

prof. dr hab. inż. Andrzej Kulowski
Wydział Architektury Politechniki Gdańskiej
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Gdańsk, 21.02.2017

RECENZJA

pracy doktorskiej pt.

*„Experimental and numerical investigations
on sound insulation of composite panels”*

przygotowanej przez mgr. inż. Adam Wawrzynowicza
na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Dziekana Wydziału WILiŚ, prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Wilde, z dnia 22.11.2016.

1. CEL I PRZEDMIOT BADAŃ

Oceniana praca dotyczy jednego z istotnych problemów w dziedzinie akustyki budowlanej, jakim jest izolacyjność akustyczna na dźwięki powietrzne ścian lekkich, wznoszonych w technologii suchej. Problem ten wchodzi w zakres szerszego zagadnienia, jakim jest komfort akustyczny budynków mieszkalnych, na który składa się odporność przegród budowlanych na przenikanie dźwięków powietrznych i materiałowych oraz ograniczenie zakłóceń instalacyjnych.

Celem pracy podanym w punkcie 1.2 *„Aims and scope”* jest badanie dźwiękoizolacyjnych właściwości kompozytowych ścian działowych stosowanych obecnie w budownictwie z użyciem pomiarów akustycznych i modelowania komputerowego. Oczekiwanym wynikiem tych badań jest przedstawienie zaleceń materiałowo-konstrukcyjnych dotyczących poprawy izolacyjności akustycznej ścian. Przedmiotem badań są dwie prefabrykowane płyty ściennie o następującej technologii wykonania:

1. Kompozytowa płyta 3-warstwowa CSIP (ang. *Composite Structural Insulated Panel*), w swojej źródłowej postaci składająca się z rdzenia wykonanego z lekkiego materiału (np. styropian, poliuretan) i dwóch okładzin z płyt OSB, cementowych, magnezowych, aluminiowych, a nawet gipsowokartonowych. Technologia produkcji płyt została opracowana w USA i ok. 2010 r. została wprowadzona na Polski rynek przez firmę LS TECH HOMES z Bielska-Białej. Wg aprobaty technicznej Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie płyty CSIP mogą być stosowane jako panele ściennie zewnętrzne i wewnętrzne oraz panele dachowe, podłogowe i sufitowe, z naciskiem na przegrody wewnętrzne.

W badaniach wykonanych w ramach recenzowanej pracy użyto płyty ściennej CSIP o okładzinach cementowych wzmocnianych włóknem szklanym o grubości 11 mm, z rdzeniem ze styropianu ekspandowanego EPS grubości 150 mm. Badaniom podlegała płyta o wymiarach 17,2x100x250 cm i masie 70 kg. Płyty CSIP o badanej konstrukcji są wykorzystywane

do wznoszenia ścian wewnętrznych lub zewnętrznych w budynkach głównie o funkcji mieszkaniowej lub usługowej.

2. Modułarna płyta kompozytowa SEWACO o cienkościenniej skrzynkowej konstrukcji betonowej, z wkładem styropianowym stanowiącym izolację cieplną lub gazobetonowym stanowiącym izolację akustyczną. Zastosowanie płyt SEWACO jest podobne jak w przypadku płyt CSIP, z naciskiem na przegrody zewnętrzne.

W badaniach wykonanych w ramach recenzowanej pracy użyto płyty SEWACO o wymiarach długość x szerokość x wysokość wynoszących 600 x 300 x 30 cm. Płyta składa się z wzmocnionej warstwy betonowej o gr. 4 cm, usztywnionej 7-ma żebrami betonowymi o grubości 4 cm i wysokości 18 cm. Izolację zewnętrzną tworzy ekspandowany polistyren. Za względu na ograniczone wymiary otworu pomiarowego (316 x 317 cm), do badań laboratoryjnych płyta została odpowiednio przycięta.

2. ZAKRES BADAŃ

Zmierzono następujące parametry akustyczne kompletnych płyt oraz odrębnie wchodzącego w ich skład materiału wypełniającego:

- Izolacyjność akustyczna właściwa w funkcji częstotliwości $R(f)$ płyt CSIP i SEWACO na dźwięki powietrzne w warunkach laboratoryjnych. Pomiary wykonano w akredytowanym laboratorium akustycznym mieszczącym się w Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku. Na podstawie funkcji $R(f)$ wyznaczono ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej R_w oraz wskaźniki adaptacyjne C i C_{tr} , skąd określono wskaźniki R_{A1} i R_{A2} .
- Wskaźnik oceny przybliżonej oceny izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A2} płyty SEWACO, zastosowanej jako element ściany zewnętrznej. Pomiary wykonano w warunkach terenowych w prototypowym budynku wznoszonym w systemie SEWACO, znajdującym się w miejscowości Warzno (30 km od Gdyni).
- Statyczny i dynamiczny moduł sprężystości wełny mineralnej twardej (gęstość 115 kg/m^3), służącej jako materiał wypełniający płyty SEWACO. Badania wykonano w laboratorium Katedry Budownictwa i Inżynierii Materiałowej WILiŚ. Celem pomiarów było dostarczenie danych do symulacji komputerowej, w wirtualny sposób przedstawiającej pracę płyty poddanej pobudzeniu akustycznemu.

Symulacja została wykonana przy użyciu komercyjnych programów komputerowych ABAQUS i ANSYS, wykorzystujących metodę elementów skończonych i metodę dynamiki płynów.

3. STRUKTURA PRACY

Praca została przedstawiona w jez. angielskim i liczy 199 stron wydruku komputerowego. Tekst składa się 5 rozdziałów, z których pierwsze dwa o objętości odpowiednio 3 i 15 str. są wprowadzeniem do tematu rozprawy oraz opisem aktualnego stanu badań. Rozdział 3 (36 stron) stanowi sprawozdanie z laboratoryjnych i terenowych pomiarów izolacyjności akustycznej płyt. Rozdział 4 (58 stron) opisuje obliczenia wykonane w formie symulacji komputerowej. Rozdział 5 (3 strony) zawiera wnioski. Pracę kończy Załącznik (*Appendix*, 68 stron), zawierający zaczerpnięte z literatury opisy zjawisk akustycznych zachodzących w pomieszczeniach i w przegrodach budowlanych. Spis literatury liczy 79 pozycji. Pracę uzupełniają 1-

stronicowe streszczenie w jęz. polskim oraz wykaz indywidualnych i zbiorowych publikacji autora liczący 10 pozycji, w tym 1 artykuł z listy JCR, 6 artykułów recenzowanych spoza listy JCR i 3 wystąpienia konferencyjne (w jęz. angielskim: 2 pozycje). Do wydruku dołączono płytke CD z pracą w postaci elektronicznej.

4. NAUKOWA WARTOŚĆ PRACY

Istotą dokonania naukowego przedstawionego w pracy jest eksperymentalna weryfikacja symulacji komputerowej. W wyniku rozwoju metod numerycznych związanych z symulacją komputerową, obecności na rynku coraz bardziej zaawansowanego oprogramowania, a przede wszystkim rozpowszechnienia sprzętu obliczeniowego o dużej mocy obliczeniowej, zastąpienie rzeczywistego obiektu badawczego jego wirtualnym odpowiednikiem stało się codziennością badacza. Warunkiem równoważności rzeczywistego i wirtualnego oglądu przedmiotu badań, dającego wieloaspektowe korzyści w pracy naukowej, jest nieustanna, szczegółowa weryfikacja pomiarowa modeli wirtualnych. Badania przedstawione w recenzowanej pracy spełniają wymagania stawianych rzetelnej weryfikacji pomiarowej użytych modeli matematycznych i są istotnym wkładem autora w ten obszar wiedzy technicznej.

Zarówno pomiarowa jak i obliczeniowa część tego zadania została wykonana z wielką pieczołowitością i ogromnym nakładem pracy. Autor wykazał się dogłębną znajomością z jednej strony zjawisk fizycznych związanych z funkcjonowaniem przegrody budowlanej poddanej działaniu pola akustycznego, zaś z drugiej kompetencją w korzystaniu z aparatu matematycznego, na którym oparte jest użyte oprogramowanie. Zdaniem recenzenta, rzetelnie przeprowadzona weryfikacja pomiarowa modelu matematycznego badanych przegród jest najważniejszym efektem naukowym ocenianej pracy.

Model matematyczny wykalibrowany przez pomiary akustyczne został następnie użyty do ulepszenia konstrukcji ściany CISP. Autor podał szereg rozwiązań, pozwalających poprawić parametry akustyczne ściany. Ta część pracy, przedstawiona w punkcie 4.5 „*Improvements of sound insulation of CSIPs*”, jest ważnym osiągnięciem autora o charakterze aplikacyjnym.

Należy zaznaczyć, że ściana o technologii suchej, wykonana z elementów o właściwej konstrukcji i użyta zgodnie z wymaganiami montażowymi, nie ustępuje, a niekiedy przewyższa pod względem akustycznym ściany o technologii tradycyjnej, zwykle droższe, cięższe a przy tym wprowadzające do obiektu dużą ilość wilgoci technologicznej. Niedotrzymanie wymagań materiałowych i montażowych sprawia, że potencjalnie doskonałe przegrody wykonane z płyt o technologii suchej stają się marnymi ściankami z przysłowiowej tektury. Z tego względu temat badawczy podjęty przez autora należy uznać za ważny pod względem poznawczym i aplikacyjnym.

5. UWAGI KRYTYCZNE

W pracy stwierdzono następujące istotniejsze usterki:

A. BRAK TEZY DOKTORSKIEJ

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym nie stawia formalnego obowiązku formułowania tezy pracy doktorskiej. Co więcej, tekst Ustawy w ogóle nie zawiera słowa

„teza”. Tym niemniej, w rozumieniu recenzenta powodem, dla którego doktorant podejmuje trud przygotowania pracy doktorskiej, jest dociekanie prawdziwości przyjętej przez niego hipotezy, założenia lub twierdzenia, dotyczącego przedmiotu badań. Inaczej mówiąc, tezą doktorską jest pytanie o charakterze naukowym, które doktorant powinien w swojej pracy sformułować i odpowiedzieć na nie twierdząco lub przecząco, czyli tezę tę udowodnić lub obalić. W pracy brak takiego elementu. Tekst pracy zawiera jednak wiele wątków, które można wyodrębnić w formie dowolnie rozumianej tezy doktorskiej. Wątki te występują np. w punktach 1.2 „*Aims and scope*” i 1.4. „*Innovative points*” oraz w rozdziale 5 „*Conclusions*”. Sformułowanie tezy pracy nie należy jednak do recenzenta i zadanie to pozostawia się doktorantowi podczas obrony pracy.

B. BRAK OSADZENIA TEMATYKI PRACY W SZERSZYM KONTEKŚCIE

Jak wspomniano we wstępie do niniejszej recenzji, szerszym zagadnieniem, obejmującym tematykę pracy, jest komfort akustyczny budynków mieszkalnych. Składa się na niego izolacyjność przegród budowlanych (ścian, stropów, elementów stolarki otworowej) na dźwięki powietrzne, izolacyjność stropów na dźwięki uderzeniowe oraz ograniczenie powstawania i rozprzestrzeniania się zakłóceń instalacyjnych. Recenzowana praca stanowi wnikliwą analizę pierwszego z tych elementów, jakim jest izolacyjność ścian na dźwięki powietrzne, zaś badaniom poddano tylko jeden, wybrany rodzaj przegród jakim są prefabrykowane ściany o technologii suchej.

Poza rozważanym w pracy przenikaniem dźwięku powietrznego przez przegrody budowlane, bardzo dotkliwą uciążliwością akustyczną budynków mieszkalnych jest przenikanie dźwięków uderzeniowych przez stropy. W prototypowym budynku zostały użyte elementy SEWACO jako płyty stropowe (patrz str. 44, rys. 3.11), gdzie problem dźwięków uderzeniowych (odgłosy kroków, upadek przedmiotów i inne rodzaje zakłóceń pochodzenia bytowego) występuje w całej krasie. Jest to obszerny problem badawczy, mogący stanowić tematykę odrębnej pracy doktorskiej. Praca nie zajmuje się tym zagadnieniem, lecz nie zostało to wyraźnie zaznaczone. Przedstawienie nakreślonego wyżej szerszego kontekstu prowadzonych badań pozwoliłoby jednak na ich głębsze osadzenie merytoryczne przez wskazanie powiązań z innymi obszarami badawczymi, a także na logiczne nakreślenie programu dalszych prac, czego w pracy zabrakło.

C. NIEWYSTARCZAJĄCO WYEKSPONOWANE ELEMENTY NOWOŚCI BADANYCH PŁYT ORAZ NOWATORSKIEGO CHARAKTERU WYKONANYCH BADAŃ TERENOWYCH.

Badane płyty są określane jako „*prototype panels*” (str. 10), „*novel composite building panels*” (str. 11). Jednocześnie na str. 10 autor podaje informację o wieloletniej obecności płyt CISP na rynku materiałów budowlanych wraz z nazwą ich polskiego producenta (LS TECH Homes). Podobnie jest z drugim rodzajem badanych płyt, tj. modułarnymi płytami kompozytowymi - ich nazwa handlowa SEWACO przewija się przez całą pracę. Recenzent bez trudu dotarł do stron internetowych, opisujących ww. płyty jako produkty dostępne rynkowo:

<http://lstechhomes.com/wp-content/uploads/2014/04/Izolacje-10.2012.pdf>

<https://www.sewaco.pl/system/opis/>

Kompozytowe materiały budowlane podlegają ciągłemu doskonaleniu. Jeśli badane płyty pod względem materiałowym, konstrukcyjnym lub aplikacyjnym stanowią produkt nowy w porównaniu z płytami dostępnymi rynkowo, co jak należy sądzić miało miejsce, autor powinien tę okoliczność wyraźnie wyeksponować.

Podobna uwaga odnosi się do budynku, w którym wykonano badania terenowe. W pracy został on określony jako „*innovative prototype building*” (m.in. na str. 43). Poza tym określeniem praca nie zawiera informacji o charakterze i zakresie tej innowacyjności.

D. UWAGI REDAKCYJNE

1. Niezrównoważona struktura pracy.

Poza rozdziałem pierwszym i ostatnim („*Introduction*” i „*Conclusions*”), zgodnie z ich charakterem liczącymi po kilka stron, pozostałe rozdziały kilkakrotnie różnią się pod względem objętości (np. rozdz. 2-gi „*Sound insulation*” i 4-ty „*Numerical simulations*” aż 4-krotnie). Ten brak równowagi odbiera się jako zwracającą uwagę usterkę redakcyjną

2. Dyskusyjna obecność Załącznika w tekście pracy

Praca zawiera obszerny Załącznik („*Appendix*”) liczący 68 stron, tj. przeszło 1/3 objętości całego tekstu. Zdaniem recenzenta Załącznik został dołączony niepotrzebnie, gdyż zawiera informacje o charakterze podręcznikowym i w tak szerokim ujęciu nic nie wnosi do naukowej treści pracy. Tekst pracy zawiera chyba tylko jedno odwołanie do Załącznika, (odwołanie na str. 54 do rysunku A.2.14 - numer podany z błędem, powinno być A.14). Odwołanie to odnosi się przy tym do rysunku o raczej popularnym charakterze i bez szkody dla wyводу naukowego można z niego zrezygnować. Całość tekstu pracy przedstawionej do oceny liczy 199 stron i po pominięciu Załącznika ją zmniejszyć do i tak sporej objętości ok. 130 stron, zawierających właściwą dysertację.

3. Brak wykazu skrótów

Pracy bardzo by się przysłużył wykaz skrótów wraz z ich rozwinięciem. Tekst jest mono nasycony skrótami (SIP, CSIP, FEM, CFD, FVM, GRC, GRSC, ...), co sprawia że miejscami ociera się o żargon techniczny. Brak wykazu skrótów utrudnia lekturę pracy.

4. Poprawność językowa i jakość ilustracji.

Praca została przedstawiona w języku angielskim. Niestety, język nie jest najmocniejszą stroną pracy. Nazbyt częste polonizmy i kalki językowe sprawiają, że przed ewentualnym rozpowszechnieniem pracy warto rozważyć poddanie jej weryfikacji językowej. Jakość ilustracji ocenia się jako umiarkowaną.

E. BRAK ODNIESIENIA DO NOWEJ NORMY

W dniu 23 września 2015 została zatwierdzona nowa norma o numerze PN-B-02151-3:2015:10, która zastępuje przywołaną w pracy normę PN-B-02151-3:1999 (patrz „*References*”, nr 53). Istotna dla treści pracy jest informacja, że znowelizowana norma m.in. podwyższa wymagania akustyczne dot. przegród zewnętrznych o małej izolacyjności przez przyjęcie minimalnej wartości $R'_{A2}=30\text{dB}$, niezależnie od wyniku obliczeń (patrz punkt 7.1.f Normy).

Znowelizowana norma nie jest wiążąca, gdyż nie jest wymieniona w aktualnie obowiązującym „Obwieszczeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” (Dz.U. z dnia

18 września 2015 r. Poz. 1422). W dokumencie tym, będącym formalną podstawą prac projektowych i wykonawczych w budownictwie, norma występuje w jej dotychczasowym brzmieniu. W związku z zatwierdzeniem nowej normy, weszła ona jednak do obrotu prawnego i może być wykorzystywana w ramach dobrej praktyki projektowej. Oczekuje się, że przy najbliższej zmianie Rozporządzenia aktualnie obowiązująca norma zostanie zastąpiona przez normę znowelizowaną. Do tego czasu wybór między normą aktualną i znowelizowaną zależy od decyzji projektanta i inwestora.

Recenzowana rozprawa jest pracą badawczą odnoszącą się do przedmiotu normy PN-B-02151-3, jakim jest izolacyjność akustyczna przegród, i powinna uwzględnić fakt jej nowelizacji.

6. KONKLUZJA

Wskazane wyżej usterki nie podważają zdecydowanie pozytywnej ogólnej oceny pracy. Recenzent wyraża przekonanie, że wobec widocznej kompetencji doktoranta w zakresie objętym tematem pracy, będzie on w stanie ustosunkować się do przedstawionych uwag i obronić swoje stanowisko podczas publicznej dyskusji nad pracą.

Zdaniem recenzenta, praca jest oryginalnym rozwiązaniem postawionego problemu, wartościowym pod względem naukowym i aplikacyjnym. Praca potwierdza wiedzę teoretyczną i umiejętności praktyczne doktoranta w zakresie objętym tematyką rozprawy i świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „*Experimental and numerical investigations on sound insulation of composite panels*” przygotowana przez mgr. inż. Adam Wawrzynowicza spełnia warunki Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595) i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

The work is the original solution of the posed problem, valuable in terms of research and application. The work confirms the theoretical knowledge and practical skills of the doctoral student in the area related to the work and constitutes an evidence of his ability to independently conduct scientific work.

I conclude that the dissertation "Experimental and numerical studies on acoustic insulation of composite panels" prepared by M.Sc. Adam Wawrzynowicz meets the requirements of the Act of 14 March 2003 on Degrees and the Academic Title and Scientific Degrees and Title in the field of art (Journal of 2003 No. 65 item 595), and put the request to the Council of the Faculty of Civil And Environmental Engineering of the Gdańsk University of Technology for its release to the public defense.

