



Warszawa, dnia 13.12.2016 r.

Dr hab. inż. Andrzej Garbacz, prof. nzw. PW
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Inżynierii Budowlanej
Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych
00-637 Warszawa, Armii Ludowej 16

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**pt. „Wpływ tłumienia fali podłużnej w metodzie emisji akustycznej
na lokalizację i identyfikację procesów destrukcyjnych w betonie”
autorstwa mgr inż. Michała Teodorczyka**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 7 września 2016 r. oraz pismo zlecające Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej, dr hab. inż. Marka Iwańskiego, prof. PŚk, o sygnaturze BD-301/16 z dnia 12.10.2016 r.

Zgodnie z pismem Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 12 października 2016 r., podstawę prawną recenzji stanowi:

- Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami),
- Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodach

przewodach doktorskim i habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2004 nr 15 poz. I28), tzw. „stara procedura”.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Michała Teodorczyka zatytułowana „Wpływ tłumienia fali podłużnej w metodzie emisji akustycznej na lokalizację i identyfikację procesów destrukcyjnych w betonie”. Promotorem pracy jest dr hab.inż. Grzegorz Świt, prof. PŚk.

Zgodnie z informacją podaną przez Autora (str.56.), celem badań zawartych w rozprawie była „analiza tłumienia prędkości fali podłużnej w elementach betonowych i jej wpływ na poprawność lokalizacji i identyfikacji procesów destrukcyjnych w metodzie emisji akustycznej (EA). Zbadanie zachowania się prędkości fali podłużnej w betonie ma istotne znaczenie dla zastosowania metody ilościowej EA”. Moim zdaniem sformułowanie „tłumienie prędkości fali” jest skrótem myślowym. Chodzi raczej, jak to Autor rozprawy napisał na str.25, o tłumienie fali podłużnej, co może wpływać na prędkość fali (str.29), a ta na precyzję lokalizacji defektów metodą EA. Mimo moich uwag co do poprawności sformułowania zacytowanego celu pracy należy podkreślić, że podjęte w rozprawie zagadnienie jest istotne nie tylko z poznawczego punktu widzenia, ale ma istotne znaczenie praktyczne. Prezentowane w pracy badania dotyczą wykorzystania emisji akustycznej. Jest to też walor rozprawy, gdyż emisja akustyczna, mimo swych zalet, nie jest jeszcze rozpowszechniona w badaniach konstrukcji betonowych.

Rozprawę doktorską przedłożono w postaci książkowej. Treść rozprawy ujęto w 5 rozdziałach. Pracę kończy zestawienie pozycji literatury oraz norm i instrukcji przytoczonych w rozprawie. Integralną część rozprawy stanowi 7 numerowanych załączników. Praca liczy 150 stron, w tym 33 stron załączników w postaci tabelarycznego zestawienia uzyskanych wyników badań. Praca zawiera 48 tabel i 84 rysunki. Spis literatury liczy 77 pozycji oraz 9 pozycji dotyczących norm i wytycznych.

Rozdział 1 zatytułowany „Wstęp” wprowadza do tematyki pracy, tj. diagnostyki konstrukcji betonowych i ich trwałości, w tym w ujęciu normowym. Diagnostyka konstrukcji betonowych jest ważnym elementem procesu decyzyjnego dotyczącego oceny

jej stanu technicznego i możliwości jej dalszego użytkowania. Niezbędna jest także przy doborze sposobu naprawy lub wzmacniania konstrukcji. Zgodnie z normą PN-EN 1504-9 diagnostyka konstrukcji jest niezbędnym elementem strategii szeroko rozumianych działań naprawczych. Wśród metod diagnostycznych szczególną rolę odgrywają metody nieniszczące. Jedną z tych metod jest emisja akustyczna. W podsumowaniu tego rozdziału wskazano na zagadnienia badawcze, których rozwiązanie pozwoliłoby na szersze wykorzystanie EA w diagnostyce konstrukcji betonowych. Dotyczą one przede wszystkim, wpływu tłumienia fali podłużnej na dokładność lokalizacji defektów (źródeł emisji akustycznej) w konstrukcji betonowej.

Rozdział 2 pod tytułem „Emisja akustyczna w betonie” zawiera podstawowe informacje dotyczące metody emisji akustycznej i jej stosowania w diagnostyce konstrukcji betonowych. Omówiono w nim zasady metody EA, rodzaje fal sprężystych i źródła ich generacji, w tym opisano źródło Hsu-Nielsena, wykorzystywane w badaniach, prezentowanych w rozprawie, do generacji fal podłużnych w elementach betonowych. Scharakteryzowano czynniki wpływające na propagację fal, ze szczególnym uwzględnieniem tych czynników, które wpływają na ich tłumienie. Obszernie omówiono przykład wykorzystania metody EA do oceny stanu technicznego konstrukcji betonowych. Scharakteryzowano jakościowe i ilościowe metody EA, podano zasady lokalizacji źródła, w tym wykorzystaną w pracy metodę Moment Tensor i jej uproszczoną wersję Sigma. Biorąc pod uwagę zawartość rozdziału, wydaje się że tytuł rozdziału jest skrótem myślowym, i raczej chodziło o zastosowanie emisji akustycznej w badaniach betonu.

Rozdział kończy się podrozdziałem pt. „Podsumowanie przeglądu literatury”. W wersji zamieszczonej w pracy stanowi on nie tylko podsumowanie przeglądu literatury, ale również uzasadnienie podjętych w pracy zadań badawczych. Autor wskazał, że w literaturze brakuje analiz:

- tłumienia fali podłużnej w betonie podczas obciążania oraz czynników, które na to tłumienie wpływają;
- wpływu tłumienia fali podłużnej na poprawną lokalizację (dwu- i trójwymiarową) zdarzeń w betonie;

- wpływu tłumienia fali podłużnej na wyniki identyfikacji procesów destrukcyjnych w analizie Sigma.

Podjęte zadania badawcze należy uznać za właściwe i istotne przy praktycznym wykorzystaniu metody EA w diagnostyce konstrukcji betonowych.

W Rozdziale 3 pt. „Cel, tezy i zakres pracy” podano cel i tezy pracy, a także omówiono zakres pracy wskazując na trzy etapy realizacji programu badań eksperymentalnych. Należy podkreślić, że Autor rozprawy podjął się rozwiązania trudnego problemu badawczego jakim jest zwiększenie precyzji lokalizacji defektów w tak niejednorodnym kompozycie jakim jest beton. Przyjęty sposób realizacji postawionych zadań badawczych uważam za poprawny.

Rozdział 4 „Analiza propagacji fali sprężystej w badaniach własnych” (nie najszcześniejszy tytuł) jest zasadniczym rozdziałem przedłożonej rozprawy. Opisano w nim, w trzech podrozdziałach, trzy etapy badań dotyczące odpowiednio:

- tłumienia fali podłużnej w elementach betonowych w stanie nieobciążonym; analizowano zależność prędkości fali podłużnej od uziarnienia (dwie różne frakcje), rozstawu strzemion (25 i 125mm), rozstawu czujników (300, 900, 1500 mm);
- tłumienia fali podłużnej w elementach betonowych podczas obciążania; analizowano zależność prędkości fali podłużnej od wyężenia, rodzaju pręta (gładki, żebrowany), grubości otuliny (20 i 40mm), liczby rys i szerokości ich rozwarcia;
- analizy ilościowej emisji akustycznej w elementach betonowych w procesie obciążania.

W badaniach tych Autor rozprawy wykazał się umiejętnością zaplanowania eksperymentu, jego przeprowadzenia przy wykorzystaniu zaawansowanych metod badawczych, a także programów do statystycznej analizy danych (graficzna prezentacja wyników wskazuje, że Autor wykazuje biegłość w posługiwaniu się programem Statistica).

Rozdział 5 pt. „Wnioski i uwagi końcowe” zawiera podsumowanie badań (p.5.1), sformułowane na ich podstawie szczegółowe wnioski (5.2) dotyczące wyników uzyskanych w trzech etapach badań. Na podkreślenie zasługuje sformułowanie kierunków dalszych badań (p.5.3), co świadczy o dojrzałości badawczej Autora rozprawy. Sformułowane wnioski potwierdzają tezy postawione w rozprawie.

Układ pracy jest w zasadzie właściwy dla tego rodzaju opracowań naukowych. Można by było zastanawiać się nad zasadnością umieszczenia rozdziału dotyczącego celu, tez i zakresu pracy jako rozdziału trzeciego. Mógł być on umieszczony jako rozdział 2 lub nawet włączony do rozdziału 1.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy zastosowania nowoczesnej metody badań nieniszczących jaką jest emisja akustyczna w diagnostyce konstrukcji betonowych. Mimo swoich zalet nie była ona tak powszechnie stosowana w ocenie stanu technicznego konstrukcji betonowych jak inne metody nieniszczące, np. sklerometryczna, impact-echo, radar. W ostatnich latach rośnie zainteresowanie możliwościami jakie daje metoda EA w lokalizacji różnego rodzaju defektów, przede wszystkim rys, monitorowania ich propagacji. Zyskuje ona coraz większe zainteresowanie w Polsce, głównie do monitorowania propagacji procesu destrukcji. Duża w tym zasługa badań prowadzonych przez Politechnikę Świętokrzyską, w tym promotora pracy oraz Politechnikę Wrocławską. Jednakże, jak to wykazano w recenzowanej pracy, konieczne są dalsze prace, ukierunkowane głównie na wyjaśnienie zjawisk związanych a propagacją fali w metodzie EA celem zwiększenia precyzji lokalizacji procesów destrukcyjnych. Wymaga to określenia wpływu czynników materiałowych i geometrycznych badanego elementu na tłumienie fali podłużnej. Nie jest to zadanie proste w tak niejednorodnym kompozycie jakim jest beton, nie mówiąc o badaniach elementów żelbetowych. Wyjaśnienia tego trudnego problemu podjął się Autor rozprawy w oparciu o oryginalny program badawczy. W pracy sformułowano trzy tezy. Można dyskutować o sposobie sformułowania dwóch pierwszych tez. Rozpoczynają się od stwierdzenia, że „...można określić czynniki, które wpływają na tłumienie..”. Następnie pada sformułowanie, że „Do analiz wybrano takie czynniki jak:...”. Porównując to z zakresem badań odnosi się wrażenie, że tezy są raczej dopasowane do zakresu przeprowadzonych badań, niż wynikiem przemyśleń z analizy stanu wiedzy i techniki. A przecież tak nie jest. Autor w przeglądzie literatury wskazał najistotniejsze czynniki, które mogą wpływać na tłumienie fali i jej prędkość. Trzecia teza nie budzi zastrzeżeń (oprócz terminu tłumienie prędkości fali). Zaprezentowane w pracy (rozdział 4) wyniki badań, mimo uwag krytycznych i dyskusyjnych, niewątpliwie wiele wnoszą do poszerzenia wiedzy w tym obszarze i stanowią oryginalne osiągnięcia Autora.

Recenzowana praca charakteryzuje się starannym przygotowaniem pod względem edytorskim oraz zwartym ujęciem przekazywanych treści. Odnosi się wrażenie, że Autor starał koncentrować się na podaniu informacji istotnych z punktu widzenia realizowanego programu badawczego oraz wyników badań i analiz statystycznych. Ta oszczędność w opisie sprawia, że niektóre fragmenty nie są do końca zrozumiałe, a niektóre wnioski można traktować jako zbyt uogólnienie uzyskanych wyników. Jako przykład można podać stwierdzenie, że emisja akustyczna rejestruje fale sprężyste wygenerowane przez defekty powstające samoistnie w konstrukcji. Tak sformułowane zdanie dotyczyłoby rys skurczowych, co przeczy informacji na str.13 o wpływie obciążenia mechanicznego, a nie jest to proces samoistny. Czy też „...procesu niszczenia ściskanych doraźnie stwardniałych betonów samozagęszczalnych...”.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Poniżej zebrano najistotniejsze uwagi krytyczne i dyskusyjne:

- 1) Biorąc pod uwagę tytuł rozprawy można było spodziewać się trochę innego ujęcia rozwiązania postawionego zadania badawczego. Zgodnie z definicją podaną przez Autora (str.25), tłumienie to stopniowe zmniejszanie amplitudy drgań i energii fali podczas propagacji fali w ośrodku rzeczywistym. Można było oczekiwać jeśli nie analizy współczynnika tłumienia, to przynajmniej analizy zmian amplitudy sygnału wywołanej czynnikami wymienionymi w tezach pracy. Nie jest to zadanie łatwe z punktu widzenia techniki pomiarowej. Autor przyjął, że zmiana wartości prędkości fali podłużnej może być traktowana jako wskaźnik zjawiska tłumienia wywołanego zachodzącymi w mikrostrukturze procesami destrukcyjnymi. Można się zgodzić z takim ujęciem zagadnienia, zwłaszcza że właściwe wyznaczenie prędkości jest istotne przy lokalizacji defektów w EA. Dlatego uważam, że termin „tłumienie prędkości”, czy też „tłumienie częstotliwości” nie są właściwe.
- 2) Charakterystyka betonu, z którego wykonano elementy do badań, zawiera tylko klasę wytrzymałości betonu na ściskanie, rodzaj cementu i kruszyw; brakuje informacji czy właściwości betonu po utwardzeniu odpowiadały właściwościom projektowanego betonu. Propagacja fali sprężystej, w tym prędkość istotnie zależy od mikrostruktury materiału.

- 3) Biorąc pod uwagę zamieszczone w rozprawie dane (p.4.1.2), wnioski dotyczące wpływu uziarnienia, moim zdaniem, są zbyt dużym uogólnieniem przeprowadzonej analizy statystycznej. Analiza statystyczna wskazuje, że prędkość fali zależy od uziarnienia kruszywa oraz ilości kruszywa (str.61 – w pracy nie ma danych dotyczących ilości kruszywa). Jednocześnie, Autor zauważa, że wpływ na spadek prędkości fali mogła mieć obecność porów. Wydaje się, że dopiero analiza dwuczynnikowa wykazałaby, który z elementów mikrostruktury odgrywa istotniejszą rolę. Nie można wykluczyć, że będzie to właśnie uziarnienie kruszywa.
- 4) Rysunki 4.5, 4.9, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 w obecnej formie sugerują istnienie zależności liniowych; w pracy brak komentarza na ten temat; są tylko „suche” wyniki analizy statystycznej mówiące o dopasowaniu modelu. Na rys. 4.9 bardziej naturalne byłoby umieszczenie wyników uzyskanych przy rozstępie strzemion 25mm jako pierwsze, następnie 125mm.
- 5) Obszary powstawania i rozwoju rys pokazane na rysunkach 4.20-4.23 obrazują różny charakter zmian z wyężeniem elementu. Odczuwa się brak analizy porównawczej zaobserwowanych zmian. Analiza wpływu różnych czynników jest sprowadzona do „suchej” analizy statystycznej.
- 6) Czujniki emisji akustycznej były umieszczane na wysokości strefy zbrojenia. W pracy brakuje komentarza, czy taka ich lokalizacja nie wpływała na wartość wyznaczanej prędkości fali sprężystej. J.Kaszyński pokazał możliwość wystąpienia takiego niekorzystnego efektu przy badaniu metodą ultradźwiękową zbrojonych elementów betonowych.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowaną rozprawę doktorską Pana mgr inż. Michała Teodorczyka pt. „Wpływ tłumienia fali podłużnej w metodzie emisji akustycznej na lokalizację i identyfikację procesów destrukcyjnych w betonie” uważam za ważne osiągnięcie naukowo-badawcze. Autor sformułował oryginalny problem naukowy, który ma istotne znaczenie dla praktycznego wykorzystania emisji akustycznej w diagnostyce konstrukcji betonowych. Mimo sformułowanych wyżej uwag krytycznych, w wielu przypadkach dyskusyjnych, uważam pracę spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Wyniki badań Autora przedstawione w

rozprawie stanowią istotny wkład w poszerzenie wiedzy z zakresu zastosowania emisji akustycznej w diagnostyce konstrukcji betonowych. Pozwala to na stwierdzenie, że postawiony w pracy cel został osiągnięty, a sformułowane tezy udowodnione. Pan mgr inż. Michał Teodorczyk wykazał się przy tym odpowiednią wiedzą teoretyczną z zakresu inżynierii lądowej, umiejętnością formułowania zagadnień naukowych oraz umiejętnością prowadzenia badań przy wykorzystaniu najnowocześniejszych urządzeń badawczych stosowanych obecnie w diagnostyce konstrukcji betonowych, a także umiejętnością wykorzystania metod statystycznych. Na tej podstawie, stwierdzam, że zostały spełnione wymagania Ustawy z dn. 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym (wraz z późniejszymi zmianami). Wnoszę o dopuszczenie mgra inż. Michała Teodorczyka do publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by a series of loops and a horizontal line at the end.