. Wartość siły w pierwszym cyklu oraz przyrost jej wartości murów o podwójnej grubości (seria WWc) to 2 kN. Prędkość obciążania wszystkich modeli była identyczna i wynosiła 0,2 kN/s. W czasie każdego cyklu obciążenie maksymalne utrzymywano ok. 1 minutę. Na rys. 2 przedstawiono graficznie schemat obciążenia murów. Na osi pionowej podano wartości siły obciążającej dla murów serii W, natomiast w nawiasach wartość dla serii WW.



Rys. 2. Schemat obciążenia murów zginanych

Fig. 2. Scheme of the specimens loading

Widok przykładowych elementów badawczych przygotowanych do badań przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Widok modeli wraz z osadzonymi ramkami pomiarowymi: a) model serii WW;

b) model serii W

Fig. 3. View of the testspecimens with fixed measuring devices: a) model WW series;

b) model W series

### 3. Wyniki

Wszystkie zbadane modele niszczyły się na skutek powstania jednej lub dwóch rys biegnących prostopadle do spoin wspornych, co przykładowo pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Obraz zniszczenia badanych modeli  
Fig. 4. View of the failure modes

Podstawowe wyniki badań, obejmujące: wartości siły niszczącej  $N_u$  (z uwzględnieniem ciężaru własnego), maksymalne ugięcie w środku rozpiętości, wyznaczoną wytrzymałość muru na rozciąganie przy zginaniu  $f_x$  oraz liczbę cykli obciążenia aż do zniszczenia poszczególnych elementów przedstawiono zbiorczo w tabelicy 1.

Tablica 1

Wyniki badań murów rozciąganych przy zginaniu

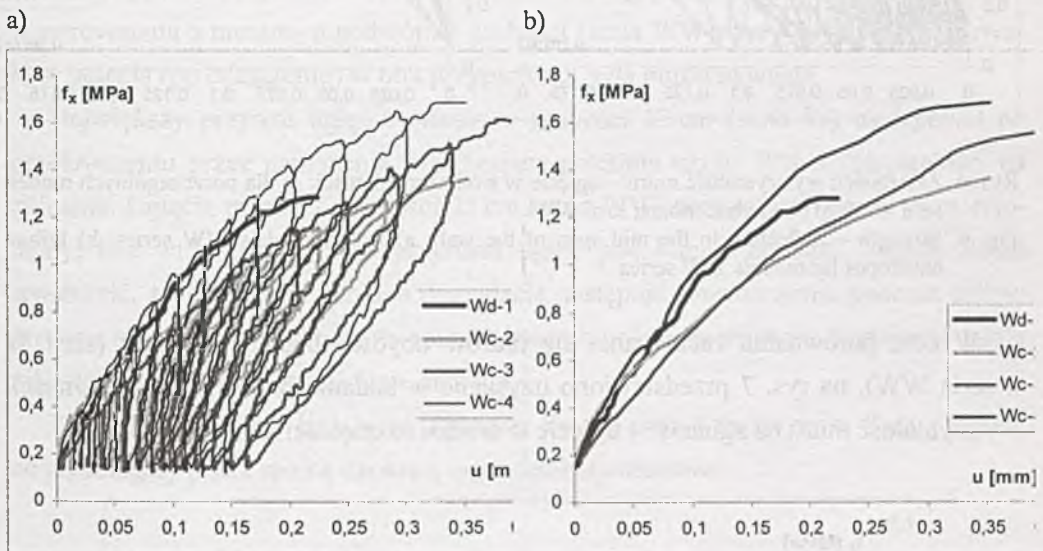
nazwa elementy badawczego	widok elementu badawczego	$N_u$ [kN]	$f_x$ [MPa]	$u$ [mm]	liczba cykli
Wd-1		5,55	1,28	0,22	1
Wc-2		5,89	1,36	0,35	11
Wc-3		6,89	1,59	0,43	13
Wc-4		7,29	1,69	0,32	14
WWd-1		21,72	1,16	0,18	1
WWc-2		26,04	1,39	0,18	12
WWc-3		16,26	0,87	0,19	8
WWc-4		23,28	1,24	0,21	13

Obliczona wytrzymałość muru serii W na rozciąganie przy zginaniu wahała się pomiędzy 1,28 a 1,69 MPa. Wartości te są większe o prawie 30% w porównaniu z wytrzymałością murów o podwójnej wysokości (seria WW). Nie zaobserwowano wyraźnych różnic pomiędzy wytrzymałością muru na zginanie elementów badawczych obciążanych cyklicznie oraz doraźnie.



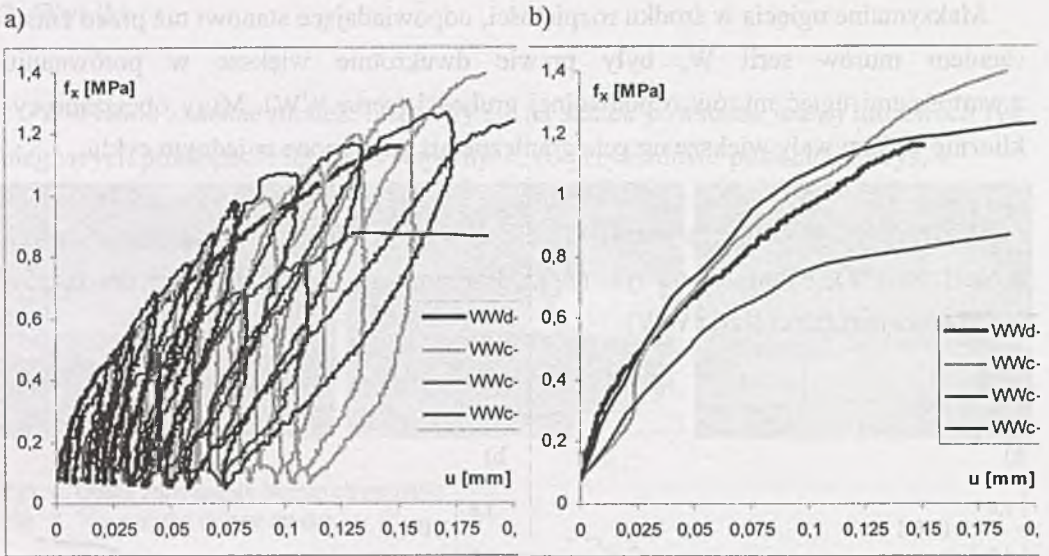
Maksymalne ugięcia w środku rozpiętości, odpowiadające stanowi tuż przed zniszczeniem murów serii W, były prawie dwukrotnie większe w porównaniu z wartościami ugięć murów o podwójnej grubości (seria WW). Mury obciążane cyklicznie wykazywały większe ugięcia graniczne niż zniszczone w jednym cyklu.

Wykresy na rys. 5 przedstawiają zależności wytrzymałość muru (ugięcie badanych modeli serii W), natomiast na rys. 6 przedstawiono te same zależności dla murów o podwójnej grubości (seria WW).



Rys. 5. Zależności: wytrzymałość muru – ugięcie w środku rozpiętości: a) dla poszczególnych modeli serii W; b) obwiednie modeli serii W

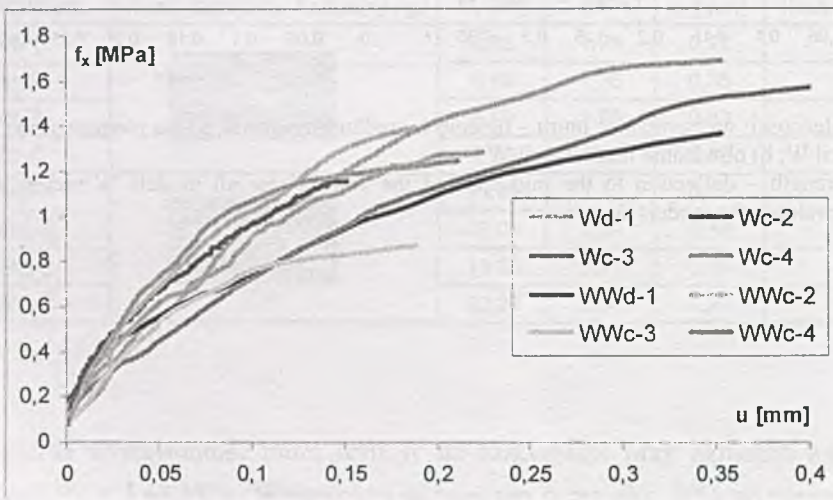
Fig. 5. Strength – deflection in the mid span of the wall: a) for all models W series; b) failure envelopes for models W series.



Rys. 6. Zależności: wytrzymałość muru – ugięcie w środku rozpiętości: a) dla poszczególnych modeli serii WW; b) obwiednie modeli serii WW

Fig. 6. Strength – deflection in the mid span of the wall: a) for all models WW series; b) failure envelopes for models WW series

W celu porównania zachowania się murów obydwu badanych typów (serii W z serią WW), na rys. 7 przedstawiono uzyskane w badaniach obwiednie zależności: wytrzymałość muru na zginanie – ugięcie w środku rozpiętości danego modelu.



Rys. 7. Obwiednia zależności: wytrzymałość muru – ugięcie w środku rozpiętości dla modeli serii W oraz WW

Fig. 7. Failure envelopes strength – deflection in the mid span of the wall for models W and WW series



#### 4. Analiza uzyskanych wyników badań eksperymentalnych

Zaobserwowano różnicę ponad 20% pomiędzy obliczoną wytrzymałością murów o grubości  $\frac{1}{2}$  cegły (seria W) i grubości jednej cegły (seria WW). Nie potwierdzają się więc założenia normowe, które to wytrzymałość muru nie uzależniają od grubości.

Pod wpływem cyklicznego działania siły zginającej zaobserwowano ugięcia badanego muru, które całkowicie nie zanikało pomimo odciążenia. Zatem cykliczne zginanie powoduje trwałe deformacje pomimo braku widocznych zarysowań. Świadczy to o stopniowo narastającym procesie degradacji muru obciążanego cyklicznie.

Mury typu W (o grubości 12 cm) wykazywały ugięcie prawie dwukrotnie większe w porównaniu z murami o podwójnej grubości (seria WW), przy czym wartość trwałego ugięcia (po odciążeniu) w obu przypadkach była porównywalna.

Największy przyrost ugięcia murów o grubości 12 cm (seria W) następował po przekroczeniu przez naprężenia rozciągające poziomu około 70% wytrzymałości na zginanie. Ugięcia murów o grubości 25 cm (seria WW) narastały w sposób proporcjonalny, bez widocznej zmiany przyrostu ugięć pod koniec badania. Można zatem stwierdzić, że w murach cienkich degradacja następuje równomiernie podczas całego procesu obciążania, natomiast w murach pogrubionych intensywna degradacja miała miejsce dopiero w końcowej fazie badania.

Wszystkie elementy badawcze wykazały kruchą postać zniszczenia. Rysy niszczące przebiegały przez spoinę czołową oraz elementy murowe.

#### 5. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono wyniki i wstępne omówienie badań zachowania się murów z cegły pełnej ceramicznej na zaprawie cementowo-wapiennej, poddanych cyklicznym obciążeniom rozciągającym przy zginaniu. Porównano otrzymane wyniki z rezultatami badań doraźnych. Z uwagi na małą liczbę modeli badawczych, uzyskane wyniki należy traktować jako wstępne i rozpatrywać jedynie pod względem jakościowym. Na podstawie przedstawionych badań można sformułować następujące wnioski:

- Nie zaobserwowano wyraźnej różnicy pomiędzy zachowaniem się, sposobem niszczenia oraz wyznaczonymi wartościami wytrzymałości na zginanie murów podanych cyklicznym oraz doraźnym obciążeniom.
- Wartości ugięć w środku wysokości murów o grubości 12 cm były prawie dwukrotnie wyższe w porównaniu z murami o grubości jednej cegły (25 cm).

- Wyznaczona wartość wytrzymałości na zginanie murów o grubości 12 cm była o ponad 20% większa w porównaniu z murami o grubości 25 cm.
- Największy przyrost ugięć murów zginanych o grubości  $\frac{1}{2}$  cegły następował po przekroczeniu przez naprężenia rozciągające poziomu około 70% wytrzymałości na zginanie, podczas gdy przyrost ugięć murów o grubości jednej cegły narastał proporcjonalnie.

## BIBLIOGRAFIA

1. EN 1996-1-1:2005 "Eurocode 6. Design of Masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures".
2. PN-B-03002:2007 „Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie”.
3. PN-EN 1052-2:2001 „Metody badań murów. Określenie wytrzymałości muru na rozciąganie przy zginaniu”.
4. van de Pluijm R.: Out-of-Plane Bending of Masonry. Behaviour and Strength. PhD Tesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 1999.
5. Kanyeto O.J.: Investigation of the Behaviour of Laterally Loaded Thin-Jointed Concrete-Block Masonry Panels. PhD Tesis, Kingston University, 2007.
6. Eidelwein A.P., Duarte R.B.: The Effect on Rendering on the Flexural Strength of Brickwork. 5<sup>th</sup> International Masonry Conference, London 1998.
7. Hansen K. F.: Strength and Deformation Capacity of Laterally Loaded Masonry – Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Masonry Conference. British Masonry Society Proceedings, No. 8, London 1998, p. 165-169.

Recenzent: Prof. zw. dr inż. Bohdan Lewicki