

Gdańsk dnia 02.01.2025 r.

Dr hab. inż. Grzegorz Ronowski, prof. uczelni
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Zakład Pojazdów Mechanicznych i Techniki Militarnej
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Wrótnego pt.

Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości ochrony przed hałasem

Podstawa opinii: pismo RDNILGiT – 17/2024 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej z dnia 23.10.2024 roku, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Ważność i aktualność problematyki poruszanej w rozprawie.

Autor rozprawy podejmuje niezwykle ważną problematykę dotyczącą zanieczyszczania środowiska hałasem pochodzącym od transportu szynowego. Hałas, który przedostaje się do środowiska ma znaczący wpływ zarówno na zwierzęta jak i na zdrowie ludzi. W przypadku ludzi ekspozycja na hałas powyżej 55 dB może osłabiać percepcję, prowadzić do zmęczenia i problemów ze snem. Warto zauważyć, że długotrwałe narażenie na hałas powyżej 75 dB może być szczególnie szkodliwe. Europejska Agencja Środowiska (EEA) szacuje, że długotrwałe narażenie na hałas powoduje 12 000 przedwczesnych zgonów rocznie w Europie. W przypadku zwierząt nadmierny hałas może prowadzić do zmian w naturalnych siedliskach zwierząt. Wiele gatunków, zwłaszcza ptaków, może unikać obszarów o wysokim poziomie hałasu, co wpływa na ich rozmieszczenie i zachowanie. Hałas może obniżać przyrost masy ciała u zwierząt hodowlanych oraz zakłócać ich procesy rozrodcze. Długotrwała ekspozycja na hałas może prowadzić do stresu, co również negatywnie wpływa na ich zdrowie. Hałas jest zatem nie tylko uciążliwością, ale także poważnym zagrożeniem dla zdrowia ludzi i równowagi ekologicznej. To pokazuje, jak poważnym problemem jest hałas w kontekście zdrowia publicznego.

Transport kolejowy jako bardzo ważna gałąź transportu nie tylko w naszym kraju, ale i na świecie, jest wciąż rozwijany. Jednym z ważnych wymogów jest przepustowość linii. To wiąże się z kolei ze zwiększaniem prędkości i ilości przejazdów pociągów. Ale nie można bezkrytycznie zwiększać przepustowości linii bez uwzględniania możliwości infrastruktury kolejowej jak i wielkości emisji hałasu do środowiska. To oznacza, że ochrona przed hałasem generowanym przez transport kolejowy jest aktualnym problemem.

2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana na 142 stronach i podzielona na 8 rozdziałów. Zawiera ona szereg rysunków, fotografii, tabel oraz 166 pozycji bibliograficznych. W pierwszym rozdziale zawarty jest wstęp. W drugim rozdziale jest precyzyjnie określony problem naukowy, który dotyczy: „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.”

W rozdziale trzecim Autor przedstawia podstawowe wskaźniki opisujące poziom dźwięku, wzory oraz podstawy teoretyczne. Następnie są omówione źródła hałasu kolejowego z uwzględnieniem widm częstotliwości, mechanizmy generowania hałasu oraz jego negatywny wpływ na środowisko z uwzględnieniem licznych odniesień do literatury. W dalszej części tego rozdziału są szczegółowo omówione metody ograniczające poziom hałasu generowanego przez kolej. Została przeprowadzona wnikliwa analiza, w oparciu o liczne odniesienia do literatury, poszczególnych rozwiązań w strefie emisji jak i imisji. Przeanalizowano wpływ w strefie emisji takich rozwiązań jak: obniżenie prędkości pociągów, wymiana starego taboru kolejowego na nowy, szlifowanie szyn, stosowanie smarownic, wbudowanie absorberów szynowych i podkładek pod podkładami oraz wykorzystanie odpowiednich systemów hamulcowych. Na zakończenie rozdziału trzeciego omówiono wpływ przegród pionowych (ekrany akustyczne) na ograniczanie imisji hałasu generowanego przez kolej.

Rozdział czwarty niniejszej rozprawy dotyczy metodologii prowadzenia badań hałasu generowanego przez transport kolejowy. Na wstępie opracowano algorytm badań i analiz generowanego poziomu dźwięku przez przejeżdżające pociągi. Algorytm ten uwzględnia zależność pomiędzy poszczególnymi parametrami oraz skuteczność zabezpieczeń akustycznych. Następnie Autor szczegółowo opisuje miejsca wyznaczone do prowadzenia pomiarów. Przewidziano 11 poligonów badawczych, które zostały tak wybrane, aby zapewnić odpowiednią ilość przejeżdżających pociągów a także właściwe tło akustyczne. Przy wyborze miejsc położenia poligonów również uwzględniono brak łuków pionowych i poziomych oraz dobry stan techniczny torowisk. Kolejnym ważnym aspektem była możliwość przebadania środków redukujących hałas kolejowy. Dlatego też część poligonów zawierała takie rozwiązania jak ekrany przeciwhałasowe, absorbery i tłumiki szynowe, podkładki podpokładowe oraz smarownice szyn. Następnym ważnym elementem rozdziału był fragment dotyczący klasyfikacji taboru kolejowego. Tabor ten został podzielony na siedem klas: sześć grup pociągów oraz lokomotywę. W dalszej części rozdziału Autor przedstawił system pomiarowy, który był wykorzystywany podczas prowadzenia badań. Zostały omówione poszczególne urządzenia pomiarowe oraz to w jakiej pozycji względem torowiska był umieszczany mikrofon. Następnie zostały przedstawione warunki meteorologiczne panujące podczas prowadzenia pomiarów osobno dla każdego poligonu. Prowadzone badania akustyczne taboru kolejowego objęły łącznie 31 dni pomiarowych. Łączny czas ich wykonania wyniósł 238 godzin w 6 województwach od 2020 do 2023 roku. Zarejestrowano łącznie 562 przejazdy pociągów o zróżnicowanym charakterze. Sumarycznie zgromadzono ponad 23500 danych dotyczących generowanego poziomu dźwięku.

W rozdziale piątym Autor przedstawił w usystematyzowany sposób rezultaty pomiarów hałasu generowanego przez ruch kolejowy. Na początku przedstawiono liczbę zmierzonych przejazdów pociągów z podziałem na kategorie wraz z uzyskanymi prędkościami i poziomami dźwięku. Następnie zaprezentowano zależności między poziomem ekspozycyjnym dźwięku a prędkością pociągu. Zależności te aproksymowano funkcjami liniowymi. W dalszej części rozdziału przedstawiono akustyczną ocenę stanu technicznego konstrukcji linii kolejowych. Do tej oceny wykorzystano samobieżne wagony pasażerskie nowego i starego typu. W dalszej kolejności równoważne poziomy dźwięku uzyskane dla poszczególnych typów pociągów, po znormalizowaniu do prędkości odniesienia równej 80 km/h, odniesiono do dopuszczalnych poziomów dźwięku zgodnie z Rozporządzeniem Komisji Unii Europejskiej. Cztery z sześciu grup pociągów generowały znacznie wyższe poziomy dźwięku niż jest to dopuszczalne. Dalsza część rozdziału dotyczyła redukcji poziomu dźwięku przy wykorzystaniu metod łagodzących hałas kolejowy. Przeanalizowano 8 wariantów rozwiązań mających na celu ograniczenie hałasu generowanego przez pociągi. Zaprezentowano rezultaty możliwej redukcji generowanego

hałasu przy wykorzystaniu poszczególnych rozwiązań. Wyniki te okazały się w znacznej mierze zgodne z rezultatami opisywanymi w literaturze światowej. Następnie szczegółowo przeanalizowano zależność redukcji dźwięku w funkcji prędkości jazdy w poszczególnych grupach pociągów. Analizowano nie tylko poziomy całkowite generowanego hałasu, ale również widma częstotliwościowe z podziałem na tercje. Kończąc rozdział wykazano, iż mimo zastosowania absorberów szynowych, nadal 4 grupy pociągów wykazywały znaczne przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu.

Rozdział szósty niniejszej rozprawy doktorskiej, dotyczy analizy akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej. Na początku przedstawiono plan badań symulacyjnych według schematu postępowania przedstawionego na rys. 6.1. Zdefiniowano warunki brzegowe oraz dane początkowe niezbędne do prowadzenia dalszych analiz. Między innymi określono: rodzaj terenu, strukturę rodzajową taboru kolejowego, zakresy prędkości poszczególnych rodzajów pociągów czy uwzględniane prędkości w poszczególnych wariantach obliczeniowych. Do uwzględnienia korekcji poziomu dźwięku w funkcji odległości od torowiska skorzystano z oprogramowania SoundPLANessential. Dzięki takiemu przygotowanym danych uzyskano 5976 kombinacji poszczególnych czynników wejściowych. Dalsza część rozdziału dotyczy analizy wpływu poszczególnych czynników na generowany poziom dźwięku poprzez pociągi w oparciu o opracowany model obliczeniowy. Analizę rozpoczęto od określenia wpływu natężenia ruchu na generowany hałas w funkcji odległości od osi toru. Następnie przeanalizowano wpływ prędkości oraz odległości od osi toru na akustyczną zdolność przepustową linii kolejowej. Kolejne czynniki jakie były analizowane w kontekście akustycznej zdolności przepustowej to udział procentowy pociągów towarowych w strukturze taboru kolejowego oraz wymiana taboru kolejowego na szybkie pojazdy szynowe. W tym samym kontekście przeanalizowano akustyczną zdolność przepustową regionalnej linii kolejowej dedykowanej autobusom szynowym. W dalszej części przeprowadzono obszerną analizę wpływu środków łagodzących poziom hałasu na akustyczną zdolność przepustową linii kolejowej. Pod koniec rozdziału przeanalizowano istotność czynników taki jak: struktura rodzajowa taboru, prędkość pociągów, rodzaj terenu, czas obserwacji, odległość od osi toru i metoda redukcji dźwięku, które wpływają na wartość współczynników akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej. Na zakończenie rozdziału przeprowadzono weryfikację opracowanego modelu obliczeniowego. Do weryfikacji wykorzystano wyniki uzyskane podczas całodobowego pomiaru hałasu kolejowego w miejscu, w którym występowały różne rodzaje taborów kolejowych. Wykonano pomiary dla 249 pociągów przejeżdżających w ciągu jednej doby. Uzyskane różnice pomiędzy wartością obliczoną a zmierzoną były mniejsze od 1,4 dB.

W rozdziale siódmym zawarto podsumowanie niniejszej dysertacji oraz przeprowadzono wnioskowanie. Opracowano łącznie 11 wniosków podsumowujących wcześniej przeprowadzone analizy dotyczące generowanego hałasu przez przejeżdżające pociągi. Pracę tę kończy rozdział ósmy, w którym wyznaczono 8 kierunków dalszych prac.

3. Ocena treści rozprawy doktorskiej.

Autor niniejszej rozprawy doktorskiej podjął się bardzo ważnej i aktualnej problematyki, jaką jest ochrona przed hałasem generowanym przez przejeżdżające pociągi. Jednakże dziedzina ta jest dość skomplikowana z uwagi na różnorodność taboru kolejowego pod względem technicznym jak i technologicznym. To samo tyczy się istniejących torowisk. Kolejną trudnością, którą należy podkreślić, jest samo prowadzenie badań w terenie gdzie badacz ma znacznie mniejszą kontrolę nad parametrami otoczenia. W takich warunkach trzeba znacznie większego

nakładu pracy aby uzyskać, w miarę możliwości, powtarzalne wyniki badań. Autor mimo złożoności problemu doskonale poradził sobie z przeprowadzeniem badań oraz właściwym wnioskowaniem. Na początku usystematyzował tabor kolejowy według stanu technicznego. To umożliwiło prowadzenie badań generowanego hałasu przez tabor kolejowy w poszczególnych kategoriach. Następnie prawidłowo wyznaczył terenowe poligony badawcze w całej Polsce. Autor zadbał również o to, aby pomiary hałasu prowadzone były we właściwych warunkach atmosferycznych. Po zebraniu licznych danych pomiarowych zostały one usystematyzowane i przeanalizowane. To pozwoliło na opracowanie równań aproksymacyjnych, które były niezbędne do opracowania modelu obliczeniowego. Ten model umożliwił Autorowi przeprowadzenie licznych wieloparametrycznych analiz hałasu generowanego przez przejeżdżające pociągi. Co najważniejsze model ten umożliwia wprowadzanie redukcji wyznaczanego poziomu dźwięku przy pomocy uprzednio przebadanych systemów chroniących przed hałasem. Takie działanie umożliwiło opracowanie autorskiego wskaźnika akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej. Ostatecznie Autor opracowany przez siebie model poddał weryfikacji przy wykorzystaniu wyników z całodobowego pomiaru hałasu generowanego przez pociągi. Autor w wielu miejscach pracy doktorskiej odnosił się do osiągnięć prezentowanych w licznych publikacjach zagranicznych.

Ważne osiągnięcia.

1. Przeprowadzono badania hałasu dla wielu pociągów o różnym stanie technicznym. Uzyskano bardzo dobrą powtarzalność wyników.
2. Przeprowadzono badania redukcji dźwięku dla najpowszechniejszych systemów ochrony przed hałasem.
3. Opracowano model, który umożliwia wyznaczanie akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej.
4. Przeprowadzono wieloparametryczne analizy generowanego hałasu. Prawidłowo przeprowadzono wnioskowanie.
5. Opracowano autorski wskaźnik akustycznej przepustowości linii kolejowej. Wskaźnik ten może mieć praktyczne zastosowanie w projektowaniu ochrony przed hałasem nie tylko linii kolejowych ale również innych arterii komunikacyjnych.
6. Wykazano iż część grup taboru kolejowego generuje dźwięk znacznie przekraczający dopuszczalne ograniczenia hałasu.
7. Rozprawa doktorska została napisana bardzo przejrzysto z zachowaniem logicznej ciągłości.

Krytyczne uwagi.

1. W pracy nie pojawiła się informacja dotycząca tego w jakim stopniu Autor rozprawy brał udział w badaniach terenowych hałasu pojazdów szynowych.
2. W jaki sposób ustawiany był radar do pomiaru prędkości pojazdów szynowych względem torowiska? Jeśli był ustawiony pod pewnym kątem względem osi przejeżdżającego pociągu czy była uwzględniana odpowiednia korekcja prędkości?
3. W pracy zabrakło schematów pokazujących rozmieszczenie aparatury pomiarowej w miejscach badawczych. Pokazane było jedynie umiejscowienie mikrofonu. Brak pozycji radaru do pomiaru prędkości.
4. W jaki sposób były zorganizowane pomiary całodobowe. Między innymi chodzi o sposób rejestrowania danych dotyczących hałasu, prędkości jazdy oraz rodzaju pociągu.
5. W wielu miejscach pracy w przypadku widm tercjowych pojawiało się określenie „częstotliwość środkowa pasm tercjowych”. Czy jest konieczne używanie tego sformułowania? Jeżeli mówimy o widmie

oktawowym, tercjowym czy wąsko pasmowym to domyślnie odnosimy się zawsze do częstotliwości środka pasma pomiarowego. W takiej sytuacji wystarczy określenie: widma poziomu dźwięku w pasmach tercjowych.

6. Str. 79, pierwszy akapit. Jest napisane: „Świadczy to o działaniu absorberów szynowych jako elementów zwiększających sztywność szyny kolejowej, jednocześnie zmniejszając generowany poziom dźwięku.”. Absorbery szynowe zwiększają sztywność szyny czy jednak jej masę? A może jedno i drugie jednocześnie? Zwiększanie sztywności szyny poprzez dodatkowe elementy, które są mocowane za pomocą sprężyn i/lub nawet przy pomocy śrub (cztery na środku szyny, fot. 4.4), jest sprawą dyskusyjną. Aby znacząco zwiększyć sztywność szyny kolejowej należałoby wspawać elementy o istotnym przekroju poprzecznym w taki sposób aby zwiększyć jej wskaźnik na zginanie.

Powyższe krytyczne uwagi nie umniejszają wartości merytorycznej niniejszej rozprawy doktorskiej. Oprócz nich w pracy również zauważono różnego rodzaju usterki, głównie natury edycyjnej lub są to zwyczajne przeoczenia. Poniżej zamieszczam je według miejsca ich znalezienia:

1. Str. 26, ostatni wers. Jest „przemieszczających się po danej powierzchni”. Drgania mechaniczne rozchodzą się w przedmiotach raczej całym przekrojem. Chyba, że w tym przypadku Autor miał na myśli powierzchnię ziemi.
2. Str. 27, drugi akapit, czwarty wers. Brak słowa „się”.
3. Począwszy od rys. 3.9 na osiach pionowych opisanych „Poziom dźwięku A [dB]” niepotrzebne są miejsca dziesiętne.
4. Str. 51, podpis pod fot. 4.4, podpunkt a). Jest „instalacji” a prawdopodobnie winno być „instalacja”.
5. Str. 52, podpis pod fot. 4.6, podpunkt a). Jest „instalacji” a prawdopodobnie winno być „instalacja”.
6. Str. 61, rozdz. 5.2.2, pierwszy wers. Jest „Na rysunku 2.1.” a prawdopodobnie winno być „Na rysunku 5.1.”.
7. Str. 64, wzór 5.1. Jest „ L_{pAeqTp_I} ” a prawdopodobnie winno być „ L_{pAeqTp_vtest} ”.
8. Str. 67, rys. 5.5. Są widoczne małe kółeczka (łącznie siedem). Co one oznaczają?
9. Str. 81, rys. 5.22. Poszczególne słupki nie kończą się płaską krawędzią poziomą. Dla większości są widoczne cztery piki. Czy nie wynika to z tego, że hałas był mierzony dla widma 1/12 oktawy? A następnie z każdego z czterech sąsiednich właściwych pasm widma został utworzony pasek widma tercjowego? Aby te piki nie były widoczne należałoby zsumować właściwe sąsiednie pasma. Czyli inaczej mówiąc przekształcamy widmo 1/12 oktawowe w widmo tercjowe. Oczywiście należy najpierw wartości wyrażone w dB „odlogarytmować”, dopiero wtedy można zsumować a następnie taką sumę ponownie logarytmujemy.
10. Str. 83, przedostatni wers. Jest „może poprawności” a prawdopodobnie winno być „może o poprawności”.
11. Str. 90, drugi akapit, trzeci wers. Jest „jak większym” a prawdopodobnie winno być „jak największym”.
12. Str. 99. Na rys. 6.9 jest podane równanie opisujące współczynnik $WSAP_T$, „ $WSAP_T = 4,00 \cdot 10^{-5} \cdot u_{p_T} - 0,01 \cdot u_{p_T} + 0,997$ ”. Na tej samej stronie jest wzór 6.6 postaci „ $WSAPT = 5 \cdot 10^{-5} \cdot u_{p_T}^2 - 0,01 \cdot u_{p_T} + 0,997$ ”. Podejrzewam, że to na rys. 6.9 jest podane równanie z błędami: współczynnik przy najwyższej potęgze jest niewłaściwy oraz brak potęgi „2”.

13. Str. 104, rys. 6.14, podpis, drugi wers. Jest „strukturę” a prawdopodobnie winno być „strukturze”.
14. Str. 104, rys. 6.15, podpis, drugi wers. Jest „strukturę” a prawdopodobnie winno być „strukturze”.
15. Str. 106, rys. 6.17. Na osi „Rodzaj zabezpieczenia akustycznego” etykiety są ustawione na wysokości znaczników. Prawdopodobnie winny być one ustawione pomiędzy tymi znacznikami.
16. Str. 107, rys. 6.18. Na osi „Rodzaj zabezpieczenia akustycznego” etykiety są ustawione na wysokości znaczników. Prawdopodobnie winny być one ustawione pomiędzy tymi znacznikami.
17. Str. 107, pierwszy akapit, piąty wers. Jest „w rozdziale 0.”. Jaki powinien być numer rozdziału?
18. Str. 108, drugi akapit, piąty wers. Jest „najlepszych dopasowaniem” a prawdopodobnie winno być „najlepszym dopasowaniem”.
19. Str. 117, rys. 6.26. W legendzie jest oznaczenie linii kropkowych od „S08_N_61_20BZ” do „S08_N_61_20Z8”. Prawdopodobnie winno być od „S08_N_56_20BZ” do „S08_N_56_20Z8”.
20. Str. 122, punkt 7, drugi wers. Jest „pas” a prawdopodobnie winno być „pasm”.
21. Str. 123, punkt 11, pierwszy wers. Jest „poziom” a prawdopodobnie winno być „poziomów”.

4. Podsumowanie.

Pan mgr inż. Marcin Wrótny postawił problem naukowy „*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.*” i go prawidłowo rozwiązał. Przeprowadził liczne badania hałasu generowanego przez pociągi. Prawidłowo przeprowadził analizy porównawcze a do uzyskanych rezultatów odnosił się krytycznie. To świadczy o dojrzałości badawczej. Autor niniejszej dysertacji opracował model obliczeniowy oraz autorski, oryginalny wskaźnik akustycznej przepustowości linii kolejowej. To wszystko świadczy o dobrym przygotowaniu Autora do prowadzenia prac naukowo badawczych.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Marcina Wrótnego pt. „*Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości ochrony przed hałasem*”, której promotorem jest dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, prof. uczelni oraz promotorem pomocniczym jest dr inż. Krzysztof Śledziwski spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce {Dz. U. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.}, a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

Z uwagi na szeroki zakres przeprowadzonych prac badawczych, wnikliwą analizę wieloparametryczną oraz na oryginalność i unikatowość zaproponowanego wskaźnika parametrycznego o uniwersalnym charakterze i szerokich możliwościach aplikacyjnych wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Wrótnego pt. „*Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości ochrony przed hałasem*” zgodnie z Uchwałą nr 2024/IV/02 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej z dnia 10 kwietnia 2024 r. dotycząca zasad wyróżniania prac doktorskich.



Recenzent

dr hab. inż. Grzegorz Ronowski, prof. uczelni