

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Mrozek
pt: „*Numeryczna symulacja wzmacniania matami CRFP
konstrukcji murowych z cegły*”



1. Podstawa formalna

Formalną podstawę opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 18.04.2012 roku oraz pismo Dziekana Wydziału Budownictwa z dnia 19.04.2012 roku (pismo o znaku RB-0/4020/11/12). Wraz ze zleceniem otrzymałem egzemplarz rozprawy doktorskiej.

2. Zawartość pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Mrozek została przygotowana pod kierunkiem naukowym promotora, Pana Prof. dr hab. inż. Andrzeja Wawrzynka w Katedrze Teorii Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Recenzowana rozprawa jest pracą dość obszerną. Liczy bowiem w sumie 168 stron (łącznie ze spisem oznaczeń, rysunków oraz piśmiennictwem – w sumarycznej liczbie 143 pozycji). Została podzielona na 5 rozdziałów, przy czym ostatni obejmuje wnioski oraz kierunki dalszych prac.

Praca ma wyraźnie teoretyczny charakter i dotyczy nowego, ciągle dopiero rozwijanego w ostatnich latach zarówno w świecie, jak i w kraju, zagadnienia stosowania do wzmacniania *a priori* konstrukcji murowych za pomocą nowoczesnych materiałów kompozytowych, charakteryzujących się wysokimi, szczególnie w porównaniu z murem, parametrami mechanicznymi. W szczególności, przedmiotem ocenianej pracy są analizy numeryczne zachowania się fragmentów murów z cegły poddanych poziomemu ścinaniu oraz ścinaniu z jednoczesnym ściskaniem w aspekcie zastosowania różnego układu, liczby oraz rodzaju zewnętrznych wzmocnień w postaci mocowanych do powierzchni muru mat i taśm z włókien węglowych (CRFP) lub szklanych (GRFP). Podstawowym celem przeprowadzonych w ramach recenzowanej pracy, eksperymentów numerycznych było stwierdzenie, czy opierając się jedynie na wynikach takich analiz teoretycznych możliwe jest określenie liczby i układu mat zewnętrznego wzmocnienia powierzchniowego muru gwarantujących efektywność takiego wzmocnienia w dwóch podstawowych stadiach pracy konstrukcji, a mianowicie:

- a) stadium pojawienia się pierwszych zarysowań – co zwykle w konstrukcjach murowych utożsamiane jest ze Stanem Granicznym Użytkowalności, a przez doktorantkę zdefiniowany jako tzw. **inżynierski zakres pracy muru**;

b) stadium zniszczenia (fizycznej degradacji i dekompozycji) konstrukcji – zwykle rozumiany jako Stan Graniczny a przez doktorantkę zdefiniowany jako tzw. **zakres mechanicznego zniszczenia**.

Jak już wcześniej wspomniano, praca podzielona została na 5 rozdziałów.

- **Rozdział 1** stanowi wprowadzenie do omawianej problematyki i zawiera jedynie jednostronicowy wstęp oraz definiuje zasadnicze cele dysertacji, jak i ogólny opis zakresu i układu pracy.
- **Rozdział 2** obejmuje tzw. przegląd stanu wiedzy (nazywany w pracy przeglądem literaturowym). Zawiera wprowadzenie dotyczące skutków działania na konstrukcję murową (także budynek) obciążenia o charakterze dynamicznym typu sejsmicznego lub parasejsmicznego. Ponadto, w rozdziale podano i pokrótce omówiono metody wzmocnienia konstrukcji na tego rodzaju wpływy zarówno w oparciu o zalecenia podane w Eurokodzie 8, jak i Eurokodu 6 (który w rzeczywistości takich obciążeń nie dotyczy). Omówiono także wzmocnienie powierzchniowe konstrukcji murowych oraz naprawę murów uszkodzonych z zastosowaniem iniekcji, sprężenia zewnętrznego, reprofilację spoin oraz rekonstrukcję muru. Ostatnią część tego rozdziału poświęcono zagadnieniu wzmocnienia murów materiałami kompozytowymi. W oparciu o dane uzyskane z literatury przedmiotu opisano różne rodzaje włókien: węglowe, szklane i aramidowe. Omówiono także wybrane publikacje dotyczące zarówno badań doświadczalnych tak wzmocnionych ścian murowanych i poddanych obciążeniom w swej płaszczyźnie, jak i stosowanych do obliczeń modeli analitycznych, pozwalających w określonych sytuacjach i rodzajach wzmocnienia, wyznaczać nośność elementu ze wzmocnieniem polimerami.
- **Rozdział 3** dotyczy głównej części recenzowanej rozprawy, a mianowicie modelowania numerycznego. Został podzielony na 5 punktów. Pierwszy obejmuje wprowadzenie do tematyki modelowania numerycznego. W pkt. 3.2 doktorantka omówiła problematykę związaną z charakterystyką modelu materiałowego: dla materiałów kruchych (powinno być sprężysto-plastyczno-kruchych!) w przypadku jednoosiowego ściskania; osiowego rozciągania oraz w dwu- i trójosiowym stanie naprężenia. Następnie przedstawiono zaawansowane modelowanie betonu i muru, a w szczególności zaadoptowany na potrzeby analiz konstrukcji murowych Model Barcelona, który doktorantka wykorzystywała w swych analizach numerycznych. W pkt. 3.3 przedstawiono ogólnie problematykę modelowania konstrukcji murowych wzmocnionych kompozytami polimerowymi, zaś w kolejnym pkt. 3.4 przedstawiono dobór parametrów materiałowych do prowadzonych analiz i obliczeń numerycznych. Zdefiniowano podstawowe pojęcia, stosowane w dalszych analizach, a mianowicie: sumarycznej reakcji SR; sztywności próbki ścinanej SW oraz degradacji. Przedstawiono także liczne testy numeryczne, na podstawie których kalibrowano parametry materiałowe. Rozdział kończy się krótkim podsumowaniem.
- **Rozdział 4** obejmuje wyniki głównych, analizowanych przypadków murów wzmocnianych polimerami. Na wstępie, w pkt. 4.1 doktorantka opisuje weryfikację przyjętego modelu obliczeniowego z wynikami doświadczalnych badań obcych (z literatury) w odniesieniu do muru bez otworów oraz – w następnym pkt. 4.2 – w odniesieniu do wybranej ściany budynku trzykondygnacyjnego. W dalszej części tego rozdziału (pkt. 4.4) przedstawiono wyniki przeprowadzonych eksperymentów

numerycznych, których celem było określenie najbardziej efektywnego układu kompozytowych elementów wzmacniających. Ostatnia część tego rozdziału dotyczy wykonanych symulacji obliczeniowych różnych układów mat wzmacniających mur (powierzchniowo) na elementach próbnych o różnych proporcjach wymiarów. Zagadnienie to przeanalizowano zarówno w odniesieniu do murów (fragmentów ścian) pełnych, jak i z otworem okiennym. Każdy, z kolejnych punktów tego rozdziału kończy krótkie podsumowanie.

- **Rozdział 5** zawiera w pkt. 5.1 ogólne podsumowanie przeprowadzonych analiz numerycznych, a następnie wnioski – z rozbiem na część dotyczącą tzw. zakresu inżynierskiego (stanu zarysowania muru – czyli SGU) oraz w zakresie mechanizmu zniszczenia – czyli po osiągnięciu Stanu Granicznego. Na koniec, w pkt. 5.2 doktorantka naświetliła główne kierunki dalszych działań.

3. Ocena tematu pracy

Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Morozek jest, moim zdaniem, bardzo interesujący, zarówno ze względów poznawczych, jak i z uwagi na wyraźnie utylitarny, praktyczny charakter. W chwili obecnej, z uwagi na coraz częściej występujące problemy z utrzymaniem w należyтым stanie technicznym istniejących obiektów, a obiektów murowanych w szczególności – głównie w obrębie centrów i obszarów staromiejskich – zagadnienia związane z metodami ich zabezpieczenia oraz wzmocnienia nabierają coraz większego znaczenia. Szybko narastająca intensywność ruchu kołowego a także szynowego, jak również działalność budowlana oraz związana z remontami infrastruktury podziemnej w miastach powoduje intensyfikację istniejących oraz powstawanie nowych wpływów oraz obciążeń przekazywanych na budynki, przy czym coraz częściej wpływy te mają charakter dynamiczny. Na terenach eksploatacji górniczej dochodzą do tego jeszcze wpływy parasejsmiczne. W efekcie, z uwagi na te obciążenia istniejąca zabudowa – a w staromiejskiej zabudowie centrów miast są to głównie stare budynki murowane – coraz częściej wymaga podejmowania prac i działań o charakterze zabezpieczającym oraz wzmacniającym. I tu pojawia się zasadniczy problem, a mianowicie w jaki sposób i jakimi materiałami powinno się tego rodzaju wzmocnienia wykonywać, aby były efektywne i dały pożądany skutek.

Oprócz znanych „klasycznych” metod wzmacniania konstrukcji murowanych, które często są niewystarczające i niezbyt dobrze zabezpieczają konstrukcje murowe przed wpływami o charakterze dynamicznym, coraz częściej sięga się po nowe materiały i techniki – w tym znane od kilkudziesięciu już lat i stosowane z powodzeniem w odniesieniu do konstrukcji żelbetowych. W znacznej mierze obejmują one zastosowanie jako wzmocnień, różnego rodzaju materiałów kompozytowych, opartych na włóknach węglowych, szklanych bądź aramidowych. Jednakże w odróżnieniu od konstrukcji żelbetowych, z uwagi na wielką różnorodność, niejednorodność oraz geometryczną i materiałową anizotropię murów, a w szczególności murów obiektów zabytkowych, wzniesionych przed dziesiątkami a nawet setkami lat, stosowanie wzmocnień materiałami kompozytowymi nie jest zagadnieniem prostym, ale w świecie w ostatnich kilkunastu latach bardzo intensywnie rozwijającym.

Niestety, nadal brak jest ogólnie przyjętych i możliwych do szerszego stosowania metod i procedur obliczeniowych dotyczących projektowania i efektywności tego rodzaju

wzmocnień. Nadal istnieje stosunkowo mała liczba dostępnych danych doświadczalnych dotyczących stosowania takich materiałów jako „zamiennika” stali przy wzmacnianiu *a priori* konstrukcji murowych w sytuacjach, gdy konieczne jest zwiększenie ich nośności lub odporności na nowe obciążenia i wpływy. Stąd jako bardzo obiecujące, jest zastosowanie obliczeń numerycznych w analizie i prognozowaniu wzmocnień murów za pomocą materiałów kompozytowych, jako pierwszego etapu analizy złożonego zagadnienia naukowo-inżynierskiego, stanowiące doskonałą podstawę do prognozowania badań doświadczalnych, które w efekcie powinny pozwolić zweryfikować i wykalibrować proponowane teoretyczne modele obliczeniowe.

Recenzowana rozprawa wpisuje się właśnie w tę tematykę i stanowi znaczne poszerzenie stanu wiedzy w tej problematyce. Dlatego z pełnym uznaniem oceniam przyjętą przez doktorantkę i jej promotora tematykę. Wyniki recenzowanej pracy w efekcie pozwalają pogłębić naszą wiedzę na temat złożonych zagadnień związanych ze stosowaniem tego rodzaju nowoczesnych materiałów do wzmacniania istniejących, klasycznych konstrukcji murowych – głównie murowanych ścian nośnych wykonanych z cegły na zaprawie cementowo-wapiennej. Moim zdaniem, recenzowana rozprawa wnosi istotny wkład w poznanie pewnych zagadnień z tym związanych i ma wyraźnie użyteczny charakter.

4. Ocena metody rozwiązania podjętego zagadnienia

Budownictwo zaliczyć należy do nauk technicznych. Charakterystyczną cechą tych nauk jest to, że zazwyczaj problemy naukowe można rozwiązywać nie tylko wyłącznie na drodze dociekań teoretycznych, ale także w oparciu o metody doświadczalne oraz eksperymenty numeryczne, wykonywane przy przyjęciu złożonych, nieliniowych charakterystyk materiałowych. Wyniki badań eksperymentalnych z jednej strony pozwalają na poznanie rzeczywistych cech i zachowania się materiałów i konstrukcji w różnych stanach obciążenia, z drugiej zaś strony stanowią podstawę weryfikacji rozwiązań teoretycznych a także numerycznych, które wtenczas zyskują na wiarygodności. Jest to szczególnie ważne w przypadku zagadnień złożonych, a takim zagadnieniem zapewne jest stosowanie zbrojenia niemetalicznego w konstrukcjach murowych. Niestety, badania doświadczalne są badaniami drogimi, więc z ekonomicznego punktu widzenia, powinny być wykonywane jako zasadniczy element potwierdzający, weryfikujący wcześniej opracowane i przeanalizowane w oparciu o analizy i eksperymenty numeryczne, rozwiązania. Dobrze zaplanowane i przeprowadzone analizy numeryczne powinny pozwolić na wstępne zawężenie możliwych do przyjęcia rozwiązań konstrukcji wzmocnień murów kompozytami oraz dać pogląd o ich efektywności – głównie z jakościowego punktu widzenia. Jako, że eksperymenty numeryczne nie wymagają dużych nakładów finansowych oraz nie wymagają ograniczeń np. związanych z geometrią analizowanych elementów konstrukcyjnych budynku, pozwalają na dość duże spektrum wykonywanych obliczeń i analiz. Tego rodzaju obliczenia powinny zatem być punktem wyjścia do dalszych badań, tym razem już o charakterze doświadczalnym.

Takie podejście do zagadnienia, tzn. rozważania i analizy teoretyczne oraz zaawansowane obliczenia (analizy) numeryczne a dopiero w dalszym etapie weryfikacja doświadczalna, jest bardzo cenne i ma wysoką wartość, ponieważ pozwala na w miarę dobre poznanie zagadnienia pod względem jakościowym oraz ukierunkowuje przyszłe badania

doświadczalne, które to dopiero dostarczą danych do analiz i wnioskowania pod kątem ilościowym. Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Mrozek dotyczy właśnie tego pierwszego etapu, czyli rozważań i analiz teoretycznych oraz zaawansowanych obliczeń (eksperymentów) numerycznych.

Autorka, moim zdaniem, prawidłowo zaplanowała, przeprowadziła i opracowała (z uwzględnieniem uwag podanych w p.5 niniejszej recenzji) szerokie badania (eksperymenty) numeryczne dotyczące murowanych ścian z cegły, głównie poddanych obciążeniom w płaszczyźnie (ściananie i ścinanie ze ściskaniem) wzmacnianych materiałami kompozytowymi (matami z włókien węglowych CRFP) w różnym układzie. Bardzo obszerne eksperymenty numeryczne objęły dwa zasadnicze etapy, a mianowicie etap I, w którym analizowano zagadnienia pozwalające na stworzenie modelu bazowego (zweryfikowanego z wynikami badań obcych) oraz etap II, zawierający analizę wyników symulacji numerycznych wzmacniania muru ceglanego matami CRFP.

W ramach etapu I zaplanowano i przeprowadzono liczne analizy uzupełniające, obejmujące ocenę różnicy pomiędzy stosowaniem modelu powłokowego oraz tarczowego, analizę trzech możliwych rodzajów połączenia muru z matą (połączenie sztywne, połączenie z dodatkową warstwą o modyfikowanych parametrach kleju oraz połączenie muru z matą poprzez numeryczny, sprężysty kontakt wprowadzony między nimi).

W etapie II (rozdział 4 rozprawy) opisany wyniki bardzo szerokiego spektrum analiz numerycznych fragmentów murów wzmocnionych matami CRFP w różnej liczbie i układzie z zastosowaniem zaawansowanego, sprężysto-plastycznego modelu materiałowego (Barcelona Model). Przeanalizowano wpływ zarówno kształtu i wymiarów gabarytowych ściany, jak i jej perforacji otworami okiennymi lub/i drzwiowymi – szczególnie usytuowania tych otworów w ścianie – na efektywność wzmocnienia.

Tak kompleksowe przeanalizowanie zagadnienia, moim zdaniem, jest godne pochwały, a wyniki są bardzo cenne nie tylko z naukowego, ale i inżynierskiego punktu widzenia.

Zastrzeżenia może budzić jedynie zamienne stosowanie w rozprawie (bynajmniej takie odnosi się wrażenie w trakcie jej czytania) pojęcia mata i taśma z włókien węglowych. W rzeczywistości są to wyraźnie różne materiały. Mata i taśmy będące wyciętymi pasami maty, jako elementu z przeplotem włókien są materiałem wiotkim i – jak wykazują dostępne wyniki badań doświadczalnych – dość dobrze współpracują z murem (szczególnie gdy mur ulega odkształceniu na skutek wystąpienia naprężeń ściskających) w sytuacji zastosowania ich jako wzmocnienie powierzchniowe. Nieco inaczej sprawa wygląda w przypadku sztywnych taśm z włókien węglowych. Ich przydatność do wzmacniania murów jest dość dyskusyjna. Dostępne w tym zakresie wyniki badań włoskich (m.in. prowadzonych przez Roberto Capozucca z Ancony) – a także badań prowadzonych przez autora recenzji na Politechnice Śląskiej – wyraźnie wskazują, że w przypadku wystąpienia odkształceń związanych ze ściskaniem muru (np. wzdłuż osi naprężeń głównych σ_2) następuje gwałtowny proces delaminacji i oderwania kompozytu od powierzchni muru. Stąd stosowanie układu ukośnie ułożonych taśm sztywnych z włókien węglowych w przypadku sił ścinających (np. poziomych) jest zupełnie nieefektywne. Potwierdziły to także doświadczenia Irańskie ze wzmacnianiem w taki sposób ścian murowanych z cegły w obiektach zabytkowych. Trzeba zatem wyraźnie zaznaczyć, że do wzmacniania murów, szczególnie murów o charakterystyce sprężysto-plastycznej (a więc stosunkowo odkształcalnych – jak np. mury z cegły na

zaprawach wapiennych i cementowo-wapiennych), powinno się używać laminatów (kompozytów) wiotkich, a nie sztywnych.

5. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Oczywistym jest, że w przypadku prowadzenia nowatorskich i bardzo szerokich badań i analiz trudno jest ustrzec się pewnych błędów i niejasności. Niezbyt miłą rolą i obowiązkiem recenzenta rozprawy doktorskiej jest zwrócenie uwagi także i na te fakty, by móc dać możliwość doktorantowi na ustosunkowanie się do nich w trakcie obrony publicznej. Także i w recenzowanej pracy znalazłem kilka uwag dyskusyjnych, które wymagają komentarza oraz błędów, które powinny być poprawione, np. przy przygotowywaniu materiałów do dalszych publikacji na konferencjach, czy też czasopismach naukowych.

- W rozdziale 2.2 zbrojone oraz skrupowane konstrukcje murowe nie są metodami wzmacniania konstrukcji murowych, Są to inne niż mur niezbrojony rodzaje konstrukcji murowych, wymienione zarówno w Eurokodzie 6 jak i Eurokodzie 8. Na marginesie, Norma Eurokod 6 nie dotyczy konstrukcji murowych podanych wpływom sejsmicznym lub dynamicznym!
- Punkt 2.2.1. *Metody napowierzchniowe* – powinien się nazywać „Metody wzmocnień powierzchniowych”.
- Punkt 2.2.4. *Sprężanie*. W konstrukcjach murowych nie stosuje się z uwagi na brak efektywności, sprężania w kierunku poziomym, czyli równoległym do spoin wspornych – np. dostępne wyniki takich prób prowadzonych przez Hopa na Politechnice Śląskiej oraz Janowskiego w klasztorze w Tyńcu.
- Punkt 2.2.7. *Rekonstrukcja*. W 11 wierszu od góry autorka pisze „W przypadku murów kamiennych przy rekonstrukcji powinny zostać użyte kamienie oraz dobrej jakości zaprawa, pochodzące z rozbiórki” (sic!). Zaprawa z rozbiórki nie jest możliwa do ponownego użycia!
- Spotykany w pracy błędem jest zamienne używanie przez autorkę pojęć „wytrzymałość” zamiast „nośność”. To są dwa zupełnie różne pojęcia. Wytrzymałość jest cechą materiałową (np. wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie, ścinanie etc.), zaś nośność jest wielkością charakteryzującą element konstrukcyjny (nośność na siły pionowe, na zginanie, ścinanie itp.). Przykładowo, na str. 21¹¹ można znaleźć sformułowanie „Zastosowanie trokretowania może podwyższyć wytrzymałość niezbrojonej ściany murowej...”, na str. 25⁶ natomiast „(...) uzyskano dwukrotny wzrost wytrzymałości [1] po zastosowaniu rdzenia centralnego”. I najbardziej kuriozalne zdanie (str.40¹) „Modele analityczne wyznaczania wytrzymałości konstrukcji w kierunku poprzecznym”!!!
- Na str. 40 autorka opisuje model Triantafillou błędnie przyjmuje we wzorach (2-1), (2-2) oraz (2-3) wytrzymałości muru F_m i taśm FRP F_{FRP} . To są odpowiednie składowe nośności, bowiem podstawiając jednostki do wielkości występujących we wzorach (2-2) oraz (2-3) wynik jest w [N] – a więc otrzymuje się wartość nośności na siły poprzeczne (siła).

- Punkt 3.2.2. *Charakterystyka materiałów kruchych*. Zawartość tego punktu pracy dotyczy zachowania się i charakterystyk materiałów sprężysto-plastycznych a nie kruchych – i taki powinien być prawidłowy tytuł!. Pokazana na Rys.3.1 zależność naprężenie-odkształcenie dla muru dotyczy murów o charakterystyce sprężysto-plastycznych, a więc murów odkształcalnych np. z cegły na zaprawie wapiennej lub cementowo-wapiennej. To samo dotyczy Rys.3.2 dla rozciągania. Charakterystyki naprężenie-odkształcenie dla murów sprężysto-kruchych są zupełnie inne!
- Na str. 53₈ pojawia się stwierdzenie „(...) oraz innych geomateriałach kruchych (np. mur ceglany)”. Mur ceglany jest materiałem o charakterystyce sprężysto-plastycznej a nie kruchej!
- Na str. 71³ autorka pisze „planowane jest przeprowadzenie analiz numerycznych z uwzględnieniem podatności spoiwa”. Chodzi zapewne o materiał mocujący matę kompozytową do muru. Spoiwem jest np. wapno, cement, itp.
- Punkt. 3.4.3. *Porównanie modeli powłokowych z tarczowymi*. Moim zdaniem zabrakło w analizie wyraźnego zaznaczenia, że efektywność wzmocnienia jednostronnego (mata z kompozytu mocowana tylko na jednej powierzchni muru) jest ściśle związane z grubością muru – szczególnie przy stosowaniu modelu powłokowego. Model tarczowy tego zjawiska raczej nie pozwoli zaobserwować zbyt wyraźnie. Przy tej samej grubości muru naklejenie mat na dwóch powierzchniach musi dać obserwowany efekt oraz praktycznie identyczne wyniki dla modelu powłokowego i tarczowego.
- W analizie wyników ścian z otworami okiennymi (pkt. 4.2) efektywność wzmocnienia powierzchniowego jest ściśle związana z konstrukcją nadproży okiennych (ich sztywnością giętą i sztywnością na ścinanie w porównaniu z murem). Brak jest w pracy szerszej informacji na ten temat oraz jaka jest opinia doktorantki w tym zakresie?
- Na str. 111 ostatnie zdanie nad Rys.4.25 brzmi „Na podstawie wybranych układów wzmocnienia, można stwierdzić, że w zakresie mechanizmu zniszczenia, swoją rolę (wzmacniania) spełnia jedynie całkowite pokrycie muru kompozytem”. Jest to oczywiste i należało się tego spodziewać. Natomiast w Podsumowaniu na str. 112 czytamy: „Również, jak w przypadku poprzednich ścian, model ze wzmocnioną kompozytem całą powierzchnią muru jest najmniej efektywny. Największa różnica w porównaniu do wcześniej opisanych ścian pojawia się w zakresie mechanizmu zniszczenia, gdzie tylko model ze wzmocnieniem całej powierzchni spełnia swoją funkcję”. Może przydałby się szerszy komentarz?
- Wyniki uzyskane w obliczeniach ścian z pasami poziomymi (jak na Rys.4.36) są miarodajne jedynie przy założonej izotropii muru i jego shomogenizowaniu. W rzeczywistej konstrukcji murowej w kierunku poziomym są ułożone spoiny wsporne, a więc jej zachowanie się i obserwowane postaci zniszczenia są w głównej mierze (przy poziomym ścinaniu) funkcją wartości pionowych naprężeń ściskających, siły ścinającej oraz adhezji, czyli przyczepności zaprawy do powierzchni elementów murowych. Stąd, moim zdaniem, analiza tych przypadków ze względów

poglądowych daje ciekawe wyniki, ale niestety są one oderwane od rzeczywistego zachowania się konstrukcji (wniosek 1 na str. 137). W praktyce, efektywne w przypadku wzmacniania murów jest jedynie stosowanie pasm kompozytów zorientowanych pionowo oraz układów kratowych (jak np. na Rys.4.53 oraz Rys.4.54).

6. Główne osiągnięcia pracy

Do głównych osiągnięć recenzowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Mrozek zaliczam:

- Kompleksowe podejście do zagadnienia rozpoznania efektywności stosowania zbrojenia niemetalicznego jako wzmocnienia ścian murowych z cegły na zaprawie cementowo-wapiennej, obejmujące szeroki zakres analiz numerycznych, dobre przygotowanie teoretyczne i umiejętność zastosowania do jakościowej oceny zachodzących zjawisk zaawansowanych modeli obliczeniowych w oparciu o symulacje komputerowe.
- Prawidłowe i logiczne zaplanowanie bardzo obszernych eksperymentów numerycznych obejmujących dwa zasadnicze etapy, a mianowicie etap I, w którym analizowano zagadnienia pozwalające na stworzenie modelu bazowego (zweryfikowanego z wynikami badań obcych) oraz etap II, zawierający analizę wyników symulacji numerycznych wzmacniania muru ceglanego matami CRFP.
- Zaplanowanie i przeprowadzenie licznych analiz uzupełniających, obejmujących takie zagadnienia jak ocenę różnicy pomiędzy stosowaniem modelu powłokowego oraz tarczowego, analizę trzech możliwych rodzajów połączenia muru z matą (połączenie sztywne, połączenie z dodatkową warstwą o modyfikowanych parametrach kleju oraz połączenie muru z matą poprzez numeryczny, sprężysty kontakt wprowadzony między nimi).
- Przeprowadzenie bardzo szerokiego spektrum analiz numerycznych z zastosowaniem zaawansowanego, sprężysto-plastycznego modelu materiałowego (Barcelona Model), fragmentów murów wzmocnionych matami CRFP w różnej liczbie i układzie. Przeanalizowanie wpływu na efektywność wzmocnienia zarówno kształty i wymiarów gabarytowych ściany, jak i jej perforacji otworami okiennymi lub/i drzwiowymi – szczególnie usytuowania tych otworów w ścianie.

Pragnę także podkreślić, że praca doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Mrozek została napisana dobrym, zwięzłym językiem i nie zawiera większej liczby błędów stylistycznych lub językowych. Zauważyłem jedynie kilka uchybień stylistycznych i kilka tzw. literówek. Natomiast na wyraźne podkreślenie zasługuje poziom edytorski i strona graficzna recenzowanej pracy. Przygotowanie rysunków, szkiców, wykresów oraz schematów jest bardzo staranne a szata graficzna jest wzorowa.

7. Podsumowanie recenzji

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę rozprawy doktorskiej stwierdzam, że autorka podejmuje nowatorską tematykę i bardzo interesujący zarówno ze względów poznawczych (szczególnie wyraźnie występujące w literaturze krajowej braki w wiedzy na temat zastosowania kompozytów jako zbrojenia w konstrukcjach betonowych), jak i praktyki inżynierskiej problem. Poszukując odpowiedzi na zasadnicze pytanie zawarte w celu pracy, a mianowicie czy istnieje możliwość, bazując na analizie numerycznej, określenia takiego układu mat zbrojonych włóknami węglowymi (CRFP), który umożliwia efektywne wzmocnienie i zabezpieczenie konstrukcji w sytuacji pojawienia się pierwszych zarysowań oraz w stanie granicznym, przedstawia logicznie zaplanowany program szerokich eksperymentów numerycznych i w pełni, z sukcesem, go realizuje. W rozprawie prezentuje wraz z krytycznym opracowaniem uzyskane wyniki analiz numerycznych, jak również formułuje szereg ciekawych wniosków, w tym i o charakterze użytkowym. Mogę zatem stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Mrozek zawiera poprawne rozwiązanie przyjętego, złożonego problemu naukowego i tym samym spełnia wszystkie warunki, stawiane rozprawom doktorskim.

Biorąc pod uwagę ogólną ocenę ocenianej rozprawy, a w szczególności główne osiągnięcia, które przedstawiłem w p.6 niniejszej recenzji stwierdzam, że Pani mgr inż. Magdalena Mrozek, mimo przedstawionych w p.5 uwag krytycznych, w pełni dowiodła, że jest zaangażowanym i dociekliwym pracownikiem naukowym, charakteryzującym się głęboką wiedzą w zakresie zagadnień, którymi się zajmuje. Wykazała się umiejętnością samodzielnego przygotowania i prowadzenia zaawansowanych eksperymentów numerycznych oraz posługiwania się nowoczesnym aparatem analizy konstrukcji. Dlatego stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Mrozek spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z 2003 r., z późniejszymi zmianami zawartymi w Dz. U. Nr 164, poz. 1365 z 2005 r. i Dz. U. Nr 84, poz. 455), w aspekcie ubiegania się o stopień naukowy doktora i wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

