

WPLYNEŁO  
2. 10. 2023  
536 2023

dr hab. inż. Ryszard Walentyński, prof. PŚ  
Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Budownictwa  
Katedra Mechaniki i Mostów

Gliwice, 22.09.2023 r.

*Prof. Ryszard Walentyński*  
02/10/2023

DZIEKAN  
Wydziału Inżynierii Lądowej

*Andrzej Garbacz*  
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

## Recenzja Rozprawy Doktorskiej

pani mgr inż. Edyty Kowalskiej

### *Badania właściwości mechanicznych i charakterystyk dynamicznych konstrukcji murowych w diagnozowaniu uszkodzeń*

#### 1. Podstawa wykonania recenzji

- a) Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej nr 771/2023 4 lipca 2023 r. z dnia w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Edyty Kowalskiej.
- b) Pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej z 12 lipca 2023 r. precyzujące zakres recenzji.
- c) Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 12.07.2023 r. zlecające wykonanie recenzji wraz z załączonym kwestionariuszem osobowym i formularzami finansowymi.
- d) Umowa o dzieło na recenzję doktorską zawarta w dniu 9.08.2023 pomiędzy Politechniką Warszawską – Wydziałem Inżynierii Lądowej, a Autorem niniejszego opracowania
- e) Egzemplarz rozprawy doktorskiej otrzymany w dniu 9 sierpnia 2023 wraz z powyżej wymienionymi dokumentami.

## 2. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska pani mgr inż. Edyty Kowalskiej *Badania właściwości mechanicznych i charakterystyk dynamicznych konstrukcji murowych w diagnozowaniu uszkodzeń*. Promotorem jest pan prof. dr hab. inż. Leszek Małyszko, a promotorem pomocniczym pan dr inż. Piotr Bilko. Rozprawa została przedstawiona Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej w Warszawie w roku 2023.

## 3. Zakres i cel opracowania

Zgodnie z umową [1 d)] i pismem [1.b)] opracowanie obejmuje wszystkie podpunkty wymieniane w punkcie 2 umowy, niekonieczne w kolejności tam wymienionej.

## 4. Ocena rozprawy

### 4.1. Układ rozprawy i analiza jej części składowych

Moim zdaniem na uznanie zasługuje zwięzłość rozprawy. Autorka na 113 stronach zawarła jasny opis bardzo szerokiego zakresu badań jaki wykonała.

Na początku umieszczony został wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń. Dalsza treść została podzielona na 6 rozdziałów. Pierwszy jest wprowadzeniem z określeniem celu, sformułowaniem tezy i zakresu pracy. W kolejnych 4 omówiono rozpatrywane problemy badawcze zaczynając od właściwości mechanicznych, poprzez metody wyznaczania charakterystyk sprężystych, następnie technik analizy uszkodzeń metodami dynamicznymi i w końcu wykorzystując te techniki do diagnozowania konstrukcji. Praca kończy się rozdziałem, gdzie zawarto wnioski. Na końcu zamieszczono bibliografię.

Nie będę tu omawiał szczegółowo całej pracy licząc na to, że zostanie ona zwięźle zreferowana podczas obrony. Skupię się na ocenie zdobytej wiedzy i umiejętności w aspekcie przygotowania do prowadzenia samodzielnych badań naukowych i oryginalności rozprawy oraz uwag krytycznych.

Tu pragnę zauważyć bardzo szeroki zakres zainteresowań i podjętych badań różnorodnych materiałów. Tematyka nie ogranicza się do tytułowych konstrukcji murowych, ale również, na przykład, betonu z włóknami polipropylenowym oraz materiałów ciągliwych (mosiądz, stal).

### 4.2. Zastosowane piśmiennictwo

Autorka powołuje się na 27 norm, instrukcji i adresów internetowych oraz 114 pozycji literaturowych.

Wśród tych pozycji są prace współautorstwa Kandydatki, w tym praca [67] opublikowana w czasopiśmie na liście ministerialnej, co wypełnia jeden z wymogów dla postępowań doktorskich. Przywołano również inne prace Autorki związane tematycznie z rozprawą, co świadczy, że zagadnienia były już przedmiotem otwartej dyskusji naukowej.

Zakres cytowanej literatury uważam za wystarczający. Mogłoby być więcej prac dotyczących diagnostyki mostów, gdzie od lat wykonuje się badania z wykorzystaniem omawianych tu technik.

#### 4.3. Zastosowane metody badawcze

Ważnym elementem pracy jest to, że nie ogranicza się do jednego wycinka badań naukowych, ale zawiera wątki doświadczalne, teoretyczne i obliczeniowe. Autorka wykazała się znajomością wielu metod badawczych. Wymienię tylko ważniejsze:

- 1) Badania laboratoryjne elementów murowych i betonowych
- 2) Metody oparte na tensometrii elektrooporowej i cyfrowej korelacji obrazu
- 3) Metody symulacji numerycznej przeprowadzania badań laboratoryjnych
- 4) Metody doświadczalne identyfikacji charakterystyk dynamicznych
- 5) Identyfikacja dynamiczna uszkodzeń
- 6) Metody diagnostyki dynamicznej
- 7) Pomiary geodezyjne z wykorzystaniem chmury punktów. Tu Kandydatka wykorzystała i rozwinęła swoją wiedzę i umiejętności w ramach swojego wykształcenia geodezyjnego.

#### 4.4. Wyniki badań stanowiące o oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Najistotniejszymi wynikami badań świadczącymi o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego są, moim zdaniem:

- a) Określenie charakterystyk wytrzymałościowych elementów z autoklawizowanego betonu komórkowego oraz otrzymanie jego charakterystyk sprężystych różnymi metodami
- b) Opracowanie sposobu zastosowania znanych, szczególnie w diagnostyce mostów, metod dynamicznych do diagnozowania konstrukcji murowych i wykrywania uszkodzeń. Jest to co prawda wynik o charakterze jakościowym, ale wskazuje na możliwość zastosowania w praktyce.

#### 4.5. Potencjalne zastosowania praktyczne

Skoro już wspominałem o zastosowaniu praktycznym powstrzymam się w tym miejscu od podawania pól potencjalnego zastosowania praktycznego. Zlecam to zadanie Doktorantce, aby w ramach odpowiedzi na uwagi Recenzenta pokazała możliwości zastosowania metod i wyników.

#### 4.6. Szczegółowe uwagi krytyczne

Przestawiając uwagi krytyczne pragnę od razu zastrzec, że nie oczekuję, ba, nawet sobie nie życzę, aby Doktorantka w czasie obrony odnosiła się do nich wszystkich. Te miejsca, gdzie pragnę usłyszeć komentarz jest podkreślony w tekście. Pierwszym jest akapit powyżej.

Rozdział 1: Tytuł pracy, cel i teza

Czy tytuł rozprawy odpowiada jej treści? Tu mam zastrzeżenia. Jak wspominałem zakres zainteresowań pracy w istotny sposób wykracza poza jej tytuł. Praca dotyczy nie tylko konstrukcji murowych, ale również elementów betonowych i stalowych. Uważam, że można było w tytule napisać *wybranych konstrukcji*. Poszerzenie pierwotnej tematyki poczytuję na plus. Dzięki temu Doktorantka wykazała się większym zakresem umiejętności badawczych i wiedzy.

Nieprecyzyjnie opisano cel pracy. Celem pracy, zdaniem recenzenta, jest opracowanie metodyki diagnozowania i lokalizacji uszkodzeń z wykorzystaniem metod nieinwazyjnych, a nie samo diagnozowanie.

Teza sformułowana jest ostrożnie i mówi, że możliwe jest wykrycie i lokalizacja uszkodzeń. Zatem wyniki pracy można oceniać jedynie jakościowo. Takie pokorne spojrzenie pochwalam, bo wykonane badania na nielicznych próbkach materiałowych oraz jednostkowych badaniach elementów konstrukcji nie dają podstaw do wyciągnięcia wniosków ilościowych. Tym bardziej uzasadnia to wcześniejszą uwagę dotyczącą celu. Notabene, coraz częściej, w przypadku rozpraw o charakterze badawczym rezygnuje się z formułowania tezy, ograniczając się do celu.

Uważam, że właściwszym tytułem oddającym treść rozprawy byłby: *Metodyka diagnozowania uszkodzeń wybranych konstrukcji technikami nieinwazyjnymi*. Na usprawiedliwienie pragnę stwierdzić, na podstawie własnego, czasem bolesnego, doświadczenia, że tytuł powstaje zanim przeprowadzone zostają badania, a późniejsze próby doprecyzowania nie zawsze prowadzą do sukcesu. Wobec tego proszę traktować uwagę jako sugestię na wypadek przygotowania rozprawy do publikacji. W każdym razie nie jest to okoliczność podważająca ogólny wysoki poziom rozprawy.

## Rozdział 2: Cechy mechaniczne

Najistotniejsze zastrzeżenia dotyczą ujęcia statystycznego badań. W komentarzu do wzoru na średnią z pomiarów (2.3) Autorka twierdzi, że może być to wartość wytrzymałości. Na twierdzenie symetrystów, że prawda leży pośrodku antysymetryści odpowiadają, że prawda leży tam, gdzie leży. Statystycy próbują ich pogodzić obliczając parametry zmienności dla próby i stosownie do jej liczebności przedział ufności. Na ogół w działaniach technicznych ta ufność nie przekracza 95%.

Próbki wycinano z bloczków. W pracy brak mi szczegółowych danych dotyczących, chociażby w przypadku wymiarów próbek, jakie końcowe wymiary miały próbki. Dane te można było umieścić w załączniku. Również dla innych parametrów podane są jedynie wyniki sumaryczne.

W tabeli 2.2. podano wytrzymałość w MPa, ten sam wymiar fizyczny powinno mieć odchylenie standardowe. Tu podano je w %. Współczynnik zmienności może być podany w procentach.

Szkoda, że wzorem następných badań dotyczących wytrzymałości na rozciąganie podanych w tabeli 2.3 i rysunkach 2.8 – 2.10 nie podano przedziałów ufności. Tu miałbym uwagę, że skoro przy stosowaniu do wyznaczenia przedziałów ufności z użyciem rozkładu t-Studenta należało na wykresach porównujących histogramy z rozkładem ciągłym należało również zastosować ten rozkład, a nie normalny.

Dodam, że nie byłbym tak optymistyczny w ocenie, na stronie 23, oszacowanej wytrzymałości (4.2 MPa) w stosunku do deklarowanej przez producenta (3.0 MPa). Jeśli zastosować procedurę podaną w załączniku D7 Eurokodu 0 w podanych badaniach należałoby przyjąć, że nieznaną jest współczynnik zmienności dla całej populacji i należałoby go przyjąć na poziomie 10% i przy liczebności próby ~20 otrzymany wartość wytrzymałości charakterystycznej rzędu 3.4 MPa, a obliczeniowej 2.6 MPa. Oczywiście dla liczniejszej próby i znajomości współczynnika zmienności oszacowanej przez producenta z wieloletnich testów jakościowych domniemując,

że jest on znacznie niższy niż 10% wartość gwarantowanej wytrzymałości może być większa od oczekiwanej. Nie ma co wpadać w panikę, chciałem jedynie zwrócić uwagę na potrzebę ostrożnego szacowania jakości parametrów przy na ogół nielicznej prób i braku dostępu do wcześniejszych badań potwierdzających prawdziwy zakres zmienności.

Tu pochwalę Doktorantkę, bo na tle wielu badań materiałów w ramach spotykanych rozpraw magisterskich i doktorskich Jej populacje próbek są względnie liczne. Zdarza się wyciąganie daleko idących wniosków z próbek złożonych zaledwie z kilku elementów.

W tabeli 2.3. Doktoranta podała przedziały ufności CI, co pochwalam. Dlatego proszę o zwięzłe wytłumaczenie publiczności, w szczególności obecnym doktorantom, co to jest w swej istocie CI i jak się go oblicza.

### Rozdział 3: Charakterystyka odkształcalności

Moje wątpliwości budzi pojęcie w tytule rozdziału „stałe sprężystości”. O czymś takim można w zasadzie mówić w przypadku ideału, czyli materiału liniowo-sprężystego. Z analizowanych charakterystyk pokazanych na wykresach w tym rozdziale nie wynika, że tak jest. Stąd zadanie dla doktorantki: czym zastąpić w tekście te „stałe”, aby być bliżej rzeczywistego zachowania się materiału.

### Rozdział 4: Techniki analizy

Tu pochwalę Doktorantkę za przedstawienie teoretycznych podstaw zastosowanej metodyki diagnozowania. Zwrócę tylko uwagę na brak spacji zastępujących znak mnożenia we wzorach. W każdym edytorze równań taka możliwość istnieje.

### Rozdział 5: Diagnostyka

Z punktu widzenia pochwalenia się wiedzą i umiejętnościami przedstawienie punktu dotyczącego płyty stalowej jest cenny. Brak jest jednak, rys. 5.3, szczegółowego położenia uszkodzeń i ich wymiarów (głębokość, szerokość itp.). Po to publikujemy wyniki badań, aby ktoś inny mógł je zweryfikować. Podobnie jest z wykresami na rys. 5.5 - 5.8. Brak jest towarzyszących im tabel, bo z tych wykresów niewiele da się odczytać. Oczekuję jednak wyjaśnienia, jaki może być związek tego przykładu z analizowanym dalej konstrukcjami murowanymi.

Rozpatrywany w punkcie 5.2. łuk murowany w istotny sposób odbiega od zasad jakie przestrzegali budowniczowie od wieków. Najważniejszą zasadą przy kształtowaniu i obciążaniu łuku jest to, aby linia ciśnień nie wychodziła poza rdzeń przekroju łuku. Przy punktowym, mimośrodowym obciążeniu nie jest możliwe wykorzystanie faktycznie wysokiej nośności łuku, który powinien pracować zawsze na ściskanie. Taką pracę wymusza się przez odpowiednie balastowanie i właściwą sztywność węzłowi pozwalające przenieść siłę rozporową lub jeszcze lepiej takie ukształtowanie łuku, aby był bezrozporowy. Tę sztukę posiadli budowniczowie mauretańscy. Ponadto warto zauważyć, że badany łuk został wykonany z prostopadłościennych bloczków. A przecież przy ich wycinaniu nic nie stało na przeszkodzie, aby wzorem budowniczych z dawnych wieków zastosować się do zasad stereotomii i wyciąć je trapezowo. Pozwoliłoby to wybudować łuk, gdzie bloczki połączone byłyby za pomocą kleju. Wtedy można byłoby traktować łuk jako jednorodny. W analizowanej konstrukcji warstwa zaprawy jest zmienna, a ponadto jej właściwości różnią się istotnie od cech mechanicznych pianobetonu.

Zaburza to pracę łuku. Rodzi się tu pytanie czy były badane własności mechaniczne zaprawy oraz połączenia bloczków z murem oraz czy te różnice były wzięte pod uwagę w analizie numerycznej.

Dodam, że gdybym gdzieś spotkał się z takim łukiem to bałbym się pod nim przejść, szczególnie przy obniżeniu temperatury, która bez wątplenia obniży siłę rozporu. Poza tym w łuku zbudowanym z pianobetonu siła rozporu spadać będzie na skutek relaksacji, która jest nieunikniona w porowatym materiale. Aczkolwiek otwiera się ciekawe pole badacze.

Praca kończy się wstępnymi działaniami dotyczącymi diagnostyki kominów murowanych. Zastrzeżenie mam w zasadzie tylko do autorytarnego stwierdzenia, że analizowany komin jest prostoliniowy. Nie jest to prawda w słoneczne dni, kiedy czubek komina odchyła się w kierunku przeciwnym do słońca i zatacza krzywą wraz z ruchem słońca po nieboskłonie. Lepiej określić czy wychylenie komina nie przekracza „normowych” wartości.

Przechodząc do pytania: Na fot. 5.19 b) widać na kominie obręcz, a na rys 5.19 c) wydaje się, że zostały one uwzględnione w modelu obliczeniowym. Czy analizowano jaki mają one wpływ na statykę i dynamikę komina? A może doktorantka wie, dlaczego i na jakiej podstawie je montowano?

#### Rozdział 6: Wnioski

Na uznanie zasługuje pokora w wyciąganiu wniosków. Ponadto pochwalić pragnę wykazaną wizję i chęć prowadzenia dalszych badań.

### 5. Wniosek końcowy

Wskazane w recenzji niedostatki i uchybienia nie umniejszają wysokiego ogólnego poziomu rozprawy, która jest oryginalnym rozwiązaniem zagadnienia naukowego. Kandydatka wykazała w rozprawie, że w ramach prowadzonych badań i analiz posiadała znaczący zasób wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych na 8 poziomie Polskiej Ramy Kwalifikacji w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport i jest przygotowana do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Edyty Kowalskiej pt. *Badania właściwości mechanicznych i charakterystyk dynamicznych konstrukcji murowych w diagnozowaniu uszkodzeń* spełnia wymagania ustawowe. Tematyka mieści się w Dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Wobec tego wnoszę o przyjęcie Rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

