



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

Dr hab. inż. Piotr Chrostowski, prof. PG

16.09.2023 r.

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Transportowej
Politechnika Gdańska
ul. Gabriela Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.:

„Ocena jakości eksploatacyjnej drogi szynowej na podstawie jej diagnostyki”

Autor: mgr inż. Piotr Tokaj

Promotor: dr hab. Piotr Kozioł, prof. PK

1. Podstawa formalna, przedmiot i cel opracowania recenzji

1.1. Podstawa formalna

Sporządzenie recenzji zostało zlecone przez Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pismem z dnia 19 czerwca 2023r, realizującym postanowienie uchwały z dnia 17 maja 2023 roku, podjętej przez Radę Naukową Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej w ramach dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

1.2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Tokaja pt.: *Ocena jakości eksploatacyjnej drogi szynowej na podstawie jej diagnostyki*.

Rozprawa opracowana została na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem promotora, Pana dr hab. Piotr Kozioła, prof. PK.

Do recenzji przekazano rozprawę doktorską w formie zwartego wydruku, zawierającą 164 ponumerowanych stron formatu A4.

1.3. cel opracowania recenzji

Celem recenzji jest ustalenie, czy przekazana rozprawa doktorska spełnia wymogi określone w art. 13 ust.

1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595, z późn. zm.) zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2018 poz. 261).

Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia	18 PAZ 2023
L. dz.	12.510.28.4.2018
podpis	

2. Tematyka i układ rozprawy doktorskiej

2.1. Ocena doboru tematyki

Zgodnie z tytułem i założeniami pracy, jej tematyka skupia się na ocenie jakości toru kolejowego w procesie diagnostycznym. Głównym założeniem Autora jest podjęcie próby oceny toru poprzez badania i analizę wpływu jaki wywiera on na pojazd w układzie dynamicznym. Autor ma pełną świadomość, że układ ten jest złożony, a zjawiska zachodzące na styku koła i szyny implikują szereg zjawisk mechanicznych warunkowanych takimi czynnikami jak cechy konstrukcyjne drogi i pojazdu oraz warunki geometryczne i kinematyczne ruchu pojazdu po torze. W swojej pracy Autor podejmuje się opisu matematycznego i ostatecznie numerycznego (z wykorzystaniem pakietu do symulacji dynamicznych) układu pojazd-tor. Cele które postawił Autor postawił w swojej dysertacji są zbieżne z wieloma pracami badawczymi opisanymi w literaturze. Ograniczenie procesu pomiarowego poprzez zastosowanie modelowania matematycznego jest ideą użyteczną i może prowadzić do pełniejszego poznania badanych zjawisk i ostatecznie może skutkować wdrożeniem metod i narzędzi do procesu utrzymania linii kolejowych oraz taboru. Autor dokonując matematycznego opisu zjawisk zachodzących podczas prowadzenia ruchu kolejowego wpisuje się, a także rozszerza aktualny stan wiedzy i narzędzi w wybranym przez siebie zakresie. Należy podkreślić, że ocena stanu toru w eksploatacji linii kolejowych jest zagadnieniem dużej wagi. To od stanu toru zależą bowiem decyzje wpływające na komfort podróżnych, bezpieczeństwo ruchu, a także na czynniki ekonomiczne związane m.in. z przepustowością linii kolejowych.

W związku z powyższym dobór niniejszej tematyki na pracę badawczą w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport oceniam jako zasadny.

2.2. Struktura pracy

Recenzowana praca stanowi układ dziesięciu ponumerowanych rozdziałów ujętych w spisie treści, które poprzedzone zostały streszczeniem (w j. polskim i angielskim).

Rozdział 1 zatytułowany *Wstęp* obejmuje 8 stron.

W rozdziale tym, poza ogólnym wprowadzeniem do tematyki, Autor przedstawia główne cele oraz zakres podjętych badań. W rozdziale tym sformułowane są również tezy dysertacji. Na zakończenie Autor wskazuje na wykorzystane w pracy narzędzia oraz na ustaloną metodykę będącą ogólną ścieżką postępowania przy prowadzeniu opisanych w pracy badań.

Rozdział 2 zatytułowany *Przegląd literatury*, liczy 4 strony.

W ramach tego stosunkowo krótkiego rozdziału Autor wskazuje wybrane przez siebie kluczowe zagadnienia, które zamierza rozszerzyć w dalszych rozdziałach. W ramach 8 podrozdziałów Autor zaprezentował najistotniejsze w swojej ocenie publikacje dotyczące wybranych zagadnień.

Rozdział 3 zatytułowany *Zestaw kołowy – kontakt koła z szyną*, opisany został na 31 stronach.

W rozdziale tym Autor dzieli się wiedzą nt. konstrukcji zestawów kołowych oraz zjawisk zachodzących na styku koła z szyną. W pierwszej części opisany jest zestaw kołowy i jego rozwiązania techniczne, wynikające z warunków pracy i potrzeby spokojności biegu. Druga część rozdziału prezentuje teorię zjawisk interakcji pomiędzy pojazdem i torem, takich jak wężykowanie oraz poślizgi na styku koła i szyny.

Rozdział 4 zatytułowany *MEDYNA – Opis pakietu*, przedstawiony został na 10 stronach.

Autor prezentuje tu wybraną listę programów komputerowych wspomagających modelowanie zjawisk dynamicznych w układzie pojazd-tor, podając syntetyczne informacje na temat wskazanych programów. Z uwagi na wybór programu (do badań własnych) o akronimie MEDYNA, w rozdziale tym szerzej zaprezentowana została struktura i funkcjonalność tego pakietu.

Rozdział 5 zatytułowany *Układ pojazd szynowy-tor i jego modelowanie*, obejmuje 18 stron.

W rozdziale tym Autor prezentuje charakterystykę drogi kolejowej skupiając się na górnej warstwie, tj. na nawierzchni i jej komponentach. Druga część rozdziału to przegląd wybranych modeli matematycznych toru w postaci dyskretnej i ciągłej – belka na podłożu sprężystym i lepko-sprężystym. Zaprezentowane w tym miejscu zostały równania różniczkowe przedstawionych modeli.

Rozdział 6 zatytułowany *Dynamika toru – analizy symulacyjne*, obejmuje 14 stron.

W rozdziale tym Autor przedstawia swoje założenia dotyczące prowadzenia symulacji komputerowych. Rozdział rozpoczynają analizy z wykorzystaniem modeli matematycznych w postaci różniczkowych równań ruchu belki na sprężystym podłożu. Autor rozważa tu zagadnienie prędkości fal sprężystych w modelowanym torze. Następnie przechodzi do zdefiniowania numerycznego przestrzennego modelu, zaimplementowanego w programie wykorzystującym metodę sztywnych elementów skończonych.

Rozdział 7 zatytułowany *Symulacje komputerowe i badania doświadczalne – wyniki badań*, obejmuje 44 strony.

W rozdziale tym Autor przedstawia porównanie wybranych wyników symulacji wykonanych w programie autorskim oraz w programie MEDYNA. Analiza ta służy porównywaniu wyników z rozwiązaniami jednego modelu w różnych środowiskach informatycznych. W dalszej kolejności Autor prezentuje wyniki pomiarów wykonywanych na stanowisku laboratoryjnym oraz wyniki otrzymane podczas pomiarów na torach doświadczalnych i ostatecznie na eksploatowanych liniach kolejowych. Wyniki pomiaru dotyczą mierzonych przyspieszeń drgań elementów nawierzchni i drgań elementów układu biegowego pojazdu oraz ugięć toru pod przejeżdżającym pojazdem szynowym.

W rozdziale 8 zatytułowanym *Podsumowanie i Wnioski*, na 4 stronach Autor opisał główne osiągnięcia badawcze związane z niniejszą rozprawą oraz przedstawił opis prac wykazujący wkład własny w prezentowanych badaniach empirycznych i analitycznych.

W rozdziale 9 zatytułowanym *Kierunki dalszych prac (2 strony)*, Autor wskazuje na potrzebę kontynuowania i rozszerzenia prac w ramach wybranych zagadnień, przykładowo w obszarze zagadnień związanych z akustyką.

W rozdziale 10 zatytułowanym *BIBLIOGRAFIA*, na 9 stronach wykazano spis literatury obejmujący 181 pozycji, wyodrębniając z nich 47 pozycji w zakresie źródeł prawa.

W dalszej kolejności przedstawiono *Wykaz ważniejszych oznaczeń*, SPIS RYSUNKÓW i SPIS TABEL. Punktów tych nie ujęto w spisie treści.

2.3. Ocena układu pracy

Strukturę pracy ogólnie oceniam pozytywnie. Pewną wątpliwość budzi brak wyraźnego rozgraniczenia w pracy rozdziałów poświęconych aspektom analitycznym (matematycznym), numerycznym i doświadczalnym. Wszystkie te dziedziny przeplatają się niemalże w każdym rozdziale pracy, co skutkuje trudnością w rozgraniczeniu pomiędzy badaniami własnymi, a poszerzonym studium literatury. Przykładowo, można mieć wątpliwości, które modele matematyczne były wykorzystane do symulacji numerycznych, a które prezentowane były w kontekście ogólnego stanu wiedzy Autora.

Kolejna uwaga odnośnie struktury dotyczy rozdziału 2, w którym Autor przedstawia w sposób ogólny zagadnienia mające związek z podjętą pracą badawczą. W kontekście poszczególnych zagadnień Autor wskazuje na ważniejsze w jego opinii pozycje literaturowe. Rozdział ten nie zawiera zatem opisu dokonanych innych badań, a jedynie odsyła do konkretnych publikacji w ramach zagadnienia. Zdaniem recenzenta lepszym podejściem jest wskazywanie wybranych osiągnięć poprzez prezentację wybranych modeli czy też prowadzonych eksperymentów wskazując na konkretne wyniki, które jednoznacznie prezentują aktualny stan wiedzy. W przyjętej strukturze kolejne rozdziały zawierają obszerne opisy prac innych badaczy, przykładowo opisy modeli matematycznych z prac [59, 83].

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Ocenę merytoryczną pracy oparto na następujących przesłankach:

- 1) Autor podjął się prac analitycznych z wykorzystaniem modeli matematycznych w postaci równań różniczkowych. W wyniku analiz różnych modeli opisujących interakcję pojazdu szynowego i toru opracowany został model numeryczny, który następnie rozwiązywany był w programach do badań symulacyjnych.
- 2) Symulacje komputerowe zjawisk dynamicznych w układzie pojazd-tor wymagały od Autora gruntownego rozpoznania metod numerycznych oraz sposobów implementacji założeń geometrycznych i mechanicznych do zaawansowanego narzędzia informatycznego. Zdefiniowanie modelu i prowadzenie analiz numerycznych wymagały od Autora wysokiego zrozumienia zjawisk fizycznych i ograniczeń jakie niesie ze sobą samo modelowanie numeryczne.
- 3) Autor brał czynny i aktywny udział w badaniach empirycznych, zarówno w zakresie badań laboratoryjnych, jak i w warunkach eksploatacyjnych. Warunki prowadzenia badań empirycznych na torze kolejowym pod ruchem (również z podwyższoną prędkością) wymagają rzetelności w ich organizacji i prowadzeniu.
- 4) Autor krytycznie odnosi się do wyników swoich badań empirycznych i teoretycznych. Rozumie trudności w osiągnięciu zbieżności wyników, widzi potrzeby dalszego rozwoju i poszerzania zakresu prac badawczych.

Ocena merytoryczna:

Pod względem merytorycznym pracę oceniam pozytywnie. Nie zawiera ona istotnych błędów czy uchybień względem podjętej tematyki. Praca prezentuje szeroki zakres prowadzonych analiz zarówno teoretycznych jak i empirycznych. Z jej treści wynika metodyczne podejście do badań naukowych.

4. Uwagi krytyczne

W niniejszym punkcie recenzji przedstawione zostaną uwagi krytyczne na temat prezentowanych w pracy osiągnięć. Część z nich wymaga od Autora poszerzonego wyjaśnienia (w trakcie publicznej obrony) oraz ustosunkowania się w formie pisemnej w ramach odpowiedzi na recenzję. Uwagi podzielono na ogólne i szczegółowe. Pierwsza grupa dotyczy kwestii merytorycznych, druga przede wszystkim uchybień edytorskich, stylistycznych oraz braku precyzji opisu.

4.1 Uwagi ogólne

W stosunku do ocenianej rozprawy doktorskiej przedstawiam następujące uwagi ogólne.

- 1) W pracy ciężko jest odnaleźć jednoznaczny i precyzyjny związek pomiędzy symulacjami komputerowymi a wynikami pomiarów prowadzonych podczas badań empirycznych. Należy wyjaśnić i zaprezentować w jaki sposób Autor spłótł ze sobą badania empiryczne i analityczne oraz numeryczne.
- 2) W pracy nie przedstawiono jednoznacznie ostatecznego modelu matematycznego i numerycznego układu pojazd-tor (jego parametrów) przyjętego do badań symulacyjnych, których wyniki porównywane były w rozdziale 7.9 z wynikami pomiarów rzeczywistych. Takie porównania wymagają wskazania zbieżności cech modelu i warunków oraz charakterystyk rzeczywistych, tj. wynikających z badań empirycznych. Pomocna byłaby tabela opisująca parametry modelu oraz wskazania, które wartości pochodzą z założeń teoretycznych, a które z literatury czy ostatecznie z własnych badań doświadczalnych.
- 3) W pracy nie zdefiniowano pojęcia jakości toru, które w rozdziale 7.5 stanowi podstawę oceny wpływu toru na przyspieszenia mierzone na pojeździe. Należy jednoznacznie opisać metodykę pomiarowo-obliczeniową wskaźnika, którym posłużono się do oceny jakości toru. W rozdziale 7.6 Autor przedstawia wykresy nierówności. Nie jest do końca jasne jak Autor ostatecznie zdefiniował „jakość toru”. Pytanie odwołuję do stwierdzenia przedstawionego na str. 105: „Jednym z parametrów które opisujących stan torów

jest „jakość toru”, wyznaczona na podstawie opracowanego przez Grupę Roboczą UIC S.C 7 G [177] w którym ujęte są wartości odzwierciedlające międzynarodową eksploatację (Tabela 7.1.).”

4.2 Uwagi szczegółowe

Ogólnie praca zredagowana jest starannie. Autor posługuje się precyzyjnym technicznym oraz naukowym językiem. Opiniowana praca zawiera jednak pewne uchybienia edytorskie. Przykładowo, część rysunków jest nieczytelna z uwagi na zbyt małą czcionkę w opisach, czy z uwagi na brak legendy przy wykresach. W odniesieniu do części rysunków nie zastosowano też zasady, że w pierwszej kolejności podać należy opis w treści z odwołaniem do rysunku, a zaraz potem sam rysunek. Dla części rysunków nie podano również źródła – nawet jeśli jest to opracowanie. Przy części równań matematycznych nie wyjaśniono wszystkich symboli. Poniżej zamieszczam listę wybranych uwag:

str. 21: "Modele rozważane w pracy dotyczą analizy współpracy koła z szyną, możliwymi uszkodzeniami kół, i ich zużyciem eksploatacyjnym" - błąd gramatyczny i interpunkcyjny.

Brak odniesień do części rysunków: rys. 3.2.2., 3.2.4., 3.3.4., 3.5.1., 3.5.6., 3.7.3.

str. 44 Numeracja wzorów z rozdziału 3.7, równanie 3.7-4 zostało błędnie sformatowane.

Str. 50 Nie rozwinięto skrótu DTR.

Str. 50: Drugi akapit pod rysunkiem – brakuje części zdania.

Str. 60 W pracy nie występuje rysunek 4.2.3. przytoczony w tekście, ta sama uwaga do rys. 4.2.4.

Str. 68 Rozstaw szyn nie jest tożsamy z szerokością toru.

Str. 70 W zdaniu „...gdyż wszystkie koła doznają w czasie jazdy niemal jednocześnie oscylacyjnej zmiany sztywności szyn” nie wyjaśniono na czym polega zmiana sztywności szyn.

Str. 77 Zamiast „podkładki podszynowej” powinno być „przekładki podszynowej”.

Str. 82 Po zdaniu „...torem prostym...”, nie wyjaśniono czym jest tor prosty. Nie wyjaśniono czym jest „ugięcie wywołane ścinaniem”.

Str. 83 W zdaniu „...poddany obciążeniu siłą skupioną...” powinno być „poddaną”.

Str. 84 W zdaniu „Do geometrycznych nierówności należy zaliczyć...rozjazdy czy styk szynowy”. Nieprecyzyjne stwierdzenie. Rozjazdów kolejowych i styków szyn w złączach szynowych nie klasyfikuje się jako nierówności. Należało opisać kontekst związany z nieciągłością w torze.

Str. 85 Nie wyjaśniono pojęcia „współczynnik podparcia szyny u ”.

Str. 85 „Głębokość nierówności geometrycznych stanowi ułamek mm...” być może Autor miał na myśli nierówność na powierzchni tocznej główki szyny.

Str. 88 „Tradycyjny tor składa się z dwóch nieskończonych szyn...”, w warunkach rzeczywistych jest to niemożliwe, nieprecyzyjne sformułowanie.

Str. 92 „Przeciwdziałają więc rozprzestrzenieniu się hałasów”, powinno być raczej hałasu.

Str. 93 Obszerny opis na tej stronie, poza ostatnim akapitem wydaje się nie mieć związku z kontekstem rozdziału.

Str. 103 Rysunek 7.4.4. nie zawiera legendy. Rysunek 7.4.5. - w tekście jest mowa o wagonie osobowym, a w podpisie o towarowym. Rysunek 7.4.6. nie ma komentarza i odwołania w treści.

Str. 105 Zdanie: „Szczegółowe wyniki badań przedstawiono w szczegółowym raporcie z badań [20]” jest niestylistyczne.

Str. 105: Zdanie „Jednym z parametrów które opisujących stan torów jest „jakość toru”, wyznaczona na podstawie opracowanego przez Grupę Roboczą UIC S.C 7 G [177] w którym ujęte są wartości odzwierciedlające międzynarodową eksploatację (Tabela 7.1.).” posiada błędy gramatyczne i interpunkcyjne, a przede wszystkim nie jest jasne co Autor miał na myśli ponieważ nie definiuje tych parametrów w pracy.

Wymienione błędy mają charakter głównie edytorski i nie wpływają zasadniczo na jakość (zwłaszcza merytoryczną) pracy, która napisana jest w znacznej mierze językiem precyzyjnym, wskazującym na szeroką wiedzę i doświadczenie Autora w dziedzinie inżynierii kolejowej.

5. Wniosek końcowy

Praca zawiera szereg analiz zmierzających do udowodnienia postawionych tez o charakterze naukowym i utylitarnym. Autor zaprezentował kompleksowe podejście do badań empirycznych, prowadząc je w zróżnicowanych warunkach, również eksploatacyjnych. Prowadzone badania zostały zaprojektowane i przeprowadzone w ścisłym związku z postawionymi tezami, co stanowi istotny element metodyki badań naukowych. Kluczowy udział w prowadzonych badaniach miał również aspekt modelowania matematycznego i numerycznego. Autor przeprowadził szereg analiz bazując na zaawansowanych modelach numerycznych zdefiniowanych w programie komputerowym MEDYNA. Można zatem wskazać na złożone podejście metodyczne Autora w jego dotychczasowej pracy badawczej. W związku z powyższym uważam, że cel pracy doktorskiej został osiągnięty z wykorzystaniem metody naukowej. Oceniona praca zawiera również oryginalne rozwiązania w postawionym problemie naukowym oraz dowodzi odpowiedniego poziomu wiedzy ogólnej Autora w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Wniosek do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Tokaja pt.: *Ocena jakości eksploatacyjnej drogi szynowej na podstawie jej diagnostyki*, w opinii recenzenta spełnia wymogi określone w art. 13 ust. 1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595, z późn. zm.).

Wnioskuje o przyjęcie i dopuszczenie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Gdańsk, 16 września 2023r.

Piotr Chrostowski

