Katowice, 05.06.2019r.

Dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ
Wydział Transportu
Politechnika Śląska
40-019 Katowice
Ul. Krasińskiego 8

Wydział Transportu PW
WPŁYNĘŁO
DNIA 2019 -06- 06

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej
pt.
„Symulacyjne badania ruchu pojazdów szynowych w krzywych przejściowych powyżej prędkości krytycznej"

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Wydziału z dnia 25 października 2018r. oraz pismo z dnia 18.01.2019r. Dziekan Wydziału Transportu, Politechniki Warszawskiej prof. dr. hab. inż. Marianny Jacyny.

1. Ocena aktualności tematu rozprawy oraz poprawności sformułowanych celów i tezy

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy badań pojazdów szynowych poruszających się w krzywych przejściowych i ich sąsiedztwie z prędkościami wokół krytycznej metodami symulacji numerycznej. Badania te jak wskazuje sama Autorka odnoszących się do problemów współczesnej mechaniki. W szczególności dotyczą zjawisk i metod badawczych związanych ze statecznością i chaosem w dyskretnych wielowymiarowych układach mechanicznych. Jednak równie istotne jest znaczenie poruszanej w rozprawie tematyki do bezpieczeństwa w transporcie kolejowym. Aktualnie podnoszenie standardów w transporcie kolejowym stanowi priorytetową oś działań i znaczącej liczbie odnoszą się do systemów sterowania ruchem i systemów bezpieczeństwa. Tym bardziej zaawansowana analiza dynamiki poruszających się pojazdów szynowych, nawet tylko z wykorzystaniem badań symulacyjnych, charakteryzuje się istotna wartością poznawczą, która odnosi się do innych aspektów związanych z bezpieczeństwem. Jednoznacznie potwierdza to aktualność tematu

rozprawy. **Ponadto tematyka oraz zakres rozprawy pozwala zakwalifikować ją do dyscypliny transport (aktualnie inżynieria lądowa i transport).**

Jak podkreśla Autorka przedstawione badania dotyczą podniesienia bezpieczeństwa ruchu pojazdów szynowych w wyniku podniesienia prędkości krytycznej, podniesienia bezpieczeństwa ruchu w wyniku precyzyjniejszego odwzorowania prędkości wykolejenia, a także uzyskania lepszego prowadzenia w łuku i w konsekwencji zmniejszenia zużycia koła i szyny. Chociaż opiniowana rozprawa ma charakter teoretyczny to potencjalne obszary wykorzystanie prezentowanych modeli obliczeniowych wydają się przydatne do zastosowań praktycznych dotyczących konstrukcji pojazdów szynowych.

Autorka rozprawy przeprowadziła kompleksowe badania symulacyjne wybranej grupy pojazdów szynowych w celu analizy dynamiki w ujęciu przechyłów bocznych pod kątem obserwacji zjawisk nieliniowych. Dodatkowo zaproponowała wariantowanie parametrów modeli numerycznych i warunków ruchu analizując wpływ 5 parametrów. Autorka przeprowadziła także rozważania, poparte wynikami eksperymentów symulacyjnych, dotyczące wpływu parametrów zawieszenia pojazdów szynowych na dynamikę poprzeczną podczas badanych cyklów jezdnych obejmujących jazdę po torze prostym (TP), krzywej przejściowej (KP) i łuku kołowym (ŁK). **W tym kontekście problem badawczy należy uznać za interesujący poznawczo.**

Autorka sformułowała tezę rozprawy, jako:

„Szerokie, usystematyzowane badania symulacyjne ruchu pojazdów szynowych w KP przy prędkościach wokół prędkości krytycznej v_n, a w szczególności powyżej tej prędkości, z użyciem reprezentatywnego dla różnorodności klas pojazdów szynowych zbioru modeli obiektów je reprezentujących i wariantowaniem ich parametrów doprowadzą do:

- *poznania licznych nieliniowych własności pojazdów szynowych w KP i odcinkach sąsiednich toru i pokazania, że zjawiska te nie są charakterystyczne i przypisane tylko do danej klasy, a są powszechne, w tym sensie, że nieliniowe zachowania obejmują wszystkie klasy;*
- *pewnego uporządkowania własności nieliniowych poszczególnych klas obiektów podczas ruchu z prędkościami wokół krytycznej po odcinkach toru zawierających KP;*

• *oraz uzyskania pewnej wiedzy, a być może rekomendacji w zakresie doboru parametrów sztywności i tłumienia zawieszenia obiektów reprezentujących pojazdy w celu eliminacji zachowań niekorzystnych i uzyskania zachowań pożądanych.*"

Przyjęta teza potwierdza poznawczy charakter rozprawy doktorskiej, jednak wskazuje jednocześnie na potencjalne obszary zastosowania tej wiedzy w zastosowaniach praktycznych. Jako zalecenie do przyszłych prac Autorki należy wskazań zbyt obszerne sformułowanie tezy,

Dla udowodnienia postawionej tezy określono następujące cele cząstkowe:

- wykonanie badań symulacyjnych dla reprezentatywnego zbioru obiektów obejmującego wózki pojazdów szynowych, pojazdy 2-osiowe i pojazd 4-osiowy;
- wykonanie działań weryfikujących modele obiektów, w szczególności w zakresie opisu geometrii kontaktu koło-szyna;
- wykonanie symulacji z wariantowaniem struktury obiektów (wybrane więzy i różne typy obiektów), a także cech masowych (np. wagon próżny i ładowny);
- wykonanie badań symulacyjnych dla pełnego zakresu promieni łuków R;
- wykonanie badań symulacyjnych z wariantowaniem warunków początkowych oraz prędkości v;
- wykonanie badań symulacyjnych z uwzględnieniem wariantowania innych parametrów, przede wszystkim parametrów sztywności i tłumienia I i II stopnia zawieszenia.

Uważam, że teza pracy została sformułowana prawidłowo i ma charakter twórczy. Ponadto jednoznacznie określa kierunek badań i pozwala opracować ich plan. Pewne wątpliwości może wykazywać liczba i poziom szczegółowości określonych celów. W przedstawionym ujęciu mają one raczej charakter etapów pracy. Na przyszłość proponowałbym rozróżniać etapy od celów i starać się opracować jeden cel główny, wiodący. Co prawda Autorka określa także „bezpośredni cel naukowy", jako:

„Poznanie jak największej liczby rodzajów zachowań w KP dla ruchu pojazdów szynowych w okolicach prędkości krytycznej, a w szczególności powyżej tej prędkości, w

zależności od różnych parametrów, np. promienia łuku, wartości nałożonych warunków początkowych (przemieszczeń poprzecznych), prędkości ruchu, sztywności i tłumienia zawieszenia, sztywności poprzecznej toru, błędu względnego procedury całkującej, ale też i typów pojazdów (obiektów)", jednak w tym przypadku jest on zbyt rozbudowany.

2. Struktura i charakterystyka rozprawy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej zawiera się na 278 stronach, podzielonych na 7 rozdziałów. Ponadto zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, wstęp, bibliografię, spis rysunków oraz spis tabel. Spis literatury składa się z 224 pozycji (w tym aż 14 pozycji współautorskich z promotorem Prof. Krzysztofem Zboińskim).

Kolejne tytuły rozdziałów odzwierciedlają logiczne powiązanie całości rozprawy. Treści następnego rozdziału wynikają z treści poprzedniego rozdziału. Struktura rozprawy jest logiczna i spójna.

We wstępie Autorka pokrótce przedstawia przedmiot i problem badań, wskazując jednocześnie, że wyniki przedstawione w rozprawie doktorskiej uzyskano podczas realizacji projektu badawczego nr 2014/15/N/ST8/02668 nt. Nieliniowe własności dynamiczne pojazdów szynowych w krzywych przejściowych przy prędkościach wokół krytycznej. Projekt sfinansowany został przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) w ramach konkursu PRELUDIUM. **Uważam, że realizacja projektu badawczego, w wyniku którego powstaje spójne opracowanie naukowe jednoznacznie potwierdza dojrzałość naukową Autorki rozprawy.**

W pierwszym rozdziale przedstawiono aktualny stan wiedzy wskazując publikacje dotyczące krzywych przejściowych oraz stateczności oraz dynamiki ruchu pojazdów szynowych w kontekście tematyki rozprawy. Ponadto Autorka określiła cele rozprawy oraz tezę. Na uwagę zasługuję poprawny i syntetyczny przegląd literatury, który potwierdza przygotowanie do realizacji założonych celów. Rozdział ten kończy się na 30 stronie.

Rozdział drugi zawiera opis teoretycznych metod i modeli pojazdów szynowych oraz kontaktu koło-szyna. W pracy zastosowano modele opartych na równaniach Lagrange'a II rodzaju oraz Kane'a. W konsekwencji badane są dyskretne układy pojazd szynowy-tor. W

rozprawie przedstawiono wyniki badań dla sześciu modeli obiektów reprezentowanych przez bryły sztywne, uzupełnione dyskretnymi modelami toru, podatnymi poprzecznie i pionowo. Kontakt koła z szyną modelowany jest zgodnie z zasadami przedstawionymi w pracy promotora rozprawy (Zboiński K.: Nieliniowa dynamika pojazdów szynowych w łuku). Rozdział ten kończy się na 48 stronie.

W rozdziale trzecim przedstawiono podstawowe informacje teoretyczne dotyczące krzywych przejściowych oraz stateczności ruchu pojazdów szynowych, w tym metod wyznaczania prędkości krytycznej. Zestawiono wyznaczone prędkości krytyczne badanych modeli (tab. 3.4). Rozdział ten kończy się opisem metody badawczej oraz przedstawieniem zakresu badań. Rozdział ten kończy się na 65 stronie.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki badań symulacyjnych zorientowane na wykrycie jak największej liczby nieliniowych charakterystyk badanych obiektów. Wyniki podzielono według grup badanych obiektów i ich klas (wózki, wagony 2-osiowe i wagon 4-osiowy). Rozdział zakończony jest wnioskami wynikającymi z tej części badań. Rozdział kończy się na 116 stronie.

W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań symulacyjnych ukierunkowane na analizę wpływu parametrów układu na dynamikę badanych obiektów. Autorka zaproponowała podejście bazujące na wariantowaniu określonych parametrów, jako wpływu geometrii kontaktu koło-szyna, błędu procedury całkującej, przyjętych warunków początkowych, prędkości pojazdu oraz promienia łuku kołowego. Rozdział zakończony jest wnioskami wynikającymi z tej części badań. Rozdział kończy się na 178 stronie.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań dla określonych parametrów dotyczących zawieszanie pojazdu. Badano wpływ parametrów zawieszenia I i II stopnia, modyfikując sztywności i tłumienia. Rozdział zakończony jest wnioskami wynikającymi z tej części badań. Rozdział kończy się na 238 stronie.

Ostatni numerowany rozdział rozprawy to podsumowanie rozprawy, w którym zestawiono zbiorczo wnioski ogólne z osiągniętych wyników badań oraz przeprowadzono analizę stopnia realizacji celów pracy. Odniesiono się także to tezy rozprawy wskazując, że pierwsza jej część została w całości wykazana w zakresie poznania nieliniowych

charakterystyk dynamiki pojazdów szynowych podczas ich ruchu z prędkościami wokół krytycznej, a w szczególności powyżej tej prędkości, po trasach zawierających KP. Druga część tezy dotycząca uporządkowania nieliniowych własności poszczególnych klas obiektów została również wykazana. Dokonano klasyfikacji zjawisk nieliniowych poprzez przedstawienie licznego zbioru ich postaci dla sześciu obiektów reprezentujących ich trzy klasy. Trzecią część tezy można uznać za wykazaną, ponieważ przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów sztywności i tłumienia I i II stopnia układu zawieszenia na dynamikę pojazdów szynowych. W rozdziale tym Autorka wskazuje także najważniejsze ogólne osiągnięcia pracy. Rozdział ten kończy się na 246 stronie.

Podsumowując należy jednoznacznie stwierdzić, **że Autorka zweryfikowała w sposób teoretyczny postawioną w rozprawie tezę.**

Dodatkowo należy wskazać na rozległy i aktualny przegląd literatury. Spis literatury kończy się na 264 stronie.

Język rozprawy jest prosty i komunikatywny. Nie uniknięto jednak usterek i nieścisłości, które w żadnym stopniu nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę formalna rozprawy.

3. Ocena rozprawy

Merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej jest bardzo dobra. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter interdyscyplinarny. Pod względem rozważań teoretycznych wnosi wkład w dyscyplinę inżynieria mechaniczna zaś pod względem potencjału zastosowania w dyscyplinę inżynieria lądowa i transport.

Autorka rozprawy wykazała słuszność postawionej tezy i przeprowadziła kompleksowe badania symulacyjne z ciekawym podejściem wariantowania wyników. Tym samym należy uznać, że cele rozprawy zostały zrealizowane.

Autorka nie ustrzegła się błędów, które wskazałem w recenzowanym egzemplarzu. Błędy te jednak nie wpływają na moją pozytywną ocenę merytoryczną opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Dlatego też moja ocena całości rozprawy doktorskiej jest pozytywna.

4. Uwagi i zapytania

Staranna lektura rozprawy prowadzi do następujących uwag i pytań:

1. Proszę wyjaśnić pojęcie „*wykolejenia numeryczne*" użyte na stronie 117.
2. Proszę wyjaśnić pojęcie „*odrodzenie się drgań*" użyte przykładowo na stronie 67.
3. Proszę uzasadnić stwierdzenie, które pojawia się na str. 72 i str. 114 „*od połowy długości KP drgania zaczynają zmieniać nie tylko amplitudę, ale i częstotliwość*". Skąd wniosek o częstotliwości, kiedy na rys. 4.9 przedstawiono jedynie przebiegi czasowe?
4. Proszę wyjaśnić, bardzo często używane w pracy, pojęcie „*nieliniowe własności pojazdów*". Pojęcie nieliniowości odnosi się do zjawisk, systemów i funkcji.
5. Dlaczego w pracy podjęto analizę jedynie przechyłów bocznych?
6. Całość wyników przedstawionych w pracy przedstawia funkcję odchylenia z równowagi (poprzecznego), czy podczas symulacji analizowano także przyśpieszenia drgań?
7. Większość z charakterystyk podczas jazdy na KP wykazuje pojawienie się składowej stałej tymczasowego rozkładu (funkcji). Proszę wyjaśnić to zjawisko?
8. Proszę przeprowadzić szczegółową analizę rys. 4.29 i 4.30.
9. Proszę przeprowadzić szczegółową analizę rys. 4.36-4.39.
10. Proszę przeprowadzić szczegółową analizę rys. 4.46, 4.74-4.76.

Drobne uwagi redakcyjne zaznaczyłem na otrzymanym egzemplarzu i nie mają one istotnego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy.

5. Konkluzja

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej stanowi nowe i komplementarne ujęcie problematyki badań symulacyjnych ruchu pojazdów szynowych w krzywych przejściowych powyżej prędkości krytycznej. Na podkreślenie zasługuje także poprawność zaplanowanych i wykonanych badań. Realizacja określonych etapów pracy oraz uzyskane wyniki potwierdzają poprawność przyjętej metodyki postępowania zmierzającej do udowodnienia sformułowanej tezy. Pozwala to na wnioskowanie o

umiejętności i dojrzałości mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej w prowadzeniu badań naukowych. Dodatkowo należy podkreślić że wyniki przedstawione w rozprawie doktorskiej uzyskano podczas realizacji projektu badawczego nr 2014/15/N/ST8/02668. Projekt sfinansowany został przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) w ramach konkursu PRELUDIUM.

Przedstawione uwagi nie mają większego wpływu na fakt samodzielnego zrealizowania przez Autorkę zadania naukowo-badawczego. Do rozwiązania zagadnienia Doktorantka wykazała się wiedzą z metodyki modelowania dynamiki pojazdów szynowych i kontaktu koło-szyna.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej pt. *„Symulacyjne badania ruchu pojazdów szynowych w krzywych przejściowych powyżej prędkości krytycznej”* spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. Może zatem służyć jako podstawa do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatce stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej do publicznej obrony opiniowanej rozprawy jako dzieła w zakresie dyscypliny transport (aktualnie inżynieria lądowa i transport).

Jednocześnie biorąc pod uwagę poziom rozprawy doktorskiej oraz obszerny plan badań i dotychczasowy dorobek Pani mgr inż. Mileny Gołofit-Stawińskiej składam wniosek o wyróżnienie opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Rafał Bruzelius