



VISBUD

Visbud-Projekt Sp. z o.o.
ul. Swojczycka 82
51-502 Wrocław
info@visbud.com
www.visbud.com
tel. +48 71 344 04 34

Badania wytrzymałości na ściskanie murowanej ściany z otworem okiennym wzmocnionej systemem FRCM

Cel i zakres badań

W publikacjach pod wspólnym tytułem „System FRCM do wzmacniania konstrukcji murowych” (w numerach RiZ 1/2022, 2/2022) przedstawiono informacje na temat wzmacniania ceglanych elementów konstrukcyjnych, takich jak łuki, pierścienie. Poniższa informacja techniczna dotyczy wzmocnienia nadproży ceglanych, które często ulegają uszkodzeniom. Przyczyny tego są różne, np. przeciążenia, naturalna z wiekiem utrata nośności materiałów, wstrząsy.

W zakresie wzmocnień uszkodzonych nadproży ceglanych przeprowadzono badania na Politechnice Śląskiej. Zasadniczym celem badań było określenie wpływu wzmocnienia powierzchniowego FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) na nośność oraz odkształcenia postaciowe murowanej ściany z otworem, podpartej na uginającej się konstrukcji wsporczej symulującej podłoże.

Do wykonania modelu badawczego użyto cegieł ceramicznych o wymiarach $l \times t \times h = 250 \times 120 \times 60$ mm i średniej znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie 20 N/mm^2 . Zastosowano zaprawę murarską TWM klasy M5 (zaprawa murarska trasowo-wapienna do murowania oraz fugowania murów z kamienia, do stosowania wewnątrz i na zewnątrz). Przed murowaniem cegły mocowano. Model w skali naturalnej wznoszono bezpośrednio na stanowisku badawczym na wiotkiej belce podpartej na całej długości. Ściana miała nominalną długość 4280 mm, wysokość 2015 mm i grubość 380 mm (półtorej cegły). W centralnej części muru wykonano otwór

okienny o szerokości nominalnej 1440 mm i wysokości 1175 mm, rozpoczynający się na wysokości 290 mm od poziomu posadowienia. Otwór zwieńczono murowanym nadprożem łukowym (rys. 1, fot. 1).

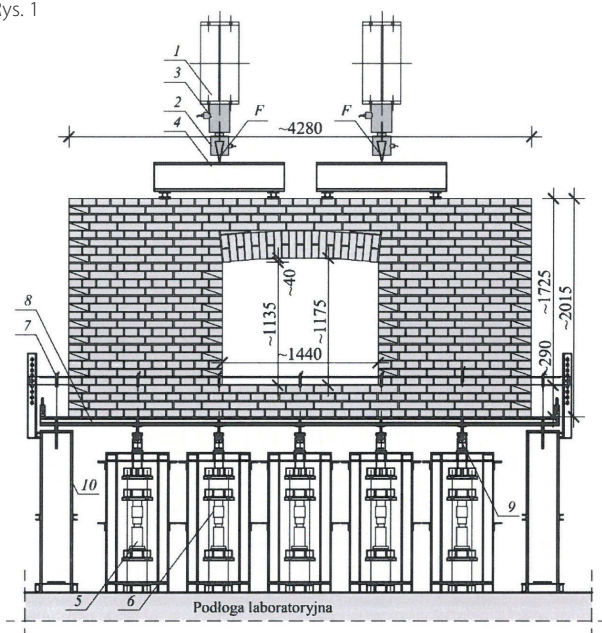
Program badań obejmował badanie modelu w dwóch etapach. W pierwszej kolejności model obciążano, aż do wywołania pęknięć nadproża. Następnie uszkodzony model wzmacniano powierzchniowo i badano wpływ tego wzmocnienia na nośność nadproża.

Stanowisko badawcze i przebieg badań

Badanie ściany z otworem okiennym poddanej obciążeniu pionowemu i jednoczesnemu ugięciu belki, na której wznoszono model, prowadzono w specjalnie do tego zaprojektowanym i skonstruowanym stalowym stanowisku badawczym. Widok stanowiska badawczego przedstawiono na fot. 2.

Po osiągnięciu przez mur pełnej wytrzymałości przystąpiono do mocowania aparatury pomiarowej oraz układu obciążającego. Pionowe obciążenie F realizowano za pomocą dwóch siłowników hydraulicznych (3) o zakresie do 500 kN, a jego wartość mierzono przy użyciu siłomierzy (2) także o zakresie 500 kN. Za pomocą dwóch stalowych trawersów (4) obciążenie z każdego siłownika przekazywano w postaci pary sił na górną krawędź ściany. Ugięcia stalowej belki realizowano poprzez obciążenie siłami F i ciężarem własnym muru, a także poprzez zestawy elementów (9) systemu wymuszania ugięcia wiotkiej belki (8) dodatkowo wyposażonych w siłowniki

Rys. 1



Fot. 1





Fot. 2

hydrauliczne (5) i siłomierze (6). Przemieszczenia belki (opartej na podporach (10)) podpierającej ścianę mierzone za pomocą czujników indukcyjnych (7) o zakresie pomiarowym ± 50 mm, przymocowanych do stalowych kątowników połączonych z zewnętrznymi podporami stanowiska badawczego niezależnie od odkształcającej się belki.

Przebieg doświadczenia był rejestrowany za pomocą optycznego systemu rejestrowania odkształceń o nazwie ARAMIS wykorzystującego technikę cyfrowej korelacji obrazu (DIC).

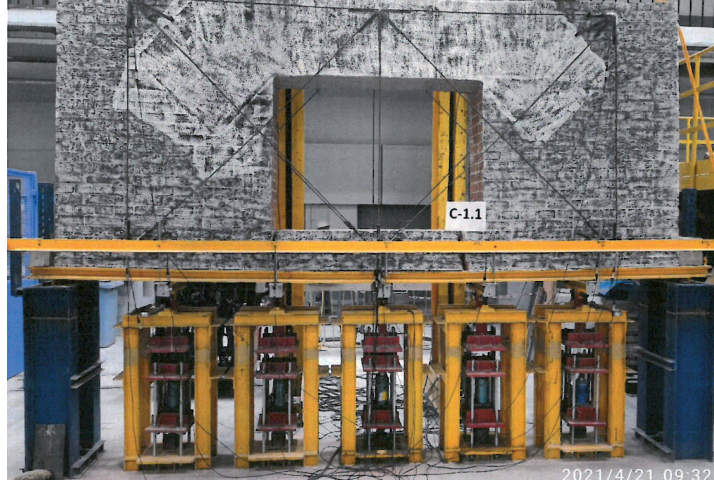
Dla tak przygotowanego modelu obciążenie wynoszące 323,8 kN wywołało pęknięcie nadproża w środku jego rozpiętości oraz powstanie pęknięć w strefie podokiennej (fot. 2). Odpowiadające obciążeniu niszcącemu ugięcie konstrukcji wspierającej mur wyniosło 32,9 mm.

Po zakończeniu pierwszego etapu badania zarysowany model odciążano i pozostawiano na ugiętej stalowej belce. Następnie wykonano wzmocnienie powierzchniowe nadproża otworu okiennego. Tak przygotowany model pozostawiono na 28 dni, po czym ponownie obciążano (fot. 3).

Wzmocnienie stanowił system FRMC marki Ruregold złożony z siatki PBO-MESH 22/22 oraz zaprawy nieorganicznej MX-PBO Masonry. Wzmocnienie zostało ułożone warstwowo w następujący sposób – pierwszą warstwę siatki w kształcie litery U ułożono na nadprożu na całej szerokości otworu, następnie po obu stronach ściany wzmocniono górne narożniki otworu okiennego krótkimi odcinkami siatki ułożonymi pod kątem 45° . Na zakończenie ułożono po obu stronach wzdłuż nadproża pasma siatek o długości, która pokryła siatki ułożone wcześniej. Każda warstwa siatki była zatopiona w zaprawie o grubości ok. 3 mm.

Po wzmocnieniu modelu przystąpiono do drugiego etapu badań. W pierwszej kolejności ponownie obciążono nadproże do poziomu, przy którym przerwano etap pierwszy. Następnie zwiększono ugięcie stalowej belki symulujące podłoże i ponownie kontynuowano obciążenie ściany. W badaniu uzyskano obciążenie na poziomie 545 kN przy zwiększonym ugięciu o kolejne 18,4 mm, tj. do maksymalnego ugięcia wynoszącego 53,4 mm. Przy takim obciążeniu i ugięciu urządzenie rejestrujące zachowanie modelu nie zarejestrowało żadnych uszkodzeń wzmocnienia.

Tak wzmocnione – a wcześniej uszkodzone – nadproże bez problemu przeniosło zwiększone obciążenie, przy czym dalsze zwiększanie obciążenia wstrzymano



Fot. 3

w obawie przed uszkodzeniem stanowiska badawczego. Poprzez zastosowanie wzmocnienia powierzchniowego FRMC zdecydowanie podniesiono nośność nadproża w stosunku do pierwotnego poziomu – uzyskano blisko 70% wzrostu nośności.

Ogólne podsumowanie

Przedstawione w kolejno publikowanych artykułach badania wytrzymałości ceglanych elementów konstrukcyjnych, tj. łuków, pierścieni, ścian z nadprożami, wykazują wysoką skuteczność systemu FRMC w ich wzmacnianiu. Jednocześnie system cechuje szczególna przydatność przy pracach renowacyjnych w obiektach zabytkowych. W tym zakresie najistotniejszymi są m.in. następujące właściwości systemu FRMC:

- łatwość wykonania wzmocnienia, przy jednoczesnej minimalizacji ciężaru wzmocnienia bazującego na zaprawie mineralnej;
- produkty na bazie mineralnej są korzystniejsze w zastosowaniach w szeroko pojętej konserwacji konstrukcji zabytkowych. Dotyczy to szczególnie zjawisk związanych z migracją wilgoci w postaci pary wodnej przez przegrody typu łuki, sklepienia i kopuły – jest to szczególnie ważne przy występowaniu polichromii po stronie podniebienia sklepień;
- system FRMC charakteryzuje się wysoką niezawodnością w odniesieniu do nośności po zarysowaniu konstrukcji w warunkach odrywania się wzmocnienia od podłoża w wyniku przeciążenia – brak gwałtownego zniszczenia wzmocnienia;
- wzmocnienie FRMC ma wysoką zdolność rozpraszania energii – konsekwencją tego jest wyższa dopuszczalna odkształcalność elementów konstrukcyjnych;
- wzmocnienie konstrukcji systemem FRMC jest odwracalne – jest to istotny wymóg we wzmacnianiu konstrukcji zabytkowych.

Firma Visbud-Projekt Sp. z o.o., będąca w Polsce wyłącznym przedstawicielem marki Ruregold, składa podziękowania: prof. dr. hab. inż. Łukaszowi Drobcowi, prof. dr. hab. inż. Jerzemu Jasieńce, dr. inż. Łukaszowi Bednarzowi, dr. inż. Krzysztofowi Raszczukowi – za udostępnienie wybranych fragmentów swoich prac badawczych związanych ze wzmocnieniami konstrukcji systemami FRMC. Są one bardzo cenne dla dalszego rozwoju tego kierunku wzmocnień konstrukcji, lepszego ich poznania oraz popularyzacji wzmocnień FRMC.