

dr hab. inż. Piotr Matysek, prof. PK¹⁾
ORCID: 0000-0002-7105-639X

Ocena wytrzymałości murów na podstawie badań próbek cegieł i zapraw pobranych z konstrukcji

Assessment of masonry strength based on tests of brick and mortar samples taken from the structures

DOI: 10.15199/33.2023.12.01

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę szacowania wytrzymałości murów w budynkach istniejących na podstawie badań próbek cegieł i zapraw pobranych z konstrukcji. Metoda ta polega na adaptacji zależności potęgowej podanej w normie Eurokod 6. Dzięki zaproponowanym rozwiązaniom możliwe jest określenie wytrzymałości na ściskanie również murów na zaprawie o małej wytrzymałości. Opracowana metoda uwzględnia wpływ na szacowaną wytrzymałość muru takich czynników, jak rozrzut wytrzymałości cegieł i zapraw oraz liczba próbek, która została użyta do oceny cech wytrzymałościowych materiałów murowych.

Słowa kluczowe: mury historyczne; wytrzymałość muru; wytrzymałość cegieł; wytrzymałość zaprawy.

Abstract. In the article a method for estimating the masonry strength in existing buildings based on tests of brick and mortar samples taken from the structure is presented. This method adapts the power function given in Eurocode 6. Thanks to the proposed solutions, it is possible to also determine the compressive strength for masonry with low-strength mortars. The developed method takes into account the influence on the estimated masonry strength of such factors as the dispersions of the strength of bricks and mortars and the number of samples used to assess the strength characteristics of masonry materials.

Keywords: historical masonry; masonry strength; brick strength; mortar strength.

W przypadku rewitalizacji, modernizacji i przebudowy obiektów murowanych istotne znaczenie ma zachowanie oryginalnej konstrukcji zrealizowanej kilkadziesiąt lub kilkaset lat temu. Najczęściej ściany i filary w tego typu budynkach są wykonane z cegły ceramicznej na zaprawie wapiennej lub wapienno-cementowej.

Do połowy XIX w. cegły były formowane ręcznie i wypalane w prostych piecach polowych lub mielerzowych. Cechą charakterystyczną tego typu cegieł jest z reguły duża zmienność cech fizyko mechanicznych i znaczne imperfekcje kształtu. Po wynalezieniu pieca tunelowego, a następnie pieca kręgowego Hoffmana oraz maszyn do formowania, rozpoczęto produkcję cegieł na skalę przemysłową. Cegły ceramiczne stały się podstawowym materiałem budowlanym w czasach rewolucji przemysłowej i związanego z nią gwałtownego rozwoju miast. Wraz z produkcją przemysłową wytwarzano, choć zdecydowanie na mniejszą skalę, cegły w małych, lo-

kalnych cegielniach. Ręcznie formowane i tradycyjnie wypalane cegły produkowano jeszcze w drugiej połowie ubiegłego stulecia.

Do ostatnich dziesięcioleci XIX w. podstawowym spoiwem zapraw używanych do wznoszenia konstrukcji murowych było wapno. Nie oznacza to, że zaprawy były „czysto” wapienne. Dodawano do nich różne składniki poprawiające właściwości. Korzystny wpływ miał np. dodatek zmielonego materiału ceramicznego pozyskiwanego z gruzu ceglano. W Polsce cement do zapraw zaczęto dodawać pod koniec XIX w. i to głównie przy realizacji obiektów inżynierskich (mostów, wiaduktów), przemysłowych i użyteczności publicznej.

Znaczna różnorodność cegieł i zapraw używanych w przeszłości, a także różne technologie stosowane do wznoszenia konstrukcji powodują, że ocena wytrzymałości murów jest zadaniem trudnym i złożonym. Nie ułatwia tego fakt, że w Polsce, w odróżnieniu od konstrukcji z betonu, nie ma obecnie norm określających zalecenia dotyczące oceny wytrzymałości murów w obiektach istniejących. Skutkiem tego jest duża dowolność w wyborze metod ich badania oraz inter-

pretacji wyników. Powszechnie stosowane metody bazujące przede wszystkim na ocenie wizualnej konstrukcji i bardzo ograniczonych badaniach in situ prowadzą z reguły do błędnego oszacowania wytrzymałości murów. W konsekwencji, w zaawansowanych modelach numerycznych konstrukcji murowych, tworzonych na potrzeby opracowań eksperckich czy projektowych, stosowane są niewiarygodne dane dotyczące struktury i cech mechanicznych murów. Błędna ocena stanu konstrukcji murowej rewitalizowanych obiektów może prowadzić do ich awarii lub katastrofy.

Najlepsze rezultaty w ocenie wytrzymałości murów daje połączenie metod nieniszczących i małoniszczących z badaniami na odwiertach rdzeniowych lub filarkach wyciętych z konstrukcji [1, 2]. Wycięcie odpowiednio dużych próbek walcowych lub filarków w liczbie koniecznej do wiarygodnej oceny wytrzymałości muru nie zawsze jest możliwe. Konieczne jest więc poszukiwanie innych uzupełniających metod diagnostycznych. W wielu krajach dość powszechnie stosowana jest metoda oceny stanu naprężeń w murze za pomocą poduszek ciśnieniowych (metoda flat-jack)

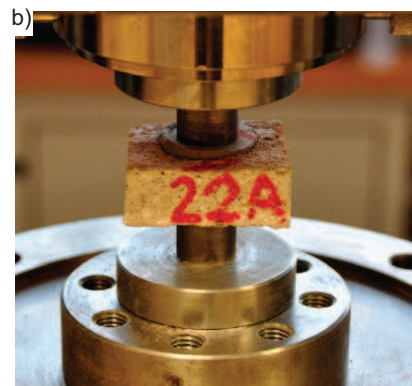
¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Łądowej; piotr.matysek@pk.edu.pl

[1, 3]. Podejmowane są również próby oceny wytrzymałości muru z wykorzystaniem młotka Schmidta [4, 5]. Metody te odnoszą się jedynie do stref powierzchniowych murów i z tego powodu do wyników takich badań należy podchodzić z dużą rezerwą. W Polsce zagadnieniami diagnostyki konstrukcji murowych zajmuje się wiele ośrodków badawczych [2, 6, 7].

W artykule przedstawiono metodę oceny wytrzymałości na ściskanie muru na podstawie badań próbek cegieł i zaprawy pobranych z konstrukcji murowej. Może być ona przydatna w badaniach konstrukcji historycznych, w przypadku których wymagane jest ograniczenie zakresu uszkodzeń związanych z pobieraniem próbek.

Badania cegieł i zapraw pobranych z konstrukcji

Wytrzymałość cegieł i zapraw to jedne z podstawowych parametrów determinujących wytrzymałość na ściskanie muru. Do ich określenia może być stosowanych wiele metod nieniszczących, ale najbardziej wiarygodne rezultaty, zgodnie z zaleceniami UIC [5], dają badania na próbkach pobranych z konstrukcji murowej. W przypadku cegieł badania takie można prowadzić wg normy PN-EN 772-1 [8]. Pobieranie całych cegieł pełnych z muru nie zawsze jest konieczne. Badania można prowadzić na mniejszych elementach (połówkach cegieł, próbkach walcowych, kostkach wycinanych z mniejszych fragmentów odspojonych cegieł). Minimalne wymiary elementów wyciętych z cegieł zależą od struktury materiału ceramicznego, w której mogą występować różnego typu wtrącenia i nieciągłości. Dotychczasowe moje doświadczenia wskazują, że elementy do badań wytrzymałościowych wycinane z cegły nie powinny mieć wymiarów mniejszych niż 50 mm. Przed badaniem powierzchnie próbek, do których będzie przykładane obciążenie, należy precyzyjnie wyszlifować w celu spełnienia wymagań płaskości i równoległości wg normy [8]. Kierunek przykładania obciążenia ściskającego powinien być taki sam jak kierunek działania obciążenia w murze – fotografia a. Wielkość i kształt próbek cegieł mają istotny



Badanie wytrzymałości cegieł i zapraw: a) próbka kostkowa z cegły w próbie ściskania; b) badanie zaprawy metodą stempla (DPT)

The strength test of bricks and mortars: a) brick cube sample in compression test; b) mortar testing using the DPT method

wpływ na wyniki badań wytrzymałościowych. Z tego powodu PN-EN 772-1 [8] zaleca stosować odpowiednie współczynniki korekcyjne w procesie analizy wyników badań. Wpływ na wytrzymałość cegieł ma także stopień ich zawilgocenia. Znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie próbki (f_{bi}) uzyskuje się przez pomnożenie wartości uzyskanej w badaniach (f_{bt}) przez współczynniki uwzględniające efekt kształtu i wymiarów (δ) oraz wilgotności (η_w):

$$f_{bi} = \eta_w \delta f_{bt} \quad (1)$$

Wartości współczynnika korekcyjnego δ podano w tabeli 1. W przypadku, gdy cegły badane są w stanie powietrzno-suchym, to współczynnik η_w jest równy 1,0, natomiast gdy w stanie mokrym η_w wynosi 1,2. Liczba próbek konieczna do ustalenia wytrzymałości cegieł zależy od rodzaju badanej konstrukcji murowej. Z reguły przyjmuje się, że nie powinna ona być mniejsza niż 6.

Wytrzymałość na ściskanie zaprawy (f_m) określa się na połówkach beleczek normowych 40 x 40 x 160 mm zgodnie z PN-EN 1015-11 [9]. Pobranie takich

Tabela 1. Wartości współczynnika korekcyjnego δ zgodnie z PN-EN 772-1 [8]

Table 1. Values of the correction factor δ in accordance with the PN-EN 772-1 [8]

Wysokość próbki [mm]	Współczynnik korekcyjny δ		
	mniejszy wymiar próbki [mm]		
	50	100	150
50	0,85	0,75	0,70
65	0,95	0,85	0,80
100	1,15	1,00	0,90

Uwaga: w przypadku wymiarów pośrednich należy stosować interpolację liniową.

próbek z istniejącego muru nie jest możliwe, ponieważ grubość spoin w murach ceglanych wynosi zwykle $6 \div 25$ mm. Badanie wytrzymałości zaprawy można więc wykonywać na małych próbkach prostokątnych o boku np. 20 mm, ale ich przygotowanie jest bardzo kłopotliwe i duży wpływ na uzyskiwane wyniki mają uszkodzenia powstające w trakcie wycinania i szlifowania próbek. W związku z tym, norma niemiecka DIN 18555-9 [10] zaleca określać wytrzymałość na ściskanie zaprawy metodą stempla, określaną również jako metoda DPT. Próbkę zaprawy pobierane z muru mają wysokość równą grubości spoin, a te o nieregularnym rzucie są docinane w laboratorium do wymiaru 50 x 50 mm. Próbkę obciążaną są lokalnie w środkowej części za pomocą stempli stalowych o średnicy 20 mm (fotografia b). Obciążana jest więc powierzchnia próbki oddalona od krawędzi, które były docinane i mogły ulec osłabieniu. Próbkę wyrównuje się gipsem, aby zachowana była płaskość i równoległość obciążanych powierzchni.

Wytrzymałość zaprawy (f_{dpt}) określa się jako stosunek siły niszczącej do przekroju stempla. Kształt próbki i sposób jej obciążenia powodują, że wartości wytrzymałości uzyskane w teście stempla są większe niż w badaniach próbek normowych zgodnie z normą PN-EN 1015-11 [9]. Szacunkowo można przyjąć $f_m = 0,5 f_{dpt}$. Minimalna liczba próbek zaprawy do badań, ze względu na dużą niejednorodność zapraw w spoinach, nie powinna być mniejsza niż 10.

Ocena wytrzymałości na ściskanie muru

W normie PN-EN 1996-1-1 [11] podano zależność potęgową umożliwiającą wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie murów wykonanych na zaprawach zwykłych na podstawie wytrzymałości elementów murowych i zaprawy:

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

gdzie:

f_k – charakterystyczna wytrzymałość muru na ściskanie;

f_b – znormalizowana średnia wytrzymałość na ściskanie elementów murowych wg PN-EN 772-1;

f_m – średnia wytrzymałość na ściskanie zaprawy wg PN-EN 1015-11;

K – współczynnik w przypadku murów z cegieł pełnych $K = 0,45$.

W przypadku, gdy w murach z cegieł występuje spoina podłużna, to wytrzymałość określoną na podstawie wzoru (3) należy zredukować, stosując współczynnik 0,8. Po uwzględnieniu współczynnika redukcyjnego, zależność (3) sprowadza się do postaci:

$$f_k = 0,36 f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (4)$$

Należy podkreślić, że podane wzory odnoszą się do murów aktualnie projektowanych i wznoszonych ze współczesnych materiałów. PN-EN 1996-1-1 [11] wymaga np., aby współczynnik zmienności wytrzymałości cegieł nie przekraczał 25%, a grubość spoin wspornych wynosiła $6 \div 15$ mm. W przypadku wielu konstrukcji zrealizowanych kilkadziesiąt, czy kilkaset lat temu wymagania te nie są spełnione. Najczęściej współczynnik zmienności wytrzymałości na ściskanie cegieł pobranych z murów wynosi $30 \div 40\%$. Podobny zakres tego współczynnika uzyskuje się w badaniach zapraw pobranych ze spoin [2, 6, 12]. Grubość spoin w murach budynków istniejących często przekracza wartości dopuszczalne określone w normie. W starych konstrukcjach niespełnione są z reguły wymagania dotyczące dopuszczalnych odchylek wymiarów cegieł.

Wzory podane w PN-EN 1996-1-1 [11] kalibrowane były na podstawie wyników badań murów wykonanych na zaprawach o wytrzymałości ponad 1,0 MPa. Z tego powodu wzór (4) ma ograniczone zastosowanie w przypadku murów wzniesionych na słabych zaprawach wapiennych, które były powszechnie

stosowane w konstrukcjach istniejących. Ponadto w przypadku zapraw o wytrzymałości $f_m = 0$ uzyskuje się z zależności (4) wytrzymałość muru równą zero, co jest niezgodne z wynikami badań i obserwacji. Mur na świeżej zaprawie ma bowiem wytrzymałość równą ok. 10% wytrzymałości na ściskanie cegieł [2]. W związku z tym proponuję korektę zależności (4) do postaci przedstawionej na rysunku. W przypadku, gdy wytrzymałość zapraw $f_m \geq 1,0$ MPa, wówczas, zależność $f_k(f_b, f_m)$ określona jest wzorem (5),

$$f_k = \eta_K 0,36 f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (5)$$

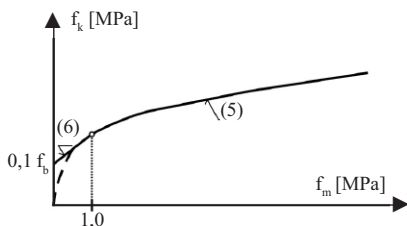
natomiast gdy wytrzymałość zapraw jest mniejsza niż 1,0 MPa, wówczas zależność $f_k(f_b, f_m)$ opisuje funkcja:

$$f_k = 0,1 f_b (1 - f_m) + \eta_K 0,36 f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (6)$$

Współczynnik $\eta_K \leq 1,0$ zależy od jakości wykonania muru, m.in. od grubości spoin wspornych. Jeżeli jakość wykonania muru jest dobra, natomiast średnia grubość spoin wspornych (t_j) przekracza 15 mm, to można przyjąć:

$$\eta_K = \sqrt{\frac{15}{t_j}} \quad (7)$$

Badania materiałów pobranych z istniejących budynków murowych pokazują, że rozkład wytrzymałości murów, cegieł i zapraw jest log-normalny [6, 12, 13]. Biorąc pod uwagę ograniczoną liczbę próbek, które można pobrać z konstrukcji, duże rozrzuty wy-



Zależność do określania wytrzymałości na ściskanie muru

Formula for determining the compressive strength of masonry

Tabela 2. Wartość współczynnika k_{50} do analizy wyników badań cegieł i zaprawy – 50% kwantyl (mediana) – przedział ufności 75%

Table 2. The values of k_{50} coefficient for the analysis of brick and mortar test results – 50% quantile (median)

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x znane	0,67	0,48	0,39	0,34	0,30	0,28	0,24	0,21	0,15	0,12	0
V_x nieznanne	–	0,71	0,47	0,38	0,33	0,30	0,25	0,22	0,15	0,12	0

V_x – współczynnik zmienności wytrzymałości

trzymałości oraz niepewność oszacowania cech wytrzymałościowych cegieł i zapraw uzasadnione jest stosowanie następujących zależności do określenia f_b i f_m :

$$f_b = e^{m_{y,b} - k_{x,b} s_{y,b}} \quad (8)$$

$$f_m = e^{m_{y,m} - k_{x,m} s_{y,m}} \quad (9)$$

gdzie:

$m_{y,b}$, $m_{y,m}$ – wartości średnie zmiennych losowych $\ln(f_{b,i})$ i $\ln(f_{m,i})$ – wg zależności (10), (11); odchylenia standardowe zmiennych losowych $\ln(f_{b,i})$ i $\ln(f_{m,i})$ – wg zależności (12), (13);

$k_{x,b}$, $k_{x,m}$ – współczynniki, których wartość zależy od liczby próbek cegieł (n_b) i zaprawy (n_m) oraz przyjętych kwantyli rozkładów wytrzymałości.

$$m_{y,b} = \frac{1}{n_b} \sum \ln(f_{b,i}) \quad (10)$$

$$m_{y,m} = \frac{1}{n_m} \sum \ln(f_{m,i}) \quad (11)$$

$$s_{y,b} = \sqrt{\frac{1}{n_b - 1} \sum (\ln f_{b,i} - m_{y,b})^2} \quad (12)$$

$$s_{y,m} = \sqrt{\frac{1}{n_m - 1} \sum (\ln f_{m,i} - m_{y,m})^2} \quad (13)$$

Podane zależności zostały zawarte w normie PN-EN 1990 – Załącznik D [14]. Wartości współczynników $k_{x,b}$ i $k_{x,m}$ przy założeniu kwantyli 50% (przedział ufności 75%) oznaczono jako k_{50} i podano w tabeli 2.

W związku z tym, że w przypadku obiektów istniejących nie są dostępne z reguły informacje o rozrzutach wytrzymałości cegieł i zapraw, należy stosować współczynniki k_{50} podane dla przypadków V_x nieznanne.

W proponowanej procedurze, szacowana wytrzymałość muru na ściskanie zależy od liczby próbek cegieł i zapraw pobranych z istniejącej konstrukcji murowej oraz od rozrzutów wytrzymałości cegieł i zapraw określonych na podstawie badań wytrzymałości próbek. Im mniejsza liczba zbadanych próbek cegieł oraz zapraw i im większe rozrzuty wytrzymałości, tym mniejsza szacowana wytrzymałość muru. Efektu tego nie uwzględnia się natomiast, stosując

wprost zależność (4) zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [11], która wartości f_b i f_m zaleca przyjmować jako średnie arytmetyczne. Różnica w oszacowaniu wytrzymałości murów na podstawie proponowanej procedury w stosunku do wytrzymałości określonej zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [11] będzie tym większa, im większe będą rozrzuty wytrzymałości cegieł i zaprawy oraz im mniejsza będzie liczba próbek materiałów murowych pobranych z konstrukcji istniejącej.

Porównanie wytrzymałości na ściskanie murów (f_k) wyznaczonej wg podanej procedury z wynikami badań doświadczalnych przeprowadzonych na filarach wyciętych z murów obiektów istniejących ($f_{k,obs}$) przedstawiono w tabeli 3. Dodatkowo podano wytrzymałość na ściskanie murów f_k^* obliczoną na podstawie wzoru (4) przy założeniu, że f_b i f_m są wartościami określonymi jako średnie arytmetyczne.

Jak wynika z tabeli 3, różnice pomiędzy wytrzymałością na ściskanie muru określoną na podstawie badań filarów wyciętych z konstrukcji i obliczoną na podstawie wytrzymałości cegieł i zapraw nie przekraczają 11%. Zgodność

określać jako 0,1 f_b , czyli przy założeniu $f_m = 0$.

Opisana metoda dotyczy jednorodnych murów ceglanych, o periodycznej strukturze wewnętrznej na całej grubości ściany czy filara. Z badań konstrukcji historycznych wynika, że mury realizowane były czasami jako warstwowe. Warstwa od strony zewnętrznej wykonywana była z cegieł i zapraw lepszej jakości, natomiast wewnętrzna z materiałów o gorszych parametrach. Z tego powodu zaleca się pobieranie cegieł i zapraw do badań wytrzymałościowych z obu stron muru oraz prowadzenie kontrolnych małosrednicowych przewiertów przez ściany i filary, w celu identyfikacji jednorodności struktury muru.

Podsumowanie

Ocena wytrzymałości murów w budynkach istniejących jest zagadnieniem złożonym, wymagającym przeprowadzenia specjalistycznych badań i analiz. W artykule przedstawiono metodę szacowania wytrzymałości murów na podstawie wyników badań próbek cegieł i zaprawy pobranych z konstrukcji. Nie wielkie wymiary pobieranych próbek

wać z dużą ostrożnością i stosować odpowiednio duże współczynniki bezpieczeństwa po stronie materiałów ($\gamma_M \geq 2,5$). Jako uzupełniające należy przeprowadzić badania nieniszczące oraz kontrolne odwierty w celu potwierdzenia jednorodności struktury muru w ścianach i filarach znacznej grubości.

Literatura

- [1] Binda L. Learning from failure – Long-term behavior of heavy masonry structures Southampton, Boston, WIT Press, 2008.
- [2] Matysek P. Identyfikacja wytrzymałości i odkształcalności murów ceglanych w obiektach istniejących, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014.
- [3] ASTM C1196-14a Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flatjack measurements, ASTM International, 2014.
- [4] Brencich A, Łątka D, Matysek P, Orban Z, Sterpi E. Compressive strength of solid clay brickwork of masonry bridges – estimate through Schmidt Hammer tests. Construction and Building Materials. 2021; 306.
- [5] UIC 778-3 Recommendations for the inspection, assessment and maintenance of masonry arch bridges, final draft, 2008.
- [6] Tkacz P. Ocena wytrzymałości na ściskanie konstrukcji murowych z uwzględnieniem badań in situ. Rozprawa doktorska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2015.
- [7] Drobiec Ł. Analysis of reasons for the structural collapse of historic buildings, Sustainability. 2021; 131.
- [8] PN-EN 772-1:2001 Metody badań elementów murowych. Część 1: Określanie wytrzymałości na ściskanie. PKN, 2001.
- [9] PN-EN 1015-11:2001 Metody badań zapraw do murów – Część 11: Określenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie stwardniałej zaprawy, PKN, 2001.
- [10] DIN 18555-9:1999 Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln – Teil 9, Festmörtel: Bestimmung der Fugendruckfestigkeit. Berlin, 2019.
- [11] PN-EN 1996-1-1 Eurokod 6, Projektowanie konstrukcji murowych Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych, 2005.
- [12] Müller D, Proske T, Graubner CA. Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Mauerwerkswände im Baustand, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BBSR-Publikation 24, Bonn, 2021.
- [13] Schueremans L. Probabilistic evaluation of structural unreinforced masonry, Katholieke Universiteit Leuven, 2001.
- [14] PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji. PKN, 2004.

Przyjęto do druku: 30.11.2023 r.

Tabela 3. Porównanie wytrzymałości na ściskanie murów ceglanych

Table 3. Comparison of the brick masonry compressive strength

Okres wzniesienia budynku	f_b [MPa]	f_m [MPa]	t_j [mm]	f_k [MPa]	$f_{k,obs}$ [MPa]	$f_k/f_{k,obs}$ [-]	f_k^* [MPa]
Lata 80. XIX wieku	18,9 (9)	1,1 (12)	20,3	2,5	2,4 (7)	1,04	3,1
Początek XX wieku	26,6 (8)	6,1 (10)	21,4	5,1	4,6 (4)	1,11	6,6
Połowa XX wieku	18,8 (8)	7,9 (10)	20,7	4,4	4,6 (4)	0,96	5,8

$f_{k,obs}$ – wytrzymałość charakterystyczna muru określona w badaniach filarów ceglanych o przekroju poprzecznym 0,28 x 0,28 m i wysokości 5 – 7 warstw murowych
(..) – w nawiasach podano liczbę próbek wykorzystaną do określenia danej wartości

można uznać więc za bardzo dobrą. Natomiast określenie wytrzymałości na ściskanie muru zgodnie z zależnością (4), bez uwzględnienia specyfiki murów historycznych, może skutkować znacznym przeszacowaniem ich wytrzymałości.

Istnieje wiele konstrukcji murowych zrealizowanych na bardzo słabych zaprawach. Wówczas pobranie próbek zaprawy nie jest możliwe. Nie można więc wykonać badań laboratoryjnych wytrzymałości zapraw. Wytrzymałość na ściskanie muru należy

pozwalając na ograniczenie uszkodzeń konstrukcji, co ma szczególne znaczenie w obiektach o charakterze zabytkowym. W proponowanej metodzie wytrzymałość muru uzależniona jest nie tylko od wytrzymałości cegieł i zaprawy, lecz także od jednorodności materiałów murowych i liczby próbek wykorzystanych w badaniach.

Ze względu na znaczną niejednorodność muru w konstrukcjach istniejących, wzniesionych kilkadziesiąt czy kilkaset lat temu, wyniki uzyskane przedstawioną metodą należy trakto-