

Dr hab. inż. Andrzej Massel

Instytut Kolejnictwa

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

Analiza stanu naprężeń i przemieszczeń szyn ze szczególnym uwzględnieniem efektu „head on web”

autorstwa p. mgr inż. Małgorzaty Urbanek

wykonanej na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej

Warszawa, 25.04.2023

Wydziału Inżynierii Lądowej	
28 KWI. 2023	
Wpłynęło dnia	10.5.10.2022
L. dz.	
podpis	<i>Urbanek</i>

1. Przedmiot i podstawa recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dnia 15 lutego 2023 r. i na podstawie pisma Dziekana Wydziału prof. dr hab. inż. Andrzeja Szaraty z dnia 22 lutego 2023 r. Do pisma została dołączona rozprawa doktorska p. mgr inż. Małgorzaty Urbanek pt. Analiza stanu naprężeń i przemieszczeń szyn ze szczególnym uwzględnieniem efektu „head on web”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Włodzimierz Czyżuła, promotorem pomocniczym – dr hab. inż. Piotr Kozioł, prof. PK.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Tematem rozprawy jest analiza stanu naprężeń i przemieszczeń szyny kolejowej, obejmująca analizy statyczne, badania laboratoryjne a także modelowanie dynamiczne. Rozprawa jest napisana w języku polskim i obejmuje 151 stron. Składa się ona z 7 rozdziałów: (1) Wprowadzenie – geneza pracy, (2) Przegląd dotychczasowych prac, (3) Cel, tezy i zakres rozprawy doktorskiej, (4) Analiza modeli statycznych - szyny istniejące i kształty zmodyfikowane, (5) Badania laboratoryjne, (6) Analiza dynamiczna, (7) Wnioski i kierunki dalszych prac. Całość poprzedza streszczenie przygotowane zarówno w języku polskim, jak i w języku angielskim a także spis treści. Na końcu pracy zawarto wykaz bibliografii obejmujący 149 pozycji. Zamieszczono także spis tabel oraz spis rysunków. Ogółem dysertacja zawiera 122 rysunki oraz 22 tabele.

3. Treść rozprawy

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie. Autorka wskazuje w nim na trzy niedostatki istniejących modeli dynamicznych dróg szynowych:

- wartości ugięć sięgające kilku centymetrów;
- wartości naprężeń zginających w szynach, przekraczających znacznie granice wytrzymałości;
- utrata kontaktu koła z szyną i oddziaływania uderzeniowe na szynę.

Wyniki analiz z wykorzystaniem tych modeli wskazują na dużą ich sprzeczność z doświadczeniami eksploatacyjnymi. Przesłanką do podjęcia przez Autorkę badań jest próba udoskonalenia modelu nawierzchni kolejowej z uwagi na stan przemieszczeń i naprężeń w szynach, ze szczególnym uwzględnieniem efektu „head on web”.

Rozdział 2 zawiera przegląd dotychczasowych prac dotyczących problematyki dysertacji. W pierwszej kolejności (podrozdział 2.1) scharakteryzowane zostały prace dotyczące naprężeń w szynach powstających w procesie ich produkcji (szczególnie uwzględnienie procesu prostowania na zimno), uszkodzeń szyn w eksploatacji (w tym diagnostyka uszkodzeń) oraz opracowania zawierające analizy naprężeń i przemieszczeń szyny kolejowej pod wpływem obciążeń użytkowych. Podrozdział 2.2 poświęcony jest badaniom i analizom teoretycznym stanu naprężeń w szynach, w tym także efektowi „head on web”. Autorka szerzej omawia modele statyczne i dynamiczne nawierzchni, zwracając uwagę, że najpowszechniejsze jest modelowanie ukierunkowane na współpracę pojazd-tor, konstrukcji nawierzchni jak i jej podłoża. W podrozdziale 2.3 obszernie scharakteryzowane zostały modele konstrukcji nawierzchni na podłożu sprężystym, w tym modele podłoża drogi szynowej, modele jednowarstwowe oraz wielowarstwowe (dwuwarstwowe, trzywarstwowe) drogi szynowej. Opisano także stosowane metody rozwiązań, zarówno analityczne, jak i dynamiczne. Osobny podrozdział (2.4) poświęcono badaniom doświadczalnemu stanu naprężeń i przemieszczeń szyn.

Nacisk położony został na badania laboratoryjne, aczkolwiek scharakteryzowano również ważniejsze prace dotyczące badań terenowych.

W rozdziale 3 (bardzo krótkim) Autorka przedstawiła cel pracy, sformułowała jej tezy a także określiła zakres pracy i stosowane metody badawcze.

Rozdział 4 zawiera charakterystykę szyn kolejowych, obejmującą zarówno szyny powszechnie stosowane na kolejach Europy, Azji i Ameryki, jak i jeden typ szyny o zmodyfikowanym kształcie. Dla przedstawionych typów szyn Autorka zastosowała dwa następujące modele:

- Model szyny utwierdzonej,
- Model szyny z podparciem dyskretno-ciągłym.

Rozwiązania wykorzystują metodę elementów skończonych. W celu weryfikacji wpływu gęstości siatki przeprowadzono analizę porównawczą dla różnego zagęszczenia siatki, wykonanej automatycznym generatorem programu. Wynikiem analiz modelowych jest zbiór wykresów przedstawiających uzyskane wartości poszczególnych naprężeń i przemieszczeń dla różnych typów szyn.

W rozdziale 5 scharakteryzowane zostały badania laboratoryjne wykonane na dwóch typach szyn przy różnych schematach obciążenia (szyna podparta ciągle obciążona obciążeniem równomiernie rozłożonym, szyna podparta punktowo obciążona siłą skupioną, szyna ustawiona pionowo obciążona siłą wzdłużną). Dla obiektów badanych laboratoryjnie zdefiniowano modele numeryczne (przyjmując przy tym uproszczone przekroje poprzeczne szyny 60E1).

Zrealizowane za pomocą modeli analizy statyczne przeprowadzono dla obciążeń zgodnych, co do wartości i miejsca przyłożenia, z wartościami sił użytymi do badań laboratoryjnych. Wartości odkształcenia uzyskane z badań laboratoryjnych przeliczono na naprężenia i porównano z wynikami obliczonymi metodą analityczną a także z wykorzystaniem dwóch pakietów oprogramowania.

Rozdział 6 poświęcony jest zagadnieniu dynamicznej odpowiedzi toru pod obciążeniem ruchomym. Przedstawiono analityczny model dwuwarstwowy „belka w belce”. W modelu tym główka szyny (poprzez elastyczną szyjkę) wzbudza ruch całej szyny jako belki o sztywności zginania odpowiadającej całemu przekrojowi. Analizie poddano również model jednowarstwowy.

W ramach analizy parametrycznej porównywano drgania całego profilu szyny uzyskane z modelu dwuwarstwowego z drganiami szyny modelowanymi równaniem jednowarstwowym. Z porównań tych wynika, że różnica odpowiedzi między tymi dwoma przypadkami może osiągnąć 2 mm, przy czym występuje ona nawet w odległości kilku metrów od źródła obciążenia. Wpływ podłoża główki szyny na odpowiedź dynamiczną układu zmienia się wraz ze zmniejszającą się sztywnością podłoża szyny oraz zwiększającą się prędkością pociągu.

Autorka zwraca uwagę, że na różnicę między reakcją szyny w przypadku modeli dwuwarstwowego "belka w belce" i jednowarstwowego (cały profil szyny) wpływa z jednej strony układ osi pociągu, z drugiej zaś - parametry imperfekcji.

Rozdział 7 zawiera podsumowanie analiz i wskazanie kierunków dalszych prac. Podkreślono, że głównym celem rozprawy doktorskiej było opracowanie oraz analiza statyczna i dynamiczna modelu nawierzchni, w którym szyna jest opisana z uwzględnieniem założonego przekroju poprzecznego, jako „belka w belce” oraz jako ciało 3D.

Bibliografia została przygotowana w porządku alfabetycznym i liczy 149 pozycji.

Wydział Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia	
L. dz.	
.....	

4. Ocena rozprawy

Problemem naukowym, stanowiącym cel pracy była analiza stanu naprężeń i przemieszczeń w odniesieniu do szyn kolejowych. Autorka postawiła sobie za cel dokładniejsze zbadanie efektu „head on web”. Znalezienie jak najlepszych metod analizy stanu naprężeń w szynach było celem wielu prac badawczych. Nie sposób nie wspomnieć o fundamentalnej pracy Winklera z 1867 roku, w której zaproponowano wykorzystanie teorii belki do analizy naprężeń w szynach. W metodzie Winklera przyjęto założenie, że szyna zachowuje się jak belka na podłożu sprężystym podparta w sposób ciągły. Odnotowania wymagają też klasyczne prace Timoshenki z 1926 roku, w których przedstawiona została metoda analizy naprężeń statycznych i dynamicznych w szynach. Wspomnieć należy również (tego akurat w dysertacji brakuje) o fundamentalnych pracach A. Wasiutyńskiego, w ramach których badaniom (w tym z wykorzystaniem metody fotograficznej) na posterunku Włochy pod Warszawą podlegały deformacje toru pod obciążeniem eksploatacyjnym.

Należy podkreślić, że tematyka związana z badaniami naprężeń i przemieszczeń szyn jest od wielu lat obecna w pracach zespołu naukowców z Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Warto tu w szczególności wspomnieć o badaniach W. Czyżury (promotora pracy) dotyczących wpływu drgań nawierzchni na deformacje podsypki a także o udziale w międzynarodowych badaniach sił w szynach toru bezстыkowego realizowanych w ramach Komitetu D202 ERRI.

Dysertacja p. mgr inż. M. Urbanek stanowi w mojej opinii logiczną kontynuację przedstawionej tematyki badawczej. Doktorantka postawiła sobie za cel opracowanie i analizę statyczną oraz dynamiczną modelu nawierzchni, w którym szyna jest opisana z uwzględnieniem założonego przekroju poprzecznego, jako belka (główna) w belce (cała szyna) oraz jako ciało 3D, a nie jako belka. W pracy została przeprowadzona analiza dynamiczna modelu „belka w belce”, która wykazała wyraźne zwiększenie zakresu oddziaływania dla efektu „head on web” w stosunku do odpowiedzi statycznej. Można zgodzić się z tezą, że opisany model stanowi uogólnienie statyczne tego zjawiska. Za szczególnie istotny należy uznać przy tym fakt, że w pracy uzyskano ilościowe dane, dotyczące efektu „head on web” w kierunku wzdłużnym.

Innym elementem zawartym w recenzowanej rozprawie jest uzyskanie wartości dodatkowego ugięcia szyny między podkładami. Ugięcie takie może być potraktowane jako imperfekcja w opisie szyny jako belki ciągłej na ciągłym podłożu sprężysto-lepkim. Ponadto praca przyczynia się do poszerzenia wiedzy w zakresie rozkładu naprężeń i przemieszczeń w szynach kolejowych różnych profili, w tym także w szynach o zmodyfikowanych kształtach.

Każdy model opisujący zjawiska fizyczne wymaga weryfikacji doświadczalnej. Prawdopodobnie ta dotyczy również przedstawionego w rozprawie modelu „belka w belce”. Uzyskiwane z jego pomocą wyniki wymagają potwierdzenia badaniami laboratoryjnymi i terenowymi zaplanowanymi na szerszą skalę, niż było to możliwe w ramach recenzowanej dysertacji. Należy zgodzić się z proponowanymi przez Autorkę kierunkami dalszych badań teoretycznych, których celem winno być doskonalenie oraz rozszerzenie modelu, w tym poprzez wprowadzenie warstw podkładowych i podsypkowych oraz nieliniowych właściwości parametrów nawierzchni i podłoża. Celowe wydaje się także analizowanie modelu „belka w belce” zarówno w kierunku poprzecznym, jak i wzdłużnym. Model ten warto wykorzystywać do analizowania różnych typów szyn, ze szczególnym uwzględnieniem szyn charakteryzujących się zmodyfikowanymi kształtami.

Podsumowując należy stwierdzić, że postawione przez Autorkę cele zostały zasadniczo zrealizowane. Można mieć wątpliwości co do sposobu opisu uzyskanych wyników, który mógłby być jaśniejszy,

bardziej przekonujący i przejrzysty, a konsekwencji - pozwolił lepiej zaprezentować osiągnięcia Autorki. Należy zwrócić uwagę na opanowanie przez Doktorantkę aparatu matematycznego niezbędnego na potrzeby analiz teoretycznych na etapie tworzenia zaawansowanych modeli nawierzchni kolejowej.

5. Uwagi ogólne

Praca zyskałaby, gdyby szerzej przedstawiono najnowsze publikacje zagraniczne dotyczące badań naprężeń i przemieszczeń szyn a także ich modelowania. Celowe byłoby na przykład odniesienie się do następujących prac:

- Avsievich i inni, „Railway Track Stress–Strain Analysis Using High-Precision Accelerometers”, Applied Sciences 2021,
- M. Belding i inni, „Vibration-Based Approach to Measure Rail Stress: Modeling and First Field Test”, Sensors 2022,
- C. Shen i inni, „Comparisons between beam and continuum models for modelling wheel-rail impact at a singular rail surface defect”, International Journal of Mechanical Sciences 2021.
- R. Kaiser i inni, „Experimental characterization and modelling of triaxial residual stresses in straightened railway rails”, J Strain Analysis 2015,
- T.W. Chang i inni, „Modelling stress distribution in substructure of French conventional railway tracks”, Construction and Building Materials 2016.

Praca wykazuje pewne usterki edycyjne. Należy do nich występowanie licznych tzw. tekstów wiszących. Dobrą praktyką przy redagowaniu monografii jest aby przy numeracji cyfrowej wielorzędowej po tytule rozdziału 1 od razu następował tytuł podrozdziału 1.1. a tuż po tytule podrozdziału 1.6. powinien być umieszczony tytuł podrozdziału 1.6.1. itd. Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (czyli tekstów wiszących). Jeżeli tekst wiszący stanowi wartościowe wprowadzenie do tematu rozdziału powinien zostać opatrzony numerem oraz tytułem. Bardzo istotny rozdział 2.3, poświęcony modelom statycznym i dynamicznym nawierzchni, zawiera tylko jeden podrozdział (2.3.1). Tekstem wiszącym jest treść dotycząca przekrojów poprzecznych szyn na początku rozdziału 4, od strony 32 do 42. Byłoby dużo czytelniej, gdyby treść tę potraktować jako podrozdział (4.1). Ten sam problem dotyczy tekstu na początku rozdziału 6, który w mojej ocenie mógłby stać się podrozdziałem wprowadzającym w kluczowe dla logiki rozprawy zagadnienie (6.1), oczywiście z odpowiednim przenumеровaniem następnych podrozdziałów.

Ponadto w recenzowanej dysertacji występuje nielogiczna numeracja i kolejność rysunków (na przykład rysunek 5.1.1. po rysunkach 5.1 i 5.2).

6. Uwagi szczegółowe

W podrozdziale 2.2 zabrakło bardziej systematycznego przedstawienia efektu „head on web”, również w kontekście przyczyn tego zjawiska i jego potencjalnych, bądź rzeczywistych skutków. W szczególności brakuje precyzyjnej definicji tego efektu.

Cel rozprawy został w rozdziale 3 przedstawiony niezwykle enigmatycznie. Praca zyskałaby, gdyby szerzej uzasadnić potrzebę doskonalenia opisu stanu naprężeń w szynach kolejowych oraz zaproponowania modeli teoretycznych zapewniających lepszą zgodność z wynikami pomiarów w laboratoriach oraz na eksploatowanych liniach kolejowych.

W rozdziale 4 Autorka przedstawia szyn typy szyn objętych analizą, w tym szynę 60E1 o zmodyfikowanym kształcie. Poza zamieszczonym w pracy rysunkiem tej szyny brakuje jednak uzasadnienia wyboru takiego obiektu badań i analiz. Jest to tym bardziej istotne, że w praktyce jest to zupełnie inny typ szyny, o znacznie poszerzonej szyjce, w efekcie czego masa szyny jest większa o ponad 14 kg/m.

Na stronie 30 (rozdział 3.3) jest mowa o dwóch typach szyn (49E1 i 69E1). W tym drugim przypadku rozumiem, że chodzi raczej o szynę 60E1?

Na stronie 38 podpis pod tablicą 4.7 (Techniczne parametry szyny R65) jest błędny. Zawarte w tablicy dane dotyczą szyny AREA.

W rozdziale 4.2, dotyczącym modelu szyny z podparciem dyskretno-ciągłym dla wybranych przekrojów porównywano ze sobą wartości naprężeń wyznaczone z wykorzystaniem modelu i wartości pomierzone tensometrycznie. Brakuje jednak komentarza do zdarzających się rozbieżności tych wartości, widocznych na przykład na wykresach (rysunkach) 4.2.12 oraz 4.2.14. W tym kontekście zdanie ze str. 73 „W większości przypadków występuje zgodność naprężeń uzyskanych doświadczalnie i wyznaczonych, co przedstawione na Rys. 4.2.12 do 4.2.16” wydaje się nieuprawnione.

Na str. 103 podrozdział 5.3.1. pt. Analiza naprężeń dla szyny obciążonej siłą pionową nie zawiera żadnej treści poza rysunkiem (fotografią).

Na str. 108, w komentarzu do Rys. 5.3.6, Autorka odnosi się do Tab. 3.2.2, która w pracy nie występuje.

W spisie literatury w bardzo wielu przypadkach brakuje podania numeru zeszytu (w przypadku czasopism), np. poz. [13], [18], [34], [35], [65], [66], [79], [80], [82], [85], [95], [103], [122], [123], [130], [131], [135]. Pożądane byłoby także podanie numerów stron.

W spisie pozycji literatury [46] występuje błąd w nazwisku p. S. Grulkowskiego (jest Gurlowski). To samo dotyczy przywołań tej pozycji, np. na str. 37-38. Zdarzają się również błędy w przywołaniach pozycji innych literatury. Na przykład na str. 100 Autorka odnosi się do pracy Mirochy a przywołuje pozycję [128] (praca Timoshenki). Na str. 22 niewłaściwie przywołano publikację [3] autorstwa M. Ataman („w modelu zaprezentowanym przez Atamana”).

Praca byłaby dużo czytelniejsza, gdyby zawierała spis stosowanych w niej symboli, oznaczeń oraz skrótów. Ułatwiłoby to lekturę i analizę zawartości treści, szczególnie jeżeli weźmie się pod uwagę zaawansowany aparat matematyczny. Pożądane byłoby także zamieszczenie słowniczka używanych pojęć.

Autorka w tablicach na stronie 126 używa nieprecyzyjnego i niejasnego pojęcia „Szywność gąsienic”. Rozumiem, że chodzi o „szywność toru”, tak jak to napisano w poprzedzających stronę akapitach (str. 121-124)?

W niektórych miejscach w tekście rozprawy występują błędy i niestaranności językowe, np.:

- Słowo „labolatorium” (str. 110, 112),
- „Rozszerzono bazę wiedzy dotyczące rozkładu naprężeń i przemieszczeń w szynach kolejowych różnych profili, także o zmodyfikowanych kształtach.” (str. 128),
- „Należy rozważyć zmodyfikowane przekroje szyn, w których masa uległaby niewielkim zmianą, a właściwości mechaniczne ulec poprawie” (str. 129).

7. Wniosek końcowy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa p. mgr inż. Małgorzaty Urbanek podejmuje ważne zagadnienie poznawcze o dużym znaczeniu praktycznym. Rozprawa zawiera interesujące rozwiązanie problemu naukowego a równocześnie wykazuje odpowiedni poziom wiedzy specjalistycznej Autorki. Praca potwierdza znajomość aparatu matematycznego wykorzystywanego w analizach teoretycznych nawierzchni szynowych, w tym do tworzenia zaawansowanych jej modeli a także potwierdza umiejętność prowadzenia przez Doktorantkę badań naukowych. Uwagi krytyczne (zarówno ogólne jak i szczegółowe) zawarte w recenzji nie przekreślają wartości merytorycznej rozprawy, która stanowi twórczą kontynuację ważnego kierunku badań realizowanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

Rozprawa doktorska p. mgr inż. Małgorzaty Urbanek pt. Analiza stanu naprężeń i przemieszczeń szyn ze szczególnym uwzględnieniem efektu „head on web” spełnia w mojej opinii wymagania określone w Ustawie. Wniosuję zatem o przyjęcie recenzowanej rozprawy i dopuszczenie do publicznej jej obrony.

Andrzej
Massel

Elektronicznie
podpisany przez
Andrzej Massel
Data: 2023.04.25
14:27:32 +02'00'

