

dr inż. Piotr Matysek*

mgr inż. Michał Witkowski*

Wytrzymałość na ściskanie XIX-wiecznych murów ceglanych

Najczęściej wstępnego oszacowania wytrzymałości muru ceglanych dokonuje się na podstawie badań właściwości cegieł i zapraw. W XX w. opracowano wiele zależności empirycznych wiążących wytrzymałość muru z wytrzymałością cegieł i zapraw. W Polsce przez wiele dziesięcioleci stosowany był (także w analizach budynków istniejących) wzór L.J. Oniszczyka – w zmodyfikowanej postaci przyjęty w normach do projektowania [1, 2]. Obecnie wielu inżynierów stosuje zależności podane w PN-EN 1996-1-1 [3], chociaż jest ona przeznaczona do budynków nowo projektowanych. Powstaje pytanie o zakres stosowania wzorów normowych do oceny wytrzymałości XIX-wiecznych murów ceglanych.

Analiza badań

W tabeli przedstawiono nasze badania przeprowadzone na filarkach wyciętych z konstrukcji ceglanej budynku wzniesionej pod koniec XIX w. w kompleksie koszar arcyksięcia Rudolfa w Krakowie. Budynek został przeznaczony do wyburzenia. Wytrzymałość średnia na ściskanie badanych murów wyniosła 3,3 MPa, na-

Wyniki badań wytrzymałości murów, cegieł i zapraw wapiennych

Rodzaj elementu	Wytrzymałość na ściskanie		
	przedział wartości [MPa]	wartość średnia [MPa]	współczynnik zmienności [%]
Filary murowe	2,5 ÷ 3,8(*)	3,3	13,5
Cegły	c.sz.	19,7 ÷ 42,1	29,9
	p.s.w.z.	13,2 ÷ 24,5	18,4
	p.w.z.	18,3 ÷ 34,1	23,8
Zaprawa	1,2 ÷ 2,0(**)	1,5	19,1

c.sz. – całe cegły szlifowane [4]; p.s.w.z. – połówki cegieł spojone i wyprawione zaprawą [5]; p.w.z. – pojedyncze połówki wyprawione cienką warstwą zaprawy [4]; badania filarów, cegieł i zaprawy w stanie powietrzno-suchym po sezonowaniu przez min. 14 dni w temp. 16 – 19° i wilgotności powietrza mniejszej niż 65%;

(*) wymiary przekroju poprzecznego filarów 240 x 240 mm, wysokość filarów ok. 500 mm; (**) badania na próbkach prostopadłościennych o bokach 35 x 45 mm

* Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Łądowej

tomiast współczynnik zmienności wytrzymałości 13,5%. Biorąc pod uwagę, że elementy do badań zostały wycięte z różnych części konstrukcji, rozrzut wytrzymałości murów należy uznać za stosunkowo niewielki.

Wykonano również badania cegieł i zapraw pobranych z konstrukcji. Badania cegieł przeprowadzono zgodnie z PN-EN 772:1 [4] i PN-70-B-12016 [5]. Wytrzymałość na ściskanie cegieł określona zgodnie z normą na całych ceglach szlifowanych była 1,6 razy większa niż próbek złożonych z dwóch połówek cegieł połączonych i wyrównanych zaprawą oraz 1,25 razy większa niż wytrzymałość pojedynczych połówek wyrównanych cienką warstwą zaprawy cementowej. Biorąc pod uwagę wymiary badanych cegieł (długość 285 ÷ 295 mm; szerokość 137 ÷ 145 mm; wysokość 64 ÷ 67 mm) można ocenić, że ich znormalizowana wytrzymałość na ściskanie wynosi $f_b = 22,4$ MPa. Badane cegły charakteryzowały się więc bardzo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi.

Badania zapraw przeprowadzono na próbkach prostopadłościennych docinanych i szlifowanych na sucho z większych fragmentów materiału, który wypełniał spoiny podłużne w środkowej części filara. Odniesienie badań zapraw wapiennych prowadzonych na tego typu próbkach do obowiązujących procedur normowych jest jednak niezwykle trudne. Wynika to nie tylko z faktu różnic w kształcie próbek. Istotne znaczenie mają również takie czynniki jak czas oraz warunki wiązania zapraw, a także specyfika surowców użytych do ich przygotowania. Wytrzymałość zapraw na bazie wapna rośnie w czasie wolniej niż zapraw cementowych, ale proces ten trwa przez wiele lat i w konsekwencji wytrzymałość na ściskanie zapraw wapiennych może być wielokrotnie większa niż badana po 28 dniach. Z drugiej strony w XIX-wiecznej konstrukcji użytkowanej przez ponad sto lat, na skutek oddziaływań środowiskowych, mogły nastąpić procesy powodujące degradację struktury zaprawy (zwłaszcza w strefach

powierzchniowych murów). Interpretacja wyników badań wytrzymałościowych zapraw pobranych z konstrukcji istniejących jest więc zagadnieniem bardzo złożonym, a rezultat jest z reguły obarczony znacznie większym błędem niż w przypadku cegieł.

Porównanie wyników badań doświadczalnych na murach ceglanych wyciętych z konstrukcji budynków istniejących z wytrzymałościami określonymi ze wzoru podanego w PN-EN 1996-1-1 przedstawiono na rysunku.

Zależność normowa w postaci:

$$f_k = 0,36 f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (1)$$

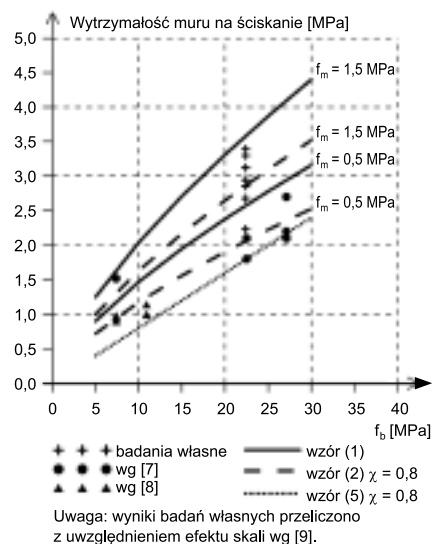
gdzie:

f_b – znormalizowana wytrzymałość na ściskanie cegieł;

f_m – wytrzymałość na ściskanie zaprawy;

uwzględnia redukcję wytrzymałości muru o 20% ze względu na występowanie spoin podłużnych.

Oprócz badań własnych uwzględniono również wyniki badań murów prowadzonych w Niemczech [7] i w Chinach [8]. Wyniki badań na filarach przeliczono z uwzględnieniem ich smukłości na wytrzymałość określoną zgodnie z PN-EN 1052-1 [6].



Wyniki badań murów ceglanych na zaprawach wapiennych (próbki wycięte z konstrukcji) odniesione do wzorów normowych



CANASTOL - Woda pod kontrolą

• • • • •
- środki hydrofobizujące do układów cementowych (tynki, zaprawy klejowe, szpachle)



RETTENMAIER POLSKA
SP. z o.o.
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7b
02-366 Warszawa
Tel. +48 (22) 608 51 09
Fax +48 (22) 608 51 51

Podkreślić należy, że wzory normowe kalibrowane były na podstawie badań przeprowadzonych na murach, w których używano współczesnych materiałów. Bezpośrednie ich zastosowanie, bez odpowiedniej modyfikacji do konstrukcji XIX-wiecznych, nie powinno mieć miejsca. Proponuje się więc współczynnik korekcyjny (χ) uwzględniający:

- specyficzne cechy muru historycznego i jego struktury (np. grubość oraz stopień wypełnienia spoin zaprawą, imperfekcje geometryczne cegieł i spoin, niejednorodność materiałową komponentów);
- wpływ długotrwałego działania obciążenia;
- stan techniczny konstrukcji murowej;
- niepewność w oszacowaniu wytrzymałości cegieł i zaprawy.

Wartość współczynnika korekcyjnego jest trudna do precyzyjnego określenia. Z wykresów na rysunku wynika, że współczynnik ten przyjmowany do oszacowania wytrzymałości muru nie powinien być większy niż 0,8. W praktyce do oszacowania wartości współczynnika mogą być pomocne oprócz szczegółowych oględzin konstrukcji i pomiarów geometrii muru, badania nieniszczące (np. sklerometryczne, ultradźwiękowe, impact-echo), które dostarczają informacji na temat jednorodności konstrukcji (miejsc osłabień, przemurowań, pustek, rozwarstwień, stref zawilgocenia).

Wytrzymałość na ściskanie murów ceglanych w budynkach XIX-wiecznych ($f_k^{hist.}$), po wprowadzeniu współczynnika redukcyjnego, można określać z zależności:

$$f_k^{hist.} = 0,36 \chi f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (2)$$

$$\chi \leq 0,8 \quad (3)$$

gdzie:

f_b – znormalizowana wytrzymałość na ściskanie cegieł,

f_m – wytrzymałość zaprawy w spoinie muru.

W przypadku słabych zapraw wapiennych, przy braku możliwości pobrania odpowiednich próbek zaprawy do badań, przyjmując można $f_m = 0,5$ MPa i wówczas zależność (2) upraszcza się do postaci:

$$f_k^{hist.} = 0,29 \chi f_b^{0,7} \quad (4)$$

Uważamy, że w przypadku murów na słabych zaprawach wapiennych można również stosować zmodyfikowaną zależność podaną w PN-B-03002:1999 [10]:

$$f_k^{hist.} = 0,1 \chi f_b \quad (5)$$

Wytrzymałość na ściskanie murów określona z zależności (5) jest nieco mniejsza niż ze wzoru (4) – rysunek. Pamiętać jednak należy, że do czasu wprowadzenia norm PN-EN współczynniki obciążeniowe stosowane przy sprawdzaniu nośności ścian murowych były również mniejsze.

Wnioski

XIX-wieczne mury ceglane, w porównaniu z murami realizowanymi współcześnie (których dotyczą aktualne normy), charakteryzują się specyficznymi właściwościami. Z reguły wznoszone były na zaprawach wapiennych. Przekroje poprzeczne ścian i filarów są na tyle duże, że w objętości murów znaczną część zajmują pionowe spoiny podłużne (w różnym stopniu wypełnione zaprawą). Grubość spoin wspornych w murach XIX-wiecznych niejednokrotnie przekracza wartość graniczną (15 mm) podawaną w aktualnych normach. Czynniki te powinny być brane pod uwagę przy ocenie wytrzymałości muru. W analizie XIX-wiecznych konstrukcji murowych konieczne jest stosowanie odpowiednio wysokich współczynników bezpieczeństwa ($\gamma_M \geq 2,5$).

Literatura

- [1] PN-67/B-03002 Konstrukcje murowe z cegły. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [2] PN-87/B-03002 Konstrukcje murowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [3] PN-EN 1996-1-1:2009 Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [4] PN-EN 772-1:2001 Metody badań elementów murowych. Część 1: Określanie wytrzymałości na ściskanie.
- [5] PN-70-B-12016 Wyroby ceramiki budowlanej – Badania techniczne.
- [6] PN-EN 1052-1:2001 Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [7] Schrank R.: Materialeigenschaften historischen Ziegelmauerwerks im Hinblick auf Tragfähigkeitsberechnungen am Beispiel der Leipziger Bundwand. Das Mauerwerk – Zeitschrift für Technik und Architektur, 10/2002.
- [8] Li X.; Gu X. L.; Gao Z. N.; Ouyang Y.; Liu N. K.: Determination of mechanical properties of historical brick masonry materials, Structural Analysis of Historical Constructions – Jerzy Jasieńko (ed), 2012 DWE, Wrocław, Poland.
- [9] Krefeld W.: The effect of shape of specimens on the apparent compressive strength of brick masonry. Proceedings of American Society for Testing and Materials, Vol. 38, Part I, 1938.
- [10] PN-B-03002:1999 Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.