

Iwona SEWERYN*
Politechnika Śląska, Gliwice

BADANIA MURÓW Z CEGŁY PODDANYCH CYKLICZNYM OBCIĄŻENIOM ŚCISKAJĄCYM

Streszczenie. W referacie zaprezentowano wyniki badań pięciu murów z cegły pełnej, ceramicznej poddanych cyklicznym obciążeniom ściskającym. Obserwowano wpływ powtarzających się cykli: obciążenie – odciążenie na zachowanie się badanych elementów próbnych. Przedstawiono wyniki badań, jak również sposób oraz obraz zniszczenia.

PRELIMINARY TESTS OF BEHAVIOUR OF BRICK MASONRY UNDER CYCLIC COMPRESSIVE LOADING

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

1. Wprowadzenie

Większość analiz dotyczących wytrzymałości konstrukcji budowlanych narażonych na statyczne i dynamiczne obciążenia oparta jest na liniowym modelu materiału konstrukcji. Jak dowodzi sposób zniszczenia tak obciążonych murów, założenie takie jest dalekie od rzeczywistości.

Ciągliwo – plastyczne modele materiału nie opisują takiej własności, jak kruchość, która powoduje mikropęknięcia i zarysowania. Skumulowanie zarysowań powoduje kruche pęknięcia przy braku plastycznego płynięcia. Dochodzi do degradacji materiału, który przejawia się m.in. obserwowanym przy obciążeniu zmniejszeniem modułu sprężystości [1].

Przy dokładnych obliczeniach konstrukcji (np. w sytuacjach, gdy dochodzi do zagrożenia nośności, zmiany sposobu użytkowania obiektu, itp.) niezbędna jest bardziej szczegółowa

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

analiza obiektu. Koniecznością staje się uwzględnienie nieliniowego plastyczno – kruchej degradacyjnego modelu materiału. Jednym ze sposobów opisu zachowania się muru w zakresie pozasprężystym, charakterystyki praw wzmocnienia (osłabienia) przy ściskaniu czy też degradacji materiału (zmiany modułu sprężystości w cyklach obciążenia) są badania zachowania się murów pod cyklicznym obciążeniem ściskającym.

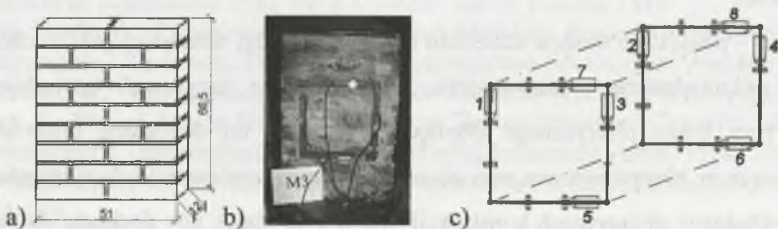
Badania tego rodzaju prowadzi się w świecie już od wielu lat, przy czym wyniki bywają niejednoznaczne. Abrams (1985) opublikował wyniki badań, w których wykazał, że siła ściskająca przy cyklicznym obciążeniu jest o 30% mniejsza w porównaniu z obciążeniem statycznym [3]. Naraine i Sinha (1989) badali odkształcenia i charakterystykę murów ceglanych pod jednoosiowym obciążeniem cyklicznym. Przedstawili zależność naprężenie - odkształcenie, w której krzywe obciążenia przecinały się każdorazowo z krzywymi odciążenia poprzedniego cyklu [4]. Badania te powtórzył Sinha z Senthivalem w 1999 [5]. Obwiednia obciążenia cyklicznego z ich badań pokryła się z obwiednią obciążenia doraźnego.

2. Badania doświadczalne

2.1. Elementy badawcze

W ramach badań rozpoznawczych zbadano pięć elementów próbnych poddanych cyklicznym obciążeniom ściskającym.

Modele przygotowano zgodnie z normą PN-EN 1052-1:2000 [6]. Wykonano je z cegły ceramicznej, pełnej klasy 20 oraz zaprawy klasy M7. Wszystkie modele miały wymiary 66,5 x 51 x 12 cm (rys.1a). Na płaszczyznach bocznych osadzono ramki (rys.1b), na których umocowano czujniki indukcyjne o dokładności odczytu 0,0002 mm, służące do pomiaru przemieszczeń. Baza pomiarowa w kierunku pionowym i poziomym wynosiła każdorazowo 30 cm. Przyjętą numerację czujników pomiarowych pokazano na rys.1c.



Rys. 1a) Kształt i wymiary elementu badawczego; b) widok modelu wraz z osadzonymi ramkami pomiarowymi; Rys. c) numeracja czujników pomiarowych

Fig. 1a) Shape and dimension of tests' specimen; b) view of the tests' of specimen with fixed measurement devices; c) numbering of displacement sensor

Wszystkie modele były wykonane z cegieł pochodzących z dwóch partii, od jednego producenta. Z pierwszej partii cegieł wymurowano modele M1 oraz M2; pozostałe mury obciążone cyklicznie (M3, M4, M5) wykonano z cegieł pochodzących z drugiej partii.

2.2. Technika i przebieg badań

Przed umieszczeniem w maszynie wytrzymałościowej każdorazowo górną i dolną powierzchnię elementów próbnych wyrównywano warstwą zaprawy cementowej. Badania prowadzono w prasie hydraulicznej o zakresie 2000 kN. W celu wyeliminowania wpływu tarcia pomiędzy głowicami prasy a powierzchnie elementów próbnych stosowano przekładki z dwóch warstw folii i smaru grafitowego.

Modele obciążano cyklicznie obciążeniem narastającym w każdym kolejnym cyklu. Prędkość obciążania wynosiła 1,5 kN/s. Pierwszy poziom obciążenia wynosił 50 kN, kolejne były zwiększane o 50 kN, aż do pojawienia się pierwszych zarysowań. Przyrost obciążenia po zarysowaniu był dawkowy małymi porcjami (nawet po 2 kN) – w zależności od rozwoju zarysowań na elemencie. W czasie każdego cyklu obciążenie maksymalne utrzymywano ok. 3 minuty w celu ustabilizowania się stanu odkształcenia.

3. Wyniki

Podstawowe wyniki badań, obejmujące wartości siły rysującej N_{cr} , siły niszczącej N_u oraz liczby cykli przedstawiono zbiorczo w tabelicy 1.

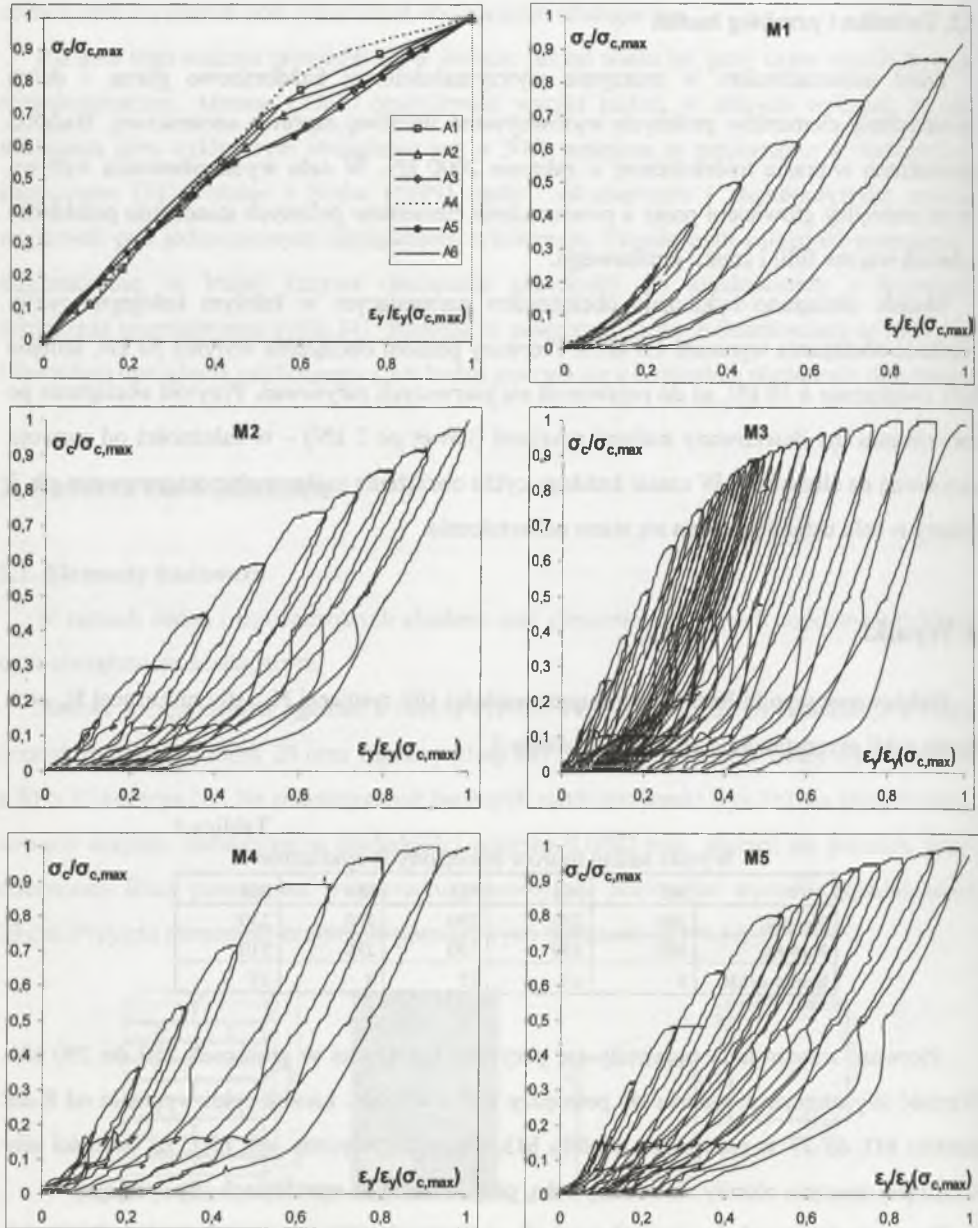
Tablica 1
Wyniki badań murów obciążonych cyklicznie

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| N_{cr} [kN] | 260 | 250 | 290 | 250 | 250 |
| N_u [kN] | 400 | 350 | 390 | 280 | 310 |
| liczba cykli | 8 | 10 | 27 | 8 | 13 |

Pierwsze zarysowania pojawiały się przy sile ściskającej w granicach 250 do 290 kN. Wartość siły niszczącej wahała się pomiędzy 280 a 400 kN. Liczba cykli wynosiła od 8 dla modelu M1 do 27 w przypadku modelu M3. Charakterystyczny jest fakt, że wartości siły niszczącej znacznie różniły się między sobą, przy zbliżonych wartościach siły rysującej.

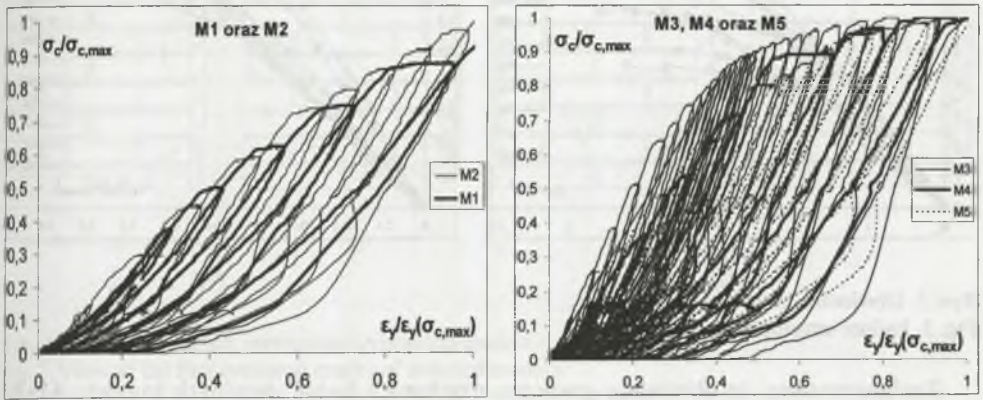
Duże różnice pomiędzy wartościami sił niszczących oraz rysujących można tłumaczyć znaczną różnorodnością materiału, z jakiego zostały wykonane modele (cegły nie pochodziły z jednej partii). Rzutuje to na analizę pod względem ilościowym uzyskanych wyników.

Wykresy na rys. 2 przedstawiają zależności naprężenie - odkształcenie badanych modeli. Wyniki badań modeli oznaczonych jako A1-A6 dotyczą elementów porównawczych, które miały tak sam kształt i wymiary gabarytowe, ale poddane zostały obciążeniom doraznym, każdorazowo w jednym cyklu aż do zniszczenia.



Rys. 2. Zależność σ - ϵ modeli porównawczych A1-A6 oraz obciążonych cyklicznie M1-M5
 Fig. 2. Stress-strain relationships for reference models A1-A6 and cyclically loaded M1-M5

Na rys. 3 porównano przebiegi σ - ε dla modeli obciążanych cyklicznie, wykonanych z cegieł pochodzących z jednej partii (M1 z M2 oraz M3, M4 z M5).



Rys. 3. Porównanie zależności σ - ε modeli M1-M2 oraz M3-M5

Fig. 3. Comparison of stress-strain relationships for models M1-M2 and M3-M5

Krzywe uzyskane z badań modeli M1 oraz M2 nachylone są pod podobnymi kątami względem osi poziomej. Podobnie sytuacja przedstawia się przy porównaniu M4 z M5. Przebieg krzywej dla modelu M3 znacznie odbiega od pozostałych wykresów. Świadczy to o tym, że w murze elementu próbnego M3 wyraźnie wolniej narastały odkształcenia pionowe.

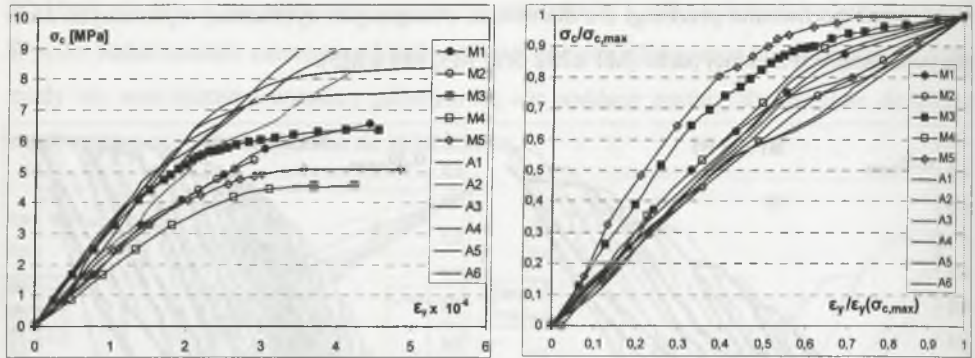


Rys. 4. Schemat tworzenia prostych degradacji

Fig. 4. Scheme of degradation lines creation

Łącząc odkształcenie początkowe oraz odkształcenie końcowe w danym cyklu (rys. 4), otrzymano prostą, której tangens kąta do osi ε przedstawia wartość siecznego modułu sprężystości.

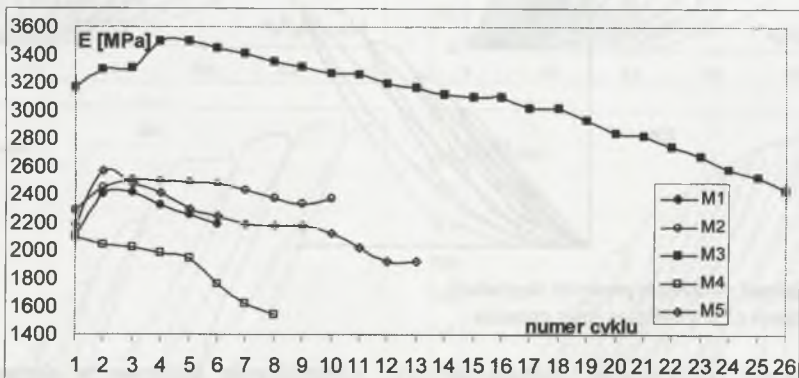
Zauważono, że występuje wyraźny proces degradacji materiału, co objawia się zmniejszaniem się kąta nachylenia siecznej do osi ε . Łącząc wierzchołki pętli, otrzymano obwiednię graniczną, którą przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Obwiednie graniczne
Fig. 5. Failure envelopes

Zaobserwowano, że obwiednia graniczna uzyskana z badań doraźnych (modele A1÷A6 [7,8]) różni się wyraźnie od obwiedni elementów obciążanych cyklicznie. Jej przebieg jest zbliżony do prostoliniowego z nieznacznym uplastycznieniem w ostatniej fazie obciążenia. Krzywe uzyskane dla murów obciążonych cyklicznie wskazują, że już na poziomie około 50% obciążenia niszczącego dochodzi do osłabienia lub wyłączenia się z pracy materiału w obszarach, które uległy kruchemu spękanii. Następuje więc przyrost odkształceń niesprężystych w kolejnych cyklach obciążenia.

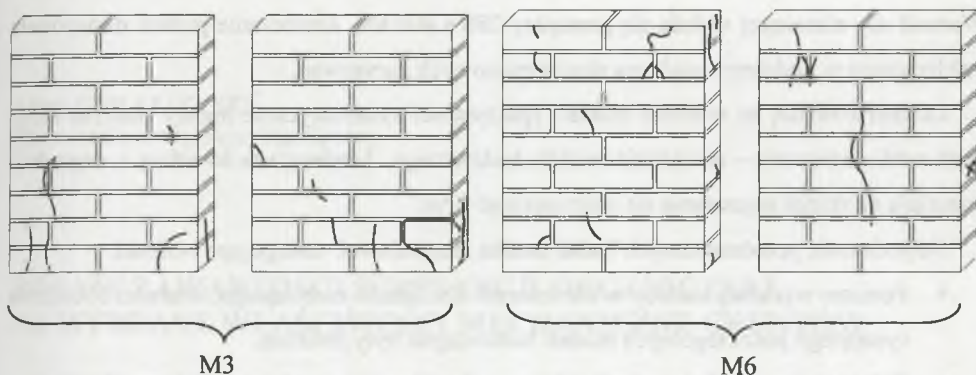
Poniżej przedstawiono wykres obrazujący zmiany siecznego modułu sprężystości muru w czasie cyklicznego obciążenia (rys. 6).



Rys. 6. Zależność modułu sprężystości od cyklu obciążenia
Fig. 6. Dependence of modulus of elasticity on loading cycle

Zaobserwowano, że wartości modułu sprężystości prawie linowo maleją z każdym kolejnym cyklem, z wyjątkiem początkowej fazy obciążenia.

Pierwsze zarysowania dla wybranych modeli pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Obraz pierwszych zarysowań wybranych modeli
Fig. 7. View of the first appeared cracks of selected models

Zniszczenie modeli badanych następowało każdorazowo w podobny sposób, na skutek pionowych zarysowań. Poniżej przedstawiono przykładowe obrazy zniszczenia (rys. 8).



Rys. 8. Obraz zniszczenia modeli badanych
Fig. 8. View of the failure of some test specimens

4. 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 ściskającym. Z uwagi na małą liczbę modeli badawczych wyniki należy traktować jedynie pod względem jakościowym. Ze względu na znaczne różnice materiałowe pomiędzy elementami murowymi użytymi do wykonania modeli bezpośrednie porównanie wyników jest trudne. Liczba cykli obciążenia wynosiła od 8 do 27. Wystąpiły duże różnice w wartości

siły niszczącej. Pierwsze zarysowania pojawiały się przy obciążeniu rzędu 250 – 290 kN. Wartość siły niszczącej wahała się pomiędzy 280 a 400 kN. Zniszczenie próbek następowało każdorazowo w podobny sposób na skutek pionowych zarysowań.

Zaobserwowano, że wartości modułu sprężystości systematycznie malały podczas kolejnych cykli obciążanie – odciążanie modelu badawczego. Tendencja ta świadczy o degradacji materiału na skutek pojawiania się mikropęknięć i rys.

Na podstawie przedstawionych badań można sformułować następujące wnioski:

- Pomimo wyraźnej różnicy w wartościach obciążenia niszczącego, wartości obciążenia rysującego poszczególnych modeli badawczych były zbliżone.
- Zależności σ - ε w obciążeniach cyklicznych wykazują wyraźnie nieliniowy charakter.
- Przy obciążeniu cyklicznym od poziomu obciążenia około 50% wartości niszczącej obserwowano wyraźnie proces degradacji materiału.

LITERATURA

1. Wawrzynek A., Cińcio A.: Plastikno – kruchy degradacyjny model betonu w symulacjach numerycznych konstrukcji obciążonych cyklicznie. Księga Jubileuszowa z okazji 70-lecia Prof. dra hab. inż. W. Starosolskiego, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003, s. 89-97.
2. Lubliner J., Oliver J., Oller S., Oñate E.: A plastic - damage model for concrete. *International of Soilds and Structures*, vol.25, 1989, p. 299-329.
3. AlShabani M., Sinha S. N.: Stress-strain characteristics of brick masonry under uniaxial cyclic loading, *Journal of Structural Engineering*, June 1999.
4. Naraine K., Sinha S. N.: Behavior of brick masonry under cyclic compressive loading. *Journal of Construction Engineering and Management*, June 1989.
5. Senthivel R., Sinha S.: Behavior of calcium silicate brick masonry under cyclic uni-axial compression.
6. PN-EN 1052-1:2000 Metody badań murów. Część 1: określenie wytrzymałości muru na ściskanie. PKN, Warszawa 2000.
7. Jasiński R.: Nośność i odkształcalność zbrojonych ścian murowych ścinanych poziomo. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2005.
8. Piekarczyk A.: Nośność i odkształcalność zbrojonych ścian murowych poddanych ścinaniu w kierunku pionowym. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2005.

Recenzent: Prof. dr inż. Bohdan Lewicki