

Dr hab. inż. Andrzej Massel

Instytut Kolejnictwa

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

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

autorstwa **mgr inż. Marcina Wrótnego**

wykonanej na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej

Warszawa, 16.12.2024 r.

1. Przedmiot i podstawa recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały nr 2024/X/03 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Lubelskiej z dnia 23 października 2024 roku. i na podstawie pisma zastępcy przewodniczącego Rady dr. hab. inż. Tomasza Lipeckiego, prof. uczelni z dnia 23 października 2024 r.

Do pisma została dołączona rozprawa doktorska p. mgr inż. Marcina Wrótnego pt „Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości ochrony przed hałasem”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, profesor uczelni, promotorem pomocniczym – dr inż. Krzysztof Śledziwski.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa poświęcona jest badaniom wpływu rozwiązań stosowanych na liniach kolejowych na możliwości ochrony przed hałasem. Została sporządzona w języku polskim i liczy 142 strony. Składa się ona z 8 rozdziałów: (1) Wstęp, (2) Problem naukowy, przedmiot i cel pracy, (3) Aktualny stan wiedzy, (4) Badania emisji hałasu kolejowego, (5) Wyniki pomiarów terenowych poziomu dźwięku, (6) Akustyczna zdolność przepustowa linii kolejowej, (7) Podsumowanie i wnioski, (8) Kierunki dalszych prac. Całość poprzedzona została spisem treści oraz wykazem stosowanych w pracy symboli i oznaczeń. Na końcu pracy zamieszczono bibliografię obejmującą 166 pozycji, spis rysunków, spis fotografii i spis tabel. Ogółem rozprawa zawiera 76 rysunków, 12 fotografii oraz 19 tabel. Całość zamyka streszczenie rozprawy.

3. Treść rozprawy

Rozdział 1 (4 strony), zatytułowany jako wstęp, ma z jednej strony charakter wprowadzenia w tematykę rozprawy, z drugiej zaś – jej streszczenia. Wychodząc od definicji transportu oraz kolei Autor zwraca uwagę na ewolucyjny rozwój infrastruktury transportowej, który (niestety) wiąże się z ogromnym wpływem na środowisko. Do czynników oddziałujących negatywnie na otoczenie należy hałas. Emisja hałasu kolejowego zależy od wielu czynników, między innymi od stanu torów oraz taboru, rodzaju hamulców, natężenia ruchu, ukształtowania terenu. W celu minimalizacji negatywnych oddziaływań związanych z ruchem kolejowym są stosowane różnego rodzaju środki ochrony przed hałasem. W tym kontekście na uwagę zasługują metody redukcji hałasu stosowane u źródła, w konstrukcji drogi kolejowej, m. in. tłumiki szynowe, podkładki podpodkładowe oraz smarownice. Skuteczności akustycznej takich rozwiązań poświęcona jest recenzowana dysertacja. Dalszą część rozdziału 1 stanowi streszczenie treści rozprawy.

W rozdziale 2 (1 strona) zostały sformułowane problem naukowy, przedmiot oraz cel pracy. Wychodząc z przeglądu dotychczasowych badań dotyczących zabezpieczeń akustycznych na liniach kolejowych wskazano, że temat ten nie został w warunkach polskich wystarczająco szczegółowo zbadany. Dlatego problem naukowy 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.

Przedmiotem badań są środki obniżające poziom hałasu kolejowego stosowane na polskich liniach kolejowych i ich efektywność w warunkach eksploatacyjnych. Ponadto przedmiotem analiz jest także nowe rozwiązanie w postaci podkładki podpodkładowej i tłumika szynowego wykonanych z

materiałów recyklingowych. Celem pracy jest określenie skuteczności badanych metod ochrony przed hałasem a także przeanalizowanie wpływu parametrów takich jak prędkość pociągu czy rodzaj pojazdu szynowego na uzyskiwany wynik.

W rozdziale 3 (29 stron) w obszerny sposób przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie hałasu kolejowego. W pierwszej kolejności (podrozdział 3.1) omówiono podstawowe wskaźniki opisujące poziom dźwięku. Następnie przedstawiono zjawisko generowania hałasu kolejowego ze szczegółową identyfikacją składowych źródeł, w tym hałasu toczenia, hałasu uderzeniowego, hałasu pisków, hałasu trakcji oraz hałasu aerodynamicznego. Ta identyfikacja źródeł jest kluczowa w interpretacji późniejszych wyników badań. W podrozdziale 3.2 przedstawione zostały podstawowe informacje dotyczące prognozowania hałasu kolejowego. Omówiono wykorzystywane w tym celu modele obliczeniowe, różniące się niektórymi parametrami. Modele te są wykorzystywane w procesie opracowywania map akustycznych. Pozwalają one na ocenę negatywnego wpływu hałasu kolejowego na zdrowie mieszkańców. W kolejnej części rozdziału (podrozdział 3.3) dokonano obszernego przeglądu literatury na temat stosowanych metod redukcji poziomu dźwięku na świecie z uwzględnieniem podziału zabezpieczeń akustycznych na strefę ich stosowania, to jest u źródła (w strefie emisji) oraz na drodze propagacji (w strefie imisji).

Rozdział 4 (18 stron) poświęcony jest opisowi wykonanych badań terenowych. W pierwszej kolejności (podrozdział 4.1) przedstawiono schemat badań i analiz, który uwzględnia pomierzone parametry, wykorzystane wskaźniki, a także wykonane analizy obliczeniowe na podstawie uzyskanych wyników badań. Następnie (podrozdział 4.2) przedstawiono charakterystykę wybranych poligonów pomiarowych zlokalizowanych na sieci kolejowej zarządzanej przez spółkę PKP Polskie Linie Kolejowe. Siedem poligonów pomiarowych dotyczy zastosowania środków ochrony przed hałasem (PP1 – PP7), natomiast w kolejnych czterech lokalizacjach wykonywano pomiary hałasu kolejowego w celu określenia różnorodności taboru kolejowego bez zastosowania zabezpieczeń akustycznych (PP8 – PP11). Dla każdej z 11 lokalizacji w ujednoliconej formie przedstawiono podstawowe informacje dotyczące parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych badanych linii kolejowych. Szczegółowo opisano analizowane środki redukujące hałas biorąc pod uwagę ich cechy geometryczne oraz materiałowe. Uwzględniono przy tym następujące rodzaje zabezpieczeń: ekrany przeciwhałasowe, absorbery szynowe, tłumiki szynowe, przekładki amortyzacyjne gumowe, podkładki podpodkładowe (USP). Na potrzeby wykonywanych w ramach pracy analiz określono kategoryzację taboru kolejowego. Wyróżniono sześć grup pojazdów, wyodrębniając dodatkowo lokomotywę. W formie tabelarycznej opisano poszczególne rodzaje pojazdów szynowych. Ostatni podrozdział (4.3) zawiera omówienie metod zastosowanych w badaniach terenowych. Przedstawiona została wykorzystywana aparatura pomiarowa wraz z omówieniem zestawu pomiarowego oraz charakterystyką warunków atmosferycznych, jakie występowały podczas wykonywania badań. Warunki te mieściły się w granicach określonych w zaleceniach zawartych w załączniku do rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska.

W rozdziale 5 (25 stron) zawarto wyniki pomiarów terenowych poziomu dźwięku. Po krótkim wprowadzeniu (podrozdział 5.1) wykonano szczegółową analizę uzyskanych wyników pomiarów poziomu dźwięku generowanego przez ruch kolejowy (podrozdział 5.2). Rozdział rozpoczął od zaprezentowania liczebności wszystkich pomiarów i sumarycznych rezultatów dotyczących takich parametrów jak prędkość czy poziom dźwięku, uwzględniając podział na lokalizacje oraz rodzaj taboru kolejowego. W wszystkich lokalizacjach zarejestrowano ogółem 562 przejazdy pociągów. Następnie analizując szczegółowe wyniki wykonano analizę zależności między poziomem ekspozycyjnym dźwięku a prędkością pociągów. Wyniki te dotyczyły wyłącznie przekrojów pomiarowych charakteryzujących się brakiem obecności zabezpieczeń akustycznych.

Wyznaczone zostały równania regresyjne dla każdego z sześciu analizowanych rodzajów pociągów (bez podziału na lokalizacje). Należy zwrócić uwagę na duże różnice poziomu dźwięku generowanego przez poszczególne rodzaje taboru: był on najniższy w przypadku nowoczesnego taboru pasażerskiego. Na podstawie wyników pomiarów wykonana została też akustyczna ocena wpływu stanu technicznego konstrukcji linii kolejowych na uzyskane wyniki poziomu hałasu. Kolejny podrozdział rozdziału 5 (5.3) dotyczy redukcji poziomu dźwięku przy wykorzystaniu różnych rozwiązań chroniących przed hałasem kolejowym. Opisano procedurę obliczeniową redukcji dźwięku oraz przedstawiono otrzymane wyniki. Badana była zależność między redukcją poziomu dźwięku a prędkością pociągu. Wykonano ją w przypadku każdego analizowanego zabezpieczenia akustycznego biorąc pod uwagę podział na rodzaj pojazdu szynowego. Badaniom podlegało także widmo częstotliwościowe, co pozwoliło na zbadanie zmienności wartości redukcji w różnych pasmach częstotliwości. Było to istotne w kontekście kompleksowej oceny funkcjonalności środków ochrony przed hałasem, działających najczęściej w ograniczonym zakresie częstotliwościowym.

Rozdział 6, liczący 35 stron zawiera charakterystykę opracowanej przez Autora metody analizy zdolności przepustowej linii kolejowej pod względem akustycznym. Po krótkim wprowadzeniu (6.1), przedstawiono plan i opis badań (podrozdział 6.2). W szczególności omówiono postępowanie w opracowaniu algorytmu obliczeniowego oraz opisano konieczne dane wejściowe. Na podstawie wykonanych symulacji (podrozdział 6.3) przedstawiono wpływ szeregu czynników na akustyczną zdolność przepustową linii kolejowej. Do czynników tych należały m. in. natężenie ruchu, prędkość pociągów, odległość od toru, udział pociągów towarowych, rodzaj taboru (i wpływ jego wymiany na tabor nowej generacji, w tym tabor dużych prędkości) czy rodzaj zastosowanego zabezpieczenia akustycznego. W ostatniej części rozdziału zaprezentowano wykorzystanie zbudowanego modelu obliczeniowego do rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej i porównano otrzymane wyniki z rezultatami pomiarów, wykonanych w tej lokalizacji.

Rozdział 7 (6 stron) przedstawia podsumowanie wykonanych badań a także wypływające z nich wnioski. Wykonane w ramach pracy badania i analizy pozwoliły na realizację celu dysertacji, jakim było określenie wpływu środków ochrony przed hałasem stosowanych na liniach kolejowych na generowany przez pociągi poziom dźwięku oraz zbadanie wpływu parametrów technicznych i ruchowych na wartość otrzymywanej redukcji hałasu.

Wykonane w ramach pracy nad dysertacją badania dostarczyły wielu cennych informacji dotyczących hałasu generowanego przez transport kolejowy. Pozwoliły one na określenie zależności pomiędzy charakterystykami infrastruktury i taboru a poziomem dźwięku. Autor jest świadom, że badania te nie wyczerpały w pełni omawianej tematyki. Dlatego rozdział 8 (1 strona) poświęcony jest kierunkom dalszych prac badawczych. Zdaniem Autora uwzględnione powinny w nich być perspektywy rozwoju transportu kolejowego, rozwój skuteczniejszych rozwiązań w dziedzinie inżynierii kolejowej, a także wpływ wzrostu prędkości pociągów.

4. Ocena rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa ma z jednej charakter teoretyczny, dotyczy bowiem badania związków pomiędzy zjawiskami związanymi z ruchem pociągów a jego oddziaływaniem na otoczenie. Jej przedmiotem było ponadto opracowanie nowych metod analizy hałasu. Z drugiej strony, rozprawa jest ukierunkowana na praktyczne zastosowanie wyników badań naukowych i prac rozwojowych. Ten praktyczny wymiar pracy potwierdza fakt, że istotna część badań w niej zawartych została zrealizowana w ramach projektu badawczo-naukowego pn. „Nowe rozwiązanie podkładki podpodkładowej i tłumika szynowego do ochrony otoczenia drogi szynowej przed drganiami i

hałasem”. Był to projekt finansowany przez NCBiR ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Inteligentny Rozwój.

Problemem naukowym będącym przedmiotem rozprawy było określenie 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. Należy zwrócić uwagę na aktualność tematyki rozprawy i na jej pionierski (w warunkach kolei polskich) charakter.

Punktem wyjścia do badań przeprowadzonych przez Autora był dość szeroki przegląd literatury przedmiotu a także europejskich i krajowych aktów prawnych dotyczących ochrony przed hałasem w otoczeniu linii kolejowych. Dlatego pozytywnie należy ocenić przedstawioną w rozdziale 3 charakterystykę stanu wiedzy, obejmującą zarówno zjawisko generowania hałasu kolejowego, jak i oddziaływanie tego hałasu na otoczenie a także metody redukujące poziom hałasu. Autor wykorzystał około 140 pozycji literatury, w większości zagranicznych. Oczywiście omówione przez niego publikacje stanowią pewien wybór i nie mogą być traktowane jako przegląd całości wiedzy w tym zakresie. Nie byłoby to zresztą celowe, bowiem zasadniczą część rozprawy stanowi opis wykonanych badań a także autorskich analiz.

Metody badawcze zastosowane przez Autora w rozprawie nie budzą zastrzeżeń pod względem ich prawidłowości. Zostały one zastosowane adekwatnie do rozwiązywanych przez niego zagadnień szczegółowych.

Bardzo ważnym atutem pracy jest fakt, że wykorzystano w niej badania terenowe wykonane w 11 lokalizacjach na polskiej sieci kolejowej, charakteryzujących się znacznym zróżnicowaniem warunków konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Pomiarami objęto zarówno linie z ciężkim ruchem towarowym (długie i ciężkie pociągi o dużym nacisku osi, w tym pociągi kursujące na linii nr 65 eksploatowanej przez spółkę PKP Linia Hutnicza Szerokotorowa), jak i linie z przewagą ruchu pasażerskiego, w tym obsługiwane nowoczesnym taborem (elektryczne zespoły trakcyjne nowej generacji, w tym pojazdy dużych prędkości serii ED250 Pendolino). Istotne jest również to, że badaniami zostały objęte odcinki, na których zastosowane były różne rozwiązania techniczne redukujące poziom hałasu kolejowego, zarówno w strefie emisji, jak i w strefie imisji.

Najważniejszym oryginalnym osiągnięciem Autora jest moim zdaniem metoda akustycznej zdolności przepustowej linii kolejowej. Metoda ta wypracowana w ramach pracy ma bez wątpienia duże znaczenie praktyczne i potencjał aplikacyjny, szczególnie dla zarządców infrastruktury kolejowej a także dla przewoźników kolejowych. Opracowany przez Autora wskaźnik może stać się narzędziem wspomagającym zarządzanie natężeniem ruchu w kontekście nieprzekraczalności dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Ważne jest, że na potrzeby wykonywanych analiz opracowane zostały scenariusze obliczeniowe uwzględniające różne warianty udziału procentowego poszczególnych rodzajów taboru. Analizy zawarte w rozprawie wskazują wyraźnie, jak duży wpływ na oddziaływanie na otoczenie ma wymiana taboru na pojazdy nowej generacji, w tym tabor dużych prędkości. Z badań wynika, że zastąpienie starych wagonów kolejowych (z reguły wyposażonych w hamulce klockowe) na nowe pojazdy umożliwia redukcję poziomu hałasu nawet o 10 dB.

5. Uwagi ogólne

Istotną wadą rozprawy są liczne przypadki użycia nieściślej, czy wręcz niepoprawnej terminologii. Przykłady podano w punkcie 6 niniejszej recenzji (Uwagi szczegółowe).

Komentarza wymaga liczba wykonanych pomiarów terenowych, które zostały wykonane w 11 lokalizacjach. Nie można mieć zastrzeżeń do ogólnej liczebności zarejestrowanych przejazdów pociągów (562), niepokojąca jest natomiast mała liczba przejazdów pociągów dotyczących poligonu w Olkuszu (PP4), na którym pomierzono tylko 3 przejazdy (stąd za słuszne należy uznać pominięcie danych z tego poligonu w dalszych analizach). Ponadto wartość poznawcza wykonanych badań byłaby większa, gdyby pomiary dotyczyły większej liczby odcinków przejeżdżanych z prędkością 160 km/h oraz odcinków o prędkości maksymalnej 200 km/h. Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy prędkości rzędu 200 km/h przy przejeździe pojazdów kolejowych emitowany jest zwiększony hałas aerodynamiczny.

Pomimo, że Autor w rozdziale 3 omawia wpływ szlifowania szyn na poziom hałasu generowanego przez ruch kolejowy (jest to jedno z rozwiązań redukcji u źródła), to w charakterystyce odcinków pomiarowych (poligonów badawczych) brakuje informacji o stanie powierzchni tocznej szyn a także o przeprowadzonych na tych odcinkach zabiegach szlifowania.

6. Uwagi szczegółowe

Dyskusyjny jest tytuł rozprawy w języku angielskim („Studies on the influence....”). Treść pracy lepiej oddałoby określenie „Research on the influence....”.

Tytuł podrozdziału 4.3 „Metodologia wykonania badań terenowych” nie wydaje się poprawny w zestawieniu z treścią, której dotyczy. Należy przypomnieć, że metodologia to nauka o badaniach naukowych stosowanych w danej dziedzinie wiedzy. Tymczasem w odniesieniu do zagadnień omawianych przez Autora w tym rozdziale należało raczej użyć określenia **metodyka**, czyli zbiór zasad dotyczących sposobów wykonywania pracy. Można też mówić o **metodach** czyli o sposobach postępowania, które mają doprowadzić do osiągnięcia zamierzonego celu (w tym przypadku o metodach badawczych).

W rozdziale 4.2 na str. 54 występuje błędne oznaczenie typu pojazdów EN-97 oraz EN-100, zamiast (odpowiednio) EN97, EN100.

W bibliografii brakuje odwołania się do rozporządzenia Komisji nr 1694/2023 z dnia 10 sierpnia 2023 r. wprowadzającego zmiany w szeregu technicznych specyfikacjach interoperacyjności, w tym w rozporządzeniu nr 1304/2014 (TSI NOI).

W szeregu miejscach w pracy występuje pewna liczba określeń i sformułowań, które są niejasne i nieścisłe (w niektórych przypadkach wynikają one zapewne z błędnego tłumaczenia z języka angielskiego). Na przykład:

- w rozdziale 3.1 na str. 20 „Hałas uderzeniowy generowany jest w momencie, gdy koła poruszają się po nieciągłych **połączeniach kolejowych**, do których można zaliczyć takie miejsca jak rozjazdy, zwrotnice, styki szyn czy **przewężenia**”. Poprawniejsze byłoby wskazanie „styków klasycznych” oraz „krzyżownic w rozjazdach i skrzyżowaniach torów”
- w rozdziale 3.3 na str. 30 „**Pofałdowanie szyny** jest jednym z najpoważniejszych i najdroższych problemów, z jakim zmagają się **systemy tranzytowe**” (właściwe określenia: „nierówności powierzchni tocznej szyn”, „systemy kolei miejskich”)
- w rozdziale 3 na str. 32 „Klasycznymi złączami szynowymi umożliwiające skracanie i wydłużanie szyn pod wpływem temperatury są **łączenia łukowe**” (właściwe określenie: połączenia łukowe”)

- w rozdziale 4.2 na str. 42 „brak łuków poziomych i pionowych na **torowisku**,**torowisko** w dobrym stanie technicznym” (właściwe określenie: „tor”)
- w rozdziale 4 na str. 51 „co wiąże się z ruchem taboru kolejowego o zwiększonym **tonażu**” (właściwe określenie: „masa”).
- w rozdziale 5.3 na str. 70-72 „Redukcja poziomu dźwięku przy zastosowaniu absorberów szynowych w miejscowości Nowy Dwór Mazowiecki analizując samobieżne wagony pasażerskie nowego typu” (nieprawidłowe podpisy pod Rys. 5.7-5.11)

7. Wniosek końcowy

W mojej opinii przedstawiona do recenzji rozprawa p. mgr inż. Marcina Wrótnego charakteryzuje się dużą wartością merytoryczną. Podejmuje ona istotne zagadnienie naukowe dotyczące wpływu zastosowania różnych metod ochrony przed hałasem na liniach kolejowych na poziom hałasu generowanego podczas przejazdu pociągów. Jest to zagadnienie o dużym znaczeniu praktycznym, posiada też znaczny potencjał wdrożeniowy. Podstawą wnioskowania są wykonane przez Autora badania przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, na odcinkach linii kolejowych o zróżnicowanej charakterystyce infrastruktury i taboru kolejowego.

Dysertacja potwierdza dobrą znajomość zagadnień praktycznych dotyczących oddziaływania transportu na środowisko a także umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Doktoranta badań naukowych. Mimo, że w pracy występują pewne usterki, to w żadnej mierze nie przekreślają one jej wartości merytorycznej.

Rozprawa doktorska p. mgr inż. Marcina Wrótnego pod tytułem „Badania wpływu rozwiązań stosowanych na drogach szynowych na możliwości ochrony przed hałasem” spełnia w mojej opinii wymagania określone w Ustawie. Wniosuję zatem o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie do publicznej jej obrony.