

Recenzja spełnia
wymogi formalne



Politechnika Wroclawska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Politechniki Śląskiej

dr hab. inż. Piotr Folegą, prof. PŚ

Recenzent:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz

Wrocław, 04.11.2024 r.

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechniki Wrocławskiej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

Tel. kom. +48 608 040 183

E-mail: krzysztof.schabowicz@pwr.edu.pl

Adresat Recenzji:

Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

Politechnika Śląska

ul. Akademicka 5

44-100 Gliwice

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Dariusz Sanewski

pt.: „Analiza nośności i rysoodporności muru zabytkowego poddanego zginaniu w płaszczyźnie”

1. Podstawa formalna

Podstawę formalną do wykonania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 26 września 2024 r.,
- Pismo Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 07.10.2024 r., podpisane przez Przewodniczącego Rady Pana dra hab. inż. Piotr Folegę, prof. PŚ.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia 6.11.2024

nr 285 zał. -

Wpłynęło dnia 5.11.2024 r.

2. Przedmiot i opis ogólny rozprawy

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Sanewskiego pt.: „*Analiza nośności i rysoodporności muru zabytkowego poddanego zginaniu w płaszczyźnie*”. Jej promotorem jest prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec, a promotorem pomocniczym dr inż. Adam Piekarczyk.

Rozprawa została przedłożona w formie zwięzłego jednostronnie zadrukowanego raportu i liczy 192 strony. Praca została napisana w języku polskim, zawiera 32 tabele i 84 rysunki, wykresy i schematy oraz 11 skanogramów, 41 wzorów i 73 fotografie. Składa się ona z 10 rozdziałów, bibliografii stanowiącej łącznie wykaz 49 pozycji literaturowych, 8 kart danych technicznych, 15 norm i 28 stron internetowych. Treść rozprawy poprzedza wykaz stosowanych skrótów i oznaczeń, dodatkowo dołączono streszczenie w języku polskim i angielskim. Do pracy dołączona jest płyta CD.

Układ pracy jest czytelny, charakterystyczny dla prac naukowych i badawczych, a sposób jej wydania jest poprawny.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Przedmiot i cel rozprawy

Problemem naukowym postawionym w pracy jest analiza nośności i rysoodporności muru zabytkowego poddanego zginaniu w płaszczyźnie.

Głównym celem badań było ustalenie wpływu wzmocnienia murów ceramicznych powierzchniowo siatką PBO (siatką do wzmocnień w systemie wzmocnień powierzchniowych muru z siatkami niemetalicznymi osadzonymi na modyfikowanej zaprawie cementowej FRCM) i przypowierzchniowo prętami kompozytowymi GFRP (pręty z włókien szklanych (ang. *Glass Fiber Reinforced Polymer*)) \varnothing 6 mm na zaprawie modyfikowanej na nośność i odkształcalność. Kolejnym celem było ustalenie, czy siatka PBO i pręty kompozytowe GFRP \varnothing 6 mm na przyjętej, gotowej zaprawie naprawczej spełniają kryterium wytrzymałości i rysoodporności w naprawie murów ceramicznych. Pogłębiono również wiedzę o tworzeniu się zarysowań w ścianach z ceramicznych elementów murowych. Zaproponowano metody naprawy pękniętego muru powierzchniowo siatką PBO i przypowierzchniowo prętami GFRP z wykorzystaniem tej samej zaprawy modyfikowanej. Określono, czy wybrane materiały naprawcze spełniają wymogi normowe. Założono, że proponowane materiały posiadają parametry techniczne podobne do tych, jakie mają materiały

stosowane m.in. przy konserwacji zabytków metodą naprawy pęknięć ścian metalicznymi prętami spiralnymi na żywicy epoksydowej.

W pracy przeprowadzono badania materiałowe komponentów muru przy wykorzystaniu elementów murowych historycznie zbliżonych do elementów ceramicznych z różnych okresów. W badaniach wykorzystano cegłę gotycką wykonaną historycznymi metodami produkcji w manufakturze w Gniewie, cegłę renesansową pozyskaną z rozbiórki zabudowań koło Pasłęka, cegłę z lat 20-30 XX w. pozyskaną z rozbiórki obiektu w Czeladzi powstałego w okresie porównywalnym do wybudowania zabytkowego osiedla „Nikiszowiec” w Katowicach oraz cegłę współczesną uzyskaną z cegielni „Łąka” na Śląsku.

Badania zasadnicze przeprowadzono z wykorzystaniem stanowisk badawczych zaprojektowanych do badań konstrukcji murowych. W badaniach normowych ustalono m.in. charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie, ścinanie i ściskanie wzdłuż przekątnej elementu próbnego. Przeprowadzono badania eksperymentalne dwóch pełnowymiarowych ścian o grubości półtorej cegły z otworem okiennym z ceramicznym nadprożem łukowym, do wymurowania których użyto cegły współczesnej i fabrycznej zaprawy historycznej. W badaniach ścian pełnowymiarowych analizowano nośność i deformacje poprzeczne muru, przed ich wzmocnieniem i po wzmocnieniu, pod wpływem pionowego obciążenia o charakterze grawitacyjnym przy jednoczesnym ugięciu liniowej konstrukcji podpierającej ścianę. Z wykorzystaniem tej samej fabrycznej zaprawy naprawczej jedną ścianę wzmocniono powierzchniowo siatką PBO, a drugą przypowierzchniowo prętami kompozytowymi GFRP \varnothing 6 mm z włókien szklanych.

Analizowane przypadki wzmocnienia ścian miały potwierdzić skuteczność zaproponowanego sposobu naprawy murów ceramicznych.

3.2. Charakterystyka i ocena poszczególnych rozdziałów rozprawy

Rozdział pierwszy *Wstęp* zawiera wprowadzenie w tematykę pracy. Zamieszczono w nim opis aktualnej sytuacji gospodarczej i rynkowej dotyczącej branży budowlanej, wprowadzając w problematykę badawczą. Zauważono, że naprawa obiektów zabytkowych należy do specjalistycznych zagadnień budownictwa. Prace budowlane na zabytku (naprawa, remont, renowacja) wymagają zachowania pierwotnych materiałów, zgodnych co do składu i kolorystyki, przy czym zazwyczaj wytworzonych w tradycyjnej technologii. Służba konserwatorska poleca zachowanie historycznych wymiarów oraz często oczekuje wykonania odwzorowania na obiekcie historycznych detali architektonicznych.

W rozdziale drugim *Cel i zakres pracy* sformułowano zasadniczy cel pracy, ogólny zakres oraz wyznaczono zadania, które pozwoliły na realizację postawionego celu.

Rozdział trzeci *Mury z cegły wzmocnione prętami GFRP - analiza stanu wiedzy* przedstawiono wiedzę literaturową na temat ceglanych obiektów na świecie i w Polsce oraz na temat mechanizmu powstawania rys i pęknięć ścian ceramicznych.

W rozdziale czwartym *Wyniki badań materiałowych* przedstawiono normowe badania materiałowe komponentów muru. Wykonano badania cegieł gotyckich wytworzonych dawnymi metodami w manufakturze, cegieł renesansowych (pochodzących z rozbiórki), cegieł z lat 20-30 XX w. pochodzących z rozbiórki obiektu na Śląsku z okresu porównywalnego do wybudowania zabytkowego osiedla „Nikiszowiec” w Katowicach oraz cegieł współczesnych. Odrębnie przeprowadzono badania normowe dla przyjętej, gotowej zaprawy naprawczej celem ustalenia jej przydatności do naprawy muru wzmocnianego powierzchniowo siatką PBO (system FRCM) bądź przypowierzchniowo prętami kompozytowymi GFRP. Przybliżono właściwości prętów kompozytowych GFRP, a także przeprowadzono próbę wyznaczenia ich charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie.

Rozdział piąty *Badania wpływu wzmocnienia muru na wytrzymałość na ściskanie i zginanie*, rozdział szósty *Badania wytrzymałości muru na ścinanie* i siódmy *Badanie wytrzymałości muru na ukośne rozciąganie przy ściskaniu* poświęcono badaniom normowym na elementach badawczych niewzmocnionych oraz powierzchniowo jednostronnie i dwustronnie wzmocnionych siatką PBO na zaprawie modyfikowanej. Dodatkowo w ramach eksperymentu przeprowadzono normowe badania charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie elementów próbnych wykonanych z cegieł historycznych. Przedstawiono też badanie doświadczalne muru z cegły renesansowej w wątku gotyckim wzmocnionego przypowierzchniowo prętami GFRP i poddanego zginaniu w płaszczyźnie.

W rozdziale ósmym *Badanie wytrzymałości na ściskanie ścian podpartych podatnie* przedstawiono badania eksperymentalne dwóch pełnowymiarowych ścian z cegły ceramicznej na zaprawie historycznej uszkodzonych a następnie wzmocnionych powierzchniowo siatką PBO oraz przypowierzchniowo prętami GFRP, wykorzystując tą samą zaprawę naprawczą. Badania ścian prowadzono przed uszkodzeniem oraz po ich wzmocnieniu. Analizowano ich nośność i deformację poprzeczną. Wykonano analizę rys i pęknięć stosując pomiar optyczny oraz przy wykorzystaniu transformatorowych czujników PJX zainstalowanych na bazach pomiarowych.

Z kolei w rozdziale dziewiątym *Wnioski* zawiera dyskusję wyników przeprowadzonych badań, zebrano wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz.

W rozdziale dziesiątym *Kierunki dalszych badań* sformułowano propozycję kontynuacji badań przez zwiększenie liczby badanych ścian w skali naturalnej, sprawdzenie wpływu inaczej rozmieszczonych otworów i ich większej liczby, wykonanie badań niewzmocnionych i wzmocnionych murów ściskanych oraz ściskanych i ścinanych w skali naturalnej. Doktorant planuje także stworzenie algorytmów obliczeniowych uwzględniających wpływ wzmocnienia na nośność zarysowanych elementów.

Przedstawiona w rozprawie i zweryfikowana doświadczalnie metodyka badań jest moim zdaniem trafna i poprawna pod względem merytorycznym. Zaprezentowane analizy odnoszą się zarówno do literatury krajowej jak i międzynarodowej. Podjęta tematyka wydaje się aktualna i potrzebna. Niewiele jest także prac poświęconych tej tematyce. Na uwagę zasługuje również staranność wykonanych badań i ich aplikacyjność w projektowaniu. Rozprawa doktorska prezentuje z całą pewnością ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

4. Uwagi krytyczne

Na wstępie chciałbym podkreślić, że przedstawione w niniejszym punkcie uwagi krytyczne odnośnie recenzowanej rozprawy zostały podane w charakterze dyskusji i pewnego rodzaju uporządkowania przedstawionych treści z nadzieją, że mogą być przydatne i zostaną wykorzystane w trakcie opracowywania publikacji naukowych kierowanych do czasopism z tej tematyki.

Znaczną część uwag krytycznych podano już w punkcie 3.2 przy recenzowaniu poszczególnych rozdziałów. Poniżej je zebrano i usystematyzowano. I tak:

- 4.1. Tytuł rozprawy zawiera wszystko to, co jest w rozprawie.
- 4.2. Praca napisana jest dość dobrym językiem z uwzględnieniem zasad stylistycznych, gramatycznych oraz interpunkcyjnych.
- 4.3. Nie napisano co jest przedmiotem badań.
- 4.4. W rozdziale 2. *Cel i zakres pracy* nie napisano jaki był zakres pracy.
- 4.5. Głównym elementem pracy jest analiza wpływu wzmocnień ściany na podatnym podłożu. W przeglądzie literatury nie zamieszczono podobnych wyników badań wykonanych innych badaczy. Promotor pomocniczy pracy dr inż. Adam Piekarczyk prowadził takie badania i można było je opisać. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
- 4.6. Rozdziały 4.2. *Cechy zaprawy wapiennej* oraz 4.7. *Cechy prętów kompozytowych GFRP* nie pasują do rozdziału 4. *Wyniki badań materiałowych* i powinny być się zdaniem Recenzenta znaleźć w rozdziale 3. *Mury z cegły wzmocnione prętami GFRP - analiza stanu wiedzy*.
- 4.7. Dlaczego w badaniach stosowano pręty GFRP o różnych średnicach?
- 4.8. W badaniach murów na ściskanie wzmocnionych systemem FRCM (tabl. 5.4.1-2) uzyskano mniejsze wartości wytrzymałości w modelach wzmocnionych dwustronnie CSF2 niż w modelach wzmocnionych jednostronnie CSF2. Z czego mogło to wynikać?

- 4.9. Wpływ wzmocnienia prętami GFRP badano w mniejszych modelach na zginanie, natomiast wpływ wzmocnienia powierzchniowego systemem FRCM badano w małych modelach na ściskanie. Z czego to wynikało?
- 4.10. Można było pokusić się o zbudowanie modelu obliczeniowego muru wzmocnionego w programie bazującym na metodzie elementów skończonych.
- 4.11. W jakim zakresie wyniki prac badawczych mogą być wykorzystane w praktyce inżynierskiej?

5. Wnioski

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Sanewskiego pt.: „*Analiza nośności i rysoodporności muru zabytkowego poddanego zginaniu w płaszczyźnie*”, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec, a promotorem pomocniczym dr inż. Adam Piekarczyk stanowi rozwiązanie oryginalnego zadania naukowego dotyczącego oceny zachowania się muru zabytkowego poddanego zginaniu w płaszczyźnie z uwzględnieniem nośności i rysoodporności. Głównym celem badań było ustalenie wpływu wzmocnienia murów ceramicznych powierzchniowo siatką PBO i przypowierzchniowo prętami kompozytowymi GFRP \varnothing 6 mm na zaprawie modyfikowanej na nośność i odkształcalność. Kolejnym celem było ustalenie, czy siatka PBO i pręty kompozytowe GFRP \varnothing 6 mm na przyjętej, gotowej zaprawie naprawczej spełniają kryterium wytrzymałości i rysoodporności w naprawie murów ceramicznych.

Uważam, że przedstawiony w rozprawie cel został osiągnięty, sformułowane zadanie naukowe rozwiązane. Rozprawa doktorska wykazuje zatem umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta.

Należy zauważyć, że Doktorant wykazał się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy naukowej i technicznej w zakresie prezentowanej tematyki, która podejmowana jest od pewnego czasu na Wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej. Świadczy to o dojrzałości naukowej Doktoranta, a przede wszystkim o jakości szkoły z jakiej się wywodzi. Niewątpliwie wpłynęło to korzystnie na całość pracy i dało możliwość nauczenia się programowania i prowadzenia badań naukowych i doświadczalnych. Wykonano badania, które poszerzyły istniejącą bazę wiedzy. Na tej podstawie dokonano krytycznej analizy otrzymanych rezultatów przeanalizowano je i opracowano wnioski. Całość pracy świadczy jednak o przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia prac naukowych i badawczych. Rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport, ma znaczenie naukowe i praktyczne, usystematyzowała częściowo wiedzę na temat murów zabytkowych poddanych zginaniu w płaszczyźnie. Ponadto rozprawa doktorska stanowi

oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników badań własnych Doktoranta w strefie gospodarczej. Przeprowadzono badania eksperymentalne dwóch pełnowymiarowych ścian o grubości półtorej cegły z otworem okiennym z ceramicznym nadprożem łukowym, do wymurowania których użyto cegły współczesnej i fabrycznej zaprawy historycznej. W badaniach ścian pełnowymiarowych analizowano nośność i deformacje poprzeczne muru, przed ich wzmocnieniem i po wzmocnieniu, pod wpływem pionowego obciążenia o charakterze grawitacyjnym przy jednoczesnym ugięciu liniowej konstrukcji podpierającej ścianę. Z wykorzystaniem tej samej fabrycznej zaprawy naprawczej jedną ścianę wzmocniono powierzchniowo siatką PBO, a drugą przypowierzchniowo prętami kompozytowymi GFRP \varnothing 6 mm z włókien szklanych.

Analizowane przypadki wzmocnienia ścian miały potwierdzić skuteczność zaproponowanego sposobu naprawy murów ceramicznych.

6. Sentencja Recenzji

Moim zdaniem recenzowana rozprawa mgr inż. Dariusza Sanewskiego pt.: „*Analiza nośności i rysoodporności muru zabytkowego poddanego zginaniu w płaszczyźnie*” **spełnia wymogi stawiane w Ustawie** z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami) **oraz w Rozporządzeniu** Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r. – i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Z poważaniem,



Prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz