

# Recenzje sporządzone wyjątkowo formularzem

dr hab. inż. Piotr Matysek, prof. PK  
Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Sprężonych  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Krakowska  
31-155 Kraków, ul. Warszawska 24

Kraków, 18 listopada 2024 roku

## Recenzja

### rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Rybarczyka

#### pt. „Nośność i odkształcalność ściskanych murów z betonu komórkowego skrępowanych konstrukcją żelbetową”

#### 1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo dr hab. inż. Piotra Fołgi, prof. PŚ - Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 8 października 2024 roku informujące o podjęciu uchwały przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Rybarczyka.

#### 2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Rybarczyka pt. „Nośność i odkształcalność ściskanych murów z betonu komórkowego skrępowanych konstrukcją żelbetową” zawarta w jednym tomie liczącym 227 stron i datowanym na wrzesień 2024 roku. Promotorem rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Rybarczyka jest prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec.

#### 3. Charakterystyka rozprawy i jej treści

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Rybarczyka składa się z 18 rozdziałów i została napisana w języku polskim z wyjątkiem dodatkowego streszczenia w języku angielskim.

Rozdziały numer 1 i 2 to odpowiednio *Spis treści* i *Oznaczenia*.

Rozdział 3 pod tytułem *Wprowadzenie* zawiera *Wstęp* oraz *Cel i zakres pracy*. Jako cel pracy Doktorant podał określenie wpływu skrępowania na nośność i odkształcalność murów wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego poddanych obciążeniom ściskającym. Realizacji tego celu mają służyć zaplanowane badania laboratoryjne ścian w skali naturalnej oraz opracowane modele obliczeniowe ścian.

W rozdziale 4 Autor rozprawy przedstawił przegląd stanu wiedzy na temat murów skrępowanych. W rozdziale tym podano zarówno aktualny stan badań murów

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,  
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia 22.11.2024

nr 249 zał. —

Wpłynęło dnia 20.11.2024 r.

skrępowanych, jak również procedury obliczeniowe stosowane przy analizie tego typu konstrukcji z uwzględnieniem zaleceń norm z grupy Eurokod 6. Dotychczasowe badania oraz procedury obliczeniowe zostały nie tylko przytoczone lecz również krytycznie omówione. Ciekawym uzupełnieniem rozdziału 4 są zamieszczone w nim liczne fotografie przedstawiające zarówno realizacje ścian murowych skrępowanych jak również pozytywny wpływ skrępowania na bezpieczeństwo budynków murowych w sytuacjach awaryjnych.

W rozdziale 5 pod tytułem *Cele naukowe pracy* zostały szczegółowo sformułowane cele naukowe dysertacji, zadania badawcze oraz sposoby ich realizacji.

W recenzowanej dysertacji nie sformułowano tez. Z tego powodu przyjąłem, że stopień realizacji założonych przez Autora dysertacji celów naukowych, będzie jednym z podstawowych kryteriów oceny przedmiotowej pracy doktorskiej.

Rozdział 6 (*Wyniki badań materiałowych*) poświęcony jest badaniom materiałów, z których zaplanowano wykonanie ścian w ramach badań zasadniczych. Badania laboratoryjne obejmowały określenie: wytrzymałości elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego, wytrzymałości zapraw, a także parametrów mechanicznych stali oraz wytrzymałości na ściskanie betonów zwykłych i betonów lekkich przeznaczonych do wykonania rdzeni żelbetowych w murach skrępowanych. Należy podkreślić, że oprócz standardowych badań wytrzymałości na ściskanie elementów murowych Autor dysertacji podał wyniki badań próbek z autoklawizowanego betonu komórkowego w złożonym stanie naprężenia przeprowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania. Rozdział 6 zawiera dodatkowo wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i odkształcalności przy ściskaniu murów z bloczków ABK oraz deklarowane przez producenta parametry prefabrykowanych nadproży zbrojonych z ABK.

Rozdział 7 pod tytułem *Badania murów w skali naturalnej* dotyczy badań ścian murowych wykonanych z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego – jest to zasadnicza część rozprawy doktorskiej obejmująca łącznie 76 stron. W części pierwszej rozdziału opisano badania wstępne przeprowadzone na dwóch modelach badawczych ścian w skali naturalnej. W modelach tych skrępowanie murów realizowano wykonując rdzenie żelbetowe z betonu zwykłego i lekkiego. W dysertacji opisano obserwacje i wyniki pomiarów efektów interakcji murów i elementów żelbetowych w fazie bezpośrednio po wykonaniu skrępowanych ścian murowych. W drugiej części rozdziału 7 Autor dysertacji szczegółowo opisał badania ścian murowych skrępowanych i nieskrępowanych poddanych obciążeniom ściskającym. Opisano badania 26 ścian bez otworów i z otworami, w których żelbetowe elementy krępujące wykonano z betonu zwykłego oraz z betonu lekkiego. W ścianach z otworami stosowano nadproża ze zbrojonego autoklawizowanego betonu komórkowego. Dodatkowo w rozdziale 7 przedstawiono badania 6 ścian z otworami przekrytymi nadprożami żelbetowymi oraz badania 2 modeli fragmentów ścian z nadprożami z betonu komórkowego i wieńcami z betonu lekkiego.

W rozdziale 8 Autor dysertacji zestawia (w tablicach, na wykresach) oraz analizuje wyniki badań doświadczalnych ścian bez otworów i z otworami w aspekcie ich nośności, poziomów obciążeń rysujących, odkształcalności oraz postaci zniszczenia ścian. Efektem przeprowadzonych analiz są prezentowane w rozdziale 8 wnioski z badań doświadczalnych wpływu skrępowania na zachowanie ścian przy ściskaniu.

Rozdział 9 poświęcony jest obliczeniom murów skrępowanych. Obliczenia murów skrępowanych przeprowadzone zostały przez autora dysertacji różnymi metodami: na podstawie norm z grupy Eurokod 6, z wykorzystaniem modeli opartych na MES oraz modeli S-T. Wyniki analiz obliczeniowych zostały porównane z wynikami przeprowadzonych badań doświadczalnych ścian murowych. Rozdział 9 liczy łącznie 17 stron z czego 3 strony to tablice, w których podano parametry elementów modelu MES, a dwie ostatnie strony, to wnioski z badań i analiz obliczeniowych.

Rozdział 10 pod tytułem *Wnioski końcowe* zawiera łącznie 6 podpunktów. Dodatkowo w rozdziale 10 Autor dysertacji uzasadnia praktyczny aspekt przeprowadzonych badań skrępowanych murów z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Rozdział 11 to propozycje kierunków dalszych badań murów skrępowanych, które powinny obejmować, zdaniem Doktoranta, przypadki konstrukcji z innymi rodzajami otworów, ściany o różnych grubościach i smukłościach oraz wykonane z materiałów o różnych parametrach wytrzymałościowych.

Pozostałe rozdziały recenzowanej pracy doktorskiej to kolejno: streszczenie w języku polskim (rozdział 12), streszczenie w języku angielskim (rozdział 13), spis literatury zawierający 95 pozycji (rozdział 14), spis norm i wytycznych projektowania – 26 pozycji (rozdział 15), spis stron internetowych, z których Doktorant korzystał (rozdział 16), wykaz 161 rysunków zamieszczonych w pracy (rozdział 17) oraz wykaz 29 tablic (rozdział 18).

Biorąc pod uwagę zawartość recenzowanej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że ma ona charakter głównie badawczy - szczegółowo opisano w pracy sposoby przygotowania elementów do badań laboratoryjnych, metody prowadzenia badań oraz wybrane wyniki przeprowadzonych eksperymentów. Na podkreślenie zasługuje znaczna liczba rysunków i zdjęć dokumentujących różne etapy badań. Znaczna część ze 161 rysunków zamieszczonych w pracy doktorskiej dotyczy właśnie badań eksperymentalnych.

Natomiast część obliczeniowa pracy, zamieszczona w jednym z ostatnich rozdziałów jest zdecydowanie mniej obszerna i mniej szczegółowo opisana (o czym będzie mowa w dalszej części niniejszej recenzji).

#### **4. Merytoryczna ocena rozprawy**

##### **4.1. Ocena tematyki**

Mury skrępowane są coraz częściej projektowane i wykonywane, natomiast znajomość ich zachowania przy różnych oddziaływaniach jest stosunkowo słabo poznana. Dotychczas wykonano niewiele badań doświadczalnych i opracowano niewiele procedur obliczeniowych pozwalających na ocenę wpływu skrępowania na nośność oraz podatność na zarysowanie ściskanych murów skrępowanych konstrukcją żelbetową. Dotyczy to przede wszystkim murów skrępowanych wznoszonych ze współczesnych materiałów w technologii na cienkie spoiny.

Dlatego uważam, że podjęta w pracy doktorskiej mgr inż. Tomasza Rybarczyka tematyka badań jest aktualna i trafna, sformułowane cele pracy są zasadne i ważne z naukowego punktu widzenia, a ich realizacja ma znaczenie praktyczne.

## 4.2. Ocena celu i zakresu pracy

W recenzowanej rozprawie tezy nie zostały postawione, natomiast cele podano w rozdziałach 3 i 5. Cele pracy wynikają z przeprowadzonego przez Autora dysertacji przeglądu stanu wiedzy.

Jako główny cel można uznać określenie wpływu skrępowania na nośność i odkształcalność ściskanych murów wykonanych z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Celem realizacji powyższego celu zaplanowano i zrealizowano szerokie badania laboratoryjne oraz porównawcze analizy obliczeniowe. Zakres badań doświadczalnych obejmował ściany w skali naturalnej, co niewątpliwie zasługuje na podkreślenie i pozytywną ocenę. Przyjęty w dysertacji zakres prac należy uznać za właściwy zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia.

## 4.3. Ocena wartości naukowej dysertacji

Najważniejszym osiągnięciem naukowym autora dysertacji są badania ścian murowych oraz analiza wyników tych badań. Stwierdzam, że badania ścian murowych skrępowanych i nieskrępowanych w skali naturalnej, prezentowane w recenzowanej dysertacji, są unikatowe w skali światowej. Zbadano pod obciążeniem ściskającym 32 modele ścian w skali 1:1. Do rejestracji przemieszczeń ścian i nadproży w ścianach pod obciążeniem zastosowano oprócz przetworników LVDT pomiar przemieszczeń systemem cyfrowej korelacji obrazu (DIC). Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę wpływu skrępowania na nośności ścian murowych wykonanych z bloczków z autoklawizowanego betonu komórkowego oraz na ocenę poziomu obciążeń powodujących zarysowanie ścian. Za najważniejsze rezultaty tych badań uważam wykazanie, że:

- skrępowanie ściany murowej bez otworów elementami żelbetowymi wykonanymi z betonów zwykłych powoduje znaczące zwiększenie nośności ścian z ABK i ograniczenie szerokości rozwarcia rys w ścianach,
- skrępowanie ściany murowej elementami żelbetowymi wykonanymi z betonu lekkiego nie skutkuje zwiększeniem nośności i rysoodporności ścian murowych z ABK, lecz może powodować efekt przeciwny,
- wypełnienie spoin pionowych nie wpływa na poziomy obciążenia rysujących ściany i wielkości sił niszczących ściany.

Jako bardzo ciekawe i ważne ze względów poznawczych uznaję również zaprezentowane w dysertacji badania efektów jakie zachodzą w ścianach skrępowanych bezpośrednio po ich wykonaniu wynikające ze skurczu / pęcznienia materiałów układu konstrukcyjnego mur z ABK / elementy żelbetowe skrępowania. Zarejestrowane zarysowanie murów z ABK skrępowanych elementami żelbetowymi z betonu lekkiego w początkowym okresie po wykonaniu modelu ściany jest ważną obserwacją w aspekcie stosowania różnych kombinacji materiałów w konstrukcjach murowych.

Jako wartościową uznaję również podjętą przez Doktoranta próbę wykonania obliczeń porównawczych ścian murowych skrępowanych i nieskrępowanych za pomocą modeli MES i modeli prętowych S-T. Zastosowane przez Doktoranta współczesne narzędzia

obliczeniowe umożliwiły wyciągnięcie ciekawych wniosków na temat modelowania murów skrępowanych i obliczeń ich nośności.

#### **4.4. Uwagi polemiczne i krytyczne**

##### Metoda obciążania modeli ścian murowych

W badaniach doświadczalnych modeli ścian murowych skrępowanych i nieskrępowanych obciążenie ściskające przykładano do górnej powierzchni żelbetowych belek wieńczących. Obciążenie wszystkich modeli realizowano w taki sam sposób - za pomocą układu cięgnowego w 3 miejscach oraz poprzez siłowniki przekazujące siły w 4 miejscach na długości ściany. Przyjęty sposób obciążenia nie zapewniał równomiernego obciążenia ściany na całej jej długości. Najbardziej obciążone były strefy środkowe ścian, natomiast najmniej strefy boczne.

W dysertacji nie podano wyników pomiarów odkształceń ściany na jej długości umożliwiających szczegółową analizę tego zagadnienia, chociaż pomiary takie prowadzono różnymi metodami. Trudno dociec w związku z tym jaka była odpowiedź ścian na realizowany sposób obciążenia. Efekty nierównomiernego obciążania ścian na ich długości widoczne są natomiast zarówno w formach zniszczenia ścian prezentowanych w opisie badań doświadczalnych jak również uzyskane z obliczeń z wykorzystaniem modeli MES (na przykład przedstawione na rys. 9.2.2).

##### Obserwacje zarysowań i pomiary prowadzone w trakcie badań modeli ścian

W badaniach opisanych jako badania wstępne zaobserwowano zjawisko zarysowania murów skrępowanych w początkowej fazie po wykonaniu modeli ścian. W opisie badań głównych obejmujących 32 modele badawcze nie podano informacji dotyczących zarysowania murów skrępowanych w pierwszej fazie po ich wykonaniu, a przed przyłożeniem obciążenia ściskającego. Powstaje pytanie, czy w tych modelach badawczych zjawisko zarysowania wystąpiło. Zagadnienie to może mieć istotne znaczenie w dalszej analizie murów skrępowanych i wymaga wyjaśnienia.

Pomiary przemieszczeń modeli ścian prowadzone były w różnych miejscach za pomocą przetworników LVDT oraz metodą DIC. W dysertacji zamieszczono zaledwie jeden rysunek z pomiarów optycznych ścian skrępowanych poddanych ściskaniu (rysunek 7.3.30) oraz 2 rysunki z badań dodatkowych (rys. 7.4.17 i rys. 7.4.18). Rysunki te przedstawiają uszkodzenia badanych modeli pod obciążeniem. Prezentowane w pracy wyniki pomiarów optycznych są więc bardzo skromne. Tymczasem właściwe opracowanie i analiza wyników pomiarów optycznych mogłaby posłużyć na przykład do analizy interakcji pomiędzy murem a żelbetowymi elementami skrępowania, efektów lokalnego obciążenia murów (na przykład w miejscach oparcia nadproży lub pod miejscami przyłożenia obciążenia ściskającego).

W dysertacji nie podano również jakie były różnice odkształceń mierzone po obu stronach badanych ścian, co umożliwiłoby ocenę wielkości mimośrodków niezamierzonych.

### Obliczenia porównawcze według norm EC6

We wszystkich przypadkach siły niszczące uzyskane w badaniach ścian skrzepowanych były mniejsze niż nośności ścian określone zgodnie z normami EC6. Szczególnie duże różnice uzyskano dla ścian z otworami. Należy podkreślić, że ściana skrzepowana z otworem jest układem mur – elementy krępujące – nadproże nad otworem. O nośności takiego układu decyduje najsłabszy element. Z tego powodu porównywanie wartości sił z badań ścian z otworami, w których decydowała nośność nadproża i strefy pod nadprożem z nośnością muru skrzepowanego wyznaczona zgodnie z normami EC6 nie jest uzasadnione.

### Analizy obliczeniowe na podstawie modeli MES i S-T

W pracy podjęto próbę stworzenia modeli obliczeniowych ścian skrzepowanych i nieskrzepowanych. Obliczenia dla ścian bez otworów i z otworami z wykorzystaniem modeli MES przeprowadzono w programie ATENA 2D. Jak Doktorant zaznacza zastosowany model materiałowy został wykalibrowany przez prof. R. Jasińskiego. W tablicach 9.2.1 – 9.2.4 zestawiono odpowiednie parametry użyte do obliczeń. Nie jest jasne, czy wszystkie parametry zostały przyjęte jak w pracach autorstwa prof. R. Jasińskiego, czy też tylko niektóre. Jeżeli wszystkie, to w opisie tablic powinna znaleźć się odpowiednia uwaga i odniesienie do odpowiednich pozycji literatury. Jako wynik obliczeń programem ATENA 2D przedstawiono modele w fazie bezpośrednio przed zniszczeniem (rys. 9.2.2) oraz wykresy siła - odkształcenie pionowe – na wykresach tych porównawczo podano wyniki z badań doświadczalnych. Na rys. 9.2.2 brak skali i w związku z tym nie ma możliwości odniesienia prezentowanych wyników do określonych wartości. Maksymalne siły uzyskane na podstawie obliczeń MES były około 30% większe niż siły niszczące z badań laboratoryjnych modeli ścian. Doktorant wymienia szereg czynników, które miały na to wpływ. Uważam, że oprócz wymienionych przez Doktoranta istotne znaczenie miały również parametry materiałowe użyte w modelach – szereg tych parametrów nie zostało bowiem przez Doktoranta określonych lecz przyjętych jak w pracach R. Jasińskiego. Wpływ na rozbieżności pomiędzy wynikami badań i obliczeń miały również imperfekcje modeli badawczych i ew. zarysowania, które mogą pojawić się w fazie po wykonaniu modeli ścian.

W pracy podjęto również próbę wykonania obliczeń murów skrzepowanych metodą S-T. Opis modeli prętowych jest bardzo skrótowy podobnie jak analiza wyników obliczeń. W tablicy 9.3.1 zestawiono wyniki badań maksymalnych sił uzyskanych na podstawie modeli S-T, ale nie podano, które kryterium decydowało (czy osiągnięcie przez pręty ściskane reprezentujące mur nośności na ściskanie, czy też osiągnięcie nośności przez układ wieniec-warstwą muru-nadproże....) – takie uzupełnienie byłoby bardzo pożądane.

Uwaga: W pracy doktorskiej zaprezentowano badania ścian z betonu komórkowego o grubości 180mm, które nie stanowią podstawy do wyciągania wniosków dla wszystkich rodzajów ścian. Autor dysertacji zdaje sobie z tego sprawę, pisząc w rozdziale poświęconym kierunkom dalszych badań o konieczności poszerzenia zakresu badań o ściany różnych grubości realizowane z materiałów o różnych parametrach wytrzymałościowych.

#### 4.5. Wybrane uwagi szczegółowe i uwagi redakcyjne

- W rozdziale 4 prezentowane są liczne fotografie murów skrupowanych konstrukcjami żelbetowymi w tym fotografie wykonane przez Autora dysertacji – w przypadku tych fotografii nie ma konieczności podawania w opisie autorstwa (*fot. Tomasz Rybarczyk*), wymóg taki jest konieczny jedynie w przypadku fotografii i rysunków zaczerpniętych z prac innych autorów.
- W części prezentującej aktualny stan wiedzy występują błędy we wzorach i opisach wielkości – na przykład: we wzorach (41) i (42) powinna występować obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie muru ( $f_d$ ) a jest znormalizowana wytrzymałość na ściskanie elementów murowych ( $f_b$ ), we wzorze (38) nie zgadzają się jednostki składników sumy, pole zbrojenia powinno być konsekwentnie oznaczane jako  $A_s$  a w pierwszym zdaniu na str. 41 jest oznaczone jako  $A_c$ .
- Niektóre sformułowania występujące w pracy doktorskiej są nieprawidłowe lub dyskusyjne – przykłady poniżej:  
str. 31 – *...wartości te nie są zerowe, a same lice definiujące wytrzymałości na rozciąganie.....* - co oznacza słowo lice?  
str. 43 – *Siła w ściskanej części przekroju wynosi:..... i nie powinna ona być większa od wytrzymałości muru na ściskanie.....* – siły nie porównuje się z wytrzymałością  
str. 58 - *...Weryfikacja badań doświadczalnych z wykorzystaniem metody elementów skończonych.....* - w jaki sposób można weryfikować badania doświadczalne metodą elementów skończonych?  
str. 181 - *...modele z otworem oraz z podwójnym skrupowaniem i nadprożem żelbetowym nie osiągnęły takich naprężeń rysujących i niszczących jak modele murów pełnych....*  
str. 193 - *...Model Atena MNSO uzyskał siłę niszczącą wynoszącą 250kN i odpowiadające mu ugięcie wynoszące 5,5mm....*
- W pracy doktorskiej występują także „literówki” i drobne uchybienia redakcyjne, ale ich liczba jest stosunkowo niewielka.

#### 5. Wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Tomasza Rybarczyka zawiera wartościowe badania naukowe i poprawną analizą zagadnienia wpływu skrupowania konstrukcją żelbetową murów z betonu komórkowego na ich nośność i odkształcalność. Na uwagę zasługuje trafność doboru tematyki. Wybrana przez mgr inż. Tomasza Rybarczyka tematyka ma duże znaczenie również dla praktyki inżynierskiej. Stwierdzam, że główny cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty. Doktorant wykazał się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem pracy doktorskiej oraz umiejętnościami planowania i prowadzenia badań laboratoryjnych z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych, a także umiejętnościami analizy danych i tworzenia zaawansowanych modeli obliczeniowych. Doktorant wykazał również, że potrafi formułować poprawne wnioski i widzi kierunki dalszych badań. Doświadczenie zdobyte

przy realizacji pracy doktorskiej umożliwi Doktorantowi dalszą samodzielną pracę naukową, do której jest przygotowany. Uwagi krytyczne i polemiczne zawarte w niniejszej recenzji nie pomniejszają pozytywnej oceny merytorycznej pracy doktorskiej, która jest na dobrym poziomie naukowym i wnosi wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Tomasza Rybarczyka pt. „Nośność i odkształcalność ściskanych murów z betonu komórkowego skrzepowanych konstrukcją żelbetową” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku (z późniejszymi zmianami) „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”.

W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Recenzję podpisał  
Piotr Matysek