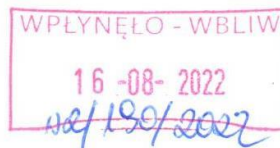


prof. dr hab. inż. Czesław Miedziałowski
15-351 Białystok
ul. Wiejska 45E
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Politechniki Białostockiej



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Szyski
pt. „Mechanika muru historycznego obciążonego z płaszczyzny”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Umowa z dn. 04 maja 2022 r. pomiędzy Politechniką Wrocławską z siedzibą we Wrocławiu przy Wybrzeżu Wyspiańskiego 27 (Zamawiający), a wykonawcą prof. Czesławem Miedziałowskim z Politechniki Białostockiej oraz Aneks z dn. 29 czerwca 2022 roku, a także pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport z dn. 04 maja 2022 roku i z dn. 29 czerwca 2022 roku.

2. Zawartość przedmiotowej rozprawy

Recenzowana rozprawa dotyczy mechaniki murów historycznych obciążonych z płaszczyzny. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Jerzy Jasieńko. Praca liczy 392 strony i składa się z ośmiu rozdziałów, zgrupowanych w 3 częściach, bibliografii (258 pozycji w większości obcojęzycznych) oraz trzech załączników.

We Wstępie części I przedstawiono kontekst globalny tematyki analizowanej w rozprawie. Stwierdzono, że wieloletnie obserwacje konstrukcji murowych podlegających nierównomiernym osiadaniom, zlokalizowanych na terenach gruntów podatnych, a przede wszystkim poddawanych obciążeniom sejsmicznym, jednoznacznie wskazuje na krytyczne znaczenie mechanizmów zniszczenia z płaszczyzny.

To odwróciło dotychczasowe podejście do szacowania nośności murów historycznych, co znalazło odzwierciedlenie w najnowszej generacji norm, szczególnie włoskiej i nowozelandzkiej.

Są to konstrukcje charakteryzujące się dużą różnorodnością i wieloma zmiennymi konstrukcyjnymi, stąd konieczne jest zastosowanie odpowiedniej metodologii badawczej.

Zrozumienie mechaniki murów historycznych oraz stosowanie właściwych metod i narzędzi pozwalają na poprawne oszacowanie ich zachowania i finalnie powinny prowadzić do podjęcia optymalnych interwencji.

Ważna jest tu rola badań doświadczalnych i numerycznych tego typu konstrukcji.

Szczególnie brakuje różnorodnych badań doświadczalnych, które są pracochłonne i kosztowne.

Atrakcyjną alternatywą są tu badania na modelach w odpowiedniej skali.

Dalej podano cele pracy i zakres pracy składający się z 11 zamierzeń.

Omówiono również terminologię stosowaną w pracy, a mianowicie takie pojęcia jak: mur wielowarstwowy, wiązanie (więzy), kołysanie, obalanie.

Przegląd literatury w rozdziale 2 ukierunkowano na omówienie prac, w których stosowano podejścia oparte na równowadze sił i momentów oraz na analizie przemieszczeń. Przedstawiono przyjmowane w literaturze schematy zniszczenia ścian oraz mechanizmy kinematyczne.

Analizy dotyczyły murów historycznych na terenie południowej Europy oraz dziewiętnastowiecznych obiektów z Australii i Nowej Zelandii. Przedstawiono również programy badawcze w zakresie badania ścian.

Opisano prace dotyczące zjawiska kołysania ciał sztywnych i stosowane równanie ruchu, które zostało rozwiązane metodą Runyego-Kutty.

Podano również kwestie odpowiedzi sztywnego ciała na ruchy podłoża, takie jak: poślizg, podskakiwanie oraz poślizg sprzężony z kołysaniem.

Przedstawiono wykorzystanie opisu zjawiska kołysania w ścianach murowanych, w budynkach i w mostach. Niektóre rozważania poparto wynikami badań ścian murowanych.

Na zakończenie tej części wymieniono stosowane metody numeryczne czyli metodę elementów dyskretnych, metodę elementów odrębnych i metodę elementów skończonych.

W dalszej kolejności w tym rozdziale przeanalizowano uregulowania norm tj. Eurokodu, normy kanadyjskiej, australijskiej, nowozelandzkiej, włoskiej, amerykańskiej i holenderskiej. Uregulowania są ukierunkowane głównie na oddziaływania sejsmiczne.

Podkreślono, że najobszerniejsze i najkompletniejsze uregulowania są w przepisach włoskich. Dotyczą zarówno problemów lokalnych jak i globalnych.

Dalej przedstawiono w skrócie badania murów z wykorzystaniem druku 3D oraz metody wzmacniania wielowarstwowych murów historycznych.

Wykonano tu również wstępne badania między innymi interakcji pomiędzy dwoma warstwami muru, moduł Younga elementów drukowanych w funkcji kierunku obciążenia.

Rozdziału tego jednak nie podsumowano w zakresie braków w badaniach i analizach teoretycznych murów historycznych i w kontekście planowanych badań. Wyniki analiz w tym rozdziale zapewne wykorzystano w formułowaniu celu i zakresu pracy.

Rozdział 3 w części II poświęconej badaniom własnym, dotyczy opisu stanowisk badawczych tj. równi pochyłej i stołu wstrząsowego.

Podano informacje, że wszystkie badania zostały przeprowadzone w laboratorium Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska w Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, MA). Następnie przedstawiono, że zapis informacji z badań dokonano za pomocą kamery wysokich prędkości, a do analizy zapisów parametrów wykorzystano oprogramowanie ProAnalyst firmy Xcitex.

Do wznoszenia murów użyto bloczków wykonanych w skali 1:10, wytworzonych za pomocą drukarki 3D, z proszku gipsowego, i następnie odpowiednio przygotowanych wymiarowo i z wygładzeniem powierzchni za pomocą papieru ściernego.

W rozdziale 4 przedstawiono wyniki badań nieobciążonego modelu muru na równi pochyłej, jako obciążenie quasi-statyczne.

Na początku przeprowadzono analizy w zakresie zagadnienia dwuwymiarowego. Przeprowadzono w tym zakresie rozważania teoretyczne wychodząc z założenia, że ciało może zostać wytrącone z równowagi przez poślizg bądź obrót.

Predykcje analityczne zostały zweryfikowane doświadczalnie. Maksymalny błąd wynosił ponad 30% (32,3%).

Na podstawie wyników zaproponowana została modyfikacja diagramu mechanizmów zniszczenia muru.

W dalszej części rozdziału poddano analizie mury w schemacie trójwymiarowym.

W rozwiązaniach teoretycznych wyznaczono minimalny kąt zniszczenia na równi pochyłej poprzez porównanie pracy sił zewnętrznych i wewnętrznych.

Predykcje teoretyczne zweryfikowano doświadczalnie dla trzech różnych przypadków pod względem wymiarów, a następnie również dla zmiennych warunków brzegowych.

Maksymalny błąd porównania wyników doświadczalnych i teoretycznych sięgał 35% (wartości doświadczalne poniżej wartości teoretycznych). Określono w tych badaniach schematy zniszczenia murów jednak nie zdołano wyciągnąć twardych i jednoznacznych wniosków i wprowadzić doświadczalnych mnożników bezpieczeństwa do równań teoretycznych.

W rozdziale 5 przedstawiono analizy układów o charakterze muru historycznego obciążonych impulsami o charakterze funkcji sinus na stole wstrząsowym. Na początku również przedstawiono wyniki w zakresie analiz dwuwymiarowych. Do opisu teoretycznego wykorzystano równanie ruchu zaproponowane przez Housnera. W analizie rozpatrywano tzw. kołysanie próbek i obalenie.

W badaniach stosowano różne impulsy obciążeń typu A do F różniące się charakterystyką w czasie.

Wykonano porównania zapisów wyników wybranych parametrów (kąty obrotu, przemieszczenia poślizgu) otrzymanych w badaniach i z rozwiązań numerycznych.

W dalszej części rozdziału przedstawiono analizy murów w schemacie trójwymiarowym. Stosowane były różne impulsy wstrząsów od A do M.

Podano, że impulsy wywołują różną odpowiedź badanych murów, tzn.

- kołysanie próbki bez jej obalenia
- obalenie przy drugim wychyleniu
- obalenie przy pierwszym wychyleniu
- mechanizm mieszany.

Tu również przedstawiono porównania zapisów w czasie wyników doświadczalnych i otrzymanych z rozwiązań numerycznych.

W podsumowaniu stwierdzono, że otrzymanych wyników nie można wprost ekstrapolować na większe konstrukcje z powodu efektu skali. Zaobserwowane zjawiska są prawdziwe w sensie jakościowym dla konstrukcji pełnowymiarowych.

Główne spostrzeżenia to:

- wykazano, że impulsy o zbliżonych charakterystykach, mogą wywołać znacznie odmienne zachowanie próbek,
- zauważono, iż dla impulsów, które nie wywołują obalenia żadnego z blozków modelu, lecz wywołują poślizg blozków w jego górnej części, istnieje groźne zjawisko z punktu widzenia określenia odporności konstrukcji murowych na obciążenia sejsmiczne,

- na rozczłonkowanie bloczków, mocno zauważalny jest wpływ ich niedoskonałości geometrycznych,
- w przypadku murów suchych należy mieć na uwadze nie tylko pierwsze dwa wychylenia, które są krytyczne dla obalenia, ale również kondycję muru po ustaniu ruchu, z racji jego tendencji do dezintegracji podczas procesu kołysania.

Rozdział 6 poświęcono analizie nośności ścian podlegających kołysaniu, głównie w kontekście norm włoskiej i nowozelandzkiej. Podjęto tu próbę oceny powtarzalności i zbieżności wyników otrzymanych obliczeniowo i doświadczalnie. Porównania dokonano w zakresie analizy sił i przemieszczeń oraz analizy energii w układzie. Wyniki zobrazowano na wykresach gdzie na osi rzędnych był stosunek tzw. zapotrzebowania energetycznego do nośności energetycznej sztywnego bloku w obaleniu, a na osi odciętych miary bezpieczeństwa.

W dalszej części rozdziału sprawdzono przydatność poszczególnych miar intensywności obciążenia dynamicznego do określenia zachowania obiektu podlegającego kołysaniu w ujęciu probabilistycznym.

Dalej w tym rozdziale omówiono takie parametry jak: cecha sprawności, wrażliwość, wiarygodność i ich możliwe zastosowanie w omawianej problematyce, szczególnie do walidacji modeli numerycznych.

Rozdział 7 to PODSUMOWANIE gdzie podsumowano rodzaj i ilość przebadanych modeli oraz rodzaje badań. Zwrócono uwagę na oryginalność badań w zakresie analiz kołysania muru względem jego przekątnej.

Podkreślono przydatność metod szacowania nośności murów obciążonych z płaszczyzny opisanych w normie włoskiej oraz nowozelandzkiej.

Podano, że w pracy doświadczalnie potwierdzono dostępne w literaturze rozważania teoretyczne w kontekście elementów kołyszących się o niewielkich rozmiarach. Podkreślono również, że w literaturze nie przedstawiono do tej pory analiz miar intensywności oraz wrażliwości, które byłyby podparte tak szeroką bazą danych doświadczalnych.

Rozdział 8 to WNIOSKI, które podzielono na Wnioski szczegółowe i Wnioski ogólne.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Wybór tematyki rozprawy

Temat pracy i główny cel rozprawy dotyczy analizy pracy mechanicznej - quasi-statycznej oraz dynamicznej - murów historycznych obciążonych prostopadle do ich płaszczyzny. Szczególnie murów charakteryzujących się brakiem zaprawy, warstwowością, obecnością więzów oraz zmiennymi warunkami brzegowymi. Dużo miejsca poświęcono zjawisku kołysania, szczególnie murów składających się z wielu elementów. Wg analizy literatury stwierdzono, że wieloletnie obserwacje konstrukcji murowych podlegających nierównomiernym osiadaniom, zlokalizowanych na terenach gruntów podatnych, a przede wszystkim poddanych obciążeniom sejsmicznym, wskazują na krytyczne znaczenie mechanizmów zniszczenia z płaszczyzny.

O słabości murów historycznych mówi Eurokod, jednak nie określa konkretnych wartości liczbowych i metod szacowania nośności muru. Najwięcej informacji i procedur zawierają normy włoskie i nowozelandzkie. Jednak problemy te są do tej pory dosyć słabo rozpoznane doświadczalnie. Natomiast zrozumienie mechaniki murów historycznych oraz stosowanie właściwych metod i narzędzi pozwalają na poprawne oszacowanie ich zachowania i finalnie powinny prowadzić do podjęcia właściwych interwencji zabezpieczających i naprawczych.

Celem stowarzyszoną pracy jest analiza i opis różnych wpływów na zachowanie jakościowe i ilościowe murów historycznych obciążonych prostopadle do ich płaszczyzny.

Celem praktycznym pracy jest wskazanie wytycznych do szacowania nośności murów historycznych, dobór właściwych, również w kontekście doktryny konserwatorskiej, metod wzmocnienia i konserwacji.

Jak wynika z powyższej analizy tematyka rozprawy jest ważna i aktualna, a cel pracy został właściwie sformułowany.

3.2. Główne osiągnięcia rozprawy

Rozprawa ma charakter badawczy z elementami teoretycznymi, opartymi o rozwiązania analityczne oraz numeryczne całkowanie równań ruchu.

Głównym zagadnieniem podjętym w pracy jest analiza mechaniki murów historycznych obciążonych prostopadle do ich płaszczyzny. Dużo uwagi poświęcono zjawisku kołysania układów murowych.

Badania zostały przeprowadzone na modelach w skali 1:10 wykorzystując równię pochyłą oraz stół wstrząsowy.

Przetestowano na równi pochyłej 24 modele o stałym przekroju poprzecznym, 33 modele o zmiennym przekroju poprzecznym na długości muru i przeprowadzono 119 badań z użyciem stołu wstrząsowego. Zgromadzono w ten sposób rozległą bazę danych doświadczalnych umożliwiających zrealizowanie analiz nowych zagadnień jak:

- analizę murów historycznych w kontekście wybranych czynników (zmiennosc przekroju, różna smukłość, zmienne warunki brzegowe),
- analizy kołysania sztywnych bloków podlegających ruchowi jednocześnie w różnych konfiguracjach,
- kołysanie muru względem jego przekątnej,
- sprawdzenie metod szacowania nośności murów, w tym stosowania metody sił oraz metod opisowych w normach włoskiej i nowozelandzkiej, i ocenę ich wiarygodności w kontekście wyników ze zrealizowanych badań w skali 1:10.

Jednocześnie zrealizowane badania i analizy wskazują, że przyjęte w analizach teoretycznych mechanizmy zniszczenia mogą być dalekie od rzeczywistych z powodu różnych czynników charakteryzujących budowę konstrukcji, geometrię i dokładność elementów składowych.

W oparciu o szeroką doświadczalną bazę danych przeprowadzono również elementy analizy probabilistycznej w zakresie miar efektywności oraz wrażliwości z jednoczesną oceną wiarygodności zestawu danych.

Dodatkowo należy podkreślić, że w realizacji pracy zastosowano ściany murowane wykonane z wykorzystaniem druku 3D oraz do rejestracji rezultatów badań zastosowano kamery wysokich prędkości.

3.3. Uwagi o charakterze dyskusyjnym

Lektura rozprawy nasuwa kilka zagadnień o charakterze dyskusyjnym, tj.

- 1) Ciekawe dla wstępnych informacji byłoby przedstawienie przykładów analizowanych murów w naturze i problemów jakie aktualnie występują w trakcie ich użytkowania. Jakich są specyficzne ich cechy w zależności od czasu ich wykonania, lokalizacji i zadań dla jakich je zrealizowano.
- 2) Jak Autor widzi ekstrapolację uzyskanych wyników dla murów w skali 1:10, na konstrukcje rzeczywiste, i w kontekście dość dużych rozrzutów wyników badań.

- 3) Brakuje dokładniejszych, istotnych informacji nt. analiz numerycznych. Jakich stosowano metody rozwiązywania, szczególnie równań ruchu, stosowane dyskretyzacje, kroki czasowe itp. Ponadto ocenę dokładności analiz numerycznych w kontekście dokładnej rejestracji badań doświadczalnych.

3.4. Uwagi redakcyjne

Rozprawa zredagowana jest poprawnie, przy tak dużej liczbie nagromadzonych informacji i analizowanych zagadnień. Przegląd literatury wskazane byłoby zakończyć podsumowaniem, które wyznaczałoby cel i zakres rozprawy. W tekście pracy dostrzeżono pewne usterki redakcyjne i niezbyt jasne określenia, jak np.:

- 1) niejasne podpisy pod rysunkami np. Krzywe przebiegu – ale czego?, Model doświadczalny oraz rozwiązanie numeryczne – ale czego?, s. 195 i dalej s. 215 i dalej.
- 2) w podpisach rysunków czasem stosowana jest przemiennie pisownia z małej lub dużej litery np. s. 45, 46, 88, 91.
- 3) niejasne określenia i sformułowania jak: metody siłowe, równanie ma postać zgrabniejszą, stosunek ten jest dość pokaźny, nośności przemieszczeniowe, zapotrzebowanie na przemieszczenie.

4. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Szyszki pt. „Mechanika muru historycznego obciążonego z płaszczyzny” stanowi nowe, oryginalne i samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego poprzez wykonanie w sposób nowatorski rozległych badań doświadczalnych i stworzenie bardzo dużej bazy danych oraz porównanie wyników z dotychczas dominującymi analizami teoretycznymi w ujęciu deterministycznym i częściowo probabilistycznym. Ważnym aspektem jest przy tym weryfikacja metod szacowania nośności murów wg najnowszej generacji norm.

Rozprawa stanowi dalszy i istotny wkład do naukowego określenia mechaniki murów historycznych obciążonych z płaszczyzny.

Autor wykazał się szeroką wiedzą z zakresu piśmiennictwa przedmiotu pracy i światowego dorobku w tym zakresie, ponadto pokazał umiejętności prowadzenia nowatorskich badań doświadczalnych i ich konfrontowanie z analizami teoretycznymi, a także poprawnej interpretacji uzyskanych rezultatów.

Uwagi sformułowane wyżej mają charakter dyskusyjny i rozszerzający spojrzenie na analizowaną problematykę i nie umniejszają bardzo wysokiej merytorycznej wartości pracy.

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Szyski pt. „Mechanika muru historycznego obciążonego z płaszczyzny” spełnia wszystkie warunki merytoryczne i formalne, którym powinna odpowiadać rozprawa doktorska, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku oraz zgodnie z art. 174 i art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. – przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz art. 178 ust. 1 pkt. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony i nadanie jej Autorowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport (dawniej budownictwo).

Z uwagi na szeroki zakres oryginalnych badań i kompleksowe ujęcie problematyki stanowiącej przedmiot dysertacji, odniesienie się do światowej literatury i najnowszej generacji norm, rozprawa zasługuje na wyróżnienie przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Wrocławskiej.

Białystok, 19.07.2022 r.



prof. Czesław Miedziałowski