quick-mix
tubag

quick-mix sp. z o.o.
ul. Nyska 36
57-100 Strzelin
tel.: (71) 392 72 20
www.quick-mix.pl

Wzmacnianie kamiennych murów warstwowych zaprawami iniekcyjnymi TUBAG

Wzmacnianiem konstrukcji murowych zajmują się konstruktorzy. W przypadku obiektów zabytkowych sposób wzmacniania historycznego muru poddawany jest dodatkowo ocenie konserwatorskiej. Pozytywną weryfikację powinny przechodzić jedynie takie metody wzmacniania murów, które zachowują i podkreślają historyczną wartość konstrukcji murowej oraz są zgodne z doktryną konserwatorską.

Opole, trójwarstwowy mur obronny wypełniony od wewnątrz rumoszem skalnym.

Dawni budowniczowie musieli uwzględniać realia ekonomiczne. Budując okazałe obiekty szukali więc oszczędności w sposobie wznoszenia murów. Obniżenie kosztów budowy można było osiągnąć poprzez wykonywanie murów trójwarstwowych. W warstwach zewnętrznych stosowano budulec droższy, natomiast przestrzeń środkową wypełniano gruzem lub rumoszem, materiałem znacznie tańszym. Przykładem historycznej, trójwarstwowej konstrukcji murowej są mury obronne Opola. Od zewnątrz zostały wymurowane z cegły ceramicznej natomiast ich wnętrze wypełniono rumoszem skalnym.

Opole, trójwarstwowy mur obronny.

Współczesne metody wzmacniania murów warstwowych wymagają wiedzy na temat technik budowlanych stosowanych w przeszłości oraz pełnego rozpoznania przyczyn powstawania uszkodzeń. W literaturze fachowej znajdujemy opisy wielu metod pozwalających na wzmocnienie konstrukcji murowej. Można wymienić metody takie jak: tynki z siatkami stalowymi, zszywanie spękanej konstrukcji za pomocą prętów stalowych, wzmacnianie za pomocą cięgien stalowych, wzmacnianie murów materiałami kompozytowymi, przemurowywanie uszkodzonych partii muru, wymiana zdegradowanych spoin na nowe, iniekcja rys materiałami epoksydowym jak również **iniekcja pustych przestrzeni wewnątrz muru zaczynami na bazie spoiw mineralnych.**

Wzmocnienie muru trójwarstwowego można wykonać prostymi metodami stosując mineralne zaprawy iniekcyjne. Firma quick-mix oraz Tubag oferuje do iniekcji wzmacniających następujące zaprawy: **Wapienną zaprawę iniekcyjną NHLV-g** produkowaną na bazie naturalnego wapna hydraulicznego, **Trasowo-wapienną zaprawę iniekcyjną TKV-p** produkowaną na bazie wapna trasowego, **Trasowo-cementową zaprawę iniekcyjną TZV-p** produkowaną na bazie cementu trasowego. Wymienione zaprawy iniekcyjne są zaprawami bezskurczowymi, podczas aplikacji mają konsystencję płynną, posiadają następujące wytrzymałości na ściskanie NHLV-g ok. 2.0 MPa, TKV-p ok. 5.0 MPa, oraz TZV-p ok. 10.0 MPa. W zależności od potrzeb zaprawy produkowane są na piaskach o uziarnieniu 0-1 mm, 0-2 mm oraz 0-4 mm. Pozwala to konserwatorowi na dobranie zaprawy iniekcyjnej o właściwościach zbliżonych do właściwości zaprawy, z której wykonano wzmacniany mur.

Producent zapraw firma TUBAG podaje w kartach technicznych wytrzymałość na ściskanie, na rozciąganie przy zginaniu, skurcz, moduł sprężystości itd. Niestety parametry wytrzymałościowe zaprawy iniekcyjnej nie pozwalają na udzielenie odpowiedzi na proste pytanie: **o ile wzrośnie wytrzymałość muru warstwowego po wypełnieniu pustych przestrzeni zaprawą iniekcyjną?**

Efektywnością metod wzmacniania murów warstwowych zajęli się pracownicy naukowi Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławski. W latach od 2013 do 2015 w Laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej przeprowadzono badania dotyczące oceny sposobów wzmacniania konstrukcji kamiennych murów trójwarstwowych. Celem badań było przygotowanie rozprawy doktorskiej. Badania prowadził mgr inż. Witold Misztal pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jerzego Jasieńki. Badania efektywności wzmacniania murów kamiennych na taką skalę wykonywano w Polsce po raz pierwszy. Laboratorium Politechniki Wrocławskiej zostało wyposażone w specjalne stanowisko badawcze umożliwiające na wytworzenia odpowiednio dużych sił niszczących oraz w urządzenia pomiarowe do zbierania informacji na temat odkształceń oraz naprężeń w badanych murach.

Firma quick-mix w ramach sponsoringu dostarczyła do laboratorium **Trasowo-wapienną zaprawę TWM**, która posłużyła do wymurowania kilkudziesięciu murów warstwowych, jak również **Trasowo-wapienną zaprawę iniekcyjną TKV-p**, którą użyto do iniekcji pustych przestrzeni w murach. Prace przebiegały według następującego harmonogramu. Na przygotowanych wcześniej płytach żelbetowych wytrasowano zarys podstawy muru. Badane mury miały szerokość 100 cm, grubość 40 cm oraz wysokość 200 cm Następnie do prac przystąpili murarze, wymurowano mury świadkowe oraz mury przeznaczonych do wzmacniania różnymi metodami. Mury zostały wymurowane z kamienia wapiennego na **Trasowo-wapiennej zaprawie TWM**

Płyta żelbetowa z zaznaczonym obrysem ściany 100 cm x 40 cm.

Przygotowanie kamienia wapiennego do wznoszenia murów.

Pierwsze warstwy muru kamiennego, widoczna pustka w murze warstwowym

Pustka w murze po wypełnieniu rumoszem z piaskowca.

Ukośnie rurki z PCV, do późniejszej iniekcji pustych przestrzeni w murach.

Przygotowywanie Trasowo-wapiennej zaprawy iniekcyjnej TKV-P do aplikacji.

o wytrzymałości na ściskanie 5 MPa. Po wymurowaniu murów na wysokość ok. 50 cm zasypywano pustą przestrzeń wewnątrz muru rumoszem wapiennym. Następnie murowano kolejne warstwy muru o wysokości ok. 50. Podczas murowania ścian osadzano w nich ukośne rurki z PCV. Rurki te w późniejszym okresie posłużyły do wykonania iniekcji wzmacniającej. Po zakończeniu prac murarskich mury zostały przewiezione do magazynu w celu sezonowania. Mury świadkowe nr 1, nr 2 oraz nr 3 nie były wzmacniane zaprawą iniekcyjną i po sezonowaniu trafiły na stanowisko badawcze w celu określenia siły niszczącej.

Mury nr 4, nr 5 oraz nr 6 wzmocniono metodą iniekcji. Po starannym wymieszaniu Trasowo-wapiennej zaprawy iniekcyjnej TKV-p z wodą zaprawę przelano do pojemnika pompy perystaltycznej i rozpoczęto tłoczenie zaczynu do wnętrza murów. Zaczyn tłoczono poprzez rurki osadzone w dolnym rzędzie, w momencie kiedy zaczyn zaczął się wylewać z ostatniej rurki w dolnym rzędzie wszystkie rurki dolnego rzędu zostały zatkane korkami. Następnie przystąpiono do tłoczenia zaczynu przez rurki w rzędzie znajdującym się powyżej. Powtarzając te czynności kilkakrotnie wypełniono pustą przestrzeń na całej wysokości muru. Dowodem na wypełnienie pustych przestrzeni przez płynny

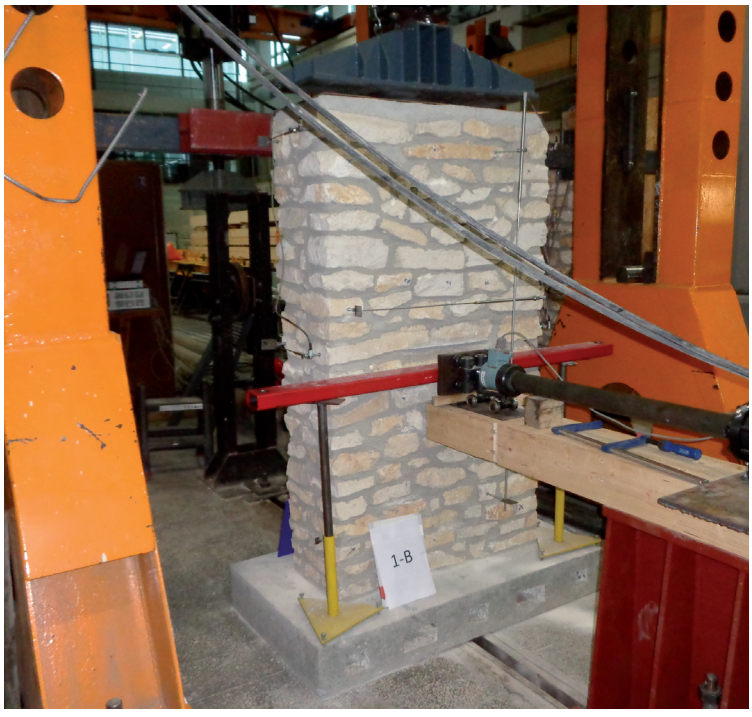
Wlewanie płynnej Trasowo-wapiennej zaprawy iniekcyjnej TKV-p do pojemnika pompy perystaltycznej.

Tłoczenie zaprawy TKV-P do wnętrza muru poprzez wąż iniekcyjny i wcześniej osadzone rurki z PCV.

Wylewanie się zaprawy iniekcyjnej z rurki świadczy o dokładnym wypełnieniu pustej przestrzeni w murze.

Mury po zakończeniu iniekcji oczekują w magazynie na badania laboratoryjne

Punktowe zawilgocenia powierzchni muru po iniekcji.



Mur na stanowisku badawczym, widoczne siłowniki do wytworzenia siły pionowej oraz siły poziomej.

zaczyn były punktowe zawilgocenia widoczne na powierzchni muru. Po iniekcji mury przewieziono do magazynu celem sezonowania.

Mury nr 7, nr 8 oraz nr 9 zostały wzmocnione za pomocą cięgien stalowych o średnicy 2 mm. Prace polegały na usunięciu zaprawy murarskiej z fug. W uwolnionych fugach zamocowano specjalne kotwy stalowe, do których zamocowano cięgna stalowe. Cięgna ułożono po zewnętrznej rozciąganej stronie muru. Po naprężeniu cięgien stalowych mur został zaspoinowany Trasowo-wapienną zaprawą TWM. Po zafugowaniu mury przewieziono do magazynu celem sezonowania.

Kolejnym elementem badań laboratoryjnych było ustawienie murków na stanowisku badawczym. Na stanowisku badawczym na murkach zostały zamontowane różnego rodzaju czujniki pozwalające na stały pomiar naprężeń jak również na pomiar odkształceń. Po sprawdzeniu aparatury pomiarowej badane murki zostały obciążone siłą pionową wielkości 100 KN. Dodatkowo murki obciążono w połowie wysokości siłą poziomą. Siła pozioma imitowała obciążenie, które w stanie naturalnym może być wywoływane przez sklepienie, strop lub nasyp z gruntu. Podczas badań mierzono maksymalną wielkość siły poziomej - była to siła niszcząca konstrukcje muru warstwowego. Mury podczas badań

Mur na stanowisku badawczym widoczne czujniki do pomiarów naprężeń oraz odkształceń w murze.

Pęknięcie muru wywołane działaniem siły poziomej.

niszczących ulegały spękaniu oraz znacznym odkształceniom poziomym. Ostatnim akordem badań było zniszczenie muru.

Model zniszczenia muru świadkowego polegający na odpadnięciu zewnętrznej, rozciąganej części muru i wysypaniu się zasypki kamiennej jak również sposób zniszczenia murów wzmocnionych poprzez iniekcję jak i sposób zniszczenia murów wzmocnionych cięgnami stalowymi są bardzo podobne do uszkodzeń kamiennych ścian, jakie zaobserwowano podczas trzęsień ziemi występujących w basenie Morza Śródziemnego. Świadczy to o przyjęciu prawidłowych założeń oraz modeli badawczych.

Odkształcenia muru wywołane działaniem siły poziomej.

Zniszczenie muru wzmocnionego za pomocą Trasowo-wapiennej zaprawy iniekcyjnej TKV-p.

Zniszczenie muru świadkowego (muru bez wzmocnienia zaczynem iniekcyjnym).

Zniszczenie muru wzmocnionego za pomocą cięgien stalowych o średnicy 2 mm.

W efekcie opisanych powyżej czynności oraz przeprowadzonych badań laboratoryjnych otrzymano wstępne wyniki badań, które zawarto w Tabeli nr 1

Tabela nr 1

	Średnia wartość poziomej siły niszczącej w kN	**Przyrost wytrzymałości muru w %**
Mur świadkowy nr 1	61,5	**nie dotyczy**
Mur świadkowy nr 2		
Mur świadkowy nr 3		
Mur nr 4 wzmocniony zaprawą iniekcyjną TKV-p	158,2	**ok. 157%**
Mur nr 5 wzmocniony zaprawą iniekcyjną TKV-p		
Mur nr 6 wzmocniony zaprawą iniekcyjną TKV-p		
Mur nr 7 wzmocniony cięgnami stalowymi	91,3	**ok. 48%**
Mur nr 8 wzmocniony cięgnami stalowymi		
Mur nr 9 wzmocniony cięgnami stalowymi		

Wytrzymałość kamiennych murów warstwowych wzmocnionych cięgnami stalowymi zwiększyła się ok. 48%. Natomiast wytrzymałości kamiennych murów warstwowych wzmocnionych zaprawą iniekcyjną zwiększyła się o ok. 157% w stosunku do muru świadkowego. **Otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie wysokiej skuteczności Trasowo-wapiennej zaprawy iniekcyjne TKV-p do wzmacniania murów warstwowych.**

Podczas wzmacniania muru metodą iniekcji ingerencja w zewnętrzną, eksponowaną powierzchnię muru licowego jest stosunkowo niewielka, otwory iniekcyjne wykonuje się w spoinach muru nie niszcząc kamienia. Dodatkowo wypełnienie pustych przestrzeni wewnątrz muru eliminuje niekontrolowane gromadzenie się wody w murze, tym samym zwiększa się odporność muru na cykliczne zamarzanie.

Podane powyżej informacje są jedynie niewielkim fragmentem badań nad sposobami wzmacniania murów warstwowych. Pełne wyniki badań oraz ich analizę będzie można znaleźć w pracy doktorskiej mgr inż. Witolda Misztala.

Opracował: Maciej Nocoń
Product Manager, quick-mix sp. z o.o.

Wyniki badań, konsultacje:
mgr inż. Witold Misztal,
Politechnika Wrocławska

Trasowo-wapienna zaprawa iniekcyjna TKV-p.

Zdjęcia: M. Nocoń, Politechnika Wrocławska