

Wpłynęło

data 12.06.2019 podpis M. Drobiec

Dr hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. PŚ

Gliwice, 10.06.2019 r.

Katedra Konstrukcji Budowlanych

Zespół Konstrukcji betonowych i murowych

Wydział Budownictwa

Politechnika Śląska

Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Tatary

pt. „Identyfikacja kruchych uszkodzeń w konstrukcjach betonowych z wykorzystaniem transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej i algorytmu Dijkstry”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej z dnia 3.04.2019 r. (zgodnie z pismem L.dz. RB00ST00/125/2019 z dnia 10.04.2019 r. otrzymanym od Prodziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej dr hab. inż. Damiana Bębna, prof. PO).

2. Charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Tatary pt. „Identyfikacja kruchych uszkodzeń w konstrukcjach betonowych z wykorzystaniem transmisyjnej tomografii

ultradźwiękowej i algorytmu Dijkstry”. Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z 7 rozdziałów, oraz bibliografii, spisu ilustracji i spisu tabel. Bibliografia obejmuje 117 pozycji piśmiennictwa, w tym jednej pozycji współautorskiej Doktorantki. Tekst rozprawy liczy 156 stron i zawiera 140 rysunków, 10 tabel oraz 65 wzorów. Na początku pracy zamieszczono streszczenie pracy w języku angielskim.

W rozdziale 1 (Wprowadzenie), Doktorantka omówiła różne typy nieniszczących badań diagnostycznych, w tym szerzej metody ultradźwiękowe. Podstawowy przegląd literatury pozwolił na określenie głównych problemów związanych z detekcją wewnętrznych uszkodzeń metodą ultradźwiękową i był podstawą do sformułowania celu pracy. Za cel pracy uznano pogłębienie wiedzy w zakresie badań ultradźwiękowych stosowanych do lokalizacji wewnętrznych stref uszkodzonych elementów konstrukcji. W rozdziale pierwszym określono ponadto cele szczegółowe, do których zaliczono: wykazanie przydatności algorytmu Dijkstry w określaniu rzeczywistych (nieprostoliniowych) ścieżek najszybszej propagacji fal ultradźwiękowych w ośrodkach niejednorodnych w celu jakościowej weryfikacji poprawności obrazowania tomograficznego wewnętrznej struktury betonu, dobór odpowiedniej formy macierzy regularyzacyjnej w metodzie Tichonowa ze względu na jakość i dokładność otrzymanych tomograficznie rekonstrukcji rozkładów propagacji fal podłużnych, wykazanie przydatności transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej w szacowaniu stopnia kruchego uszkodzenia struktury betonu oraz wykazanie przydatności w obrazowaniu tomograficznym uwzględnienia w obliczeniach fikcyjnych punktów nadawczo-odbiorczych, pomiędzy którymi czasy propagacji fali podłużnej wyznacza się na drodze interpolacji rzeczywistych pomiarów.

Rozdział 2 zawiera podstawowe informacje dotyczące odkształcalności betonu, typowych uszkodzeń konstrukcji betonowych i sposobów mierzenia tych uszkodzeń. W rozdziale drugim opisano również prawa materiałowe betonu.

W rozdziale 3 przedstawiono informacje na temat fal mechanicznych, opisując szczegółowo fale dźwiękowe i ich charakterystyki. Rozdział zawiera również dwa przykłady obliczeniowe, w których przy pomocy metody różnic skończonych, w ujęciu teorii ośrodka lepko-sprężystego, wyznaczono mapy przyspieszeń cząstek elementów betonowych uszkodzonych i nieuszkodzonych.

Rozdział 4 zawiera opis metod ultradźwiękowych stosowanych w diagnostyce konstrukcji betonowych. Szczególną uwagę poświęcono tutaj metodzie transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej.

W rozdziale 5 zamieszczono podstawowe informacje z zakresu teorii grafów, ze szczególnym naciskiem na algorytmu Dijkstry. Algorytm ten pozwala na znalezienie najszybszej ścieżki, po której fala dźwiękowa propaguje w ośrodku niejednorodnym i wykorzystano go w dalszej części pracy.

W rozdziale 6 zamieszczono wyniki własnych badań eksperymentalnych oraz analiz obliczeniowych. W pierwszej części rozdziału zamieszczono przykład obliczeniowy elementu betonowego o przekroju 100x100 cm z trzema wewnętrznymi obszarami o przekroju 20x20 cm każdy, które imitowały uszkodzenia. Przy pomocy algorytmu Dijkstry wyznaczono czasy przejścia fali podłużnej w tym elemencie w 20 punktach nadawczych i 20 punktach odbiorczych. Obliczenia prowadzono przy czterech różnych parametrów uszkodzenia (łącznie 1600 wyników). Uzyskane wyniki poddano obróbce zgodnie z tokiem obliczeń stosowanym w transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej, a otrzymany układ równań rozwiązywano kolejno za pomocą algorytmu Kaczmarza, metodą najmniejszych kwadratów z regularyzacją Tichonowa z jednostkową macierzą regularyzacyjną, oraz z macierzą regularyzacyjną wygładzającą otrzymane obrazy za pomocą dyskretnych operatorów 1-go i 2-go stopnia. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono, że niezależnie od zastosowanej metody obliczeniowej obrazy odtworzonych ścieżek najszybszej propagacji fal ultradźwiękowych pozwalają jakościowo ocenić, czy stopień uszkodzenia badanego elementu jest na tyle duży, by zakłócić dokładność otrzymywanych tomograficznie map prędkości z powodu zbyt silnego odejścia od założenia prostoliniowych promieni łączących punkty nadawczo-odbiorcze. Najbardziej satysfakcjonujące wyniki dała metoda najmniejszych kwadratów z regularyzacją Tichonowa, z macierzą regularyzacyjną wygładzającą otrzymane obrazy za pomocą dyskretnych operatorów 2-go stopnia, gdy wartość skalarne parametru uszkodzenia w obszarach zdegradowanych nie przekracza 0,10.

W drugiej części rozdziału opisano wykonane badania eksperymentalne i przeprowadzone na ich podstawie analizy obliczeniowe. Przy użyciu betonoskopu zapatrzonemu w walcowe

głowice o częstotliwościach 54 kHz i 250 kHz przeprowadzono badania płytki z pleksiglasu z nawierconymi otworami symulującymi uszkodzenia, trzech belek żelbetowych o wymiarach 10x10x50 cm (w stanie nieuszkodzonym i po uszkodzeniu wywołanym trójpunktowym zginaniem), jednej belce żelbetowej o wymiarach 20x40x360 cm (po uszkodzeniu w trakcie transportu) i płycie żelbetowej o wymiarach 10x80x415 cm zespolonej z kratownicą stalową, obciążanej cyklicznie. Dokonano analiz numerycznych badanych elementów, a wyniki porównano z wynikami badań laboratoryjnych. Przeprowadzone badania na elementach żelbetowych wykazały, że rysy widoczne „gołym okiem” pojawiały się w momencie, gdy wielkość wyznaczonego tomograficznie skalarnego parametru uszkodzenia osiągała lokalnie wartość ok. 0,10. Na podstawie eksperymentu z płytką z pleksiglasu wykazano, że zastosowanie techniki polegającej na sztucznym zwiększaniu ilości danych pomiarowych przez uwzględnienie dodatkowych czasów propagacji fali między fikcyjnymi punktami nadawczo-odbiorczymi, skutecznie przyczynia się do zwiększenia rozdzielczości i jakości obrazów tomograficznych.

W rozdziale 7 zamieszczono podsumowanie, ze wskazaniem oryginalnych elementów pracy oraz program dalszych badań i analiz.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu i postawionych celów rozprawy

Defektoskopia konstrukcji żelbetowych z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej jest stosowana od połowy XX wieku. Obecnie, w związku z zwiększaniem możliwości obliczeniowych procesorów, obserwuje się szczególny rozwój tomografii ultradźwiękowej. Na rysunku dostępne są już urządzenia zaopatrzone w układy wielu głowic eksponencjalnych (niewymagających sprzężenia akustycznego z badaną powierzchnią), pracujących w dużym zakresie częstotliwości. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęty przez Doktorantkę temat rozprawy jest oryginalny i aktualny, a zdefiniowany główny cel i zakres pracy są jasne, zasadne i ważne tak z naukowego jak i z praktycznego punktu widzenia.

3.2. Program badawczy i analityczny rozprawy

Na bazie głównych celów i zamierzeń pracy sformułowano program badawczy i analityczny rozprawy. Program ten sformułowano poprawnie, a uzyskane wyniki mają znaczenie poznawcze oraz praktyczne i świadczą o oryginalności podjętego tematu.

3.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Autorki uznaję:

- ▣ zastosowanie algorytmu Dijkstry w celu weryfikacji poprawności otrzymanych obrazów struktury materiału i wyznaczenia przebiegu najkrótszych ścieżek fal ultradźwiękowych,
- ▣ Przeprowadzenie badań elementów żelbetowych i płytki z pleksiglasu oraz weryfikacja otrzymanych wyników badań,
- ▣ Zastosowanie skalarnego parametru uszkodzenia ω do określenia stopnia uszkodzeń elementów betonowych, już w początkowym etapie ich rozwoju,
- ▣ Opracowanie metodyki polegającej na sztucznym zwiększaniu ilości danych pomiarowych przez uwzględnienie dodatkowych czasów propagacji fali między fikcyjnymi punktami nadawczo-odbiorczymi w celu zwiększenia rozdzielczości i jakości obrazów tomograficznych,
- ▣ Wykazanie możliwości zastosowania metody najmniejszych kwadratów z regularyzacją Tichonowa z macierzą regularyzacyjną wygładzającą otrzymane obrazy za pomocą dyskretnych operatorów 1-go i 2-go stopnia do obrazowania uszkodzeń elementów betonowych metodą tomografii ultradźwiękowej.

4. Uwagi krytyczne

Jak każda praca, taki 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 układu rozprawy

Recenzowana rozprawa zawiera analizę stanu wiedzy, opis i wyniki badań własnych oraz opis i wyniki analiz obliczeniowych (numerycznych). Taki układ ma większość rozpraw doktorskich. W recenzowanej pracy doktorskiej przyjęto jednak niecodzienne proporcje w zakresie przeglądu literatury i opisu badań własnych i analiz. Przegląd literatury jest obszerny, zawiera bowiem informacje dotyczące metod nieniszczących, betonu i jego uszkodzeń, fal mechanicznych, metod ultradźwiękowych i teorii grafów. Elementy przeglądu literatury znajdują się w początkowych pięciu rozdziałach pracy. Recenzent rozumie przy tym intencję Autorki – z poszczególnych etapów przeglądu literatury wynikają kolejne założenia przyjęte w badaniach i analizach numerycznych. Tym niemniej przyjęty układ pracy powoduje, że pewnemu „rozmyciu” ulegają liczne i obszerne analizy oraz badania własne, a przez to nie są one w pełni eksponowane. Z części podrozdziałów można by zrezygnować (np. 3.1-3.3, 4.1-4.3), zyskując tym samym miejsce dla dokładniejszego opisu własnych rozważań.

Uwaga dotycząca opisu przeprowadzonych badań

Zdaniem recenzenta przeprowadzone badania doświadczalne mogłyby być opisane dokładniej. Podstawową zasadą opisu eksperymentów naukowych jest to, że opis taki powinien być na tyle dokładny i zawierać takie informacje, aby umożliwić dokładne odtworzenie testu w innym ośrodku badawczym. W recenzowanej pracy nie opisano dokładnie poszczególnych etapów badań. Praca zawiera fotografie większości modeli (brak

fotografii płytki z pleksiglasu), lecz nie zawiera ani jednej fotografii z samego badania. Nie podano w jaki sposób uzyskano sprzężenie akustyczne głowic z badanym modelem.

Uwaga dotycząca doboru częstotliwości głowic nadawczych i odbiorczych

Badania płytki z pleksiglasu i mniejszych belek żelbetowych prowadzono przy użyciu głowic o częstotliwości 250 kHz, natomiast badania większej belki żelbetowej i płyty żelbetowej prowadzono przy pomocy głowic o częstotliwości 54 kHz. Autorka nie wyjaśniła czym kierowała się dobierając częstotliwości głowic do tych badań. Czy stosowano jakieś kryteria doboru głowic?

4.2. Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe dotyczą głównie znalezionych przez Recenzenta w tekście literówek lub pewnych kontrowersyjnych zapisów. Recenzent nie ma uwag do wyglądu i układu pracy, który ocenia bardzo wysoko. Należy podkreślić tu wysoką jakość rysunków, które wszystkie są autorstwa Doktorantki.

Poniżej podano miejsca znalezionych błędów i kontrowersji:

Str. 16, 10 wiersz od dołu: Recenzent nie do końca zgadza się ze zdaniem: „Należy także zauważyć, że w pracy [26] zastosowano stosunkowo dość gęsty układ rozmieszczenia przetworników ultradźwiękowych, uciążliwy w praktycznej realizacji pomiarów”. Obecnie na rynku dostępne są urządzenia zawierające po kilka rzędów przetworników zabudowanych w odstępach 2-3 cm.

Str. 23, 14 wiersz od dołu. jest „betony”, powinno być „betonu”.

Rozdział 2.3. Wiele informacji zamieszczanych w tym rozdziale podano w oparciu o doktorat Pana dr inż. Ireneusza Marca z Politechniki Gdańskiej. Informacje zamieszczone w tym doktoracie zostały jednak zaczerpnięte z innych źródeł, na które to źródła powinna się raczej

Autorka powołać. Istnieje ponadto wiele innych publikacji dotyczących mechaniki i właściwości betonu, jak choćby książka prof. Neville'a (cytowana zresztą przez autorkę pod pozycją [67]).

Str. 69, 2 wiersz od góry: Zdanie: „Natomiast warunki wzbudzania impulsów ultradźwiękowych należy dobrać tak, aby możliwa była ich propagacja i jednoznaczny pomiar prędkości w badanych elementach” nie współgra z zdaniem wcześniejszym. Powinno ono raczej brzmieć: „W badaniach tych warunki wzbudzania impulsów ultradźwiękowych należy dobrać tak, aby możliwa była ich propagacja i jednoznaczny pomiar prędkości w badanych elementach”.

Str. 71, tabl. 4.1 wiersz 4. Podano, że do lokalizacji zbrojenia stosuje się metody: elektromagnetyczną, radiologiczną i ultradźwiękową. Metoda ultradźwiękowa daje tylko wyniki jakościowe i nie jest stosowana w praktyce. Metody radiologicznej obecnie już też nie wykorzystuje się, głównie z uwagi na dużą pracochłonność w prowadzeniu badań i opracowaniu wyników. W tabelicy pominięto metodę radarową, która jest drugą (po elektromagnetycznej) podstawową metodą nieniszczącą służącą do lokalizacji zbrojenia.

Str. 76, pkt. 4.3.3. Nie wyjaśniono skrótu TOFD (z ang. *Time of flight diffraction*)

5. Wnioski końcowe

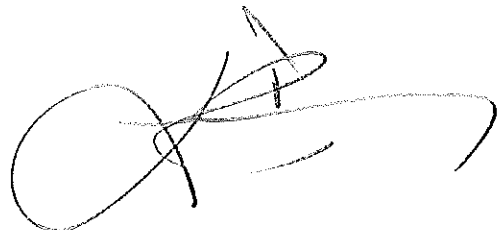
W recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Karolina Tatara rozwiązała oryginalne zadanie naukowe, polegające na zastosowaniu algorytmu Dijkstry w celu w określania rzeczywistych (nieprostoliniowych) ścieżek najszybszej propagacji fal ultradźwiękowych w ośrodkach niejednorodnych i doborze odpowiedniej formy macierzy regularyzacyjnej w metodzie Tichonowa ze względu na jakość i dokładność otrzymanych tomograficznie rekonstrukcji rozkładów propagacji fal podłużnych. Stwierdzam, że główny cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty. Doktorantka wykazała się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami planowania i prowadzenia badań laboratoryjnych oraz rozwiązywania problemów teoretycznych. Przeprowadziła badania doświadczalne oraz analizy numeryczne, a do rozwiązania postawionego problemu zastosowała poprawne i oryginalne

metody badawcze i analityczne. Uzyskała oryginalne wyniki i wykazała, że potrafi analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski poznawcze. Widzi również kierunki dalszych badań. Świadczy to o Jej odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 4 nie obniżają bardzo dobrego, moim zdaniem, poziomu merytorycznego i ogólnej wysokiej oceny dysertacji. Uwagi mają charakter porządkowy lub dyskusyjny i mam nadzieję, że przynajmniej w części będą pomocne Autorce podczas przygotowywania artykułów do czasopism naukowych.

Oceniam, że rozprawa stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego oraz potwierdza, że Doktorantka posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest opracowana na dobrym poziomie naukowym i redakcyjnym oraz wnosi w przedmiotowym zagadnieniu wkład w rozwój wiedzy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Karoliny Tatary pt. „Identyfikacja kruchych uszkodzeń w konstrukcjach betonowych z wykorzystaniem transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej i algorytmu Dijkstry” 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 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)). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.