

**Recenzja pracy doktorskiej  
mgr. inż. Jacka Konopa pt.**

**„Dynamika układu pojazd szynowy–tor. Badania symulacyjne i eksperymentalne”**

wykonana na zlecenie  
Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych  
Politechniki Warszawskiej

Promotor: prof. dr hab. inż. Roman Bogacz  
Promotor pomocniczy: dr inż. Robert Konowrocki

**Tematyka pracy**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Jacka Konopa poświęcona jest tematyce dynamiki wzajemnego oddziaływania pojazdu szynowego i toru, z wykorzystaniem modeli uwzględniających zużycie podukładów w strefie kontaktu tocznego. Rozpatrzono kilka przypadków, m. in. jazdę po torze prostym i zakrzywionym, zróżnicowany stopień zużycia szyn i kół w pojazdach. Podano podstawowe przyczyny powstawania tego zużycia – tzw. poligonizacji w przypadku kół oraz tzw. korugacji w przypadku szyn. Zbadano również wpływ wytarcia i wadliwego połączenia szyn na dynamikę układu pojazd-tor oraz na degradację toru.

W pracy opisano autorski system monitorowania układu pojazd-tor, oparty na opracowanej metodyce pomiarów wybranych wielkości i ocenie stanu technicznego rzeczywistego obiektu. Pomiary z wykorzystaniem pojazdów poruszających się po torze doświadczalnym wykonano w ramach wieloletniej praktyki inżynierskiej mgr. inż. Jacka Konopa. Badaniom eksperymentalnym towarzyszyło budowanie modeli obliczeniowych, które zastosowano podczas symulacji komputerowych. Odpowiednie dostrojenie parametrów modeli symulacyjnych z wynikami eksperymentu pozwoliły na zbudowanie systemu wspomagającego ocenę stanu eksploatowanej infrastruktury kolejowej.

## Zakres pracy

Praca składa się z 5. rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz bibliografii zawierającej 88 pozycji. Po krótkim wprowadzeniu do tematyki pracy przedstawiono jej cel i zakres oraz etapy badań służące do udowodnienia postawionej tezy. W rozdziale pierwszym zaprezentowano w sposób usystematyzowany, na tle wiedzy dostępnej w literaturze, rezultaty badań własnych z zakresu dynamiki oddziaływania w układzie pojazd-tor kolejowy. Najwięcej miejsca poświęcono zjawiskom występującym w strefie kontaktu, wpływowi poszczególnych składowych dynamicznych w zróżnicowanych wariantach kontaktu, zarówno „idealnego”, jak i pod wpływem zużycia podukładów. Rozpatrzono zróżnicowane warunki jazdy pojazdu po torze – jazda po prostej i po łuku, przyspieszanie i hamowanie pojazdu szynowego, przejazd przez połączenie szyn ze szczeliną. Przedstawiono szereg przykładów zużycia warstw wierzchnich, zarówno kół pojazdów szynowych, jak i szyn, wraz z przykładowymi rozkładami naprężeń i opisem zjawisk występujących w tych warstwach. Osobny podpunkt pracy poświęcono analizie wpływu stanu początkowego powierzchni tocznych na proces degradacji struktury materiału warstw wierzchnich oddziaływujących kół i szyn. W części teoretycznej omówiono zjawisko drgań samowzbudnych i jego występowanie w rozpatrywanych układach. Za pomocą modelu numerycznego, z wykorzystaniem narzędzia programowego o nazwie Vi-Rail, przeprowadzono badania symulacyjne, których wyniki są zgodne z wynikami pomiarów.

W rozdziale drugim zaprezentowano krótko aspekt „falowy” oddziaływania pojazd szynowy-tor, tzn. uwzględnienie występowania fal biegnących w obiektach badań wraz z ich modelami matematycznymi. Rozpatrzono fale bieżące na powierzchni tocznej koła, za pomocą najprostszych modeli belkowych oraz modeli uwzględniających krzywiznę koła. W odniesieniu do toru kolejowego, zwrócono uwagę na potrzebę jego modelowania jako układu o okresowych własnościach struktury i wzbudzenia, co pozwoliłoby na badanie drgań samowzbudnych. W części obliczeniowej podano wyniki w zakresie sił kontaktu oraz współczynników zużycia w przypadku wymuszenia generowanego podczas jazdy po faliście zużytej szynie.

W rozdziale trzecim przedstawiono wpływ wybranych czynników, włączając zmianę obciążeń dynamicznych w czasie wieloletniej eksploatacji, na trwałość układu koło-szyna oraz na komfort i spokojność jazdy. Omówiono tzw. poziomy utrzymania pojazdów kolejowych w zaprojektowanym przez wytwórcę czasie eksploatacji oraz wybrane problemy trwałości eksploatacyjnej toru. Osobny podpunkt poświęcono badaniu wpływu geometrii toru na zużycie warstwy wierzchniej koła. Zaprezentowano również przykładowe wyniki pomiarów przyspieszeń elementów zawieszenia zarejestrowane podczas przejazdu pojazdów w zróżnicowanych warunkach resorowania wagonu lub zespołu trakcyjnego. W części teoretycznej wykorzystano uzyskane wyniki do zaprezentowania metodologii szacowania komfortu i spokojności jazdy.

Rozdział czwarty poświęcono prezentacji metod pomiaru i przetwarzania danych uzyskanych podczas przejazdu zestawów kołowych z różnymi prędkościami w warunkach rzeczywistej

eksploatacji. Opisano sposób umiejscowienia czujników przyspieszenia na pojazdach oraz dwie metody obróbki i prezentacji danych – klasyczną szybką transformację Fouriera, rzadziej stosowaną transformację Karhunen-Loeva oraz oceny na podstawie gęstości widmowej przyspieszenia.

Rozdział piąty stanowi dwustronicowe podsumowanie pracy oraz specyfikację głównych obszarów badań teoretycznych i doświadczalnych, które należy zdaniem Autora podejmować w celu zapewnienia bezpiecznej i komfortowej eksploatacji infrastruktury kolejowej.

### **Najważniejsze rezultaty naukowe**

Tematyka pracy zawiera się w nowoczesnym obszarze badawczym związanym z monitorowaniem stanu technicznego złożonych układów mechanicznych (ang. Structural Health Monitoring – SHM), choć w pracy nie ma bezpośrednich odniesień do tak sformułowanej problematyki. SHM określany jest w literaturze jako całokształt działań wspomagających wykrywanie uszkodzeń np. w konstrukcjach lotniczych, budowlanych i inżynierskich. W przypadku infrastruktury kolejowej, literatura z tego zakresu dotyczy przede wszystkim monitorowania procesów sterowania pojazdem szynowym oraz dynamiki wzajemnego oddziaływania układu pojazd-tor kolejowy i jej wpływu na bezpieczeństwo i komfort eksploatacji. Problematyka monitorowania stanu infrastruktury kolejowej została w ostatnich latach podjęta m. in. w ramach projektu MONIT. Autor recenzowanej pracy doktorskiej prowadził badania pełniąc odpowiedzialne funkcje w firmie PESA SA, będącej partnerem „przemysłowym” w projekcie. Zagadnienia przedstawione przez Autora pracy stanowią ważny wkład w rozwój systemów monitorowania infrastruktury kolejowej (włączając do niej również eksploatowane pojazdy szynowe), widziane z perspektywy badacza z dużym doświadczeniem praktycznym. Ponadto, wzrost prędkości poruszania się pojazdów szynowych wymusza konieczność rozwijania metod i procedur badawczych w celu zapewnienia bezpieczeństwa transportu dóbr i podróżowania, a w niektórych krajach rozwiniętych konieczność stałego monitorowania stanu infrastruktury kolejowej jest wymagana przez odpowiednie uregulowania prawne.

Ze względów wyżej wymienionych, „usystematyzowanie typowych przyczyn nieprawidłowego oddziaływania pojazdu szynowego z torem (...) oraz podanie podstaw klasyfikacji tego oddziaływania”, (...) jako środek „do poprawy bezpieczeństwa, komfortu przewozu pasażerów i wydłużenia okresu eksploatacji zarówno pojazdów, jak i infrastruktury” jest jednym z ważniejszych osiągnięć recenzowanej rozprawy. Cytowane powyżej sformułowanie jest jednocześnie tezą pracy, którą po jej uważnej i refleksyjnej lekturze można uznać za udowodnioną. Przy ocenie pracy na uwagę zasługuje identyfikacja czynników, które mogą mieć wpływ na własności eksploatacyjne układu pojazd szynowy–tor. Czynniki brane pod uwagę to geometria toru wraz z odpowiednią konfiguracją składu, podatność i własności tłumiące toru i układu biegowego pojazdu, wpływ zadawanego momentu trakcyjnego i hamującego oraz własności materiałowe, geometria i stan naprężeń w warstwie wierzchniej koła i szyny. Podstawą identyfikacji ww. czynników były badania

eksperymentalne i symulacje komputerowe przeprowadzone przez mgr. inż. Jacka Konopa i zaprezentowane w recenzowanej rozprawie.

### **Wybrane uwagi szczegółowe**

W zakresie uwag edytorskich stwierdzam, że występowanie usterek w opisie rysunków, schematów i zdjęć oraz ich słaba jakość, utrudniają podążanie za tokiem rozumowania Autora. Na kilku rysunkach opis przedstawianych wykresów jest nieczytelny (np. Rys. 1.4) albo nie występuje w ogóle (np. Rys. 2.21). Można też napotkać braki w opisie osi (np. Rys. 1.5 i 4.4 – oś odciętych, Rys. 3.10 i 3.11 – oś rzędnych). Wiele rysunków jest pomniejszonych do granicy rozdzielczości oka ludzkiego (np. Rys. 1.38-1.43), a jakość niektórych fotografii jest bardzo słaba (np. Rys. 1.7). Z Rys. 4.1 nie wynika, gdzie umiejscowione są czujniki przyspieszenia, a taki był chyba cel zamieszczenia tej fotografii. Na zakończenie należy zwrócić uwagę na sformułowanie tezy pracy (str. 12), gdzie zdaniem Recenzenta brakuje orzeczenia.

Uwagi dotyczące dostrzeżonych drobnych usterek edytorskich przekazano Autorowi.

W zakresie uwag merytorycznych uściślenia wymagają następujące kwestie. Czy rozwiązanie dynamiki wieńca koła nie powinno spełniać warunku cykliczności, z okresem równym obwodowi koła? Czy wyrażenie występujące we wzorze jest relacją pomiędzy prędkością fazową a prędkością grupową fali bieżącej? W jaki sposób zdefiniowano współczynnik zużycia zilustrowany na Rys. 2.14? Nie wiadomo, czy wzory podane na stronach 91-94 są zaczerpnięte z literatury, czy też stanowią wkład Autora w tą dziedzinę? Co oznacza określenie „stwierdzenie zaniżające” (str. 66)? Z tekstu pracy nie wynika, jak należy interpretować wykresy przedstawione na Rys. 2.16. Czy Rys. 1.52 ilustruje rozważania zawarte w punkcie pracy „Zjawiska zachodzące podczas hamowania”?

Zarówno przedstawione powyżej uwagi szczegółowe, jak i uwagi edytorskie nie umniejszają wartości naukowej pracy i nie wpływają na wniosek końcowy.

### **Wniosek końcowy**

Recenzowana praca zawiera rozwiązanie istotnego z punktu widzenia inżynierskiego zadania naukowego. Zaprezentowano właściwe metody badawcze, a uzyskane rozwiązanie jest przydatne dla praktyków odpowiedzialnych za eksploatację środków transportu szynowego. W świetle obowiązującej Ustawy o stopniach naukowych należy uznać, że przedkładana rozprawa spełnia stawiane tam kryteria (art. 13 pkt. 1). Niniejszym wnioskuję o przeprowadzenie publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jacka Konopa na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

