

dr inż. Tomasz Janiak^{1*)}
 dr inż. Aleksandra Niespodziana¹⁾
 dr inż. Adam Grabowski¹⁾
 prof. dr hab. inż. Mykhaylo Delyavskyy¹⁾
 dr inż. Maria Olejniczak¹⁾

Ocena wytrzymałości na ściskanie murów istniejących budynków na podstawie badań próbek nienormowych

Compressive strength assessment of the existing brick masonry on the basis of the study of non-standard samples

DOI: 10.15199/33.2015.12.21

Streszczenie. Artykuł przedstawia metodę badań laboratoryjnych umożliwiających ocenę wytrzymałości murów na ściskanie w istniejących budynkach. Omówiono ją na przykładzie murów w XIX-wiecznym obiekcie. Pobrano próbki muru, których wymiary były niezgodne z zaleceniami normowymi. Takie postępowanie wynikało z ograniczeń technicznych oraz obawy o osłabienie istniejącej konstrukcji. W związku z tym wyznaczono współczynniki kształtu, które umożliwiły ustalenie normowej wytrzymałości badanych murów. Wymagało to przeprowadzenia dodatkowej serii badań na specjalnie przygotowanych próbkach.

Słowa kluczowe: badania murów, budynki istniejące, wytrzymałość na ściskanie, próbki nienormowe.

Abstract. The paper presents the laboratory research method that allows to assess the compressive strength of brick masonry for existing structures. The method has been analysed by the example of conducting research concerning XIX century building from which brick samples with non-standard dimensions were taken. The certain aspect ratios have been determined. They allow to determine standard compressive strength values of studied brick masonry. It required to run some extra tests with specifically prepared samples.

Keywords: research on brick masonry, existing buildings, compressive strength, non-standard samples.

W przypadku adaptacji istniejącego obiektu do nowych warunków użytkowania konieczna jest ocena stanu technicznego obejmująca m.in. sprawdzenie wytrzymałości elementów konstrukcyjnych. Zadanie jest tym trudniejsze, im starszy jest obiekt. Istnieje wiele metod oceny wytrzymałości elementów konstrukcyjnych w istniejących obiektach. Są wśród nich metody niszczące, częściowo niszczące i nieniszczące. Przy ocenie wytrzymałości na ściskanie betonów i murów ceglanych za najbardziej wiarygodną uznawana jest metoda niszcząca [3], polegająca na laboratoryjnym zbadaniu wytrzymałości próbek pobranych z obiektu. Zgodnie z normami badania powinny być wykonywane na próbkach o tak dużych rozmiarach, że najczęściej ich pobranie z istniejących budynków oraz bezpieczny transport do laboratorium są niemożliwe. W literaturze [3 ÷ 5] podano metody przeliczania wyników

z badania próbek nienormowych na hipotetyczne wyniki odpowiadające próbkom normowym. W miesięczniku „Materiały Budowlane” nr 10/2015 dr inż. Piotr Matysek w artykule pt. „Wytrzymałość na ściskanie murów w istniejących budynkach – ocena na podstawie badań próbek rdzeniowych” (str. 124 ÷ 126) omówił wyniki badań wytrzymałości na ściskanie murów na próbkach rdzeniowych średnicy 150 mm wyciętych z konstrukcji budynków wzniesionych w XIX i XX w., które dotychczas były rzadko stosowane w Polsce ze względu na przekonanie, że nie jest możliwe wycięcie z muru takich próbek bez naruszenia ich struktury. My przedstawimy **własny, oryginalny sposób oceny normowej wytrzymałości na ściskanie muru ceglanego na podstawie badań próbek o nienormowych wymiarach.**

Cel i zakres badań

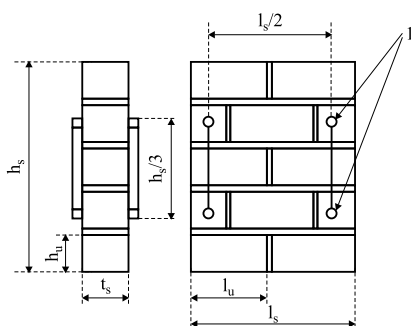
Celem badań było określenie wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie murów budynku na bydgoskiej Starówce, wzniesionego w drugiej połowie XIX w., który ma być przebudowywany. Wykonano również badania wytrzymałości na ściskanie cegieł,

z których je wykonano. Zakres badań obejmował: pobranie próbek; dostarczenie ich do laboratorium; przygotowanie próbek do badań; wykonanie badań oraz opracowanie wyników. Pobranie próbek powierzono zewnętrznej firmie dysponującej odpowiednim sprzętem, a badania wykonano w laboratorium Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.

Metody badań wytrzymałości na ściskanie elementów murowych (w tym cegieł) przedstawione są w normie [1], a murów w [2]. Norma [1] nie narzuca wymiarów próbek, gdyż uzależnione są one w dużym stopniu od badanego materiału. Próbki mogą mieć wymiary mniejsze od elementów murowych, np. stanowić połówki cegieł. Na podstawie tablicy A1 z załącznika A do normy [1] można ustalić współczynnik kształtu d , którego wartość zależy od wymiarów badanych próbek, umożliwiający określenie tzw. znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie. Wartość współczynnika d wynosi $0,65 \div 1,55$. Próbki muru należy wykonać z elementów murowych oraz zaprawy określonej klasy wg [2].

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: tomaszj@utp.edu.pl



Element próbnny muru [2]

Sample brick masonry [2]

Takie elementy próbne powinny mieć określony kształt oraz wymiary uzależnione od wymiarów pojedynczego elementu murowego, co dokładnie omówiono w punkcie 7.1 normy [2], gdzie zależności wymiarowe zestawiono w tabelicy 2, a kształt elementu próbnego przedstawiono jak na rysunku. Wymiary l_u i h_u dotyczą pojedynczego elementu murowego, a l_s , h_s i t_s odnoszą się do elementu próbnego muru.

Zdecydowano się na wycięcie próbki muru bezpośrednio z obiektu. Wymiary pobieranych próbek zostały ograniczone możliwościami pił zastosowanych do ich wycinania. Ponadto zbyt duże wycięte fragmenty murów mogłyby doprowadzić do istotnego osłabienia jego konstrukcji. Podjęto więc decyzję, że do badania wytrzymałości murów na ściskanie pobrane zostaną próbki o szerokości jednej cegły, długości połowy cegły i wysokości trzech cegieł. Przy wycinaniu próbek z kondygnacji nadziemnych okazało się, że większość z nich rozpada się (zaprawa odspajała się od cegieł) i w efekcie badano również próbki o wysokości dwóch cegieł. Na fotografii 1 przedstawiono próbki pobrane na potrzeby badania wytrzymałości murów i cegieł w czterech wybranych punktach poboru.

Ostatecznie próbki cegieł przybrały kształt zbliżony do połówki cegły. Ich powierzchnie wyrównano przez docięcie piłą. Próbki do badań wytrzymałości



Fot. 1. Próbki pobrane w miejscach budynku oznaczonych 2a ÷ 2d

Photo 1. Brick and wall samples taken from the building, marked as 2a ÷ 2d

ści na ściskanie murów wyrównano przez docięcie piłą ich powierzchni bocznych oraz wygładzono zaprawą powierzchnię górną i dolną. Widok przygotowanych i oznaczonych próbek z punktów poboru 2a ÷ 2d przedstawiono na fotografii 2.



Fot. 2. Próbki z punktów poboru 2a ÷ 2d przygotowane do badań

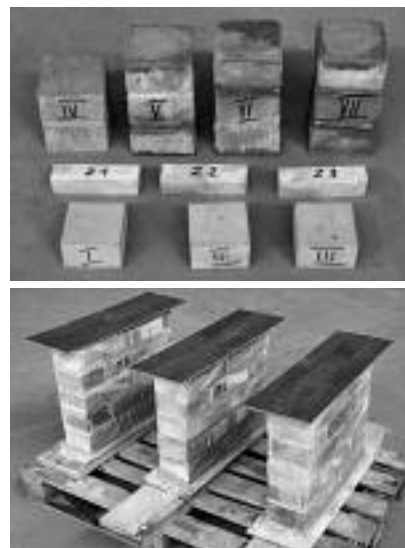
Photo 2. Brick and wall samples, marked as 2a ÷ 2d, prepared to study

Przygotowano 31 próbek do badania wytrzymałości cegieł i 14 próbek do badania wytrzymałości murów. W celu osiągnięcia wymaganej wilgotności i wytrzymałości zaprawy wyrównawczej próbki sezonowano. Badania wytrzymałości na ściskanie prowadzono zgodnie z normami [1, 2]. W przypadku cegieł obliczono znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie przez uwzględnienie współczynników kształtu d. Wartość wytrzymałości na ściskanie murów określono na próbkach pobranych z budynku i odpowiednio przygotowanych, ale niezgodnych z wymaganiami normy [2].

Określenie współczynników kształtu murów

Spodziewano się, że wyniki wytrzymałości na ściskanie murów różnią się od hipotetycznych wyników uzyska-

nych na próbkach zgodnych z wymaganiami normy [2]. W celu uwzględnienia tej różnicy wyznaczono współczynnik kształtu, korygujący nośność murów. Na potrzeby określenia współczynnika przygotowano nowe próbki do badań porównawczych (fotografia 3): trzy próbki cegieł (oznaczone ja-



Fot. 3. Próbki do badań porównawczych

Photo 3. Material prepared for comparative studies

ko I, II i III), trzy próbki zaprawy (Z1, Z2 i Z3), próbkę muru złożoną z dwóch połówek cegieł (IV), trzy próbki muru złożone z trzech połówek cegieł (V, VI i VII) oraz trzy próbki muru (M I, M II i M III) zgodne z normą [2]. Cegły użyte do wykonania wszystkich próbek pochodziły z jednej partii, a zaprawa z jednego zarobu.

W tabeli przedstawiono wyniki najistotniejsze z punktu widzenia wyznaczania współczynników kształtu, dotyczące wytrzymałości próbek odpowiadających kształtem i wymiarami próbkom pobranym z budynku oraz próbek zgodnych z normą [2].

Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie próbek porównawczych

Compressive strength results of the comparative samples

Oznaczenie próbki	Wymiary [mm]			Niszcząca siła ściskająca [kN]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość średnia [MPa]	Uwagi
	długość	szerokość	wysokość				
Próbki nienormowe							
IV	126,4	122,5	139	268,9	17,4	17,4	2 cegły
V	124,6	123,5	223,5	257,2	16,7		
VI	120,9	120,7	230,5	237,3	16,3	16,6	3 cegły
VII	122,6	121,1	235	248,3	16,7		
Normowe próbki muru (elementy próbne muru zgodne z [2])							
M I	525	120	410	545	8,7		
M II	510	120	410	465	7,6	8,1	
M III	522	120	411	500	8,0		

Współczynnik kształtu stanowi iloraz średniej wytrzymałości na ściskanie elementów próbnych muru i średniej wytrzymałości próbek nienormowych. Uzyskano następujące wartości współczynników: $d_{2cegly} = 0,47$; $d_{3cegly} = 0,49$.

Podsumowanie

Wytrzymałość murów zależy od parametrów elementów murowych oraz zaprawy. Sposób laboratoryjnego wyznaczania wytrzymałości na ściskanie murów określa norma [2], zgodnie z którą badania wykonuje się na specjalnie przygotowanych próbkach, tzw. elementach próbnych muru, które powinny mieć stosunkowo duże wymiary, co jest niemożliwe w przypadku próbek pobieranych z budynków istniejących.

Na przykładzie XIX-wiecznego budynku omówiono sposób laboratoryjnego wyznaczania wytrzymałości murów na ściskanie. Pobrane próbki znacznie różniły się wielkością i proporcjami wymiarów od normowych elementów próbnych. Wiedza na temat badań wy-

trzymałości na ściskanie próbek elementów murowych lub betonu pozwalała przypuszczać, że w przypadku wytrzymałości murów kształt i wymiary próbek będą miały istotny wpływ na wyniki. Z tego względu wykonano dodatkowe badania dwóch serii próbek porównawczych, wykonanych w laboratorium – jednych zgodnych z normą [2], a drugich odpowiadających kształtem i wymiarami próbkom pobranym z budynku. Pozwoliło to na obliczenie współczynników kształtu (podobnie jak to ma miejsce w przypadku badania elementów murowych), dzięki którym oszacowano normową wytrzymałość murów w przedmiotowym budynku. Wartość współczynników kształtu, będących ilorazem wytrzymałości określonej na elementach próbnych do wytrzymałości próbek nienormowych, wyniosła 0,47 i 0,49. Oznacza to, że względny błąd przy określaniu wytrzymałości murów na próbkach niezgodnych z normą [2] może być bardzo duży i wynosić nawet ponad 100%.

Uzyskane różnice wytrzymałości murów wyznaczone na próbkach o różnym kształcie i wymiarach pozwalają stwierdzić, że wytrzymałość określana na podstawie badań próbek niezgodnych z normą [2] nie powinna być przyjmowana jako miarodajna przy sprawdzaniu warunków nośności.

Literatura

- [1] PN-EN 772-1:2001, Metody badań elementów murowych. Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [2] PN-EN 1052-1, Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [3] Lewicki B., Diagnostyczna wytrzymałość obliczeniowa betonu i muru, Prace Instytutu Techniki Budowlanej, kwartalnik nr 3 (123) 2002.
- [4] Matysek P., Witkowski M., Badania wytrzymałości i odkształcalności XIX-wiecznych murów ceglanych, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna, Awarie Budowlane 2013.
- [5] Gruszczyński M., Matysek P., Ocena wytrzymałości murów ceglanych na podstawie badań odwiertów rdzeniowych, Civil Engineering, 3-B/2011, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

Przyjęto do druku: 14.10.2015 r.

dr inż. Magdalena Lachowicz¹⁾
dr inż. Justyna Sobczak-Piąstka^{1)*}
prof. dr hab. inż. Adam Podhorecki¹⁾

Propozycja nowego modelu niezawodności realizacji procesów inwestycyjno-budowlanych

DOI: 10.15199/33.2015.12.22

Niezawodność procesów inwestycyjno-budowlanych jest szczególnie istotna w przypadku realizacji inwestycji strategicznych pod względem np. bezpieczeństwa czy rozwoju i pozycji kraju na rynku międzynarodowym. Wiąże się to z planowaniem czasu trwania realizacji inwestycji, jej kosztem oraz jakością robót budowlanych.

Analizując ryzyko sprawnego przeprowadzenia inwestycji, istotne i ważne jest określenie poziomu bezpieczeństwa realizacji w warunkach losowych wybranych zjawisk i zdarzeń. Bezpieczeństwo to można rozumieć wprost ja-

ko niezawodność procesu budowlanego, przy czym wydaje się, że model niezawodności tego procesu nie jest jednoznacznie zdefiniowany.

Głównymi zmiennymi losowymi procesu inwestycyjno-budowlanego są czas i cena. Współczesne, praktyczne metody projektowania tego procesu w niewielkim stopniu wykorzystują wiedzę dotyczącą losowości wielu zjawisk towarzyszących. Analizą probabilistyczną i oceną niezawodności procesów budowlanych zajmuje się intensywnie rozwijana nowa dziedzina wiedzy – **niezawodność procesów budowlanych** (lub/i inwestycyjno-budowlanych).

W artykule przedstawiono nową metodę analizy niezawodności procesów inwestycyjno-budowlanych opracowaną przez analogię do analizy nie-

zawodności konstrukcji z wykorzystaniem tzw. wskaźnika niezawodności β [1, 2]. Proponowana metoda istotnie wzbogaca dotychczasowe rozważania (np. [3, 4]).

Sposoby określania niezawodności konstrukcji

W analizie niezawodności konstrukcji początkowo przyjmowano, że zmienne losowe są normalne i niezależne, a funkcja graniczna ma charakter liniowy. Prowadziło to do bardzo prostego zdefiniowania tzw. wskaźnika niezawodności β . W przypadku nieznanymi rozkładów prawdopodobieństwa dokonywano linearyzacji wokół wartości średnich, co prowadziło także do dość prostego zdefiniowania wskaźnika niezawodności Cornella β_c [5]. Wadą tego sformułowania była zależność wskaźni-

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*)} Autor do korespondencji:
e-mail: justynas@utp.edu.pl