



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
Wydział Budownictwa,
Architektury i Inżynierii Środowiska



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Bydgoszcz, 19 czerwca 2023

Recenzent:

Dr hab. inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBŚ
Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich
Katedra Konstrukcji Budowlanych i Mechaniki,
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Adresat Recenzji:

Rada Naukowa Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej
Politechnika Krakowska
Ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Barbary Małgorzaty Kożuch

**pt. „Drgania wzbudzone przejazdami pociągów dużych prędkości w Polsce –
propagacja w gruncie”.**

1. Podstawa opracowania

Recenzja została opracowana na prośbę Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Szaraty, wyrażoną w piśmie z dnia 26.04.2023 r., w którym przytoczono uchwałę Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 19 kwietnia 2023 r., powołującą mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Małgorzaty Kożuch.

DZIEKANAT Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia	30.06.2023
L. dz.	10.510.4.3.2023
podpis	Góralczyk

2. Przedmiot i opis ogólny rozprawy

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Barbary Małgorzaty Kożuch pt. „Drgania wzbudzane przejazdami pociągów dużych prędkości w Polsce – propagacja w gruncie”, a jej promotorem jest prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatara, promotorem pomocniczym jest dr hab. inż. Filip Pachla, prof. PK. Przesłana do oceny praca doktorska liczy wraz z załącznikami 139 stron.

Praca liczy 8 rozdziałów i dodatkowo: spis rysunków i bibliografię. Praca napisana została w języku polskim, zawiera streszczenie w języku angielskim. Układ pracy jest czytelny i sposób jej wydania poprawny.

3. Tematyka rozprawy

3.1. Przedmiot, cel i tezy rozprawy

Przedmiotem badań rozprawy jest analiza drgań wzbudzanych przejazdami pociągów w Polsce oraz wpływ drgań na sąsiednią zabudowę.

Celem rozprawy jest zbadanie wpływu przejazdów pociągów z dużymi prędkościami na zjawisko propagacji drgań, weryfikacja zależności parametrycznych mających wpływ na wzbudzone drgania generowanych transportem kolejowym oraz zaproponowanie opisu drgań, który będzie określał najważniejsze elementy złożonego zjawiska i upraszczał lub pomijał nieistotne zagadnienia.

W pracy sformułowano tezy:

1. Zaproponowana metodyka pomiarowo-interpretacyjna badań in situ drgań wywołanych przejazdami pociągów dużej prędkości oraz analiza parametryczna może być wykorzystana do weryfikacji i wyznaczania charakterystycznych parametrów drgań, pasm częstotliwości silnie zależnych od zmiany prędkości oraz słabo wrażliwych na wzrost prędkości pociągu.
2. Pozyskanie dodatkowych informacji dot. drgań niestacjonarnych, zmiennych w czasie wzbudzanych przez przejeżdżające pociągi, możliwe jest przez uzupełnienie analiz standardowych i normatywnych przez analizy w dziedzinie częstotliwościowo – czasowej (np. STFT lub CWT). Wyniki te są pomocne w diagnostyce eksploatowanego taboru.

3. Istnieje taka prędkość v_0 pociągu, której przekroczenie spowoduje istotne wzmocnienie drgań gruntu w otoczeniu linii kolejowej.

Podstawą pracy są badania poligonowe, związane z pomiarem drgań generowanych przez przejeżdżające pociągi.

Podstawową część pracy stanowią pomiary drgań. Jako obszar pomiarowy wybrano odcinek Psary – Góra Włodowska, długości około 36 km, znajdujący się w ciągu linii kolejowej nr 4. Na linii wyznaczono 3 różne przekroje stanowiące poligony pomiarowe.

3.2. Charakterystyka i ocena poszczególnych rozdziałów rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 8 rozdziałów i dodatkowo: spis rysunków i bibliografię. Praca napisana została w języku polskim, zawiera streszczenie w języku angielskim.

Rozdział pierwszy zawiera przedstawienie genezy problemu, celu i zakresu pracy. Określono w nim również tezy naukowe.

W rozdziale drugim dokonano przeglądu aktualnego stanu wiedzy oraz trwających prac naukowo-badawczych w zakresie propagacji drgań indukowanych przez ruch pociągów.

Rozdział trzeci poświęcono przedstawieniu podstaw teoretycznych w zakresie: źródła drgań – interakcji koło – szyna, obciążenia ruchomego, propagacji drgań w gruncie, przenoszenia drgań na konstrukcję budynków.

W rozdziale czwartym omówiono badania in situ propagacji drgań w gruncie i wpływu na budynki. Przedstawiono w tym rozdziale metodykę badań oraz szczegółowy opis przeprowadzonych badań. Celem przeprowadzenia badań przyjęto m.in. założenia dotyczące toru kolejowego długości odpowiedniej do rozpędzenia pociągu do ok. 300 km/h w przekroju pomiarowym, geometrii toru, urządzeń sterowania ruchem oraz sieci trakcyjnej pozwalające osiągnąć odpowiednie prędkości, minimalizacji wpływu tła pomiarowego, podłoża o względnie poziomej powierzchni. Jako obszar pomiarowy wybrano odcinek Psary – Góra Włodowska, długości około 36 km, znajdujący się w ciągu linii kolejowej nr 4. Na linii wyznaczono 3 różne przekroje stanowiące poligony pomiarowe. Po 5 latach eksploatacji pociągu Pendolino przeprowadzono analogiczne badania. Pomiary odbyły się na jednym z trzech poligonów.

Rozdział piąty poświęcono analizie sygnału, przedstawiając podstawowe parametry gruntu – analiza przy użyciu młotka modalnego, przebiegi czasowe drgań – analizę wartości maksymalnych, szybką transformatę Fouriera (FFT), krótkookresową Transformatę Fouriera (STFT), porównanie FFT i STFT do analiz propagacji drgań, ciągle przekształcenie falkowe (CWT), analizę w dziedzinie częstotliwościowo – czasowej. W trakcie pomiarów zarejestrowano odpowiednio dla poligonu A – 37, poligonu B – 28, poligonu C – 37, poligonu C' – 27 przejazdów pociągów. Każdy z przejazdów rejestrowało 27 akcelerometrów. Baza danych do analiz przekroczyła 3000 pojedynczych zdarzeń.

W pracy przedstawiono i analizowano przebiegi drgań odpowiednio pociągu Pendolino i InterCity. Maksymalne przyspieszenia przebiegów czasowych osiągają mniejsze wartości podczas przejazdu składu Pendolino. Ponadto przebieg składowych przyspieszenia drgań wywołanych przejazdami Pendolino charakteryzuje się symetrią osiową, podczas gdy przebiegi składowych drgań generowanych przejazdami składów InterCity nie wykazują takiej symetrii – widocznie maksymalne amplitudy skład generuje na początku przejazdu. Przedstawiono także krzywe zaniku maksymalnych wartości przyspieszeń drgań wraz z odległością przy przejazdach pociągów z prędkością 120 km/h. Dla każdego ze zbioru danych podano funkcję potęgową opisującą zależność maksymalnego przyspieszenia względem odległości od źródła drgań. W dalszej części przedstawiono zmianę widma częstotliwości w zależności od odległości punktu analizy od źródła drgań dla pociągu InterCity oraz Pendolino. Z analizy wynika, że największe tłumienie odpowiada najwyższym częstotliwościom.

Ciekawe wnioski uzyskała Autorka z porównania analizy CWT i STFT. Analiza CWT, nie przynosi znacząco więcej istotnych informacji niż krótkookresowa transformata Fouriera w przypadku bardzo prostej weryfikacji taboru.

W rozdziale szóstym przedstawiono analizę wyników drgań gruntu i budynków, omawiając Skalę Wpływów Dynamicznych (SWD), Wskaźnik Odczuwalności Drgań przez Budynki (WODB) i prezentując analizę drgań z wykorzystaniem analiz normatywnych.

Rozdział siódmy poświęcono analizie parametrycznej. Zwrócono uwagę na następujące czynniki: prędkość pociągu, w tym zmienną prędkość pociągu w czasie przejazdu – hamowanie i ruszanie, odległość od źródła drgań, rozważany typ taboru, drgania odbierane przez budynek, w tym współczynnik redukcji, czas eksploatacji oraz poligon. Do wykonania analizy parametrycznej użyto analizy falkowej CWT,

maksymalnych przyspieszeń uzyskanych z przebiegów oraz wartości przyspieszeń w pasmach 1/3 oktawowych w zakresie drgań 1–100 Hz. Potwierdzono, że największe wartości drgań niezależnie od prędkości pociągu w bliskiej odległości toru odbierane są w pasmach najwyższych częstotliwości (63 – 100 Hz), gdzie lokalizowane są obiekty obsługi podróźnych i infrastruktury kolejowej.

W rozdziale ósmym sformułowano wnioski, wskazano na oryginalne osiągnięcia w pracy oraz nakreślono kierunki dalszych badań.

Końcowa część pracy zawiera spis rysunków oraz bibliografię.

4. Merytoryczna ocena pracy i uwagi krytyczne

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Barbary Małgorzaty Kozuch pt. „Drgania wzbudzone przejazdami pociągów dużych prędkości w Polsce – propagacja w gruncie”, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatara, promotorem pomocniczym dr hab. inż. Filip Pachla, prof. PK stanowi oryginalne rozwiązanie zadania naukowego dotyczącego drgań wzbudzanych przejazdami pociągów.

W pracy Autorka podjęła tematykę drgań wzbudzanych przejazdami pociągów dużych prędkości w Polsce, ich propagacją w gruncie. Podstawowym celem pracy była propozycja metodyki pomiaru oraz interpretacja badań zrealizowanych w lokalizacji przejazdu pociągów. W toku przeprowadzonych badań i analiz wykazano, iż drgania w pasmach o częstotliwościach środkowych 20 – 31,5 Hz stanowią drgania zmienne wykładniczo w stosunku do prędkości pociągu zarówno przy źródle drgań jak i w dalszej odległości, natomiast drgania o częstotliwościach 80 – 100 Hz zmieniają się wraz ze wzrostem prędkości, w bardzo bliskiej odległości od źródła, ale bardzo szybko są tłumione ze zwiększeniem odległości. W zakresie sygnałów niestacjonarnych, a także w diagnostyce taboru istotną rolę odgrywa przedstawiona w pracy analiza przeprowadzona przy zastosowaniu Krótkookresowej Transformaty Fouriera (STFT) oraz ciągłej transformaty falkowej (CWT). Szczególnie istotny jest wniosek o prędkości krytycznej pociągu $v_0=290$ km/h, której przekroczenie powoduje znaczące wzmocnienie drgań gruntu.

Do oryginalnych elementów pracy należą badania wielkoskalowe drgań generowanych przejazdami pociągów z prędkościami przekraczającymi 200 km/h na terenie Polski, a także analiza wpływu przejazdu, w szczególności na okoliczną

zabudowę. Na uwagę zasługuje konsekwentnie zaplanowany program badań, który pozwolił na określenie najważniejszych aspektów związanych z przejazdem pociągów, wpływem taboru, zwłaszcza podczas badań przeprowadzonych po 5 latach użytkowania pociągu Pendolino. Badania przeprowadzone zostały w tym samym punkcie pomiarowym, przy tym samym torze pomiarowym.

Szczególnie istotne z punktu widzenia aplikacyjności wyników badań jest fakt przeprowadzenia ich w warunkach eksploatacyjnych. Rzeczywisty eksperyment przy dobrze skalibrowanym urządzeniu badawczym jest osiągnięciem nie tylko naukowym, ale i bezpośrednio możliwym do wykorzystania w projektowaniu inżynierskim. Uzyskane rezultaty stanowią istotną informację także w planowaniu nowych tras komunikacyjnych, infrastruktury oraz zabudowy kubaturowej, zwłaszcza w kontekście wciąż rozwijającej się sieci kolejowej w Polsce i wyzwań związanych z budową CPK.

Dodatkowo Autorka wyznaczyła prędkości pociągu na podstawie aproksymacji drgań, przy której przekroczona zostaje I strefa szkodliwości drgań dla wskazanego budynku. Prócz badań normatywnych przeprowadzono analizy falkowe, które stanowiły poszerzenie uzyskanych rezultatów, pozwalając jednocześnie na wnioskowanie dotyczące rodzajów składów pociągów. W pracy wyznaczono pasma częstotliwości drgań zależnych od zmiany prędkości taboru generującego drgania. Zastosowana metodologia, opanowanie warsztatu pomiarowego oraz narzędzi analizy i wnioskowania stanowią przyczynek do dalszych badań związanych z przejazdami pociągów z prędkością do 350 km/h.

Praca doktorska jest napisana zrozumiale, poprawnie pod względem edytorskim i językowym. Do wymagających wyjaśnienia oraz jako głos w dyskusji należą kwestie przedstawione poniżej.

1) Strona 44: błąd literowy : „*tłumienna grunty*”

2) Strona 45: „Rysunek 28 Przebieg czasowy drgań składowej poziomej X – czujnik P-04x – poligon C – młotek modalny (opracowanie własne)”.

Jaki typ młotka modalnego zastosowano? Jaki był przekrój geotechniczny gruntu w miejscu wyznaczenia parametrów tłumienia? Ile badań przy pomocy młotka modalnego wykonano i jakie wyniki tłumienia gruntu uzyskano, czy tylko w jednym przekroju?

3) Strona 53: w zdaniu powtórzono odwołanie literaturowe [75]: „Szybka transformata Fouriera (ang. FFT – Fast Fourier transform) szerzej opisana w pozycjach literaturowych [75][75][76] jest algorytmem próbkującym...”.

4) Strona 54: „Rysunek 37 Ciągłe widmo drgań (FFT) – pociąg InterCity – prędkość $v = 160$ km/h (opracowanie własne)”.

Interesujący byłby szerszy komentarz do wyników analizy FFT w paśmie 75-100 Hz dla punktu pomiarowego (P-04x)

5) Strona 55: Autorka stwierdza: „Przykładowo w celu wyznaczenia pasm częstotliwości o największym tłumieniu obliczono stosunek widma ciągłego przebiegu drgań w punkcie ostatnim P-22x do przebiegu drgań w punkcie pierwszym P-04x. ... Pomimo, iż spodziewane wartości powinny być mniejsze od 1, biorąc pod uwagę zanik drgań wraz z odległością od źródła, ok. 2% z otrzymanych stosunków przekraczało tę wartość. ...Uznaje się, że sytuacja taka została wywołana zjawiskiem zmiany częstotliwości sygnału po przejściu przez bardzo niejednorodny materiał jakim jest grunt”.

Interesujące byłoby poszerzenie informacji z ostatniego zdania, z jaką niejednorodnością gruntu mamy do czynienia? Czy znane są dokładne parametry gruntu pochodzące z badań geotechnicznych?

6) Dodatkowe wnioski pojawiłyby się z pewnością w przypadku stworzenia modelu numerycznego, który pozwoliłby na symulację i analizy w szerszym zakresie prędkości poruszającego się pociągu, innych parametrów ośrodka gruntowego, innej charakterystyki obiektów budowlanych. Taka analiza i wnioski w formie rekomendacji pozwoliłaby na szersze wykorzystanie w planowaniu przebiegu tras kolejowych w kontekście drgań i hałasu. Czy Autorka rozważała takie symulacje?

5. Wnioski

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Barbary Małgorzaty Kozuch pt. „Drgania wzbudzone przejazdami pociągów dużych prędkości w Polsce – propagacja w gruncie”, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza wiedzę Autorki w zakresie pomiaru, analizy drgań powodowanych przejazdem pociągów i ich wpływu na sąsiednie obiekty. Autorka pracy osiągnęła postawione cele.

Doktorantka posiada wysokie umiejętności w prowadzeniu badań oraz w analizie ich wyników, czego potwierdzeniem są udowodnione tezy. Biorąc pod uwagę powyższe, wnoszę o wyróżnienie pracy.

6. Sentencja recenzji

Recenzowana rozprawa Pani mgr inż. Barbary Małgorzaty Kozuch pt. „Drgania wzbudzane przejazdami pociągów dużych prędkości w Polsce – propagacja w gruncie”, spełnia wymogi stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (późniejszymi zmianami) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r., a jej wyniki mają istotne znaczenie praktyczne. Wnoszę o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony.

Z poważaniem,



Dr hab.inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBS