

Warszawa, 2007-05-19

prof. dr hab. inż. Andrzej Chudzikiewicz  
Politechnika Warszawska  
Wydział Transportu

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Roberta Konowrockiego**  
**nt. " Oddziaływanie koła z drogą z uwzględnieniem poślizgów bocznych "**

Recenzja przygotowana na zlecenie Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN z dnia 2007.03.19

**1. Wstęp.**

Opiniowana praca składa się z 8 rozdziałów oraz bibliografii.

Rozdział 1, będący wstępem, jest wprowadzeniem do problematyki dysertacji, w którym Autor wyjaśnia pojęcie tarcia oraz omawia podstawowe zjawiska występujące w układach mechanicznych wraz z tarciem. Szczególną uwagę zwraca na zjawisko drgań samowzbudnych i towarzyszący mu efekt wężykowania pojazdu. Przedstawia krótki przegląd prac dotyczących wężykowania, prowadzonych w ostatnim półwieczu. Formułuje w tym rozdziale cel pracy oraz omawia jej zakres. Autor wyjaśnia, że celem Jego działań będzie zbadanie zjawiska oddziaływania koła z drogą w trakcie toczenia z uwzględnieniem poślizgów bocznych oraz wykazanie oscylacyjnego ruchu koła, poprzecznie do kierunku toczenia.

Rozdział 2 pracy przedstawia analizę stanu naprężeń występujących w toczącym się kole po szynie dla różnych stanów obciążeń. Analiza dotyczy strefy kontaktu w kole oraz szynie a także całej powierzchni tocznej koła. Korzystając z metody czasoprzestrzennych elementów skończonych (MECZ) oraz metody elementów skończonych (MES) Autor dokonuje analizy zjawisk dynamicznych i statycznych występujących w trakcie toczenia się koła po nieskończone sztywnym podłożu, zwracając szczególną uwagę na obszar kontaktu koła z szyną. Analiza polegała na określeniu zmiany kąta nachylenia powierzchni tocznej koła kolejowego oraz rozkładu wewnętrznych naprężeń. W rozdziale tym zamieszcza również Autor rozważania dotyczące zjawiska powstawania fali bieżącej w oponie koła ogumionego. Analizę przeprowadza posługując się uproszczonym modelem opony opisanym belką prostą typu Bernoulliego-Eulera na sprężystym podłożu Winklera.

Celem Autora w tym rozdziale było wykazanie, że w trakcie toczenia się koła występują zjawiska dynamiczne, wpływające na chwilowy stan sił w strefie kontaktu co może mieć wpływ na trwałe deformacje i zużycie powierzchni tocnych

Rozdział 3 pracy to przegląd literatury dotyczący procesu tarcia. Autor przedstawia tu historię rozwoju badań dotyczących zjawiska tarcia oraz jego formalnego opisu przedstawiając ważniejsze hipotezy. Zajmuje się tarciem suchym i tocznym.

Rozdział 4 pracy poświęcono zjawisku drgań samowzbudnych. Jak Autor słusznie zauważa: „zjawisko to jest szeroko opisane w literaturze i napisano o nim wiele prac w których dokładnie wyjaśniono mechanizm jego postawiania oraz szczegółową analizę”. Jednak z uwagi na rozważania Autora prowadzone w następnych rozdziałach celowość zamieszczenia tego rozdziału jest uzasadniona, gdyż oprócz przedstawienia w nim przykładowych modeli opisujących drgania samowzbudne z udziałem tarcia, zamieszczono tutaj również odniesienie do badań z wykorzystaniem stanowisk badawczych.

W rozdziale 5 przedstawiono, zbudowane na potrzeby pracy, stanowisko pomiarowe, opisano zastosowany układ pomiarowy oraz scharakteryzowano użyte w badaniach doświadczalnych trzy pary cierne: taśma poliestrowa oraz trzy koła wykonane z aluminium, poliamidu oraz stali. Do rejestracji przemieszczeń koła użyto laserowego czujnika przemieszczenia. Przed przystąpieniem do realizacji pełnego programu badawczego dokonano pomiarów pozwalających ocenić zjawiska które mogłyby mieć istotny wpływ na badane drgania samowzbudne. Oceniono statyczną i kinetyczną siłę tarcia w ruchu wzdluznym, wzdluzno- obrotowym i obrotowym między tuleją a osią na której osadzone były koła. Uznano, że można pominąć wpływ tych sił na badane zjawisko. Zmierzono również statyczne i kinetyczne współczynniki tarcia dla poszczególnych par ciernych.

Rozdziały 6 i 7 są podstawowymi dla pracy rozdziałami.

Rozdział 6 pracy zawiera wybrane wyniki pomiarów zarejestrowane na stanowisku badawczym. Do prezentacji i analizy badanego zjawiska wybrano następujące przebiegi: charakterystyki fazowe oraz zmiany przemieszczeń koła i prędkości koła w kierunku osiowym. Zastosowanie analizy widmowej w stosunku do przemieszczeń koła pozwoliło na wyznaczenie charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych, a tym samym określić dominujące częstotliwości drgań. Wielkościami zmiennymi w eksperymencie, dla każdej pary ciernej, były: prędkość taśmy, siła nacisku oraz kąt pomiędzy płaszczyzną boczną koła a kierunkiem przesuwu taśmy. Dla każdej pary ciernej zamieszczono komplet wyników dla tych samych zmian wyżej wymienionych wielkości co pozwoliło na porównanie badanego zjawiska dla różnych par ciernych.

W rozdziale 7 zamieszczono model matematyczny odpowiadający badanemu w poprzednim rozdziale zjawisku oraz wyniki analiz symulacyjnych dla przypadków opisanych w rozdziale 6. Strukturę modelu matematycznego przyjęto bazując na ilościowej analizie wyników uzyskanych z badań stanowiskowych. Podstawą była dwuokresowość zaobserwowanych drgań. Założono ponadto, że taśma i koło są ciałami sztywnymi a sprężyny w układzie zawieszenia mają charakterystyki liniowe. Zaproponowany model to układ o dwóch stopniach swobody, jeden stopień swobody odpowiada ruchowi poprzecznemu koła w kierunku jego osi drugi natomiast ruchowi obrotowemu koła. Wykorzystując zaproponowany model Autor, dobierając wartości parametrów w równaniach, przedstawia przykładowe wyniki symulacji komputerowej dla przypadków rozważanych w rozdziale 6 trzech par ciernych otrzymując jakościową zgodność.

W rozdziale 8 zawarto podsumowanie uzyskanych wyników oraz wskazano na kierunki badań w przyszłości z wykorzystaniem stworzonej metody i narzędzi.

## 2. Uwagi ogólne i szczegółowe

1. Wymieniając na stronie 16 czynniki wpływające na boczne obciążenie działające na koło w strefie kontaktu, Autor wymienia kilka, wg Niego istotnych, m.innymi siłę wiatru. W związku z powyższym stawiam pytanie: czy w przypadku braku siły pochodzącej od wiatru gdy pojazd szynowy porusza się po idealnym torze prostym nie będzie ruchu oscylacyjnego zestawu? A jeśli będzie to co jest powodem tego ruchu?
2. Na stronie 32, w 8 wierszu od góry, Autor odnosząc się do strefy kontaktu koła z szyną pisze: „W praktyce strefa ta ma kształt elipsy, ..... „. Twierdzę, że w praktyce strefa ta, a może być kilka stref, b.rzadko ma kształt elipsy. Proszę o wyjaśnienie tego problemu.
3. Na stronie 74 i 75 Autor opisuje przygotowania do badań stanowiskowych. Oszacowane zostały, m.innymi siły tarcie między tuleją i osią.. Podano je w Tablicy 5.1. Następnie Autor stwierdza, że ze względu na małą względną wartość tego tarcia, czyli też sił, pomijamy jego wpływ na badane zjawisko. Mając na uwadze masę koła wraz z tuleją ( jest to 0.087 kg ) siła 0.58 N nie jest wcale taka mała. Dla porównania: siła 0.58 N jest w stanie nadać ciału o masie 0.087 kg przyspieszenie prawie 7 m/s<sup>2</sup>. Proszę o komentarz.
4. Strona 93, 10 wiersz od góry, jest Rysunek 6.21, winno być Rysunek 6.20.
5. Na stronie 110, po wzorze (7.2) Autor stwierdza: „Opieramy się na wykresach fazowych wyników drgań koła poliamidowego. Dobieramy wartości współczynników  $a$  i  $b$  ..... „, Proszę o komentarz i wyjaśnienie, w jaki sposób

dobierano wartości tych współczynników. W literaturze taki proces nazywa się Identyfikacją lub Weryfikacją.

6. Strona 113, 5 wiersz od góry. Podobne stwierdzenie. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.

### **3. Ocena pracy.**

Praca dotyczy istotnego, z punktu widzenia szeroko pojętej problematyki badania dynamiki układów mechanicznych, zagadnienia określania i badania zjawisk którym towarzyszy tarcie. W przypadku pojazdów oddziaływanie koła z drogą jest podstawowym mechanizmem decydującym o zachowaniu się pojazdu, w tym o jego cechach eksploatacyjnych. W tym oddziaływaniu tarcie odgrywa podstawową rolę.

Dlatego też podjęcie tematyki, dotyczącej zbadania oddziaływania koła z drogą w trakcie toczenia z uwzględnieniem poślizgów bocznych, można uznać za celowe i dysertabilne.

Autor, w celu rozwiązania postawionego zadania, zbudował stanowisko badawcze, zaprogramował i przeprowadził eksperyment, wykonał analizę jego wyników a następnie podjął próbę matematycznego ujęcia zbadanego zjawiska. Mimo zastosowania aparatu opartego na metodach numerycznych i symulacji komputerowej uzyskane wyniki mają charakter jakościowy a nie ilościowy. Podstawowy rezultat to wykazanie, że bez względu na różne pary cierne oscylacje boczne toczącego się koła mają charakter drgań dwuokresowych. Jest to nowy wynik i zasługuje na uwagę. Przeprowadzony eksperyment wykazał także występowanie zjawiska pełzania, w całym obszarze parametrów. Zjawisko to uwidoczniło się także podczas symulacji wykonywanych z wykorzystaniem modelu matematycznego.

Tematyka ta, z uwagi na złożoność zjawiska tarcia, nie należy do łatwych dlatego też słusznie Autor w celu uwiarygodnienia swoich rezultatów przyjął dwie drogi; eksperymentalną i teoretyczną. Udało Mu się uzyskać jakościowe potwierdzenie zgodności otrzymanych tymi drogami wyników. Uzyskane rezultaty mogą posłużyć do pogłębienia wiedzy o zjawiskach występujących w obszarze kontaktu koła poruszającego się po drodze.

Wymienione w punkcie 2 Recenzji uwagi nie podważają otrzymanych rezultatów ani zastosowanych metod w celu ich osiągnięcia, lecz mają na celu uświadomienie Autorowi istniejących słabych punktów pracy.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy doktorskiej uważam, że przeprowadzone badania mające na celu analizę zjawisk oddziaływania koła z drogą

w trakcie toczenia, z uwzględnieniem poślizgów bocznych stanowią oryginalne elementy zadania naukowego mogącego być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych. Uwagi krytyczne nie umniejszają wartości rozprawy i stanowią wytyczne oraz są wskazówkami dla Autora w Jego dalszej pracy badawczej. Ponadto cel pracy został osiągnięty.

#### **4. Wniosek końcowy.**

Podsumowując, uważam, że mgr inż. Robert Konowrocki w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułował, rozwiązał i opisał oryginalne zadanie naukowe, jakim jest zbadanie zjawisk występujących w trakcie toczenia koła po drodze z uwzględnieniem poślizgów bocznych używając w tym celu metod bazujących na eksperymencie oraz symulacji komputerowej z wykorzystaniem modeli matematycznych.

Praca odpowiada warunkom stawianym, w Ustawie o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych z dnia 14 marca 2003 roku, rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych. Wobec powyższego stawiam wniosek o dopuszczenie przedłożonej, przez mgr inż. Roberta Konowrockiego, rozprawy do publicznej obrony.

