

Adam PIEKARCZYK

BADANIA POCZĄTKOWEJ WYTRZYMAŁOŚCI MURU NIEZBROJONEGO NA ŚCINANIE W KIERUNKU PROSTOPADŁYM DO SPOIN WSPORNYCH

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wyniki badań porównawczych początkowej wytrzymałości na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych. Głównym celem prezentowanych badań była próba znalezienia korelacji pomiędzy wartościami wytrzymałości początkowej otrzymanymi z badań małych elementów (zgodnie z wytycznymi RILEM LUMB 6) i większych fragmentów ścian murowanych. Rezultaty badań wykazały, iż kształt i wymiary modeli badawczych mają duży wpływ na wartość początkowej wytrzymałości na ścinanie w kierunku pionowym.

INVESTIGATION OF INITIAL SHEAR STRENGTH OF UNREINFORCED MASONRY SHARED PERPENDICULAR TO THE BED JOINTS

Summary. This paper presents the results of tests of initial shear strength for clay brick masonry sheared perpendicular to the bed joints. The main aim of presented investigations, deals to determine the relation between values of the initial shear strength obtained from tests of small specimens (carried in accordance with RILEM LUMB 6) and larger masonry wallets. The results show that shapes and overall dimensions of the test models have a significant influence on the value of initial shear strength for vertical direction.

1. Wprowadzenie

Z zagadnieniem ścinania w konstrukcjach murowych, a w szczególności ścinania w kierunku prostopadłym do spoin wspornych, można się spotykać, między innymi na terenach, na których uwidaczniają się wpływy ciągłych i nieciągłych deformacji podłoża. Wpływy te mogą być powodowane eksploatacją górniczą, wynikać ze zmiany stosunków wodnych w gruncie, np. na terenach popowodziowych, jak również nierównomiernego uwarstwienia podłoża gruntowego pod budowlą, czy też występowaniem soczewek gruntu o innych właściwościach mechanicznych.

Oczywiste jest, iż jednym z podstawowych parametrów opisujących zachowanie się ścinanych konstrukcji murowych jest ich wytrzymałość na ścinanie. I tu pojawiają się dwa podstawowe problemy:

- W jaki sposób należy wyznaczać wartość wytrzymałości na ścinanie?
- Jak wpływa poziom naprężeń ściskających na wartość wytrzymałości na ścinanie?

Jeśli chodzi o wytrzymałość muru na ścinanie w kierunku równoległym do spoin wspornych, odpowiedzi na powyższe pytania są już od lat znane. Niestety, jak dotąd w odniesieniu do przypadków ścinania murów w kierunku prostopadłym do spoin wspornych, problemy te nadal pozostają nierozwiązane. Większość norm narodowych i innych publikacji [1,2], dotyczących konstrukcji murowych, w tym także nowa norma polska [3], podaje jedynie metody wyznaczania wytrzymałości początkowej na ścinanie murów dla kierunku równoległego do spoin wspornych, nie wspomina natomiast nic o sposobie określania wytrzymałości początkowej przy ścinaniu dla drugiego z kierunków ortogonalnych. Co więcej, nawet w podkomisji CEN TC125, zajmującej się normami dotyczącymi określania parametrów mechanicznych muru na podstawie badań, brak jest na dzień dzisiejszy projektu, a nawet szerszych prac nad projektem normy dotyczącej wyznaczania wytrzymałości muru na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych.

Jako głos w dyskusji na tym zagadnieniu w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej w Gliwicach prowadzone są badania elementów próbnych różnego kształtu i wymiarów, których rezultaty mogą być pomocne przy opracowywaniu standardu dotyczącego wyznaczania wytrzymałości początkowej na ścinanie murów ścinanych prostopadle do spoin wspornych.

W niniejszym opracowaniu przedstawione zostały wyniki badań porównawczych wytrzymałości na ścinanie przeprowadzanych na fragmentach ścian ceglanych bez wpływu naprężeń ściskających metodą autorską [4,5] oraz badań wykonanych zgodnie z zaleceniami RILEM LUMB 6 [6]. Celem tych badań była próba określenia zależności pomiędzy wytrzymałością na ścinanie uzyskiwaną w badaniach wg zaleceń [6] i wartościami wyznaczonymi na podstawie badań znacznie większych elementów próbnych.

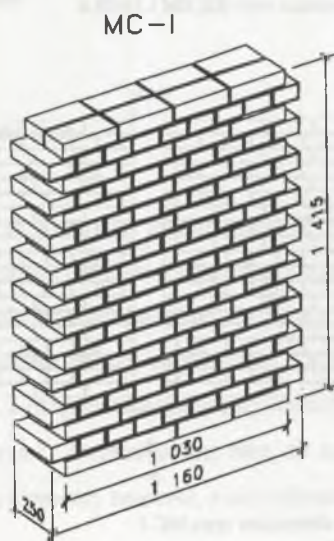
2. Modele badawcze i przebieg badań

Badania przeprowadzono na elementach badawczych wykonanych z cegły pełnej i zaprawy cementowej 1:3 (piasek : cement). W tablicy 1 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości

ści na ściskanie użytej w badaniach cegły i zaprawy. Rysunek 1 przedstawia model typu MC-I w postaci fragmentu ściany ceglanej o grubości 250 mm i powierzchni 1160 × 1415 mm. W ramach testów tego typu ścian zostało zbadanych 10 elementów. Drugą grupę modeli stanowiły elementy próbne RL wykonane według zaleceń RILEM LUMB 6 [6]. Łącznie zbadano 3 elementy tego typu o grubości 120 mm (RL – 120) oraz 3 modele o grubości 250 mm (RL – 250). Wszystkie elementy miały identyczną szerokość, wynoszącą 640 mm oraz wysokość – 665 mm (por. rys.2). Nadmienić należy, iż elementy MC-I oraz RL – 120 wykonane zostały przez murarzy bez specjalnej dbałości o jakość robót murarskich, natomiast modele typu RL – 250 - przez pracowników laboratorium i charakteryzowały się lepszym wypełnieniem spoin zaprawą.

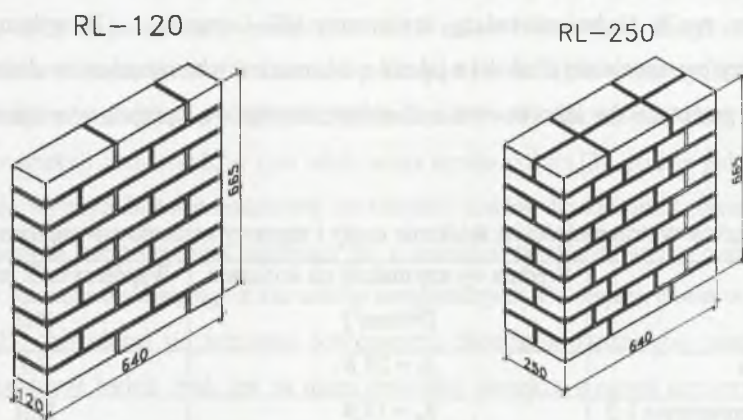
Tablica 1
Średnie wytrzymałości na ściskanie cegły i zaprawy cementowo-wapiennej

| | Średnia wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²] | Współczynnik zmienności [%] |
|-----------------------|---|--------------------------------|
| Cegła pełna | $f_B = 23,8$ | 7,7 |
| Zaprawa cementowa 1:3 | $f_m = 13,9$ | 12,1 |

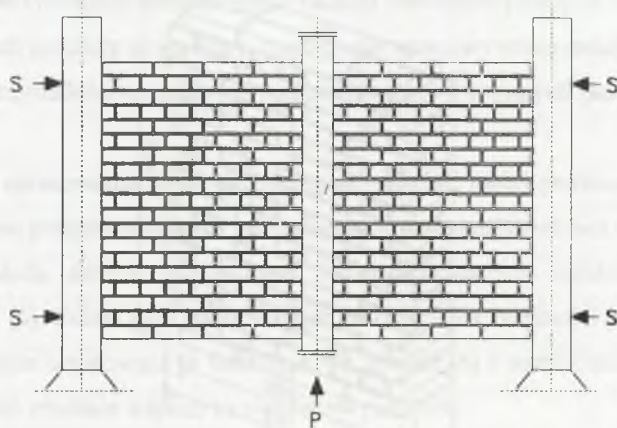


Rys.1. Model wycinka ściany
Fig.1. Masonry wallets specimen

Modele typu MC-I badano w zestawach po dwa, w stanowisku badawczym, które szerzej zostało omówione np. w pracach [4 i 5]. Schemat realizacji obciążenia zestawu poprzez wypychanie w górę za pomocą siłownika hydraulicznego środkowego słupa stalowego przedstawiono na rys. 3. Modele poddawano obciążeniom doraźnym w ramach jednego cyklu aż do zniszczenia. Pomiarów siły rysującej oraz niszczącej dokonywano przy użyciu siłomierza elektrooporowego.



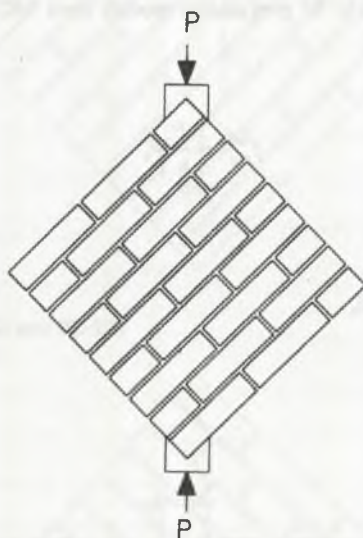
Rys.2. Elementy próbne do badań wg RILEM LUMB 6
Fig.2. Models used for tests in accordance with RILEM LUMB 6



Rys.3. Schemat obciążenia zestawu elementów typu MC-I
Fig.3. Scheme of loading of MC-I set

Elementy z grupy RL osadzone zostały na zaprawie cementowej w specjalnych stalowych gniazdach, tak aby jedna z przekątnych była ustawiona pionowo oraz ramiona stalowego okucia obejmowały około 1/10 długości (wysokości) badanego elementu. Modele obciążano do-

rażnie ściskającą siłą skupioną w kierunku pionowej przekątnej aż do momentu zarysowania elementu, co było równoznaczne z jego zniszczeniem. Sposób obciążania elementów RL zaprezentowano na rys. 4.



Rys.4. Sposób obciążania próbek typu RL
Fig.4. RL specimens loading manner

3. Rezultaty badań i ich analiza

Jako kryterium zniszczenia przyjęto dla modeli typu MC-I powstanie zarysowania (po przekątnej) jednego lub jednocześnie obydwu fragmentów ściany, a dla elementów typu RL - zarysowanie pionowe, równoległe do osi działania obciążenia - także po przekątnej elementu.

Na rys. 5 pokazano przykładowo obrazy zarysowania uzyskane dla jednego z zestawów badawczych modeli serii MC-I, a otrzymane obrazy zarysowania wybranych modeli serii RL-120 na rys.6 i serii RL-250 - rys.7. Zwraca uwagę fakt, że zarysowania wszystkich modeli przebiegały w większości przez elementy murowe, a nie jedynie przez warstwy zaprawy.

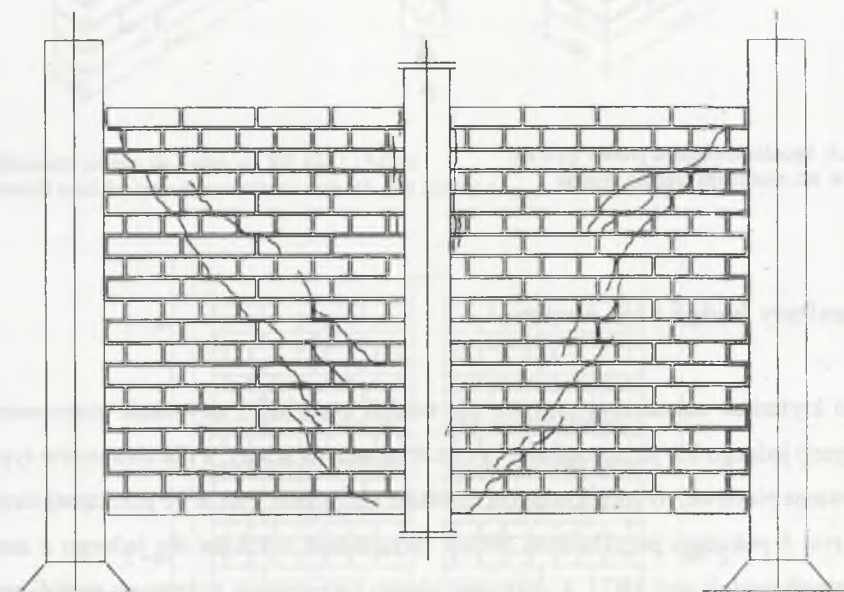
W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano wartości sił rysujących dla poszczególnych elementów. Na tej podstawie wyznaczono nominalne wartości naprężeń przy zarysowaniu, które można utożsamiać z wytrzymałością początkową f_{w0}^{MC} na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych. W przypadku modeli serii MC-I wielkość tę obliczano wg wzoru:

$$f_{w0}^{MC} = \frac{P_{cr}}{h \cdot t}, \quad (1)$$

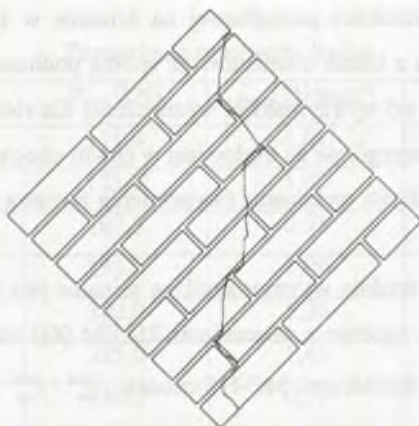
gdzie: P_{cr} – siła rysująca,

h – wysokość elementu,

t – grubość elementu.

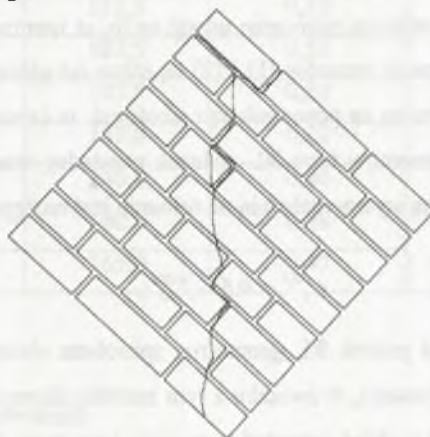


Rys.5. Przykładowe obrazy zarysowania fragmentów muru w zestawie MC-1/3
Fig.5. MC-1/3 set failure image



Rys.6. Obrazy zarysowania modeli serii RL-120

Fig.6. RL-120 specimen cracking



Rys.7. Obrazy zarysowania modeli serii RL-250

Fig.7. Image of RL-250 type models failure

Dla modeli obydwu serii RL właściwą zależnością, zgodnie z [6], jest:

$$f_{vo}^{RL6} = \frac{0,707 \cdot P_{cr}}{0,5 \cdot (l+h) \cdot t}, \quad (2)$$

w której: P_{cr} , h , t – jw.,

l – długość elementu.

Tablica 2 zawiera uzyskane dla wszystkich przebadanych modeli wartości sił rysujących P_{cr} , obliczoną na jej podstawie wytrzymałość początkową na ścinanie prostopadłe do warstw muru $f_{vo,l}$ oraz wartości średnie f_{vo} .

Średnia wartość wytrzymałości początkowej na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoiny wspornej, uzyskana z badań elementów ze spoiną podłużną (typu RL–250), okazała się być o ok. 25% większa od wytrzymałości wyznaczonej dla elementów typu RL–120. Nie jest to różnica zbyt duża, szczególnie że trudno jest w chwili obecnej powiedzieć, czy spowodowane jest to różnicą w jakości wykonania (wypełnienia zaprawą spoin) obydwu typów modeli.

Uzyskana w badaniach średnia wytrzymałość na ścinanie jest większa w przypadku elementów typu RL (badania zgodnie z zaleceniami RILEM [6]) niż wartości wyznaczone na podstawie wyników badań modeli serii MC-I. Stosunek $f_{vvo}^{RL6} / f_{vvo}^{MC}$ wyniósł odpowiednio:

- $f_{vvo}^{RL6} / f_{vvo}^{MC} = 2,02$ - dla elementów typu RL–120 oraz,
- $f_{vvo}^{RL6} / f_{vvo}^{MC} = 2,52$ - dla modeli typu RL–250.

Niezbędne jest w tym miejscu zwrócenie uwagi na to, iż nominalne wartości wytrzymałości na ścinanie wyznaczone ze wzorów (1) i (2) są różne od głównych naprężeń rozciągających, które odpowiedzialne są za powstanie rys ukośnych w centralnym obszarze każdego z modeli. W przypadku elementów typu RL związek pomiędzy wartością głównych naprężeń rozciągających a nominalną wytrzymałością na ścinanie jest następujący:

$$\sigma_1^{RL6} = 0,68 \cdot f_{vvo}^{RL6} \quad (3)$$

Modele MC różnią się od próbek RL geometrią, sposobem obciążania i przede wszystkim warunkami brzegowymi badania, w związku z tym bardziej skomplikowany, mniej jednorodny i czytelny jest również rozkład naprężeń w modelu tego typu. Na podstawie analizy MES stwierdzono, iż rozciągające naprężenia główne w centralnej części modelu MC są większe od nominalnej wytrzymałości na ścinanie f_{vvo}^{MC} wyznaczonej ze wzoru (1), a zależność między nimi podano poniżej:

$$\sigma_1^{MC} = 1,46 \cdot f_{vvo}^{MC} \quad (4)$$

Tablica 2

Zestawienie rezultatów badań

| Model | $P_{cr,i}$ [kN] | $f_{vo,i}$ [N/mm ²] | f_{vo} [N/mm ²] |
|------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| RL – 120/1 | 111,8 | 1,01 | 1,01 |
| RL – 120/2 | 121,0 | 1,09 | |
| RL – 120/3 | 102,5 | 0,93 | |
| RL – 250/1 | 250,0 | 1,09 | 1,26 |
| RL – 250/2 | 300,0 | 1,30 | |
| RL – 250/3 | 325,0 | 1,41 | |
| MC – I/1L | 250,0 | 0,71 | 0,50 |
| MC – I/1P | 250,0 | 0,71 | |
| MC – I/2L | 200,0 | 0,56 | |
| MC – I/2P | 112,5 | 0,32 | |
| MC – I/3L | 187,5 | 0,53 | |
| MC – I/3P | 187,5 | 0,53 | |
| MC – I/4L | 185,0 | 0,52 | |
| MC – I/4P | 140,0 | 0,40 | |
| MC – I/5L | 100,0 | 0,28 | |
| MC – I/5P | 165,0 | 0,47 | |

4. Wnioski i podsumowanie

Rezultaty uzyskanych badań pozwalają zaobserwować duży wpływ kształtu oraz wymiarów elementów badawczych na uzyskiwane wartości wytrzymałości początkowej murów na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin poziomych. Należy wziąć pod uwagę również to, iż rozkład naprężeń głównych i ścinających w modelach typu MC-I nie jest tak równomierny jak w próbkach typu RL. Przyjmując, że im większy jest element badawczy, tym wartości wytrzymałości są bardziej zbliżone do rzeczywistych (dla ściany murowanej najbardziej reprezentatywne będą wyznaczone na modelach serii MC-I), na podstawie przeprowadzonych badań można przyjąć, że wytrzymałość początkową na ścinanie muru ceglanego f_{vo} można by wyznaczać zgodnie z zaleceniami RILEM LUMB 6 [6], ale uzyskane wyniki należałoby zredukować ze względu na efekt skali, np. poprzez pomnożenie przez 0,5 średniej wytrzymałości na ścinanie uzyskanej z badań mniejszych elementów próbných (RL-120), czyli:

$$f_{vvo} = 0,5 \cdot f_{vvo}^{RL6}, \quad (5)$$

gdzie: f_{vvo}^{RL6} – wytrzymałość początkowa na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wspornych wyznaczona z badań zgodnych z zaleceniami RILEM LUMB 6.

Na podstawie przeprowadzonych analiz i obliczeń numerycznych stwierdzono, iż wartości głównych naprężeń rozciągających, wyznaczonych dla średnich nominalnych wytrzymałości na ścinanie (por. tabl. 2, kol. 4), w centralnej części modeli dla elementów typu RL i MC różnią się o 6%, tak niewielka różnica może świadczyć więc o poprawności podanego wyżej związku (5).

Autor zdaje sobie jednocześnie sprawę ze zbyt małego zakresu przeprowadzonych badań i proponuje traktowanie otrzymanej zależności jedynie orientacyjnie. Prezentowane badania wymagają uzupełnienia o testy na większej ilości elementów próbnych wykonanych na różnych zaprawach. Jednocześnie niezbędne są badania murów z innych typów drobnowymiarowych elementów murowych. Ponadto, nadal trwają poszukiwania najodpowiedniejszego elementu próbnego i procedury badawczej. Między innymi również w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej planowane są badania wytrzymałości na ścinanie w kierunku prostopadłym do warstw muru innymi metodami, z wykorzystaniem elementów próbnych o niewielkich rozmiarach.

LITERATURA

1. Guiqiu L., Chuxian S., Jinlin B.: The Shear Strength of Unreinforced Masonry Walls. *Proc. of the 11th International Brick/Block Masonry Conference*. University Tongji, Shanghai, China, 14 – 16 October 1996, s. 135 – 140.
2. Jukes P., Riddington J.R.: A Review of Masonry Join Shear Strength Test Methods. *Masonry International*. Vol. 11, No 2, 1997, s. 37 – 43.
3. PrPN-B-03002:1999 Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
4. Kubica J.: The effect of Compressive Loads on the Load Capacity and Deformation of Brick Walls Subjected to Vertical Shear. *Proc. of the Fourth International Masonry Conference*. Proc. of the British Masonry Society: Masonry (7), London 1995, Vol.1, s. 130-134.
5. Kubica J.: Ściany z cegły w złożonym stanie naprężenia. Praca doktorska. Katedra Konstrukcji Budowlanych, Politechnika Śląska, Gliwice 1995.

6. RILEM LUMB 6. Diagonal Tensile Strength. Tests of Small Wall Specimens. TC 76 – LUM, 1991.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Zbigniew Janowski

Abstract

The paper shows the results of comparative tests of initial shear strength for clay brick masonry sheared perpendicular to the bed joints direction. Tests were carried out for two test methods and three types of specimens made of solid clay brick. The main aim of investigations, deals to find the correlation between values of the initial shear strength obtained from tests of small specimens (carried out according to RILEM LUMB 6 regulations) and larger masonry wallets. The results show that shapes and overall dimensions of the test models have a significant influence on the value of shear strength for vertical direction. The values obtained for small specimens (in accordance with RILEM LUMB 6) are twice greater than for large wallets.