

Warszawa, dnia 30 grudnia 2024 r.

dr hab. inż. Michał Sarnowski, prof. uczelni
Instytut Dróg i Mostów
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska
Aleja Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa
tel. +48 22 234-57-41
e-mail: michal.sarnowski@pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Marcina Wrótnego**
pt. „**Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości
ochrony przed hałasem**”

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, prof. uczelni,
a promotorem pomocniczym dr inż. Krzysztof Śledziewski.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo jest pismo (znak: RDNILGiT – 18/2024) Pana Zastępcy przewodniczącego ds. postępowań awansowych Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej dr hab. inż. Tomasza Lipeckiego, prof. uczelni z dnia 23.10.2024 r., realizującego Uchwałę Nr 2024/X/03 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej z dnia 23.10.2024 r. dotyczącą powołania recenzentów rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Wrótnego.

Podstawę prawną do wykonania recenzji stanowią obowiązujące przepisy Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571).

2. Podstawowe dane o kandydacie

Pan mgr inż. Marcin Wrótny uzyskał tytuł magistra w 2018 r. w Politechnice Lubelskiej na kierunku Budownictwo, w specjalności Drogi, mosty i ekoinfrastruktura. Kandydat nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

Od 2019 r. jest uczestnikiem Szkoły Doktorskiej w Politechnice Lubelskiej, a od 2021 r. pracuje na stanowisku asystenta w Katedrze Dróg i Mostów na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Do Jego osiągnięć związanych z pracą naukowo-badawczą należy zaliczyć współautorstwo pięciu publikacji naukowych, dwóch fragmentów książek i co najmniej dwóch znaczących materiałów konferencyjnych.

W latach 2019 – 2023 uczestniczył w realizacji dwóch projektów naukowo-badawczych, w tym jednego projektu współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Działania 4.1 Program Operacyjny Inteligentny Rozwój – NCBR.

Od 2023 r. jest członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej.

3. Przedmiot recenzji

Zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, przedmiotem recenzji jest sprawdzenie czy praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czy prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy problemu naukowego z zakresu dróg szynowych, mieści się więc w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

4. Ocena aktualności wybranej tematyki, celu i zakresu pracy

Recenzowana rozprawa podejmuje problem **określenia wpływu zastosowania metod ochrony przed hałasem na liniach kolejowych na generowany przez pojazdy szynowe poziom dźwięku oraz badania wpływu parametrów technicznych oraz ruchowych na wartość otrzymywanej redukcji dźwięku.**

Jak Doktorant słusznie zauważył, dynamicznie rozwijająca się infrastruktura transportowa ma ogromny wpływ na środowisko, zarówno przyrodnicze, jak i społeczne. Jednym z głównych, negatywnych czynników jej oddziaływania na środowisko jest hałas pochodzący od transportu, w tym transportu kolejowego, który uznawany jest za jedno z najbardziej niekorzystnych oddziaływań. Zjawisko powstawania hałasu kolejowego jest zagadnieniem nadzwyczaj złożonym, ponieważ emisja hałasu kolejowego zależy od wielu czynników. Duża liczba istotnych czynników stwarza jednak możliwość stosowania różnego rodzaju zabezpieczeń akustycznych, których główną rolą jest redukcja generowanego hałasu kolejowego. Przeprowadzony przez Doktoranta przegląd literatury wykazał, że temat zabezpieczeń akustycznych stosowanych na drogach szynowych, nie został wystarczająco szczegółowo zbadany. W Polsce zagadnienie to jest często kojarzone wyłącznie z ekranami przeciwhałasowymi, z pominięciem innych sposobów ochrony, szczególnie tych stosowanych u źródła, tj. w strefie emisji. Wniosek ten stał się podstawą do sformułowania problemu naukowego, który przedstawiono na wstępie niniejszego rozdziału. Mając na uwadze planowaną realizację programu budowy nowej sieci linii kolejowych związanych z powstawaniem m.in. Centralnego Portu Komunikacyjnego, należy zgodzić się z Doktorantem, który stwierdza, że przy tak dużym zakresie przestrzennym inwestycji będzie dochodziło do różnorodnych kolizji z otoczeniem, w tym również w postaci niekorzystnych oddziaływań w zakresie hałasu kolejowego. Stwarza to potrzebę stosowania zabezpieczeń akustycznych, których skuteczność powinna być kompleksowo i dogłębnie przeanalizowana. Dlatego też podjęty w rozprawie problem naukowy, stanowiący kontynuację i rozwinięcie krajowych badań i analiz nad wpływem generowanego hałasu kolejowego na środowisko oraz nad sposobami jego minimalizacji, został prawidłowo zdefiniowany, jest aktualny i wpisuje się w nowoczesne, światowe podejście do projektowania i budowy dróg szynowych z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju.

Rozważania podjęte w rozprawie doktorskiej były analizowane w kontekście dwóch głównych, jasno sformułowanych celów badawczych, tj. określenia w warunkach eksploatacyjnych efektywności badanych metod ochrony akustycznej stosowanych na polskich liniach

kolejowych oraz przeanalizowania wpływu poszczególnych parametrów na otrzymywany rezultat redukcji poziomu hałasu kolejowego, takich jak prędkość pociągu czy rodzaj pojazdu szynowego. Wprowadzenie drugiego głównego celu jest uzasadnione, ponieważ charakterystyka skuteczności stosowania środków łagodzących hałas jest określana najczęściej za pomocą średniej wartości redukcji dźwięku, bądź jej zakresu, bez uwzględnienia szczegółowych parametrów taboru kolejowego. Recenzent zgadza się z Doktorantem, który stwierdza, że takie podejście stanowi utrudnienie w odpowiednim doborze rozwiązań akustycznych.

Ponadto Doktorant sformułował dodatkowy cel szczegółowy polegający na analizie skuteczności nowego rozwiązania ochrony akustycznej w postaci podkładki podpodkładowej i tłumika szynowego wykonanych z materiałów recyklingowych. Cel szczegółowy sformułowano w sposób zrozumiały. Zdaniem recenzenta korzystnym, ze względu na przejrzystość rozdziału, byłoby wyszczególnienie wszystkich celów z użyciem punktów.

Wszystkie cele zrealizowano poprzez wybór odpowiedniego planu badań, analizę krajową i w szerszym zakresie zagranicznej literatury technicznej oraz analizę wyników obserwacji polowych przeprowadzonych na terenie całego kraju, częściowo w ramach projektu badawczego realizowanego w Politechnice Lubelskiej, w którym brał udział Doktorant, a częściowo w ramach badań własnych Doktoranta.

W rozprawie nie zostały postawione tezy badawcze, jednak w oparciu o przegląd literatury oraz doświadczenia własne, Doktorant sformułował wymieniony na wstępie problem naukowy.

Dysertacja zawiera zarówno rozważania teoretyczne, oparte na studiach literaturowych, jak i badania empiryczne w zakresie analizowanego problemu naukowego. Zakres badań oraz zastosowana nowoczesna aparatura badawcza są adekwatne do założonego celu. Przyjęty i zrealizowany w recenzowanej rozprawie doktorskiej obszar tematyczny badań i analiz, ma wysoką wartość poznawczą i pozwolił na prawidłową ocenę analizowanego problemu naukowego. Wybrany przez Autora temat, sformułowane cele oraz przyjęty zakres pracy należy uznać za poprawne i uzasadnione. Na podkreślenie zasługuje kompleksowe podejście Doktoranta do realizowanego zagadnienia w zakresie badań polowych i analiz wyników tych badań. Opracowany unikalny autorski wskaźnik akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej, określający maksymalną liczbę pociągów, która może przejechać przez analizowany odcinek w określonym czasie, nie przekraczając wartości dopuszczalnych hałasu w środowisku, umożliwił obszerną analizę wpływu poszczególnych parametrów ruchu kolejowego na ten wskaźnik, uwzględniając również zastosowanie zabezpieczeń akustycznych.

Mając na uwadze powyższe należy stwierdzić, że założone cele i podjęta tematyka badawcza są aktualne i interesujące pod względem naukowym, zatem wybór tematu oraz jego przedstawienie w rozprawie doktorskiej uznaję za merytorycznie uzasadnione.

Tytuł rozprawy należy uznać za właściwy i oddający analizowany problem naukowy.

5. Ocena rozprawy

5.1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Opiniowana praca jest w formie książkowej i zawiera 142 strony. Zasadnicza część rozprawy składa się z 8 rozdziałów poprzedzonych spisem treści, oraz wykazem symboli i oznaczeń, co wspomaga przejrzystość analiz.

Po ostatnim rozdziale zawierającym kierunki dalszych prac znajdują się bibliografia, spisy rysunków, fotografii i tabel oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. W poszczególnych rozdziałach zamieszczono 76 rysunków, 12 fotografii oraz 19 tabel. Z bibliografii nie wydzielono oddzielnego spisu dokumentów technicznych oraz norm, a wykaz literatury nie został uporządkowany alfabetycznie, według pierwszego autora, co znacznie poprawiłoby jej czytelność oraz ułatwiłoby ocenę źródeł literaturowych. W bibliografii znalazło się 166 pozycji, na które składają się 152 publikacje naukowe, w tym raporty z badań, 8 dokumentów prawnych (ustaw i rozporządzeń), 5 norm i jedna strona internetowa. Właściwy dobór bibliografii stanowi potwierdzenie wysokiej wartości merytorycznej części literaturowej rozprawy. W przybliżeniu połowa publikacji została opublikowana po roku 2010, co potwierdza aktualność cytowanych źródeł. Współautorem trzech prac naukowych znajdujących się w bibliografii jest Doktorant, co potwierdza Jego duży wkład w analizowany w niniejszej rozprawie problem naukowy.

Streszczenie w języku polskim jest napisane w czytelny sposób i w zakresie merytorycznym odzwierciedla charakter rozprawy naukowej. Streszczenie w języku angielskim jest również przygotowane poprawnie. Korzystnym byłoby umieszczenie w streszczeniach informacji, że badania przeprowadzono na polskiej sieci linii kolejowych.

We wstępie (rozdział 1) Autor krótko opisał problem naukowy i przedstawił tematykę pracy doktorskiej. Ogólnie zarysował czynniki oddziałujące negatywnie na otoczenie, ze szczególnym uwzględnieniem generowanego hałasu kolejowego. Problem jest tym większy, że przejeżdżające pociągi często powodują oddziaływania akustyczne, które przekraczają wartości dopuszczalne, chociaż w Polsce oraz w wielu krajach europejskich wartości te są wyższe od rekomendowanych przez Światową Organizację Zdrowia (WHO). Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami ochrony akustycznej są ekrany przeciwhałasowe, których efektywność działania jest wysoka, jednak nie pozbawiona również wad. Alternatywę dla ekranów stanowią metody redukcji hałasu stosowane u źródła, czyli w konstrukcji drogi kolejowej. Doktorant we wstępie wymienia alternatywne metody redukcji hałasu u źródła i zarysowuje sposób wyboru lokalizacji poligonów pomiarowych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że w celu określenia rodzajów i ilości zastosowanych środków ochrony przed hałasem zostały przeanalizowane dane na temat wbudowanych zabezpieczeń akustycznych, które pozyskano w 2020 r. od zarządców dróg kolejowych w Polsce. Potwierdza to wysoką aplikacyjność rozprawy. W ostatniej części wstępu Autor krótko opisał zawartość wszystkich 8 rozdziałów rozprawy, w prawidłowy sposób charakteryzując przeprowadzone w pracy badania i analizy. Należy stwierdzić, że Doktorant właściwie uzasadnia we wstępie potrzebę podjęcia problemu naukowego i zarysowuje sposób jego rozwiązania.

W rozdziale 2 został sformułowany problem naukowy oraz cele pracy. Jak wspomniano wcześniej, cele pracy należy uznać za właściwe. Ponadto należy stwierdzić, że rozdział 2 stanowi prawidłowe wprowadzenie do zagadnień analizowanych w dalszej części rozprawy.

W rozdziale 3 (Aktualny stan wiedzy) Doktorant opisał zjawisko generowania hałasu kolejowego wraz ze szczegółową identyfikacją składowych źródeł, co było kluczowe w interpretacji późniejszych wyników badań. Następnie zostały przedstawione najważniejsze informacje na temat prognozowania hałasu kolejowego oraz jego negatywnego wpływu na zdrowie mieszkańców. W kolejnej części rozdziału dokonano obszernego przeglądu

literatury na temat stosowanych metod redukcji poziomu dźwięku na świecie z uwzględnieniem podziału zabezpieczeń akustycznych na strefę ich stosowania. Analiza dostępnych prac naukowych, ze znaczącym udziałem literatury zagranicznej, pozwoliła na określenie parametrów wpływających na skuteczność działania środków ochrony przed hałasem. Proces ten był niezbędny do pełnego zrozumienia omawianych zagadnień i kompleksowego podejścia do wykonywanych badań. W prawidłowy sposób wyselekcjonowano również czynniki, które nie zostały dostatecznie zbadane i skupiono się na realizacji badań pozwalających na uzyskanie informacji na temat wpływu tych czynników na wyniki redukcji hałasu kolejowego. Przegląd literatury uwidoczniał, że skuteczność działania barier przeciwhałasowych, pod względem szeregu kryteriów, została przeanalizowana w szerokim zakresie w ramach polskich oraz zagranicznych badań. Uwzględniając ten czynnik w niniejszej pracy skupiono się na środkach ochrony przed hałasem kolejowym stosowanych w strefie emisji. Efektywność barier przeciwhałasowych poddano analizie wyłącznie pod względem zakresu otrzymanych wartości redukcji. Zdaniem recenzenta założenie to było słuszne. W celu eliminacji błędnego zestawiania wyników obejmujących różny czas trwania zdarzenia akustycznego Doktorant wykorzystał wskaźnik poziomu ekspozycyjnego pojedynczego zdarzenia akustycznego. Zastosowanie tej procedury pozwoliło na bezpośrednie porównywanie wyników pomiarów dotyczących różnych kategorii pociągów, poruszających się z różnymi prędkościami. Ważnym i słusznym wnioskiem sformułowanym na podstawie danych literaturowych oraz doświadczeń własnych Doktoranta jest stwierdzenie mówiące o tym, że parametr prędkości wpływa na pasmo częstotliwości, w którym występuje maksymalna wartość poziomu dźwięku. Wraz ze wzrostem prędkości pasmo, w którym występuje pik przesuwa się w stronę wyższych częstotliwości. Dlatego tak ważnym czynnikiem towarzyszącym zjawisku wzrostu poziomu dźwięku, wraz ze zwiększaniem prędkości, jest charakterystyka częstotliwościowa.

W rozdziale 4 (Badania emisji hałasu kolejowego) Doktorant opisał wykonane badania terenowe. Scharakteryzował wybrane lokalizacje pomiarowe oraz parametry konstrukcyjne badanych linii kolejowych. Szczegółowo opisał analizowane środki redukujące hałas, biorąc pod uwagę ich cechy geometryczne oraz materiałowe. Kolejna część rozdziału wyjaśnia zastosowaną w pracy kategoryzację taboru kolejowego poprzez opis poszczególnych rodzajów pojazdów szynowych. Ponadto omówiono metodologię wykonanych badań terenowych wraz z przedstawieniem zastosowanej aparatury pomiarowej, omówieniem układu pomiarowego oraz podsumowaniem warunków atmosferycznych panujących podczas wykonywania badań.

Zarówno przyjęty plan pomiarowy, jak i metody badawcze należy uznać za prawidłowe i odpowiednio uzasadnione. Pozwalają one na właściwą ocenę wpływu poszczególnych czynników oraz zastosowanych rozwiązań ochrony akustycznej na otrzymane wartości redukcji generowanego hałasu. Badania terenowe dotyczące generowanego poziomu dźwięku oraz parametrów ruchu kolejowego zostały wykonane w sześciu województwach od 2020 do 2023 r. Pomiary objęły łącznie 31 dni pomiarowych, a łączny czas ich wykonania wyniósł 238 godzin.

Rozdział 5 (Wyniki pomiarów terenowych poziomu dźwięku), stanowiący kluczowy rozdział pracy, można podzielić na 6 podstawowych części. Przeprowadzono tu szczegółową analizę wyników badań uzyskanych z poligonów badawczych. W pierwszej części rozdziału przedstawiono liczebności wszystkich pomiarów i sumaryczne rezultaty dotyczące takich parametrów jak prędkość pojazdów szynowych czy poziom dźwięku, uwzględniając podział na lokalizacje oraz rodzaj taboru kolejowego. Należy zwrócić uwagę na liczebność próby

pomiarowej - we wszystkich 11 lokalizacjach zarejestrowano łącznie 562 przejazdy pociągów o zróżnicowanym charakterze. W każdej lokalizacji liczba rejestrowanych przejazdów była jednak różna. Uwzględniając podwójne przekroje pomiarowe w przypadku badań zabezpieczeń akustycznych oraz rejestrowanie dźwięku w widmie częstotliwościowym, zgromadzono łącznie ponad 23500 danych dotyczących generowanego poziomu dźwięku. Następnie wykonano analizę zależności między poziomem ekspozycyjnym dźwięku, a prędkością pociągów. Na tym etapie skupiono się na wyznaczeniu równań regresyjnych w przypadku każdego rodzaju pociągów, bez podziału na lokalizacje. Dodatkowo wykonano akustyczną ocenę wpływu stanu technicznego konstrukcji linii kolejowych na uzyskane wyniki poziomu hałasu. Kolejny etap rozdziału dotyczy badanych rozwiązań ochronnych przed hałasem kolejowym. Zawarto w nim opis procedury obliczeniowej redukcji poziomu dźwięku oraz przedstawiono wyniki pomiarów. Zwraca uwagę rzetelność przeprowadzonych pomiarów – przykładowo, bezpośrednie porównanie poziomów ekspozycyjnych dźwięku, przed i po implementacji smaru, wykonano między przejazdami pociągów charakteryzujących się tożsamym typem, jednakową prędkością, liczbą wagonów oraz długością całkowitą pojazdów. Takie podejście zapewniło wiarygodność otrzymanych rezultatów. Ważnym elementem rozdziału jest badanie zależności między redukcją poziomu dźwięku, a prędkością pociągu. Wykonano ją dla każdego analizowanego zabezpieczenia akustycznego biorąc pod uwagę podział na rodzaj pojazdu szynowego. Ostatnia część rozdziału dotyczy analizy widma częstotliwościowego. Pomiary wykonano przy użyciu mierników rejestrujących dźwięk z użyciem filtrów tercjowych, co umożliwiło na zbadanie charakterystyki częstotliwościowej analizowanych przejazdów pociągów. Pozwoliło to również na ocenę wartości redukcji hałasu i opracowanie zagadnień dotyczących skuteczności zabezpieczeń akustycznych w pasmach częstotliwości. Aspekty te były istotne w kontekście kompleksowego omówienia funkcjonalności środków ochrony przed hałasem, które działają najczęściej w ograniczonym zakresie częstotliwościowym.

Jednym z najważniejszych wniosków sformułowanych w rozdziale 5 jest stwierdzenie, że średnie wartości generowanego poziomu hałasu, w przypadku każdego z analizowanych rodzajów taboru kolejowego, przekraczają wartości dopuszczalne. Przeprowadzona analiza potwierdziła potrzebę stosowania środków ochrony przed hałasem w celu spełniania europejskich wymogów, ale również zmniejszenia negatywnego oddziaływania tego zjawiska na mieszkańców. Cennym elementem tego rozdziału jest porównanie rezultatów zrealizowanych przez Doktoranta badań skuteczności akustycznej różnych środków ochrony przed hałasem z wynikami prac międzynarodowych grup badawczych. Wykazano, że stosowane w Polsce metody łagodzenia hałasu, które zostały przeanalizowane w ramach niniejszej dysertacji, charakteryzują się podobną skutecznością akustyczną jak w przypadku badań wykonanych w innych krajach. Pewne uwagi krytyczne do tej części pracy zostały zgłoszone w rozdziale 5.3. niniejszej recenzji. Analizy przedstawione w rozdziale 5 stanowiły podstawę do zbudowania modelu obliczeniowego przedstawionego w rozdziale 6.

W rozdziale 6 (Akustyczna zdolność przepustowa linii kolejowej) Doktorant przedstawił i zastosował autorską metodę analizy maksymalnej akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej, co stanowi kluczowy element tego rozdziału. Omówiono w nim postępowanie przy opracowaniu algorytmu obliczeniowego oraz opisano niezbędne dane wejściowe. Jest to bardzo cenny element rozprawy. Na podstawie wykonanych symulacji przedstawiono wpływ szeregu czynników na wyniki parametru przepustowości. Uwzględniono m. in. prędkość pociągów, rodzaj zagospodarowania terenu, udział pociągów towarowych oraz rodzaj zastosowanego

zabezpieczenia akustycznego. W ostatniej części rozdziału zastosowano zbudowany model obliczeniowy w rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej i porównano otrzymane wyniki z rezultatami pomiarów wykonanych w tej lokalizacji. Doktorant analizuje wszystkie parametry ze zrozumieniem istoty ocenianych zjawisk i w każdej części rozdziału formułuje interesujące i ważne wnioski dotyczące wyników badań.

Należy zgodzić się z Doktorantem, który stwierdza, że obecnie stosowany parametr przepustowości uwzględnia szereg czynników m.in. prędkość pociągów, niejednorodność struktury ruchu, czy niezawodność rozkładu jazdy, nie uwzględnia jednak czynnika nieprzekraczalności dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Wyznaczone w rozdziale 6 równania regresyjne, na podstawie wyników pomiarów z różnych obszarów Polski, pozwalają na zastosowanie algorytmu obliczeniowego w różnych lokalizacjach w kraju. Ponadto w dostępnych oprogramowaniach dotyczących modelowania hałasu komunikacyjnego problematycznym aspektem jest uwzględnienie środków obniżających poziom generowanego dźwięku. W samodzielnie opracowanym przez Doktoranta algorytmie możliwe jest uwzględnienie zmienności wartości redukcji w zależności od prędkości, co w efekcie przyczynia się do uzyskania dokładniejszych wyników obliczeń. Za ważny wniosek sformułowany w rozdziale 6 można uznać stwierdzenie, że wraz ze wzrostem udziału procentowego pociągów towarowych zmniejszyła się akustyczna zdolność przepustowa linii kolejowej. W podrozdziale 6.3.7. Doktorant przeprowadził interesującą ocenę wpływu zastosowania środków łagodzących poziom hałasu na akustyczną zdolność przepustową linii kolejowej. Mając na uwadze właściwe wyjaśnienie dotyczące pominięcia w dalszych analizach barier przeciwhałasowych, przedstawione w podrozdziale 5.3.1 na str. 67, interesującym byłoby jednak uwzględnienie w analizie zdolności przepustowej również i tego rozwiązania.

W rozdziale 7 (Podsumowanie i wnioski) odpowiadając na przedstawione na wstępie cele badawcze, Doktorant sformułował 11 wniosków, a w ramach ostatniego (jedenastego) wniosku sformułował dodatkowo 6 wniosków szczegółowych. Zdaniem recenzenta, ze względu na obszerny opis poszczególnych wniosków, korzystnym byłoby w pierwszej kolejności sformułowanie krótkich, jednoznacznie brzmiących wniosków o charakterze ogólnym, a następnie rozwinięcie ich we wnioskach szczegółowych. Taki układ zapewniłby większą przejrzystość rozdziału i pozwoliłby łatwo zorientować się w podsumowaniu tak obszernego zakresu badań. Ponadto można zgłosić następujące drobne uwagi do wybranych wniosków końcowych:

- wniosek nr 4: ostatnie zdanie jest niezrozumiałe i wymagałoby przeredagowania;
- wniosek nr 5: drugie zdanie, które brzmi: „Wraz ze wzrostem prędkości, rośnie wartość redukcji dźwięku.” powinno być rozwinięte po przecinku w następujący sposób: „w wyniku zastosowania w strefie emisji analizowanych zabezpieczeń akustycznych.”

Powyższe uwagi i sugestie korygujące nie wpływają na ogólne stwierdzenie, że wnioski skonstruowane są poprawnie, zostały sformułowane na podstawie przeprowadzonych przez Doktoranta interesujących, oryginalnych badań, które właściwie opisano w pracy i stanowią rozwiązanie zdefiniowanego we wstępie rozprawy problemu naukowego. Dodatkowe uwagi dotyczące wniosków, zostały zgłoszone przez recenzenta w rozdziale 5.3. recenzji.

W rozdziale 8 zostały zdefiniowane kierunki dalszych prac, co należy uznać za właściwe postępowanie w procesie każdych badań naukowych. Część z 8 kierunków stanowi kontynuację podjętej problematyki, a część z nich to nowe obszary powiązane z tematem pracy.

Wszystkie kierunki dalszych prac sformułowane są precyzyjnie i stanowią potwierdzenie dużej wiedzy Doktoranta w przedmiotowej tematyce oraz wykraczają, w pozytywnym tego słowa znaczeniu, poza zakres ocenianej rozprawy.

5.2. Struktura, język i redakcja rozprawy

Struktura rozprawy jest prawidłowa. Praca napisana jest poprawnym i przejrzystym językiem, bez stosowania skrótów myślowych. Uwagi dotyczące używanej terminologii zostały zgłoszone w rozdziale 5.3 niniejszej recenzji. W pracy występują drobne błędy redakcyjne i stylistyczne. Poniżej przedstawiono kilka ich przykładów:

- str. 8, wiersz 10 od góry – jest: „Uwzględniając powyższe czynniki, hałas pochodzący od transportu uznawany jest **za jeden** z najbardziej niekorzystnych oddziaływań.” – powinno być: „(...) **za jedno** (...)”;
- str. 61, tytuł podrozdziału 5.2.2. brzmi: „Zależność między poziomem ekspozycyjnych dźwięku a prędkością pociągu”, powinno być: „Zależność między poziomem **ekspozycyjnym** dźwięku a prędkością pociągu”;
- str. 82, wiersz 8 od końca podrozdziału 5.3.4. – zdanie niezrozumiałe, wymagające korekty stylistycznej: „Należy podkreślić, że analizowane wartości dotyczą głównie taboru kolejowego, mianowicie limity nie powinny być przekraczane na całej sieci linii kolejowych.”
- str. 95, wiersz 4 od góry akapitu pod rys. 6.4. – jest: „Analiza odchylenia standardowego wyników umożliwiła wysnucie wniosku o pomijalnym wpływie prędkości, (...)”, korzystniej byłoby: „Analiza odchylenia standardowego wyników pozwoliła na sformułowanie wniosku dotyczącego pomijalnego wpływu prędkości, (...)”;
- str. 107, wiersz 4 od góry akapitu pod rys. 6.18. – jest: „Mając na uwadze ten aspekt, początkowo wykonano analogiczne obliczenia jak w rozdziale 0.” – błędny numer rozdziału;
- str. 112, wiersz 11 od dołu – jest: „Dodatkowo warunki atmosferyczne mogą odgrywać **niepośrednią** rolę w skuteczności obniżania dźwięku za pomocą smarownic.” – powinno być: „(...) **niepośrednią** rolę (...)”;
- str. 121, ostatnie zdanie wniosku nr 4 brzmi: „Ponadto zabezpieczenia akustyczne zastosowane w Skarżysko-Kamiennej mogą wykazywać wyższe wartości redukcji, ponieważ w wykonanych badaniach z uwagi na warunki techniczne, analizę porównawczą wykonano w stosunku do przekroju uwzględniającego przebudowę toru.” – zdanie niezrozumiałe, wymagające korekty stylistycznej.

5.3. Uwagi i pytania recenzenta do pracy

Po zapoznaniu się z treścią poszczególnych rozdziałów zostało zgłoszone kilkanaście uwag krytycznych. Recenzent prosi o ustosunkowanie się Doktoranta do przedstawionych poniżej zagadnień.

- 1) We wstępie rozprawy brakuje zdefiniowania podstawowych pojęć związanych z oddziaływaniami dynamicznymi od linii kolejowej do otoczenia trasy (np. „hałas”, „wibracje”), korzystnym byłoby też przedstawienie tych oddziaływań w formie schematu graficznego. W konsekwencji Doktorant używa pojęć „drgania” i „wibracje” czasem jako synonimów, a czasem jako odrębne pojęcia, np. „powstające drgania i wibracje” (rozdział 1. str. 7);

- 2) W rozprawie występują nieścisłości terminologiczne, związane z bezpośrednim tłumaczeniem zagranicznych publikacji na język polski, bez uwzględnienia utrwalonej w przepisach kolejowych terminologii branżowej – np. pojęcie „torowiska” w konstrukcji drogi kolejowej oznacza płaszczyznę, która oddziela nawierzchnię kolejową od podtorza. Doktorant używa wielokrotnie tego pojęcia zamiast poprawnego „nawierzchnia kolejowa” lub „nawierzchnia torowa”. Niewłaściwie używane jest też pojęcie „tor” zamiast „nawierzchnia kolejowa”. W przypadku toru klasycznego (stykowego) lub bezstykowego używane są błędne pojęcia typu „łączenia łukowe” (str. 32) zamiast „złącza łukowe”. Pojawiają się terminy „nieciągłości linii kolejowych” (np. str. 32), które mogą budzić różne skojarzenia – zamiast pojęcia „złącza szynowe”. Zamiast poprawnej nazwy „system przytwierdzenia szyny” lub „przytwierdzenie szyny” stosowane są niewłaściwe nazwy, np. „mocowanie szyny”. Terminologia ta ściśle zdefiniowana jest w normach PN-EN (np. serii PN-EN 13481 lub PN-EN 13146) oraz przepisach kolejowych. Zamiast „tor beztłuczniowy” (str. 35), powinien być stosowany termin „nawierzchnia kolejowa o konstrukcji bezpodsypekowej”. Zdaniem Recenzenta ujednolicenie stosowanych terminów zgodnie z branżowymi instrukcjami i standardami kolejowymi, np. spółki PKP PLK S.A. (dokumenty techniczne Id, ST), spowodowałoby, że praca byłaby bardziej zrozumiała dla praktyków kolejnictwa zajmujących się budową i utrzymaniem linii kolejowych;
- 3) W pracy nie przedstawiono schematu poligonów pomiarowych, w tym informacji o długości odcinków referencyjnego, pomiarowego oraz buforowego;
- 4) W pracy analizowano metody redukujące hałas kolejowy w strefie emisji w postaci „absorberów szynowych” oraz „tłumików szynowych” traktując je jako różne rozwiązania, co wyraźnie zaznaczono, np. w rozdziale 4.2.1. (pierwszy akapit na str. 43) oraz rozdziale 4.2.3. na str. 50. Tymczasem opisując te rozwiązania w rozdziale 3.3.2. na str. 32-34 obydwa pojęcia stosowane są wymiennie – jako synonimy. Podobnie na str. 51 opisano rozwiązanie zastosowane w Pruszczu Gdańskim jako „tłumiki szynowe”, a na rys. 4.7. to samo rozwiązanie nazywane jest „absorberami szynowymi”. Takie niekonsekwencje w nazewnictwie wprowadzają dezorientację i utrudniają interpretację prezentowanych wyników badań w odniesieniu do danych literaturowych;
- 5) W przedstawionych analizach jako środek redukcji poziomu hałasu (drgań w wysokich częstotliwościach) przyjęto podkładki podpodkładowe (Under Sleeper Pads), oznaczone symbolem Z_5. Uzyskane w badaniach terenowych wartości skuteczności redukcji hałasu są na poziomie ok. 0,8 dB (rys. 5.5). Jak taki wynik ma się do dokładności pomiarowej? Czy nie jest on na poziomie błędu pomiarowego/rozzrutow wyników?
- 6) Doktorant w ramach szerokiego przeglądu literatury skupił się głównie na publikacjach zagranicznych ośrodków, w mniejszym zakresie omawiając dorobek krajowych jednostek naukowych (np. na str. 34). Przykładowo, w ramach realizowanych przez konsorcjum trzech jednostek naukowych: Politechnika Warszawska, Instytut Kolejnictwa i Instytut Ochrony Środowiska projektach BRIK (InRaViS) i (InRaNoS) wykonano pomiary skuteczności tłumików przyszynowych na poligonach pomiarowych, na czynnych liniach kolejowych, przez Akredytowane Laboratorium IOS-PIB. Pomiary realizowane były w kilku kampaniach pomiarowych (w różnych porach roku) i doprowadziły do zbliżonych wyników w stosunku do absorberów przyszynowych zaprezentowanych w niniejszej rozprawie (poligon Nowy Dwór Mazowiecki). Natomiast podkładki USP były szczegółowo analizowane w ramach projektu BRIK InRaViS: „Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego”, dotyczącego ograniczenia wibracji (drgań w niskich częstotliwościach). Przywołane w pracy [125]

akustyczne badania porównawcze dotyczą innej grupy urządzeń – tłumików torowych (elementów pomiędzy główką, a stopką szyny o porowatej strukturze, rozpraszającej i pochłaniającej hałas), a nie tłumików przyszynowych (mocowanych do toków szynowych), których charakter pracy jest zdecydowanie odmienny, co z kolei wpływa na metodologię pomiarową;

- 7) W rozprawie doktorskiej podkładki podpodkładowe (USP) zostały zakwalifikowane jako środek redukujący hałas (drżania w wysokich częstotliwościach). Czy jest to zgodne z wynikami badań zarządców infrastruktury kolejowej za granicą? Wykres przedstawiony na rys. 3.4. pokazuje, że drżania podkładów podpartych na sprężystych podkładach są istotne do ok. 400 Hz (drżania w niskich częstotliwościach: wibracje, ewentualnie tzw. hałas wtórny). Powyżej tej wartości częstotliwości istotne jest ograniczenie drgań szyny lub koła – np. poprzez zastosowanie tłumików szynowych (analogiczne tłumiki można też stosować na kołach pojazdów szynowych). Recenzent prosi, aby Doktorant odniósł się do tego zagadnienia, mając na uwadze, że podkładki USP mogą generować znaczny wzrost kosztu nawierzchni kolejowej, nie przynosząc jednocześnie istotnego ograniczenia poziomu hałasu;
- 8) Doktorant kwalifikując podkładki USP jako środek mogący redukować poziom hałasu odnosi te wyniki do jednej publikacji (tab. 5.3. poz. [132]). Natomiast w publikacji „Artificial neural networks as a tool for selecting the parameters of prototypical under sleeper pads produced from recycled rubber granulate”, Journal of Cleaner Production, 2023, vol. 405, Numer artykułu:136975. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.136975 analizowano zagadnienie statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładek USP w kontekście ich właściwości technicznych, w tym właściwości wibroizolacyjnych. Podkładki podpodkładowe w zależności od wartości modułów sztywności mogą mieć zróżnicowaną funkcję – ochronną warstwy podsypki lub wibroizolacyjną. W rozprawie nie podano jednak podstawowych wartości modułów sztywności podkładek podpodkładowych badanych na poligonie pomiarowym, co czyni wyniki pomiarów trudne w interpretacji. Recenzent prosi o ustosunkowanie się Doktoranta do tej kwestii;
- 9) Czy zdaniem Doktoranta brak w pracy informacji nt. podstawowych charakterystyk badanych absorberów/tłumików szynowych, np. gęstość materiału, masa tłumików, sposób ich mocowania, charakterystyki statyczne i dynamiczne, nie wpływa na jednoznaczną interpretację wyników pomiarów oraz uniemożliwia formułowanie ogólnych wniosków odnośnie tej grupy wyrobów? Z publikacji “Study on Possible Application of Rubber Granulate from the Recycled Tires as an Elastic Cover of Prototype Rail Dampers, with a Focus on Their Operational Durability, Materials, 2021, vol. 14, nr 19, s.1-20, Numer artykułu: 5711. DOI:10.3390/ma14195711 wynika, że różne tłumiki wykazują bardzo zróżnicowaną skuteczność w pomiarach terenowych. Dlatego tak ważne jest odpowiednie zdefiniowanie na wstępie ich właściwości;
- 10) Tab. 4.3 wskazuje, że większość pomiarów była wykonywana w okresie letnim i jesiennym. Dlaczego pomiary akustyczne nie obejmowały 4 pór roku dla każdego poligonu i rozwiązania – w tym zimy? Niska temperatura szyny może mieć wpływ na wyniki pomiarów akustycznych ze względu na inny stan naprężeń w tokach szynowych;
- 11) Jak można wytłumaczyć wzrost skuteczności smarownic, w porównaniu do pozostałych rodzajów zabezpieczeń akustycznych, przy prędkościach pociągów większych niż 150 km/h, co pokazano na rys. 6.19. oraz większych niż ok. 120 km/h wg rys. 6.24?
- 12) Analizując rys. 5.14 – 5.16 na str. 77 Doktorant stwierdza że: „(...) przy prędkości 80 km/h, redukcja dźwięku (po wykonaniu smarowania szyn) wyniosła odpowiednio 2,7 dB, 2,5 dB

- i 2,3 dB rozpatrując samobieżne wagony pasażerskie nowego i starego typu oraz pociągi towarowe.” – jednak z rys. 5.16 nie wynika jednoznacznie w/w redukcja poziomu dźwięku w przypadku pociągów towarowych (brak obserwacji przy tej prędkości);
- 13) Czy smarownice, których zastosowanie może wydłużyć drogę hamowania pojazdu szynowego, z uwagi na kwestie bezpieczeństwa ruchu kolejowego, nie powinny być wyłączone z analiz akustycznych?
 - 14) Rys. 5.19. - jak można wytłumaczyć znaczny przyrost poziomu generowanego dźwięku (o około 2,8 dB) na odcinku zastosowania absorberów szynowych w przypadku przejazdu pociągów pasażerskich wagonowych (P_W) w paśmie o częstotliwości 315 Hz?
 - 15) Przedstawione w legendzie rys. 6.9. równanie krzywej regresyjnej różni się od równania wg wzoru (6.6.) opisującego współczynnik spadku akustycznej zdolności przepustowej w zależności od udziału procentowego pociągów towarowych $WSAP_T$. Z czego wynika różnica w zapisie tych równań?
 - 16) W rozdziale 6.3.8. analizowano istotność czynników wpływających na wartości współczynników akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej. Czy, zdaniem Doktoranta, wnioski wynikające z tej analizy byłyby podobne, gdyby w obliczeniach uwzględniono zabezpieczenia akustyczne w postaci barier przeciwhałasowych, tj. rozwiązania Z_1 i Z_2 ?
 - 17) Wyniki badań zostały poddane w ograniczonym zakresie analizie statystycznej w celu wykazania istotności ocenianych parametrów. W tabeli 6.7. przedstawiono podsumowanie istotności badanych parametrów w odniesieniu do danego współczynnika akustycznej przepustowości linii kolejowej. Recenzent prosi o pełniejsze wyjaśnienie sposobu ustalania istotności tych parametrów niż przedstawiono to w rozdziale 6.3.8. Czy Doktorant wykorzystał lub rozważał wykorzystanie narzędzi statystycznych w postaci testów istotności do oceny wpływu poszczególnych parametrów na analizowane zjawiska?

6. Wniosek końcowy

Pan mgr inż. Marcin Wrótny przeprowadził samodzielne badania w zakresie analizowanego zagadnienia, zarówno na etapie realizacji części teoretycznej, praktycznej (terenowej), jak i analitycznej. Posługując się przyjętą metodyką badawczą zrealizował założony program badań i osiągnął zakładane cele, wykazując umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i formułowania wniosków. Opiniowaną pracę oceniam wysoko. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej jak i formalnej, które nie budzą większych zastrzeżeń. Rezultaty pracy, oprócz wartości naukowej mają też duży potencjał praktyczny i aplikacyjny. Dodatkowo należy podkreślić duży nakład pracy Autora związany z zakresem przeprowadzonych badań i analiz.

Sformułowane w niniejszej opinii uwagi krytyczne nie obniżają w sposób istotny wartości merytorycznej pracy, w związku z tym stwierdzam, że sformułowane w rozprawie cele badawcze zostały osiągnięte i wyrażam przekonanie, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Wrótnego, pt.: **„Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości ochrony przed hałasem”** spełnia wszystkie warunki oraz wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571), stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W związku z tym, stawiam wniosek

o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Wrótnego do publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Ponadto, wobec wysokiego poziomu naukowego rozprawy doktorskiej, składam wniosek o wyróżnienie rozprawy przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej.

Uzasadnienie wniosku znajduje się w załączeniu.

Michał Samowłóci