



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

Dr hab. inż. Piotr Chrostowski, prof. PG

26.07.2022 r.

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

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.:

„Analiza stateczności toru kolejowego w łuku o małym promieniu”

Autor: mgr inż. Dorota Błaszkiwicz-Juszczęć
Promotor: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Czyczyła

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 24 maja 2022r. o sygnaturze L0.510.4.2.2022, realizującym postanowienie uchwały z dnia 18 maja 2022 roku, podjętej przez Radę Naukową Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

1.2 Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Doroty Błaszkiwicz-Juszczęć pt.: *Analiza stateczności toru kolejowego w łuku o małym promieniu*.

Rozprawa opracowana została na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem promotora, Pana prof. dr hab. inż. Włodzimierza Czyczyły.

Do recenzji przekazano zredagowaną rozprawę doktorską w formie zwartego wydruku, zawierającą 148 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).

DZIEKANAT Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia...	28.07.2022
L. dz.	L0.510.4.3.2022
podpis... <i>Górniewicz</i>	

2. Tematyka i układ rozprawy doktorskiej

2.1 Ocena doboru tematyki

Recenzowana praca dotyczy (zgodnie z jej tytułem) zagadnienia stateczności toru kolejowego, ze szczególnym uwzględnieniem ukształtowania osi toru w łukach poziomych o małym promieniu. W związku z powyższym jest to zagadnienie bezpośrednio związane z bezpieczeństwem eksploatacji dróg szynowych, zwłaszcza wykonanych w technologii toru bezстыkowego. Bezpieczeństwo to wynika z odpowiednich założeń konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych w całym procesie aktywnej eksploatacji toru kolejowego. Autorka pracy wskazuje na brak precyzyjnych wytycznych w zakresie doboru rozwiązań technicznych mających na celu ograniczenie ryzyka wybożenia toru kolejowego w warunkach niekorzystnych układów geometrycznych, tj. w przypadku łuków poziomych o małym promieniu. Wskazany problem wynika głównie ze złożoności zagadnienia stateczności bezстыkowego toru kolejowego. Jego teoretyczne rozwiązanie, a następnie praktyczne wykorzystanie wyników wymaga rozpoznania szeregu parametrów mechanicznych i eksploatacyjnych, których zmienność, a przede wszystkim trudności w precyzyjnym wyznaczeniu ich wartości sprawiają, że zagadnienie stateczności toru jest wciąż aktualnym problemem badawczym podejmowanym całym światem. Autorka pracy podjęła to wyzwanie proponując opracowanie oryginalnej metody oceny rozwiązań konstrukcyjnych, mających na celu poprawę warunków pracy konstrukcji nawierzchni kolejowej w łukach o małych promieniach. Wyeliminowanie z eksploataowanych torów kolejowych miejsc o takiej charakterystyce geometrycznej z praktycznego punktu widzenia jest nieosiągalne. Dlatego opracowanie metod wzmacniania istniejących konstrukcji, czy też projektowania nowych rozwiązań jest uzasadnione, a ocena proponowanych metod pod kątem bezpieczeństwa stanowi niewątpliwie istotny element tego procesu.

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

2.2 Charakterystyka i ocena układu pracy

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

Rozdział 1 zatytułowany *Wprowadzenie* zajmuje 2 strony. W rozdziale tym w sposób zwięzły przedstawiony został zakres stosowalności toru bezстыkowego w odniesieniu do łuków (poziomych) o małych promieniach.

Rozdział 2 zatytułowany *Podstawowe problemy eksploatacji nawierzchni w łukach o małych promieniach – przegląd doświadczeń eksploatacyjnych, badania doświadczalne i modelowe – przegląd literatury*, liczy 47 stron. Rozdział rozpoczyna się przedstawieniem głównych założeń teoretycznych związanych ze statecznością toru bezстыkowego, co stanowi wstęp do analizy literatury dotyczącej prac badawczych bezpośrednio związanych z utrzymaniem toru bezстыkowego. Dalsza część rozdziału poświęcona jest prezentacji najważniejszych badań prowadzonych w niniejszej tematyce przez innych badaczy. Autorka podzieliła studium literatury przedmiotu na podrozdziały opisując osobno kluczowe parametry mające bezpośredni wpływ na stateczność toru bezстыkowego. Podział ten jest czytelny i w prawidłowy sposób nawiązuje do praktyki utrzymaniowej w inżynierii kolejowej. Autorka przedstawiając wybrane prace badawcze związane z metodami ograniczenia ryzyka wybożenia toru konkluduje, iż brakuje w ogólnie dostępnej literaturze metody pozwalającej porównać i ocenić efektywność przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych w określonych warunkach eksploatacyjnych związanych ze stanem toru, technicznym stanem nawierzchni czy ostatecznie z układem geometrycznym.

Rozdział 3 zatytułowany *Cel, tezy i zakres pracy*, opisany został na 1 stronie.

W trzech podpunktach określono zawarte w tytule rozdziału naukowe aspekty rozprawy doktorskiej.

Rozdział 4 zatytułowany *Badania laboratoryjne i pół-poligonowe*, opisany został na 19 stronach.



W rozdziale tym Autorka przedstawiła główne założenia konstrukcyjne dotyczące dwóch metod wzmocnienia nawierzchni szynowej. Metody te polegają na wykorzystaniu innowacyjnych podkładów stalowych typu V oraz na wzmocnieniu nawierzchni na podkładach strunobetonowych elementami usztywniającymi, montowanymi do centralnej części podkładów. Ponadto w rozdziale prezentowane są założenia oraz wyniki badań empirycznych, mających na celu identyfikację wartości parametrów mechanicznych, takich jak opory na przemieszczenia rusztu torowego oraz sztywność ramowa nawierzchni w przypadku stosowania dodatkowych wzmocnień łączących podkłady w ich środkowej części. Zaprezentowano wyniki pomiarów w postaci graficznej i tabelarycznej, a następnie na podstawie dyskusji wyników sformułowano wnioski z przeprowadzonych prac doświadczalnych.

Rozdział 5 zatytułowany *Analizy teoretyczne i numeryczne*, obejmuje 38 stron.

W rozdziale tym Autorka przedstawiła teoretyczne założenia do wyprowadzenia modelu analitycznego w postaci równań różniczkowych. Dysponując tak zdefiniowanym modelem analitycznym Autorka przeprowadziła szereg analiz z wykorzystaniem programu komputerowego do obliczeń matematycznych MathCad w celu wykazania wpływu poszczególnych parametrów modelu teoretycznego na przebieg ścieżki równowagi toru bezстыkowego. Wartości parametrów w odpowiednim zakresie zmienności pochodzą z autorskich badań laboratoryjnych i poligonowych, a także ze studium literatury przedmiotu. W analizie uwzględniono założenie o stałym i zróżnicowanym rozkładzie oporu poprzecznego w obszarze deformacji toru.

Kolejną część rozdziału 5 poświęcono analizom z zastosowaniem modelu numerycznego nawierzchni toru bezстыkowego. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych w programie Autodesk Simulation Multiphysics. Model zdefiniowano w przestrzeni 2D (Płaski Stan Naprężeń) wykorzystując nieliniowe charakterystyki ośrodka podsypki tłuczniowej (opór poprzeczny) oraz systemu przytwierdzeń szyn do podkładów (opór na przemieszczenia podłużne i na obrót szyny w węźle przytwierdzenia). Parametry modelu dobrano kierując się charakterystykami empirycznymi z badań przedstawionych w studium literatury. Model numeryczny opracował zespół badawczy Katedry Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Zaprezentowano wynikowe rozkłady przemieszczeń poprzecznych osi toru pod działaniem poprzecznej siły wymuszającej w odpowiednich zakresach wartości parametrów modelu, związanych z analizowanym stanem podsypki czy typem nawierzchni. Na podstawie tych analiz, wykorzystując bilans energetyczny pracy sił wymuszających przemieszczenia modelu toru, oszacowano wartości zastępczej sztywności rusztu torowego oraz zastępczego oporu poprzecznego podsypki. Na zakończenie przedstawiono dyskusję wpływu wybranych rozwiązań konstrukcyjnych na identyfikowane parametry zastępcze.

Rozdział 6 zatytułowany *Kryteria oceny efektywności różnych sposobów wzmocnienia konstrukcji nawierzchni w łuku kołowym z uwagi na stateczność toru*, obejmuje 15 stron.

W rozdziale tym zaproponowane zostały dwa kryteria oceny bezpieczeństwa eksploatacji toru bezстыkowego w zależności od przyjętej konstrukcji i jej stanu oraz promienia poziomego łuku kołowego. W kryterium pierwszym, dla parametrów zastępczych modelu, obliczana jest wartość minimalnego przyrostu temperatury (obliczenia ścieżki stateczności), która porównywana jest z zastępczym ekwiwalentnym przyrostem temperatury szyny. Wartość zastępcza wyznaczana jest zgodnie z zaprezentowanymi w rozdziale założeniami i wiedzą ekspercką. Jest to kryterium temperatury minimalnej.

Drugie kryterium uwzględnia stan, w którym może dojść do utraty stateczności toru pod wpływem zewnętrznych oddziaływań mechanicznych wywołanych przez przejeżdżający tabor. Ocena wybranych konstrukcji dla określonych promieni łuku kołowego polega na wyznaczeniu siły poprzecznej, która spowoduje wzrost amplitudy nierówności toru skutkujący przejściem stanu na ścieżce równowagi do obszaru ryzyka utraty stateczności. Ocena uwzględnia również współczynnik wykoślenia, który stanowi dodatkowe kryterium graniczne. Wskazano w pracy na przypadki, w którym silniejsze okazało się kryterium bezpieczeństwa przed wykośleniem niż kryterium stateczności toru. W rozdziale tym ocenie

poddano analizowane konstrukcje nawierzchni do układów geometrycznych z małym promieniem łuku kołowego.

W rozdziale 7 zatytułowanym *Podsumowanie i wnioski* (2 strony), w sposób syntetyczny i zwięzły podsumowano osiągnięcia badawcze opisane w pracy, nawiązując do postawionych w rozdziale 3 tez naukowych. Wskazano na oryginalne wątki rozprawy doktorskiej oraz na potrzebę kontynuowania prac badawczych, zwłaszcza w kierunku empirycznej walidacji wyników otrzymanych z analiz teoretycznych.

W rozdziale 8 zatytułowanym *Bibliografia*, zamieszczono wykaz 93 pozycji uszeregowanych w kolejności alfabetycznej.

W rozdziale 9 zatytułowanym *Spis rysunków i tabel*, zamieszczono spis tytułów (wraz z numeracją), uszeregowanych wg kolejności występowania w poszczególnych rozdziałach pracy.

Prezentowany układ rozprawy doktorskiej jest czytelny i świadczy o przemyślanej strukturze badań zarówno doświadczalnych jak i analityczno-numerycznych.

Odnosnie struktury pracy, pewną wątpliwość budzi u mnie miejsce sprecyzowania celu, tez i zakresu pracy. Są one sprecyzowane niemalże w połowie rozprawy. Autorka uzasadniła tę decyzję w ostatnim akapicie rozdziału 2 wskazując na bezpośredni związek celu swojej pracy badawczej z przeprowadzonym studium literatury. W mojej opinii lepsza byłaby odwrotna kolejność, w której studium literatury nawiązuje bezpośrednio do zakresu wyznaczonego celem i tezą badawczą. Uwaga ta ma charakter subiektywny i nie stanowi argumentu umniejszającego wartości recenzowanej pracy.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Pod względem merytorycznym pracę oceniam pozytywnie. Na taką ocenę wpływ miały przede wszystkim poniżej wymienione aspekty.

- Praca dotyczy złożonych zagadnień pod względem opisu analitycznego. Chociaż nawierzchnia toru kolejowego charakteryzuje się nieskomplikowaną strukturą elementów konstrukcyjnych, to jednak charakterystyki mechaniczne owych elementów oraz interakcje zachodzące pomiędzy elementami mają skomplikowany charakter, często nieliniowy oraz zmienny nie tylko na długości toru, ale również w czasie jego eksploatacji. W związku z tym ustalenie tychże charakterystyk jedynie na drodze analitycznej i laboratoryjnej jest zadaniem trudnym. Autorka podejmując się opracowania własnych metod wykazała duże rozeznanie w podjętej tematyce opisując kluczowe zagadnienia mechaniki toru bezстыkowego na podstawie przeprowadzonego szerokiego studium literatury krajowej i zagranicznej.

- Praca w swoim zakresie zawiera opis badań empirycznych. Autorka opisuje prace laboratoryjne i poligonowe, w których brała czynny udział pod kierunkiem promotora swojej pracy. Opisane badania miały charakter badań rozwojowych i służyły **praktycznym celom** związanym z eksploatacją dróg szynowych. Opisane doświadczenia wykonywane były na prototypach konstrukcji nawierzchni, w związku z tym Autorka brała udział w procesie projektowania i prowadzenia badań doświadczalnych.

- Praca zawiera rozbudowaną część analityczną. W dobie wspomagania komputerowego w analizach konstrukcji definiowanie modeli analitycznych wydaje się być metodą mało aktualną, a tym bardziej atrakcyjną w praktyce inżynierskiej. Jednak należy podkreślić, że operowanie modelem analitycznym dowodzi posiadania niezbędnego w pracy badawczej warsztatu matematycznego. Umiejętność ta pozwala również zrozumieć założenia teoretycznego modelowania zjawisk fizycznych. Autorka definiując model analityczny rozumie zależności pomiędzy fizyczną strukturą modelowanych obiektów, stanem oddziaływań zewnętrznych oraz skutków tychże oddziaływań. Przedstawione podejście analityczne nawiązuje do wcześniejszych osiągnięć badaczy zagadnień mechaniki toru, a umiejętne wykorzystanie równań różniczkowych prowadzi Autorkę do postawionych celów związanych z oceną poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych.

- Praca zawiera oryginalną metodykę oceny dowolnych rozwiązań konstrukcyjnych, którą Autorka opisała i wyjaśniła posługując się konkretnymi przykładami. Metodyka zawiera aspekt doświadczalny, analityczny i numeryczny. Wszystkie aspekty współgrają ze sobą i prowadzą do konkretnych wyników oceny przydatności poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych. Jak wspomniano wcześniej, opis nawierzchni kolejowej w analizie stateczności jest procesem złożonym. Oprócz przyjęcia odpowiedniego zbioru krytycznych parametrów, wymagana jest również ich identyfikacja na drodze doświadczalnej, często poprzez skomplikowane pomiary wielkości fizycznych. Jak podkreślono w pracy, na całym świecie wciąż poszukuje się skutecznej nieniszczącej metody określania stanu naprężeń w szynach toru bezстыkowego, której precyzja i dokładność byłyby odpowiednie do potrzeb związanych z utrzymaniem toru kolejowego. Podobne problemy występują przy ocenie właściwości podsypki tłuczniowej, warunków podparcia podkładów czy nierówności toków szynowych.

4. Uwagi krytyczne

4.1 Uwagi ogólne

W stosunku do ocenianej rozprawy doktorskiej przedstawiam następujące uwagi ogólne.

1. Prezentowane badania doświadczalne dotyczące oryginalnych rozwiązań konstrukcyjnych prowadzone były przez zespół badawczy. W pracy brakuje wyraźnego wskazania na jakim etapie tychże badań Autorka dołączyła do zespołu oraz w jakim zakresie brała czynny i aktywny udział.

2. Analizy z wykorzystaniem układów równań różniczkowych zwyczajnych zostały określone mianem metody pół-analitycznej, dokładnie określenie to dotyczy modelu teoretycznego. W pracy brakuje opisu technik numerycznych zastosowanych przez Autorkę do rozwiązania układu równań w programie Mathcad. Korzystne byłoby przedstawienie w każdym odrębnym aspekcie końcowej formy układu równań sformatowanego do potrzeb konkretnego algorytmu numerycznego całkowania (solvera).

3. W opisie modelu numerycznego brakuje precyzyjnej charakterystyki warunków brzegowych, a także wynikowych sił wewnętrznych, zwłaszcza sił normalnych, które w przyjętej analizie powinny odgrywać znaczącą rolę. Z opisu doświadczenia nie wynika również żadne założenie dotyczące obciążenia toków szynowych wpływem zmiany temperatury.

4. Opis kryteriów oceny przydatności zawarty w rozdziale 6 powinien być opatrzony przed studium przypadków (dla jasności przekazu) algorytmem postępowania. Sprecyzowany algorytm chociażby w postaci schematu blokowego niewątpliwie ułatwiłby innym badaczom możliwość odniesienia się do otrzymanych i prezentowanych wyników, czy też do samej metody. W tym celu możliwe było również zamieszczenie w załączniku do pracy kodu programu rozwiązującego układy równań różniczkowych.

4.2 Uwagi szczegółowe

Praca zawiera szereg nieścisłości i błędów edytorskich. Poniżej zamieszczam listę przykładowych uwag:

1. Str. 19, w zdaniu: *Trwałość i niezawodność szyn (...)* występuje skrót myślowy. Trwałość i niezawodność są to odrębne parametry.

2. Str. 20, w zdaniu *W odniesieniu do powierzchni tocznej (...)* w szeregu konkretnych sklasyfikowanych uszkodzeń wymieniono „uszkodzenie powierzchni tocznej”.

3. Str. 47, w zdaniu *Badanie przeprowadzono (...)* występuje nieścisłość, stal bowiem jest stopem.

4. Str. 57, w zdaniu *Znakomita większość prac (...)* występuje nieścisłość. Zapewne Autorce chodziło o płaszczyznę poziomą. W kolejnym zdaniu *Wartość sztywności na zginanie wzdłuż osi toru (...)* występuje niejednoznaczność.

5. Str. 63, Wartości kątów w stopniach nie korespondują z rysunkami technicznymi podkładu typu V.

6. Str. 65, Opis projektu stanowi powtórzenie, podobny występuje już na stronie 61.

7. Str. 78, błędne odesłanie do rysunków.

8. Str. 81, Równania 5.2 i 5.3 nie posiadają kompletnego opisu.

9. Str. 85, zdanie *Zakłada się, że opór poprzeczny (...)* ma błędną składnię, nie opisuje precyzyjnie równań.

10. Str. 86, Równania 5.12 i 5.13 nie posiadają kompletnego opisu.

11. Str. 93, Na rysunku 5.11 na osi rzędnych występuje wielkość *Temperatura minimalna*. Podana wcześniej definicja ścieżki stateczności prezentuje parametr przyrostu temperatury ΔT_{\min} . Ta sama uwaga dotyczy również innych rysunków, brak ujednoliconego opisu.

12. Rysunki 5.32 i 5.33 są nieprawidłowo sformatowane.

13. Str. 119-121, na rysunkach występuje niejednoznaczny opis osi rzędnych wykresów. (patrz – uwaga 11).

14. Str. 127, w równaniach występują braki nawiasów.

5. Wniosek końcowy

Przekazana do recenzji i oceniona rozprawa doktorska stanowi wartościową pracę naukową posiadającą walory zarówno poznawcze, jak również walory znaczenia praktycznego. Sformułowane tezy dotyczą aktualnych problemów projektowych i utrzymaniowych, a opracowana metodyka oparta została na metodzie naukowej.

Przedstawione w recenzji uwagi merytoryczne nie umniejszają wartości naukowej pracy i mogą zostać wyjaśnione podczas publicznej obrony. Uwagi szczegółowe dotyczą przede wszystkim nielicznych uchybień językowych czy też edytorskich. W ogólności stronę techniczną pracy oceniam pozytywnie. Autorka posługuje się w ocenianej pracy zrozumiałym językiem technicznym i naukowym, właściwym dziedzinie inżynierii kolejowej oraz dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport.

Przedstawiona metodyka oceny przydatności proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych stanowić może skuteczne narzędzie wspomagania decyzji w procesach projektowania, budowy i utrzymania dróg szynowych. Studium przypadków potwierdza tę przydatność i tym samym dowodzi sformułowanych w pracy tez naukowych. Dlatego uważam, że cel pracy doktorskiej został osiągnięty z wykorzystaniem metody naukowej. Oceniona praca stanowi zatem oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje odpowiedni poziom wiedzy ogólnej Autorki w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport oraz wskazuje na umiejętności prowadzenia przez Autorkę badań naukowych.

Wniosek do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Doroty Błaszkiewicz-Juszczęć pt.: *Analiza stateczności toru kolejowego w łuku o małym promieniu*, 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, 26 lipca 2022r.

Piotr Chrostowski

