

Dr hab. inż. Łukasz Drobiec

Gliwice, 13.10.2016 r.

Katedra Konstrukcji Budowlanych

Zespół Konstrukcji betonowych i murowych

Wydział Budownictwa

Politechnika Śląska

Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Bukowskiego
pt. „Analiza zachowania murów w złożonym stanie naprężeń”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 22.06.2016 r. (zgodnie z pismem L.dz. RB-0/4020/15/16 z dnia 30 czerwca 2016 r. Dziekana Wydziału Budownictwa prof. dr hab. inż. Jana Ślusarka).

2. Charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Bukowskiego pt. „Analiza zachowania murów w złożonym stanie naprężeń”. Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z 6 rozdziałów, spisu przywołanej w tekście literatury, oraz spisów ilustracji i tabel. Bibliografia obejmuje 61 pozycji piśmiennictwa (w tym 2 pozycje autorskie

Doktoranta oraz 6 norm). Tekst rozprawy liczy 120 stron, łącznie z bibliografią oraz spisami rysunków i tabel. W tekście zamieszczono 60 rysunków, 9 tabel oraz 100 wzorów.

W rozdziale 1, tj. w krótkim wstępie, Doktorant omówił podstawowe problemy związane z budową wiarygodnego kryterium wytrzymałościowego dla muru. Jako cel pracy określił zaproponowanie modelu materiałowego muru opartego o zmodyfikowaną powierzchnię graniczną. Doktorant postawił dwie tezy pracy. Pierwsza zakłada możliwość stworzenia modelu materiałowego muru opartego o powierzchnię graniczną zdefiniowaną w przestrzeni naprężeń głównych, która uwzględniałaby ortotropowy charakter pracy muru. Druga teza dotyczy założenia możliwości wyznaczenia przebiegu południków na podstawie badań prowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania oraz zakłada możliwość opisanie kształtu południków powierzchni granicznej przy pomocy wzajemnie stycznych funkcji liniowej i parabolicznej.

W rozdziale 2 przedstawiono przegląd literatury związanej z tematem rozprawy. Opisano badania ścian w złożonym stanie obciążenia, badania elementów murowych i zapraw w aparatach trójosiowego ściskania oraz przegląd dotychczas stosowanych modeli materiałowych muru. Podsumowując opis przeprowadzonych w świecie badań murów w złożonych stanach obciążenia oraz komponentów murów w aparacie trójosiowego ściskania Doktorant stwierdza, że wyniki przytoczonych badań rozbudowują wiedzę na temat zachowania się konstrukcji murowych, jednakże w większości wypadków badania miały na celu rozpoznanie pracy muru w warunkach szczególnych obciążeń i zjawisk, a nie zbudowanie ogólnego modelu pracy muru. W podsumowaniu części dotyczącej stosowanych modeli materiałowych muru Doktorant podkreśla konieczność dalszego prowadzenia prac badawczych oraz wskazuje na brak ich uniwersalności.

Rozdział 3 dotyczy homogenicznego modelu materiałowego konstrukcji murowych. Opisano w nim stan naprężenia oraz jego niezmienniki i szczegółowo przedstawiono trójparametrową powierzchnię graniczną Willama-Warnke (model WW) z prostoliniowymi południkami ściskania i rozciągania. Opisano modyfikację tej powierzchni granicznej zaproponowaną przez Majewskiego, Majewskiego i Wandzika oraz Sojędę. Modyfikacja ta polega na zastosowaniu parabolicznej nasadki od strony rozciągań, przez co powierzchnia

staje się 4 parametrowa (model MWW). W rozdziale 3 Doktorant przedstawia ponadto własną propozycję modyfikacji powierzchni granicznej zaproponowanej przez Majewskiego. Modyfikacja ta polega na innym sposobie przyjęcia parabolicznej nasadki zamykającej powierzchnię graniczną od strony rozciągania. Doktorant założył, że część prostoliniowa i część paraboliczna południka ściskania będą przechodzić przez punkt odpowiadający wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. W ten sposób liczba równań potrzebnych do opisu południka ściskania ulega redukcji z czterech do trzech. Analityczne wyznaczenie powierzchni granicznej wymaga zatem rozwiązania dwóch układów siedmiu równań z siedmioma niewiadomymi. Zaproponowana przez Doktoranta zmiana skutkuje jedynie nieznacznym zwiększaniem powierzchni granicznej, w porównaniu do propozycji Majewskiego, w okolicy punktu styczności części parabolicznej i prostoliniowej południka ściskania.

W rozdziale 4, zatytułowanym badania laboratoryjne w aparacie trójosiowego ściskania, zamieszczono wyniki autorskich badań cegły i zaprawy w trójosiowym stanie obciążenia, opisano metodologię tych badań oraz zamieszczono wyniki innych badań prowadzonych w Politechnice Śląskiej przez Szojde, Jasińskiego i Drobca. Doktorant przeprowadził badania własne na 17 ceramicznych próbkach cylindrycznych oraz 13 próbkach walcowych zaprawy. Cztery z pośród badanych próbek cegły oraz trzy próbki zaprawy badano przy ściskaniu jednoosiowym. Na podstawie wyników badań określono przebieg południków ściskania i rozciągania powierzchni granicznej oraz porównano uzyskane wyniki z południkami proponowanymi przez Szojde i z wynikami badań Jasińskiego i Drobca.

Rozdział 5 (Kalibracja i weryfikacja modelu materiałowego na podstawie analizy numerycznej fragmentów muru) zawiera opis wyników badań Page'a, które stanowiły podstawę do weryfikacji modelu materiałowego oraz obliczenia parametrów tego modelu w oparciu o wyniki badań. W rozdziale zamieszczono ponadto próbę wyznaczenia przebiegu funkcji współczynnika „k” uwzględniającego ortotropię muru. Autor rozprawy proponuje tu opis tego współczynnika przez zastosowanie dwóch funkcji w postaci wielomianów trzeciego stopnia. W rozdziale zamieszczono ponadto wyniki obliczeń numerycznych w oparciu o przyjęty model materiałowy oraz porównanie uzyskanych wyników z wynikami badań Page'a.

W rozdziale 6 zamieszczono podsumowanie, wnioski końcowe oraz sformułowano kierunki i cele dalszych badań.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu

Numeryczne modelowanie konstrukcji budowlanych powoli staje się podstawowym sposobem projektowania obiektów budowlanych. Konstrukcje murowe, w przeciwieństwie do np. żelbetowych, nie są jeszcze zbyt często sprawdzane obliczeniowo z wykorzystaniem programów opartych na MES. Jedną z przyczyn takiego stanu jest brak podstaw naukowych i odpowiednich narzędzi umożliwiających prowadzenie wiarygodnych analiz obliczeniowych. Modele materiałowe konstrukcji murowych, oparte na powierzchniach zniszczenia i powierzchniach plastyczności nie są bowiem uniwersalne. Ich poprawne określenie wymaga najczęściej przeprowadzenia wielu badań materiałowych, w tym licznych badań w dwu i trójosiowym stanie obciążenia. Dużym problemem w modelowaniu konstrukcji murowych jest ponadto uwzględnienie właściwości ortotropowych muru.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęty przez Doktoranta temat rozprawy jest oryginalny i aktualny oraz ważny, tak z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia.

3.2. Cel rozprawy

Cel rozprawy sformułowano poprawnie, a przyjęty zakres badań doświadczalnych i analiz numerycznych w pełni to potwierdzają.

3.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Autora Rozprawy uznają:

- ▣ Przeprowadzenie badań ceramiki oraz zaprawy w nowej komorze trójosiowego ściskania.
- ▣ Zaproponowanie modyfikacji modelu MWW, co pozwoliło na zredukowanie ilości równań koniecznych do opisu tego modelu.
- ▣ Zaproponowanie opisu współczynnika ortotropii muru przez dwie funkcje w postaci wielomianów trzeciego stopnia.

4. Uwagi krytyczne

Jak każda praca, tak i recenzowana rozprawa nie jest wolna od drobnych błędów, niedopowiedzeń czy niedociągnięć. Uwagi do pracy recenzent podzielił na ogólne oraz na uwagi szczegółowe.

4.1. Uwagi ogólne

Uwaga dotycząca tematu rozprawy i tezy rozprawy

Temat rozprawy brzmi „Analiza zachowania murów w złożonym stanie naprężeń”, tymczasem praca dotyczy jedynie murów z cegły. Temat sformułowano zbyt ogólnie. Doktorant nie analizuje wszystkich murów (co byłoby niemożliwe) i nie sprawdza ich obliczeniowo w wielu różnych stanach naprężeń.

W świetle powyższego zadaniem recenzenta temat rozprawy powinien brzmieć: „Analiza zachowania murów z cegły pełnej w wybranych stanach naprężeń”.

Tezy pracy również sformułowano zbyt ogólnie. O ile do pierwszej tezy można nie mieć zastrzeżeń, tak teza druga nie wnosi nic nowego i taką samą tezę można by przyjąć w wielu wcześniej opublikowanych pracach.

Zdaniem recenzenta druga teza pracy powinna raczej brzmieć: „Możliwe jest opisanie przebiegu południka ściskania powierzchni granicznej za pomocą funkcji liniowej i parabolicznej z punktem wspólnym odpowiadającym wytrzymałości materiału na jednoosiowe ściskanie”.

Ogólna uwaga dotycząca przeglądu literatury

W związku z zakresem pracy Doktorant słusznie postawił sobie za cel przeanalizowanie literatury przedmiotu z trzech obszarów: badań murów w złożonych stanach naprężenia, badań komponentów muru w aparatach trójosiowego ściskania oraz przegląd powierzchni granicznych. W wypadku badań murów w złożonych stanach obciążenia Autor Rozprawy analizuje pracę czterech zespołów badawczych, z których trzy podają empiryczną powierzchnię graniczną dla muru. Opis badań komponentów muru w złożonym stanie obciążenia obejmuje wyniki badań trzech autorów, które realizowane były w Politechnice Śląskiej oraz krótki opis badań realizowanych w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym. Najokazalsza jest ostanía część, która zawiera przegląd kilkunastu powierzchni granicznych. Przegląd literatury liczy w sumie 29 stron. Recenzent uważa, że szczególnie pierwsza część przeglądu mogłaby być bardziej rozbudowana. Pominęto tu wiele prac bazujących na badaniach Page’a, które to badania stanowią do dziś podstawę dla tworzenia lub weryfikacji nowych kryteriów i powierzchni granicznych, i które Autor Rozprawy, podobnie jak inni badacze, wykorzystuje do kalibracji i weryfikacji swojego modelu. Można tu przywołać np. prace Dhanasekar, Klemana, Samarasinghego, Badarloo, czy Naraine. Zupełnie niepotrzebnie opisywano natomiast badania murów, z których nie wynikało stworzenie powierzchni granicznej.

Uwaga dotycząca badań w aparacie trójosiowego ściskania

W rozdziale 4 zamieszczono wyniki badań w aparacie trójosiowego ściskania. Doktorant przeprowadził badania na 17 cylindrycznych próbkach z cegły oraz 13 próbkach zaprawy. Metodologia badań nie budzi zastrzeżeń. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że 4 z 17 próbek badano w stanie jednoosiowego ściskania, z czego jedno badanie odrzucono stwierdzając możliwe początkowe uszkodzenie próbki. Badanie w stanie osiowego ściskania jest najprostszym z możliwych. Należy tu zadać pytanie: dlaczego nie przebadano minimum 6 lub nawet więcej próbek? Tym bardziej, iż Doktorant pisze: *mimo iż wszystkie próbki pochodziły z tej samej partii materiału, to różniły się one wytrzymałością*. Autor rozprawy podzielił próbki na trzy grupy (nie wiadomo według jakich kryteriów): grupa 1 – materiał z cegieł klasy 20, grupa 2 – materiał o zdecydowanie mniejszej wytrzymałości i grupa 3 – materiał o zdecydowanie większej wytrzymałości. Następnie zbadał na osiowe ściskanie tylko elementy z grupy 1.

Z pozostałych 13 próbek cegły badanych już w aparacie trójosiowego ściskania odrzucono wyniki 4 próbek (jako przyczynę podając materiał o zaniżonej wytrzymałości).

Podobna sytuacja miała miejsce w badaniach zaprawy – z 13 badanych próbek 3 poddano osiowemu ściskaniu.

Opisując w rozdziale 4.3 metodologię prowadzonych badań w aparacie trójosiowego ściskania wskazano na możliwość badania według trzech różnych ścieżek obciążenia. Tymczasem badania prowadzono według jednej ścieżki. W związku z tym analizy ograniczono jedynie do południka ściskania, pomijając południk rozciągania.

Oprócz realizacji drugiej ścieżki obciążenia w aparacie trójosiowego ściskania można było również przeprowadzić badania na osiowe rozciąganie zaprawy i ceramiki, co pozwoliłoby na sprawdzenie przebiegu proponowanej nasadki od strony rozciągań.

Uwaga dotycząca sposobu kalibracji i weryfikacji modelu

W punkcie 5 zamieszczono wyniki analiz numerycznych wykonanych przez Doktoranta w programie Mafem 3D. Dane do obliczeń numerycznych przyjęto na podstawie badań Page'a. Autor rozprawy pisze, że dokonano kalibracji i weryfikacji modelu. Zdaniem recenzenta nie jest korzystnie, gdy kalibracji i weryfikacji dokonuje się na tych samych danych. Można tu było wykonać elementy próbne muru z partii cegieł badanych w aparacie trójosiowego ściskania, poddać je badaniom w maszynie wytrzymałościowej (nawet w stanie jednoosiowego obciążenia, przy dwóch lub trzech różnych kątach nachylenia obciążenia względem spoin wspornych) i na podstawie uzyskanych wyników próbować wykalibrować współczynnik k . Sama weryfikacja modelu winna już odbywać się z wykorzystaniem wyników badań obcych.

4.2. Uwagi szczegółowe

Poniżej wskazano na dyskusyjne lub ujemne strony rozprawy. Uwagi szczegółowe są następujące:

Strona 56. Recenzent nie może zgodzić się ze stwierdzeniem Autora Rozprawy jakoby: *obecnie projektując nową konstrukcję bądź dokonując oceny już istniejącej, każdorazowo wykonujemy analizę numeryczną tej konstrukcji*. W rzeczywistości jest zupełnie odwrotnie. Zamiast słowa *každorazowo* należało tu użyć słowa *rzadko*, szczególnie w odniesieniu do konstrukcji murowych.

Strona 82. W związku z rozbieżnością pomiędzy wynikami uzyskanymi przez Autora Rozprawy oraz wynikami badań Szojdy, Jasińskiego i Drobca Doktorant stwierdza, że *różna wytrzymałość na ściskanie cegły skutkuje nie tylko zmianą wielkości powierzchni granicznej, ale również zmianą przebiegu jej południków*. Recenzent nie do końca zgadza się z takimi wnioskami. Badania Szojdy, Jasińskiego oraz Drobca prowadzone były na ceglach o różnych wytrzymałościach (do 20 do 60 MPa) i na różnych zaprawach. Jak to wykazał Doktorant na rys. 4.13÷4.18 wyniki tych badań dobrze pokrywają się z propozycją południków ściskania

zaproponowanych przez Szojdę. Od propozycji tej odbiegają natomiast wyniki badań Doktoranta. Należy tu podkreślić, że badania Szojdy, Jasińskiego i Drobca oraz badania Doktoranta prowadzone były w dwóch różnych urządzeniach. Być może tu należałoby szukać powodów uzyskanych różnic przebiegu południków. Można to szybko zweryfikować prowadząc badania w starszym urządzeniu, które jest przecież dostępne w Laboratorium Wydziału Budownictwa.

Recenzent znalazł kilka literówek, które występują na str. 7 wiersz 3 od góry, str. 56 wiersz 1 od góry, str. 60 wiersz 11 od dołu, str. 109 wiersz 11 od dołu. Na str. 60 w wierszu 7 od dołu nastąpiło niekontrolowane przejście tekstu do nowego akapitu.

5. Wnioski końcowe

W recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Łukasz Bukowski rozwiązał oryginalne zadanie naukowe, polegające na zaproponowaniu modyfikacji południka ściskania powierzchni granicznej MWW oraz przyjęciu funkcji współczynnika ortotropii. Doktorant wykazał się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami planowania i prowadzenia badań oraz rozwiązywania problemów teoretycznych. Przeprowadził badania doświadczalne oraz analizy numeryczne, a do rozwiązania postawionego problemu zastosował poprawne metody badawcze. Uzyskał oryginalne wyniki oraz wykazał, że potrafi analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski poznawcze. Widzi również kierunki dalszych badań. Świadczy to o Jego odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowobadawczych.

Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 4 mają charakter porządkowy lub dyskusyjny i mam nadzieję, że przynajmniej w części będą pomocne Autorowi podczas przygotowywania artykułów do czasopism naukowych.

Oceniam, że rozprawa stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego oraz potwierdza, że Doktorant posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest opracowana na dobrym poziomie oraz wnosi w przedmiotowym zagadnieniu wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie 'budownictwo'. Rozprawa ma bardzo duże znaczenie praktyczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Łukasza Bukowskiego pt. „Analiza zachowania murów w złożonym stanie naprężeń” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku "O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki" (Dz. U. z 2003 r., Nr 65, poz. 595) oraz w ustawie z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2011 r., Nr 84, poz. 455). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop followed by several strokes.