

Dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, prof. nadzw. PWr  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław 16.05.2018 r.

Sz. P. Dziekan  
Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wilde, prof. zw. PG  
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska  
Politechnika Gdańska  
ul. G. Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk

Szanowny Panie Dziekanie,

W załączeniu przesyłam w dwóch egzemplarzach recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Zimy pt.: „*Guided waves for nondestructive diagnostics of embedded waveguides*”.

Z poważaniem,



Krzysztof Schabowicz



**Recenzent:**

Dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, prof. nadzw. PWR

Wrocław, 16.05.2018 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:**

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Politechnika Gdańska

ul. G. Narutowicza 11/12

80-233 Gdańsk

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Beaty Zimy

pt.: „*Guided waves for nondestructive diagnostics of embedded waveguides*”

(Fale prowadzone w diagnostyce nieniszczącej prętów osadzonych)

### 1. Podstawa formalna

Podstawę formalną do wykonania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała Rady Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej z dnia 18 kwietnia 2018 r.,

- Pismo Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej z dnia 18 kwietnia 2018 r., podpisane przez Dziekana Wydziału Pana prof. dra hab. inż. Krzysztofa Wilde, prof. zw. PG.

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

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Zimy pt.: „*Guided waves for nondestructive diagnostics of embedded waveguides*”, polski tytuł „Fale prowadzone w diagnostyce nieniszczącej prętów osadzonych”, a jej promotorem jest dr hab. inż. Magdalena Rucka, prof. nadzw. PG.

Rozprawa została przedłożona w formie zwięzłego dwustronnie zadrukowanego raportu w twardej oprawie i liczy 231 stron. Praca została napisana w języku angielskim, zawiera 8 tabel i 117 rysunków. Składa się ona z 8 rozdziałów i bibliografii stanowiącej łącznie 249 pozycji. Treść rozprawy poprzedza streszczenie w języku angielskim i polskim, spis rysunków i tabel oraz wykaz ważniejszych oznaczeń. Do pracy dołączona jest płyta DVD.

Układ pracy jest czytelny i logiczny, charakterystyczny dla prac naukowych i badawczych, a sposób jej wydania jest bardzo estetyczny i zasługujący na podkreślenie.

## **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

### **3.1. Przedmiot i cel rozprawy**

Choć nie napisano tego w rozprawie to, moim zdaniem, przedmiotem pracy jest lokalizacja i identyfikacja różnych typów uszkodzeń w kotwach gruntowych przy wykorzystaniu fal prowadzonych. Napisano natomiast, że głównym celem przeprowadzonych badań jest kompleksowe zbadanie konkretnych problemów propagacji fali w prętach o przekroju kołowym osadzonych w materiale kompozytowym typu beton lub zaprawa. Badania skupiły się na konkretnym typie obiektów reprezentujących model laboratoryjny kotwy gruntowej. Nacisk położono na nieniszcząca diagnostykę kotew gruntowych, w tym ocenę podstawowych parametrów geometrycznych i wykrywanie najbardziej powszechnych typów uszkodzeń. I w pełni znajduje to odzwierciedlenie w treści rozprawy.

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

Praca zawiera analizę teoretyczną, numeryczną oraz eksperymentalną propagacji fal prowadzonych w prętach osadzonych w materiale kompozytowym typu beton lub zaprawa.

Głównym obiektem badań był model laboratoryjny kotwy gruntowej. Przedstawiono szczegółowy opis zjawiska propagacji fali w prętach częściowo osadzonych oraz przeanalizowano możliwość jego wykorzystania w detekcji różnych typów uszkodzeń. Rozwiązanie analityczne w postaci krzywych dyspersji stanowiło ważny element analiz przedstawionych w kolejnych częściach pracy, dotyczących propagacji fali w kotwach nieuszkodzonych, kotwach z uszkodzeniami w postaci rozwarstwienia, a także uszkodzeniami punktowymi i powierzchniowymi. Badania przeprowadzone w dalszej części pracy wykazały możliwość wykorzystania fal prowadzonych do wykrywania rozwarstwień o relatywnie niewielkim rozmiarze, a także uszkodzeń korozyjnych oraz punktowych położonych, zarówno w części otulonej jak i swobodnej.

Układ rozprawy stanowią rozdziały poprzedzone wykazem ważniejszych oznaczeń.

Rozdział 1. pt.: „Wprowadzenie” zawiera wprowadzenie do tematyki diagnostyki konstrukcji przy wykorzystaniu fal prowadzonych oraz przegląd literatury w zakresie tematyki pracy. Rozdział ten zawiera także cel i zakres badań oraz oryginalny wkład Doktorantki dla nauki.

Moim zdaniem cel pracy został poprawnie określony, a zakres dokładnie i obszernie w rozprawie opisany.

W rozdziale 2. pt.: „Fale prowadzone w prętach” przedstawiono rozwiązania dyspersyjne opisujące wielomodową propagację fali w prętach jedno- i wielowarstwowych o kołowym przekroju poprzecznym. Opracowano także analityczny model propagacji fali podłużnej w prętach swobodnych i wielowarstwowych. Przedstawiono podstawowe teorie prętów, model propagacji falowej w pręcie swobodnym i krzywe dyspersji. Przybliżone rozwiązania porównano z teorią Pochhammera-Chree, która jest uważana za najdokładniejszą teorię dotyczącą propagacji fal podłużnych w prętach swobodnych. Ponadto, ze względu na fakt, że stalowe kotwy występują często w postaci prętów drążonych, przedstawiono dla nich równanie dyspersji. W drugiej części rozdziału przedstawiono trzy metody macierzowe (*Global Matrix Method*, *Transfer Matrix Method* i *Stiffness Matrix Method*) powszechnie stosowane do modelowania fal w systemach wielowarstwowych. Rozdział ten napisano z zachowaniem dużej „kultury matematycznej”.

Rozdział 3 pt.: „Eksperymentalne metody badawcze i modelowanie propagacji fali metodą elementów skończonych” poświęcony jest opisowi metod numerycznych i eksperymentalnych stosowanych podczas badań przy wykorzystaniu programu ABAQUS i metody elementów skończonych oraz elementów nieskończonych.

Rozdział 4 pt.: „Propagacja fal w nieuszkodzonych kotwach gruntowych” obejmuje teoretyczne, numeryczne i eksperymentalne badania propagacji fali w nieuszkodzonych kotwach. Przedstawiono algorytmy wyznaczania podstawowych parametrów geometrycznych kotw gruntowych na podstawie sygnałów propagacji fal.

Wykorzystanie zjawiska propagacji fali do detekcji rozwarstwień w kotwach gruntowych przedstawiono w rozdziale 5 pt.: „Propagacja fal w prętach osadzonych z rozwarstwieniami”. Analizowano w nim trzy różne lokalizacje i zmienne długości rozwarstwień oraz badano ich wpływ na zjawisko propagacji fali. Badania eksperymentalne oraz obliczenia numeryczne dotyczące propagacji fal prowadzonych w nieuszkodzonych kotwach o zmiennej długości otulenia pozwoliły na opracowanie zależności umożliwiających określenie podstawowych parametrów geometrycznych kotwy na podstawie sygnałów czasowych. Następnie opisano wpływ długości oraz położenia uszkodzenia w postaci rozwarstwienia na zjawisko propagacji fali. Przedstawiony opis jest precyzyjny i wyczerpujący z punktu widzenia podjętej tematyki.

W rozdziale 6 pt.: „Wykrywanie uszkodzeń w kotwach gruntowych” opisano wykorzystanie fal do wykrywania korozji, jako kolejne typowe uszkodzenie występujące w systemach kotwiących. Badano dwa rodzaje uszkodzeń: miejscową i powierzchniową korozję pręta. W badaniach uwzględniono zarówno pręty swobodne jak i wielowarstwowe osadzone w zaprawie. W tym przypadku przedstawiony opis jest także precyzyjny i wyczerpujący z punktu widzenia podjętej tematyki, choć rozdział ten wydaje się nieco mniej „przepracowany” i zdaniem recenzenta można byłoby go usunąć bez większego uszczerbku dla i tak obszernej już pracy.

Rozdział 7 pt.: „Badania eksperymentalne rzeczywistej kotwy gruntowej” koncentruje się na eksperymentalnym badaniu propagacji fali sprężystej w systemie kotew samowiercących. Są one powszechnie stosowane w przemyśle geotechnicznym jako element kotew gruntowych i gwoździ gruntowych. Przeanalizowano wpływ nieciągłości w postaci połączeń montażowych występujących na długości cięgna na tłumienie fal. Rozdział ten stanowi ostatni etap badań nieniszczących dotyczący propagacji fali w rzeczywistej żerdzi. Przeanalizowany został wpływ elementów łączących pojedyncze żerdzie na tłumienie fali. Stalowa żerdź posłużyła ponadto do wykonania w gruncie rzeczywistej kotwy w małej skali. Wykazano możliwość wykorzystania fal w monitoringu twardnienia zaprawy cementowej formującej buławę kotwy. Porównanie wyników kotwy umieszczonej w gruncie oraz kotwy po wykopaniu pozwoliło na określenie wpływu obecności ośrodka gruntowego na rejestrowane sygnały czasowe propagującej fali. Rozdział ten zakończony jest wnioskami.

W podsumowaniu, w rozdziale 8, przedstawiono najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań oraz przyszłe plany dotyczące dalszych prac naukowych.

Przedstawiona w rozprawie i zweryfikowana doświadczalnie metodyka badań jest moim zdaniem poprawna pod względem merytorycznym. Przedstawiono rozważania teoretyczne, badania własne, które efektywnie prowadzą do lokalizacji i identyfikacji różnych typów uszkodzeń w kotwach gruntowych przy wykorzystaniu fal prowadzonych. 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.

#### 4. 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 3.2 przy recenzowaniu poszczególnych rozdziałów. Poniżej je zebrano i usystematyzowano. I tak:

- 4.1. Tytuł rozprawy jest właściwy i zawiera wszystko to, co jest w rozprawie.
- 4.2. W rozdziale 1. „Wprowadzenie” nie doprecyzowano pojęć: diagnostyka, badania nieniszczące (NDT), ocena nieniszcząca (NDE) i monitoring strukturalny konstrukcji (SHM). W rozdziale 4 pojawia się ponadto określenie nieniszcząca inspekcja (str. 98, 7 wiersz od dołu). Jaka jest różnica między tymi pojęciami biorąc pod uwagę, że w tytule rozprawy występuje diagnostyka?
- 4.3. W podrozdziale 1.1. na str. 30, 5 wiersz od góry, powołano się na pracę [100] - Kędra R., Rucka M. *Research on assessment of bolted joint state using elastic wave propagation*, Journal of Physics: Conference Series, 628(1), 8 pages, 2015, w której miały być podane indeksy uszkodzeń na bazie energii początkowej części sygnału falowego. Recenzent nie odnalazł tych indeksów w cytowanej pracy.
- 4.4. W podrozdziale 1.3. na str. 33, 1 wiersz od góry, podano, że do badania kotew gruntowych stosuje się jedynie metodę wrywania *pull-out*. Nie można się z tym stwierdzeniem zgodzić, ponieważ obecnie powszechnie stosowane są dwie metody: metoda badania integralności i uszkodzeń pali PIT (ang. *Pale Integration Testing*) i metoda odpowiedzi na impuls (ang. *Impulse Response - S'MASH*).
- 4.5. Nie napisano wprost co jest przedmiotem rozprawy.
- 4.6. Rozdział 3 podzielono na dwie części. Pierwsza część poświęcona jest analizie numerycznej MES w celu rozwiązania problemów propagacji falowej, natomiast w drugiej przedstawione są badania własne. Recenzent odczuwa pewien niedosyt związany z opisem wykorzystanej do badań aparatury.

- 4.7. Zdaniem Recenzenta część rysunków mogłaby być większa, co z pewnością poprawiłoby ich czytelność. Przykładowo rysunek 4.2b na str. 100.
- 4.8. Na rysunku 4.9 na str. 108 ciekawie zilustrowano falę, ale błędny jest podpis pod rysunkiem.
- 4.9. Rysunek 4.12 na str. 112 – nie napisano czy są to wyniki z analizy numerycznej, czy też z badań.
- 4.10. W podrozdziale 4.4. na str. 117 przedstawiono wyniki analizy eksperymentalnej, numerycznej i analitycznej z zastosowaniem metody elementów nieskończonych uzyskując wysoką zbieżność dla pręta i niską dla kotwy betonowej. Proszę o szersze wyjaśnienie tych rezultatów.
- 4.11. Na rysunku 4.17 na str. 118 nie zgadzają się podpisy na rysunku i w opisie poniżej.
- 4.12. W tabeli 4.2 na str. 119 na uwagę zasługują bardzo dobre wyniki uzyskane z analizy numerycznej z zastosowaniem metody elementów nieskończonych, które są lepsze od wyników uzyskanych z eksperymentu.
- 4.13. Na rysunku 4.18 na str. 120 nie zgadzają się podpisy na rysunku i w opisie poniżej. Brak jest oznaczeń na rysunku, który dotyczy numeryki, a który eksperymentu.
- 4.14. Rysunek 5.2 na str. 131, rysunek 5.5 na str. 135, rysunek 5.23 na str. 156, rysunek 6.2 na str. 164, rysunek 6.15 na str. 177 są nieczytelne.
- 4.15. Na stronie 190, 3 wd, napisano „... propagacja fali w modelu w małej skali ..”. Co autorka rozumie pod pojęciem: mała skala? Czy uwzględniono efekt skali w prowadzonych badaniach?
- 4.16. Rysunek 7.3 na str. 191 opisano inaczej niż w tekście, przez co jest to niespójnie.
- 4.17. Nieczytelne zdjęcia na rysunku 7.12 na str. 198, rysunku 7.23 na str. 207, rysunku 7.31 na str. 213.
- 4.18. W tekście rozprawy występują drobne literówki, braki znaków interpunkcyjnych i przejęzyczenia. Przykładowo:
- str. 93 wd 7 – „...of. ...”
  - str. 181 rys. 6.20 podpis: 6) zamiast f).

## 5. Wnioski

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Zimy pt.: pt.: „*Guided waves for nondestructive diagnostics of embedded waveguides*” (Fale prowadzone w diagnostyce nieniszczącej prętów osadzonych), której promotorem jest dr hab. inż. Magdalena Rucka, prof. nadzw. PG stanowi

rozwiązanie oryginalnego zadania naukowego dotyczącego lokalizacja i identyfikacja różnych typów uszkodzeń w kotwach gruntowych przy wykorzystaniu fal prowadzonych.

Uważam, że przedstawiony w rozprawie cel został osiągnięty, a sformułowane zadanie naukowe rozwiązane.

Na uwagę zasługuje również fakt, że część wyników została już opublikowana w recenzowanych, renomowanych czasopismach, w tym znajdujących się w bazie JCR takich jak:

- *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*,
- *Construction and Building Materials*,

Należy zauważyć, że Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy naukowej i technicznej w zakresie prezentowanej tematyki, która podejmowana jest od pewnego czasu na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej. Świadczy to o dojrzałości naukowej Doktorantki, a przede wszystkim o jakości szkoły z jakiej się wywodzi. Niewątpliwie wpłynęło to korzystnie na całość pracy i dało możliwość nauczania się programowania i prowadzenia badań numerycznych 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 budownictwo, ma znaczenie naukowe i praktyczne.

Oryginalny wkład Doktorantki dla nauki to:

- szczegółowy opis konkretnych problemów propagacji fali w kotwach gruntowych, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystycznych cech fal kierowanych rozprzestrzeniających się w wolnej i osadzonej części kotwy,
- wyjaśnienie zmian prędkości fali dla różnych długości kotwy gruntowej,
- wyprowadzenie wzorów, za pomocą których możliwe jest określenie parametrów geometrycznych kotwy (długość swobodna, długość połączenia, średnica korpusu kotwy),
- teoretyczne, numeryczne i eksperymentalne badania w wielowarstwowych prętach, w tym wpływ lokalizacji uszkodzenia i jego długości na rozdzielanie modów, ich konwersję i dyfrakcję oraz średnią prędkość fali,
- badanie wpływu uszkodzeń i jego lokalizacji na wyniki badań niszczących,
- badanie wykrywania korozji i uszkodzeń punktowych w prętach swobodnych i osadzonych,



- analiza wpływu nieciągłości, w postaci połączeń montażowych występujących na długości kotwy, na tłumienie falowe,
- monitorowanie procesu utwardzania zaczynu cementowego w małej rzeczywistej kotwie gruntowej,
- porównanie wyników uzyskanych dla kotwy podziemnej i wykopanej w celu zilustrowania wpływu otaczającego gruntu na sygnały propagacji fali.

## 6. Sentencja Recenzji

**Moim zdaniem recenzowana rozprawa** mgr inż. Beaty Zimy pt.: pt.: „*Guided waves for nondestructive diagnostics of embedded waveguides*” (Fale prowadzone w diagnostyce nieniszczącej prętów osadzonych) **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 dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261) – i dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Z poważaniem,



Dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, prof. nadzw. PWr