



Wrocław, 20.02.2015r.

Prof. dr hab. inż. Henryk Nowak  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Marceliny Olechowskiej

pt.: *”Analiza niepewności oszacowania rzeczywistego czasu pogłosu za pomocą modeli teoretycznych”*

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 10 grudnia 2014 roku oraz zlecenie Prorektora ds. Organizacji i Rozwoju Politechniki Śląskiej, Pana Profesora Leszka Blachy z dnia 12 grudnia 2014 roku na wykonanie recenzji.

### 2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Marceliny Olechowskiej pt.: *”Analiza niepewności oszacowania rzeczywistego czasu pogłosu za pomocą modeli teoretycznych”*. Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z 9 rozdziałów głównych i z 10-ego rozdziału ze spisem literatury, obejmującego 122 pozycje piśmiennictwa (w tym 4 pozycje autorskie i 6 pozycji współautorskich Doktorantki) oraz z 13 dodatkowych pozycji (normy i dokumenty związane). Do pracy dołączono 3 załączniki. Tekst rozprawy liczy łącznie 160 stron, w tym 145 rysunków, 26 tabel w tekście zasadniczym i 15 tabel w załącznikach oraz 83 wzory. W ramach realizacji głównych celów pracy wykonano obszerne i wielowątkowe badania laboratoryjne, badania na obiektach rzeczywistych oraz analizy numeryczne.

W krótkim wprowadzeniu przedstawiono podstawowe informacje z zakresu akustyki, czasu pogłosu i jego wpływu na jakość akustyczną wewnątrz.

W rozdziale 1 Doktorantka omówiła podstawowe pojęcia akustyczne związane z przedmiotową rozprawą doktorską, w tym rodzaje pól akustycznych oraz metody ich badania (teoria geometryczna, falowa i statystyczna).

W rozdziale 2 przedstawiono trzy dostępne metody wyznaczania czasu pogłosu, w tym metody empiryczne. Omówiono również wzory empiryczne oraz metodykę pomiarową zgodnie z wymaganiami normowymi, a także opisano możliwości obliczeń numerycznych poprzez symulacje akustyczne wewnątrz budowli.

Rozdział 3 zawiera omówienie wpływu wybranych czynników na czas pogłosu pomieszczenia, w tym omówienie wpływu objętości, wymiarów i kształtu pomieszczenia na czas pogłosu oraz wpływu chłonności akustycznej wnętrza na czas pogłosu.

W rozdziale 4 przedstawiono szczegółowy przegląd literatury związanej z tematem badawczym rozprawy oraz aktualny stan wiedzy w zakresie weryfikacji przydatności dostępnych modeli teoretycznych. Przedstawione rozważania stały się podstawą do sformułowania naukowego celu i zakresu rozprawy.

Rozdział 5 zawiera informacje o głównym celu i zakresie rozprawy oraz o założonym programie badań.

W rozdziale 6 omówiono przeprowadzone badania laboratoryjne, ich zakres oraz metodykę badań, a także analizę wyników czasu pogłosu i wnioski.

Rozdział 7 zawiera opis, zakres i wyniki badań czasu pogłosu w obiektach rzeczywistych, ich analizę, a także wnioski z przeprowadzonych badań.

W rozdziale 8 przedstawiono nową metodę analityczno-statystyczną szacowania czasu pogłosu, tzw. metodę minimalizacji reszt. Omówiono tę metodę, algorytm postępowania oraz zastosowanie metody i wnioski.

Rozdział 9 zawiera podsumowanie oraz wnioski końcowe z przeprowadzonych badań.

Końcowy rozdział zawiera wykaz piśmiennictwa. Do pracy dołączone są również trzy załączniki oraz wykaz ważniejszych oznaczeń.

Stwierdzam, że przyjęty przez Doktorantkę układ pracy jest poprawny i nie budzi zastrzeżeń.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

#### **3.1. Ocena doboru tematu i postawionych celów rozprawy**

Ochrona użytkowników budynków o różnym przeznaczeniu, w rozumieniu wymagań podstawowych "Ochrona przed hałasem" dotyczy, między innymi, ochrony przed hałasem spowodowanym nadmiernym pogłosem. Hałas pogłosowy jest jednym z ważniejszych pojęć akustyki wnętrz, która zajmuje się kształtowaniem odpowiednich warunków akustycznych niezbędnych do przekazywania i odbioru zarówno mowy jak i muzyki w pomieszczeniach. Wpływ na poprawne i akceptowalne właściwości akustyczne wnętrza mają kubatura, kształt oraz proporcje geometryczne pomieszczenia, a także poprawne rozmieszczenie i dobór materiałów pochłaniających, rozpraszających i odbijających dźwięk. Wszystkie te elementy mają istotny wpływ na szybkość zanikania energii dźwiękowej wytworzonej w pomieszczeniu.

Hałas pogłosowy jest charakterystycznym hałasem dla pomieszczeń, które nie posiadają adaptacji akustycznej i przyczynia się głównie do utraty informacji oraz zaburza zrozumienie wypowiedzi, a także wpływa na poziom hałasu w pomieszczeniach. Zjawisko to związane jest z brakiem redukcji odbić dźwięku od ścian, sufitu i podłogi. Przy zwiększającym się czasie pogłosu zmniejsza się zrozumiałość mowy, natomiast w przypadku odbioru muzyki zalecany jest dłuższy czas pogłosu. Bardzo istotne jest prawidłowe oszacowanie czasu pogłosu, co pozwala na orientacyjną ocenę przydatności analizowanego wnętrza do określonych celów.

Taką właśnie próbę badań i analizy Doktorantka podjęła w opiniowanej rozprawie.

Recenzowana rozprawa doktorska bardzo dobrze wpisuje się w ten aktualny problem badawczy, ważny przede wszystkim z punktu widzenia użytkowników pomieszczeń o różnym przeznaczeniu oraz uzupełnia wiedzę w zakresie określenia niepewności przybliżenia czasu pogłosu metodami teoretycznymi w porównaniu z danymi pomiarowymi.

Uwzględniając powyższe, za pozytywną cechę rozprawy należy uznać postawienie przez Doktorantkę ambitnych celów do rozwiązania na drodze badań laboratoryjnych, badań w obiektach rzeczywistych o różnym przeznaczeniu i obliczeń numerycznych. Założony główny cel pracy jest osadzony w problematyce naukowej i równocześnie w realiach praktyki budowlanej oraz bardzo dobrze wpisuje się w problematykę ochrony pomieszczeń przed hałasem spowodowanym nadmiernym pogłosem. Jasność postawionego głównego celu i metodyczne dążenie do jego zrealizowania świadczą o bardzo dobrym rozpoznaniu przez Autorkę tematyki badawczej i o odpowiednim przygotowaniu do prowadzenia badań i analiz teoretycznych.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że podjęty przez Doktorantkę temat rozprawy jest aktualny, a zdefiniowany główny cel i zakres pracy są jasne, zasadne i ważne tak z naukowego jak i z praktycznego punktu widzenia.

### **3.2. Cel i zakres pracy**

Na podstawie przeglądu literatury z zakresu szacowania i weryfikacji przydatności stosowanych modeli teoretycznych do wyznaczania czasu pogłosu wnętrza oraz na podstawie wyników badań przeprowadzonych przez różne zespoły badawcze sformułowano główny naukowy cel rozprawy. Celem tym było oszacowanie niepewności przybliżenia czasu pogłosu metodami teoretycznymi w porównaniu z pomiarem, ze względu na wpływ temperatury panującej wewnątrz pomieszczenia, wilgotności powietrza, metodyki pomiarowej oraz przybliżenia wzoru Sabine'a.

Zakres pracy obejmował analizę niepewności oszacowania rzeczywistego czasu pogłosu (w budynkach o równym przeznaczeniu) za pomocą znanych modeli teoretycznych (Sabine'a, Eyringa, Millingtona-Sette'a, Fitzroya, Pujolle'a, Kuttruffa, Arau-Puchades'a, Neubauera i wzoru normowego) oraz szczegółową analizę badanego zjawiska (analiza reszt, skupień i wartości przeciętnych) w zależności od temperatury i wilgotności powietrza oraz przybliżenia wzoru Sabine'a.

Główny cel pracy sformułowano poprawnie, a przyjęty zakres badań doświadczalnych, obliczeń numerycznych oraz rozważań i analiz teoretycznych potwierdziły słuszność jego sformułowania. Przyjęty cel pracy ma znaczenie poznawcze i praktyczne, a jego sformułowanie świadczy o oryginalności podjętego tematu. Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań sformułowano wnioski zamieszczone w rozdziale szóstym, siódmym, ósmym i podsumowującym rozdziale dziewiątym, które stanowią odpowiedzi na przyjęty główny cel oraz zakres rozprawy. Wnioski te mogą również stanowić ważny przyczynek w sensie poznawczym w problematyce naukowej podjętej w rozprawie.

### 3.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Autorki uznaję:

- 1) Krytyczne przeanalizowanie dostępnych pozycji literatury tematu, dotyczącej wyznaczania czasu pogłosu za pomocą modeli teoretycznych, metodyki pomiarów akustycznych, propagacji fali akustycznej oraz literatury związanej z ochroną przeciwdźwiękową pomieszczeń. Z przeprowadzonego studium literaturowego wyniknęła potrzeba sformułowania własnego problemu badawczego oraz głównego celu i zakresu rozprawy.
- 2) Opracowanie i przeprowadzenie oryginalnego programu pomiarów laboratoryjnych czasu pogłosu w pięciu modelach pomieszczeń dla różnie skonfigurowanego rozmieszczenia materiału absorbującego dźwięk w każdym modelu.
- 3) Opracowanie i przeprowadzenie oryginalnego programu pomiarów czasu pogłosu w obiektach rzeczywistych o różnym przeznaczeniu, tj. w trzech amfiteatralnych salach wykładowych (kubatura wnętrza ok. 300 m<sup>3</sup>, 840 m<sup>3</sup> i 423 m<sup>3</sup>), w sali domu kultury (kubatura wnętrza ok. 1 100 m<sup>3</sup>), w kościele (kubatura wnętrza ok. 5 000 m<sup>3</sup>) oraz w laboratorium (kubatura wnętrza ok. 11 430 m<sup>3</sup>), w sumie 6 stanowisk pomiarowych. Następnie, przeprowadzenie symulacji akustycznych badanego zjawiska, a także wykonanie obliczeń za pomocą znanych modeli teoretycznych dla wszystkich badanych obiektów.
- 4) Wykonanie analizy porównawczej oraz oszacowanie niepewności przybliżenia czasu pogłosu określonego metodami teoretycznymi w odniesieniu do pomiarów w obiektach rzeczywistych.
- 5) Opracowanie autorskiej analityczno - statystycznej Metody Minimalizacji Reszt (MMR) szacowania czasu pogłosu i wyznaczenie tą metodą skorygowanych czasów pogłosu, co umożliwiło wprowadzenie korekty do pierwotnego wzoru Sabine'a.
- 6) Wykazanie, że skorygowana formuła Sabine'a prowadzi do zwiększenia dokładności prognozowania czasu pogłosu oraz że przybliży w sposób optymalny wynik pomiaru, co może mieć zastosowanie do szacowania czasu pogłosu na etapie projektowania budynków.

## 4. Uwagi krytyczne

### 4.1. Uwagi merytoryczne

Poniżej wskazano na dyskusyjne lub ujemne strony rozprawy. Uwagi natury ogólnej o charakterze dyskusyjnym są następujące:

1. W opisie głównego celu rozprawy stwierdzono, że celem tym było oszacowanie niepewności przybliżenia czasu pogłosu metodami teoretycznymi z uwzględnieniem, między innymi, wpływu temperatury panującej wewnątrz pomieszczenia i wilgotności powietrza (w domyśle 'wilgotności względnej powietrza'). W rozprawie informacja o wpływie wilgotności względnej powietrza na mocowy współczynnik pochłaniania



dźwięku w powietrzu dla pasm oktawowych jest podana jedynie na stronie 28, (Tabela 3.3.), a w opisie badań laboratoryjnych na stronie 42 podano w jakim przedziale występowały temperatura i wilgotność względna powietrza. Natomiast we wnioskach z badań nie ma odniesienia do ilościowego wpływu tych parametrów na otrzymane wyniki badań laboratoryjnych. Jeżeli nawet wpływ ten był pomijalnie mały, to należało to ująć we wnioskach końcowych. Proszę o komentarz.

2. Podobnie przy badaniach w budynkach rzeczywistych – z opisu zakresu badań (str. 84) z jednej strony wynika, że w obliczeniach za pomocą wzorów empirycznych uwzględniono tłumienie dźwięku w powietrzu, a z drugiej strony w pomieszczeniach nie mierzono, co wynika z opisu badań, ani temperatury ani wilgotności względnej powietrza. Jak zatem uwzględniono tłumienie dźwięku w powietrzu? Proszę o komentarz.  
(przypomnę, że wpływ pochłaniania dźwięku przez powietrze nie ma znaczenia, jeżeli czas pogłosu jest krótszy niż 1,5 s przy 2 kHz i krótszy niż 0,8 s przy 4 kHz. W tych przypadkach nie jest konieczny pomiar temperatury i wilgotności względnej. Natomiast w czasie badań uzyskiwano czasy pogłosu dłuższe od wyżej wymienionych wartości).
3. Czym kierowano się przy przyjęciu proporcji wymiarów modeli pomieszczeń, tj. proporcji boków prostopadłościanów (długość : szerokość : wysokość), np. 1:1:0,5; 1,5:1:0,5; 2:1:0,5, itd.?
4. Badania w modelach pomieszczeń – w jaki sposób ‘przeniesiono’ (dostosowano) wyniki badań laboratoryjnych do pomieszczeń naturalnej wielkości. Innymi słowy, jak rozwiązano ‘efekt skali’? Proszę o komentarz.
5. Badania akustyczne w obiektach rzeczywistych przeprowadzono zgodnie z zasadami, dla sal nie wypełnionych słuchaczami (str. 85, opis badań w amfiteatralnych salach dydaktycznych, str. 87 – opis badań w Sali Domu Kultury, str. 89 – opis badań w kościele, str. 90 – opis badań w hali laboratoryjnej) uzasadniając, że pozwoliło to uniknąć problemów ze zbyt wysokim poziomem tła akustycznego. Było to rozwiązaniem problemu związanego, między innymi, z interpretacją wyników. Ale wydaje się, że z punktu widzenia użytkowników tych pomieszczeń o różnym przeznaczeniu (dydaktyczne sale audytoryjne, dom kultury, kościół) ważniejszą informacją byłaby znajomość czasu pogłosu w trakcie normalnego ich użytkowania. Proszę o komentarz.
6. Wyniki obliczeń zamieszczone w tabelach od 7.1. do 7.6. – czy wymagana była tak duża dokładność obliczanych wielkości do 6 miejsc po przecinku?
7. W pracy rzadko, ale jest używane jest słowo *”metodologia”* zamiast *”metodyka”*. Przypomnę, *’metodologia’* jest to nauka o metodach badań naukowych i o skutecznych sposobach dociekania ich wartości poznawczej, natomiast *’metodyka’* jest to zbiór zasad i sposobów dotyczących wykonywania jakiejś pracy i zmierzania do określonych celów.
8. W rozprawie nie podano żadnych technicznych danych przyrządów pomiarowych i nie sprecyzowano z jaką dokładnością mierzono poszczególne parametry. Jakie były błędy pomiarów?
9. W pracy nie ma porównania wyników badań z wynikami otrzymanymi przez innych autorów (o ile takie porównanie było możliwe do wykonania).

10. Doktorantka w dosyć nietypowy sposób przedstawiła wnioski końcowe wynikające z przeprowadzonych badań, a mianowicie przedstawiła je albo w punktach albo opisowo na końcu rozdziału szóstego (w punktach), siódmego (opisowo), ósmego (w punktach) i podsumowującego rozdziału 9 (opisowo), głównie jakościowo a nie ilościowo. Moim zdaniem należało podać wnioski, o ile to możliwe, ilościowe w punktach, co spowodowałoby ujednoczenie tekstu. Uważam, że przy tak szerokim zakresie badań laboratoryjnych i w budynkach istniejących i dysponowaniu bardzo dużą bazą przekrojowych wyników pomiarów oraz obliczeń numerycznych praca zyskałaby, gdyby w podsumowaniu sformułowano klasyczne wnioski ilościowe, z ewentualnym podziałem na przykład na wnioski ogólne i szczegółowe.
11. W rozprawie przeanalizowano szereg problemów badawczych, ale nie wyczerpano wszystkich zagadnień związanych z tematem rozprawy - w pracy nie wskazano kierunków przyszłych badań. Przykładowo – w wielu pomieszczeniach liczba obecnych w nim ludzi może mieć duży wpływ na czas pogłosu, a mimo to pomiary czasu pogłosu, zgodnie z zasadami, powinny być wykonywane w pomieszczeniu bez ludzi. A może jednak przyszłym kierunkiem badań mogłoby być wykonanie pomiarów w budynkach rzeczywistych o specyficznym przeznaczeniu w trakcie normalnego użytkowania, to jest przy obecności użytkowników?

Uwagi natury szczegółowej o charakterze dyskusyjnym są następujące:

12. Str. 84 – jak należy rozumieć: "*.... pomiary przeprowadzono w przychylnych warunkach zewnętrznych*"?

#### **4.2. Uwagi dotyczące redakcji rozprawy**

Rozprawa jest napisana poprawnie z prawidłowym układem tekstu, na bardzo dobrym poziomie merytorycznym i edytorskim. W tekście rozprawy recenzent doszukał się nielicznych potknięć i nieścisłości. Ważniejsze uwagi dotyczące redakcji rozprawy są następujące:

1. Przy prezentacji niektórych wzorów brakuje powołań literaturowych, niektóre powołania podawane są w tekście – utrudnia to czytanie rozprawy oraz stwierdzenie czy dany wzór jest autorstwa Doktorantki, czy też nie (nieliczne przypadki).
2. Nie powinno być pojedynczych liter na końcu wiersza (nieliczne przypadki).
3. Występują nieliczne błędy literowe (tzw. literówki).
4. Str. 20 – jest sformułowanie: "*Norma [123] mówi .....*".

Proszę, aby Autorka nie ustosunkowywała się do powyższych uwag w trakcie obrony, lecz ewentualnie uwzględniła je w przyszłych publikacjach.

## 5. Wnioski końcowe

W recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Marcelina Olechowska rozwiązała oryginalne zadanie naukowe, dotyczące oszacowania niepewności przybliżenia czasu pogłosu metodami teoretycznymi w porównaniu z pomiarem, ze względu na wpływ temperatury panującej wewnątrz pomieszczenia, wilgotności powietrza, metodyki pomiarowej oraz przybliżenia wzoru Sabine'a. Stwierdzam, że główny cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty.

Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami planowania i prowadzenia badań zarówno laboratoryjnych jak i w obiektach rzeczywistych oraz rozwiązywania problemów teoretycznych. Przeprowadziła w szerokim zakresie badania doświadczalne oraz analizy numeryczne, a do rozwiązania postawionego problemu zastosowała poprawne metody badawcze. Uzyskała oryginalne wyniki oraz wykazała, że potrafi analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski poznawcze. Świadczy to o Jej odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 4 nie obniżają 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 w dyscyplinie 'budownictwo'. Ma również znaczenie praktyczne.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Marceliny Olechowskiej: *"Analiza niepewności oszacowania rzeczywistego czasu pogłosu za pomocą modeli teoretycznych"* 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. Nr 65, poz. 595) oraz Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15.01.2004 roku (Dz.U. Nr 15, poz. 128). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**



Henryk Nowak

