

Natalia STAWISKA, Bohdan STAWISKI

Rewaloryzacja murów w obiektach zabytkowych

1. Wprowadzenie

W starych remontowanych budynkach bardzo często stajemy przed problemem ich rewaloryzacji, przystosowania do nowych obciążeń, nowych zadań w budynku. Zwiększone obciążenia wymagają sprawdzenia nośności murów, a pojawiają się one z powodu zamiany lekkich stropów na masywne albo nadbudowania dodatkowych kondygnacji, czy też z powodu wyburzenia części ścian. Czasem wszystkie te przyczyny występują równocześnie. Dążenie do maksymalnego wykorzystania nośności ścian rodzi pytania o wytrzymałość cegły, wytrzymałość zaprawy, bo te parametry plus geometria przegród są podstawą określenia nośności ścian – to jeden problem do rozwiązania, a drugi to bardzo często konieczność uciągania popękanych murów, tak aby nie uszkodzić zabytkowego charakteru obiektu, a także aby wzmocnienia od razu po wykonaniu współpracowały z murem bez potrzeby wystąpienia wstępnych odkształceń, które powodują mikrorysy wzdłuż starych pęknięć występujących przed remontem. Jak badać wytrzymałość cegieł, wytrzymałość zaprawy, jak wzmocnić mury nie ingerując w ich wygląd? Odpowiedzi na te pytania zawarte są w dalszej części artykułu.

2. Specyfika konstrukcji murowych

Mur jest konstrukcją złożoną z dwóch bardzo różniących się między sobą elementów – cegieł i zaprawy łączącej elementy murowe (tak obecnie nazywają cegły w normach i literaturze technicznej), a także poprawiającej niedostatki elementów ceramicznych, szczególnie w zakresie niedoskonałości geometrycznych. Badania wytrzymałości można przeprowadzić na elementach murowych zgodnie z zasadami badania cegieł według normy PN-70/B-12016, ale wiąże się to z dość dużymi uszkodzeniami muru w celu wykucia kilku całych cegieł. Jest to zadanie wykonalne, chociaż rzadko stosowane. Poza tym jedno badanie nie gwarantuje, że np. na innych kondygnacjach jest taka sama cegła.

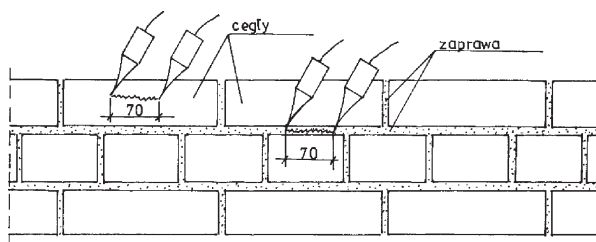
Ze zbadaniem wytrzymałości zaprawy są jeszcze większe problemy. Pobranie próbek zaprawy z muru do badań wytrzymałościowych jest praktycznie nierealne chociażby z tego powodu, że grubość zaprawy między cegłami wynosi 1,5 cm, a do badań wymagany jest element o przekroju 4 x 4 cm. Analiza chemiczna składu zaprawy (eks-

trakcja) jest na tyle mało dokładna, że przeprowadzanie jej traci sens, gdyż uzyskiwany efekt jest porównywalny z oceną intuicyjną.

3. Badania wytrzymałości poszczególnych składników muru metodą ultradźwiękową

3.1. Badania cegieł

W literaturze były prezentowane próby zastosowania metody ultradźwiękowej do badania murów metodą przepuszczania ultradźwięków łącznie przez cegły i zaprawę. Dokładność otrzymywanych wyników takim sposobem była nie zadowalająca z powodu między innymi różnego, często nie dokładnego wypełnienia spoin, szczególnie dotyczy to spoin pionowych. W prezentowanych dalej badaniach odstąpiono od metody skrośnego przepuszczania impulsu ultradźwiękowego przez całą grubość muru. Zastosowano głowice eksponencjalne o punktowym kontakcie z badanym materiałem. Badano więc oddzielnie cegły i oddzielnie zaprawę między cegłami. Głowice przykładano do tej samej powierzchni na stałej bazie pomiarowej wynoszącej 70 mm (rys. 1). Rejestrowano czas przejścia fali powierzchniowej, a następnie wyliczano prędkość C_p .



Rys. 1. Sposób badania cegieł i zaprawy między nimi za pomocą głowic eksponencjalnych

W celu otrzymania zależności korelacyjnej pomiędzy prędkością fali powierzchniowej C_p a wytrzymałością cegły f_c wykuto z murów kilku przedwojennych budynków po kilka cegieł, w których uprzednio pomierzono prędkości fali powierzchniowej (w 6 obszarach każdej z cegieł). Cegły przecięto i połączono zaprawą zgodnie z procedurą normową. Po badaniu niszczącym w maszynie wytrzyma-

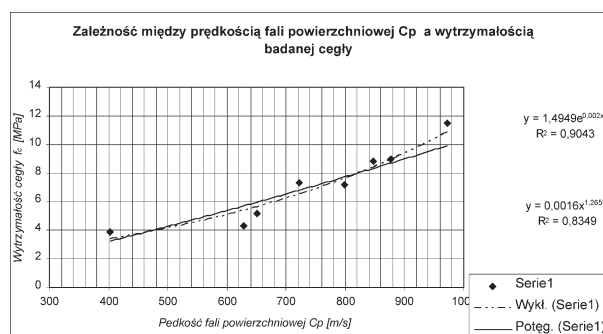
Praca dopuszczona do druku po recenzjach

łościowej otrzymano pary liczb $C_p - f_c$. Otrzymano zbiór wyników o wytrzymałościach normowych z przedziału 3-12 MPa (rys. 2).

Poszukiwaną zależność aproksymowano funkcjami:

- potęgową,
- wykładniczą.

Przedstawione wyniki, ze względu na wąski zakres badanych cegieł, nie upoważniają do uogólniania otrzymanych zależności na wszystkie cegły, ale można je wykorzystywać do badania cegieł w starych murach przy niezbyt wysokich wytrzymałościach, maksymalnie do 15 MPa (właściwie bez cegły klinkierowej). Dysponując krzywą skalowania, po zmierzeniu średniej prędkości fali powierzchniowej w cegle znajdującej się w murze łatwo i szybko można ocenić wytrzymałość cegieł nie wyjmując ich z muru. Przykład z badań wytrzymałości cegieł w obiekcie zabytkowym sprzed około 100 lat przedstawiono w tab. 1.



Rys. 2. Wyznaczona zależność korelacyjna dla cegieł ceramicznych z przełomu XIX-XX wieku pomiędzy wytrzymałością na ściskanie f_c a prędkością fali powierzchniowej C_p

Tablica 1. Dziennik pomiarów ultradźwiękowych cegieł w ścianach starych budynków murowanych

Nr budynku	Lp.	Droga 1 [mm]	Czas $t-t_0$ [μ s]	Prędkość C_p [m/s]	Wytrzym. f_c [MPa]	Wytrzym. średnia $f_{c\bar{sr}}$
1	1	70	95,9	730	6,4	8,2
	2	70	100,2	698	6	
	3	70	82,6	847	8,1	
	4	70	72,4	967	10,3	
	5	70	86	817	7,6	
	6	70	83,7	836	8	
	7	70	71,2	983	10,7	
	8	70	82,5	848	8,2	
2	1	70	101	433	3,6	5
	2	70	114,5	611	5,1	
	3	70	117	598	4,9	
	4	70	116	3	5	
	5	70	109,5	639	5,4	
	6	70	117,7	595	4,9	
	7	70	124,5	562	5,5	
	8	70	110	636	5,3	

3.2. Badanie wytrzymałości zapraw

Dla zapraw nie ma możliwości wykonania próbek wyciętych ze spoin i z tego względu konieczne jest inne podejście. W celu ustalenia w miarę uniwersalnej zależności pomiędzy wytrzymałością zaprawy a prędkością fali powierzchniowej skorzystano z tego, że zaprawa składa się

tylko z piasku i spoiwa. Piaski naturalne, kwarcowe różnią się między sobą nieznacznie, a spoiwo to cement i wapno. Po wykonaniu wielu prób z różnymi proporcjami składników zaprawy stwierdzono, że zależności korelacyjne dla tego materiału nie ulegają takim zmianom (przesunięciom w układzie współrzędnych $f_c - C_p$) jak dla betonu. W jednej z wcześniejszych prac [2] wykazano, że dla zapraw cementowych słabych o proporcji składników 1:8, krzywa skalowania może być opisana równaniem

$$f_c = 0,174 \exp 2,2822 C_p \text{ [MPa]} \quad (r = 0,89) \quad (1)$$

a dla zapraw mocnych o proporcji składników 1:3 równaniem

$$f_c = 22,81 - 41,67 C_p + 16,56 C_p^2 \text{ [MPa]} \quad (2)$$

Dla zapraw o składach 1:3, 1:6 i 1:8 analizowanych łącznie, otrzymano następujące równania:

Funkcja liniowa

$$f_c = -5,5 + 7,671 C_p \text{ [MPa]} \quad r = 0,73 \quad (3)$$

Funkcja potęgowa

$$f_c = 2,71 C_p^{1,85} \text{ [MPa]} \quad r = 0,74 \quad (4)$$

Funkcja wykładnicza

$$f_c = 0,659 \exp 1,44 V_p \text{ [MPa]} \quad r = 0,75 \quad (5)$$

Dla przedziału prędkości C_p od 1 do 2 km/s powyższe krzywe leżą bardzo blisko siebie. Poza tym przedziałem jedynie zależność liniowa zaczyna oddalać się od pozostałych. Ostatecznie do wyznaczenia wytrzymałości zaprawy zalecono zależność (5), szczególnie wtedy gdy brak jest informacji o składzie zaprawy (a tak jest najczęściej).

Badania zapraw do ustalenia zależności korelacyjnych prowadzono na próbkach $\phi = f = 8$ cm. Przechodząc na obecnie obowiązujące beleczki $4 \times 4 \times 16$ cm

$$f_{c_{bel.}} = 1,5 \cdot f_{c_{\phi 8}}$$

Opracowaną metodę badań zastosowano do zbadania wytrzymałości zaprawy w murach wieży ciśnień wznies-

Tablica 2. Dziennik pomiarów ultradźwiękowych i obliczeń prędkości fali powierzchniowej C_p i wytrzymałości zaprawy f_c

Nr obszaru	Lp.	Czas przejścia μ s	Prędkość C_p [m/s]	Wytrzymałość beleczkowa f_c [MPa]
1	1	141,5	596	2,67
	2	130	660	
	3	105,4	860	
	4	133,6	639	
	5	125,1	629	
	6	125,4	690	
Średnia			689,5	
2	1	106,2	851	2,87
	2	131	654	
	3	128,5	672	
	4	112,8	788	
	5	111,2	802	
	6	128,3	671	
średnia			739,7	



Rys. 3. Wierzchnia warstwa w spoinach pokazanej budowli wykonywana była z zaprawy cementowej o innym składzie niż zaprawa wewnątrz muru i była skarbonizowana



Rys. 4. Sposób badania zaprawy między ceglami z wykorzystaniem głowic eksponencyjnych

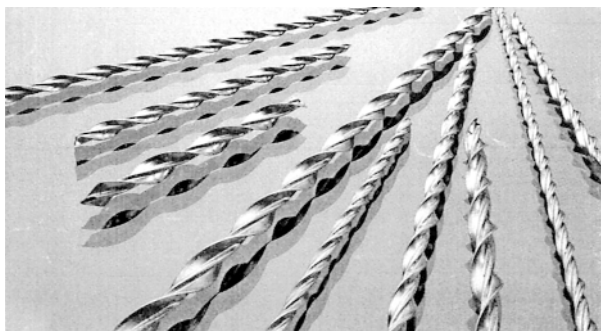
sionej we Wrocławiu w początku XX wieku. Do badań nie nadawała się wierzchnia warstwa zaprawy gdyż była to zaprawa do sopinowania cegieł, a ponadto wierzchnia warstwa zawsze jest silnie skarbonizowana (rys. 3).

W związku z tym usuwano tę zaprawę do głębokości około 3 cm i badano ultradźwiękami z wykorzystaniem głowic o eksponencyjnych falowodach. Do badań wykorzystano również wykucia w murach. Sposób prowadzenia badań pokazano na rys. 4.

Badania wykonano na stałej bazie pomiarowej 70 mm głowicami o częstotliwości 100 kHz. Przykład fragmentu dziennika pomiarów pokazano w tab. 2.

Dla kilkudziesięciu obszarów pomiarowych otrzymano średnią wytrzymałość $f_{cbel} = 2,73 \text{ MPa}$ i odchylenie standardowe $s_{fbel} = 0,17 \text{ MPa}$.

Chcąc określić wytrzymałość zaprawy (klasę zaprawy) na podstawie badań w konstrukcji należy pamiętać, że zaprawa w murze nie jest zagęszczona tak jak np. beton. Jest rzucona dość przypadkowo na cegłę, znajduje się w murze w różnych miejscach, w różnych stanach zagęszczenia (inaczej zagęszczone mogą być spoiny pionowe, inaczej poziome). W warunkach laboratoryjnych ta sama zaprawa jest równomiernie zagęszczona w foremkach, w każdej próbce i na podstawie tych elementów określa się klasę zaprawy. Pomimo korzystnych warunków zagęszczania zaprawy w próbkach np. zaprawa klasy M2 podczas badań próbek może wykazywać zmiany wytrzymałości od 1,6 do 3,5 MPa, klasa M5 od 3,6 do 7,5 MPa a klasa M20 odpowiednio 15,1 do 50 MPa. W związku ze specyfiką zagęszczania zaprawy w murze, podczas badań „in situ” powinny decydować maksymalne otrzymane wartości. Podając średnie wartości i odchylenie standardowe możemy określić prawdopodobieństwo, z jakim wyznaczona jest wytrzymałość. Dla cytowa-



Rys. 5. Spiralne pręty stosowane do naprawy popękanych ścian murowanych

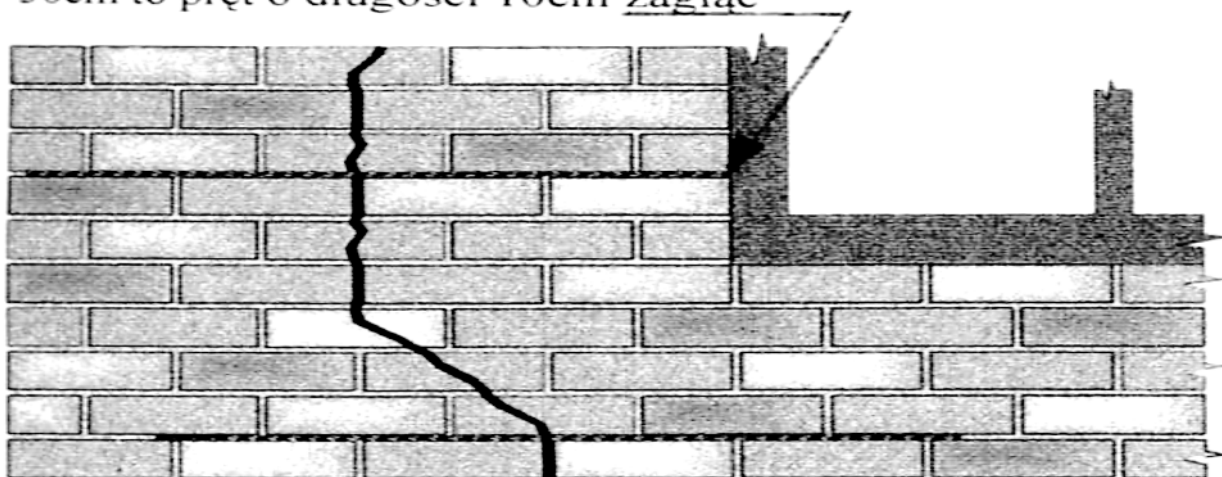
nych wyżej badań zaprawę zakwalifikowano do klasy M2 – średnia wytrzymałość $f_{csr} = 2,73 \text{ MPa}$ przy odchyleniu standardowym $s_{fbel} = 0,17 \text{ MPa}$.

Przedstawione rezultaty badań aplikacyjnych wskazują na dużą wiarygodność i przydatność prezentowanej metody do zastosowania w praktyce zarówno do badań kontrolnych, jak i do celów rzeczoznawstwa budowlanego.

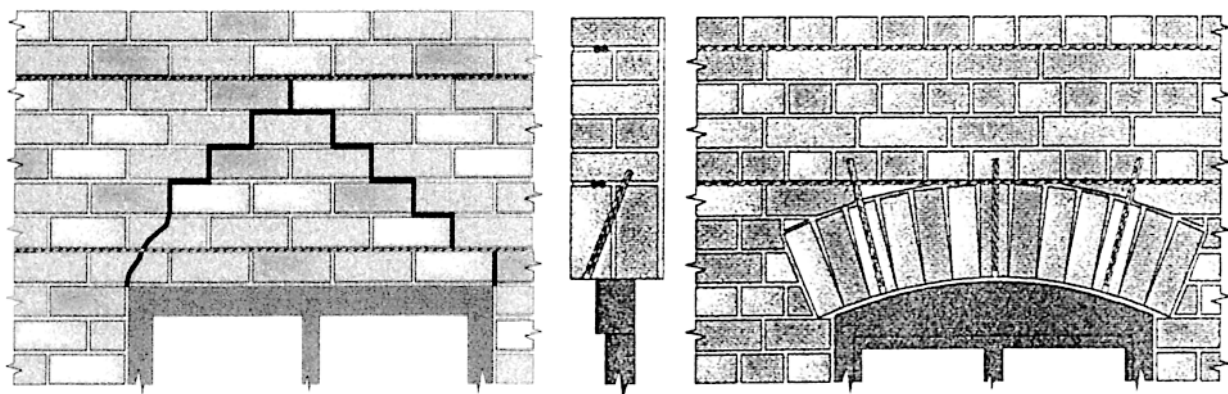
4. Naprawy murów spękanych

W literaturze technicznej znanych jest szereg metod wzmacniania murów [3, 4, 5]. Stosuje się różnego rodzaju sposoby „ściągnięcia” rozdzielonych części muru z zastoso-

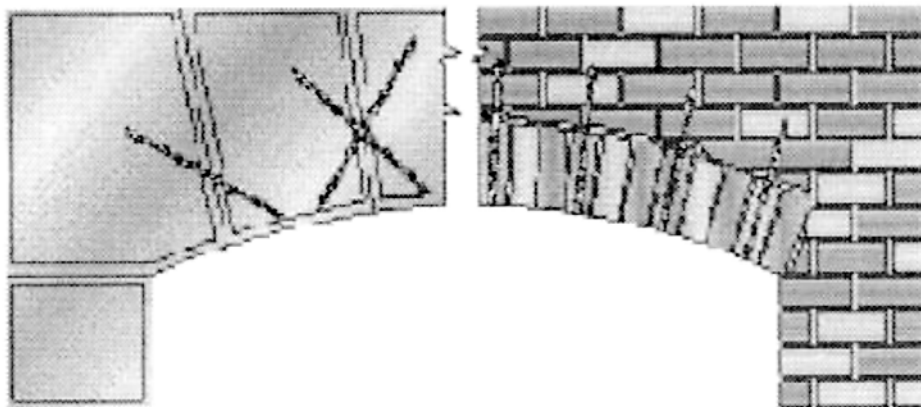
Gdy odległość od naroża jest mniejsza niż 50cm to pręt o długości 10cm zagać



Rys. 6. Naprawa ścian z pęknięciami pionowymi i ukośnymi



Rys. 7. Możliwe sposoby wzmacniania nadproży



Rys. 8. Wzmacnianie nadproży prętami wprowadzanymi ukośnie do nadproży

waniem np. śrub rzymskich, klamrowania, kotwienia w stropach itd. Skuteczność tych metod można ocenić dwójako: w skali makro (gdy chodzi o bezpieczeństwo całego budynku to zdają one egzamin), w skali mikro (wzdłuż starych rys po naprawie mogą pojawić się rysy o małej rozwartości). Jest to związane z tym, że zanim ściąg lub klamra zacznie współpracować ze ścianą, pojawiają się pewne odkształcenia wystarczające do powstania włoskowatej rysy, oczywiście w najsłabszym miejscu, czyli na dawnym pęknięciu. Szczególnie sprzyjają temu drgania, np. komunikacyjne. Zjawisko to było obserwowane przez kilka lat na jednym z wyremontowanych budynków we Wrocławiu.

Od pewnego czasu pojawiły się na rynku specjalne elementy do naprawy uszkodzonych (popękanych) murów. Są to skręcone spiralnie pręty ze stali austenicznej, nierdzewnej (rys. 5).

W celu przywrócenia murom ciągłości pręty spiralne o średnicach od 4,5 do 8 mm układa się w oczyszczonych z zaprawy, do głębokości 6cm od powierzchni, spoinach poziomych, w co 5-6 spoinie. Długość prętów powinna zapewniać taki stan, aby od rysy do końca pręta było co najmniej 50 cm. Przy narożach położonych bliżej niż 50 cm od rysy pręty można zagiąć wzdłuż ściany. Po włożeniu prętów spoiny należy wypełnić wtłaczaną, niekurczliwą, tiksotropową zaprawą cementową lub zaprawami żywicznymi. Ostatnio autorzy zalecili tę metodę do wzmocnienia silnie popękanych ścian kościoła z surowymi ceglanymi ścianami (rys. 6, 7).

Spiralnymi prętami stalowymi można wzmocniać ściany również w taki sposób, że po nawierceniu otworu wkleja się pręty np. na żywicę poliestrową. Nawiercając otwory ukośnie do rysy (rys. 8) można zużywać mniej prętów, gdyż zakotwienie pręta poza rysą może być dużo krótsze, np. 10 cm, 15cm w zależności od wytrzymałości łączonych materiałów. W publikacji [6] podano przykład zakotwienia od-

padającej warstwy elewacyjnej w murach bazyliki św. Antoniego w Rybniku stosując pręty spiralne wkręcane na sucho w nawiercone otwory ϕ 6,5 mm dla prętów o średnicy ϕ 8mm. Przedstawiona metoda stosowana jest również przy naprawie nowych murów warstwowych.

Ostatnio autorzy zalecili zdylatowanie warstwy zewnętrznej muru warstwowego z powodu dużych odkształceń termicznych. Wzdłuż dylatacji konieczne było gęste kotwienie obu warstw muru i do tego zastosowano wkręcane pręty spiralne (rys.9).

5. Podsumowanie

Przytoczone sposoby badania murów a właściwie cegieł i zaprawy między cegłami a także nowe sposoby wzmocnienia ścian popękanych pokazują, że problem remontu, naprawy lub rewaloryzacji budynków starych z ścianami murowanymi jest dobrze rozwiązany i nie ma przeszkód do stosowania opisanych metod na szeroką skalę.

LITERATURA

- [1] RUNKIEWICZ L., *Stosowanie metod nieniszczących w rzeczoznawstwie budowlanym*. 27 KKBN, Międzyzysie 1998.
- [2] STAWISKI B., *Nieniszczące badania zapraw budowlanych w konstrukcjach*. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Seria Konferencje 1991.
- [3] THIERY J., ZALESKI S., *Remonty budynków i wzmocnianie konstrukcji*. Arkady, Warszawa 1982.
- [4] MASŁOWSKI E., SPIŻEWSKA D., *Wzmocnianie konstrukcji budowlanych*. Arkady, Warszawa 2000.
- [5] Praca zbiorowa pod red. L. Runkiewicza, *Błędy i uszkodzenia budowlane oraz ich usuwanie*. WEKA, Warszawa 2001.
- [6] MALCZYK A., WŁASZCZUK M., *Stany awaryjne i sposoby zabezpieczania konstrukcji murowych bazyliki w Rybniku*. XX Konf. Nauk.-Techn. Awaryjne budowlane. Szczecin-Międzyzdroje 2001.

EXAMINATIONS AND REPAIRS OF OLD AND DAMAGED BRICKWORK

Old buildings made of brick are usually exposed, to a large extent, to getting damp due to lack of appropriate damp-courses. After the reasons for dampness have been eliminated and the walls have been dehumidified we often face a problem of their restoration and adjustment to new loads or to new tasks to be performed in the building. There occur questions regarding the strength of brick and mortar which constitutes the basis for determining the load capacity of the walls and quite often it is also necessary to bond the cracked walls without affecting the historic qualities of the building. The paper presents the methods of conduct addressing the asked questions. How to measure the strength of brick and mortar and how to strengthen the brickwork without affecting its appearance?

Rys. 9. Przykład kotwienia warstwy zewnętrznej do muru z pustaków przy pomocy spiralnych prętów wkręcanych

