

Iwona SEWERYN*
Politechnika Śląska

WPLYW KIERUNKU OBCIĄŻENIA NA ZACHOWANIE SIĘ ORAZ PARAMETRY MECHANICZNE MURÓW Z CEGŁY CYKLICZNIE ŚCISKANYCH

Streszczenie. W referacie zaprezentowano wyniki badań murów poddanych cyklicznemu obciążeniu ściskającemu, zorientowanemu równoległe i prostopadłe do spoin wspornych. Przeanalizowano wpływ kierunku obciążenia muru na przebieg zależności $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ oraz podstawowe parametry mechaniczne. Omówiono sposoby oraz obrazy zniszczenia badanych elementów.

THE INFLUENCE OF LOADING DIRECTION ON BEHAVIOUR AND MECHANICAL PROPERTIES OF BRICK MASONRY UNDER CYCLIC COMPRESSIVE LOADING

Summary. The tests results of two types of unreinforced clay brick masonry wall specimens subjected to cyclic loading in both orthogonal directions will be presented. The influence of loading direction on $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ relationship and basic mechanical properties is analysed. The failure models and crack patterns of tested specimens are discussed.

1. Wprowadzenie

Zachowanie się konstrukcji murowych poddanych obciążeniom cyklicznym bądź dynamicznym, z uwagi na występującą anizotropię muru, ściśle zależy od zorientowania względem spoin wspornych kierunku oddziaływania wymuszającego. W analizach tak obciążonych konstrukcji często bardzo istotna jest składowa pozioma obciążenia dynamicznego. Stąd istnieje konieczność poprawnego przyjmowania do obliczeń parametrów mechanicznych muru zarówno wyznaczonych dla kierunku obciążania prostopadłego, jak i równoległego do spoin wspornych. To zagadnienie było już omawiane w zakresie doraźnych obciążeń statycznych, np. w pracach [1, 7, 8]. Obok kierunku obciążenia istotnym czynnikiem decydującym o zachowaniu się i parametrach mechanicznych muru jest sposób obciążenia: doraźnie dynamicz-

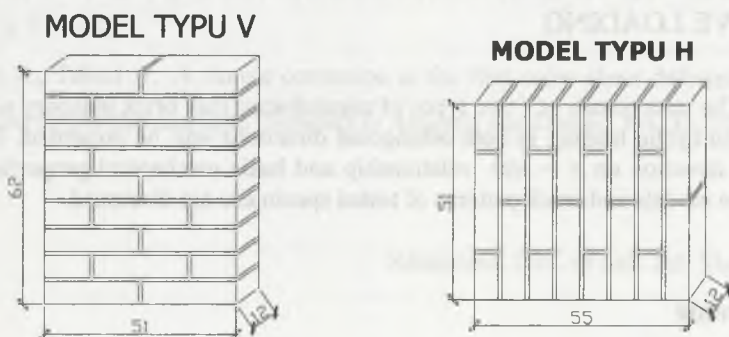
*Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Kubica, prof. w Politechnice Śląskiej.

nie (w jednym cyklu) czy też statycznie cyklicznie. Problemy te wielokrotnie poruszał także Ciesielski, m.in. w pracy [5]. Brak jednoznacznych i konkretnych zaleceń dotyczących przyjmowania parametrów mechanicznych muru w sytuacji złożonych przypadków obciążeń dynamicznych zachęca do pogłębiania i badania tego zagadnienia.

2. Badania doświadczalne

2.1. Elementy badawcze

Badania przeprowadzono na dwóch typach elementów badawczych wykonanych z cegły ceramicznej pełnej klasy „15” i zaprawie cementowo-wapiennej M5. Wszystkie elementy przygotowano zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1052-1:2000 [6]. Elementy obciążane prostopadle do spoin wspornych oznaczono jako V, natomiast obciążane równoległe do tych spoin jako H. Łącznie wykonano po cztery mury każdego typu. Kształt oraz wymiary elementów badawczych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Kształt i wymiary elementów badawczych
Fig. 1. Shape and overall dimensions of tests' specimens

Pomiar przemieszczeń prowadzono za pomocą czujników indukcyjnych zamocowanych na obydwu bocznych płaszczyznach badanego elementu.

Każdorazowo, jeden z elementów badanej serii (oznaczone jako V1, H1) obciążano do rażnie, natomiast pozostałe trzy murki poddano obciążeniom cyklicznym (elementy V2, V3, V4 oraz H2, H3, H4).

2.2. Technika i przebieg badań

Badania przeprowadzono w prasie hydraulicznej o zakresie 2000 kN. Przed umieszczeniem w maszynie wytrzymałościowej górną i dolną powierzchnię elementów badawczych wyrównywano warstwą zaprawy cementowej. W celu wyeliminowania wpływu tarcia pomiędzy głowicami prasy a powierzchniami elementów próbnych zastosowano podkładkę z płyty teflonowej o grubości 10 mm.

Elementy (poza V1 i H1) obciążano cyklicznie w sposób narastający w każdym kolejnym cyklu. Prędkość obciążania wynosiła 2 kN/s. Pierwszy poziom obciążenia wynosił 50 kN, a kolejne były zwiększane o 50 kN. W czasie każdego cyklu obciążenie utrzymywano około 3 minuty w celu ustabilizowania się stanu odkształcenia.

3. Wyniki oraz ich analiza

Podstawowe wyniki badań, obejmujące wartości ściskającego naprężenia rysującego σ_{cr} , naprężenia niszczącego σ_u , wartość odkształcenia w chwili zarysowania ε_{cr} oraz liczbę cykli, przedstawiono zbiorczo w tablicy 1.

Tablica 1

Wyniki badań murów obciążonych cyklicznie oraz doraźnie

Element badawczy	σ_{cr} [MPa]	σ_u [MPa]	ε_{cr} [mm/m]	σ_{cr}/σ_u	liczba cykli
V1	6,8	13,96	0,9	0,49	1
V2	6,5	13,04	0,95	0,50	16
V3	7,3	14,68	1,05	0,50	18
V4	6,9	11,43	1,15	0,60	15
H1	2,6	11,49	0,35	0,23	1
H2	2,3	11,11	0,48	0,21	16
H3	2,8	13,86	0,35	0,20	18
H4	2,2	9,92	0,45	0,22	14

Pierwsze zarysowania elementów ściskanych prostopadle do spoin wspornych (typu V) pojawiały się przy naprężeniach rzędu σ_{cr} 6,5 – 7,3 MPa. Wartość naprężeń niszczących σ_u wszystkich tak obciążanych elementów (łącznie z obciążanym doraźnie) była zbliżona i wahała się pomiędzy 11,43 – 14,68 MPa. Charakterystyczny jest fakt, że pomimo różnic w wartości naprężenia rysującego σ_{cr} oraz naprężenia niszczącego σ_u ich stosunek był dość zbliżony (od 0,49 do 0,60). Podobna sytuacja miała miejsce w przypadku murów obciążonych równolegle do spoiny wspornej. Stosunek naprężenia rysującego σ_{cr} oraz naprężenia niszczącego

σ_u był również zbliżony (od 0,20 do 0,23), chociaż o połowę mniejszy niż w przypadku ściskania w kierunku prostopadłym do spoin wspornych.

Nie zaobserwowano wyraźnej różnicy pomiędzy wartościami naprężeń niszczących elementów obciążonych doraźnie i cyklicznie.

Średnie wartości naprężenia rysującego $\sigma_{cr,śr}$, naprężenia niszczącego $\sigma_{u,śr}$ oraz odkształcenia rysującego $\varepsilon_{cr,śr}$ dla murów z danej serii przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Średnie wartości charakterystyczne z badań

	Średnia wartość naprężenia rysującego $\sigma_{cr,śr}$ [MPa]	Średnia wartość naprężenia niszczącego $\sigma_{u,śr}$ [MPa]	Średnia wartość odkształcenia rysującego $\varepsilon_{cr,śr}$ [MPa]
V	6,88	13,28	1,1
H	2,48	11,60	0,41

Wartości średniego naprężenia niszczącego $\sigma_{u,śr}$ elementów obciążonych prostopadłe i równoległe do spoin wspornych są zbliżone, a ich stosunek wynosi:

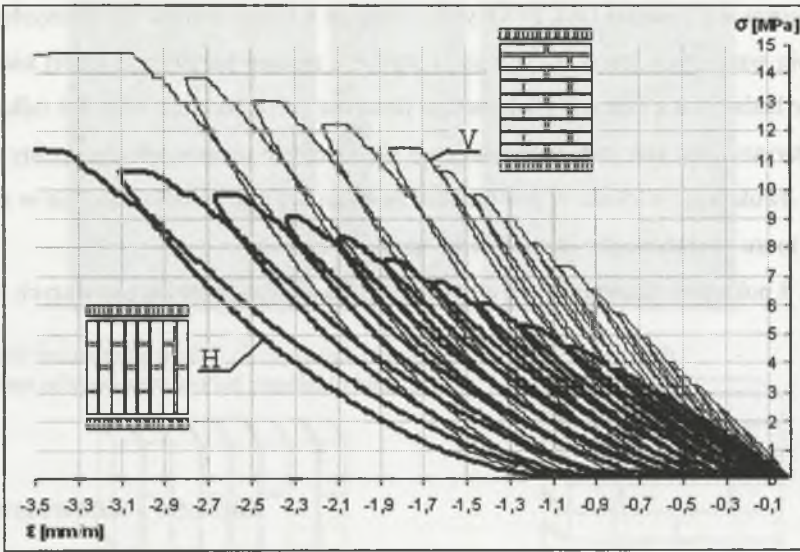
$$\frac{\sigma_{u,śr,V}}{\sigma_{u,śr,H}} = 1,14$$

Wyniki te różnią się od uzyskanych w badaniach [2], w których stosunek tych dwóch wielkości był mniejszy od 1. Z kolei inne badania [7] murów z bloczków z betonu komórkowego wykazały, że wytrzymałość muru ściskanego w kierunku prostopadłym do spoin wspornych jest aż o 30% większa w porównaniu z badaniem murów obciążonych w kierunku równoległym do spoin wspornych.

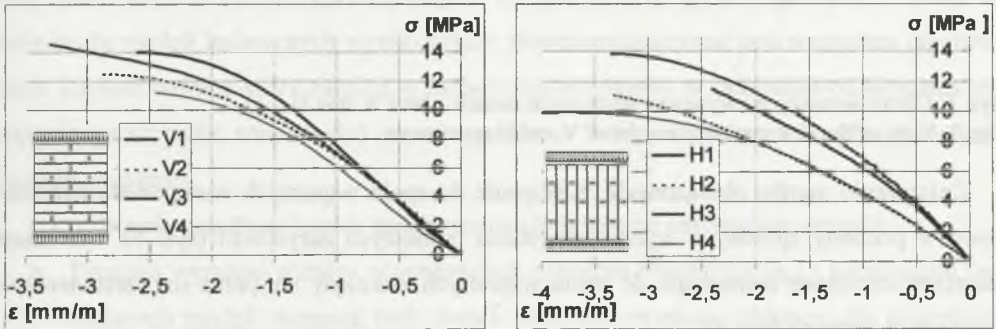
Bardzo duże różnice w wielkościach uzyskano w przypadku naprężeń rysujących. Mury ściskane równoległe do spoin wspornych rysowały się na poziomie 1/3 naprężeń rysujących, wyznaczonych dla elementów obciążanych prostopadłe do spoin wspornych:

$$\frac{\sigma_{cr,śr,V}}{\sigma_{cr,śr,H}} = 2,77$$

Na rys. 2 przedstawiono wyznaczoną z uśrednienia pomiarów z czterech czujników pionowego przemieszczenia charakterystykę $\sigma = \sigma(\varepsilon)$, czyli pionowe naprężenie normalne oraz odpowiadające mu odkształcenie normalne, dla przykładowego elementu obciążonego cyklicznie typu V i H. Natomiast na rys. 3 zestawiono odpowiednio: obwiednie naprężenie - odkształcenie z badań cyklicznych (mury V2-V4 oraz mury H2-H4) oraz zależność σ - ε elementu obciążanego doraźnie.



Rys. 2. Przykładowe zależności σ - ϵ obciążonych cyklicznie elementów z serii V oraz H
 Fig. 2. An example σ - ϵ relationships for elements of series V and H

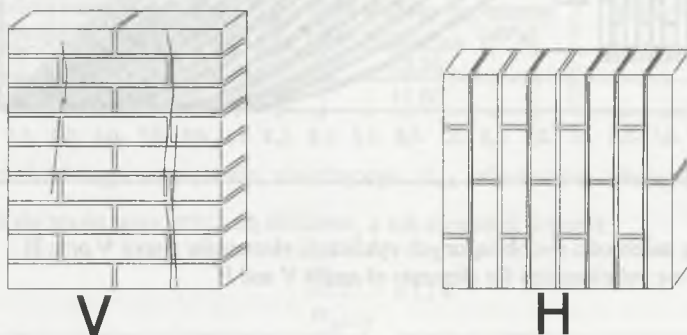


Rys. 3. Zależność σ - ϵ elementu obciążanego doraźnie V1, H1 oraz obwiednie z badań elementów próbných V2-V4, H2-H4
 Fig. 3. The σ - ϵ relationships for elements V1, H1 and failure envelopes obtained for V2-V4, H2-H4 elements

Zaobserwowano, że krzywe uzyskane z badań doraźnych (elementy V1 i H1) różnią się nieco od obwiedni elementów obciążanych cyklicznie, szczególnie w przypadku ściskania równoległego do spoin wspornych. Zależności otrzymane dla murów obciążanych cyklicznie wskazują, że po wystąpieniu pierwszych zarysowań dochodzi do dość znacznego osłabienia lub wyłączenia się z pracy materiału w obszarach, które uległy kruchemu spękaniu. Następuje więc przyrost odkształceń niesprężystych w kolejnych cyklach obciążenia.

Interesujący jest również fakt, że krzywe uzyskane z badań murów obciążonych równoległe do spoin wspornych (seria H) wykazują wyraźną zmianę krzywizny, której nie zaobserwowano w badaniach elementu obciążanego doraźnie (H1). Średnia wartości odkształcenia w chwili zarysowania elementów badawczych obciążonych prostopadłe do spoiny wspornej jest ponad dwukrotnie większa w porównaniu ze średnią wartości odkształcenia w chwili zarysowania muru obciążonego równoległe do spoiny wspornej.

Na rys. 4 pokazano dla wybranych elementów badawczych przebieg pierwszych zarysowań.



Rys. 4. Obraz pierwszych zarysowań wybranych modeli z serii V oraz H
Fig. 4. View of the first appeared cracks of V and H specimens

Zniszczenie murów obciążonych prostopadłe do spoin wspornych następowało każdorazowo w podobny sposób, w wyniku powstania pionowych zarysowań (rys. 5). Natomiast elementy obciążone równoległe do spoin wspornych niszczyły się przez rozwarstwienie w spoinach wspornych (rys. 6).



Rys. 5. Obraz zniszczenia modeli obciążonych prostopadłe do spoin wspornych
Fig. 5. Failure of specimens loaded perpendicular to bed joints



Rys. 6. Obraz zniszczenia modeli obciążonych równoległe do spoin wspornych
Fig. 6. Failure of specimens loaded parallel to bed joints

4. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono wyniki i wstępne omówienie badań zachowania się murów z ceramicznej cegły pełnej na zaprawie cementowo-wapiennej poddanych cyklicznym obciążeniom ściskającym w kierunku prostopadłym i równoległym do spoin wspornych. Z uwagi na małą liczbę modeli badawczych wyniki należy głównie rozpatrywać pod względem jakościowym. Zaobserwowano spore różnice w zachowaniu się murów w zależności od kierunku obciążenia (prostopadle, równoległe) oraz nieznaczne w zależności od sposobu obciążenia (cyklicznie, doraźnie).

Na podstawie przedstawionych badań można sformułować następujące wnioski:

- Pomimo wyraźnej różnicy w wartościach naprężeń rysujących (σ_{cr}) i niszczących (σ_a) badanych modeli stosunek tych dwóch wielkości uzyskano zbliżony dla wszystkich elementów badawczych.
- Zależności obwiedni σ - ε dla elementów obciążanych cyklicznie wykazują bardziej nieliniowy charakter w porównaniu z otrzymanymi w badaniach doraźnych.
- W przypadku murów obciążonych równoległe do spoin wspornych zarysowania powstają już przy wartości naprężeń w granicach ok. 20% naprężeń niszczących, natomiast elementy ściskane prostopadle rysowały się na poziomie co najmniej 50% tych naprężeń.
- Mury ściskane równoległe do spoin wspornych rysowały się na poziomie 1/3 naprężeń rysujących, wyznaczonych dla elementów obciążanych prostopadle do spoin wspornych.

LITERATURA

1. Naraine K., Sinha S. N.: Behavior of brick masonry under cyclic compressive loading. Proc. Of the 9th International Brick/block Masonry Conference, Berlin 1991, p. 1432-1445.
2. Kubica J., Drobiec Ł., Jasiński R.: Badania siecznego modułu sprężystości murów z cegły. XLV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Wrocław – Krynica 1999, s. 133-140.
3. Nazar M., Sinha S. N.: Energy dissipation response of interlocking grouted mud brick masonry under cyclic loading. Masonry International Jurnal of the British Masonry Society, 2006, p. 27-40.
4. Janowski Z., Matysek P.: Analiza nośności murów ceglanych z uwzględnieniem nieliniowej zależności obciążenie-odkształcenie. XXXVIII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Łódź – Krynica 1992, s. 67-72.
5. Ciesielski R.: Wpływ obciążeń dynamicznych na konstrukcje murowe. XIII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 1999, s. 63-96.
6. PN-EN 1052-1:2000 „Metody badań murów. Część 1: Określenie wytrzymałości muru na ściskanie”.
7. Piekarczyk A., Drobiec Ł., Kubica J.: Badania murów z bloczków z betonu komórkowego ściskanych prostopadle oraz równolegle do spoin wspornych. XLVI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Wrocław – Krynica 2000, s. 251-258.
8. Drobiec Ł., Piekarczyk A., Kubica J.: Wpływ kształtu elementu badawczego oraz kierunku obciążenia na wartości współczynnika Poissona murów z cegły. XLVI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Wrocław – Krynica 2000, s. 219-226.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bohdan Lewicki