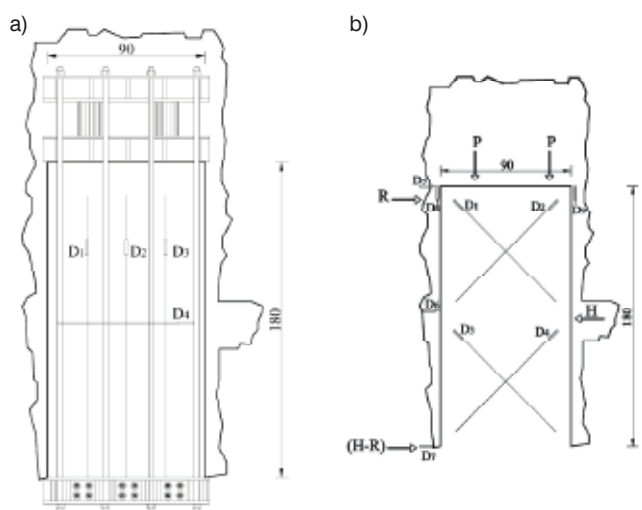


Wybrane sposoby oszacowania wytrzymałości muru w budynkach istniejących

Prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz, dr inż. Piotr Tkacz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, dr inż. Roman Buszkiewicz, Budowlane Biuro Inżynieryjne

1. Wprowadzenie

Określenie wytrzymałości muru jako materiału konstrukcyjnego w istniejących obiektach budowlanych jest dotychczas zagadnieniem trudnym i nie w pełni rozwiązany. Zagadnienie to jest kluczowym przy opracowaniu ekspertyz i projektów obiektów planowanych do przebudowy, modernizacji lub rewitalizacji oraz przy ocenie ich istniejącego stanu technicznego. W związku z powyższym rozpoznanie cech mechanicznych muru jako konstrukcyjnego materiału dwuskładnikowego (elementu murowego i zaprawy) jest zagadnieniem najważniejszym i najtrudniejszym przy określeniu jego rzeczywistej nośności i trwałości. Problem polega na zróżnicowaniu wytrzymałości i odkształcalności zapraw i różnorodności elementów murowych stosowanych w różnych okresach wznoszenia obiektów. Obecnie w ocenie nośności murów ceglanych stosuje się badania nieniszczące, mało niszczące oraz niszczące, które pozwalają ocenić właściwości zarówno całych konstrukcji, jak i jej poszczególnych komponentów (elementów murowych i zaprawy). W Polsce, głównie ze względów finansowych oraz braku zaleceń normowych w tym zakresie, wiele ze znanych metod badawczych jak na razie jest jeszcze rzadko stosowanych [1], [2], [3].



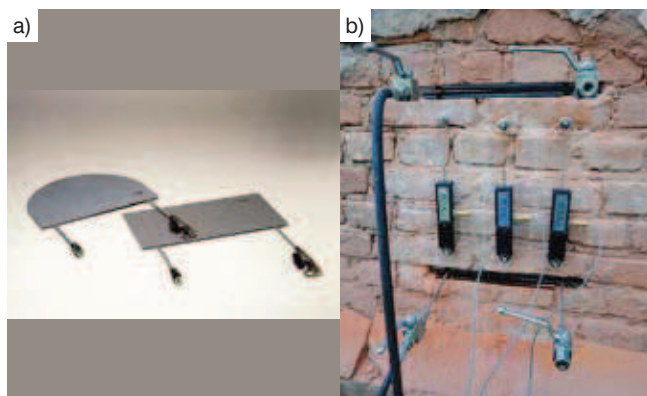
Rys. 1. Badanie *in situ* fragmentów ścian murowych na ściskanie (a) i ściskanie ze ścinaniem (b) [4]

W celu określenia wytrzymałości muru dość często pobiera się odwierty o dużej średnicy wykonywane w kierunku pionowym lub poziomym do spoin wspornych. Trudność stanowi transport odwiertów do laboratorium w warunkach zapewniających, że nie zostaną one poluzowane lub zniszczone w drodze.

W wyjątkowych przypadkach mogą być przeprowadzone badania *in situ* dużych fragmentów muru za pomocą siłowników hydraulicznych [4]. W tym celu badany fragment muru wyodrębnia się ze ściany poprzez jej przecinanie lub rozkucie w obszarach górnej i pionowych krawędzi fragmentu. Im większe są badane fragmenty murów, czy też filarów, tym reprezentatywność wyników jest większa. Przygotowany w taki sposób fragment muru może być poddany nie tylko pionowemu ściskaniu, ale jednocześnie ścinaniu w płaszczyźnie poziomej (rys. 1). Badanie prowadzi się do założonego poziomu obciążenia lub ostatecznego zniszczenia wyodrębnionego ze ściany filara, stale rejestrując jego odkształcenia.

2. Badanie muru metodą *flat-jack*

W celu oceny bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych coraz częściej podejmuje się badania muru na ściskanie metodą *flat-jack*. Wydane na początku lat 90. XX wieku amerykańskie normy [5] określały jednoznacznie poziom naprężenia w konstrukcjach murowych oraz ich odkształcalność w odniesieniu do tej metody. Jest to bardzo przydatne narzędzie do oceny właściwości istniejącego muru bez konieczności jego niszczenia [6]. Badanie może dostarczyć wielu informacji na temat naprężeń w konstrukcji murowej praktycznie w dowolnym jej miejscu. Metoda polega na tym, że na wstępie ustala się punkty pomiarowe wraz z pomiarem odległości pomiędzy nimi. Na powierzchni muru wydzielonej przez spoiny, w których umieszczone są poduszki ciśnieniowe, nakleja się czopki służące do pomiaru (za pomocą tensometru nasadowego) odkształcenia muru pod działaniem naprężenia. Następnie usuwa się spoinę wsporną za pomocą piły na głębokość nie mniejszą niż 2/3 grubości muru, co powoduje lokalne odciążenie muru w rejonie nacięć. Spoiny oddalone są od siebie od 430 do 500 mm, co odpowiada w przybliżeniu długości poduszki ciśnieniowej. Stosowane do badań poduszki ciśnieniowe mają kształt prostokątny, o stosunku boków 1:2 lub zaokrąglony, aby lepiej dopasować się do opróżnionego



Rys. 2. Rodzaje (a) i zastosowanie (b) hydraulicznych poduszek ciśnieniowych według metody flat-jack



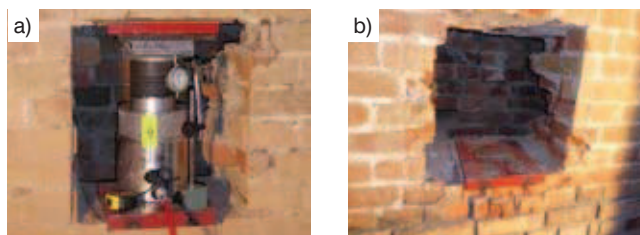
Rys. 3. Zmodyfikowana metoda flat-jack [3]

piłą tarczową miejsca w spoinie. Poduszki wykonane są ze stali nierdzewnej grubości 0,8 do 1,0 mm i mają grubość ok. 10 mm (rys. 1a). Po wprowadzeniu w spoinę poduszek ciśnieniowych (rys. 1b) wprowadza się takie ciśnienie w poduszkach, aby odległość pomiędzy punktami pomiarowymi była taka sama, jak przed wykonaniem nacięć w spoinie. Ocenę poziomu naprężeń ściskających prowadzi się zwykle do naprężenia w murze odpowiadającego

maksymalnemu obciążeniu badanego elementu konstrukcji w przewidywanych warunkach użytkowania obiektu lub niewiele większego. Z reguły jest to naprężenie nieprzekraczające 0,5 szacowanej wytrzymałości muru. Badania można też doprowadzić do naprężenia bliskiego wytrzymałości. Wyraźne odchylenie wykresu od prostej jest (obok pojawienia się rys w murze) oznaką znacznego wyężenia muru i powoduje zwykle przerwanie badania. Wyniki badań laboratoryjnych murów wskazują, że błąd przy szacowaniu naprężeń oraz modułu sprężystości w murze przy zastosowaniu metody flat-jack nie przekracza 20% [6], [8]. Warto nadmienić, iż obecnie produkowane poduszki ciśnieniowe mają ograniczenia do 7 lub 10 MPa, co dyskwalifikuje tę metodę w przypadku konieczności zbadania konstrukcji murowych o większych wytrzymałościach muru.

Podobny do metody flat-jack sposób określenia wytrzymałości muru na ściskanie jest opisany w pracy [7]. Polega on na wykonaniu następujących czynności. Poprzez usuwanie cegieł w badanym murze wykonuje się gniazda usytuowane w pionie na odległości 3–4 warstw muru. W warstwy te osadza się dźwignie połączone przegubowo z siłownikiem hydraulicznym i rozpórkę (rys. 3).

Obciążenie wywołane siłownikiem przekazywano na warstwy muru usytuowane pomiędzy gniazdami w postaci ich ściskania aż do zniszczenia.



Rys. 4. Badania muru in situ na ściskanie siłownikiem hydraulicznym (a) i odkształcenia trwałe muru po badaniu (b)

3. Badanie muru metodą niszczącą in situ

Przez autorów niniejszej pracy od lat stosowana jest następująca metoda niszczącą in situ [8]. Badania polegają na ściskaniu muru za pomocą siłownika hydraulicznego usytuowanego w specjalnie wykonanych wnękach w ścianach murowych. Obciążenie od siłownika przekazywano na górną i dolną warstwę muru w postaci sił skupionych przez sztywne podkładki stalowe. Podczas stopniowego obciążenia za pomocą czujnika zegarowego mierzono zmianę uskoku tłoka siłownika, czyli sumaryczne deformacje muru w dolnej i górnej strefach ściskania. Jednocześnie rejestrowane są wszystkie objawy niszczenia muru w postaci jego zarysowań, spękań oraz rozdrobnienia. Obciążenie przekazywano aż do spadku ciśnienia w systemie hydraulicznym „pompa-siłownik”, co świadczy o przekroczeniu wytrzymałości muru na ściskanie (rys. 4). Wartość wytrzymałości charakterystycznej muru w tym przypadku określa się ze wzoru:

$$f_k = \frac{P_{sr}}{A_b \beta}$$

gdzie:

P_{sr} – wartość średnia siły niszczącej z „n” liczby badań,

A_b – pole powierzchni obciążenia muru,

β – współczynnik uwzględniający efekt skupionego obciążenia według ustaleń pkt. 6.1.3 normy PN-EN 1996-1-1.

W celu weryfikacji opisanej wyżej metody przeprowadzono badania porównawcze z metodą polegającą na oszacowaniu wytrzymałości cegieł i zaprawy pobranych z muru oraz zastosowaniu normowych zależności wiążących te wielkości z wytrzymałością muru.

Badania wykonano na przemysłowym budynku murowym wzniesionym w 1895 roku w Gorzowie Wielkopolskim. Konieczność określenia wytrzymałości muru na ściskanie wynikała z planowanego zwiększenia obciążenia na ściany ze względu na nadbudowę budynku. Na podstawie wstępnych badań makroskopowych ścian budynku stwierdzono ich zadowalający stan techniczny (brak ubytków, zaprawy, cegieł, a także spękań i zarysowań).

Z przedmiotowego muru w sposób losowy pobrano 9 cegieł, które zbadano na ściskanie według ustaleń normowych PN-EN 772-1. Arytmetyczna średnia wytrzymałość na ściskanie wynosiła $f_b = 23,8$ MPa. Badania wytrzymałościowe zaprawy wykonano na wyizolowanych z muru plackach spoin poziomych. Kawałki spoin sklejały między sobą dwuwarstwowo i następnie badano na ściskanie w prasie hydraulicznej.

Średnia wytrzymałość na ściskanie z 19 zbadanych próbek zaprawy wynosiła $f_m = 0,7$ MPa.

Zależność pomiędzy wytrzymałością charakterystyczną muru na ściskanie f_k a średnią wytrzymałością na ściskanie elementów murowych f_b i zaprawy f_m określano ze wzoru normy PN-EN 1996-1-1:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,55 \cdot 23,8^{0,7} \cdot 0,7^{0,3} = 4,5 \text{ MPa}$$

gdzie: K – wartość stała, która zgodnie z tablicą 3.3 normy PN-EN 1996-1-1 dla zaprawy ogólnego stosowania przy zmniejszonej gęstości równej $r_d = 1650 \text{ kg/m}^3$ wynosi $K=0,55$.

4. Podsumowanie

Z powyższego wynika, że wytrzymałość charakterystyczna muru określona na podstawie badań laboratoryjnych jego składników jest o 18% większa od wytrzymałości muru według jego badań *in situ*. Warto nadmienić, że przy badaniach materiałów murowych rośnie błąd w ocenie wytrzymałości muru na ściskanie. Większy błąd wynika z niepewności w oszacowaniu wytrzymałości cegieł i zaprawy oraz z zastosowania przybliżonych zależności wiążących te wielkości z wytrzymałością muru [2], [3]. W przytoczonym przypadku współczynnik zmienności wytrzymałości na ściskanie określonej według

metody jak na rysunku 4 wynosił 9%, natomiast wytrzymałości na ściskanie cegły 32%. Warto nadmienić, iż zastosowanie wymienionej metody jest możliwe wyłącznie w przypadku zgody służb konserwatorskich. Po zakończeniu badań wężki wykonane do usytuowania siłownika hydraulicznego wraz z obszarem zniszczeń należy przemuruwać.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Orłowicz R., Tkacz P., Bilko P., Metody badań wytrzymałości muru w budynkach istniejących, XXVI Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2011
- [2] Matysek P., Identyfikacja wytrzymałości na ściskanie i odkształcalności murów ceglanych w obiektach istniejących, Politechnika Krakowska, Kraków, 2014
- [3] Tkacz P., Ocena wytrzymałości na ściskanie konstrukcji murowych z uwzględnieniem badań *in situ*, Rozprawa doktorska, Szczecin, 2015
- [4] Corradi M., Borri A., Vignoli A., Strengthening techniques tested on masonry structures struck by the Umbria-Marche earthquake of 1997-1998, Construction and Building Materials 16/2002
- [5] ASTM Standard C 1197-91, In situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method, 1991
- [6] Szwaranowicz A., Metoda badań wytrzymałościowych konstrukcji murowych *in situ* za pomocą poduszek ciśnieniowych, Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik nr 4 (124) 2002
- [7] Henkel J., Die Ermittlung der Mauerwerksgüte von Bestandsmauerwerk auskleinformatischen Ziegeln Varianten der Festigkeitsprüfung Mauerwerk 20/2016, Heft 5
- [8] Orłowicz R., Tkacz P., Nośność i naprawa niejednorodnych ścian murowych budynków zabytkowych, Materiały Budowlane 12/2016

64. Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB Krynica Zdrój, 16-20.09.2018 r.

Tematyka części problemowej

INŻYNIERIA KOLEJOWA - SZANSE I WYZWANIA

- Rozwój infrastruktury kolejowej
- Koleje dużych prędkości
- Obiekty inżynierskie
- Zagadnienia środowiskowe w transporcie szynowym
- Statyka i dynamika dróg szynowych
- BIM w kolejnictwie
- Infrastruktura tramwajowa

Tematyka części ogólnej

PROBLEMY NAUKOWE BUDOWNICTWA

- Budownictwo hydrotechniczne
- Budownictwo ogólne
- Fizyka budowli
- Geotechnika
- Inżynieria komunikacyjna
- Inżynieria materiałów budowlanych
- Inżynieria przedsięwzięć budowlanych
- Konstrukcje betonowe
- Konstrukcje metalowe
- Mechanika konstrukcji i materiałów