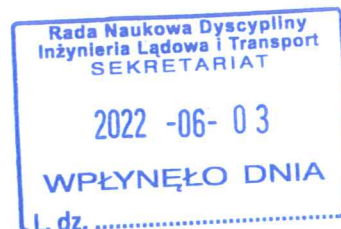


dr hab. Piotr Koziół, prof. PK  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki  
ul. Warszawska 24  
31-155 Kraków



Kraków, 25.05.2022

## Recenzja

pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Krzysztofa Polaka

pt. „Ocena wpływu hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości na otoczenie”

Promotor: dr hab. inż. Jarosław Korzeb, prof. PW

### 1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Krzysztofa Polaka zatytułowanej „Ocena wpływu hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości na otoczenie” została wykonana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny *Inżynieria Lądowa i Transport* Politechniki Warszawskiej Pana dr. hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni, zgodnie z uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 01.03.2022.

### 2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Polaka, zatytułowana „Ocena wpływu hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości na otoczenie”, powstała w Politechnice Warszawskiej pod kierunkiem dr. hab. inż. Jarosława Korzeba, prof. PW. Tematyka pracy dotyczy metod pomiaru, modelowania i analizy wpływu hałasu generowanego przez pojazdy szynowe (pociągi zwiększonych prędkości) na otoczenie.

Rozprawa liczy 330 stron i składa się ze spisu treści, streszczenia, wstępu, ośmiu rozdziałów autorskich, wniosków końcowych wraz z opisem proponowanych kierunków dalszych badań, bibliografii, spisu tabel, spisu rysunków oraz 5 załączników. W spisie literatury ujęto 220 pozycji, wśród których znalazły się 172 pozycje wydawnicze, 14 norm, 21 aktów normatywnych, 6 raportów i wytycznych branżowych, 2 standardy i specyfikacje techniczne, 2 instrukcje, 1 regulamin branżowy oraz odwołanie do 2 stron internetowych. Wśród pozycji wydawniczych można wyróżnić 60 publikacji z ostatnich 5 lat, zaś kolejne 109 pozycji opublikowano w ostatnich 10 latach.

We wstępie Autor uzasadnia konieczność prowadzenia prac badawczych mających na celu ocenę wpływu hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości podczas ich standardowej eksploatacji. Przeprowadzone badania eksperymentalne dla wybranego pojazdu, z wykorzystaniem kamery akustycznej i macierzy mikrofonowej 4x2, miały służyć rozpoznaniu oddziaływania pojazdu kolejowego na otoczenie drogi.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do zagadnień związanych z generowaniem i propagacją hałasu pochodzącego od pojazdów kolejowych oraz oddziaływaniem tego hałasu na otoczenie. Przybliżono podstawowe pojęcia z zakresu oddziaływań akustycznych a także opisano ważniejsze przepisy prawne europejskie i krajowe, normalizujące ocenę oddziaływań akustycznych w transporcie kolejowym. W dalszej części rozdziału wskazano główne źródła dźwięku generowane przez pojazdy kolejowe oraz opisano sposoby jego redukcji wdrażane przez przewoźników i zarządców linii kolejowych.

Rozdział 2 jest opisem aktów normatywnych dotyczących zjawisk akustycznych w transporcie kolejowym. W pierwszej części rozdziału poddano analizie regulacje europejskie oraz krajowe dotyczące pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości, które odnoszą się do oddziaływań akustycznych. Scharakteryzowano również standardy techniczne dla taboru głównego zarządcy infrastruktury kolejowej w Polsce: PKP Polskie Linie Kolejowe. Dalsza część rozdziału opisuje wymagania techniczne dla infrastruktury kolejowej określone w regulacjach europejskich, wskazując najważniejsze parametry budowy drogi kolejowej zwiększonych prędkości. Omówiono też dokumenty regulujące wymagania w Polsce, w tym warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe oraz standardy techniczne zarządcy infrastruktury kolejowej.

Rozdział 3 przedstawia tezę, cel i zakres pracy. Rozpoznanie oddziaływania akustycznego pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości na otoczenie przyjęto jako główny warunek udowodnienia tezy, którą sformułowano w sposób następujący: „Wykorzystanie eksperymentu badawczego umożliwi identyfikację dominujących źródeł

P. K. 2

hałasu, budowę empirycznego modelu sygnatury akustycznej oraz ocenę uciążliwości oddziaływania pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości na otoczenie”.

W rozdziale 4 przedstawiono metodykę oraz obiekty badań, tj. eksploatowany w Polsce elektryczny zespół trakcyjny firmy Alstom typ ETR610 seria ED250 oraz odcinek badanej trasy kolejowej, zlokalizowany na linii kolejowej nr 4 Grodzisk Mazowiecki – Zawiercie, odcinek Grodzisk Mazowiecki – Idzikowice. Opisano sposób wykonania pomiarów, użytą aparaturę pomiarową, sposób rejestracji i przetwarzania sygnałów, a także warunki atmosferyczne towarzyszące badaniom.

Rozdział 5 obejmuje opis zrealizowanych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem kamery akustycznej oraz macierzy mikrofonowej (4x2). Pomiary umożliwiły, według Autora, zidentyfikowanie głównych źródeł hałasu generowanych przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości oraz rozpoznanie charakterystyk amplitudowo – częstotliwościowych w zakresie od 20 Hz do 20 kHz, podzielonych na pasma tercjowe. Wybrane sygnały akustyczne wykorzystano do opracowania autorskiego modelu propagacji oraz definicji wskaźnika obciążenia hałasem.

Rozdział 6 stanowi opis wybranych istniejących empirycznych modeli propagacji hałasu stosowanych w transporcie kolejowym. Scharakteryzowano stosowaną w Polsce metodę przejściową, tj. holenderską metodę RMR. W dalszej części rozdziału przedstawiono opracowanie autorskiego modelu propagacji hałasu, który został zweryfikowany i porównany pod względem odtworzenia zjawiska propagacji z innymi modelami (liniowym, 2 i 3 rzędu oraz modelem potęgowym z wyrazem wolnym).

Rozdział 7 zawiera opracowanie logarytmicznego wskaźnika obciążenia hałasem, opartego na wartościach dopuszczalnych określonych w przepisach prawa. Proponowany autorski wskaźnik obciążenia hałasem poddano weryfikacji z użyciem pomiarów równoważnego poziom dźwięku.

Rozprawę zamyka podsumowanie, w którym podkreślono osiągnięcie postawionego celu, którym było „Opracowanie modelu propagacji hałasu i metody oceny oddziaływania pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości na otoczenie”, a także wnioski ogólne i szczegółowe. Rozdział zakończono opisem dalszych możliwych badań związanych z tematyką rozprawy.



### 3. Ocena pracy

#### 3.1. Temat pracy i problem naukowy

Analiza hałasu generowanego przez transport kolejowy, włączając koleje dużych (zwiększonych) prędkości jest ważnym zagadnieniem, zwłaszcza w odniesieniu do jego wpływu na otoczenie. Rosnące zapotrzebowanie na szybki transport i związana z tym rozbudowa sieci kolei dużych prędkości w wielu krajach, powodują konieczność badania zjawisk nie występujących w klasycznych kolejach. Jednym z nich jest generowanie zwiększonego hałasu oraz jego propagacja w otoczeniu, wraz z potencjalnym szkodliwym oddziaływaniem na środowisko. W warunkach polskich brak jest dostępnych opracowań dotyczących badanego zagadnienia lub są one niewystarczające, choćby ze względu na ubogi jeszcze zakres badań w obrębie dużych prędkości. Można uznać, że postawiony problem naukowy został sformułowany prawidłowo.

Sam tytuł pracy wydaje się przesadny, gdyż sugeruje przeprowadzenie badań dla zwiększonych prędkości, podczas gdy w rzeczywistości badane są jedynie pojazdy mogące osiągać zwiększone prędkości handlowe.

#### 3.2. Zastosowane metody badawcze

Podstawą przeprowadzonych badań był szeroki przegląd literatury oraz przepisów prawnych i technicznych dotyczących budowy linii dużych prędkości oraz ochrony przed hałasem w pobliżu drogi kolejowej i w jej dalszym otoczeniu, z uwzględnieniem opisu wskaźników oceny hałasu. Opisano również elementarne metody analizy sygnałów dźwiękowych oraz praktyczne metody minimalizacji negatywnego wpływu hałasu na otoczenie. Przegląd ten jest szeroki i wydaje się merytorycznie dostateczny. Część publikacyjna przeglądu nie zawiera bardziej szczegółowych wyników dotyczących samej analizy sygnałów dźwiękowych. Omówione pozycje w tym zakresie nie stanowią przeglądu całości wiedzy w obrębie zagadnienia, a jedynie zbiór wybiórczych pozycji, jednak dość umiejętnie uporządkowanych. Trudno jest znaleźć w literaturze opisy badań pomiarowych, jednak próby modelowania zjawisk emisji hałasu, choć trudne, są podejmowane i można było zgłębić ten fragment nieco rzetelniej, podobnie jak same techniki analizy sygnału. Na uwagę zasługuje rozdział poświęcony kolejom zwiększonych prędkości, a zwłaszcza technologii budowy tego typu drogi oraz wymaganiom technicznym stawianym takim konstrukcjom. Choć opis wydaje się być jedynie luźno związany z tematyką pracy, pokazuje jednak głęboką wiedzę praktyczną

Doktoranta w zakresie zagadnień powiązanych z Jego badaniami. Niezależnie od uwag związanych z ukierunkowaniem przeglądu literatury, należy podkreślić ogromną liczbę cytowanych pozycji, co świadczy o dużym nakładzie pracy Autora włożonej w poznanie tematu.

Urządzenia pomiarowe, stanowisko pomiarowe i obiekt ruchomy badań, czyli pojazd ED250 przystosowany do poruszania się ze zwiększonymi prędkościami, zostały dobrze wybrane, a sam przebieg pomiarów wydaje się być prawidłowy. Wątpliwości budzi fakt, że hałas mierzono dla prędkości niższych niż 200 km/h, a to wyklucza zastosowanie sformułowanych wniosków do prędkości wyższych, charakterystycznych dla kolei dużych prędkości, których pojazdy emitują zwiększony hałas aerodynamiczny. W efekcie mamy do czynienia z pojazdem zwiększonych prędkości (jak w tytule rozprawy), ale poruszającym się z niezbyt dużą prędkością, jak na tego typu pojazdy. Można też mieć wątpliwości co do reprezentatywności badań, przeprowadzonych w krótkim okresie czasu, przy niezmiennych warunkach atmosferycznych. Dziwnym wydaje się tu być powołanie na praktyczne wymagania takich pomiarów – te mogą być pomocne, jednak badawczy charakter prowadzonych pomiarów wskazywałby na konieczność wykroczenia poza ustalone zasady.

Sama analiza pozyskanych sygnałów (z podziałem na pasma tercjowe), według opisu wykonana w środowisku Matlab, z pomocą narzędzi Excel, jest poprawna. Brakuje bardziej dokładnego opisu sporządzenia przedstawionych wykresów (analizy sygnałów), co zapewne jest spowodowane ich pozyskaniem bezpośrednio z oprogramowania urządzeń pomiarowych.

Oparcie własnych prób poprawy istniejących opisów i algorytmów propagacji dźwięku na porównaniu z istniejącymi rozwiązaniami stosowanymi powszechnie w innych krajach należy uznać za prawidłowe. Zastanawiające jest zadanie weryfikacji tych modeli, niezrozumiałe dla czytelnika. W sposób poprawny wykonano natomiast weryfikację autorskiego wskaźnika obciążenia hałasem (NLF).

Nieco niepokojąca jest część porównawcza zaproponowanej modyfikacji logarytmicznej modelu propagacji dźwięku, którą pokazano jedynie w odniesieniu do jednej ze stosowanych metod. Porównanie takie powinno być wykonane dla kilku opisanych wcześniej modeli.

### **3.3. Najważniejsze osiągnięcia Autora**

Do najważniejszych osiągnięć Autora (wskazanych w rozprawie) należy zaliczyć:



1. Przeprowadzenie eksperymentu badawczego dotyczącego identyfikacji dominujących źródeł oddziaływań oraz oceny propagacji hałasu generowanego przez pojazdy firmy Alstom typ ETR610 seria ED250 – Pendolino wraz z opisem rezultatów.
2. Opracowanie autorskiej metody prowadzenia badań eksperymentalnych, polegających na rejestracji i pomiarze sygnałów akustycznych, opartej o wykorzystanie kamery akustycznej oraz macierzy mikrofonowej umieszczonej w przekroju pomiarowym.
3. Stworzenie sygnatury akustycznej dla pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości eksploatowanych w warunkach krajowych, dzięki rejestracji przebiegu poziomu dźwięku w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz analizie propagacji hałasu w otoczeniu, z podziałem na pasma tercjowe z zakresu hałasu słyszalnego.
4. Budowę i weryfikację autorskiego modelu propagacji hałasu kolejowego do najbliższej strefy oddziaływania w tercjowych pasmach częstotliwości w zakresie pasma słyszalnego (20 Hz- 20 kHz)
5. Opracowanie autorskiego wskaźnika obciążenia hałasem, służącego do oceny oddziaływań akustycznych pojazdów kolejowych, w tym pojazdów zwiększonych prędkości.
6. Identyfikację dominujących źródeł hałasu dla analizowanego obiektu badań.
7. Rozpoznanie częstotliwości dominujących i zakresów poziomów dla indywidualnych źródeł hałasu pochodzących od eksploatacji pociągów zwiększonych prędkości.

Można uznać, że rozprawa stanowi oryginalne i wartościowe opracowanie spełniające warunki stawiane rozprawom doktorskim. Przedstawiona analiza jest interesująca, a zaproponowane rozwiązania (model, wskaźniki oraz metodyka pomiarów) mogą być pomocne w dalszych praktycznych badaniach.

Ocena pracy jest zatem pozytywna. Nie można jednak pominąć omówienia pewnych usterek, które częściowo wskazane zostały w rozdziale 3.2. W kolejnych rozdziałach opisano pozostałe uwagi ogólne i szczegółowe.

#### **4. Uwagi ogólne**

1. Autor wskazuje, że proponowana procedura eksperymentu pomiarowego wraz z oceną zmiany poziomu hałasu, oparta na przeprowadzonych badaniach, jest uniwersalna i może być zastosowana w przypadku pojazdów inne niż badany ED250. Stwierdzenie



to wymaga poparcia konkretnymi danymi, przynajmniej przykładowymi, dla innych pojazdów. Wniosek mówiący o identyfikacji głównych źródeł hałasu generowanego przez pojazdy zwiększonych prędkości (wskazano hałas toczenia i pracę jednostek napędowych) jest nieprecyzyjny, gdyż dotyczy jedynie badanych prędkości, stosunkowo niskich jak na koleje dużych prędkości.

2. Trudno dociec, co Autor rozumie przez weryfikację istniejących „modeli do obliczeń hałasu”. Skoro są to modele powszechnie stosowane, jak sam wskazuje, zapewne zostały zweryfikowane już wcześniej. Nawet jeśli zamierzano dokonać ich ponownej weryfikacji, to określenie „weryfikacja” zostało tu użyte na wyrost w stosunku do pokazanych działań. W innym miejscu, Autor pisze o weryfikacji pomiarów, co wprowadza dodatkowy zamęt. W efekcie nie wiadomo, co jest za pomocą czego weryfikowane.
3. Trudno wywnioskować, co Autor rozumie przez określenie „najdokładniejsze odwzorowanie”. Nie zostało określone żadne kryterium służące ocenie dokładności, np. w odniesieniu do proponowanego modelu propagacji hałasu. Pisze co prawda o współczynnikach korelacji w formie syntetycznej, ale brak jest obliczeń dla konkretnych przypadków (lub zostało to niewystarczająco wyjaśnione), pokazujących faktyczne wartości takiego współczynnika.
4. Dlaczego wyniki uzyskane dla proponowanego modelu logarytmicznego propagacji hałasu zostały porównane tylko z jednym z pozostałych opisanych modeli? Zaprezentowano bardzo ograniczony zbiór wyników dotyczących proponowanego podejścia. Dodatkowo, w podpisach pod rysunkami użyto określenia „dopasowanie”, które sugeruje „ręczne” sterowanie procesem – bardziej odpowiednim byłoby np. określenie „zgodność”.
5. Zważywszy na charakter badawczy opisanych prac, wskazane było wykonanie pomiarów w warunkach pogodowych innych niż opisane w rozdziale 4.2.5. Uzasadnienie, że mieściły się one w warunkach granicznych określonych w Rozporządzeniu wydaje się dziwne, choć uzasadnione z praktycznego punktu widzenia. Wykonanie pomiarów w przypadku warunków atmosferycznych odbiegających od określonych poparłoby stwierdzenie o uniwersalności uzyskanych wyników.
6. Jaką korzyść można wskazać w przypadku badania zakresów tercjowych sygnałów, zamiast oktawowych? Nie podano sposobu uzyskania przedstawionych rozkładów

amplitudowo-częstotliwościowych. W rozdziale 1.1 opisano falki jako możliwe narzędzie służące do tego typu analizy, co jest wysoce wskazane.

7. Stwierdzenie, że głównym składnikiem hałasu (nie źródłem, jak napisano w rozprawie) dla badanego obiektu, tj. pojazdu poruszającego się z prędkością około 200 km/h, jest hałas toczenia, jest oczywiste i potwierdzone już wcześniej przez innych badaczy. Nie powinno być ono eksponowane jako istotny wynik eksperymentu.

## 5. Uwagi szczegółowe

1. Autor pisze: „Modele 2 i 3 rzędu, poza punktami pomiarowymi, obarczone były dużym błędem oraz rozrzutem wyników we wszystkich zakresach pasm częstotliwości oraz równoważnych poziomów dźwięku, co eliminowało je z dalszych rozważań.” Jak duży to był błąd, jak został on zdefiniowany i oszacowany?
2. Podobnie: „Analiza wyników przebiegów autorskiego modelu, poza punktami pomiarowymi, wykazała duże prawdopodobieństwo odzwierciedlenia zjawiska propagacji hałasu pochodzącego od pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości.” Prawdopodobieństwo jest pojęciem ścisłym. Jak wobec tego obliczono to prawdopodobieństwo i ile ono wynosi?
3. Autor pisze, że potwierdzono skuteczność zaproponowanej metody autorskiego rozwiązania „służącego do kompleksowej oceny oddziaływań akustycznych generowanych przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości”. Trudno jednak uznać to stwierdzenie za prawdziwe w odniesieniu do wyższych prędkości. Jak uzasadnić możliwość wykorzystania opracowanej metody do badania przejazdów z prędkościami wyższymi od rozpatrywanych?
4. W rozdziale 1.4 dotyczącym metod minimalizacji oddziaływań hałasu pominięto kwestię remontów okresowych pojazdów, mających istotne znaczenie dla emisji hałasu, propagacji drgań i komfortu jazdy. Pominięto również zagadnienie aktywnego tłumienia hałasu.
5. Umieszczenie w rozprawie rozbudowanego załącznika, bez przynajmniej ogólnego komentarza, wydaje się być zbędne. Jaki był cel pokazania umieszczonych tam wykresów?  
W tekście głównym, często z kolei mówi się o „przykładowych wykresach”. Bardziej wskazane byłoby dokonanie szerszego wyboru wyników uzasadniających sformułowane spostrzeżenia, kosztem być może całkowitego usunięcia załączników.



6. Jak należy rozumieć określenie „przejazd reprezentatywny”?
7. Jak Autor rozumie pojęcie „weryfikacja”? W jaki sposób należałoby dokonać pełnej walidacji wyników? Jej wykonanie pozwoli na rzeczywiste wykorzystanie proponowanego sposobu oceny hałasu w szerszym zakresie badanych obiektów.
8. Zbyt często używane jest słowo „reprezentatywny”, np. pisząc o próbkach sygnałów, przykładowych przejazdach, macierzach pomiarów, przebiegach, przykładzie pojazdu kolejowego zwiększonych prędkości (ED250). Nie do końca wiadomo, czy jest ono używane potocznie, czy faktycznie istnieją jakieś kryteria pozwalające na określenie obiektów, o których mowa, jako reprezentatywne. Jedynie opis metodyki wyboru przejazdów reprezentatywnych opisano w rozdziale 5.1. W pozostałych przypadkach należało ograniczyć używania tego określenia.

## 6. Uwagi językowe i redakcyjne

1. Choć praca jest napisana poprawnie, zawiera jednak sporo ogólnikowych określeń, powtórzeń, czy też niewłaściwego użycia słów. Przykłady poniżej:

„Duża liczba czynników oraz ich zmienność powoduje, że dobór odpowiednich środków minimalizujących hałas kolejowy jest często zadaniem trudnym i ciężkim do oszacowania.” – co właściwie jest ciężkie i co szacujemy?

„Niniejsza rozprawa doktorska jest próbą oceny wpływu hałasu generowanego przez wybrany pojazd kolejowy zwiększonych prędkości podczas jego standardowej eksploatacji.” – czy prędkość 200 km/h można uznać za standardową eksploatację pojazdów zwiększonych prędkości? W dodatku: wpływu hałasu na co?

„W kolejnej części pracy, stanowiącej rozdział 6, wskazano najważniejsze istniejące empiryczne modele propagacji hałasu...” – słowo „najważniejsze” jest tu niefortunnie użyte, bo nie wiemy jakie są kryteria ważności.

„...przeanalizowano wybrane modele oceny hałasu kolejowego pod względem ich najdokładniejszego odzwierciedlenia zjawiska propagacji...” – słowo „najdokładniejszego” budzi wątpliwości, bo nie wiadomo nic o kryteriach dokładności.

„W przypadku fali kulistej, występującej w przypadku...”

2. Separator dziesiętny powinien być stosowany w sposób jednolity (patrz Tabela 31).
3. Str. 173: „Adresy stron internetowych aktualne na dzień” – nie podano daty.
4. Umieszczenie obszernych załączników (łącznie 149 stron) zawierających tylko wykresy, bez żadnych dodatkowych komentarzy, wydaje się zbędne. Należało wybrać przykłady istotne z punktu widzenia realizacji celu rozprawy.

#### **7. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską Pana mgr. inż. Krzysztofa Polaka pt. „Ocena wpływu hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe zwiększonych prędkości na otoczenie”, stwierdzam, że Autor przedstawił oryginalne rozwiązanie poprawnie sformułowanego problemu naukowego. Można również uznać, że Doktorant posiada szeroką ogólną wiedzę w zakresie badania propagacji hałasu kolejowego na otoczenie drogi kolejowej oraz ma umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Praca spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie jej do obrony publicznej.



Piotr Koziol