

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego pt. „ Dynamiczne oddziaływanie pojazdu szynowego na nawierzchnię kolejową ze szczególnym uwzględnieniem zjawiska efektu progowego”

Recenzję opracowałem na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport płk. prof. dr hab. inż. Michała Kędzierskiego z dnia 7 października 2020 oraz egzemplarza pracy wraz z płytą CD.

1. Podstawowe informacje o rozprawie doktorskiej

Rozprawa zawiera 153 strony, w tym 2 załączniki. Załącznik 3 stanowi płyta CD, gdzie przedstawiono oprogramowanie wykonane przez Autora oraz tekst rozprawy w formacie pdf. Rozprawa, oprócz streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wstępu, składa się z 6 rozdziałów. Dołączono spis tabel i rysunków, bibliografię i – wspomniane już - załączniki. Rozdział 1, zatytułowany *Rozwiązania konstrukcyjne nawierzchni kolejowej*, zawiera opis efektu progowego, opis elementów podsypkowej nawierzchni, opis najczęściej stosowanych typów nawierzchni bezpodsypkowych (niekonwencjonalnych), ogólne informacje o podtorzu kolejowym, a także porównanie podstawowych parametrów (cech) konstrukcji podsypkowych i bezpodsypkowych, w tym kosztów budowy i eksploatacji, trwałość i inne cechy funkcjonalne, ujęte jako wady i zalety obu tych konstrukcji nawierzchni.

W rozdziale 2 *Czynniki techniczno-eksploatacyjne wpływające na konstrukcję nawierzchni kolejowej*, jako czynniki techniczne omówiono charakterystyki szyny jako materiału o bardzo wysokich wymaganiach użytkowych (odporność na pękanie, zużycie, itd.), omówiono pojęcie efektywnej sztywności zginania szyny oraz omówiono globalne charakterystyki nawierzchni jako szyny, spoczywającej na sprężysto-lepkim podłożu, tzn. moduł sprężystości i tłumienia. Jako czynniki eksploatacyjne omówiono podstawowe parametry pojazdów szynowych, w tym konfigurację osi, nacisk osi oraz maksymalną prędkość, ograniczając się, poza lokomotywami, do najbardziej popularnych typów pojazdów, kursujących po sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Rozdział 3 *Analityczny i numeryczny model nawierzchni kolejowej* stanowi jedną z trzech zasadniczych elementów pracy. Przedstawiono model fizyczny, matematyczny i numeryczny nawierzchni kolejowej i obciążenia. Jako model nawierzchni przyjęto belkę Bernoulliego-Eulera, spoczywającą na sprężysto-lepkim podłożu. Zarówno sztywność zginania belki, jak i współczynniki sztywności i tłumienia są zmienne na długości. Stała jest natomiast masa jednostkowa belki. Jako model obciążenia przyjęto układ sił skupionych, poruszających się ze stałą prędkością. Przedstawiono szczegółowo model numeryczny, wykorzystując metodę różnic skończonych. Pokazano sposób przedstawienia szukanej funkcji i pochodnych w równaniu ruchu, obciążenia, a także warunki początkowe i brzegowe. Do wykonania obliczeń wykorzystano pakiet obliczeniowy MATLAB.

Rozdział 4 *Badania* przedstawia sposób pomiarów doświadczalnych ugięć szyny przy zastosowaniu skaningu laserowego. Opisano tor pomiarowy, sposób mocowania skanera oraz dokładność pomiaru.

Opisano także badane obiekty, scharakteryzowano pojazdy szynowe, użyte do badań oraz warunki eksploatacyjne prowadzonych badań doświadczalnych.

Rozdział 5 *Analiza numeryczna* stanowi trzecią najważniejszą część pracy: przedstawiono tam głównie porównanie wyników badań doświadczalnych z wynikami analiz numerycznych.

Przedstawiono również wyniki analizy porównawczej przy uwzględnieniu nagłej i stopniowej zmiany sztywności podparcia szyny w strefie przejściowej pomiędzy nawierzchnią na podłożu gruntowym a nawierzchnią bezpodsypkową na obiekcie mostowym.

W rozdziale 6 *Podsumowanie i wnioski* przedstawiono syntezę pracy w odniesieniu do prac modelowych i doświadczalnych oraz ich porównania.

Bibliografia zawiera 74 pozycje literatury i 15 odwołań do stron internetowych.

2. Ogólna ocena rozprawy

Jednym z podstawowych pytań, na jakie trzeba odpowiedzieć przy ocenie prac dyplomowych z inżynierii jest to, czy temat jest ważny i aktualny. W odniesieniu do rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego odpowiedź na postawione pytania jest jednoznacznie pozytywna.

Zagadnienie opisu zjawiska efektu progowego jest niewątpliwie istotnym problemem współczesnego kolejnictwa. Można podać wiele przykładów, gdzie zmiana sztywności podparcia szyny na połączeniu nawierzchni podsypkowej na podłożu gruntowym z nawierzchnią bez podsypki stwarza istotne problemy w utrzymaniu bieżącym, np. na obiekcie przed stacją Kraków Płaszów, gdzie zastosowano nawierzchnię Rheda 2000, ze strefą przejściową wykonywaną przez specjalistów niemieckich i wielokrotnie poprawianą. Ponadto zagadnienie to, pomimo wielu prac z tego zakresu, nie zostało dostatecznie wyczerpująco opisane – opiniowana rozprawa stanowi przyczynek do lepszego poznania zjawiska. Zatem podjęty temat jest ważny i aktualny.

Istotną cechą pozytywną rozprawy jest umiejętne powiązanie analizy teoretyczno-numerycznej z badaniami doświadczalnymi, co stanowi całościowe ujęcie zjawiska.

Układ pracy jest prawidłowy, rozważania prowadzone są na ogół prawidłowo. Praca napisana jest starannie, cytowana literatura dobrana jest prawidłowo.

Zastosowanie różnic skończonych jako metody rozwiązania równań cząstkowych przy użyciu popularnego pakietu obliczeniowego MATLAB jest niewątpliwą zaletą pracy i daje możliwość wprowadzenia uogólnień, również poprzez rozbudowę równań ruchu szyny jako belki na sprężysto-lepkim podłożu.

Dlatego pewien niedosyt stanowią wprowadzone uproszczenia w równaniach ruchu belki w strefach zmiennej sztywności podparcia szyny i zmiennej sztywności zginania oraz pominięcie imperfekcji nawierzchni. Ich uwzględnienie można wprowadzić na przykład w formie zmiennego obciążenia bezinercyjnego. Wydaje mi się, że doskonalenie zaproponowanej metody rozwiązania można by także ukierunkować na ściślejszy zapis równań, co przedstawię w dalszej części recenzji.

3. Uwagi szczegółowe

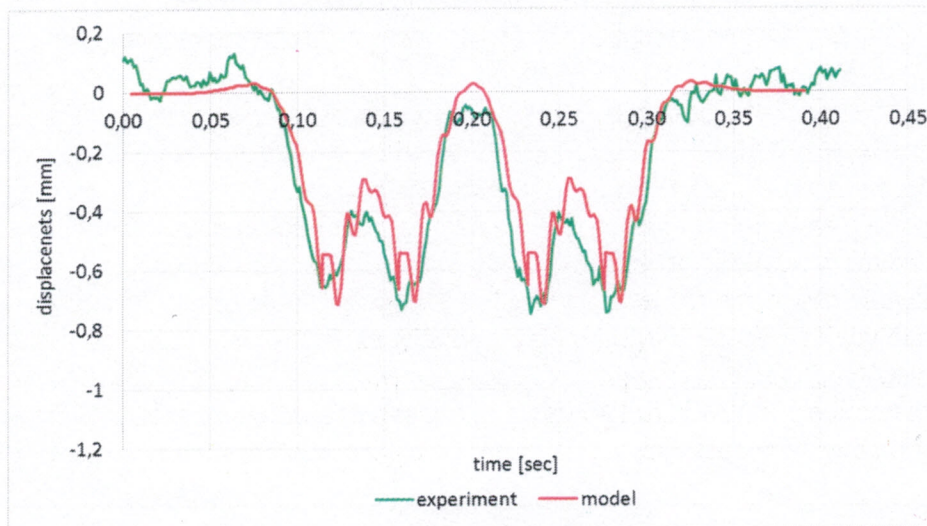
1. Rozważania, prowadzone w rozdziale 3 są – aż do wzoru (3.32) – należy uznać za prawidłowe. Są one prowadzone przy założeniu, że sztywność zginania belki jest stała. I nagle pojawia się równanie (3.33), w którym uzmiennia się ją, pisząc $(EI)(x)$. Tymczasem

przejście z równania (3.25) do równania (3.26), wobec (3.5), nie jest ściśle, bowiem – używając pochodnych cząstkowych już na tym etapie analizy – należałoby napisać (por. pozycja literatury [53], str. 139, wzór (7.13), a także np. Utkan Hutman – Free Vibration of an Euler Beam of Variable Width on the Winkler Foundation....., Hindawi Publ., Mathematical Problems in Engineering, vol 2013, open access):

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI(x) \cdot \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \right] = \frac{\partial^2 EI(x)}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial EI(x)}{\partial x} \cdot \frac{\partial^3 w(x,t)}{\partial x^3} + EI(x) \cdot \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4}$$

W zaproponowanym schemacie rozwiązania równania ruchu szyny metodą różnic skończonych nie byłoby problemu z użyciem tego ściślejszego wyrażenia.

2. W rozdziale 4 opisując metodykę badań doświadczalnych Autor podaje, że uchwyt ze skanerem był zamontowany na metalowym pręcie długości około 40 cm wbitym w tłuścień kolejowy w sposób uniemożliwiający jakiekolwiek przemieszczenie układu pomiarowego. Wcześniej podaje, że dokładność pomiaru skanera wynosi 2 μm. Powstaje pytanie, jaka jest dokładność zastosowanej metody pomiaru. Jest to tym bardziej niezrozumiałe, że – w rozdziale 5, dotyczącym analizy numerycznej – przeprowadzono szczegółową analizę błędów, wynikających np. z przyjęcia kroku przestrzennego Δx.
3. Modelowe przebiegi czasowe ugięcia szyny odpowiadają typowym ugięciom szyny pod obciążeniem dwoma osiami taboru, zakłóconymi szumami wysokoczęstotliwościowymi (por. np. rys. 5.2). Tymczasem w przebiegach eksperymentalnych – oprócz ugięć, odpowiadających przemieszczającym się osiom taboru – pojawiają się dodatkowe drgania (por. rys. 5.6, 5.7 i dalsze). Zdaniem recenzenta uwzględnienie w równaniach ruchu imperfekcji nawierzchni pozwala na jakościowo lepszą zgodność danych doświadczalnych z przebiegami modelowymi. Przykładowo podaję rysunek, obrazujący dane doświadczalne i modelowe ugięcie podkładu pod czterema osiami pociągu EMU 250 (tzw. Pendolino) – wyniki uzyskano podczas przejazdu pociągu na linii CMK z prędkością 220 km/h na podstawie analizy obrazu zarejestrowanego kamerą zamocowaną do słupa trakcyjnego.



4. Na stronie 53 Autor pisze, że wysokie prędkości powodują zwiększoną częstotliwość pęknięć szyn, uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych, itd. Tymczasem efektywnym

sposobem ograniczenia tych zjawisk okazało się – przede wszystkim - radykalne obniżenie nacisków osi i zmniejszenie tzw. masy nieusprężynowanej pojazdów. Wspomniany pociąg EMU 250 ma naciski osi poniżej 160 kN, a na liniach Shinkansen w Japonii wprowadzono standard – maksymalnie 130 kN/oś, a nowsze pociągi mają naciski osiowe około 110 kN.

5. Wzór (3.14) na krzywiznę belki jest przybliżony – dokładna wartość zawiera również wyrażenie z pierwszą pochodną.

4. Podsumowanie i wniosek

Rozprawę doktorską mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego oceniam bardzo wysoko. Autor wykazał się umiejętnością harmonijnego powiązania analizy teoretycznej i badań doświadczalnych. Uzyskał bardzo dobrą zgodność wyników uzyskanych z analizy modelowej i badań eksperymentalnych. Z przeprowadzonej analizy uzyskał oryginalne wyniki, z których najistotniejszym jest uzyskanie ilościowej oceny stopniowej zmiany sztywności podparcia szyny w relacji do nagłej zmiany sztywności.

Biorąc to pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Lewandrowskiego spełnia wymogi, określone w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (z dnia 14 marca 2003 z późniejszymi zmianami) oraz wymogi, stawiane zwyczajowo dla prac doktorskich w zakresie nauk technicznych. Stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do obrony.

Kwestię wniosku o wyróżnienie uzależniam od odpowiedzi Doktoranta podczas obrony.


Włodzimierz Czyczuła