

Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Ul. Instytutowa 1

03-302 Warszawa

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego

pt.

DYNAMICZNE ODDZIAŁYWANIE POJAZDU SZYNOWEGO NA NAWIERZCHNIĘ KOLEJOWĄ ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM ZJAWISKA EFEKTU PROGOWEGO

1. PODSTAWA WYKONANIA RECENZJI

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport” Wojskowej Akademii Technicznej (pismo WYCH/N/00480/2020 z dnia 07.10.2020r.).

2. PODSTAWA MERYTORYCZNA RECENZJI

Podstawą opracowania recenzji była rozprawa doktorska pt. „DYNAMICZNE ODDZIAŁYWANIE POJAZDU SZYNOWEGO NA NAWIERZCHNIĘ KOLEJOWĄ ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM ZJAWISKA EFEKTU PROGOWEGO”, wydana 2020 roku na Wojskowej Akademii Technicznej.

3. CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego dotyczy badań i analiz oddziaływań pojazdu szynowego na różne konstrukcje nawierzchni kolejowych z uwzględnieniem istotnego problemu zmiennej sztywności konstrukcji w strefie przejściowej połączenia nawierzchni z obiektem inżynierskim, gdzie występuje zjawisko efektu progowego.

Podstawowym celem pracy była analiza dynamicznego oddziaływania pojazdu szynowego na nawierzchnię kolejową ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska efektu progowego w obrębie stref przejściowych obiektu inżynierskiego.

Do przedstawionego celu Autor postuluje główną tezę pracy:

Stopniowa zmiana sprężystości podparcia szyny w obrębie stref przejściowych obiektu inżynierskiego zmniejsza negatywny wpływ dynamicznego oddziaływania pojazdu szynowego na nawierzchnię kolejową, a takie rozwiązanie jest lepsze w porównaniu do skokowej zmiany sprężystości podparcia.

Pracę można podzielić na trzy części: wstępną, merytoryczną i podsumowującą. Część pierwsza wstępną obejmuje streszczenia oraz wstęp. Część główna merytoryczna przedstawiona została w rozdziałach 1-5, w niej to opisano realizację głównego celu dysertacji tzn. opis problemu, przedstawienie modelu analitycznego, weryfikacja modelu w badaniach in-situ oraz analiza numeryczna. Pracę kończy podsumowanie z wnioskami oraz spis tabel i rysunków, bibliografia i załączniki.

Pierwsza część - część wstępna, zawiera „Streszczenie” pracy w dwóch językach - polskim i angielskim (str. 7-9, 2 strony) oraz krótki „Wstęp” (str. 11-12, 2 stron), w którym podano cel i tezę pracy.

Druga część pracy - merytoryczna to rozdziały 1 – 5. W rozdziale 1 pt. „Rozwiązania konstrukcyjne nawierzchni kolejowej” (str.13-43, 31 stron) opisano efekt progowy – występujący przy zmianie konstrukcji nawierzchni kolejowej z podsypkowej na bezpodsypkową, która jest na obiekcie inżynierskim. Zaprezentowano tutaj bardzo obszernie nawierzchnię podsypkową i bezpodsypkową z podaniem istotnych elementów konstrukcyjnych i zestawiono wybrane parametry techniczne oraz na koniec dokonano porównania obu typów nawierzchni. W rozdziale 2 pt. „Czynniki techniczno-eksploatacyjne wpływające na konstrukcję nawierzchni kolejowej” (str.44-53, 10 stron) przedstawiono główne parametry tj. techniczne: moduły Younga stali szynowej, geometrycznych momentów bezwładności wybranych szyn, moduły sprężystości podłoża pod szynami, tłumienie - konieczne do analizy numerycznej modelu nawierzchni, a także eksploatacyjne: układy podwozi, naciski i prędkości pojazdów szynowych. Kolejny 3 rozdział pt. „Analityczny i numeryczny model nawierzchni kolejowej” (str.54-87, 34 stron) jest główną merytoryczną częścią, dotyczącą modelowania fizyczno-matematycznego, a następnie numerycznego. Autor opisuje, że do rozwiązania zagadnienia obciążenia dynamicznego nawierzchni kolejowej przyjęto belkę Bernoulliego – Eulera, spoczywającą na podłożu sprężystym Winklera. Następnie opisano model analityczny do wyznaczenia przemieszczeń pionowych toku

szynowego i podano sposób rozwiązania metodą różnic skończonych. Dalej pokazano numeryczny model pojazd – nawierzchnia, gdzie opisano dane do obliczeń w programie MATLAB. Rozdział kończy schemat blokowy algorytmu obliczania przemieszczeń pionowych szyny. W rozdziale 4 pt. „Badania” (str.88-102, 15 stron) przedstawiono pomiary wysokości toków szynowych metodą skaningu laserowego, które weryfikują wyniki analiz teoretycznych. Rozdział 5 pt. „Analiza numeryczna” (str.103-129, 27 stron) dotyczy opisu: uwarunkowań numerycznych tj. warunków zbieżności i dokładności obliczeń, optymalnej długości toku szynowego; porównania wyników z obliczeń i pomiarów; analizę rozwiązań przy różnych typach konstrukcji stref przejściowych nawierzchni kolejowej. Rozdział ten kończy podsumowująca analiza, która udowadnia postawioną przez Autora tezę pracy.

Część końcowa obejmuje rozdział „Podsumowanie i wnioski” (str.130-133, 3 strony), w którym przedstawione zostały wnioski wynikające z realizacji pracy doktorskiej oraz kierunki dalszych prac badawczych rozwijających wiedzę o efekcie progowym.

W bibliografii zestawiono 74 pozycji literaturowych oraz przywołano 15 stron internetowych.

Dodatkowo do pracy Autor załączył: „Obliczenia modułów sprężystości nawierzchni”- (Załącznik 1 str. 147 - 148), „Skrypt algorytmu w programie MATLAB” - (Załącznik 2 str. 149 - 152), Płytę CD zawierającą oprogramowanie Model.m. i tekst niniejszej pracy.

W głównej części pracy zamieszczono 97 rysunków i 25 tabel.

Rozprawa ma charakter teoretyczno-obliczeniowo-badawczy.

4. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Trwałość nawierzchni kolejowych jest w istotnym stopniu uzależniona od stanu podłoża, w tym także od jego sztywności i sprężystości, które to parametry odpowiadają za jednorodne odkształcenia konstrukcji. Również dla utrzymania właściwych cech eksploatacyjnych nawierzchni np. równości toku szynowego, ważne jest, aby unikać w rozwiązaniach konstrukcyjnych skokowej zmiany sztywności i sprężystości.

Przyspieszona degradacja konstrukcji nawierzchni kolejowej występuje szczególnie w miejscach zmiany warunków podparcia toków szynowych, gdzie występuje, jak podaje Autor

efekt progowy, który objawia się zmieniającą się gwałtownie wartością ugięcia i zwiększeniem naprężeń ścinających w szynach.

Ze względu na podjętą tematykę przez Doktoranta praca jest bardzo aktualna i cenna, przede wszystkim ze względu na obecny rozwój kolei dużych prędkości, gdzie efekt progowy będzie jeszcze bardziej istotny na eksploatowanych nawierzchniach kolejowych.

Należy także zauważyć, że efekt progowy może wystąpić w różnych typach konstrukcji, jak np. w nawierzchniach drogowych w połączeniu z obiektami inżynierskimi, czy w połączeniu dwóch typów nawierzchni np. sztywnej i podatnej lub w nawierzchniach lotniskowych. W takich przypadkach często stosuje się specjalne konstrukcje płyt przejściowych, które umożliwiają płynną zmianę sztywności podparcia takich konstrukcji.

Tym bardziej należy pochwalić ceną inicjatywę podjętą przez Doktoranta wykonania pracy badawczej odnoszącej do problemu efektu progowego.

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego pt. „Dynamiczne oddziaływanie pojazdu szynowego na nawierzchnię kolejową ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska progowego” obejmuje szeroki opis konstrukcji nawierzchni kolejowych z ukazaniem istotnego problemu połączenia różnych typów konstrukcji ze względu na występujący efekt progowy. Autor w pracy modeluje nawierzchnię kolejową belką Bernoulliego – Eulera, spoczywającą na podłożu sprężystym Winklera. Przedstawiono autorski model obliczeniowy dynamicznego oddziaływania pojazdu szynowego na nawierzchnię z określeniem wpływu zróżnicowania podparcia szyn. Doktorant do rozwiązania problemu, tj. równania różniczkowego czwartego rzędu ze względu na współrzędna przestrzenną i drugiego rzędu ze względu na czas, zastosował metodę różnic skończonych. Do obliczeń numerycznych wykorzystany został program MATLAB z autorskim algorytmem i skrypcem, w którym, co jest godne zauważenia, umiejętnie uwzględniono zmianę rodzaju nawierzchni i zmianę modułu sprężystości podłoża.

Do zweryfikowania modelu Doktorant wykonał badania przemieszczeń pionowych pod obciążeniem przejeżdżającego pojazdu kolejowego na dwóch rzeczywistych obiektach inżynierskich i w strefach dojazdowych do nich. W pomiarach zastosowano metodę skaningu laserowego.

Bardzo interesująca jest analiza numeryczna 3 różnych konstrukcji stref przejściowych wykonana przez Autora w celu znalezienia optymalnego rozwiązania. Najlepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest stopniowa zmiana sprężystości podparcia szyny, która

skutkuje zmniejszeniem maksymalnego przemieszczenia pionowego w stosunku do rozwiązania skokowej zmiany o 25%.

Jednocześnie Doktorant, znajdując optymalne rozwiązanie konstrukcyjne, udowadnia postawioną tezę w pracy, że stopniowa zmiana sprężystości podparcia szyn w obrębie stref przejściowych obiektu inżynierskiego zmniejsza negatywny wpływ dynamicznego oddziaływania pojazdu szynowego na nawierzchnię kolejową.

5. Dyskusyjne uwagi do rozprawy

Analiza rozprawy pozwala także na przedstawienie uwag dyskusyjnych i krytycznych, takich jak:

1. Adekwatność przyjętego modelu do rzeczywistego układu technicznego ma istotne znaczenie w uzyskiwaniu najlepszego odzwierciedlenia wyników w szerokim zakresie badań teoretycznych i doświadczalnych *in situ*.

Model układu technicznego traktowanego jako belka jest wykorzystywany w różnych inżynierskich metodach obliczeniowych. Pierwszym modelem belki było równanie drgań belki Bernoulliego-Eulera, który w sposób uproszczony opisuje rzeczywisty ruch belki, a szczególnie jest przydatny w statyce budowli. Zaburzenia w takiej belce rozprzestrzeniają się z nieskończenie wielką prędkością (co jest sprzeczne z zasadami fizyki). Równanie, w którym prędkość rozchodzenia się zaburzeń jest skończona, podał Rayleigh, który wprowadził do równania Bernoulliego-Eulera poprawkę uwzględniającą moment bezwładności obrotowej przekroju poprzecznego belki. Z kolei S. Timoshenko wprowadził do równania Rayleigha zależność kąta ugięcia od naprężeń stycznych. Klasyczną teorię zginania belek uzupełnioną obydwoma poprawkami nazywamy teorią zginania belek Timoshenki. Wychodząc z ogólnych równań teorii sprężystości, w wyniku uśrednień po przekroju belki i odpowiednich uproszczeniach, otrzymujemy odpowiedni układ równań belki Timoshenki w postaci estakady. Model belki Timoshenki jest szczególnie przydatny do modelowania konstrukcji obciążanych dynamicznie, ponieważ bardzo dobrze oddaje procesy zachodzące pod obciążeniem. Zatem przy ewentualnych dalszych badaniach można by było rozważyć zastosowanie modelu belki Timoshenki.

2. W aspekcie podparcia ciągu szynowego można zastosować bliższe rzeczywistości szczególnie przy obciążeniach dynamicznych inne rozwiązanie niż obliczenie zastępczego modułu sprężystości wynikającego z modułów poszczególnych warstw z równania:

$$\frac{1}{k} = \sum_l \frac{1}{k_l}$$

Rzeczywista nawierzchnia składa się z kilku różnorodnych warstw spoczywających na podłożu, można ją także zamodelować warstwą o parametrach fizyko-mechanicznych równoważnych pod względem dynamicznym. Wykorzystując takie kryteria jak: masowe, falowe i energetyczne, można zastosować równoważne modele nawierzchni w układzie zhomogenizowanym z układem wielowarstwowym.

3. Niefortunne jest zestawienie w tabeli 5.9 (str. 119), gdzie przedstawiono 5 przypadków porównania wyników z badań in situ z obliczeniami numerycznymi dla przyjętego modelu teoretycznego, ponieważ brak jest jasnego powiązania wyników z parametrami nawierzchni. Można się tylko domyślać, że liczba porządkowa odpowiada poszczególnym punktom pomiarowym.
4. W pracy przedstawiono bardzo nieliczne wyniki z badań. W rozdziale 4 pt. „Badania”, gdzie opisano badania in situ przemieszczeń pionowych szyn pod poruszającym się obciążeniem metodą skaningu laserowego nie zamieszczono żadnych wyników pomiarów, jedynie jest odesłanie do podrozdziału 5.2 pt. „Porównanie wyników analizy numerycznej z wynikami doświadczalnymi”. Natomiast w podrozdziale tym przedstawiono jedynie pięć wyników pomiarów in situ.

Reasumując uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska jest osiągnięciem naukowym Autora, a zauważone niedociągnięcia nie obniżają jej właściwego poziomu merytorycznego.

6. WNIOSEK KOŃCOWY

Doktorant zrealizował postawione w celu pracy problemy badawcze, wykorzystał do tego właściwe metody badań teoretycznych i doświadczalnych oraz odpowiednie analizy, wnosząc własne elementy.

Oceniana przez mnie rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego pt. „Dynamiczne oddziaływanie pojazdu szynowego na nawierzchnię kolejową ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska progowego” spełnia warunki stawiane pracom doktorskim określone

w Ustawie o stopniach naukowych oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r., wraz z późniejszymi zmianami.

Wnoszę o jej przyjęcie i Autora o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long vertical stroke, positioned to the right of the main text.