

Prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła

Wrocław, 10.08.2011 r.

Politechnika Wrocławska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Pawła Sabinowskiego

pt. „*Ultradźwiękowa diagnostyka degradacji mechanicznej i strukturalnej betonu*”.

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania stanowi pismo Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, z dnia 7 czerwca 2011 roku, podpisane przez Sekretarza Rady Naukowej dr hab. Kazimierza Piechóra.

2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Sabinowskiego pt: „*Ultradźwiękowa diagnostyka degradacji mechanicznej i strukturalnej betonu*”. Rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i liczy 178 stron. Zasadniczą część pracy, wraz z bibliografią, zawarto na 164 stronach. Pozostałe strony stanowią dwa aneksy.

Praca składa się z 6 rozdziałów i w zasadniczej części zawiera 60 rysunków, 23 tabele, 118 pozycji bibliograficznych – w tym 4 pozycje współautorskie doktoranta.

Rozdział I, poprzedzony wprowadzeniem i streszczeniem w językach polskim i angielskim, zawiera charakterystykę podjętego problemu oraz cel i zakres pracy. Zaprezentowano w tym rozdziale: ogólny zarys problemu diagnostyki betonu, przegląd i analizę ważniejszych metod nieniszczących przydatnych w diagnostyce betonu, uzasadnienie dokonanego w pracy wyboru dwóch nieniszczących metod ultradźwiękowych - metody fal powierzchniowych i metody reflektometrycznej.

Rozdział II, nazwany podstawy teoretyczne zastosowanych metod, odnosi się do propagacji fal powierzchniowych w materiałach niejednorodnych oraz do modelowania odbicia fal ultradźwiękowych od powierzchni materiału porowatego w powietrzu. W rozdziale tym omówiono trzy wykorzystane w pracy modele opisujące rozpatrywane zjawiska propagacji fal ultradźwiękowych, mianowicie: model Haskella opisujący propagację fal powierzchniowych w ośrodku warstwowo niejednorodnym i model Gibsona opisujący propagację fal powierzchniowych w ośrodku o liniowej zmianie modułu ścinania w funkcji głębokości (obydwa modele są stosowane w geofizyce), oraz model opisujący zjawiska odbicia fal ultradźwiękowych bazujący na uproszczonej teorii Biota. W rozdziale tym umieszczone zostały również badania wrażliwości wymienionych modeli, wykazujące jaki wpływ na ich przewidywania mają parametry określające cechy fizyczne lub strukturalne materiału. Rozdział ten podsumowano wnioskami.

W rozdziale III, zamieszczono opis i testy zaprojektowanych i zbudowanych na potrzeby realizowanej pracy oryginalnych narzędzi diagnostycznych, mianowicie: systemu do badania propagacji fal powierzchniowych i systemu do badań reflektometrycznych. Również ten rozdział podsumowano wnioskami.

Rozdział IV, obejmuje identyfikację mechanicznych i strukturalnych parametrów betonu. W rozdziale tym zamieszczono między innymi: opis dwóch autorskich oryginalnych algorytmów (procedur) służących do oceny głębokości degradacji i ustalania parametrów struktury badanych materiałów, rezultaty weryfikacji i testów przeprowadzonych z danymi syntetycznymi oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych prac.

Natomiast w rozdziale V, nazwanym wyniki i dyskusja, przedstawiono, omówiono i przedyskutowano najciekawsze wyniki pomiarów laboratoryjnych i terenowych, uzyskane przy użyciu zbudowanych narzędzi diagnostycznych. Na wstępie tego rozdziału zamieszczono opis badanych materiałów, a w zakończeniu sformułowano wnioski.

W rozdziale VI, umieszczono podsumowanie i wnioski końcowe poszerzone o perspektywy i kierunki dalszych prac.

Po bibliografii, kończącej rozprawę, zamieszczono dwa aneksy zawierające: wybrane szczegóły metod optymalizacyjnych oraz szczegóły testowania procedury identyfikacyjnej parametrów modelu Haskella.

Reasumując ten punkt recenzji stwierdzam, że przyjęty układ pracy i sposób uporządkowania treści jest logiczny i czytelny. Strona edytorska i graficzna pracy nie budzi większych zastrzeżeń, a dobór pozycji bibliograficznych jest trafny i w zasadzie wystarczający.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu i postawionego celu

Jeżeli weźmie się pod uwagę fakt, że konstrukcje z betonu podlegają naturalnym procesom starzenia się i zużycia, potęgowanym przez niekorzystne wpływy otaczającego środowiska i często odbiegające od normy warunki eksploatacji, to niewątpliwie zapewnienie bezpieczeństwa ich użytkowania wiąże się z odpowiednio wczesnym wykryciem i wskazaniem lokalizacji potencjalnych uszkodzeń. W konstrukcjach tych w pierwszej kolejności dochodzi zazwyczaj do osłabienia, a następnie destrukcji (degradacji) warstwy wierzchniej. Wraz z upływem czasu destrukcja postępuje w głąb betonu i może objąć swoim zasięgiem strefę występowania zbrojenia, powodując jego przyspieszoną i nadmierną korozję, co z kolei może mieć istotny wpływ na obniżenie nośności konstrukcji. Sygnalizowany problem jest w praktyce budowlanej aktualny i ważny. Istotne i wręcz niezbędne staje się w tej sytuacji monitorowanie i diagnozowanie stanu konstrukcji, do czego z kolei niezbędne są odpowiednie narzędzia, przede wszystkim w postaci: metod i aparatury badawczej, technologii rejestrowania, przetwarzania i obróbki zarejestrowanych sygnałów, systemów wspomagających precyzyjne i wiarygodne diagnozowanie.

Do monitorowania i diagnozowania stanu konstrukcji nadają się metody niszczące i nieniszczące. Od dawna, z wielu powodów, dużym zainteresowaniem cieszą się metody nieniszczące. Obecnie, zainteresowaniu temu sprzyja intensywne doskonalenie tych metod i aparatury badawczej, zwłaszcza tej bazującej na wykorzystaniu fal ultradźwiękowych. Warto zasygnalizować, że prace nad różnymi rozwiązaniami wykorzystującymi w badaniach ultradźwięki, również przy zapewnieniu bezkontaktowej pracy urządzenia z badaną powierzchnią, prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych na świecie, a także to, że nie dopracowano się jeszcze „systemu” pozwalającego nieniszcząco i w pełni wiarygodnie i kompleksowo diagnozować stan wierzchniej warstwy betonu.

Mając powyższe na uwadze należy stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się niewątpliwie w ten sygnalizowany w recenzji aktualny i ważny nurt badań. Za pozytywną cechę rozprawy należy uznać postawiony przez doktoranta cel do rozwiązania na drodze rozważań teoretycznych i eksperymentalnych. Cel ten, sformułowany w rozdziale I, jest ambitny i osadzony w problematyce naukowej i równocześnie w praktyce budowlanej. Jasność postawionego celu i konsekwentne dążenie do jego wypełnienia świadczą o odpowiednim rozpoznaniu przez Autora tematyki i przygotowaniu do prowadzenia rozważań i analiz teoretycznych oraz eksperymentów badawczych.

Podsumowując z kolei ten fragment recenzji uważam, że podjęty przez doktoranta temat rozprawy oraz sformułowany w niej cel są zasadne i ważne z naukowego i praktycznego punktu.

3.2. Ocena wartości naukowej

Po analizie rozprawy za najważniejsze osiągnięcia naukowe Autora można uznać, moim zdaniem, między innymi:

- 1) Adopowanie dla celów identyfikacji grubości i cech mechanicznych zdegradowanej warstwy wierzchniej betonu dwóch modeli propagacji fal ultradźwiękowych powierzchniowych stosowanych w geofizyce (modelu Haskella i modelu Gibsona), analizę i zbadanie wrażliwości równań dyspersyjnych ze względu na parametry mechaniczne, gęstości i grubości warstw.
- 2) Opracowanie modelu odbicia fal ultradźwiękowych propagujących się w powietrzu od materiału porowatego wykorzystując teorię Biota, analizę przypadków szczególnych i zbadanie wrażliwości modelu ze względu na przepuszczalność, porowatość i krętość.
- 3) Opracowanie algorytmów estymacji wartości parametrów mechanicznych i strukturalnych zdegradowanego betonu przy wykorzystaniu modeli wymienionych powyżej, opracowanie narzędzi optymalizacji numerycznej i wyników pomiarów eksperymentalnych (krzywych dyspersyjnych fal powierzchniowych oraz współczynnika odbicia), wielokrotne rozwiązanie zagadnienia odwrotnego czego wymagała realizacja procedur numerycznych (w przypadku modelu Haskella numeryczna optymalizacja była stosowana dwukrotnie: do znajdowania pierwiastków rozwiązania krzywej dyspersyjnej i do poszukiwania najlepszego dopasowania krzywej dyspersyjnej do wyników eksperymentu na rzecz estymacji parametrów).
- 4) Opracowanie dwóch autorskich oryginalnych systemów do bezkontaktowego pomiaru fal ultradźwiękowych powierzchniowych i fal ultradźwiękowych odbitych od powierzchni, oraz skuteczne zastosowanie tych systemów w badaniach (diagnostyce) wierzchniej warstwy betonu, w tym:
 - współdziałanie w rozwijaniu dwóch zautomatyzowanych urządzeń do pomiarów fal powierzchniowych (robot fal powierzchniowych) i fal odbitych od powierzchni betonu (reflektometr),
 - wykonanie kompletnego oprogramowania z odpowiednimi graficznymi interfejsami użytkownika do sterowania robota i reflektometru (układów pozycjo-

nowania przetworników ultradźwiękowych), kart generatorów sygnałów arbitralnych i oscyloskopów cyfrowych umożliwiające realizację zautomatyzowanych pomiarów dyspersji fal oraz współczynnika odbicia,

- dobór odpowiednich podzespołów, sygnałów i parametrów fal umożliwiający bezkontraktowe pomiary ultradźwiękowe betonów.
- 5) Wykonanie licznej serii pomiarów na kilku betonach testowych w warunkach laboratoryjnych i na betonie wbudowanym w obiekt rzeczywisty, weryfikujących praktyczną przydatność opracowanych oryginalnych systemów pomiarowych, opracowanie uzyskanych wyników badań celem estymacji parametrów służących do oceny jakości betonów, wnikliwe i krytyczne przeanalizowanie zarówno wykorzystanych w badaniach systemów pomiarowych jak i uzyskanych rezultatów.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Podczas czytania rozprawy nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne i dyskusyjne oraz pytania do doktoranta.

- 1) Moim zdaniem, na początku rozprawy warto było zamieścić wykaz ważniejszych oznaczeń, skrótów nazw programów, algorytmów, itp. Poprawiło by to czytelność pracy i z pewnością wyeliminowało by problem oznaczenia tych samych parametrów różnymi symbolami, na przykład:
prędkość fali podłużnej oznaczono jako C_p (s. 20) V_p (s. 30, tab. 2-1), V_L (s. 128),
prędkość fali powierzchniowej oznaczono jako V_R (s. 128), V_p (s. 129), V_A (s. 133),
prędkość fali poprzecznej oznaczonej jako C_s (s. 20), V_T (s. 128), V_s (s. 129).
- 2) Po analizie rozdziału I uważam, że został potraktowany zbyt pobieżnie w zakresie omówienia w nim mechanizmów degradacji betonu i ważniejszych metod kontroli niszczącej betonu. Moim zdaniem, z korzyścią dla pracy było by skorzystanie w tym zakresie z wymienionych poniżej publikacji autorstwa prof. Leszka Czarneckiego i prof. Andrzeja Garbacza („*Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*”. Polski Cement, Kraków 2002, aut. Czarnecki L, Emmons P.; „*Nieniszczące badania betonopodobnych kompozytów polimerowych za pomocą fal sprężystych – ocena skuteczności napraw*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007, aut. Garbacz A.). W odniesieniu do rozdziału I mam ponadto drobną uwagę, mianowicie, praca na którą powołano się na s. 16 w 6 wg nie występuje w bibliografii.

- 3) W rozdziale II.1.5 na s. 45 podano, że współczynnik Poissona dla betonów zawiera się zazwyczaj w granicach od 0,20 do 0,22 i w takich granicach przeprowadzone zostanie badanie modelu Gibsona. Z tab. II-3, wynika jednak, że przyjęto inną wartość tego współczynnika, mianowicie 0,3. Proszę o wyjaśnienie tego faktu.
- 4) Część rysunków zamieszczonych w rozprawie jest mało czytelna, z uwagi na nieczytelne opisy (np. rys. II.15, III.8, IV.12, IV.14), a generalnie na poszczególnych rysunkach różna jest wielkość cyfr i liter, od bardzo dużych do małych nieczytelnych.
- 5) Na s. 102 podano, w tekście i w tabelach, skróty nazw czterech opracowanych programów i algorytmów (np. InvRefSA), natomiast począwszy od s. 103 nie używano już tych skrótów, tylko skróty skrótów (np. S.A). Utrudnia to, moim zdaniem, czytanie pracy.
- 6) Czy do wykonania próbek betonowych użyto kruszywo krzemowe obłe, tak jak podano to w tab. V-3 na s. 130, czy może jednak kwarcowe otoczkowe, czyli żwir. Mam też pytanie odnośnie do kruszywa sylikatowego o którym jest mowa na s. 135 w 11 wd. Co to jest za kruszywo i do czego zostało użyte w pracy ?
- 7) Co oznaczają podane na rys. V.4 skróty: SR14, SR20, SC14, CC14. Brak jest w tej kwestii wyjaśnienia w pracy. Moim zdaniem, wyjaśnienie takie powinno się znaleźć w tab. V-3.
- 8) Spośród badanych betonów G3, G4, G5 i G6, najniższą wytrzymałością na ściskanie charakteryzuje się beton G6 wykonany z użyciem kruszywa wapiennego. Natomiast, jak wynika z rys. V.4b, prędkość ultradźwiękowych fal powierzchniowych jest dla tego betonu najwyższa, na co także zwrócono uwagę w tekście opisującym ten rysunek. Jaka jest tego przyczyna ?
- 9) Na s. 136, 7 wg zauważono, że beton suchy wykazuje wyższą wartość wytrzymałości na ściskanie, w porównaniu z betonem nasyconym wodą. Proszę wyjaśnić jakie są tego powody ?
- 10) W pracy występują sporadycznie drobne błędy (przykładowe podaję niżej):
 - a) s. 10, 14 wd, zamiast sformułowania armatura zbrojeniowa, należało napisać prętów zbrojeniowych (przez armaturę rozumie się powszechnie w budownictwie rurki instalacji wod.-kan., c.o., itp.).
 - b) s. 11, 9 wd, sformułowanie, pierwszych centymetrów struktury betonowej, nie jest precyzyjne. Lepiej było napisać, wierzchniej warstwy betonu o grubości kilku centymetrów.

- c) s. 15, 1 wd, w literaturze funkcjonuje określenie „metody seminieniszczące”, a nie pseudo nieniszczące – które to określenie kilka razy użyto w pracy.
- d) s. 18, tab. I-1, błędnie podano, że metoda termografii nie jest przydatna w praktyce do uzyskania informacji o wilgotności materiału. Jest przydatna i stosowana w praktyce.
8 wd, błędnie podano, że metoda elektromagnetyczna nadaje się do ustalenia wilgotności materiału (metoda ta jest stosowana do wykrywania położenia zbrojenia w betonie).
- e) s. 19, tab. I-2, w przypadku metody emisji akustycznej podano błędnie, że pomiar jest bezkontaktowy, w metodzie tej konieczny jest środek sprzęgający czujnik EA z powierzchnią betonu.
- f) s. 73, 4 wd, pomyłono numer rysunku III.9, powinno być III.7.
- g) s. 99, 17 wd, podano informację, że na rys. IV.2 żółtym kolorem zaznaczono, a rysunek ten jest czarno-biały.
- h) s. 128, 12 wd, zamiast Materiałem testowym, powinno być, Elementem testowym (belka jest elementem). Z rys. V.1b proponuję usunąć opis; strona mocna, strona miękka.
- i) s. 129, tab. V-2, powinno być próbka nasycona wodą (brakuje słowa wodą).
- j) s. 133, 1 wd, w literaturze technicznej nie używa się sformułowania beton oparty na kruszywie, tylko beton wykonany z użyciem (ewentualnie, na bazie) kruszywa.
- k) s. 137, rys. V.7b, zamiast oznaczenia R_c należało wprowadzić oznaczenie f_c (od dłuższego już czasu tak opisuje się wytrzymałość na ściskanie betonu).
- l) ponadto, w tekście pracy napotyka się na tzw. literówki, np.: s. 43, 12 wg, jest modelu Gibbona, powinno być modelu Gibsona, s. 88, 12 wg, jest kika, powinno być kilka, s. 101, 11 wd, jest inne, powinno być innej, s. 149, 5 wd, jest koreluj, powinno być korelują, s. 158, 3 wg powinno być Hoła, Schabowicz.

5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Safinowskiego rozwiązuje postawione oryginalnie zadanie naukowe dotyczące ultradźwiękowej diagnostyki degradacji mechanicznej i strukturalnej betonu. Stwierdzam, że cel postawiony w rozprawie został osiągnięty.

Autor wykazał się w stopniu zadowalającym znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami planowania, programowania i prowadzenia eksperymentów naukowych. Przeprowadził w szerokim zakresie rozważania teoretyczne, badania symulacyjne oraz badania doświadczalne w laboratorium i na obiekcie rzeczywistym, uzyskał oryginalne rezultaty. Udowodnił, że potrafi prawidłowo analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty. Wysoko należy ocenić widoczne w pracy krytyczne podejście doktora do otrzymanych rezultatów. Potrafi także prawidłowo wnioskować i widzi kierunki dalszych prac. Świadczy to o Jego odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 4 recenzji nie obniżają pozytywnej wartości merytorycznej i pozytywnej ogólnej oceny dysertacji. Mają one charakter dyskusyjny lub porządkowy i mam nadzieję na to, że przynajmniej w części zostaną przez doktoranta wykorzystane w dalszej pracy naukowej.

W mojej opinii recenzowana rozprawa jest oryginalna i wnosi w przedmiotowym temacie wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie uprawianej przez Autora. Ma również znaczenie praktyczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymogi odnośnie do prac doktorskich zawarte w Ustawie o tytule i stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 roku (Dz. U. Nr 66, poz. 595) oraz Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15.01.2004 roku (Dz. U. Nr 15, poz. 128) i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

77 dw.