

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław 12.04.2021 r.

**Sz. P.** Przewodniczący Rady Naukowej  
Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport  
**Prof. dr hab. inż. Tomasz Siwowski**  
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska  
i Architektury  
Politechnika Rzeszowska  
ul. Poznańska 2  
35-959 Rzeszów

Szanowny Panie Profesorze

W załączeniu przesyłam w dwóch egzemplarzach recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Zięby pt.: „Statystyczna analiza niezawodności ściskanych konstrukcji murowych”.

Z poważaniem,

Krzysztof Schabowicz

Krzysztof Schabowicz



Politechnika Wroclawska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

**Recenzent:**

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz

Wrocław, 12.04.2021 r.

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechniki Wroclawskiej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27

50-370 Wrocław

Tel. +48 71 320 29 00, kom. +48 608 040 183

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

**Adresat Recenzji:**

Rada Naukowa Dyscypliny

Inżynieria Lądowa i Transport

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska

i Architektury

Politechnika Rzeszowska

ul. Poznańska 2

35-959 Rzeszów

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Joanny Zięby

pt.: „Statystyczna analiza niezawodności ściskanych konstrukcji murowych”

### 1. Podstawa formalna

Podstawę formalną do wykonania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej z dnia 17 lutego 2021 r.,

- Pismo Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej z dnia 19 lutego 2021 r. podpisane przez Przewodniczącą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej Pana prof. dra hab. inż. Tomasza Siwowskiego.

## **2. Podstawa prawna**

- Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595, z póź. zm.),

- Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669),

- Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r (Dz.U. z 30.01.2018 r. poz. 261).

## **3. Przedmiot i opis ogólny rozprawy**

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Zięby pt.: „Statystyczna analiza niezawodności ściskanych konstrukcji murowych”, a jej promotorem jest dr hab. inż. Izabela Skrzypczak, prof. uczelni, promotorem pomocniczym dr hab. inż. Lidia Buda-Ożóg, prof. uczelni.

Rozprawa została przedłożona w formie zwartej dwustronnie zadrukowanej i liczy 198 stron. Składa się ona z 7 rozdziałów. Bibliografia stanowi łącznie imponującą liczbę: 241 pozycji monografie, artykuły, inne publikacje i 14 pozycji: kody projektowe i normy. Nie wyjaśniono co to są „kody projektowe”. Praca zawiera aż 164 rysunki i 51 tablic.

Układ pracy jest czytelny i logiczny, charakterystyczny dla prac naukowych i badawczych, a sposób jej wydania w formie książkowej, moim zdaniem, jest bardzo interesujący, trafny i zasługujący na podkreślenie.

## **4. Ocena merytoryczna rozprawy**

### **4.1. Przedmiot, cel i teza rozprawy**

Choć nie napisano tego w rozprawie to, moim zdaniem, przedmiotem pracy jest niezawodności ściskanych konstrukcji murowych. Napisano natomiast, że celem rozprawy jest statystyczna analiza niezawodności ściskanych konstrukcji murowych.

W pracy podjęto próby określenia poziomu niezawodności konstrukcji murowych dla klasy niezawodności RC1, RC2 i RC3.

Sformułowano następującą tezę pracy: Istnieje możliwość zoptymalizowania wartości współczynników częściowych zaproponowanych w Załączniku Krajowym normy [PN-EN 1996-1-1:2010]. Jest to sformułowanie ogólne i nie precyzuje jakiego zakresu dotyczy.

Zakres merytoryczny pracy obejmuje następujące zagadnienia:

- przegląd aktualnego stanu wiedzy z zakresu normowych podstaw projektowania konstrukcji murowych oraz analiza ściskanych konstrukcji murowych, kryteria zniszczenia stosowane w analizach numerycznych konstrukcji murowych, przegląd teorii niezawodności,
- opracowanie i wykonanie analiz statystycznych konstrukcji murowych metodą FORM, uproszczoną metodą probabilistyczną poziomu II,
- opracowanie i realizacja planu badań doświadczalnych wybranych konstrukcji murowych, w tym badań materiałowych oraz badań zasadniczych konstrukcji murowych – badania były podstawą określenia parametrów statystycznych murów, służących do walidacji hierarchicznej modeli numerycznych,
- zbudowanie deterministycznych modeli numerycznych badanych murów, analiza modeli w kontekście zgodności z wynikami badań doświadczalnych,
- wykorzystanie deterministycznych modeli numerycznych murów do analiz stochastycznych metodą Monte Carlo, oszacowanie niezawodności na podstawie symulacji numerycznych.

#### **4.2. Charakterystyka i ocena poszczególnych rozdziałów rozprawy**

Układ rozprawy stanowią rozdziały poprzedzone wykazem podstawowych oznaczeń. Brak jest w pracy streszczenia w języku polskim i angielskim, który został przesłany Recenzentowi drogą elektroniczną.

Rozdział 1. Pt.: „Wstęp” zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki pracy, genezę podjęcia tematu zakończoną wnioskami, z których wynika potrzeba przeprowadzenia statystycznej analizy niezawodności ściskanych konstrukcji murowych. Rozdział ten kończy układ pracy. Moim zdaniem cel pracy został poprawnie określony.

Rozdział 2. pt.: „Przegląd stanu wiedzy” stanowi przegląd literaturowy. Rozdział podzielony jest na pięć podrozdziałów, traktujących kolejno o: problematyce konstrukcji murowych, normowych podstawach projektowania konstrukcji murowych, analizie ściskanych konstrukcji murowych oraz kryteriach zniszczenia stosowanych w analizach numerycznych konstrukcji murowych. Rozdział zakończono podsumowaniem, z którego wynika że dotychczas opracowano wiele kryteriów

zniszczenia konstrukcji murowych i przeprowadzono wiele badań doświadczalnych, które umożliwiły poznanie mechanizmu zniszczenia murów przy ściskaniu oraz określenie czynników determinujących wytrzymałość i odkształcalność murów. Liczba tych czynników jest jednak bardzo znaczna, co ogranicza stosowanie proponowanych dotychczas formuł empirycznych. Obecnie jednym z podstawowych problemów w analizie konstrukcji murowych nie jest brak narzędzi obliczeniowych, lecz wiarygodnych danych materiałowych. Podstawową metodą identyfikacji parametrów charakteryzujących wytrzymałość i odkształcalność murów przy ściskaniu są badania doświadczalne. Jednak zakres tych badań nadal jest ograniczony. Doktorantka wykazała, że brak jest dokładnej procedury obliczania niezawodności konstrukcji murowych.

Rozdział 3 „Przegląd teorii niezawodności” stanowi kontynuację rozdziału drugiego o aktualne badania naukowe dotyczące teorii niezawodności. Przedstawiono w nim historię rozwoju teorii niezawodności, podstawy analizy bezpieczeństwa konstrukcji oraz założeń wybranych metod sprawdzania niezawodności konstrukcji. Rozdział również zakończono podsumowaniem, z którego wynika że metoda wskaźnika niezawodności stosowana jest jako podstawowa miara oceny niezawodności konstrukcji budowlanych obejmująca: wskaźnik liniowy Cornella, wskaźnik quasi-liniowy FORM, wskaźnik kwadratowy Hasofera–Linda, czy tzw. ulepszony wskaźnik kwadratowy Rackwiza–Fiesslera.

W rozdziale 4 pt. „Algorytmy statystycznej analizy niezawodności konstrukcji” przedstawiono procedury statystycznej analizy niezawodności konstrukcji, które posłużyły Doktorantce do przygotowania autorskich przykładów szacowania niezawodności konstrukcji murowych metodą FORM. Rozdział zakończono podsumowaniem, z którego wynika że brak jest analiz niezawodności, w tym również tych uwzględniających normowe kombinacje obciążeń w odniesieniu do konstrukcji murowych, co uzupełniono w ramach podjętego w niniejszej dysertacji tematu.

Rozdział 5 stanowi „Autorskie przykłady szacowania niezawodności metodą FORM”. Przedstawiono w nim przykłady, które dotyczyły różnego rodzaju konstrukcji murowych, w tym: ściany z autoklawizowanego betonu komórkowego, filara z cegły pełnej oraz ściany z bloczków silikatowych. Zaprezentowano analizy konstrukcji murowych w różnych wariantach poziomu obciążeń. Otrzymane wyniki analiz pokazały, że dla rozważanych rodzajów konstrukcji murowych przy uwzględnieniu zalecanych normowych reguł obciążenia zauważyć można zawyżone szacowanie niezawodności, wydaje się więc, że skala nadszacowania jest zdecydowanie za duża. Praktycznie w całym zakresie  $0 \leq \chi \leq 1$  dla wszystkich przypadków reguł kombinacji obciążeń analizowanych konstrukcji murowych występuje zawyżony poziom niezawodności.

W rozdziale 6 pt. „Wieloetapowa analiza niezawodności konstrukcji murowych metodami symulacyjnymi – badania własne” przedstawiono wieloetapową analizę niezawodności konstrukcji murowych metodami symulacyjnymi. Przedstawiono w nim zagadnienie doświadczalnej weryfikacji

właściwości konstrukcji murowych i omówiono przeprowadzone badania wytrzymałościowe. Badania dotyczyły modeli murów w skali rzeczywistej: filarów z cegły pełnej oraz ścian z autoklawizowanego betonu komórkowego. Przeprowadzono próby wytrzymałościowe sześciu modeli filarów oraz sześciu modeli ścian. Badania doświadczalne służyły między innymi weryfikacji jednorodności stosowanych materiałów, jakości i zgodności wykonania modeli. Wyniki badań wykorzystano w dalszym etapie do walidacji modeli numerycznych analizowanych przykładów konstrukcji murowych. Kolejno przedstawiono etapy budowy deterministycznych modeli numerycznych, strategię modelowania, model materiałowy oraz docelowe wyniki przeprowadzonych analiz. Modele deterministyczne murów zostały następnie wykorzystane do oszacowania niezawodności metodą w pełni probabilistyczną – metodą Monte Carlo. Zamieszczono wyniki przeprowadzonych symulacji modeli stochastycznych – filara z cegły pełnej oraz ściany z autoklawizowanego betonu komórkowego. Korzystając z otrzymanych danych z badań doświadczalnych oraz analiz numerycznych, wyznaczono współczynniki częściowe. Rozdział szósty zakończono podsumowaniem, z którego wynika że analiza konstrukcji murowych powinna się więc odbywać przy uwzględnieniu nie tylko zmienności, lecz także losowego charakteru czynników wpływających na budowę modelu numerycznego oraz na niezawodność konstrukcji budowlanych. Zrealizowanie zasadniczych badań doświadczalnych, zgodnie z planem badań Doktorantki, umożliwiło określenie globalnego współczynnika bezpieczeństwa wybranych ściskanych konstrukcji murowych. Przeprowadzone analizy na podstawie procedury szczegółowo omówionej w rozdziale 4. wykazały, że przy zastosowaniu każdej z normowych reguł kombinacji oddziaływań zewnętrznych zapewniony jest wymagany poziom bezpieczeństwa dla wszystkich rozpatrywanych klas niezawodności RC1, RC2 i RC3 w całym zakresie  $0 \leq \chi \leq 1$ .

„Podsumowanie i wnioski” wynikające z badań własnych zawarto w rozdziale siódmym. Sformułowano także szereg istotnych wniosków szczegółowych i dodatkowych, które potwierdzają, że postawione w pracy cele badawcze zostały w pełni osiągnięte. W zakończeniu pracy podano ogólnie kierunki dalszych badań, ale ich nie sprecyzowano, a mogłoby być to przydatne Doktorantce w jej dalszej karierze naukowej.

Przedstawiona w rozprawie i zweryfikowana doświadczalnie tematyka jest moim zdaniem poprawna pod względem merytorycznym. Przedstawiono rozważania teoretyczne, badania własne, które efektywnie prowadzą do określenia niezawodności ściskanych konstrukcji murowych. Proces rozumowania jest logiczny, a przedstawione argumenty są jak najbardziej trafne. Zaprezentowane analizy odnoszą się zarówno do literatury krajowej jak i międzynarodowej. Podjęta tematyka jak najbardziej wydaje się aktualna i potrzebna.

## 5. Uwagi krytyczne

Na wstępie chciałbym podkreślić, że przedstawione w niniejszym punkcie uwagi krytyczne odnośnie recenzowanej rozprawy nie obniżają jej wartości merytorycznej i jej jednoznacznie pozytywnej oceny. Zostały one 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 4.2 przy recenzowaniu poszczególnych rozdziałów. Poniżej je zebrano i usystematyzowano. I tak:

- 5.1. Praca napisana jest poprawnym językiem, zarówno pod względem stylistycznym i gramatycznym, i trudno dopatrzeć się w niej błędów interpunkcyjnych i literowych. Ze względu na ich minimalną liczbę zrezygnowano z ich wskazania.
- 5.2. Tytuł rozprawy jest krótki, ale odpowiedni, szczegółowy i zawiera wszystko to co jest w rozprawie.
- 5.3. Nie napisano wprost co jest przedmiotem rozprawy.
- 5.4. W recenzowanej pracy wskazano jedną tezę. Obecnie z punktu widzenia formalnego nie jest to konieczne, natomiast przy realizacji celów wskazuje na dochodzenie do sedna i meritum problemu. Co ważne ich udowodnienie wyraźnie akcentuje uzyskanie przyjętego celu i tym samym rozwiązanie zdefiniowanego zadania badawczego.
- 5.5. Zabrakło też dokładnego wyartykułowania, co jest oryginalnym osiągnięciem Doktorantki.
- 5.6. Recenzent odnosi wrażenie, że rozdział 1 był pisany najprawdopodobniej szybko i na końcu, stąd jego czytelność jest mniejsza, zawiera błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Na stronie 10, w połowie strony, podano informację, że „Stosując koncepcję współczynników częściowych przyjętą w przepisach normowych, nie można uzyskać żadnej gwarancji i informacji dotyczących bezpieczeństwa realizowanych konstrukcji.” Proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia, szczególnie w aspekcie poniższej uwagi.
- 5.7. W pracy porównano wytrzymałości projektowe z rzeczywistymi danymi z badań ścian i filarków murowanych, aby oszacować błąd modelu w kategoriach probabilistycznych, dla smukłych filarków oraz niezbrojonych ścian murowanych poddawanych ściskaniu osiowemu. Informacje te, w połączeniu z probabilistycznymi modelami właściwości materiałów i obciążeń, zostały wykorzystywane do obliczania niezawodności oraz określenia współczynników bezpieczeństwa analizowanych konstrukcji murowych. Stwierdzono, że istniejące poziomy bezpieczeństwa są znacznie wyższe niż te

akceptowane dla innych materiałów. Na podstawie badań własnych, analizy probabilistycznej uproszczonej i w pełni probabilistycznej wykazano, że wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa w normie projektowania konstrukcji murowych są zawyżone. Podjęty temat jest w szczególności istotny, bowiem normowy współczynnik redukcji nośności ( $\phi$ ) dla ścian usztywnionych przez stropy obciążonych osiowo został zwiększony z 0,45 do 0,75 co, jak się okazuje również skutkuje około 66% wzrostem nośności obliczeniowej muru na ściskanie.

Dokładność modeli predykcyjnych nośności analizowanych konstrukcji murowych nie jest znana, dlatego niezbędne jest określenie błędu modelu, który charakteryzuje m.in. odchylenie i zmienność przyjętego modelu predykcyjnego. Określenie niepewności modelu wymaga analizy danych z badań empirycznych i symulacyjnych i istnieją trzy rodzaje składowych wpływające na błąd modelu:

- (I) Zależność między nominalną wytrzymałością elementów murowych podaną przez producenta, a rzeczywistą charakterystyczną wytrzymałością elementów murowych.
- (II) Zakładaną zależnością między wytrzymałością na ściskanie elementu murowego, a charakterystyczną wytrzymałością muru na ściskanie dla danej zaprawy.
- (III) Zależność między wytrzymałością muru na ściskanie, a nośnością ściany przy danych warunkach utwierdzenia i smukłości.

W celu scharakteryzowania błędu modelu, biorąc pod uwagę pierwszą składową, należałoby przeanalizować dane wytrzymałościowe dla kilku rodzajów elementów murowych różnych producentów. Dla tych danych należałoby określić średnią oraz współczynnik zmienności, ponieważ na etapie wykonanych analiz nie jest pewne, czy przyjęte statystyki są reprezentatywne dla wszystkich producentów w Polsce, a czynnik ten został wykluczony z analiz dotyczących błędu modelu. Pominięcie tego czynnika w analizach dotyczących błędu modelu skutkuje tym, że rzeczywiste siły są czasami niższe niż siły nominalne. Proszę o ustosunkowanie się do tego zagadnienia.

- 5.8. Składowe błędu modelu II i III zostały wzięte pod uwagę przy określeniu modelu predykcyjnego do obliczenia nośności elementów murowych. Jednak, baza danych, na której przeprowadzono analizy ogranicza się do badań własnych. Natomiast do określenia współczynników bezpieczeństwa należałoby, moim zdaniem, zebrać wyniki badań elementów murowych pochodzących z różnych opublikowanych artykułów i raportów, obejmujących badania przeprowadzone nie tylko w Polsce (dotyczy zmian załącznika krajowego), ale i innych krajów Europy. Tam, gdzie byłoby to możliwe, należy określić parametry dotyczące geometrii analizowanych konstrukcji. W pracy Doktorantki zauważono brak określenia geometrii badanych konstrukcji murowych oraz elementów



murowych. W pracy nie określono współczynnika zmienności geometrii konstrukcji murowych, przyjęto go na poziomie 0,05, co jest najczęściej przyjmowaną wartością dla elementów murowych (w ramach produkowanej danej partii wyrobu). Proszę o ustosunkowanie się do tego zagadnienia.

- 5.9. Projektant stosujący deterministyczny, matematyczny model nośności rozpoczyna od nominalnej charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie elementów murowych podanych przez producenta i zamierzonego składu zaprawy. Na ich podstawie wyprowadza charakterystyczną konstrukcyjną wytrzymałość na ściskanie wykorzystując zależności normowe. Należy zauważyć, że formuły normowe są oparte głównie na charakterystycznych wartościach parametrów (5% kwantylach), a w przypadku elementów murowych dotyczy to np. klasy elementu murowego, a więc znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie z uwzględnieniem wysokości/szerokości próbki oraz sposobu sezonowania, czego Doktorantka w swojej pracy nie podała. Proszę o ustosunkowanie się do tego zagadnienia.
- 5.10. Model MES uwzględnia współczynnik skali 0,5, który został przyjęty na podstawie badań i analiz prowadzonych w Politechnice Śląskiej, a dokładnie przez prof. R. Jasińskiego. Czy Doktorantka dotarła do prac prowadzonych w zespole prof. Carla Graubnera Uniwersytet w Darmstadt lub prac zespołu prof. Drahomira Novaka z Brna, którzy mają ogromne osiągnięcia w tym obszarze w celu zweryfikowania zaproponowanego podejścia i przyjętego współczynnika na poziomie 0,5?
- 5.11. W przypadku III rodzaju błędu wpływającego na błąd modelu dotyczy pominięcia smukłości analizowanych filarków o dość jednak znacznej wysokości. Autorka dysertacji, uzasadniła pominięcie smukłości, jednak zrobiła to sposób bardzo lapidarny i oszczędny. Czy można prosić o uzupełnienie tej kwestii?

## 6. Wnioski

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Zięby pt.: „Statystyczna analiza niezawodności ściskanych konstrukcji murowych”, której promotorem jest dr hab. inż. Izabela Skrzypczak, prof. uczelni, promotorem pomocniczym dr hab. inż. Lidia Buda-Ożóg, prof. uczelni stanowi rozwiązanie oryginalnego zadania naukowego dotyczącego statystycznej analizy niezawodności ściskanych konstrukcji murowych.

Uważam, że przedstawiony w rozprawie cel został osiągnięty, a postawiona teza udowodniona.

Należy zauważyć, że Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy naukowej i technicznej w zakresie prezentowanej tematyki. Świadczy to o dojrzałości naukowej Doktorantki, a przede wszystkim o jakości szkoły z jakiej się wywodzi. Niewątpliwie wpłynęło to korzystanie na całość pracy i dało możliwość nauczania się programowania i prowadzenia badań naukowych i doświadczalnych. W tym względzie wykonano szeroki zakres badań, które poszerzyły istniejącą bazę wiedzy. Na tej podstawie dokonano krytycznej analizy otrzymanych rezultatów, przeanalizowano je i opracowano poprawne wnioski. Jednoznacznie świadczy to o bardzo dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia prac naukowych i badawczych. Rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport, ma znaczenie naukowe i praktyczne.

## 7. Sentencja Recenzji

**Moim zdaniem recenzowana rozprawa** mgr inż. Joanny Zięby pt.: „Statystyczna analiza niezawodności ściskanych konstrukcji murowych” **spełnia wymogi stawiane w Ustawie** z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. poz. 1669) i z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595, z póź. zm.) **oraz w Rozporządzeniu** Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r (Dz.U. z 30.01.2018 r. poz. 261). – **i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Z poważaniem,



Prof. hab. inż. Krzysztof Schabowicz